

زمینه‌های نو برای تحقیق در فولاد

دکتر خطیب الاسلام صدرنژاد

دانشیار دانشکده مهندسی متالورژی دانشگاه صنعتی شریف

چکیده

موضوعات جدید برای تحقیق در فولاد فراوان است. در این مقاله ضمن ارائه مروری اجمالی بر اوضاع صنعت فولاد در جهان بخصوص در سالهای اخیر، ضرورت آغاز فعالیتهای تحقیقاتی در مورد موضوعات نو مورد بررسی و دقت نظر قرار گرفته است. گسترش فعالیتهای تحقیقاتی مشترک صنعتی - دانشگاهی و صنعتی - صنعتی، به عنوان راه اساسی برای توسعه و تکامل صنعت فولاد، مورد تشویق و توصیه واقع شده است. به علاوه تعداد قابل ملاحظه‌ای از عناوین مهم تحقیقاتی در ارتباط با فولاد در چهار زمینه عمده: الف - ذوب و تصفیه ب - ریختن و نورد ج - تعیین آنالیز و دما د - مدیریت صنعتی و کنترل فرایند بطور تطبیقی مورد تحلیل و ارزیابی قرار گرفته‌اند.

نقش تحقیق و توسعه R & D در رشد صنعت فولاد

که صنعت امروز فولاد در دنیا، صنعتی قرن نوزدهمی است که به منظور به گردش در آوردن چرخهای آن تنها از برخی وسائل مدرن مدد گرفته شده است. برای مثال عمل ککپزی، فرآیند کوره بلند، تکنیک فولادسازی، عملیات ریختن و شکل دادن و حتی فرآیندهای احیاء و ذوب، همگی از ایده‌های بسیار قدیمی نشأت گرفته‌اند. این در حالی است که ما شاهد دگرگونیهای عظیمی در چهره ظاهری دنیا طی یکی دو دهه اخیر می‌باشیم. مثلاً "کمیاب شدن برخی از انواع سوخت، افزایش قیمت انرژی، تغییر الگوی مصرف بخصوص در صنایع حمل و نقل، ورود مواد رقیب مانند پلی‌مرها و کامپوزیتها به بازار و تشدید ضوابط و مقررات مربوط به حفظ محیط زیست، همگی از موارد جدید اعمال فشار بر صنایع تولید فولاد به حساب می‌آیند.

در چنین شرایطی، لازم است برنامه‌های وسیع و همه جانبه تحقیقاتی به منظور یافتن روشهای نوین تولید و شکل دادن فولاد منطبق با شرایط و نیازهای فعلی جهان، به مورد اجرا گذاشته شود.

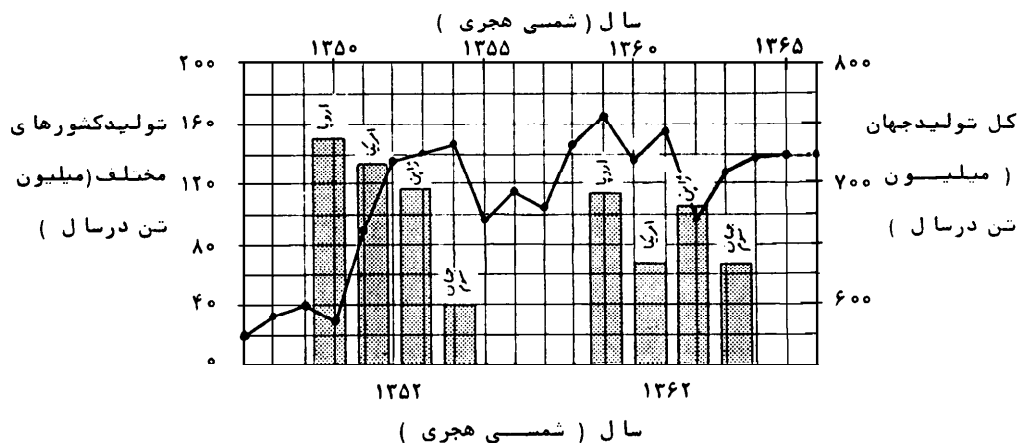
امروز مصرف فولاد دنیا، به بیش از ۴ برابر سالهای پس از جنگ جهانی دوم افزایش یافته است. در عین حال، ۱۰ سال است که مقدار تولید آمریکا، ژاپن و بازار مشترک سیر نزولی و در عوض میزان تولید کشورهای جهان سوم سیر صعودی می‌پیماید (شکل ۱).^{۱-۴} گرچه برای توجیه این تغییرات علل گوناگونی ذکر شده است^۵ اما برای یافتن دلایل اصلی لازم است به سیاست تولید کنندگان غربی دایر بر جایگزینی "تتاوسوده" به جای "تتاوپالا" توجه کرد.^۶ از طرف دیگر افزایش نسبت قیمت فولاد تولید شده در آمریکا به فولاد بازار مشترک که در سالهای اخیر به رقم ۲/۵ برابر نزدیک شده است^۶، بحث‌های مفصلی را در زمینه ضرورت سازماندهی مجدد در صنایع تولید فولاد موجب گردیده است.^{۶-۹} بیشتر این بحث‌ها در خصوص ضرورت مدرنیزه کردن صنایع قدیمی تولید فولاد و یا جایگزین کردن روشهای موجود با شیوه‌های ابتکاری و نو دور می‌زند.^۵ به ویژه آن

