

دوره آموزشی تجهیزات فرآیندی

Unit Operations training courses

تهیه کننده : محمد بهزادی Mohammad Behzadi

وبلاگ آموزشی: www.mblastsavior.mihanblog.com
پست الکترونیکی: Lastsavior_b@yahoo.com

تقدیم به برادر مهدی هدایت زاده که با بخشش علمی بیدریغ خود استاد و قطب نمای علمی در مسیر زندگیم بود

تذکر: برای دیدن راهنمای مطالب لازم است تا از آکروبات 7 یا بالاتر استفاده شود

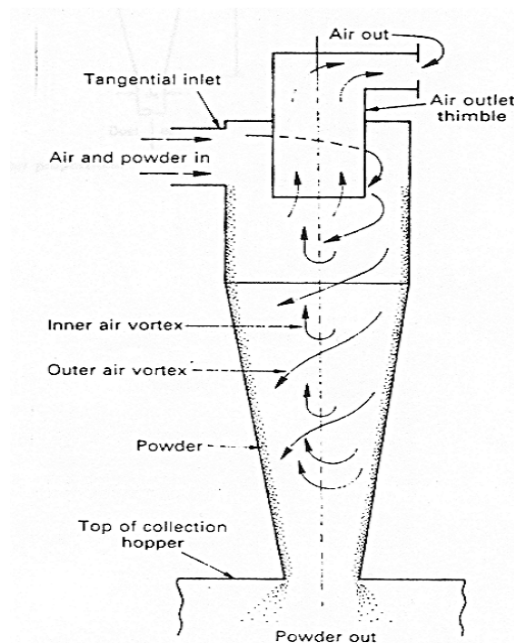
Acrobat 7.0 or higher is needed for view commenting!

جدا کننده‌های سیکلونی

Cyclones

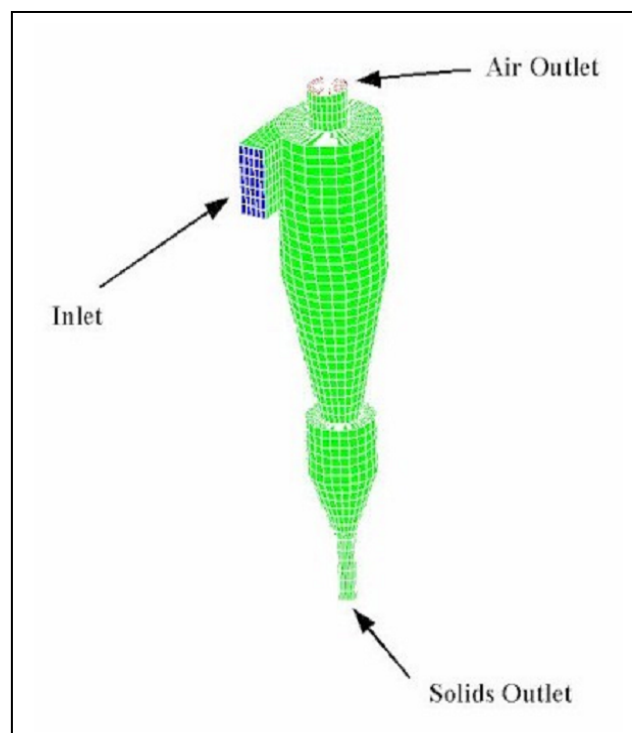
1-14- شرح و توصیف

یکی از وسایلی که در جداسازی ذرات جامد از فاز گاز مورد استفاده قرار می‌گیرد، سیکلون‌ها هستند. در این دستگاه‌ها جریان گاز همراه با ذرات ریز جامد وارد یک محفظه استوانه‌ای یا مخروطی شکل می‌شود. با توجه به دیواره استوانه‌ای سیکلون، جریان مواد با یک حرکت گردباد مانند به سمت پایین سیکلون حرکت می‌کند. با توجه به اینکه نیروی اینرسی وارد شده بر ذرات جامد، از نیروی اینرسی وارد شده بر فاز گاز بیشتر است، این ذرات مماس بر دیواره ظرف به سمت پایین محفظه هدایت می‌شوند. در قسمت پایین محفظه نیز فضایی برای جمع شدن این ذرات جامد تعبیه شده است که به صورت ناپیوسته یا پیوسته این ذرات از محفظه خارج می‌شوند این مورد در شکل 1-14 مشاهده می‌شود.



