

کد: FO-1069/02 تاریخ: 04.05.06		گزارش آنالیز گندله			 BASF	
مدیریت آزمایشگاه و کنترل کیفیت						
آنالیز	Fe Total%	FeO%	S%	Humidity%	CCS(Ave)	Bulk Density
پوتیا	66.91	0.60	0.0088	*	246.90	2.22
زرد	65.71	0.82	0.0041	*	273.60	2.24
دانه بندی پوتیا	6>	6-9	9-12	12-16	16-18	18<
	3.22	4.07	38.82	46.62	6.13	1.14
	95.64					
دانه بندی زرد	6>	6-9	9-12	12-16	16-18	18<
	0.49	2.05	41.53	51.86	3.02	1.05
	98.46					
	6>	6-9	9-12	12-16	16-18	18<
	6>	6-9	9-12	12-16	16-18	18<
	Min (Kg/P)	Max (Kg/P)	w<100 : %	W<150 : %	Porosity	PIDa AV
پوتیا	88	440	3.30	10.00	*	11.47
زرد	53	499	3.30	6.60	*	11.64
توضیحات:						
تاییدکننده:						

آنالیز گندله:

۱ - Fe(Total), آهن کل

مقدار کل آهن موجود در گندله به صورت درصد وزنی. این عدد شامل Fe به صورت فلزی و همچنین Fe در ترکیبات اکسیدی (Fe_2O_3), (Fe_3O_4), (FeO) است.

☒ اهمیت:

- بالا بودن Fe total نشان‌دهنده کیفیت بالای سنگ آهن اولیه و فرآوری مؤثر در کارخانه گندله‌سازی است.
- هر چه Fe total بیشتر باشد، امکان تولید آهن فلزی (Fe metallic) بیشتر است.
- مستقیماً بر بازدهی احیا و کیفیت آهن اسفنجی اثر دارد.

☒ محدوده مطلوب:

بیش از ۶۶ درصد (در برخی طراحی‌ها حتی ۶۷-۶۸٪ مطلوب است)

☐ اگر پایین باشد:

- درصد Fe فلزی در DRI کم می‌شود.
- محصول نهایی کیفیت پایین‌تری خواهد داشت.
- مصرف گاز طبیعی برای احیای کامل افزایش می‌یابد.

- قیمت نهایی DRI کاهش می‌یابد، چون بار غیر آهنی بیشتر است.

۲ - FeO، اکسید آهن دو ظرفیتی

FeO یکی از محصولات میانی احیای سنگ آهن است. وجود FeO در گندله بیانگر احیای ناقص یا عدم اکسیداسیون کامل در فرآیند پخت گندله است.

✓ اهمیت:

- FeO از Fe_2O_3 پایدارتر است و احیای آن انرژی بیشتری می‌طلبد.
- گندله‌هایی با FeO بالا سخت‌تر به Fe فلزی تبدیل می‌شوند.
- FeO تمایل به چسبندگی دارد و ممکن است باعث مشکلات عملیاتی شود.

✓ محدوده مطلوب:

کمتر از ۱٪ (ترجیحاً ۰.۳-۰.۷٪)

⚠ اگر زیاد باشد:

- کاهش بازده احیا (راندمان پایین‌تر)
- افزایش مصرف گاز طبیعی و CO
- احتمال چسبیدن گندله‌ها (sintering) در راکتور
- خطر خودسوزی DRI در انبار و حمل و نقل

۳. گوگرد (S%)

مقدار گوگرد موجود در گندله که ممکن است از سنگ آهن یا سوخت وارد فرآیند شده باشد.

اهمیت: ☒

- گوگرد در آهن اسفنجی در فولادسازی مشکل زاست.
- باعث شکنندگی، تردی و کاهش خواص مکانیکی فولاد می شود.
- حذف گوگرد در فولادسازی فرآیندی پرهزینه است (desulfurization)

محدوده مطلوب: ☒

کمتر از ۰.۰۱٪

⚠ اگر زیاد باشد:

- آلودگی DRI با گوگرد
- کاهش کیفیت فولاد نهایی
- افزایش مصرف مواد گندزدا مثل CaO و Mg در EAF
- افزایش هزینه های پالایش و انرژی

۴. رطوبت (Humidity)

میزان آب موجود در گندله به صورت درصد وزنی، ممکن است ناشی از شرایط محیطی، ذخیره سازی یا فرآیند خشک سازی ناقص باشد.

