مجلة البحوث الهندسية

العدد الثالث | المريخ (مارس) | 1992

مجلة البحوث الهندسية تصدر دورياً عن مركز بحوث العلوم الهندسية ـ طرابلس / الجماهيرية

1 ـ خصائص وفروق نظامى التعليم الهندسى الاكاديمى والمهنى.

(مفتاح على شتوان ـ موسى محمد موسى ـ عبد القادر الصادق عكى)

2 ـ تقييم لمسيرة البحث العلمى الجامعى والدراسات العليا فى المجال الهندسى.

(صالح يحيى البارونى ـ صالح ـ رمضان قشوط)

3 ـ نحو تقارب عالمى أفضل فى مجال الدرجات العلمية الممنوحة لدراسات التعليم الهندسى العالى.

(مصطفى محمد الطويل)

4 ـ الطاقة المستهلكة فى استخلاص الألومنيوم تحت الظروف المتوفرة بالجماهيرية.

(سليمان يونس قجم)

5 ـ تحليل أداء نظام التبريد الامتصاصي الشمسى باستخدام المواد الماصة الصلبة تحت شروط مدينة بنغازى المناخية ودراسة تأثير سماكة المجمع على الاداء.

(محمد عدنان فرواتى)

6 ـ الصناعات المستقبلية اثارها وسياسات تطويعها في الوطن العربى

(فتحى بن شتوان)

7 ـ تقنية الخرسانة بالدوا النامد . الحاجة للبحث والتطوير.

م. الحق و م. وورد

8 ـ «دستور معايير CEB النمطي» كقاعدة متينة
لدساتير المعايير بالدول النامية

ت. تاسيوس

9 ـ تحسين خواص شد الاسمنت الترابي باستعمال الجير

م. عمر، ع. بن لطيف و ع. العرعود

10 ـ تقوية العوارض الخرسانية المسلحة المشققة نتيجة القص

م. القلهود، أ. بن زيتون، الزريق و م. التاغدي

الطاقة المستهلكة فى استخلاص الألومنيوم تحت الظروف المتوفرة بالجماهيرية

سليمان يونس قجم
وحدة بحوث هندسة وعلوم المواد
مركز بحوث العلوم الهندسية

ملخص البحث:

تعتبر الطاقة والخام من أهم العوامل المتحكمة فى انتاج الألومنيوم فى العالم، ونظراً لعدم توفر خام البوكسايت محلياً وهو المصدر الرئيسى لصناعة هذا الفلز، فقد اتجه البحث نحو امكانية استخلاص الألومنيوم من مادة بديلة وهو الكاولين المتوفر محلياً وبكميات اقتصادية. وقد وضعت دراسة مقارنة من ناحية الطاقة المستهلكة بين الخام الوطنى عند استعمال حامض الهيدروكلوريد من مصنع أبو كماش والبوكسايت المستورد بصورة مصنعة على شكل الومنا (لو32).

أعطت الدراسة نتائج جيدة خاصة عند اضافة مادة الفلورايد الموجودة داخل خام الاباتايت مما قلل من الطاقة المستهلكة فى عملية التحميض حيث كانت نسبة الاستخلاص حوالى 98٪ فى مدة 30 دقيقة.

مقدمة:

يعد الألومنيوم أكثر الفلزات تواجداً فى القشرة الأرضية اذ يكون ما يقرب من $\frac{1}{12}$ من مجموعها. بينما يكون الحديد الذى يأتى بعده فى الترتيب $\frac{1}{20}$ منها. وبالرغم من ذلك فإن الانسان لم يتمكن من استخلاصه بشكل مستقل الا منذ مائة عام فقط. وقد أصبح الألومنيوم عنصراً أساسياً فى حياة الانسان سواء أكان ذلك فى المجتمعات المتقدمة صناعياً أو فى مجتمعات البلدان النامية فى مختلف القطاعات كالانشاءات والنقل والكهرباء وصناعة الأثاث والتقنية والأسلحة وصناعة الفضاء... الخ. وذلك كله راجع الى ما يتمتع به الألومنيوم من مزايا وصفات فريدة والتى منها خفة وزنه وجودة توصيله للحرارة والكهرباء وسهولة تشكيله ومقاومته للتآكل.[1]

