

## إرشادات بشأن البيئة والصحة والسلامة الخاصة بصهر وتنقية المعادن الأساسية

### 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 والالتزام المتوقع 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 المُتاحة 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
- المواد الخطرة
- المخلفات والنفايات
- الضوضاء

### الانبعاثات الهوائية

#### الجسيمات<sup>2</sup>

وقد تنبعث الجسيمات (التي قد تحتوي على معادن) من مصادر التسرب والمصادر غير الثابتة، بما في ذلك عمليات الاستقبال والتكييف والمناولة والنقل (مثل الناقلات، وحركة مرور المركبات) والتخزين (مثل الأكاسيد الخارجية) التي يتم القيام بها فيما يتعلق بالخامات المعدنية والمركبات والمواد الخام الثانوية؛ ومن الزيت الساخن أثناء المعالجة الحرارية (مثل التلييد والصهر والتحميص والتحويل)؛ وأثناء المعالجة بالترشيح (مثل مناولة المواد الجافة والترشيح وتخزين بقايا الترشيح)؛ وأثناء التنقية الحرارية (مثل المعالجة بالأفران ونقل المواد الساخنة)؛ وأثناء جمع ونقل محتويات أنظمة التخفيف (مثل المرشحات الكيسية)؛ وأثناء الصهر والصب (مثل مناولة المعدن المصهور والخبث). وقد تكون الانبعاثات المنفلتة أكبر من تلك التي يتم جمعها وتخفيفها؛ ولذلك تعد السيطرة على الانبعاثات المنفلتة ذات أهمية خاصة.

تتضمن التدابير الموصى بها لمنع انبعاث الجسيمات والسيطرة عليها ما يلي:

تتضمن الإرشادات بشأن البيئة والصحة والسلامة الخاصة بالصهر والتنقية معلومات تتعلق بصهر وتنقية المعادن الأساسية والتي تشمل الرصاص والزنك والنحاس والنيكل والألمنيوم وصهرها. لكنها لا تتضمن معلومات بشأن استخراج المواد الخام وتركيزها، فهذه المعلومات يمكن الإطلاع عليها في الإرشادات بشأن البيئة والصحة والسلامة من أجل التعدين. ويقدم "الملحق (أ)" وصفاً لأنشطة ذلك القطاع من الصناعة.

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 ملخصاً للقضايا ذات الصلة بالبيئة والصحة والسلامة المرتبطة بصهر المعادن الأساسية وتنقيتها والتي تظهر بصفة عامة أثناء مرحلة التشغيل، هذا إلى جانب توصيات بكيفية التعامل معها. وتجدر الإشارة إلى أن التوصيات المتعلقة بالتعامل مع قضايا البيئة والصحة والسلامة المشتركة في غالبية المرافق الصناعية الكبرى خلال مراحل الإنشاء وإيقاف التشغيل واردة في الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة.

### 1.1 البيئة

وترتبط القضايا البيئية الهامة المتعلقة بصهر المعادن الأساسية وتنقيتها في مرحلة التشغيل بما يلي:

- الانبعاثات الهوائية

<sup>2</sup> تصنف الجسيمات (الغبار) على أنها الجسيمات الكلية وهي التي لا يزيد حجمها عن 100 ميكرون (جسيمات كلية)، والجسيمات أقل من 10 ميكرون (جسيمات 10)، والجسيمات أقل من 2.5 ميكرون (جسيمات 2.5). ويتوقف تأثير الجسيمات على حجمها وطبيعتها (مثلاً الجسيمات 2.5 قابلة للاستنشاق بشكل أكبر)، وعلى قابليتها النسبية للذوبان، وتركيز وسمية المواد التي توجد فيها.

- الحد من استهلاك الطاقة. وينبغي ألا يتم استخدام عملية استخلاص الأبخرة من سطح نظام التهوية بصفة عامة إلا كحل أخير نظرا لاستهلاك العالي من الطاقة التي تتطلبها وتدني كفاءة التجميع؛
- التحكم في انبعاث الجسيمات باستخدام المرشحات الإلكترونية/الكيميائية أو المرشحات الكيسية أو أجهزة غسل الغازات أو أنظمة الفصل الدوامية المناسبة لخصائص تدفق العادم (على سبيل المثال مراعاة درجة الحرارة وحجم الجسيمات).<sup>4</sup>

<sup>4</sup> ما يلي تم نقله بتصريف من معلومات المفوضية الأوروبية (2001). الوثيقة المرجعية حول أفضل الأساليب المتوافرة في صناعة معالجة المعادن غير الحديدية: يتم استخدام أنظمة المرشحات النسيجية على نطاق واسع ضمن هذا القطاع من الصناعة، وذلك نظرا لفعاليتها العالية في التحكم في الجسيمات الدقيقة التي تنتج من عمليات الصهر. ولكن نظرا لميلها إلى الانشاء وحساسيتها للنيرون، فإنها لا تعد ملائمة لكافة التطبيقات / الحالات. وتستخدم غرف الترسيب والتبريد وكذلك غلايات استعادة الحرارة المفقودة قبل المرشحات الكيسية للحد من احتمالات نشوب الحرائق، ولتكيف الجزيئات، ولإستعادة المحتوى الحراري من الغازات المنبعثة قبل إزالة الغبار. ويستخدم المرسب الإلكتروني كذلك على نطاق واسع في الصناعة وهو يتمتع بقدرته على العمل في مجموعة متنوعة من ظروف الحرارة والضغط وحمل الغبار. وهو غير حساس بشكل خاص لحجم جسيمات معين ويقوم بجمع الأتربة في الظروف الرطبة والجافة. ويتسم بأن تصميمه مزود بإمكانيات لمقاومة التآكل والكشط. غير أن المرسب الإلكتروني/الكيميائي لا يحقق عادة تركيزات غبار نهائية منخفضة مقارنة بتلك التي تحققها المرشحات النسيجية. وتكون المرشحات الإلكترونية/الكيميائية الرطبة ضرورية عند الحاجة إلى تنظيف الغازات الرطبة المشبعة ذات نسبة محتوى جسييمي مرتفع (على سبيل المثال يتم تنظيف الغازات المنبعثة من إنتاج الزنك والنحاس الأوليين، والتي تحتوي على أتربة وثاني أكسيد الكبريت، باستخدام جهاز غسل ومرسب إلكتروستي رطب). وتستخدم المرشحات الرطبة كذلك في تجميع سحب القطران في النفايات الغازية من أفران خبز الإلكترود. وتستخدم أجهزة غسل الغاز الرطبة المتتابعة في الغالب لإزالة الغار من الغازات المحتوية على نسبة مرتفعة من الكربون المنبعثة من أفران القوس الكهربائي؛ حيث يستخدم الغاز كغاز مرتفع القيمة الحرارية. كما تستخدم في معالجة الغازات المنبعثة من آلات التلييد ذات السور الفولاذية، حيث يكون الغبار كاشط للغاية لكن سهل الترطيب، ويسمح استخدام نظام الغسل بأن يحدث تبريد الغاز في نفس وقت إزالة الغبار. أما أنظمة الفصل الدوامية فلا تكون عادة مناسبة للتحكم على نحو مباشر في الانبعاثات الناتجة عن العمليات في هذا القطاع من الصناعة. وتكون كفاءتها في تجميع الغبار الدقيق منخفضة بدرجة لا تمكنها من التعامل بفاعلية مع انبعاثات الأفران. وقد أظهرت الخبرة التشغيلية أن هذه الأنظمة غير قادرة على تلبية المعايير الحديثة المتعلقة بالانبعاثات. ومع ذلك، فإن أنظمة الفصل الدوامية تستخدم بفاعلية كمجمع أولي للأتربة إلى جانب نظام آخر، وبالأخص في العمليات الأكبر التي قد تنتج فيها سعة الإنتاجية.

- تحديد خصائص كافة المواد الغذائية فيما يتعلق بإمكانية الحد من المخاطرة؛
- تخزين المواد المنتجة للغبار في مبان أو حاويات مغلقة ونقلها باستخدام أنظمة ناقلة هوائية أو مغلقة. تغطية كافة مركبات النقل؛
- الحد من كمية المواد المنقولة ومسافات النقل من خلال التخطيط والتصميم الفعالين للمصنع؛
- الحد من الغازات المنبعثة ما أمكن (باستخدام عمليات الصهر المعتمدة على الأكسجين على سبيل المثال)؛
- التصميم من أجل التشغيل المتواصل ما أمكن، والتأكد من وجود أنظمة التحكم البيئية بما يكفي لضمان التشغيل السلس والمتسق.<sup>3</sup>
- استخدام الأفران والمفاعلات محكمة الغلق ذات الضغط المنخفض، أو إعادة ضبط الأفران الحالية لتوفير أكبر درجة من الإحكام (على سبيل المثال باستخدام "فتحة رابعة" في سقف أفران القوس الكهربائي لاستخلاص غازات العملية بأعلى مستوى من الكفاءة)؛
- التطويق أو الاحتواء أو استخدام الأغشية لجمع الأتربة من أوعية العمليات ونقاط التغذية والتصرف وأنظمة النقل؛
- استخدام الأنظمة التي تتيح الاحتفاظ بمانع التسرب أو الغطاء أثناء نقل المواد، كأن يكون ذلك بإضافة المواد من خلال الإلكترود؛ والإضافة عبر الأنابيب أو البضع؛ واستخدام الصمامات الدوارة القوية مع أنظمة التغذية؛
- استخدام ضوابط المخمد التي تقوم بتغيير نقاط الاستخلاص تلقائيا أثناء مراحل التصنيع المختلفة من أجل استهداف مجهود الاستخلاص إلى مصدر الأبخرة وبالتالي

<sup>3</sup> على سبيل المثال، فإن مراحل المحول المستخدمة في عمليات الصهر الومضي/التحويل الومضي المستمرة في أنظمة لا تتطلب النقل بالمغارف وبالتالي تتيح التخلص من هذا المصدر للأبخرة الثانوية.

المعادن في البيئة على صورتها ودرجة سميتها وتركيزها.

5

ويتم التحكم في انبعاثات المعادن عبر تطبيق تدابير معينة للسيطرة على الجسيمات.

**الزئبق:** يتوجب توجيه اهتمام خاص لانبعاثات المعادن التي تتولد من عمليات الصهر والتنقية والتي يحتمل أن ينطلق منها الزئبق. فعلى الرغم من أن غالبية تدفقات العادم التي تحوي معادن يمكن التحكم فيها بكفاءة من خلال استخدام ضوابط التخفيف نفسها المطبقة مع الجسيمات، سيظل الزئبق موجودا في صورة بخار في درجات الحرارة المحيطة ويمكنه المرور عبر بعض أجهزة التحكم. ومن الأهمية بمكان أن يتم تبريد الغاز المدخل إلى جهاز التحكم في الجسيمات لضمان التقاط الزئبق بفاعلية كافية أو استخدام وسيط من الفحم النباتي المنشط لامتصاص الزئبق.<sup>6</sup>

#### ثاني أكسيد الكبريت

ينتج ثاني أكسيد الكبريت (SO<sub>2</sub>) من احتراق الوقود الأحفوري وعند تحميص مركبات الكبريتيد المعدنية أو تليدها أو صهرها أو تحويلها أو تنقيتها. ويمثل تركيز ثاني أكسيد الكبريت في تدفقات الغازات المنبعثة خاصية هامة يُعتمد عليها في التعامل مع انبعاثات ثاني أكسيد الكبريت. فبالنسبة للتركيزات التي تتجاوز 5-7 في المائة في تدفق الغاز الخام، يمكن معالجة ثاني أكسيد الكبريت بتحويله إلى حامض

<sup>5</sup> European Commission (2001). Reference document on best available techniques (BREF) for the non-ferrous metals industries.

<sup>6</sup> ويمكن الحصول على المزيد من المعلومات المفصلة حول التقنيات والطرق المستخدمة للتحكم في انبعاثات الزئبق، إضافة إلى التعامل مع مخلفات المواد (مثل كلوريد الزئبق أو الكالوميل من أنظمة للتحكم في انبعاثات الزئبق من المفوضية الأوروبية (2001). Reference document on best available techniques (BREF) for the non-ferrous metals industries, pg 135.

- الحفاظ على غطاء وقنوات ونظام الترشيح في المجمع لضمان بقاء معدلات التجميع والاستخلاص عند المستوى المخصص؛
- تغطية كافة مركبات النقل والمخازن المطوقة ومعدات التصنيع؛
- استخدام برنامج رش بالماء للحد من انبعاثات الجسيمات المحمولة في الهواء من الطرق داخل الموقع، وأكداص التخزين، والمصادر الأخرى؛
- المداومة على نظافة المكان وتوفير مرافق غسل المركبات لمنع انتقال الجسيمات داخل المنشأة وخارجها.

