

إرشادات بشأن البيئة والصحة والسلامة الخاصة بالتصنيع التحويلي للبولىميرات البترولية

مقدمة

وتتضمن الإرشادات بشأن البيئة والصحة والسلامة مستويات الأداء والإجراءات التي يمكن للتكنولوجيا الحالية أن تحققها في المنشآت الجديدة بتكلفة معقولة. وقد يشمل تطبيق هذه الإرشادات في المنشآت القائمة وضع أهداف وغايات خاصة بكل موقع على حدة، مع اعتماد جدول زمني مناسب لتحقيقها.

وينبغي أن يكون تطبيق الإرشادات بشأن البيئة والصحة والسلامة بما يتناسب مع المخاطر والتهديدات المحددة في كل مشروع، استناداً إلى نتائج التقييم البيئي الذي يأخذ في الاعتبار متغيرات كل موقع على حدة ومنها: الوضع في البلد المضيف، والطاقة الاستيعابية في البيئة المعنية، والعوامل الأخرى الخاصة بالمشروع. كما يجب أن تستند تطبيق التوصيات الفنية المحددة إلى الرأي المهني المتخصص الذي يصدر عن أشخاص مؤهلين من ذوي الخبرة العملية.

وحين تختلف اللوائح التنظيمية المعتمدة في البلد المضيف عن المستويات والإجراءات التي تنص عليها هذه الإرشادات بشأن البيئة والصحة والسلامة، فمن المتوقع من المشروعات تطبيق أيهما أكثر صرامة. وإذا كانت المستويات أو الإجراءات الأقل صرامة من المنصوص عليه في هذه الإرشادات هي الملازمة – في ضوء أوضاع المشروع المعني – يحتاج الأمر إلى تبرير كامل ومُفصل بشأن أية بدائل مُقترحة في إطار التقييم البيئي للموقع المحدد. وينبغي أن يُبين ذلك التبرير أن اختيار أي من مستويات الأداء البديلة يؤمن حماية صحة البشر والبيئة.

الإرشادات بشأن البيئة والصحة والسلامة (EHS) هي وثائق مرجعية فنية تتضمن أمثلة عامة وأمثلة من صناعات محددة على الممارسات الدولية الجيدة في قطاع الصناعة (GIIP).¹ وحين تشارك مؤسسة واحدة أو أكثر من المؤسسات الأعضاء في مجموعة البنك الدولي في أحد المشروعات ينبغي تطبيق الإرشادات بشأن البيئة والصحة والسلامة هذه حسب مقتضيات السياسات والمعايير التي تعتمد عليها تلك المؤسسة. وتستهدف هذه الإرشادات بشأن قطاع الصناعة أن يتم استخدامها جنباً إلى جنب مع وثيقة الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة، التي تتيح الإرشادات لمن يستخدمونها فيما يتعلق بالقضايا المشتركة في هذا المجال والممكن تطبيقها في جميع قطاعات الصناعة. وبالنسبة للمشروعات المُعَدَّة، قد يلزم استخدام إرشادات متعددة حسب تعدد قطاعات الصناعة المعنية. ويمكن الاطلاع على القائمة الكاملة للإرشادات الخاصة بالقطاعات الصناعية على شبكة الإنترنت على الموقع:

<http://www.ifc.org/ifcext/sustainability.nsf/Content/EnvironmentalGuidelines>

¹ هي من حيث تعريفها ممارسة المهارات والاجتهاد والحصافة والتبصر المتوقعة على نحو معقول من المهنيين ذوي المهارات والخبرة العملية في النوع نفسه من العمل وفي الأوضاع نفسها أو المماثلة بشكل عام. وقد تشمل الأوضاع التي يمكن أن يجدها المهنيون من ذوي المهارات والخبرة العملية عند قيامهم بتقييم مجموعة أساليب منع ومكافحة التلوث المتاحة لأحد المشروعات – على سبيل المثال لا الحصر – مستويات مختلفة من تدهور البيئة ومن الطاقة الاستيعابية البيئية، مع مستويات مختلفة من الجدوى المالية والفنية.

التطبيق

- النفايات
- الضوضاء

الانبعاثات الهوائية

المركبات العضوية المتطايرة من التجفيف والتشطيب تعتبر الانبعاثات الهوائية، الصادرة عادة من مرافق التصنيع التحويلي للبولىميرات، مركبات عضوية متطايرة منبعثة من التجفيف والتشطيب والتصريف. وتتضمن التدابير الموصى بها لمنع انبعاث المركبات العضوية المتطايرة أثناء عمليتي التجفيف والتشطيب ما يلي:

- فصل وتنقية ناتج البولىمير بالمفاعل؛³
- الفصل الوماض للمذيبات والمونمرات؛
- الإنصال بالنيتروجين البخاري أو الساخن؛
- مراحل طرد الغازات في أجهزة التشكيل بالثق، ويمكن أن يحدث ذلك تحت التفريغ الهوائي؛
- تكثيف المركبات العضوية المتطايرة عند درجات حرارة منخفضة أو في أحواض امتزاز، قبل تنفيس الهواء العادم. يقوم التجفيف بإعادة تدوير الهواء العادم أو النيتروجين، مع تكثف المركبات العضوية المتطايرة؛
- استخدام أنظمة تصريف نيتروجين ذات حلقات تكرارية مغلقة، واستخدام أجهزة التشكيل بالثق لطرد الغاز، وتجميع الغازات المنبعثة من الثق في مرافق التصنيع التحويلي للبولىميرات بسبب مخاطر الحريق المرتبط باشتعال الهيدروكربونات وبسبب درجات الحرارة المرتفعة الناتجة في هذه العمليات؛
- يجب تجميع غازات التنفيس المنبعثة من المفاعلات، وصهاريج التفريغ السريع، ووحدات الإنصال التي تحتوي على مستويات عالية من مونومر كلوريد الفينيل (VCM)

³ تعتمد فعالية الإزالة على عوامل عديدة من بينها درجة تطاير المركبات العضوية المتطايرة، وخصائص البولىمير، ونوع عملية البلمرة.

تنطبق هذه الإرشادات على التصنيع التحويلي للبولىميرات البترولية حيث تتم بلمرة المونمرات (المونمر هو الجزيء الذي يمكن أن يتحد بالآخرين لتشكيل بولىمير) وتحويلها إلى كريات أو حبيبات لاستخدام صناعي لاحق.²

وهذه الوثيقة تم تنظيمها وفق الأقسام التالية:

القسم 1.0: الآثار المرتبطة تحديداً بالصناعة وكيفية التعامل معها
القسم 2.0: مؤشرات الأداء ورصده
القسم 3.0: ثبت المراجع والمصادر الإضافية
الملحق (أ): وصف عام لأنشطة الصناعة

1.0 الآثار المرتبطة تحديداً بالصناعة وكيفية التعامل معها

يقدم القسم التالي موجزاً لقضايا البيئة والصحة والسلامة المرتبطة بالتصنيع التحويلي للبولىميرات، مع تقديم توصيات حول كيفية التعامل معها. وتجدر الإشارة إلى أن التوصيات المتعلقة بالتعامل مع قضايا البيئة والصحة والسلامة المشتركة في غالبية المرافق الصناعية الكبرى خلال مرحلة (مراحل) الإنشاء وإيقاف التشغيل واردة في الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة.

1.1 القضايا البيئية

تتضمن القضايا البيئية المحتملة المرتبطة بمشاريع التصنيع التحويلي للبولىميرات ما يلي:

- الانبعاثات الهوائية
- المياه المستعملة
- المواد الخطرة

² لم يتم تضمين مرافق التصنيع التحويلي للإستومر (المطاط الصناعي) ومرافق التصنيع التحويلي للألياف في نطاق هذه الإرشادات.

- معالجة الغازات العادمة عن طريق الأكسدة الحفزية أو تقنيات مكافئة في الصناعة التحويلية لتيريفثاليت البولي إيثيلين؛
 - الغسل الرطب للمنفسات في الصناعة التحويلية للبولى أמיד؛
 - المعالجة الحفزية أو الحرارية للنفايات الغازية أو السائلة في كافة الصناعات التحويلية للبولىميرات المتصلة بالحرارة؛
 - تركيب أنظمة مغلقة، تسمح بتكثف البخار وتنقية المنفسات، في الصناعة التحويلية لراتنجات الفينول-فورمالدهايد، بسبب السمية العالية في كلا المونمرين الرئيسيين؛ و
 - يجب معالجة المركبات العضوية المتطايرة من أقسام التشطيب ومنفسات المفاعل من خلال تقنيات حرق حراري وحفزي قبل تصريفه في الغلاف الجوي. بالنسبة للمركبات العضوية المتطايرة المكورة، يجب أن تؤمن تقنية الحرق موافقة مستويات انبعاث الديوكسينات / الفيورانات للحد المحدد في الجدول رقم 1.
- المركبات العضوية المتطايرة من تصارييف العمليات*
- ترتبط تصارييف العمليات بتنقية المواد الخام، وتعبئة وتفرغ المفاعلات والمعدات الأخرى، وإزالة تفاعل المنتجات الثانوية في التكايف التماثري المتعدد، ومضخات تفرغ الهواء، وتفرغ ضغط الأوعية. وتتضمن التدابير الموصى بها لمنع ومكافحة التلوث ما يلي:
- يجب استعادة تصارييف أبخرة العمليات عن طريق ضغط أو تبريد وتكثيف المكونات القابلة للتسييل أو إرسالها إلى نظام إشعال عالي الكفاءة حيث يمكنه تأمين إتلافها بكفاءة كبيرة؛
- وتنقيتها قبل انبعاثها في الغلاف الجوي. كما يجب تمرير المياه التي تحتوي على مستويات عالية من مونومر كلوريد الفينيل، مثل المياه المستخدمة في تنظيف المفاعلات التي تحتوي على مونومر كلوريد الفينيل، وخطوط النقل، وصهاريج تخزين المستعلقات أو اللاتكس، من خلال عمود جهاز الإنصال لإزالة مونومر كلوريد الفينيل في صناعة بولي كلوريد الفينيل باستخدام عملية التعليق؛
 - استخدام عمود جهاز الإنصال المصمم خصيصاً لإنصال المستعلقات في صناعة بولي كلوريد الفينيل باستخدام عملية التعليق؛
 - إنتاج أنواع لاتكس ثابتة واستخدام تقنيات الإنصال المناسبة في مرافق التصنيع التحويلي لكلوريد البولي فينيل المستحلب، والتي تجمع بين البلمرة المستحلبة والتجفيف بالرش ذي الدورة المفتوحة؛
 - فقدان التدريجي المتعدد المراحل بالتفريغ الهوائي للبولىمر المنصهر لخفض مستويات المونومر المتبقي⁴ ، 5 في البولىسترين وفي التصنيع التحويلي للبولىميرات الستيرينية بشكل عام؛⁶
 - منع الانسكاب والتسرب في البلمرة المستحلبة لمونمر الأكريليك، بسبب الرائحة القوية جداً، والحادة، وذات المستوى المنخفض المسموح به لكافة مونمرات الأكريليك⁷ ؛

⁴ توجيه مفوضية الاتحاد الأوروبي رقم 2002/72/EC والتعديلات التي تليه.

⁵ قانون الأغذية الأدوية ومستحضرات التجميل المعدل بموجب لائحة الإضافات الغذائية § 21 CFR.

⁶ قد يحدث هذا الموقف بسبب درجة تطاير المونمر المنخفضة نسبياً (ستيرين) أو المذيب (إيثيل بنزين) مقارنة بالتركيزات المنخفضة المطلوبة في هذه العملية (مثل تلك المطلوبة لمنتجات تطبيقات الأغذية).

⁷ شبكة نقل التكنولوجيا وكالة حماية البيئة الأمريكية، موقع ويب المواد السامة بالهواء، أكريليت الإيثيل

المركبات العضوية المتطايرة من الانبعاثات المنفلتة ترتبط الانبعاثات المنفلتة في مرافق التصنيع التحويلي للبولىميرات بشكل أساسي بانبعاث المركبات العضوية المتطايرة من الأنابيب المسربة، والصمامات، والتوصيلات، والفلاتشات، والحشوات، والخطوط مفتوحة النهايات، والصهاريج ذات الأسقف العائمة ومانعات التسرب، ومانعات التسرب المركبة بالمضخات، وأنظمة توصيل الغاز، ومانعات التسرب المركبة بضواغط الهواء (مثل ضواغط هواء الإيثيلين والبروبيلين)، وصمامات تنفيس الضغط، وعمليات تحميل وتفريغ المواد الخام والكيماويات (مثل الصهاريج ذات السقف المخروطي)، وتحضير وخط الكيماويات (مثل تحضير محاليل مساعدات البلمرة وإضافات البولىمر)، و وحدات معالجة المياه المستعملة. يجب أن يصمم نظام العملية بحيث يقلل الانبعاثات المنفلتة من الغازات السامة وغازات الهيدروكربون. تتوفر الإرشادات العامة الخاصة بانبعاثات المركبات العضوية المتطايرة والانبعاثات المنفلتة في الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة. تتضمن التدابير الموصى بها المرتبطة تحديداً بالصناعة ما يلي:

- في صناعة البولى إيثيلين، يجب استعادة تسربات المونمر الناتجة عن الضواغط (المكابس) الترددية المستخدمة في وحدات تصنيع البولى إيثيلين عالية الضغط وإعادة تدويرها لمرحل امتصاص ذات ضغط منخفض؛
- في صناعة كلوريد البولى كلوريد فينيل، يجب تقليل فتح المفاعلات للصيانة، كما يجب اعتماد أنظمة تنظيف أوتوماتيكية.