شکل 1-14- مسیر حرکت مواد در سیکلون

اساس جداسازی این ذرات از توده جریان گاز به این صورت است که نیروی اینرسی وارد شده بر ذرات جامد در سیکلون‌ها، چندین برابر نیروی اینرسی وارد شده بر فاز گاز می‌باشد و لذا این ذرات از کناره‌های محفظه سیکلون به پایین محفظه هدایت می‌شوند. ولی فاز گاز تحت تاثیر نیروی کمتری قرار می‌گیرد و از نقاط فوقانی ذرات جامد، به سمت پایین محفظه می‌رود. در قسمت مرکزی سیکلون‌ها، معمولاً از یک استوانه نسبتاً قطور برای خروج گاز استفاده می‌شود. این لوله در وسط سیکلون تعبیه شده و از ذرات جامد که در اثر نیروی اینرسی وارد شده، در کناره‌های سیکلون قرار دارند فاصله دارد. به این ترتیب اکثر ذرات جامد ورودی از جریان گاز جدا می‌شوند.

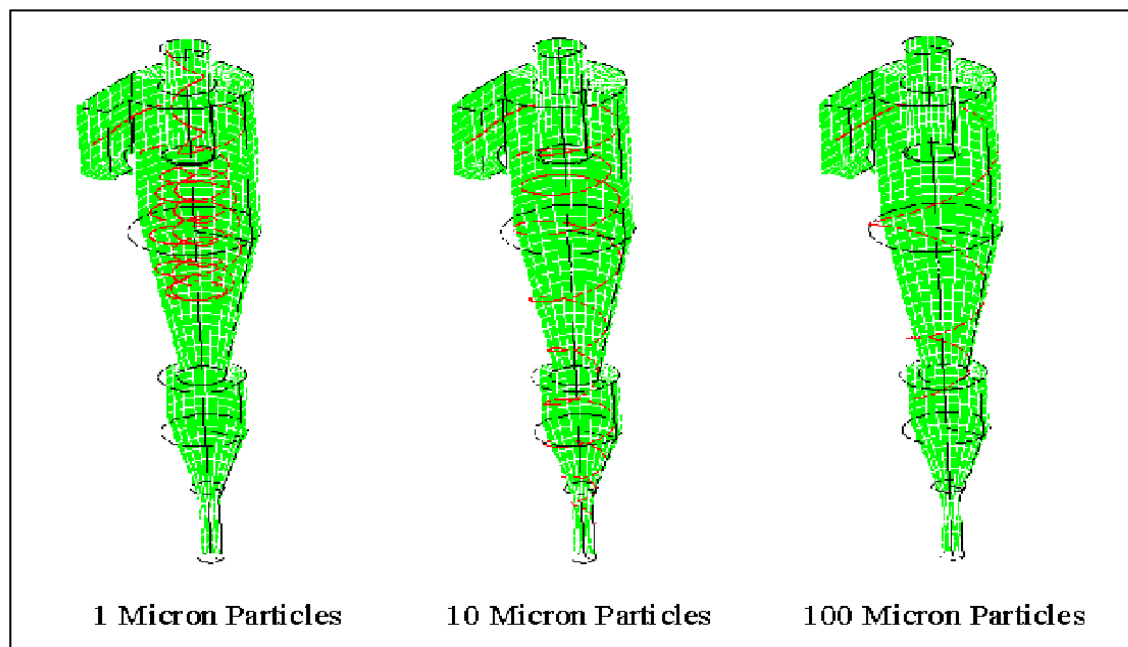


شکل 14-2- سه جریان اصلي ورودي و خروجيکه در اکثر سيکلونها مشاهده مي شود

يك سيكلون در حقيقت يك محفظه ته نشين سازي است كه شتاب جاذبه با شتاب سانتریفوژي جايگزين شده است. مقدار نسبت شتاب سانتریفوژي به شتاب جاذبه، بستگي به قطر سيكلون دارد. براي سيكلونهاي استوانه اي با قطرهاي خيلي بزرگ شتاب سانتریفوژ در حدود 5 برابر شتاب جاذبه است و در مورد سيكلونهاي استوانه اي با قطر كوچك شتاب سانتریفوژي در حدود 2000 برابر بزرگتر از شتاب جاذبه مي باشد. نيروي وارد شده بر ذرات بزرگتر مقدار بيشتري مي باشد و لذا ذرات بزرگتر با چرخش كم تري در سيكلون به پايين سيكلون مي رسند. اين مورد در شكل 14-3 مشاهده مي شود.

