حل طبيعي مستند على "علم البيئة الصناعية" لبطانة قدور الصهر التالفة
إغلاق حلقة الألومنيوم في الاقتصاد الدائري

بي بلاك وبي كوبر، ريغاين للخدمات ذ.م.م، صندوق بريد 6919، فيكتوريا 3004، أستراليا

ملخص

في العالم الطبيعي، تشكل النفايات نوع معين غذاء لأنواع أخرى. بنفس الطريقة، يمكن أن يتم الاستخدام الأمثل للموارد الصناعية من خلال النظر للكيفية التي تعمل بها الأنظمة البيئية. توضح هذه المقالة كيفية استخدام مبادىء "علم البيئة الصناعية" لتحقيق حل مستدام آمن لبطانة قدور الصهر التالفة (SPL). هذا الحل يعمل على إزالة السموم من كل بطانة قدور الصهر التالفة وتكريرها لتصبح منتجات لها قيمة حقيقية في الصناعات كثيفة الطاقة. وقد أثبت الحل على مدى خمسة عشر عاما بالتحويل التام لأكثر من 180 ألف طن من بطانة قدور الصهر التالفة من أربعة مسابك ألومنيوم - مع عدم وجود مواد متبقية - وبيعها في الأسواق المتقدمة.

وضع بطانة قدور الصهر التالفة

تواجه مسابك الألومنيوم الأولي تزايد التوقعات بأنها سوف تجد بدائل لمدافن النفايات أو التخزين على المدى الطويل لمواد النفايات الخطرة مثل بطانة قدور الصهر التالفة. بطانة قدور الصهر التالفة خطرة بسبب وجود مركبات السيانيد والفلوريد القابل للذوبان وإمكانية المثيرة للقلق للاتحاد مع الرطوبة وتوليد الغازات المتفجرة [1]. تخضع هذه المادة لمراقبة رقابية صارمة بما في ذلك اتفاقية بازلبشأن مراقبة نقل النفايات الخطرة عبر الحدود والتخلص منها[2].

في صورتها الخام، تتراوح بطانة قدور الصهر التالفة في الحجم من الغبار الناعم إلى كتل تصل إلى متر (**الشكل 1**). وتحتوي عادة على مجموعة واسعة من التركيبات المعدنية والكيميائية نظرا لخلط مواد مختلفة في بطانة القدور.

الشكل (1) - خام بطانة قدور

على مدى العمر النموذجي للوعاء (خمس إلى ثماني سنوات) تتسلل مواد مثل معدن الألومنيوم والكالسيوم والفلوريدات والصوديوم إلى بطانة الكاثود وتتسبب في تدهورها.

تؤدي التفاعلات الكيميائية المعقدة إلى تشكيل مركبات كربيدات ونيتريدات وسيانيد مختلفة داخل بطانات القدور. عندما تتم إزالة البطانة من القدر، تحتوي بطانة قدور الصهر التالفة الناتجة أيضا على معدن الألومنيوم ومعدن الصوديوم. تمتص بطانة قدور الصهر التالفة الماء الموجود في الجو بسهولة فيتفاعل مع هذه المكونات. الغازات المتفجرة المنبعثة هي الميثان والأمونيا والهيدروجين.

وأشار بافلاك[3] إلى أن حوالي 25 كغم من بطانة قدور الصهر التالفة تتبقي من كل طن معدن ألومنيوم ينتج وأنه بينما في الماضي كانت معظم بطانة قدور الصهر التالفة تصرف في مدافن النفايات، "يجب أن تتغير هذه الممارسة إذا كانت الصناعة تريد أن تدعي درجة معقولة من الاستدامة والانبعاثات المقبولة من الناحية البيئية."

أجريت بحوث مستفيضة عن طرق مختلفة لعلاج بطانة قدور الصهر التالفة ووصفها في المطبوعات كبدائل لطمر النفايات[3][4][5]. تتضمن العوائق المصاحبة لمعظم هذه الطرق واحد من الأمور التالية:

- لا يمكن معالجة كل بطانة قدور الصهر التالفة (مثلا يمكن التعامل مع بطانة قدور الصهر التالفة الكربونية ولكن ليس بطانة قدور الصهر التالفة الحرارية أو العكس)
- وتجلب بطانة قدور الصهر التالفة مخاطر غير مرغوب فيها (على سبيل المثال حيث يوفر النفلين في الجزء المقاوم من بطانة قدور الصهر التالفة تدفقا جذابا لصناعة الطوب الطيني ولكن قد تشكل الفلوريدات مخاوف بيئية وصحية ومخاوف على السلامة)
- هناك مواد نفايات متبقية دون خيارات جاهزة للتخلص منها سوى مدفن النفايات.

