الباب الحادي عشر

هندسة البيئة

obeikandl.com

obeikandl.com

تنقية الهواء بأجهزة الفصل

يوجد في غازات العادم الناتجة عن العمليات الصناعية غبار وخليط من الجزئيات المختلفة الحجم. ويتعلق حجم الجزيئات بالعملية المسببة لها. فعلى سبيل المثال يكون حجم جزيئات الغبار الناتج عن معالجة فلزات المعادن الخام أدق من جزيئات الغبار الناتج عن العمليات التعدينية. يتراوح حجم جزيئات الغبار في غازات العادم عموماً بين ٠,١ و١٠٠ ميكرومتر. تعتمد منقيات الغبار وهي أجهزة فصل مواد (Staubabscheider) على خواص فيزيائية مختلفة للفصل بين الغازات وجزيئات الغبار، وغالباً ما تستخدم العطالة الكتلية أو القوى الكهربائية. تصنف أجهزة الفصل بحسب مبدأ عملها إلى أربعة أنماط أساسية: أجهزة الفصل الكتلي، وأجهزة الفصل الرطب، وأجهزة الفصل الكهربائي، وأجهزة الفصل بالترشيح أو التصفية (تنقية غازات الاحتراق ← ، تنقية الهواء بالمصافي←). وكل منها يصلح لتنقية حجم معين من الجزيئات (الشكل ١).

أجهزة الفصل الكتلي ❷

في الفاصل الدوّامي Cyclone تنزع جزيئات الغبار بواسطة القوى النابذة. خلافاً للطاردات المركزية ذوات البنية المعقدة فإن لأجهزة الفصل الكتلي الدوامي بنية بسيطة، لكن قدرتها على الفصل محدودة.

في السيكلونات القطرية Radial Cyclones يتدفق الغاز المحمل بالغبار إلى الأسطوانة مماسياً ليسير على مسار حلزوني (الشكل ٢). خلافاً لذلك يدخل الغبار إلى السيلكون المحوري Axial Cyclone بشكل محوري ثم تتحول حركته إلى دورانية بواسطة شفرات توجيه. في التدفق الدوراني تندفع الجزيئات نحو الخارج وتعلق على جدار السيلكون، تكون الجزيئات ذات الكتلة الأكبر (الأثقل) أسرع من الجزيئات الصغيرة. المؤشر النظام لعملية الفصل هو قطر الجزيئة: كثافة جزيئات الغبار ثابتة تقريباً (حوالي ٢-٥ غرام / سم٣)، تتناسب كتلة الجزيئة مع مكعب قطرها، لذلك

يمكن للسيلكونات عموماً الفرز بحسب الحجم، القطر الحرج للجزيئات (وهو حجم الجزيئات الذي يصبح عند احتمال انفصالها ٥٠٪) يبلغ حوالي ٥ ميكرومتر. بناءً عليه فإن من غير المؤكد المحافظة على القيام الحرجة بواسطة السيلكونات فقط، لا سيما في العمليات الصناعية ذات الغبار الناعم. إن تسريع حركة الغازات لا يؤدي إلى فصل أفضل، لأن ذلك يتسبب في إعادة جزء من الغبار المنفصل إلى الغازات، هذا بالإضافة إلى زيادة استهلاك الطاقة والاهتراء.

أجهزة الفصل الرطب ❸

في أجهزة الغسيل أيضاً يعتمد مبدأ الفصل على العطالة. تتراكم جزيئات الغبار على قطرات الماء بسبب قوة العطالة. ولأن قطرها أكبر من قطر جزيئات الغبار بمرتبة واحدة على الأقل. فإن انفصال الأخيرة أسهل من انفصال قطرات الماء ذاتها. وبحسب نوع جهاز الغسيل تولِّد القطرات المناسبة بالنافثات أو الدوارات أو تيارات الغبار. وتحدد السرعات عند مناطق التماس في جهاز الغسيل، لتساعد على تهيئ الشروط المناسبة لقطرة الماء حتى تتمكن من التقاط الجزيئات. وتتبع ذلك عملية فصل قطرات الماء.

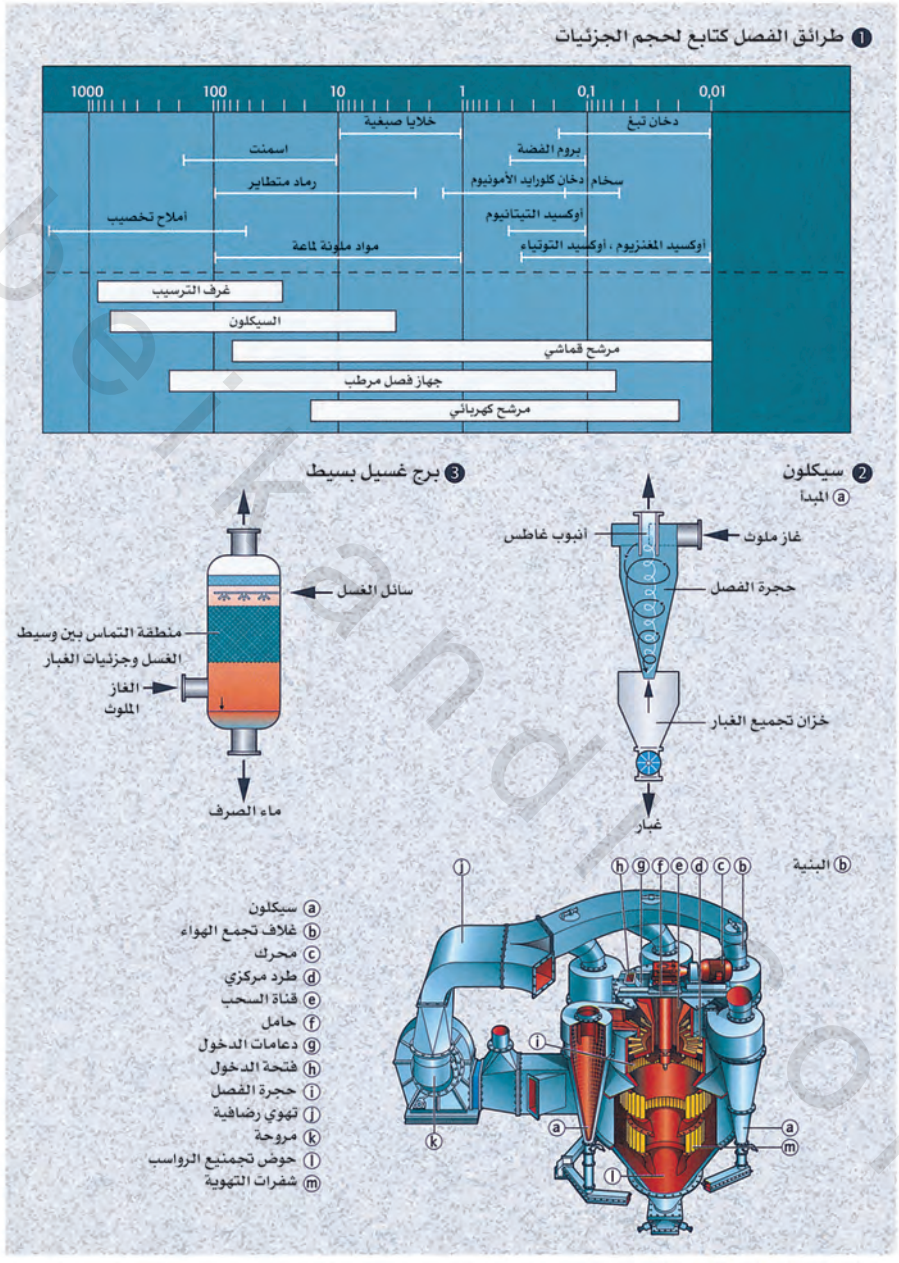
أبسط الأنواع هو برج الغسيل البسيط، الذي يرش فيه سائل الغسيل بالنافثات بعكس اتجاه تيار الغاز في برج الغسيل (الشكل ٣). يمكن تحقيق قدرة فصل عالية (القطر الحرج يمكن أن يكون دون ٢ ميكرومتر) بواسطة غاسل فنتوري Venturi-washer. يمرر الغاز في أنبوب متضيق على شكل نفاثة، ويتسارع في رقبة الأنبوب حتى ٥٠ - ١٠٠م/ثا. وينفث عليه سائل الغسيل عرضياً عند التضيق، فيترذذ على شكل قطرات ناعمة بفعل قوى القص للغاز المتسارع، وتقوم القطرات بالتقاط جزيئات الغبار.

