

## استخلاص المعادن من خاماتها Extraction of metals from their ores

### [ ١٠ - ١ ] عام :

درسنا فى الجزء الأول مصادر العناصر الكيمائية وأهم هذه العناصر ، المعادن ودرسنا كذلك خصائص هذه العناصر والمخاليط والمركبات وقد استغل العلماء هذه الخصائص ، لاستخراج المعادن النقية من خاماتها ، حيث أن كثيراً من هذه المعادن لا توجد فى الطبيعة فى صورة نقية بل تكون مختلطة بمواد أخرى فى صورة مخاليط أو متحدة مع عناصر أخرى فى صورة مركبات . والمعادن الهامة التى تقابلنا فى حياتنا اليومية هى النحاس والحديد والألومنيوم والرصاص .

فمثلاً ؛ خام الألومنيوم ، يتكون من ٤٠ ٪ أكسيد الألومنيوم (وهو عبارة عن مركب من الأوكسجين والألومنيوم) بالإضافة إلى أكسيد الحديد والرمل وأكسيد التيتانيوم .

إلا أن هنالك بعض المعادن توجد غير متحدة فى باطن الأرض . وتعتمد تكلفة المعدن أو سعره على :

- ١ - كمية المعدن فى الصخور الأرضية .
- ٢ - أماكن تواجد هذه الرواسب أو الصخور .
- ٣ - سهولة استخلاص المعدن من خاماته .
- ٤ - الإقبال على هذا المعدن فى الصناعة .

وتتوقف سهولة إستخلاص المعدن من خاماته على الصورة التى يوجد عليها المعدن فى الطبيعة :

( أ ) فإذا كان موجوداً فى صورة مخلوط فإن استخلاصه يكون بعمليات فصل فيزيائية بسيطة .

(ب) اما إذا كان موجوداً فى صورة مركبات (كالأملح أو الأكاسيد) فإن استخلاصه يكون أصعب نسبياً ويحتاج لبعض العمليات الكيميائية أو التحليل الكهربى كما وأن الطريقة المستخدمة فى استخلاص معدن ما من خاماته الأصلية يتوقف على وضع هذه المعدن فى سلسلة النشاط الكيميائى [ الباب الأول بند ( ١ - ٥ ) ] .

ويظهر فى جدول ( ١٠ - ١ ) بعض المعادن الهامة وتركيب خاماتها وطرق استخلاصها .

ويلاحظ أن المعادن الأكثر نشاطاً فى سلسلة النشاط الكيميائى تكون أكثر المركبات استقراراً .

ويمكن استخلاص هذه المعادن ، باستفاد كمية كبيرة من الطاقة فى عملية التحليل الكهربى .

أما المعادن التى تقع فى وسط سلسلة النشاط الكيميائى السابق التحدث عنها فتكون خاماتها أقل استقراراً ولذلك فهى تحتاج إلى كمية أقل من الطاقة لتجزئتها أو استخلاصها .

ويستخدم لهذا الغرض الكربون أو أول أو أكسيد الكربون أو أى عامل مختزل آخر .

وبالنسبة للمعادن التى تقع بأسفل سلسلة النشاط الكيميائى فتكون مركباتها غير مستقرة .

فمثلاً (الزنجفر) أو ما يُعرف بكبريتيد الزئبق **Cinnaba** هو خام الزئبق فإذا ما تم تسخينه فإنه يتحلل إلى الزئبق والذى يتم جمعه بالتقطير .

طرق استخلاصه	مركب الفلز في الخام	الفلز	مسلسل
تحليل كهربى للكلوريد المنصهر	كلوريد	بوتاسيوم ، صوديوم	(١)
	كلوريد أو كربونات	كالسيوم ومغنسيوم	(٢)
تحليل الأوكسيد الذائب في الكرايوليت أى ألومنيات الصوديوم الفلورية .	أوكسيد	ألومنيوم	(٣)
الإختزال بالكربون أو أى عامل إختزال آخر .	أكاسيد أو كبريتات	زنك ، حديد	(٤)
	كبريتات أو كربونات	رصاص ، نحاس	(٥)
	تسخين	الفضة	(٦)

### جدول (١٠ - ١)

وسوف نوجز فيما يلي كيفية استخلاص المعادن من مركباتها وهى على عدة طرق :

(أ) استخلاص المعادن من أكاسيدها .

(ب) استخلاص المعادن من أملاحها .

