

## إرشادات بشأن البيئة والصحة والسلامة الخاصة بتصنيع الزجاج

### 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.

وحيث 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 الملائمة – 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).<sup>1</sup> 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 المُعدّة، 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>

<sup>1</sup> 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

- المياه المستعملة
- النفايات الصلبة

### الانبعاثات الهوائية

يتطلب نشاط تصنيع الزجاج درجات حرارة عالية، ويستهلك كميات كبيرة من الطاقة، وهو الأمر الذي ينتج عنه انبعاث المنتجات الثانوية للاحتراق (ثاني أكسيد الكبريت، وثاني أكسيد الكربون، وأكاسيد النيتروجين) وأكسدة النيتروجين الجوي بدرجات الحرارة العالية. وتحتوي انبعاثات الأفران أيضاً على مواد جسيمية وقد تحتوي على مستويات منخفضة من المعادن. وتسهم أفران الصهر بنسبة تتراوح بين 80 و90 في المائة من إجمالي ما تخرجه منشآت إنتاج الزجاج من انبعاثات ملوثة في الهواء. وترتبط الانبعاثات التي تنشأ عن مرحلتي التشكيل والتشطيب بالأنواع المختلفة لعمليات إنتاج الزجاج. وتنشأ معظم الانبعاثات عن ماكينات كبس ونفخ الحاويات نظراً لملامسة الزجاج المنصهر ("الكتلة الزجاجية") لمواد تشحيم المعدات. وينشأ أيضاً عن تصنيع الزجاج المسطح، وعمليات إنتاج الحاويات الزجاجية، وأدوات المائدة، والمشغولات الفنية الزجاجية انبعاثات ذات صلة بالاحتراق الذي يتم في عملية التلدين حيث يحتفظ بمنتج الزجاج عند درجة حرارة تتراوح بين 500 و550 درجة مئوية في إطار عملية تبريد يتم التحكم فيها داخل "الفرن العقدي" (فرن التلدين).

ويتعين على الشركات المنتجة أن تخفف من أوزان منتجاتها من الحاويات وأدوات المائدة كوسيلة فعالة لخفض الآثار البيئية وذلك بزيادة عدد المنتجات التي يمكن تصنيعها من وزن ما من الزجاج المنصهر.

### المواد الجسيمية

تعتبر الجسيمات من الملوثات التي تنبعث بشكل كبير من منشآت تصنيع الزجاج. ويتضمن عمل كافة القطاعات الفرعية

تتضمن الإرشادات بشأن البيئة والصحة والسلامة الخاصة بتصنيع الزجاج معلومات ذات صلة بمنشآت تصنيع الزجاج. ولا تتضمن هذه الوثيقة معلومات بشأن عملية استخراج المواد الخام، إذ تم تناول هذه العملية بالمعالجة في الإرشادات بشأن البيئة والصحة والسلامة الخاصة باستخراج مواد البناء. ويحتوي الملحق أ على وصف كامل لأنشطة الصناعة في هذا القطاع.

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

يعرض القسم التالي ملخصاً للقضايا ذات الصلة بالبيئة والصحة والسلامة المرتبطة بتصنيع الزجاج والتي تحدث خلال مرحلة التشغيل، هذا فضلاً عن التوصيات المتعلقة بكيفية التعامل معها. وتجدر الإشارة إلى أن التوصيات المتعلقة بالتعامل مع قضايا البيئة والصحة والسلامة المشتركة في غالبية المنشآت الصناعية الكبرى خلال مرحلة الإنشاء وإيقاف التشغيل واردة في الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة.

## 1.1 البيئة

تتضمن القضايا البيئية في قطاع تصنيع الزجاج بصورة أساسية ما يلي:

- الانبعاثات الهوائية

عند ضغط إيجابي بعض الشيء (>10 باسكال) لتحسين كفاءة الاحتراق والحد من احتمالية انبعاث الغبار؛ واستخراج الغبار باستخدام مرشحات؛ واستخدام مغذيات لولبية مقلدة ومغلقة؛ وتسييج جيب التغذية).

تتضمن المصادر الرئيسية لانبعاث المواد الجسيمية في الغلاف الجوي والتي تنشأ عن عملية الصهر مجموعة المكونات المتطايرة من الخلطة والصهر باستخدام أكاسيد الكبريت وهو الأمر الذي يؤدي إلى إنتاج مركبات تتكثف في الغازات العادمة من الفرن، ونقل المواد الدقيقة في الخلطة، واحتراق بعض أنواع الوقود الأحفوري.

وتتضمن تدابير المنع والسيطرة لخفض انبعاثات الجسيمات ما يلي:

- زيادة استخدام كسارة الزجاج؛
- تصميم وهندسة الفرن بأفضل مستوى يسمح بخفض درجة حرارته؛
- استخدام أنواع الوقود التي تتميز بانخفاض محتواها من الكبريت؛
- مراعاة أنماط إدخال المواد في الأفران، وأحجام الحبيبات، والوصول بعملية الترتيب إلى أفضل مستوى لها.

ويمكن أن يؤدي التطبيق الفعال للتدابير الرئيسية الموصوفة أعلاه بشأن السيطرة على الجسيمات إلى انخفاض تركيزات انبعاثات الجسيمات من غاز مداخن الأفران إلى أقل من 100 ملليغرام/متر مكعب عادي. إلا أن الانبعاثات غير المخففة للجسيمات تزداد مع قدم عمر الفرن إذ يتطلب تدهور البطانة الحرارية للجدران الداخلية للفرن زيادة المدخل من الطاقة، وبالتالي تزداد سرعة انبعاث منتجات الاحتراق منه.

العاملة في مجال تصنيع الزجاج استخدام مواد خام مسحوقة أو حبيبية أو ترابية. ويعتبر تخزين ومزج المواد الخام من الأنشطة المعتادة في جميع القطاعات الفرعية العاملة في مجال صناعة الزجاج. وهكذا تأتي انبعاثات الغبار كنتيجة متوقعة لنقل وتداول وتخزين ومزج المواد الخام. وعادة ما يكون الغبار الناتج عن هذه العمليات أخشن من تلك الجسيمات التي تقل أحجامها عن 1 ميكرون المنبعثة من العمليات الساخنة، غير أن الجسيمات الصغيرة تتكثف مع بعضها البعض على نحو سريع وتشكل جزيئات أكبر. وبينما يعتبر الغبار المنبعث من عمليات التداول غالباً أحد قضايا الصحة والسلامة المهنية، تعتبر المواد الجسيمية الناتجة عن العمليات الساخنة في مصانع الخلط إحدى القضايا البيئية المحتملة.

تتضمن الأساليب الرئيسية للمكافحة والسيطرة الموصى بها لخفض انبعاثات الغبار والحد من التأثيرات المحتملة الناتجة عن نقل وتداول وتخزين ومزج المواد الخام ما يلي من أساليب:

- فصل مناطق التخزين ومناطق تجهيز الخلطات عن مناطق التشغيل الأخرى؛
- استخدام صوامع مغلقة لتخزين مواد الخلطات؛
- خفض كمية الجزيئات الدقيقة في الخلطة وذلك بترطيبها بالماء أو بمحاليل قلوية (على سبيل المثال، هيدروكسيد الصوديوم، أو كربونات الصوديوم) أو بإجراء تلييد مسبق لها، أو بقولبتها أو بوضعها في البثات.
- تنفيذ ممارسات التحميل والتفريغ الصحيحة؛
- نقل المواد الخام الخاصة بالخلطة إلى الأفران بواسطة ناقلات مغلقة؛
- تنفيذ ضوابط داخل منطقة تغذية الفرن (على سبيل المثال، ترطيب الخلطة؛ وهي عملية متوازنة تضمن بقاء الفرن

### أكاسيد النيتروجين

يعتبر إنتاج أكاسيد النيتروجين الحرارية الذي تحدثه درجات الحرارة العالية للأفران، وتحلل مركبات النيتروجين في مواد الخلطة، وأكسدة النيتروجين الذي يحتوي عليه الوقود المصادر الرئيسية لانبعاثات أكاسيد النيتروجين. وعادة ما تستند التعديلات التقليدية للعمليات الأساسية إلى أحد الأساليب التالية أو إلى مجموعة منها: خفض نسبة الهواء / الوقود، وإجراء الاحتراق على مراحل، واستخدام محارق مغلقة لا تنتج إلا نسبة منخفضة من أكاسيد النيتروجين، واختيار الوقود. كما يعتبر تشغيل الأفران تحت ظروف مختزلة بعض الشيء تدبيراً فعالاً إضافياً.

من الأهمية بمكان أن يتم الإقلال من إمداد الهواء اللازم للاحتراق إلى الأفران، وذلك من أجل تعزيز كفاءة الطاقة والحد من تكوّن أكاسيد النيتروجين. ويوصى بشكل عام أن تتم المحافظة على ما يتراوح بين 0.7 و 1 في المائة من الأكسجين داخل الأفران الصغيرة غير المزودة بوحدات لاسترجاع الحرارة وما يتراوح بين 1 و 2 في المائة من الأكسجين داخل الأفران ذات الفتحات الخلفية، وذلك بقياسها عند مخرج غرفة الاحتراق، كما يوصى أيضاً برصد مستوى أول أكسيد الكربون الذي ينبغي المحافظة على أن يكون مستواه منخفضاً قدر الإمكان (200 - 300 جزء في المليون إلى 1000 جزء في المليون وهو ما يعتبر الحد الأقصى لأول أكسيد الكربون).

