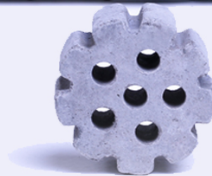
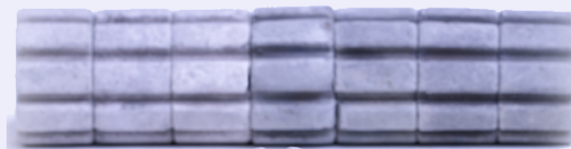


آشنایی با کاتالیست‌های نیکلی با رویکرد فرایند ریفرمینگ احیا مستقیم

Nickel Catalyst & Direct Reduction Process Handbook



آشنایی با کاتالیست‌های نیکلی
با رویکرد فرایند ریفرمینگ احیا مستقیم

شرکت آریان کاتالیست فناوری (ایران کاتالیست)

آشنایی با کاتالیست‌های نیکلی
با رویکرد فرایند ریفرمینگ احیا مستقیم

سرشناسه:	کتابچه آشنایی با کاتالیست‌های نیکلی
گردآوری مطالب:	با رویکرد فرایند ریفرمینگ احیا مستقیم
نشر:	واحد تحقیق و توسعه شرکت ایران کاتالیست
تعداد صفحات:	شرکت آریان کاتالیست فناوری (ایران کاتالیست)
سال	۸۳ صفحه، قطع وزیری
ویرایش	۱۴۰۴
	۰۰

تمامی حقوق برای شرکت آریان کاتالیست فناوری به شماره ثبت ۶۱۵۹۳۵ محفوظ است.

تلفن تماس شرکت ایران کاتالیست: ۰۲۱۷۱۰۵۷۱۱۸

پیشنهادهای، نظرات، انتقادات و ارتباط با پشتیبانی در فضای مجازی: ۰۹۹۱۵۰۲۵۱۸۷

ایران کاتالیست مرجع صنعت کاتالیست ایران

شرکت آریان کاتالیست فناور به پستوانه دو دهه فعالیت‌های دانشی در صنعت کاتالیست کشور در قالب گروه‌های فناور، فعالیت‌های حرفه‌ای خود را از سال ۱۴۰۲ به شماره ثبت ۶۱۵۹۳۵ با نام تجاری "ایران کاتالیست" رسماً آغاز نمود.

"ایران کاتالیست" به عنوان مرجع صنعت کاتالیست ایران، در راستای ترویج علوم پیشرفته مهندسی شیمی، مواد و متالورژی و علوم پایه خدمات مبتنی بر فناوری خود را در حوزه‌های تولید دانش فنی، تولید مواد شیمیایی پیشرفته، پایه کاتالیست‌ها، جاذب‌ها، و انواع مولکولارسیوها و همچنین خدمات پایش عملکرد فرآیندهای کاتالیستی به صنایع فولاد، پتروشیمی و پالایش نفت ارائه می‌کند. آزمایشگاه شرکت ایران کاتالیست به عنوان نخستین آزمایشگاه تخصصی صنعت جاذب، کاتالیست و مواد شیمیایی کشور شناخته می‌شود که ارائه دهنده کاملترین آنالیزهای مشخصه‌یابی است.

همچنین واحد تحقیق و توسعه شرکت ایران کاتالیست با ارائه گزارش‌های تفسیری و تحلیل‌های کارشناسی در حوزه آنالیزهای مشخصه‌یابی که مبتنی بر تجربیات و مشاهدات میدانی، مقایسه با نمونه‌های خارجی و گزارش‌های عملکردی می‌باشد، راهکارهای فناورانه خود را به متخصصان صنعت نفت، گاز، پالایش و پتروشیمی ارائه می‌کند. شرکت ایران کاتالیست در کنار کالا و خدماتی که ارائه می‌دهد، به برگزاری سمینارها و دوره‌های آموزشی تخصصی صنعت جاذب و کاتالیست تحت "آکادمی ایران کاتالیست" نیز می‌پردازد. این دوره‌ها توسط اساتید هیئت علمی دانشگاه‌های معتبر کشور و همچنین متخصصین شرکت ایران کاتالیست برگزار می‌گردد.

شایان ذکر است در راستای ترویج علوم پیشرفته، دوره‌های آموزشی آنلاین و نیز کتابچه‌های کاربردی در حوزه‌های مختلف صنایع جاذب، کاتالیست و مواد شیمیایی توسط این شرکت منتشر و از طریق پلتفرم ایران کاتالیست به آدرس irancatalyst.ir عرضه می‌شود.

