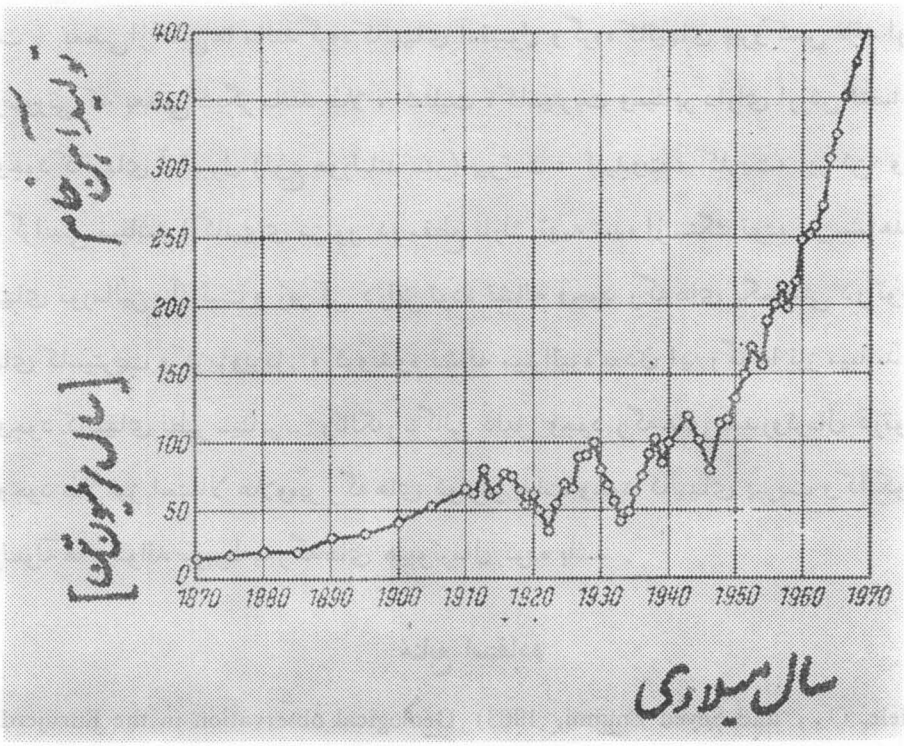
روند تکاملی روش‌های متالورژی (تولید فولاد)

نوشته‌ی :

ناصر توحیدی

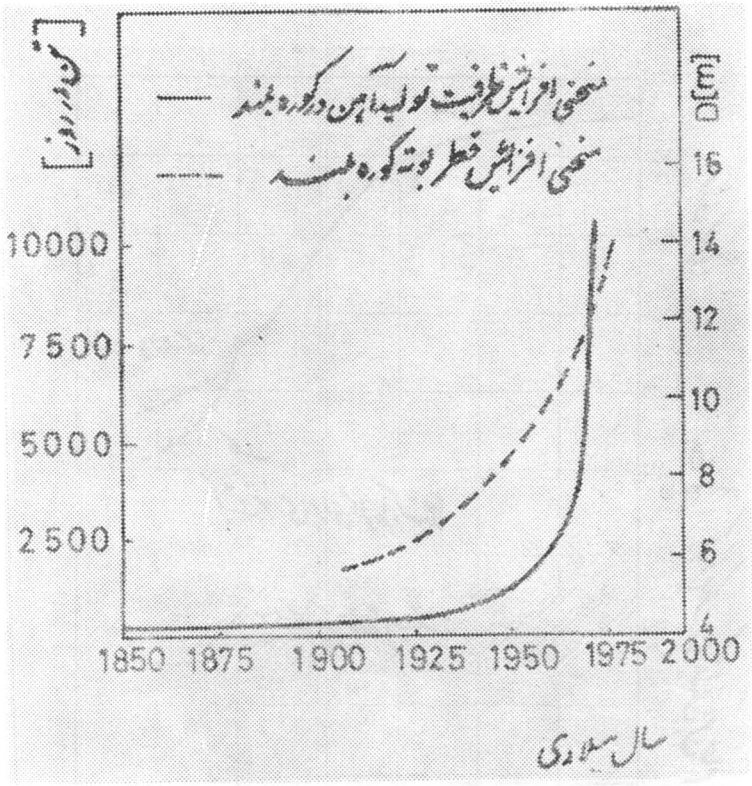
استادیار گروه مهندسی متالورژی و گداز فلزات دانشکده فنی

بعلت اهمیت صنعتی آهن و آلیاژ های آن ، کاربرد و نتیجتاً تولید آهن روز بروز افزایش مییابد. شکل ۱ افزایش تولید آهن خام را در دنیا نشان میدهد. تولید آهن خام تا بامروز بطور کلی در کوره بلند انجام میگیرد. برای مراحل بعدی پروسه تصفیه چدن (آهن خام =Pigiron) هم اکنون روشهای



شکل ۱ ـ منحنی افزاتش تولید آهن خام در دنیا.[۱]

(Martin—Siemens) Ms و (Lanz—Donawite) LD از همه متداول تراست. مهندس متالورژی با بهبود بخشیدن بروشهای متالورژی میزان تولید را افزایش داده و از انرژی مصرفی میکاهد و بدین وسیله بازده تولید، را افزایش میدهد. دراین زمینه درگذشته موفقیت‌های چشم گیری در تمام روشهای متالورژی نتیجه گردیده‌است. درشکل ۲ افزایش میزان تولید آهن خام و همچنین گسترش قطر بوته کوره بلند بصورت شماتیک آورده شده است. افزایش تولید آهن خام تابع فاکتورهای زیادیست که دراین مقاله از ذکر آنها خودداری میورزیم.



