دانشگاه صنعتی شاهرود

مرحله اگلموراسیون کنساتره آهن – گندله سازی

اهمیت گندله سازی

ایدهٔ ساخت گندله زمانی بوجود آمد که برای تغلیظ کانی‌های فقیر آهن و کانی‌های حاوی ناخالصی‌های مضر مجبور شدند سنگ معدن آهن را تا اندازه‌های کمتر از میلیمتر خرد کنند. در این حالت، مقدار زیادی کنسانتره در اندازه‌های کمتر از ۰/۱ میلیمتر ایجاد می‌شود که نمی‌توان آنرا در کوره بلند یا کلوخه‌سازی مصرف نمود. افراد و مراکز متعددی روی مسئله تبدیل کنسانترهٔ سنگ آهن به محصول قابل مصرف در کوره بلند کار کردند

پروسه گندله سازی

- گندله سازی شامل دو مرحله کاملا مجزا است. مرحله اول شامل تولید گندله خام و مرحله دوم پخت آن می باشد. برای تولید گندله خام، خاکه نرم و مرطوب آهن درون یک بشکه افقی یا یک بشقابک مایل گردانده می شود. این پروسه هم می تواند با اضافه کردن چسب انجام گیرد و هم بدون آن. در نتیجه گندله های کروی شکل بدست می آیند.

- گندله خام استحکام بسیار کمی دارد. در این مرحله در کوره در دمای بیش از ۱۲۰۰ درجه سانتیگراد پخته و سفت می شود.
- گندله ها در هنگام گرم شدن بر اثر تبلور مجدد فازها، واکنش های شیمیایی بین مواد و چسب های افزودنی، ایجاد فاز های شیشه ای و سایر فرآیند ها کاملا سخت می شود.
- معمولا پختن گندله شامل سه مرحله خشک کردن، احتراق و سرد کردن است.

مزایای گندله سازی

۱ـ شکل کروی و اندازهٔ تقریباً یکسان و مشابه ذرات گندله باعث می‌شود که بطور یکنواخت در تنورهٔ کوره بلند پخش شوند در نتیجه از انسداد جریان گاز در تنوره کوره بلند جلوگیری می‌شود. همچنین تبادل حرارتی خوبی بین مواد برقرار شده و نزول یکنواخت بار در کوره بلند ایجاد می‌شود.

۲ـ گندله در مقایسه با کلوخه، ترکیب شیمیایی یکنواخت‌تری دارد. همچنین درصد آهن آن بالاتر است. از طرفی به دلیل تخلخل بیشتر آن در مقایسه با کلوخه، احیاپذیری بهتری دارد.

معایب گندله سازی

- شاید تنها مشکل مربوط به استفاده از گندله این باشد که آنها معمولا اسیدی هستند و بازیسیته کمتر از یک دارند.
- تولید گندله حاوی مواد روانساز و سرباره ساز و اضافه کردن اکسیدهای قلیایی به عنوان ماده اولیه گندله سازی مقرون به صرفه نیست.

✓ دلیل این مساله هزینه مربوط به حمل و نقل سنگ اهک به معدن، تولید گندله ای با عیار آهن پایین تر، حمل ونقل مجدد گندله و بالاخره امکان تاثیر آب وهوا بر گندله قلیایی و واکنش های شیمیایی در طول زمان انبار شدن می باشد.

✓ برای رفع این مشکل می توان از کلوخه هایی که بیش از اندازه اکسید قلیایی دارند به همراه گندله استفاده کرد.

دستگاه های گندله ساز

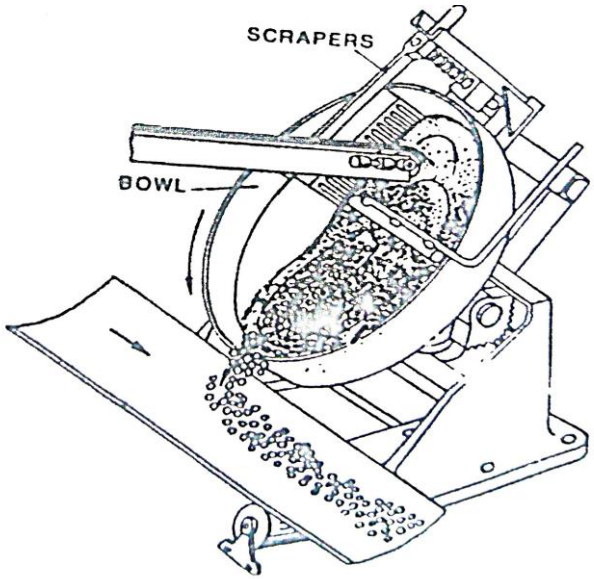
- امروزه دو نوع دستگاه گنله سازی مداوم مورد استفاده قرار می گیرد.