از همراهان عزیز درخواست می‌گردد تا نقطه نظرات، پیشنهادات، انتقادات خود را از طریق ebrahimi@irancatalyst.ir با ما در میان بگذارند.

باتشکر و تقدیم احترام
احسان ابراهیمی
مدیرعامل شرکت آریان کاتالیست فناور



فهرست

۸	۱-۱ مقدمه
۱۲	۲-۱ تقسیم‌بندی کاتالیزگری و کاتالیست‌ها
۱۵	۱-۲-۱ کاتالیست‌های مورد استفاده در فرایند احیای مستقیم آهن
۳۰	۲-۲-۱ فاکتورهای اساسی در طراحی کاتالیست
۳۶	۳-۱ تأثیر ناخالصی‌های کاتالیست بر عملکرد ریفرمینگ
۳۶	۱-۳-۱ سیلیس (SiO_2)
۳۷	۲-۳-۱ اکسیدهای قلیایی مانند K_2O و Na_2O
۳۷	۳-۳-۱ آهن
۳۷	۴-۳-۱ آلومینا (در کاتالیست‌های نیمه فعال)
۳۸	۵-۳-۱ CaAl_2O_4
۳۹	۴-۱ تولید کاتالیست
۳۹	۱-۴-۱ مواد اولیه
۳۹	۲-۴-۱ آماده‌سازی مواد اولیه
۴۰	۳-۴-۱ گرانول‌سازی
۴۳	۴-۴-۱ شکل‌دهی به روش پرس پودر
۴۳	۵-۴-۱ پخت در دمای بالا
۴۴	۶-۴-۱ تلقیح
۴۷	۷-۴-۱ کلسیناسیون
۴۷	۵-۱ نوع و مقدار کاتالیست مورد نیاز برای بارگیری در ریفرمر
۵۵	۶-۱ بارگذاری کاتالیست
۵۷	۱-۶-۱ انواع روش‌های بارگیری کاتالیست در درون تیوب‌ها
۶۷	۲-۶-۱ مشکلات بارگیری
۶۹	۷-۱ تخلیه تیوب‌ها
۶۹	۱-۷-۱ برای استفاده مجدد از کاتالیست‌ها
۶۹	۲-۷-۱ عدم استفاده مجدد از کاتالیست‌ها
۶۹	۳-۷-۱ ذخیره‌سازی کاتالیست‌های استفاده شده
۷۰	۴-۷-۱ روش انتقال و ذخیره‌سازی کاتالیست
۷۱	۸-۱ دستورالعمل بازرسی نهایی محموله کاتالیست
۷۱	۱-۸-۱ بازرسی چشمی

۶ ♦ آشنایی با کاتالیست‌های نیکلی با رویکرد فرایند احیا مستقیم

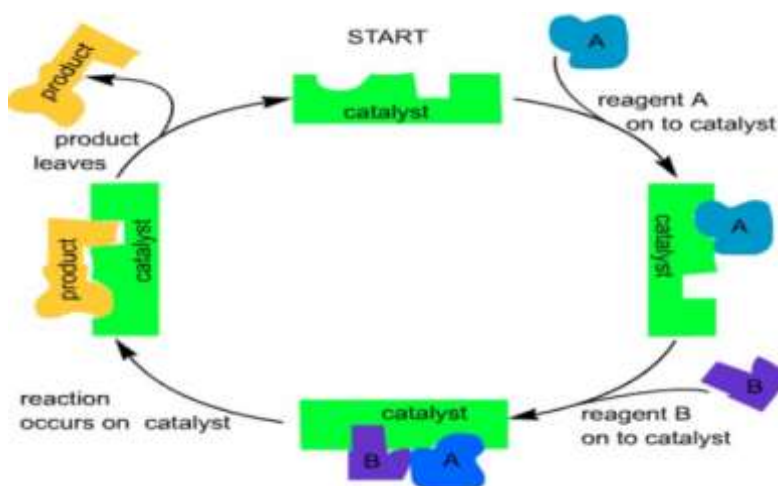
۷۲	۲-۸-۱ بازرسی کمی
۷۳	۳-۸-۱ بازرسی نهایی محموله
۷۴	۴-۸-۱ دستورالعمل نمونه‌گیری کاتالیست و آزمایش‌ها
۷۴	۹-۱ ایمنی
۷۵	۱-۹-۱ خصوصیات و موارد استفاده
۷۶	۲-۹-۱ توصیه‌هایی در ارتباط با جابه‌جایی کاتالیست
۷۶	۳-۹-۱ کمک‌های اولیه
۷۶	۴-۹-۱ دستورالعمل‌های شرایط اضطراری
۷۷	۵-۹-۱ مراحل نگهداری
۷۷	۶-۹-۱ مراحل تخلیه و تمیزکاری
۷۷	۷-۹-۱ مقررات / طبقه‌بندی‌ها
۷۷	۸-۹-۱ اطلاعات اضافی
۷۸	منابع

