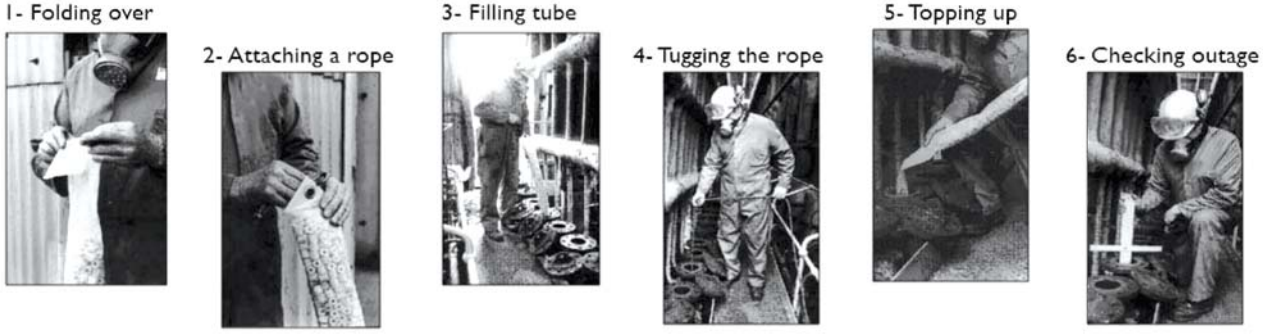
نگاهی کوتاه به روش‌های بارگذاری کاتالیست‌های صنعتی

از: مهندس حسن‌نوایی، مدیرعامل شرکت دانش‌بنیان گسترش فناوری خوارزمی

ماهنامه پردازش: کاتالیست از اقلام نیمه مصرفی واحدهای صنعتی می‌باشد که به دلیل کاهش راندمان پس از چندین سال استفاده، تعویض آنها در هر واحد تولیدی امری اجتناب ناپذیر می‌باشد. به علت هزینه گزاف تأمین این مواد بسیار مطلوب خواهد بود اگر طول عمر طراحی شده این مواد در واحد تولیدی محقق گردد. لذا به سبب حساسیت بستر کاتالیست‌ها و همچنین هزینه نسبتاً سنگین تامین این مواد در واحدهای تولیدی، امروزه مبحث شارژ کاتالیست در کشورهای صنعتی و نیمه صنعتی در کل دنیا به‌صورت یک فناوری مجزا و از طریق شرکت‌های تخصصی صاحب تکنولوژی در این حوزه دنبال می‌شود. در واقع هر یک از صاحبان امتیاز این فناوری‌ها مدعی ساخت تجهیزی هستند که تضمین می‌کند می‌توان حداکثر میزان وزنی کاتالیست‌ها را در بستری همگن و با حداقل آسیب به قطعات، درون راکتور جای داد.

شکل ۱: مراحل بارگذاری کاتالیست‌ها به روش جورابی



به عبارت ساده‌تر چینش عملی قطعات کاتالیستی در کنار همدیگر تعیین‌کننده صحت طراحی صورت گرفته است و اجرای اصولی بارگذاری کاتالیست‌ها می‌تواند تضمین‌کننده عدم تخریب کاتالیست‌ها و همچنین تیوب‌ها در ریفورمر باشد. روش بارگیری کاتالیست درون تیوب‌های ریفرمر به دو طریق بر کارایی ریفرمر تاثیر دارد.

اولاً، اختلاف در افت فشار بین تیوب‌های مختلف منجر به تفاوت در شدت جریان گاز بین تیوب‌ها خواهد شد، که این منجر به اختلاف دمایی بین دیواره تیوب‌ها می‌گردد. دوم اینکه، بارگیری کاتالیست‌ها باید به‌گونه‌ای باشد که هیچ فضای خالی از کاتالیست درون تیوب وجود نداشته باشد.

در واقع اگر کاتالیستی وجود نداشته باشد، واکنش گرماگیری انجام نشده و باعث ایجاد نقاط داغ در تیوب ریفرمر می‌شود. تجهیز بارگذاری دستگاهی چندمنظوره است و در طراحی آن به‌طور همزمان چندین فاکتور از جمله همگن بودن بستر، سالم ماندن قطعات کاتالیستی، حداکثر بودن سطح فعال کاتالیستی در یک بستر، به حداقل رساندن فضاهای خالی میان آن‌ها و همچنین انجام کل عملیات در مدت زمان شارژ مناسب دخیل هستند.