عند معالجة الغبار الناعم يزداد استهلاك الطاقة في جهاز الغسيل، لأن تناقص حجم جزيئات الغبار يستلزم زيادة فرق السرعة بين غازات العادم والقطرات بقدر

الحاجة إلى تصغير حجم القطرات. وخلافاً لما في السيكلونات لا توجد مشاكل بسبب الغبار الذي يعلق بعد الانفصال، لأنه هنا مرتبط بالماء. بإمكان أجهزة الغسيل أيضاً فصل المواد الغازية الضارة أو الغازات والأتربة معاً. هنا تماماً تكمن إحدى الميزات الهامة لهذا الاستخدام. فبالإضافة إلى مهمة الفصل يجب أن يُؤخذ بالحسبان عند اختيار جهاز الفصل مدى إمكان استخدام وسيط الغسيل، أو على الأقل ألا يسبب مشكلة صرف إضافية.

أجهزة الفصل الكهربائية:

تعمل هذه الأجهزة بتأثير القوى على الجزيئات المشحونة في حقل كهربائي (البنية وريقة العمل ← تنقية غازات العادم). تتمتع المرشحات الكهربائية الصغيرة بمساحة فصل قدرها ١٠٠م٢، أما أكبرها فيوجد في محطات الطاقة الفحمية وتزيد مساحته عن ١٠٠٠٠م٢، إذ يجمع ما يقرب من ٥٠ إلكتروداً مفرداً ضمن حقول تغذيتها مجموعة توتر عالٍ، يمكن أن يبلغ ارتفاع الإلكترود الواحد ٥١ متراً ويصل طول الحقل حتى ٥ أمتار. عند الرغبة في زيادة معدل الفصل يحتاج الأمر إلى مساحة فصل أكبر. تحقق المرشحات الكهربائية أفضل نتائجها تحت سرعة ثابتة لغازات العادم.



تنقية الهواء بأجهزة الفصل

تنقية الهواء بالمصافي

هناك سلسلة من التجيهزات التقنية التي تعمل على فصل المواد الصلبة من الغازات، حسب مبادئ فيزيائية مختلفة. يتوقف اختيار أحدها على مهمة الفصل، يوجد هنا عدد من الاعتبارات الأساسية؛ وهي نوع المادة التي يجب فصلها ودرجة الفصل المطلوبة وحجم الجزيئات والتدفق الحجمي (تنقية الهواء بواسطة أجهزة الفصل ←).

تعدّ التصفية (الترشيح) مناسبة للاستخدام الصناعي من أجل فصل الجزيئات الصلبة على مجال واسع. من أهم المصافي أجهزة الفصل النسيجية المصنوعة من القماش أو اللباد أو المواد الصوفية. في طور الإقلاع يلتصق الغبار على ألياف المصفاة بواسطة قوى العطاة والانتشار، لكن سرعان ما تسيطر عملية التصفية على آلية الفصل. وتبلغ المصافي القماشية استطاعتها العظمى، عندما تنسدّ مسامات المادة المرشحة بالغبار.

مصافي التخزين ومصافي الإزالة ❶

بحسب مبدأ العمل يمكن التفريق في مصافي الألياف بين مصافي تخزين ومصافي إزالة. تعتمد مصافي التخزين على التصفية العميقة. أي أن الجزيئات تستقر في جوف المصفاة. يمكن استخدام هذا المبدأ إذا كان مضمون الغبار ضئيلاً (في هندسة التكييف مثلاً). بالمقابل تبقى مصفاة الإزالة قليلاً في طور التصفية العميقة، فتعمل كمصفاة ترسيب (مصفاة كاتو: Kuchenfiler)، إذا تشكل الجزيئات المنفصلة طبقة (تشبه الكاتو) على سطح المصفاة تزداد ثخانتها باستمرار، وتساعد على فصل الجزيئات. تستخدم مصافي الإزالة في المجالات الصناعية عند الحاجة لإزالة كميات كبيرة من الغبار.

في مصافي التخزين تستخدم بطاقة ليفية من الزجاج أو الألياف الصنعية كوسيط تصفية. للغبار الناعم يبلغ قطر خيوطها ٠,٠٠١ مم تقريباً (قطر شعرة

الإنسان أكبر من ذلك بـ ٦٠ مرة تقريباً). وتبلغ سماكة بطانة الألياف حوالي ١مم. لأنواع أخرى من الغبار تستخدم بطانة بثخن ٣٠مم وقطر خيوطها ٠,١ مم. وتقع سرعات التدفق بين ٠,١ و٣م/ثا. إشباع المصفاة بالغبار تستبدل غالباً. وأحياناً يتم تنظيفها بسائل أو بالهواء.

تتألف مصافي الإزالة على الأغلب من الصوف أو اللباد، ويبلغ قطر خيوطها من ٠,٠٠٥مم إلى ٠,٠٣٠مم كما تبلغ ثخانة وسيط التصفية ١,٥ – ٣مم. تتكون أليافها غالباً من مواد صنعية أو من الزجاج أو المعادن. تكون هذه الخيوط الدقيقة ثابتة حرارياً (جزئياً حتى ١٠٠٠م، وهذا هام في تنقية غازات الاحتراق على سبيل المثال) كما يكون بعضها ثابتاً كيميائياً.

في بعض الحالات الخاصة تستخدم الأغشية، فهي قادرة حتى على فصل العضويات الدقيقة من تيار الغاز. تقع سرعات التدفق في تصفية الإزالة بين ٠,٠٠٥ و٠,١ م/ثا. تعاني التصفية الترسيبية من زيادة مفاقيد الضغط عند ازدياد ثخانة الطبقة المترسبة (طبقة الكاتو). للحد من ذلك يلزم إزالة طبقة الغبار (تنظيف المصفاة) بين الحين والآخر. وذلك بحسب درجة التصفية فقد يحتاج الأمر تنظيف المصفاة بعد دقائق قليلة من العمل.

