دولـــــــــة لـــــيبيـــــا

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

جامعة طرابلس – كلية التربية جنزور

قسم الكيمياء

مشروع تخرج مقدم لنيل درجة البكالوريوس في قسم – الكيمياء

بعنوان : الألمونيوم

إعداد الطالبتان

أروى إبراهيم الأشهب نـهى رمضان عياد

تحت إشراف الدكتور ....

إسماعيل بن سليمان

العام الجامعي: 2023

# الفهرس


| ر.ت. | الموضوع | الصفحة |
|---|---|---|
| | الآيـة الـقـرآنـيـة | I |
| | الاهـــــــداء | II |
| | كـلـمـة الـشـكـر والـتـقـدير | III |
| | فـهـرس الـمـحتويات | IV |
| | فـهـرس الأشـكـــال | V |
| | فـــهـرس الجداول | VI |


# فـــهـــرس المحتويات


| رقم الموضوع | اسم الموضوع | الصفحة |
|---|---|---|
| 1 | المـقـدمـة | 1 |
| 2 | وجود الألومنيوم | 3 |
| 1-2 | خام البوكسيت | 3 |
| 2-2 | خام الكريوليت | 4 |
| 3-2 | خام الزيوليت | 5 |
| 4-2 | خام الفلسبار | 5 |
| 3 | خواص الألومنيوم | 7 |
| 1-3 | الخواص الكيميائية | 7 |
| 2-3 | الخواص الفيزيائية | 8 |
| 4 | مركبات الألومنيوم | 9 |
| 1-4 | هيدروكسيد الألومنيوم | 9 |
| 2-4 | كلوريد الألومنيوم | 10 |
| 3-4 | أكسيد الألومنيوم | 11 |
| 4-4 | كبريتات الألومنيوم | 12 |
| 5-4 | نترات الألومنيوم | 13 |
| 6-4 | كربيد الألومنيوم | 14 |

| رقم الموضوع | الموضوع | الصفحة |
|---|---|---|
| 5 | إنتاج الألومنيوم | 16 |
| 6 | سبائك الألومنيوم | 20 |
| 1-6 | سبيكة برونز الألومنيوم | 20 |
| 2-6 | سبيكة الدورالومين | 21 |
| 7 | استخدامات الألومنيوم | 22 |
| 8 | إعادة تدوير الألومنيوم | 24 |
| | المراجع | |


## فـــهـــرس الأشـكال


| رقم الشكل | اسم الشكل | رقم الصفحة |
|---|---|---|
| 1 | خام البوكسيت | 3 |
| 2 | خام الكريوليت | 4 |
| 3 | خام الزيوليت | 5 |


## فهرس الجداول


| رقم الجدول | اسم الجدول | رقم الصفحة |
|---|---|---|
| 7 | التركيب البلوري لأكسيد الألومنيوم | 11 |
| 8 | كبريتات الألومنيوم | 13 |
| 9 | نترات الألومنيوم | 14 |
| 10 | الخواص الفيزيائية للألومنيوم | 14 |
| 11 | فرن القوس الكهربائي | 15 |
| 12 | خلية التحليل الكهربائي للألومينا | 17 |
| 13 | مراحل إنتاج الألومنيوم | 19 |
| 14 | سبيكة برونز الألومنيوم | 20 |
| 15 | سبيكة الدورالومين | 21 |
| 16 | استخدامات الألومنيوم | 23 |
| 17 | إعادة تدوير الألومنيوم | 24 |
| 18 | المعدل المطلوب لعلب الالومنيوم في الولايات المتحدة الامريكية | 25 |

بسم الله الرحمن الرحيم

{ يَرْفَعِ اللهُ الَّذِينَ آمَنُوا مِنْكُمْ وَالَّذِينَ أُوتُوا الْعِلْمَ دَرَجَاتٍ وَاللهُ بِمَا تَعْمَلُونَ خَبِير }

صدق الله العظيم

(11سورة المجادلة الآية )

# " الإهـــــــــداء "

إلهـي لايـطـيـب الليل إلا بشكرك ولا يطيب النهار إلا بطاعتك ... ولا تطيب اللحظات إلا بذكرك ولا تطيب الآخرة إلا بعفوك ... ولاتطيب الجنة إلا برؤيتك

## ( الله جـل جـلالـه )

إلى من بلّغ الرسالة وأدى الأمـانـة ... ونصح الأمة ... إلى نبي الرحمة ونور العالمين

## ( سيدنا محمد صلى الله عليه وسلم )

إلى ملاكي في الحياة ... إلى معنى الحب وإلى معنى الحنان والتفاني ... إلى بسمة الحياة وسر الوجود ... إلى من كان دعائه سر نجاحي ... وحنانه بلسم جراحي ... إلى أغلى الحبايب

## ( والدتي العزيزة )

إلى من كلله الله بالهيبة والوقار ... إلى من علمني العطاء بدون انتظار ... إلى من أحمل اسمه بكل إفتخار أرجو من الله أن يمد في عمرك لترى ثماراً قد حان قطافها بعد طول انتظار وستبقى كلماتك نجوم أهتدي بها اليوم وفي الغد وإلى الأبد

## ( والدي العزيز )

إلى من أرى التفاؤل بأعينهم ... والسعادة في ضحكتهم إلى من انتظروا هذه اللحظة بفارغ الصبر

## ( إخوتي )

إلى الأزهار التى تزين حدائق عمري ... إلى من أفديهم بروحي ودمي

## ( أحـبابنـا وأصـدقـائـنـا )

إلى من أضـاءوا لـنا شمعة على درب النجاح وغرسوا بذرة العلم في نفوسنا ... وأناروا لنا طريق المستقبـل ورافقونا في دربنا

## ( أسـاتـذتـنـا الأفـاضـل )

## " الشـــكـــر والـتـقـديـر "

نشكر الله سبحانه وتعالى في البداية والنهاية وبينهما شكراً طيباً مباركاً على ما أنعم به علينا إذ هدانا ووفقنا بإنجاز هذا العمل.

كما نخص بالشكر والامتنان للدكتور الذي تفضل بالإشراف على هذا المشروع فجزاه الله عنـا كل خـير فـله منا كل الـتـقـدير والاحـتـرام

**الـدكـتـور إسماعيل الشارف بن سليمان**

إن القلم لعاجـز عن ايـجاد كلمات الشكـر والامـتـنـان إلى كل من مد لـنا يد العون والمساعـدة ولو بالكلمة الطيبة.

" كـن عـالـمـاً... فـإن لـم تـسـتـطـع فـكـن مـتـعـلـمـاً... فـإن لـم تـسـتـطـع فـأحـبب الـعـلـمـاء... فـإن لـم تـسـتـطـع فـلا تـبـغـضـهـم "

## 1 - المقدمة: (Introduction)

الألومنيوم هو أحد العناصر الكيميائية، رمزه Al وعدده الذري 13. وهو من ضمن عناصر الدورة الثالثة والمجموعة الثالثة (حسب ترقيم CAS) في الجدول الدوري. وتتميز عناصر هذه المجموعة بأن غلافها الخارجي يحتوي على ثلاثة إلكترونات $ns^2\ np^1$. في معظم دول العالم يسمى ألومنيوم (aluminium) ولكن في الولايات المتحدة وكندا يطلق عليه اسم ألومنوم (aluminum). واتخذت الجمعية الكيميائية الأمريكية هذه التسمية في عام 1925. أما بالنسبة للتسمية التي هي متداولة في معظم دول العالم (ألومنيوم) فقد تم اتخاذها من قبل الاتحاد الدولي للكيمياء البحثة والتطبيقية (أيوباك) وذلك في عام 1990. ووافق الاتحاد الدولي للكيمياء البحثة والتطبيقية على التسمية في عام 1993.[1]

يتميز الألومنيوم في كونه من المعادن الخفيفة ذو مظهر أبيض فضي يميل إلى الرمادي الباهت ومقاوم للتآكل يتمتع بقابلية الطرق والسحب التى تكفي لصناعة صفائح رقيقة منه أو سحبه على شكل أسلاك رفيعة. والالومنيوم من الفلزات التي لا تذوب في الماء في الظروف العادية. وهو من العناصر التي تتواجد بكميات كبيرة فهو يحتل المرتبة الثالثة من بين جميع العناصر من حيث الوفرة في القشرة الأرضية بعد الأكسجين والسيليكون. ويوجد الألومنيوم في أغلب المعادن، بشكل أساسي في الصخور الموجودة في القشرة الأرضية ولا يمكن تواجده في الطبيعة بشكله الحر المنفرد ويرجع ذلك إلى نشاطه الشديد مع الأكسجين، حيث يكوّن مع الاكسجين طبقة واقية من الأكسيد على السطح تعمل على تخميله.[2]

تعود محاولات إنتاج معدن الألومنيوم إلى العام 1760 ومع ذلك لم يتم القيام بإتمام أول محاولة ناجحة إلا في العام 1825 وكانت هذه المحاولة من قبل الفيزيائي والكيميائي الدنماركي هانز كريستيان أورستد والذي عمل على تفاعل كلوريد الألومنيوم اللامائي مع خليط البوتاسيوم، مما نتج عنه كتلة من المعدن تمثل القصدير.