آشنایی با کاتالیست های نیکلی
با رویکرد فرایند ریفرمینگ احیا مستقیم

آشنایی با کاتالیست

۱-۱ مقدمه

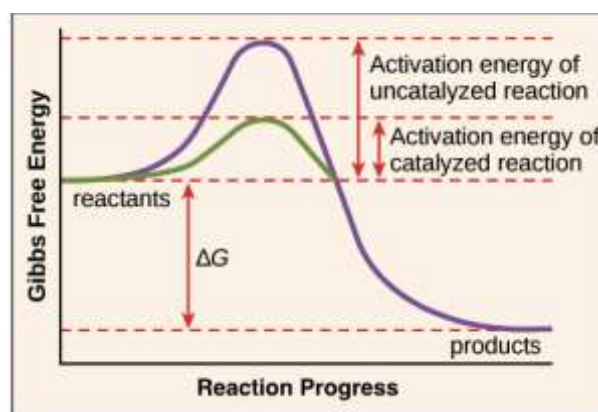
کاتالیست در ساده‌ترین تعریف، ماده‌ای است که سرعت یک واکنش شیمیایی را افزایش می‌دهد و در حین واکنش احیاء می‌شود و در نهایت به صورت دست‌نخورده باقی می‌ماند. کاتالیست ماده یا مخلوطی از مواد است که سرعت واکنش‌های شیمیایی را با فراهم کردن مسیرهای جایگزین و سریع‌تر، بدون تغییر فاکتورهای ترمودینامیکی، افزایش می‌دهد. کاتالیست عمدتاً در پایان فرایند کاتالیستی بدون تغییر باقی می‌ماند (شکل ۱-۱). در یک فرایند کاتالیستی ناهمگن، بسته به مکانیسم انجام واکنش، که می‌تواند متفاوت باشد، در ابتدا واکنشگرها روی سطوح فعال کاتالیستی جذب سطحی شده و سپس، از طریق برخورد متقابل با سطح کاتالیست، فعال می‌شوند.



شکل ۱-۱ چرخه عملکرد کاتالیست.

در ادامه به صورت سریع و گزینش پذیر، واکنش بین گونه های جذب سطحی شده، روی سطح کاتالیست انجام شده و محصولات جذب سطحی شده روی سطح کاتالیست تولید می شوند. همچنین در ادامه محصولات از روی سطح کاتالیست، دفع سطحی شده و مجدداً سطح کاتالیست به صورت دست نخورده برای انجام واکنش مهیا می شود.

جذب روی سطح کاتالیست یک راه میان بر شیمیایی ایجاد می کند که در این راه، واکنشگرها سریع تر از زمانی که کاتالیست وجود ندارد، به محصولات تبدیل می شوند. از دیدگاه عملی، این فرایند باعث می شود واکنش در دمای پایین تری صورت بگیرد و به ذخیره کردن انرژی بینجامد. چون سرعت واکنش افزایش می یابد، میزان تبدیل واکنشگرها و مقدار محصولات تولید شده افزایش می یابد و استفاده از رآکتورهای کوچک تر امکان پذیر می شود. توانایی افزایش دادن سرعت های واکنش و تبدیل واکنشگرها به محصولات مشخص، اهمیت کاتالیزور را در صنایع شیمیایی، پتروشیمی و پالایشگاهی دوچندان کرده است. گونه های شرکت کننده در واکنش، قبل از تبدیل به محصولات، باید از چندین سد انرژی عبور کنند. این سدهای انرژی، انرژی فعال سازی (E) نامیده می شوند. دیاگرام نشان داده شده در شکل ۲-۱ تغییرات انرژی آزاد را در مقابل موقعیت واکنش ترسیم کرده و مسیر انرژی تبدیل واکنشگرها به محصولات را نشان می دهد. همان گونه که مشاهده می شود، استفاده از کاتالیست در واکنش های شیمیایی، انرژی فعال سازی (E)، تبدیل واکنشگرها به محصولات را کاهش، و سرعت واکنش را افزایش می دهد. ذکر این نکته ضروری است که استفاده از کاتالیست به هیچ عنوان سبب تغییر در میزان انرژی آزاد گیبس (ΔG)، که یک فاکتور ترمودینامیکی است، نمی شود.