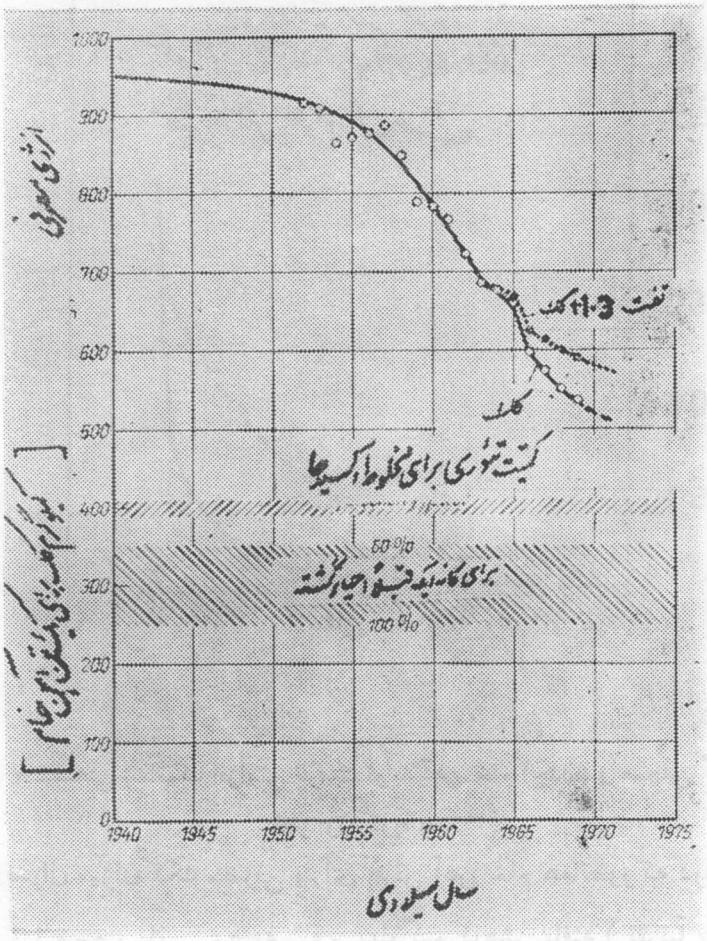
شکل ۲ ـ منحنی شماتیک افزایش ظرفیت تولید آهن خام (چدن) و همچنین گسترش قطر بوته کوره بلند[۲۳].

در آلمان فدرال میزان کک مصرفی برای هرتن آهن خام همانطورکه درشکل ۳ رسم گردیده در بین سالهای ۱۹۵۰ تا ۱۹۶۹ از ۹۴۰ به ۵۴۰ کیلوگرم کاهش یافته (تقریباً ٪۴۰) و هنوزهم امکان صرفه‌جوئی بیشتر با بارگیری کوره بلندتوسط کانه هائیکه‌قبلا باروشهای دیگرازجمله احیاء مستقیم احیاء گشته‌اند عملی میباشد (شکل ۳).

مصرف هیدروکربورها درکوره بلند برای تولید آهن اسفنجی همانند سایر مصارف آن روبافزایش است. شکل ۴ میزان‌تغییر انواع انرژی‌های‌مصرفی درایالات متحده آمریکا را نشان میدهد. ملاحظه‌میگردد که روز بروز میزان مصرف ترکیبات هیدروکربورها (C—H) افزونتر میگردد.

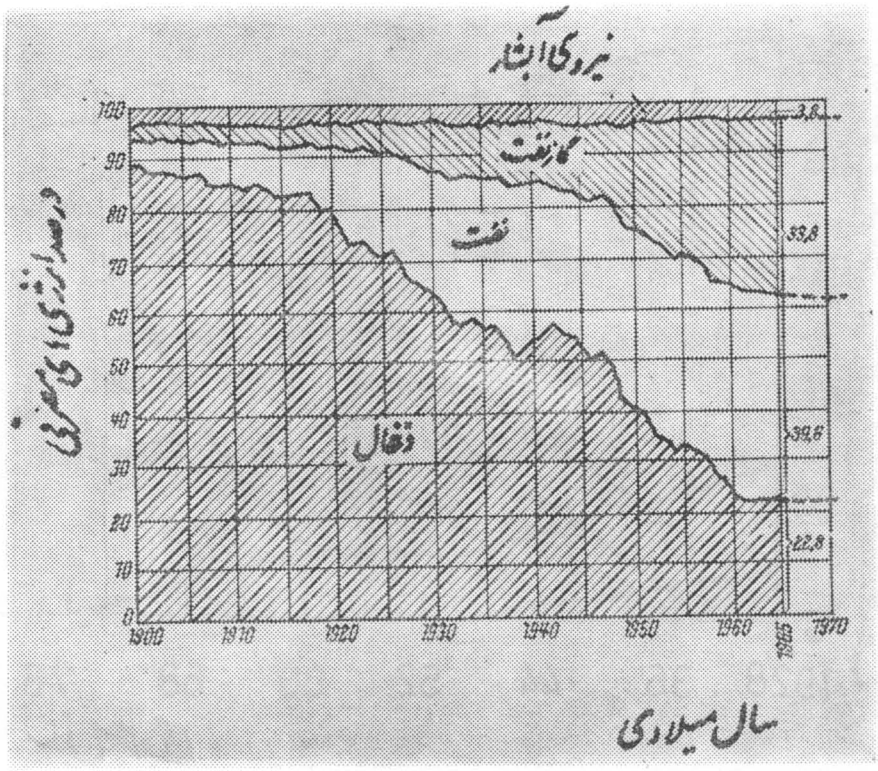
میدانیم که میتوان بجای قسمتی از کک، انرژی های دیگری را در کوره بلند بکار برد (تقریباً ٪ ۲۰). امروز نیز ترکیبات هیدرو کربورها را بوسیله دهنده‌ها در کوره بلند وارد میکنند. کاربرد بیشتر این ترکیبات از ناحیهٔ لوله های دم امکان پذیر نبوده وبایستی درناحیه‌ای از کوره بلند که دمای آن درحدود ۱۰۰۰ درجه سانتیگراد است دمیده شود.

از این ترکیبات در احیاء مستقیم گونه های مختلف گانه اکسیدهای آهن که بصورت پودر، پلت (تیله =Pellet) ، کلوخه و غیره میباشند میتوان استفاده کرده که بحث در مورد آن خارج از امکانات این مقاله میباشد.



شکل ۳ - منحنی کاهش میزان کک مصرفی درکوره بلند برای هرتن آهن خام (چدن) در آلمان فدرال[۴].