مصافي الخراطيم ❷ ❸ ❹

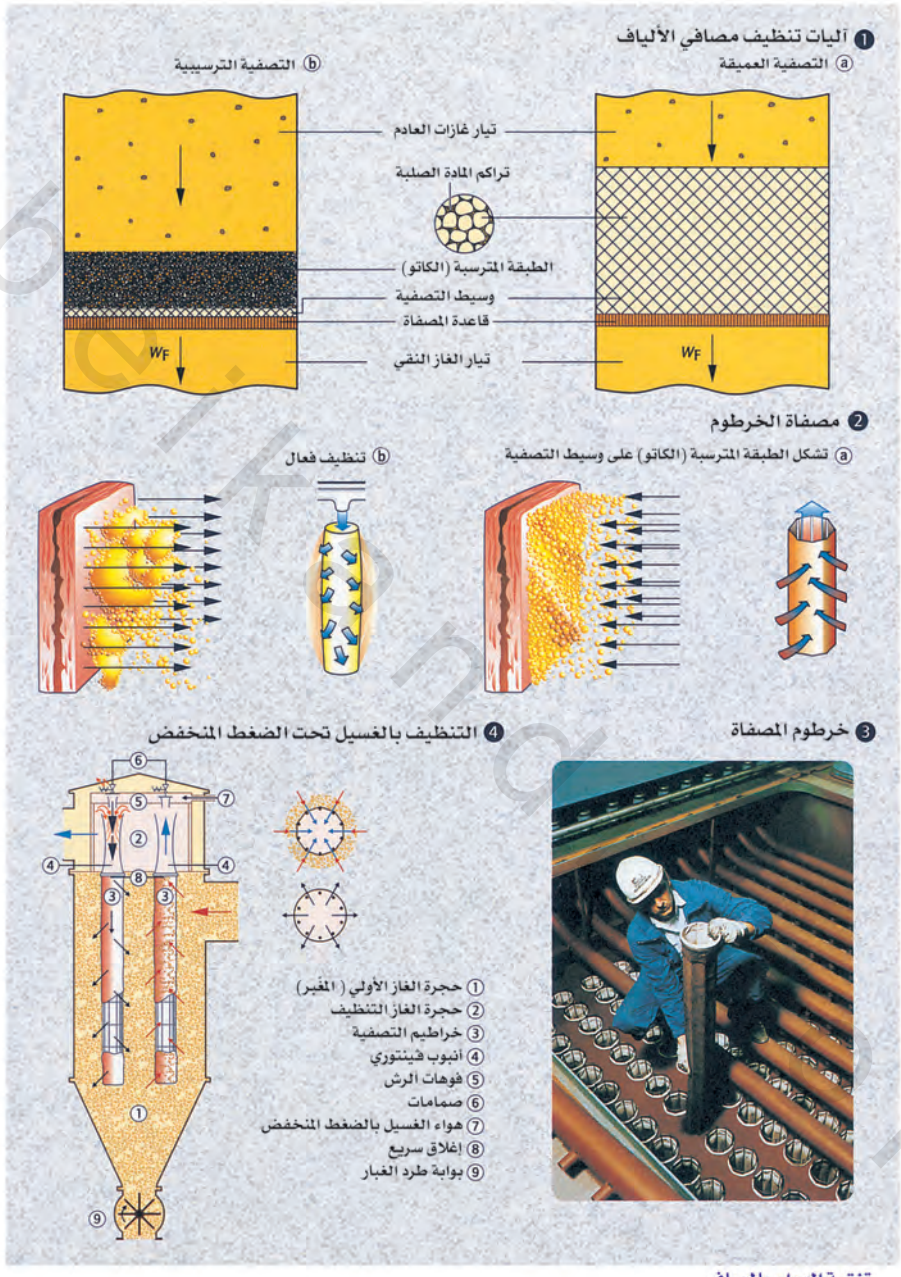
مصافي الخراطيم هي من أهم مصافي الإزالة. فيها يكون خرطوم المصفاة مثبتاً على سلة استناد يعبرها التيار من الخارج إلى الداخل (الشكلين ٢ و٣). ويترسب الغبار على وسيط التصفية الأسطواني. وعند بلوغ مفاقيد الضغط حداً معيناً يتم تنظيف المصفاة بفوهات الهواء المضغوط. عن طريق صدمة الضغط تتم إزالة طبقة الغبار (التنظيف بصدمة الضغط Puls-Jet). وليس هناك ضرورة لقطع تدفق الغاز المغبَّر. يمكن أن يبلغ طول مصفاة الخرطوم حوالي ٣ أمتار. وتبلغ بذلك مساحة المصفاة حوالي ١٠٠م٢. ومن أجل تيارات حجمية كبيرة للغاز تستخدم مصافي

خرطومية بمساحة تصفية أكبر من ١٠٠٠٠م٢. لتنظيف المصفاة يستخدم هنا بشكل أساسي الغسيل بالضغط المنخفض (الشكل ٤). حيث يعبر المصفاة هواء نظيف، ويجب عندئذ إيقاف تدفق غازات العادم.

أبعاد المصافي:

إن تحديد الأبعاد اللازم توفرها في المصفاة لإنجاز مهمة تنظيف محددة أمرٌ صعب وغالباً ما ينتج عن تجارب وخبرات. لذلك فحساب استطاعة التصفية لمصافي الألياف ليس بالأمر السهل، ويعود ذلك بالدرجة الأولى إلى أن آليات التصفية بحد ذاتها تتغير مع تراكم الغبار المستمر. بذلك يتأثر انتقال جزيئات الغبار على السطح الخارجي للألياف بمجموعة قوى مختلفة،هي قوى المقاومة والعطالة والثقالة. كما تؤثر هنا أيضاً قوى الكهرباء الساكنة. فإذا كانت الجزيئات صغيرة بالحد الكافي، يضاف أيضاً إلى ما سبق تأثير الانتشار الجزيئي. وبعد نقل الجزيئات يأتي أخيراً التصاقها بفعل مؤثرات كثيرة مختلفة.

openkandil.com



تنقية الهواء بالمصافي

معالجة النفايات حرارياً

أساليب المعالجة الحرارية للنفايات هي الحرق والتفكك الحراري. تستخدم تقنيات مختلفة بحسب نوع النفايات (نفايات المنزل أو نفايات خاصة مثلاً). تهدف عملية التخلص إلى تخفيض كميات النفايات وإلى سحب المواد الضارة الموجودة فيها من دورة التحول. تستخدم الحرارة الناتجة في وقت واحد لتوليد التيار الكهربائي ولتغذية شبكات التدفئة البعيدة. لذلك يصمَّم كثير من منشآت حرق النفايات كمحطات طاقة أو محطات طاقة حرارية (الشكلين ١ و٢).