شکل ۲-۱ تأثیر کاتالیست در کاهش انرژی فعال سازی واکنش شیمیایی.

سرعت واکنش، به طور معکوس، متناسب با تابع نمایی انرژی فعال سازی است. این ارتباط از

۱۰ ♦ آشنایی با کاتالیست‌های نیکلی با رویکرد فرایند احیا مستقیم

طریق ثابت سرعت K ، مانند آنچه در معادلات (۱) و (۲) نشان داده شده است، برقرار می‌شود. در این روابط C_a و C_b غلظت واکنشگرها در هر زمان است و توان‌های y و x اشاره به درجه واکنش دارد. ثابت سرعت متناسب با یک تابع K_0 است، که متناسب با تعداد سایت‌های فعال کاتالیست بوده و ترم Mechanistic نامیده می‌شود. R و T به ترتیب ثابت عمومی گازها و دمای مطلق اند.

$$\text{Rate} = KC_a^x C_b^y \quad (۱)$$

$$K = K_0 \exp(-E/RT) \quad (۲)$$

انرژی فعال‌سازی، درواقع انرژی فعال‌سازی لازم برای کندترین مرحله در بین کل مراحل درگیر در تبدیل کردن واکنشگرها به محصولات است. سرعت کلی واکنش هیچ‌گاه نمی‌تواند بیشتر از سرعت کندترین مرحله باشد. تفاوت بین حالت‌های انرژی واکنشگرها و محصولات، گرمای اگزوترمیک واکنش نامیده می‌شود. یک مثال برای چگونگی کاهش انرژی فعال‌سازی به وسیله کاتالیست، واکنش اکسیداسیون CO به CO_2 است:



این واکنش برای انجام، به دمایی در حدود $700^\circ C$ در غیاب کاتالیست نیاز دارد. علت این است که مرحله محدودکننده سرعت واکنش تفکیک حرارتی O_2 به اتم‌های O است. انرژی فعال‌سازی تفکیک O_2 به O در حدود 40 kcal/mol است. در حضور Pt یا Pd به عنوان کاتالیست، تفکیک O_2 به صورت کاتالیستی در سطح فلز صورت می‌گیرد و مرحله محدودکننده سرعت واکنش CO جذب شده با اکسیژن است.

در این صورت، انرژی فعال‌سازی به کمتر از 20 kcal/mol کاهش می‌یابد و واکنش در دمای $100^\circ C$ صورت می‌گیرد. بنابراین کاتالیست مرحله محدودکننده سرعت را تغییر داده و مسیری با انرژی پایین‌تر برای واکنشگرها ایجاد کرده است. آنچه توجه به آن اهمیت فوق‌العاده‌ای دارد، این است که انرژی آزاد گیبس، به واسطه حضور کاتالیست، تحت تأثیر قرار نگرفته و همچنین کاتالیست، تعادل را تحت تأثیر قرار نمی‌دهد. کاتالیست سرعت رسیدن به تعادل را افزایش می‌دهد و گزینش‌پذیری واکنش را به واسطه کاهش دادن انرژی فعال‌سازی، برای یک مرحله ویژه در مراحل واکنش، تحت تأثیر قرار می‌دهد. گزینش‌پذیری نکته‌ای است که برای تعدادی از واکنش‌ها، که در آن محصولات چندگانه در حالت موازی می‌توانند ایجاد شوند، از اهمیت بسیاری زیادی برخوردار است.