وتتضمن التدابير الرئيسية الأخرى التي يجب مراعاتها في إجراء العمليات اختيار أسلوب الصهر بالوقود المشبع بالأكسجين (إدارة الفرن بوقود مشبع بالكامل بالأكسجين أو إدارته بوقود مشبع جزئياً بالأكسجين)، وقد تم التعرض لهذا

وتتضمن الأساليب المعنية بالمنع والسيطرة عند نهاية خط الإنتاج لخفض انبعاث الغبار تركيب مرسبات الكترولستاتية (ESP) أو مرشحات كيسية.<sup>2</sup> ويمكن أن تتراوح النسبة الإجمالية لتجميع الغبار من خلال المرسبات الإلكترولستاتية بين 95 و 99 في المائة، كما يمكن أن تصل تركيزات الانبعاثات من خلالها إلى 20 ملليغرام/ متر مكعب. إلا أن تكلفتها<sup>3</sup> تحد بشكل عام من استخدامها في منشآت تصنيع الزجاج الكبيرة نسبياً والتي لديها فرنان للصهر أو أكثر من أجل تحقيق وفورات الحجم. وقد تتباين تكلفة المرسبات الإلكترولستاتية والمرشحات الكيسية على نحو كبير للغاية وتعتمد إلى حد بعيد على الأداء المطلوب وكمية الغاز العادم. وبينما تُستخدم المرشحات الكيسية من أجل الكميات المنخفضة من الغاز العادم، أي الكميات التي عادة ما تتراوح بين 20 ألف و 30 ألف متر مكعب/ساعة من غازات المداخل، تعتبر المرسبات الإلكترولستاتية أكثر ملاءمة مع المعدلات الأعلى من انبعاثات غازات المداخل. كما تعتبر أنظمة المرشح الكيسي (يطلق عليه أيضاً باج هاوس" أو المرشح القماشي")<sup>4</sup> أيضاً أنظمة عالية الكفاءة إذ تتراوح كفاءتها التجميعية بين 95 و 99 في المائة.

<sup>2</sup> يعتبر تركيب هذه الأنواع من وحدات التخفيف أفضل أسلوب متاح كما هو محدد في تشريع الاتحاد الأوروبي.

<sup>3</sup> تتراوح التكاليف الرأسمالية (بما في ذلك غسل الغاز الحمضي) بشكل عام ما بين مليون يورو و 1.5 مليون يورو للفرن الذي تتراوح طاقته الإنتاجية ما بين 50 إلى 100 طن/يوم (سواء باستخدام مرشحات كيسية أو مرسبات إلكترولستاتية)، وما بين 2.5 مليون يورو و 3.5 مليون يورو للفرن الذي تبلغ طاقته الإنتاجية 500 طن/يوم (عادة تكون المرسبات الإلكترولستاتية). وتترواح تكاليف التشغيل السنوية ما بين 50000 و 250000 إذا أعيد استخدام المنتج الثانوي في عملية الصهر إلا أن ذلك يتطلب تماثل اللون. فتكاليف التخلص من المنتج الثانوي تعتبر باهظة ويمكن أن تضاعف من تكاليف التشغيل. وعادة ما تكون التكاليف الرأسمالية لتركيب أنظمة للمعالجة عند نهاية خط الإنتاج أعلى بالنسبة للمصانع القائمة منها بالنسبة للمصانع الجديدة، وخاصة إذا ما أخذت في الاعتبار الموانع المرتبطة بالحيز.

<sup>4</sup> بما أن المرشحات الكيسية تعمل بكفاءة عند درجات الحرارة المنخفضة، يعتبر التحكم في درجة الحرارة إجراءً أساسياً. ويعد هذا التحكم ضرورياً لمنع التآكل نظراً لتكثف الحامض الناتج عن درجة الحرارة المنخفضة وضمان عدم المخاطرة بسلامة المرشح نتيجة الإلتلاف الحراري جراء الزيادة المفرطة في درجة الحرارة. وتقدم الإرشادات العامة بشأن البيئة

وتتضمن الأساليب الموصى بها للسيطرة على التلوث لخفض انبعاثات أكسيد الكبريت ما يلي:

- استخدام أنواع وقود ذات محتوى منخفض من الكبريت، وخاصة الغاز الطبيعي؛
- خفض كميات كبريتات الصوديوم أو كبريتات الكالسيوم في مواد الخلطة.

تتخفض مستويات أكاسيد الكبريت في الغازات العادمة بصفة عامة عند استخدام الغاز الطبيعي كوقود. وإذا كانت هناك حاجة إلى إجراء خفض إضافي لانبعاثات الغاز الحامضي، على سبيل المثال، إذا كان الوقود المستخدم يحتوي على كبريت، عندئذ يمكن تدبير الأساليب التالية:

- استخدام جهاز غسل جاف للغاز يقوم بحقن مواد ذات أساس من الصوديوم أو الكالسيوم<sup>6</sup> في منتجات تيار غاز المداخل قبل ترشيح الغاز العادم؛
- تركيب أجهزة غسل نصف رطبة (أجهزة غسل تفاعلية أو مفاعلات بالسقي) تعمل بإضافة بعض المواد الكيميائية التفاعلية الأساسية (مواد ذات أساس من الكالسيوم والصوديوم) المذابة في ماء الغسل (التخفيف بالماء).

وفي حالة استخدام عملية الامتصاص الجاف (مثل تخفيف ثاني أكسيد الكبريت و / أو كلوريد الهيدروجين أو فلوريد الهيدروجين بيكربونات الصوديوم أو الكلس المطفأ)، تعتبر

الأسلوب المناقشة في الملحق ألف، وكذلك اختيار الأفران التي لا ينشأ عنها إلا نسب منخفضة من أكاسيد النيتروجين<sup>5</sup>.

تتضمن الأساليب (الثانوية) المعنية بالسيطرة على التلوث عند نهاية خط الإنتاج من أجل خفض انبعاثات أكاسيد النيتروجين في قطاع تصنيع الزجاج الأساليب التالية التي ينبغي تنفيذها في الحالات التي لا تحقق فيها التدابير الرئيسية المستويات المطلوبة لأكاسيد النيتروجين:

- الاختزال الكيميائي حسب نوع الوقود (على سبيل المثال عملية الاختزال، وإعادة الاستخدام، وإعادة التدوير)؛
- استخدام الاختزال الحفزي الانتقائي (SCR).

ولا يعتبر استخدام الاختزال الانتقائي غير الحفزي (SNCR) ممارسة معتمدة على نطاق واسع في قطاع صناعة الزجاج. وتقدم الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة معلومات إضافية حول تطبيق ضوابط انبعاثات أكاسيد النيتروجين وأدائها.

#### أكاسيد الكبريت

يتوقف وجود أكاسيد الكبريت في الغازات العادمة من أفران الزجاج على محتوى الكبريت في الوقود ومحتوى الكبريتات / الكبريتات / الكبريتيد في المواد الخام، وخاصة مع إضافة كبريتات الصوديوم أو الكالسيوم من أجل أكسدة الزجاج.

<sup>5</sup> تم تصميم بعض أفران الصهر الجديدة بخيارات مختلفة لتخفيف انبعاثات أكاسيد الكبريت. وتتميز أفران FlexMelter والأفران التي لا ينشأ عنها إلا نسب منخفضة من أكاسيد النيتروجين بوجود مخرج خلفي للغازات العادمة في منطقة الفرن المنفصلة عن منطقة الاحتراق وهو الوضع الذي من شأنه إتاحة الظروف لعملية "الاحتراق على مراحل". ويعتبر "النظام التعاقبي" أحد الأساليب الأخرى التي يتم استخدامها داخل فتحة الاحتراق. إذ يتم الاحتراق المسبق التفاضلي لجزء من الوقود قبل مرحلة الاحتراق النهائي، وهو الأمر الذي يسمح بالاحتراق بهواء قابل للاشتعال ذي نسبة أكسجين منخفضة. وعادة ما يعتبر هذا النوع من التقنية أكثر كلفة من الحلول التقليدية للاحتراق وينبغي مقارنته بتكلفة وكفاءة الأفران الأخرى ذات التصميم المعياري وأنظمة التخفيف المستخدمة عند نهاية خط الإنتاج.

<sup>6</sup> تعتبر بيكربونات الصوديوم أكثر المركبات المستخدمة شيوعاً حيث يتم استخدامها بحالتها الجافة في عملية تنظيف غاز المداخل وإعادة تدوير المخلفات (NEUTREC). يتم سحق بيكربونات الصوديوم في طاحونة حتى يتضائل حجم حبيباتها إلى أقل من 15 ميكرون ثم تضاف بعد ذلك إلى تيار الغاز العادم. وعند درجة حرارة تزيد على 107 درجات مئوية (عادة ما تكون أعلى من 140 درجة مئوية)، تتحلل بيكربونات الصوديوم إلى كربونات صوديوم وماء. وتعتبر قدرة كربونات الصوديوم "الوليدة" على التفاعل مع المركبات الحمضية على الأسطح الكبيرة قدرة عالية. ومن شأن هذه التفاعل خفض كمية المواد الكيميائية المتفاعلة وهو الأمر الذي يترتب عليه انخفاض كمية المنتجات الثانوية.