وقام بتقديم نتائجه وأظهر عينة من المعدن المبتكر. ثم كرر الكيميائي الألماني فريدرش فولر في عام 1827 تجارب أورستد لكنه لم يحدد أي ألومنيوم وتم اكتشاف سبب هذا التناقض فقط في عام 1921. أجريت تجربة مماثلة في نفس العام عن طريق خلط كلوريد الألومنيوم اللامائي مع البوتاسيوم وتم إنتاج مسحوق من الألومنيوم. وفي العام 1845 كان قادراً على إنتاج قطع صغيرة من المعدن بحيث وضحت أن الطريقة التي تم فيها انتاج الألومنيوم غير اقتصادية ولم يكن من السهل الحصول عليه صناعياً. وتم الحصول على كميات قليلة مما أدى إلى ارتفاع سعره، لتصبح تكلفته أكبر من تكلفة الذهب.

أصبح الألومنيوم في منتصف القرن العشرين جزءاً من حياتنا اليومية ومكوّن أساسي في الأدوات المنزلية، وفي عام 1954 تفوق فيها إنتاج الألومنيوم متجاوزاً النحاس مما جعله أكثر المعادن الغير حديدية إنتاجاً

وكان معظم استهلاك الألومنيوم في النقل والهندسة والبناء والتعبئة واستخدم بشكل متزايد في الهندسة العسكرية. ويتميز الألومنيوم بتطبيقات واسعة مثل صناعة الهياكل والسبائك.[1]

## 2- وجود الالومنيوم: (Occurrence of Aluminium)

يأتي الألومنيوم في المرتبة الثالثة بعد كل من الاكسجين والسيليكون من حيث الوفرة في القشرة الارضية. ويتركز وجوده في العديد من المعادن مثل معادن الأكاسيد والسيليكات ويدخل في تركيب الفلسبار وأيضا في تركيب الصلصال وصخور النايس والجرانيت التي تدخل في سيليكات الألومنيوم. وعادةً ما يوجد الألومنيوم في معادن البريل والكريوليت والإسبينل والفيروز. ويوجد لهذا الفلز نظير واحد مستقر، وهو نظير الألومنيوم $Al^{27}$. وللألومنيوم العديد من الخامات المعروفة التي يتم استخلاصه منها نذكر منها:

### 2-1- خام البوكسيت: (Bauxite ore)

يعتبر البوكسيت الخام الرئيسي للألومنيوم ولقد أطلق عليه اسم خام البوكسيت نسبة إلى مدينة Les Baux في جنوب فرنسا حيث تم اكتشافه فيها لأول مرة عام 1821م. ويتكون خام البوكسيت من معدن الجبسيت $Al(OH)_3$ والبوهيميت $\alpha$- AlO (OH) والدياسبور $\gamma$- AlO (OH) بالإضافة إلى القليل من الهيماتيت وهو أحد خامات الحديد. ويستخدم خام البوكسيت في صناعة ورق الصنفرة المستخدمة في صقل وتلميع العديد من المعادن والخشب. كما أن للبوكسيت مركبات كيميائية عديدة تستخدم في عدة صناعات مثل مستحضرات التجميل والأصباغ وصناعة الأدوية. ويمكن استخراج الملح المعدني الأبيض منها "ما يسمي بالشب" كما يتوقع خلطها مع الطين وذلك لصنع الطوب الذي يستخدم في تبطين أفران صهر الصلب.[6]

**الشكل (1) خام البوكسيت**

يتكون البوكسيت من الألومينا (30 – 60 %) والماء (12- 60 %) ويحتوي على بعض الشوائب مثل أكسيد الحديد وأكسيد التيتانيوم والسليكا. ويتراوح لونه ما بين الأحمر الداكن والبني والوردي وإلى حد ما يميل إلي البياض، حيث يعتمد اللون بشكل أساسي على نسبة الشوائب الموجودة به. ومعظم البوكسيت صخري صلب، ولكن أحياناً يكون قليل الصلابة مثل الصلصال أو الطين. ويتواجد البوكسيت عادةً في المناطق المدارية التي تكون درجة حرارتها مرتفعة والأمطار فيها غزيرة وفي بعض دول البحر الأبيض المتوسط.[7]

## 2-2-خام الكريوليت: (Cryolite ore)

يعتبر الكريوليت من المعادن الغير شائعة، صيغته الجزيئية $Na_3.AlF_6$ (سداسي فلورو ألومينات الصوديوم) يدخل في مجموعة المعادن للهاليدات. في أكثر الأحيان يتبلور المعدن وفقاً للنظام البلوري أحادي الميل ويكون في صورة عناقيد بلورية بيضاء، وفي بعض الأحيان يكون لونها محمراً أو بنياً ونادراً ما يكون أسود اللون. ومن أشهر أماكن التعدين كان سابقاً (Ivitot) في اليونان، حيث تم اكتشافه لأول مرة. وسبب التسمية يعود إلى الكلمة اليونانية (κρύος) كريوس التي تعني الجليد نسبة إلى اللون الأبيض المماثل للونه وأيضاً إلى الكلمة (λίθος) التي تعني الحجر (حجر الجليد).

**الشكل (2) خام الكريوليت**

ولخام الكريوليت العديد من الاستخدامات، فهو يستخدم كمبيد حشري للعديد من الآفات، كما أنه يستخدم أيضاً في الألعاب النارية للحصول على اللون الأصفر. وأحد التطبيقات المهمة له استخدامه في تعدين الألومنيوم بالإضافة إلى استخدامه كمذيب لمركب أكسيد الألومنيوم ($Al_2O_3$) في عملية هول هيرو.[8]

## 2-3-خام الزيوليت: (Zeolite ore)

الزيوليت هو نوع من أحجار سيليكات الألومنيوم (مجموعة من مركبات من السيليكات والألومينات المائية). ويتكون الزيوليت الطبيعي بتفاعل الرماد البركاني مع الماء القلوي. حيث يتبلور الزيوليت بمرور الوقت الذي يمكن أن يصل إلى عدة آلاف من السنين. والاختلاف في خواص الزيوليت أصبح ذو أهمية كبيرة، حيث تمت إضافته على أنه مادة صالحة للبيئة وتم استخدامها بشكل كبير في مجال الصناعة.

**الشكل (3) خام الزيوليت**

من بين استخداماته (الزيوليت) يستخدم كسماد للأرض حيث يثبت الأمونيا في الأرض ويغنيها بالنيتروجين. كما يستخدم الزيوليت في صناعة المنظفات. ويستخدم أيضاً في تصفية المياه وإزالة المواد العالقة والشوائب مثل تنظيف مياه حمامات السباحة.[9]

## 2-4-خام الفلسبار: (Feldspar Ore)

هو مصطلح عام يطلق على مجموعة كبيرة من الأملاح المعدنية التي تتكون من سيليكات الألومنيوم لاحتوائها على عنصر البوتاسيوم أو الصوديوم أو الكالسيوم. حيث تعتبر من أهم المعادن المكونة للصخور وذلك من خلال التحلل الكيميائي للجرانيت. ويكون التركيب الكيميائي للفلسبار ($AlSi_3O_8$) وبشكل عام يكون الفلسبار فاتح اللون وغالباً ما يكون أبيض أو وردي أو أصفر أو برتقالي أو رمادي. وإذا كان أخضر اللون، فإنه يعرف باسم أمازوتس (amazotes). وهو شبه شفاف وله مظهر زجاجي أو شمعي وله بريق.

