دیدی کوتاه بر روشهای تولید آهن خام وچدن

نوشته

ناصر توحیدی

دکتر مهندس درمتالورژی و گداز فلزات ـ استادیار دانشکدهٔ فنی دانشگاه تهران

چکیده :

بیش‌از صدسال است که آهن خام و فولاد براساس تولید آهن خام درکوره بلند انجام میگیرد . درسالهای اخیر روشهای دیگری برای احیاء کانه‌های آهن براساس شرایط ویژه کشورها چه از نظر نوع تکنیک کار ، چه ازنظر نوع انرژی عرضه شده وعامل احیاء کننده وبالاخره شکل راکتورهای احیاء کننده ازطرف محققین درمقیاس آزمایشگاهی ویا نیمه‌صنعتی موردتفحص قرار گرفته است . دراین‌مقاله کوشش شده است که کلیه روشهای تولید آهن‌خام وچدن تاآنجا که درمأخذ منتشرشده است ، جمع‌آوری وبصورت‌خلاصه تشریح گردد . ضمناً صورت شماتیک عملکردهای احیاء بعضی‌از روشها نیز طرح گردیده است .

لازم به‌تذکر است که شرایط ویژه بعضی از روشها در روال کار راکتورهائی که عملکرد احیاء درآنها انجام‌میگردد بعلت مخفی نگهداشتن‌روشها ، ازطرف محققین منتشرنشده وبنابراین برای‌نگارنده نامعلوم میباشد . این‌خلاصه‌نویسی لازم‌وضروری‌است چه بدون‌آنها دیدکلی‌نسبت به‌کلیه‌روشهای‌تولیدآهن غیرممکن بنظر میرسد . دراین مقاله سعی شده‌کلیه روشهای تولید آهن ازنظر نوع روش احیاء در راکتوری که درآن واکنش انجام‌میگیرد گروه‌بندی شود . همچنین تقسیم‌بندی‌روشها ازنظر نوع حرکت‌کانه وعامل احیاء‌کننده وبالاخره از دید انرژی ضروری برای عملکرد ذوب واحیاء گروه‌بندی شده است .

امروزه تعداد زیادی روش تولید آهن وجود دارد که میتوان آنها را از دید نامگذاری ، حرکت بارکوره وانرژی عرضه‌شده گروه‌بندی کرد . اگرچه درچهارچوب صنعتی حداکثر روشها از دوازده‌تا تجاوز نمیکند ولی در دهه گذشته تعداد زیادی روش نیمه‌صنعتی ویا آزمایشگاهی مورد آزمون قرارگرفته است .

همگی این روشها براین اساس استوار میباشند که ازکانه طبیعی آهن ، فلز آهن قابل مصرف در صنعت بدست آورند .

هرگاه اختراعاتیکه تابحال به‌ثبت رسیده درمدنظر قرارگیرند ، بیش‌از صد روش تولید آهن وجود دارد که کم‌و بیش بایکدیگر فرق دارند . ازمیان آنها دهها روش هستند که میتوان اقتصادی بودن‌آنها را درآینده براساس ارزیابی قیمت انرژیهای عرضه‌شده پیش‌بینی کرد . در زیر باختصار طرز کار چندروش‌مختلف بررسی میشود تادیدی نسبتاً کلی ، اگرچه ناقص ، به‌متخصصین وعلاقمندان داده شود تا درصورت لزوم ، منابع اصلی آنها پی گیری گردد .

لازم به‌تذکر است که چون ویژه گیهای بعضی‌از این روشها هنوز درمأخذ منتشر نشده ، لذا بیان وطرز کار آنها نارسا میباشد ، ضمناً بصورت شماتیک چند روش که بآنها دسترسی بود جهت مقایسه ترسیم گردیده است .

درجدول ۱ رده‌بندی روشهای تولید آهن‌خام و چدن ازنظر نوع روش در راکتوریکه (محفظه) درآن واکنش انجام می گردد ، آورده شده است .

درجدول ۲ روشهای تولید آهن‌خام وچدن براساس نوع حرکت اجزاء کانه تغلیظ شده (کلوخه ، تیله ، گندله ، ونرمه کانه) وعامل احیاء کننده (ذغال ، کک ، گاز) در راکتورگروه‌بندی شده است .

درجدول ۳ تقسیم‌بندی روشهای تولید براساس کاربرد عامل احیاء کننده و عامل تأمین کننده انرژی واکنش میباشد .

لازم بتذکر است که دربعضی‌از روشها مستقیماً فولاد خام ویاحتی آلیاژهای دلخواه تولیدمیگردد .

جدول ۱- رده‌بندی روشهای تولید آهن خام و چدن از نظر نوع روش و رآکتوری که در آن واکنش انجام می‌گیرد

گروه روش	اسم روش	درصد کاهش اکسیژن بار کوره
۱۰۰۰ — کوره تنوره‌دار		
۱۱۰۰ — کوره تنوره‌ار دستی (بادی)	۱۱۰۱ — کوره بلند	۹۰
	۱۱۰۲ — کوره تنوره‌دار کوتاه (پست) بابارد انه‌ریز	۸۰
	۱۱۰۳ — » » بامخلوط بار پرس شده	۸۰
	۱۱۰۴ — » » بابارگیری جامد ازکوره	۸۰
۱۲۰۰ — کوره تنوره‌دار الکتریکی	۱۲۰۱ — » » الکتریکی کوتاه (پست)	۸۰
	۱۲۰۲ — کوره بلند الکتریکی	۸۵
	۱۲۰۳ — Elecktrokemisk	۷۰ — ۲۰
	۱۲۰۴ — Strategic — Udy	۷۰ — ۲۰
	۱۲۰۵ — Dwigt — Lloyd — Mac — Wane	۵۰ — ۲۰
	۱۲۰۶ — Orcarb	۵۰ — ۲۰
	۱۲۰۷ — Lubatti	۷۰
	۱۲۰۸ — Tohok Denka Kogya	۸۰
۱۳۰۰ — کوره تنوره‌دار گازی	۱۳۰۱ — Wiberg	۹۵
	۱۳۰۲ — Finsider	
	۱۳۰۳ — Lurgie — Galluser	
	۱۳۰۴ — روش نروژی H — Iron (Jenseu)	
	۱۳۰۵ — روش رومانی (V R) I. C. E. M	۸۵
	۱۳۰۶ — Purofer (HOAG)	۹۵
	۱۳۰۷ — روش Mariencek	۹۸ — ۹۵

بقیه جدول ۱

گروه روش	اسم روش		درصد کاهش اکسیژن بار کوره
۱۳۰۰ — کوره تنوره‌دار گازی (بقیه)	Kamijima	— ۱۳۰۸	۹۵
	Hitachi	— ۱۳۰۹	۸۰
	Alikokan — Stcep Rock	— ۱۳۱۰	۷۵
	Armoc	— ۱۳۱۱	—
	Midrex	— ۱۳۱۲	--
۱۴۰۰ — کوره‌تنوره‌دار با گرم کردن غیرمستقیم	Echeverria	— ۱۴۰۱	۹۲ — ۹۰
۲۰۰۰ — بسترسیار	Travelling (O. Chain) grate		
۲۱۰۰ — بسترهای مشتعل (برشته Roast) سیار	Dwight - Lloyd - Mac Wane	— ۲۱۰۱	۸۰ — ۵۰
	ORF (Ontario-Research Found)	— ۲۱۰۲	۱۰۰
	A. C. Mc Kee	— ۲۱۰۳	۶۰
	ACAR	— ۲۱۰۴	۶۰ — ۲۰
	Sovjet Straigt Grate	— ۲۱۰۵	۸۰
۲۲۰۰ — کوره‌های تونلی	Hoganäs	— ۲۲۰۱	۱۰۰
	Heat Fast (Surface Combustion)	— ۲۲۰۲	۹۰ — ۶۰
	Mc Dowell — Wellman	— ۲۲۰۳	۸۰ — ۶۰
۳۰۰۰ — اطاقک (Kammer) های واکنش	HYL (Hojalata Y Lamina)	— ۳۱۰۱	
	Norsk Staat	— ۳۱۰۲	۹۵
	Madras	— ۳۱۰۳	۹۵
	Sovjet Batch	— ۳۱۰۴	۸۰ — ۸۷

بقیه جدول ۱

گروه روش	اسم روش	درصد کاهش اکسیژن‌بار کوره
۴۰۰۰ — راکتور قرع مانند(Retorte)		
۴۱۰۰ — روش بوته‌ای	۴۱۰۱ — کوره حلقه‌ای Höganäs	۱۰۰
۵۰۰۰ — کوره‌های اجاقی مسطح	۵۱۰۱ — احیاء نهائی De—Sy	۶۰
	۵۱۰۲ — Kellog	۶۰
	۵۱۰۳ — Wieberg	۶۰
۶۰۰۰ — کوره گردان		
۶۱۰۰ — احیاء در بالای دمای سینتر	۶۱۰۱ — Basset	۱۰۰
	۶۱۰۲ — Krupp—Renn	۷۰
	۶۱۰۳ — Azincourt	۹۵
۶۲۰۰ — احیاء در زیر دمای سینتر	۶۲۰۱ — روش R. N. (Republic Steel - National Lead)	۹۰
	۶۲۰۲ — آهن اسفنجی Krupp	۹۰
	۶۲۰۳ — K. A. (Kalling — Aversta)	۹۰
	۶۲۰۴ — Kalling—Dommarvet	۹۰
	۶۲۰۵ — پیش‌احیاء بروش Elektrokemisk	۸۰ — ۳۰
	۶۲۰۶ — Strategic — Udy	۸۰ — ۳۰
	۶۲۰۷ — Orcarb	۸۰ — ۵۰
	۶۲۰۸ — US Bureau of Mines (Laramie)	۸۰ — ۵۰
	۶۲۰۹ — Freeman	۹۰
	۶۲۱۰ — کوره گردان آخن (آلمان فدرال)	۹۰
	۶۲۱۱ — SL/RN	۹۰
	۶۲۱۲ — Ugine	۹۵
	۶۲۱۳ — Jawata	۶۰
	۶۲۱۴ — Phelps — Dodge	۸۵ — ۸۰

بقیه جدول ۱

گروه روش	اسم روش	درصد کاهش اکسیژن بار کوره
۶۲۰۰ — احیاء درمادون دمای سینتر (بقیه)		
	۶۲۱۵ — Sovjet Rotary	۸۰
	۶۲۱۶ — Australia BHP	۹۰
	۶۲۱۷ — ACAR	۹۵
	۶۲۱۸ — پیش احیاء بروش De—Sy	۵۰ — ۴۰
	۶۲۱۹ — Tohoku Denka Kogyo	۵۰
	۶۲۲۰ — Stora Rotary	—
۷۰۰۰ — اطاقکهای گردان		
۷۱۰۰ — (طبل های گردان)	۷۱۰۱ — Stûrzelberg	
	۷۱۰۲ — Bouchet Imphy	۹۷ — ۹۴
	۷۱۰۳ — Dored	۸۰
	۷۱۰۴ — Bratton	۸۰
	۷۱۰۵ — Atsumi Fukuda	۸۰
۸۰۰۰ — روشهای فولادسازی	۸۱۰۱ — Jet Smelting	
	۸۱۰۲ — مراحل ذوب بروش Nakajima NF	
۹۰۰۰ — بسترهای سیال (Fluid bed)		
۹۱۰۰ — بسترهای گردباد مانند (Whirl)	۹۱۰۱ — H — Iron	۹۰
	۹۱۰۲ — (روش سابق ERL) Arthur D Littel	۹۴
	۹۱۰۳ — («) Nu — Iron (US Steel	—
	۹۱۰۴ — Republic — Steel	
	۹۱۰۵ — Novofer — Dnia	
	۹۱۰۶ — CO — C	

بقیه جدول ۱

گروه روش	اسم روش	درصد کاهش اکسیژن بار کوره
۹۱۰۰ — بسترهای گردبادمانند (بقیه)		
	Stelling —۹۱۰۷	
	ESSO — FIOR —۹۱۰۸	۹٤
	Futakushi —۹۱۰۹	۸۰
	Nakajima NF مراحل احیاء بروش —۹۱۱۰	۹۰
	LTDR — Fukoku (Low Temp. Dir. Reduction) —۹۱۱۱	۱۰۰
	Dorr — oliver — Fluo Solid Montecatini —۹۱۱۲	۱۰
	HIB (High Iron Briquette) —۹۱۱۳	—
۹۲۰۰ — بسترهای جاری ناپایدار (ناهمگن)	۹۲۰۱ — بسترجاری الکتریکی	۱۰۰
۱۰۰۰۰ — سیکلهای واکنش	۱۰۱۰۱ — ذوب شعله‌ای Syclo — Steel	
	Inland — Steel —۱۰۱۰۲	٦۰
	Ektrop — Vallack —۱۰۱۰۳	٦۰
	Saschio — nogiwa —۱۰۱۰٤	۹۰
۱۱۰۰۰ — اطاقکهای گردباد	۱۱۰۰۱ — احیاء نهائی بروش Vöest	۱۰۰
۱۲۰۰۰ — لوله های قائم (سقوط)	۱۲۰۰۱ — احیاء بروش Vöest	۹٤

تشریح مختصری از :

روشهای تولید آهن خام ، چدن ویافولاد خام

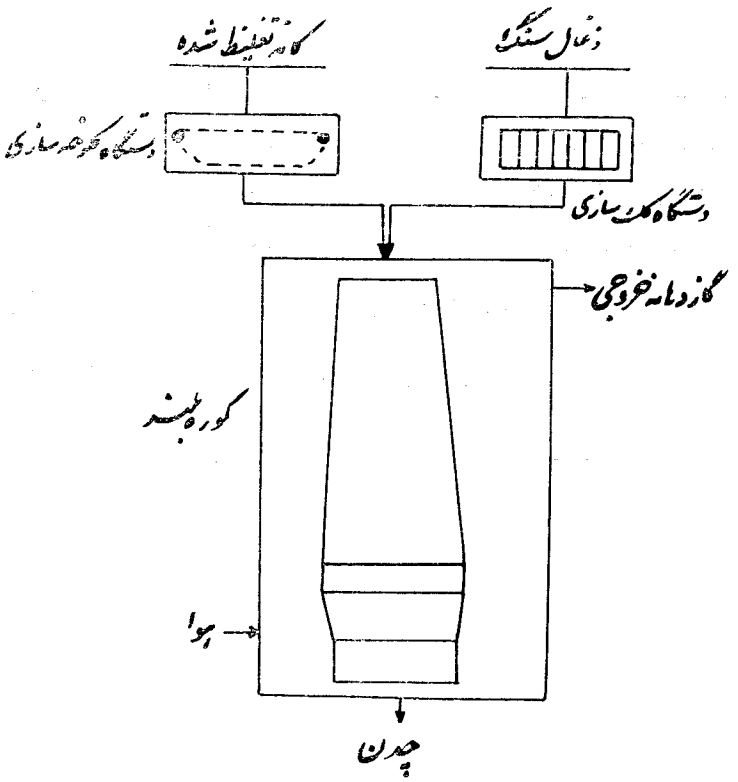
۱۰۰۰ ـ کوره‌های تنوره‌دار

۱۱۰۰ ـ کوره‌های تنوره‌دار دمشی (بادی)

۱۰۱۱ — کوره بلند :

احیاء کانه کلوخه‌ای ، آگلومره ، ویاتیله‌ای با کک ، هوای داغ (۱۴۰۰°c) و سوختهای کمکی

بروش جریان معکوس: بار کوره همراه با کک بعلت سنگینی خود ازدهانه کوره بپائین فرودآمده داغ میگردد. هوای غنی از اکسیژن برخی اوقات همراه هیدروکربورها ازپائین کوره درآن دمیده شده وبا گازهای حاصل ازکک ازپائین ببالا جریان مییابد . بار کوره احیاء شده و ذوب می گردد . ظرفیت این کوره زیاد و ابعاد آن بزرگ است . فرآورده های این روش عبارتست از چدن (آهن خام مذاب) ، سرباره مذاب و گاز دهانه خروجی .