#### المعادن

إضافة إلى المعادن الأساسية الأولية، قد تحتوي مواد التغذية على كميات ضئيلة من المعادن الأخرى (مثل الألمنيوم والزرنيخ والأنتيمون والبيزموت والكاديوم والكروم والنحاس والجرمانيوم والذهب والإنديوم والرصاص والزنك والنيكل والسيلينيوم والفضة والثاليوم والقصدير والزنك).

وقد تتولد انبعاثات المعادن في أشكال ومركبات مختلفة، وقد تنتقل كملوثات في الجسيمات، أو السحب، أو الأبخرة أو في السوائل، من كافة مراحل الإنتاج بما في ذلك المعالجة الحرارية (على سبيل المثال تتولد كميات كبيرة من الغاز الساخن المحتوي على الجسيمات والأبخرة المعدنية أثناء عمليات التليد والصهر والتحميص والتحويل)؛ والتنقية الحرارية (على سبيل المثال تتولد الجسيمات الدقيقة والأبخرة المعدنية أثناء المعالجة بالأفران ونقل المواد الساخنة)؛ والتنقية الكهربائية (على سبيل المثال انبعاثات السحب الحامضية من محاليل الإلكتروليتات)؛ والصهر والصب (على سبيل المثال انبعاثات الأبخرة المعدنية من مناولة المعدن المصهور والخبث وجسيمات المرشحات الكيسية). ويتوقف مدى تأثير هذه

- استخدام المعالجة المسبقة (مثل التعويم) لإزالة الكبريتيد غير المرغوب والحد من الكبريت في مواد التغذية؛
- استخدام الوقود المحتوي على نسبة كبريت منخفضة (مثل الغاز الطبيعي بدلا من زيت الوقود الثقيل أو الكوك) والمواد الخام (مثل المواد الخام ذات الكبريت الأقل).

#### أكاسيد النيتروجين

- ترتبط انبعاثات أكاسيد النيتروجين في الأساس باحترق الوقود (مثل الفحم في عملية الصهر والغاز الطبيعي في التنقية الحرارية). وقد تتألف أكاسيد النيتروجين من مكونات النيتروجين الموجودة في الوقود أو المركبات، أو في صورة أكاسيد نيتروجين حرارية. وفي إنتاج الألمنيوم، تتكون أكاسيد النيتروجين كذلك أثناء عملية التحليل الحراري لوجود النيتروجين في الأنود.

- الحد من توليد أكاسيد النيتروجين باستخدام محارق غازية ذات نسبة نيتروجين منخفضة وكذا استخدام الهواء الناتج من الاحتراق المرحل في أفران التنقية الحرارية ومرافق الاحتراق الأخرى.
- معالجة غازات التحميص لإزالة أكاسيد النيتروجين (على سبيل المثال باستخدام جهاز غسل غاز مؤكسد) في حالة وجود مستويات عالية من أكاسيد النيتروجين لتحسين جودة وإمكانية استخدام حامض الكبريت المنتج من الغازات المنبعثة المحتوية على ثاني أكسيد الكبريت؛
- يؤدي إلى خفض

#### الديوكسينات والفيورانات

- قد تتولد مركبات ثنائي بنزودايوكسين متعدد الكلور (PCDD) وثنائي بنزو فيوران متعدد الكلور (PCDF) أثناء إنتاج المعادن (مثل المعالجة الحرارية)، وبالأخص فيما يتعلق

كبريتيك. وتتطلب التركيزات الأقل في تدفقات الغاز استخدام مواد خام تحتوي على كميات أقل من الكبريت، أو نظام معين من غسل الغاز لتثبيت الكبريت والحد من انبعاثات ثاني أكسيد الكبريت إلى الغلاف الجوي وتحقيق التركيزات الملائمة في الهواء المحيط. وتساعد عمليات الصهر باستخدام الأكسجين في الحد من كميات الغازات المنبعثة وتزيد من تركيز ثاني أكسيد الكربون، وهو ما يؤدي إلى رفع كفاءة التحويل ويحد من الانبعاثات الملوثة مع الكميات الأقل.

تتضمن التدابير الموصى بها لمنع انبعاثات ثاني أكسيد الكبريت والسيطرة عليها ما يلي:

- معالجة (تثبيت) الكبريت من أجل التخزين الآمن و/أو الاستخدام كمنتج (مثل حامض الكبريتيك، وثاني أكسيد الكبريت السائل، وسماذ، وكبريت أولي)؛
- دراسة الخيارات التقنية للحد من مقادير الغازات وزيادة تركيز ثاني أكسيد الكبريت؛<sup>7</sup>
- تطبيق أنظمة التحكم في العمليات لضمان التشغيل المتسق؛
- تركيب أنظمة غسل الغاز لإزالة ثاني أكسيد الكبريت من التدفقات ذات التركيز المنخفض؛
- تطوير معدات وأوعية العملية لمنع الانبعاثات من الانفلات؛

<sup>7</sup> وهناك طريقتان أساسيتان تستخدمان في الصهر، هما الصهر الحوضي، والصهر الومضي. تستخدم عملية الصهر الومضي الإغناء بالأكسجين لإنتاج عملية ذاتية الحرارة (متولدة ذاتيا) أو عملية شبه ذاتية لتوليد الحرارة. وتعتمد عمليات الصهر غالبا على درجة منخفضة من الإغناء بالأكسجين. ويعطي استخدام الأكسجين كذلك تركيزات أعلى من ثاني أكسيد الكبريت بما يزيد من فاعلية تجميع الغاز باستخدام أحد أنظمة استعادة الكبريت (عادة بإنتاج حامض الكبريتيك أو ثاني أكسيد الكبريت السائل).  
European Commission (2001). Reference document on best available techniques (BREF) for the non-ferrous metals industries. Bath

أثناء صهر وتنقية المعادن الثانوية إذا كانت التغذية تشتمل على مواد عضوية.

وتتضمن التدابير الموصى بها لمنع انبعاثات المركبات العضوية المتطايرة والحد منها والسيطرة عليها ما يلي:

- استخدام المذيبات المستندة إلى الماء ما أمكن، أو استخدام المذيب الأقل سمية المناسب للتطبيق؛
- احتواء الانبعاثات (على سبيل المثال باستخدام المعدات محكمة الغلق أو الأغشية)؛
- استخدام الخلاطات/المرسبات التي تقلل الاتصال بالهواء للحد من تبخر المركبات العضوية المتطايرة؛
- السيطرة على انبعاثات المركبات العضوية المتطايرة باستخدام المحارق اللاحقة، أو أجهزة غسل الغاز، أو المرشحات والمفاعلات البيولوجية، أو مصادد الكربون المنشط، أو أنظمة المبردات/المكثفات، وذلك استناداً إلى تكوين تدفق الغاز، على سبيل المثال؛
- استخدام التنفيس الخلفي للغازات المزاحة إلى مركبة التوصيل عند ملء صهاريج المذيبات أو الوقود، واستخدام إحكام الغلق التلقائي لوصلات التسليم لمنع التسرب.

#### السحب الحامضية والأرسين

قد يؤدي الاستخلاص الكهربائي والعمليات الأخرى مثل ترشيح الضغط وإنتاج حامض الكبريتيك إلى إنتاج سحب حامضية تحتوي على معادن قابلة للانحلال. وتتولد السحب الحامضية كذلك أثناء تكسير بطاريات حامض الرصاص. وقد ينتج غاز الأرسين عند اختلاط بعض المعادن النادرة مع الحامض (على سبيل المثال أثناء عملية الترشيح). وتنشأ السحب الحامضية بفعل التفاعلات في خلايا الاستخلاص الكهربائي، وبفعل أية عمليات تهوية أو خلط شديد و/أو

بالإنتاج من المواد الخام الثانوية أو في العمليات التي تتطلب الكلورة. وقد تؤدي الشوائب الموجودة في المادة الخردة إلى تكون مركبات PCDD/F أثناء الاحتراق غير الكامل أو التركيب من جديد.<sup>8</sup>

تتضمن التدابير الموصى بها لمنع تكون الديوكسينات والفيورانات والسيطرة عليها ما يلي:

- استبعاد المعادن الخردة لتقليل أو الحد من وجود المواد العضوية (مثل البلاستيك والخشب) قبل إجراء أية عملية احتراق و/أو تسخين تشتمل على هذه المعادن؛
- تطبيق الإجراءات الملائمة لتشغيل وصيانة معدات الاحتراق لضمان الاحتراق الفعال عند درجات الحرارة وفترات البقاء المحددة بما ينتج عنه تدمير الديوكسينات وتفاذي إعادة تكونها عند تبريد الغازات؛
- دراسة إمكانية استخدام الكربون المنشط في مفاعل ذي قاعدة ثابتة أو متحركة أو بواسطة الحقن في تيار الغاز، والإزالة اللاحقة كغبار بالترشيح.

#### المركبات العضوية المتطايرة

تنشأ المركبات العضوية المتطايرة (VOCs) نتيجة الاحتراق السيئ وأثناء بعض العمليات مثل إزالة الشحوم من المكونات، وعمليات استخلاص المذيبات، وتنفيس الصهاريج المستخدمة في تخزين المذيبات والوقود. وقد تتحرر هذه المركبات كذلك

<sup>8</sup> ويمكن أن يتسبب وجود الزيوت وغيرها من المواد العضوية في الخردة أو مصادر الكربون الأخرى (الوقود المحترق جزئياً والمختزلات مثل الكوك) في إنتاج جسيمات كربونية دقيقة تتفاعل مع الكلوريدات غير العضوية أو الكلور المرتبط عضوياً في نطاق درجة حرارة من 250 إلى 500 درجة مئوية لإنتاج الديوكسينات. وتعرف هذه العملية بالتركيب من جديد ويصبح وجود معادن مثل النحاس أو الحديد بمثابة محفز لها.

European Commission (2001). Reference document on best available techniques (BREF) for the non-ferrous metals industries.



مواد التغذية الثانوية المحتوية على مواد عضوية. وتتشابه تدابير السيطرة على انبعاثات أول أكسيد الكربون من هذه المصادر مع التدابير الخاصة بالمركبات العضوية المتطايرة والتي تم توضيحها أعلاه.

#### غازات الدفيئة

**ثاني أكسيد الكربون (CO<sub>2</sub>):** ينتج ثاني أكسيد الكربون بكميات كبيرة أثناء عمليات الصهر والتنقية.<sup>9</sup> وتتمثل المصادر الرئيسية له في مركبات الصهر، والاحتراق المباشر للوقود الأحفوري لأغراض توليد الطاقة والحرارة، والانبعاثات غير المباشرة الناشئة من الوقود الأحفوري المستخدم في توليد الطاقة الكهربائية لتيسير عمليات المنشأة (على سبيل المثال للتحليل الكهربائي في صهر الألمنيوم). وتقترن الإسهامات غير المباشرة الأخرى في غازات الدفيئة في هذا القطاع باستخدام الكاشفات الكيميائية التي تؤدي إلى إطلاق كمية كبيرة من غازات الدفيئة أثناء عمليات التصنيع التحويلي خارج الموقع. وترتبط فرص الحد من تولد غازات الدفيئة ارتباطاً وثيقاً بتدابير زيادة كفاءة الطاقة والحد من استهلاك الطاقة، وهذه التدابير تم تناولها في قسم "استهلاك الطاقة وكفاءتها" أدناه. وتناقش الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة مزيداً من التوصيات بشأن التعامل مع غازات الدفيئة.

<sup>9</sup> يتكون ثاني أكسيد الكربون كذلك في عملية إنتاج الألمنيوم أثناء التحليل الكهربائي نتيجة تفاعل أنود الكربون مع الأكسجين المتكون بواسطة التحليل الكهربائي ونتيجة تفاعل ثانوي مع الهواء. على أن هذا الانبعاث يكون أقل كثيراً من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون الناتجة عن احتراق الوقود الأحفوري عند استخدامه في توليد الطاقة الكهربائية المطلوبة لعملية التحليل الكهربائي.

تفاعلات كيميائية في العمليات الفرعية و/أو عند مصادر الإسقاط المفتوحة لمناولة تدفقات السائل.