- بشقابک گندله ساز

بشکه گندله ساز

بشقابک گندله ساز

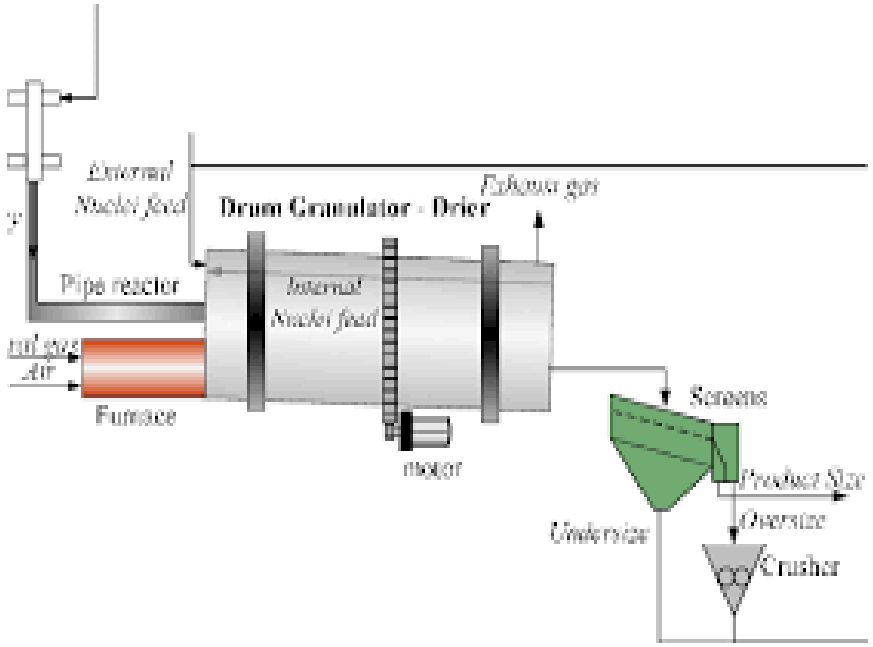
- این دستگاه بشکل بشقابکی است که زاویه مشخصی با افق دارد و حول محور خود می چرخد. گندله هایی که به اندازه مورد نظر رسیده اند از سیستم خارج شده و دانه بندی می شود.
- دانه های بزرگتر خرد شده و دوباره به عنوان شارژ اولیه بکار برده می شوند.
- نرخ و کیفیت تولید در بشقابک بستگی دارد به قطر بشقابک، سرعت چرخش و زاویه بشقابک با افق



بشقابک گندله ساز

بشکه گندله ساز

- شکل زیر نمای یک بشکه گندله ساز را نشان می دهد. این دستگاه شامل یک بشکه استوانه ای شکل است که زاویه کوچکی حدود ٦ درجه با افق می سازد و حول محور طولی خود می چرخد نسبت طول به قطر بشکه بین ٢,٥ تا ٣,٥ می باشد.



خشک کردن و پختن گندله ها

- گندله های خام تولید شده به مجتمع پخت فرستاده می شوند. در این مجتمع عملیات خشک کردن، پیشگرم کردن، پختن و خنک کردن گندله ها انجام میگیرد.

خشک کردن گندله ها

- عوامل زیر نرخ خشک کردن را کنترل می کنند.

۱. نرخ عبور گاز خشک کننده

۲. دما و درصد رطوبت گاز خشک کننده

۳. مساحت سطح تماس گندله

- خشک کردن گندله ها سه مرحله دارد

۱- در مرحله اول آب از لایه بسیار نازکی در سطح گندله تبخیر می شود. در این حالت مرحله ای که سرعت تبخیر را کنترل می کند نرخ انتقال بخار آب از سطح گندله است.

