

تأثیر دانه‌بندی آهک پخته بر فرایند سینترسازی کانه‌های آهن

1- دانشکده مهندسی مواد-دانشگاه صنعتی اصفهان

2- شرکت سهامی ذوب آهن اصفهان

چکیده

در این تحقیق به بررسی تأثیر دانه‌بندی آهک پخته بر فرایند سینترسازی و کیفیت سینتر تولیدی پرداخته شده است. بدین منظور آزمایش‌هایی در مقیاس پایلوت انجام گرفت و در طی انجام آنها آهک پخته با دانه‌بندی 0-10 mm، 0-3 mm و 0-1 mm مورد استفاده قرار گرفت و تأثیرات آن بر رفتار گرانوله شدن مواد در طی مخلوط‌سازی و پخت و کیفیت سینتر تولیدی مورد بررسی قرار گرفت. یافته‌های پژوهشی نشان داد در صورت استفاده از آهک پخته با دانه‌بندی 0 تا 3 میلی‌متر، از مقدار آهک پخته واکنش نداده در سینتر نهایی کاسته می‌شود. همچنین با ریز کردن آهک به عنوان یک چسب، انجام واکنش‌های پیوندی فیزیکی و شیمیایی تسهیل یافته و باعث بهبود فرایند گرانولاسیون می‌گردد. با ریز کردن آهک و در نتیجه افزایش واکنش‌پذیری آن، مقدار فازهای شیمیایی مطلوب در سینتر مانند فریت‌های کلسیم نیز زیاد می‌شود.

کلمات کلیدی: سینترسازی، کانه آهن، آهک پخته، گرانوله شدن

سینتر کانه‌های آهن یکی از اجزاء مهم شارژ کوره بلند می‌باشد. برای تولید چدن با هزینه پایین و عملکرد مناسب کوره بلند، باری با خواص بهینه مورد نیاز است. داشتن خواص بهینه مواد بار در کوره بلند بستگی به خواص بار (فیزیکی و شیمیایی) دارد. وقتی سینتر در مواد بار وجود دارد، خواص آن بستگی به ریزساختار دارد، برای مثال با فازهای مینرالی سینتر بستگی داشته که خود بستگی به مینرالوژی مخلوط مواد خام مصرفی برای تولید سینتر دارد.

فرآیند سینترسازی به منظور کلوخه کردن مخلوطی از کانه‌های آهن، فلاکس و کک با اندازه دانه کمتر از 8mm استفاده می‌شود تا سینتر با اندازه غربال شده بین 12-35mm به دست آید که توانایی تحمل فشار اعمالی و دمای داخلی کوره بلند را داشته باشد.

قبل از فرآیند سینترسازی مخلوط کانه گرانوله می‌شود، این عملیات شامل هموژن سازی مواد در استوانه گردان در طی چندین دقیقه همراه با افزودن 6-8% آب می‌باشد. سپس گرانوله‌های تشکیل شده بر روی زنجیر سینترسازی شارژ می‌شود. دما در طی عملیات سینترسازی به حدود $1250-1300^{\circ}\text{C}$ رسیده و باعث ذوب موضعی و تشکیل یک ماده نیمه مذاب می‌شود. سپس این ماده سرد می‌شود و به چندین فاز مینرالی با ترکیبات شیمیایی و مورفولوژی¹ متفاوت کریستالیزه می‌شود که عمده‌ترین آنها هماتیت، مگنتیت، سیلیکوفریت‌های کلسیم و آلومینیم (SFCA یا فریت‌ها) و سیلیکات‌های کلسیم می‌باشد. انرژی فرآیند از سوختن کک تامین می‌شود [2-1].

گرانوله‌سازی یکی از مراحل بسیار مهم در فرآیند سینترسازی می‌باشد زیرا:

(i) توزیع اندازه گرانوله به طور مستقیم با نفوذپذیری بستر و نرخ تولید در ارتباط است.

(ii) امکان طراحی نوع مطلوب گرانوله، برای یک مخلوط کانی به منظور ایجاد یک ریزساختار مینرالی خاص وجود دارد [4-3].