۱۱۰۲ — کوره تنوه‌دار کوتاه (پست) با بار دانه‌ریز

مانند روش پیشین است ولی با ظرفیت کمتر برای سوختهای کم‌ارزش و کانه های دانه‌ریز ، زیرا بعلت کوتاه بودن ارتفاع تنوره ، فشار بار کوره و مقاومت به‌سایش کم‌بوده و کک کم‌ارزش، کافیست. گاز دهانه خروجی این کوره از CO غنی میباشد .

۱۱۰۳ — کوره تنوره‌دار با بار پرس‌شده (Briquette)

مانند روش بالاست ، ولی بطورکلی بارگیری کوره بامخلوطی‌ازکانه و زغال که بصورت بار پرس شده درآورده شده است ، انجام میگیرد که از نرمه کانه ، کمک ذوب‌های دانه‌ریز ، نرمه زغال غیرقابل تبدیل به کک وماده چسبنده‌ای مانند قیر تشکیل شده است . کک‌سازی یا در دستگاه جداگانه ویا مستقیماً درکوره تنوره‌ای درحین فرودآمدن درتنوره انجام می‌پذیرد . گاز دهانه خروجی این کوره نیز غنی میباشد .

۱۱۰۴ — کوره تنوره‌دار کوتاه با بارگیری جامد ازکوره

(Inistitut of Mineral Research Tech. Univ. Michigan)

کوره تنوره‌دار با سه‌ناحیه برای احیاء تیله هائی ازکانه و زغال آنتراسیت مخلوط با کک تـوأم با دمش هوا درجریان معکوس بکار برده میشود . هوا درمنطقه سرد با آهن اسفنجی تبادل حرارت نموده داغ شده و با کک اضافی سوخته وگاز احیاء کننده را تولید می کند . بارکوره درمنطقه پیش گـرم کن با انرژی الکتریکی تا دمای واکنش گرم میگردد . آهن اسفنجی بوسیله جدا کننده مغناطیسی جـداگشته و سوخت اضافی مجدداً مورداستفاده قرار میگیرد .

۱۲۰۰ ـ کوره‌های تنوره‌دار الکتریکی

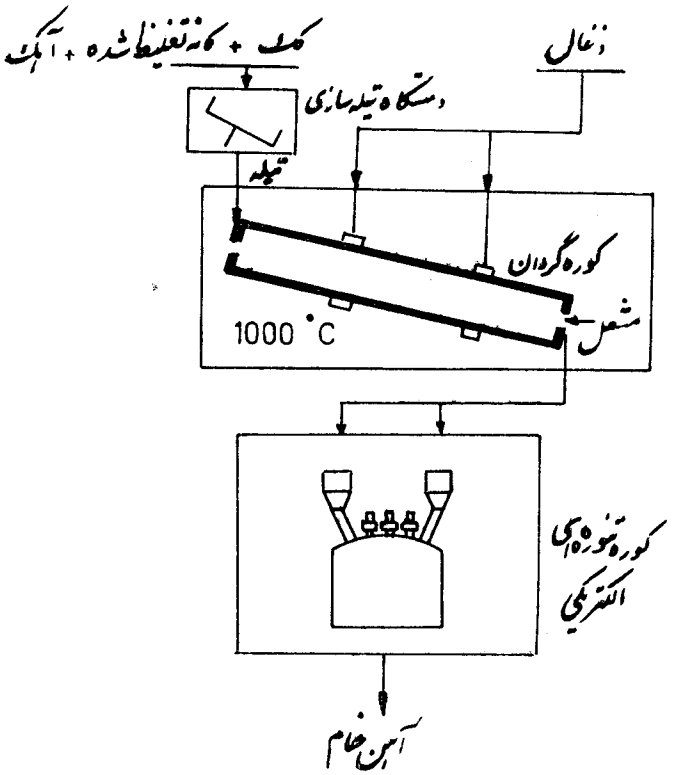
۱۲۰۱ — کوره تنوره‌دار الکتریکی کوتاه (پست)

کوره‌ایست تنوره‌دار باابعاد کوچک برای تولید آهن‌خام مذاب، سرباره مذاب وگاز دهانه‌خروجی غنی‌از CO بوده کـه با انرژی الکتریکی گرم میگردد . ذغـالی که با کانه دانـه درشت بکـار میرود فقط جهت احیاست .

۱۲۰۲ — کوره بلند الکتریکی

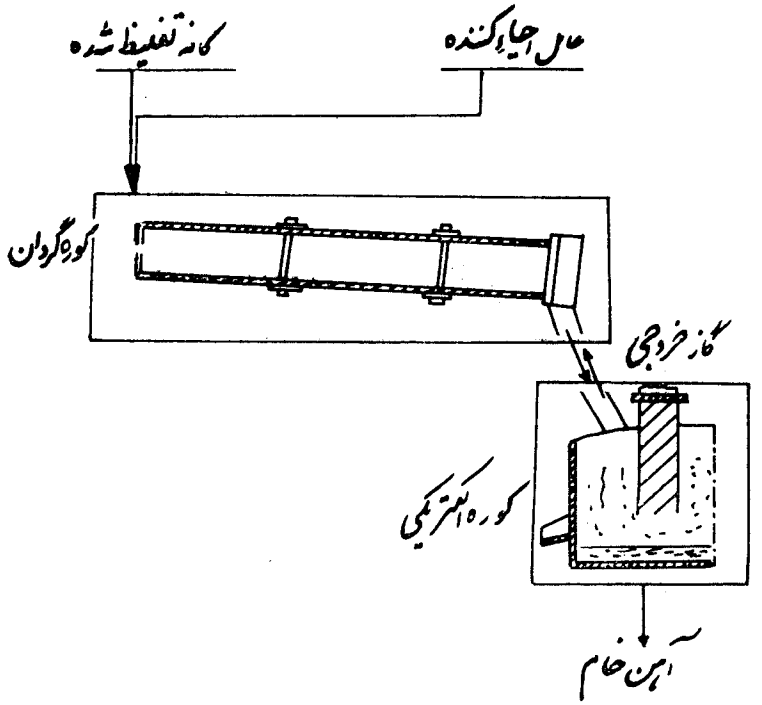
مانند روش بالائی بوده ولی باتنوره بلند تا بهره ازگاز (بازده گاز) برای احیاء بیشترگردد . بوته این کوره برای نصب الکترودها دارای فرم بخصوصی میباشد .

۱۲۰۳ — روش Elektrokemisk



کوره تنوره‌دار کوتاه (پست) الکتریکی با یک نوع سقف مخصوص برای احیاء کانه‌ای که قبلاداغ وقسمتی احیاء شده‌است بکارمیرود. گازی که از دهانه کوره خارج میگردد پس از پالایش، قسمتی از سوخت کوره پیش احیاء را تشکیل می‌دهد. بارکوره بصورت تیله هائیست که ازکانه تغلیظ شده و زغال برای تولید گاز احیاء کننده تشکیل شده است. فرآورده‌های این روش عبارتست از آهن خام مذاب وسرباره مذاب.

۱۲۰۴ — روش Strategic—Udy



کوره تنوره‌دار کوتاه الکتریکی باساختمان مخصوص . داغ شدن بار کوره ، پیش احیاء و کک‌شدن بوسیله گاز خروجی کوره دریک کوره گردان که بامشعل های کمکی داغ میشود ، انجام میگردد . بارگیری کوره ازناحیه سقف ، آن‌چنان انجام میگردد که الکترودها در روی سرباره قرار گرفته ویا درآن فرو می‌روند . فرآورده این کوره میتواند بعلت مصرف سازنده‌های گوناگون ، آهن خام مذاب ویافولاد خام باشد .

۱۲۰۵ – روش Dwight—Lloyd—Mac Wane

کوره تنوره‌دار کوتاه الکتریکی باساختمان معمولی . داغ شدن وپیش‌احیاء بار کوره در روی نوار Dwight Llody انجام می‌پذیرد . بارگیری با تیله هائی از ذغالیکه غیرقابل تبدیل به کک است ، نرمه کانه وقسمتی ازبرگشتی فرآورده‌های نوار Dwight Lloyd تشکیل شده که در دستگاه تیله‌سازی تولید میگردد . فرآورده این روش آهن خام مذاب میباشد .

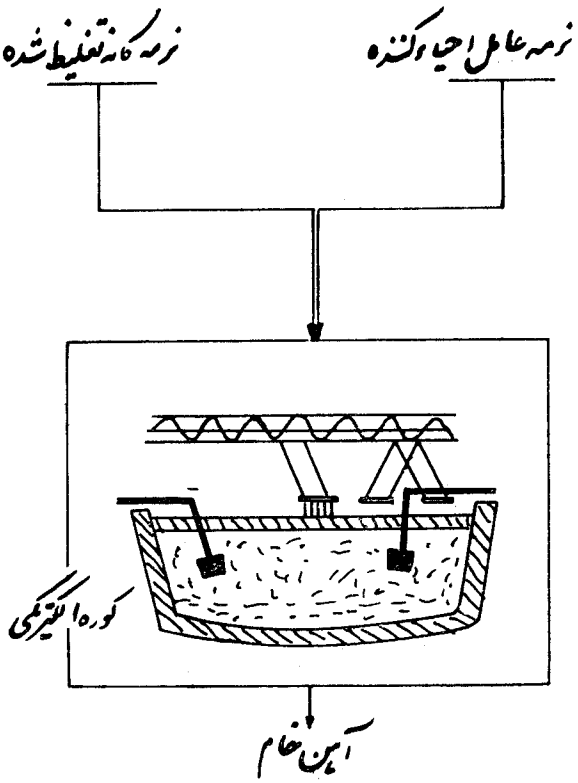
۱۲۰۶ – روش Orcarb

دراین روش کوره قوس الکتریکی بادستگاه ویژه‌ای برای آماده کردن وپیش‌احیاء کانه بکار برده شده است . کانه تغلیظ شده وسازنده‌های دیگر نخست دریک کوره گردان که از درون تا دمای ۶۰۰ درجه سانتیگراد گرم میگردد ، آماده گشته ، سپس در دمای ۳۵۰ درجه سانتیگراد بانرمه زغال مخلوط و در یک استوانه گردان (Trommel) فولادی که از بیرون گرم میگردد ضمن تبدیل به کک به‌تیله (Pellets) تبدیل میگردد .

احیاء کامل وعملکرد ذوب دریک کوره الکتریکی انجام میگیرد . آهن حاصل‌از این روش حاوی ۲ درصد کربن میباشد .

۱۲۰۷ – روش Lubatti

کوره کوتاه الکتریکی که شبیه وان‌بوده دارای سه‌قشر فلز مذاب، سرباره مذاب وبارجامد ودانه‌ریز میباشد . بار کوره که از کانه ، کمک ذوب‌ها و ذغال تشکیل شده بطور مداوم و یکنواخت به کوره داده میشود . الکترودها ساختمان ویژه‌ای داشته که باآب سرد میگردند و کاملا درسرباره مذاب فرو می‌روند . عملکرد احیاء درقشر بین بار کوره وسرباره مذاب انجام میگردد .