۲- در مرحله دوم کماکان رطوبت از سطح خارجی گندله تبخیر می شود ولی مرحله کنترل کننده نرخ فرایند، نرخ نفوذ رطوبت از داخل گندله به سطح آن می باشد.

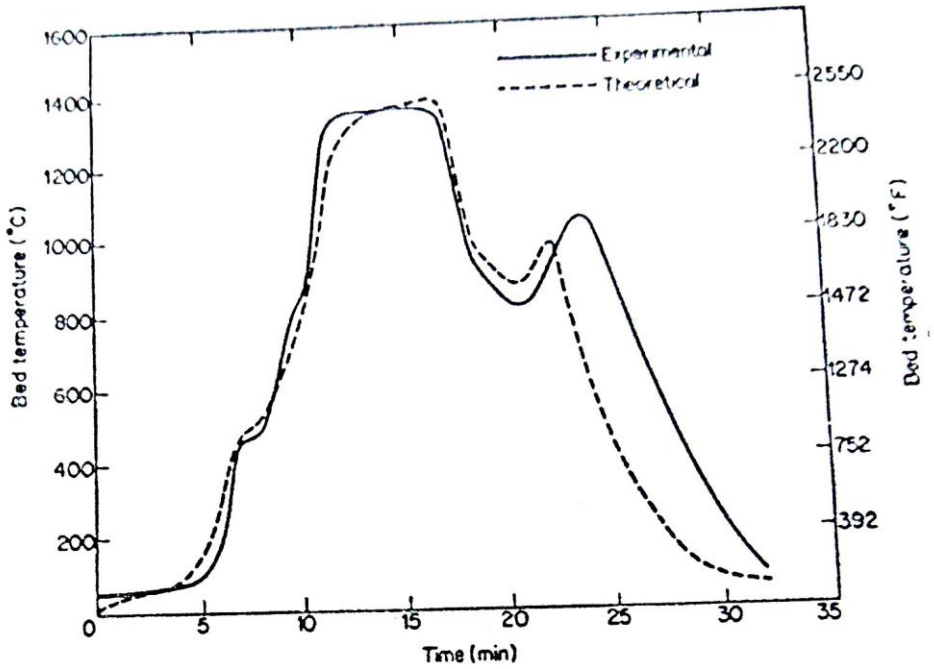
۳- در مرحله سوم با از دست رفتن اعظم رطوبت گندله، تبخیر آب در داخل گندله صورت می گیرد و بخار آب از طریق نفوذ به سطح گندله می رسد.

پیشگرم کردن

- در مرحله پیشگرم کردن معمولا به کمک گازهای گرم حاصله از خنک کردن گندله ها صورت می گیرد .
- در این مرحله هماتیت و هر گونه سولفیدی که ممکن است در خاکه موجود باشد بصورت جزیی اکسید می شوند.
- این دو واکنش به مقدار کمی گرما زا هستند.
- همچنین خاکه تکلیس می شود و در نتیجه آب تبلور و دی اکسید کربن آن گرفته می شود.

پختن گندله ها

- در مرحله پختن دمای گندله تا ۱۳۵۰ درجه سانتیگراد بالا می رود.
- در این مرحله اکسیداسیون هماتیت به صورت کامل صورت می پذیرد.
- بین مواد تشکیل دهنده گندله اعم از مواد زائد و یا اکسید آهن واکنشهایی صورت می گیرد.
- رشد دانه نیز در این مرحله اتفاق می افتد. در نتیجه این فرآیند استحکام گندله تا حد مورد نظر افزایش می یابد.



تغییرات دما با زمان برای گندله در فاصلهٔ ۲۷cm از بستر. خطوط بریده مربوط به محاسبات تئوری و خطوط کامل نتایج آزمایش را نشان می دهند.