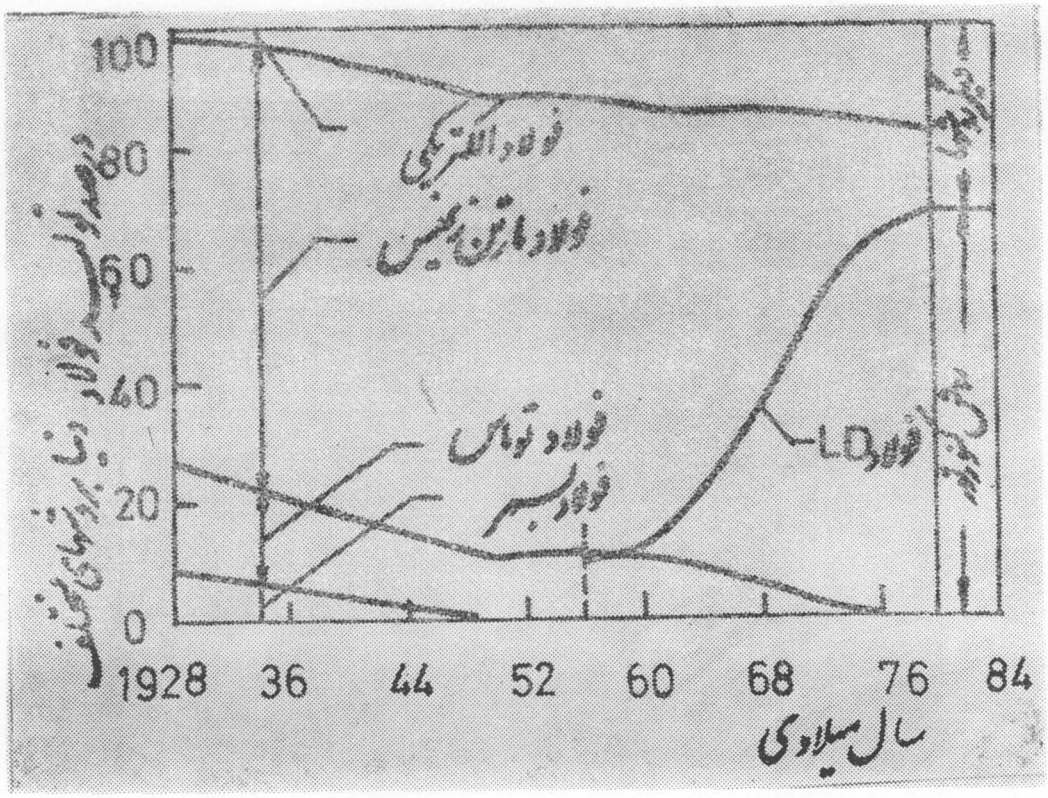
گذشته ازاین مهندس متالورژی درمراحل مختلف روش های متالورژی ازکانه‌آرائی گرفته تاتولید فولاد ، امکانات متعددی برای بهبود بخشیدن و نتیجتاً اقتصادی کردن روش داراست . بدون شک روشهائیکه بازده بیشتری داشتهٔ و مقرون بصرفه باشند ، روزبروز جایگزین دیگر روشها میگردند . همانطورکه شکل ۵



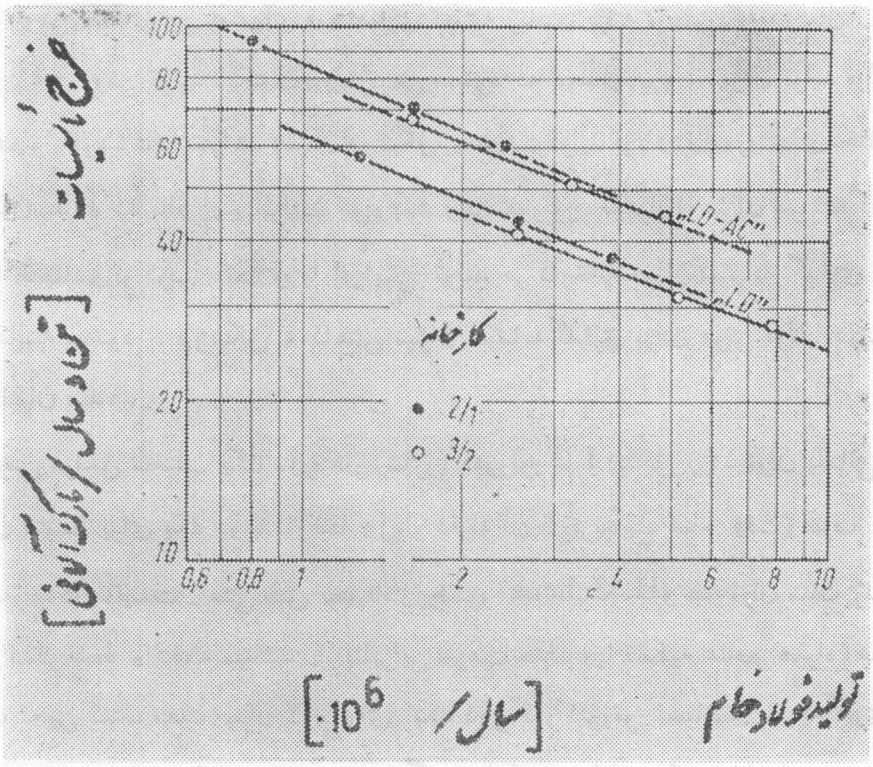
شکل ٤ - منحنی های تغییرات انرژی مصرفی در ایالات متحده آمریکا[1].

نشان میدهد ، روش LD از بین روشهای فولادسازی توسعه زیادی یافته ، بطوریکه در سال ۱۹۶۰ درحدود $\frac{1}{3}$ فولاد دنیا با این روش تولید میگشت. پیش بینی میشود که درسال ۱۹۸۰ میزان تولید فولاددر کنورتور LD به $\frac{2}{3}$ محصول فولاد دنیا خواهد رسید. در شکل ٥ درصد تولید فولاددنیابه روشهای مختلف آورده شده است. تجربه نشان میدهد که باافزایش ظرفیت کوره بلند و یا کنورتور ، میتوان از میزان سرمایه گذاری کاسته و نتیجتاً تولید را اقتصادی تر کرد. بعلاوه با افزایش تولید هر کارخانه میزان سرمایه گذاری لازم برای هر تن فولاد نیز کاسته میشود. در شکل ٦ کاهش میزان سرمایه گذاری برای هرتن فولاد درسال رابرحسب تولید کارخانه نشان میدهد.