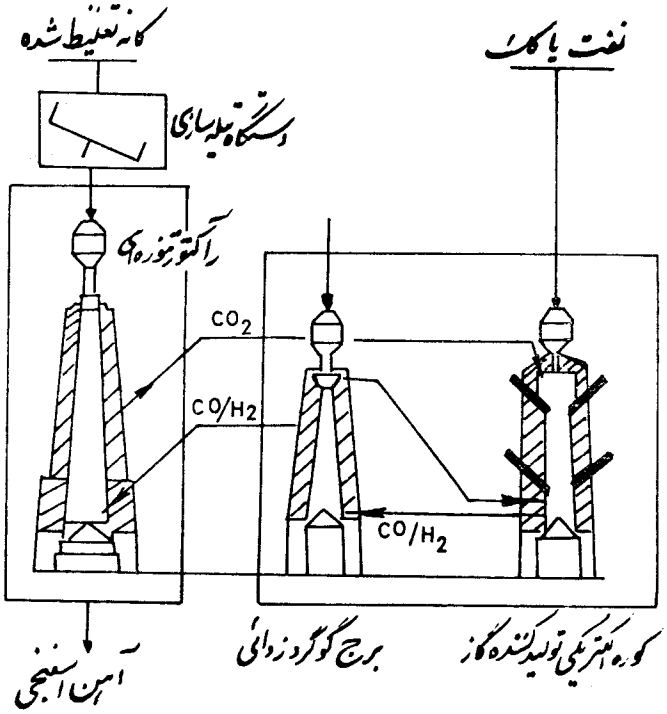
۱۲۰۸ – روش Tohoko Denka Kogya

دراین روش از کوره تنوره الکتریکی برای تولید آهن خام مذاب از کانه احیاء شده ، ترکیبات آهن-تیتان و کک استفاده میگردد . برای پیش‌احیاء کانه یک کوره گردان بکار رفته که جهت سرد کردن با یک استوانه (Trommel) خنک کننده پیوسته است .

۱۳۰۰ ـ کوره‌های تنوره‌دار گازی

۱۳۰۱ — روش Wieberg

دراین روش از کوره تنوره‌دار استفاده میگردد که درآن بار و گاز احیاء شده درجهت معکوس حرکت میکنند . برای احیاء کانه دانه درشت آگلومره ویاتیله‌ای بوسیله گاز ($CO : H_2 = 3 : 1$) که در کوره‌ای جداگانه تولید میگردد ، بکار میرود . سه‌چهارم گاز تولید شده برای احیاء مجدداً به کوره تولید کننده گاز برگشت داده می‌شود . قسمتی از گاز برای گرم کردن بار کوره بکار رفته وقسمتی نیز اضافه میباشد . در کوره الکتریکی تولید کننده گاز (کاربراتور Carborator) که باسه ویا چهارجفت الکترود کار میکند ، بجز گاز برگشتی، بخار آب، نفت و گاز طبیعی ویا ترکیبات دیگر هیدرو کربورها نیز بکار رسی روند . درصورتیکه هیدرو کربورها حاوی مقدار زیادی گوگرد باشند، گاز حاصل را ازبرجی که از دولومیت پرشده جهت گوگرد زدائی میگذرانند . فرآورده این روش آهن اسفنجی میباشد .



۱۳۰۲ — روش Finsider

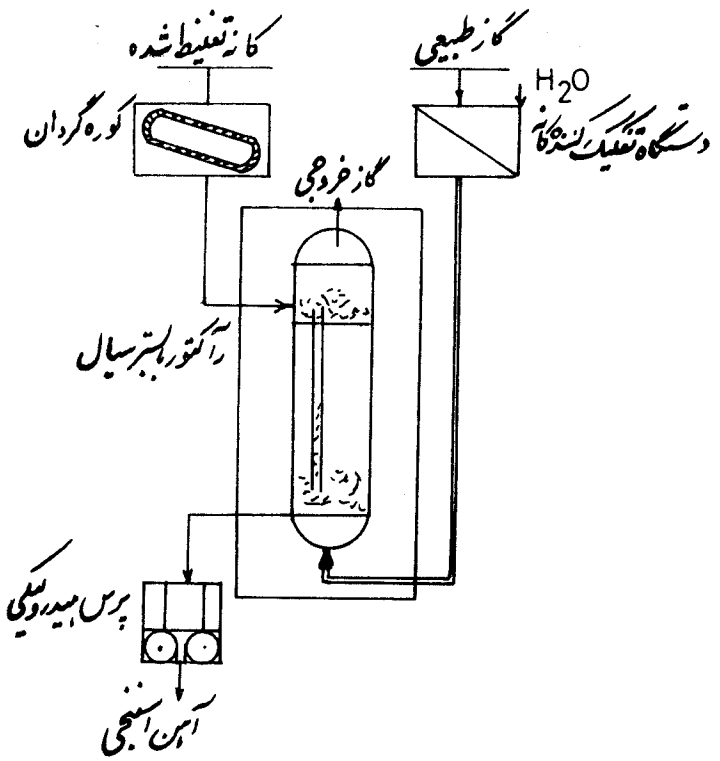
روش کوره تنوره‌ای با جریان معکوس برای احیاء کانه تیله‌ای با گاز داغ که در یک گنراتور (Generator) از کک ، اکسیژن ، و بخار آب تولید میگردد . تجهیزات متعددی جهت شستشو ، تمیز کردن و گرم کردن گاز بکار برده شده است . فرآورده این روش آهن اسفنجی میباشد که فرم کانه تیله‌ای بکار رفته‌را داراست .

۱۳۰۳ — روش Lurgi – Galluser

دراین روش عکس جهت فرودآوردن کانه ، گازیکه بخارآب و گاز کربنیک آن بروش جذب جدا گشته ، جریان دارد . بدین‌جهت بارکوره که درمنطقه احیاء داغ گشته بود سرد میگردد . درمنطقه‌احیاء گاز CH_4 تازه وارد راکتور گشته که بافرآورده‌های احیاء باتشکیل CO و H_2 ترکیب میگردد . گرمای لازم برای واکنشهای اندوترمیک ازخارج بطریق‌القائی (Inductive) تأمین میگردد . فرآورده این روش آهن اسفنجی می‌باشد .

۱۳۰۴ — روش نروژی H—Iron (Jensen)

دستگاه شبیه راکتور پیشین بوده فقط عملکرد احیاء با H_2 ویامخلوط CO/H_2 که غنی‌از H_2 می‌باشد انجام‌می گیرد . انرژی حرارتی لازم بوسیله مقاومتهای‌الکتریکی تولید می گردد . قسمتی‌از فرآورده‌ی احیاء بعنوان برگشتی برای افزایش هدایت الکتریکی و حرارتی به‌پروسه برمی گردد . بخار آب حاصل از عملکرد احیاء دراین روش جدا می گردد .

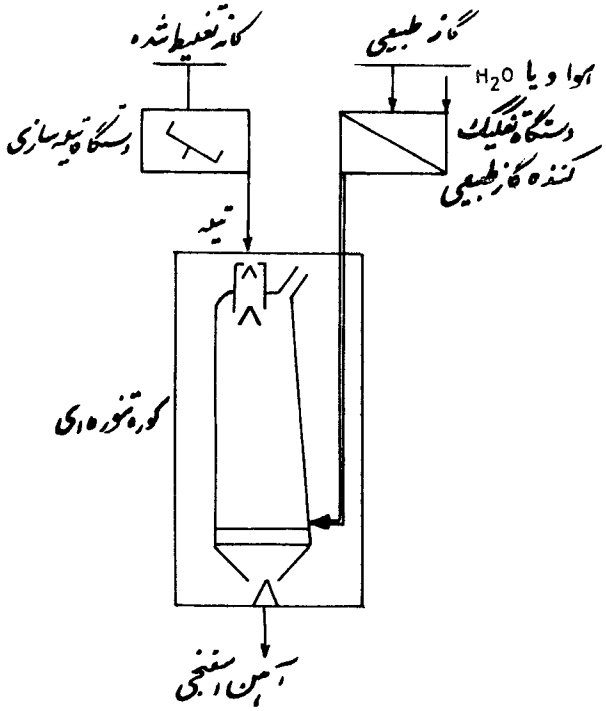


۱۳۰۵ – روش (رومانی VR) I.C.E.M.

عمل کرد احیاء در کوره تنوره‌دار در این روش باجریان معکوس انجام گرفته و بارگیری آن با کانه دانه‌درشت و یا تیله‌ای انجام میگیرد ـ عامل احیاء کننده گاز متان تصفیه شده بود که بروش متناوب (regenrative) (انتقال حرارت درصورت تعویض عامل حرارت گیرنده وحرارت‌دهنده درفواصل معین) داغ می گردد . Regenrator ها حاوی توده‌هائی‌از کاتالیزاتورگنجینه‌های حرارتی می‌باشند . برای گرم کردن آنها متان باهوا سوزانده می‌شود . برای جلوگیری از اکسیداسیون مجدد سرد کردن آهن اسفنجی در ظروف سربسته انجام می گردد .

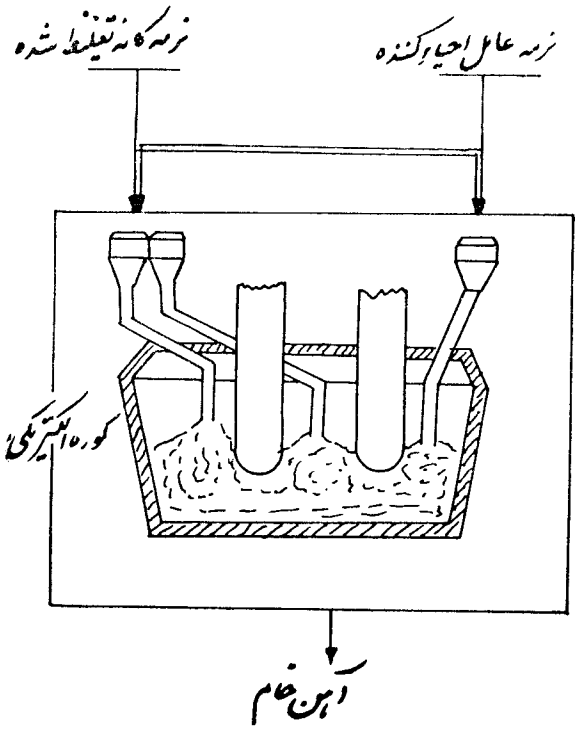
۱۳۰۶ – روش Purofer (HOAG)

این‌متد شبیه روش قبلی بوده وبا باری که بصورت کانه دانه‌درشت ، تیله ویا آگلومره می‌باشد ، شارژ می‌شود . گاز طبیعی بوسیله عوامل اکسیدکننده به CO و H_2 تجزیه می گردد . بدین جهت از Regenrater هائی استفاده می گردد که ازتوده‌هائی‌از کاتالیزاتور پربوده که با گاز دهانه خروجی کوره‌بلند گرم می گردد . آهن اسفنجی حاصل دور ازهوا سرد می گردد .



۱۳۰۷ – روش Mariencek

در یک کوره تنوره‌دار بار که بصورت تیله (Pellets) است ازیکطرف بامخلوط گاز CO/H_2 که



بخار آب و گاز کربنیک آن جدا گشته آمیزش می کند . این گاز که ازپائین درتنوره دمیده می‌شود ، نخست دراثر عبور ازآهن اسفنجی داغ می گردد . ازطرف دیگر عمل کرد احیاء با گازی که دراثر سوختن نفت با اکسیژن حاصل می گردد ، انجام می‌شود . بااین روش تولید گاز ، قسمت عمده انرژی حرارتی لازم تولید می گردد . باسرد کردن آهن اسفنجی دراین روش خطری ازنقطه‌نظر اکسیداسیون مجدد موجود نیست .

۱۳۰۸ — روش Kamajima

دراین روش کانه دانه کوچک و یا تیله‌ای درکوره تنوره‌دار بوسیله گاز احیاء کننده تا دمای ۹۰۰ درجه سانتیگراد درکوره الکتریکی ویا کوره‌ای دیگر داغ شده به‌آهن اسفنجی احیاء می گردد .

دوسوم گاز تنوره جهت داغ کردن وعمل کرد احیاء ویک‌سوم آن دربالای تنوره با هوا جهت گرم کردن کانه تا ۱۰۰۰ درجه سانتیگراد سوزانده می‌شود .

۱۳۰۹ — روش Hitachi

نرمه کانه دریک کوره تنوره‌ای به‌روش بالائی‌بایک گاز احیاء کننده به‌آهن‌اسفنجی تبدیل‌میگردد . این گاز دریک کوره موفل (Muffle) قائم ، بطور مستقیم بوسیله هیدروکربورها گرم می گردد که از سوختهای جامد و بی‌ارزش تولید می‌شود . برای گرم کردن گاز ، قبل از واکنش دراین روش ازکوره Kryptol استفاده می کنند .

۱۳۱۰ — روش Alikokan Steep Rock

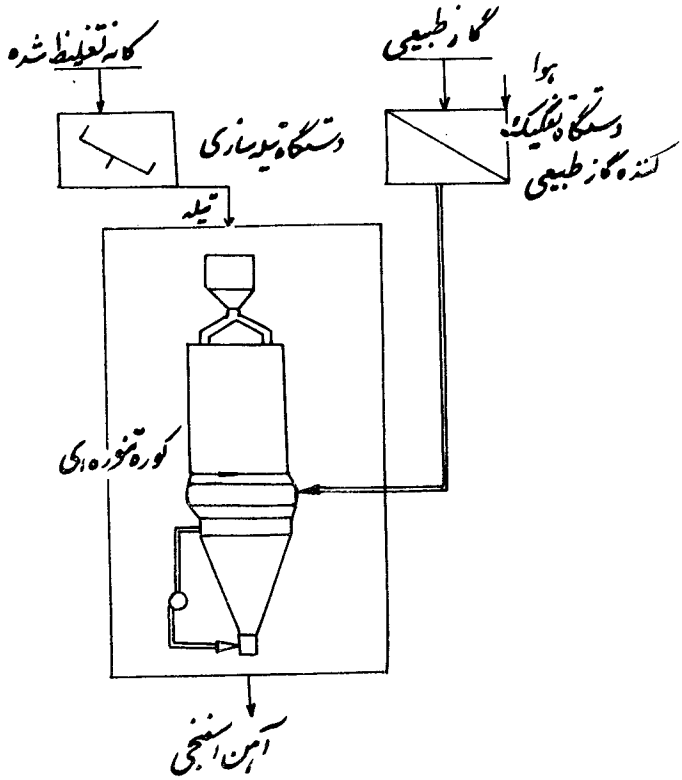
احیاء کانه کلوخه‌ای درکوره تنوره‌دار با گاز احیاء کننده‌ای براساس گازطبیعی ویالینیت (Lignit) انجام می‌شود .