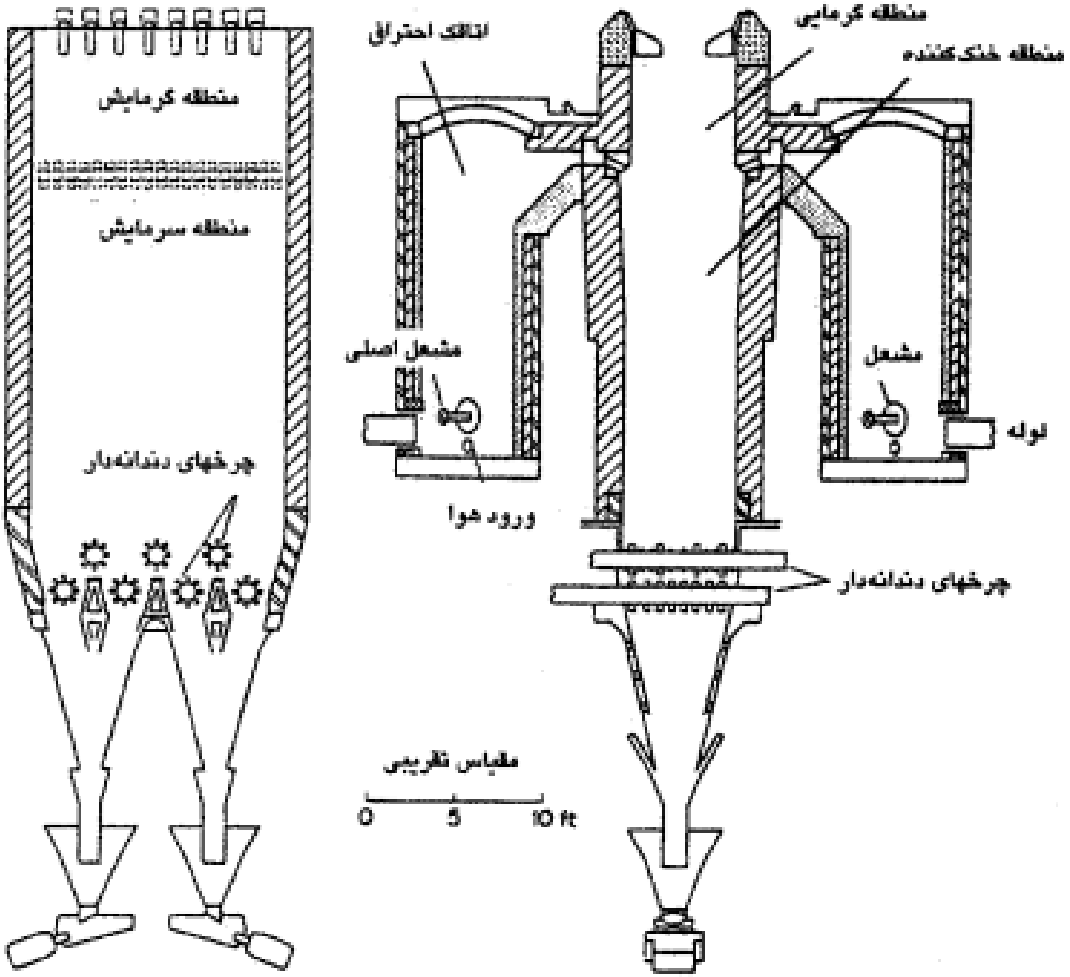
- برای پختن گندله ها می توان از کوره های زیر استفاده کرد

