المعدات المستخدمة في التحكم في ملوثات الهواء

هناك أربعة اساليب متاحة للتحكم في الانبعاثات ومخرجات العمليات الصناعية والخدمية المختلفة إلى الهواء الجوي وبالتالي التحكم في تأثيراتها الضارة. هذه الوسائل هي:

1- تقليل الانبعاثات من المصدر باستخدام معدة تحكم. Control Equipment

2- تقليل الانبعاثات عن طريق تغيير المواد الخام المستخدمة في العمليات الصناعية والخدمية المختلفة وإجراء تعديل على هذه العمليات أو استخدام معدات أخرى مما يؤدى إلى تقليل الانبعاثات.

3- استخدام المداخن الطويلة لتقليل نسبة تركيز الانبعاثات.

4- التخطيط الجيد لأماكن المناطق الصناعية وتوزيعها متباعدة عن بعضها بما يضمن تخفيف انبعاثاتها وتقليل التأثير الضار لها.

ولكن يبقى دائما أن أكثر هذه الوسائل فاعلية هي تقليل الانبعاثات عن طريق استخدام معدات التحكم وكذلك التحكم في العمليات المسببة للانبعاثات. وتظل الحقيقة دوما أن تناول مشاكل تلوث الهواء بجدية وموضوعية أثناء تصميم وبناء الصناعات المختلفة يكون له مردوده الاقتصادى المؤثر. ورغم ذلك لا يتم التفكير – في أغلب الأحيان في مشاكل التلوث إلا بعد التصميم والبناء ومواجهة الواقع بتراكم الانبعاثات وتأثيراتها الضارة فلا يبقى من الحلول المطروحة إلا استخدام وسائل المعالجة والتحكم.

معايير اختيار معدات تجميع الجسيمات

إذا تناولنا عملية إزالة الجسيمات من الغازات المنبعثة من العمليات الصناعية والخدمية المختلفة فإننا نجد أمامنا العديد من المعدات المستخدمة لهذا الغرض، وفي جميع الأحوال هناك معايير معينة تساعد في اختيار المعدة اللازمة نلخصها فيما يلي :

1- الخواص الطبيعية والكيميائية للجسيمات.

2- معدل الانسياب الحجمي للغازات المحملة بالجسيمات وتغير هذا المعدل مع الزمن.

3- ضغط ودرجة حرارة الغازات المنسابة.

4- الحدود المتوقعة لتركيز الجسيمات في الغازات (حمولة الأتربة)

5- الرطوبة النسبية للغازات.

6- خصائص الغاز مثل ذوبانه وتأثيراته على تأكل المواد وخلافه.

7- الحالة المطلوب أن يكون عليها الغاز بعد معالجته (درجة الجودة المطلوبة للغاز بعد معالجته بمعنى درجة الكفاءة المطلوبة في عملية إزالة الجسيمات).

ويمكن تلخيص أهداف التخلص من الجسيمات العالقة في النقاط التالية:

1- منع المضايقات التي يسببها وجود هذه الجسيمات في الهواء الجوي.

2- منع التأثير الضار لهذه الجسيمات على الممتلكات والأمتعة.

3- تقليل الأخطار الصحية على العاملين في هذه المنشآت الصناعية وعلى جميع الناس.

4- استعادة بعض المنتجات الغالية الضائعة.

5- تقليل الخسائر الاقتصادية.

6- تحسين جودة المنتج.