۱۳۱۱ — روش Armoc

دراین روش ازکوره تنوره‌دار برای تولید آهن اسفنجی استفاده می‌شود . ویژگی های دیگر این روش نامعلوم می‌باشد .

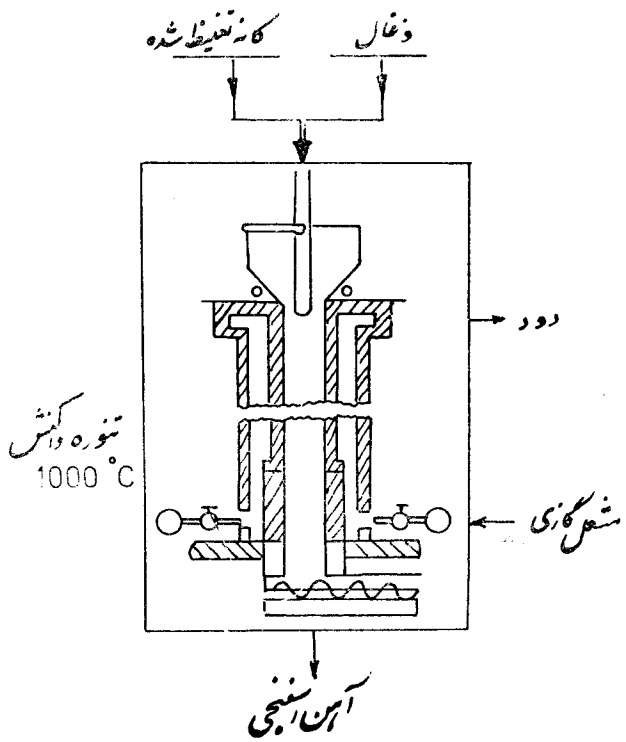
۱۳۱۲ — روش Midrex

این روش مشابه روش Pourofer (۱۳۰۶) بوده اماعمل کرد احیاء بطورمداوم انجام می گردد . پلت‌ها درعکس جهت گاز تفکیک شده ازگاز طبیعی ، درکوره تنوره‌ای ویژه‌ای فرود آمده و در دمای ۹۰۰ تا ۹۵۰ درجه سانتیگراد احیاء گشته وتولید آهن اسفنجی می‌نمایند .



۱۴۰۰ ـ کوره تنوره‌دار باگرم کردن غیرمستقیم

۱۴۰۱ — روش Echeverria



در کوره تنوره‌ای که ازبیرون با گاز گرم می‌گردد ، مخلوط کانه ، ذغال (آنتراسیت) ، آهک ، که بصورت آگلومره ویاتیله درآورده‌شده است باذغال احیاء می‌گردد . گاز CO حاصل از عملکرد احیاء برای گرم کردن بار کوره با هوا سوزانده می‌شود . فرآورده‌های شارژ برای سردشدن بوسیله نقاله های حلزونی شکل حمل می‌گردد و سپس آهن اسفنجی با جداکننده مغناطیسی از سرباره ، خاکستر و ذغال مازاد جدا می‌گردد ، که دومرتبه به‌پروسه برگشت داده می‌شود .

۲۰۰۰ ـ بسترهای سیار (متحرك) Travelling (O.Chain) grate

۲۱۰۰ ـ بسترهای مستعمل (برشته Roast) سیار

۲۱۰۱ — روش Dwight – Lloyd — Wac Wane

تیله (Pellest) های حاصل از ذغال کك‌نشو ، برگشتی ونرمه کانه دریك‌دستگاه تیله‌ساز تولید گشته وسپس درروی یك‌نوار طویل ساخت Dwight – Lloyd نخست خشکانده، سپس افروخته وبالاخره گرینیزه می گردد . بار حاصل برای کاربرد درکوره الکتریکی تولید می گردد .

۲۱۰۲ — روش Ontario Research Foundatoin (ORF)

در روی یك‌بستر مشتعل سیار کانه مانیتیت با کمتراز ۵ ر. درصد رگه ناخالصی نخست به هماتیت اکسید شده وسپس با گاز ($CO : H_2 = ۳ : ۱$) مستقیماً احیاء می گردد . فرآورده این کوره بعداز تخلیه مستقیماً بشکل روق درآورده می‌شود .

۲۱۰۳ — روش A. G. Mc Kee

در روی یك بستر مشتعل سیار باتنظیم دقیق آتمسفرکوره ، زمان عملکرد واکنش احیاء ، درجه حرارت ومیزان کربن ، تیله هائی که ازکانه و ذغال تشکیل شده بادرجه احیاء دلخواه تولید می گردد .

۲۱۰۴ — روش ACAR

پیش‌احیاء تیله‌ای که ازنرمه کانه‌آهن ، کك (۳ تا ۹ درصد)، ماده چسبنده بنتونیت(Bentonit) ساخته شده ، در روی یك بستر مشتعل سیار باآتمسفر قابل کنترل انجام می گردد . عمل کرد بعدی دریك نوع کوره گردان مخصوص انجام می گیرد .

۲۱۰۵ — روش Sovjet Strait Grate

احیاء تیله هائی که ازکانه و ذغال تشکیل شده در روی یك بستر مشتعل سیار انجام می گردد .

۲۲۰۰ ـ کوره‌های تونلی

۲۲۰۱ — روش Höganäs

کانه های غنی‌از آهن (حداقل با ۷۰٪ آهن) باذغال ویاخاکه کك وآهك درتونلهای فلزی ویا سفالی بارگیری می‌شود ودرکوره تونلی در دمای ۱۱۵۰ تا ۱۲۰۰ درجه سانتیگراد داغ گشته وخنك‌شدن

دور ازهوا انجام می گیرد. آهن اسفنجی حاصل از مازاد کربن وآهک جدا گشته وباپرس هیدرولیکی متراکم می گردد .

۲۲۰۲ – روش Heat Fast (Surface Combustion)

دریک لوله گردان تیله هائی که ازکانه ، ذغال وماده چسبنده بنتونیت تشکیل شده در روی یک بستر مشتعل سیار خشک شده وسپس پیش‌احیاء دریک اطاق گردان انجام می گردد . خنک کردن کانه پیش‌احیاء شده (۶۰ درصد آهن) دریک تنوره بوقوع پیوسته که احیاء کامل (۶۰ تا ۹۰ درصد آهن) نیز می‌تواند درآن انجام گردد .

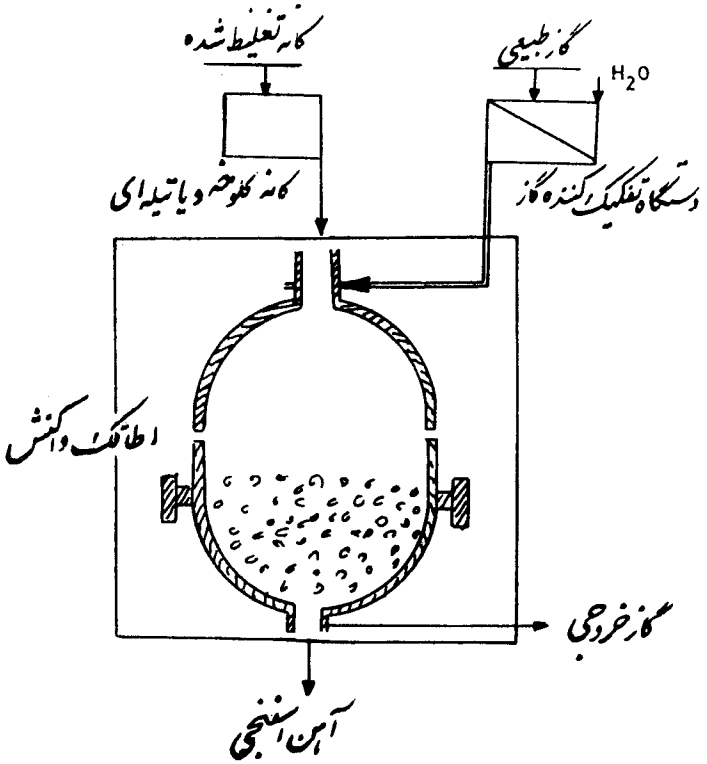
۲۲۰۳ – روش Mc Dowell—Welmann

در روی یک‌نوار حلقه‌مانند که با آب‌سرد گشته و دور ازهوا نگهداشته می‌شود ، تیله هائی ازنرمه کانه درآتمسفر احیاء کننده قرار دارند . فرآورده این روش درکوره D – LM بکار می‌رود .

۳۰۰۰ ـ اطاقک (Kammer) های واکنش

۳۱۰۱ – روش Hojalata Y Lamina (HYL)

عملکرد احیاء کانه درشت در دومرحله ودرظروف‌متحرك به کمک‌مخلوط گاز داغ انجام می گیرد.



این گاز که از H_2 و CO تشکیل شده در دستگاه تفکیک کننده از نوع Kellog از تفکیک گاز طبیعی با بخار آب درمجاورت کاتالیزوری انجام می گردد . فرآورده این روش آهن اسفنجی میباشد .

۳۱۰۲ — روش Norsk Staat

کانه درشت ویا پرس‌شده درظروف قائم رویهم انباشته شده و با گاز داغ که قسمت عمده آن از CO تشکیل شده ازبالا بپائین احیاء می گردد . دریک کوره الکتریکی فشار قوی قسمتی ازگاز باقیر ونفت تازه (تعدیل) می گردد وبقیه بوسیله گاز تولید شده از کک جایگزین می گردد وسپس عملکرد گوگردزدائی انجام می گردد . فرآورده این روش آهن اسفنجی است .

۳۱۰۳ — روش Madras

این روش اختلافش با روش HYL دراین نکته نهفته که احیاء دریک مرحله انجام می گردد . تیله های غنی ازآهن بوسیله گاز داغ (۶۰ درصد CO و ۴۰ درصد H_2) که ازتفکیک گاز طبیعی با بخار آب درمجاورت کاتالیزور تولید گشته دریک ظرف متحرك احیاء می گردد . دمیدن گاز با فشار ۲ کیلوگرم برسانتیمتر مربع بطور متناوب انجام می گردد . فرآورده این روش نیز آهن اسفنجی است .

۳۱۰۴ — روش Sovjet Batch

داغ کردن تیله هائی که ازنرمه کانه مانیتیت ویالیمونیت مخلوط بانرمه کک ویاآنتراسیت تشکیل شده ، درظرفی که مشابه دستگاه تیله‌ساز (بشقاب) است در دمای ۱۳۰۰°c انجام می گردد .

۴۰۰۰ ـ رآکتورهای قرع مانند (Retorte)

۴۱۰۰ ـ روش بوته‌ای

۴۱۰۱ — کوره حلقه‌ای Höganäs

روند کار این روش مانند روشهای پیش بوده ولی عملکرد احیاء درکوره حلقه‌ای انجام می گردد .

۵۰۰۰ ـ کوره‌های اجاقی مسطح

۵۱۰۱ — روش احیاء نهائی De—Sy

تولید آهن مذاب خام و یا فولاد دریک کوره دواطاقی الکتریکی انجام می گیرد که یکی‌ازآنها ساختمانی شبیه کوره القائی (Inductive) دارد .

کانه پیش‌احیاء شده دریک‌اجاق وارد می گردد ودر دیگری ذغال دانه‌ریز بیش‌ازمقدار لازم با فشار وارد می گردد .

۵۱۰۲ — روش Kellog

نرمه کانه و ذغال بطورمداوم دربستر کوره‌ای واردمی گردند که ساختمان وروال کارآن مانند کوره زیمنس مارتن با سوخت نفت است . هوای لازم برای سوخت بطور متناوب (regenrative) گرم گشته وآهن خام ویافولاد بطور مداوم ازکوره خارج می گردد .

۵۱۰۳ — روش Wieberg

درکوره‌ای مشابه کوره زیمنس مارتن ازکانه غنی ، آهن ویافولاد خام مذاب تولید می گردد .

۶۰۰۰ ـ کوره‌های گردان

۶۱۰۰ ـ احیاء دربالاتراز دمای سینتر

۶۱۰۱ — روش Basset

احیاء باقیمانده پیریت حاصل از تشویه دانه‌ریز و قراضه باسوختهای جامد (کک ، نرمه ذغال و غیره) درکوره گردان برای تولید آهن خام مذاب با گوگرد کم انجام میپذیرد .

۶۱۰۲ — روش Krupp—Renn

روشی که درجریان معکوس گرم شده وگندله (گلوله) های آهن اسفنجی تولید می کند . دراین روش برای تولید گندله ها کانه های دانه‌ریز وفقیر بانرمه سوختهای کم‌ارزش (نرمه کک ، انتراسیت ، نیمه کک) بکار می‌رود . کانه‌ها بطور عمده اسیدی بوده ولی کانه های اکسیدی ونیکل‌دار (Garnerite) نیز مصرف می گردد . گندله هائی که با جداکننده مغناطیسی جدا می گردند و درکوره بلند و یا درفولاد سازی بکار می‌رود .

۶۱۰۳ — روش Azincourt

تولید آهن خام مذاب وسرباره ازنرمه کانه ویاغبار دهانه کوره بلند باسوخت جامد (ذغال جامد ، خاکه کک ، کک فرار) درعکس جهت جریان گاز ، نفت ویامشعلی که باسوخت نرمه ذغال کار می کند ، انجام می گیرد . دریک اجاق که بتوان آنرا باانرژی الکتریکی نیز گرم کرد ، آهن خام و سرباره گردآوری می گردد .