۱- کوره تنوری قائم

۲- کوره شبکه یا متحرک

کوره تنوری قائم

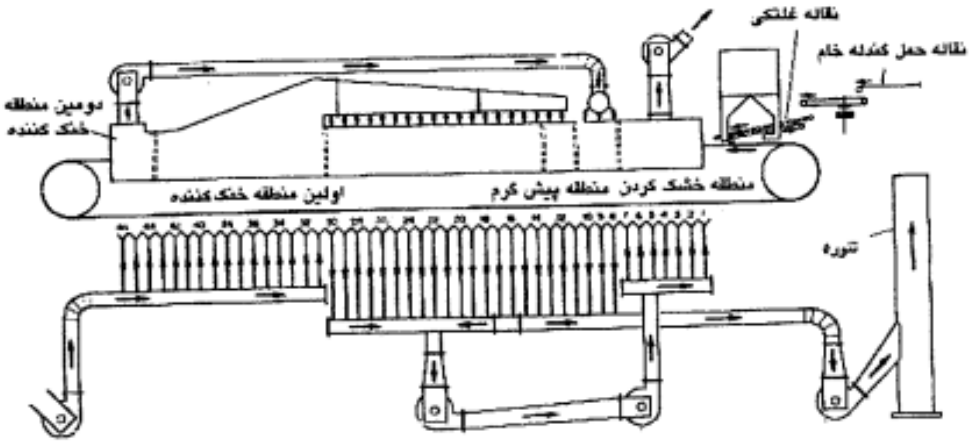
این کوره که طرح آن در صفحه بعد نشان داده شده است، قدیمی‌ترین وسیله برای پختن گندله است. ابعاد چنین کوره‌ای بطور نمونه از این قرار است : ارتفاع حدود ۱۴ متر، سطح مقطع مستطیل و با ابعاد ۱/۸×۴/۲ متر و ظرفیت ۱۰۰۰ تن در روز. مواد سوختنی در اتاقک احتراق که در دو طرف کوره قرار دارند، می‌سوزد و گازهای حاصل از احتراق بداخل کوره فرستاده می‌شود و همراه با هوایی که از پایین کوره بطرف بالا جریان دارد، فرآیند سوختن کامل و باعث تف‌جوشی ذرات و پخته شدن گندله می‌شود. در قسمت پایین کوره چرخهای دندانه‌داری بنام چانک بریکر[1] وجود دارد که کار آنها خرد کردن توده‌های بهم چسبیده گندله است. بطوری که گندله‌های سخت شده بتوانند به راحتی از قسمت پایین به خارج هدایت شوند. کوره‌های تنوره‌ای براساس جریان متقابل گاز و جامد کار می‌کند و حرارتی که از هوا در قسمت پایین کوره برای سرد کردن گندله‌ها جذب شده است در قسمت بالا به مصرف گرم کردن و پختن گندله‌ها می‌رسد. بنابراین این کوره‌ها دارای بازده حرارتی خوبی دارند. لازم به ذکر است که برای پخت کنسانتره‌های مگنتیت به مصرف انرژی حرارتی در حدود ۴۲۰–۵۳۰ kJ/kg (۴۰۰ تا ۵۰۰ هزار BTU) برای هر تن گندله نیازاست . تنها عیب این کوره‌ها ظرفیت محدود آنها است.



نمایی ازکورهٔ تنوره‌ای قائم

کوره شبکه یا متحرک

همانطور که در شکل زیر مشاهده می‌شود، این دستگاه شبیه ماشین کلوخه‌سازی است. در این سیستم گندله خام روی شبکه یا بستر متحرکی که بطور دائم حول دو محور در حرکت است، شارژ می‌شود و ضمن حرکت، مراحل مختلف خشک‌شدن، پخته‌شدن و سرد شدن را طی می‌کند. می‌توان با لایه‌ای از گندله‌های پخته شده، کف و دیواره‌های بستر را محافظت کرد.



بستر دستگاه دارای عرض ۳ متر و طول ۶۰ تا ۹۰ متر است. ضخامت گندله شارژ شده حدود ۴۰ سانتیمتر بوده و سرعت تولید درحدود ۱۵۰ تا ۲۰۰ تن در ساعت است. این روش بسیار انعطاف‌پذیر می‌باشد و به راحتی می‌توان سرعت خشک‌کردن، پختن و سرد کردن را برای شارژهای مختلف تغییر داد. در این سیستم حدوداً ۲۵ درصد از سطح شبکه برای خشک کردن، ۴۰ درصد برای پیشگرم‌کردن و پختن و ۳۵ درصد بقیه برای سرد کردن استفاده می‌شود.

خواص مورد نیاز در گندله

- این خواص به دو دسته تقسیم می شوند:
- خواص فیزیکی
- خواص شیمیایی

خواص فیزیکی

- استحکام فشاری- گندله ها در داخل کوره بلند تحت فشار زیادی قرار می گیرند. ارتفاع برخی کوره های مدرن ممکن است به ٤٥ متر برسد. گندله ها باید بتوانند فشار وارده از مواد بالاتر را تحمل کنند.
- ارتفاع این بار ممکن است حدود ۲۵ – ۳۰ متر باشد.
- بنابراین لازم هست که مقدار متوسط استحکام فشاری گندله ها حدود 250 kg و حداقل مقدار قابل قبول 135 kg باشد.