البلور المضاف إليه رصاص والفريته (العجينة الزجاجية))، إلا أن هذه المشكلة تظهر في جميع القطاعات الأخرى العاملة في مجال تصنيع الزجاج ولكن بدرجة أقل. إذ يمكن أن توجد المعادن الثقيلة كشوائب صغيرة في بعض المواد الخام، وفي كسارة الزجاج، وفي الوقود. ويستخدم كذلك الرصاص والكاديوم في المواد المساعدة على الصهر ومواد التلوين المستخدمة في صناعة الفريته (العجينة الزجاجية). وقد تحتوي الجسيمات الناتجة عن تصنيع البلور المضاف إليه رصاص على محتوى من الرصاص تتراوح نسبته بين 20 و60 في المائة. ويمكن أن يصدر عن عمليات تصنيع أنواع خاصة من الزجاج مواد مثل الزرنيخ، والأنتيمون، والسيلينيوم (مادة التلوين المستخدمة في إنتاج الزجاج البرونزي أو مادة إزالة اللون المستخدمة في إنتاج بعض أنواع من الزجاج غير الملون).

ينبغي أن تتبع الأساليب التي تتميز بكفاءتها العالية في تخفيف الغبار لخفض انبعاثات الجسيمات التي تحتوي على معادن. ويتم احتواء انبعاثات المعادن الغازية (على سبيل المثال، في حالة استخدام السيلينيوم) عن طريق تركيب أجهزة لغسل الغاز بالطريقة الجافة والطريقة نصف الجافة جنباً إلى جنب مع أساليب تخفيف الغبار.

#### غازات الدفيئة

يعتبر قطاع تصنيع الزجاج من القطاعات الباعثة بشكل كبير لغازات الدفيئة، وخاصة غاز ثاني أكسيد الكربون. إذ ينشأ عن إنتاج 1 كيلوغرام من الزجاج في فرن يدار بالغاز ما يناهز 0.6 كيلوغرام من غاز ثاني أكسيد الكربون، ويرجع 0.45 كيلوغرام من هذه الوزن إلى حرق الوقود الأحفوري و0.15 منه إلى تفكك مادة الكربونات الخام (كربونات الكالسيوم والدولوميت) المستخدمة في الخلطة. ويرتبط انبعاث غازات

المرشحات الكيسية بشكل عام أكثر كفاءة من المرشحات الإلكترونية، وذلك لما تتميز به من كبر سطح التلامس وطول زمن التلامس بين الغاز والأجسام الصلبة.

#### الكلووريدات والفلوريدات

إن هذه الملوثات، التي تنشأ في الغازات العادمة الصادرة عن أفران صهر الزجاج نتيجة وجود أجسام أو شوائب في المواد الخام، عادة ما تعتبر محدودة. ويستثنى من ذلك بصورة رئيسية عملياً تصنيع الزجاج الأوبال والألياف الزجاجية المستمرة، إذ يمكن أن يصل فيهما مستوى الفلورايد / كلوريد الهيدروجين قبل التخفيف إلى 1000 ملليغرام/متر مكعب عادي أو أكثر، وهو الأمر الذي يحدث نتيجة إضافة الحجر الفلوري إلى الخلطة. ولمعالجة انبعاثات كلوريد الهيدروجين يستخدم في هذا الشأن بشكل عام أسلوباً غسل الغاز بالطريقة الجافة والطريقة نصف الجافة. وعندما يكون الزجاج صعب الانصهار بشكل خاص (على سبيل المثال، الأوبال نظراً لوجود الفلورين)، عندئذٍ يعتبر استخدام الفرن الكهربائي أفضل خيار.

وباستثناء صناعة أنواع خاصة من الزجاج، ترتبط مصادر انبعاثات كلوريد الهيدروجين وفلوريد الهيدروجين عادة بالشوائب الموجودة في المواد الخام (على سبيل المثال كلوريد الصوديوم أو كلوريد الكالسيوم)، كما أنها ترتبط في بعض الأحيان بوجود كمية صغيرة من فلوريد الكالسيوم في الخلطة. ويمكن السيطرة على انبعاثات كلوريد الهيدروجين وفلوريد الهيدروجين باستخدام أساليب التخفيف الموصوفة أعلاه لتخفيف انبعاثات ثاني أكسيد الكبريت.

#### المعادن

برغم أن قضية انبعاث المعادن تعتبر إحدى القضايا الهامة في بعض القطاعات الفرعية (على سبيل المثال، قطاعاً إنتاج

● استعادة الحرارة الضائعة من غازات مدخنة الفرن: يمكن استخدام هذه الحرارة للتسخين المسبق للخلطة أو كسارة الزجاج (انظر أدناه)، أو توفير الحرارة أو البخار لأغراض تدفئة الحيز. ومن التقنيات الآخذة في النمو ضمن هذا المجال تلك التقنية التي من خلالها تتم استعادة الحرارة في شكل بخار عالي الضغط يمكن أن يتمدد داخل التوربين من أجل توليد الطاقة.

● تتضمن الأساليب الخاصة بتحسين كفاءة الأفران ما يلي:<sup>8</sup>

- حجم الفرن: يعيب الأفران التي يقل إنتاجها المقدر عن 50 طناً / يوم فقد الكبير الناشئ عن تصميمها كلها وذلك فيما يتعلق بالطاقة المستخدمة في صهر الزجاج، لذا فإنها تعتبر غير ذات كفاءة؛
- اختيار أسلوب الصهر: تعتبر الأفران المزودة بوحدات للاسترجاع غير المباشر لحرارة الغاز العادم أكثر جدوى في استهلاكها للطاقة من الأفران المزودة بوحدات للاسترجاع المباشر لحرارة الغاز العادم نظراً لأنها توفر درجات حرارة عالية من أجل التسخين المسبق لهواء الاحتراق؛
- اعتماد أساليب عزل ومواد معززة؛
- اتخاذ تدابير للتحكم في الاحتراق؛
- الإكثار من استخدام كسارة الزجاج؛
- إجراء تسخين مسبق للخلطة وكسارة الزجاج قبل إدخالهما إلى الأفران باستعادة الحرارة الضائعة من غازات مداخن الأفران.

الدفينة مباشرة بنوع الزجاج، ونوع الوقود الأحفوري المستخدم، وكفاءة طاقة العملية، واستخدام كسارة الزجاج. ونظراً لمتطلبات الجودة العالية بشأن منتجات زجاجية معينة (على سبيل المثال، منتجات شركات الأدوية وشركات مستحضرات التجميل، ومنتجات المختبرات أو الإضاءة)، تكون فرصة استخدام كسارة الزجاج محدودة.

وبالإضافة إلى إستراتيجيات الإدارة الموصى بها لغازات الدفينة في الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة، تتضمن الطرق المعنية بهذا القطاع لمنع انبعاثات غازات الدفينة والسيطرة عليها ما يلي:

- اتخاذ تدابير لزيادة كفاءة الطاقة (كما هو موضح أدناه)؛
- استخدام وقود ذي محتوى منخفض من الكربون (على سبيل المثال، استخدام الغاز الطبيعي، حيثما يكون ذلك ممكناً، بدلاً من زيت الوقود أو الوقود الأحفوري الصلب)؛
- الإكثار من استخدام كسارة الزجاج لزيادة كفاءة الطاقة والحد من استخدام مواد الكربونات الخام، خاصة في إنتاج الحاويات الزجاجية. وتعتبر فرص استخدام نسبة كبيرة من كسارة الزجاج في الخلطة فرصاً جيدة على نحو خاص عند تصنيع الحاويات ذات اللون الأخضر. وعادة ما تقل الطاقة المستخدمة للفرن بمعدل يتراوح بين 0.15 و0.3 في المائة لكل نسبة مئوية مستخدمة من كسارة الزجاج في الخلطة.<sup>7</sup>
- استخدام أجهزة ذات سرعات متغيرة بمقومات عكسية ومراوح كبيرة لهواء الاحتراق وهواء التبريد.

<sup>7</sup> يتراوح استخدام الكسارة في إنتاج الحاويات الزجاجية داخل الاتحاد الأوروبي من > 20 في المائة إلى < 90 في المائة، بمتوسط أوروبي داخل المنطقة يبلغ 48 في المائة، ويتراوح استخدامها في إنتاج الزجاج الأصفر الضارب إلى الحمرة من 25 إلى 60 في المائة.

<sup>8</sup> ملاحظات الاتحاد الأوروبي حول أفضل الأساليب المتوفرة (2001).

## المياه المستعملة

### المياه المستعملة الناتجة عن العمليات الصناعية

تعتبر عمليتا التبريد وتنظيف كسارة الزجاج من أكبر العمليات استهلاكاً للمياه. وتنشأ الانبعاثات الغازية من تلامس مطهرات نظام مياه التبريد، ومياه التنظيف، ومياه الانسيال السطحي. لذا ينبغي استخدام أنظمة تدور فيها مياه العمليات داخل دوائر مغلقة للإقلال من أشكال الفقد. وتعد كميات النفايات السائلة الناشئة عن تصنيع الزجاج ضئيلة إذا ما قورنت بالكميات التي تصدر عن القطاعات الصناعية الأخرى، كما أنها تنحصر في عمليات محددة (على سبيل المثال، سقي الكتلة الزجاجية الساخنة وتبريد المقصات بالماء). كما يمكن أن تتأثر التصريفات بالمواد الصلبة الزجاجية، وبعض مواد تصنيع الزجاج القابلة للذوبان (على سبيل المثال، كبريتات الصوديوم)، وبعض المركبات العضوية الناتجة عن زيوت التشحيم المستخدمة في عملية القطع، والمواد الكيميائية المستخدمة للمعالجة (على سبيل المثال، الأملاح المذابة والمواد الكيميائية المستخدمة لمعالجة المياه) من أجل نظام مياه التبريد.