✓ اهمیت:

- وجود رطوبت هنگام ورود به راکتور باعث تبخیر شدید می شود.
- باعث افت دمای راکتور و اختلال در تعادل حرارتی می شود.
- رطوبت می تواند در تماس با FeO یا Fe باعث واکنش های گرمازا و حتی خودسوزی شود.

✓ محدوده مطلوب:

زیر ۱٪ (ترجیحاً خشک تر)

⚠ اگر زیاد باشد:

- ↑ مصرف انرژی برای بخار کردن آب
- ↓ دمای راکتور
- ↑ احتمال خودسوزی DRI در حضور اکسیژن
- ↑ تشکیل بخار، ترک خوردن گندله و غبار

۵. مقاومت فشاری سرد (Cold Crushing Strength - CCS)

مقدار نیرویی که یک گندله در حالت سرد قبل از شکستن تحمل می‌کند. به صورت kg/pellet یا N/pellet بیان می‌شود.

✓ اهمیت:

- گندله باید در طول حمل و نقل، بارگیری، و ورود به راکتور نشکند.
- گندله‌های ضعیف تولید غبار می‌کنند و بستر راکتور را دچار مشکل می‌سازند.

✓ محدوده مطلوب:

بین ۲۵۰ تا ۳۵۰ kg/pellet بسته به طراحی فرایند)

⚠ اگر پایین باشد:

- آشکستگی گندله در مسیر حمل و تخلیه
- آتولید غبار و ریزدانه (fines)
- ⬆ افت فشار در بستر راکتور (۵۳٪)
- ⬇ یکنواختی شار گاز و دما در راکتور

۶. چگالی ظاهری (Bulk Density)

وزن واحد حجم گندله‌ها به صورت انبوه و بدون فشردگی معمولاً kg/m^3 یا t/m^3 مهم برای طراحی جریان گاز در بستر ثابت راکتور.

✓ اهمیت:

- تعیین کننده میزان بار ورودی در راکتور در واحد حجم
- مستقیماً بر الگوی جریان گاز و فشار افت تأثیر می‌گذارد

✓ محدوده مطلوب:

۲.۲ تا ۲.۶ t/m^3

⚠ اگر پایین باشد:

- ↓ تراکم بار، ↓ میزان تولید در واحد حجم
- ↑ جریان گاز از مسیرهای میان‌بر (channeling)
- ↓ راندمان احیا و توزیع نامناسب دما

⚠ اگر زیاد باشد:

- ↑ افت فشار در راکتور
- ↑ نیاز به فشار بیشتر برای گردش گاز

• آستهلاک کمپرسورها

❑ بررسی دانه‌بندی گندله ورودی به راکتور احیای مستقیم (میدرکس / پرد)

چرا دانه‌بندی گندله مهم است؟

در فرآیند احیای مستقیم، گاز احیاکننده (H_2) و (CO) باید از میان گندله‌ها در یک بستر ثابت عبور کند. اگر دانه‌بندی گندله‌ها یکنواخت و در محدوده بهینه نباشد، مشکلات متعددی ایجاد می‌شود از جمله:

• افت یا افزایش بیش‌ازحد فشار

• بروز پدیده‌ی Channeling عبور گاز از مسیرهای خاص و ناکارآمد

• احیای ناقص یا بیش‌ازحد گندله‌ها

• تولید غبار و اختلال در توزیع دما و گاز

✎ محدوده‌های دانه‌بندی و دلیل اهمیت هر کدام:

۱. زیر ۶ میلی‌متر (کمتر از ۰.۵٪)

• این ریزدانه‌ها باعث ایجاد غبار و گرفتگی بستر راکتور می‌شوند.

• عبور گاز از بین آن‌ها دشوار است و فشار را بالا می‌برد.

• در عین حال، باعث channeling می‌شوند یعنی گاز فقط از مسیرهای خاص عبور می‌کند و بقیه گندله‌ها احیا نمی‌شوند.

• اگر بیشتر از ۰.۵٪ باشد، افت راندمان شدیدی در پی دارد.

۲ بین ۶ تا ۹ میلی متر (حدود ۱۵-۲۰٪)

- این اندازه‌ها می‌توانند به خوبی فضای بین دانه‌های بزرگ‌تر را پر کنند.
- باعث افزایش تراکم مفید بستر و کاهش مسیر عبور گاز می‌شوند.
- با اینکه احیای آن‌ها سریع‌تر است، نباید بخش غالب دانه‌بندی را تشکیل دهند؛ چون ممکن است بستر را بیش از حد فشرده کنند و افت فشار ایجاد شود.