- اندازه گندله – اندازه بیش از حد ریز باعث اختلال در عبور گاز در داخل کوره می شود. دانه های بیش از حد درشت باعث کاهش نرخ واکنش می گردند.
امروزه اندازه مورد قبول ۹۰ درصد بین 9.5 mm تا 16 mmمی باشد.
حداکثر مقدار ذرات کوچکتر از ۵ میلی متر نباید از ۵ درصد تجاوز کند.

- تخلخل – تخلخل نقش مهمی در خواص گندله دارد.
- در حین پخت، بخار آب حاصل از تبخیر آب ، از راه تخلخل موجود در گندله خارج می شود.
- تخلخل گندله تاثیر مستقیم بر نرخ تبدیل هماتیت به مگنتیت در حین پخت دارد.
- همچنین نرخ احیا گندله در کوره بلند به میزان تخلخل آن بستگی دارد. از طرف دیگر افزایش تخلخل باعث کاهش استحکام گندله می گردد. مقادیر متوسط برای گندله های پخته شده حدود ۳۱ تا ۳۶ درصد و برای گندله های خام حدود ۲۲ تا ۳۰ درصد می باشد.

خواص شیمیایی

- ترکیب شیمیایی – شارژ مورد استفاده در کوره بلند باید دارای عیار آهن بالا و مقدار سیلیکا و گوگرد کم باشد. همچنین پایین بودن مقدار فسفر شارژ یک مزیت بزرگ حساب می شود.
- مقدار متوسط عیار آهن گندله حدود ٦٥ درصد می باشد. مقدار سیلیکا نباید از حدود ٥ درصد تجاوز کند. درصد گوگرد گندله نیز معمولا از ٠,٠٠٦ درصد نباید بیشتر شود.

تئوری گندله سازی خام

- آزمایشات متعدد نشان داده است که استحکامی که یک گندله خام بدست می آورد در حد استحکامی است که می توان با متراکم کردن خاکه تحت فشارهای بالا بدست آورد. برای توجیه این مشاهده دو دلیل عرضه شده است:

۱- غلتیدن گوی روی وزن خود با توجه به شکل کروی آن باعث می شود در هر لحظه تمام وزن گوی توسط سطح تماس بسیار کمی تحمل شود. در نتیجه فشار بالایی در آن نقطه از گوی اعمال می شود و سبب متراکم شدن گوی می شود.

۲- عامل چسبندگی که به واسطه نیروی کشش سطحی از افزودن چسب حاصل می شود.

- از این دو عامل، عامل دوم بمراتب مهمتر است و تاثیر بیشتری روی استحکام گوی می گذارد.

- برای بررسی تئوری ایجاد گندله آزمایشهایی صورت گرفت که در آنها از آب بعنوان چسب استفاده شد. در سیستمهای مورد آزمایش سه حالت مختلف تشخیص داده شد:

۱- حالت پل - در این حالت آب فقط در تماس ذرات موجود است و مانند پلی ذرات را به هم می پیوندد. بقیه فضای بین ذرات را خلل و فرج پر می کند.

۲- حالت میانه- در این حالت ضمن آنکه در نقاط تماس ذرات آب وجود دارد و موجب چسبندگی انها می شود، برخی خلل و فرج نیز توسط آب پر می شوند.