كما يتغير المشهد الصناعي بسرعة مع بذوخ معايير تجارية جديدة بغرض التدقيق في طرق التصنيع المستدامة. على سبيل المثال تنص مبادرة الإشراف على الألومنيوم - النسخة القياسية 1 (ديسمبر/كانون أول 2014) بموجب المعيار 6.7 لبطانة قدور الصهر التالفة على:

> "يتعين على المسبك تعظيم إعادة تدوير الكربون والأجزاء الحرارية من بطانة قدور الصهر التالفة ويجب أن يثبت أنه يراجع باستمرار خيارات بديلة لكب بطانة قدور الصهر التالفة في مدافن النفايات. لا يجب أن تفرغ بطانة قدور الصهر التالفة في بيئات المياه العذبة أو البحرية."[6]

الأمل في علم البيئة الصناعية

في النظام البيئي الطبيعي، تشكل نفايات نوع واحد الغذاء لأنواع أخرى. يوضح تيبس[7] أن علم البيئة الصناعية يستخدم البيئة الطبيعية كنموذج لحل المشاكل البيئية وأن "... السر لخلق النظم البيئية الصناعية هو إعادة مفهوم النفايات إلى منتجات."

يصف فيسكل[8]مفهوم علم البيئة الصناعية على أنه توفير "... منظور نظامي مفيد لدعم التنمية المستدامة مع ضمان خلق القيمة للمساهمين." يوفر إركمان[9]بيانا أشمل لنطاق علم البيئة الصناعية:

> "لا يقوم علم البيئة الصناعية بمجرد معالجة قضايا التلوث والبيئة بل ويعتبر التقنيات واقتصاد العمليات والعلاقات المتبادلة في الأعمال والتمويل وسياسة الحكومة العامة ومختلف القضايا المتعلقة بإدارة المؤسسات التجارية على نفس القدر من الأهمية."

وحدث تقدم كبير في علم البيئة الصناعية الناشئ عندما قامت مجلة العلوم الأمريكية سنة 1989 بنشر مقال بقلم فروش وغالوبولوس[10]الذين طرحا مفهوم النظام البيئي الصناعي كمفهوم أكثر تكاملا من النموذج الصناعي التقليدي الذين يتكون من استخدام المواد الخام في صناعة المنتجات للبيع والنفايات التي يجب التخلص منها. لاحظا كذلك أن "موقف الشركات والعامة يجب أن يتغير لصالح نهج النظام البيئي ويجب أن تصبح اللوائح الحكومية أكثر مرونة حتى لا تعوق إعادة التدوير وغيرها من استراتيجيات تقليل النفايات دون مبرر."

تطبيق مبادئ علم البيئة الصناعية على الوضع بالنسبة لبطانة قدور الصهر التالفة يقودنا إلى السؤال: "أين هي القيمة في بطانة قدور الصهر التالفة؟"

تواجه الشركات المصنعة لمنتجات كثيفة الطاقة مثل الأسمنت والطوب الطيني تكاليف طاقة متزايدة وتوقعات من المجتمع بالحد من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون.[1112]بطانة قدور الصهر التالفة غنية بمواد معينة لها خصائص مفيدة في الحد من استهلاك الطاقة وانبعاثات ثاني أكسيد الكربون عند استعمالها في تصنيع الأسمنت والطوب الطيني. المكونات القيمة الرئيسية في بطانة قدور الصهر التالفة هي:

- الكربون كمصدر للطاقة الحرارية
- الصوديوم الذي يقوم بدور مساعد صهر
- الفلور الذي يقوم بدور ممعدن للأسمنت
- الألومينا والسليكا التي هي مواد خام مفيدة.