### معالجة المياه المستعملة الناتجة عن العمليات الصناعية

تتضمن الأساليب الخاصة بمعالجة المياه المستعملة الناتجة عن العمليات الصناعية استخدام أجهزة فصل الزيت عن الماء؛ ومعادلة التدفق والحمل بضبط الأس الهيدروجيني؛ وإجراء غربلة وترسيب لخفض المواد الصلبة العالقة باستخدام أحواض تصفية أو أجهزة تنقية؛ وإجراء ترشيح متعدد الوسائط لخفض المواد الصلبة العالقة التي يتعذر تصفيتها؛ ونزح الماء والتخلص من المخلفات في مقابلب النفايات، أو في المواقع المخصصة للنفايات الخطرة إن كانت من النوع الخطر. وقد يتطلب الأمر تطبيق ضوابط هندسية إضافية واتخاذ خطوات بشأن المعالجة المسبقة وذلك لمعالجة تلامس مياه التبريد

بالمعادن، والأملاح المذابة، والمواد العضوية والمواد الكيميائية المستخدمة لمعالجة المياه.

### وتناقش وثيقة الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة

والسلامة أساليب التعامل مع المياه المستعملة الناتجة عن العمليات الصناعية وأمثلة لأساليب المعالجة. وعبر استخدام هذه التقنيات وأساليب الممارسة الجيدة للتعامل مع المياه المستعملة ستفي المنشآت بالقيم الإرشادية الخاصة بتصريف المياه المستعملة كما هي موضحة في الجدول المعني بالقسم 2 من الوثيقة الخاصة بهذه الصناعة. كما ينبغي إعادة تدوير المياه الناتجة عن العمليات التي يتم فيها تصنيع الزجاج بالطريقة الميكانيكية.

### مجاري المياه المستعملة الأخرى واستهلاك المياه

تقدم الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة إرشاداً حول التعامل مع المياه المستعملة غير الملوثة الناتجة عن عمليات المنشآت ومياه العواصف غير الملوثة والصرف الصحي. وينبغي أن يتم توجيه مجاري المياه الملوثة إلى نظام المعالجة الخاص بالمياه المستعملة الناتجة عن العمليات الصناعية. وتقدم الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة توصيات لخفض استهلاك المياه، لا سيما في الأماكن التي تكون فيها الموارد الطبيعية محدودة.

### النفايات الصلبة

ينتج عن معظم أنشطة صناعة الزجاج مستويات منخفضة نسبياً من النفايات. وتنشأ النفايات الصلبة ذات الصلة بتصنيع الزجاج بصورة رئيسية في مناطق الشحن. ومن شأن عمليات تنظيف وصيانة مناطق الاستلام خفض هذه النفايات وإتاحة إمكانية جمع انسكابات المواد وإضافتها إلى المواد الخام. ويتيح تعبئة مناطق الاستلام إمكانية إجراء عمليتي الجمع والتنظيف على نحو يتسم بالفعالية والكفاءة ويتيح أيضاً إمكانية تحديد



## 1.2 الصحة والسلامة المهنية

تتضمن أكبر المخاطر المتعلقة بالصحة والسلامة المهنية والتي تبرز أثناء مرحلة تشغيل مشروعات تصنيع الزجاج ويتصدرها ما يلي:

- التعرض للحرارة
- التعرض للضوضاء
- التعرض لمخاطر تنفسية
- المخاطر البدنية
- المخاطر الكهربائية

### الحرارة

يحدث التعرض للحرارة بشكل أساسي أثناء تشغيل الأفران وصيانتها أو تشغيل وصيانة المعدات الساخنة الأخرى. وتتضمن طرق المكافحة والسيطرة ما يلي:

- الإقلال من الوقت اللازم للعمل في البيئات التي تكون فيها درجة حرارة الهواء مرتفعة وذلك بتقصير مدد نوبات العمل في هذه المواقع؛
- توفير تهوية كافية وهواء بارد لطرد الأدخنة والغبار من محطات العمل لمنع الحرارة الزائدة في أماكن العمل؛
- توفير واستخدام كمادات مزودة بهواء أو أكسجين، حسب الحاجة؛
- حجب أسطح المعدات الساخنة حيثما يُتوقع وجود العمال بجوارها أو ملامستهم لها واستخدام معدات الوقاية الشخصية، حسب الحاجة، بما في ذلك عزل القفازات والأحذية.

هوية المادة المنسكبة بصورة كافية، وعزلها، وإعادة تدويرها في العمليات.

تتضمن المخلفات الصلبة ذات الصلة بالعمليات والتي تنشأ عن عملية الصهر الغبار الناتج عن الوحدات الخاصة بالاسترجاع غير المباشر لحرارة الغازات العادمة (أو الوحدات الخاصة بالاسترجاع المباشر لحرارة الغازات العادمة) والذي يتم إزالته خلال عمليات التنظيف الميكانيكي أو الحراري، ونفايات المواد المقاومة للصهر الناتجة عن إجراء الصيانة الدورية للأفران، والإصلاح، وإيقاف التشغيل (تتراوح تقريباً بين 500 طن و2000 طن / عملية، وعادة ما يتم إجراء هذه العملية كل 5-15 سنة)، بما في ذلك المواد المقاومة للصهر الغنية بالكروم والزركونيوم. كما تتضمن النفايات الأخرى الغبار الذي يتم تجميعه في أجهزة التخفيف.

تتضمن فرص مكافحة التلوث ما يلي:

- الإكثار من استخدام كسارة الزجاج كمادة خام؛
- إعادة تدوير نفايات المواد المقاومة للصهر كمادة خام لتصنيع الأجر (لا يؤثر هذا الأسلوب على جودة المنتج النهائي)؛
- استبدال الطوب الحراري بصورة معتادة كل 6-12 سنة (تمثل إعادة تدوير هذه الخامات بصورة ملائمة فرصة لمنع التلوث ينبغي استغلالها عند إصلاح أو إعادة بناء الفرن / المجرمة الأمامية)؛
- إعادة استخدام الغبار الذي تم تجميعه مرة أخرى في الخلطة بحسب لونها.

## الضوضاء

يمكن أن يتعرض العاملون إلى الضوضاء أثناء تصنيع الزجاج. ويعتبر نقص السمع (ضعف السمع) أحد الأمراض المهنية المعتادة في هذه الصناعة، وخاصة في قطاع صناعة الحاويات الزجاجية. فإثناء عملية تشكيل الحاويات الزجاجية، قد ينشأ عن الضغط العالي المستخدم في عملية تبريد قالب التشكيل انبعاثات ضوضائية كبيرة. كما يمكن أن يصل ارتفاع مستوى الضوضاء الناتجة عن ماكينات كبس الحاويات الزجاجية إلى 100 ديسبل، وهو الأمر الذي يمكن أن يؤدي إلى الإصابة بإعاقة سمعية. وتناقش وثيقة الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة توصيات بشأن منع التعرض للضوضاء والسيطرة عليها، بما في ذلك استخدام أجهزة حماية السمع ومعدات الوقاية الشخصية الأخرى.

## المخاطر التنفسية

### (التعرض للغبار والأدخنة والمركبات السامة)

قد ترتبط المخاطر الصحية المهنية التي تنشأ في قطاع تصنيع الزجاج بوجود جسيمات دقيقة عالقة بالهواء في أماكن العمل. ويمكن أن تحتوي هذه المواد الجسيمية على غبار السليكا الناتج عن رمال السليكا والفلدسبار، وقد تحتوي في بعض الأحيان على مركبات سامة (على سبيل المثال، أكسيد الرصاص، واليورون، والزرنيخ، والقصدير، والنيكل، والكوبالت). وعادة ما تحتوي أيضاً أماكن العمل داخل منشآت تصنيع الحاويات وأدوات المائدة على أبخرة وأدخنة زيتية ناشئة عن تزييت القوالب الساخنة. وقد يصل محتوى الرصاص في الجسيمات الناشئة عن تصنيع البلور المضاف إليه رصاص إلى نسبة تتراوح بين 20 و60 في المائة. كما يمكن أن ينشأ عن بعض العمليات الخاصة لتصنيع الزجاج مستويات عالية من كلوريد الهيدروجين وفلوريد الهيدروجين والزرنيخ والأنثيمون والسيلينيوم داخل أماكن العمل.

وقد تتطلب معالجة الأسطح الساخنة استخدام مركبات القصدير والتيتانيوم، مثل كلوريد القصدير والمركبات العضوية المضاف إليها كلوريد القصدير، وهو الأمر الذي يمكن أن ينشأ عنه انبعاث غبار غني بالقصدير والتيتانيوم وكلوريد الهيدروجين. وتتضمن طرق منع التعرض والسيطرة عليه ما يلي:

- فصل مناطق تخزين المواد الخام وتجهيز الخلطات عن مناطق التشغيل الأخرى؛
- تطبيق ممارسات التحميل والتفريغ الصحيحة؛
- نقل مواد الخلطة إلى الأفران بواسطة ناقلات / أنابيب مغطاة؛
- استخدام أنظمة للتهوية.