همچنین ضروری است ایده‌های جدید در خصوص سازماندهی و مدیریت واحدهای تولید فولاد به دقت مورد مطالعه و امان‌نظر قرار گیرند. برای مثال، ایده‌های احداث واحدهای کوچک Mini-mill با ظرفیت‌های کمتر از حدود ۵۰۰,۰۰۰ تن فولاد در سال به جای مجتمع‌های بزرگ Integrated mill با ظرفیت‌های بیشتر از حدود ۵,۰۰۰,۰۰۰ تن فولاد در سال توانسته است توجه زیادی را، در سالهای اخیر، به خود جلب کند.^۴ به طوری که برخی حتی از آنهم فراتر رفته و واحدهای ماوراء کوچک Micro-mill یا Nano-mill با ظرفیت حدود ۸,۰۰۰ تا ۱۰,۰۰۰ تن در سال را توصیه کرده‌اند.^{۱۰} چرا که خصوصیات نامطلوب مجتمع‌های بزرگ تولید فولاد، از قبیل مواردی چون وجود فاصله زیاد بین کارکنان و مصرف کنندگان، عدم امکان هماهنگی با نوسانات بازار مصرف، کمبود ابتکار و نوآوری، وجود تجهیزات و ظرفیت‌های بی‌بازده و ازدست دادن مداوم نیروهای کیفی تخصصی، امکان رقابت را از این‌گونه واحدها عملاً سلب کرده است. در حالی که مدیریت‌های کوچک در عمل موفق‌تر بوده و از محدودیت‌های کمتری معمولاً زیان دیده‌اند.^۶

علاوه بر تلاش‌های زیادی که در حال حاضر برای دستیابی به تکنولوژی‌های نو و ابتکاری دارای بازدهی بیشتر و مصرف انرژی کمتر در جریان است، به دلیل وجود مشکلات و نابسامانی‌های مزمن فنی و اقتصادی در بسیاری از مجتمع‌های بزرگ تولید فولاد، بررسی‌های همه

جانبی‌های در خصوص تجدید سازماندهی این صنایع در دست اقدام می‌باشد. اهداف اساسی این بررسی‌ها، اعمال روشهای ابتکاری و نوین به منظور کاهش هزینه‌های تولید و افزایش بازدهی و کیفیت محصول می‌باشد. به عنوان مثال، یک نمونه از نحوه اثر اعمال تکنولوژی مدرن بر هزینه‌های تولید مقاطع فولادی نیمه ساخته در جدول ۱ نمایش داده شده است.^۵ اطلاعات جدول نشان می‌دهد که بیشترین کاهش در هزینه‌ها مربوط به مصرف انرژی و نیروی کار به خصوص در مرحله ریختن شمش تا نورد پایانی مقاطع می‌باشد.

سرعت برق‌آسای تغییر تکنولوژی، امروز توانسته است تقریباً تمام دست‌اندرکاران صنعت فولاد را غافلگیر کند. رشد تحقیقات علمی و صنعتی به منظور یافتن شیوه‌های نو و ابتکاری بدون شک کلید حل مشکلات اقتصادی آینده است.^{۱۱} اما در این خصوص لازم است به "تحقیقات مفید" بیش از "تحقیقات گران" بها داده شود. لذا چندی است که بر ضرورت انجام طرحهای مشترک تحقیقاتی به ویژه بین صنعت و دانشگاه سخن گفته می‌شود.^{۱۲} در آمریکا، برای مثال با خاتمه فعالیت لابراتوارهای تحقیق در فلزات متعلق به صنایعی از قبیل Union Carbide, U.S. Steel, Inco, Ford-Motor, Zenith, Kennocott, آزمایشگاههای تحقیقاتی جدید در نزدیکی دانشگاهها برای استفاده از نیروی فکری دانشگاهیان و طرح پروژه‌های مشترک صنعتی - دانشگاهی و گرفتن خدمات مشاوره‌ای از دانشگاهیان در حال گسترش است.^{۱۲}



شکل ۱ - روند تولید فولاد در جهان - ۴ - ۱

جدول ۱ - مقایسه هزینه‌های مربوط به تولید فولاد از آماده‌سازی بار تا تولید مقاطع نیمه ساخته.^۵

تکنولوژی	نوع هزینه	درصد هزینه ها			قیمت کل (دلار بر تن)
		از ابتدا تا تولید فولاد	از ریخته‌گری تا پایان نورد	جمع	
قدیمی	سرمایه گذاری	۵	۵	۱۰	۳۶۵*
	نیروی کار	۸	۲۳	۳۱	
	انرژی	۵	۳	۸	
	زغال سنگ	۱۴	-	۱۴	
	جمع	۳۲	۳۱	۶۳ ^x	
جدید	سرمایه گذاری	۱۳	۱۲	۲۵	۲۲۴*
	نیروی کار	۵	۱۵	۲۰	
	انرژی	۴	۲	۶	
	زغال سنگ	۱۱	-	۱۱	
	جمع	۳۳	۲۹	۶۲ ^x	

* مربوط به سال ۱۳۵۷.

x مابقی تا صد درصد مربوط به هزینه مواد خام است.

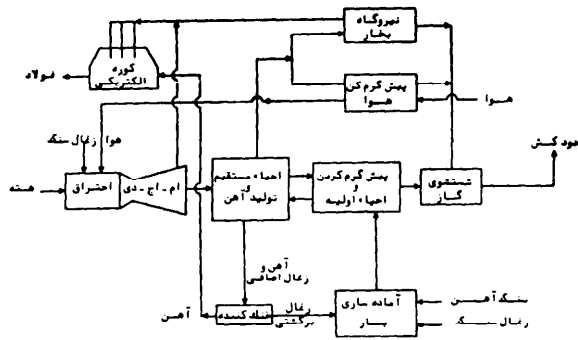
- راستای انجام فعالیتهای تحقیقاتی در حال حاضر در سه جهت قرار دارد:
۱. افزایش بازدهی صنایع موجود با اعمال مدیریت‌های قوی‌تر.
 ۲. بهبود تکنولوژی موجود با کمک روشهای ابتکاری و زمینه‌های پیشرفته در سایر رشته‌ها.
 ۳. جایگزین کردن صنعت موجود بوسیله تکنولوژی‌های ابتکاری و مدرن.
- اهداف عمده این فعالیتها به قرار زیر است:
۱. کاهش هزینه‌ها به‌خصوص هزینه‌های مربوط به سرمایه‌گذاری، انرژی، مواد اولیه و نیروی کار.
 ۲. افزایش کیفیت فولاد، بخصوص فولادهای مخصوص و تخت.
 ۳. پاسخگویی به نیازهای بازار مصرف مانند فولادهای استحکام بالا و میکروآلیاژی.
 ۴. حذف مشکلات جانبی صنعت فولاد مانند آلوده ساختن محیط زیست و مصرف برق.