وفيما يلي بعض التدابير لمنع انبعاثات السحب الحامضية والأرسين والسيطرة عليها:

- مراقبة بارامترات التحكم في العملية للحد من و/أو إزالة الظروف غير الملائمة؛
- تركيب الأغشية على الصهاريج والاحتفاظ بطبقة كافية من الإسفنج على سطح محلول الإلكتروليت، ومعالجة غازات وسحب العادم باستخدام أجهزة التحكم (مثل أجهزة غسل الغاز).
- استخدام مرشحات المداخن والمرشحات الشعاعية للتحكم في انبعاثات السحب الحامضية في مصانع حامض الكبريتيك؛
- تجميع ومعالجة السحب الحامضية (على سبيل المثال باستخدام أجهزة غسل الغاز الرطبة أو مرشحات السحب) التي تتولد في مراحل الطحن عند تكسير البطاريات.

#### أول أكسيد الكربون

تؤدي بعض عمليات المعالجة المعدنية الحرارية (أي الإنتاج الكربوني الحراري للسبائك الحديدية في أفران القوس الكهربائي المغاطسة المغلقة) إلى صدور غاز منبعث غني بأول أكسيد الكربون كمنتج ثانوي. ويتباين مقدار أول أكسيد الكربون تبايناً كبيراً استناداً إلى نوع المعدن وعملية الإنتاج. ويمكن تدابير مثل جمع الغاز الغني بأول أكسيد الكربون وتنظيفه (باستخدام نظام غسل غاز متتابع على سبيل المثال)، واستخدام أو بيع الغاز كوقود من السيطرة على انبعاثات أول أكسيد الكربون والحد منها. علاوة على ذلك، فقد ينتج أول أكسيد الكربون عن الاحتراق غير الكامل في عمليات صهر وتنقية

وتشمل التدابير المتبعة للتحكم في البيروفلوروكربونات (والحد من انبعاث غازات الدفيئة الكلية) ما يلي<sup>13</sup> :

- زيادة استخدام الألمنيوم المعاد تدويره (يتطلب إنتاج الألمنيوم المعاد تدويره طاقة أقل كثيرا مما هو مطلوب للإنتاج الأولي)؛
- رفع كفاءة التحويل الكهربائي؛
- الحد من آثار الأنود التي تؤدي إلى إنتاج PFS:
  - التحكم في آثار الأنود عن طريق ضبط فولطية الخلية وإضافات الألومينا
  - استخدام التغذية النقطية شبه المستمرة للألومينا إلى جانب التحكم في العملية
- تغيير تكنولوجيا خفض الانبعاثات للحد من استخدام الكربون الأحفوري<sup>14</sup> .

استهلاك الطاقة وكفاءة استخدامها: تتطلب مرافق الصهر

والتنقية كميات كبيرة من الطاقة، وبالأخص طاقة الوقود المستخدمة في عمليات التجفيف والتسخين والصهر وتوليد الدخان وإذابة المعادن والنقل، والطاقة الكهربائية المستخدمة في التحليل الكهربائي وفي تدوير المرافق / المعدات. وتحتوي الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة توجيهات تهدف إلى تحسين أداء كفاءة الطاقة. وترتبط التوصيات التالية بهذا القطاع تحديداً:

- تقييم تقنيات المعالجة والصهر البديلة التي من شأنها تحسين استخدام الطاقة (على سبيل المثال يحتاج الصهر

البيروفلوروكربون (الألمنيوم فقط)<sup>10</sup> ،<sup>11</sup> : يتكوّن نوعان من البيروفلوروكربونات (PFCs)، هما رباعي فلورو الميثان (CF<sub>4</sub>) وسداسي فلورو الإيثان (C<sub>2</sub>F<sub>6</sub>)، أثناء مرحلة آثار الأنود (اختلال التوازن الوتقي لمعدل التغذية بالمادة الخام ومعدل إنتاج الألمنيوم) في عملية التصنيع التحويلي للألمنيوم ولا يمكن إزالتها، ما إن يتم تكوينها، من تدفق الغاز باستخدام التكنولوجيا القائمة.

تحدث آثار الأنود عندما ينخفض محتوى الألومينا في الإلكتروليت إلى أدنى من 1-2 في المائة بما يؤدي إلى تكوّن طبقة غازية على الإلكتروليت. ويؤدي تكوّن هذه الطبقة على الأنود إلى إيقاف الإنتاج المعدني وزيادة فولطية الخلية من نطاق 4-5 فولط إلى 8-50 فولط. ويعتمد تولد البيروفلوروكربون على تكرار آثار الأنود ومدة بقائها.<sup>12</sup>

<sup>10</sup> من بين غازات الدفيئة الستة التي ينبغي العمل على خفضها بموجب بروتوكول كيوتو، اثنان من البيروفلوروكربون (PFCs)، هما رباعي فلورو الميثان (CF<sub>4</sub>) وسداسي فلورو الإيثان (C<sub>2</sub>F<sub>6</sub>) وبعدها من المنتجات الثانوية لعملية صهر الألمنيوم. وإمكانية الاحتراز العالمي (GWP) هي أسلوب قياس يستخدم لتحديد الإسهام النسبي لكل غاز من غازات الدفيئة في احتراز الغلاف الجوي. ويمكن حسابها لنطاقات زمنية محددة (مثلا من 20 عاما إلى 500 عام) ولمستويات تركيز معينة من غازات الدفيئة (مثل المستويات الحالية). وتراعى الآثار المباشرة وغير المباشرة على حد سواء. وتشمل الآثار غير المباشرة التغيرات في كيمياء الغلاف الجوي مثل تكوين الأوزون والتغيرات في بخار الماء في طبقات الجو العالية. وقد تم تخصيص مقياس GWP يساوي 1 لثاني أكسيد الكربون، ويتم مقارنة كافة غازات الدفيئة على أساسه. ويبلغ مقياس GWP لرباعي الفلوروميثان 6500 (CF<sub>4</sub>) مرة مثل مقياس ثاني أكسيد الكربون (في نطاق زمني يبلغ 100 عام)، فيما يبلغ مقياس سداسي الفلورو إيثان 9200 (C<sub>2</sub>F<sub>6</sub>) مرة مثل مقياس ثاني أكسيد الكربون (في نطاق زمني يبلغ 100 عام). United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC), International Aluminum Institute. Greenhouse Gas Protocol: Greenhouse gas emission monitoring and reporting by the aluminum industry, October, 2006. متاح على الموقع [www.world-aluminium.org/environment/climate/ghg\\_protocol.pdf](http://www.world-aluminium.org/environment/climate/ghg_protocol.pdf)

<sup>11</sup> European Commission (2001). Reference document on best available techniques (BREF) for the non-ferrous metals industries.

<sup>13</sup> International Aluminum Institute. "PFC Emissions: A Decade of Progress" متاح على الموقع <http://www.world-aluminium.org/environment/climate/index.html>

<sup>14</sup> لا تزال تقنيات الحد من الانبعاثات غير المعتمدة على الكربون تمر بمرحلة تجريبية في الوقت الحالي .



الألمنيوم والكربونيت مع الهيدروجين. ويمكن التحكم في انبعاثات الكلوريد بالتقاط الأبخرة. ويتم تنظيف الأبخرة الملتقطة (في الغالب أكبر من 98 في المائة من الأبخرة الكلية) بحقن الألومينا في الغاز المنبعث من أجل امتصاص الفلوريد، ثم يتبع ذلك استخدام المرشحات الكيسية (يعاد الغبار إلى القدر) أو أجهزة غسل الغاز الرطبة (تكون في الغالب ذات فاعلية أكبر من 99.5 إلى 99.9).

#### القطران والهيدروكربونات العطرية متعددة الحلقات (الألمنيوم فقط)

قد يتحرر القطران والهيدروكربونات العطرية متعددة الحلقات (من مصانع خبز الأنود في المقام الأول). وتتضمن التوصيات المتعلقة بمنع هذه الانبعاثات والتحكم فيها ما يلي:

- تحسين كفاءة الاحتراق؛
- التحويل إلى نوع آخر من الأنود؛
- إزالة القطران والهيدروكربونات العطرية باستخدام أنظمة غسل الغاز العاملة بالألومينا والمرشحات القماشية؛
- استخدام معجون الأنود الجاف وصيانة أغطية الأنود في درجات الحرارة المنخفضة للحد من انبعاثات الهيدروكربونات العطرية متعددة الحلقات.

#### تحضير الأنود (الألمنيوم فقط)

ينتج عن التحليل الكهربائي للألومينا إلى ألمنيوم استهلاك الأنود وأثناء ذلك يقوم الأكسجين المتحرر بحرق الكربون. وهذه الأنودات يتم تحضيرها غالبا في الموقع في مرفق لخبز الأنودات حيث تُوصل المواد المحتوية على الكربون (بما في ذلك الزيت النفطي) بقلب معدني ويتم خبزها لزيادة المتانة. ويؤدي الخبز إلى انطلاق الهيدروكربونات المتطايرة وكذلك الملوثات الأخرى مثل الكبريت من المواد الخام. ويمكن، إذا كان ذلك عمليا، استخدام القيمة الحرارية المتولدة من انبعاثات

الومضي إلى حوالي نصف الطاقة التي يحتاجها الصهر التقليدي في أفران النسخ، ويتطلب استخدام الألمنيوم المعاد تدويره عادة طاقة أقل كثيرا من تلك التي يتطلبها الإنتاج (الأولي)؛

- استخدام تقنيات استعادة الحرارة والطاقة لتعظيم الاستفادة من الطاقة (مثل غلايات الحرارة المفقودة، المبادلات الحرارية، ومحركات الإدارة العاملة بالبخار) <sup>15</sup> من الغازات المتولدة بواسطة عمليات المعالجة المعدنية الحرارية على سبيل المثال. وقد تختلف تقنيات استعادة الحرارة بين المرافق لكنها قد تشمل استخدام الهواء الغني بالأكسجين للحد من استهلاك الطاقة؛ واستخدام الغلايات المنتجة للبخار لالتقاط الغازات الساخنة التي تتولد من الصهر والتحميص؛ واستخدام الحرارة الناتجة عن عمليتي الصهر والتنقية لإذابة المعادن الثانوية.

#### كربونيل النيكل (النيكل فقط)

يعد إنتاج كربونيل النيكل خطوة وسيطة في إنتاج النيكل النقي. واستنادا إلى العملية، قد تتكون أنواع أخرى من الكربونيل مثل الكوبالت وكربونيل الحديد. ويجب حرق تدفقات الغاز المحمل بالكربونيل لتحويل الكربونيل المعدني إلى أكسيد معدني أساسي وثاني أكسيد كربون. وينبغي استخدام تقنيات التحكم لالتقاط أكسيد المعدن الأساسي وثاني أكسيد الكربون الناتجين من حرق تدفقات الغاز المحمل بالكربونيل

#### الفلوريدات (الألمنيوم فقط)

تعتبر القدر المستخدمة في عملية التحليل الكهربائي المصدر الرئيسي للفلوريدات الغازية. وتكون غالبية الفلوريدات الغازية المنتجة في صورة فلوريد هيدروجين ينشأ من تفاعل فلوريد

<sup>15</sup> يمكن الحصول على توجيهات مفصلة في المفوضية الأوروبية (2001). الوثيقة المرجعية حول أفضل الأساليب المتوافرة في صناعة معالجة المعادن غير الحديدية.

والترشيح من أجل فصل المواد الصلبة القابلة للترشيح؛ ومعادلة التدفق والحمل؛ والترسيب من أجل خفض المواد الصلبة العالقة باستخدام أجهزة التنقية؛ وإزالة المياه والتخلص من المخلفات في المدافن المخصصة للنفايات الخطرة. وقد يتطلب الأمر استخدام ضوابط هندسية إضافية من أجل (1) رفع مستوى إزالة المعادن باستخدام الترشيح العشوائي أو التحليل الكهربائي أو التقنيات الأخرى للمعالجة الفيزيائية/الكيميائية، (2) إزالة المركبات العضوية العنيدة باستخدام الكربون المنشط أو الأكسدة الكيميائية المتقدمة، و(3) خفض سمية النفايات السائلة باستخدام تقنية ملائمة (مثل التناضح العكسي، والتبادل الأيوني، والكربون المنشط، وغير ذلك).

وتناقش الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة كيفية التعامل مع المياه المستعملة الناتجة عن العمليات الصناعية وأمثلة لمقتربات المعالجة. ويتعين على المرافق، من خلال استخدامها لهذه التكنولوجيات وأساليب الممارسة الصحيحة المتعلقة بكيفية التعامل مع المياه المستعملة، أن تقيم بالإرشادية المعنية بتصريف المياه المستعملة والمبينة بالجدول ذي الصلة بالقسم 2 من وثيقة قطاع الصناعة هذا.