در بسیاری از واکنش‌های صنعتی، تعداد مولکول‌های واکنش‌دهنده تبدیل شده به محصولات، در

یک زمان مشخص، مستقیماً متناسب با تعداد سایت‌های قابل دسترسی برای واکنش‌گراست. بنابراین افزایش تعداد سایت‌های فعال کاتالیستی، از طریق پراکنده کردن مواد فعال کاتالیستی روی یک سطح ضروری است. خواص و مشخصات یک کاتالیست صنعتی که در انتخاب آن تعیین کننده است، به شرح زیر است:

- فعالیت:^۱

کاتالیست به صورت‌های گوناگون، از جمله میزان مول‌های محصولات تولیدشده به‌ازای حجم کاتالیست در واحد زمان، یا مول واکنشگرهای تبدیلی به‌ازای مول واکنشگرهای ورودی قابل تعریف است. فعالیت بالاتر کاتالیست سبب افزایش مقدار تولید محصولات،^۲ کاهش حجم رآکتور و شرایط معتدل‌تر و ملایم‌تر واکنش می‌شود.

- گزینش‌پذیری:^۳

به‌صورت مول محصول مطلوب به‌ازای مول واکنشگرهای تبدیل‌شده بیان می‌شود. مقادیر بالاتر گزینش‌گری سبب کاهش هزینه‌های مربوط به جداسازی و خالص‌سازی محصول می‌شود.

- عمر کاتالیست:^۴

به‌صورت سال‌های استفاده کاتالیست، قبل از انقضای آن و یا مقدار مواد شیمیایی تولیدشده به‌ازای مقدار کاتالیست تعریف می‌شود. عمر بالاتر کاتالیست سبب کاهش هزینه‌های کاتالیزگری و کاهش هزینه‌های مربوط به زمان‌های از دست‌رفته، به جهت تعویض کاتالیست می‌شود.

- بازیابی آسان کاتالیست‌های مستعمل:

بازیابی راحت‌تر کاتالیست‌های مستعمل، سبب افزایش عمر و کاهش مشکلات مربوط به مصرف آن‌ها می‌شود.

- سمی بودن:

میزان سمی بودن پایین، سبب سهولت در حمل و نقل و امحاء کاتالیست‌های مستعمل می‌شود.

- قیمت

قیمت پایین‌تر کاتالیست سبب کاهش هزینه‌های مربوط به استفاده مجدد از کاتالیست و کاهش هزینه تمام‌شده محصول می‌شود.

-
1. activity
 2. productivity
 3. selectivity
 4. life time

۲-۱ تقسیم‌بندی کاتالیزگری و کاتالیست‌ها

کاتالیزگری صنعتی از لحاظ فازی به دو دسته کاتالیزگری همگن و غیرهمگن تقسیم می‌شود. در کاتالیزگری همگن، واکنشگرها، محصولات و کاتالیست در یک فاز مشابه هستند. این فاز معمولاً مایع است. کاتالیست‌ها معمولاً اسیدها و بازهای محلول و ترکیبات آلی-فلزی‌اند. معمولاً کاتالیست در یک حلال، حل شده است که این حلال می‌تواند واکنش‌دهنده یا خود محصول باشد. از جمله مزایای کاتالیزگری همگن می‌توان به استفاده تقریبی از همه مولکول‌های کاتالیست در عملیات کاتالیستی، گزینش‌پذیری بالاتر به دست آمده در تعدادی از واکنش‌ها، به خصوص در سنتز ترکیبات فعال نوری و کنترل آسان‌تر دما برای واکنش‌های به شدت گرمازا اشاره کرد. از جمله معایب آن نیز می‌توان به روش‌های گران جداسازی و بازیابی کاتالیست، مشکلات مربوط به خوردگی (هنگامی که کاتالیست‌ها با حلال‌های اسیدی به کار برده می‌شوند)، هزینه زیاد تصفیه فاضلاب‌های سمی به دست آمده بعد از جداسازی کاتالیست و بازیابی آن، امکان آلودگی محیط زیست به وسیله کاتالیست، و وجود محدودیت‌های مربوط به انتقال جرم گاز-مایع، در حالتی که یکی از واکنشگرها گاز (اکسیژن، هیدروژن) باشد، اشاره کرد.