فولاد و عناوین نو تحقیقاتی

گازی مناسب می‌باشند، بلکه استفاده از آنها سبب حذف ضرورت تصفیه و برگشت دادن گاز برای استفاده مجدد در راکتورهای احیا، مستقیم خواهد شد. نتیجه منطقی این عمل صرفه‌جویی در هزینه‌های سرمایه‌گذاری و مصرف سوخت خواهد بود. به علاوه از فشار بی‌مورد واحدهای ذوب فولاد به شبکه سراسری برق کاسته خواهد شد.

۲. احیا، مستقیم توسط گاز ام - اچ - دی - MHD

یکی از روشهای جالب در استفاده از انرژی مفید گازهای خروجی ژنراتور " هیدرو دینامیک مغناطیسی " Magneto-hydrodynamic یا MHD، هدایت این گازها به داخل راکتورهای احیا، مستقیم برای تولید آهن اسفنجی می‌باشد (شکل ۲). از برق تولید شده در نیروگاه MHD می‌توان برای تبدیل آهن اسفنجی به فولاد در کوره‌های قوس الکتریکی استفاده نمود. بدیهی است انجام این عمل مستلزم اقتصادی شدن روش تولید برق از طریق حرکت سریع گازهای یونیزه شده بین قطبهای یک‌سری مغناطیس بوده و همجواری نیروگاه MHD و واحدهای احیا مستقیم را ایجاب می‌کند.^۵



شکل ۲ - همجواری نیروگاه MHD و واحد تولید فولاد از طریق احیا

مستقیم براساس طرح پیشنهادی Jayaryan و Anderson از کالج ایالتی سن حوزه آمریکا^۵

سرعت انجام تحقیقات علمی و صنعتی R & D در زمینه فولاد آن چنان زیاد است که در خلال ۱۰ سال گذشته، توانسته است بیش از ۱۰۰ تغییر عمده در صنعت فولاد را پدید آورد. معیذا در مقایسه با بسیاری از صنایع، باید اذعان داشت که صنعت تولید فولاد یکی از با ثبات‌ترین صنایع قرن حاضر به حساب می‌آید.^۵ در عین حال با توجه به روند انجام تحقیقات در سالهای اخیر، به نظر می‌رسد تغییرات عمده‌ای در جهت تبدیل روشهای منقطع به فرآیندهای پیوسته در سالهای آتی در این صنعت اتفاق بیفتد. از این رو شاید بتوان قرن آینده را قرن " پیوستگی " فرآیندهای فولادی نامید. در اینجا ضمن ذکر برخی از زمینه‌های تحقیق در فولاد، به تاکید بر موضوعاتی که در سالها و دهه‌های آتی بیشتر مورد توجه قرار خواهند گرفت، می‌پردازیم:

ذوب و تصفیه

۱ - گازی کردن زغال سنگ Coal Gasification

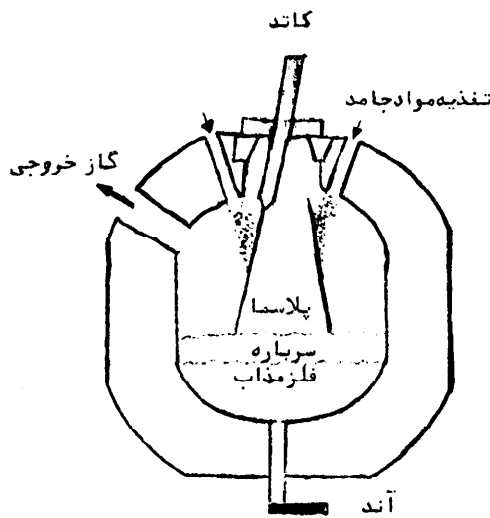
هدف این تحقیق، تولید گاز به منظور استفاده در واحدهای احیا مستقیم است. گاز خروجی راکتور احیا، همراه با گازهای متصاعد شده از کوره بلند و کنورتر در یک نیروگاه حرارتی بازیابی شده و به کمک آن قسمتی از برق مورد نیاز کارخانه تامین می‌شود. در انجام این طرح از اصل استفاده مشترک از انرژی‌های مصرفی و تولیدی در دو واحد همجوار تولید فولاد و تولید برق یاری گرفته می‌شود. علاوه بر زغال سنگ، از زائدات کشاورزی و زباله‌های شهری نیز می‌توان برای تولید گاز استفاده کرد. زغال حاصل می‌تواند به داخل کوره بلند تزریق شود.

هم اکنون تحقیقات وسیعی در این زمینه در اروپا و امریکادر جریان است.^{۱۴} اما در کشور ما، به دلیل وجود منابع عظیم گاز طبیعی، ظاهراً این موضوع در حال حاضر از اولویت چندانی برخوردار نیست. در صورتی که اگر قیمت‌های گاز و برق در سطح جهان تغییر کند، همین مسأله می‌تواند در زمره موضوعات تحقیقاتی دارای اولویت به حساب آید. به علاوه این طرح در صورت موفقیت ممکن است قادر به حل قسمتی از مشکل کمبود کک متالورژیکی در کشور باشد. بدین ترتیب که با ایجاد امکان بازیابی حرارتی گاز خروجی کوره بلند، توجیه اقتصادی لازم برای افزایش ارزش حرارتی این گاز را در شرایط استفاده از سوخت‌های غیر مرغوب به جای کک فراهم ساخته و نتیجتاً نه تنها صرفه‌جویی در مصرف انرژی، بلکه کاهش در هزینه‌های سرمایه‌گذاری را نیز به ارمغان خواهد آورد.