#### المجاري الأخرى للمياه المستعملة واستهلاك المياه

تقدم الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة توجيهات حول كيفية التعامل مع المياه المستعملة غير الملوثة الناتجة عن العمليات التي تتم في المرافق الصناعية، ومياه العواصف غير الملوثة، ومياه الصرف الصحي. وقد تكون أنظمة مياه التبريد بدون تلامس في قطاع الصهر والتنقية ذات تصميم مباشر عابر أو مسار إعادة تدوير يتضمن استخدام أنظمة التبريد التبخرية. وتصرف المياه الصادرة من نظام عابر إلى المياه السطحية في الغالب بعد مراعاة / خفض آثار الحرارة على المسطح المائي الذي يستقبلها. وقد تصبح مياه

المركبات العضوية المتطايرة من خلال حرق هذه المواد في فرن الخبز. وينبغي معالجة الغاز المنبعث من فرن الخبز بغسله أو امتصاصه ثم ترشيحه، وذلك في المصانع المزودة بمصهر ألومنيوم أولي، حيث تعاد الهيدروكربونات إلى عملية الإنتاج. وكطريقة بديلة يمكن استخدام المحارق اللاحقة والمرسبات الإلكترونية/الكيميائية الرطبة حسب الموقع وحجم الإنتاج.

#### المياه المستعملة

*المياه المستعملة الناتجة عن العمليات الصناعية*  
تتمثل المصادر الرئيسية للمياه المستعملة في قطاع الصهر والتنقية في مياه العمليات الناتجة من عمليات المعالجة المعدنية الحرارية (مثل تنظيف غاز التحميص، والترشيح، والتنقية، والتحليل الكهربائي)؛ والتنظيف الرطب للغازات المنبعثة؛ وتثبيت الخبث؛ ومياه التبريد؛ والجريان السطحي/مياه العواصف. وتحتوي المياه المستعملة في العادة على مركبات معدنية قابلة للذوبان وغير قابلة للذوبان، وزيوت، ومواد عضوية. وقد تحتوي مياه التبريد ذات التلامس المباشر بالمعادن (مثل المياه المستخدمة مع بعض عمليات الصب) على مستويات مرتفعة من المعادن والمواد الصلبة المعلقة، وينبغي توجيهها عبر نظام معالجة المياه المستعملة الموجود بالمنشأة.

#### معالجة المياه المستعملة الناتجة عن العمليات

تتضمن الأساليب الخاصة بمعالجة المياه المستعملة الناتجة عن العمليات الصناعية في هذا القطاع فصل المصدر والمعالجة المسبقة لتدفقات المياه المستعملة من أجل خفض المعادن الثقيلة باستخدام تقنية الترسيب الكيميائي، والتخثير والتعليق، ونحو ذلك. وتتضمن الخطوات المعتادة لمعالجة المياه المستعملة أجهزة فصل الزيوت عن المياه أو أنظمة تعويم الهواء المذاب من أجل فصل الزيوت عن المواد الصلبة القابلة للطفو؛

وينبغي العمل على تعظيم فرص إعادة تدوير المنتجات الثانوية والنفائات من أنشطة الصهر والتنقية<sup>16</sup> واستخدامها مجدداً في العملية (مثل الخبث، والخلائط المعدنية، والرغاوى، وبطانات القدور والأفران، ونواتج التنظيف). ويمكن معالجة كميات كبيرة من الخبث الذي ينتج في مرحلة الصهر (مثل التبخير لاستعادة المعادن المتبقية) لإنتاج مادة خاملة محببة يمكن بيعها للاستخدام الصناعي، مثل التصنيع التحويلي للأسمنت ومنتجات العزل. يمكن كذلك إعادة تدوير النفائات الناتجة من أنظمة التخفيف، والحماة الناتجة من الترشيح ومعالجة المياه المستعملة واستخدامهما في مراحل المعالجة الحرارية استناداً إلى مستوى التكامل بين العمليات في المنشأة. وبالإمكان إعادة تدوير الأنود وحماة قيعان الصهاريج من أجل الاستخدام في استعادة المعادن المتبقية. وقد تم تناول التوجيهات المتعلقة بالتعامل مع النفائات الصناعية الخطرة وغير الخطرة وطرق التخلص الآمن منها في الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة. وتعرض فيما يلي بالوصف لكيفية تولد بعض النفائات المرتبطة تحديداً بقطاع صهر وتنقية المعادن غير الحديدية وكيفية التعامل معها.

#### الكاثودات المستهلكة (الألمنيوم فقط)

تعتبر الكاثودات المستهلكة، والتي تعرف كذلك ببطانات القدور المستهلكة، المصدر الرئيسي للنفائات في عمليات التصنيع التحويلي للألمنيوم الأولي. ويتألف الكاثود المستهلك من جزء كربوني، كان في السابق الكاثود في خلية التحليل الكهربائي، والمادة المقاومة للصهر والتي تتكون من أنواع متنوعة من مواد العزل. وتحتوي بطانات القدور المستهلكة على فلوريد قابل للذوبان وسيانيد ويمكنها أن تنتج نضاض قلوي إذا

العواصف ملوثة عبر ملامسة أكاسيد المواد والترسيب السطحي للملوثات المحمولة في الهواء. وتتيح الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة توجيهات حول كيفية التعامل مع مياه العواصف. ويجب توجيه مجاري المياه المستعملة الملوثة إلى نظام معالجة المياه المستعملة الناتجة عن العمليات الصناعية. وتقدم الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة توصيات لخفض استهلاك المياه، لا سيما في الأماكن التي تكون فيها المصادر الطبيعية محدودة.

#### المواد الخطرة

يستخدم قطاع الصهر والتنقية عدداً من الأحماض والقلويات والكاشفات الكيميائية (في عمليات ترشيح وترسيب المعادن، وفي أنظمة السيطرة على الملوثات)؛ وغازات العمليات (مثل الأكسجين، وثاني أكسيد الكربون، والأرجون، والنيتروجين، والكلور، والهيدروجين، من بين غازات أخرى). وتقدم الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة توجيهات حول تخزين المواد الخطرة ونقلها واستخدامها على نحو آمن.

#### المخلفات والنفائات

تشمل مصادر المخلفات والنفائات الخطرة وغير الخطرة في قطاع الصهر والتنقية كلاً من الخبث، ورغاوى المعادن، والخلائط المعدنية، والزبد من عمليات المعالجة المعدنية الحرارية؛ والبطانات والمواد القابلة للصهر المستهلكة من الأفران؛ والنفائات من أنظمة التخفيف (مثل غازات المداخل، والغبار، والحماة، ومواد المرشح المستهلكة)؛ والحماة الناتجة من معالجة المياه المستعملة (على سبيل المثال من أنظمة الغسيل الرطب ومعالجة مياه العمليات والتي قد تحتوي على الجبس  $[CaSO_4]$  وكربونات وكبريتيد المعادن)؛ والحماة الناتجة من أنشطة الترشيح والتنقية والتحليل الكهربائي.

<sup>16</sup> تتوفر توجيهات مفصلة بشأن الحد من النفائات وإعادة استخدامها وفرص تدويرها في الوثيقة المرجعية حول أفضل الأساليب المتوافرة في صناعة معالجة المعادن غير الحديدية الصادرة عن المفوضية الأوروبية (2001).

دراسات تقييم المخاطر الأخرى. ويجب استخدام النتائج للتخطيط للتعامل مع قضايا الصحة والسلامة، وذلك في مرحلة تصميم المنشأة وفي أنظمة التشغيل الآمنة وأثناء إعداد تدابير التشغيل الآمنة والإعلان عنها.

تتوافر التدابير العامة المتعلقة بتصميم المنشآت وتشغيلها ومراقبتها لإدارة المخاطر الرئيسية المتعلقة بالصحة والسلامة المهنية في الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة كما أن الإرشادات العامة المتعلقة بأنشطة مرحلتها الإنشاء والإنهاء متاحة أيضاً بالتوازي مع الإرشادات الخاصة بالتدريب على برامج الصحة والسلامة، ومعدات الحماية الشخصية، وكيفية التعامل مع المخاطر البدنية والكيميائية والبيولوجية والإشعاعية المشتركة في جميع الصناعات.

وتتضمن قضايا الصحة والسلامة المهنية التي يجب أخذها في الاعتبار في عمليات الصهر والتنقية ما يلي:

- التعرض للكيميائيات
- المخاطر البدنية
- الضوضاء
- الإشعاع
- دخول الأماكن المحصورة

#### التعرض للكيميائيات

يستخدم قطاع الصهر والتنقية عدداً من المواد الخطرة مثل الأحماض والقلويات والكاشفات الكيميائية (في عمليات ترشيح وترسيب المعادن، وفي أنظمة السيطرة على الملوثات)؛ وغازات العمليات (مثل الأكسجين، وثاني أكسيد الكربون، والأرجون، والنيتروجين، والكلور، والهيدروجين، من بين غازات أخرى). قد يتعرض العمال للمواد الكيميائية الموجودة في الغبار والأبخرة والغازات والسحب والأدخنة العضوية

تعرضت المادة للبلل. وينبغي ما أمكن معالجة بطانات القدور المستهلكة وإعادة استخدامها (في أفران المعالجة المعدنية الحرارية، أو في إنتاج الكريوليت، أو في صناعة الأسمنت، أو كمصدر للوقود)، أو التخلص منها وفقاً للتوجيهات الخاصة بالتعامل مع النفايات الخطرة والواردة في الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة.

#### الطين الأحمر (الألمنيوم فقط)

ينشأ الطين الأحمر من استخلاص الألمنيوم من البوكسيت وهو يعتبر مادة قلبية تتطلب التخزين المنظم والذي يكون عادةً في برك محكمة ضد التسرب (مبطنة)، للحد من احتمال تلويثه للمياه السطحية والجوفية. وتعاد المياه الزائدة من الطين إلى العملية.

#### الضوضاء

تعد عمليات الصهر والتنقية من العمليات التي ينبع عنها ضوضاء بطبيعتها لتسخيرها عدداً كبيراً من المعدات الميكانيكية، ومركبات النقل، والأنشطة المادية، واستخدام الطاقة، وبالأخص في الأفران والقوة الدافعة. وتتمثل المصادر الهامة في النقل ومناولة المواد الخام والمنتجات؛ وعمليات الإنتاج التي تشتمل على المعالجة المعدنية الحرارية، وعمليات السحق والطحن؛ واستخدام المضخات والمراوح؛ وتنقيس البخار؛ ووجود أنظمة الإنذار غير المراقبة بشرياً. وقد تم تقديم التوصيات المتعلقة بالتعامل مع الضوضاء في الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة.

## 1.2 الصحة والسلامة المهنية

يجب مراعاة قضايا الصحة والسلامة المهنية باعتبارها جزءاً لا يتجزأ من البرنامج الشامل لتقييم المخاطر والأخطار، بما فيه على سبيل المثال، دراسة التعرف على المخاطر [HAZID] أو دراسة المخاطر والتشغيل [HAZOP] أو

- الرصد المستمر للمناطق التي قد تقع بها مخاطر مفاجئة وغير متوقعة (على سبيل المثال في المناطق التي يحتمل أن يتحرر منها الأرسين أو سيانيد الهيدروجين)؛
- رصد تعرض العمال باستخدام أجهزة الاستيعان الخاصة بالصحة المهنية الشخصية؛
- توفير التدريب وتشجيع أساليب النظافة الشخصية الجيدة ومنع التدخين وتناول الطعام في موقع العمل؛
- أتمتة العمليات ومناولة المواد إلى الحد العملي وتوفير أماكن محمية للمشغلين؛
- توفير وسائل محلية لتهوية العادم للحد من التعرض لثاني أكسيد الكبريت وأول أكسيد الكربون وسحب حامض الكبريتيك، على سبيل المثال.

#### المخاطر البدنية

قد تؤدي المخاطر البدنية، بما في ذلك التعرض للحرارة من الأفران والمعدن المصهور والضغط الإرجونومي، إلى إصابات جسدية ترتبط بتشغيل الأجهزة، والحروق، والانفجارات المقترنة بالأعمال التي تشتمل على معادن ساخنة (على سبيل المثال أثناء أنشطة المعالجة الحرارية)، والأحماض، والمواد الكاوية، والمذيبات، ومحاليل الترشيح، والمحاليل المستخدمة في التنقية الكهربائية. وتتيح الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة توجيهات حول كيفية التعامل مع المخطر البدنية. علاوة على ذلك، فإنه يوصى باتباع التدابير التالية لمنع أمراض الحرارة المحتملة والحد منها والسيطرة عليها:

- استخدام حاجب مائي أو ستائر هوائية أمام الأفران؛
- توفير التبريد المكاني عند الضرورة؛
- تركيب كبائن مكيفة الهواء ومغلقة للمشغلين؛

وغير العضوية التي تتحرر كجزء من العمليات و/أو الأنشطة البشرية في كافة مراحل الإنتاج والصيانة.