۶۲۰۰ ـ احیاء درپائین‌تراز دمای سینتر

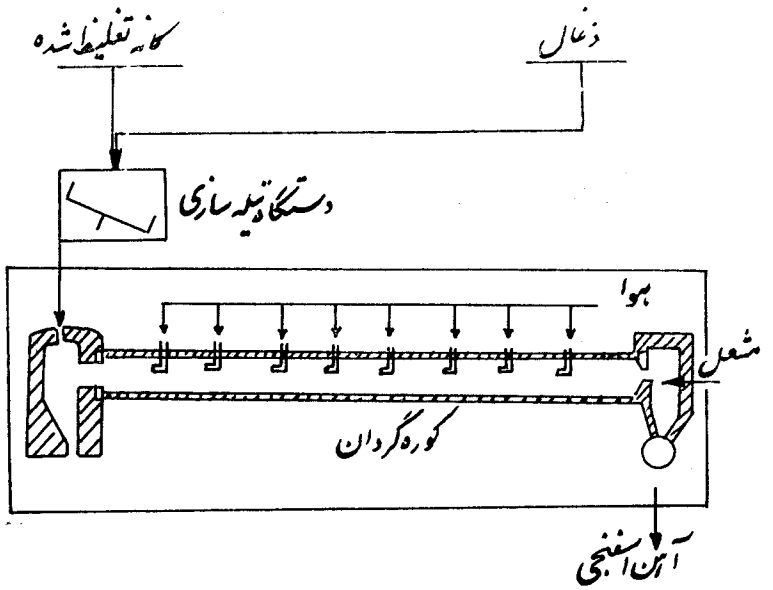
۶۲۰۱ — روش Republic Steel, National Lead (RN)

دراین روش احیاء کانه دانه‌درشت باسوختهای جامد (کک ، نرمه ذغال ، ذغال سنگ و غیره)

انجام می گیرد . دستگاه تولید آهن اسفنجی (خرد کردن ، پرس کردن ، متراکم کردن) فرآورده‌ها را برای کاربرد در کوره الکتریکی ویا مارتن - زیمنس آماده می کند . این روش قبلا برای کانه های فقیر پیش بینی شده بود .

۶۲۰۲ – روش آهن اسفنجی Krupp (K – E)

تیله های غنی ، خام ویا برشته‌شده ، کانه دانه درشت ، آهک ویادولومیت مخلوط با کربن جامد (نرمه ذغال ، کک ، آنتراسیت ، ذغال قهوه‌ای) درعکس جریان گاز ، نفت ویا مشعلی که با سوخت نرمه ذغال کار می کند به‌آهن اسفنجی تبدیل می گردد . دمیدن قسمتی‌از هوای لازم برای سوخت از دمنده‌های بدنه وارد می گردد .



۶۲۰۳ – روش Kalling Avesta (K—A)

احیاء نرمه کانه توسط کربن جامد (خاک کک یا ذغال چوب) انجام می گردد . درمنطقه احیاء انرژی حرارتی بوسیله دوالکترود حلقوی تأمین گشته ودرمنطقه پیش گرم کن ، گاز با هوای دمیده شده ، می‌سوزد . خنک کردن پودر آهن اسفنجی درسرد کننده‌ای که درکوره نصب شده انجام گرفته و کارآوری بعدی آن بوسیله جدا کننده مغناطیسی انجام می گردد .

۶۲۰۴ – روش Kalling Domnarvet

مانند روش پیشین بوده ، اما گرمای ضروری برای واکنش با سوختن قسمتی از کربن جامد ، باهوای گرم تأمین می گردد که بوسیله یک لانس (نوعی لوله) درامتداد محور طولی ، کوره دمیده می‌شود .

۶۲۰۵ — روش Elcktrokemisk

در این روش چنانچه قبلاً (۱۲.۳) نیز ذکر شد ازیک کوره الکتریکی و یک کوره گردان برای پیش‌احیاء بار کوره (کربن جامد ، کانه کلوخه‌ای ، تیله ویا سینتر) استفاده می گردد . گاز کوره الکتریکی برای پیش‌احیاء در کوره گردان بکار رفته و محصول کوره گردان در حالت داغ درکوره الکتریکی وارد می گردد .

۶۲۰۶ — روش Strategic – Udy

بارگیری مداوم کوره گردان بامخلوطی از کانه ، سنگ آهک ، کربن جامد بوسیله نوار نقاله انجام می گردد . گرم کردن کوره ، توسط گاز خروجی کوره الکتریکی با هوا انجام می گیرد .

۶۲۰۷ — روش Orcarb

همانطور که قبلاً (۱۲.۶) نیز گفته شد، پیش‌احیاء تیله هائی که دراستوانه (Trommel) تولید شده درکوره گردان انجام می گیرد . این کوره با گاز خروجی کوره الکتریکی گرم می‌شود .

۶۲۰۸ — روش US Bureau of Mines (Laramie)

گرم‌شدن وعملکرد احیاء دراین روش با کک دانه ریز ویا ذغال یکنواخت درکوره گردان که از دوقسمت با قطرهای مختلف تشکیل شده است ، انجام می‌شود . دستگاههای مجهزی برای آماده کردن وسرد کردن وخارج کردن آهن اسفنجی دراین روش بکار رفته است .

۶۲۰۹ — روش Freemann

احیاء تیله هائی که ازمخلوط کانه تغلیظ شده ، آهک وخاك ککی که تولید CO می کند، تشکیل شده است . گرم کردن کوره درجهت بار با مشعلی که در دهانه کوره نصب شده انجام می‌شود درصورتیکه هوا از دهانه خروجی برای سوختن مازاد CO وارد می گردد .

خنک کردن وحمل تیله های آهن اسفنجی بوسیله چرخهای حلزونی‌شکل که بدنه آنها با آب سرد می گردد ، انجام می‌شود .

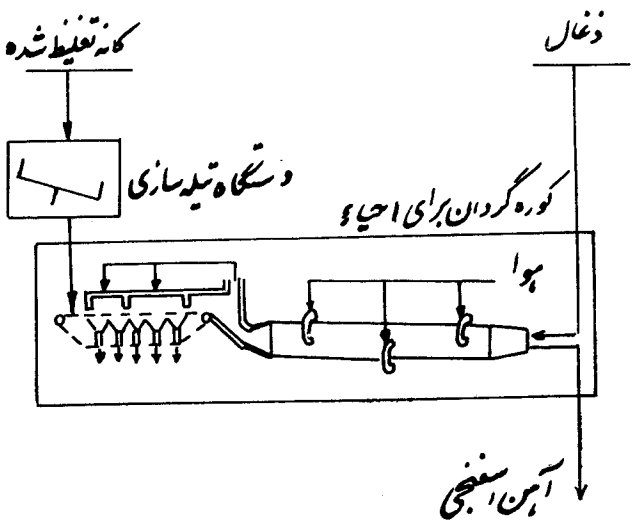
۶۲۱۰ — کوره گردان آخن (آلمان فدرال)

هوا باعامل احیاء کننده (نفت) بوسیله جتهای بدنه کوره چنان تقسیم می گردند که عامل احیاء - کننده فقط در زیر بار کوره (نرمه کانه وتیله) بامقدار هوای تنظیم شده دمیده می‌شود . دراین روش عامل احیاء کننده سوخته و تفکیک می‌شود و دوده ، H_2 و CO تولید می کند که باعث احیاء کانه می‌شود .

دمای کار کوره ۹۰۰ تا ۱۰۰۰ درجه سانتیگراد بوده که بوسیله مازاد عوامل احیاء کننده با هوای اضافی تأمین می گردد . فرآورده این روش آهن اسفنجی می‌باشد که در کوره بلند ویا کوره الکتریکی بکار میرود .

۶۲۱۱ — روش Stelco – Lurgi/Republic Steel, National Lead (SL/RN)

این روش احیاء ازتلفیق دو روش SL و RN برای تیله ها ویا کانه غنی دانه ریز باسوخت جامد (خانه کک ، آنتراسیت ، نیمه کک ، ذغال قهوه‌ای و غیره) بکار می‌رود . ظروف استوانه‌ای شکل برای خنک کردن ، آرایش مغناطیسی وپرس آهن اسفنجی از مشخصات این روش است . همچنین دربدنه کوره مشعل هائی نصب‌شده که باسوختن مازاد گاز احیاء کننده دمای کار کوره را تنظیم‌می کنند . آهک ودولومیت برای حذف گوگرد نیز درترکیب تیله‌ها بکار می‌رود .



۶۲۱۲ — روش Ugine

احیاء کانه‌های دانه‌ریز ویا تیله‌ای با کربن جامد (کک فرار ، ذغال چوب ، ذغال قهوه‌ای) در دمای پائین وبارگیری بحالت داغ فرآورده‌ها درکوره الکتریکی ویابوته‌ای Kalde انجام می‌شود . باردهی سرد در وان‌های دوجداره انجام می‌پذیرد که سیستم خنک کننده مخصوص با عایق‌های حرارتی داشته که باآب سرد می گردند .

۶۲۱۳ — روش Yawata

دراین‌روش از کوره گردان برای تولید آهن‌اسفنجی استفاده میگردد که بار آن ازغبار دهانه‌خروجی کوره بلند، کنورتور از کوره‌ایکه وکک طبیعی که بعنوان عامل‌احیاء کننده بکار میرود، تشکیل شده است. بار کوره بدون تغییر فرم با نفت سنگین قابل گرم کردن بوده پس از خنک کردن فرآورده‌های کوره که با ریزش آب درظرفی طبل مانند انجام می گیرد خارج می گردد . دراین روش آهن اسفنجی را درصورت لزوم خشک کرده والک می کنند .

۶۲۱۴ — روش Phelps Dodge

سرباره کنورتورمس Blister که بطور عمده از FeO و Fe_3O_4 تشکیل شده وبصورت دانه‌دانه (Granulate) میباشد . در دمای ۱۱۰۰ درجه سانتیگراد دریک کوره گردان گرم گشته و در تنوره‌ای که بآن متصل است با گاز نیمه‌سوخته شده به‌آهن اسفنجی تبدیل می گردد .

۶۲۱۵ — روش Sovjet Rotary

دراین روش تیله هائی که ازنرمه کانه های تغلیظ شده مانیتیت ویا لیمونیت مخلوط با نرمه کک یا آنتراسیت تشکیل شده ، درکوره گردان در دمای (۱۳۰۰°c) احیاء میگردد .

۶۲۱۶ — روش Australia BHP (Broken Hill Pty. Ltd.)

سخت کردن و احیاء تیله هائی از هماتیت غنی و خاك کک دردمای ۱۳۰۰°c درکوره‌ای گردان انجام میگردد .

۶۲۱۷ — روش ACAR

کاربردنهائی تیله های پیش‌احیاء شده درکوره گردان مخصوص باسوختهای نیمه‌سوخته شده مانند پروپان دردمای ۱۰۰۰ درجه سانتیگراد انجام میپذیرد . کوره از دواستوانه ساخته شده است .

عملکرد احیاء دراستوانه درونی بوقوع پیوسته و گاز احیاء کننده دربین دواستوانه برای گرم کردن سوخته میشود .

۶۲۱۸ — پیش‌احیاء بروش De — SY

همانطورکه درپیش (۵۱۰۱) نیز اشاره شد ، پیش‌احیاء کانه دانه‌درشت غنی درکوره گردان با گازهای احیاء کننده خروجی‌از دو کوره اجاقی انجام می گردد .

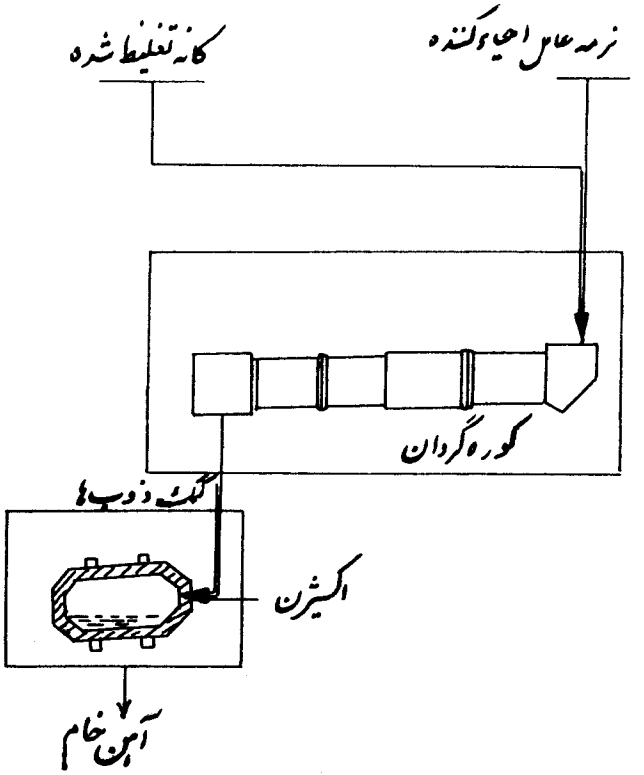
۶۲۱۹ — روش Tokoku Denka Kogyo

در این روش همانطورکه قبلا نیز اشاره شد (۱۲۰۸) کانه تغلیظ شده ترکیبات آهن - تیتان در کوره گردان بین ۹۵۰ و ۱۲۵۰ درجه سانتیگراد باخاکه کک ، آنتراسیت ویا کک طبیعی به‌ترکیبی‌غنی‌از فلز برای کاربرد درکوره الکتریکی تبدیل میگردد .

۶۲۲۰ — روش Stora Rotary

دراین روش جهت افزایش تولید ، دمای بارکوره درحدود ۱۳۰۰ درجه سانتیگراد بوده و آهن بطور مذاب خارج می گردد . دمای گاز خروجی دراین روش درحدود ۱۵۰۰ درجه سانتیگراد بوده و بنابراین برای کاهش حجم گاز خروجی و نتیجتاً جلوگیری ازتلف شدن انرژی ، اکسیژن بجای هوا درکوره دمیده

می‌شود . همچنین برای جلوگیری‌از افت حرارت ، کوره‌ای گردان برای گرم کردن بار کوره بکار میرود .



۷۰۰۰ ـ اطاقک‌های گردان (طبل‌های گردان)

۷۱۰۱ — روش Stürzelberg

احیاء باقیمانده پیریت تشویه شده ونرمه کانه های دیگر پس‌از سینتر شدن (بطور عمده برای تفکیک روی وگوگرد) درکوره افقی گردان وسپس درکوره شعله‌ای قائم با کربن جامد (کک ، آنتراسیت ، کک ذغال قهوه‌ای ، کک نفت) انجام می گردد . این روش با یک کوره پیش گرم کن برای کانه و هوا و یک دستگاه خشک کن نیز مجهز است . فرآورده این روش آهن خام مذاب فقیراز گوگرد میباشد .