**الشكل (4) خام الفلسبار**

ومن أهم استخدامات خام الفلسبار صناعة الزجاج والسيراميك والمواد الكاشطة. كما يستخدم بشكل واسع في صناعة البلاستيك والدهانات والمطاط. وقد بدأ مؤخراً استخدامه في صناعة العوازل الكهربائية.[10]

## 3-خواص الالومنيوم: (Aluminium properties)

يعتبر عنصر الألومنيوم من العناصر التي تتميز بالكثير من الخصائص الكيميائية والفيزيائية وبفضل هذه الخواص المميزة يمكننا صناعة العديد من الأشياء بجميع أشكالها وأنواعها.

### 3-1-الخواص الكيميائية: (Chemical properties)

الألومنيوم عنصر نشط كيميائياً حيث يتفاعل مع الأكسجين مكوّن طبقة رقيقة من الأكسيد تؤدي إلى تخميله وبإزاحة هذه الطبقة يتفاعل مرة أخرى ويتكوّن عليه من جديد طبقة من الأكسيد. وهذه الطبقة تؤدي إلى إطفاء لمعانه المعدني. ويحترق الألومنيوم بشدة في درجات حرارة عالية شرط أن يكون على هيئة مسحوق مكوّن من أكسيد الألومنيوم $Al_2O_3$.

$$4Al + 3O_2 \rightarrow 2Al_2O_3$$

ولا يتفاعل الألومنيوم النقي مع الماء ولكن الألومنيوم الغير نقي يتفاعل مع الماء المالح مكوناً هيدروكسيد الألومنيوم ومحرراً غاز الهيدروجين. وفق التفاعل التالي. (مسحوق الألومنيوم في الماء البارد يتفاعل ببطء عكس الماء الساخن فإنه يتفاعل بسرعة أكبر).

$$2Al + 6H_2O \rightarrow 2Al(OH)_3 + 3H_2$$

كما يتفاعل الألومنيوم أيضاً وفي درجة حرارة الغرفة مع الهالوجينات مكوّن مركبات في صورة ($AlX_3$). وبتسخينه مع النيتروجين (عند 800 درجة مئوية) والكربون (عند 2000 درجة مئوية) منتجاً نيتريد وكربيد الألومنيوم وفقاً للمعادلات التالية:

$$2Al + N_2 \rightarrow 2AlN$$

$$2Al + 3C \rightarrow Al_2C_3$$

وأيضاً عند تفاعل الألومنيوم مع الأحماض فإنه يتفاعل ببطء مع الاحماض المخففة مثل حمض الهيدروكلوريك منتجاً كلوريد الألومنيوم وغاز الهيدروجين كما موضح في المعادلة التالية.

$$2Al + 6HCl \rightarrow 2AlCl_3 + 3H_2$$

ويتفاعل بشدة وبسرعة مع حمض الكبريتيك المركز الساخن منتجاً غاز ثاني أكسيد الكبريت وفقاً للتفاعل التالي:

$$2Al + 6H_2SO_4 \rightarrow Al_2(SO_4)_3 + 3SO_2 + 6H_2O$$

ولا يتفاعل مع حمض النيتريك ($HNO_3$) وذلك لأن حمض النيتريك عامل مؤكسد قوي حيث يكوّن مع الألومنيوم طبقة من الأكسيد تمنع التفاعل من الاستمرار.

ونظراً لأن عنصر الألومنيوم أمفوتيري فانه يتفاعل بسلاسة مع القواعد القوية مثل هيدروكسيد الصوديوم محرراً غاز الهيدروجين ومكوّناً مركب ألومينات الصوديوم.[20;3]

$$2Al + 2NaOH + 2H_2O \rightarrow 2NaAlO_2 + 3H_2$$

### 3-2- الخواص الفيزيائية: (Physical properties)

للألومنيوم عدة خصائص فيزيائية يمتاز بها عن باقي الفلزات فهو يتميز بخفة الوزن والصلابة والقوة العالية (أخف من عنصر الحديد بثلاثة أضعاف). ويتمتع بجودة عالية من المرونة ومن السهل تشكيله وأيضاً

موصل جيد للحرارة والكهرباء مما يمكن استخدامه في الموصلات الكهربائية وعلى نطاق واسع في أدوات الطهي.

كما أنه مقاوم للصدأ وذلك لأن سطحه مغطى بطبقة رقيقة وصلبة من الأوكسيد حيث تقوم هذه الطبقة على عزله من عوامل البيئة الخارجية. ومن تم تمنع تفاعله مع الهواء الجوي والماء. وأيضاً يدخل في تكوين أنواع مختلفة من السبائك وذلك لسهولة تفاعله مع بعض العناصر الكيميائية الأخرى، حيث يصنع ويحول إلى أسطوانات بسهولة باستخدام الضغط سواء كان بارد أو ساخن. ولا يحتاج الألومنيوم إلى عزله باستخدامه لطبقة من البلاستيك أو الطلاء لأنه غير سام وغير قابل للاشتعال.[1; 4]

| ر.ت. | الطور | صلب |
|---|---|---|
| 1 | الكثافة (عند درجة حرارة الغرفة) | 2.70 $g/cm^3$ |
| 2 | كثافة السائل عند نقطة الانصهار | 2.375 $g/cm^3$ |
| 3 | نقطة الانصهار | 660.32 $^0C$ |
| 4 | نقطة الغليان | 2519 $^0C$ |
| 5 | حرارة الانصهار | 10.71 $kj/mol^1$ |
| 6 | حرارة التبخر | 294.0 $kj/mol^1$ |
| 7 | السعة الحرارية (عند درجة حرارة الغرفة) | 24.200 $j/mol^1. K^1$ |

**جدول (1) يوضح بعض الخواص الفيزيائية لفلز الألومنيوم**

## 4- مركبات الالومنيوم: (Aluminium compounds)

للألومنيوم العديد من المركبات الكيميائية نذكر منها:

### 4-1- هيدروكسيد الألومنيوم: (Aluminum hydroxide)

يعتبر هيدروكسيد الألومنيوم **$Al(OH)_3$** أحد أهم المركبات الكيميائية للألومنيوم. ويتواجد على هيئة مادة صلبة بيضاء اللون. كما أنه يعتبر لحد ما غير قابل للذوبان في الماء بينما يذوب في الأحماض والقواعد. ولقد تم العثور عليه بشكل طبيعي كمعدن في البوكسيت الذي يوجد على شكل جبس أو أشكال أخرى.
ويتم الحصول على هيدروكسيد الألومنيوم عن طريق تفاعل أملاح الألومنيوم مع المحاليل القلوية، أو بإضافة أحماض إلى محاليل الألومينات.

$Al^{3+} + 3OH^- \rightarrow Al(OH)_3$

$Al(OH)_4^- + H^+ \rightarrow Al(OH)_3 + H_2O$

ويتم استخدامه في تحضير العديد من أملاح الألومينيوم الأخرى، كما أنه يستعمل كحشو مثبط للحماية من الحريق ويدخل في العديد من الاستخدامات الأخرى مثل البلاستيك والمطاط.

**الشكل (5) هيدروكسيد الألومنيوم**

## 2-4- كلوريد الألومنيوم: (Aluminum chloride)

يعرف أيضاً بثلاثي كلوريد الألومنيوم **$AlCl_3$**، حيث يتواجد على شكلين، إما يكون خالي من الماء أو يكون متصل مع ست جزيئات من الماء (Aluminum chloride hexahydrate) له الصيغة الكيميائية **$AlCl_3$-$6H_2O$**.

يتواجد كلوريد الألومنيوم اللامائي في صورته النقية حيث يكون على شكل بلورات بيضاء اللون ولكن عند ثلوث هذه المادة بكلوريد الحديد فإنه غالباً ما يظهر لون أصفر، وذلك بتفاعلها الشديد مع الرطوبة والماء. وعند تسخين معدن الألومنيوم في وجود تيار جاف من غاز الكلور أو كلوريد الهيدروجين فإنه ينتج كلوريد الألومنيوم اللامائي أو بإزاحة كلوريد النحاس كما موضح في المعادلة.