در کاتالیزگری ناهمگن، کاتالیست، واکنشگرها و محصولات در فازهای مختلف‌اند، که معمولاً کاتالیست جامد است و محصولات به صورت گاز یا مایع هستند. کاتالیست‌ها می‌توانند هم به صورت جامدات غیرآلی، مانند اکسیدهای فلزی، سولفیدها و کلریدها و یا به صورت جامدات آلی، مانند پلیمرهای اصلاح شده، باشند. کاتالیست‌های ناهمگن به صورت‌های گوناگونی می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند که به شرح زیر است:

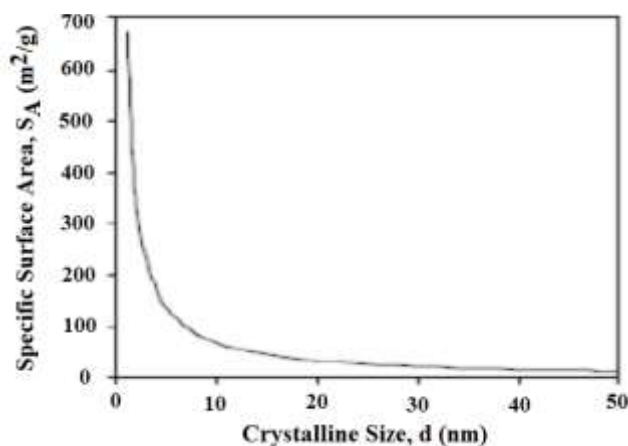
- به صورت پودر، در رآکتورهای دوغابی و در حضور یک فاز مایع.
- به صورت قرص، در حضور یک فاز مایع در رآکتورهای قطره‌ای^۱.
- به صورت قرص، در حضور واکنشگرهای گازی در رآکتورهای بستر ثابت.
- به صورت ذرات با اندازه کوچک در رآکتورهای بستر سیال.

از جمله مزایای کاتالیزگری ناهمگن می‌توان به جداسازی آسان کاتالیست‌ها از واکنش‌گرها و محصولات، حذف مشکلات مربوط به خوردگی و تصفیه فاضلاب‌های مایع اشاره کرد. از جمله معایب آن نیز می‌توان به وجود مشکلات مربوط به کنترل دما برای واکنش‌های خیلی گرمازا، محدودیت انتقال جرم واکنشگرها و محصولات در درون حفره‌های کاتالیست و احتیاج به مقاومت

مکانیکی و سایشی بالا برای کاتالیست‌ها اشاره کرد.

کاتالیست‌های ناهمگن استفاده شده در فرایندهای شیمیایی مختلف، یک ماده کامپوزیتی مشخص شده، به وسیله مواردی از قبیل، مقادیر نسبی ترکیبات متفاوت، شکل، اندازه، توزیع اندازه ذرات و مساحت سطحی کاتالیست است.

در کاتالیست‌های ناهمگن، کارایی کاتالیست به میزان مساحت سطح کاتالیست وابسته است. در این نوع کاتالیست‌ها، مساحت سطح ویژه متناسب با اندازه کریستالی جزء فعال است (شکل ۳-۱) و با کاهش اندازه ذرات، مساحت سطحی افزایش می‌یابد.



شکل ۳-۱ مساحت سطح ویژه به عنوان تابعی از اندازه کریستالی Ni ($\rho = 8900 \text{ kg/m}^3$).

به طور کلی یک کاتالیست ناهمگن شامل اجزای زیر است:

- گونه‌های فعال

شامل یک و یا تعداد بیشتر از عناصری است که ممکن است هر کدام از آن‌ها با خواص کاتالیستی خود، در واکنش شرکت کند و یا با برخورد متقابل با یکدیگر، تأثیر مشترکی را ایجاد کنند.

- ارتقاءدهنده‌های فیزیکی

عناصر یا ترکیبات اضافه شده در مقادیر کم، که به پایداری مساحت سطح مواد کامپوزیتی کمک می‌کند و یا باعث افزایش مقاومت مکانیکی مواد می‌شود.

- پایه

ترکیبات موجود در بالاترین مقدار در فرمولاسیون کاتالیست‌های پایه دار هستند، که نقش چندگانه‌ای را در کاتالیست‌ها بازی می‌کنند. نقش‌هایی از قبیل کاهش مقدار گونه‌های فعال گران قیمت با پراکنده شدن گونه‌های فعال روی سطح کاتالیست، بهینه‌سازی سطح و توزیع اندازه حفره‌های