## المخاطر البدنية

تعتبر الإصابات المحتملة للعين نتيجة وجود زجاج مكسور وجزئيات زجاجية سابحة في الهواء من المخاطر المشتركة في قطاع تصنيع الزجاج وينبغي الوقاية منها بأن يستخدم جميع العاملين والزائرين بصفة عامة نظارات واقية. كما يمكن أن تنشأ إصابات القطع الحاد في حالة انكسار الزجاج المسطح أثناء تداوله. وينبغي الإقلال من مخاطر الإصابات وذلك بأتمتة عملية تداول الزجاج المسطح وتزويد العاملين الذين لا يقومون بأعمال تداول الزجاج المسطح بقفازات ومرابيل مقاومة للقطع.

## المخاطر الكهربائية

قد يتعرض العاملون إلى مخاطر كهربائية نتيجة وجود معدات كهربائية في شتى أنحاء منشآت التصنيع. وتقدم الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة توصيات لمنع التعرض للمخاطر الكهربائية والسيطرة عليه.

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.

إن الإرشادات المعنية بانبعاث الملوثات تنطبق على الانبعاثات الناتجة عن العمليات. وتعالج الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة الإرشادات الخاصة بانبعاث الملوثات 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 تبين الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة أيضاً المبادئ التوجيهية حول اعتبارات البيئة المحيطة استناداً إلى الحمل الكلي للانبعاثات.

جدول 1 - مستويات الانبعاثات الهوائية في قطاع تصنيع الزجاج		
القيمة الإرشادية	الوحدة	الملوثات
100 <sup>(1)</sup> 50 <sup>(2)</sup>	ملليغرام/م تر مكعب عادي	الجسيمات الغاز الطبيعي أنواع الوقود الأخرى
1,500-700 <sup>(3)</sup>	ملليغرام/م تر مكعب عادي	ثاني أكسيد الكبريت
1,000	ملليغرام/م تر مكعب عادي	أكاسيد النيتروجين
30	ملليغرام/م تر مكعب عادي	كلوريد الهيدروجين
5	ملليغرام/م تر مكعب عادي	فلوريدات

### 1.3 صحة المجتمع المحلي وسلامته

تتمثل التأثيرات الواقعة على صحة المجتمع المحلي وسلامته أثناء إنشاء وتشغيل وإيقاف تشغيل مصانع تصنيع الزجاج مع التأثيرات الحادثة أثناء إنشاء وتشغيل وإيقاف تشغيل معظم المنشآت الصناعية الكبيرة، وقد تم تناولها بالمناقشة في الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة.

### 2.0 مؤشرات الأداء ورصده

#### 2.1 البيئة

##### إرشادات بشأن الانبعاثات والنفايات السائلة

يقدم الجدولان 1 و 2 إرشادات بشأن الانبعاثات والنفايات السائلة لهذا القطاع. وتشرح القيم الإرشادية الخاصة بالانبعاثات والنفايات السائلة الناتجة عن العمليات في هذا 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 المنشآت المصممة والمشغلة على نحو ملائم من خلال تطبيق أساليب مكافحة التلوث والسيطرة عليه والتي تم تناولها بالمناقشة في الأقسام السابقة من هذه الوثيقة. وينبغي تحقيق هذه المستويات بصرامة، فيما لا يقل عن 95 في المائة من وقت تشغيل المصنع أو الوحدة، بعد حسابها كنسبة من ساعات التشغيل السنوية. ويجب تبرير الحديد عن تحقيق هذه المستويات نظراً لأوضاع مشروع محلي محدد في التقييم البيئي.

تنطبق الإرشادات بشأن النفايات السائلة على التصريف المباشر للنفايات السائلة المعالجة في المياه السطحية من أجل الاستخدام العام. ويمكن تحديد مستويات التصريف الخاصة بالموقع بناء على مدى توفر وظروف استخدام الأنظمة العامة لتجميع ومعالجة مياه الصرف الصحي، أو إن كان تصريفها

(1) عند حافة منطقة مزج مثبتة علمياً تأخذ في الاعتبار نوعية المياه المحيطة، واستخدام المياه المستقبلية، والمستقبلات المحتملة، والطاقة التمثيلية

### الرصد البيئي

يجب تنفيذ برامج الرصد البيئي المحددة لهذا القطاع بغرض التعامل مع كافة الأنشطة التي تبين أن لها أثراً كبيراً محتملة على البيئة تنشأ أثناء العمليات العادية والأوضاع غير المؤاتية. ويجب أن تستند أنشطة الرصد البيئي إلى المؤشرات المباشرة وغير المباشرة المطبقة على مشروع بعينه للانبعاثات والنفائات السائلة واستخدام الموارد.

وينبغي أن 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 في الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة.

### استخدام الموارد وأحمال الانبعاثات

يقدم الجدولان 3 و4 أمثلة لمؤشرات استهلاك موارد الطاقة والمياه، فضلاً عن كتل أحمال الانبعاثات الصادرة عن هذا القطاع. كما يعرض هذان الجدولان القيم المعيارية الإرشادية للصناعة لأغراض المقارنة فقط وعلى المشروعات الفردية أن تستهدف التحسين المستمر في هذه المجالات.

جدول 3 - استهلاك الموارد والطاقة (1) (2)		
معايير الصناعة الإرشادية	الوحدة	المدخلات حسب وحدة المنتج

رصاص	مليغرام/متر مكعب عادي	5
كادميوم	مليغرام/متر مكعب عادي	0.2
زرنخ	مليغرام/متر مكعب عادي	1
معادن ثقيلة أخرى (إجمالي)	مليغرام/متر مكعب عادي	5(3)

(1) في حالة ظهور معادن سامة، لا ينبغي أن تزيد كميتها على 20 مليغرام/متر مكعب عادي. للوصول بالانبعاثات الغبار إلى 50 مليغرام/متر مكعب عادي يلزم لذلك تركيب أنظمة إضافية للمعالجة (مرشحات كيسية أو مرسبات إلكتروناتية). كما يمكن من خلال إيجاد ظروف تشغيل جيدة للفرن واعتماد تدابير رئيسية الوصول بمستويات الانبعاثات إلى 100 مليغرام/متر مكعب عادي.

(2) 700 مليغرام/متر مكعب عادي للأفران التي تدار بالغاز الطبيعي.

(3) 1500 مليغرام/متر مكعب عادي للأفران التي تدار بالنفط.

(4) 1 مليغرام/متر مكعب عادي للسليونيوم.

جدول 2 - مستويات النفائات السائلة في قطاع تصنيع الزجاج		
الملوثات	الوحدة	القيمة الإرشادية
الأس الهيدروجيني	وحدة معيارية	6-9
إجمالي المواد الصلبة العالقة	مليغرام/لتر	30
الحاجة الكيميائية للأكسجين	مليغرام/لتر	130
زيوت وشحوم	مليغرام/لتر	10
رصاص	مليغرام/لتر	0.1
أنتيمون	مليغرام/لتر	0.3
زرنخ	مليغرام/لتر	0.1
فلوريدات	مليغرام/لتر	5
حمض البوريك	مليغرام/لتر	2
زيادة درجة الحرارة	درجة مئوية	>3(1)

جدول 4 - إنتاج حمل الاتبعث			
معييار الصناعة الإرشادي		الوحدة	الإنتاج لكل وحدة منتج <sup>(أ)</sup>
أفران الزجاج الحاويات	أفران الزجاج المسطح		
0.22-0.002	0.1-0.02	كيلو غرام كيلو غرام/طن زجاج منصهر	المواد الجسيمية
35-1	40-5.0	مليغرام/متر مكعب عادي	
0.75>	2.9-1.1	كيلو غرام/طن زجاج منصهر	أكاسيد النيتروجين
400>	1,250-495	مليغرام/متر مكعب عادي	
3.5-0.2	4.0-0.54	كيلو غرام/طن زجاج منصهر	أكاسيد الكبريت
1,650-100	1,700-200	مليغرام/متر مكعب عادي	
0.07-0.01	0.08-0.01>	كيلو غرام/طن زجاج منصهر	كلوريد الهيدروجين
30-7	30-4.0	مليغرام/متر مكعب عادي	
0.02≥	-0.002> 0.01	كيلو غرام/طن زجاج منصهر	فلوريد الهيدروجين
6-1≥	4.0-1.0>	مليغرام/متر مكعب عادي	
0.001>	0.001>	كيلو غرام/طن زجاج منصهر	المعادن
1.0>	1.0>	مليغرام/متر	