14-2- انواع سيكلونها

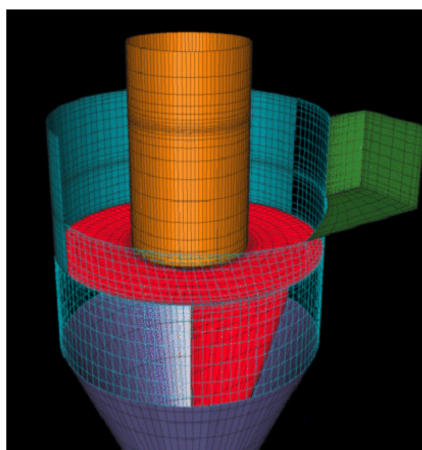
سيكلونها را مي توان از ديدگاه هاي مختلفي مورد تقسيم بندي قرار داد. در اين قسمت ابتدا پس از بحث روي موارد شاخص سيكلونها كه سيكلونها را با آن دسته بندي مي كنند به چند نوع مهم از سيكلونها پرداخته مي شود. يكي از اين موارد مقطع ورودي به سيكلونها است. مقطع ورودي به سيكلونها معمولاً به شكل مستطيل يا دايره ساخته مي شود. در بعضي موارد نيز با توجه به نوع فرآيند، از سيكلونهايي با مقطع ورودي بيضي شكل نيز استفاده مي شود. در شكل 14-4، دو نوع از سطح مقطع ورودي سيكلونها نشان داده شده است.



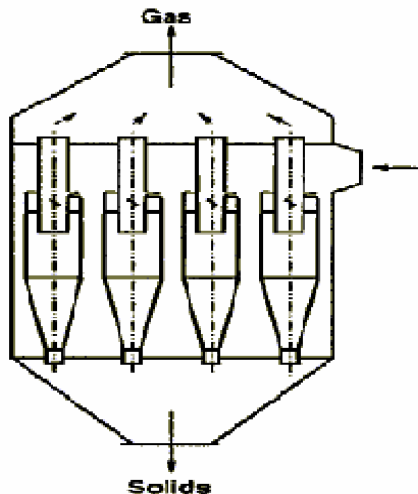
شکل 14-3- چگونگی حرکت ذرات با قطرهای مختلف در سیکلونها

هرچه مقطع ورودی سیکلونها کوچکتر باشد، ذرات ریز ساده‌تر می‌توانند از جریان گاز جدا شوند. اما با این کار ظرفیت سیکلونها کاهش می‌یابد. در چنین مواردی که نیاز است ذرات ریز از جریان گاز جدا شوند باید از تعداد زیادی سیکلون که به صورت موازی در داخل یک Box قرار گرفته‌اند استفاده شود. با این کار ظرفیت عملیاتی سیکلونها که به واسطه کاهش سطح مقطع ورودی سیکلون، کاهش یافته است، افزایش می‌یابد. این مورد در شکل 14-5 نشان داده شده است.

در مورد سیکلونهای موازی باید به تعداد این سیکلونها، راندمان جداسازی، هزینه ساخت، هزینه عملیاتی و مقایسه این سیکلونها با سایر وسایل جداکننده گاز-جامد توجه کرد. زیرا در بعضی از موارد استفاده از Multi Cyclone ها مقرون به صرفه نمی‌باشد.



شکل 14-4- انواع سطح مقطع ورودی سیکلونها



شکل 5-14- چند سیکلون که به صورت موازی در یک جعبه قرار گرفته‌اند

تا به حال سیکلونها را از نظر مقطع ورودی جریان گاز و جامد به داخل محفظه سیکلون و از نظر اینکه به تنهایی کار می‌کنند و یا در یک Box دیگر به صورت Multi Cyclone کار می‌کنند بررسی نمودیم. سیکلونها را از نظر چگونگی قرار گرفتن Blower یا کمپرسور (یا به طور کلی، دمنده) نسبت به سیکلون نیز به دو دسته تقسیم‌بندی می‌کنند.

- 1- سیستمهایی که دمنده قبل از سیکلون قرار دارد.
- 2- سیستمهایی که دمنده بعد از سیکلون قرار دارد.



