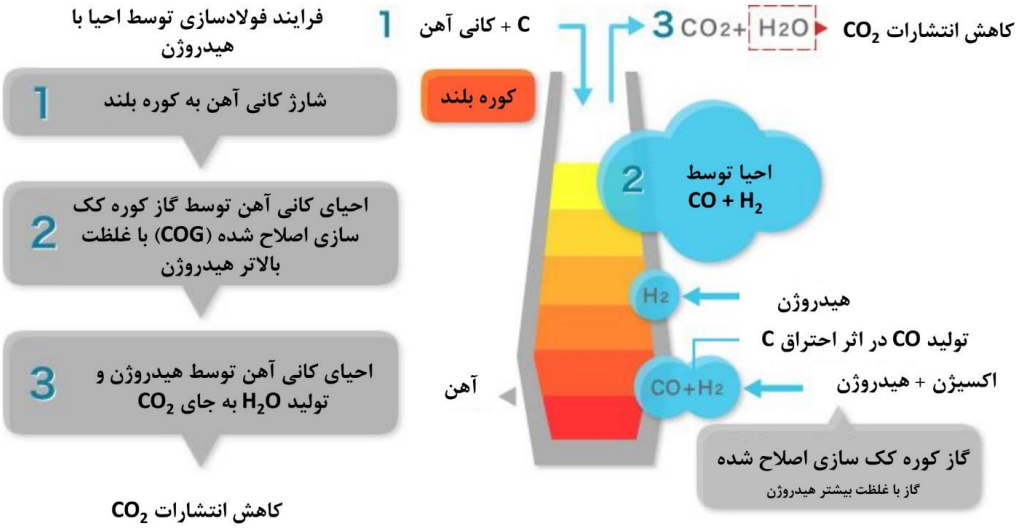
برنامه ۵۰ COURSE ژاپن: فنّاوری کاهش انتشار CO_2 توسط احیا با هیدروژن

به‌منظور کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در صنعت فولاد به‌خصوص در بخش تولید آهن، به تازگی احیای اکسیدهای آهن با استفاده از هیدروژن به عنوان گاز احیاکننده به جای CO مورد بررسی قرار گرفته است. احیای کانی‌های آهن توسط هیدروژن به جای تولید CO_2 تولید H_2O می‌نماید و در نتیجه منجر به کاهش انتشارات CO_2 در صنعت فولاد می‌شود. شماتیک مراحل تکنولوژی مورد نظر که توسط برنامه ۵۰ COURSE ژاپن توسعه یافته است در شکل ۱ نشان داده شده است.

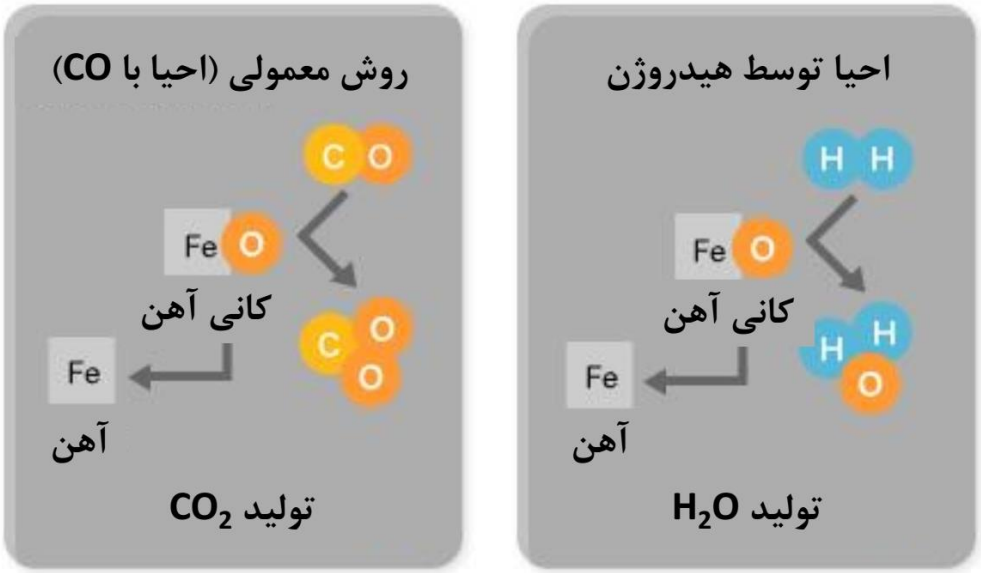


شکل ۱: شماتیک فرایند احیا کانی آهن توسط هیدروژن، پیشنهاد شده توسط برنامه ۵۰ COURSE.

احیای کانی‌های آهن با استفاده از هیدروژن یک واکنش گاز-جامد بوده که در دو یا سه مرحله اتفاق می‌افتد. برای دماهای بالاتر از ۵۷۰ درجه سانتی‌گراد، هماتیت (Fe_2O_3) ابتدا به مگنتیت (Fe_3O_4) تبدیل می‌شود و سپس به وستیت ($Fe_{1-y}O$) و سرانجام به آهن فلزی استحاله می‌یابد. در حالی که در دماهای کمتر از ۵۷۰ درجه سانتی‌گراد، مگنتیت به صورت مستقیم به آهن تبدیل می‌شود زیرا در این شرایط وستیت از لحاظ ترمودینامیکی پایدار نیست.