باابررسی مراحل مختلف یک دوره کار (شارژ) کنورتور LD (شکل ۷) میتوان بآسانی دریافت که از ۳٦ دقیقه زمان متوسط برای یک دوره کار فقط ۱۲٫٥ دقیقه آن (تقریباً $\frac{1}{3}$ تمام وقت) صرف دمش ، یعنی برای مبادله سازنده ها کافیست. حتی طبق تحقیقات پرفسور H. Schenk و همکاران مدت زمان لازم برای حذف کربن و فسفر فقط ٥ دقیقه میباشد. بنابراین سرعت حذف ویا تصفیه عناصر همراه آهن در مرحلهٔ اکسیداسیون ، تعیین کننده مدت زمان لازم برای یک دوره کار کنورتور نمیباشد. نتیجه گیری که میتوان ازبررسی کنورتورهای مختلف با ظرفیت های متفاوت گرفت (شکل ۸) اینستکه زمان های غیر تولیدی مثلاً

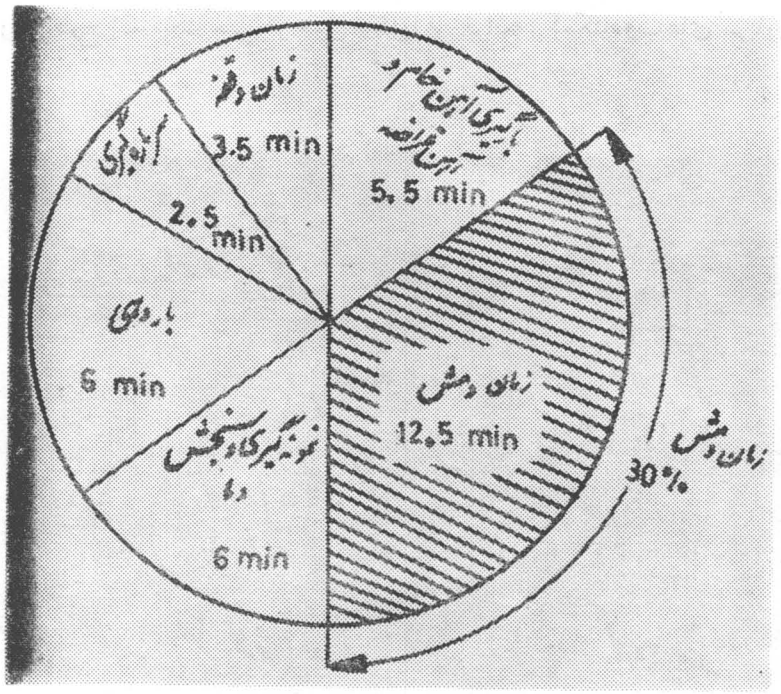


شکل ٥ ـ درصد تولید فولاد دنیا به روشهای مختلف[٤] .

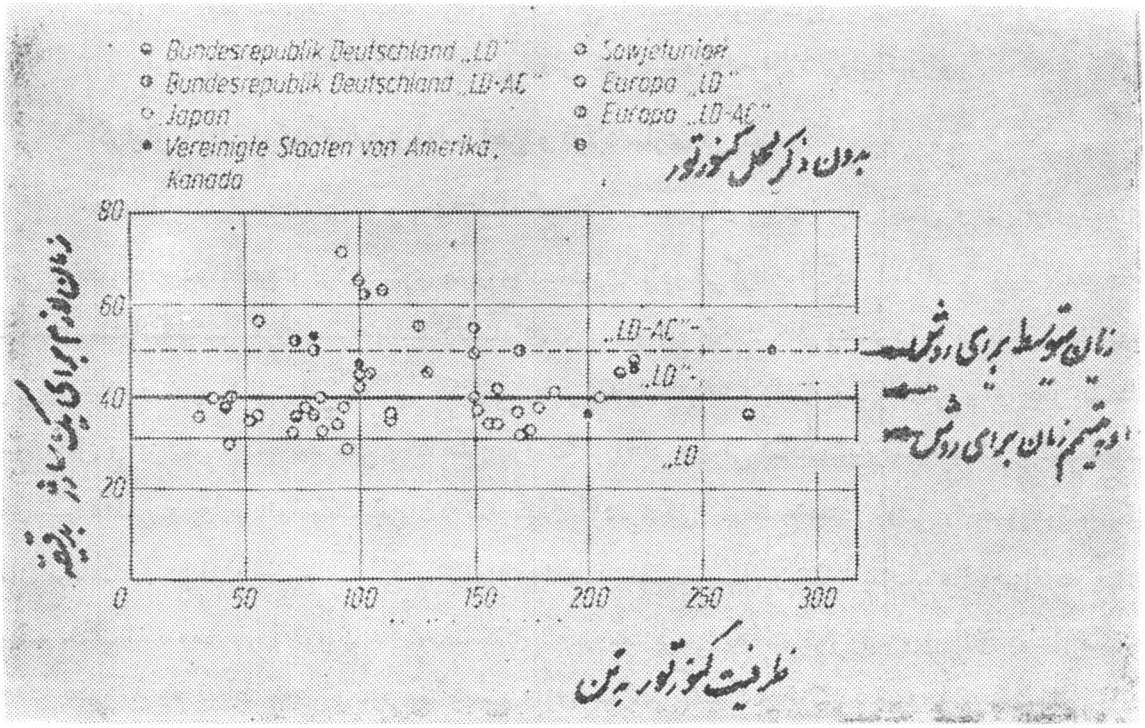


شکل ٦ ـ تغییرات میزان سرمایه گذاری برای هرتن فولاد درسال[٤] .

برای بارگیری ، نمونه گیری ، سنجش دما ، سرباره گیری ، باردهی وغیره تابع گنجایش کنورتور نمیباشد .
درشکل ۸ زمان متوسط لازم برای کنورتورهای مختلف دنیا که بروش LD ویا LD—AC کار میکنند ، گردآوری شده است .

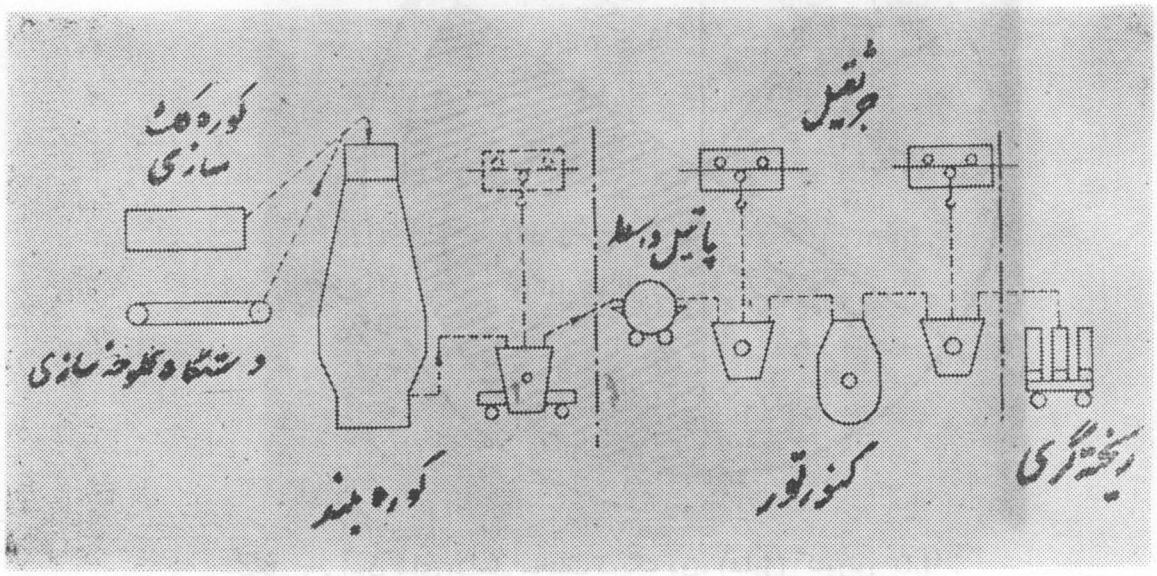


شکل ۷ ـ زمان برای مراحل مختلف دریک دوره (شارژ) کنورتور LD[۴] .