وفي كثير من الأحيان يتم استخدام أكثر من معدة على التوالي للتخلص من الجسيمات ويحقق ذلك مميزات كثيرة أهمها أن يتم التخلص أولا من الجسيمات كبيرة الحجم في المجمع الأولى Primary Collector الذي يقلل من نسبة تركيز الجسيمات في الغارات ثم بعد ذلك تتم إزالة الجسيمات الصغيرة في المجمع الثانوي Secondary Collector، وفى هذه الحالة تعتبر المجمعات الثانوية احتياطيا في حالة تعطل المجمعات الأولية. ومثل هذه الطريقة تتيح أن يتم فصل المواد التي يمكن إعادة استخدامها في مرحلة معينة والمواد التي يرغب التخلص منها في مرحلة أخرى، كما أن المجمع الأولى يمكن أن يستخدم كمعدة للحماية من الحريق

بمنع مصادر الاشتعال مثل الجسيمات المتوهجة، إضافة إلى ما سبق فإن استخدام أكثر من معدة يسمح بأن يكون هناك مجمع أولى واحد يتبعه مجمعات ثانوية كثيرة تعمل على التوازي.

وتجدر الإشارة إلى أن كفاءة أي معدة تحسب كنسبة مئوية لكمية الجسيمات التي تم تجميعها من الغاز مقسومة على كمية الجسيمات الموجودة فعلا في الغاز.

بعض القواعد الأساسية والمبادئ العامة التي تساعد في عملية اختيار المعدة المناسبة:

أولا: معدلات الانسياب الصغيرة وغير المستمرة ممكن معالجتها بمعدات يتم التخلص منها كليا، على سبيل المثال الفلاتر المستخدمة في تنظيف الهواء وزيت المحركات والتي تتجمع فيها الجسيمات وبعد فترة تشغيل معينة يتم استبدالها. أما إذا كانت معدلات الانسياب كبيرة ومستمرة أو تنساب لفترات طويلة فإن ذلك يستلزم معدة تسمح بتجميع الجسيمات بصفة مستمرة أو على الأقل لفترات تشغيل طويلة وبالتالي تكون هناك وسيلة للتخلص المستمر من الجسيمات التي يتم تجميعها. ولا مانع في هذه الحالات من استخدام معدة تنظيف نهائية من النوع الذي يتم التخلص منه بعد الاستعمال، فعلى سبيل المثال في غرف إنتاج الرقائق الدقيقة Microchips يستخدم فلتر عالى الكفاءة للتخلص من آخر جسيمات عالقة بالهواء الداخل إلى هذه الغرف النظيفة.

ثانيا: الجسيمات اللزجة مثل القار يجب تجميعها في معدات يتم التخلص منها أو باستخدام سوائل معينة، وفي هذه الحالة لابد من وجود وسيلة لمعالجة السائل الملوث الناتج.

ثالثا: الجسيمات التي تتلاصق مع بعضها البعض ولا تلتصق بالسطوح الصلبة يكون من السهل تجميعها بينما الجسيمات التي تفعل العكس تحتاج سطوحا خاصة فعلى سبيل المثال الفلاتر المصنوعة من الخيوط المغطاة بالتيفلون Teflon Coated Fibers لا تعلق بها الجسيمات المجمعة مما يسهل عملية التخلص منها أثناء التنظيف.

رابعا: تعتبر الخواص الكهربائية للجسيمات ذات أهمية خاصة لنوعية المعدات التي تحتاج هذه الخاصية مثل الفلاتر الكهروستاتيكية كما أنها مهمة أيضا في بعض المعدات الأخرى التي يكون الشحن الكهروستاتيكي الناتج من الاحتكاك يساعد أو يعوق عملية التجميع.

خامسا: الجسيمات غير لازجة والأكبر من ٥ ميكرومتر يناسبها في المقام الأول الفاصل الحلزوني (سيكلون) Cyclone Separator

سادسا: الجسيمات الأقل من ٥ ميكرومتر يناسبها الفلاتر النسيجيةFabric Filters ، والفلاتر الكهروستاتيكية ESP، وغسالات الغازScrubbers ، حيث يمكن لهذه المعدات تجميع الجسيمات التي تصل إلى جزء من الميكرون.

سابعا: في حالات معدلات الانسياب العالية فان تكاليف الضخ Pumping Cost تجعل تكاليف معدات غسيل الغاز Scrubbers غالية جدا ويلزم التفكير في معدات أخرى إذا كان ذلك متاحا تبعا لخصائص الجسيمات.