ويتواجد الألومنيوم فى الطبيعة على شكل تمعدنات مختلفة أهمها البوكسايت ويحتوى على حوالى 54 ٪ الومنا، والكاولين (الصلصال) ويحتوى على 39 ٪ الومنا. ويستخرج الالومنيوم فى معظم مناطق العالم من البوكسايت، وقد ابتدىء فى استخراجه من خام الكاولين. ويقدر الاقتصاديون فى العالم بأن احتياطى البوكسايت قد يكفى الى ما يقرب من 60 سنة وذلك فى حالة استمرار معدلات النمو الحالية. ولم تشر نتائج المسح الجيولوجى لليبيا والوطن العربى الى تواجد البوكسايت عدا السعودية والسودان مؤخراً بينما تؤكد على وجود خام الكاولين فى ليبيا، وبالذات فى مناطق سبها وجبل نفوسة وكذلك فى مناطق عديدة من العالم من بينها الدول العربية. وليس هناك أية بوادر للقيام باستيراد البوكسايت وتكرير الألومينا من قبل الدول العربية المنتجة للألومنيوم وذلك لعدم وجود استراتيجية عامة شاملة لهذا الموضوع، ومع هذا فقد حصلت مبادرات تخدم نفس الهدف وهو توفير مصدر مملوك ولو جزئياً لمشاريع الألومنيوم التى كانت مخططة.[2]

ولهذه الغاية فقد ساهمت كل من مصر وليبيا والكويت والعربية السعودية ودولة الامارات العربية بتأسيس شركة مع الحكومة الغينية باسم الشركة الغينية العربية للألومينا والالومنيوم (ALGAE) وبالتعاون مع شركة الوسويس التى قامت بإعداد دراسة الجدوى للمشروع عام 1978/77 م وتقدر طاقة المشروع من البوكسايت بـ 9 ملايين طن سنوياً مخصص منها للتصدير 1,5 مليون طن[3]، كما أن هناك شركتين أخريين إحداهما بين الجزائر والحكومة الغينية لانتاج البوكسايت فى دابولا (DAPOLA) وأخرى بشراكة مع الأقطار

العربية وحكومة غينيا وشركة ألوسويس باسم (ALOSWISS). وفى المقابل فإن شركات الألومنيوم الكبرى والمؤسسات البحثية ودول العالم الأخرى تقوم بمحاولات جادة فى سبيل ايجاد خام بديل عن البوكسايت فى حال نفاده - متوفر محلياً - وقد برز خام الكاولين كأحد هذه البدائل وهو موضوع هذه الدراسة، وتعتبر الطاقة أهم العوامل المتحكمة فى استخلاص الألومينا على الاطلاق وبالتالى الاستفادة منه كبديل عن المعادن الأخرى بما له من صفات متميزة، ويعتبر الغاز من أهم مصادر الطاقة فى انتاج الألومنيوم وهى أحد الطرق التى يمكن بيعه بها بدلاً عن تسويقه بأسعار منخفضة[4] ويدخل فى صناعة الألومينا عدد من المواد الأولية المساعدة أهمها الكوك النفطى، الكربولايت، الزفته، الحجر الجيرى، والفلورسيار وفلوريد الألومنيوم، والمياه. وجميع هذه المواد تستورد من خارج الوطن العربى رغم توفرها محلياً.

1 - استخلاص الألومنا من الخام:

1 - استخلاص الألومنا من خام البوكسايت:

نظراً لارتفاع نسبة اكسيد الحديد فى الخام 12 ٪ ولذوبان الحديد فى الأحماض فقد تعذر استعمال أحد الأحماض القوية المعروفة مثل حامض الكبريتيك أو حامض الهيدروكلوريك فى استخلاص الألومنا من خام البوكسايت. ولذا فإن المادة المستعملة هى مادة هيدروأكسيد الصوديوم «ص ا يد» القاعدية حيث أنها تذيب الألومنا وتترك الحديد على شكل راسب، ويعتبر فصل الحديد من الألومنا من القضايا الهامة جداً وذلك نظراً لخواصه المغايرة مثل الكثافة النوعية ومقاومة التآكل وخاصة التوصيل الكهربائى والحرارى، ويمر البوكسايت عند تكريره بخمس مراحل لغرض استحلال الالومنا منه وهى:

أ - عملية الطحن.