شکل ۸ ـ زمان لازم برای یک دوره کنورتور LD ویا AC ـ LD برحسب ظرفیت آن[۴] .

همانطورکه ازشکل ۷ نتیجه گردید ، زمان های غیر تولیدی در مرحله تصفیه آهن خام تقریباً به $\frac{۲}{۳}$ تمام وقت لازم دریک دوره کار میرسد . از طرف دیگر نگاهی به روند کار یک کارخانه ذوب آهن از دستگاه کلوخه سازی تا دستگاه ریخته گری فولاد ، رل عمده حمل و نقل فرآورده‌های میانی را مشخص میکند (شکل ۹) .دراین طرح شماتیک حتی از حمل ونقل آهن قراضه، کمک‌ذوب‌های سرباره‌وسرباره صرفنظر گردیده است.

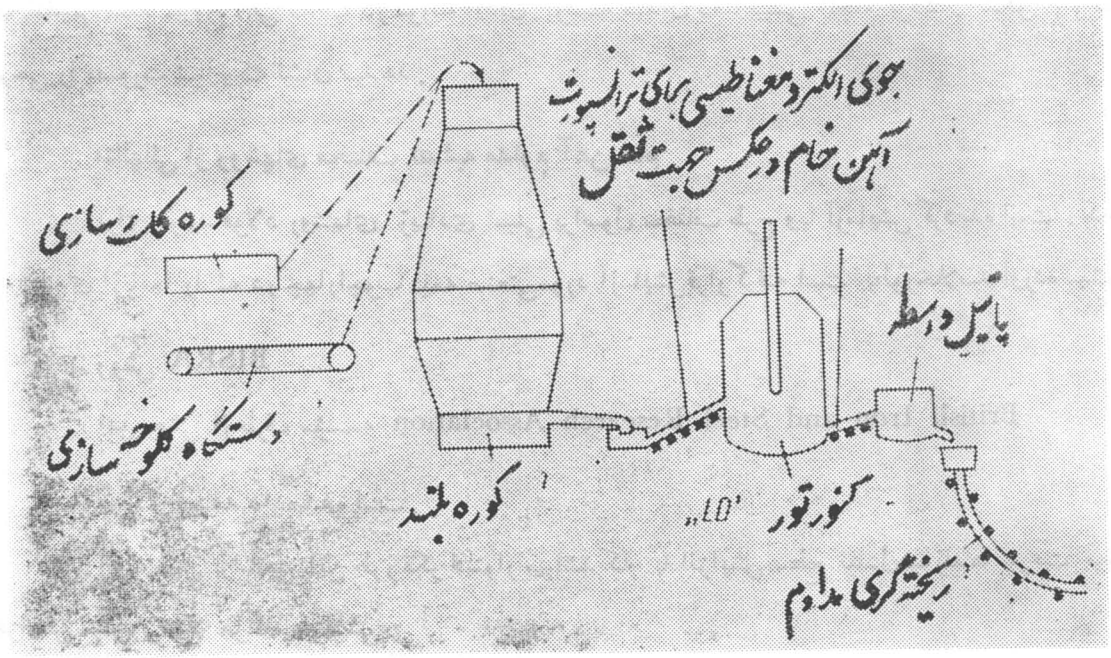


شکل ۹ - روند شماتیک کار یک کارخانه ذوب آهن از دستگاه کلوخه سازی تا دستگاه ریخته گری فولاد براساس تولید آهن خام (چدن) بروش کوره بلند و تولید فولاد بروش کیورتور٤ .

گرایش روندکارکارخانه‌های‌ذوب آهن و فولاد سازی در آینده

همانطورکه از شکلهای ۷ و ۹ ملاحظه گردید ، مدت زمان زیادی برای حمل و نقل فرآورده‌های میانی درکارخانه ذوب‌آهن و فولاد سازی ضروری میباشد. بادرنظرگرفتن اینکه با افزایش‌تولید ، متدهای اقتصادی میتوانندبیشتر مقرون‌بصرفه‌باشند (شکلهای ۲ ، ۳ و ٦) این اشکال وجود دارد که ظرفیت پاتیلها، توان جرثقیلها و غیره را نمیتوان بدلائل تکنیکی بطور دلخواه گسترش داد. روش اساسی برای حل مسئله حمل ونقل و افزایش‌بازده‌تولید حتی با کاهش ظرفیت کوره‌هادرصورتی امکان پذیر میباشدکه روندعملکرد-های غیر دائمی و روابط آنها بیک جریان‌دائمی مبدل گردد شکل ۱۰ طرح چنین روشی را بصورت شماتیک نشان میدهد. دراین طرح تماسی پاتیلهای واسطه جهت حمل و نقل سازنده‌ها وفراورده های سیستم حذف شده ومحصول کوره بلند توسط جوی الکترومغناطیسی به کنورتور رفته و از آنجا بعد از تصفیه مجدداً بطور مداوم توسط جوی الکترو مغناطیسی وارد دستگاه ریخته گری فولاد شده و بصورت شمش خارج میشود.

