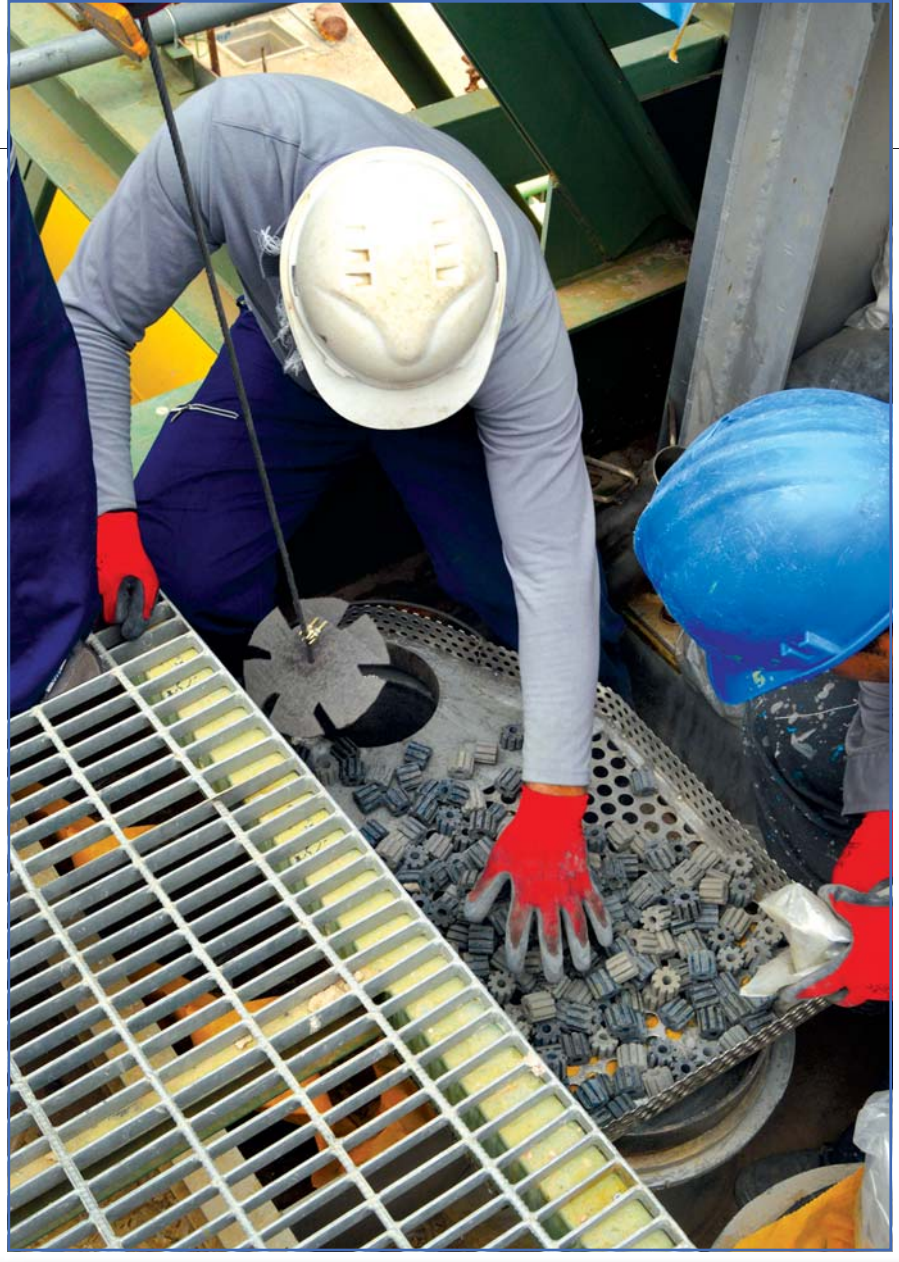
گسترش فناوری خوارزمی



بارگذاری کاتالیست‌های ریفرمینگ احیاء مستقیم سنگ آهن در مجتمع فولادسبزوار

از: مهندس حسن‌نوایی، مدیرعامل شرکت دانش‌بنیان گسترش فناوری خوارزمی

دومین‌بار پس از پروژه بارگذاری کاتالیست‌های ریفرمینگ مدول یک شرکت فولادخوزستان، بارگذاری کل کاتالیست‌های ریفرمینگ مورد استفاده در ریفرمر شرکت پارس فولادسبزوار را عهده‌دار شد که این برای نخستین‌بار است که کاتالیست‌های ریفرمینگ در این واحد تولیدی، بارگذاری و مورد استفاده قرار می‌گیرد.

ماهنامه‌پردازش: با توجه به تنوع موارد استفاده فولاد در دنیا، تولید فولاد همگام با پیشرفت تکنولوژی تغییرات بسیاری داشته و تولیدکنندگان سعی در بالابردن بهره‌وری داشته‌اند. با توجه به منابع موجود در کشور، روش میدرکس، برترین و اقتصادی‌ترین روش می‌باشد.

در این روش، سنگ‌آهن در تماس مستقیم با گازهای احیاءکننده (شامل هیدروژن و مونوکسید کربن) به آهن‌اسفنجی تبدیل می‌شود.

نقش کاتالیست‌ها ریفرم هیدروکربن‌های موجود در گاز طبیعی، توسط ترکیبات اکسنده دی‌اکسیدکربن و بخار آب جهت تولید گازهای احیاءکننده است.

شرکت گسترش فناوری‌خوارزمی برای

شکل ۱

تصویر کاتالیست خنثی (راست)، نیمه‌فعال (وسط) و فعال (سمت چپ)
مورد استفاده در ریفرمر مدول ۱ شرکت فولاد خوزستان