ب - عملية الهضم داخل الصودا الكاوية الساخنة.

جـ - التحليل وفصل الشوائب (الطين الأحمر) عن طريق الترسيب والغسيل والتصفية.

د - عملية الترسيب وفى هذه العملية تتحلل ألومينات الصوديوم وينتج هيدروأكسيد الألومنيوم وتحتاج هذه الخطوة الى مصدر مائى كبير وثابت.

هـ - عملية تكليس الالومينا تحت درجة حرارة حوالى 980° م للتخلص نهائياً من الماء ولتحويل الألومينا الى صورة بللورية حتى لا تترطب فى الهواء وتعود الى صورة الهيدروأكسيد.

وبالإضافة الى البوكسايت فإن تكرير الألومنيوم يحتاج من 90 الى 180 كجم من الصودا الكاوية لكل طن من الألومينا ومن صفر الى 15 كجم كلس محروق ومن 0,3 الى 0,6 طن زيت وقود أو ما يعادله من الغاز وتحتاج العملية الى 15 متراً مكعباً من المياه لكل طن من الألومينا، أما استهلاك الطاقة الكهربائية فإنه يتراوح ما بين 250 ك.و. لكل طن واحد حتى تكون الألومينا جاهزة للاستعمال داخل المصهر الكهربائى.

2 - 1 استخلاص الألومنا من خام الكاولين:

تعتبر عملية استخلاص الألومنا من خام الكاولين من العمليات الصناعية الحديثة جداً ولم تطبق على مستوى صناعى الا فى مناطق محدودة جداً من العالم وهى لا زالت قيد الدراسة والبحث كبديل عن خام البوكسايت الذى يقدر احتياطه بـ 60 سنة طبقاً لمعادلات نمو الاستهلاك الموجودة الآن. ويتواجد خام الكاولين باحتياطى صناعى بمناطق سبها وجبل نفوسة، وقد تم اجراء بعض التجارب المعملية عن هذا الخام الوطنى فى الجامعة ومركز البحوث الصناعية وقد كان من بين نتائج هذا البحث ما يلى:

أ - استخلاص الألومنا من كاولين سبها الغير مكلس وباستعمال حامض الهيدروكلوريك عند درجة حرارة 95° م داخل مفاعل كيميائى سعة $\frac{1}{2}$ لتر وقد كانت النتيجة 12 ٪ الومنا فقط وبعد ساعتين من التقليب كما فى شكل رقم (1).

ب - استخلاص الألومنا من نفس الخام بعد تحميضه فى درجات حرارة 425° م و 540° باستعمال حامض الهيدروكلوريك عند درجة حرارة 95° م وباستعمال نفس المفاعل وبنفس سرعة الدوران وقد كانت هى 45٪، 90٪، 98٪ على التوالى كما فى شكل رقم (2).

جـ - استخلاص الألومنيوم من الكاولين الغير مكلس فى حامض الهيدروكلوريك تحت نفس درجة الحرارة ونفس

المفاعل وباستعمال الفلورايد ايون كمادة معجلة للتفاعل دون الدخول فيه وكبديلة عن عملية الكلسنة التى تعتبر أحد المصادر الكبيرة فى استهلاك الطاقة، وقد أعطت النتائج حوالى 85٪ الومنا فى نفس الزمن، كما فى شكل (3).