ثامنا: يجب دائما أن يؤخذ في الاعتبار المقاومة للصدأ Corrosion Resistance ودرجة الندى الحمضية.

على وجه العموم تنقسم معدات تجميع الجسيمات إلى الخمس مجموعات الرئيسية التالية:

1- غرف الترسيب بالجاذبية Gravity Settling Chambers

2- معدات الفصل الحلزوني (الطارد) Cyclones (Centrifugal) Separators

3- المجمعات المبللة (غسالات الغاز) Wet Collectors .

4- الفلاتر النسيجية Fabric Filters .

5- الفلاتر الكهروستاتيكية Electrostatic Precipitator .

داخل كل مجموعة من المجموعات الخمس السابقة ربما توجد أسماء وصفية للمعدة مبنية على اختلافها عن غيرها في الأجزاء أو طرق التشغيل.

ويمكن القول بأن مشاكل التحكم في الملوثات يمكن حلها بالاختيار السليم للمعدة المناسبة وأن يكون هذا الاختيار مبنيا على إجابة السؤالين البسيطين التاليين:

1- هل تحقق المعدة متطلبات التحكم في الملوثات؟

2- أي الاختيارات يكون أقل في التكاليف؟

ونلخص فيما يلى الحالات التي تكون فيها أربعة أنواع من معدات تجميع الجسيمات أكثر فاعلية، مع ضرورة الأخذ في الاعتبار أن ما يلى ينطبق على أغلب الحالات، ولكن هذا لا يمنع وجود بعض الظروف والحالات الاستثنائية التي لا ينطبق عليها التحديد التالي:

أ- معدات الفصل الحلزوني (سيكلون) Cyclones يكثر استخدامها في الأحوال التالية:

1 - الجسيمات كبيرة الحجم.

2- نسبة تركيز الجسيمات عال (أكثر من ٢,٣ جرام / م٣).

3- تصنيف الجسيمات مرغوب فيه.

4- الكفاءة العالية في التجميع غير ضرورية.

ب المعدات المبللة (غالات الغاز) Wet Scrubbers يكثر استخدامها في الأحوال التالية:

1 - الجسيمات صغيرة الحجم ويراد إزالتها بكفاءة عالية.

2- التبريد مرغوب فيه وارتفاع نسبة الرطوبة لا ضرر منها.

3- الغازات قابلة للاحتراق.

4- الاحتياج لإزالة الغازات الملوثة والجسيمات.

ج - الفلاتر النسيجية Fabric Filters يكثر استخدامها في الأحوال التالية:

1- مطلوب كفاءة عالية جدا في التجميع.

2- المواد المجمعة غالية الثمن ويرغب في تجميعها جافة.

3- الغازات دائما درجة حرارتها أعلى من درجة الندى.

4- معدلات انسياب الغازات في حدود مقبونة.

5- درجات الحرارة منخفضة نسبيا.

د- الفلاتر الكهروستاتيكية ESP يكثر استخدامها في الأحوال التالية:

1- مطلوب كفاءة عالية جدا لتجميع جسيمات دقيقة.