في نهاية المعالجة الحرارية للنفايات يجب أن تكون جميع المواد المتبقية إما مؤكسدة أو معدَّنة. لهذا يجب تحرير المواد السامة والضارة، مثل الفلور والكلور والكبريت والمعادن الثقيلة ومركَّباتها. ثم يجري فصلها عن غازات العادم. هذا بالإضافة إلى المواد الضارة الجديدة التي تنشأ أثناء وبعد عملية الاحتراق والتي يجب التخلص منها مثل أكاسيد الأزوت وغيرها. أخيراً يجب أن تكون المخلفات الناتجة عن العمليات طبيعية (غير الضارة) أو يجب تحضيرها لتكون قابلة للاستعمال.

أنظمة الحرق (أو الإشعال) من أجل الاحتراق:

تقنياً هناك العديد من أنواع الحرق الهامة (أنظمة الحرق ⟵). لنفايات المنزل تستخدم عموماً منشآت الحرق ذات الشبك. فهي متينة وثابتة جداً لكنها لا تناسب النفايات الناعمة أو السائلة. في المقابل لا تواجه عملية الحرق بالطبقة المعلقة (الدوامية) أية مشكلة مع الرواسب الناعمة مثل طين الحمأة. هذا بالإضافة إلى إمكان تنقية غازات العادم مباشرة بإضافة الكلس. وبما أن هذه الطريقة أقل ثباتاً، تبرز هنا الأهمية الخاصة لموقد الأنبوب الدوار، لأنه يناسب كل النفايات المتبقية ويتقبل أردأ النوعيات. وهو يتألف من أنبوب دوّار عار مقام للحرارة مائل قليلاً، يمكن لقطره أن يتجاوز الأربعة أمتار. بسبب حركة الأنبوب يتقلب الوقود باستمرار. تستخدم مواقد الأنبوب الدوار غالباً لحرق النفايات الخاصة. تستخدم

للوظائف الخاصة كحرق المخلفات السائلة في الصناعات الكيميائية مواقد موفِل Muffelofen، التي تحمي بشكل غير مباشر. في مواقد الصهر التي تعمل بالوقود الأحفوري أو بالكهرباء يمكن حرق الخلفات الملوثة كالملاح الغلفاني.

بالإضافة غلى منشآت الحرق الخاصة بها يمكن من حيث المبدأ حرق النفايات أيضاً في محطات الطاقة والحراقات الصناعية ومواقد الإسمنت، إذا كانت مجهزة بمعدات تنقية الغازات المناسبة. في مواقد الأنبوب الدوار في صناعة الإسمنت خاصة يتم حرق نفايات متنوعة؛ من الإطارات القديمة حتى الزيوت القديمة، بما في ذلك المواد الكيميائية العالية السمِّية. إن فترات المكوث الطويلة (ثلاث ثوان على الأقل) عند درجات حرارة احتراق أعلى من ١٢٠٠م وكذلك الوسيط القلوي الحاد، كلها أمور تتيح معالجة النفايات المحتوية على المواد الضارة. أما المواد الباقية كالمعادن الثقيلة والكلور فترتبط بالآجر الإسمنتي.

على عكس الاحتراق تتم عمليات العسيس (الحرق دون لهب) والتصعيد دون وجود الأكسجين.

التفكيك الحراري وأساليب الحرق مع العسيس ❸

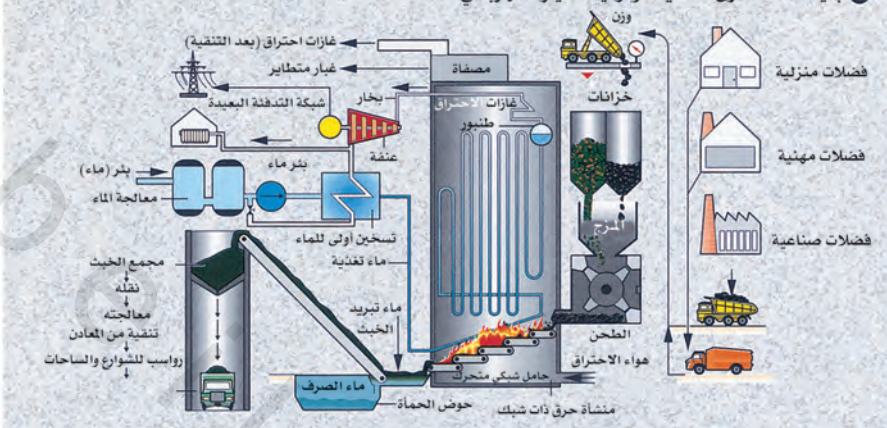
الجزء الأساسي في عملية التفكك الحراري هو طنبور العسيس الساخن الدوار. يسخن الوقود المطحون بمعزل عن الهواء حتى ٤٠٠ - ٧٠٠م، فيتفكك إلى غاز احتراق ومواد صلبة. غاز الاحتراق بحسب تركيبه هو غاز حيوي (لكنه مصحوب بمواد ضارة) وبه يمكن تشغيل محطة طاقة خاصة (Blockheizkraftwerk) على سبيل المثال. عندئذ يجب التخلص من المواد الضارة الغازية بتنقية غازات الاحتراق. أما المواد الصلبة التي لا يستفاد منها ولا يمكن إعادن تأهيلها فتصير إلى مقلب القمامة.

في أسلوب الحرق مع العسيس هناك عملية حرق لاحقة بدرجة حرارة عالية تتم بعد العسيس (الشكل ٣). في طنبور التحول ينشأ من النفايات غاز غني بالطاقة يمكن تحويله مباشرة إلى طاقة وتيار كهربائي، كما ينتج مخلفات. يتضمن الجزء

الخشن بالدرجة الأولى معادن وزجاج وحجارة وسيراميك، يمكن استخدامها مباشرة. ويحتوي الجزء الناعم المتبقي على الفحم الصلب الناتج الذي يحرق في درجة حرارة تقارب ١٣٠٠أم، حيث تدمر جميع المواد العضوية الضارة. وتسيل المكونات المعدنية كخبث مائع، يمكن استخدامه في أعمال الشوارع مثلاً. عند تبريد غازات العادم إلى ٢٣٠أم تقريباً تُطلب حرارة، يتم بواسطتها توليد بخار وتشغيل عنفة. وكما في عملية حرق النفايات يمكن تنقية غازات العادم هنا عن طريق مجموعة من المصافي الكهربائية وأجهزة الغسيل الرطب ومحفزات نزع النتروجين بالإضافة إلى مفاعلات التيار العابر. الأوحال الناتجة والرواسب يجب دفنها كقمامة خاصة.

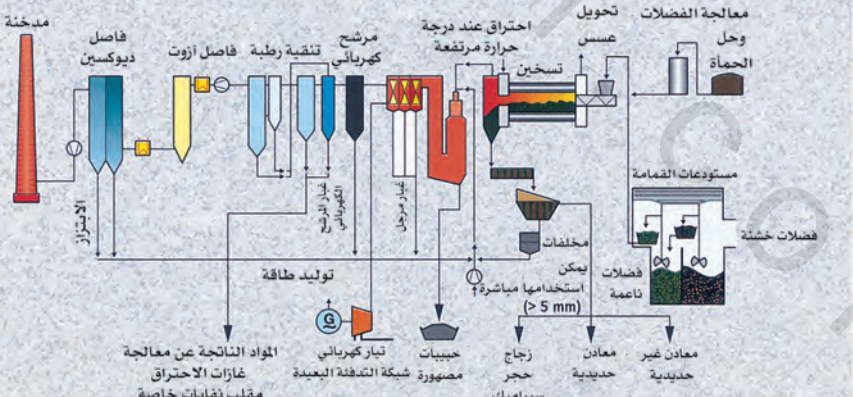
يُعد التفكيك الحراري والحرق المعسعس على وجه الخصوص أكثر مرونة من حرق النفايات بالطرق التقليدية، إذا كانت الفضلات ذات تكوين متباين وتحوي الكثير من الماء هذا بالإضافة إلى توليدها غباراً أقل.