الوقود	جيجا جول/طن زجاج منصهر	3.9 <sup>(ب)</sup>
استهلاك الوقود النوعي في أفران زجاج الحاويات المزودة بفتحات خلفية ووحدات للاسترجاع غير المباشر لحرارة الغاز العادم والتي تصل طاقتها الإنتاجية إلى < 200 طن/يوم	جيجا جول/طن زجاج منصهر	5.5
استهلاك الوقود النوعي في أفران الزجاج العائم التي تتراوح طاقتها الإنتاجية بين 400 و500 طن/يوم	جيجا جول/طن زجاج منصهر	9
استهلاك الوقود النوعي في أفران زجاج البوروسليكات الغير مزودة بوحدات لاسترجاع الحرارة والتي تتراوح طاقتها الإنتاجية بين 10 و15 طن/يوم	كيلوواط ساعة/طن زجاج منصهر	110
الكهرباء استخدام الكهرباء النوعية	متر مكعب/طن زجاج منصهر	4 <sup>(ج)</sup>
<p><sup>(أ)</sup> يرتبط استهلاك الطاقة النوعية ارتباطاً كبيراً بأبعاد الأفران، وطاقاتها الإنتاجية من الزجاج، والكميات التي يتم تعبئتها داخل الأفران، وأعمارها، واستخدام كسارة الزجاج. ويعيب الأفران الصغيرة والأفران التي تعمل بطاقة أقل من طاقتها الاسمية بشكل عام قلة جدواها في استهلاك الطاقة، نظراً لارتفاع الفقد في الحرارة النوعية. كما يتوقف استهلاك الطاقة أيضاً على نوعية الزجاج (درجة حرارة الصهر)، ونسبة كسارة الزجاج، وعمر الفرن. ويمكن تحقيق أدنى قيمة متوافرة في هذا النطاق من القيم باستخدام أفران جديدة والإكثار من استخدام كسارة الزجاج، وعزل الأفران عزلاً جيداً، وإيجاد ظروف تشغيل جيدة (على سبيل المثال، عدم زيادة درجات حرارة التشغيل والتحكم الجيد في الاحتراق). وتشير الأرقام المعنية بالكميات المستخدمة من الوقود إلى عدم اللجوء إلى التسخين المعزز كهربائياً. وعلى هذا المنوال لا تتضمن الأرقام المعنية بكميات الطاقة الكهربائية المستخدمة الاستخدام المباشر للكهرباء في إجراء عملية الصهر، غير أنها تتضمن استخدام كميات من الطاقة الكهربائية في تشغيل مراوح هواء الاحتراق.</p> <p><sup>(ب)</sup> تقل استهلاكات كل من الأفران المزودة بوحدات للاسترجاع غير المباشر لحرارة الغاز العادم والأفران التي تعمل بالوقود المشبع بالأكسجين بدون إنتاج أكسجين وعمليات إنتاج الحاويات الزجاجية من الطاقة النوعية عن استهلاكات كل من الأفران المزودة بوحدات للاسترجاع المباشر لحرارة الغاز العادم وعمليات إنتاج الزجاج المسطح وأدوات المائدة من الطاقة النوعية.</p> <p><sup>(ج)</sup> القيم المتوفرة لتصنيع الألياف الزجاجية.</p> <p><sup>(د)</sup> في قطاع تصنيع زجاج الجبر والصودا، تتيح زيادة نسبة قدرها 10 في المائة من كسارة الزجاج خفض استهلاك الطاقة بمعدل يصل إلى 3 في المائة أي ما يتراوح بين 22 و30 كيلو كالوري/ كيلو غرام (0.09-0.13 جيجا جول/طن)</p>		

سيما الحوادث التي يمكن أن تؤدي إلى فقدان وقت العمل، أو إلى مستويات مختلفة من الإعاقة، أو حتى إلى حدوث وفيات. ويمكن مقارنة معدلات المنشأة بأداء المنشآت الأخرى في هذا القطاع بالبلدان المتقدمة من خلال استشارة المصادر المنشورة (على سبيل المثال: مكتب الولايات المتحدة لإحصائيات العمل وإدارة الصحة والسلامة بالمملكة المتحدة).

### 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<sup>13</sup> كجزء من برنامج رصد الصحة والسلامة المهنية. كما يجب على المنشآت الاحتفاظ بسجلات عن الحوادث والأمراض المهنية والأحداث والحوادث الخطرة. وتتوفر إرشادات إضافية عن برامج رصد الصحة والسلامة المهنية في الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة.

مكعب عادي	
(1) تستند البيانات المتوفرة داخل الاتحاد الأوروبي (2005) إلى أساليب التخفيف الرئيسية والثانوية. وتشمل البيانات الأفران التي تدار بالغاز والنفط على السواء.	

## 2.2 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)<sup>9</sup> ، ودليل الحبيب للمخاطر الكيميائية المنشورة من قبل المعهد الوطني الأمريكي للصحة والسلامة المهنية (NIOSH)<sup>10</sup> ، وحدود التعرض المسموح بها (PELS) المنشورة من قبل الإدارة الأمريكية للصحة والسلامة المهنية (OSHA)<sup>11</sup> ، والقيم الإرشادية لحدود التعرض المهني المنشورة من قبل الدول الأعضاء في الاتحاد الأوروبي<sup>12</sup> ، أو ما يشابهها من مصادر.

### معدلات الحوادث والوفيات

يجب على إدارات المشاريع أن تحاول خفض عدد الحوادث التي تقع بين عمال المشروع (سواءً المعينين مباشرة أو المتعاقدين من الباطن) إلى أن يصل إلى مستوى الصفر، لا

<sup>9</sup> متاح على الموقعين التاليين:

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

<sup>10</sup> متاح على الموقع التالي:

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

<sup>11</sup> متاح على الموقع التالي:

[http://www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.show\\_document?p\\_table=STANDARDS&p\\_id=9992](http://www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.show_document?p_table=STANDARDS&p_id=9992)

<sup>12</sup> متاح على الموقع التالي:

[http://europe.osha.eu.int/good\\_practice/risks/ds/oe/](http://europe.osha.eu.int/good_practice/risks/ds/oe/)

<sup>13</sup> يمكن أن يشمل المهنيون المعتمدون على أخصائيي الصحة الصناعية المعتمدين، أو أخصائيي الصحة المهنية المسجلين، أو أخصائيي السلامة المعتمدين أو من يكافئهم.

### 3.0 ثبت المراجع ومصادر إضافية

Australian Government. Department of the Environment and Heritage. 2004. Emissions Estimation Technique Manual for Glass and Glass Fibre Manufacturing — Version 2.0. Canberra, Australia.

European Commission. 2001. Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) Reference Document on Best Available Techniques in the Glass Manufacturing Industry. Sevilla, Spain.

European Union. 2005. Corinair. Emission Inventory Guidebook.

Eurosil. 2005. Potential Socio-Economic Effects of Setting an EU Occupational Exposure Limit for Respirable Crystalline Silica.

International Labour Organization (ILO). 2001. Safety in the Use of Synthetic Vitreous Fibre Insulation Wools. Geneva, Switzerland.

State of New Jersey, Department of Environmental Protection, Air Quality Permitting Program. 1997. State of the Art (SOTA) Manual for the Glass Industry Section 3.15. Trenton, New Jersey.

UNECE/EMEP Task Force on Emission Inventories and Projections. 2005. EMEP/CORINAIR Emission Inventory Guidebook — 2005. Glass Production. Activities 030314-030317 & 040613. European Environment Agency. Copenhagen, Denmark.

US Department of Labor, Bureau of Labor Statistics. 2003 and 2004. Nonfatal Occupational Injuries and Illnesses for Glass and Glass Product Manufacturing (Code 327200) and for Glass Container Manufacturing (Code 327213). Washington, DC.

US Environmental Protection Agency (US EPA). 2005. Standards of Performance for New Stationary Sources. Subpart CC – Standards of Performance for Glass Manufacturing Plants, 40 CFR Part 60. Washington, DC.

US EPA. 2004. National Emission Standards for Hazardous Air Pollutants. Subpart N – National Emission Standards for Inorganic Arsenic Emissions from Glass Manufacturing Plants, 40 CFR Part 61. Washington, DC.

US EPA. 1995a. AP-42 Section 11.15, Glass Manufacturing. Washington, DC.

US EPA, Office of Compliance. 1995b. Profile of the Stone, Clay, Glass and Concrete Products Industry. Sector Notebook Project. Washington, DC.

US EPA. 1995c. Glass Manufacturing Point Source Category. Subpart E – Float Glass Manufacturing Subcategory 40 CFR Part 426. Washington, DC.

US EPA. 1995. 40 CFR Part 426. Glass Manufacturing Point Source Category. Subpart H – Glass Container Manufacturing Subcategory, 40 CFR Part 426. Washington, DC

## الملحق (أ) : وصف عام لأنشطة الصناعة

والعدسات البصرية، والإسفنح الزجاجي، والقوالب الزجاجية والمشغولات الفنية الزجاجية.

يتم تخزين الرمل والحجر الجيري وكربونات الصوديوم والمواد الخام الأخرى في صناديق مستقلة فور استلامها. وقبل إجراء عملية الصهر، تُنقل المواد الخام إلى نظام لوزنها ومزجها حيث يتم مزجها بكسارة الزجاج لضمان الوصول إلى التجانس المطلوب. ويُنقل المزيج بعد ذلك إلى صندوق تخزين الخلطة ويظل بداخه إلى أن يتم صبّه في فرن الصهر. ويتم تسخين المواد الخام داخل الفرن إلى درجات حرارة تتراوح بين 1500 و1650 درجة مئوية، ومن خلال سلسلة من التفاعلات الكيميائية تتحول المواد إلى زجاج منصهر.