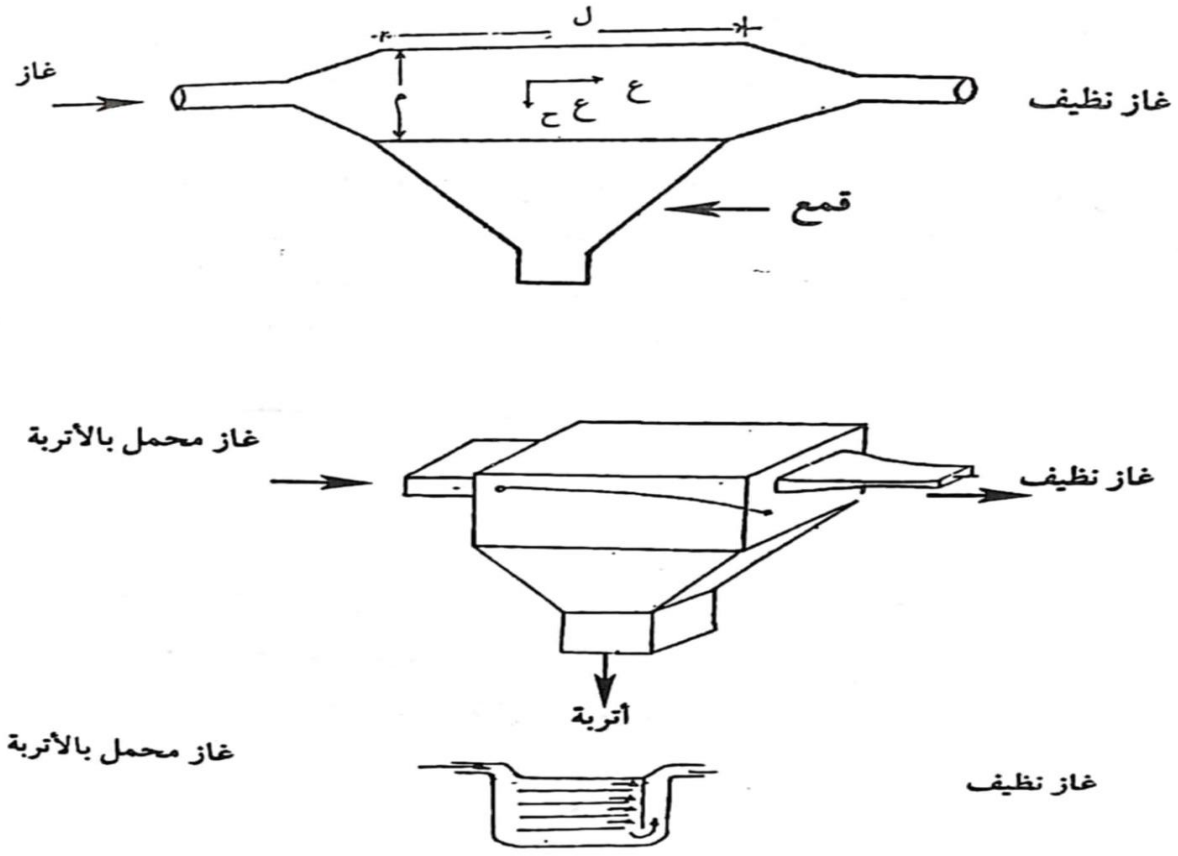
2- معدلات انسياب الغازات كبير.

3- المواد المجمعة غالية الثمن.

وفيما يلى نستعرض بعض تفاصيل وأبعاد ومكونات وخصائص معدات تجميع الجسيمات كل على حدة.

غرف الترسيب Settling Chambers

تعتبر غرف الترسيب أكثر معدات تجميع الجسيمات بساطة. حيث تتكون من غرفة يمر خلالها الغاز المحمل بالجسيمات وتعتمد نظرية تشغيلها على تقليل سرعة انسباب الغارات للسماح للجسيمات بأن تترسب تحت تأثير الجاذبية تاركة الغاز وأكثر أشكال هذه المعدة شيوعا عبارة عن صندوق طويل – به مدخل من ناحية ومخرج من الناحية الأخرى – يوضع أفقيا على الأرض في أغلب الأحيان، ويمكن أن يصنع هذا الصندوق من طوب وخرسانة، ويمرر الغار بسرعة بطيئة، وحيث إن كثافة الجسيمات الصلبة أعلى من كثافة الغاز المحيط بها فيتم ترسيبها بتأثير الجاذبية وتجمع في أقماع Hoppers ويمكن إزالتها، والتخلص منها بعد ذلك تباعا. ويوضح شكل (١) رسما تخطيطيا لاحدى هذه الغرف.