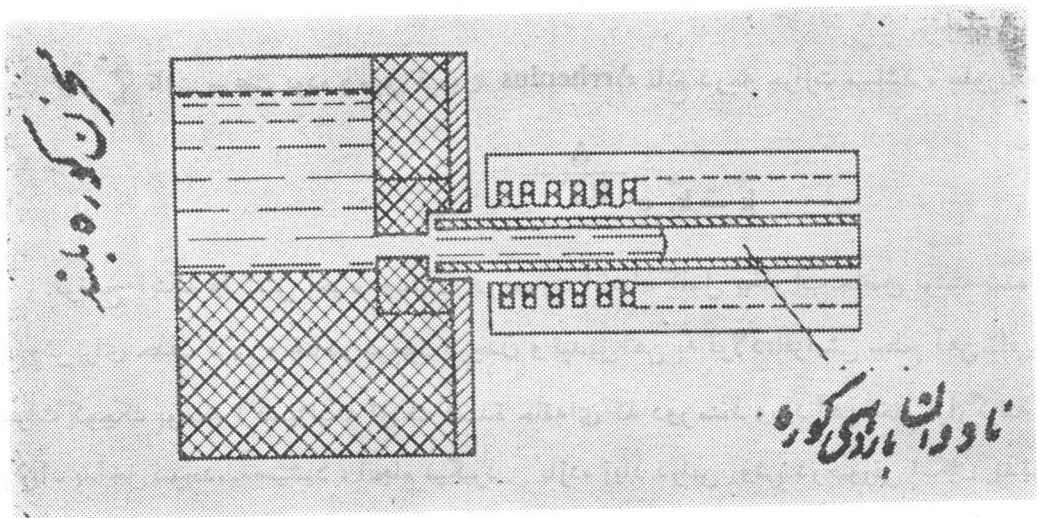
این طرح کلی میتواند روش ایده آلی برای تولید فولاد بصورت مداوم براساس احیاء گانه کلوخه‌ای آهن درکوره بلند و تصفیه آن در کنورتور باشد.



شکل ۱۰ - طرح شماتیک عملکردهای عمده از دستگاه کلوخه ساز تا ریخته گری مداوم فولاد براساس تولید آهن خام بروش کوره بلند و تولید فولاد بروش کنورتور LD بصورت دائمی[۴].

درقسمت دوم این مقالهٔ برتری روش مبادله سازنده‌ها درصورت جاری بودن فازها نسبت به متد فعلی تصفیهٔ، بررسی و تجزیه و تحلیل خواهد شد[۵].

براساس محاسباتیکه انجام گرفته، درصورت ثابت نگهداشتن میزان تولید با کاهش ابعاد (گنجایش) دستگاهها، میتوان میزان سرمایه گذاری را تا $\frac{1}{3}$ کاهش داد.



شکل ۱۱ - طرح دستگاه کنترل کننده میزان خروج آهن خام درکوره بلند بوسیله میدان مغناطیسی[۴].

برای نیل به این هدف طرحهای بسیاری عرضه‌شده و آزمایشهای زیادی نیز انجام گردیده است . از جمله برای خارج کردن آهن خام (چدن) از کوره بلند بصورت مداوم (خود کار) پیشنهادی شده که بستن ویا تنظیم منفذ خروج آهن مذاب درصورت ایدال بوسیله میدان مغناطیسی انجام گردد . شکل ۱۱ چنین طرحی را بصورت شماتیک نشان میدهد .

مثالهائی از روشهای مختلف تصفیه مداوم آهن خام

برای تولید فولاد روشهای زیادی مبنی براصول مختلف طرح ویا آزمایش گردیده است . که در زیر چندی از آنها را که در چهاراچوب نیمه صنعتی مورد آزمایش قرار گرفته است بطورخلاصه آورده میشود .

روش BISRA

این روش از طرف مؤسسه British Iron and Steel Research Association

طرح و توسعه داده شده است .

این روش براساس این طرز فکر استوار میباشد که با افزایش سطح تبادل سازندها سرعت مبادله افزایش میابد . مثلا هرگاه واکنش :

$$Fe_{1-x}O + H_2 \longrightarrow H_2O + (1-X)\ Fe$$

از درجه اول فرض شود ، دراین صورت سرعت مبادله سازنده‌ها از چپ براست ($\vec{v}$) متناسب با فشارهیدروژن (P_{H_2}) بوده و مطابق فرمول زیر با سطح سازنده $Fe_{1-x}O$ که ما آنرا با F نشان میدهیم نسبت مستقیم و با حجم محیط واکنش (V) نسبت عکس دارد (البته درصورتیکه سیستم بسته باشد) .

$$\vec{v} = \frac{dP_{H_2}}{dt} = \vec{k}.\ P_{H_2} \cdot \frac{F}{V}$$

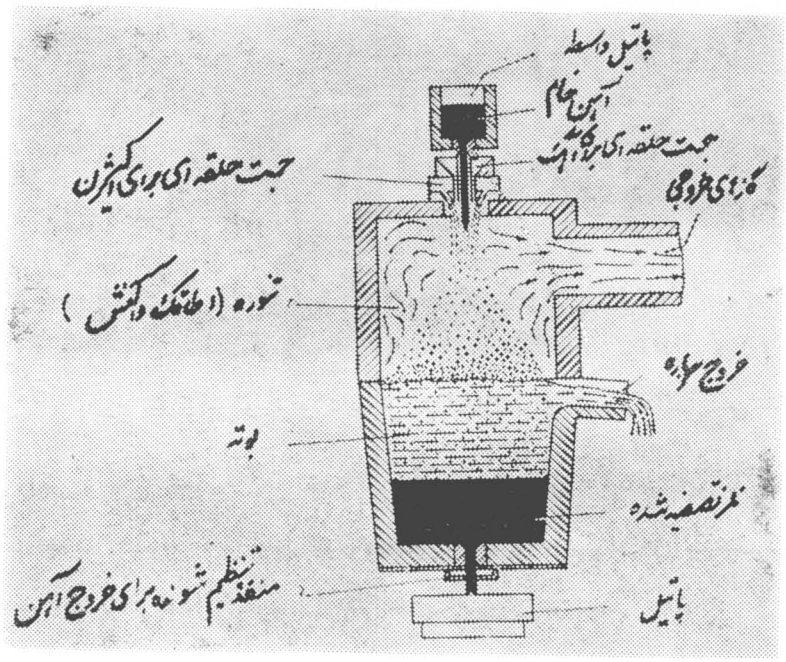
در فرمول فوق $\vec{k}$ ثابت سرعت بوده و طبق فرمول Arrhenius تابع درجه حرارت میباشد ، بطوریکه :

$$\vec{k} = \vec{k}.\ e^{\frac{A}{RT}}$$

توضیح اینکه واکنش احیاء وستیت درصورت انجماد کامل بخار آب حاصل نوشته شده است .