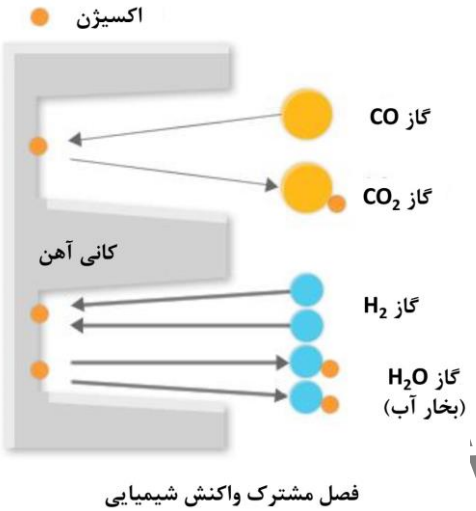
اغلب ویژگی‌های احیا با هیدروژن بسیار شبیه به احیای با CO می‌باشد و بسیاری از مکانیزم‌ها برای هر دو آن‌ها متداول می‌باشد. با این وجود برخی از تفاوت‌های قابل توجه را بایستی مد نظر قرار داد. یکی از آن‌ها این است که احیا توسط هیدروژن واکنشی بوده در حالی که احیا با CO گرمازا می‌باشد. همچنین از لحاظ ترمودینامیکی در دماهای بالاتر از ۸۰۰ درجه سانتی‌گراد، احیای با هیدروژن بسیار مطلوب‌تر

از احیا با CO است و به همین دلیل عملیات‌های صنعتی برای آن‌ها با یکدیگر متفاوت می‌باشد. در تکنولوژی احیا با هیدروژن، گاز داغ تغذیه شده توانایی تأمین کالری لازم برای گرمادهی جامد و نگهداری آن در دمای نسبتاً بالا برای رخداد واکنش‌های مربوطه را دارد. به همین منظور نرخ شار گاز در حین عملیات از نسبت استوکیومتری لازم بیشتر می‌باشد. سینتیک احیا برای احیای توسط هیدروژن سریع‌تر از احیا توسط CO می‌باشد و این موضوع به‌نوبه خود می‌تواند مورفولوژی محصول نهایی (آهن) را بهینه نماید که به رقابت بین نفوذ و واکنش شیمیایی بستگی دارد. به‌طور خاص، تشکیل ویسکرها یکی از ویژگی‌ها منحصربه‌فرد احیا توسط هیدروژن می‌باشد. یکی از ویژگی‌های نامطلوب احیا توسط هیدروژن این است که در برخی از دماها رسیدن به بالاترین درصد احیا در مراحل پایانی فرایند احیا با نرخ بسیار آرامی صورت می‌گیرد. مقایسه مکانیزم احیا توسط CO و هیدروژن در شکل ۲ نشان داده شده است.



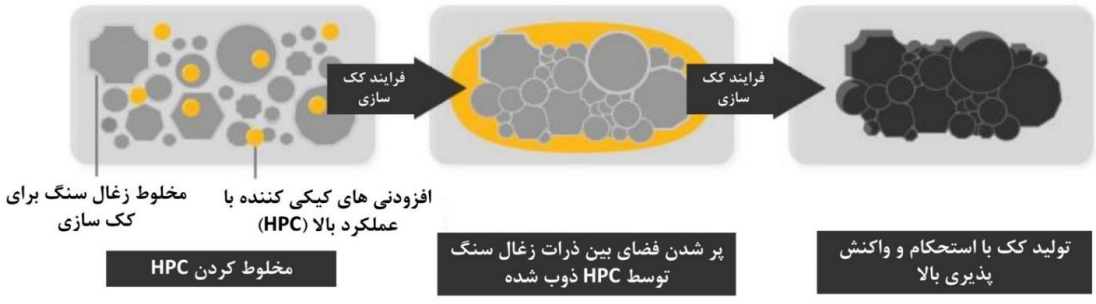
شکل ۲: مقایسه مکانیزم احیا توسط گاز CO و هیدروژن.

کوره بلند معمولی بر پایه احیا توسط گاز CO عمل می‌کند با این وجود به دلیل اینکه سایز CO بزرگ‌تر از H_2 می‌باشد لذا میزان نفوذ مولکول‌های H_2 نسبت به گاز CO به سمت کانی‌های آهن بیشتر می‌باشد. این موضوع در شکل ۳ نشان داده شده است. نرخ نفوذ برای هیدروژن ۵ برابر بیشتر از نرخ نفوذ CO می‌باشد و به همین دلیل نرخ احیا در کوره بلند توسط هیدروژن افزایش می‌یابد.