المواد الدقائقية

ترتبط انبعاثات المواد الدقائقية (مما يعني دقائق البولىمر و/أو الإضافات مثل عوامل الفصل، وما إلى ذلك) بعمليات تجفيف وتغليف البولىمر. تتضمن المصادر الأخرى للمواد الدقائقية

- يجب إدخال الغازات غير القابلة للتكثف في نظام حرق غازات العادم المصممة خصيصاً لتأمين احتراق كامل مع انبعاثات منخفضة ومنع تكون الديوكسينات والفيورانات؛
- في وحدات تصنيع بولى كلوريد الفينيل، يجب جمع غازات مونومر كلوريد الفينيل الملوثة (الهواء والنيتروجين) الناتج عن قسم استعادة المونومر كلوريد الفينيل ومعالجته عن طريق امتصاص أو امتزاز مونومر كلوريد الفينيل، من خلال تقنيات الحرق المتبعة للمعايير المقبولة دولياً، أو من خلال أكسدة حرارية/حفزية، قبل انبعاثها في الغلاف الجوي؛
- في صناعة ألواح البولىستيرين المقاوم للصدمات (شديد التحمل)، يجب الحد من الانبعاثات الهوائية من أنظمة إذابة متعدد البوتادين عن طريق استخدام الأنظمة المستمرة، وخطوط توازن البخار، ومعالجة التنفيس؛
- في وحدات البولىستر غير المشبعة والراتنجات الألكيدية، يجب معالجة تيارات غاز العادم الناتجة عن معدات العملية عن طريق الأكسدة الحرارية أو، إذا سمحت تركيزات الانبعاثات، عن طريق امتزاز الكربون المنشط؛
- استخدام أجهزة غسل الغليكول أو صناديق التصعيد الخاصة باستعادة بخار الأنهيديريد من منفسات صهرج تخزين وحدات البولىستر غير المشبعة والراتنجات الألكيدية؛
- في عملية إنتاج الراتنجات الفينولية، يجب استعادة الانبعاثات الناتجة من العمليات الملوثة بالمركبات العضوية المتطايرة، خاصة الناتجة عن منفسات المفاعل، أو حرقها؛
- في صناعة البولى أميد الأليفاتي، استخدم أجهزة الغسل الرطب، ومكثفات، وأجهزة امتزاز الكربون المنشط، بجانب استخدام الأكسدة الحرارية.

- أن يتم تنفيسه في الغلاف الجوي من خلال مدخنة، بعد أن يتم تخفيفه بالبخر وتبريده بجهاز غسل مائي لتقليل مخاطر السحب القابلة للانفجار. يجب استخدام أنظمة مصممة خصيصاً تعمل عن طريق حساسات التفجير؛
- يجب استخدام صمامات وقائية من الضغط في وحدات تصنيع البلمرة لتقليل كمية المواد الكيميائية المنبعثة من تنشيط جهاز الضغط المفرط/تخفيف الضغط، حيث ينبعث مباشرة إلى الغلاف الجوي؛
- يوصى باستخدام أجهزة سلامة كثيرة، مع المعاينة الدورية والملائمة، لأنه قد يحدث انسداد بالمواسير بسبب تكون البولىمير. يجب أن تتم حماية خطوط الصمامات الواقية من الضغط بدقة عن طريق PSDs، لتجنب الفواق والانسداد. يجب توفر التركيبات لتمكين فحص أنظمة السلامة أثناء تشغيل المصنع؛
- في صناعة بولي كلوريد الفينيل، يجب الحد من حدوث التنفيس الطارئ الناتج عن مفاعلات البلمرة بالغلاف الجوي بسبب التفاعل غير المحكوم، عن طريق استخدام تقنية أو أكثر من التقنيات التالية:
 - 0 أدوات تحكم نوعية في تغذية المفاعل والظروف التشغيلية،
 - 0 نظام مثبط للكيماويات لإيقاف التفاعل،
 - 0 قدرة تبريد مفاعل الطوارئ،
 - 0 طاقة طوارئ لتقليب المفاعل، و
 - 0 تنفيس طوارئ مُحكم لنظام استعادة مونومر كلوريد الفينيل.⁸
- يجب خفض الرغبة عند حدوثها أثناء التنفيس الطارئ عن طريق إضافة مضاد الرغوة لتجنب انسداد نظام التنفيس؛

توصيل ونقل وإزالة الغبار عن الكريات. تتضمن التدابير الموصى بها لكيفية التعامل مع المواد الدفائقية ما يلي:

- تصميم المجفف بأفضل مستوى؛
- استخدام دائرة غاز مغلقة؛
- الاختزال عند المصدر (مثل أنظمة نقل التخزين) والالتقاط عن طريق منشآت الترويق؛
- تركيب مرسبات إلكتروستاتية، أو المرشحات الكيسية، أو أجهزة الغسل الرطب؛
- تركيب أنظمة تعبئة أوتوماتيكية وتوفير تهوية مناسبة أثناء عمليات التغليف؛
- التنظيف الجيد.

التنفيس والإشعال

إن التنفيس والإشعال من تدابير السلامة الهامة المستخدمة في مرافق التصنيع التحويلي للبولىميرات لضمان التخلص الآمن من كافة غازات العملية، الناتجة عن التخزين وأيضاً وحدات العملية في حالة انفتاح قرص أو صمام الأمان، وحالة طوارئ، وانقطاع الكهرباء أو تعطل المعدات، أو في الأوضاع غير المؤاتية الأخرى التي تحدث بالمصنع. يجب نقل تصريفات حالة الطوارئ من المفاعلات وأية معدات أخرى هامة بالعملية إلى صهاريج التفريغ السريع، حيث تتم استعادة المتفاعلات (عن طريق الإنصال بالبخر أو الخواء) قبل تصريف النفايات المعالجة، أو من خلال الامتصاص والإشعال عالي الكفاءة. تتضمن التدابير المرتبطة تحديداً بالصناعة ما يلي:

- لا يمكن نقل الإيثيلين المنفس الناتج عن وحدات تصنيع بولي إيثيلين منخفض الكثافة ذا ضغط عالي والبولي إيثيلين الخطي منخفض الكثافة إلى المشعلة بسبب فتح أقرص سلامة المفاعل عند الضغوط العالية، ولكن يجب

الطاقة. ويعتبر تجفيف البولىميرات وإنهائها وتشطبيها من الجوانب الهامة التي يجب أن تراعى، بسبب احتياجهما إلى الطاقة وبسبب حساسية البولىميرات للإجهاد الحراري والميكانيكي. تشمل المجالات الإضافية التي تمثل فرصاً محتملة لخفض استهلاك الطاقة أنظمة إزالة المياه، وأنظمة تبريد المياه ذات الدائرة المغلقة، والتجفيف ذا الدائرة المغلقة بالغاز الخامل، واستخدام أجهزة التشكيل بالبتق ذات المقصات المنخفضة للتركيب، وزيادة تركيز البولىمر، ومضخات التحبيب ذات المسننات.

الغازات الحامضية

إن آثار كلوريد الهيدروجين، التي تنشأ عن التحليل المائي للمركبات العضوية الكلورة عن طريق المحفز، من الممكن أن تتواجد في الهواء العادم من تجفيف البولىميرات التي تنتج عن طريق الحفز الأيوني. وبالرغم من أن الحمض يتواجد عادة في مستويات منخفضة، إلا أنه يوصى باختبار تيار الغازات ومراعاة تدابير مكافحة التلوث، مثل أجهزة الغسل الرطب إذا وصلت المستويات لمستوى حاد.

الديوكسينات والفيورانات

تتواجد وحدات حرق العوادم الغازية والسائلة والصلبة عادة كإحدى المرافق المساعدة في مرافق التصنيع التحويلي للبولىميرات. وقد يؤدي حرق المركبات العضوية الكلورة (مثل الكلوروفينولات) إلى توليد الديوكسينات والفيورانات. كما تيسر بعض المحفزات التي تكون في صورة مركبات معدنية انتقالية (مثل النحاس)، أيضاً من تكون الديوكسينات والفيورانات. تشمل استراتيجيات المنع والمكافحة الموصى بها ما يلي:

- أثناء التنفيس الطاريء، يجب تصريف محتوى المفاعل إلى صهريج التفريغ السريع والإنصال بالبخار قبل التخلص؛
- في صناعة لثيات الأكرليك، يجب منع التنفيس الطارئ بنظام الإشعال الناتج عن المفاعلات بسبب حدوث بلمرة غير محكومة باتتبع طريقة أو أكثر من الطرق التالية:
 - 0 إضافة متواصلة للمفاعلات إلى المفاعل يتم التحكم فيها بواسطة الكمبيوتر، بناء على حركية البلمرة الفعلية،
 - 0 نظام مثبت للكيمويات لإيقاف التفاعل،
 - 0 قدرة تبريد مفاعل الطوارئ،
 - 0 طاقة طوارئ لتقليب المفاعل، و
 - 0 تصريف محتوى المفاعل بصهريج تفريغ سريع.

كفاءة مصادر الاحتراق والطاقة

تستهلك وحدات تصنيع البلمرة كميات كبيرة من الطاقة والبخار، واللذان ينتجان عادة بالموقع في منشآت التوليد المشترك. يجب التقليل من الانبعاثات المرتبطة بعملية مصادر الطاقة من خلال اعتماد استراتيجية موحدة تتضمن تقليل الحاجة للطاقة، واستخدام أنواع الوقود الأكثر نظافة، وتطبيق ضوابط الانبعاثات عند الحاجة. وتناقش الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة التوصيات المتعلقة بكفاءة استخدام الطاقة.

تعمل وحدات تصنيع البلمرة تحت مجموعة كبيرة من الظروف (درجة الحرارة والضغط) ومن الممكن والمفيد عادة تضمين تعاقب لدرجة الحرارة أو الطاقة في مرحلة التصميم لاسترداد الحرارة (مثل البخار منخفض الضغط الخاص بأغراض الإنصال أو التسخين) وطاقة الضغط. ويعتبر الاختيار والتصميم الصحيحين لعمليات التنقية تبعاً لكفاءة الديناميكيات الحرارية الخاصة بها مكوناً رئيسياً بمتطلبات خفض استهلاك

- تشغيل مرافق الحرق وفقاً للمعايير الفنية المتعارف عليها دولياً؛⁹
- الحفاظ على الظروف التشغيلية المناسبة، مثل درجات حرارة عالية بصورة كافية للحرق وغاز المدخنة، لمنع تكون الديوكسينات والفيورانات؛
- ضمان توافق مستويات الانبعاثات مع القيم الإرشادية الواردة في الجدول 2.

المياه المستعملة

المياه المستعملة الناتجة عن العمليات الصناعية

قد تحتوي المياه المستعملة الناتجة عن العمليات من وحدات التصنيع على هيدروكربونات، ومونمرات وكيمويات أخرى، وبولىميرات ومواد صلبة أخرى (سواء معلقة أو مستحلبة)، ومواد خفض الشد السطحي وعوامل إستحلاب، والمركبات المؤكسجة، والأحماض، وأملاح غير عضوية، والمعادن الثقيلة.

تتضمن استراتيجيات الموصى بها للتعامل مع المياه المستعملة ما يلي:

- المياه المستعملة المحتوية على مونومرات متطايرة (مثل مونومر كلوريد الفينيل، والأكريلونتريل، وإسترات الأكريليك، وأسيات الفينيل، وكابرولاكتام) و/أو مذيبيات البلمرة (مثل نواتج التكثف من الإنصال بالبخر للمعلقات أو اللثيات، ونواتج التكثف من التخلص من المذيب، أو المياه المستعملة من صيانة المعدات) يجب تدويرها إلى العملية حيثما كان ممكناً، أو علاج بالتقطير الومضي أو فصل مكافئ لإزالة المركبات العضوية المتطايرة، قبل نقلها إلى نظام معالجة المياه المستعملة بالمنشأة؛
- يجب فصل المركبات العضوية وتدويرها إلى العملية، إن أمكن، أو حرقها؛
- يجب حرق التيارات الملوثة غير القابلة للتدوير، مثل المياه المستعملة الناشئة من تصنيع البولىستر أو البولىميرات المتصلدة بالحرارة، حفزياً أو حرارياً؛
- يجب اختيار الوسائل المساعدة لبلمرة المستحلب والمعلق مع مراعاة قابليتها للتحلل البيولوجي، عند دخولها تيار المياه المستعملة أثناء استعادة البولىمر؛
- في حالة استخدام وسائل بلمرة أقل تحللاً بيولوجياً أو غير متحللة بيولوجياً، يجب تركيب وحدة معالجة مسبقة للمياه مصممة خصيصاً، للتصريف إلى نظام معالجة المياه المستعملة بالمرفق (المنشأة)؛
- مياه الصرف الناشئة من استعادة البولىمر في أعقاب البلمرة الأيونية، والتي تحتوي على أيونات معدنية من محفزات البلمرة (مثل الليثيوم، والنيكل، والكوبالت، والفاناديوم، الخ) يجب أن تعالج مسبقاً - حسب الحاجة - قبل تصريفها إلى نظام معالجة المياه المستعملة بالمرفق؛
- يجب أن ترسل محاليل المتفاعلات المستهلكة إلى المعالجة المتخصصة للتخلص منها؛
- النفايات السائلة الحمضية والكاوية الناتجة من تحضير المياه منزوعة المعادن يجب أن تعالج بالمعادلة قبل تصريفها إلى نظام معالجة المياه المستعملة بالمرفق؛
- المياه الملوثة الناتجة من أعمال التنظيف الدورية في أثناء إعداد المرفق للدورات التالية، يجب أن تختبر وتعالج في نظام معالجة المياه المستعملة بالمرفق.
- النفايات السائلة الزيتية، مثل التسربات التي تحدث من العمليات، يجب أن تجمع في مصارف مغلقة، وتصفق، وتصرف في نظام معالجة المياه المستعملة للمرفق؛

⁹ على سبيل المثال، توجيه رقم 2000/76/EC الصادر عن البرلمان الأوروبي والمجلس المنعقد في 4 ديسمبر / كانون الأول 2000 بشأن حرق العوادم.