اعزام تیم فنی بارگذاری کاتالیست‌ها از سوی شرکت گسترش فناوری خوارزمی موجب شد تا علاوه بر مستندسازی دقیق و ثبت داده‌های مربوط به فرآیند بارگذاری، اطمینان لازم جهت شارژ بهینه و حداکثری تیوب‌ها برای واحد بهره‌بردار حاصل گردد.

با توجه به کیفیت و دقت بالای فرآیند بارگذاری، بیشینه دانسیته توده‌ای (Bulk Density) کاتالیست‌ها در تیوب‌های ریفرمر بدست آمد که این مسئله بر روی تناژ تولید، عملکرد ریفرمر، عمر کاتالیست‌ها و حتی طول عمر لوله‌های ریفرمر تاثیر مثبتی خواهد گذاشت.

بارگذاری کاتالیست

طرح فولادسبزوار از جمله هشت طرح مهم فولاد کشور است که ظرفیت تولید سالانه ۸۰۰ هزار تن محصول آهن‌اسفنجی داشته و شرایط اشتغال دو هزار نفر را به‌صورت مستقیم فراهم نموده است.

واحد احیاء مستقیم سنگ‌آهن مجتمع فولادسبزوار در حال حاضر دارای یک مدول احیاء مستقیم، به صورت ٦ ردیف A، B، C، D، E و F بوده که هر ردیف دارای ۱۳ سلول (Bay) و هر سلول حاوی ٦ تیوب می‌باشد.

تیوب‌های استفاده شده در ریفرمر از نوع ۸ اینچی بوده که با کسر طول نگه دارنده‌های کاتالیست(Canister) و همچنین شیپوری که به ترتیب در پایین و بالای بستر کاتالیست قرار می‌گیرند، در حالت نرمال دارای طول اسمی ۸۰۰ سانتی‌متر، که همان طول بستر کاتالیستی است، می‌باشند.