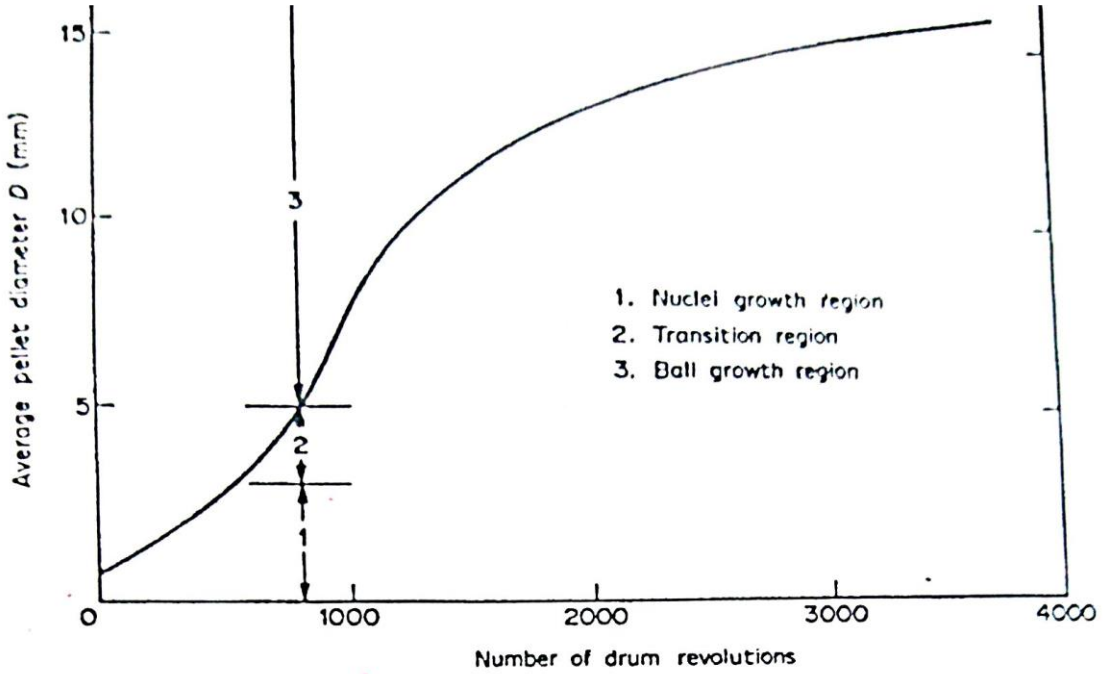
۳-حالت موییننگی – در این حالت تمام خلل و فرج از آب پر می شوند ولی روی سطح، لایه آب سطحی وجود ندارد که حداکثر میزان استحکام در حالت سوم حادث می شود.

- مناسب ترین چسبی که در گندله سازی استفاده می شود بنتونیت است. این چسب پلاستیته بالایی دارد. با افزودن آب به آن، متورم می شود و پلاستیته آن افزایش می یابد در نتیجه می تواند براحتی خلل و فرج موجود در گندله را پر کند.
- سایر موادی که بعنوان چسب استفاده می شود عبارتند از : آهک، سود، کربنات های سدیم و پتاسیم، کلرید های منیزیم و کلسیم و سولفات آهن می باشد.

مکانیزم ایجاد گندله خام

- شکل زیر نمودار متوسط قطر گندله را برحسب تعداد دورهای ظرف گندله ساز نشان می دهد روی این نمودار سه منطقه قابل تشخیص است.

ا- منطقه جوانه زنی ۲- منطقه گذرا ۳- منطقه رشد



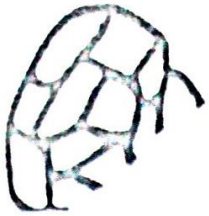
نمودار قطر متوسط گندله بر حسب تعداد دور دستگاه گندله ساز

منطقه جوانه زنی

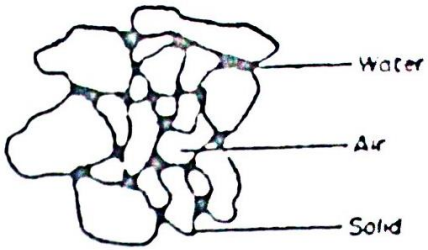
- هنگامی که مواد اولیه با مقدار رطوبت مناسب بداخل ظرف گندله سازی ریخته می شوند انرژی سطحی مربوط به لایه آب که سطح ذرات را پوشانده است باعث بوجود آمدن لایه های اولیه می گردد.
- هنگامی که ذرات اولیه به یکدیگر برخود میکنند لایه های آب به هم می پیوندند و پیوند حالت پل را در نقاط تماس تشکیل می دهند.با ادامه عمل غلتیدن توده های متخلخل شکل بوجود می آیند که ذرات انها فقط بوسیله انرژی پیوند حالت پل به یکدیگر وصل شده اند.
- پس از زمان بسیار کوتاهی از این توده های متخلخل جوانه های کوچک، کروی و پایدار بوجود می آید.
- جوانه های بوجود آمده متخلخل هستند و می توان سه فاز در آنها تشخیص داد. آب، ذرات جامد و هوا.