الأيويني، والكربون المنشط، إلى غير ذلك)، و(4) احتواء الروائح المزعجة ومعادلتها.

وتناقش الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة

كيفية التعامل مع المياه المستعملة الناتجة عن العمليات الصناعية وأمثلة لأساليب المعالجة. وبمقدور المرافق من خلال استخدامها لهذه التكنولوجيات وأساليب الممارسة الجيدة المتعلقة بكيفية التعامل مع المياه المستعملة أن تقي بالقيم الإرشادية المعنية بتصريف المياه المستعملة والمبينة بالجدول ذي الصلة بالقسم 2 من وثيقة قطاع الصناعة هذا.

تيارات المياه المستعملة الأخرى واستهلاك المياه

تقدم الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة إرشاداً حول كيفية التعامل مع المياه المستعملة غير الملوثة الناتجة عن عمليات المرافق، ومياه الأمطار غير الملوثة، ومياه الصرف الصحي. يجب توجيه التيارات الملوثة إلى نظام معالجة المياه المستعملة الناتجة عن العمليات الصناعية. يتطلب جمع ومعالجة مياه الأمطار عادة جميع السيب من المناطق المرصوفة ومعالجته بواسطة حفرة كشط لاستعادة الراتنج المتناثرة. وتقدم الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة توصيات لخفض استهلاك المياه، لا سيما في الأماكن التي تكون فيها المصادر الطبيعية محدودة.

المواد الخطرة

تستخدم مرافق تصنيع البوليمرات وتخزن كميات كبيرة من المواد الخطرة، بما في ذلك المنتجات الوسيطة / النهائية والمنتجات الثانوية. تتضمن الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة الممارسات الموصى بها بشأن التعامل مع المواد الخطرة، بما في ذلك المناولة، والتخزين، والنقل، إضافة إلى القضايا المرتبطة بالمواد المستنفذة للأوزون.

- يجب على المرافق أن تعد وتطبق برنامجاً لإدارة المواد الخطرة، يتضمن خططاً نوعية لمنع ومكافحة الانسكاب، وفقاً للتوصيات الواردة في الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة؛
- توفير سعة كافية لتصريف سائل المعالجة لزيادة إعادة استخدامها في العمليات وتجنب التصريف الشامل لسوائل المعالجة في نظام صرف المياه الملوثة بالزيت؛ و

معالجة المياه المستعملة الناتجة عن العمليات

تتضمن تقنيات معالجة المياه المستعملة (مياه الصرف) الناتجة عن العمليات الصناعية الواردة في هذا القسم الفصل عند المصدر والمعالجة المسبقة لتيار المياه المركزة. تتضمن الخطوات النموذجية لمعالجة المياه المستعملة (مياه الصرف) ما يلي: مصافي شحوم، وكاشطات، والتعويم بالهواء المذاب أو أجهزة فصل الزيت والماء لفصل الزيوت والمواد الصلبة القابلة للطفو؛ الترشيح لفصل المواد الصلبة القابلة للترشيح؛ مساواة التدفق والحمل؛ الترسيب لتقليل المواد الصلبة المعلقة باستخدام المروقات؛ المعالجة البيولوجية، عادة المعالجة الهوائية، لتقليل المادة العضوية القابلة للذوبان (BOD)؛ كلورة النفايات السائلة في حالة الحاجة إلى التطهير؛ إزالة الماء والتخلص من البقايا في مواقع دفن معينة للنفايات الخطرة.

ربما تكون هناك حاجة إلى ضوابط (عناصر تحكم) هندسية لما يلي (1) احتواء ومعالجة المواد العضوية المتطايرة المنصلة من عمليات الوحدات المختلفة في نظام معالجة المياه المستعملة (مياه الصرف)، (2) الإزالة المتقدمة للمعادن باستخدام الترشيح الغشائي أو أية تقنيات معالجة فيزيائية/كيميائية أخرى، (3) إزالة المواد العضوية العنيدة والأكسجين الممتص كيميائياً غير القابل للتدرك البيولوجي باستخدام الكربون المنشط أو الأكسدة الكيميائية المتقدمة، (3) خفض سمية النفايات السائلة باستخدام التقنيات المناسبة (مثل التناضح العكسي، والتبادل

النفايات

يجب أن يتم تخزين ومناولة النفايات الخطرة وغير الخطرة بطريقة متسقة مع الممارسات الجيدة بشأن البيئة والصحة والسلامة المعنية بكيفية التعامل مع النفايات، كما تبينه الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة. وتشمل المواد الخطرة المرتبطة تحديداً بالصناعة: مذيبيات النفايات والمحفزات المستهلكة للزيت العادم، وقواعد الترشيع المشبعة، ونفايات البولىمر الصلبة الناتجة من وحدات البلمرة.¹⁰

المحفزات المستهلكة

تتشأ المحفزات المستهلكة من استبدال قاعدة المحفز في الأوقات المجدولة لإعداد مفاعلات تنقية المونومرات لدورات العمل التالية (مثل درجة الشوائب في الأوليفينات منخفضة الوزن الجزيئي) أو بصورة أقل في تحفيز البلمرة غير المتجانس. قد تحتوي المحفزات المستهلكة - تبعاً لنوع العملية - على النيكل، والبلاتين، والبالاديوم، والنحاس. تشمل الاستراتيجيات الموصى بها للتعامل مع المحفزات المستهلكة ما يلي:

- التعامل السليم بالموقع، ويشمل تغطيس المحفزات تلقائية الاشتعال (في الهواء) المستهلكة في الماء أثناء التخزين والنقل المؤقت حتى تصل إلى نقطة المعالجة النهائية، وذلك لتجنب التفاعلات المطلقة للحرارة غير المتحكم فيها؛
- الإعادة إلى المصنع للتجديد أو الإدارة خارج الموقع من قبل شركات متخصصة يمكنها استعادة المعادن الثقيلة أو النفيسة، من خلال عمليات الاستعادة أو إعادة التدوير، حيثما كان ممكناً، أو التعامل مع المحفزات المستهلكة وفقاً

لتوصيات التعامل مع النفايات الخطرة وغير الخطرة الواردة في الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة. أما المحفزات المحتوية على البلاتين أو البالاديوم فيجب إرسالها إلى مرفق لاستعادة المعادن الكريمة.

قواعد الترشيع المشبعة

تنتج قواعد الترشيع المشبعة من عمليات بلمرة المحاليل، على سبيل المثال، نتيجة إزالة محفزات البلمرات المستهلكة من محلول البلمرة أو في عدد من عمليات إزالة الرائحة أو الترويق. تشمل الاستراتيجيات الموصى بها للتعامل مع قواعد الترشيع المشبعة، وتقليل عوامل التنقية من خلال التجديد المباشر وفترة الصلاحية الممتدة، والاحتواء المناسب أثناء التخزين المؤقت والنقل، والتعامل معها خارج الموقع من قبل شركات متخصصة.

نفايات البولىمر الصلبة

تنتج نفايات البولىمر أثناء العمليات المعتادة لوحدة التصنيع (مثل ترشيح وغرلة اللثي، وغرلة المسحوق، وسحق الحبيبات)؛ تغييرات مدة التشغيل***؛ بدء التشغيل؛ والصيانة وإيقاف التشغيل الطارئ لمعدات معالجة البولىمر.

وتتضمن التدابير الموصى بها لمنع ومكافحة التلوث ما يلي:

- إعادة تدوير تيارات النفايات أو إعادة استخدامها - إن أمكن - بدل من طرحها. من بين خيارات إعادة التدوير الممكنة بيع الشموع إلى مصانع إنتاج الشمع؛
- يجب إجراء المعالجة اللازمة لإزالة المركبات العضوية المتطايرة واستعادتها بشكل منفصل (بالإنصال بالبخار، على سبيل المثال)؛
- العزل والتخزين في مكان آمن. قد تكون بعض نفايات البولىمر (مثل البولىميرات المجهدة بالحرارة أو القص

¹⁰ راجع القسم المعني بالديوكسينات والفيورانات للاطلاع على الإرشاد الخاص بالانبعاثات المطبقة على حرق النفايات العضوية المكثورة.

وكنهج عام، يجب أن يتضمن التخطيط لإدارة الصحة والسلامة اعتماد نهج منهجي ومنظم لمنع ومكافحة المخاطر البدنية، والكيميائية، والبيولوجية، والإشعاعية على الصحة والسلامة المبينة في الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة. تتضمن أكبر المخاطر المتعلقة بالصحة والسلامة المهنية والتي تبرز أثناء المرحلة التشغيل لتصنيع البولىميرات، ويتصدرها ما يلي:

- سلامة العمليات التصنيعية
- الحرائق والانفجارات
- مخاطر كيميائية أخرى
- الأماكن المحصورة

سلامة العمليات التصنيعية

يجب تطبيق برامج سلامة العمليات التصنيعية، نظراً للخصائص المرتبطة بتلك الصناعة تحديداً، مثل التفاعلات الكيميائية المعقدة، واستخدام المواد الخطرة (مثل المواد السامة والمتفاعلة والمركبات سريعة الالتهاب أو المتفجرة)، والتفاعلات متعددة الخطوات. تشمل إدارة سلامة العمليات التصنيعية الإجراءات التالية:

- اختبار المخاطر البدنية للمواد والتفاعلات؛
- دراسات تحليل المخاطر لمراجعة الممارسات الكيميائية والهندسية في العمليات التصنيعية، بما في ذلك الديناميكيات الحرارية والحركية؛
- مراجعة الصيانة الوقائية والسلامة الميكانيكية للمعدات والمرافق المستخدمة في عملية التصنيع؛
- تدريب العمال؛ و
- وضع تعليمات تشغيل وإجراءات استجابة للطوارئ.

المنتجة أثناء تشغيل أو إيقاف عمليات آلة التجفيف والتشطيب (الإنهاء)، والبولىمر المؤكسد المستعاد أثناء صيانة المجفف، وقشور وحدة المعالجة التي لا تحتوي على مضادات أكسدة، ونفايات البولىميرات المتقدمة) غير مستقرة وعرضة للتسخين والإشعال الذاتي. يجب تخزين مثل تلك النفايات بطريقة آمنة والتخلص منها (بالحرق مثلاً) في أقرب وقت ممكن من الناحية العملية.

الضوضاء

تشمل أهم مصادر الضوضاء في مرافق تصنيع البولىميرات الأنشطة المتضمنة للمعالجة الفيزيائية للبولىميرات (مثل التصفية، والطحن، وناقلة الهواء المضغوط)، إضافة إلى الآلات الدوارة الكبيرة، مثل آلات البثق، والمكابس والتوربينات، والمضخات، والمحركات الكهربائية، والمراوح، ومبردات الهواء. وفي أثناء تخفيض الضغط الطارئ، تحدث ضوضاء عالية بسبب غازات الضغط العالي التي يتم إشعالها و/ أو إطلاق البخار إلى الغلاف الجوي. تتناول الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة توصيات بشأن التعامل مع الضوضاء.

1.2 الصحة والسلامة المهنية

تتمثل قضايا الصحة والسلامة المهنية التي تحدث أثناء إنشاء وإيقاف تشغيل مرافق تصنيع البولىميرات مع تلك التي تحدث في المرافق الصناعية الأخرى، وتتضمن الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة كيفية التعامل معها.

يجب تحديد قضايا الصحة والسلامة المهنية المرتبطة تحديداً بالمنشأة بناء على تحليل السلامة الوظيفية أو التقييم الشامل للمخاطر أو الأخطار، بالاستعانة بمنهجيات محققة مثل دراسة تحديد المخاطر [HAZID]، ودراسات المخاطر وامكانات التشغيل [HAZOP]، أو التقييم الكمي للمخاطر [QRA].

البلمرة وجهاز إزالة المذيب العاملة في درجة حرارة قريبة من درجة حرارة الإشعال الذاتي للمذيب، إضافة إلى معدلات التدفق العالية لمذيب الهيدروكربون. من الممكن أن يؤدي حدوث انسكاب من المفاعل، في عملية الردغة للبولى إيثيلين عالي الكثافة وعملية الكتلة للبولىبروبيلين المنتظم، إلى تكون سحابة متفجرة نتيجة للتبخير الومضي للأيزوبيوتان والبروبيلين. يجب أن يكون منع الانسكابات والسحب المتفجرة قائماً على تطبيق المعايير الهندسية المتعارف عليها دولياً فيما يخص تصميم المعدات والأنابيب، والصيانة، وتخطيط وحدة التصنيع، وموضع / تكرار صمامات القطع الطارئ.