شرکت گسترش فناوری‌خوارزمی که یکی از تولیدکنندگان پیشرو در زمینه کاتالیست در کشور می‌باشد، با هدف کمک به مشتریان خود مدتی است در حال تحقیق و مطالعه روی روش‌های بهینه برای بارگذاری کاتالیست‌های احیاء مستقیم و به‌طور کلی راکتورهای تیوبی می‌باشد.

در این راستا جهت بهره‌مندی هرچه بیشتر از یک تکنولوژی نو در این زمینه، طراحی‌های صورت گرفته با چند هدف دنبال شده است. در ابتدای امر طراحی و ساخت ابزاری جهت هدایت قطعات کاتالیستی به گونه‌ای فاکتورهای بارگذاری فوق‌الذکر را میسر سازد، مورد نظر قرار گرفت. در گام بعد ابداع روشی که در آن امکان شارژ کاتالیست‌ها به روشی مکانیزه و با حداقل دخالت اپراتور باشد در دستورکار قرار داده شد.

این دستگاه از این نظر که خطاهای انسانی حین شارژ را به حداقل خود خواهد رساند و انتظار همسانی بیشتر میان تیوب‌های ریفورمر هم از نظر کیفی و هم از نظر کمی میسر می‌نماید حائز اهمیت می‌باشد.

جهت درک صحیح موضوع بارگذاری کاتالیست خالی از لطف نیست که به انواع این روش از نظر طبقه‌بندی کلی اشاره گردد. در چارچوب کلی انواع روش‌های بارگذاری چه برای راکتورهای تیوب شکل و چه راکتورهای مخزن شکل مانند راکتورهای پتروشیمی، به دو دسته جورابی (Sock Loading) و تراکمی (Dense Loading) قابل تقسیم‌بندی هستند.

الف) بارگیری جورابی

روش نخست بر اساس هدایت قطعات به داخل راکتور از طریق محفظه‌های جورابی شکل می‌باشد. در این روش قطعات کاتالیست که از قبل درون یک جوراب پلاستیکی یا کرباسی قرار گرفته با کمک یک طناب که جوراب به آن متصل است، به داخل لوله برده می‌شود.

در هنگامی که جوراب به انتهای راکتور رسید، طناب تکان داده شده که سبب باز شدن جوراب و رهاشدن کاتالیست در داخل راکتور می‌گردد. طول جوراب‌های مورد استفاده در این روش حدود ۱۵۰ – ۲۰۰ سانتی‌متر بوده و جوراب‌ها به راحتی می‌توانند درون تیوب‌های ریفرمر بلغزند. در هنگام استفاده از این روش، بارگیری غیر یکنواخت راکتور منجر به ایجاد فضای خالی می‌شود.

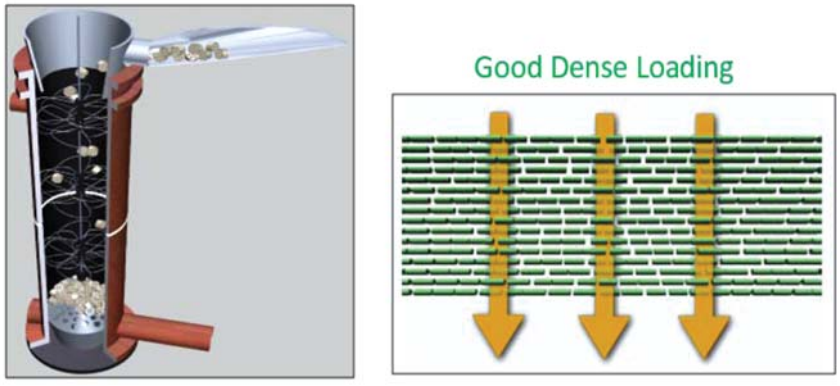
هنگامی که کاتالیست‌ها از داخل جوراب خارج می‌گردند، بارگیری به شدت انجام شده و امکان دارد کاتالیست‌ها باعث تشکیل پل شوند. لرزاندن تیوب‌ها، تعدادی از این پل‌ها را از بین می‌برد و سبب افزایش دانسیته می‌شود اما نمی‌تواند باعث رفع این مشکل به صورت کامل گردد.

بارگیری جورابی اغلب دارای مشکلاتی از قبیل افتادن جوراب در داخل تیوب حین بارگیری کاتالیست است. همچنین، امکان سقوط آزادانه کاتالیست‌ها درون تیوب وجود دارد که منجر به شکست کاتالیست‌ها می‌شود. این روش بسیار وقت‌گیر بوده و نیاز به نفر ساعت بالای نیروی‌انسانی می‌باشد.