گرانوله‌سازی بر نفوذپذیری بستر و سرعت جریان هوا از میان بستر، سرعت حرکت جبهه اشتعال و پروفیل حرارتی بستر مؤثر است. رفتار گرانوله شدن یک مخلوط خاص کانه، ساختار و ترکیب گرانوله‌های تشکیل شده را تعیین می‌کنند که این موارد نیز بر واکنش‌های سینترسازی تأثیرگذار است. از جمله عوامل مؤثر جهت بهبود قابلیت گرانوله شدن مواد در طی مخلوط‌سازی، استفاده از ذرات آهک پخته شده با دانه‌بندی ریز و یا استفاده از آهک هیدراته می‌باشد [5-7].

در این مقاله به بررسی تأثیر دانه‌بندی آهک پخته بر فرایند سینترسازی و کیفیت سینتر تولیدی پرداخته شده است.

مواد و روش انجام آزمایش‌ها

کلیه آزمایش‌های انجام شده در این تحقیق در آزمایشگاه سینترسازی شرکت سهامی ذوب آهن اصفهان انجام شده است. بدین منظور از سنگ آهن بافق با ترکیب شیمیایی جدول 1، سنگ آهک با ترکیب شیمیایی جدول 2، آهک پخته با ترکیب شیمیایی جدول 3، کک با ترکیب شیمیایی جدول 4 و سینتر برگشتی با ترکیب شیمیایی جدول 5 استفاده شده است. در کلیه آزمایش‌ها ترکیب شیمیایی مخلوط سینترسازی یکسان در نظر گرفته شده (جدول 6) بنحوی که بازسیته 1/7-1/8 بدست آید و فقط دانه‌بندی آهک پخته تغییر کرده است. دانه‌بندی آهک پخته در محدوده 0-10 mm، 0-3 mm و 0-1 mm مورد استفاده قرار گرفت.

جدول 1. ترکیب شیمیایی سنگ آهن.

H ₂ O	LOI	SiO ₂	TFe	CaO	FeO	Al ₂ O ₃	MgO	S	P	MnO	TiO ₂
2/2	0/52	5/56	61/3	1/94	22/7	0/88	2/3	0/08	0/19	0/53	0/13

جدول 2. ترکیب شیمیایی سنگ آهک.

H ₂ O	LOI	SiO ₂	CaO
1/1	42/65	0/82	54/04

جدول 3. ترکیب شیمیایی آهک پخته.

LOI	SiO ₂	CaO
3/23	0/63	93/26

جدول 4. ترکیب شیمیایی کک.

LOI	Ash	C
10/1	16/24	81/7

جدول 5. ترکیب شیمیایی سینتر برگشتی.

SiO ₂	TFe	CaO	FeO	Al ₂ O ₃	MgO	S	P	MnO	TiO ₂
6/95	52/6	11/44	12/59	1/14	2/14	0/055	0/134	1/38	0/95

جدول 6. مقدار و درصد مواد مصرفی (بر مبنای 50 کیلوگرم)

در آزمایش‌های انجام شده در پات آزمایشگاه.

سنگ آهن	کک	برگشتی	سنگ آهک	آهک پخته	منگنز شمس آباد	منگنز شورآب
وزن، Kg	31	2/6	7/5	5/0	0/65	1/9
درصد وزنی	62	5	15	10	1/3	4

مخلوط کردن مواد در دو مرحله انجام شد. در مرحله اول که فقط مخلوط شدن مواد مورد نظر بود، پس از توزین، آنها را به صورت توده هرمی شکل روی یکدیگر انباشته کرده سپس با هدایت کردن آنها به داخل مخلوط کن، رطوبت لازم نیز به آن افزوده شد. در مرحله دوم که با هدف انجام فرایند گرانولاسیون انجام گردید، مواد مخلوط شده در مرحله اول این بار بدون اضافه کردن رطوبت، به آرامی به درون مخلوط کن ریخته و اجازه داده شد تا مواد گرانوله شده بتدریج از انتهای مخلوط کن سرریز و خارج شوند. در این حالت مواد بصورت میکروپلت یا همان گرانوله بر روی هم انباشته شد.