تصنيع بولى (متعدد) كلوريد الفينيل

يرجع التنفيس العارض لمونومر كلوريد الفينيل في الهواء الجوي مع ما يتبعه من تكون سحابة متفجرة وسامة، إلى انفتاح صمامات أمان الضغط الخاصة بالمفاعل نتيجة للبلمرة غير المحكومة. تشمل إجراءات التعامل إزالة الغاز من المفاعل وشطفه بالبخار قبل الفتح.

من السهل أكسدة مونومر فينيل الكلوريد بواسطة الهواء لتكوين بولى بيروكسيدات أثناء عمليات الاستعادة بعد البلمرة. بعد الاستعادة، يتم احتجاز مونومر كلوريد الفينيل في خزان احتجاز تحت الضغط أو التبريد. ويضاف، في بعض الأحيان، مثبط كيميائي، مثل الفينيل المعطل (hindered phenol)، لمنع تكون البولى بيروكسيد. وعادة يتم الإبقاء على البولى بيروكسيد مذاباً في مونومر كلوريد الفينيل، حيث يتفاعل ببطء وأمان مكوناً بولى (متعدد) كلوريد الفينيل. ولكن، في حالة تبخر مونومر كلوريد الفينيل السائل المحتوي على البولى بيروكسيدات، يمكن للبولى بيروكسيدات أن تترسب وتتصلب

فيما يلي التوصيات الخاصة بسلامة العمليات المطبقة على عمليات تصنيعية معينة.

تصنيع البولى إيثيلين

ثمة مخاطر محددة للعمليات في تصنيع البولى الإيثيلين، ترتبط بالانطلاق المحتمل لكميات كبيرة من الإيثيلين الساخن في الهواء الجوي وما يلحقه من انفجار سحابي. ترتبط الأحداث الطارئة بصفة أساسية بالتسرب من الحشيات أو أثناء عمليات الصيانة. تشمل الأحداث الطارئة بالنسبة لوحداث إنتاج البولى إيثيلين منخفض الكثافة بصفة خاصة، انفتاح قرص الأمان الخاص بالمفاعل وانفجار جهاز الفصل عالي الضغط. تشمل التدابير المتعلقة بإدارة السلامة تحديداً ما يلي:

- لا ينبغي نقل الإيثيلين المنفس جراء انفتاح أقراص الأمان الخاصة بالمفاعل عند ضغط مرتفع إلى المشعلة، ولكن يجب تنفيسه في الهواء بواسطة مدخنة قصيرة، بعد تخفيفه بالبخار وتبريده بالغسل بالمائي لتقليل مخاطر السحب الانفجارية؛
- يجب منع تحلل المنتج في المفاعلات الأنبوبية من خلال نقل الحرارة، والتحكم في توزيع درجة الحرارة، والتدفق عالي السرعة والتحكم الجيد في الضغط؛
- يجب الحيلولة دون انفجار أجهزة الفصل عالية الضغط من خلال مقاييس تصميم المفاعلات الوعائية، والتحديد الدقيق لجرعة البيروكسيدات، والتحكم في درجة حرارة البلمرة، والاكتشاف السريع للتفاعلات المطلقة للحرارة غير المحكومة والعزل / إزالة الضغط السريع، والصيانة الجيدة للمفاعلات وأجهزة الفصل.

وبالنسبة لعملية محلول البولى إيثيلين عالي الكثافة والبولى إيثيلين الخطي منخفض الكثافة، تنتج مخاطر الحريق من ظروف الضغط العالي ودرجة الحرارة المرتفعة في مفاعل

سائل في صهاريج مضغوطة أو مبردة. ويجب نقل مونومر كلوريد الفينيل، بما في ذلك النقل بواسطة خطوط الأنابيب، بطريقة تتسق مع الممارسات الدولية الجيدة بشأن نقل المواد الخطرة. يجب أن تتضمن التقييمات بشأن موقع مرافق بولي كلوريد الفينيل الجديدة الاعتبارات الخاصة بالمسافات عن وحدات تصنيع المونومر، بغرض تقليل مدد التخزين، وتقليل المخاطر المحتملة الناجمة عن نقل المونومر.¹³

الستيرين

يتبلر الستيرين بسهولة، ويجب تخزينه في درجات حرارة باردة، مع مستويات مناسبة من 4- ثلاثي - بيوتيل كاتيكول كمادة مثبطة، في صهاريج مصممة ومقامة وفقاً للمعايير الدولية.

حمض الأكريليك وإستراته¹⁴ ، 15

يعد حمض الأكريليك سائلاً يتجمد عند 13 درجة مئوية، ويتفاعل بشدة في بلمرة غير محكمة إذا لم يتم تثبيط التفاعل. ولذا كثيراً ما تقع حوادث ناشئة عن تخزين حمض الأكريليك. ويباع مثبطاً باستخدام اثير الهيدروكينون أحادي الميثيل، الذي ينشط في وجود الهواء. وهو سريع الالتهاب عند الإفراط في تسخينه ويجب تخزينه في صهاريج من الصلب الذي لا يصدأ. يجب تجنب الإفراط في تسخينه أو تجميده حيث أن عملية إذابة حمض الأكريليك المجمد تعد عملية تنطوي على وقوع مخاطر

مطلقة حرارة، مما يحمل مخاطر حدوث انفجار وما يستتبعه من سحابة سامة.¹¹

عملية البلمرة الدفعية

قد ينتج عن البلمرة الدفعية مخاطر حدوث بلمرة غير محكمة وانفجار للمفاعل في حالة عدم وضع جرعات صحيحة من المتفاعلات أو حدوث عطل في أنظمة التقلب أو التبادل الحراري. ومن الممارسات الموصى بها لإدارة سلامة العملية: الحد من ممارسة البلمرة الدفعية ووضع ضوابط للعملية، تشمل توفير طاقة كهربائية احتياطية للطوارئ، وتبريد، وأنظمة إضافة مواد مثبطة، وصهاريج تفريغ سريع.

عمليات تكوين المركبات، والإنهاء والتشطيب، والتعبئة

تحمل عمليات تكوين المركبات، والإنهاء والتشطيب، والتعبئة بين طياتها مخاطر نشوب حرائق في الخلاطات وآلات البثق (إذا سخن البولىمير بصورة مفرطة)، وفي المعدات التي تشتمل على مزيج مساحيق البولىمير والهواء، مثل المجففات، والناقلات بالهواء المضغوط، ومعدات الطحن. يوصى باستخدام معايير التركيبات الكهربائية المتعارف عليها دولياً، بما في ذلك تأريض جميع المعدات، وتركيب أنظمة نوعية لمكافحة الحريق.

الحرائق والانفجارات

مونومر كلوريد الفينيل

يصنف مونومر كلوريد الفينيل كمادة سامة ومسرطنة (IARC group 1)¹². وهو غاز في الظروف العادية (درجة الغليان = -13.9 درجة مئوية)، ومن الممكن أن ينفجر عند الملامسة مع الهواء. ويخزن مونومر كلوريد الفينيل على هيئة

¹³ وقد تكون تكلفة النقل من بين العوامل الهامة وراء مشاركة مواقع المرافق الجديدة بالقرب من مصادر مونومر كلوريد الفينيل.

¹⁴ Acrylic acid - A summary of safety and handling, 3rd Edition, 2002; Intercompany Committee for the Safety and Handling of Acrylic Monomers, ICSHAM
¹⁵ Acrylate esters - A summary of safety and handling, 3rd Edition, 2002; Intercompany Committee for the Safety and Handling of Acrylic Monomers, ICSHAM

¹¹ EIPPCB BREF (2006)

¹² IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, Volume 19
<http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol19/volume19.pdf>

- إعداد خطة محددة لمنع ومكافحة الحرائق للتعامل مع الحرائق والمخاطر الأخرى ذات الصلة بالأكليات المعدنية؛¹⁷

- الالتزام بمسافات الأمان داخل المرفق (المنشأة) وخارجه؛¹⁸

- الشحن في العربات الصهرجية، والشاحنات الصهرجية، والصهاريج المحمولة، أو الصهاريج الموافقة للمواصفات القياسية الدولية (أيزو) وفقاً للمعايير المتعارف عليها دولياً.¹⁹

- يجب أن يتم النقل إلى مرافق تخزين محصنة من خلال صمامات، وتركيبات، ومضخات مصممة خصيصاً لذلك الغرض.

- يجب أن تكون صهاريج التخزين تحت بطانة من النيتروجين وأن توصل بالهواء الجوي عن طريق مانعة تسرب زيتية هيدروليكية أو أكثر. يجب رصد مستويات وتدفقات المنتج بواسطة أدوات عالية الكفاءة وأجهزة إنذار؛

- يجب أن تكون مرافق تخزين الأكليات المعادن مجهزة بجدران احتجاز، ويجب أن تكون منطقة الاحتجاز مائلة لتسهيل الصرف في بئر حرق طارئ.

البيروكسيدات

¹⁷ يمكن استخدام المعالجة بالرش الضبابي لتخميد الأكليات تلقائية الاشتعال. لا ينبغي في العادة استخدام كميات كبيرة من الماء أو الرغوة كمعامل إخماد للحرائق نظراً لتفاعلها الشديد مع الأكليات الألمنيوم. يمكن استخدام المياه لتبريد الأغراض المجاورة أو كحاجب مائي لحماية أية أغراض من الإشعاع الحراري. يلزم توفر كميات كبيرة من العوامل الأخرى مثل ثاني أكسيد الكربون أو غيره من المساحيق الكيميائية للسيطرة على الحرائق ومنع إعادة اشتعالها.

¹⁸ E.J Major, H.G. Wissink, J.J. de Groot, (Akzo Nobel), Aluminum Alkyl Fires

¹⁹ UN Recommendations on the Transport of Dangerous Goods. Model Regulations. Thirteenth revised edition (2003)

البلمرة غير المحكومة. وتسلك استرات الأكرليك سلوكاً مماثلاً ولكنها لا تشكل مخاطر ذات صلة بالتجميد.

الفينول

يذوب الفينول عند درجة حرارة 40.7 درجة مئوية، ويتم استلامه وتخزينه ومناولته في حالة ذائبة. يجب أن تجهز الصهاريج بنظام استعادة للبخر وأن تجهز بملفات تسخين؛ كما يوصى أيضاً باستخدام بطانة من النيتروجين. يجب الكشف على الأنابيب والتركيبات بواسطة البخار وتفريغها باستخدام النيتروجين قبل وبعد نقل المنتج.

الفورمالدهايد

يستخدم الفورمالدهايد كمحلول مائي في تركيبات من 37 – 50 في المائة، ويثبت عادة بكميات قليلة من الميثانول (>1 في المائة). ويعد الفورمالدهايد مسرطناً محققاً للإنسان (IARC Group 1)¹⁶ يطلق الفورمالدهايد أبخرة قابلة للاشتعال في الهواء، لذا يجب الاحتفاظ به تحت بطانة من النيتروجين أثناء تخزينه.

أكليات المعادن (الألمنيوم، وليثيوم، وزنك، وصوديوم، وبوتاسيوم، الخ)

من بين أكليات المعادن الأكثر استخداماً أكليات الألمنيوم والمغنسيوم في بلمرة زيغلر - ناتا للأوليفينات، وأكليات الليثيوم في البلمرة الأيونية للسستيرين والديينات. وتتضمن الممارسات الموصى بها للتعامل مع هذه المواد ما يلي:

¹⁶ IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, Volume 88 <http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol88/volume88.pdf>

- إعداد خطة محددة لمنع ومكافحة الحرائق للتعامل مع خصوصيات المؤكسدات غير العضوية القوية.²⁶

البولىميرات

من الصعب السيطرة على الحرائق التي تنشب في مستودعات تخزين البولىميرات نظراً لحرارة الاحتراق المرتفعة للغاية لمعظم البولىميرات. كما إن احتراق البولىميرات في الحرائق ينتج سحباً سامة. وتتضمن الممارسات الموصى بها للتعامل مع هذه المواد ما يلي:

- يجب أن تصمم مباني التخزين وفقاً للمعايير المقبولة دولياً، بحيث تشمل، على سبيل المثال، التهوية المناسبة، والتحكم في درجة حرارة الهواء، والحماية من ضوء الشمس المباشر.
- يجب اعتماد أنظمة فعالة لمنع ومكافحة الحرائق، بما في ذلك، على سبيل المثال، أجهزة اكتشاف الدخان، وأجهزة اكتشاف للنقاط الساخنة بالأشعة تحت الحمراء، ورشاشات مياه موزعة مصممة للحمل العالي للغاية لحرائق البولىميرات؛
- نظراً لتعرض معظم البولىميرات للتقادم التأكسدي البطيء بفعل الحرارة أو الضوء، يجب حفظها في عبوات مغلقة؛
- اتباع إجراءات "ما يدخل أولاً يخرج أولاً" في الإدارة مع المنتجات مع إجراء فحوصات متكررة والإدارة الجيدة لشؤونها. يجب تتبع المواد المتقادمة، وتقييم سلامتها، وفصلها للتخلص منها.