$2Al + 3Cl_2 \rightarrow 2AlCl_3$

$2Al + 6HCl \rightarrow 2AlCl_3 + H_2$

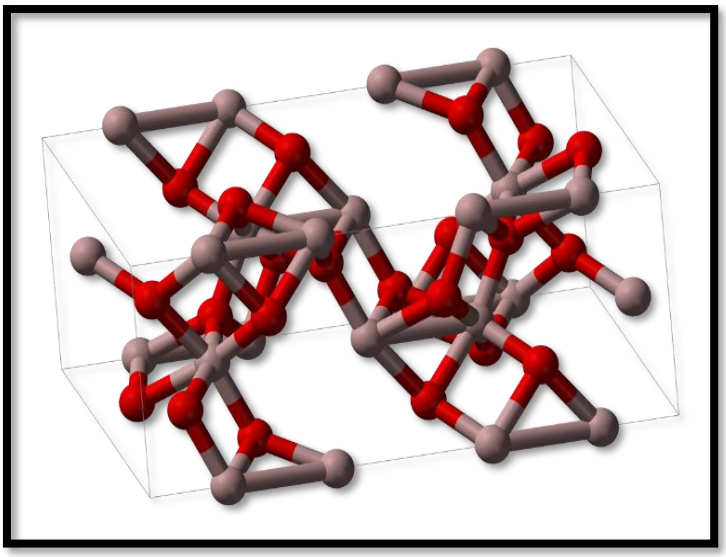
$2Al + 2CuCl_3 \rightarrow 2AlCl_3 + 2Cu$

**الشكل (6) كلوريد الألومنيوم**

كما يتم استخدامه في العديد من التطبيقات الكيميائية كقاعدة لويس وذلك لكون كلوريد الألومنيوم اللامائي حمض لويس قوي، فهو يتشكل مع العديد من القواعد الغير العضوية والعضوية، ولذلك يمكن العثور عليه في العديد من تفاعلات الألكلة كتفاعل فريديل كرافتس العام.[21;16]

## 3-4- أكسيد الألومنيوم: (Aluminum oxide)

يعرف بثالث أكسيد الألومنيوم ويسمى أيضاً بالألومينا **$Al_2O_3$**. ويتواجد في الطبيعة في كثير من المعادن مثل معدن الكوراندوم ($Al_2O_3$) والدياسبور ($Al_2O_3.H_2O$) والجيبسايت ($Al_2O_3.3H_2O$) وكذلك في البوكسايت ويوجد على هيئة شكلين مختلفين في التركيب البلوري، ولذلك يسبب اختلاف في الخواص الفيزيائية والكيميائية وأيضاً في تطبيقات من النوع ألفا α ونوع جاما γ.



**الشكل (7) التركيب البلوري لأكسيد الألومنيوم**

**i- α- أكسيد الألومنيوم:**

نتحصل على α- أكسيد الألومنيوم من البوكسيت ويكون على شكل بلورات صلبة بيضاء اللون وعديمة الرائحة، ولا يظهر أي تفاعل مع الرطوبة ولا يذوب في الأحماض أو القواعد. ونظراً لصلابته فإنه يستخدم على نطاق واسع ومناسب في أدوات القطع وتصنيع الأقراص الصلبة لطحن المعادن.

ويستخدم أيضاً في تصنيع المعدات المعملية التي تتحمل درجات الحرارة المرتفعة. وهو موصل رديء للكهرباء حيث يستخدم في صناعة العوازل الكهربائية. ويتم تحضيره عن طريق تسخين هيدروكسيد الألومنيوم عند درجات حرارة عالية تفوق 1100 درجة مئوية.

$$2Al(OH)_3 \rightarrow Al_2O_3 + 3H_2O$$

**ii- γ- أكسيد الألومنيوم:**

يعرف γ- أكسيد الألومنيوم بأنه مسحوق أبيض ناعم رطب، حيث يتفاعل مع الرطوبة، ويتم الحصول عليه عن طريق تسخين هيدروكسيد الألومنيوم عند درجة حرارة 400 درجة مئوية، لذلك يختلف α- أكسيد الألومنيوم عن γ- أكسيد الألومنيوم بأنه يذوب في الأحماض والقواعد. ويتحول γ- أكسيد الألومنيوم إلى ألفا. وذلك بالتسخين عند 950 درجة مئوية ويتم استخدامه في إزالة اللوّن من المحاليل وفي عمليات التجفيف والفصل الكروماتوجرافي.

## 4-4- كبريتات الألومنيوم: (Aluminum sulfate)

يعرف بملح كبريتات الألومنيوم اللامائي **$Al_2 (SO_4)_3$**، وهو عبارة عن مركب ذو بلورات بيضاء أو عديمة اللون غير متطايرة وغير قابلة للاشتعال. يحتوي في شبكته البلورية على ثمانية عشر جزيء من الماء **$Al_2 (SO_4)_3.18H_2O$**. وكبريتات الألومنيوم اللامائية معروف عنها انها تذوب في الماء الساخن جيداً، ولكنها غير قابلة للذوبان في الكحول.

ويمكن فقد ماء التبلور لكبريتات الألومنيوم وذلك عن طريق التسخين لدرجة حرارة أعلى من 86 درجة مئوية، وعندما تجتاز درجة الحرارة 340 درجة مئوية، ينتج مسحوق أبيض من كبريتات الالومنيوم اللامائي. وبالتسخين لدرجة الاشتعال يحدث انفصال لكبريتات الألومنيوم حيث تتحلل منتجة ثالث أكسيد الكبريت بالإضافة إلى أكسيد الألومنيوم كما هو موضح في المعادلة.

$$Al_2 (SO_4)_3 \longrightarrow Al_2O_3 + 3SO_3$$

كما يمكن تحضير كبريتات الألومنيوم في المعمل وذلك من خلال إذابة هيدروكسيد الألومنيوم في حمض الكبريتيك المركز منتجاً كبريتات الالومنيوم والماء. او بتسخين معدن الألومنيوم في حمض الكبريتيك منتجاً كبريتات الالومنيوم ومحرراً غاز الهيدروجين كما هو موضح.

$$2Al (OH)_3 + 3H_2SO_4 \longrightarrow Al_2 (SO_4)_3 + 6H_2O$$

$$2Al + 3H_2SO_4 \rightarrow Al_2 (SO_4)_3 + 3H_2$$

وتستخدم كبريتات الالومنيوم على نطاق واسع في معالجة مياه الصرف الصحي وكذلك في تنقية مياه الشرب. وفي صناعة الورق وكذلك في صناعة الأسمدة.[16;22]

**الشكل (8) كبريتات الألومنيوم**

## 4-5- نترات الألومنيوم: (Aluminum nitrate)

مركب كيميائي صيغته $Al\ (NO_3)_3$، ويتميز بلونه الأبيض ويكون على شكل مسحوق بلوري. كما توجد نترات الألومنيوم بشكلها المائي $Al\ (NO_3)_3.9H_2O$، حيث تكون متصلة بتسعة جزيئات ماء. وبتسخينها عند 135 درجة مئوية تنفصل نترات الألومنيوم عن بعضها البعض. ومن خصائصها سريعة الذوبان في الماء والايثانول ولكنها قليلة الذوبان في الأسيتون. ولا يمكن تصنيعها عن طريق التفاعل المباشر للألومنيوم مع حمض النيتريك المركز، وذلك لأن الالومنيوم يكوّن طبقة على السطح تمنع استمرار التفاعل (عملية تخميل).

كما يمكن تحضيرها (نترات الألومنيوم) من خلال تفاعل محلول هيدروكسيد الألومنيوم مع حمض النيتريك. وبعد ذلك نقوم بتبخير المحلول الناتج لغرض إزالة جزيئات الماء كما موضح في المعادلة.[16]

$$Al\ (OH)_3 + 3HNO_3 \rightarrow Al\ (NO_3)_3 + 3H_2O$$

ومن أهم استخدامات نترات الألومنيوم، دباغة الجلود وكعامل مؤكسد قوي وحماية المعادن والفلزات الأخرى من الصدأ. وتستخدم كذلك في الغلايات البخارية لغرض منع تآكلها. وفي مضادات التعرق واستخراج اليورانيوم.[16]

**الشكل (9) نترات الألومنيوم**

## 6-4- كربيد الألومنيوم: (Aluminum carbide)

هو عبارة عن مركب كيميائي له الصيغة الكيميائية ($Al_4C_3$). ويكون على شكل بلورات ذو لون أبيض في حالته النقية، أما المنتج العملي فيكون على شكل مسحوق ذو لون رمادي مسود.