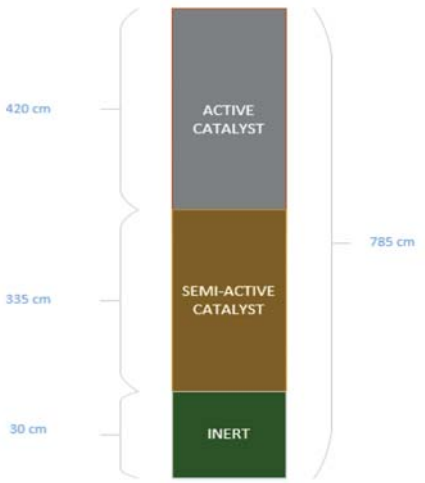
به سبب حساسیت بستر کاتالیست‌ها و همچنین هزینه نسبتاً سنگین تامین این مواد در واحدهای احیاء مستقیم، بسیار مطلوب است شارژ کاتالیست به صورت تخصصی و با توجه به خواص فیزیکی این قطعات انجام گیرد.

شارژ قطعات کاتالیستی می‌بایست به گونه‌ای باشد که چینش نهایی آنها علاوه بر تضمین صحت طراحی صورت گرفته، عدم تخریب کاتالیست‌ها را به دنبال داشته باشد و حداکثر وزن ممکن در هر لایه کاتالیستی شارژ گردد.

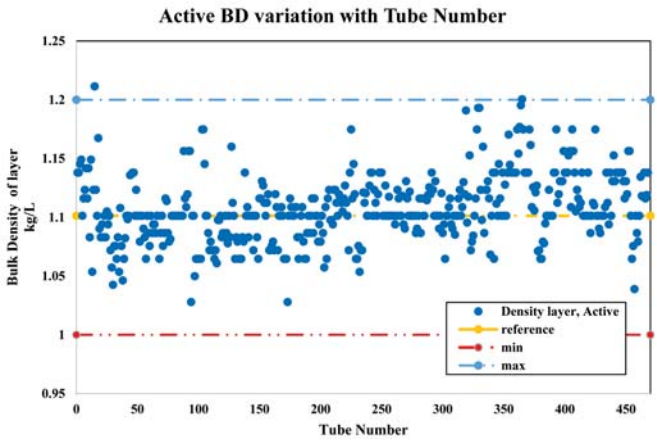
بنابراین باید به طور همزمان چندین فاکتور از جمله همگن بودن بستر، سالم ماندن قطعات کاتالیستی، حداکثر بودن سطح خارجی کاتالیستی در یک بستر، به حداقل رساندن فضاهای خالی میان آن‌ها و همچنین انجام کل عملیات در مدت زمان شارژ در نظر داشت.

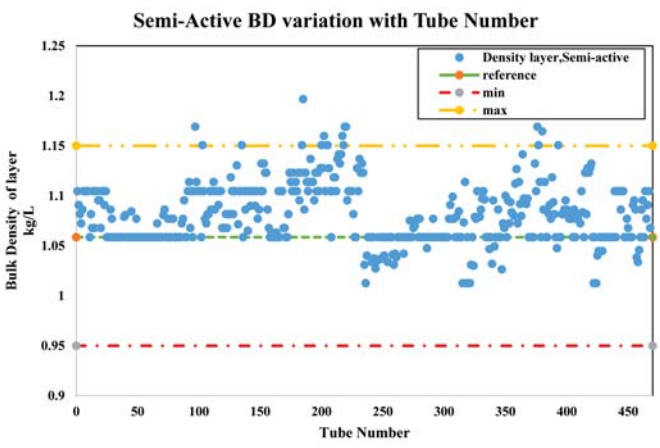
صفحات لاستیکی تجهیزات بارگذاری کاتالیست‌ها زمانیکه درون تیوب و حین شارژ قرار می‌گیرند، به لحاظ عملی با متمایل شدن به یک سمت قادر به هدایت قطعات به روی بستر می‌باشند، لذا در صورت امکان رصدکردن بستر در حال شارژ می‌توان مشاهده نمود که بستر به از یک سمت و به صورت اُریب پر می‌شود.