شکل ۳: مقایسه میزان نفوذ گاز CO و هیدروژن در فرایند احیا کانی آهن در کوره بلند.

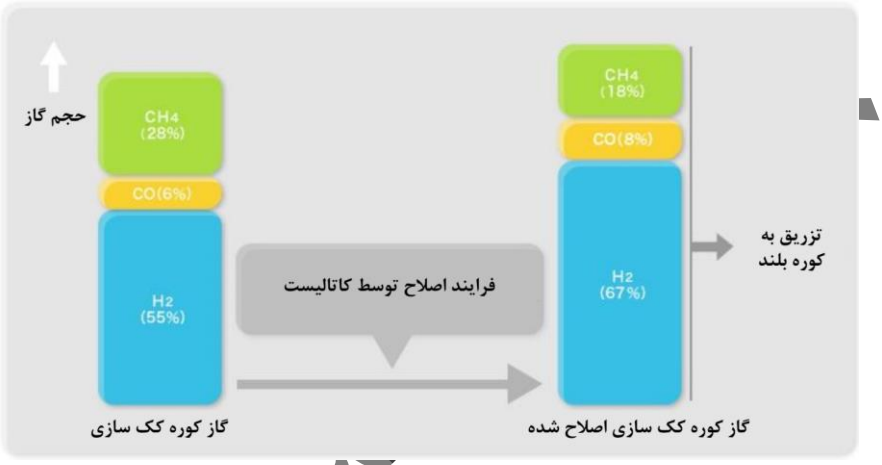
از طرف دیگر در مورد استفاده از کک جهت احیا کانی آهن، به منظور حفظ نفوذپذیری گاز برای انجام واکنش‌های احیای کانی آهن، نیاز به کک با استحکام بالا می‌باشد. علاوه بر این واکنش‌های گرماگیر انجام شده در حین کاهش هیدروژن، منجر به کاهش دما در داخل کوره بلند می‌گردد و در نتیجه احتیاج به استفاده از کک با بالاترین میزان واکنش‌پذیری را نمایان می‌سازد. افزودنی‌های کیکی‌کننده با عملکرد بالا[1] (HPC) در یکی از پروژه‌های حمایت‌کننده از برنامه COURSE توسعه یافته‌اند که مشخصه‌های نرم‌شوندگی و ذوب آن‌ها بهبود یافته و همچنین ویژگی‌هایی نظیر انبساط پذیری و توده‌ای شدن ذرات زغال توسط پر شدن فاصله بین آن‌ها افزایش می‌یابد که منجر به افزایش استحکام کک می‌شود. با استفاده از اثرات مطلوب HPC، نسبت ترکیب بالاتر از زغال‌سنگ‌های با واکنش‌پذیری زیاد حاصل می‌شود که به‌طور معمولی بدست نمی‌آیند. در نتیجه تولید کک با استحکام بالا و فعالیت بالا افزایش می‌یابد.



شکل ۴. تولید کک قوی و فعال توسط افزودنی HPC جهت تغییر مطلوب شرایط کوره بلند.

[1]. High performance caking additive

همچنین غنی نمودن گاز کوره کک توسط هیدروژن می‌تواند توسط اصلاح قطران موجود در گاز با کمک انرژی استفاده نشده در کارخانه تولید فولاد بدست آید. تزریق گاز اصلاح شده غنی از هیدروژن حاوی CO در کوره بلند می‌تواند مصرف کک برای احیای کانی آهن را کاهش دهد. در حال حاضر برنامه COURSE ۵۰ موفق به تولید گاز کوره کک حاوی مقادیر بیشتر از ۵۰٪ هیدروژن شده است. همچنین در این پروژه، توسعه تکنولوژی فرایند برای اصلاح قطران با کمک کاتالیزور -که منجر به بهبود واکنش اصلاح می‌شود- با استفاده از گاز کوره کک سازی در یک واحد تولید فولاد در حال انجام می‌باشد. مشخصات گاز کوره کک سازی قبل و بعد از اصلاح توسط کاتالیست در شکل ۵ نشان داده شده است.



شکل ۵. مشخصات گاز کوره کک سازی به‌عنوان عامل احیایی قبل و بعد از اصلاح توسط کاتالیست.

گاز اصلاح شده کوره کک سازی (میزان هیدروژن حدود ۶۰٪) از طریقه دهانه‌های معمولی و دهانه‌های بالایی در شافت کوره بلند تغذیه می‌شود. در کوره بلند، کانی آهن از بالای کوره و گاز احیایی از قسمت پایین کوره تزریق می‌شوند. کانی آهن با سقوط و پایین آمدن از قسمت بالایی به پایین کوره، در اثر واکنش‌های احیا به آهن تبدیل می‌شود. گاز اصلاح شده کوره کک سازی غنی از هیدروژن از طریق دهانه‌های میانه و پایینی به کوره بلند تزریق می‌شود. این پروسه می‌تواند تکنولوژی احیای آهن با بازدهی بالاتر، سریع‌تر و همچنین انتشار کمتر CO_2 را به ارمغان آورد.