دراین روش برای حذف کربن و عناصر موجود درچدن و تبدیل آهن به فولاد، افزایش سطح آهن خام با تبدیل آن بقطرات کوچک بوسیله اکسیژنیکه ازیک دمندهٔ حلقه‌ای که دور منفذ ورود آهن خام قرار گرفته است و بافشار زیاد بداخل تنوره دمیده میشید ، انجام میگیرد . بازده زیاد دراین روش درصورتی امکان پذیرمیباشد که واکنش درحین سقوط قطرات آهن انجام پذیرد . دراین روش هنوز مشکلاتی وجود دارد که از جمله

میتوان تأخیر در تشکیل گاز CO را نام‌برد. تجربه نشان میدهد که هرگاه اکسیژن همراه با پودر آهک و سازنده‌های دیگر سرباره دمیده شود سوانعی که در راه تشکیل CO وجود دارد کمتر میگردد. مشکل دیگر تلف شدن آهن در اثر اکسیداسیون وخروج‌آن بشکل دود قهوه‌ای ($Fe_{1-x}O$) با گازهای خروجی ازراکتور میباشد. هرگاه عملکرد تصفیه در هنگام سقوط قطرات آهن در تنوره کافی نباشد، در قسمتی ازبوته که فاز مذاب قبل از خروج جمع میگردد، مبادله سازنده‌هاادامه میابد°. دراین صورت بازده راکتور بشدت کاهش میابد. تولید این راکتور فعلا ۲٤ تن درساعت میباشد. وهنوز نمیتوان پیش بینی کرد که گنجایش این راکتور تا چه حد قابل گسترش میباشد. شکل ۱۲ نمای شماتیک این روش را نشان میدهد.

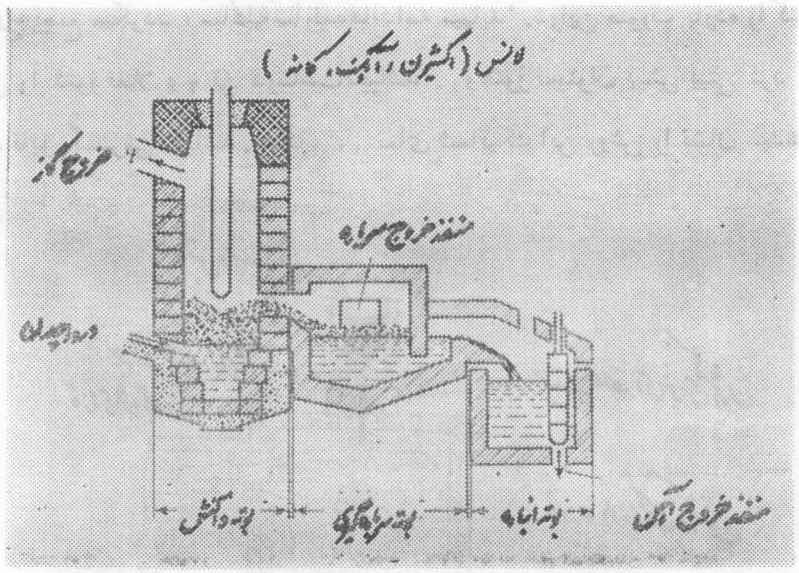


شکل ۱۲ ـ نمای شماتیک تولید فولاد بروش BISRA برای تصفیه دائمی آهن خام(چدن)[٤].

روش IRSID

این روش از طرف موسسه Inistitut de Recherches de La Siederugie Francaise طرح و توسعه پیدا کرده است. در یک راکتور اکسیژن همراه‌آهک از یک دمنده (لانس) در بوته‌ایکه‌آهن خام‌جاریست دمیده‌میشود. براثرفشار اکسیژن‌امولسیونی (مخلوطی از فاز مذاب که در آن اجزاء غیرمحلول از فاز دیگر بصورت معلق وجود داشته‌باشند) از آهن خام، سرباره وگاز تشکیل میگردد، که به بوته‌سرباره گیری‌برای‌تفکیک‌وارد میگردد. سپس برای یکنواخت‌شدن دما ویا درصورت لزوم برای عمل‌دزاکیسداسیون ویا تشکیل آلیاژها به بوتـه بعدی وارد میگردد. گازهای خروجی در این روش نیز مانند LD حاوی ۸۰

درصد اکسید دو کربن میباشد که میتواند درخارج از کنورتور مورد استفاده قرار گیرد. قابل توجه اینکه مصرف آهن قراضه بعنوان عامل کاهش دهنده درجه حرارت درتمام پروسه های دائمی با مشکلاتی توام میباشد، افزایش کانه آهن نیز بدین منظور مقرون بصرفه نیست،اما مصرف آهن اسفنجی باید هنوز مورد آزمایش قرار بگیرد.



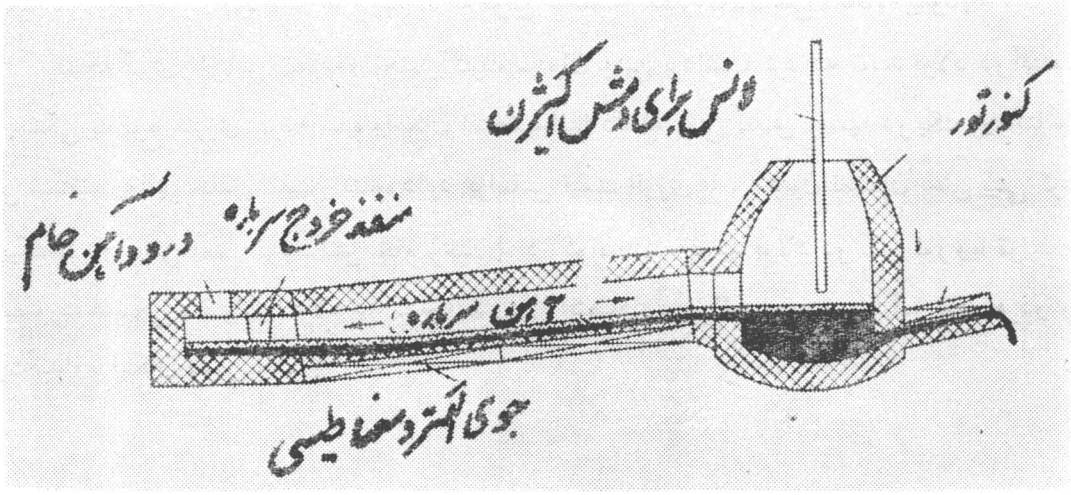
شکل ۱۳ ـ طرح شماتیک تولید فولاد بروش IRSID برای تصفیه دائمی آهن خام (چدن)[۴].

این روش دائمی تصفیه آهن خام تیز مانند روش قبل براساس این طرز فکر استوار است که با افزایش سطح سازنده‌ها بصورت فاز امولسیون وهمچنین جاری بودن فازها، سرعت مبادله تسریع میگردد آنچنانکه بوته دوم فقط برای جدائی سرباره از فلز مذاب ضروری میباشد.