❶ بنية منشأة حرق النفايات وتوليد التيار الكهربائي



❷ منشأة حرق النفايات

❸ مخطط توضيحي يعمل منشأة الحرق المعسس



معالجة النفايات حرارياً

إعادة تدوير اللدائن صناعياً
«معالجة النفايات البلاستيكية»

في إعادة التدوير الصناعية تبقى البنية الكيميائية لمواد العمل كما هي، لذلك يقال أيضاً: إعادة التدوير المادية. يتلق الأمر دائماً بإدخال النفايات اللدائنية الموجودة بشكل مناسبة في الدورة الإنتاجية، وتصنيع منتجات بلاستيكية منها، وذلك بتحويلها أولاً إلى حبيبات (الشكل ١).

تطبق عملياً عملية إعادة التدوير المادية لنفايات الصناعة الإنتاجية من دون مشاكل، لأن هذه النفايات تتكرر بأنواع صافية. وهنا يكفي على الأغلب التقطيع والتذويب «الصهر». يبدو الأمر مخالفاً لذلك بالنسبة للقمامة البلاستيكية الحقيقية، التي تكون متسخة ومؤلفة من مزيج من الأنواع المختلفة. إضافة لذلك فإنه من الممكن أن تكون قد تغيرت فيها الخواص المادية من خلال التأثيرات الفيزيائية والكيميائية أثناء الاستهلاك. ولذلك ليس بالضرورة ان تقود عملية إعادة التصنيع المادية إلى منتجات مشابهة من حيث النوعية لمنتجات الانطلاق. فمن خلال عدة دورات استهلاك يمكن أن يتحول هذا النوع من إعادة التدوير إلى تدوير منحدر (Downcycling)، وهذا يعني: استمرار تردي المواد الخام الثانوية. أما المنتجات التي لا تزال ممكنة التصنيع من تلك النفايات مثل كراسي الحدائق والاستراحات أو العوارض البلاستيكية فلا تستطيع السوق استيعابها بلا حدود.

تقنيات الفصل والتصنيف ❷

يتوضع المفتاح من أجل المعالجة المادية المثالية في الحالة الفيزيائية للمواد. لذلك ينصح دائماً – كلما كان ممكناً – بإنشاء أنظمة مدروسة لإعادة استلام النفايات. حسب التكاليف التقنية يمكن التمييز بين ثلاث مجموعات من النفايات البلاستيكية: نفايات الصناعية الإنتاجية: ذات الأنواع الصافية وتكون خاصة بالتجارة، وهذا يعني

أنها معرَّفة حسب النوع الخاص بالمنتجين. في العادة تكون هنا أعمال الغسيل والتشيف غير ضرورية.

نفايات الحرف المهنية شبه المصنَّفة، وتصدر عن الصناعة والحرف وتطابق مجموعة منتجات محددة مثل البولي أيتيلي (Polyethylene PE) والبولي بروبيلين (Polypropylene PP) أو بولي كلور الفينيل (Polyvinylchloride). ولأن هذه النفايات غالباً ما تكون متسخة، فيمكن الاستغناء هنا غالباً فقط من عملية الفصل.

وبالنسبة للنفايات الغير الموحدة وشديدة القذارة والقادمة من مجال الاستهلاك مثل النفايات المنزلية فيلزم العديد من مراحل العمليات مثل الفصل (الشكل ٢) والغسيل للحصول على حبيبات شبه مصنفة. وبالاستغناء عن ذلك كله فإنه من الممكن إعادة صهر مزيج النفايات البلاستيكية لصناعة أجزاء بسيطة.

يوجد نوعان من الطرق لفصل وتصنيف النفايات. يُميّز الفصل الماكروي «الكبير» بين المنتجات، فمثلاً تصنف القوارير والكؤوس البلاستيكية والأشكال الأخرى حسب هيكلها سواء أكان ذلك عن طريق معالجة الصور أو يدوياً. وتأتي الطرق البصرية في الاستخدام أيضاً، وكذلك الأطباق الدوارة والسيور النقالة التي تستخدم قوى النقالة والقوى الطاردة المركزية لهذا الغرض. يصنف النوع الثاني بالمقابل المنتجات التي تم طحنها. من الواضح أن هذا الفصل الميكروي «الصغير» أكثر فعالية من الفصل الماكروي، ولكنه مكلف من حيث الأجهزة، هناك سلسلة كبيرة من طرق الفصل الفيزيائية قيد الاستخدام أو ما تزال قيد الاختبار. فيمكن التصنيف حسب الكثافة، سواء أكان ذلك بواسطة دوّارات (أعاصير) مائية «هيدروليكية» (← تنقية الهواء بالعوازل) وهذا يعني أعاصير للسوائل، أو في أوعية الغطس والطفو، كما يمكن استخدام الأبعاد (الحجم) كمؤشر للفصل، فمثلاً في عمليات الفصل بالهواء يوجه تيار هوائي نحو الأعلى فيأخذ معه كافة الأجزاء التي تكون سرعة سقوطها أقل من سرعة تدفق تيار هواء الفصل.

سير العمليات ❸

في إعادة التدوير المادية (الشكل ٣) للنفايات البلاستيكية الممزوجة والمتسخة يتم تقطيع النفايات بواسطة الفرامات الأولية وطواحين التقطيع. بواسطة غرابيل يمكن التحكم بالحجم المرغوب مثلاً قطع بأبعاد ١٠مم. تأتي هذه القطع بعد ذلك إلى الغسيل في غربال دوّار على شكل برميل «طنبور» وتسير عبر مسافة الغسيل. لاحقاً تقطع هذه الأجزاء مرة أخرى. يتم في مرحلة الفصل الأولى مواصلة التخلص من الأوساخ من خلال قوى القص. في وعاء الفصل عن طريق الغطس والطفو يتم الفصل بين البولي أوليفينات (مزيج من الهيدروكربونات) وبين الأجزاء الثقيلة المترسبة التي تحتوي بالدرجة الأولى على البولي ستيرول (Polystyrol PS) وبولي كلور الفينيل PVC وشوائب أخرى. بعد ذلك تجفف البول أوليفنات وتجرش على شكل حبيبات. أما الجزيئات الثقيلة فتفصل في إعصار مائي إلى جزيئات PS وPVC. وتكون النتيجة جزيئات صافية النوع تقريباً.