و"يسحب" الزجاج المنصهر من الفرن ويتم تكيفه حرارياً في "المجمرة الأمامية" لضمان اكتسابه أفضل الخصائص النموذجية المطلوبة خلال مراحل التشغيل المتعاقبة. وبعد إجراء عملية التشكيل، يتم تليدين الزجاج داخل "الفرن العقدي" لإزالة الإجهاد غير المرغوب فيه من الزجاج المكون، وهو الأمر الذي يتم التحقق منه خلال مرحلة التفتيش والاختبار. ومع الوصول إلى مرحلة التغليف النهائية يكون المنتج النهائي جاهزاً للتخزين أو النقل. ويوضح الشكل 1- (أ) عملية نموذجية لتصنيع الزجاج.

### المواد الخام

تستخدم القطاعات الفرعية المختلفة في مجال تصنيع الزجاج والمصانع المستقلة مجموعة كبيرة من المواد الخام. وتتضمن المواد الخام الرئيسية المواد المكونة للزجاج (على سبيل المثال، رمل السليكا وكسارة الزجاج)، والمواد الوسيطة / المعدلة (على سبيل المثال، كربونات الصوديوم والحجر الجيري والفلسبار والدولوميت)، و مواد التلوين / إزالة الألوان (على سبيل المثال، الكروميت وأكسيد الحديد والسيلينيوم

يشمل قطاع صناعة الزجاج مجموعة متنوعة من منشآت التصنيع والمنتجات. وينتج هذا القطاع منتجات زجاجية من مجموعة كبيرة من المواد الخام وأهمها رمال السليكا، وكسارة الزجاج والمواد الوسيطة / المعدلة مثل كربونات الصوديوم والحجر الجيري والدولوميت والفلسبار. ويعتبر توافر المواد الخام أحد الجوانب الهامة في التصميم النظري للمصنع وتحديد موقعه. فوجود كميات كبيرة من المواد الخام اللازمة بتكلفة منخفضة وتصنيع منتجات ذات قيمة نوعية منخفضة يعتبران عاملين أساسيين في تحديد موقع مناسب للمصنع بما يكفل تقصير مسافات نقل المواد الخام الرئيسية والمنتجات. ويمثل اختيار الموقع المناسب للمصنع أهمية خاصة في مجال تصنيع الحاويات الزجاجية الذي يشكل الجزء الأعظم في قطاع صناعة الزجاج.

يبيع أكثر من 90 في المائة من منتجات قطاع صناعة الزجاج إلى قطاعات الصناعات الأخرى. فقطاع تصنيع الزجاج يعتمد اعتماداً كبيراً على قطاع تشييد المباني، وقطاع تصنيع السيارات، وقطاع صناعة الأغذية والمشروبات. وبرغم ذلك، لا يوجد بين قطاعات تصنيع الزجاج إلا عدد ضئيل هو الذي يقوم بتصنيع منتجات صناعية أو استهلاكية عالية القيمة. ويشمل قطاع تصنيع المنتجات الزجاجية الخاصة عدة قطاعات فرعية متخصصة في تصنيع منتجات مثل أنابيب أشعة المهبط أو أنابيب الأشعة السينية، والمنتجات الزجاجية المستخدمة للإضاءة (المصابيح العادية ومصابيح النيون)، والمنتجات الزجاجية المستخدمة في تصنيع الأجهزة الإلكترونية والأجهزة الكهربائية، وموانع التسرب والعوازل الزجاجية، والمنتجات الزجاجية المصنعة من زجاج البوروسليكات (الحاويات الدوائية وأواني الطبخ)، والمنتجات الزجاجية الخزفية،



### عملية الصهر

تعتبر اختيارات مصدر الطاقة وأسلوب التسخين وطريقة استعادة الحرارة عناصر جوهرية في تصميم فرن صهر الزجاج. وتعتبر هذه الاختيارات من أهم العوامل التي تؤثر في الأداء البيئي لعملية الصهر وكفاءتها في استخدام الطاقة، وبالتالي كفاءة استخدام الطاقة في عملية إنتاج الزجاج بوجه عام. ويتم تصنيف أفران صهر الزجاج بناء على مصدر وقودها وطريقتها في إجراء التسخين إلى الأنواع الأربعة التالية: أفران مزودة بوحدات للاسترجاع غير المباشر لحرارة الغاز العادم، وأفران مزودة بوحدات للاسترجاع المباشر لحرارة الغاز العادم، وأفران صغيرة غير مزودة بوحدات لاسترجاع الحرارة، وأفران كهربائية. ويمكن أن تدار كل من الأفران المزودة بوحدات للاسترجاع المباشر لحرارة الغاز العادم، والأفران المزودة بوحدات للاسترجاع غير المباشر لحرارة الغاز العادم، والأفران الصغيرة غير المزودة بوحدات لاسترجاع الحرارة بالغاز، أو النفط أو الوقود الصلب المسحوق. ويعتبر الوقود المستخدم أحد العوامل الهامة فيما يتعلق بانبعاث غازات الدفيئة، والجسيمات وثاني أكسيد الكبريت. وينبغي أن يراعي القرار المعني بنوع الوقود المزمع استخدامه الجوانب البيئية المتعلقة بموقع المصنع.

#### الأفران المزودة بوحدات للاسترجاع غير المباشر لحرارة الغاز العادم

تستخدم هذه الأفران وحدتين للاستعادة غير المباشرة لحرارة الغاز العادم لإجراء التسخين المسبق لهواء الاحتراق. وعادة ما تقع المحارق داخل فتحات هواء الاحتراق / الغاز العادم أو تحتها. ويتغير جانب الحرق داخل الفرن في كل مرة يتم فيها الحرق. وتمر الغازات الساخنة الآتية من مدخنة الفرن في غرفة استعادة الحرارة وتقوم بتسخين المواد الحرارية الموجودة في غرفة الاستعادة. وبعد مرور فترة زمنية مناسبة،

وسيلينيت زنك). ومن أجل تصنيع أنواع خاصة وصناعية من الزجاج، يستخدم في ذلك أكسيد الرصاص والبوتاس وأكسيد الزنك وأكاسيد معدنية أخرى. وتتضمن مواد تنقية الزجاج من الشوائب كل من الزرنيخ وأكسيد الأنتيمون والنترات والكبريتات. ويمثل عدد من المواد الخام يتراوح بين ثلاث وأربع مواد خام أكثر من 95 في المائة من المواد الخام المستخدمة في تصنيع الزجاج (الرمل وكربونات الصوديوم والحجر الجيري والدولوميت)، ورغم ذلك، يتم استخدام العديد من المواد الخام في المواد المكونة للزجاج، والمواد الوسيطة والمواد المعدلة، ومواد التلوين.

### استهلاك الطاقة وأنواع الوقود

يعتبر نشاط تصنيع الزجاج من الأنشطة التي تستهلك كميات كبيرة من الطاقة كما أن اعتماد تدابير لجعله مجدداً في استهلاكه للطاقة يعد أمراً بالغ الأهمية، وخاصة في مرحلة تصميم وحدات الصهر. وتعد عملية الصهر أكبر مرحلة استهلاكاً للطاقة، إذ تستهلك وحدها ما يتراوح بين 60 و80 في المائة من إجمالي الطاقة المستهلكة لتصنيع الزجاج. كما تؤثر خصائص الفرن (وخاصة النوع والحجم) على أداء الطاقة النوعية. ومن بين الوحدات والعمليات والأنظمة الأخرى المستخدمة للطاقة في قطاع تصنيع الزجاج تأتي المجامر الأمامية، وعملية تشكيل الزجاج، والتلدين، ونظام التدفئة داخل المصنع. كما تعتبر مراوح هواء الاحتراق والتبريد من الأجهزة التي تستخدم كميات كبيرة من الكهرباء. ويمكن خفض استهلاك الطاقة والانبعاثات الهوائية حسب إنتاج الوحدة باتخاذ إجراءات بما يستهدف خفض وزن المنتج، وخاصة الحاويات الزجاجية. كما يمكن أن يتحقق هذا الخفض من خلال الوصول بالتصاميم إلى أفضل مستوياتها، وإجراء عملية التشكيل على أمثل وجه ممكن وإجراء معالجات بعد التشكيل.