مساعد الصهر هو مادة تخفض درجة الحرارة التي تدخل فيها المواد الصلبة طور السوائل أو تزيد من كمية السائل في درجة حرارة معينة. بالنسبة لصناعة الطوب الطيني يعتبر الصوديوم مساعد صهر فعال يقلل درجة الحرارة المطلوبة لتحقيق جودة معينة من منتج الطوب الطيني ويقدم توفيرا في الطاقة وخفضا لانبعاثات ثاني أكسيد الكربون.[131415]

الممعدن هو المادة التي تسرع معدلات التفاعل وتشجع تشكيل المواد المطلوبة، يؤدي هذا في خبث الأسمنت إلى منتج ذي جودة أعلى مع تقليل وقت الإقامة واحتياجات طاقة أقل.[16]

الفلور ممعدن فعال مستخدم على نطاق واسع.5 [16] الصوديوم يساعد في صهر الخبث من خلال خصائصه كمساعد صهر. يؤدي الصوديوم أيضا إلى خبث أكثر تفاعلية بشكل مفيد حيث تكون لمواد الخبث الخام معدلات قلوية منخفضة إلى معتدلة. يمكن استخدام الصوديوم لموازنة نسبة القلويات إلى الكبريت المهمة في ظروف الإنتاج حيث يحتوي مصنع الخبث على مستويات مفرطة من الكبريت (مثلا نتيجة استخدام فحم الكوك البترولي كوقود).

على الرغم من ذلك، أعاقت الأخطار المصاحبة لبطانة قدور الصهر التالفة والطبيعة شديدة التغيير للمادة من تحقيق هذه الفوائد.[1718]مجرد إضافة بطانة قدور الصهر التالفة الخام المسحوقة إلى قدور الأسمنت من الممكن في الحقيقة أن يقلل من مستوى أداء عملية الأسمنت نتيجة للتقلبات الكبيرة في المكونات الكيميائية.

الأمل في حل لبطانة قدور الصهر التالفة

نظرا لوضع بطانة قدور الصهر التالفة والبيئة الرقابية ومخاوف المجتمع المحلي، يجب إيجاد حل طويل الأمد ومستدام وذي تكلفة مناسبة للحد من بطانة قدور الصهر التالفة أو إعادة استخدامها أو إعادة تدويرها. تقوم مسابك الألومنيوم بتحسين تقنية بطانة قدور الصهر لزيادة عمر القدور، ولكن تقليل أجيال بطانة قدور الصهر التالفة لا يحل المشكلة الحالية في التخزين ومدافن النفايات. كذلك سيستمر حجم بطانة قدور الصهر التالفة في الزيادة كلما زاد الطلب على الألومنيوم.

فرص إعادة الاستخدام وإعادة التدوير الموجودة في إطار علم البيئة الصناعية تسمح لحل أن يتبلور حول:

(أ) زيادة الاهتمام بتوفير الطاقة والحد من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون في صناعتي الأسمنت والطوب الطيني

(ب) معرفة أن الكيماويات والمعادن في بطانة قدور الصهر التالفة والمواد الأخرى المتخلفة من صهر الألومنيوم الأولي تستطيع أن تمكن هاتين الصناعتين من مكاسب ملموسة في الطاقة والحد من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون.

إطار علم البيئة الصناعية محوري في تطوير تصميم حل لبطانة قدور الصهر التالفة ويرسم الطريق للتعامل مع مسابك الألومنيوم والجهات الرقابية وأصحاب المصلحة في المجتمع المحلي والأسواق المحتملة. إذن يمكن النظر لبطانة قدور الصهر التالفة باعتبارها موردا قيما يتم استعماله للمنفعة الاقتصادية والبيئية مع الدعم الرقابي والمجتمعي الواسع.

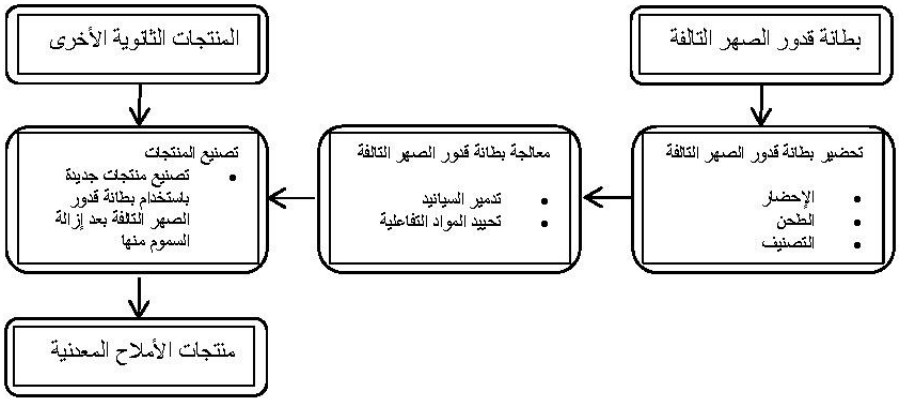
الأهداف والاستراتيجيات التي وضعت لتحقيق هذا الحل هي:

الأهداف	الاستراتيجيات
• 100 بالمائة استخدام مفيد لبطانة قدور الصهر التالفة بدون أي متخلفات • تكلفة منخفضة لإعادة معالجة بطانة قدور الصهر التالفة • استهلاك طاقة وانبعاثات غازات الاحتباس الحراري أقل لتصنيع المنتجات مثل الأسمنت والطوب الطيني	1. تأمين الدعم من الهيئات الرقابية والمجموعات البيئية ومجموعات أصحاب المصلحة في المجتمع المحلي من خلال التواصل والتعليم الفعال في مبادئ علم البيئة الصناعية 2. تطوير وتسويق عملية كيميائية للقضاء على مخاطر الغاز المتفجر والسيانيد في المسبك بحيث يتم شحن المنتجات المكررة فقط من المسبك لا مواد النفايات الخطرة 3. استخدام تداول وتسويق المعادن الصناعية لتحديد الأسواق المستهدفة ودعم المنتجات وتعزيزها وتوزيعها. تشجيع الصناعات على الابتعاد عن رسوم معالجة النفايات الخطرة ومشاكلها ورؤية القيمة الاقتصادية في المنتجات المشتقة من بطانة قدور الصهر التالفة 4. كسب تصنيف المنتجات المشتقة من بطانة قدور الصهر التالفة على أنها آمنة في النقل والاستخدام. وهكذا فإن المنتجات المكررة لا تخضع لبروتوكولات اتفاقية بازل وتلبي متطلبات المنتجات الثانوية على حسب توجيه الاتحاد

• تأثير إيجابي على البيئة	الأوربي بشأن النفايات[19] **5.** تأسيس حل بطانة قدور الصهر التالفة والحفاظ على سلامته من خلال ضمان احتساب جميع المواد وإشراك مقدمي الخدمات وعملاء الاستخدام النهائي حسني السمعة والجديرين بالثقة فقط.

نموذج معالجة بطانة قدور الصهر التالفة

تصميم عملية للتمكين من إعادة الحياة لبطانة قدور الصهر التالفة وإزالة السموم وتصنيع منتجات قيمة يتبع الأهداف والاستراتيجيات المبينة أعلاه. ويظهر مخطط انسيابي مبسط في الشكل 2.



الشكل 2 - مخطط انسيابي لمعالجة بطانة قدور الصهر التالفة

ينطوي إعداد بطانة قدور الصهر التالفة على (أ) إحضار المواد من التخزين أو من القدور مباشرة، (ب) الفصل بين معدن الألومنيوم ومواد الكربون والمواد الحرارية، (ج) الفرز في مجاري المواد المتشابهة، (د) السحق والتصنيف حسب الحجم.