شكل (1) غرف الترسيب بالجاذبية

ويلاحظ ضرورة أن تكون سرعة انسياب الغاز صغيرة أقل من ٣ م / ث لمنع إثارة الجسيمات المجمعة مرة أخرى، وإذا أمكن التوصل بسرعة انسياب الغاز إلى حوالى 0.5 م / ث فإن هذا يؤدى إلى الحصول على نتائج جيدة، ولتقليل حدوث دوامات والتأكد من استمرار الحصول على سرعة منتظمة يمكن تعليق أعمدة Rods، أو ستائر Curtains أو شبكة سلكية Wire Mesh.

والانخفاض في الضغط خلال غرف الترسيب يكون صغيرا ويأتي أساسا من فواقد الضغط التي تحدث في المدخل والمخرج. وحيث إنها بسيطة التركيب فتكاليف إنشائها تعتبر منخفضة.

وإذا أردنا أن نجرى عملية تحليل لما يحدث داخل غرف الترسيب فإننا نفترض أن الجسيم الصلب يتحرك بسرعة الغاز ع ويترسب بسرعة ستوك Stoke's Velocity ع س وعلى ذلك فإن جسيما يدخل إلى الغرفة ممكن أن يترسب إذا كان الزمن اللازم الترسيبه مساويا أو أقل من الزمن الذى يأخذه الغاز ليمر خلال الحجرة.

أن كفاءة الأداء في غرفة الترسيب يمكن تحسينها إذا قل الارتفاع الذى يقطعه الجسيم ليترسب، ولتحقيق ذلك يمكن أن يوضع داخل غرف الترسيب أرفف Shelves وفى الغالب توضع هذه الأرفف على مسافات تتراوح بين ١، ٣ سم وتتناسب الزيادة في الكفاءة طرديا مع عدد الأرفف التي يتم إضافتها.

وفي كل الأحوال فإن أقل قطر الجسيمات يمكن تجميعها عن طريق هذه المعدة هو ١٠ ميكرون إلى جانب صعوبة تنظيف المعدة ذات الأرفف الكثيرة واحتمال انحناء هذه الأرفف مع ارتفاع درجة حرارة الغاز، إضافة إلى احتياج مثل هذه المعدة إلى مساحة كبيرة من ناحية أخرى تتميز هذه المعدة بقلة تكاليف إنشائها وسهولة تركيبها وقلة تكاليف صيانتها وصغر الانخفاض في الضغط، كما أن الجسيمات المجمعة تكون باستمرار جافة. إضافة إلى ما سبق فإن هذه المعدة يمكن تصنيعها من أي خامة والعامل الوحيد المؤثر في اختيار الخامة هي درجة حرارة وضغط الغاز.

وبالنسبة لاستخدام هذه المعدة في الصناعة فإنها في واقع الأمر لا تستخدم إلا في حالات محددة تكون أقطار الجسيمات التي يراد تجميعها لا يقل عن ٤٠ ميكرونا، أما في حالة الجسيمات الدقيقة مثل الكربون الأسود والرذاذ الناتج من عمليات استخراج المعادن Metallurgical Fumes فإذا ما حدث وتجمعت مع بعضها البعض وكونت كتلا أكبر حجما فيمكن في هذه الحالة استخدام هذه المعدة في تجميعها.

ويشيع استخدام هذه المعدة في بعض الأفران والمحارق وتستخدم أيضا كمجمع أولى في بعض الصناعات الغذائية وصناعة استخراج المعادن، وحيث إن هذه المعدة بسيطة في تركيبها ورخيصة التكاليف فيكثر استخدامها كمجمع أولى بالنسبة للمجمعات ذات الكفاءة العالية،وذلك ليس فقط لأنها تقلل من حمل الجسيمات في الغاز Dust Loading ولكن لأنها أيضا تمنع دخول الجسيمات كبيرة الحجم التي ربما تسبب تأكلا في المجمعات الأكثر كفاءة فيؤدى ذلك إلى تقليل تكاليف الصيانة لهذه المجمعات الثانوية .