وتمر عملية استخلاص الألومنا من الكاولين بالمراحل الآتية:

أ - الطحن والغربلة والتصنيف للخام.
ب- التحميض فى درجة حرارة 540° م على الأقل.
جـ- عملية الهضم داخل محلول أحد الأحماض القوية مثل يد كل وتحت درجة حرارة 95° م.
د - عملية التصفية وفصل المحلول عن الراسب وفى هذه الحالة السيليكا.
هـ- عملية فصل أيونات الألومنا التى تذوب بشحنة مغايرة عن أيونات الحديد باستخدام الكيروسين.
و - عملية اعادة البلورة تحت درجة حرارة 1000° م وتكون بللورات لـو $_2$ أ $_3$. وبذلك تكون الألومنا جاهزة للاستعمال داخل المصهر الكهربائى.

2 - مقارنة عمليتى استخلاص الألومنا:

وبمقارنة خطوات استخلاص الألومنا من البوكسايت والكاولين نجد أن العمليتين تختلفان اختلافاً كلياً للأسباب الآتية:

2 - 1 نسبة السيليكا عالية جداً فى الكاولين 54٪ عنها فى البوكسايت 12٪، ولذا لا يمكن استعمال المحلول القلوى فى الكاولين الذى يذيب قدراً من السيليكا مع الألومنا الأمر الذى يتسبب فى احتواء السيليكا للألومنا وفقدانه وبالتالى فقد استعمل حامض الهيدروكلوريك الذى يؤدى الى اذابة الألومنا وترسيب السيليكا.

2 - 2 نسبة الحديد فى البوكسايت عالية نسبياً 11,4٪ عنها فى الكاولين 1,5٪ ويتم فصل الحديد من الكاولين بإذابته من الألومنا ولكن بشحنة مغايرة (سالبة)، بينما يفصل فى البوكسايت كراسب.

وبالنظر الى الخطوات السابقة نجد أنه من المتحتم اقامة مصنع بمواصفات مختلفة عنها فى مصانع البوكسايت مما قد يؤدى الى قفل المصانع القديمة وازدياد التكلفة بالنسبة للدول التى تمتلك هذه الصناعة من قبل.

3 - أهمية استخراج الألومنا من الخامات الوطنية: [5]

من الدراسة السابقة نجد أن التفكير فى ادخال هذا الخام المحلى فى الصناعة والاستفادة منه من الأهمية بمكان وذلك نظراً للظروف الآتية:

3 - 1 الأهمية الاستراتيجية لهذا الفلز.
3 - 2 انعدام البوكسايت فى الجماهيرية والوطن العربى مما يؤكد ضرورة الاعتماد على الدول الأخرى فى هذا المجال.
3 - 3 تواجد خام الكاولين فى الجماهيرية ومناطق أخرى من الوطن العربى.
3 - 4 تأميم الدول المالكة للبوكسايت لمناجمها وبالتالى بيعه على شكل الومنا مصنعة وباهظة الثمن كما فى مخطط مصهر زوارة ودول الخليج العربى.
3 - 5 ازدياد الطلب الكبير على الألومنا لدخوله فى تطبيقات صناعية كثيرة وذلك لصفاته المتميزة.
3 - 6 امكانية قيام صناعات جانبية جيدة فى مجال الخزف حول الكاولين بعد استخلاص الألومنا منه.
3 - 7 استغلال النواتج الثانوية لبعض المصانع الأخرى مثل مصنع أبو كماش كحامض الهيدروكلوريك.
3 - 8 عدم وجود مصانع لاستخلاص الألومنا من البوكسايت بالطريقة القاعدية الأمر الذى يؤدى الى قفلها وفقدانها فى حالة استعمال الكاولين كمصدر للألومنا.
3 - 9 ازدياد أسعار الألومنا المطرد وذلك لزيادة الطلب عليه.
3 - 10 استعمال حامض الهيدروكلوريك كمعجل للتفاعل داخل المحلول من الممكن الاستفادة منه مرة أخرى فى تصنيع الكريولايت المستعمل داخل الخلية الكهربائية بدلاً من شرائه بصورة مصنعة رغم ارتفاع ثمنه.
3 - 11 تعتبر حبيبات الألومنا الناتجة عن الكاولين أكبر حجماً منها عن الحبيبات الناتجة عن البوكسايت مما يسهل عملية التصفية وبالتالى تقليل تكلفة الاستخلاص.
3 - 12 تحتاج عملية غسيل الطين الأحمر الناتجة عن ارتفاع نسبة الحديد 12٪ فى البوكسايت الى مصدر مائى كبير بينما لا توجد ضرورة لذلك فى الكاولين.