المواد الكيماوية

يجب التعامل مع التعرض المحتمل للمواد الكيماوية عن طريق الاستنشاق والتلامس الجلدي أثناء العمليات الروتينية لوحدة

²⁶ على سبيل المثال، يعد النيتروجين السائل الذي يمكن رشه عن طريق معدات مكافحة حرائق يمكن تشغيلها عن بعد، أكثر عوامل إخماد الحرائق ملائمة للبىروكسيدات العضوية.

تستخدم البىروكسيدات العضوية وغير العضوية، إضافة إلى المركبات الديازوية، على نطاق واسع كبادئات بلمرة الشقوق الحرة. وتتميز البىروكسيدات غير العضوية مثل بىروكسيد الهيدروجين والبىروكسيدسلفات، بالقدرة على التفاعل بشدة مع المواد العضوية. تصنف البىروكسيدات غير العضوية كمؤكسدات. وتشمل المخاطر التي تنطوي عليه المؤكسدات الزيادة في معدل حرق المواد القابلة للاشتعال؛ الإشعال التلقائي للمواد القابلة للاشتعال؛ التحلل السريع ذاتي المداومة، الذي قد يؤدي إلى حدوث انفجار؛ توليد غازات خطيرة؛ ومخاطر وقوع انفجار في حالة المزج مع مركبات غير متوافقة أو التعرض للنيران. وتتضمن الممارسات الموصى بها للتعامل مع هذه المواد ما يلي:

- يجب نقل مستحضرات البىروكسيد ومناولتها وفقاً لتوصيات جهة الصنع والمعايير الدولية المطبقة 20 ، 21 ، 22 .

- يجب أن يتم التخزين في منشآت منعزلة مصممة ومقامة وفقاً للمعايير المقبولة دولياً (مثل مدونات NFPA²³ 24). يجب تخزين البىروكسيدات العضوية في مبان مبردة أو مكيفة الهواء مقاومة للانفجار؛²⁵

²⁰ UN Recommendations on the Transport of Dangerous Goods. Model Regulations. Thirteenth revised edition (2003)
²¹ Safety and handling of organic peroxides: A Guide Prepared by the Organic peroxide producers safety division of the Society of the plastics industry, Inc. Publication # AS-109
²² NFPA 432, Code for the Storage of Organic Peroxide Formulations, 2002 Edition
²³ NFPA 430, Code for the Storage of Liquid and Solid Oxidizers, 2004 Edition
²⁴ NFPA 432, Code for the Storage of Organic Peroxide Formulations, 2002 Edition
²⁵ ربما تتطلب البىروكسيدات من الفئة الثالثة معايير تخزين أقل صرامة.

داخل المنشأة (المرفق) أو نقله خارج مرفق التصنيع. وقد سبق عرض الإرشادات بشأن التعامل مع تلك القضايا تحت أقسام القضايا البيئية والصحة والسلامة المهنية في تلك الوثيقة. يجب التعامل مع المخاطر الكبرى وفقاً للنظم وأفضل الممارسات الدولية (مثل توصيات منظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي،²⁷ EU Seveso II Directive²⁸،

و USA EPA Risk Management Program و (Rule).²⁹

وتقدم الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة إرشاداً إضافياً حول التعامل مع النفايات الخطرة، يشمل ما يلي:
التعامل مع المواد الخطرة (بما في ذلك المخاطر الكبرى)؛
السلامة المرورية؛ نقل المواد الخطرة؛ والاستعداد للطوارئ والاستجابة لها. يمكن الاطلاع على إرشادات إضافية تتعلق بالنقل البحري والسكك الحديدية إضافة إلى المرافق الشاطئية في الإرشادات بشأن البيئة والصحة والسلامة الخاصة بالنقل البحري؛ السكك الحديدية؛ الموانئ والمرافئ؛ محطات النفط الخام والمنتجات البترولية.

2.0 مؤشرات الأداء ورصده

2.1 البيئة

الإرشادات بشأن الانبعاثات والنفايات السائلة

يقدم الجدولان 1 و 2 إرشادات بشأن الانبعاثات والنفايات السائلة في هذا القطاع. وتشرح القيم الإرشادية الخاصة بالانبعاثات والنفايات السائلة الناتجة عن العمليات في هذا

التصنيع استناداً إلى تحليل السلامة الوظيفية ودراسات الصحة الصناعية، وبالتوافق مع إرشادات الصحة والسلامة المهنية الواردة في الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة. تتضمن تدابير الحماية تدريب العاملين، وأنظمة منح تصاريح العمل، واستخدام معدات الحماية الشخصية، وأنظمة اكتشاف الغازات السامة والإنذار منها.

الأماكن المحصورة

كما هو الحال في أي قطاع آخر من قطاعات الصناعة، وفي إطار تصورات أشد الحالات سوءاً، من الممكن أن تؤدي مخاطر الأماكن المحصورة إلى إزهاق الأرواح إذا لم يتم التعامل معها بشكل سليم. إن دخول العمال إلى الأماكن المحصورة واحتمالات وقوع حوادث بها تختلف من منشأة إلى أخرى بحسب تصميمها، والمعدات المتوفرة بالموقع، والبنية الأساسية وتشمل الأماكن المحصورة في مرافق تصنيع البولىميرات المفاعلات التي ينبغي دخولها أثناء أعمال الصيانة. ويجب على المنشآت أو المرافق وضع إجراءات لدخول الأماكن المحصورة وتطبيقها وفقاً لما هو مبين في الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة.

1.3 صحة وسلامة المجتمع المحلي

تمثل الآثار التي تتعلق بصحة المجتمعات المحلية وسلامتها والتي تحدث أثناء مرحلتى إنشاء وإيقاف تشغيل مرافق (منشآت) تصنيع البولىميرات للآثار التي تحدث في غالبية المنشآت الصناعية الأخرى، وتتناولها بالمناقشة الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة. تحدث أهم المخاطر على صحة وسلامة المجتمع التي ترتبط بمنشآت أو مرافق تصنيع البولىميرات أثناء مرحلة التشغيل وتشمل التهديدات الناتجة عن الحوادث الكبرى المرتبطة بإمكانية نشوب حرائق أو وقوع انفجارت أو الانطلاق العارض للمنتجات النهائية

²⁷ OECD, Guiding Principles for Chemical Accident Prevention, Preparedness and Response, Second Edition, 2003

²⁸ EU Council Directive 96/82/EC, Seveso II

Directive, extended by the Directive 2003/105/EC, EPA, 40 CFR Part 68, 1996 — Chemical accident prevention provisions²⁹

الجدول 1 الإرشادات بشأن الانبعاثات الهوائية		
المادة الملوثة	الوحدة	القيمة الإرشادية
المادة الدقائقية	ملليغرام/ م ³ معياري	20
أكاسيد النيتروجين	ملليغرام/ م ³ معياري	300
كلوريد الهيدروجين	ملليغرام/ م ³ معياري	10
أكاسيد الكبريت	ملليغرام/ م ³ معياري	500
كلوريد الفينيل	غرام/طن بولي كلوريد فينيل معلق غرام/طن بولي كلوريد فينيل مستحلب	80 500
أكريلونيتريل	ملليغرام/ م ³ معياري	5 (15 من المجففات)
أمونيا	ملليغرام/ م ³ معياري	15
مركبات عضوية متطايرة	ملليغرام/ م ³ معياري	20
معادن ثقيلة (إجمالي)	ملليغرام/ م ³ معياري	1.5
الزئبق	ملليغرام/ م ³ معياري	0.2
الفورمالدهايد	ملليغرام/م ³	0.15
ديوكسينات/فيورانات	نانو غرام مكافئ سمي / متر مكعب عادي	0.1

استخدام الموارد، واستهلاك الطاقة، وتوليد الانبعاثات والنفائات

يقدم الجدول 3 (أدناه) أمثلة على مؤشرات استهلاك الموارد للطاقة والمياه إضافة إلى المؤشرات ذات الصلة بالانبعاثات والنفائات. والقيم المعيارية للصناعة متاحة لأغراض المقارنة فقط وعلى المشروعات الفردية أن تستهدف التحسين المستمر في هذه المجالات.

الرصد البيئي

يجب تطبيق برامج الرصد البيئي الخاصة بذلك القطاع للتعامل مع جميع الأنشطة التي تم تحديد كونها تحدث أثراً كبيرة محتملة على البيئة، أثناء العمليات العادية وفي الظروف المضطربة. ويجب أن تستند أنشطة الرصد البيئي إلى مؤشرات مباشرة أو غير مباشرة للانبعاثات والنفائات السائلة واستخدام الموارد المنطبقة على المشروع المحدد. وينبغي أن

القطاع بوضوح الممارسة الصناعية الدولية الجيدة كما هي واردة في المعايير ذات الصلة للبلدان التي لديها أطر تنظيمية معترف بها. كما يمكن تطبيق هذه الإرشادات في ظروف التشغيل العادية داخل المرافق المصممة والمشغلة على نحو ملائم من خلال تطبيق أساليب منع التلوث والسيطرة عليه والتي تم تناولها بالمناقشة في الأقسام السابقة من هذه الوثيقة.

إن الإرشادات المعنية بالانبعاث الملوثة تنطبق على الانبعاثات الناتجة عن عمليات التجهيز. وتعالج الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة الإرشادات الخاصة بالانبعاث الملوثة من مصادر الاحتراق المرتبطة بأنشطة توليد الطاقة البخارية والكهربائية من مصادر لها قدرة تساوي أو تقل عن 50 ميغاواط؛ أما انبعاثات مصادر الطاقة الأكبر فتعالجها الإرشادات بشأن البيئة والصحة والسلامة الخاصة بالطاقة الحرارية. كما تقدم الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة إرشاداً حول اعتبارات البيئة المحيطة استناداً إلى إجمالي حمل الانبعاثات.

تنطبق الإرشادات بشأن النفائات السائلة على التصريف المباشر للنفائات السائلة المعالجة في المياه السطحية من أجل الاستخدام العام. يمكن تحديد مستويات التصريف الخاصة بالموقع بناء على مدى توفر وظروف استخدام الأنظمة العامة لتجميع ومعالجة مياه الصرف الصحي أو، إن كان تصريفها يتم مباشرة على المياه السطحية، عندئذ يتم تحديد المستويات بناء على نظام تصنيف استخدام المياه المستقبلية كما هو موضح في الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة. ويجب تحقيق هذه المستويات دون تخفيف في 95 في المائة على الأقل من الوقت الذي يكون فيه المصنع أو الوحدة قيد التشغيل، وذلك حتى يمكن حسابها كنسبة من ساعات العمل السنوية. ويجب تبرير الحيد عن تحقيق هذه المستويات نتيجة لظروف محلية محددة للمشروع في التقييم البيئي.

يكون معدل تكرار الرصد بالقدر الكافي لتوفير بيانات تمثيلية للمعيار الجاري رسده. ويجب أن يقوم بعمليات الرصد أفراد مدربون وفقاً لإجراءات الرصد والاحتفاظ بالسجلات مع استخدام معدات تجري معايرتها وصيانتها على نحو سليم. كما ينبغي تحليل بيانات الرصد ومراجعتها على فترات منتظمة ومقارنتها بالمعايير التشغيلية حتى يتسنى اتخاذ أية إجراءات تصحيحية لازمة. وتتوفر إرشادات إضافية عن الطرق المطبقة لأخذ العينات وتحليل الانبعاثات والنفائات السائلة في الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة.