وتشمل المواد الخطرة غير العضوية نموذجيا المعادن الأساسية غير القابلة الذوبان والقابلة للذوبان (مثل النيكل والنحاس والملوثات النادرة كالزرنينخ والأنتيمون والثاليوم والزنثيق والكاديوم من بين ملوثات أخرى). وتعتمد الملوثات النادرة ومعادنها على طبيعة المعدن الخام الذي يجري معالجته والعملية المحددة التي يجري استخدامها. وقد يحدث التعرض للسحب الحامضية أثناء الترشيح و/أو التنقية الكهربائية. وقد يشمل التعرض للمواد العضوية الديوكسينات والفيورانات، والمذيبات العضوية المتبقية التي تستخدم ككاشفات، والعطريات متعددة الحلقات المقترنة بالأبخرة الناتجة عن الزفت والغبار (في مصانع إلكترود الكربون وعمليات خلايا اختزال الألمنيوم). ويتضمن التعرض للغازات ثاني أكسيد الكبريت والأمونيا وأول أكسيد الكربون والأكسجين والأرسين والكلور والفلوريد وغيرها من الغازات. وقد تكون بعض الغازات ذات طبيعة معدنية مثل الكوبالت والحديد وكربونيل النيكل.

وقد تم تقديم التوجيهات المتعلقة بكيفية التعامل مع الكيماويات والمواد الخطرة الأخرى، بما في ذلك استخدام معدات الحماية الشخصية، في الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة. علاوة على ذلك، فإنه يوصى باتباع التدابير التالية لمنع التعرض المحتمل للمواد الكيماوية والحد منها والسيطرة عليها:

- تطويق وعزل المصادر المحتملة للانبعاثات الهوائية إلى الحد العملي؛

### المجالات الكهربائية والمغناطيسية

تمثل الحقول الكهربائية والمغناطيسية (EMF) خطوفا غير مرئية من القوة تنبعث من الأجهزة الكهربائية وتحيط بها. وتنتج المجالات الكهربائية عن الجهد وتزيد شدتها كلما زاد الجهد. أما المجالات المغناطيسية فتنتج عن تدفق التيار الكهربائي وتزداد شدتها مع زيادة التيار. ويمكن حجب المجالات الكهربائية بمواد توصل الكهرباء ومواد أخرى، كالأشجار ومواد البناء. بينما تمر المجالات المغناطيسية عبر معظم المواد ويصعب حجبها. ويقبل كل من المجالين الكهربائي والمغناطيسي بشكل سريع مع المسافة. وتكون الطاقة التي يتم تزويد خلايا الاختزال الإلكتروليتية بها تياراً مباشراً، فيما تكون الحقول الكهرومغناطيسية التي تتولد في غرف القذور من نوع الحقول الساكنة أو المستقرة. وهذه الحقول، على النقيض من الحقول الكهرومغناطيسية منخفضة التردد، تكون حتى أقل جاهزية لبذل آثار بيولوجية متسقة أو قابلة للتكاثر. وقد وجد أن مستويات الصهير للحقول المغناطيسية المقاسة في غرف الخلايا تقع عادة ضمن القيم الحدية بالنسبة للتردد المغناطيسي الساكن ودون الإشعاعي والحقول الكهربائية الساكنة. وقد يحدث التعرض للحقول الكهرومغناطيسية ذات التردد فوق المنخفض في وحدات الاختزال، وبالأخص بالقرب من غرف المقوم. وتكون مستويات الصهير في غرف القذور محدودة وأقل من المعايير الحالية.<sup>17</sup> وقد يقترن التعرض الكهرومغناطيسي بأفران القوس الكهربائي وغيره من المعدات الكهربائية.<sup>18</sup>

- توفير الملابس التي تضمن الحماية من الحرارة والأطقم المبردة بالهواء؛
- السماح بوقت كاف للتأقلم مع البيئات الحارة، وتخصيص فترات راحة في المناطق الباردة، وتوفير المشروبات الكافية لتناولها بصورة متكررة.

### الضوضاء

يرجح تعرض الأفراد العاملين في قطاع الصهر والتنقية لمستويات مرتفعة من الضوضاء تصدر عن تشغيل المعدات الثقيلة والأفران. ونظراً لأن الضوضاء الصادرة عن غالبية هذه المصادر لا يمكن منعها، فإن تدابير التحكم ينبغي أن تشمل على استخدام وسائل حماية السمع الشخصية بواسطة الأفراد المعرضين وتطبيق برنامج لتناوب العمل بما يحد من التعرض التراكمي. وتقدم الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة مزيداً من التوصيات فيما يتعلق بالتعامل مع الضوضاء في مكان العمل.

### الإشعاع

قد يحدث التعرض المهني للإشعاع نتيجة المصادر المشعة في بعض أجهزة العمليات (مثل خلايا الحمل وأجهزة رصد الجسيمات) ومعدات المعامل. وتقدم الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة مزيداً من التوصيات فيما يتعلق بالتعامل مع التعرض للإشعاع.

### الأماكن المحصورة

تشتمل منشآت الصهر والتنقية على معدات وحالات تتطلب الدخول في أماكن محصورة. ويجب على المرافق وضع إجراءات لدخول الأماكن المحصورة وتطبيقها وفقاً لما هو مبين في الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة.

<sup>17</sup> International Labour Organization, Encyclopedia of Occupational Health and Safety, Fourth Edition, Volume 3, Part XIII, Chapter 82. متاح على الموقع <http://www.ilo.org/encyclopedia/>

<sup>18</sup> ويجب استبعاد الأفراد الذي يستخدمون أجهزة تنظيم ضربات القلب من عمليات الاختزال فهناك خطر حدوث خلل في الأجهزة نتيجة التأثير بالمجال المغناطيسي.



### 1.3 صحة المجتمع

تمثل منشآت الصهر والتنقية مصادر هامة للملوثات، التي قد ينشأ عنها مخاطر تهدد صحة وسلامة المجتمعات الواقعة بالقرب منها. وتتمثل المخاطر البارزة في التلوث التراكمي للأرض والمساكن الموجودة في المجتمع المحلي بواسطة الجسيمات المعدنية الدقيقة، والتعرض التابع، والمخاطر الصحية على السكان والنظام البيئي المحيط. وقد يؤثر ترسيب المعادن (كالسيوم والنحاس والرصاص والزنك والمنجنيز) وغيرها من الملوثات على إنتاج المحاصيل والماشية وكذلك على جودة المحاصيل الزراعية من الأراضي القريبة. وتسهم ضوابط التحكم في الانبعاثات الموضحة في القسم 1-1 في الحد من هذه التأثيرات.

يجب أن تعمل منشآت الصهر والتنقية على وضع وتطبيق برنامج متكامل للبيئة والصحة والسلامة من خلال جهد تعاوني يضم كافة الأطراف المعنية، بما في ذلك أفراد المجتمع المحلي. وينبغي أن يشمل البرنامج المكونات التالية:

- تقييم المجتمعات المحلية ورفع درجة وعيها فيما يتصل بالمخاطر الصحية المقترنة بعمليات الصهر
- إجراء التقييمات الصحية الأساسية، عند الحاجة
- بحث القضايا القديمة المتعلقة بالمواقع الملوثة، بما في ذلك استراتيجيات التقييم والعلاج
- وضع خطة للاستعداد والاستجابة لحالات الطوارئ تتضمن مشاركة المجتمعات المحلية المتأثرة والأجهزة التنظيمية المعنية.
- وتقديم الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة المزيد من التوجيهات حول هذه القضايا وغيرها من القضايا المتعلقة بصحة وسلامة المجتمعات المحلية.

## 2.0 مؤشرات الأداء ورصده

### 2.1 البيئة

#### إرشادات بشأن الانبعاثات والنفايات السائلة

يقدم الجدولان 1 و2 المبادئ التوجيهية الخاصة بالانبعاثات والنفايات السائلة لمشاريع الصهر والتنقية. 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. ويفترض القدرة على تحقيق هذه القيم الإرشادية في ظروف التشغيل العادية داخل المنشآت المصممة والمشغلة على نحو ملائم من خلال تطبيق أساليب منع ومكافحة التلوث والتي تم تناولها بالمناقشة في الأقسام السابقة من هذه الوثيقة. وينبغي تطبيق هذه المستويات بدون تخفيف، فيما لا يقل عن 95 في المائة من وقت تشغيل المصنع أو الوحدة، بعد حسابها كنسبة من ساعات التشغيل السنوية. ويجب تبرير عدم تطبيق هذه المستويات بالنسبة لأوضاع مشروع محلي محدد في التقييم البيئي.

إن الإرشادات المعنية بالانبعاثات الملوثات تنطبق على الانبعاثات الناتجة عن العمليات. وتتناول الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة بالبحث الإرشادات الخاصة بالانبعاثات الملوثات من مصادر الاحتراق المرتبطة بأنشطة توليد الطاقة البخارية والكهربائية من مصادر لها قدرة تساوي أو تقل عن 50 ميغاوات؛ أما انبعاثات مصادر الطاقة الأكبر فتعالجها الإرشادات بشأن البيئة والصحة والسلامة من أجل الطاقة الحرارية. كما تُقدم الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة توجيهات حول اعتبارات البيئة المحيطة استناداً إلى إجمالي حمل الانبعاثات.

تنطبق الإرشادات بشأن النفايات السائلة على عمليات التصريف المباشر للنفايات 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، يتم تحديد المستويات بناء على نظام تصنيف استخدام المياه المستقبلية كما هو موضح في الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة. وينبغي تطبيق هذه المستويات بدون تخفيف، فيما لا يقل عن 95 في المائة من وقت تشغيل المصنع أو الوحدة، بعد حسابها كنسبة من ساعات التشغيل السنوية. ويجب تبرير عدم تطبيق هذه المستويات بالنسبة لأوضاع مشروع محلي محدد في التقييم البيئي.

#### استغلال الموارد

يقدم الجدول 3 مثالا لاستخدام الطاقة والمياه من العمليات المحددة في قطاع الصهر والتنقية، وهو ما يمكن اعتباره مؤشرا على فاعلية القطاع وقد يستخدم في تعقب تغييرات الأداء بمرور الوقت.

#### الرصد البيئي

يجب تطبيق برامج الرصد البيئي الخاصة بذلك القطاع للتعامل مع جميع الأنشطة التي تم تحديد أنها ذات آثار كبيرة محتملة على البيئة، أثناء العمليات العادية وفي الظروف غير المواتية. ويجب أن تستند أنشطة الرصد البيئي إلى المؤشرات المباشرة وغير المباشرة المطبقة على مشروع بعينه للانبعاثات والنفايات السائلة واستغلال الموارد.

يجب أن يكون معدل تكرار الرصد كافياً لتوفير بيانات تمثيلية للمعيار الجاري رصده. 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.