وبالنظر الى توفير المصانع التى لها علاقة بهذه الصناعة كمصنع الخزف بغريان ومصنع أبو كماش بالقرب من المصهر المرتقب فى زوارة لذا فإنه من الممكن جداً استغلال النواتج الثانوية من الكاولين وكذلك استعمال بعض النواتج لمصنع أبو كماش فى استخلاص الألومنا كما فى شكل رقم (4).

ومن المقارنات السابقة بين البوكسايت والكاولين نجد أن عناصر الانفاق المختلفة بما فى ذلك الطاقة تختلف من بلد الى آخر وقد عملت بعض الدراسات المقارنة من قبل شركات الألومنيوم الكبرى وبعض المؤسسات البحثية، وقد تبين من الدراسة المقارنة التى قام بها ذيفنبالق وهاك سنة 1983 على الكاولين عند استعمال الأحماض المختلفة أن التكاليف والمشاكل التقنية يمكن ترتيبها كما يلى:[6]

يد ن أ$_3$ > يد$_2$ أ$_4$ > يد$_2$ كب أ$_3$ > يد كل

وكذلك أيضاً تم مقارنة عملية باير للبوكسايت مع الكاولين باستخدام حامض الهيدروكلوريك وحامض الكبريتيك ودونت نتائجها بالشكل رقم (5). ومن منشورات مكتب معلومات المناجم بالولايات المتحدة الأمريكية تحت رقم 8648/1974[7] وجد أن الطاقة الحرارية المستخدمة فى استخلاص الألومنيوم من الكاولين باستخدام حامض الهيدروكلوريك وحامض النيتريك يمكن تلخيصها كالآتى:

1 ـ الطاقة الحرارية المطلوبة لاستخراج طن واحد ألومنا من كاولين جورجيا = 49,100,000 (ب. ت. يو) وذلك باستخدام حامض النيتريك، يستخدم منها حوالى 5,000,000 (ب. ت. يو) على الطن الواحد ألومنا فى عملية الحرق المباشر للطين والباقى فى عمليات الاستخلاص الأخرى.

2 ـ الطاقة الحرارية المطلوبة لاستخراج طن واحد ألومنا من كاولين جورجيا باستخدام حامض الهيدروكلوريك = 37,800,000 (ب. ت. يو)، يستخدم منها حوالى 12,000,000 (ب. ت. يو) فى عملية الحرق المباشر والباقى فى العمليات الأخرى.

أما الطاقة الكهربائية بالنسبة لطن واحد من الألومنا فهى: 163 ك. و. ساعة وذلك باستعمال حامض النيتريك و134 ك. و. ساعة عند استعمال حامض الهيدروكلوريك ونظراً لحداثة هذه العملية الصناعية فإنه يتحتم بذل المزيد من الجهد والدراسة سواء فى إطار معملى أو على شكل مصانع بحثية مصغرة من أجل إيجاد أنجح الوسائل فى سبيل التقليل من الانفاق وبالتالى التقليل من الطاقة المستهلكة فى انتاج الألومنا من خام الكاولين حتى تكون فى مستوى عملية باير للبوكسايت. وبالإضافة الى الغاز الذى يعتبر أهم مصادر الطاقة سواء للكلسنة أو الاستخلاص فإنه بالامكان استعمال البترول والفحم كمصادر للطاقة فى استخراج الألومنا.

4 ـ المواد المساعدة:

لكل قطر أسبابه ومبرراته التى يقدمها لانشاء مصهر الألومنا لديه، وربما يكون الدافع الأساسى لذلك توفير عامل أو أكثر من العوامل التى تساعد على إقامة مثل هذا المشروع.

فربما يكون هذا الدافع هو توفير الطاقة أو المادة الأولية، مادة البوكسايت أو كليهما معاً، واذا ما توفرت مع هذين العاملين عوامل أخرى (مثل رأس المال، السوق) فإن فرص نجاح وتحقيق اقامة هذا المشروع تكون وافية.