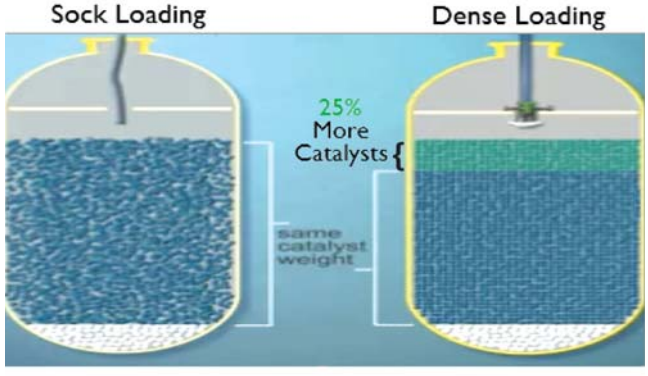
ب) بارگیری متراکم یکنواخت

روش دوم ایجاد بستری متراکم با استفاده از سقوط آزاد قطعات در فواصل پیش‌بینی شده

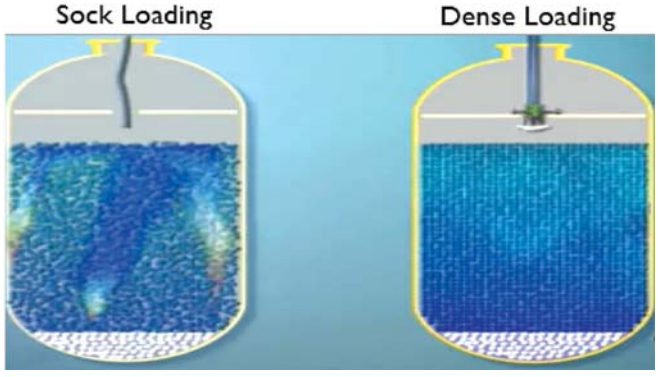
شکل ۲: مراحل بارگذاری کاتالیست‌ها به روش متراکم یکنواخت



شکل ۳: تفاوت بارگذاری کاتالیست به دو روش جورابی (سمت چپ) و تراکمی (سمت راست)



شکل ۴: مقایسه کانالیزه شدن دو روش بارگذاری جورابی (سمت چپ) و تراکمی (سمت راست)



و بهره‌گیری از تمایل قطعات برای قرارگرفتن در حالتی است که کمینه سطح انرژی را بدست آورند. امروزه راندمان کلی از نظر میزان کاتالیست‌های قابل شارژ و کیفیت بستر به دست آمده با استفاده از روش دوم امری اثبات شده است. در صورت توزیع یکنواخت کاتالیست در راکتور در حین عملیات بارگیری، روش بارگیری متراکم بر توزیع یکنواخت و مناسب سیال بر روی بستر کاتالیست تاثیر مستقیم داشته و موجب افزایش سیکل عملیاتی واحد شود.

لذا می‌توان گفت طراحی هدایتگرهای کاتالیست‌ها در این زمینه امتیاز هر کدام از صاحبان تکنولوژی بارگذاری خواهد بود. بارگیری کاتالیست‌ها با استفاده از این روش از پیچیدگی کمتر و سرعت بالاتری نسبت به روش بارگیری جورابی برخوردار است.

بیشترین عملکرد کاتالیست، بارگیری بیشتر کاتالیست، توزیع بهتر جریان سیال، عدم تشکیل کانالیزه شدن، ایجاد نقاط داغ بسیار کم در طول راکتور و همچنین افت فشار یکنواخت از دیگر مزایای استفاده از روش بارگیری متراکم یکنواخت می‌باشد.

در این روش کاتالیست‌ها از طریق یک قیف به داخل تیوب ریفرمر وارد شده و هدایتگرهای کاتالیست‌ها به آهستگی از داخل تیوب با تشکیل لایه‌های کاتالیست به بالا کشیده می‌شود. استفاده از هدایتگرهای مناسب، سرعت سقوط قطعات کاتالیست را کاهش داده و مانع از شکست قطعات می‌گردد.

در این روش نیازی به تکان‌دادن تیوب‌های ریفرمر نمی‌باشد زیرا ریسکی برای تشکیل پل وجود نداشته و تضمین رسیدن به یک دانسیته یکنواخت در طول کل تیوب وجود دارد. تجربه بارگیری انواع مختلف کاتالیست (شکل‌ها و اندازه‌های مختلف) نشان‌داده است که تغییرات افت‌فشار اندازه‌گیری شده همه تیوب‌ها کمتر از ±۵ درصد می‌باشد.