۷۱۰۲ — روش Bouchet Imphy

روشی برای تولید آهن خام ویافولاد خام ازکانه های آهن پیش‌احیاء شده ، آهن اسفنجی ، پودر آهن ویا قراضه آهن میباشد . درصورت تنظیم سوخت دراین کوره یک آتمسفر اکسید کننده درسراسرارتفاع احیاء کننده قرار دارد . میزان بهره ازگاز احیاء کننده که از ذغال ، گاز طبیعی ویا نفت تولید می گردد ، خوب می‌باشد . انتقال حرارت بوسیله حرکت گردشی کوره انجام می گردد .

۷۱۰۳ — روش Dored

تولید آهن‌خام ازمخلوط کانه ـ کک (ذغال) بعنوان قشر واکنش کننده‌ای که در روی آهن خام

قرارگرفته ، انجام می‌شود . تسریع واکنش وانتقال حرارت بعلت گردش سریع اطاقک می‌باشد. گاز احیاء کننده (CO) بااکسیژن سوزانده شده ، گرمای واکنش را تأمین می کند . گازهای خروجی برای کم کردن بارکوره دریک کوره گردان انجام می‌پذیرد .

۷۰۱٤ — روش Bratton

نرمه کانه که بوسیله گازهای خروجی گرم وقسمتی احیاء گشته درکنورتوری که بصورت شیب‌دار نصب شده باگاز تولید شده ازتفکیک گاز طبیعی ، دریک مرحله بـه فولاد تبدیل می گردد . دراین روش سرباره بعنوان عامل انتقال‌دهنده انرژی وفاز تصفیه کننده به‌سیکل برگردانده می‌شود .

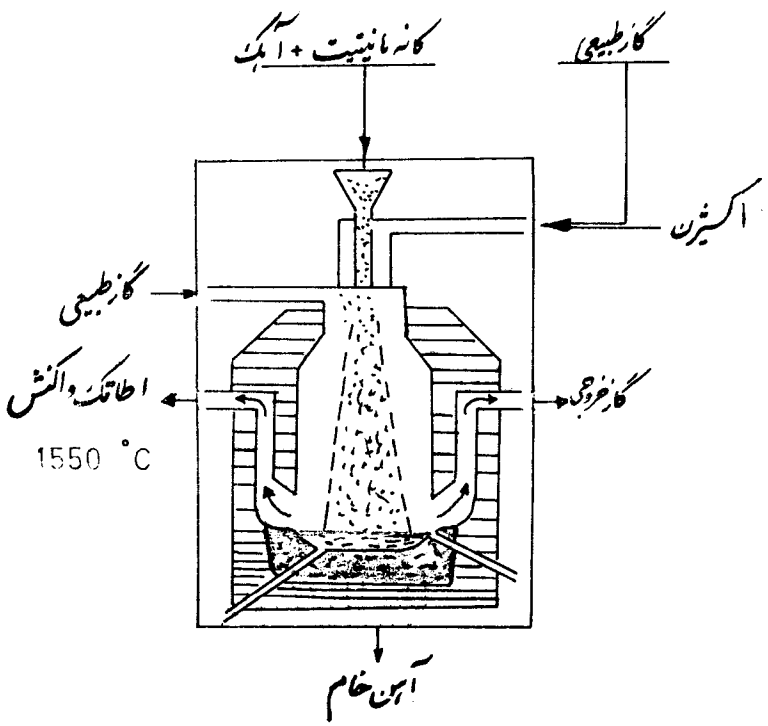
۷۰۱۵ — روش Atsumi Fukuda

تولید آهن خام و یا فـولاد دریک رآکتور قرع مانند (Retorte) از تـرکیبات آهـن ـ تیتان ، باقیمانده حاصل‌ازتشویه‌پیریت ، قراضه ورق آهن ، قطعات قراضه وکانه کم‌ارزش باخاك کک بعنوان عامل سوخت انجام می گردد .

۸۰۰۰ ـ روشهای فولادسازی

۸۱۰۱ — روش Jet Smelting

درشعله‌ای با دمای زیادکه از اکسیژن ـ گـاز طبیعی تشکیل شده است ، نرمـه کـانه تغلیظ شده روبپائین ودرجهت دیواره‌های ظرف واکنش دیده می‌شود . بدین‌جهت اجزاء ازیکدیگر جدا شده، افزایش



سطح را باعث می گردند . باافزودن گاز طبیعی احیاء تاتولید فولاد امکان‌پذیر می‌باشد . تغییرجهت دمش ممکن است باعث بیرون پاشیدن فرآورده های مذاب گردد . مقدار کربن بار کوره دراین روش زیاد بوده تا احیاء نهائی امکان‌پذیر گردد . فرآورده‌های این روش آهن خام مذاب ، سرباره و گازهای خروجی داغ که برای تولید انرژی لازم برای ایجاد O_2 بکار می‌رود ، می‌باشند .

۸۱۰۲ – مراحل ذوب بروش Nakajima NF

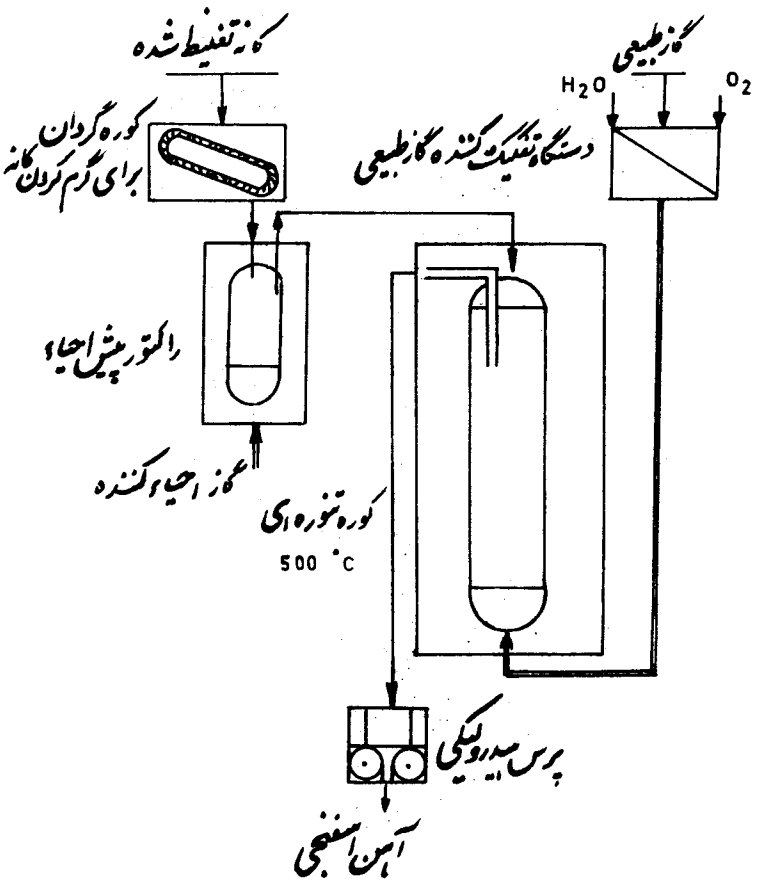
بعداز دومرحله پیش‌احیاء دربسترهای سیال نرمه کانه درظرفی وارد می گردد که بوسیله نفت‌خام و یا نفت سنگین با مشعل اکسیژن تا دمای تقریباً ۱۶۰۰ درجه سانتیگراد گرم گشته ودرآتمسفری از کانه نیمه‌سوخته شده وغیراکسید کننده به‌فولاد مذاب تبدیل میگردد .

۹۰۰۰ ـ بسترهای سیال (Fluid bed)

۹۱۰۰ ـ بسترهای گردباد مانند (Whirl)

۹۱۰۱ – روش Hydrocarbon – Research Inc. (H—Iron)

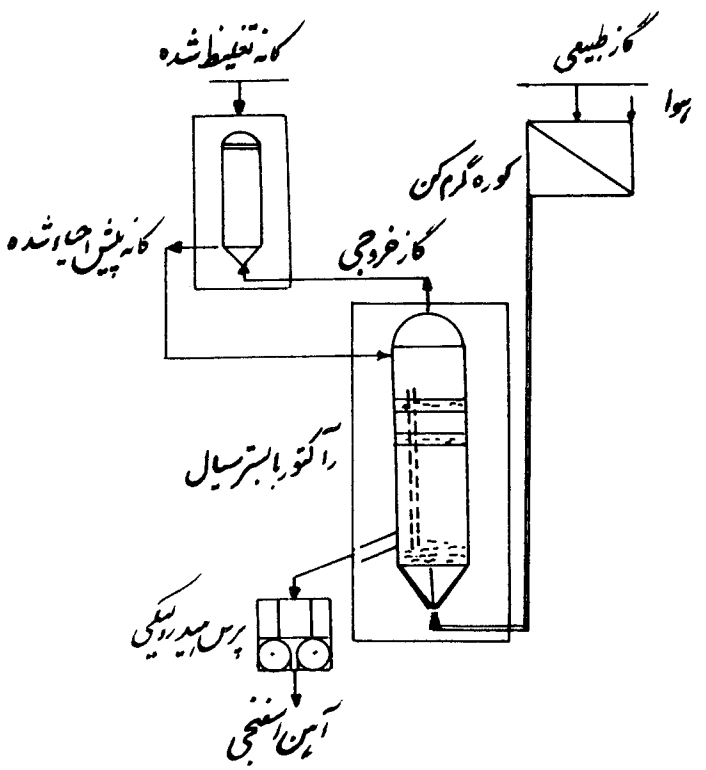
احیاء غیرمداوم (باتناوب) نرمه کانه بوسیله هیدرژن دردمای ۴۵۰ درجه سانتیگراد و فشار ۳۵



اتمسفر برای تولید پودر آهن ، که پرس شده است انجام میپذیرد . هیدروژن دراثر تبدیل سوختهای جامد ومایع بحالت گازی ویا ازسوخت ناقص گازها بروش Texaco—HRL انجام گرفته وسپس مبادله CO با بخار آب و شستشوی گاز کربنیک حاصل انجام میگیرد . بارگیری تحت‌فشار H_2 انجام گرفته و مازاد گاز پس‌از جدا کردن بخار آب به‌سیکل برگردانده می‌شود .

۹۱۰۲ — روش Arthur – D – Little

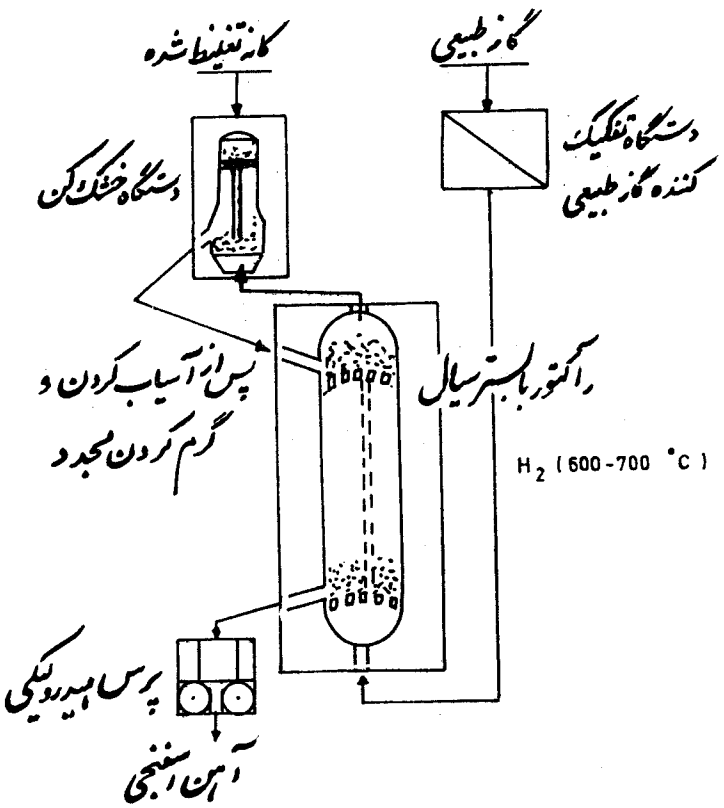
که روش سابق ESSO Research Little می‌باشد که ERL معروف است . دراین روش نرمه کانه تغلیظ شده که سرشار از Fe میباشد ، دردمای ۷۰۰ تا ۹۰۰ درجه سانتیگراد وتحت‌فشار CO و H_2 به‌پودرآهن احیاء گشته وسپس‌بفرم Briquette متراکم می گردد . CO و H_2 ازتفکیک گازطبیعی ویا هیدروکربورهای دیگر تولید می گردد . گاز احیاء کننده دراین روش به‌پروسه برگشت داده نمی‌شود ، بنابراین تصفیه این گاز نیز ضروری نمی‌باشد . بدینجهت عملکرد احیاء فقط تا ۸۵ درصد انجام می گردد .



۹۱۰۳ — روش Nu – Iron روش سابق US Steel ویا Shipley

نرمه کانه تغلیظ شده دردمای ۶۰۰ تا ۷۶۰ درجه سانتیگراد تحت‌فشار کمتری از روش H – Iron با CO و H_2 به پودر آهن احیاء می گردد و سپس به‌فرم Briketts متراکم میگردد . CO و H_2 از تفکیک گاز طبیعی ویا هیدروکربورهای دیگر تولیدمی گردد . خرج تأسیسات این روش بجهت کنترل قشرشناور

ونزدیک شدن به دمای سینتر ، بیشتر می‌باشد . ولی میزان بهره ازگاز خیلی زیاد وبهتر از روش H – Iron بوده وهرگاه ارتفاع بارکم باشد میزان بهره گیری ازگاز به کمیت تعادلی گرایش پیدا می کند .