شکل 5-14- در این شکل، دمنده بعد از سیکلون قرار گرفته است

همانطور که می‌دانیم، حرکت مواد در داخل سیکلون با افت فشار همراه می‌باشد. این افت فشار معمولاً توسط یک کمپرسور یا Blower تامین می‌شود.

نحوه قرار گرفتن این دمنده به ویژگیهای فاز گاز و جامد در جریان ورودی به سیکلون بستگی دارد. مثلاً در حالتیکه ذرات ورودی در جریان گاز روی پره‌های دمنده اثر منفی داشته باشند، باعث تخریب پره‌های دمنده می‌شوند. به این ترتیب در این موارد سیکلون را قبل از دمنده قرار می‌دهند تا ذرات جامد در سیکلون از فاز گاز خارج شوند و به پره‌های Blower برخورد نکنند. لازم به ذکر است که در این مورد، Blower کار مکش فاز گاز را از داخل سیکلون به بیرون انجام می‌دهد. لازم به ذکر است که در اکثر موارد، دمنده را بعد از سیکلون قرار می‌دهند. زیرا وجود ذرات جامد در جریان ورودی به سیکلون، روی دمنده اثر منفی می‌گذارد.

حال به طور خلاصه انواع دسته‌بندی سیکلونها را در زیر می‌آوریم:
الف) دسته‌بندی سیکلونها از نظر مقطع ورودی جریان گاز:

- 1- مقطع ورودی مستطیلی
 - 2- مقطع ورودی دایره‌ای
 - 3- مقطع ورودی به شکل خاص در موارد لزوم
- ب) دسته‌بندی سیکلونها از نظر تعداد در حال کار

- 1- سیکلونهای منفرد
- 2- سیکلونهای چندتایی

ج) دسته‌بندی سیکلونها از نظر چگونگی قرار گرفتن عامل تامین افت فشار نسبت به سیکلون

- 1- سیکلونهایی که دمنده قبل از آنها قرار دارد
- 2- سیکلونهایی که دمنده بعد آنها قرار دارد.

14-3- موارد کاربرد سیکلونها

همانطوریکه به طور مختصر بیان شد، از سیکلونها برای جدا کردن جامدات ریز موجود در گاز استفاده می‌شود. در اینجا باید به این نکته توجه کرد که تنها این وسایل نیستند که برای جدا کردن ذرات جامد از فاز گاز مورد استفاده قرار می‌گیرند. بلکه سیکلونها با صافی‌ها، فیلترها، جداسازی‌های الکترواستاتیکی و جداسازهای ته‌نشین کننده در حال رقابت هستند. اما در مقایسه با سایر جداکننده‌های گاز-جامد سیکلونها از لحاظ هزینه ساخت و هزینه عملیات دارای هزینه کمتری می‌باشند. همانطوری که در شکل‌های این وسایل نیز مشاهده می‌شود، نحوه ساخت این وسایل از پیچیدگیهای خاصی برخوردار نمی‌باشد. در شکل‌های 6-14 و 7-14، چند نمونه سیکلون صنعتی و آزمایشگاهی نشان داده شده است.

در جریان‌های گاز-جامد که قطر ذرات جامد از $5\mu m$ کوچکتر است، راندمان جداسازی سیکلونها مقدار کمی می‌باشد ولی اگر ذرات جامد تمایل بهم چسبیدن را دارا باشند، می‌توان ذرات با قطر $3\mu m$ را نیز با استفاده از سیکلونها از جریان گاز جدا کرد. یکی دیگر از موارد کاربرد سیکلونها، توانایی عملیاتی این دستگاهها در فشار و دماهای بالا می‌باشد. با توجه به کارایی و مقاومت مواد موجود در سیکلونها، این دستگاهها در دمای حدود 1000 درجه سانتی‌گراد و فشاری در حدود 500 Kpa (50700 atm) نیز استفاده می‌شود. همانطوریکه با توجه به شکل این دستگاهها مشخص است، دما و فشار پایین و ایجاد خلاء در

سیستم نیزمیشکلی روی کار سیکلون ایجاد نمی‌کند. به این ترتیب، این وسایل در دامنه وسیعی از دما و فشار، قابل استفاده هستند.