با به کارگیری این تکنولوژی، کاتالیست بیشتری در حدود ۳ تا ۷ درصد و در موارد تا بیش از ۲۵ درصد در مقایسه با روش بارگیری جورابی بارگیری می‌شود (شکل ۳). این روش یک روش سریع بوده و کانالیزه شدن جریان ورودی به تیوب‌ها را خصوصاً در حالتیکه خوراک راکتور مایع است از بین می‌برد. زمان واقعی برای بارگیری یک تیوب با این روش به ابعاد تیوب و طول آن بستگی دارد.

مشخص است که زمان لازم برای تعویض کاتالیست‌ها باعث متوقف شدن تولید و کاهش سود واحد صنعتی بوده و با افزایش سرعت بارگذاری در عین حفظ یا حتی بهبود کیفیت شارژ می‌توان از توقف‌های طولانی مدت تولید جلوگیری کرد و از این جهت، کاهش زمان امر بسیار سودمند و مطلوب نفرات بهره‌بردار واحد صنعتی می‌باشد.

در حال حاضر جهت شارژ کاتالیست ریفرمینگ در صنایع فولاد کشور یک روش سنتی مورد استفاده قرار می‌گیرد (شکل ۵)، به نوعی روش تراکمی می‌باشد؛ با این تفاوت که صرفاً از لحاظ مکانیزم در چارچوب این روش قرار می‌گیرد، حال آنکه نیازهای بارگذاری صحیح به صورتی که اشاره شد را بر طرف نمی‌سازد و روش اتوماتیکی نیز نمی‌باشد.

هدایتگرهای لاستیکی کاتالیست‌ها زمانیکه درون تیوب قرار می‌گیرند، به لحاظ عملی با متمایل شدن به یک سمت قادر به هدایت قطعات به روی بستر می‌باشند، لذا درصورت‌امکان رصد کردن بستر در حال شارژ می‌توان مشاهده نمود که بستر به از یک سمت و به صورت اُریب پر می‌شود.

این امر که سبب به وجود آوردن فضای خالی میان قطعات کاتالیستی می‌شود، گرچه با فرآیندی جبرانی نظیر وایبراسیون تیوب‌های در حال شارژ کاهش می‌یابد، اما به‌طور کامل حذف نمی‌گردد. بنابراین جایگزین نمودن هدایتگرهای موجود با طراحی جدیدی که مشکل شارژ کاتالیست‌ها را از ابتدا مرتفع نماید بسیار مناسب‌تر خواهد بود.

ستاپ آزمایشگاهی این شرکت با دارا بودن تیوب‌های شفاف با ابعاد مشابه ابعاد تیوب‌های صنعتی، امکان بررسی کیفیت شارژ را حین بارگذاری و پس از آن به خوبی فراهم نموده است و لذا از این تیوب‌ها می‌توان در جهت بهینه‌سازی هدایتگرهای شارژ قطعات استفاده نمود.

شرکت گسترش فناوری با توجه با آزمایش‌های صورت گرفته در فاز آزمایشگاهی، پایلوت در تیوب‌های آزمایشی فولاد و همچنین فاز صنعتی در ریفورمرهای احیاء مستقیم، اکنون افتخار این را دارد که خود را پیشگام ابداع این صنعت در کشور معرفی نماید.

تجهیز ساخته شده قابلیت این را دارد که کاتالیست‌های مورد نظر را در بیشینه جرم در واحد حجم لوله (دانسیته توده‌ای) ممکن و بدون دخالت اپراتور بارگذاری نموده و همچنین نیاز به وایبراسیون تیوب‌ها حین شارژ را از میان بر خواهد داشت (شکل ٦). در مجموع انتظار می‌رود در یک شارژ ایده‌آل بتوان جرم بیشتری از کاتالیست‌ها را نسبت به شارژ آن‌ها به‌طور سنتی فوق‌الذکر در یک حجم ثابت و در مدت زمان کمتر و با هزینه‌پایین‌تر قرار داد و همچنین پراکندگی کمتری در گزارش شارژنهایی کاتالیست‌ها مشاهده کرد.

طراحی صورت گرفته که بر اساس نیاز موجود در صنایع فولاد کشور انجام پذیرفته است، با اعمال تغییرات لازم در دیگر صنایع کشور که از راکتورهای تیوب شکل بهره می‌گیرند مانند صنایع پتروشیمی نیز قابل استفاده می‌باشد.

شکل ۵: پره‌های لاستیکی کاهنده سرعت در روش بارگذاری سنتی حفرات به وجود آمده پس از شارژ کاتالیست ریفرمینگ احیاء مستقیم (شکل سمت چپ)

شکل ۶: بارگذاری کاتالیست‌های ریفرمینگ به روش مکانیزه