الجدول 2 - إرشادات بشأن النفايات السائلة		
المادة الملوثة	الوحدة	القيمة الإرشادية
الأس الهيدروجيني	وحدة معيارية	9 - 6
زيادة درجة الحرارة	درجة مئوية	3≥
الأكسجين الحيوي الممتص ⁵	ملليغرام/ لتر	25
حاجة كيميائية للأكسجين	ملليغرام/ لتر	150
نتروجين كلي	ملليغرام/ لتر	10
فوسفور كلي	ملليغرام/ لتر	2
كبريتيد	ملليغرام/ لتر	1
زيوت وشحوم	ملليغرام/ لتر	10
إجمالي المواد الصلبة العالقة	ملليغرام/ لتر	30
كادميوم	ملليغرام/ لتر	0.1
كروم (إجمالي)	ملليغرام/ لتر	0.5
كروم (سداسي)	ملليغرام/ لتر	0.1
نحاس	ملليغرام/ لتر	0.5
زنك	ملليغرام/ لتر	2
رصاص	ملليغرام/ لتر	0.5
نيكل	ملليغرام/ لتر	0.5
زئبق	ملليغرام/ لتر	0.01
الفينول	ملليغرام/ لتر	0.5
البنزين	ملليغرام/ لتر	0.05
كلوريد الفينيل	ملليغرام/ لتر	0.05
هالوجينات عضوية قابلة للامتزاز	ملليغرام/ لتر	0.3
السمية	يتم التحديد على أساس الحالة المحددة	

الجدول 3 - المعايير الإرشادية لاستهلاك الموارد، والطاقة، والانبعاثات والنفايات

المعيار الإرشادي للصناعة (EU, 1999), متوسط أفضل 50%						الوحدة	المعامل
البولىميرين القابل للمط	بوليست يرين مقاوم للصدما ت	بوليست يرين متعدد الأغرا ض	البولى إيثيلين الخطي منخفض الكثافة	بولى إيثيلين عالي الكثافة ¹⁴	بولى إيثيلين منخفض الكثافة ²⁰		المنتج
500 ²	410 ²	300 ²	580	570	720	كيلوواط ساعة/طن متري	الاستهلاك المباشر للطاقة ¹²
--	--	--	810	1,180	2,070	كيلوواط ساعة/طن متري	استهلاك طاقة أولية ¹³
5.0	0.8	0.8	1.1	1.9	1.7	م ³ /طن	استهلاك المياه ³
30	2	2	11	56	17	غرام/طن	انبعاث الغبار
700 ⁴ - 450	85	85	500 ¹ - 180	650	- 700 1,100	غرام/طن	انبعاث المركبات العضوية المتطايرة ¹⁰
--	--	30	39	17	19	غرام/طن	انبعاث الألكسجين الممتص كيميائياً
6.0	3.0	2.0	1.1	0.5	0.5	كيلو غرام/طن	نفايات خاملة
3.0	0.5	0.5	0.8	3.1	1.8	كيلو غرام/طن	النفايات الخطرة
بولى أميد 66 ^{15,16}	بولى أميد 6 ^{15,17}	تيريفثاللات البولى إيثيلين ^{19,15}	بولى كلوريد الفينيل المستحلب	بولى كلوريد الفينيل المعلق			المنتج
- 1,600 2,100	2,000 - 1,800	- 850 1,500	2,000-3,000	1,100-750	كيلوواط ساعة/طن متري		الاستهلاك المباشر للطاقة
--	--	--	2,800-4,300	1,100- 1,600	كيلوواط ساعة/طن متري		استهلاك الطاقة الأولية
3.0 - 1.5	3 - 1	25 - 0.6	--	4.0 ⁹	م ³ /طن		الماء إلى النفايات
--	--	--	200 ^{6,9}	40 ^{6,9}	غرام/طن		انبعاث الغبار
--	10 - 6	--	245-813	43 - 18	غرام/طن		انبعاث المونومر إلى الهواء ^{9,10,5}
30 - 10	--	5 ¹⁸	--	--	غرام/طن		انبعاث المركبات العضوية المتطايرة ¹⁰
--	--	--	10	3.5	غرام/طن		انبعاث المونومر إلى الماء ^{7,9}
- 4,500 6,000 ¹⁶	- 4,300 5,700 ¹⁶	- 2,000 16,000	340 ^{8,9}	480 ^{8,9}	غرام/طن		انبعاث الألكسجين الممتص كيميائياً
3.5 - 3.0	3.5 - 3.0	18 - 0.8	--	--	كيلو غرام/طن		نفايات خاملة
0.5 - 0.2	0.5 - 0.2	0.45 >	74 ⁹	55 ⁹	كيلو غرام/طن		نفايات خطرة ¹⁷
				UPES			المنتج
				1,000 >	كيلوواط ساعة/طن متري		الاستهلاك المباشر للطاقة
				--	كيلوواط ساعة/طن متري		استهلاك الطاقة الأولية
				5 - 1	م ³ /طن		الماء إلى النفايات
				30 - 5	غرام/طن		انبعاث الغبار
				--	غرام/طن		انبعاث المونومر إلى الهواء
				100 - 40	غرام/طن		انبعاث المركبات العضوية المتطايرة ¹⁰

				--	غرام/طن	انبعاث المونومر إلى الماء
				--	غرام/طن	انبعاث الأكسجين الممتص كيميائياً
				--	كيلو غرام/طن	نفايات خاملة
				7 >	كيلو غرام/طن	النفايات الخطرة

المصدر: EU IPPC BREF (2006)

ملاحظات: (1) تبعاً لنوع المونومر المساهم (رباعي أو ثنائي الكربون)؛ (2) المتوسط الأوروبي؛ (3) لا يشمل تصريف مياه التبريد؛ (4) 60 في المائة بنتان؛ لا يشمل التخزين؛ (5) متوسط أفضل 25 في المائة؛ (6) غبار بولي كلوريد الفينيل؛ (7) بعد الإنصال، قبل معالجة المياه المستعملة؛ (8) بعد المعالجة النهائية للمياه المستعملة؛ (9) قيمة وسيطة؛ (10) شاملة الانبعاثات المنتشرة؛ (11) الطاقة المباشرة هي الاستهلاك الكلي للطاقة كما يتم تلقيها؛ (12) الطاقة الأولية هي الطاقة المحسوبة في مصدر الوقود الأحفوري قبل تحويله. تم استخدام الإمكانات التالية لحساب الطاقة الأولية: الكهرباء: 40 % والبخار: 90 %؛ (13) قيم الصناعة للممارسة الجيدة؛ (14) يمكن اعتبار قيم البوليبيروبيلين المنتظم مكافئة بصورة أو بأخرى؛ (15) قبل معالجة المياه المستعملة؛ (16) عملية تواصلية (مستمرة)؛ (17) نفايات صلبة تحتوي على < 1000 جزء في المليون مونومر كلوريد الفينيل؛ (18) باستخدام الأكسدة الحفزية (المصادر النقطية فقط)؛ (19) عملية حمض التيريفثاليك إضافة إلى تكثيف لاحق مستمر؛ (20) استناداً إلى مفاعل أنبوبي

2.2 أداء الصحة والسلامة المهنية

إرشادات الصحة والسلامة المهنية

يجب تقييم أداء الصحة والسلامة المهنية بالمقارنة مع إرشادات التعرض المنشورة دولياً، والتي تشمل على سبيل المثال، قيمة الحد الأقصى المقبول للتعرض (TLV®) وإرشادات التعرض المهني ومؤشرات التعرض البيولوجي (BEIs®) المنشورة من قبل المؤتمر الأمريكي لخبراء الصحة المهنية الحكوميين (ACGIH) ³⁰ ، ودليل الجيب للمخاطر الكيميائية المنشورة من قبل المعهد الوطني الأمريكي للصحة والسلامة المهنية (NIOSH) ³¹ ، وحدود التعرض المسموح بها (PELs) المنشورة من قبل الإدارة الأمريكية للصحة والسلامة المهنية (OSHA) ³² ، والقيم الإرشادية لحدود التعرض المهني المنشورة من قبل الدول الأعضاء في الاتحاد الأوروبي ³³ ، أو ما يشابهها من مصادر.

معدلات الحوادث والوفيات

يجب أن تحاول المشروعات تقليل عدد الحوادث التي يتعرض لها العاملون (العاملين المباشرين أو عمال مقاولي الباطن) إلى حد العدم، خاصة الحوادث التي من شأنها أن تؤدي إلى ضياع وقت العمل، أو مختلف درجات الإعاقة، أو حتى الوفيات. ويجب إجراء مقارنة معيارية بين المعدلات السائدة في المرفق وبين أداء المرافق الأخرى في هذا القطاع في البلدان المتقدمة من خلال الرجوع إلى المصادر المنشورة (مثل مكتب إحصاءات العمل الأمريكي وإدارة الصحة والسلامة بالملكة المتحدة) ³⁴ .

رصد الصحة والسلامة المهنية

يجب رصد بيئة العمل بحثاً عن الأخطار المهنية ذات الصلة بالمشروع المحدد. وينبغي تصميم الرصد والقيام به على أيدي متخصصين معتمدين ³⁵ كجزء من برنامج رصد الصحة والسلامة المهنية. كما يجب على المرافق الاحتفاظ بسجلات عن الحوادث والأمراض المهنية والأحداث والحوادث الخطرة.

³⁰ متاح على الموقعين التاليين:

<http://www.acgih.org/TLV/>
<http://www.acgih.org/store/>

³¹ متاح على الموقع التالي:

<http://www.cdc.gov/niosh/npg/>

³² متاح على الموقع التالي:

http://www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.show_document?p_table=STANDARDS&p_id=9992

³³ متاح على الموقع التالي:

http://europe.osha.eu.int/good_practice/risks/ds/oel/

³⁴ متاح على الموقعين التاليين:

<http://www.bls.gov/iif/>

<http://www.hse.gov.uk/statistics/index.htm>

³⁵ يمكن أن يشمل المهنيون المعتمدون أخصائيي الصحة الصناعية المعتمدين، أو أخصائيي الصحة المهنية المسجلين، أو أخصائيي السلامة المعتمدين أو من يكافئونهم.

وتتوفر إرشادات إضافية عن برامج رصد الصحة والسلامة
المهنية في الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة.

3.0 ثبت المراجع والمصادر الإضافية

Directive 2000/76/EC of the European Parliament and of the Council of 4 December 2000 on the incineration of waste

European Commission. 2006. Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) Reference Document on Best Available Techniques for Polymers. October 2006. Sevilla, Spain

European Council of Vinyl Manufacturers (ECVM). 1994. Industry Charter for the Production of VCM and PVC (Suspension Process). Brussels, Belgium

European Council of Vinyl Manufacturers (ECVM). 1998. Industry Charter for the Production of Emulsion PVC. Brussels, Belgium

EU Council Directive 96/82/EC, so-called Seveso II Directive, extended by the Directive 2003/105/EC

German Federal Government. 2002. First General Administrative Regulation Pertaining to the Federal Emission Control Act (Technical Instructions on Air Quality Control – TA Luft). Berlin, Germany.

German Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety. 2004. Promulgation of the New Version of the Ordinance on Requirements for the Discharge of Waste Water into Waters (Waste Water Ordinance - AbwV) of 17. June 2004. Berlin, Germany.

Intercompany Committee for the Safety and Handling of Acrylic Monomers, ICSHAM. 2002. Acrylate Esters – A Summary of Safety and Handling, 3rd Edition, 2002

Intercompany Committee for the Safety and Handling of Acrylic Monomers, ICSHAM. 2002 Acrylic acid - A summary of safety and handling, 3rd Edition, 2002
IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans

Kirk-Othmer, R.E. 2006. Encyclopedia of Chemical Technology. 5th Edition. John Wiley and Sons Ltd., New York, NY.

Organic Peroxide Producers Safety Division of the Society of the Plastics Industry. 1999. Safety and Handling of Organic Peroxides. Publication # AS-109. Washington, DC

National Fire Protection Association (NFPA). Standard 430, Code for the Storage of Liquid and Solid Oxidizers. 2004 Edition. Quincy, MA.

NFPA. Standard 432, Code for the Storage of Organic Peroxide Formulations. 2002 Edition. Quincy, MA.

NFPA Standard 654: Standard for the Prevention of Fire and Dust Explosions from the Manufacturing, Processing, and Handling of Combustible Particulate Solids

OECD, Guiding Principles for Chemical Accident Prevention, Preparedness and Response, Second Edition, 2003

Oslo and Paris Commission (OSPAR). 2006. Recommendation 2000/3 for Emission and Discharge Limit Values for E-PVC, as amended by OSPAR Recommendation 2006/1. Oslo, Norway and Paris, France.

Oslo and Paris Commission (OSPAR). 1999. Recommendation 99/1 on BAT for the Manufacture of Emulsion PVC (e-PVC). Oslo, Norway and Paris, France.

Oslo and Paris Commission (OSPAR). 1998. Decision 98/5 for Emission and Discharge Limit Values for the Vinyl Chloride Sector, Applying to the Manufacture of Suspension PVC (S-PVC) from Vinyl Chloride Monomer (VCM). Oslo, Norway and Paris, France.

UN Recommendations on the Transport of Dangerous Goods. Model Regulations. Thirteenth revised edition, 2003.

US EPA. 2000. 40 CFR Part 63 National Emission Standards for Hazardous Air Pollutants for Amino/ Phenolic Resins Production. Washington, DC

US EPA. 1996. 40 CFR Parts 9 and 63 National Emission Standards for Hazardous Air Pollutant Emissions: Group IV Polymers and Resins. Washington, DC

US EPA. 40 CFR Part 63 — National emission standards for hazardous air pollutants, Subpart F—National Emission Standard for Vinyl Chloride. Washington, DC

US EPA 40 CFR Part 60 — Standards of performance for new stationary sources, Subpart DDD — Standards of Performance for Volatile Organic Compound (VOC) Emissions from the Polymer Manufacturing Industry. Washington, DC

الملحق (أ): الوصف العام لأنشطة الصناعة

البولىميرات

تصنف البولىميرات بصفة عامة وفقاً لخصائصها الفيزيائية عند درجة حرارة الخدمة إلى ما يلي:

- راتنجيات: صلبة، تتميز بمعامل يونغ مرتفع³⁶ واستطالة منخفضة قبل الإخفاق³⁷؛
 - مطاط (أو مطاط صناعي)، يتميز بمعامل يونغ منخفض واستطالة عالية حتى الإخفاق.
- وتصنف أيضاً وفقاً لأنواع تقنيات التصنيع المستخدمة، إلى ما يلي:

- اللدائن الحرارية أو الثرموبلاست: تلين وتنصهر عند تسخينها بصورة قابلة للانعكاس (تتصلب عند تبريدها). يتم تصنيعها بالقولبة أو البثق، أو بالدهان أو التغميس، مخففة في محاليل أو في مستحلبات، كما هو الحال في الدهانات واللاصق؛ يمكن إعادة تدويرها بسهولة، وإن كان ذلك يؤدي إلى فقدان في خصائصها؛
- المتصلبات بالحرارة: بعد تصلبها، تصبح صلبة على نحو دائم وتحتل عند تسخينها إلى درجات حرارة مرتفعة. لا يمكن إعادة تدويرها بعد الاستخدام. وتعتبر المواد المتصلبة بالحرارة، أكثر ثباتاً في أبعادها، وأكثر قابلية للانكسار مقارنة باللدائن الحرارية.