وفى ضوء ذلك نجد أن العوامل الرئيسية لإقامة هذه الصناعة بالإضافة الى الخام تتلخص فيما يلى:

1 ـ 4 الطاقة: تعتبر الطاقة أول وأهم العوامل التى تتحكم فى هذه الصناعة اذ يحتاج صهر الألومنيوم الى توفير مصدر ثابت غير منقطع من الطاقة مما يؤمن استمرارية التغذية. كما تتميز الجماهيرية ومعظم الدول العربية المنتجة للنفط بتوفر كمية هائلة من الغاز المصاحب والغاز الطبيعى، وجانب كبير من هذه الطاقة يتم حرقه، ويعتبر انتاج الألومنا مصدراً مهماً للإستفادة من هذا الغاز فى توليد الطاقة الكهربائية.

2 ـ 4 القطران: تستخدم هذه المادة فى تحضير الأقطاب الكربونية ويمكن الحصول عليها من تكرير منتجات النفط.

3 ـ 4 العمالة: يحتاج مشروع متكامل للألومنا الى عدد من العاملين من ذوى الخبرة والمهارة، ويستخدم مصنع الألومنا حوالى 1500 شخص.

4 ـ 4 الفحم البترولى: تعتبر الجماهيرية مصدراً طبيعياً وجيداً للفحم البترولى ويقدر انتاج طن واحد من الألومنا الخام بحوالى نصف طن من الفحم البترولى.

5 ـ 4 رأس المال: أهم عنصر يتطلبه أى مشروع هو توفير رأس المال اللازم لشراء المعدات واقامة المنشآت.

5 ـ الاستنتاج:

1 ـ 5 بالنظر الى الأهمية الاستراتيجية لهذه الصناعة فإن التفكير فى إقامتها على الخامات المحلية يعتبر من الأمور الهامة جداً لأى بلد.

2 ـ 5 من الدراسة السابقة بالنسبة الى استخلاص الألومنا من خام كاولين سبها فإن النتائج تشير الى امكانية الحصول على حوالى 98٪ الومنا الأمر الذى يؤكد احتمالية قيام صناعة الومنا معتمدة على خامات وطنية آخذة فى الاعتبار امكانية الاستفادة من النواتج الثانوية لمصنع أبو كماش وتزويد بعض النواتج الثانوية من هذه الصناعة لبعض المصانع الأخرى.

3 ـ 5 نظراً لحداثة صناعة الألومنا من الكاولين يجب أن تولى قدراً متزايداً من الدراسة والتشجيع على أن تشمل هذه الدراسة الجوانب الفنية والاقتصادية معاً وذلك فى سبيل التقليل من الطاقة بما يكفل منافستها عملية شراء الومنا مصنعة من البوكسايت.

4 ـ 5 وجود الغاز الطبيعى فى الجماهيرية ودخول الجزائر كطرف ثان فى هذه الصناعة من الممكن أن يوفر السوق الجيدة للانتاج فى دول المغرب العربى التى لم يسبق لها استيطان هذه الصناعة من قبل.

5 ـ 5 بيع الغاز الوطنى فى صورة ألومنا مصنع من العوامل الهامة جداً فى مضاعفة سعره وبالتالى دعم الاقتصاد الوطنى.

6 ـ 5 استعمال الفلورايد أيون للتفاعل من الممكن أن يخفض الطاقة الحرارية المطلوبة لانتاج طن واحد من الألومنا من الكاولين الى 25,800,000 (ب. ت. يو) وذلك بالاستغناء عن عملية الكلسنة حتى تنافس عملية باير للبوكسايت.

المراجع

1 ـ آفاق تطوير صناعات المواد الأولية لصناعة الألومنيوم فى الدول العربية، محمد سعيد جابر، المؤتمر العربى الدولى الثالث للألومنيوم، اكتوبر 1987.