در شرایط کنونی که تردیدی در ضرورت احداث نیروگاههای برق در کشور ما وجود ندارد، احداث این نیروگاهها در جوار واحدهای احیا، مستقیم شاید بسیار شربخش باشد. چه آن که نه تنها گازهای خروجی راکتورهای احیا، مستقیم برای به کار انداختن توربین‌های

۴. فولادسازی بکمک قوس پلازما Plasma Steelmaking

تحقیقات وسیعی در زمینه استفاده از پلازما برای تولید مستقیم فولاد یا فولاد نیمه تمام Semi-Steel از سنگ آهن و نیز برای ذوب قراضه انجام گرفته است. اساس این روش بر تشکیل یک قوس پایدار بین دو الکترود با استفاده از گاز خنثی یا گازهای دیگر همچون متان یا هیدروژن و تزریق ذرات ریز سنگ معدن و زغال به داخل قوس استوار است. دمای فوق العاده زیاد پلازما می تواند سبب ذوب و احیاء همزمان ذرات ریز و ایجاد فولاد مذاب نیمه تمام گردد (شکل ۴). بهره گیری از این روش در ایجاد واحدهای کوچک تولید فولاد Mini-mill که در نزدیکی بازارهای مصرف واقع شده اند، امکان پذیر به نظر می رسد. این روش می تواند برای تولید مستقیم فولادهای آلیاژی، ذوب ضایعات و ذوب پودر آهن اسفنجی در حداقل فضا، بیشترین بازدهی تجهیزات و حداقل آلودگی محیط مورد استفاده واقع شود. ۲۲

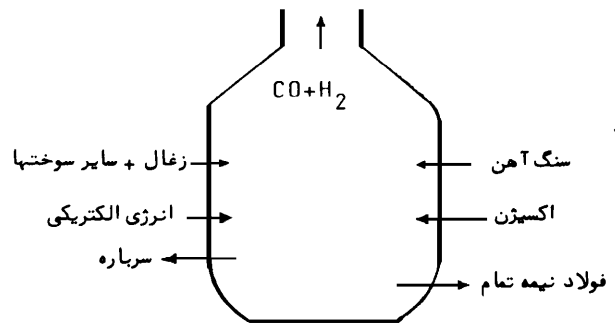


شکل ۴ - ذوب فولاد با قوس پلازما

۵. کوره های قوسی با توان فوق بالا UHP

تکنولوژی این کوره ها امروزه کاملاً تثبیت شده و در اغلب واحدهای جدید تولید فولاد به خصوص واحدهای کوچک Mini-mill از آنها استفاده می شود. سقف و دیوار کوره ها با آب خنک شده و از مشعل های

اثرات نامطلوب باطری های کک پزی، تجهیزات زینترسازی، کوره های بلند و کنورترهای اکسیژنی بر سلامت محیط زیست از دیرباز مورد توجه قرار داشته است. در این راستا ابداع تکنولوژی های نو که بتوانند راه های حل دیگری برای تولید فولاد به دست دهند، همواره مورد علاقه بوده است. روش فولادسازی مستقیم ناحدودی بر این اساس قرار دارد. در این روش سنگ آهن، سوخت کربنی و اکسیژن، وارد کوره محتوی آهن مذاب شده و پس از ترکیب با یکدیگر به فولاد نیمه تمام Semi-Steel تبدیل می شوند. حرارت لازم برای ذوب سنگ معدن از طریق ترکیب شدن اکسیژن با سوخت اضافی و گاز CO تأمین می شود (شکل ۳).



شکل ۳ - نمودار تصویری روش فولادسازی مستقیم

از محاسن این روش، حذف عملیات کک سازی، و ادغام فرآیندهای کوره بلند و کنورتر می باشد. بدین ترتیب ضمن تنزل آلودگی محیط، از مخارج سرمایه گذاری اولیه، نیروی کار و مصرف انرژی نیز کاسته خواهد شد. در عوض به دلیل توأم بودن فرآیندهای احیاء، ذوب و تصفیه، این روش با مشکلات عدیده مربوط به پیچیدگی بودن سیستم مواجه می باشد. لذا این روش تاکنون نتوانسته است در مقیاس نیمه صنعتی و صنعتی با اقبال چندانی مواجه گردد. در اینجا لازم به ذکر است که بهیچتر فرآیندهایی که در سالهای اخیر توفیق افزایش بازدهی عملیات را به دست آورده اند، مستلزم جداسازی فرآیندها به جای ادغام آنها بوده اند. مثلاً "در فولادسازی، انجام عملیات گوگردزدایی بین کوره بلند و کوره فولادسازی توانسته است با صرف هزینه های نسبتاً کم به افزایش بهره دهی سیستم منجر شود.

سوخت و اکسیژن برای کمک به گرم کردن کوره استفاده می‌شود. جا به حاشی الکترودها معمولاً به طور اتوماتیک و با سرعت زیاد انجام می‌شود. معمولاً این کوره‌ها فقط برای ذوب مواد جامد، مورد استفاده قرار می‌گیرند. در حالی که عمل تصفیه بعداً در کوره‌های پاتیلی که تقریباً همیشه همراه کوره‌های قوسی با توان فوق بالا هستند، انجام خواهد شد. از کوره‌های قوسی با توان فوق بالا برای ذوب فولادهای کربنی، کم آلیاژ و آلیاژی می‌توان استفاده کرد.^۵

۶. تصفیه در کوره‌های پاتیلی Ladle Furnace

انجام برخی از جنبه‌های عمل تصفیه در شرایط اکسیدی کوره‌های فولادسازی اکسیژنی و قوس الکتریکی میسر نیست. برای مثال بهترین شرایط برای گوگردزدایی از فولاد وقتی حاصل می‌شود که اکسیژن موجود در فولاد به حداقل رسیده و محیط احیائی شود. از طرف دیگر انجام این عملیات بیرون کوره‌های فولادسازی، سبب صرفه‌جویی در وقت گرانبهای این کوره‌ها می‌گردد. انجام عملیات گوگردزدایی و تصفیه فولاد در پاتیل‌های حمل مذاب و کوره‌های الکتریکی پاتیلی در سالهای اخیر بسیار شریخش گزارش شده است.^{۱۶} به طوری که ستون فقرات فولاد سازی در سالهای آتی را می‌توان متالورژی پاتیلی Ladle Metallurgy دانست.^{۱۳}