فرآیندی جبرانی نظیر وایبراسیون تیوب‌های در حال شارژ باعث کاهش بوجود آمدن فضای خالی میان قطعات کاتالیستی می‌شود. به طور کلی نحوه انجام بارگذاری را می‌توان به مراحل ذیل تقسیم نمود:



- محاسبه مقدار حدودی کاتالیست مورد نیاز در هر تیوب بر اساس پروفایل شارژ، طول مؤثر تیوب و دانسیته بالک هر سه نوع کاتالیست.
- تعیین شاخص‌های طول هر گرید کاتالیست.
- اطمینان از ارتفاع مناسب بستر پس از ریختن هر یک از سه گرید کاتالیست در تیوب با استفاده از شاخص‌های تعیین شده.
- ایجاد لرزش مناسب در طول تیوب در حین بارگذاری.
- ثبت مقدار کاتالیست بارگذاری شده در هر تیوب.
- انجام دو مرحله تست فشار برای هر تیوب و تأیید نهایی بستر کاتالیست بارگذاری شده در آن.





جدول ۱ مقادیر بارگذاری هر نوع کاتالیست در یک لوله به طور میانگین

نوع کاتالیست	مقدار متوسط (kg)	میانگین دانسیته توده‌ای (kg/L)	انحراف معیار داده‌ها
Inert	13	1.38	1.37
Semi-Active	117	1.11	3.26
High-Active	150	1.14	3.91

اطلاعاتی که در حین بارگذاری برای هرتیوب ثبت می‌گردد شامل مختصات دقیق هر تیوب در حال شارژ در ریفرمر، اطمینان از عدم وجود ذرات، غبار یا اشیاء خارجی درون لوله و تمیز بودن آن‌ها، تعداد بسته کاتالیست بارگذاری شده در هر یک از انواع کاتالیست خنثی، نیمه‌فعال و فعال (وزن هر بسته ۵ کیلوگرم است) و همچنین تست‌های مربوط به افت فشار بستر بارگذاری شده می‌باشد.

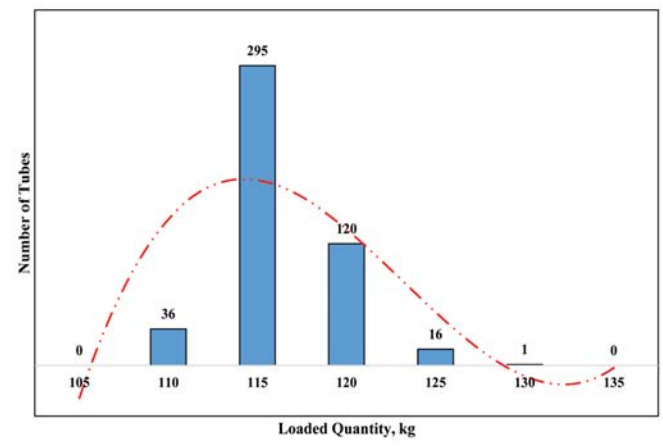
پروفایل شارژ در ریفرمرهای واحدهای احیاء مستقیم با توجه به شرایط فرآیندی خوراک ریفرمر، علی‌الخصوص دمای آن تعیین می‌شود؛ لذا ممکن است با توجه به دماهای متفاوت خوراک ریفرمرهای مختلف، پروفایل شارژ تغییر یابد. بارگیری لایه‌های مختلف کاتالیستی بر اساس دستورالعمل شرکت سازنده کاتالیست (شرکت گسترش فناوری خوارزمی) برای مجموع ٤٦٨ تیوب انجام گردید.

در ادامه به جهت بررسی کیفیت شارژ، افت فشار تیوب‌های پرشده از کاتالیست توسط دستگاه اندازه‌گیری افت فشار ثبت شد و یکسان‌سازی (Outage) تیوب‌ها در مرحله‌نهایی اندازه‌گیری و یادداشت گردید.