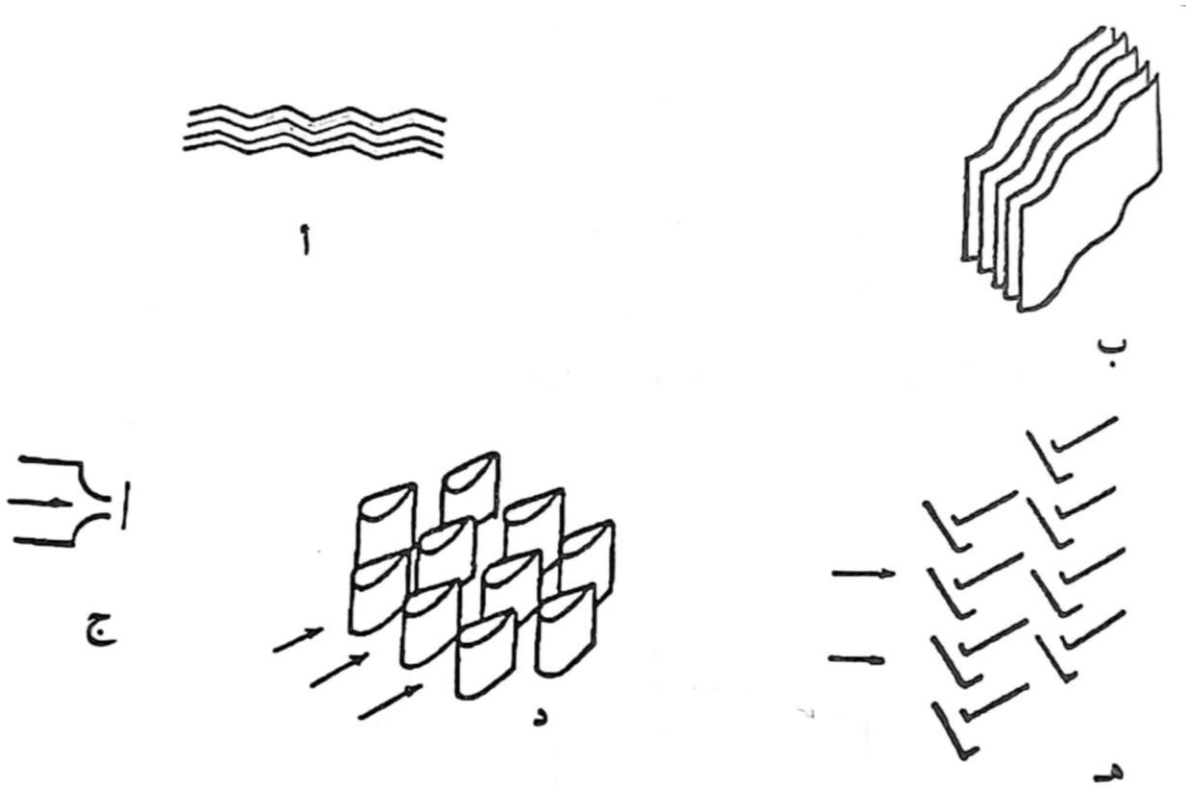
معدات الفصل التى تعمل بالقصور الذاتيInertial Separators

يندرج تحت هذا النوع من المعدات تلك التي توظف القصور الذاتي الأكبر نسيا المكونات الخليط المنشئت من الغاز المحمل بالجسيمات. وهناك نوعان من معدات الفصل تستخدم هذه النظرية الأساسية، النوع الأول معدات الفصل بالتصادم أو المصادمات Inertia or Impact Separators ومعدات الفصل الحلزوني (سيكلون)

. Cyclonic Separatorsيعتمد النوع الأول على تغيير في اتجاه انسياب الغاز بهدف إكساب الخليط تأثيرا أكبر للقصور الذاتي. بينما يعتمد النوع الثاني على إنتاج قوة طرد مركزي مستمرة كمصدر لإكساب الخليط تأثيرا أكبر للقصور الذاتي والسيكلون من أكثر معدات الفصل استخداما في فصل الجسيمات عن الغارات.