صنعت آینده دنیا، به فولادهای ماورا، تمیز Ultra-Clean Steel متکی است. خواص مکانیکی این فولادها نسبت به حضور عناصر ناخالصی بشدت حساسیت از خود نشان می‌دهند. به طوری که هیچیک از محصولات اکسیژن‌زدایی را نباید به همراه داشته باشند (جدول ۲). تولید چنین فولادهایی، ضرورت انجام عملیات تصفیه ثانویه در کوره‌های پاتیلی را به اثبات رسانده است. این کوره‌ها می‌توانند دمای فلز را توسط انرژی قوس الکتریکی افزایش داده و محیط مناسبی برای انجام عملیات بسیار ضروری زیربوجود آورند.^{۱۶}

- افزایش عناصر آلیاژی و کنترل آنالیز نهایی
- اکسیژن زدایی و گوگردزدایی
- یکپارخت کردن دما و آنالیز مذاب
- غوطه‌ور کردن آخال‌ها و کنترل شکل سولفیدها
- گاززدایی تحت خلا، بمنظور خارج کردن هیدروژن
- فسفرزدایی

جدول ۲ - پیش‌بینی میزان تمیزی مورد نیاز در فولاد مورد مصرف در سال ۱۳۷۵ ه. ش. ۱۳

H	N	O	P	S	C	عنصر
۱	۱۴	۵*	۱۴	۵	۶	حداکثر قابل قبول
(ppm)						

* تمام اکسیژن موجود در فولاد مشتعل بر ذرات اکسیدی مانند Al_2O_3 را در بر می‌گیرد.

بنابراین ملاحظه می‌شود که متالورژی پاتیلی مشتعل بر " سوپر مارکتی" از اعمال گوناگون تصفیه، آلیاژسازی، گاززدایی و گرم کردن فلز مذاب می‌باشد که همگی در کوره‌های قوسی پاتیلی انجام می‌شوند.

فلز مذاب مورد استفاده در کوره‌های پاتیلی، از طریق کوره‌های قوس الکتریکی توان فوق‌بالا UHP و یا کنورتورهای اکسیژنی عظیم‌الجثه می‌تواند تامین شود. بدین ترتیب با استفاده از کوره‌های پاتیلی، امکان ذوب بیشتر و سریعتر آهن اسفنجی و فولاد قراضه در کوره‌های قوس الکتریکی و کنورتورهای اکسیژنی فراهم می‌گردد. کوره‌های پاتیلی همچنین امکان تحقق تکنولوژی فولادسازی مستقیم Direct Steelmaking را فراهم نموده است. بدین ترتیب که تبدیل فولاد نیمه ساخته به فولاد کامل با انجام فرآیندهای تصفیه، کربن‌زدایی تحت خلا، و گاززدایی توسط یکی از روشهای متداول مانند سیکل‌های کوتاه RH در کوره‌های پاتیلی می‌تواند انجام گیرد.

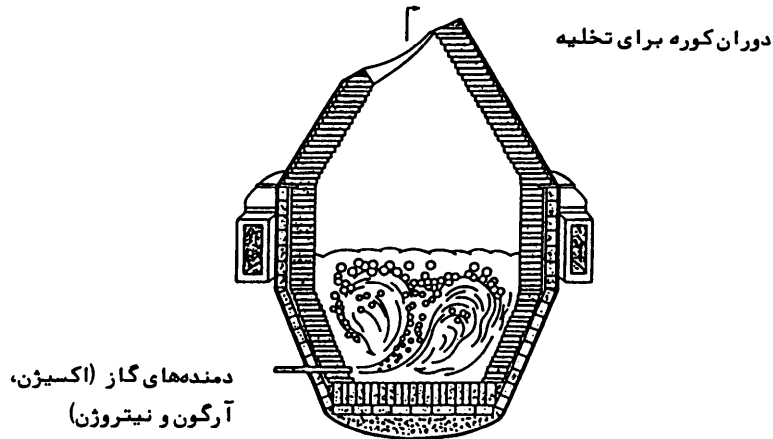
۷. فرآیندهای خاص برای تصفیه فولاد:

ضرورت تصفیه فولاد از عناصر ناخالصی و آخال‌های معلق، سبب معرفی تعداد زیادی روشهای ویژه برای تصفیه فولاد شده است. تکنولوژی بسیاری از این روشها توسط فولادسازان برجسته دنیا در سالهای اخیر مورد استفاده قرار گرفته است. برخی از این روشها ذیلاً شرح داده می‌شوند:

کربن‌زدایی با اکسیژن و آرگون

Argon Oxygen Decarburization (AOD)

در این روش با دمیدن مخلوط اکسیژن و آرگون به داخل کوره محتوی فولاد مذاب مطابق شکل ۵، بیشترین بهم خوردن فلز مذاب و سرباره حاصل می‌شود. به دلیل تماس زیاد فلز و سرباره، عمل گوگردزدایی نیز بخوبی انجام خواهد شد. اما آخال‌های سولفیدی معلق، پس از اتمام عملیات، باید در کوره دیگری به کمک دمش ملایم آرگون از فلز خارج شوند.^{۱۶}