۹۱۰۴ – روش Republic Steel

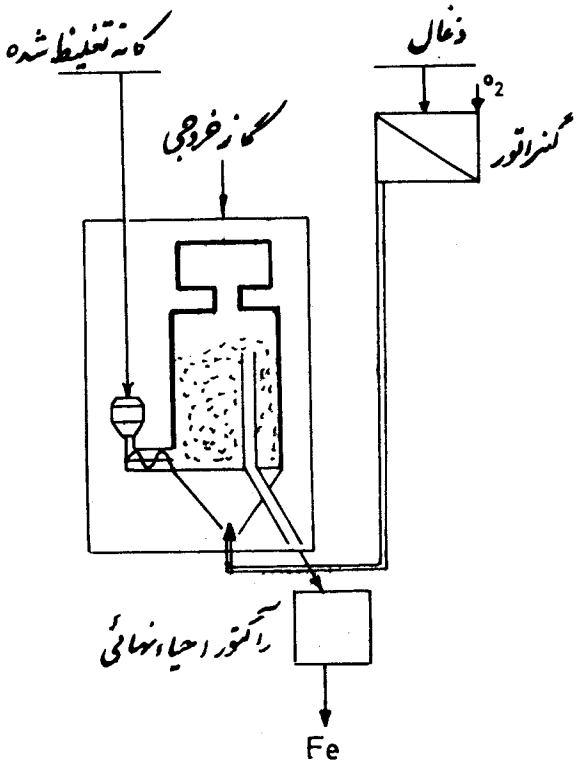
نرمه کانه تغلیظ شده بوسیله گازهای احیاء کننده به‌پودر آهن احیاء شده و بلافاصله درحالت نیمه سخت بشکل ابتدائی تسمه نورد شده که پس‌ازعبور ازیک کوره با آتمسفر احیاء کننده در دمای ۱۲۰۰°C به‌نوارهای متراکم باضخامت‌های دلخواه درآورده می‌شود .

۹۱۰۵ – روش Novalfer – Onia

گرم کردن واحیاء کانه‌های غنی‌ازآهن درمراحل متعدد باگاز $CO+H_2$ ویاامروزه باگاز H_2 در دمای ۶۰۰ تا ۷۵۰ درجه سانتیگراد انجام میگیرد . درگذشته گاز طبیعی تفکیک و شستشو شده بکار می‌رفت درصورتیکه امروزه گاز شستشوی سنتز آمونیاك که حاوی ۹۴ درصد هیدروژن می‌باشد بعنوان عامل احیاء کننده مصرف میگردد . پودر آهن خنک شده برای تهیه خالص‌ترین آهن ، فولادهای مخصوص و متالوژی پودر بکار می‌رود .

۹۱۰۶ — روش $CO - C$

درمرحله‌اول پیش احیاء نرمه کانه دربستر سیال ودر دمای ۶۰۰°C وفشار ۱ ر. اتمسفر وتفکیک کربن ازگاز غنی از CO واحیاء نهائی با کربن تفکیک شده دردمای ۷۰ تا ۹۰ درجه سانتیگراد و در اطاقی که از خارج گرم می گردد انجام می‌شود . دراین روش پودر آهن حاصل خنک شده با پرس شکل می گیرد .



۱۹۰۷ — روش Stelling

پیش‌احیاء کانه تغلیظ شده در ۷۰۰°C و احیاء نهائی و کربوره کردن در ۶۰۰ درجه سانتیگراد انجام می‌شود . عملکرد هرمرحله دربستر سیال بوسیله CO انجام گرفته که تبدیل کک به گاز در ۹۰۰°C تولید می گردد ، اما کاربرد آن دردمای ۳۰۰°C می‌باشد . تولید این روش پودر آهن کربور شده بوده که شامل ۳ درصد FeO و ۵ درصد Fe_3C می‌باشد. این فرآورده بایستی تحت‌واکنش نهائی قرار گرفته وبه‌آهن تبدیل گردد .

۱۹۰۸ — روش ESSO FIOR

احیاء کانه های درشت وخشک شده درچند مرحله ودربسترهائی که روی یکدیگر قرار گرفته است بوسیله گازهای حاصل ازگاز طبیعی ویا هیدروکربورهای دیگر انجام می‌شود . تفکیک دردستگاهی جداگانه

بوسیله سوخت ناقص ویا بخار آب انجام می گیرد ، اما دراین روش سیکل جریان گاز وجود ندارد . باحتمال قوی این روش را می‌توان تکامل روش Arthur D Littel دانست . پودر آهن حاصل با پرس فرم داده می‌شود .

۹۱۰۹ – روش Futakushi

نرمه کانه نخست برشته شده دردمای ۸۰۰ تا ۹۰۰ درجه سانتیگراد در راکتوری بابستر سیال که ازبیرون گرم‌میگردد بامخلوطی‌ازگازهای CO ، H_2 و CH_4 که ازگاز طبیعی حاصل شده به‌آهن اسفنجی احیاء می گردد . گاز خروجی در این روش شسته شده و خنک میگردد و پس از افزودن گاز طبیعی گرم میگردد .

۹۱۱۰ – مراحل احیاء به‌روش Nakajima NF

دو بستر سیال که روی یکدیگر قرار گرفته ، پودر کانه ، نرمه کانه تغلیظ شده ، لاتریت ، کانه ارغوانی (Purple) ، کانه آهن سیلیسی مخلوط باسنگ آهک وفلورین نخست برشته شده وگرم می گردد ، سپس در مرحله دوم به‌آهن اسفنجی احیاء میگردد . گاز خروجی از مرحله دوم احیاء که از مبادله کربن وگازهای فضای گداز حاصل گردیده پس‌از حذف گردد وغبار برای گرم کردن درمرحله اول با هوا سوزانده می‌شود .

۹۱۱۱ – روش LTDR – Fukoku (Low – Tcmp. Dir. Reduction)

تولید آهن اسفنجی با ۸۵ درصد آهن در دومرحله (برشته کردن و احیاء) در دمای ۹۰۰ درجه سانتیگراد دربستر سیال وبوسیله گازهائی که ازتفکیک حرارتی گاز طبیعی حاصل شده است، انجام میگیرد .

۹۱۱۱ – روش Dorr Oliver Fluo Solid Montecatini

روش بسترسیال درسه مرحله : پیش گرم کردن ، پیش‌احیاء واحیاء نهائی باقیمانده حاصل‌ازتشویه پیریت (هماتیت) ویا کانه طبیعی بوسیله دمیدن مستقیم نفت دربستر سیال هوا که مقدار آن از حد استکیو - متریک کمتر می‌باشد ، تولید کانه‌ای تغلیظ شده با ۶۷ درصد مانیتیت می‌نماید که پس از تفکیک بوسیله جداکننده مغناطیسی به‌تیله‌های اکسید شده تبدیل می گردد .

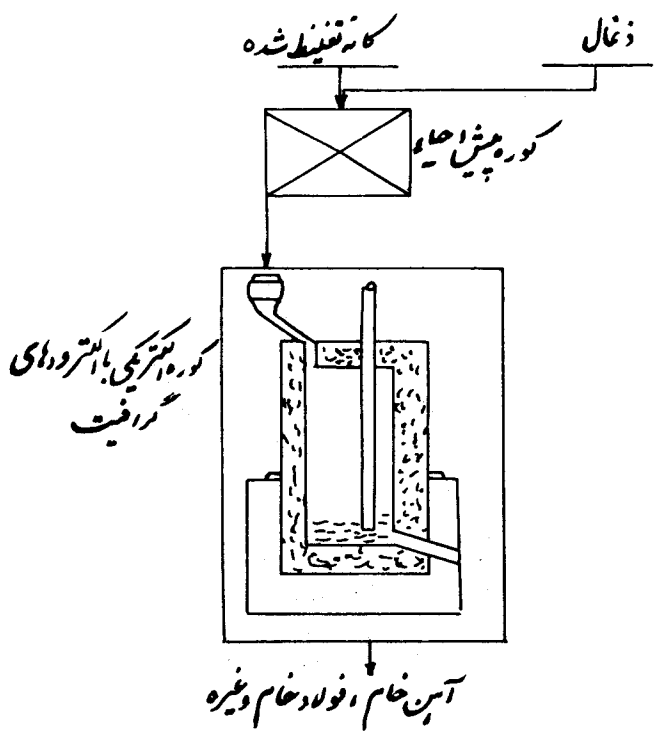
۹۱۱۳ – روش Orinoco ویا HIB (High Iron Briquette)

نرمه کانه تغلیظ شده را پس‌ازگرم کردن واحیاء باگاز طبیعی تفکیک شده باپرس های هیدرولیکی بصورت فرم های پرس‌شده (Briquette) درآورده وسپس برای احیاء کامل درکوره بلند برای کاهش دادن میزان کک مصرفی بکار می‌برند . این روش ازطرف US Steel ابداع گشته است .

۹۲۰۰ ـ بسترهای جاری ناپایدار (ناهمگن)

۹۲۰۱ — بسترهای جاری الکتریکی

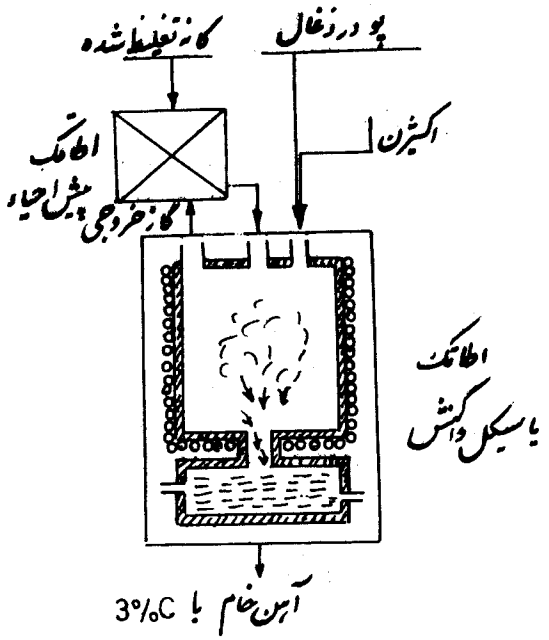
در یک بسترسیال ذغال که با انرژی الکتریکی گرم می گردد از بالای راکتور بانرمه کانه مخلوط با کربن احیاء کننده (ذغال‌سنگ، آنتراسیت، کک‌نفت، ذغال‌قهوه‌ای‌وغیره) وارد گشته که درهنگام فرودآمدن باگاز CO احیاء شده و ذوب میگردد اما کربن اضافی از پیوستگی کانه جلوگیری می کند . دراین روش ازمازادگاز برای پیش‌احیاء دربرجهای ریزش استفاده میگردد . فرآورده این روش آهن خام مذاب ، فولاد خام ، آلیاژهای آهن ، روی ، کربور کلسیم (CaC_2) وغیره میباشد .



۱۰۰۰۰ ـ سیکل‌های واکنش

۱۰۱۰۱ — ذوب شعله‌ای Cyclo Steel

احیاء در دومرحله انجام میگردد که درمرحله اول نرمه کانه باگازهای خروجی داغ که ازمرحله دوم بدست‌می‌آید درحرارتهای متوسط ودربستر سیال پیش‌احیاء شده وداغ باپودر ذغال واکسیژن درمرحله دوم در راکتورهای با دمای بالا که بدنه آن بوسیله آب خنک می‌شود ، وارد می گردد . دراین مرحله عملکرد احیاء نهائی و ذوب انجام می‌شود .



۱۰۱۰۲ – روش Inland Steel

نرمه کانه با گازیکه ازنرمه ذغال واکسیژن تشکیل شده ومقدار آن از کمیت استکیومتریک کمتر می‌باشد، دریک کوره تنوره مانند گرم شده و پیش‌احیاء میگردد سپس دراطاقکهای‌سیکل وارد وپس‌از ذوب واحیاء ازکربن اشباع میگردد . دراین‌حالت فلز نیز ازسرباره جدا میگردد. گازهای حاصل‌از عملکرد ذوب بعداز تصفیه وتازه کردن درمرحله اول بکار میرود .

۱۰۱۰۳ — روش Klektrop Vallack

بوسیله یک بشقاب گردان ، نرمه کانه با سرعت زیاد به‌فضای سوخت ریخته شده و به‌آهن خام تبدیل میگردد . دراین‌فضا نفت ، گاز ویا نرمه ذغال دمیده می‌شود بطوریکه درقشر مرزی قابلیت احیاء باندازه کافی بوده وآهن ازکربن اشباع میگردد . فرآورده‌های حاصل‌از تفکیک وعملکرد احیاء در راکتور صعود کرده ودرفضای سوخت بااکسیژن می‌سوزند .

۱۰۱۰۴ – روش Sachio Nogiwa

نرمه کانه درچهار سیکل بهم‌پیوسته گرم گشته ، احیاء شده و ذوب میگردد. مابین عملکرد احیاء و ذوب گاز خروجی ازمرحله ذوب درسیکل چهارمی بانرمه ذغال به گاز احیاء کننده مبدل میگردد که برای گرم کردن بکار می‌رود .

۱۱۰۰۰ ـ اطاقک‌های گردباد

۱۱۱۰۱ — روش احیاء نهائی Vöest

کانه پیش‌احیاء شده در اطاقک گردباد ریخته شده و بوسیله کربن احیاء گشته و ذوب میگردد. اطاقک هم‌زمان نیز برای تولید گاز احیاء کننده ازسوخت ناقص ذغال ویا کک با اکسیژن بکار می‌رود. قسمتی‌ازگرم کردن اطاقکها باانرژی الکتریکی انجام میگیرد. فرآورده این روش فولاد مذاب می‌باشد.