#### ( أ ) استخلاص المعادن من أكاسيدها :

تقوم فكرة استخلاص المعادن من أكاسيدها على إختزال الأوكسجين من أوكسيد المعدن .

وذلك يكون ، إما بتسخين المادة المراد إختزالها (خام الأوكسيد) مع مادة أخرى ذات قابلية أكثر للإتحاد بالأوكسجين كالكربون أو الهيدروجين ويطلق على كل منهما بعامل مختزل كما سبق وأن أوضحنا .

ويتم استخلاص النحاس من أكسيد النحاس بهذه الطريقة .

## (ب) استخلاص المعادن من أملاحها :

يتم استخلاص بعض المعادن من خاماتها التي في صورة مركبات ملحية بطريقتين وهما التحلل الحرارى بالتسخين أو بالتحليل الكهربائي مثل عملية استخلاص النحاس من محلول كبريتات النحاس بواسطة التيار الكهربى . ويمثل إنتاج الحديد حوالى ٩٠٪ وزناً من إجمالى المعادن التي يتم استخدامها .

وتبلغ نسبة الخردة scrap التي تدخل في تصنيع المعادن المختلفة في المتوسط كالتالى :

المعدن	نسبة الخردة به
ألومنيوم	٣٥ ٪
رصاص	٤٠ ٪
نحاس	٢٠ ٪
نيكل	١٠ ٪
زنك	٢٠ ٪
قصدير	١٠ ٪

## [ ١٠ - ٢ ] استخلاص الصوديوم :

يعتبر كلوريد الصوديوم أو ما يعرف بالملح موجوداً في أماكن كثيرة من العالم والذي يتم استخلاصه من ماء البحر بتبخيره عادة بحرارة الشمس وذلك بإدخال ماء البحر إلى بحيرات ضحلة أو مستنقعات وتركه معرضاً للهواء الجوى وحرارة الشمس .

كما يوجد هذا الملح أحياناً مدفوناً في طبقات بالأرض .

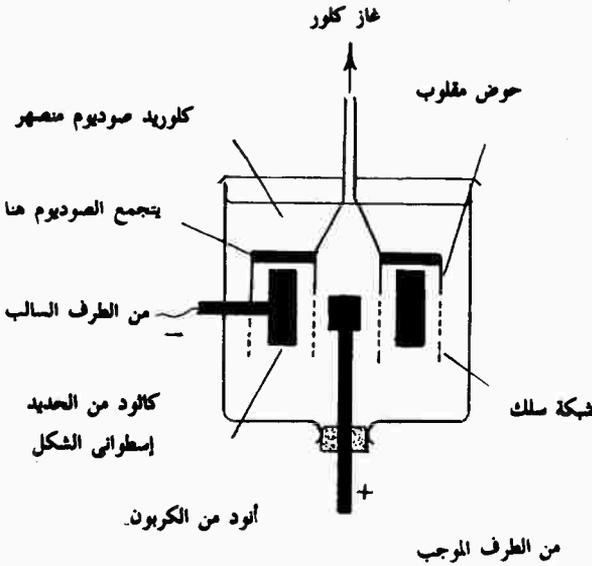
وقد كان أول من فصل الصوديوم ديفى Davy في عام ١٨٠٧ .

وفي حالة وجود كلوريد الصوديوم على هيئة طبقات بباطن الأرض فإنه يتم ضخ الماء إلى طبقات تواجدته والتي تكون على بعد حوالي ٣٠٠ متر من سطح الأرض حيث نحصل على محلول ملحي مركز .

ويبلغ إنتاج العالم من الملح حوالي ١٧٢ مليون طن في العام .

وتبلغ حصة الولايات المتحدة في هذا الإنتاج حوالي ٢٣٪ ، الصين ١٧٪ وروسيا ٩٪ وألمانيا ٧٪ وإنجلترا ٥٪ .

ويتم استخلاص الصوديوم بالتحليل الكهربائي لكلوريد الصوديوم المنصهر في وحدة الاستخلاص المعروفة باسم مخترعها الأمريكي James Downs في عام ١٩٢٤ ، انظر الرسم شكل (١٠ - ١) وتعرف باسم Downs cell .



شكل (١٠ - ١)  
طريقة استخلاص الصوديوم  
بطريقة Downs cell الأمريكية

حيث يتم إضافة كلوريد الكالسيوم إلى كلوريد الصوديوم الذي تبلغ درجة إنصهاره - ٨٠٠م° وهذه الإضافة بغرض خفض درجة إنصهار الخليط إلى ٥٦٠٠م° .