۳ بین ۹ تا ۱۲ میلی متر (محدوده بهینه ۴۰ - ۵۰٪)

- این بازه بهترین محدوده دانه‌بندی برای گندله‌های ورودی به راکتور احیاست.
- در این ابعاد، گندله‌ها دارای:
- سطح تماس مناسب
- توزیع یکنواخت گاز
- نرخ احیای پایدار
- و افت فشار کنترل شده هستند.
- بنابراین، بخش اعظم گندله‌ها باید در این اندازه باشند.

۴ بین ۱۲ تا ۱۶ میلی متر (حدود ۲۰-۲۵٪)

- این دانه‌ها بزرگ‌تر از محدوده بهینه هستند اما اگر به صورت محدود استفاده شوند، عملکرد خوبی دارند.
- گندله‌های بزرگ‌تر زمان بیشتری برای احیا نیاز دارند و گرمای بیشتری مصرف می‌کنند.

- اگر درصد آن‌ها زیاد شود، ممکن است بخشی از محصول نهایی به صورت ناقص احیا شود FeO باقی بماند

۵. بین ۱۶ تا ۱۸ میلی‌متر (حداکثر ۰.۵٪)

- این اندازه از گندله‌ها در مرز خطر قرار دارند.
- به علت بزرگ بودن:
- سخت‌تر احیا می‌شوند
- گاز از کنارشان عبور می‌کند بدون اینکه زمان کافی برای واکنش داشته باشد
- اگر درصدشان بیشتر شود، گندله‌ها خام باقی می‌مانند یا باعث ایجاد مناطق سرد در راکتور می‌شوند.

۶. بزرگ‌تر از ۱۸ میلی‌متر (کاملاً ممنوع)

- گندله‌هایی با این اندازه اصلاً نباید وارد راکتور شوند.
- چون:
- احیای آن‌ها بسیار کند است
- گاز احیاکننده نمی‌تواند به مرکز آن‌ها نفوذ کند
- باعث ایجاد بای‌پس گاز می‌شوند که باعث افت شدید راندمان کل راکتور خواهد شد
- ممکن است به صورت کلوخه‌های خام در راکتور باقی بمانند و عملیات تخلیه را با مشکل مواجه کنند

✓ جمع‌بندی دانه‌بندی ایده‌آل برای گندله در: DRI

- بیشترین درصد (۴۰-۵۰٪) باید در محدوده ۹-۱۲ میلی‌متر باشد.

- درصدهای ۶-۹ و ۱۲-۱۶ میلی‌متر باید در محدوده میانه باشند (۱۵-۲۰٪ و ۲۰-۲۵٪).
- زیر ۶ میلی‌متر و ۱۶-۱۸ میلی‌متر باید زیر ۰.۵٪ باشند.
- گندله‌های بزرگ‌تر از ۱۸ میلی‌متر باید کاملاً حذف شوند.

1. Max (Kg/P) و Min (Kg/P)

- احتمالاً مربوط به مقاومت فشاری گندله خشک یا پخته هست (Kg/P) یعنی کیلوگرم بر گندله یا کیلوگرم بر (pellet).

• Min: حداقل نیرویی که باعث شکست گندله شده

• Max: حداکثر نیروی شکست ثبت شده در نمونه‌ها

2. W < 100 : %

- درصد وزنی گندله‌هایی که اندازه‌شان کمتر از ۱۰۰ میکرون یا میلی‌متر مشخصی (بسته به استاندارد) است.

• این شاخص نشون میده چه مقدار ریزدانه در نمونه وجود داره.

3. W < 150 : %

- مشابه بالایی ولی برای حد اندازه ۱۵۰ (مثلاً ۱۵۰ میکرون).

4. Porosity (تخلخل)

- درصد فضای خالی داخل ساختار گندله. این مقدار روی نفوذپذیری و سرعت احیا در واحد میدرکس/پرد تأثیر زیادی داره.

5. PIDa AV

- این احتمالاً میانگین شاخص Pulverization Index - Abrasion یا شاخص مشابهی مربوط به سایش و خردشدگی گندله در حین حمل و فرآیند است.