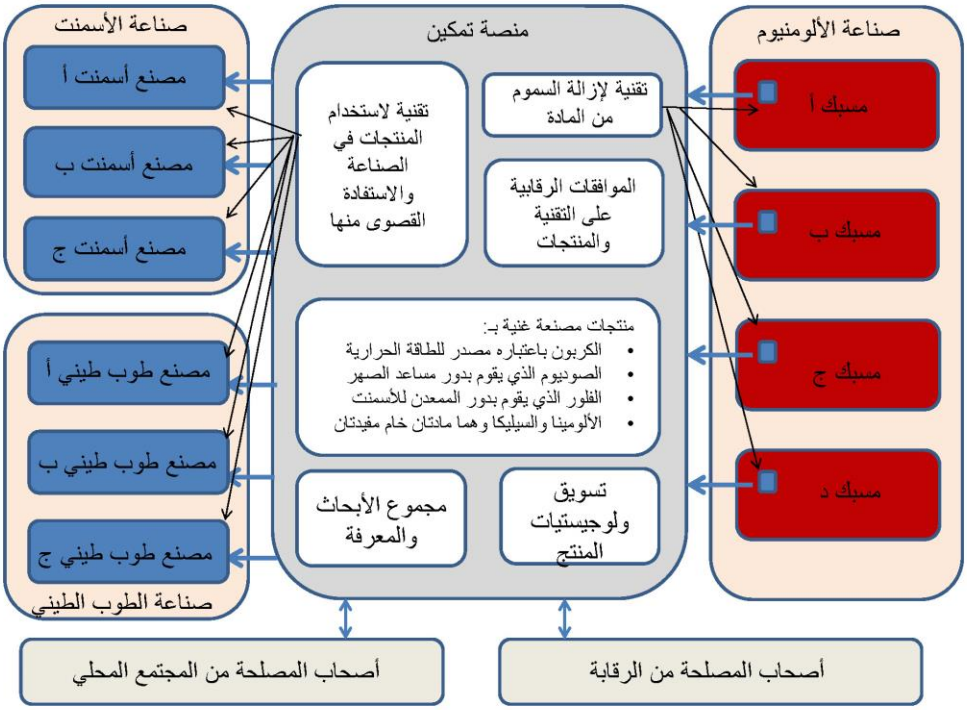
يتم استبعاد مخاطر السيانيد والانفجار في بطانة قدور الصهر التالفة من خلال عملية معالجة بطانة قدور الصهر التالفة. ويتحقق تدمير السيانيد عن طريق الأكسدة الحرارية أي تسخين المادة في وجود الأكسجين. ويتحقق تحييد المواد المتفاعلة من خلال تحفيز التفاعلات التي تولد الغازات المتفجرة في بيئة مسيطر عليها بحيث لا يمكن توليد المزيد من الغاز. تصبح عملية المعالجة عملية اكتفاء ذاتي تقريبا عن طريق إعادة استخدام الغازات الناتجة لتسخين المواد الخام. لا يتم إنتاج أي مواد متخلفة.

يتم **تصنيع** المنتجات المعدنية ذات خصائص صهر ومعدنة مفيدة من خلال تكرير مادة بطانة قدور الصهر التالفة التي أزيلت منها السموم. يمكن أن تضاف منتجات المسابك الثانوية الأخرى في هذه المرحلة.

نظام بيني صناعي

مثل النظم البيئية في العالم الطبيعي، يجب أن يناسب الحل المبني على أساس مبادئ علم البيئة الصناعية الإطار الذي يقدم الاستخدام الأفضل للموارد. ويستند حل بطانة قدور الصهر التالفة على النظام البيئي متعدد الأطراف (الشكل 3) الذي يجمع بين المكونات المادية للنظام مع منصة تمكين تشمل:

- تقنية إزالة سموم بطانة قدور الصهر التالفة
- تقنية استخدام هذه المنتجات في تصنيع الأسمنت والطوب الطيني
- الموافقات الرقابية للتقنيات والمنتجات
- تجارة المنتجات المكررة.
- التسويق واللوجستية الأمثل للمنتجات.
- المعرفة البحثية لدعم الابتكار واستخدام المنتجات.



الشكل 3 - النظام البيني الصناعي لبطانة قدور الصهر التالفة

دراسة حالة

وقد تم تطوير النظام المذكور أعلاه من قبل ريغاين للمواد على مدة خمسة عشر عاما. قدمت ريغاين خدمات معالجة بطانة قدور الصهر التالفة لأربعة مسابك ألومنيوم في أستراليا. تم معالجة أكثر من 180 ألف طن من بطانة قدور الصهر التالفة من خلال هذا النظام.

وتكون العملية في الموقع إلى جانب المادة الخام (بطانة قدور الصهر التالفة) والتي يتم إزالة السموم منها وتكريرها قبل أن يتم شحنها خارج حدود المسبك. تستخدم كل بطانة قدور الصهر التالفة ولا يتبقى أي مواد متخلفة. تستخدم منتجات ريغاين المكررة في مصانع الأسمنت أو مصانع الطوب الطيني في أستراليا والصين والفلبين وتايلاند والمغرب والإكوادور وكوستاريكا والسلفادور. وتم تصنيف منتجات ريغاين بأنها آمنة للتصدير والاستيراد من قبل المراقبين الحكوميين أو البيئيين في جميع هذه البلدان.