شکل 14-6- چند نمونه سیکلون صنعتی



شکل 14-7- چند نمونه سیکلون آزمایشگاهی

در مورد کاربرد سیکلونها، یکی از مسائلی که مطرح می‌شود قطر برش (Cut diameter) است. به طور کلی هر وسیله جداکننده ذرات جامد از جریان گاز، دارای قطر برش می‌باشد. منظور از قطر برش این است که ذراتی که قطر آنها از قطر برش (D_{cut}) بزرگتر هستند از وسیله مورد نظر عبور نمی‌کنند و به این وسیله از جریان گاز جدا می‌شوند. البته در بعضی از موارد به طور قاطع، از D_{cut} به عنوان قطر برش استفاده نمی‌شود و تنها کسری از مواد جامد با قطری بزرگتر از D_{cut} از

وسیله جداکننده عبور نمی‌کنند. لازم به ذکر است که قطر برش در مورد همه وسایل جداکننده گاز-جامد مورد استفاده قرار می‌گیرند. تعیین دقیق مقدار قطر برش با رسم نمودار حاصل از بررسی توزیع ذرات موجود در گاز خروجی از سیکلون بر حسب قطر ذرات ورودی به سیکلون، قابل محاسبه است.

14-4- عیوب و موارد عدم مطلوب بودن سیکلونها

یکی از عیوبی که سیکلونها با آن مواجه هستند، در مورد وجود ذرات ریز در فاز گاز ورودی به سیکلون است. در این موارد دیگر نمی‌توان از این وسایل استفاده کرد و باید از وسیله مناسب دیگری سود جست. دلیل نامناسب بودن سیکلون در مورد ذرات ریز (کوچکتر از $\mu m 5$) به خاطر عدم کافی بودن نیروی سانتریفوژی برای جداسازی ذرات جامد از گاز است. زیرا در مورد ذرات بسیار ریز نیروی اینرسی وارد شده بر ذرات جامد بسیار کم است.

یکی دیگر از مواردی که باعث پایین آمدن راندمان دستگاه می‌شود، افزایش دبی ورودی به سیکلون است. قطر برش ذکر شده در قسمت قبل در مورد حالتی که دستگاه با دبی مناسب در حال کار است به دست می‌آید و اگر شدت جریان فاز گاز و جامد ورودی به سیکلون افزایش یابد به همین ترتیب باعث کاهش راندمان دستگاه می‌شود. در مواردی که نیاز به جداسازی مقدار زیادی از فاز گاز- جامد داریم باید به جای یک سیکلون از تعداد زیادی سیکلون که به صورت موازی (Multi Cyclone) قرار گرفته‌اند استفاده کنیم.

در مواردی که ذرات جامد موجود در فاز گاز، ذرات بارداری هستند استفاده از جداسازهای الکترواستاتیکی بر سیکلونها ترجیح داده می‌شوند. زیرا در این مورد راندمان جداسازهای الکترواستاتیکی نسبت به سیکلون‌ها بسیار بیشتر است. یکی از مواردی که به شدت روی راندمان دستگاه‌های جداساز سیکلونی تاثیر می‌گذارند، میزان افت فشار موجود در این دستگاه‌ها می‌باشد. برای آشنا شدن با این موضوع عوامل ایجاد کننده افت فشار در سیکلونها و دلایل آنها را مورد بحث قرار می‌دهیم. عوامل ایجاد کننده افت فشار در سیکلونها از قرار زیرند:

1- افت فشار در اثر انقباض ورودی (Inlet Contraction): این افت فشار در اثر کم شدن مساحت ورودی فاز جامد و گاز به داخل سیکلون ایجاد می‌شود و مقدار آن نیز با توجه به نوع مقطع ورودی تغییر می‌کند.

2- شتاب ذرات جامد: ذرات جامد موجود در فاز گاز در اثر ورود به سیکلون شتاب بیشتری می‌گیرند و به این ترتیب میزان افت فشار افزایش می‌یابد.

3- اصطکاک دیواره سیکلون: اصطکاک بین جریان گاز و دیواره جامد باعث افزایش افت فشار در سیکلون می‌شود. لازم به ذکر است که با افزایش سرعت ورودی مواد به سیکلون، این افت فشار به شدت افزایش می‌یابد.

4- افت فشار به خاطر چرخش گاز در سیکلون

5- افت فشار به خاطر انقباض نهایی جریان گاز برای ورود به لوله خروجی گاز خالص شده.