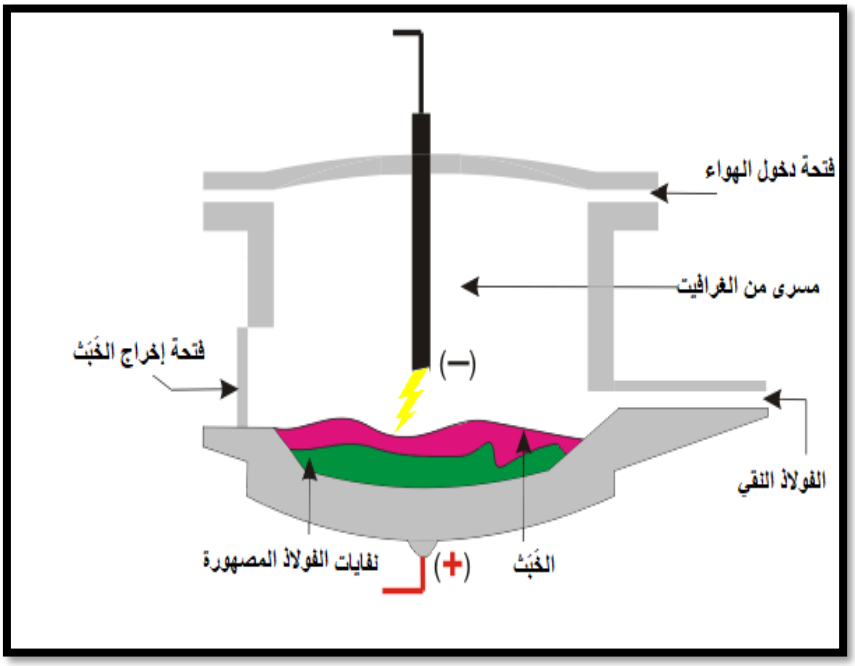
**الشكل (10) كربيد الألومنيوم**

ويكون مستقر عند درجة حرارة عالية تصل إلى 1400 درجة مئوية. وينتسب مركب كربيد الألمنيوم إلى مجموعة الكربيدات، ويتضمن هيكل بلوري يتكون من عدة طبقات متتالية من مركب $Al_2C$ ومركب $Al_2C_2$، إذ يتم ربط كل ذرة من ذرات الألومنيوم مع أربع ذرات كربون. من أجل إعطاءه شكل رباعي

السطوح، علماً بأن ذرات الكربون ترتبط بطريقتين مختلفتين في الأولى يكون الربط على شكل ثماني السطوح المشوه مكوّن من 6 ذرات. أما في طريقة الربط الثانية فتكون عبارة عن هيكل ثلاثي الهرمي مشوه مكوّن من 4 ذرات. وتظهر الكربيدات الأخرى أيضًا هياكل معقدة.

ويمكن تحضيره مباشرةً من خلال تفاعل الألومنيوم مع الكربون بواسطة فرن القوس الكهربائي كما هو موضح في المعادلة التالية.

$$4Al + 3C \rightarrow Al_4C_3$$




**الشكل (11) يبين فرن القوس الكهربائي**

كما يحضر أيضاً بالتفاعل البديل مع الألومينا (أكسيد الألومنيوم)، لكنه أقل تطابق بسبب توليد أول أكسيد الكربون في التفاعل. ومن أهم استخداماته ككاشط في أدوات القطع عالية السرعة وذلك بسبب صلابته العالية.[12;16]

$$2Al_2O_3 + 9C \rightarrow Al_4C_3 + 6CO$$

## 5- إنتاج الألومنيوم: (Production of aluminum)

يتم استخراج الألومنيوم من خاماته ومعالجته لاحقًا إلى منتجات تامة الصنع في سلسلة من العمليات المتتالية كل منها مستقل إلى حد كبير عن الآخر. ويشكل الألومنيوم حوالي 8% من القشرة الأرضية مما يجعله في المرتبة الثانية بعد السيليكون 27.7% ويأتي الحديد في المرتبة الثالثة بنسبة 5%. ولا يوجد الألومنيوم بشكل حر في الطبيعة. بل يكون متحد مع عناصر أخرى في شكل أكاسيد رطبة أو سيليكات (الطين).

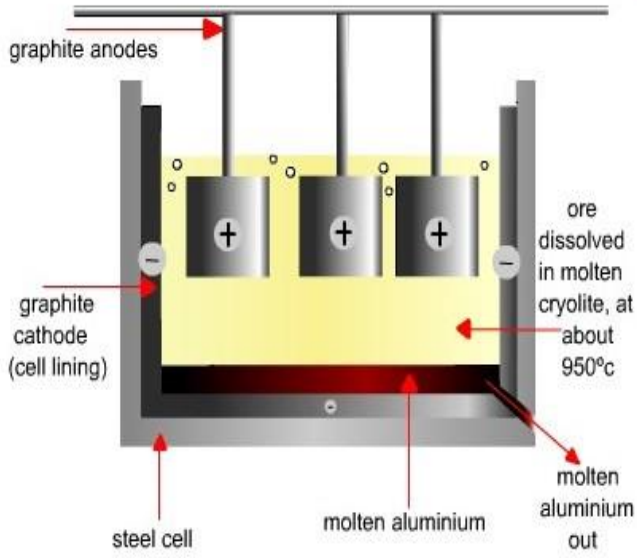
والبوكسيت هو عبارة عن صخر يحتوي على شكلين من أكسيد الألومنيوم المائي في الغالب أحادي الهيدرات ذو الصيغة AlO (OH) أو ثلاثي هيدرات $Al\ (OH)_3$. وإلى جانب هذه المركبات يحتوي البوكسيت على أكسيد الحديد والذي عادة ما يعطيه اللوّن البني المحمر وكذلك السيليكات (الطين والكوارتز) وأكسيد التيتانيوم.

المادة الأولية لصهر الألومنيوم بالتحليل الكهربائي هي أكسيد الألومنيوم اللامائي النقي ($Al_2O_3$) المسمى الالومينا. في العالم الغربي تعد عملية باير التي تم اختراعها في القرن التاسع عشر أهم عملية مستخدمة في إنتاج أكسيد الألومنيوم من البوكسيت.

حيث يتم في البداية سحق الخام (البوكسيت) وطحنه. ثم يتم خلطه بمحلول من الصودا الكاوية. تحت ضغط ودرجة حرارة 110 – 270 درجة مئوية. الالومينا الموجودة في الخام يتم تذويبها لتكوّن ألومينات الصوديوم. وتتفاعل السليكا الموجودة في البوكسيت وتترسب من المحلول في صورة سيليكات الصوديوم والألومنيوم. ولا يؤثر الحديد وأكسيد التيتانيوم والشوائب الأخرى كيميائياً كونها مواد صلبة حيث تستقر في أسفل المحلول ويتم فصلها. وتعرف هذه النفايات باسم الطين الأحمر ويتم فصلها عن محلول ألومينات الصوديوم وغسلها وذلك لاستعادة الصودا الكاوية. ويمكن أن يمثل التخلص من الطين الأحمر مشكلة بيئية وذلك بسبب الكميات الكبيرة الموجودة منه. وفقًا لدرجة خام البوكسيت، ينتج 2 - 3 أطنان من الخام طنًا واحدًا من الالومينا وحوالي طن من الطين الأحمر.[5]

في جميع أنحاء العالم، لا يزال إنتاج الألومنيوم عن طريق التحليل الكهربائي للألومينا في ملح الفلوريد المصهور. وهذه العملية التي اخترعها كل من هول وهيرولت والتي سميت باسمهما تحسنت كفاءتها بشكل ملحوظ على مر السنين. ويحتاج مصنع التحليل الكهربائي إلى كميات كبيرة من الطاقة الكهربائية. لذلك تعد الطاقة الكهربائية الزهيدة التكلفة أمرًا ضروريًا. ونظرًا لأن الطاقة الكهرومائية هي مصدر غير مكلف نسبيًا ونظيفًا للطاقة فإن مصاهر الألومنيوم يتم بناؤها في الغالب في البلدان ذات الطاقة الكهرومائية المتاحة بسهولة مثل كندا والنرويج وفنزويلا والبرازيل. ومن غير العملي نقل الطاقة الكهربائية لمسافات طويلة جدًا إلى المناطق الصناعية التي يمكن أن تستخدمها.