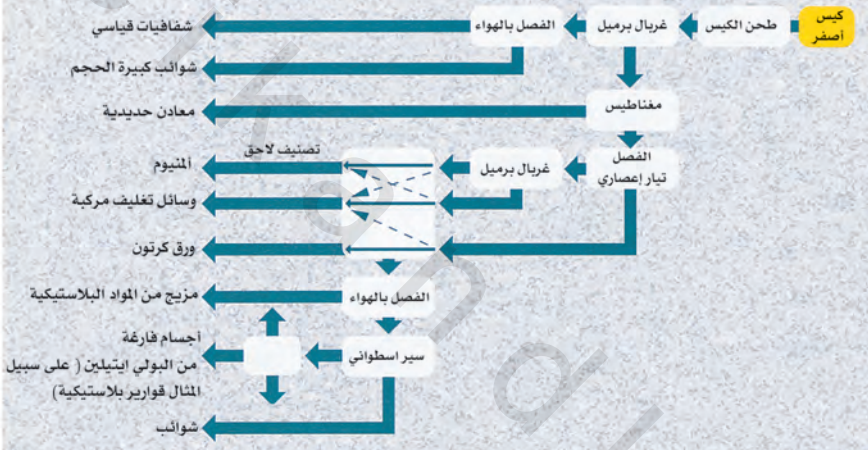
إعادة تدوير النفايات البلاستيكية الصلبة:

باءت بالفشل إعادة تصنيع النفايات البلاستيكية الصلبة (⟵ اللدائن) عن طريق إعادة صهرها، لأنها لدائن متشابكة ولا يمكن إعادة تشكيلها حرارياً. من حيث المبدأ يمكن للأجزاء المصنوعة من اللدائن الصلبة المسلحة بألياف زجاجية أن تطحن وتضاف على شكل حصص إلى الإنتاج الجديد. يمكن طحن البولي أوريثانات Poly-urethane بنعومة أكثر من مادة Rezyklat ويعاد استخدامها على شكل حصص في الإنتاج أو كجزيئات مع وسيط في صناعة الرقائق أو الطبليات «البالات».

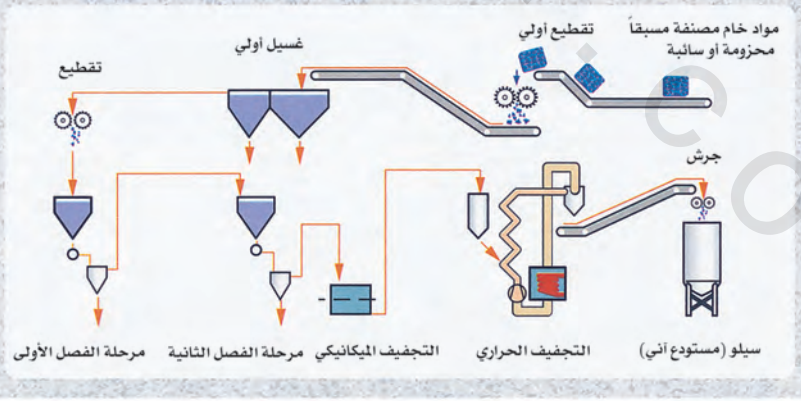
❶ منتج نهائي من إعادة تصنيع اللدائن القديمة

علبة هاتف من حبيبات لدائن

❷ مبدأ عمل محطة تصنيف نفايات من الاكياس الصفراء



❸ مخطط التحضير المادي للمواد اللدنة القديمة



obeikandl.com

إعادة تدوير الخامية للنفايات البلاستيكية

ينما تكون إعادة التدوير المادية للمواد البلاستيكية عملية فيزيائية، يتعلق الأمر في إعادة التدوير الخامية بعملية كيميائية. على العكس من المنفعة الحرارية (الحرق للحصول على طاقة) فهي مع ذلك إعادة تصنيع مادية، لأنها تحوِّل اللدائن ذات الجزيئات العالية إلى مواد جزيئات منخفضة يمكن إدخالها مجدداً في الطرق الصناعية للكيمياء. وهذا مهم خصوصاً لنفايات اللدائن شديدة القذارة وعديمة التجانس. تفوَّق نوعين من بين العديد من الطرق:

الطرق البتروكيميائية: تشطر اللدائن سكونياً إلى منتجات ذات جزيئات منخفضة (إلى مزيج من جزيئات السلاسل الطويلة المختلفة والمتنوعة) والتي تظهر على شكل غازات أو سوائل. بعد ذلك إما أن ينتج عنها لدائن أحادية، أو أن تستخدم كمواد خام ثاونية في الصناعات البتروكيماوية.

على العكس من ذلك تخدم طرق السلفنة عملية الانشطار الرجعي إلى مواد ذات جزيئات منخفضة، يمكن معالجتها وإعادة بلوَّرتها وتصنيعها مجدداً، أي تدخل ثانية في إنتاج المواد اللدنة.

تستخدم الطرق المشهورة في الصناعات البتروكيماوية بالدرجة الأولى في البولي أوليفينات، وهي المجموعة الأهم من حيث الكمية. يتعلق اختيار طريقة المعالجة في كيفية استخدام اللدائن القديمة فيما بعد كمواد خام ثانوية. في أغلب الطرق يؤمن إدخال الحرارة تحطيم الروابط في المركبات اللدانة.

الطرق البتروكيماوية ❶ ❷

في عملية التفكك الحراري تتفكك المادة العضوية لا هوائياً إلى حد بعيد. يوجد سلسلة كاملة مثل هذه العمليات للتفحيم (الحرق من دون لهب) والتقطير، تختلف بالدرجة الأولى حسب مجال درجة الحرارة والمنتجات الداخلة في العملية والناتجة عنها (مواد الانطلاق والمواد المتشكلة في النهاية). الطريقة الأكثر شيوعاً هي التفكك

الحراري في فرن اسطواني دوار عند درجات حرارة بين ٤٠٠ و٧٠٠ درجة مئوية (المعالجة الحرارية للنفايات). تناسب طريقة التفكك الحراري البلاستيك الحراري والمواد الصلبة واللدائن، ويسمح بأن تكون النفايات ممزوجة ومتسخة (الشكل ١). لدى تطبيق هذه الطريقة يتم تفكيك المادة الخام إلى أربعة أجزاء (غازات وزيوت وقطران وفحم).

في عملية الهدرجة يتم تفكيك الروابط الكربونية عند ضغوط ودرجات حرارة عالية في وسط هيدروجيني. تكون منتجات الفصل المتشكلة نشيطة ويتم إشباعها بتراكم الهيدروجين من خلال تفاعلات الإرجاع. تكون الجزيئات المتشكلة مستقرة وقابلة للاستخدام مثل البنزين أو الزيوت المتوسطة. تعمل إحدى الطرق المبنية على الطريقة الكلاسيكية لتمييع الفحم ببساطة كما يلي (الشكل ٢): يضغط مزيج من نفايات اللدائن وزيت مخلفات الناقص الناتج من تكرير البترول ومواد مضافة حتى ٣٠٠ بار، ويسخن حتى درجة حرارة ٤٩٠ درجة مئوية تقريباً، ثم يمزج معه بعد ذلك هيدروجين ساخن وغاز الدوران ووسيط معدل للأحماض الملحية المتشكلة قبل عملية الهدرجة. تتضمن أول مرحلة هدرجة «إرجاع» ثلاثة مفاعلات لطور الحمأة مرتبة على التسلسل. يأتي الناتج من آخر مرحلة إلى آلة فصل ساخنة التي تقوم بفصله إلى أجزاء صلبة وسائلة وغازية. يُجزّئ التقطير التخلخلي (تحت ضغط ناقص) الطور السائل والمواد الصلبة إلى غاز التخلخل ومخلفات الإرجاع الصلبة. يتم تحويل الجزء الغازي الناتج عن آلة الفصل الساخنة وغاز التخلخل المعاد إلى الدارة من خلال عملية هدرجة مساعدة «محفزة» إلى منتجات سائلة، التي تفصل أخيراً من الغاز المتبقي وتستقر. يمكن معالجة الزيوت الصناعية المتشكلة (النفط الصناعي Syncrude) في محطات التكرير.