مراحل تصنيع البولىميرات

تنقية المونومر والمذيب

تحتاج تفاعلات البلمرة إلى مواد أولية وكيميائية عالية النقاوة، نظراً لتأثير الشوائب على المحفز أو تأثيرها السلبي على خصائص المنتج مثل التغير في البنية وتقلص طول السلسلة.

عمليات البلمرة

تختلف عمليات البلمرة حسب خصائص المونومرات والبولىميرات وآليات بلمرتها. وتنقسم مفاعلات البلمرة إلى تواصلية وغير تواصلية (دفعية). وبصفة عامة، يتم اختيار البلمرة الدفعية عندما تكون طاقة الإنتاج صغيرة و/أو نطاق المنتجات واسعاً، مما يؤدي إلى تغييرات متكررة في مدد التشغيل. أما البلمرة التواصلية فتختار عند الإنتاج بحجم كبير لعدد صغير من أصناف البولىمير.

تعد المفاعلات الدفعية في العادة من نوع المفاعلات الصهرجية المقلمة، مجهزة للتبادل الحراري (ملفات داخلية، وغلاف، ومكثفات إرجاع) وفقاً لاحتياجات العملية؛ ويتم تحسين التقليل وفقاً لاحتياجات العملية. تصمم المفاعلات التواصلية بناء على متطلبات العملية ولذا فقد تختلف أنواعها اختلافاً شديداً. يمكن تصنيف العمليات بدلالة وسائط البلمرة، كما يلي:

- بلمرة المحلول: تطبق على المونومرات والبولىميرات الذوابة في المذيبات العضوية أو الماء؛ تستخدم في تصنيع البولي إيثيلين عالي الكثافة، والبولي إيثيلين الخطي منخفض الكثافة، والعديد من بولىميرات الأكريليك لأسواق الدهان والمواد اللاصقة، وعمليات بلمرة النمو التدريجي، الخ.
- بلمرة المعلق: تطبق على المونومرات غير القابلة للذوبان، والبولىميرات، والبادئات، أو المحفزات؛ تستخدم في تصنيع

³⁶ قياس لتصلب مادة ما. تعرف بالنسبة، للانفعالات الصغيرة، بين معدل تغير الإجهاد مع الانفعال
³⁷ قياس لقابلية المط في المواد، وهو مقدار الانفعال الذي يمكن أن تخضع له المادة قبل الانهيار في اختبارات الشد.

ذاته ويتم الإبقاء عليه معلقاً ("ردغة") عن طريق التقليل أو نتيجة اضطراب التدفق. تتم استعادة البولىمر عن طريق الترقيد (جهاز ترسيب أو نابذة ترقيد). يمكن إعادة تدوير محلول المونومر مباشرة إلى المفاعل. ولا يمكن عملياً إجراء بلمرة دفعية أو تواصلية. وتشمل المنتجات النموذجية التي يتم الحصول عليها بلمرة الردغة البولى (متعدد) أوليفينات (بولى إيثيلين عالي الكثافة، والبولىبروبيلين المنتظم)؛

- بلمرة الطور الغازي: تتم عملية بلمرة الطور الغازي في مفاعل بقاعدة مميعة، حيث يضاف المحفز على هيئة غبار ناعم وتتم البلمرة إلى جزيئات بولىمر متزايدة، مميعة من تدفق المونومر إلى أعلى. كما تستخدم المفاعلات المقلبة لهذا الغرض أيضاً. وتشمل المنتجات النموذجية التي يتم الحصول عليها بلمرة الطور الغازي البولى أوليفينات (بولى إيثيلين عالي الكثافة، والبولىبروبيلين المنتظم)؛

استعادة البولىمر

بعد البلمرة، يجب إتلاف المحفزات أو المواد البادئة للتفاعل وفصل البولىمر من المونومر المتبقي ووسط البلمرة. وكثيراً ما تدمج تلك العمليات مع عمليات الإنهاء والتشطيب. يعد التبخير الومضي، والإنصال بالبخر، والإنصال الرطب بالنيتروجين أكثر عمليات الوحدات شيوعاً لاسترداد المونومر والمذيب الذي لم يدخل في التفاعل.

الإنهاء والتشطيب

يشمل إنهاء وتشطيب البولىمرات وضع الإضافات، والتجفيف، والبق، والتحبيب، والتعبئة والتغليف. وتشمل إضافات المنتج المستخدمة في العادة مضادات أكسدة، ومواد ممتصة للأشعة فوق البنفسجية، وزيوت التمديد (extension oils)، وأنواعاً متعددة من المثبتات والأصباغ.

بولى كلوريد الفينيل والبولىستيرين القابل للمط. يعلق المونومر في المذيب على هيئة قطرات صغيرة (يمكن تسهيل تلك العملية بالتقليل وإضافة مادة غروانية)، ويذاب البادئ، أو المحفز، في المونومر.

- بلمرة المستحلب: يتم استحلاب المونومرات، غير القابلة للذوبان أو قليلة الذوبان في الماء، بالصابون أو أية مواد أخرى خافضة للتوتر السطحي في هيئة قطرات، وتذاب جزئياً في المذيبات بواسطة الصابون الزائد. يبدأ البادئ القابل للذوبان في الماء عملية البلمرة في المذيبات، التي تنمو لتصبح جزيئات من البولىمر. ثم يتم تلقيم المونومرات والمتفاعلات الأخرى، إضافة إلى الشقوق الجديدة، لجزيئات البولىمر بواسطة الانتشار في الماء. ويكون المنتج النهائي من المفاعل عبارة عن تبعثر مستقر للبولىمر في الماء (اللي). تستخدم بلمرة المستحلب المقلوب (الماء في الزيت) للمونومرات القابلة للذوبان في الماء. تضم المنتجات النموذجية التي يتم الحصول عليها عن طريق بلمرة المستحلب الأكريلونتريل بوتادين سبترين، وبولى كلوريد الفينيل مستحلب، وأسيئات البولىفينيل، ولثيات الأكريليك؛

- بلمرة الكتلة (أو الجملة): تتم بلمرة المونومر مباشرة، بعد إضافة البادئ أو المحفز أو بتأثير الحرارة أو الضوء. وتشمل المنتجات النموذجية التي يحصل عليها من خلال بلمرة الكتلة البولى إيثيلين منخفض الكثافة، والبولىستيرين متعدد الأغراض، والبولىستيرين المقاوم للصدمات (شديد التحمل)، والبولىبروبيلين المنتظم، وألوح بولى (عديد) ميثاكريلات الميثيل، والنايلون، وتيريفثاللات البولى إيثيلين؛
- بلمرة الردغة: حيث يكون البولىمر غير قابل للذوبان في وسط التفاعل، نظراً لخصائصه البلورية. يترسب البولىمر من محلول المونومر في المذيب أو من المونومر

أوكتين) بواسطة تفاعل زيغلر-ناتا، أو - مؤخرًا - بواسطة التحفيز بالميتالوسين، باتباع نفس العمليات تقريباً بل وربما في نفس وحدات التصنيع في العديد من الحالات. تشمل العمليات المستخدمة ما يلي:

- بلمرة الطور الغازي: يتم استخدام مفاعلات كبيرة (< 500 م³) بقاعدة مميعة، تعمل تحت ضغط مرتفع نسبياً (20 - 30 بار)، مع إعادة تدوير مرتفعة للإيثيلين في مبرد للغاز، لإزالة حرارة البلمرة. ويمكن استخدام مفاعل واحد أو اثنين على التوالي.
- عملية الردغة: يمكن إنتاج البولي إيثيلين عالي الكثافة في مفاعلات ردغة تواصلية (مفاعل واحد أو أكثر على التوالي، في بعض الحالات (BORSTAR) مقرونة بمفاعلات للطور الغازي)، مع استخدام الأيزوبيوتان كمذيب في المفاعلات الحلقية الأنبوبية والهكسان أو الهبتان في مفاعلات صهرجية تواصلية مقلبة.
- عملية المحلول: في مفاعل المحلول، تتم إذابة البولىمير في نظام مذيب/مونومر مساهم. ويتم عادة ضبط محتوى البولىمير في مفاعل المحلول فيما بين 10 إلى 30 بالوزن-%. ويتم ضبط ضغط المفاعل ما بين 30 و200 بار، بينما يتم الحفاظ على درجة حرارته عادة ما بين 150 و250 درجة مئوية. كما يستخدم عادة هيدروكربون في نطاق الكربون السداسي والتساعي كمذيب
- عملية الضغط العالي: يمكن إنتاج كل من البولي إيثيلين الخطي منخفض الكثافة، البولي إيثيلين منخفض الكثافة بشكل كبير والبولي إيثيلين منخفض الكثافة بشكل فائق المستند إلى البلمرة الإسهامية لبيوتين-1 صناعياً بواسطة محفزات زيغلر-ناتا من خلال عملية مرتفعة الضغط، وأنبوبية ووعائية."

ويتم إنتاج البولىميرات عادة للبيع في صورة مسحوق (مثل بولي كلوريد الفينيل)، وحببيات (مثل بولي إيثيلين عالي الكثافة، والبولىسترين القابل للمط)، أو كريات (مثل البولي أوليفينات، البولىسترين، وتيريفثاللات البولي إيثيلين، والبولىاميد، وبولي (متعدد) ميثاكريلات الميثيل، أو ألواح (مثل بولي (متعدد) ميثاكريلات الميثيل)، أو مستحلبات أو محاليل سائلة.

عمليات ومنتجات محددة

اللدائن الحرارية

البولي إيثيلين

يتم إنتاج ثلاثة أنواع رئيسية من البولي إيثيلين: بولي إيثيلين منخفض الكثافة، وبولي إيثيلين عالي الكثافة، والبولي إيثيلين الخطي منخفض الكثافة.

ينتج البولي إيثيلين منخفض الكثافة في عملية تواصلية عالية الضغط: يتم ضغط الإيثيلين حتى 3000 بار (مفاعل أنبوبي) أو 2000 بار (مفاعل وعائي)، ثم يلقم في المفاعل، حيث يتم حقن أكسجين أو بيروكسيد عضوي لبدء بلمر الشقوق عند 140 – 180 °مئوية. وتعد درجة حرارة التفاعل مرتفعة، حيث تصل ذروتها إلى ما يزيد على 300 °مئوية. يتم تصريف مزيج الإيثيلين والبولىمير بصفة مستمرة إلى جهاز فصل عالي الضغط (250 بار)، حيث يترسب البولىمير، وتتم استعادة غالبية الإيثيلين غير الداخل في التفاعل، وإعادة ضغطه، وإعادة تدويره إلى المفاعل. ثم يتم تلقىم البولىمير في جهاز فصل منخفض الضغط، حيث يستكمل إزالة الغاز. يتم إنهاء البولي إيثيلين المصهور بالثق والتحبیب.

يتم إنتاج البولي إيثيلين عالي الكثافة والبولي إيثيلين الخطي منخفض الكثافة (البولي إيثيلين الخطي منخفض الكثافة، وبولىميرات خطية مساهمة مع 1-بيوتين، 1-هكسين أو 1-

البولي (متعدد) بروبيلين

يتم تطبيق نوعين مختلفين من العمليات في إنتاج البولي بروبيلين:

- عملية الطور الغازي عند 70 – 90 ° مئوية، 20 – 40 بار. يتم استخدام المفاعلات ذات القاعدة المميعة، إضافة إلى المفاعلات الوعائية المقلبة، الرأسية والأفقية.
- تعرف عملية الرديغة في المونومر السائل عند 60 – 80 ° مئوية، 20 – 50 بار، باسم عملية "الكتلة" أو الطور "السائل". يتم استخدام مفاعل حلقي أنبوبي.

يستخدم مفاعل واحد أو أكثر على التوالي لإنتاج مجموعة

واسعة من البولىميرات، تشمل البوليبروبيلين المنتظم المقسى³⁸، يحتوي على بولىميرات مساهمة والإيثيلين. يمكن الجمع بين المفاعلين لتحقيق تحسين أفضل للعملية (مثل عملية Spheripol®).

بولي كلوريد الفينيل

ينتج بولي كلوريد الفينيل عن طريق بلمرة مونومر كلوريد الفينيل. ويمكن استخدام ثلاث عمليات مختلفة لتصنيع بولي كلوريد الفينيل:

- عملية المعلق؛
- عملية المستحلب؛ و
- عملية الجملة (الكتلة)

ينتج بولي كلوريد الفينيل المعلق على دفعات في مفاعلات صهرية مقلبة. تتم بعثرة أو نشر المونومر في الماء منزوع

³⁸ يشير تعبير البولىميرات المنتظمة إلى تلك البولىميرات المكونة من مونومرات متفرعة تتميز بوجود جميع مجموعات الفروع على نفس الناحية من السلسلة البلمرية.