2 ـ واقع وآفاق تطوير صناعة الألومنيوم فى الوطن العربى، أحمد عباس، المؤتمر الثالث للألومنيوم، اكتوبر 1987.

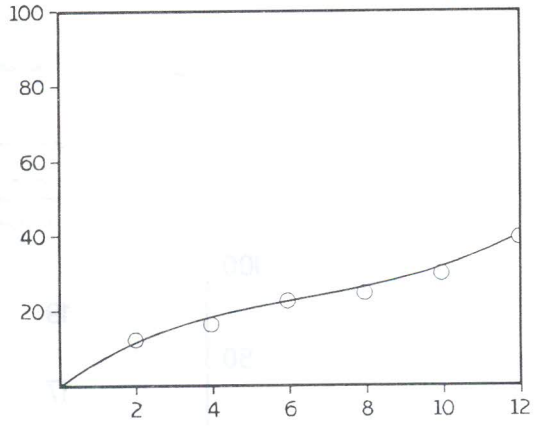
3 ـ ملامح التغيير فى صناعة الألومنيوم، وجهة نظر اقتصادية، جيمس اف. كينج، المؤتمر العربى الدولى الثالث للألومنيوم، اكتوبر 1987.

4 ـ تسعير الغاز الطبيعى وصناعة الألمنيوم فى ليبيا، د. شكرى غانم، الندوة الليبية / الايطالية المشتركة حول قضايا الطاقة، اكتوبر 1987، ص 8.

5 ـ استخلاص الألومنيوم من الكاولين، سليمان قجم، المؤتمر الأول للصناعة ابريل 1988.

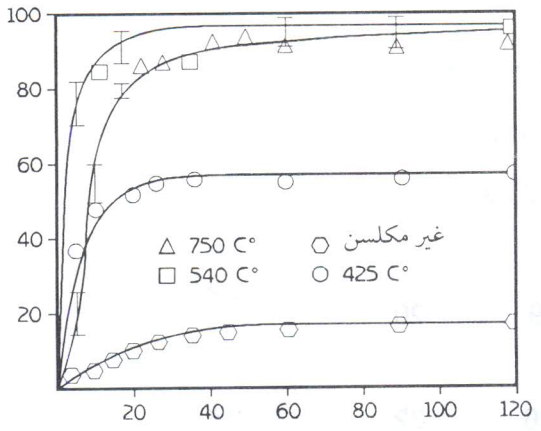
6 ـ ذيفنبالق و س. وهاك. ج، «دراسة استخلاص الألومنا من الكاولين باستعمال حامض الهيدروكلوريك وحامض الكبريتيك» الفلزات الخفيفة، ص 1119 ـ 1143، 1983.

7 ـ منشورات مكتب معلومات المناجم بالولايات المتحدة الامريكية، رقم 8648/1974.



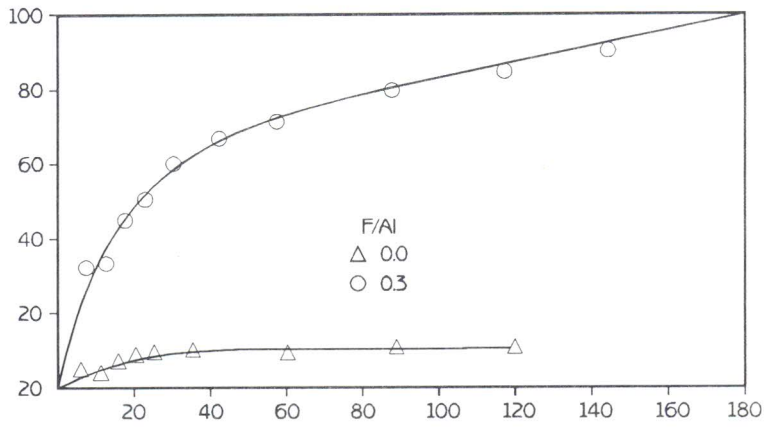
شكل رقم (1)

استخلاص الالومنيوم من طين الكاولين الغير مكلسن باستعمال حامض الهيدروكلوريك عند درجة حرارة 95م