طرق الحلول Solvolytische

يمكن أن تنفصل اللدائن الصناعية مثل البولي استر والبولي ميدات أو البولي أورثانات تحت تأثير مواد كيميائية بانتقاء عال إلى مواد جزيئات منفخضة (على

الأغلب لدائن أحادية). حسب نوع مواد الفصل الكيميائية يمكن التمييز بين أنواع مختلفة: الحلمهة (الحل بالماء) Hydrolyse، والحل بالكحول Alkoholyse (الحل بالميتانول :(Methanolyse كحولات أحادية القيمة، أو الحل بالغليكوز (:Glykolyse كحولات متعددة القيمة) والحل بالأحماض Acidolyse.

عملية الفرن العالي ❸

يقدم الفرن العالي طريقة ثالثة للانتفاع المادة من نفايات اللدائن (الشكل ٣). يسحب الأكسجين من فلز الحديد عن طريق التخفيض بالتفاعل مع غاز يحتوي على روابط مخفضة مثل الهيدروجين. يتم إنتاج غاز التخفيض غالباً من الفحم أو الزيت، كما ويمكن استخدام نفايات اللدائن في ذلك أيضاً، حيث تُدخل إلى الفرن العالي من الأسفل. عند درجات حرارة أكثر من ٢٠٠٠ درجة مئوية يتشكل غاز صناعي، وأثناء تصاعده إلى الأعلى مكوناته «الهيدروجين وأول أكسيد الكربون» فلز الحديد. يتم الاستفادة من الأجزاء الباقية والقابلة للاشتعال حرارياً بعد مغادرة الفرن العالي. وخلافاً لعملية الحرق الخالصة يستهلك الإرجاع حوالي نصف محتوى الطاقة كطاقة كيميائية.

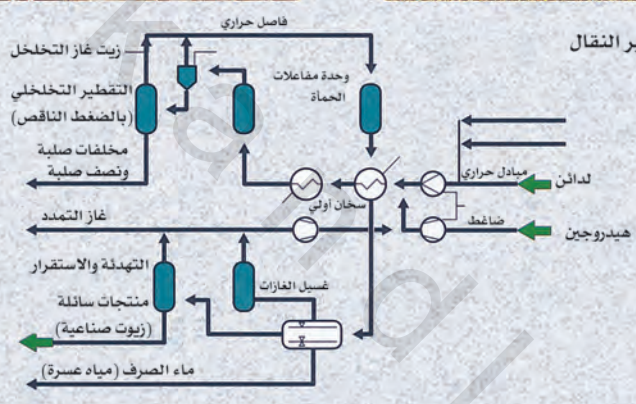
obeikandl.com

❶ التحويل البتروكيماوي للمواد البلاستيكية القديمة

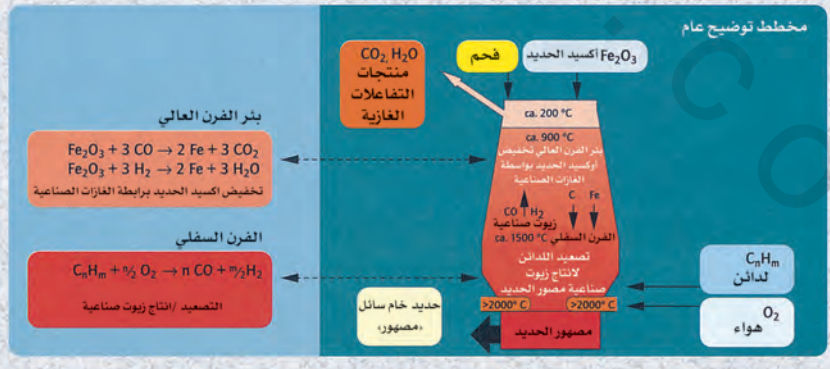
ⓐ المادة الأساسية: مزيج من اللدائن المجمعة غير المغسولة

ⓑ محطة رائدة

❷ طريقة السير النقال



❸ كيمياء عملية الفرن العالي عند استخدام اللدائن كوسيلة تخفيض اضافية



معالجة مياه الصرف

لا بد من معالجة مياه الصرف قبل طرحها في مصادر المياه المفتوحة. تعتمد طريقة معالجة مياه الصرف وتصميم المحطة على نوعية هذه المياه. تتميز مياه الصرف الناتجة عن المنازل باحتوائها على نسبة كبيرة من المواد العضوية والمواد المنحلة، أما مياه الصرف الناتجة عن العمليات الصناعية والورشات فإنها تتميز بارتفاع نسبة الملوثات فيها، التي عادة ما تكون من صنف واحد، فمثلاً حسب نوع المصنع والمادة التي يصنّعها عضوية أو معدنية، كما تظهر الأحماض والقلويات ودرجات الحرارة العالية والأصباغ، تحتوي مياه الصرف الناتجة عن التجمعات السكانية على مياه صرف منزلية وأخرى صناعية. في مثل هذه الحالات غالباً ما تكون المعالجة أصعب كثيراً من معالجة مياه صرف صناعية شديدة السمّية.

محطات المعالجة ❶ ❷ ❸

تحمل مياه الصرف معها أوساخاً مختلفة البنية، ولا بد من دمج تقنيات مختلفة للتخلص منها على أشمل وجه ممكن، لهذا الغرض تمر مياه الصرف بعدة مراحل تتم فيها إزالة ملوثاتها المختلفة (الشكل ١). تقسم محطة معالجة مياه الصرف (محطة التنقية) غالباً إلى مراحل التنقية الآتية: ميكانيكية وبيولوجية (حيوية) وكيميائية إن وجدت.

في التنقية الميكانيكية الأولية تستبعد القطع الكبيرة والثقيلة. وغالباً ما يوجد وراء خط دخول مياه الصرف (خط التجميع) رافعات حلزونية (١) تنقل ماء الصرف إلى مستوى أعلى. فيسيل من هناك إلى محطة التمشيط، حيث يعمل مشط خشن وآخر ناعم (٣، ٤) على سحب القطع الكبيرة كالعلب وقشور الفواكه والورق. المواد الراسبة الثقيلة كالرمل مثلاً تعلق في مصيدة الرمل التالية (٧). يمتد بجانب هذا الحوض حوض آخر، تفصل فيه الدسم والزيوت. تترسب الجزيئات الصلبة القابلة للترسيب كبقايا الأطعمة في حوض الترسيب الأولي Vorklarbecken (٢٦) بتأثير

الثقالة أيضاً. هناك يبقى ماء الصرف حوالي ساعة ونصف إلى ساعتين. أما الوحل المتبقي (٩) فتسحبه المضخات (١١) من هناك إلا معالجة الوحل.