روش مداوم تولید فولاد درصورت جاری بودن آهن خام (چدن) و سرباره در جهت معکوس

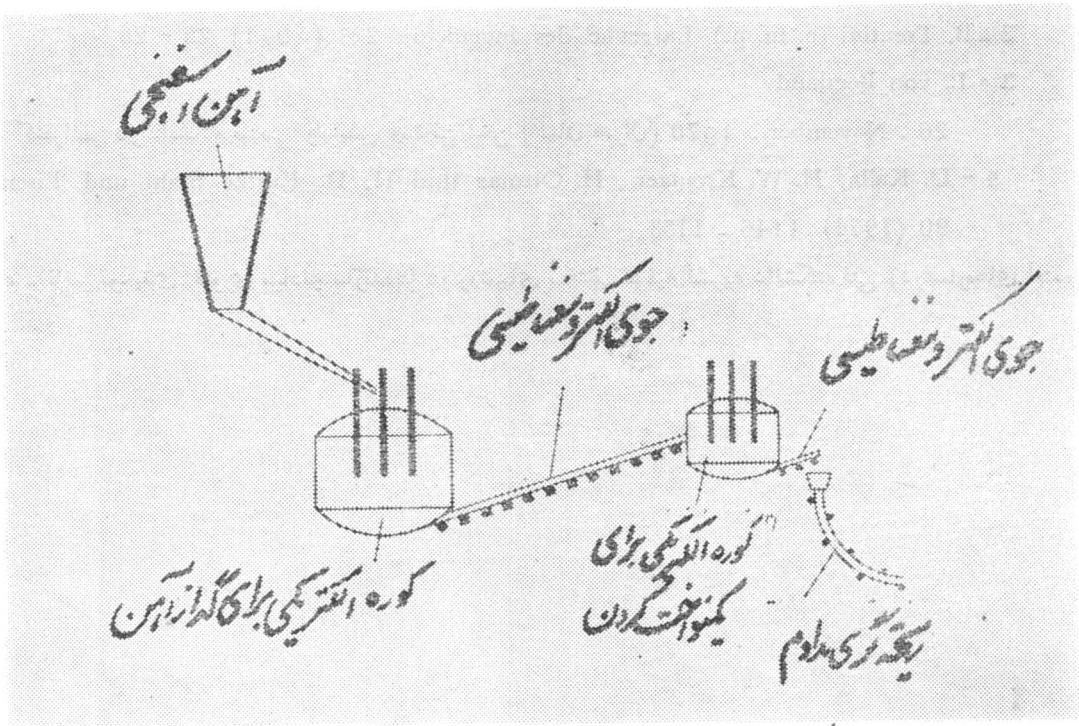
پرفسور H. Schenck وهمکاران براساس محاسباتیکه انجام دادند (مراجعه شود بقسمت دوم این مقاله) پیشنهادی برای تولید مداوم فولاد بروش فوق‌الذکر دادند که طرح شماتیک آن درشکل ۱٤ آورده شده است. دراین روش آهن خام (چدن) به مخزنی وارد گشته بوسیله جوی الکترو مغناطیسی درعکس جهت نیروی ثقل برای تصفیه به کنورتور وارد میگردد. همزمان با آن، سرباره که از آهن غنی میباشد از جوی مذکور در خلاف جهت جریان مییابد، بطوریکه در دراین هنگام مقدارزیادی، فسفر، سیلیسیم منگنز و غیره میتواند بوسیله سرباره حذف گردد. یعنی سرباره در داخل کنورتور (ویا اوایل جوی الکترو مغناطیسی) و آهن خام قبل از ورود به کنورتور (ویادر کنورتور) حاوی حداقل ناخالصیها میباشد، درصورتیکه سرباره وآهن خام در انتهای جوی حاوی حداکثر ناخالصیهامیباشند. قابل تذکراینکه حذف

کربن در کنورتور انجام میگردد. با محاسباتیکه انجام گرفته قابل پیش‌بینی‌است که دراین روش اپتیمم ضریب حذف عناصر همراه آهن امکان پذیرمیباشد[۵].



شکل ۱۴ ـ نمای شماتیک تولید فولاد براساس جاری بودن فازها در جهت معکوس برای تصفیه دائمی آهن خام[۴]. طرح از Steinmetz

طرحهای مختلف دیگر برای تولید فولاد خام براساس پرنسیب های مختلف طرح ریزی شده که ذکر



شکل ۱۵ ـ روش تولید مداوم فولاد از آهن اسفنجی و تصفیه آن در کوره الکتریکی بکمک جوی الکترومغناطیسی[۴].

آنها حتی بصورت مختصر نیز دراین مجموعه‌امان‌پذیر نیست. فقط مادر بالا بیک‌طرح اشاره نمودیم که‌تولید آهن خام بصورت اسفنجی و تصفیه مداوم آن در کوره الکتریکی پیش بینی شده که میتوان از روش‌مبادله سازنده‌ها درصورت جاری بودن فازها درجهت معکوس درجوی الکترومغناطیسی استفاده نمود.

نتیجه گیری: از این تجزیه‌و تحلیل کوتاه میتوان چنین برداشت کرد که تولید فولاد در آینده‌بطور کلی بستگی به نوع انرژی عرضه شده وامکان انتخاب آنها داشته یعنی تلفیق روشها در یک روندمتالورژی بستگی مستقیم به این عامل تعیین کننده دارد. براساس قیمت انرژی‌ها، اکنون نمیتوان پیش بینی کرد که کدامیک از دو روش یعنی تولید آهن خام (چدن) در کوره بلند، تولید فولاد در کنورتور ویا تولید آهن خام بصورت اسفنجی، تولید فولاد در کوره الکتریکی اقتصادی‌تر خواهدبود، حتی اگر روند هردو روش بصورت مداوم امکان پذیر باشد.

مآخذ :

1 - L. von Bogdandy / H. J. Engell The Reduction of Iron Ores Scientific Basis and Technology Spriger - Verlag Berlin / Heidelberg / New York Verlag Stahleisen m. b. H., Duesseldorf 1971

2 - B. Trentini (e. m. p.) La revue des ingenieurs 221 (1971) 25 - 29

3 - L. von Bogdandy

کنفرانس در دانشگاه صنعتی راینیش وسفالن آخن (آلمان فدرال) 1970 . November . 26

4 - U. Kalla, H. W. Kreutzer, H. Ottmar und H. D. Pantke Stahl und Eisen 90 (1970) 1146 - 1153

ه - ناصر توحیدی تئوری مبادله سازنده‌ها در روشهای مختلف‌تصفیه نشریه دانشکده فنی (درشماره‌های آینده)