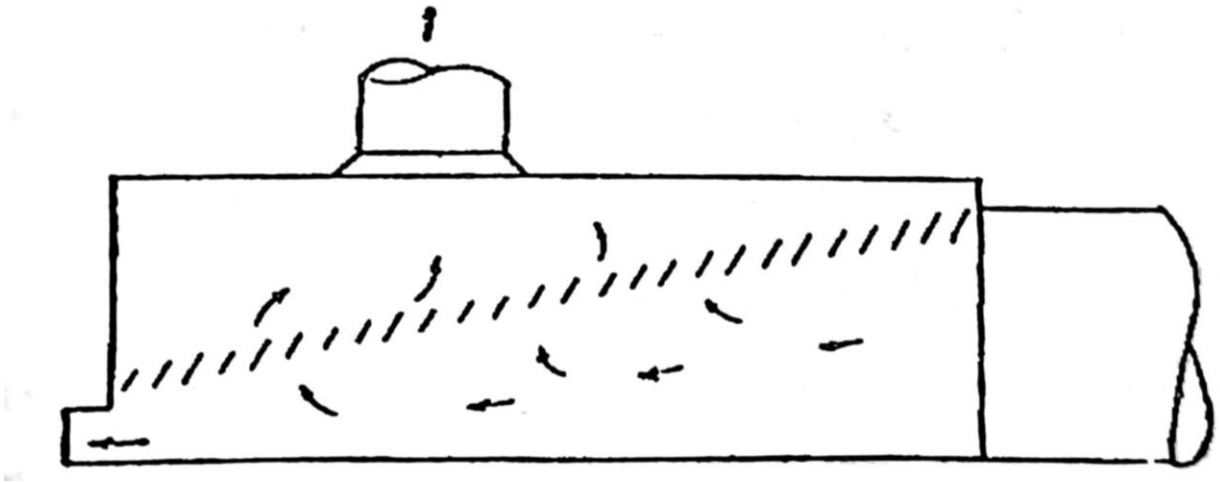
وهناك ثلاثة أنواع من معدات الفصل بالتصادم أو المصادمات، النوع الأول يسمى معدات الفصل بالمصدات Baffle Type Separators والنوع الثاني يطلق عليه معدات الفصل بالعوارض المائلة Louver Type Separators، والنوع الثالث من هذه المعدات هو مصائد الأتربة Dust Traps .

النوع الأول هو أبسط هذه الأنواع الثلاثة وفيه يجبر الغاز على الانسياب في مسار ملتو (متعرج) Tortuous والذى ينشأ من وضع الواح متناثرة في مسار الغاز مما ينتج عنه مجموعة من التغيرات المتتالية والفجائية في الاتجاه ينتج عنها اصطدام الجسيمات بالأسطح الصلبة. هذه النوعية من المعدات مناسبة للجسيمات ذات الحجم الأكبر من ٢٠ ميكرونا، ويجب توفير وسيلة لتنظيف أسطح التصادم عن طريق قرعها فتسقط عنها الأتربة أو تمرير خيط رفيع من المياه على هذه الأسطح. وهناك كثير من التصميمات لهذه الأسطح كما هو موضح في شكل (٢). وتتميز معدات الفصل بالمصدات بأنها بسيطة سهلة التشغيل لا تحتوى على أجزاء متحركة ولكنها إلى حد ما أكثر تكلفة من غرف الترسيب حيث يلزم تصنيع وتركيب المصدات بتكاليف أكبر. هذا إلى جانب أن سرعات التصادم العالية تسبب تأكلا شديدا وتعتمد كفاءة هذه المعدة على أربعة عوامل أساسية تتصل بالمعدات وهى عددها وأطوالها والمسافات بين كل منها وشكلها. ويشيع استخدام هذه المعدات في محطات توليد الطاقة وفي المحارق الدوارة.