۱۴ ♦ آشنایی با کاتالیست‌های نیکلی با رویکرد فرایند احیا مستقیم

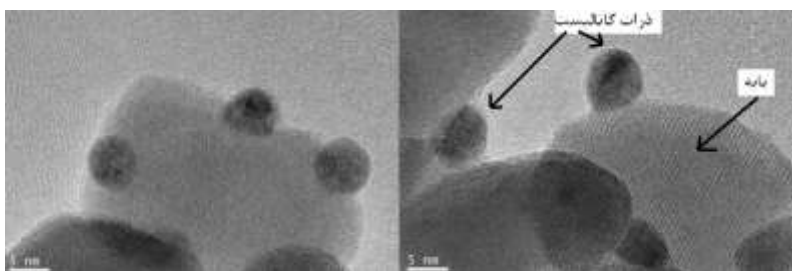
کاتالیست، افزایش مقاومت مکانیکی ترکیب کاتالیست، ایجاد یک کاتالیست چندمنظوره از طریق سایت‌های فعال جدید (معمولاً سایت‌های اسیدی یا بازی)، ثابت کردن ترکیبات فلزی با اندازه ذرات کوچک روی سطح پایه کاتالیست.

از لحاظ ساختاری، کاتالیست‌های ناهمگن به دو دسته کاتالیست‌های بدون پایه (توده‌ای) و کاتالیست‌های پایه‌دار تقسیم‌بندی می‌شوند. کاتالیست‌های توده‌ای یا کاتالیست‌های بدون پایه معمولاً کاتالیست‌های بسیار فعالی‌اند که نیاز به سطح ویژه بالایی ندارند. از جمله این کاتالیست‌ها می‌توان به کاتالیست سنتز آمونیاک در فرایند هابر-بوش اشاره کرد (شکل ۱-۴ الف)).

در کاتالیست‌های پایه‌دار عمده وزن کاتالیست را پایه کاتالیست تشکیل می‌دهد. کاتالیست‌های احیای مستقیم آهن، از جمله کاتالیست‌های پایه‌دار هستند (شکل ۱-۴ ب)). در کاتالیست‌های پایه‌دار، از یک پایه با سطح ویژه بالا برای پخش کردن جز فعال کاتالیستی در ساختار کاتالیست استفاده می‌شود (شکل ۱-۵).



شکل ۱-۴ الف) کاتالیست بدون پایه سنتز آمونیاک؛ ب) کاتالیست پایه‌دار احیای مستقیم آهن.



شکل ۱-۵ نحوه توزیع ذرات کاتالیست روی سطح پایه.

۱-۲-۱ کاتالیست‌های مورد استفاده در فرایند احیای مستقیم آهن

طراحی کاتالیست بر مبنای ترکیب بهینه‌ای از خواص مستقل مکانیکی، شیمی فیزیکی و کاتالیستی آن است. مثلاً، فعالیت کاتالیست با افزایش تخلخل (بهبود دسترسی به واکنش دهنده‌ها) و مساحت سطح (افزایش سطح در دسترس برای واکنش)، افزایش می‌یابد. حال آنکه افزایش در میزان تخلخل‌های کاتالیست (حفره‌های بزرگ‌تر از ۵۰ نانومتر)، به کاهش مساحت سطح ویژه و همچنین کاهش در مقاومت مکانیکی کاتالیست می‌انجامد. بنابراین برای طراحی کاتالیست مناسب، باید بهینه‌سازی بین خصوصیات ذکر شده انجام پذیرد. همان‌گونه که در شکل ۶-۱ نشان داده شده است، طراحی یک کاتالیست بر اساس مفهوم مثلث سه‌ضلعی نشان داده شده و بهینه‌سازی پارامترهای اشاره‌شده روی اضلاع آن انجام می‌شود.



شکل ۶-۱ مفاهیم سه‌گانه برای طراحی کاتالیست.

در شکل ۷-۱ تأثیر میزان تخلخل کاتالیست بر فعالیت و مقاومت مکانیکی نشان داده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، افزایش در میزان تخلخل تا حدود ۰/۵، سبب افزایش در میزان فعالیت کاتالیست می‌شود و افزایش بیشتر آن، تأثیر منفی بر روی فعالیت دارد، که به دلیل غالب شدن تأثیر منفی، کاهش در میزان سطح ویژه کاتالیست با افزایش در میزان تخلخل آن است. علاوه بر این، افزایش در میزان تخلخل، سبب کاهش در مقاومت مکانیکی کاتالیست می‌شود و افزایش تخلخل، به بیشتر از ۰/۵، استحکام غیر قابل قبول قطعه را به همراه دارد.