شکل ۵. سیستم کربن زدایی با اکسیژن و آرگون AOD ۱۶

و یا ذوب الکتریکی مجدد با جریان متناوب همراه با سرباره استفاده می‌شود. فرآیند اول، مبتنی بر ذوب الکتروود فولادی ریخته‌شده در دمای زیاد حاصل از انتقال جریان برق و ایجاد قوس الکتریکی تحت خلأ (یا گاز خنثی) و انجام کنترل شده آن پس از عبور از قالب مسی خنک شونده با آب، به تصفیه فولاد منجر می‌شود. در روش دوم، قطرات حاصل از ذوب الکتروود فلزی قبل از پیوستن به حمام مذاب، از درون سرباره‌ای که نقش محافظ و هدایت کننده الکتریسیته را دارد،

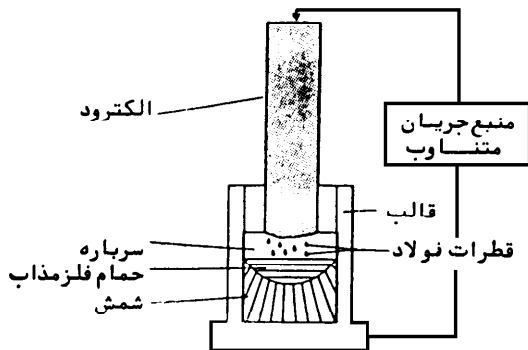
در حال حاضر، استفاده از سیستم AOD در بسیاری از واحدهای تولید فولاد مورد استفاده می‌باشد. تحقیقات به منظور بهبود بازدهی عملیات، کاهش هزینه‌ها و ابداع روشهای نو در این خصوص در جریان است.

ذوب القاشی تحت خلأ Vacuum Induction Melting (VIM)

برای ذوب فولادهای بسیار مرغوب دارای حداقل آخال‌های غیرفلزی و گاز، لازم است از کوره‌های القاشی بدون هسته تحت خلأ استفاده نمود. تمام عملیات ذوب، آلیاژی، نمونه‌برداری، اندازه‌گیری دما و ریخته‌گری این کوره‌ها تحت فشارهای بسیار کم و در غیاب هوا انجام می‌شود^{۲۳} از میان تمام روشهای موجود، بیشترین کنترل آنالیز شیمیایی و دمای فلز مذاب از طریق این فرآیند میسر می‌گردد. نه تنها تنظیم محتوای عناصر آلیاژی در فلز مذاب، بلکه کنترل میزان عناصر جزئی محلول، اهم از مطلوب یا نامطلوب توسط این روش به خوبی قابل انجام است. به علاوه تنظیم یکخواختی ترکیب شیمیایی فلز بدلیل بهم خوردن پیوسته فولاد و حفظ تمیزی و نظافت فولاد از طریق مجزا ساختن سیستم از محیط به سهولت عملی می‌شود. استفاده از کوره‌های VIM برای انجام مطالعات تحقیقاتی و یا تولید فولادهای با کیفیت عالی ضروری می‌باشد.

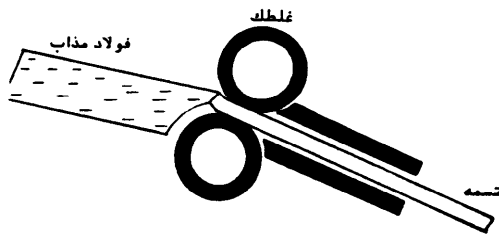
ذوب قوسی مجدد تحت خلأ Vacuum Arc Remelting (VAR)

و ذوب الکتریکی همراه با سرباره Electro-Slag Remelting (ESR) برای کنترل ساختار شمش‌های ریخته‌شده فولادی و تصفیه عناصر ناخالصی موجود در آنها، از روشهای ذوب الکتریکی با جریان پیوسته تحت خلأ



شکل ۶. فرآیند ذوب قوسی مجدد همراه با سرباره ESR ۲۴

عبور کرده و سپس وارد حمام مذاب می‌گردد. (شکل ۶) ۲۴ اگر چه این روش امروز کاملاً شناخته شده بحساب می‌آید، اما در زمینه ترمودینامیک و سینتیک واکنشهای انجام شده در درون و ما بین فازها، تحقیقات علمی زیادی مورد نیاز می‌باشد.



ریختن و نورد

۱. متالورژی پاتیل واسط Tundish Metallurgy

شکل ۷. ریختن مستقیم فولاد مذاب به شکل لوحه نازک،

تسمه و یا تسمه نازک ۲۰.

مثلاً "با تزریق سیم، ایجاب می‌کند. فعالیتهای تحقیقاتی در خصوص کشف محاسن و محدودیتهای این روش بخصوص در زمینه استفاده از سیستمهای نورد دو غلطکی، یک غلطکی و بین نواری، در دست انجام است (شکل ۷). حدود ۳۰ پروژه مستقل تحقیقاتی در حال اجرا در این مورد در سطح جهان گزارش شده است ۲۱.

تکنولوژی فولادریزی نیاز به سرعتهای بیشتر و امکان ریختن انواع مشکل‌تر فولاد مانند فولادهای آلپازی و پرآلیاژ دارد. برای رسیدن به این مقصود تنظیم دقیق آنالیز مذاب، کنترل همگونی و ثبات دما و افزایش تمیزی فلز مذاب از طریق خارج ساختن آخال‌های معلق ضروری می‌باشد. لذا به موازات پیشرفت فرآیند متالورژی پاتیلی، توسعه عملیات کنترل در پاتیل واسط نیز لازم به نظر می‌رسد ۱۳ و ۱۸.