وفي عملية التحليل الكهربي (عملية Hall-Héroult)، يتم إضافة مصهور الكريوليت ($Na_3AlF_6$) وفلوريد الكالسيوم (CaF2). وتتكوّن خلية التحليل الكهربائي من قشرة فولاذية مع بطانة من طوب النار للعزل الحراري مبطنة بالطوب الكربوني لحمل إلكتروليت الملح المنصهر. وتحمل القضبان الفولاذية التيار الكهربائي عبر الطوب العازل إلى أرضية الكاثود الكربوني بالخلية. يتم تعليق كتل الأنود الكربوني على قضبان فولاذية وتغمس في الإلكتروليت. فعندما يتدفق التيار الكهربائي عبر الإلكتروليت فإنه يكسر الالومينا المذابة إلى مكوناتها مثل الألومنيوم المعدني وغاز الأكسجين. ويتفاعل الأكسجين مع أنودات الكربون مكونًا فقاعات من غاز أول أكسيد الكربون وثاني أكسيد الكربون. الألومنيوم السائل يستقر في الجزء السفلي من الخلية لأنه أكثر كثافة من الكريوليت. ويتم شفطه إلى بوتقة بشكل دوري. ولاستبدال الالومينا المستهلكة في التفاعل يجب إضافة المزيد منها.[5]




**شكل (12) يبين خلية التحليل الكهربي للألومينا**

لقد حققت صناعة الألومنيوم تطورات تقنية كبيرة منذ (Hall-Héroult) حيث تم اضافة المزيد من التحسينات الامر الذي أدى إلى انخفاض استهلاك الطاقة المحدد في السنوات الـ 35 الماضية من 21 إلى ما يقرب من 13 كيلوواط / ساعة لكل كيلوغرام.

**عملية استخلاص الالومنيوم بطريقة باير "Bayer process" من خام البوكسيت.**

**في المرحلة الأولى**

يتم تركيز الخام وذلك بتحويل البوكسيت إلى ألومينا ($Al_2O_3$) بطريقة باير. حيث يطحن الخام جيدا ($Al_2O_3.2H_2O$) ثم يعالج بالصودا الكاوية داخل وعاء ضغط عند درجة حرارة تتراوح بين 150 - 200 درجة مئوية. فتنتج ألومينات الصوديوم $NaAlO_2$

$$Al_2O_3.2H_2O + 2NaOH \rightarrow 2NaAlO_2 + 3H_2O$$

وبتفاعل الألومينات مع الماء يتكون هيدروكسيد الألومنيوم بنقاوة عالية الأمر الذي أدى إلى عدم الحاجة إلى تبريد السائل. فصار الأمر أكثر جدوى من الناحية الاقتصادية.

$$NaAlO_2 + 2H_2O \rightarrow Al(OH)_3 + NaOH$$

بعدها وبالتسخين إلى حوالي 1000 درجة مئوية في أفران دوّارة يتحول هيدروكسيد الألومنيوم إلى أكسيد الألومنيوم.

$$2Al(OH)_3 \rightarrow Al_2O_3 + 3H_2O$$

**وفي المرحلة الثانية**

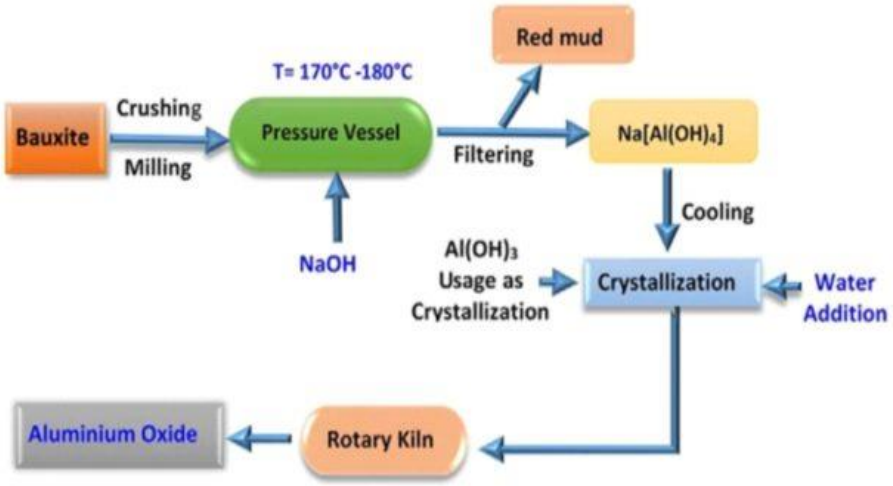
باستخدام طريقة هال-هيرولت (Hall-Héroult Process) التي بنيت أساساً على إيجاد مادة تستطيع إذابة الالومينا. وتم بالفعل إيجاد خام طبيعي يسمى كريوليت (Cryolite $Na_3AlF_6$) يمكنه إذابة الالومينا. وعلى الرغم من ان الكريوليت المستخدم اليوم يحضر صناعياً إلا انه كل وعاء يمكنه ان ينتج طن من الالومنيوم كل يوم. وتتم ازالة المعدن الساخن بانتظام من الاناء ويصب في سبائك خاصة. ويمكن تحويل الالومينا ($Al_2O_3$) بعد ذلك إلى فلز الألومنيوم وذلك بالتحليل الكهربائي. واضافة مادة الكريوليت ( Cryolite $Na_3AlF_6$) تساعد أيضاً على خفض درجة انصهار الكريوليت من 2050 إلى 980 درجة مئوية. وتتم إضافة فلوريد الكالسيوم أيضاً وذلك لرفع الموصلية الكهربائية لأن الالومينا النقية غير موصلة للكهرباء. والألومنيوم الناتج بهذه الطريقة تتراوح نقاوته ما بين 99.5% - 99.8%.[1]

$$Al^{3+} + 3e^- \rightarrow Al \quad \text{at cathode}$$
$$O^{2-} + C \rightarrow CO + 2e^- \quad \text{at anode}$$
$$Al_2O_3 + 3C \rightarrow 2Al + 3CO$$

ويتفاعل الكربون (الأنود) مع غاز الأكسجين (الفقاعات الناتجة عند الانود) منتجاً غاز أول أكسيد الكربون مما يسبب في تآكل الانود لذا يجب تغييره من حين إلى أخر.

$$2C + O_2 \rightarrow 2CO$$

وأسفل المخطط يوضح عملية إنتاج الألومينا ($Al_2O_3$) من خام البوكسيت.




**الشكل (13) مراحل انتاج الألومينا**

## 6- سبائك الألومنيوم: (Aluminum Alloys)

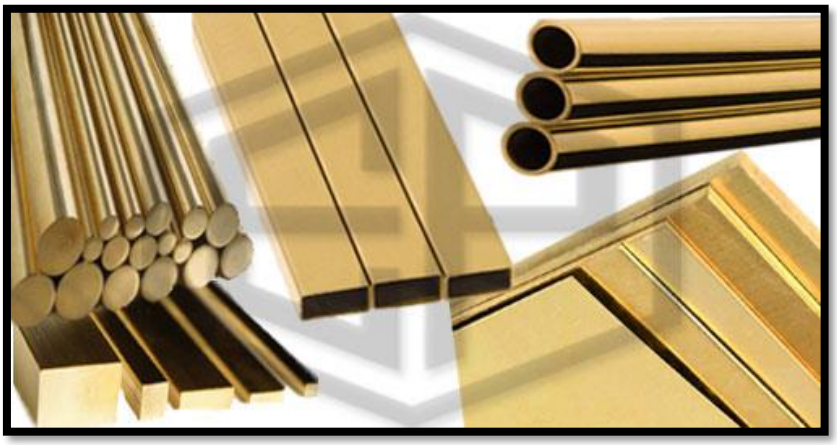
يتميز الالومنيوم بالعديد من الخصائص المفيدة التي تجعله يستخدم بشكل كبير في صناعة السبائك. ومن هذه الخواص، الموصلية الجيدة للحرارة والكهرباء والمقاومة العالية للتآكل والكثافة المنخفضة مقارنة بالمعادن الشائعة الأخرى. كما أنه عاكس جيد للحرارة والضوء وله بريق معدني لامع على السطح. كما ويمكن سبكه بسهولة وذلك بخلطه مع معادن وعناصر أخرى لتشكيل سبائك أقوى أو أكثر صلابة من الألومنيوم النقي.

والسبيكة (Alloy) هي مادة جديدة تكوّنت من عدة معادن مختلفة. حيث أن السبيكة الجديدة تتميز بالقوة والمقاومة العالية للتآكل ويمكن تشكيلها. ومن أشهر المعادن التى يمكن خلطها مع الألومنيوم، النحاس والمنجنيز والنيكل والماغنيسيوم والخارصين وغيرها من المعادن الأخرى.