المعادن عن طريق الجمع بين التقليل الميكانيكي، والمواد الغروانية والخافضة للتوتر السطحي. وتحدث البلمرة داخل قطرات مونومر كلوريد الفينيل تحت تأثير المواد البادئة القابلة للذوبان في مونومر كلوريد الفينيل. يعدها ينزع الغاز من معلق بولي كلوريد الفينيل لإزالة كتلة مونومر كلوريد الفينيل الذي لم يتم تحويله، ثم يلغم إلى برج إنصال البخار، حيث تزال أية آثار لمونومر كلوريد الفينيل الذي لم يتم تحويله. يتم إرسال المنتج عقب ذلك إلى نظام طرد مركزي / شطف لإزالة الشوائب وإزالة الماء، ثم إلى جهاز تجفيف في نهاية الأمر. يمكن عندئذ غرلة البولىمير الجاف وطحنه، حسب الحاجة. وتتمثل آخر خطوة في تعبئته أو تخزينه في صوامع لشحنه سائلاً.

في عمليات المستحلب، يتم إنتاج لثي بولي كلوريد الفينيل. يتم تصنيع بولي كلوريد الفينيل المستحلب بواسطة ثلاث عمليات بلمرة: مستحلب دفعي، ومستحلب تواصل، وتعليق دقيق. تتم بعثرة مونومر كلوريد الفينيل باستخدام مُستحلب، كأكليل الصوديوم أو سلفونات الأريل أو كبريتات الأكليل في العادة. تحدث البلمرة عند السطح البيني بين مونومر كلوريد الفينيل والماء باستخدام المواد البادئة، مثل بيروكسيدسلفات معدني قلوي. يزال مونومر كلوريد الفينيل المتبقي عن طريق إنصال اللثي. يجفف اللثي عادة في مجفف رذاذ، وتعد العوادم الناشئة عنه نقطة حرجة لانبعاثات مونومر كلوريد الفينيل في الهواء الجوي.

البولىستيرين

يتم إنتاج ثلاثة أنواع مختلفة من البولىستيرين: بولىمير شفاف وقابل للكسر يدعى بولىستيرين متعدد الأغراض، ونوع من البولىستيرين أبيض، غير لامع، متين نسبياً، ومعدل بالمطاط

الأكريلات

تمثل بولىميرات الأكريليك فئة واسعة من البولىميرات التي تنتج ببلمرة الشق الحر لمونومرات الأكريليك (حمض الأكريليك ومشتقاته) وعن طريق بلمرتها الإسهامية مع مونومرات الفينيل الأخرى (أستات الفينيل أو الستيرين). ومونومرات الأكريليك الرئيسية هي حمض الأكريليك ذاته، والأكريلاميد، ومجموعة واسعة من إسترات الأكريليك، مثل أكريلات الميثيل إلى إسترات الكحول الدهنية. تبلمر المونومرات القابلة للذوبان في الماء، مثل حمض الأكريليك والأكريلاميد، عن طريق البلمرة في محلول مائي أو بلمرة المستحلب المقلوب. وتنتج بولىميرات إسترات الأكريليك وبولىميرات المساهمة في مستحلب أو محلول، تبعاً لاستخدامها النهائي.

تعد بلمرة المستحلب أكثر التقنيات انتشاراً. المذيبات المستخدمة في بلمرة المحلول هي الكحولات، والإسترات، والهيدروكربونات المكلورة، والعطريات، بحسب خصائص قابلية الذوبان (الذوبانية) للبولىمير. أما البادئات فهي البيروكسيدات العضوية وغير العضوية. وتجرى البلمرة عادة على دفعات، في مفاعلات صهرجية مقبلة، مجهزة بأنظمة تبادل حراري بخارية/مائية.

تيريفثالالات البولي إيثيلين

يتم إنتاج تيريفثالالات البولي إيثيلين بواسطة التكثيف المتعدد لحمض التيريفثاليك أو إستر الحمض ثنائي الميثيل (تيريفثالالات ثنائي الميثيل)، مع غليكول الإيثيلين. يجري التفاعل على خطوتين، تؤدي الخطوة الأولى إلى تكون بولىمير وسطي ذي وزن جزيئي منخفض نسبياً (بولىمير خام)، وتؤدي الثانية إلى تكون البولىمير النهائي ذي الوزن الجزيئي المرتفع. وقد استبدل بعملية تيريفثالالات ثنائي الميثيل استخدام حمض التيريفثاليك كمسار صناعي مفضل لإنتاج البولىستر.

يدعى بولىستيرين مقاوم للصدمات (شديد التحمل)، والبولىستيرين القابل للمط.

ينتج كل من البولىستيرين متعدد الأغراض والبولىستيرين المقاوم للصدمات ببلمرة الكتلة التوافقية حيث تتم بلمرة المونومر عن طريق بلمرة الشقوق، باستخدام الحرارة كبادئ، في وجود أو عدم وجود بيروكسيد عضوي. ويتمثل الفارق الرئيسي في أنه يضاف في تصنيع البولىستيرين المقاوم للصدمات بولي بيوتاديين متوسط أو عالي الاقتران مذاب في بولىستيرين لتحسين متانة البولىمير.

قد تتضمن العملية إضافة مذيب، بادئ (اختيارياً)، وعوامل نقل السلاسل في المفاعلات تحت ظروف محددة بدقة. ويعمل الستيرين ذاته كمذيب في التفاعل، إلا أنه يمكن إضافة ما يصل إلى 10 في المائة من الإيثيل بنزين لضمان التحكم في التفاعل بشكل أفضل.

لإزالة المونومر الذي لم يتم تحويله والمذيبات، يسخن المنتج الخام إلى 220 - 260 درجة مئوية تقريباً، ويمرر عبر فراغ مفرط. وتدعى تلك العملية الإزالة التدريجية للمواد المتطايرة. يمكن إضافة الحقن بالماء (الإنصال البخار) لتحسين إزالة المونومر. يكثف الستيرين والإيثيل بنزين الذي لم يدخل في التفاعل ويعاد تدويرهما إلى خط التلقيم. بعدها يحبب البولىمير المنصهر (جافاً أو تحت الماء) ويجفف للتخزين والتعبئة.

تنتج كريات البولىستيرين القابلة للتمدد بواسطة عملية بلمرة المعلق للستيرين، في وجود بيروكسيدات عضوية كمادئة للتفاعل مع إضافة البناتن باعتباره عامل نفخ. يتم فصل الكريات بالطرد المركزي، وغسلها، ثم تجفيفها من أجل تعبئتها.

المتصلبات بالحرارة

تشمل عمليات تصنيع البولىميرات المتصلبة بالحرارة تراط كيمائي مختلط (تشبيك) لبنيتها الجزيئية، مما يؤدي إلى إنتاج مادة لا تنصهر، ولكنها تتحلل بالحرارة. يتم تحويل المادة الصلبة أو السائلة الوسيطة إلى المنتج النهائي في الموقع الخاص بالعمل عن طريق التصليب بمواد مصلبة أو محفزة.

الفينولات

تعد الراتنجات الفينولية إحدى عائلات البولىميرات والأوليغومرات، تستند إلى منتجات التفاعل الخاصة بالفينولات مع الفورمالدهايد. تشمل المواد الخام الأخرى الأمينات (هكساميثيل رباعي الأمين [HEXA]). يمكن تصنيف الراتنجات الفينولية إلى ما يلي:

- النوفولاكات (بولىميرات صلبة بمساعدة محفزات حمضية)؛
 - نوفولاكات عالية الوضع أورثو (بولىميرات سريعة التصلب بمساعدة المحفزات المتعادلة)؛
 - ريزولات (نسبة مولالية مرتفعة للفورمالدهايد إلى الفينول)، سوانل أو جوامد، عن طريق التحفيز القلوي).
- تنتج الراتنجات الفينولية من خلال عمليات دفعية في مفاعلات صهرجية مقلبة.

بولى أسترات غير مشبعة

البولىسترات غير المشبعة هو الاسم العام لمجموعة متنوعة من المنتجات المتصلبة بالحرارة، يتم تحضيرها بصورة أساسية عن طريق التكثيف المتعدد للأنهيدريد أو الحمض ثنائي القاعدة (مثل أنهيدريد مَالِيك، وحمض الفيوماريك، وأنهيدريد الفثاليك، وحمض الأورثوفثاليك، وحمض الأيزوفثاليك، وحمض

يمكن إجراء بلمرة الطور الصلب بشكل تواصل، في تصميمات متنوعة من المفاعلات، وفي وجود تدفق للنيتروجين الساخن للتبادل الحراري مع إزالة نواتج التفاعل المتطايرة، أو على دفعات في خلاط/مجفف للمواد الصلبة تحت التفريغ الهوائي.

البولى أميدات (الأليفاتية)

تتميز البولى أميدات ببنية كبيرة الجزيئات، تشكل فيها مجموعة الأميد (-NH-CO-) الوحدة الوظيفية المتكررة التي تعطي الخصائص الكيميائية المحددة للمنتجات النهائية. وتعد البولى أميدات الخطية، التي تعرف على نطاق واسع باسم النايلون، على اسم العلامة التجارية الأصلية لشركة DuPont، أكثر الفئات شيوعاً في تلك العائلة. وتعد عائلة البولى أميدات عائلة كبيرة، يتراوح فيها عدد ذرات الكربون في المونومرات من 4 إلى 12.

على سبيل المثال المونومر في البولى أميد 6 هو ايبسيلون كابرولاكتام، الذي يتبلر بعملية بلمرة النمو التدريجي. وتعد المادة الأولية الرئيسية لإنتاج البولى أميد 66 محلولاً مائياً للملح المعدني (يدعى ملح هكساميثيلين ديامين شحمي، وملح 66، أو ملح النايلون) الذي يتم الحصول عليه بتفاعل 1،6 - هكساميثيلين ديامين و1،6- حمض هكسان ديكربوكسيليك (الحمض الشحمي).

ويتم إنتاج البولى أميدات عن طريق كل من البلمرة الدفعية والتواصلية. بعد البلمرة، يتم بثق البولىمر المنصهر وتقطيعه، لإنتاج رقائق. وتسمح مرحلة استخلاص بواسطة الماء الساخن بإزالة الأوليغومرات والمونومرات المتبقية، يتبعها مرحلة تجفيف. ولإعادة استخدام الأوليغومرات والمونومرات، يجب المرور بمرحلة معالجة نفايات استخلاصية.

يتم إنتاج الدهانات الألكيدية باستخدام عمليتين: عملية الحمض الدهني وعملية التحليل الكحولي أو الغلريد. في كلتا الحالتين يكون المنتج الناتج راتنج بوليستر ترتبط به مجموعات زيت تجفيف. وفي نهاية كلتا العمليتين تتم تنقية الراتنج وتخفيفه في مذيب.

البولى يوريشانات

تنتج صناعة البتروكيماويات المواد الأولية الرئيسية للبولى يوريشان؛ وتدمج البلمرة في عملية تصنيع الأصناف النهائية. تقوم شركات الخلط والتركيب المسماة "مؤسسات الأنظمة" بإعداد وبيع الأنظمة المصنعة خصيصاً للمستخدمين النهائيين.

ويحدث التفاعل الرئيسي المنتج للبولى يوريشان بين ثنائي الأيزوسيانات (سواء العطرية أو الأليفاتية) والبولىول (مثل غليكول البولى إيثيلين أو بولىول البوليستر)، في وجود محفزات، وأصباغ، ومواد حشو، ومواد للتحكم في بنية الخلية، وعوامل رغوية، ومواد خافضة للتوتر السطحي في حالة تكوين الرغوات.

التيريفثاليك) مع ديول (مثل غليكول الإيثيلين، وغليكول ثنائي الإيثيلين، وغليكول بروبيلين، وبيوتانديول، وهكسانديول، وغليكول ثنائي البروبيلين، وغليكول النيوبنتيل، وثنائي سيكلوبنتاديين). تذاب منتجات التكثف تلك في مونومر تفاعلي، عبارة عن ستيرين في العادة، ولكن يستخدم أيضاً ميثاكريلات الميثيل، وأسيئات ثلاثي البيوتيل أو فتالات ثنائي الأليل. عندما يقوم العميل بتصليب ذلك الخليط، تتكون شبكة ثلاثية الأبعاد. ويستخدم في عملية التصنيع العديد من المواد المصلبة، والمعلقة للتفاعل، والمثبطة، والإضافات، ومواد الحشو.

ويتألف الجزء الأساسي من وحدة تصنيع الراتنج من عدد من المفاعلات الدفعية، وتضم كذلك صهاريج للتخزين، وتوزيع جرعات المواد الأولية، والخلط لإنهاء المنتجات، ومجهزة بأنظمة تبادل حراري وأعمدة تقطير، ونيتروجين، وتفرغ هوائي.

الألكيدات

تعد الدهانات الألكيدية إحدى فئات دهانات البوليستر المشتقة من تفاعل بين كحول وحمض أو أنهيدريد حمض، كما تعد الراتنج الساند أو "المادة اللاصقة" في الدهانات "الزيتية". تصنع الدهانات الألكيدية عادة من أنهيدريدات الأحماض (مثل أنهيدريد الفثاليك أو أنهيدريد الماليك) والبولىولات (مثل الغلرين، وخماسي الإيريثريثول). ويجري تحويلها بأحماض دهنية غير مشبعة (من زيوت نباتية) لمنحها خصائص الجفاف في الهواء. وتتوقف سرعة جفاف الدهانات على كمية ونوع زيت التجفيف المستخدم، واستخدام الأملاح المعدنية العضوية أو "المجففات" التي تسرع الترابط المختلط. وتصنف الراتنجات الألكيدية وفقاً لمحتواها من زيت التجفيف إلى "زيت طويل"، "زيت متوسط"، و"زيت قصير".