**الجدول 1: الانبعاثات إلى الهواء من عمليات صهر وتنقية النيكل والنحاس والرصاص والزنك والألمنيوم\***

القيمة الإرشادية	الوحدة	مصدر الانبعاث (حسب نوع المعدن/عملية الصهر)	الملوثات
< 99.1% كفاءة التحويل (من 1 إلى 4 في المائة غاز ثاني أكسيد الكبريت المنبعث) < 99.7% كفاءة التحويل (نسبة < 5 في المائة غاز ثاني أكسيد الكبريت المنبعث)		<b>النحاس:</b> الصهر الأولي والتحويل <b>الرصاص والزنك:</b> الصهر الأولي والتحميص والتلبيد <b>النيكل:</b> تحميص وصهر مركبات الكبريتيد والمواد الوسيطة	
> 50 <sup>1,2,3</sup> – 200	ميليغرام/متر مكعب عادي	<b>النحاس:</b> الصهر الثانوي والتحويل، التنقية الأولية والثانوية باللهب، التنظيف والصهر الكهربائي للخبث <b>الألمنيوم:</b> احتجاز ونزع الغاز من المعدن المصهور من الألمنيوم الأولي والثانوي <b>الرصاص والزنك:</b> المعالجة المسبقة للمواد، والصهر الثانوي، والتنقية الحرارية، وإذابة المعادن، وتبخير الخبث، وتشغيل أفران <b>Waelz</b>	ثاني أكسيد الكبريت
100 – 300 <sup>4,5,6</sup>	ميليغرام/متر مكعب عادي	<b>النحاس:</b> الصهر الثانوي والتحويل، والتنقية الأولية والثانوية باللهب، والتنظيف والصهر الكهربائي للخبث <b>الألمنيوم:</b> احتجاز ونزع الغاز من المعدن المصهور من الألمنيوم الأولي والثانوي، والمعالجة المسبقة للمواد، ومن صهر وتنقية الألمنيوم الثانوي <b>الرصاص والزنك:</b> إذابة المادة النظيفة، والسبك، وإنتاج غبار الزنك؛ من المعالجة المسبقة للمواد، والصهر الثانوي، والتنقية الحرارية، وإذابة المعادن، وتبخير الخبث، وتشغيل أفران <b>Waelz</b> <b>النيكل:</b> الترشيح، والاستخلاص والتنقية الكيماوية، والاستخلاص الكهربائي واستخلاص المذيبات؛ والمعالجة المسبقة للمواد بالحرق أو بعد الحرق، والتحميص، والصهر والتنقية الحرارية، والإذابة.	أكاسيد النيتروجين
50 <sup>1,7</sup>	ميليغرام/متر مكعب عادي	<b>النحاس:</b> عمليات المعالجة بالسوائل لاستخلاص الفلزات والاستخلاص الكهربائي <b>الرصاص والزنك:</b> التنقية الكيماوية، والاستخلاص الكهربائي، واستخلاص المذيبات <b>النيكل:</b> الترشيح، والاستخلاص والتنقية الكهربائية، والاستخلاص الكهربائي، واستخلاص المذيبات	الغازات / السحب الحامضية
5 – 15 <sup>9</sup>	ميليغرام/متر مكعب عادي	<b>النحاس:</b> عمليات المعالجة بالسوائل لاستخلاص الفلزات والاستخلاص الكهربائي <b>الرصاص والزنك:</b> التنقية الكيماوية، والاستخلاص الكهربائي، واستخلاص المذيبات <b>النيكل:</b> الترشيح، والاستخلاص والتنقية الكهربائية، والاستخلاص الكهربائي، واستخلاص المذيبات	المركبات العضوية المتطايرة/المذيبات (في صورة كربون)
1 – 5 <sup>3,10,11</sup>	ميليغرام/متر مكعب عادي	<b>النحاس:</b> الصهر الثانوي والتحويل، والتنقية الأولية والثانوية باللهب، والتنظيف والصهر الكهربائي للخبث، وأنظمة تجميع الأبخرة الثانوية، والتجفيف. <b>الألمنيوم:</b> التحليل الكهربائي للألمنيوم الأولي، احتجاز ونزع الغاز من المعدن المصهور من الألمنيوم الأولي والثانوي، والمعالجة المسبقة للمواد، وصهر وتنقية الألمنيوم الثانوي <b>الرصاص والزنك:</b> إذابة المادة النظيفة، والسبك، وإنتاج غبار الزنك؛ والمعالجة المسبقة للمواد، والصهر الثانوي، والتنقية	الغبار <sup>22</sup>

		الحرارية، وإذابة المعادن، وتبخير الخبث، وتشغيل أفران Waelz النيكل: المعالجة المسبقة للمواد بالحرق وبعد الحرق، والتحميص، والصهر والتنقية الحرارية، والإذابة.	
50 <sup>12,13</sup> – 5	مليغرام/متر مكعب عادي	النحاس: الصهر الثانوي والتحويل، والتنقية الأولية والثانوية باللهب، التنظيف والصهر الكهربائي للخبث الألمنيوم: المعالجة المسبقة للمواد، وصهر وتنقية الألمنيوم الثانوي الرصاص والزنك: إذابة المادة النظيفة، والسبك، وإنتاج غبار الزنك؛ ومن المعالجة المسبقة للمواد، والصهر الثانوي، والتنقية الحرارية، وإذابة المعادن، وتبخير الخبث، وتشغيل أفران Waelz النيكل: المعالجة المسبقة للمواد بالحرق وبعد الحرق، والتحميص، والصهر والتنقية الحرارية، والإذابة.	مجموع الكربون العضوي (في صورة كربون)
– 0.1 0.5 <sup>3,10,14,15,16</sup>	نانوغرام مكافئ سمي / متر مكعب عادي	النحاس: الصهر الثانوي والتحويل، والتنقية الأولية والثانوية باللهب، والتنظيف والصهر الكهربائي للخبث، وأنظمة تجميع الأبخرة الثانوية، والتجفيف. الألمنيوم: المعالجة المسبقة للمواد، وصهر وتنقية الألمنيوم الثانوي الرصاص والزنك: إذابة المادة النظيفة، والسبك، وإنتاج غبار الزنك؛ ومن المعالجة المسبقة للمواد، الصهر الثانوي، والتنقية الحرارية، وإذابة المعادن، وتبخير الخبث، وتشغيل أفران Waelz النيكل: المعالجة المسبقة للمواد بالحرق وبعد الحرق، والتحميص، والصهر والتنقية الحرارية، والإذابة.	الديوكسينات

الجدول 2: الانبعاثات إلى الهواء من عمليات صهر وتنقية النيكل والنحاس والرصاص والزنك والألمنيوم (تابع)\*

القيمة الإرشادية	الوحدة	مصدر الانبعاث (حسب نوع المعدن/عملية الصهر)	الملوثات
5 <sup>17</sup>	مليغرام/متر مكعب عادي		أمونيا
0.5 <sup>2,18</sup>	مليغرام/متر مكعب عادي	النيكل: الترشيح، والاستخلاص والتنقية الكهربائيه، والاستخلاص الكهربائي، واستخلاص المذيبات	الكلورين
5 <sup>19</sup>	مليغرام/متر مكعب عادي		أول أكسيد الكربون والكربونيل
0.5 <sup>6</sup>	مليغرام/متر مكعب عادي	الرصاص والزنك: التنقية الكيميائية، والاستخلاص الكهربائي، واستخلاص المذيبات	الأرسين
0.02	مليغرام/متر مكعب عادي	كافة أنواع المعادن / عمليات الصهر	الزئبق
5 <sup>1</sup>	مليغرام/متر مكعب	الألمنيوم: احتجاز ونزع الغاز من المعدن المصهور من الألمنيوم الأولي والثانوي، والمعالجة المسبقة للمواد، صهر وتنقية الألمنيوم الثانوي	كلوريد الهيدروجين

عادي	عادي		
0.5 <sup>10,20</sup>	ميليغرام/متر مكعب عادي	الألمنيوم: التحليل الكهربائي للألمنيوم الأولي، والمعالجة المسبقة للمواد، وصهر وتنقية الألمنيوم الثانوي	فلوريد الهيدروجين
0.8 <sup>10,22</sup>	ميليغرام/متر مكعب عادي	الألمنيوم: التحليل الكهربائي للألمنيوم الأولي	الفلوريد الكلي
0.1 (آثار الأنود / الخلية/ اليوم)			الهيدروكربونات متعددة الفلورة
<p>1. أجهزة الغسل القلوية (أجهزة الغسل شبه الجافة وذات المرشح القماشى، أو أجهزة الغسل الرطبة، أو أجهزة الغسل باستخدام محلول قلوي مزدوج كالجير أو هيدروكسيد المغنسيوم أو هيدروكسيد الصوديوم).</p> <p>2. توليفات من الصوديوم أو الألومينا/كبريتات الألمنيوم بالاتحاد مع الجير.</p> <p>3. بالنسبة لصهر النحاس، يمكن تحقيق تركيز انبعاث لثاني أكسيد الكبريت يبلغ 500 ميليغرام/ متر مكعب باستخدام مرشح قماشى إلى جانب الحقن بالجير.</p> <p>4. محرق ذو أكاسيد نتروجين منخفضة</p> <p>5. محرق يعمل بوقود مشبع بالأكسجين</p> <p>6. جهاز غسل غاز مؤكسد</p> <p>7. مزيل السحب</p> <p>8. باستبعاد صهر الألمنيوم.</p> <p>9. وسيلة احتواء، وجهاز تكثيف، ومرشح حيوي وكربوني</p> <p>10. مرشح قماشى</p> <p>11. التحكم في درجة الحرارة</p> <p>12. جهاز الحرق اللاحق</p> <p>13. احتراق محسن</p> <p>14. جهاز الحرق اللاحق يليه التبريد</p> <p>15. الامتزاز بواسطة الكربون المنشط</p> <p>16. محفزات الأكسدة</p> <p>17. جهاز غسل الغاز الحامضي</p> <p>18. التجميع وإعادة الاستخدام</p> <p>19. التحكم في العملية والمفاعل المحكم ضد التسرب</p> <p>20. جهاز غسل الألومينا</p> <p>21. باستبعاد صهر الألمنيوم.</p> <p>22. تتوقف انبعاثات المعادن على تكون الغبار المنتج من العمليات. يختلف التكوين ويتأثر حسب مصدر عملية الغبار وحسب المواد الخام التي يجري معالجتها.</p>			

المصدر: يستند جزئياً إلى الوثيقة المرجعية حول أفضل الأساليب المتوفرة في صناعات معالجة المعادن غير الحديدية الصادرة عن المفوضية الأوروبية (2001) \* تم إيراد الانبعاثات المقترنة كمتوسط يومي استناداً إلى الرصد المستمر والظروف القياسية لـ 273 ك، 101.1 كيلوباسكال، محتوى أكسجين مقاس وغاز جاف دون تخفيف الغازات بالهواء. وفي الحالات التي يتعذر فيها القيام بالرصد المستمر، ينبغي أن تكون القيمة هي المتوسط بامتداد فترة الاستيعان. في حالة استخدام أنظمة التنظيف والتحلل الحراري (مثل تجفيف الخراطة وإزالة الطلاء) لتدمير نواتج الاحتراق (مثل المركبات العضوية المتطايرة والديوكسينات)، يكون محتوى الأكسجين 6 في المائة جاف.



المصدر: يستند جزئياً إلى الوثيقة المرجعية حول أفضل الأساليب المتوفرة في صناعات معالجة المعادن غير الحديدية الصادرة عن المفوضية الأوروبية (2001)<sup>(1)</sup> عند حافة منطقة مزج مثبتة علمياً تأخذ في الاعتبار نوعية المياه المحيطة، واستخدام المياه المستقبلية، والمستقبلات المحتملة، والطاقة التمثيلية

**الجدول 2: مستويات النفايات السائلة الناتجة من عمليات صهر وتثقية النيكل والنحاس والرصاص والزنك والألمنيوم**

الملوثات	نوع الصهر	الوحدة	القيمة الإرشادية
الأس الهيدروجيني	جميع	وحدة معيارية	9 - 6
إجمالي المواد الصلبة العالقة	جميع	ملليغرام/لتر	20
الحاجة الكيميائية للأكسجين	جميع	ملليغرام/لتر	50
الفلوريد	الألمنيوم	ملليغرام/لتر	5
الهيدروكربونات	الألمنيوم	ملليغرام/لتر	5
الألمنيوم	الألمنيوم	ملليغرام/لتر	0.2
النحاس (Cu)	نحاس	ملليغرام/لتر	0.1
رصاص (عنصر معدني ثقيل)	النحاس والرصاص والزنك	ملليغرام/لتر	0.1
الأرسين (As)	النحاس والرصاص والزنك	ملليغرام/لتر	0.05
نيكل	النيكل، النحاس	ملليغرام/لتر	0.1
كادميوم	النحاس والرصاص والزنك	ملليغرام/لتر	0.05
الزنك (Zn)	النحاس والرصاص والزنك	ملليغرام/لتر	0.2
الزئبق (Hg)	جميع	ملليغرام/لتر	0.01
زيادة درجة الحرارة السمية	جميع	° مئوية	> 3 <sup>(1)</sup>
يتم التحديد على أساس الحالة المحددة			

- ب- تُحسب استناداً إلى كميات الكوك والفحم والغاز الطبيعي والطاقة الكهربائية المستخدمة وكذلك القيم الحرارية النموذجية للوقود البترولي.  
ج- لكل طن من أكسيد Waelz يتم ترشيحه  
د- لكل طن من الخبث