ويوضع الكاثود أو الإلكترود السالب بحيث يكون شبه دائري على هيئة جزئين يحيطان بالأنود (الإلكترود الموجب) الجرافيتي أو الكربوني .

ويكون الكاثود من الصلب ، حيث يمر تيار مستمر شدته ٣٠٠٠٠ أمبير وبجهود حوالى ٦,٦ فولت فقط .

ويتصاعد غاز الكلور ويتم جمعه عند الإلكترود الموجب - الأنود ويتم ضغطه في إسطوانات وينقل لاستغلاله تجارياً .

وتبلغ كثافة الصوديوم نصف كثافة كلوريد الصوديوم حيث يطفو على سطح الأخير ويتم تبريده ويحفظ في زيت لنقله .

ويتجمع الصوديوم عند الإلكترود السالب ، الكاثود .

ويتجمع جزء صغير من الكالسيوم عند الكاثود كذلك إلا أنه سرعان ما يتلور ويتم إزالته .

ويبلغ إنتاج العالم من الصوديوم ٣٠٠ ٠٠٠ طن سنوياً تنتج منها الولايات المتحدة ما مقداره ٢١٠٠٠٠٠ طن أى ٧٠٪ من الإنتاج العالمى .

ويستخدم محلول كلوريد الصوديوم كذلك في إنتاج كربونات الصوديوم والصوديوم موصل جيد للحرارة ويستخدم في التبريد في حين يستخدم بخار الصوديوم في صناعة مصابيح الصوديوم للشوارع .

### [ ١٠ - ٣ ] استخلاص المغنسيوم :

يتوفر المغنسيوم فى الأرض على صورة كربونات مغنسيوم ودولوميت أى (كربونات المغنسيوم والكالسيوم) .

ويتم استخلاص معظم المغنسيوم من ماء البحر حيث يتوفر فيه بنسبة ١٢,٠٪

- ١٣,٠٪، ومن هذه النسبة يتضح أنه يتطلب كميات ضخمة من مياه البحر للحصول على المقدار الكافي من المغنسيوم .

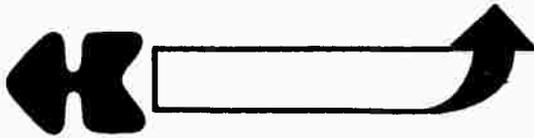
وقد تم استخلاصه لأول مرة على يد ديفى Davy في عام ١٨٠٨ حيث يتم ترسيب هيدروكسيد المغنسيوم من ماء البحر بإضافة هيدروكسيد الكالسيوم ويتم تنقية الراسب وتسخينه إلى ١٦٠٠°م حتى يتكون أكسيد المغنسيوم .

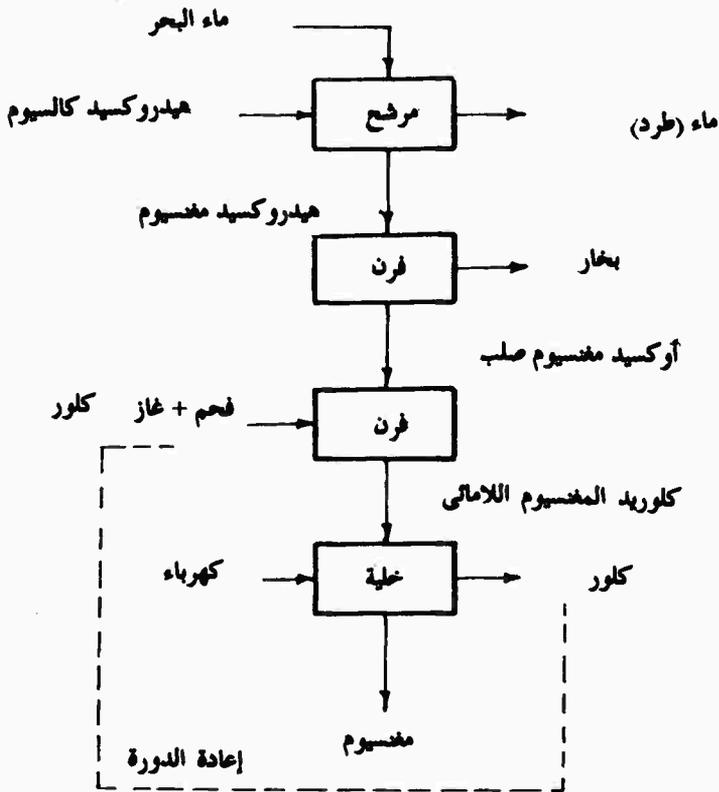
ويتم خلط أكسيد المغنسيوم مع الفحم ويسخن إلى ١٣٠٠°م في وجود تيار من الكلور حيث ينتج كلوريد المغنسيوم وأول أكسيد الكربون .  
أكسيد مغنسيوم + كربون + كلور ← كلوريد مغنسيوم + أول أكسيد الكربون