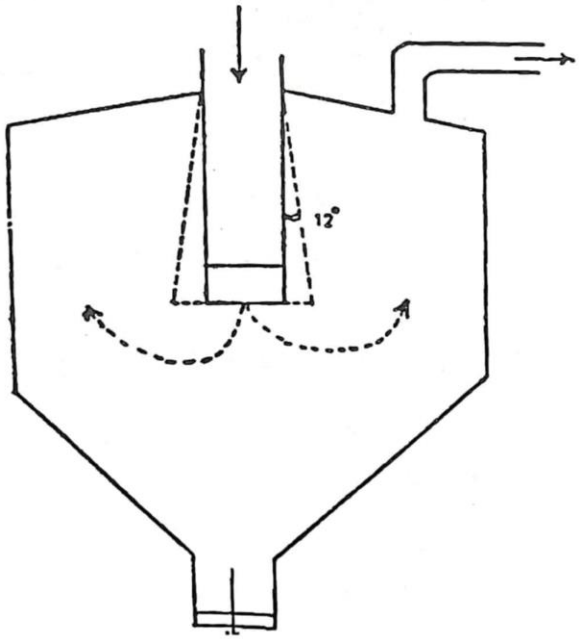
الشكل (2) شكل الاسطح في معدات الفصل بالمصدات

أما النوع الثاني ذو العوارض المائلة فإن زاوية الميل بين اتجاه دخول الغاز وبين العوارض تسبب تغيرا مفاجئا في اتجاه انسياب الغاز فينتج عن ذلك اصطدام الجسيمات بالعوارض وسقوطها على الأرض ليتم تجميعها وتعتمد كفاءة هذه المعدة على المسافة بين العوارض وتزداد الكفاءة كلما قلت هذه المسافات – وتكون في الغالب سرعة دخول الغاز تتراوح ما بين ١٢ – ١٥ م / ث. وتعتبر هذه المعدة مناسبة للتخلص من الجسيمات الأكبر من ٣٠ ميكرونا انظر شكل (٣). وتتميز هذه النوعية من المعدات بالبساطة وسهولة التشغيل وقلة التكاليف وأنها لا تسبب انخفاضا كبيرا في الضغط وإن كان من عيوبها انسداد المسافات بين العوارض والتآكل المستمر لها.



شكل (3) رسم تخطيطي لمعدة الفصل ذات العوارض المائلة

أما النوع الثالث الذى يطلق عليه مصيدة الأتربة ففيه يمر الغاز المحمل بالأتربة من أنبوبة مركزية (أسطوانية أو مائلة كما هو موضح في شكل (٤) بحيث يجبر الغاز على تغيير اتجاهه ١٨٠ ونظرا للقصور الذاتي للجسيمات فإنها تسقط في الغرفة المخروطية .



شكل(4) مصيدة الاتربة

وتزداد فائدة هذه المعدة مع زيادة حمل الأتربة في الغارات أكثر من ١٠٠ جم / م^3 وكذلك إذا ما كانت كمية الغازات قليلة وعموما تكون سرعة دخول الغازات في حدود ١٠ م / ث وتقل داخل الغرفة إلى حوالى ١ م / ث وتصل كفاءة هذه المعدة للجسيمات الأكبر من ٣٠ ميكرونا إلى حوالي ٧٠ %. وفي كثير من الأحيان يتم استخدام هذه النوعية من المعدات كمجمع أولى يعقبه مجمع آخر ثانوى أعلى في الكفاءة وأكثر قدرة على التخلص من الجسيمات الأصغر حجما.