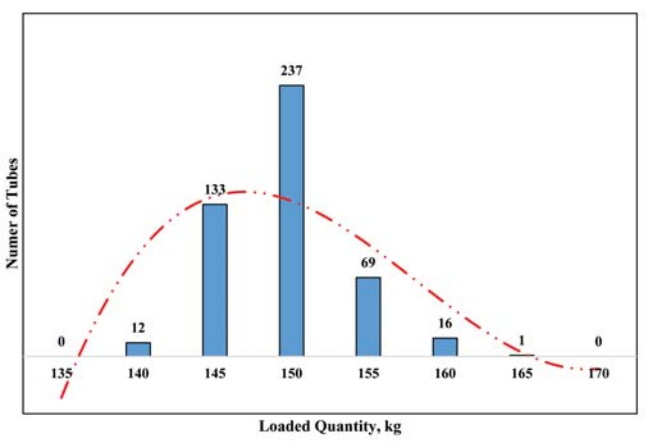
با توجه به این مطلب که طول تمامی تیوب‌ها یکسان است، مقادیر هر سه نوع کاتالیست بارگذاری شده با دقت خوبی به یکدیگر نزدیک می‌باشد. در زیر تغییرات دانسیته توده‌ای کاتالیست‌های نیمه‌فعال و فعال شارژ شده بر اساس تیوب‌ها گزارش شده است.

با توجه به داده‌های فراهم شده می‌توان گفت تلورانس کیسه‌های مورد استفاده در هنگام بارگذاری در شارژ صورت گرفته در محدوده دانسیته حجمی اعلام شده مجاز می‌باشد.

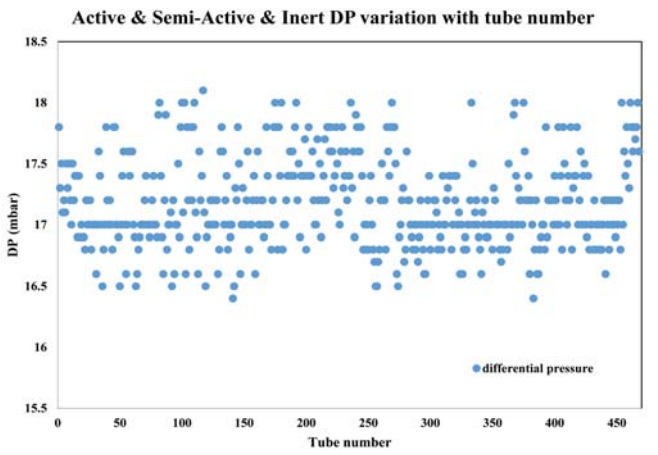
با توجه به جدول بالا مشاهده می‌شود که پراکندگی جرم کاتالیست‌های شارژ شده در

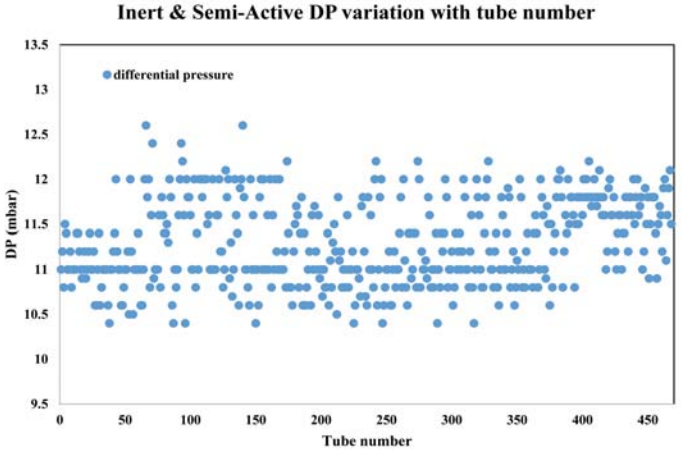


نمودار فراوانی مقدار شارژ در بارگیری مرحله اول (شارژ لایه کاتالیست نیمه‌فعال



نمودار فراوانی مقدار شارژ در بارگیری مرحله دوم (شارژ لایه کاتالیست فعال)





لایه‌های مختلف قابل‌قبول بوده و محدوده دانسیته توده‌ای هر کاتالیست رعایت شده است.