۲. ریخته‌گری پیوسته Continuous Casting

برای افزایش سرعت، کاهش هزینه‌های تولید و بهبود کیفیت فولاد از روش ریخته‌گری پیوسته استفاده می‌شود. اخیراً "استفاده از ریخته‌گری پیوسته افقی حتی برای فولادهای مخصوص نیز گزارش شده است ۱۹". استفاده از این روش در تولید انبوه لوحه Slab و قلمه Billet فولادهای کربنی، کم آلیاژ و ضدزنگ می‌تواند سبب کاهش هزینه‌ها و حذف تجهیزات اضافی شود. برای بهبود کیفیت فولاد از روش بهم زدن الکترو مغناطیسی Electromagnetic Stirring می‌توان استفاده کرد. این عمل باعث جلوگیری از ایجاد ساختار ستونی شدید Highly Columnar در خلال انجماد پیوسته می‌شود. به علاوه سبب بهبود ساختار از طریق ریزش و هم اندازه شدن دانه‌ها، بهبود کیفیت سطح و رفع نیاز به عملیات صافکاری بعدی، کاهش محتوای آخال‌ها و کاهش جداش ماکروسکوپی Segregation در نمونه می‌گردد ۲۰. روش ریخته‌گری پیوسته افقی مورد علاقه اغلب فولادسازان بوده و مطمئناً "جای خود را بزودی در صنعت فولاد باز خواهد کرد".

۴. تولید تسمه از طریق متالورژی پودر

اساس این روش مبتنی بر فشردن پودر فلز برای تولید مقاطع فولادی است. اگر چه تحقیقات در این زمینه هنوز به نتیجه نهایی نرسیده است، اما به نظر می‌رسد استفاده از پودر دارای محاسن فراوانی از قبیل حصول خواص مکانیکی عالی، کاهش هزینه سرمایه‌گذاری، حذف عملیات حرارت دادن، کاهش بخشی از عملیات نورد و تنزل مصرف انرژی و نیروی کار باشد ۱۴. مشکل اصلی این روش هزینه بالای تولید پودر فلز است. اگر بتوان سنگ معدن را مستقیماً "به پودر تبدیل کرد، مثلاً" از طریق تقلیل و سپس احیاء مستقیم، احتمال موفقیت این فرآیند افزایش خواهد یافت. در شرایط کشور ما، ممکن است بتوان با استفاده از آهن اسفنجی ساخت داخل اقدام به تهیه مقاطع فولادی از طریق متالورژی پودر نمود.

۳. ریختن مستقیم صفحه Direct Casting of Sheet

از روش‌های ابتکاری و بسیار نو، ریختن پیوسته فولاد به شکل لوحه نازک، تسمه و ورق می‌باشد. اعمال این روش می‌تواند از طریق حذف گرمکن‌ها و تجهیزات نورد میانی به صرفه‌جویی در مصرف انرژی و بهبود خواص فولاد نهایی منجر شود ۱۲ و ۱۵. بکارگیری این فرآیند مستلزم در اختیار داشتن فولادی بسیار تمیز بوده، بهم زدن ملایم و پیوسته مذاب توام با اصلاح آنالیز آن را، ولو در هنگام انتقال و ریخته‌گری



یکی از مشکلات عمده صنایع تولید فولاد، به خصوص مجتمع های بزرگ، مسأله مدیریت است. تجربه کشورهای صنعتی، نشان داده است که مدیریت های فنی در عمل موفق ترند.^{۱۰} این نوع مدیریت ها بعضاً^{۱۱} توانستند با برقرار ساختن ارتباط نزدیک با رده های پایین، به خصوص مدیران تولید، نسبت به افزایش بازدهی عملیات، حذف ظرفیتهای غیر مفید و سازماندهی فعالیت های تحقیقاتی موفقیت های زیادی را نصیب واحدهای تحت اختیار خود نمایند.^{۱۰} برعکس، واحدهایی که به شیوه مدیریت های اقتصادی یا سیاسی اداره می شوند، اغلب با مشکلات و تنگناهای شدید دست بگریزانند.^{۲۷}

برای دستیابی به تولید بیشتر و کیفیت بهتر، اعمال شیوه کنترل آماری Statistical Process Control در سطح بسیار وسیع، ضروری بنظر می رسد. به علاوه لازم است از طریق معاینه مستمر، حفظ و نگهداری واحدها به طور مرتب مورد توجه قرار گیرد. همچنین ایجاد روحیه تفاهم و همکاری دو جانبه بین واحدها و در درون هر واحد، در شرایط حاضر اجتناب ناپذیر است. سازماندهی فعالیت های تحقیقاتی مشترک بین واحدهای تولیدی و بین این واحدها و دانشگاه امروز از لوازم حتمی حصول توفیق در صنعت فولاد به حساب می آید.^{۲۷}

از میان تمام عناصر لازم برای رشد صحیح و سریع صنعت فولاد، مورد آخر، یعنی اجرای پروژه های تحقیقاتی مشترک صنعت - صنعت و دانشگاه صنعت، موثرترین و دشوارترین عنصر تلقی می شود. بدون شک اجرای جدی و قاطع این مورد، نیاز به انقلابی فرهنگی در صنعت فولاد دارد. در شرایطی که صنایع فولاد کشورهای توسعه یافته ضرورت انجام چنین انقلابی را در خود احساس کرده اند، صنعت نوپای فولاد کشور ما یقیناً^{۱۱} نمی تواند خود را از آن مستغنی بداند.

شرایط کشور ما

از آنجا که بهترین راه برای کسب دانش فنی انجام تحقیقات علمی و صنعتی است، لذا به وضوح می توان انجام تحقیقات پیرامون موضوعات نو تحقیقاتی مطرح شده در این مقاله راحتی در شرایط خاص کشور ما لازم دانست. البته عناوین تحقیقاتی دیگری مانند کاربرد انرژی های هسته ای در صنعت فولاد نیز وجود دارند که به دلیل محدودیتهای موجود، شاید کار در مورد آنها در شرایط حاضر میسر نباشد. اما سوزه هایی که در ارتباط مستقیم با مسایل مبتلا به حال و آینده صنعت فولاد در کشور هستند مانند ذوب و تصفیه، ریخته گری و نورد کنترل کیفیت و مدیریت فنی و اقتصادی، همگی دارای اهمیت خاص بوده و تحقیق در مورد آنها اجتناب ناپذیر به نظر می رسد. به خصوص که کار پژوهشی در زمینه فرآیندهای نو نه تنها می تواند به رشد استعدادها و قوای خلاقه محققین و دانش پژوهان منجر شود، بلکه ممکن است نتایج اقتصادی شمر بخشی را نیز به دنبال داشته باشد.