في التنقية الحيوية التالية تتم إزالة المواد المعلقة المنحلة والمواد العضوية التي لاتترسب. بعد التنقية الميكانيكية تعالج مياه الصرف بواسطة سلاسل مناسبة من الجراثيم. هنا يمكن التمييز بين طرائق معالجة هوائية aerobic وطرائق لاهوائية anaerobic، هذا يعني بالتزويد بالأكسجين أو بعد التزويد به. في المعالجة اللاهوائية تكون سرعة التفكك أقل كثيراً، وبالطبع يجب ألا يدخل أي أكسجين إضافي في هذه الطريقة. وفي كلا الحالتين تتحول المواد ذات الجزيئات المعقدة إلى مواد ذات جزيئات بسيطة كالماء وثاني أكسيد الفحم، في هذه المرحلة تتفكك المواد المنحلة كالسكر والبولة. كما يتم التخلص بشكل كبير من مسببات المرض في محطات المعالجة الحيوية، لكنها لا تتموَّت نهائياً إلا بإضافة مواد معقَّمة. وفي طريقة تنشيط الوحل Belebtschlammverfahern (٣٦) يخلط ماء الصرف مع وحل مجرثم، تتم تهويته قسرياً بواسطة مروحة ثم يترسب في حوض الترسيب الثانوي (٣٣/ الشكل ٢). كبديل عن حوض تنشيط الوحل هناك الخزانات العالية المغلقة (الشكل ٣)، فيها تولِّد فقاعات هواء دقيقة وتحقن بواسطة حواقن خاصة إلى ماء الصرف الممزوج بجراثيم هوائية. فوائدها هي احتياجها لحيز مكاني صغير والتقليل من الرائحة المزعجة كما تكون عملية التحول أفضل.

في معالجة الوحل تتم عملية تكثيف مسبقة (١٣) للوحل المترسب {حوض الترسيب الأولي (٢٦) وحوض الترسيب الثانوي (٣٣) } ثم يترك حتى يتخمّر كلياً في برج التخمير (١٦) عند درجة حرارة ٣٠مْ بواسطة جراثيم لا هوائية. أما غاز التخمير الناتج (٦٥٪ ميتان و٣٥٪ ثاني أكسيد الفحم) فيمكن أن يستخدم مثلاً لتدفئة أبراج التخمير. كما يمكن ضخه إلى شبكة التزويد بالغاز أو يشغل به محرك غازي لتوليد التيار الكهربائي. يُهيَّأ الوحل المتبقي عند درجة حرارة ٢٠٠مْ وضغط

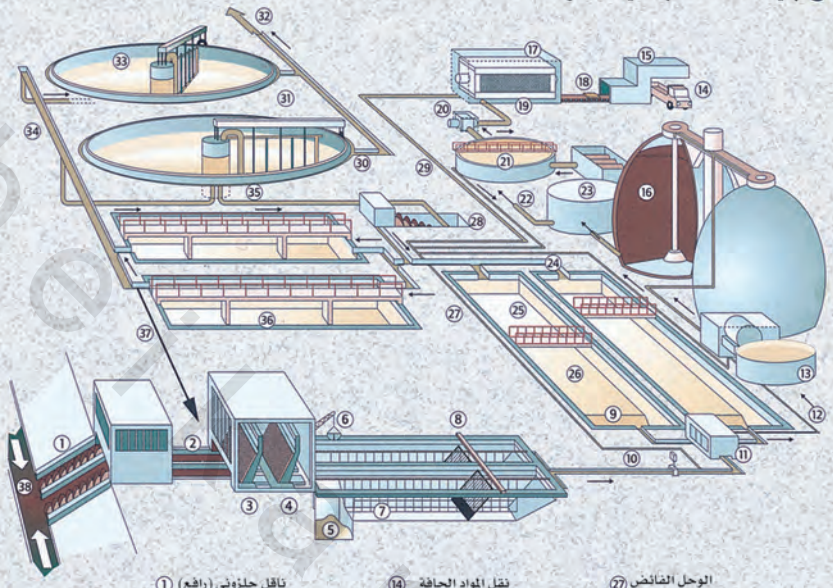
٢٠ بار ثم يكثف مرة أخرى (٢١) قبل أن يكبس (١٩). في الوقت الحاضر ينتهي ٦٠٪ من وحل المعالجة إلى مقلب القمامة، ويستخدم ٢٥٪ منه كسماد والباقي يحرق.

مياه الصرف الصناعية:

تحتاج تقنية مياه الصرف الصناعية إلى مراحل إضافية بحسب درجة ونوع تلوثها. هنا تستخدم مواد التحطيم والدمج الكيميائية وكذلك مواد التعديل (التحييد) من أجل تعديل كل الحوامض والقلويات القوية الموجودة في مياه الصرف. عند معالجة مياه الصرف الصناعية المحتوية على مواد سامة يجب أولاً نزع السموم منها قبل دخولها إلى محطة المعالجة الحيوية، وإلا فإنها ستقتل كل الجراثيم. لتحقيق هذه الغاية يمكن إجراء تحولات كيميائية كما يمكن نزع السموم بواسطة مبادلات الشوارد.

إلى جانب أساليب التنقية التقليدية لمياه الصرف الصناعية دخلت بقوة في السنوات الأخيرة عمليات إعادة تأهيلها. إذ يستخدم لذلك الارتشاح العكوس Um-kehrosmose ومبادلات الشوارد Ionenaustauscher كما تستخدم عمليات التصفية الميكروية والدقيقة جداً Mikround Ultrafiltration.

❶ بنية منشأة معالجة مياه الصرف



① ناقل حلزوني (رافع)
② ناقل خطي
③ تمشيط خشن
④ تمشيط ناعم
⑤ حفرة تجميع الرمل
⑥ رمل
⑦ مجمع رمل مع تهوية
⑧ مرحل الرمل
⑨ غرفة تجميع الرمل
⑩ خط إلى المعالجة الأولية
⑪ جهاز ضخ الوحل
⑫ وحل
⑬ مكثف (الوحل) ابتدائي
⑭ نقل المواد الجافة
⑮ مطحنة
⑯ خزان تخمير
⑰ سحب الماء من الوحل
⑱ طبقات ترسيب «المصفاة»
⑲ مكبس المصفاة
⑳ مضخة الضغط العالي
㉑ مكثف «وحل» ثانوي
㉒ غاز تسخين
㉓ خزان غاز «الميتان»
㉔ مصرف
㉕ مرحل
㉖ حوض معالجة أولى
㉗ الوحل الفائض
㉘ رافعة الوحل الراجع
㉙ رجوع ماء التصفية والماء المتبقي
㉚ قناة الخروج
㉛ مرحل دوراني
㉜ الخروج
㉝ حوض معالجة ثانوي
㉞ موزع
㉟ خط الوحل الراجع
㊱ حوض تنشيط
㊲ الخط الراجع للوحل المنشط
㊳ ماء الصرف الداخل إلى المنشأة

❷ أحواض المعالجة

❸ مفاعلات حيوية لتنقية مياه الصرف