## 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>19</sup> ، ودليل الجيب للمخاطر الكيميائية المنشورة من قبل المعهد الوطني الأمريكي للصحة والسلامة المهنية (NIOSH) <sup>20</sup> ، وحدود التعرض المسموح بها (PELs) المنشورة من قبل الإدارة الأمريكية للصحة والسلامة المهنية (OSHA) <sup>21</sup> ، والقيم الإرشادية لحدود التعرض المهني المنشورة من قبل الدول الأعضاء في الاتحاد الأوروبي <sup>22</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 سيما الحوادث التي يمكن أن تؤدي إلى فقدان وقت العمل، أو

<sup>19</sup> متاح على الموقع التالي: <http://www.acgih.org/TLV/>

<sup>20</sup> متاح على الموقع التالي: <http://www.acgih.org/store/> والموقع

<sup>21</sup> متاح على الموقع التالي: <http://www.cdc.gov/niosh/npg/>

<sup>22</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>22</sup> متاح على الموقع التالي:

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

الجدول 3: استهلاك الطاقة والمياه

نوع المرفق	استخدام الطاقة (جيجاجول/طن متري)
النحاس - الإنتاج من المادة المركزة	20 - 14
النحاس - التنقية الكهربائية	1.4 - 1.1
إنتاج الألومينا	13.5 - 8
الألمنيوم - الإنتاج الأولي (التحليل الكهربائي، بما في ذلك إنتاج الأنود)	61 - 53
الرصاص - الفرن العمودي، الأولي	10.3 - 6.8
الرصاص - الفرن العمودي، الثانوي	5.5 - 4.4
الرصاص - الفرن الدوار، الثانوي، مع نظام CX وإنتاج كبريتات الصوديوم	4.7 - 4.0
الرصاص - QSL	3.5 - 2.3
الرصاص - Kivcet	4.9
الرصاص - المحول الدوار علوي النسخ	4.4 - 4.0
الزنك - التحليل الكهربائي	15
الزنك - فرن الصهر إمبريال وحدة تقطير نيو جيرسي	44
الزنك - فرن Waelz	26
الزنك - تبخير الخبث	7.7
النيكل - خليط خامات الكبريتيد المحتوي على 4-15% من النيكل	65 - 25
النيكل - التنقية	20 - 17
نوع المرفق	استخدام المياه (كغم/طن)
إنتاج الألومينا	6000 - 1000
الألمنيوم - الإنتاج الأولي (التحليل الكهربائي، بما في ذلك إنتاج الأنود)	12000 - 200
المصادر: الوثيقة المرجعية حول أفضل الأساليب المتوفرة في صناعات معالجة المعادن غير الحديدية الصادرة عن المفوضية الأوروبية (2001) ملاحظات: أ- جيجاجول (10 <sup>9</sup> جول) لكل طن متري	



إلى مستويات مختلفة من الإعاقة، أو حتى إلى حدوث وفيات. ويمكن مقارنة معدلات المنشأة بأداء المنشآت الأخرى في هذا القطاع في البلدان المتقدمة من خلال استشارة المصادر المنشورة (على سبيل المثال: مكتب الولايات المتحدة لإحصائيات العمل وإدارة الصحة والسلامة بالمملكة المتحدة) <sup>23</sup>.

### 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>24</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.

<sup>23</sup> متاح على الموقع التالي: <http://www.bls.gov/iif/>

<sup>24</sup> يشمل المتخصصون المعتمدون الخبراء الصحيين المعتمدين، وخبراء الصحة المهنية المسجلين، أو أخصائيي السلامة المعتمدين أو المناظرين لهم.

### 3.0 ثبت المراجع والمصادر الإضافية

American Council of Government Industrial Hygienists (ACGIH). 2006. Threshold Limit Values (TLV) and Biological Exposure Indices (BEI). Cincinnati, OH. Available at: <http://www.acgih.org/TLV>

Ayres, R. U., L.W. Ayres and I. Rade. 2002. The Life Cycle of Copper its Co-Products and By-Products. Mining, Minerals and Sustainable Development Report, International Institute for Environment and Development (IIED). London: IIED. Available at: [http://www.iied.org/mmsd/mmsd\\_pdfs/ayres\\_lca\\_main.pdf](http://www.iied.org/mmsd/mmsd_pdfs/ayres_lca_main.pdf)

Bergsdahl, H., A.H. Stomman, E.G. Hertwich. 2004. The Aluminum Industry. Environment Technology and Production. Available at: [http://www.indecol.ntnu.no/indecolwebnew/publications/reports/rapport04/rapport8\\_04web.pdf](http://www.indecol.ntnu.no/indecolwebnew/publications/reports/rapport04/rapport8_04web.pdf)

Environment Canada. 2006. Environmental Code of Practice. Canadian Environmental Protection Act, 1999. Base Metals Smelters and Refineries. Document EPS 1/MM/11E. Gatineau, Québec: Environment Canada. Available at <http://199.212.18.76/ceparegistry/documents/code/smelters/toc.cfm>

European Agency for Safety and Health at Work (OSHA). Occupational Exposure Limits. Available at: [http://osha.europa.eu/good\\_practice/risks/ds/oel/](http://osha.europa.eu/good_practice/risks/ds/oel/)

European Commission. 2001. European Integrated Pollution Prevention and Control Bureau (EIPPCB). Reference Document on Best Available Techniques (BREF) in the Non-Ferrous Metals Industries. Seville: EIPPCB. Available at: <http://eippcb.jrc.es/pages/FActivities.htm>

European Union. 1999. Directory of Community Legislation. EurLex. EU Council Directive 1999/30/EC of 22 April 1999 relating to limit values for sulphur dioxide, nitrogen dioxide and oxides of nitrogen, particulate matter and lead in ambient air. Brussels: EU. Available at: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:31999L0030:EN:HTML>

Indian Central Pollution Control Board (CPCB). National Air Quality Monitoring Programme (NAMP). National Ambient Air Quality Standards. Delhi: CPCB. Available at: <http://www.cpcb.nic.in/as.htm>

Indian Central Pollution Control Board, Environmental Standards, Inorganic Chemical Industry, Wastewater Standard. Available at: <http://www.cpcb.nic.in/index.php>

International Finance Corporation (IFC) World Bank Group. 2006a. Draft General Environmental Health and Safety Guidelines. Available at: [http://www.ifc.org/ifcext/policyreview.nsf/Content/EHSGuidelinesUpdate\\_Comments](http://www.ifc.org/ifcext/policyreview.nsf/Content/EHSGuidelinesUpdate_Comments)

International Organization for Standardization (ISO). ISO 14001 Environmental Management Systems Standards Available at:

<http://www.iso.org/iso/en/stdsdevelopment/whowhenhow/how.html>

National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). 2005. NIOSH Pocket Guide to Chemical Hazards. NIOSH Publication No. 2005-149. Available at: <http://www.cdc.gov/niosh/npg/>

Natural Resources Canada. 2006. Guide to Energy Efficiency Opportunities in Canadian Foundries. In Partnership with the Canadian Foundry Association. Available at: <http://oeenrncan.gc.ca/cipec/ieep/newscentre/foundry/index.cfm?at=24>

The Nickel Institute. 2003. Lifecycle Assessment Data. Overall Inventories and Potential Impacts: Ferronickel, Nickel Oxide, and Class I Nickel. Last revised 31 October 2003. Available at: [http://www.nickelinstitute.org/index.cfm/ci\\_id/317.htm](http://www.nickelinstitute.org/index.cfm/ci_id/317.htm)

Norgate, T. E. & Rankin, W. J., 2002. 'An Environmental Assessment of Lead and Zinc Production Processes', Proceedings, Green Processing 2002, International Conference on the Sustainable Processing of Minerals, May 2002, pp 177-184. Available at: [http://www.minerals.csiro.au/sd/CSIRO\\_Paper\\_LCA\\_PbZn.pdf](http://www.minerals.csiro.au/sd/CSIRO_Paper_LCA_PbZn.pdf)

Occupational Health and Safety Administration (OSHA). 2006. Standards – 29 CFR TABLE Z-1 Limits for Air Contaminants. - 1910.1000 TABLE Z-1 Permissible Exposure Limits. Available at: [http://www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.show\\_document?p\\_title=STANDARDS&p\\_id=9992](http://www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.show_document?p_title=STANDARDS&p_id=9992)

Occupational Health and Safety Administration (OSHA). Occupational Health and Safety Administration System 18001 Occupational Health and Safety Management System. Available at: <http://www.ohsas-18001-occupational-health-and-safety.com>

Price, L. Worrell, J.S., Sinton, J and J. Yun. 2001. Industrial energy efficiency policy in China. The Proceedings of the 2001 ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Industry. Available at: <http://ies.lbl.gov/iespubs/50452.pdf>

United Kingdom (UK) Department of Environment Food and Rural Affairs. 2000. The Air Quality Strategy for England, Scotland, Wales and Northern Ireland. January 2000. Working Together for Clean Air. Available at: <http://www.defra.gov.uk/environment/airquality/strategy/strategy.htm>

UK Health and Safety Executive. 2006a. Health and Safety Commission. Health and Safety Statistics 2005/06. Available online at: <http://www.hse.gov.uk/statistics/index.htm>

UK Health and Safety Executive. 2006b. Health and Safety Commission. Statistics of Fatal Injuries 2005/06. Available at: <http://www.hse.gov.uk/statistics/index.htm>

United States (US) Department of Labor. 2003. Bureau of Statistics. Injuries, Illness and Fatalities Program. Table R8. Incidence rates for nonfatal occupational injuries and illnesses

involving days away from work per 10,000 full-time workers by industry and selected events or exposures leading to injury or illness, 2003. Available at:

<http://www.bls.gov/iif/oshwc/osh/case/ostb1386.pdf>

United States (US) Environmental Protection Agency (EPA). 2006a. Air Toxics. Final Rules. Emission Standards for Hazardous Air Pollutants. Washington, DC: US EPA. Available at: <http://www.epa.gov/ttn/atw/mactfnlalplh.html>

US EPA. 2006b. Proposed National Emission Standards for Hazardous Air Pollutants for Area Sources: Polyvinyl Chloride & Copolymers Production, Primary Copper Smelting, Secondary Copper Smelting, & Primary Nonferrous Metals Zinc, Cadmium and Beryllium. Washington, DC: US EPA. Available at: <http://www.epa.gov/ttn/atw/mactfnlalplh.html>

US EPA. 2005. Final Rule National Emission Standards for Hazardous Air Pollutants for Primary Aluminum Reduction Plants: Final rule; amendments. Washington, DC: US EPA. Available at <http://www.epa.gov/ttn/atw/alum/alumpg.html>

US EPA. 2002. Final Rule. National Emission Standards for Hazardous Air Pollutants for Primary Copper Smelting-Final rule. Washington, DC: US EPA. Available at: <http://www.epa.gov/ttn/atw/copper/copperpg.html>

US EPA. 2000. Federal Register Effluent Limitations Guidelines 40 CFR 125.30 - 125.32. Effluent Limitations Guidelines, Pretreatment Standards, and New Source Performance Standards for the Commercial Hazardous Waste Combustor Subcategory of the Waste Combustors Point Source Category. Washington, DC: US EPA. Available at: <http://www.epa.gov/fedrgstr/EPA-WATER/2000/January/Day-27/w2019.htm>

US EPA. 1999. Final Rule. National Emission Standards for Hazardous Air Pollutants Primary Lead Smelting. Washington, DC: US EPA. Available at: <http://www.epa.gov/ttn/atw/leadp/leadppg.html>

U.S. National Institute of Environmental Health Sciences. 2002. EMF Questions and Answers. EMF Rapid. Electric and Magnetic Fields Research and Public Information and Dissemination Program. Available online at: <http://www.niehs.nih.gov/emfrapid/booklet>.

World Health Organization (WHO). 2005. Air Quality Guidelines Global Update. Geneva: WHO. Available at: <http://www.euro.who.int/Document/E87950.pdf>

WHO. 2000. Air Quality Guidelines for Europe. 2nd Edition. Geneva: WHO. <http://www.euro.who.int/document/e71922.pdf>

## الملحق (أ): وصف عام لأنشطة الصناعة

### صهر وتنقية المعادن الأساسية

تتشابه خطوات عمليات صهر وتنقية المعادن الأساسية (النحاس والرصاص/الزنك والنيكل) <sup>25</sup> وهي موضحة في الشكل ألف-1. وتوصف عملية صهر الألمنيوم في قسم لاحق في هذا الملحق. واستناداً إلى درجة المعدن الخام ونوعه (على سبيل المثال ما إذا كان كبريتي أو لاتريتي) تكون هناك معادن متبقية محتملة، تشمل الذهب والفضة والكاديوم والأرسين والسيلينيوم وغيرها، يمكن استعادتها كمنتجات مصاحبة. وفيما يلي وصف مختصر لكل خطوة في العملية :

### المعالجة المسبقة

تتكون المعالجة المسبقة من تركيز المادة الخام عن طريق طحن وتجفيف مركزات الردغة، وفرز/فصل المواد الخردة لتوفير مادة تغذية ملائمة للمعالجة الإضافية.