وقد كان تطوير السوق محفزا رئيسيا لنجاح هذه التقنية. يقبل مصنعو الأسمنت والطوب الطيني بأن المنتجات ذات الجودة المراقبة المشتقة من بطانة قدور الصهر التالفة هي قيمة لأعمالهم ولذلك فإنهم لا يسعون إلى أي ربع لمعالجة النفايات النفايات الخطرة.

وقد تم الاعتراف بابتكار وتفرد تقنية ريغاين لإزالة السموم من بطانة قدور الصهر التالفة دوليا مع براءات اختراع ممنوحة في أستراليا وكندا والولايات المتحدة الأمريكية ونيوزيلندا وجنوب أفريقيا والإمارات العربية المتحدة.

للتحقق من صحة مفهوم علم البيئة الصناعية، أجري تحليل دورة حياة لتحديد الآثار النهائية لمعالجة بطانة قدور الصهر التالفة لغرض الاستفادة منها لاحقا[20]. وأكدت النتائج الفوائد الصافية لتوفير الانبعاثات والطاقة كما هو مبين في**الجدول11** أدناه:

الجدول1- ملخص جوانب الانبعاثات والطاقة لطن واحد من بطانة قدور الصهر التالفة

المواصفات	انبعاثات الغازات الدفيئة	الطاقة الحرارية	الطاقة الكهربائية
معالجة بطانة قدور الصهر التالفة	0.2 طن مكافئات ثاني أكسيد الكربون	1.5 غيغاجول	50 كيلو واط في الساعة
التوفير من استخدام بطانة قدور الصهر التالفة	4.2 طن مكافئات ثاني أكسيد الكربون	17.5 غيغاجول	400 كيلوواط في الساعة
الصافي	**4.0 طن مكافئات ثاني أكسيد الكربون**	**16.0 غيغاجول**	**350 كيلوواط في الساعة**

الاستنتاج - إغلاق الحلقة في الإقتصاد الدائري

تتزايد الضغوط الرقابية والمجتمعية للإشراف على المواد في الاقتصاد الدائري الواعي بالموارد. لدى عملية الألومنيوم القدرة على أن تصبح مستدامة بشكل كامل إذا أصبح من الممكن استخدام بطانة قدور الصهر التالفة بالكامل. الحل الموصوف لبطانة قدور الصهر التالفة هو نموذج مبتكر للاستدامة البيئية مع مكاسب لصناعة الألومنيوم وللمستخدمين النهائيين للمنتجات وللبيئة.

ويمكن تحقيق تحويل بطانة قدور الصهر التالفة هذا بأمان داخل نظام بيئي صناعي عن طريق:

1. إزالة السموم للقضاء على مخاطر السيانيد والغازات القابلة للانفجار في مواد بطانة قدور الصهر التالفة مما يجعلها آمنة للنقل والاستخدام
2. تكرير مادة بطانة قدور الصهر التالفة بعد إزالة السموم منها إلى منتجات ذات جودة مراقبة تستخدم الكيماويات والمعادن الثمينة للقيام بتوفير الطاقة والحد من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون في صناعتي الأسمنت والطوب الطيني
3. الحصول على شهادة بأن المنتجات المكررة لا تتطلب مراقبة النفايات (مثل بروتوكولات اتفاقية بازل) لأنها لم تعد نفايات خطرة.

وقد أثبت هذا الحل نجاحه كنموذج لعلم البيئة الصناعية مع أكثر من 180 ألف طن من بطانة قدور الصهر التالفة قطع أول وقطع ثاني والتي تحولت من نفايات خطرة إلى منتجات قيمة بدون وجود مواد متخلفة. يمكن لمبادئ علم البيئة الصناعية تعليم والاخراط في الصناعة والمراقبين والمجتمع المحلي لمساعدة على إغلاق حلقة صناعة الألومنيوم من خلال حل بطانة قدور الصهر التالفة آمن ومستدام.

---

[1]"الغاز القابل للاشتعال يسبب الانفجار" - دراسات حالة لمنع الخسارة،www.shipownersclub.com، حماية ملاك السفن المحدودة 2010، 20 - 19

[2]اتفاقية بازلبشأن مراقبة نقل النفايات الخطرة عبر الحدود والتخلص منها.