برای پخت مخلوط بار تهیه شده از یک پات سینترسازی استوانه‌ای شکل به قطر 30 cm و ارتفاع 40 cm استفاده شد. پات سینترسازی از طریق قسمت انتهایی در پایین به یک پمپ ایجاد خلاء متصل است که با ایجاد کردن خلا، سبب حرکت هوا از بالا به پایین در بستر بار داخل پات می‌شود. در کف این استوانه یک صفحه مشبک قرار دارد که از وارد شدن بار به قسمت پمپ مکش کننده هوا جلوگیری می‌کند. بدنه پات از فولاد مقاوم به حرارت است و روی بدنه آن در فواصل 50 میلی‌متری از یکدیگر محل‌هایی برای قرار دادن ترموکوپل در داخل بار پیش بینی شده است. در قسمت پایین تر از صفحه مشبک کف پات نیز دو ورودی دیگر پیش‌بینی شده است که از یکی برای قرار دادن ترموکوپل در گاز خروجی و از دیگری برای اندازه گیری اختلاف فشار ایجاد شده در زیر بستر استفاده می‌شود.

برای انجام پخت در هر مرتبه، ابتدا با استفاده از زیر بستر (با ابعاد 8-12 mm) که از سینتر برگشتی تهیه شده بود تا ارتفاع 3 cm روی صفحه مشبک داخل پات بارریزی شد. سپس مخلوط مواد آماده شده در مخلوط کن داخل پات ریخته شد تا ارتفاع به 30 cm برسد. در مرحله بعد با استفاده از خرده کک (500 gr) و خاک اره و نفت (500 gr) روی سطح بار پوشانده شد. در ادامه با روشن کردن سطح بار و روشن کردن پمپ مکش کننده عملیات پخت سینتر آغاز شد. پس از

کامل شدن پخت سینتر، عملیات تخلیه سینتر از داخل پات انجام شد و ظاهر آگلومره از نظر تکمیل فرایند سینترسازی مورد بررسی قرار گرفت. در شکل 1 تصویری از پات سینترسازی در پایلوت ذوب آهن اصفهان مشاهده می شود.



شکل 1. پات سینترسازی و دستگاه‌های جانبی آزمایشگاه آگلومراسیون ذوب آهن اصفهان.

به منظور ارزیابی نمونه‌های حاصل از پخت‌های انجام شده، پس از تخلیه سینتر بدست آمده از داخل پات، بر روی آن آزمون استحکام، آنالیز شیمیایی، متالوگرافی با میکروسکوپ نوری انجام گرفت.

نتایج و بحث

همانطور که قبلاً ذکر گردید در کلیه آزمایش‌های انجام شده مقدار و دانه‌بندی مواد مصرفی مشابه بوده و فقط اندازه ذرات آهک پخته تغییر کرده است. پیش‌بینی می‌شود که با ریز کردن اندازه ذرات آهک پخته تا حد بهینه، استحکام نمونه‌های سینتر افزایش یابد. همچنین درشت بودن بیش از اندازه ذرات آهک پخته، به علت باعث باقی ماندن بخشی از این ذرات بصورت واکنش نداده، در قسمت انبار جذب رطوبت کرده و با شگفته شدن باعث خرد شدن سینتر می‌شود. در شکل 2، ذرات آهک پخته باقیمانده در نمونه سینتر دارای آهک با 0-10 mm نشان داده شده است. این امر باعث کاهش فعالیت مناسب آهک پخته به عنوان چسب و همچنین کاهش کیفیت سینتر تولیدی می‌گردد. با ریز شدن دانه‌بندی آهک پخته و توزیع یکنواخت‌تر آن در مخلوط مواد، علاوه بر بهبود عملکرد آن به عنوان چسب، واکنش پذیری آن نیز زیاد شده و مقدار فریت کلسیم بیشتری تشکیل می‌شود.



شکل 2. وجود ذرات آهک پخته باقیمانده در سینتر دارای اندازه ذرات آهک پخته 0-10 mm

در جداول 7 و 8 به ترتیب عدد استحکام و ترکیب شیمیایی نمونه های سینتر بدست آمده در این آزمایش ها آورده شده است. همانطور که در جدول 7 دیده می شود، با ریزش دانه بندی آهک پخته، استحکام افزایش و یا به عبارتی درصد ذرات زیر 5 mm کاهش می یابد. علت این امر آنست که با ریزش ذرات آهک، واکنش پذیری آن زیاد شده و مقدار آهک خام و واکنش نداده در سینتر کاهش می یابد. بنابراین با ریزش ذرات اندازه ذرات آهک تمامی ذرات آن وارد واکنش شده و پس از پایان سینترسازی دیگر آهکی باقی نخواهد ماند که بتواند با جذب رطوبت و ایجاد شگفته شدن باعث ایجاد ترک و خرد شدن سینتر شود. همچنین با ریز کردن دانه بندی آهک و در نتیجه واکنش پذیری آن، حجم فازهای زودگداز و پیوند دهنده فریت کلسیم نیز افزایش یافته و اتصال مطلوب تری را در بین ذرات مواد به همراه خواهد داشت. علاوه بر این توزیع آهک در مخلوط نیز یکنواخت تر بوده و فاز سرباره ای یکنواخت تری از نوع فریت کلسیم بوجود می آید.