تصنف سبائك الألومنيوم بواسطة نظام الأرقام أو بأسماء تشير إلى مكوناتها الرئيسية في صناعة السبائك وكذلك تصنف حسب خواصها من حيث استخدامها في التطبيقات المناسبة وعادةً ما تكون مسجلة في الإتحاد الدولي للألومنيوم. حيث تتبع الباحثون والمهندسون والعلماء المتخصصون في جميع أنحاء العالم على الدراسة من تطوير سبائك الألومنيوم لتوافق استخدامات الألومنيوم.[13]

### 5-1- سبيكة برونز الألومنيوم: (Aluminum bronze alloy)

تتكون سبيكة برونز الألومنيوم من نسبة عالية من النحاس، ونسبة قليلة من الألومنيوم تتراوح بين (6% إلى 12%). وتمتاز بلونها الذهبي ويكون هناك بعض الإضافات الأخرى مثل الحديد والنيكل والمنجنيز. وبسبب مقاومتها العالية للتآكل، تستعمل هذه السبيكة في صناعة التماثيل والمعدات البحرية ومعدات النفط وغيرها من الصناعات الأخرى.[14]



**الشكل (14) سبيكة برونز الألومنيوم**

### 5-2- سبيكة دورالومين: (Duralumin alloy)

تتكون سبيكة دورالومين من عدة عناصر التي تحتوي على نسبة 93.5% من الألومنيوم وعلى نسب قليلة من 4.4% نحاس، 1.5% ماغنيسيوم، 0.6% منجنيز. وتعد هذه السبيكة من أقدم سبائك الألومنيوم التي تم تصنيعها. حيث تستعمل في بناء أجزاء الطائرات وذلك لخفتها وصلابتها.[15]

**الشكل (15) سبيكة الدورالومين**

## 7- استخدامات الألومنيوم: (Aluminum uses)

يتميز الالومنيوم بالعديد من الخصائص المفيدة التي تجعله واسع التطبيقات في الحياة اليومية مثل الموصلية الجيدة للحرارة والكهرباء والمقاومة العالية للتآكل والكثافة المنخفضة مقارنة بالمعادن الشائعة الأخرى. كما أنه عاكس جيد للحرارة والضوء وله بريق معدني لامع على السطح. ويمكن سبكه وذلك بخلطه لتشكيل سبائك أقوى أو أكثر صلابة من الألومنيوم النقي. عملي بسهولة. حيث يمكن طرقه وتشكيل صفائح منه أو سحبه وتكوين أسلاك منه.

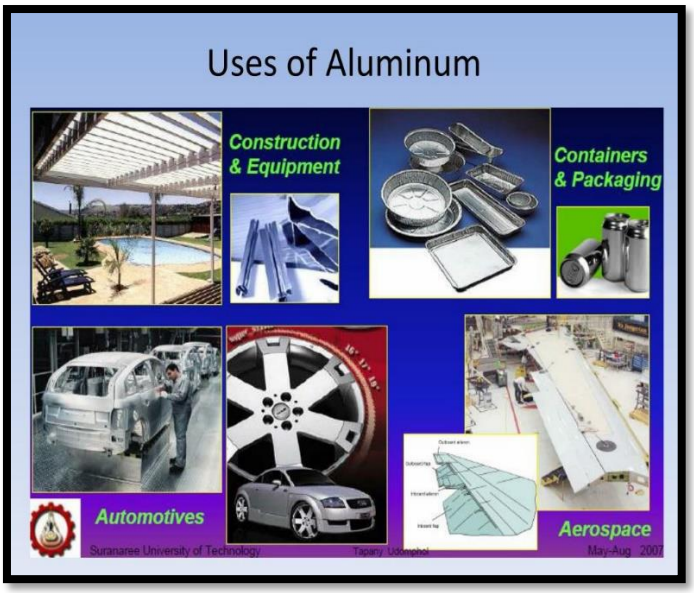
وبسبب هذه الخواص المميزة يعد الألومنيوم من العناصر المهمة والمستخدمة بشكل واسع في العديد من التطبيقات في مختلف المجالات ومنها، صناعة الهياكل المعدنية التي تعرف باستخداماتها الواسعة في المركبات الفضائية وفي صناعة هياكل الدراجات الهوائية وغيرها من الاستخدامات المصنوعة من أجزاء الألومنيوم التي تتميز بالصلابة العالية والوزن الخفيف، ولكن حجمها أكبر وذلك بسبب كثافته المنخفضة، ومقاومته للحرارة حيث يدخل في صناعة قطع غيار السيارات المصنوعة من الألومنيوم. كما يستخدم في تركيب هياكل السيارات ومكوناتها مثل اللوحات وكذلك في تركيب أغطية المحرك، وتركيب المقابض. ويستخدم الألومنيوم أيضاً في تركيب المقطورات على السكك الحديدية التي تعمل بشكل جيد للغاية باستخدام الحديد والصلب، وذلك للتقليل من وزن المقطورة.

ويستعمل أيضاً في صناعة الطائرات وذلك لخفة وزنه ومقاومته العالية للتآكل وقدراته على تكوين السبائك مع معادن أخري في تصنيع هياكل الطائرات، كما تتكون كتلة الطائرة حوالي 60% من الألومنيوم. بحيث يتم تثبيت أجزاء الألومنيوم في الطائرات بوسائل ميكانيكية (برشمة)، ويتم تجنب اللحام لهذا الغرض.[1]

يُصنف معدن الألومنيوم بأنه أحد الموصلات الكهربائية الجيدة والأكثر شيوعاً من بعد النحاس والفضة والذهب. حيث أنه يتميز بخفة وزنه ومقاومته العالية للتآكل ورخص ثمنه، ويستخدم أسلاك الألومنيوم المغطاة بالنحاس في التوصيلات الكهربائية ومن ناحية أخري يتفوق النحاس على الألومنيوم في تركيب الأسلاك العلوية نظراً لتمكنه على الاتصال والسحب على السطح عند النحاس أفضل. وأيضاً يدخل الألومنيوم في عدة صناعات إلكترونية التي تستخدم في تركيب الدوائر الإلكترونية المتكاملة لتميزها بخصائص إلكترونية وحرارية جيدة، وكذلك في المواد العازلة.

كما يعرف للألومنيوم تطبيقات عديدة في مجال التعبئة والتغليف، المستخدمة في تغليف الأطعمة والمشروبات والأدوية وعدة أشياء أخرى، ويتم تصنيع العلب والأواني والرقائق من هذا العنصر. وذلك لخفة وزنه وقوة تحمله وسهولة تصفيحه وأيضا لحفاضه علي سلامة الأغذية ضد العوامل الخارجية مثل الهواء والضوء. وفي بعض الأحيان يستعمل الألومنيوم في تصنيع الحاويات المختلفة. حيث في سنة 2017 في أوروبا تم استهلاك 17% من الألومنيوم في مجال التعبئة والتغليف.

وأيضاً ينتشر استخدام مسحوق الألومنيوم وسبائكه في الإنشاءات الهندسية لصناعة الخرسانة؛ كما يستخدم أيضاً بشكل أساسي في واجهات المباني، وهياكل النوافذ والأبواب. ويستخدم أيضا في العديد من مركبات الألومنيوم الغير عضوية مثل هيدروكسي كبريتات الألومنيوم (هيدروكسي الألومنيوم المتبلور) وذلك للتسريع من تصلب الخرسانة. كما يستخدم في العديد من المنتجات الاستهلاكية للألومنيوم، والتي تشمل التجهيزات المنزلية وأسطوانات الغاز وما إلى ذلك، وأن الطبيعة العاكسة للألمنيوم مفيدة في تصنيع المرايا والعاكسات الحرارية.[1]