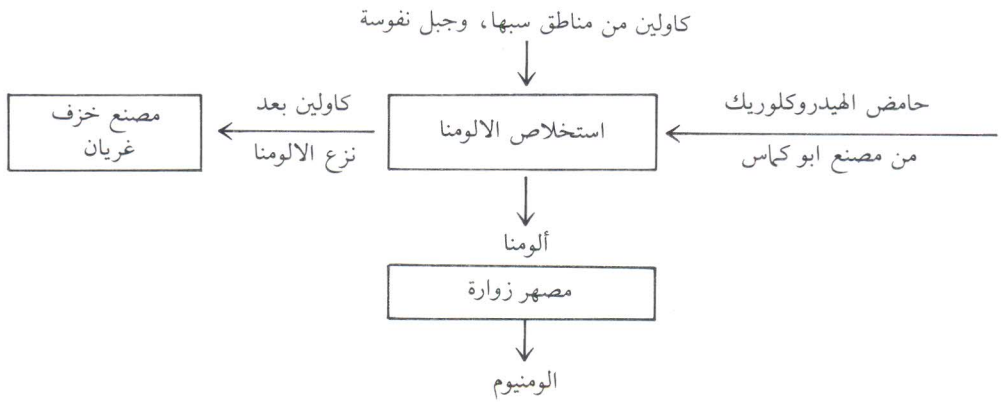
شكل رقم (2)

استخلاص الالومنيوم من طين الكاولين المكلسن عند درجات الحرارة المختلفة باستعمال حامض الهيدروكلوريك تحت درجة حرارة 95م



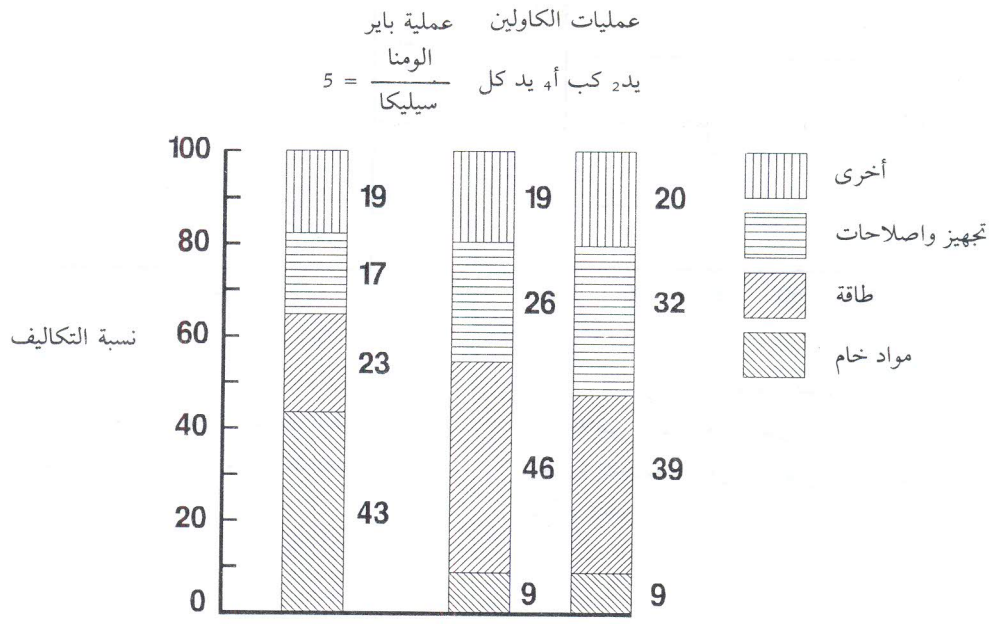
شكل رقم (3)

استخلاص الالومنيوم من طين الكاولين الغير مكلسن باضافة الفلورايد أيون واستعمال حامض الهيدروكلوريك تحت درجة حرارة 95م.



شكل رقم (4)

يبين علاقة مصنع الالومنيوم بالمصانع المحلية الاخرى



شكل رقم (5)

تكاليف استخلاص الالومنيوم من العمليات المختلفة (6)