منطقه گذرا

- در این مرحله بر اثر ادامه غلتیدن، جوانه های اولیه متراکم می گردند. حجم قسمت های خالی در داخل جوانه ها کوچکتر می گردد و چگالی ذرات افزایش می یابد.
- در این حالت هنوز پوسته جوانه ها پلاستیته بالایی دارد و می تواند برخورد با ذرات کوچکتر آنها را جذب کند. شکلهای زیرنحوه تغییرات انجام گرفته بین دو مرحله جوانه زنی و گذرا رانشان میدهد.



مرحلهٔ گذرا



مرحلهٔ جوانه زنی

رشد

- منطقه رشد – رشد جوانه های پایدار توسط دو مکانیزم صورت می گیرد:
- جذب ذرات کوچکتر توسط ذرات بزرگتر- این مکانیزم بیشتر هنگامی صورت می گیرد که مواد اولیه جدید به سیستم اضافه نشود. در این روش ذرات کوچکتری که به ذرات بزرگتر برخورد می کنند و می شکنند و ذرات حاصل از شکستن جذب دانه های بزرگتر می شود.
- لایه گذاری – این مکانیزم بیشتر هنگامی اتفاق می افتد که مواد اولیه جدید به سیستم اضافه می شود. ذرات جدید جذب پوسته ذرات بزرگ می شوند.

جمع‌بندی نهایی فرآیندهای آگلومراسیون

از میان تمامی روشهای آگلومراسیون که در این فصل بیان شد، تنها کلوخه‌سازی به روش دوایت لوید و گندله‌سازی اهمیت صنعتی دارند. دلایل زیر را می‌توان برای عدم موفقیت دیگر روشها بیان نمود :

الف) مصرف سوخت زیاد بعلت مفید نبودن رژیم حرارتی

ب) عدم تناسب از نظر مکانیکی و هزینهٔ بالا برای نگهداری تأسیسات

ج) مشکلات متعدد اجرایی

د) کیفیت بد ماده تولیدی

خشته‌سازی مشکلات مختلف مکانیکی به همراه دارد و تنها خشته‌های نسبتاً بزرگ دارای استحکام کافی هستند اما بدلیل اندازه بزرگی که دارند، قابل استفاده در کوره بلند نمی‌باشند. پختن خشته اگرچه مقاومت آنرا زیاد می‌کند، اما هزینهٔ اضافی قابل جبران نیست. محصول روش اکستروژن در خلأ استحکام کافی ندارد مگر اینکه پخته شود که این مسئله هزینه نهایی را افزایش می‌دهد. روش کروی کردن، مشکلات اجرایی زیادی به همراه دارد و تولیدات آن احیاپذیری بسیار کمی دارند و مناسب کوره بلند نمی‌باشند.

کلوخه‌سازی غیرمداوم به روش گرینوالت برای ظرفیت‌های کم‌مناسب است ولی برای ظرفیت‌های بالا هزینه تأسیسات زیاد می‌شود. هم‌اکنون، کلوخه‌سازی به روش مداوم و گندله‌سازی بهترین روشهای آگلومراسیون می‌باشند. کلوخه‌سازی بخصوص از جهت اینکه امکان افزودن مواد گدازآور به آن هست و نیز می‌توان از غبار کوره بلند، پوسته‌های اکسیدی نورد و دیگر مواد آهن‌دار استفاده کرد مورد توجه می‌باشد. همچنین به علت استفاده از نرمه کک که سوختی در دسترس بوده و نسبتاً ارزان است، این روش از نظر مصرف انرژی نیز مقرون به صرفه است. در عین حال کلوخه‌سازی برای آگلومره کردن پودر و کنسانتره‌های بسیار ریز سنگ آهن مناسب نیست و تنها روش اقتصادی برای مصرف مواد بسیار ریز، گندله‌سازی می‌باشد.