۱. سنسورهای حرارتی

اندازه گیری دمای فلز مذاب، به کمک ترموکوپل های موجود به سادگی در هر زمان امکان پذیر است. لکن به دلیل ضرورت تعیین پیوسته درجه حرارت، موادی که بتوانند تحمل دماهای بالا را برای مدت طولانی بنمایند، به شدت مورد نیاز صنایع فولاد می باشند. به علاوه لازم است تحقیقاتی پیرامون نحوه پیوند سنسورهای حرارتی با تکنیک دیجیتال به منظور اعمال روشهای کنترل اتوماتیک در صنایع تولید فولاد صورت گیرد. به خصوص که با ورود سیستم های بسیار سریع تجزیه و تحلیل اطلاعات از قبیل میکروپروسور، مینی کامپیوتر، میکرو کامپیوتر، سوپرمینی، سوپر مایکرو و حتی سوپر کامپیوتر، تحولات عظیمی در خصوص نحوه اعمال شیوه های کنترل خودکار بر فرآیندهای تولید فولاد، میسر گردیده است.^{۲۵}

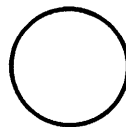
۲. اندازه گیری پتانسیل اکسیژن

اگر چه اندازه گیری پتانسیل اکسیژن فلز مذاب بوسیله سنسورهای اکسیژن Oxygen Sensors در هر لحظه امکان پذیر است،^{۲۸} اما تعیین محتوای اکسیژن موجود در فولاد مذاب در صورتی که توسط آلومینیوم اکسیژن زدایی شده باشد، به آسانی میسر نیست. لذا کار تحقیقاتی به منظور ساختن وسیله ای برای شمردن تعداد آخال های موجود در فلز مذاب، هم اکنون در دانشگاه مکگیل McGill در حال انجام می باشد.^{۲۶} بدیهی است تشدید فعالیت های تحقیقاتی در این خصوص به دلیل نیاز روز افزون حتماً^{۱۱} ضروری خواهد بود.

۳. تعیین آنالیز کامل فلز مذاب

امروزه فعالیت های تحقیقاتی زیادی به منظور ابداع شیوه های برای تعیین مستقیم آنالیز شیمیایی فلز مذاب در جریان است.^{۲۶} اهمیت نتایج این فعالیتها، به خصوص با افزایش نیاز صنعت به فولادهای فوق تمیز (جدول ۲)، به خوبی آشکار می گردد. دستیابی به نتیجه مطلوب در این فعالیتها، بدون شک تحولات عظیمی را در صنعت ذوب و تصفیه فولاد به دنبال خواهد داشت.

نیاز به تحقیق در مورد مدیریت صنعتی و کنترل فرآیند به ویژه با توجه به شرایط خاص کشور ما ، به منظور افزایش بازدهی صنایع تولید فولاد ، بسیار ضروری به نظر می‌رسد . همچنین در زمینه مسائل انسانی و اجتماعی واحدهای تولیدی ، هنوز نکات مبهم فراوانی وجود دارد که باید روی آنها تحقیق و بررسی به عمل آید . به نظر می‌رسد تحقیق در خصوص روشهای کاهش وزن ، بهبود خواص مکانیکی و افزایش مرغوبیت در شرایط حاضر از اولویت بسزائی برخوردار است . چرا که تقلیل ذخایر طبیعی مواد ، ما را ناگزیر به سمت سیاست کاستن از وزن در مقابل حفظ خواص مطلوب ، سوق می‌دهد . به این دلیل ، انجام فعالیتهای تحقیقاتی در خصوص فولادهای ماورا ، تمیز و فولادهای میکرو آلیاژی پر استحکام توصیه می‌گردد .



منابع

1. Mc Aloon: *I & SM*, Dec. 1986, 10–14.
2. Miller: *I & SM*, Dec. 1984, 28–31.
3. IISI – 15: *I & SM*, Dec. 1981, 36–38.
4. Unger: *Metallurgical Plant and Technology*, 2, 1985, 35–41.
5. Szekely: *Met. Trans. B*, 1980, 353–371.
6. Hageman: *I & SM*, Feb. 1985, 35–41.
7. Paxton: *Electric Furnace Proceedings*, 42, 1984, 3–5.
8. Iverson: *Electric Furnace Proceedings*, 42, 1984, 7–8.
9. Bradford: *Electric Furnace Proceedings*, 42, 1984, 9–12.
10. Mclean: *I & SM*, Feb. 1985, 17–21.
11. Queneau: *JOM*, Feb. 1985, 59–64.
12. Apelian: *JOM*, Feb. 1985, 65–68.
13. Koros: *I & SM*, Dec. 1986, 21–25.
14. Szekely: *I & SM*, Dec. 1979.
15. Ohnishi, et. al: *I & SM*, Feb. 1985, 29–34.
16. Fruehan: *Ladle Metallurgy Principles and Practices*, ISS AIME, 1985.
17. Fruehan: *JOM*, Mar. 1985, 50–54.
18. Yokoyama, et. al: *I & SM*, Sep. 1986, 35–40.
19. Machner, et. al: *I & SM*, April. 1986, 15–18.
20. Tzavaras and Brody: *JOM*, Mar. 1984, 31–37.
21. Upfron: *I & SM*, Dec. 1986, 1.
22. *I & SM*, May. 1984.
23. Schlatter: *Electric Furnace Steelmaking*, ISS AIME, 175–189, 1985.
24. Mitchell: *Electric Furnace Steelmaking*, ISS AIME, 191–236, 1985.
25. Esterling: *JOM*, Oct. 1984, 22–25.
26. Koros: *I & SM*, Dec. 1986, 21–25.
27. Miller: *I & SM*, Oct. 1984, 20–23.
28. Turkdogan and Fruehan: *CIM Quarterly*, II, 1972, 371–379.