جدول 7. عدد استحکام سینتر تولیدی و زمان پخت آن در اثر تغییر دانه بندی آهک پخته.

شماره نمونه	عدد استحکام	زمان پخت (دقیقه)
شاهد	23/7	35
C-1	23/5	33
C-2	21/2	33

جدول 8. تغییر ترکیب شیمیایی سینتر تولیدی با تغییر دانه بندی آهک پخته.

دانه بندی آهک پخته	بازرسیته	FeO	Fe	SiO ₂	CaO	MnO
0-10mm	1/74	13/23	55/25	6/92	12/07	1/30
0-3 mm	1/82	12/07	53/97	7/10	12/92	1/22
0-1 mm	1/71	13/89	54/36	7/11	12/15	1/30

براساس جدول 8، در مورد ترکیب شیمیایی نمونه‌های سینتر تولیدی با دانه‌بندی مختلف آهک پخته، تغییرات چندانی مشاهده نمی‌شود، زیرا مقدار مواد مصرفی مشابه بوده و فقط دانه‌بندی آهک تغییر داده شده است.

نتیجه‌گیری

بررسی نتایج بدست آمده از آزمایش‌های انجام شده در این تحقیق نشان داد که با مصرف آهک پخته با دانه‌بندی 0 تا 3 میلی‌متر (در صورت امکان 0-1 mm)، از مقدار آهک پخته واکنش نداده در سینتر نهایی کاسته شده و از خرد شدن سینتر ناشی از جذب رطوبت در بخش انبار جلوگیری به عمل می‌آید. همچنین با ریز کردن آهک به عنوان یک چسب، انجام واکنش‌های پیوندی فیزیکی و شیمیایی تسهیل یافته و باعث بهبود فرایند گرانولاسیون می‌گردد. بنابراین با نفوذپذیری مناسب بستر سیت‌سازی، استحکام مکانیکی افزایش یافته و در نهایت کیفیت سینتر و راندمان تولید بالا می‌رود. با ریز کردن آهک و در نتیجه افزایش واکنش‌پذیری آن، مقدار فازهای شیمیایی مطلوب در سینتر مانند فریت‌های کلسیم نیز زیاد می‌شود.

مراجع

- [1] E. Burstlein, "Coke breeze for sintering iron ore", Steel Times, Vol.189, No.5008, 1964, pp. 72-76
- [2] H.P. Pimenta, V. Seshadri, "Characterisation of structure of iron ore sinter and its behaviour during reduction at low temperatures, Ironmaking and Steelmaking, Vol.29, No.3, 2002, pp.169-174 .
- [3] M. Fujimoto, S. Sato, K. Sato, "Effect of sinter-cake load reduction by magnetic force on iron ore sintering", ISIJ International, Vol.35, No.4, 1995, pp. 372-379.

[4] S. Machida, K. Nushiro, K. Ichikawa, H. Noda, H. Sakai, "Experimental evaluation of chemical composition and viscosity of melts during iron ore sintering", ISIJ International, Vol. 45, No.4, 2005, pp. 513-521 .

[5] P.R. Dawson, "Recent developments in iron ore sintering : part 1 Introduction", Ironmaking and Steelmaking, 1993, Vol.20, No.2, pp.135-136.

[6] P.R Dawson, "Recent developments in iron ore sintering : part 2 Research studies on sintering and sinter quality", Ironmaking and Steelmaking, 1993, Vol.20, No.2, pp.137-143.

[7] E. Kasai , Y. Sakano , T. Kawaguchi , T. Nakamura, "Influence of properties of fluxing materials on the flow of melt formed in the sintering process", ISIJ International, Vol. 40 (2000), No. 9, pp. 857-862 .