بازرسی شارژ از طریق تست افت‌فشار

تیوب‌های بارگذاری شده پیش از نسوزکاری، برای اطمینان از یکنواختی شارژ و کیفیت مناسب شارژ انجام شده در کل تیوب‌های ریفورمر می‌بایست از طریق تست افت فشار ارزیابی شوند.

با توجه به مطالعه به عمل آمده در صنایع دست‌اندرکار فولاد در کشور می‌توان گفت روش اصولی و واحدی جهت اندازه‌گیری افت فشار بستر به کار گرفته نمی‌شود و صرفا از روشی استفاده می‌شود که به شکل آماری یکی از پارامترهای حاصل از عبور جریان هوا از بستر را مورد مقایسه قرار دهد.

این شرکت پس از مطالعات و آزمایش‌های صورت گرفته در مقیاس صنعتی، تجهیزاتی جهت اجرای این عملیات که بتواند افت فشار تیوب‌های خارج از محدوده نرمال (۵ درصد بالاتر و پایین‌تر از مقدار متوسط) را تشخیص دهد، فراهم کرده است.

تفاوت این روش با روش‌های متداول مورد استفاده در ریفرمرها در این مطلب است که در این روش، فشار ورودی (توسط یک رگلاتور دقیق) و دبی عبوری هوا ابتدا (اندازه‌گیری دبی هوا توسط افت فشار به وجود آمده در یک

اوریفیس) برای تمامی تیوب‌ها یکسان شده و سپس افت فشار سر تیوب‌ها، یک‌به‌یک، اندازه‌گیری و مقایسه می‌شود. تنظیم دبی هوا توسط یک شیر سوزنی بسیار دقیق انجام می‌گیرد تا اندازه‌گیری همه تیوب‌ها در فشار و دبی یکسان بوده و در این حال قیاس مناسبی از افت فشار سر تیوب‌ها به دست آید.

تست افت فشار در دو مرحله، زمانی‌که تنها حاوی کاتالیست‌های خنثی و نیمه‌فعال و زمانی که حاوی هر سه نوع کاتالیست خنثی، نیمه فعال و فعال است، مورد بررسی قرار گرفته است.

این دستگاه اندازه‌گیری مجهز به یک رگلاتور گازی دقیق، یگ دستگاه دیجیتالی اندازه گیری دقیق فشار نسبی، یک دستگاه دیجیتال دقیق اندازه‌گیری افت فشار اوریفیس که در کنار آن، با ایجاد یک سیستم آب‌بند ویژه درساختار دستگاه بتوان از برگشت هوا از تیوب جلوگیری کرد.

تنظیم فشار ثابت برای هوای ورودی به تیوب (فشار هوای ورودی ۵ بار)، اندازه‌گیری فلوی هوای عبوری توسط اوریفیس و در نهایت مقایسه اندازه‌گیری‌های به دست آمده در جامعه آماری کل ریفرمر، روند کلی بازرسی کیفیت شارژ می‌باشد.

در نمودارهای فوق، تغییرات میزان افت فشار دو سر تیوب در حالتیکه تنها از بسترهای نیمه فعال و خنثی و سپس در حالتیکه کل تیوب از هر سه نوع کاتالیست پر شده نشان داده شده است.

لازم به ذکر است افت فشار دو سر تمامی تیوب‌های خالی حدود ۱ میلی بار اندازه‌گیری شد که اثر ناچیزی روی افت فشارهای اندازه‌گیری دارد.

در ابتدای بارگذاری چند تیوب با دقت بالا برای هر قسمت بارگذاری می‌گردد. افت فشار این تیوب‌ها با دستگاه دقیق افت فشار مشخص می‌شود و سپس با قرار دادن میانگین این افت فشار به عنوان مبنا و در نظر گرفتن تلورانس منطقی (حدود ۳ تا ۵ درصد) تیوب‌های بارگذاری شده دیگر مورد بررسی قرار گرفته تا بتوان با تشخیص تیوب‌های با کیفیت شارژ کم از مشکلات احتمالی بعد از راه‌اندازی جلوگیری نمود.