[3]أر بي بافلاك، "بطانة قدور الصهر التالفة: تحديث"، لايت ميتالز 2012، الناشر سي. إي. سواريز، جمعية المعدنيات والمعادن والمواد، 2012

[4]جي هوليويل وأر بريولت، لمحة عامة عن طرق مفيدة لمعالجة أو استعادة أو إعادة تدوير بطانة قدور الصهر التالفة، مجلة جمعية المعادن والفلزات والمواد، 65)11(، 2013، 1451-1441.

[5]إم سورلي و إتش أويي، الكاثود في التحليل الكهربائي للألومنيوم، دوسلدورف: Aluminium-Verlag Marketing and Kommunication, 2010.

[6]: القواعد والمعايير مبادرة الإشراف على الألومنيوم - النسخة القياسية 1 (ديسمبر/كانون أول 2014) الجزء 1

[7]إتش. بي. سي. تيبس، "علم البيئة الصناعية: جدول أعمال بيئي للصناعة"، شبكة الأعمال العالمية، 1993

[8]جيه فيسكل "التنمية المستدامة من خلال علم البيئة الصناعية"، http://eco-nomics.com/images/SD_through_Industrial_Ecology.PDF، نشر لأول مرة كفصل في محرر. أر. إل. لانكي وبي. تي. أنستاس، النهوض بالاستدامة من خلال الكيمياء والهندسة الخضراء، الجمعية الكيميائية الأمريكية، 2002

[9]إس إركمان، "علم البيئة الصناعية: منظور جديد حول مستقبل النظام الصناعي. "محاضرة الرئيس"، Assemblée de la Société Suisse de Pneumologie، جنيف 2001 على http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11759173

[10]أر فروش وإن غالوبولوس، "استراتيجيات للتصنيع"، مجلة العلوم الأمريكية (طبعة خاصة، سبتمبر/أيلول 1989)

[11]"أهداف خارطة الطريق للأسمنت - خفض انبعاثات ثاني أكسيد الكربون"، وكالة الطاقة الدولية، http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Cement_Roadmap_targets_viewing.pdf 2012

[12]"مفاهيم توفير الطاقة لصناعة الخزف الأوروبية"، الطاقة الذكية أوروبا، 2009

[13]إيه. إس. سميث، "للتدليل على الجدوى التجارية لدمج الزجاج المطحون في الطوب مع خفض انبعاثات الطاقة وتوفير الطاقة"، برنامج العمل للنفايات والموارد، 2004.

[14]أر كيربي، "توفير الطاقة المحتمل من استخدام الزجاج المعاد تدويره في تصنيع الطوب"، مركز التنمية الاقتصادية البيئية، إدارة كاليفورنيا للحفاظ على البيئة، 2006

[15]دابليو غولدفينش، "نموذج جديد لصناعة الطوب"، عرض لثينك بريك أستراليا، (الهيئة الأسترالية لصناعة الطوب الطيني)، 2009

[16]في جوهانسن وجيه باتي، "مساعدات الصهر والممعدنات في عملية تنظيف قدور الصهر"، الابتكارات في بورتلاند لصناعة الأسمنت، رابطة أسمنت بورتلاند 2011

[17]إتش. إيه. أويي، "معالجة بطانة قدور الصهر التالفة في كهرلة الألومنيوم، تحدي هندسي وبيئي كبير"، إينيرجيا الجزء الخامس، رقم 1، مركز بحوث التطبيقية للطاقة، جامعة كنتاكي، 1994

[18]"إعادة الاستعمال المفيدة لنفايات بطانة قدور الصهر التالفة"، الإتحاد البيئي لصناعة الأسمنت، بحث جار،www.cieconline.net/Res/Research.htm

[19]"التوجيه EC/98/2008 الصادر عن البرلمان الأوروبي والمجلس بشأن النفايات وإلغاء بعض التوجيهات" الجريدة الرسمية للاتحاد الأوروبي، نوفمبر/تشرين ثان 2008، صفحة 305/11

[20]بي كوبر، "اعتبارات للتعامل مع بطانة قدور الصهر التالفة" مؤتمر تقنيات صهر الألومنيوم الأسترالي الأسيوي الحادي عشر، 6-11 ديسمبر/كانون الأول، تحرير بي ولش وإم سكيليس كاداكوس، جامعة نيو ساوث ويلز، كلية الهندسة الكيميائية.