الأفران المزودة بوحدات للاسترجاع المباشر لحرارة الغاز العادم / الأفران الصغيرة الغير مزودة بوحدات لاسترجاع الحرارة

تستخدم الأفران المزودة بوحدات للاسترجاع المباشر لحرارة الغاز العادم مبادلات معدنية للحرارة من أجل استرجاع الحرارة وتقوم بإجراء تسخين هواء الاحتراق على نحو مستمر بواسطة الغازات العادمة. وتحد خصائص المواد من درجات حرارة هواء التسخين لتتراوح بين 750 و 800 درجة مئوية ، إلا أن هناك أفراناً جديدة، لا زالت خاضعة للاختبارات، تتيح إمكانية إجراء التسخين المسبق بدرجات حرارة تصل إلى 900 درجة مئوية أو أعلى من ذلك. ونظراً لانخفاض درجات حرارة التسخين المسبق للهواء، تقل طاقة الصهر النوعية (حسب مساحة الفرن) لهذه الأفران عن طاقة الصهر النوعية للأفران المزودة بوحدات للاسترجاع غير المباشر لحرارة الغاز العادم بحوالي 30 في المائة. ويستخدم هذا النوع من الأفران بصورة أساسية في العمليات التي تتطلب مرونة عالية وتكون نفقتها الرأسمالية الأولية محدودة. وفي العمليات الصغيرة، لا يعتبر استخدام وحدات استرجاع الحرارة أمراً مجدياً اقتصادياً. وعادة ما تستخدم الأفران المزودة بوحدات للاسترجاع المباشر لحرارة الغاز العادم في المنشآت ذات الطاقة الإنتاجية الصغيرة، وبرغم ذلك توجد أيضاً أفران ذات طاقة إنتاجية كبيرة (ما يصل إلى 400 طن في اليوم). وليس بالضرورة أن يتم تجهيز الأفران الصغيرة غير المزودة بوحدات لاسترجاع الحرارة (أو أفران الحرق المباشر) بوحدات للاسترجاع المباشر للحرارة، إلا أن معظمها حالياً يزود بوحدات للاسترجاع المباشر للحرارة. وعادة ما تتطلب الأفران المزودة بوحدات للاسترجاع المباشر لحرارة الغاز العادم والأفران الصغيرة غير المزودة بوحدات لاسترجاع الحرارة قدرًا محدوداً من أعمال الحفر لتركيبتها.

يتم عكس جانب الحرق داخل الفرن ويمر هواء الاحتراق الداخل إلى الفرن من خلال غرفة الاستعادة الساخنة التي تم تسخينها من قبل بواسطة الغازات العادمة. وعادة ما تتراوح درجات حرارة التسخين المسبق بين 1100 و 1350 درجة مئوية بما يمنح الأفران التي يتم الحرق داخلها بواسطة الوقود الأحفوري أعلى كفاءة حرارية.

وهناك نوعان من الأفران المزودة بوحدات للاسترجاع غير المباشر لحرارة الغاز العادم، هي أفران الحريق المستعرض وأفران الحريق الطرقي. وتتميز أفران الحريق المستعرض المزودة بوحدات للاسترجاع غير المباشر لحرارة الغاز العادم بوجود فتحات الاحتراق والمحارق على امتداد جانبي الفرن، وفي نفس الوقت تقع غرفتا الاسترجاع على جانبي الفرن. أما أفران الحريق الطرقي فنقع غرفتا الاستعادة عند إحدى نهايتي الفرن ويكون لكل غرفة منهما فتحة واحدة. وغالباً ما يتم استخدام أفران الحريق الطرقي (أو الأفران ذات الفتحات الخلفية) في التطبيقات الصغيرة، نظراً لصغر أبعادها واستخدامها، وانخفاض فقدها للحرارة، واستهلاكها للطاقة، وتكاليف إنشائها. ورغم ذلك، تتسم هذه الأفران بشعلتها التي تأخذ شكل حرف U إثر انتقالها من غرفة الاستعادة الأولى إلى غرفة الاستعادة الثانية المجاورة لها، وهو الأمر الذي يمثل إشكالية في "تغطية الشعلة" للأسطح الزجاجية الكبيرة (يبلغ الحد الأقصى لمقاس السطح بين 110 أمتار مربعة و 120 متراً مربعاً كما يتراوح الحد الأقصى لكمية الزجاج المنصهر التي يتم سحبها من الفرن من 400 إلى 450 طن/يوم). لذا يفضل استخدام أفران الحريق المستعرض (الأفران ذات الفتحات الجانبية) للأسطح الزجاجية الكبيرة. وتقريباً ما تكون جميع الأفران المستخدمة لتصنيع الزجاج المسطح مزودة بفتحات جانبية.

### الأفران التي تعمل بالوقود المشبع بالأكسجين

تتضمن عملية الصهر باستخدام الوقود المشبع بالأكسجين استبدال هواء الاحتراق بالأكسجين. فإزالة النيتروجين من جو الاحتراق تؤدي إلى خفض كميات الغازات العادمة وعلى ذلك لا تصبح هناك حاجة لاستخدام أنظمة لاستعادة الحرارة. وينخفض استخدام الأفران للطاقة نظراً لأن النظام يقوم بتسخين الأكسجين بدلاً من الهواء (الذي تبلغ نسبة النيتروجين فيه 80 في المائة) إلى درجات الحرارة المطلوبة لإجراء الاحتراق. وتستخدم بعض الأفران التي تعمل بالوقود المشبع بالأكسجين الغازات العادمة لتسخين الخلطة وكسارة الزجاج. وينخفض الإنتاج النوعي لأكاسيد النيتروجين ( كيلوغرام / كيلوغرام زجاج) بشكل كبير، إلا أن تركيزات أكاسيد النيتروجين تكون أعلى بكثير من المعتاد نظراً لانخفاض تدفقات غازات المدخن. ويتمثل التصميم الأساسي للأفران التي تعمل بالوقود المشبع بالأكسجين مع تصميم الأفران الصغيرة غير المزودة بوحدات لاسترجاع الحرارة، إذ يتميز النوعان بوجود عدة محارق جانبية وفتحة عادم واحدة للغاز العادم. وينبغي عند تنفيذ تصاميمها مراعاة المفاضلات في التكلفة بعناية، كما تم تناولها بالمناقشة في القسم التالي.

### الأفران الكهربائية

تتكون الأفران الكهربائية من هيكل حراري للصهر مزود بأقطاب كهربائية مُدخلة إما من جانب الفرن، أو من أعلاه، أو من أسفله وهذا هو الأكثر شيوعاً. وعادة ما تكون الأفران الكهربائية صغيرة الحجم ويتم استخدامها بشكل خاص في عمليات تصنيع أنواع خاصة من الزجاج. ومن شأن التسخين الكهربائي القضاء على تكون منتجات الاحتراق الثانوية نظراً لإحلال الكهرباء محل الوقود الأحفوري وانتهاء الحاجة إلى نقل الخلطة، وهكذا تنخفض انبعاثات الفرن بشكل كبير. كما يمكن أيضاً أن تكون الأفران الكهربائية محكمة الغلق بصورة

كبيرة، وهكذا تكون النوع المفضل عندما تكون الانبعاثات الصادرة من الخلطة إلى الهواء ملوثة على نحو خاص.

### أفران الخلطات غير المستمرة

تستخدم هذه الأفران عند الحاجة إلى كميات صغيرة من الزجاج، وخاصة في الأوضاع التي يتم فيها تغيير المواد المكونة للزجاج باستمرار. وتستخدم أفران الجرار أو أفران خزانات اليوم لصهر خلطات المواد الخام. وتستخدم بعض الأفران وحدات بسيطة للاسترجاع المباشر لحرارة الغاز العادم، وتتميز بأن تصميمها الهندسي يأخذ شكل أسطواني أحادي المركز وتصل درجات حرارة التسخين المسبق للهواء فيها ما يتراوح بين 300 و400 درجة مئوية. وبرغم ذلك، لا يتم تركيب أنظمة للتسخين المسبق للهواء في معظم هذه الأفران.

### التعزيز بالكهرباء والأكسجين

توجد أفران يتم تسخينها بالكهرباء فقط، إلا أنه كثيراً ما يتم استخدام التسخين "المعزز" كهربائياً لاستكمال الحرارة الآتية من احتراق الوقود في الأفران المزودة بوحدات للاسترجاع غير المباشر لحرارة الغاز العادم والأفران المزودة بوحدات للاسترجاع المباشر لحرارة الغاز العادم. كما يخلق التعزيز الكهربائي الظروف المطلوبة لتسخين مناطق معينة من الزجاج ثبت صعوبة تسخينها باللهب العادي (اللهب السفلي) أو عندما تكون هناك رغبة في الحصول على مستوى محدد من درجة الحرارة. ويمكن أيضاً استخدام الطاقة الكهربائية عندما تكون هناك حاجة إلى زيادة الإنتاج على المدى القصير أو عندما تكون هناك حاجة إلى زيادة إنتاج الفرن بمستوى يقبل التنفيذ دون إجراء أية عمليات رئيسية لإعادة البناء. وتتراوح كمية الطاقة الكهربائية المعتادة في التعزيز الكهربائي ما بين 3 و10 في المائة من إجمالي الطاقة المستخدمة. وبالمثل، يستخدم

التعزيز بالأكسجين (استبدال هواء الاحتراق بالأكسجين في عدد محدود من المحارق) لزيادة إنتاج الفرن في ظروف معينة. ويُستبدل عادة ما يتراوح بين 10 و 30 في المائة من هواء الاحتراق بالأكسجين.

وأثبتت الأفران الكهربائية والأفران التي تدار بالوقود المشبع بالأكسجين أنها متماثلة في انخفاض استخدامها للوقود، وغالباً في التكاليف الاستثمارية أيضاً نظراً لعدم ضرورة وجود أنظمة لاستعادة الحرارة الضائعة نتيجة الانخفاض الكبير في كميات الغاز العادم. وبرغم ذلك، ينبغي أن يراعي التوازن الصحيح للجانب الاقتصادي وجانبي الطاقة والبيئة لهذه التقنيات جانبي الطاقة والبيئة ذا الصلة بإنتاج الأكسجين والكهرباء. وتعتبر التكلفة ذات الصلة بالكهرباء والوقود الأحفوري القضية الرئيسية المتعلقة بالجدوى الاقتصادية لهذه الأساليب وينبغي أن تراعى وفقاً لكل حالة على حدة.