### التحميص

التحميص هو عملية معالجة معدنية حرارية يتم فيها تسخين/تجفيف المادة المركزة ثم أكسدتها للحصول على محتوى كبريتي يكون مثاليا للصهر. ويستخدم التحميص غير الكامل لإعداد كبريتيد النحاس وكبريتيد النيكل من أجل صهر الخليط المعدني، فيما يعمل التحميص الكامل على إزالة الكبريت ويستخدم لإنتاج الأكسيد المعدني من أجل (1) الاختزال بواسطة الكربون أو أول أكسيد الكربون أو (2) الترشيح في حامض الكبريتيك يليه الاستخلاص الكهربائي. ويتم استعادة ثاني أكسيد المتحرر أثناء التحميص في صورة

<sup>25</sup> Environment – Environmental Code of Practice, Canadian Environmental Protection Act. Base Metals Smelters and Refineries. Canada.

حمض كبريتيك أو ثاني أكسيد كبريت مسيل إذا كانت التكلفة معقولة، أو يتم إزالة ثاني أكسيد الكبريت عن طريق معالجة الغاز المنبعث Sulphur .

### الصهر

ينتج عن الصهر معادن مصهورة وتستخدم في فصل المعادن القيمة عن المعادن الأقل قيمة والشوائب من خلال عملية يطلق عليها الإذابة. وتضاف المركبات المعدنية الناتجة من خطوة التحميص إلى الفرن إضافة إلى عوامل الصهارة والوقود والأكسجين. وتحدث في الفرن عمليات الاحتراق والأكسدة وتؤدي إلى انصهار المعادن وانفصالها جزئياً. وينتج عن عملية الصهر خليط معدني مصهور (النحاس والنيكل والزنك) أو أشكال مسبوكة (رصاص) من المعادن المركزة. وقد يتم صب الخليط وتركه ليبرد قبل إدخاله في مراحل معالجة إضافية. ويتم التقاط الغازات المنبعثة من العملية بواسطة قنوات الأفران أو الظلل الفوقية ثم تعالج لإزالة ثاني أكسيد الكبريت، والمادة الجسيمية، والأبخرة ونحو ذلك. ويُعالج الخبث الصادر عن وحدة الصهر لاستعادة أية بقايا معدنية ذات قيمة.

### التحويل

يستخدم التحويل لإزالة الكبريت والحديد المتبقين في خليط النحاس والنيكل. ويمكن كذلك معالجة المعادن الخردة مرتفعة الدرجة في أجهزة التحويل. ويتم تبريد الغازات الناتجة عن العمليات، ويعقب ذلك إزالة الجسيمات باستخدام أجهزة تنظيف الغاز. وتستخدم أجهزة التحويل التي تعمل على نحو متواصل وتلك التي تعمل على دفعات؛ إذ تسمح أجهزة التحويل المستمرة بالتقاط الغازات المنبعثة من العمليات على نحو



وتستخدم الخلية الإلكتروليتية، ومنها يشكل المعدن أحد الأنودات، لحل المعدن إلى إلكتروليت مائي حامضي أو ملح مصهور. ويتم طلاء المعدن بالكهرباء أو وضعه في صفائح بادئة تقوم بدور الكاثودات. وتتحل الشوائب المعدنية في محلول الإلكتروليت أو تترسب مكونة حمأة في العادة. وتحتوي حمأة الأنودات المتولدة من العملية على معادن قيمة يتم استعادتها. وتُصب ترسيبات الكاثود في أشكال محددة. ويتم تنقية محاليل الإلكتروليت المحتوية غير النقية لإزالة الشوائب غير المرغوبة ثم إعادة المحاليل إلى عملية التنقية الكهربائية. وتعالج الشوائب المزلة بعد ذلك لاستعادة المعادن ذات القيمة.

### تنقية الكربونيل

تستخدم تنقية الكربونيل بهدف تنقية أكسيد النيكل الخام. ويضاف أول أكسيد الكربون إلى أكسيد النيكل الخام، وتحت الضغط المرتفع، يتكون كربونيل النيكل. ويتسم كربونيل النيكل بقابليته العالية للتطاير ومن ثم يفصل من الشوائب الصلبة ويتم استعادته من تدفق الغاز المنبعث. وعن طريق مزيد من التسخين، يتحرر أول أكسيد الكربون وينتج مسحوق أو كريات النيكل الخالص. ويعاد تدوير أول أكسيد الكربون من الغاز المنبعث في العملية مرة أخرى.

### الترشيح

يتضمن الترشيح والذي يحدث قبل التنقية أو الاستخلاص الكهربائي، حل المعدن من الخامات/المركبات في حامض أو مذيب آخر. ويكون المعدن المستخدم للترشيح في صورة أكسيد بصفة عامة. ويتم ترشيح الخامات الكبريتية على نحو أقل تكراراً لكونها تتطلب ظروفاً تشجع على حدوث الأكسدة. ويُعالج المحلول الناتج، والذي يعرف بمحلول الترشيح المثقل، عن طريق استخلاص المذيب ثم يجري تنظيفه قبل دخوله في مرحلتي الاستخلاص الكهربائي والتنقية.

أفضل وتمكن من استخدام الأكسجين بدلاً من الهواء، وهو ما يؤدي إلى تركيزات عالية من ثاني أكسيد الكبريت يمكن التقاطها لإنتاج حامض الكبريتيك.<sup>26</sup> ويُصرف الخليط المعدني (كبريتيد النحاس-الحديد) الناتج من خطوة الصهر إلى أجهزة التحويل حيث تتم أكسدة المادة المصهورة في وجود الهواء لإزالة الشوائب الحديدية والكبريتية (في صورة خبث من أجهزة التحويل). وتشكل الأكاسيد خبث يتم إزالته بالقسد. ويعاد الخبث المحتوي على تركيزات عالية من النحاس/النيكل والذي يتولد أثناء عملية التحويل إلى عملية الصهر لاستعادة النحاس والنيكل. وقد تتم معالجة الخبث في أفران كهربائية قبل التخلص منه لاستعادة النيكل.

### التنقية بالذهب أو الأنود

تستخدم التنقية بالذهب لإزالة الشوائب وخفض مستويات الكبريت والأكسجين في النحاس الخالص قبل الصب أو التنقية الكهربائية. وتجرى عمليات تنقية إضافية للنحاس الخالص سواء بواسطة الذهب أو الأنود (99.5% نحاس خالص)، حيث يستخدم لاحقاً في التنقية بالتحلل الكهربائي. ويوضع النحاس الخالص المصهور في فرن للتنقية بالذهب، وقد تضاف مادة مساعدة على الانصهار، ويتم نفخ الهواء عبر الخليط المصهور لإزالة الكبريت المتبقي. ويتخلف عن نفخ الهواء بعض الأكسجين، والذي يزال بإضافة الغاز الطبيعي أو البروبان أو الأمونيا أو الخشب. ويصب النحاس المنقى بالذهب في أنودات لمزيد من التنقية الإضافية بواسطة عمليات التحلل الكهربائي أو يصب في أشكال معينة ويعرض للبيع.

### التنقية الكهربائية

تستخدم التنقية الكهربائية في تنقية النحاس والنيكل والرمصاص من أجل إنتاج شكل نقي من المعدن من شكل أقل نقاءً.

<sup>26</sup> يمكن كذلك استعادة المعادن المتطايرة نسبياً كالزنك والرمصاص من الغازات المنبعثة.

## الاستخلاص الكهربائي

تستخدم عملية الاستخلاص الكهربائي لتنقية النحاس والنيكل، وتتضمن استعادة المعادن التي انحلت في المحلول "المثلث" أثناء الترشيح. ويوضع محلول الإلكتروليت المنقى الناتج من عملية الترشيح في خلايا إلكتروليتية تحتوي على أنودات خاملة وكاثودات بادئة. وتترسب أيونات المعدن المنحل على الكاثود بعد توصيل التيار الكهربائي بالخلية. وتعمل عملية الاستخلاص الكهربائي على توليد غاز الأكسجين وسحب الحامض والإلكتروليت المستهلك (والذي يعاد إلى عملية الترشيح لاستخدامه مجدداً). وتباع الكاثودات فيما بعد أو يُزال المعدن ويُصب.

## الصب

يتم في عملية الصب إذابة المعدن وتمريه عبر فرن تجميع إلى وحدة صب لإنتاج أشكال مختلفة من المعدن. ويكون الصب إما مستمراً أو ثابتاً. ويعتمد الصب الثابت على عجلة تحوي سلسلة من القوالب يتم تبريدها بواسطة تيارات مائية. ويستخدم الصب المستمر لإنتاج الأسلاك. حيث يتم بثق الأنابيب من كتل ساخنة. فيما تُنتج الألواح والشرائط المعدنية من بلاطات وكتل مسخنة مسبقاً يتم إعطاؤها الشكل المطلوب. وتستخدم عملية صب ذات قالب ثابت في إنتاج السبائك.

## التصنيع التحويلي للألمنيوم

يبدأ إنتاج الألمنيوم باستخراج واستخلاص البوكسيت. وفي المنجم، يتم نقل خام البوكسيت إلى كسارة، ثم بعد ذلك تتم غربلة الخام المسحوق وتكديسه في حالة جاهزة للنقل إلى مصنع الألمنيوم. وفي بعض الحالات، يتم تحسين المعدن الخام عن طريق الاستخلاص (الغسيل، وتصنيف الحجم، وفصل المواد السائبة/الصلبة) لإزالة المواد غير المرغوبة مثل الطين والسيليكا.

ويجري داخل مصنع الألمنيوم تكسير و/أو طحن خام البوكسيت مرة أخرى لتصحيح حجم الجزيئات بما يعمل على زيادة كفاءة عملية استخلاص الألمنيوم من خلال التنقيت باستخدام سائل هيدروكسيد الصوديوم الساخن. وبعد إزالة خليط من أكاسيد المعادن والذي يطلق عليه "الطين الأحمر" والمواد الصلبة الدقيقة من سائل العملية، يتم ترسيب بلورات ثلاثي هيدروكسيد الألمنيوم وتكليسها في أفران دوارة أو أجهزة تكليس ذات قواعد مميعة لإنتاج الألمنيوم. وتشمل بعض عمليات الألمنيوم خطوة لتنقية السائل.

يُنتج الألمنيوم الأولي بواسطة التحليل الكهربائي للألمنيوم. ويتم حل الألمنيوم المصهور في حوض من الكريوليت ( $Na_3AlF_6$ ) وتمرير تيار كهربائي عبر الحوض بما يؤدي إلى تفكك الألمنيوم لتكوين الألمنيوم السائل على الكاثود والأكسجين على الأنود. عندئذ يتفاعل الأكسجين مع الكربون في الإلكتروليت لإنتاج أول وثاني أكسيد الكربون. ويتجمع الألمنيوم المصهور في قاع الخلايا الفردية أو القدر ويتم إخراجها بواسطة التفريغ الخوائي. ويتم تنفيذ عملية التحليل الكهربائي على نطاق واسع باستخدام عدد كبير من القدر الموصلة على نحو متسلسل بما يؤدي إلى نشوء مجال مغناطيسي قوي في مبنى العملية.

وتتمثل المواد الخام المستخدمة في إنتاج الألمنيوم الثانوي في الخردة والخراطة والخبث. ويتم تصميم عملية المعالجة المسبقة للخردة عن طريق التقطيع والغربلة والفصل المغناطيسي، والتجفيف لإزالة المواد غير المرغوبة التي تؤثر على كل من جودة الألمنيوم وانبعاثات الهواء. والعملية المشتركة في إنتاج الألمنيوم الثانوي هي صهره في أفران دوارة تحت غطاء ملحي. ويمكن كذلك معالجة الخبث الملحي وإعادة استخدامه. وهناك عمليات أخرى، مثل الصهر في الأفران الحثية وأفران المجرمة، تحتاج إلى ملح أقل كثيراً وقد لا تحتاج على الإطلاق



وتقترن بحاجة منخفضة للطاقة. غير أنها مناسبة فقط للخردة عالية الدرجة. واستنادا إلى التطبيق المطلوب، قد تكون هناك حاجة لمزيد من التنقية.

الشكل ألف: 1- وحدات العمليات للصهر والتنقية