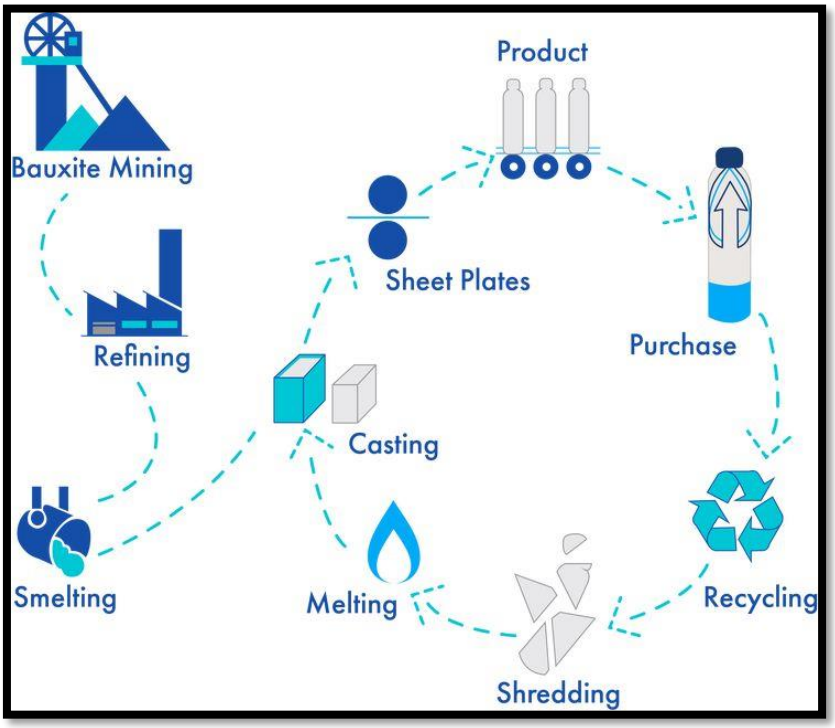



**الشكل (16) يبين استخدامات الألومنيوم**

## 8- إعادة تدوير الألومنيوم: (Aluminum recycling)

تعتبر عملية إعادة التدوير إحدى العمليات توفيراً للطاقة وتقليلاً للتلوث وهي معالجة لخردة الألومنيوم التي يمكن إعادة استخدامها وجعلها من مواد عديمة الفائدة إلى مواد قيمة بعد إنتاجها الأولي. كما أن الألومنيوم هو ثاني أكثر المعادن استخداماً، وأكثر المنتجات استهلاكاً وشهرة هي علب المشروبات المصنوعة من الألومنيوم.[17]

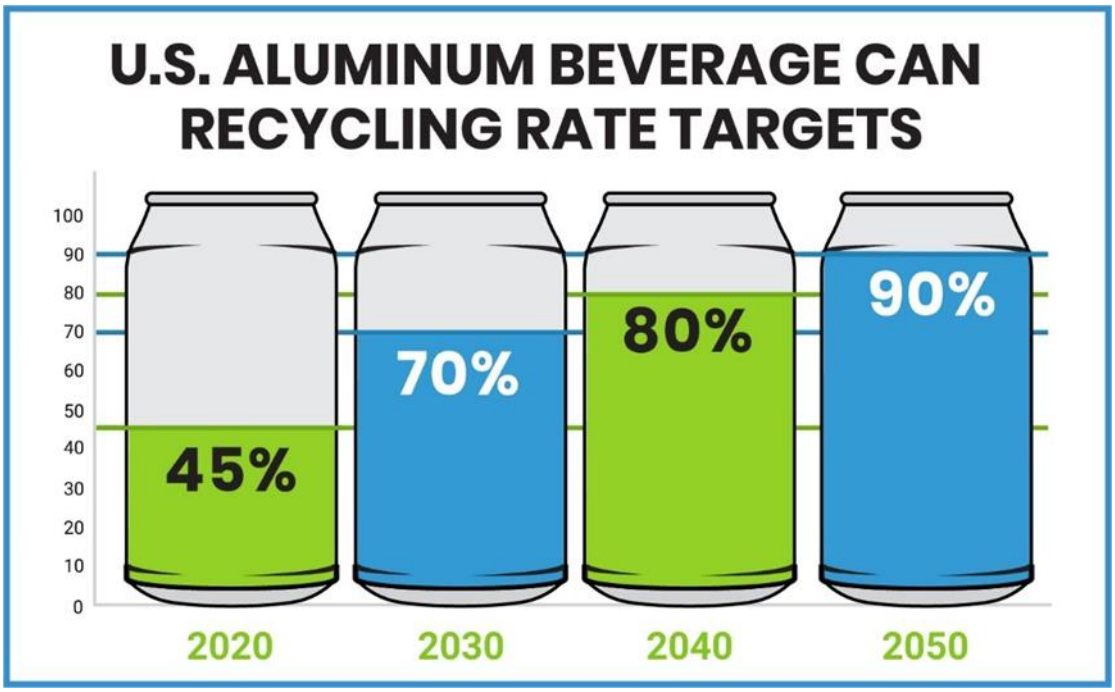
وتتضمن العملية ببساطة على إذابة وتشكيل معدن الألومنيوم دون الفقد من جودته وخصائصه المميزة. وهو الأقل تكلفة في الوقت والجهد حيث يمكن إعادته إلى أرفف المتاجر في مدة أقصاها 60 يوم. ولإنتاج ألومنيوم جديد يتم من خلال عملية التحليل الكهربائي لأكسيد الألومنيوم $Al_2O_3$. والذي يجب أولاً استخراجه من خام البوكسيت ومن ثم تكرير البوكسيت إلى أكسيد الألومنيوم باستخدام طريقة باير ثم يتم تكريره مرة أخرى إلى معدن الألومنيوم باستخدام طريقة هال هيرولت.




**الشكل (17) يبين كيفية إعادة تدوير الألومنيوم**

كما أن عملية إعادة تدوير الألومنيوم ليست عملية جديدة حيث تم استخدامه في أوائل القرن العشرين بشكل كبير وزاد استخدامه في الحرب العالمية الثانية، وظلت شدة الطلب عليه محدودة حتى أواخر الستينات. وذلك عند انتشار علب المشروبات المصنوعة من الألمنيوم لنثبت أهمية عملية إعادة تدوير الألمنيوم في ذهن الرأي العام. وتشمل مصادر الألومنيوم المراد تدويرها كل من الطائرات والسيارات والدراجات

وأدوات الطهي والأسلاك وغيرها من المنتجات التى تحتاج إلى مادة قوية ذات وزن خفيف أو مادة ذات موصلية جيدة للحرارة. بحيث أن الناتج من إعادة تدوير الألمنيوم هو التوفير من التكلفة مقارنة من إنتاج الألومنيوم الجديد، إلى حين ما يتم أخذ تكلفة التجميع والفصل وإعادة تدويره في الاعتبار. وعلى المدى الطويل يتم التحقيق في أكبر المدخرات الوطنية التي يمكن تشكيلها في خفض التكاليف المرتبطة بمدافن النفايات والمناجم والنقل البحري الدولي للألومنيوم الخام.[18]




**الشكل (18) المعدل المطلوب لإعادة تدوير علب الالومنيوم في الولايات المتحدة الامريكية**

وتعد عملية إعادة التدوير جزءاً مهماً من أعمال الألومنيوم الحديثة حيث لا يتطلب الألومنيوم المعاد تدويره سوى 5% فقط من الطاقة المستخدمة في صناعة الألومنيوم الجديد مما يقلل من انبعاثات الكربون ويوفر المال للشركات والمستهلكين، وإلى يومنا هذا لا يزال قيد الاستخدام، وفي معظم الأسواق الصناعية مثل السيارات والبناء تتجاوز معدلات إعادة تدوير الألومنيوم إلى حوالي 90%.[19]

# المراجع"The reviewer"


1 -https://ar.wikipedia.org/wiki/%

2 -https://areq.net/m/%D

3 -https://learnchemistry12.com/2018/12/aluminium.html

4 -https://arabian-chemistry.com/%D

5 -https://www.tms.org/pubs/books/4062.chapter2.pdf

6 -https://www.fatakat-a.com/%D

7 -https://www.marefa.org/%D

8 -https://www.wikiwand.com/ar/%D

9 -https://ae.linkedin.com/pulse/zeolite-metal-magician-%D

10 -https://ar-ar.facebook.com/geologist.syria/

11 -https://www.arabsciencepedia.org/wiki/%

12 - https://en.wikipedia.org/wiki/Aluminium_carbide

13 -https://qafilah.com/ar/%

14 -https://tijaratuna.com/%D9

15 -https://ar.wikipedia.org/wiki/%

16 -https://areq.net/list/%D

17- https://e3arabi.com/engineering/%d

18 -https://ar.wikipedia.org/wiki/%D

19 -https://www.aluminum.org/Recycling

20 - https://byjus.com/chemistry/chemical-properties-of-aluminium/

21 - إي عربي – e3arabi – تحضير كلوريد الألومنيوم وتفاعلاته

22 - كيف يتم تحضير سماد كبريتات الألمنيوم وما هي فوائده - أجيب (ujeeb.com)