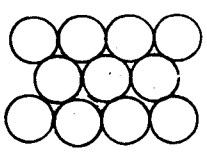
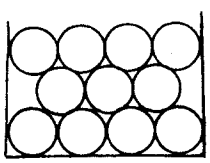
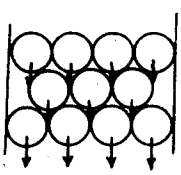
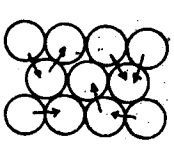
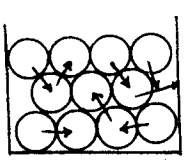
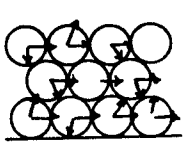
۱۲۰۰۰ ـ لوله‌های قائم (سقوط)

۱۲۱۰۱ — روش احیاء Vöest

نرمه کانه در لوله‌ای قائم بوسیله گازیکه ازناحیه ذوب اطاقک‌های گردباد متصاعد گشته، پیش‌احیاء میگردد. عامل احیاء کننده گازیست که ازاطاقکهای گردباد خارج شده ولی کاملا مورد استفاده قرار نگرفته ودرعکس جهت فرودآمدن بار درلوله قائم جریان داشته و واکنش احیاء را انجام می‌دهد.

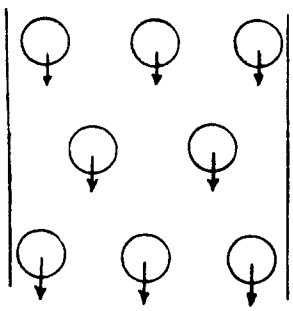
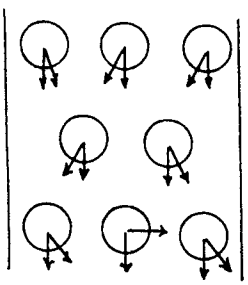
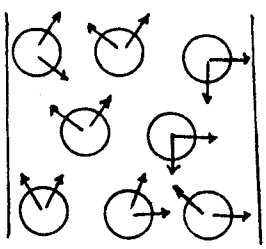
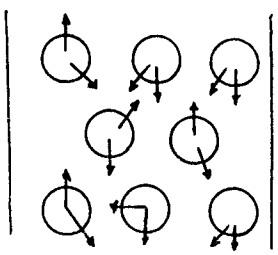
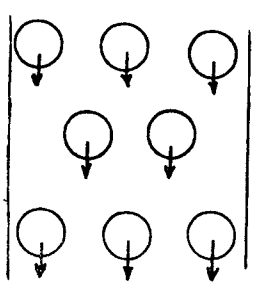
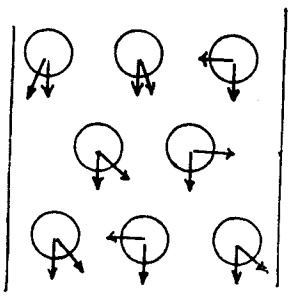
جدول ۲ -گروه‌بندی روشهای تولید آهن خام ، چدن ویا فولاد خام ازدید حرکت اجزاء کانه تغلیظ شده
وعامل احیاءکننده در رآکتوری که واکنش درآن انجام می‌گیرد

۱۰۰۰ - بسترهائی که عوامل واکنش ها (اجزاء کانه وگاز احیاء کنند) درحین احیاء ایکدیگر درتماسند

حرکت اجزاء کانه نسبت بیکدیگر ونسبت بجریان گاز	حرکت اجزاء کانه نسبت بخود و راکتور	نمونه‌هائی از روش
۱۱۰۰ — بسترهای ثابت ، (بسترهائیکه اجزاء واکنش نسبت بیکدیگر ثابتند) 	۱۱۰۱ — بسترهائی که اجزاء کانه نسبت‌بخود ونسبت به‌راکتورثابتند 	اطاقکهای‌واکنش، پاتیلهای‌واکنش، کوره‌های اجاقی کوتاه
	۱۱۰۲ — بسترهائی که نسبت بیکدیگر ثابت و ی نسبت به‌راکتور متحرکند 	کوره‌های تنوره‌ای بابسترهای‌سیال
۱۲۰۰ — بسترهای‌مخلوط، (بسترهائیکه اجزاء کانه نسبت‌بیکدیگر متحرکند) 	۱۲۰۱ — بسترهائیکه اجزاء کانه نسبت بیکدیگرمتحرکند ولی نست به‌راکتور ثابتند 	اطاقکهای گردان طبل های گردان
	۱۲۰۲ — بسترهائی که اجزاء کانه نسبت بیکدیگر ونسبت به‌راکتور متحرکند 	کوره‌های گردان

بقیه جدول ۲

۲۰۰۰ — بسترهائی که اجزاء کانه و گاز درحین احیاء جدا ازیکدیگرند

حرکت اجزاء کانه نسبت بیکدیگر ونسبت بجریان گاز	حرکت اجزاء کانه نسبت به‌خود و راکتور	نمونه‌هائی از روش
۲۱۰۰ — پرتوگرد وغباری‌شکل 	۲۰۱۱ — جریان گاز همراه کانه 	روشهای فولادسازی
۲۲۰۰ — قشرهای معلق (شناور) 	۲۲۰۱ — جریان درصورت ثبوت اجزاء کانه 	بسترهای سیال، سیکلهای واکنش، اطاقک‌های گردباد
(۲۳۰۰ —) برجهای ریزش 	۲۳۰۱- جریان درصورت حرکت اجزاء کانه 	لوله‌های قائم(سقوط)

جدول ۳ـ تقسیم‌بندی روشهای تولید آهن خام ، چدن و یا فولاد خام برحسب عامل احیاء کننده و تأمین کننده انرژی واکنش

روشهای تولید	عامل تأمین کننده انرژی واکنش	عامل احیاء کننده
Jet Smelting	گاز طبیعی	گاز طبیعی
Arthure D Little (ERL روش سابق)	«	«
ESSO Reseach Little (ERL)	«	«
Hojalata Y Lamina (HYL)	«	«
Madras	گاز طبیعی (H_2 ٪۴۰ و CO ٪۶۰) گاز طبیعی	
Mirex	گاز طبیعی	گاز طبیعی
I. C. E. M (VR روش روسانی)	«	«
Purofer (HOAG)	« + گاز خروجی دهانه کوره بلند	«
NU-Iron (Shipley ویا US Steel روش سابق)	گاز طبیعی	«
HIB (High Iron Briquette)	«	«
Lurgie Galluser	«	«
Alikokan Steep Rock		«
Ontario Reseach Foundation (OF)		$CO : H_2 = ۳ : ۱$
Bratton		گاز طبیعی
LTDG Fukoku (Low Temp. Dir. Reduction)		«
Novalver Onia	گاز طبیعی ، گاز شستشوی سنتز آمونیاك (۹۴ درصد هیدروژن) ، گاز طبیعی ، ذغال ، نفت	
Bouchet Imphy		
Echeveria	کک ، ذغال ذغال ، گاز	
H—Iron	H_2 حاصل از سوختهای جامد ، مایع و گازی	

بقیه جدول ۳

عامل احیاء کننده	عامل تأمین کننده انرژی واکنش	روشهای تولید
مخلوط H_2+CO غنی‌از H_2 الکتریکی		
گاز طبیعی	نفت	روش نروژی H—Iron (Jenson)
		نفت‌خام ، اکسیژن ، آهن‌اسفنجی Mariencek
	گاز ، نفت ، نرمه ذغال	Elektrop Steel
	نفت	Dorr Oliver Fluo Solid Montecatini
	نفت	Freemann
کک طبیعی	نفت سنگین	Yawata
کک	«	Asumi Fukuda
	نفت‌خام ، نفت‌سنگین	مراحل ذوب Nakajima NF
ذغال	نفت	Kellog
«	ذغال	کوره تنوره‌دار کوتاه بابار پرس شده
«	«	A. G. McKee
«	«	Dwight Lloyd McWane
پودر ذغال		ذوب شعله‌ای Cyclo Steel
پودر ذغال		Inland Steel
ذغال		Heat Fast (Surface Combustion)
	نرمه ذغال	Sachio Nogiwa
کک	کک	کوره بلند
«	«	کوره تنوره‌دار کوتاه بابار دانه‌ریز
«	نفت ، قیر	Norsk Steel
«		Stelling
«		Sovjet Batch
خاکه کک		Ausralia BHP (Brokcn Hill Fty. Ltd.)
کک‌فرار ، ذغال‌چوب، ذغال قهوه‌ای	انرژی الکتریکی	Ugine
خاکه کک، ذغال‌چوب	انرژی الکتریکی	Kalling Avesta
کک ، ذغال	«	Elektro Kemisk
کک ، ذغال	«	Strategic Udy

بقیه جدول ۳

عامل احیاء کننده	عامل تأمین کننده انرژی واکنش	روشهای تولید	
سوخت ناقص کک، ذغال	انرژی الکتریکی	روش احیاء نهائی	Vöest
نفت، ذغال	«		Wieberg
کک	«		Tohoku Denka Kogyo
ذغال سنگ، آنتراسیت، نیمه کک، کک‌نفت ذغال قهوه‌ای وغیره	انرژی الکتریکی	بستر جاری الکتریکی	Wenzel Schenk
کک	انرژی الکتریکی		Finsider
	«		Kamijima
ذغال	«		De — Sy
«	«		Orcarb
«	«		Lubatti
«	«	کوره تنوره‌دار الکتریکی کوتاه (پست) کوره‌بلند الکتریکی	
«	«		
کک، نرمه ذغال، آنتراسیت ذغال قهوه‌ای	نفت، نرمه ذغال		Krupp
کک، آنتراسیت ، نیمه کک			Krupp Renn
کک ، نرمه ذغال، ذغال سنگ			RN
خاکه کک ، آنتراسیت ، نیمه کک، ذغال قهوه‌ای وغیره			SL / RN
خاکه کک، کک‌فرار ذغال	نفت ، نرمه ذغال		Azincourt
کک ، نرمه ذغال و غیره			Basset
سوخت ناقص کک ، ذغال		روش احیاء	Vöest
خاکه کک ، ذغال چوب			Kalling Donarvet
کک دانه‌ریز ، ذغال			US Bureau of Mines (Larmie)
کک ، ذغال			Doret

بقیه جدول ۳

روشهای تولید	عامل تأمین کننده انرژی واکنش	عامل احیاء کننده
Sovjet Rotary		کک آنتراسیت
Höganäs		کک ، ذغال
Tokoku Denka Kogyo	خاکه کک، کک طبیعی، آنتراسیت	
Stürzelberg	کک ، کک ذغال قهوه‌ای، کک نفت ، آنتراسیت	
CO-C	C	
Hitachi	سوختهای بی‌ارزش	
ACAR	پرویان	
Armco		
Mc Dowell Welimann		
Phelps Dodge		
Republic Steel		
Stora Rotary		

مآخذ

1 — D.N. Vedensky, L.W. Smith

Congres international sur la production et l'utilisation des minerais reduits . Evian (France) , 29 — 30 et 31 Mai 1967 .

2 — E. Q. Dahl

Congers international sur la production et l'utilisation des minerais reduits . Evian (France) , 29 — 30 et 31 Mai 1967 .

3 — K. Tsjihata, Y. Fukagawa, I. Mitoma, S. Hashimoto

Congres international sur la production et l'utilisation des minerais reduits . Euian (France), 29 — 30 at 31 Mai 1967 .

4 — M. E. Volin, J. C. Nigro, W. A. Hockings

Congres international sur la production et l'utilisation des minerais reduits . Evian (France), 29 — 30 et 31 Mai 1967 .

5 — L. von Bogdandy, H. J. Engell

Die Reduktion der Eisenerze, Springer, — Verlag, Verlag Stahleisen Düsseldorf 1967 .

6 — G. Meyer, R. Wetzel

Techn. Mitt. Krupp Werkberichte 30 (1972) 19 .

7 — H. W. Gratkowski

Stahl und Eisen 7 (1960) 397 .

8 — H. D. Pantke, G. H. Lange

International Symposiom Direkt Reduktion Bukarest 18 — 23 Sep. 1972 .

9 — C. E. Falk

Dongres international sur la production et l'utilisation des minerais reduits . Evian (France), 29 — 30 et 31 Mai 1967 .

10 — S. Eketorp

Congres international sur la production et l'utlisation des minerais reduits . Evian (France), 29 — 30 et 31 Mai 1967 .

11 — J. M. Bertram

Iron and Steel Engineer Juli (1972) 31 — 40 .

12 — G. Nabi, W. K. Lu

Transaction of the Metalurgical Society of AIME 242 (1968) 2471 — 2475 .

13 — F. Jaeger, H. Winterhoff

Stahl u. Eisen 5 (1926) 29₀ — 293

14 — L. von Bogdandy

Stahl u. Eisen 13 (1962) 689 — 880 .

15 — H· Pantke, U. Pohl Stahl U. Eisen 93 (1973) 184 — 199

16 — D. Neuschütz, I. Barin und O. Knacke

Thermodynamische Gleichgewichte bei der Erzeugung von Reduktionsgasen Verein deutscher Eisenhûttenleute Bericht Nr. 86 Feb. 1670 .

17 — F. Fischer, H. Tropsch

Brennstoff Chemie 9 (1928) 39 — 46 .

18 — O. Kubaschewski, E. L. Evans und C. B. Alcock

Metalurgical Thermochemistry Pergamon Press, London 1967 .

19 — D. Neuschütz und N. Towhidi

Archive für des Eisenhüttenkunde 41 (1970) 421 — 426

20 — H. D. Pantke, G. H. Lange

Thyssen Forchung sonderdruck Heft (1972) 1 — 21 .

21 — H. D. Pantke, u. Pohl

Vortrag Eisenhüttentag 1372 .

22 — W. Wenzel, H. W. Theiges

Klepzig Fachberichse 4 (1966) 492 — 434 .

23 — W. Wenzel, H. W. Theiges

Klepzig Fachberichte 10 (1966) 121 — 125 .

24 — W. Wenzel, H. W. Theiges

Klepzig Fachberichte 3 (1969) 441 — 445 .

25 — W. Wenzel, H. F. Seeling

Klepzig Fachberichte 3 (1969) 232 — 238 .

26 — L. von Bogdandy

Bilder zur Vorlesungen an der TH Aachen 17. Nov. 1972 .

27 — ناصر توحیدی

نشریه دانشکده فنی شماره ۲۵ صفحه ۲۲٤ تا ۲۳٦ .