ويتم خلط كلوريد المغنسيوم الناتج مع قليل من كلوريد الصوديوم وكلوريد البوتاسيوم وكلوريد الكالسيوم وبعض من فلوريد الكالسيوم ويُصهر المخلوط وتصل نقطة انصهار كلوريد المغنسيوم إلى ٩٥٠°م إلا أن هذا الخليط ينهر في ٧٥٠°م .

وبتحليل هذا الخليط كهربياً باستخدام أنود كربون كإلكترود موجب وكاثود سالب من الصلب ينتج المغنسيوم والذي تكون كثافته أقل من محلول الخليط حيث يطفو على السطح ويتم رفعه ويتكون الكلور عند الأنود .

ويمكن توضيح العملية بالشكل (١٠ - ٢) .





شكل (١٠ - ٢)  
استخلاص المغنسيوم

### [ ١٠ - ٤ ] استخلاص الألومنيوم :

يتوفر الألومنيوم بكميات كبيرة في الأرض وفي أماكن كثيرة من العالم إلا أنه يكون غير اقتصادي في بعض الأماكن بينما يتم استخراج بكميات اقتصادية في أماكن أخرى من العالم .

ويستخلص عادة من خام البوكسيت bauxite ويوجد البوكسيت أساساً في الأماكن الإستوائية وشبه الإستوائية من العالم مثل استراليا ، غينيا ، جامايكا

وأندونيسيا والهند والبرازيل ويكون قريباً من سطح الأرض ويتم الحصول عليه بالتعدين السطحي **opencast mining** .

وتتم عمليات تنقية البوكسيت للحصول على الألومنيوم النقي قريباً من مناجم الألومنيوم وذلك لتخفيض تكاليف نقل الخام وأول من قام باكتشافه هو ديفى فى عام ١٨٠٧ . ثم تلاه هانز أورست Hans Oersted (١٧٧٧ - ١٨٥١) ، الدايمركى وذلك فى عام ١٨٢٥ وكان استخراجها وتنقيتها صعباً ومكلفاً لدرجة أنه فى عصر نابليون الثالث بفرنسا ١٨٥٥م ، كان ضيوفه يقدم لهم الطعام ومعه ملاعق من الألومنيوم بدلاً من الفضة .

وفى نهاية القرن التاسع عشر انخفض سعره بدرجة كبيرة حيث قام المكتشفون وعلى التعاقب بتحسين طرق الإنتاج .

وأولهم هو تشارلز هال Charles hall (١٨٦٣ - ١٩١٤) الأمريكى وكذلك الفرنسى بول هيرولت (١٨٦٣ - ١٩١٤)

وكانت طريقتهم تنحصر فى أن أوكسيد الألومنيوم يمين تحليله عند إذابته فى الكرايوليت cryolite وهو عبارة عن ألومينات الصوديوم الفلوريدية .

وثانيهم هو التمساوى K. J. Bayer - باير فى عام ١٨٩٤ حيث تنص طريقتهم على أن محلول هيدروكسيد الصوديوم يمكن استخدامه فى تنقية البوكسيت .

وتتلخص عملية استخلاص الألومنيوم فى التحليل الكهربى لأكسيد الألومنيوم الذائب فى الكرايوليت المنصهر (ألومينات الصوديوم الفلوريدية - Sodium aluminium fluoride) .

وينتج من التحليل الكهربى ، الألومنيوم عند الكاثود والأوكسجين عند الأنود ويتجمع الألومنيوم عند قاع الوعاء ويمكن رفعه .

ويحترق الأنود الكربونى فى الأوكسجين الناتج مكوناً أول أكسيد الكربون (٧٠٪) ؟ ثانى أوكسيد الكربون (٣٠٪) ولذلك فإنه يلزم تغييره من وقت لآخر .

ويلزم إضافة الكرايوليت بكميات صغيرة من وقت لآخر لتعويض النقص به .

ويؤدي فقد كمية من الكرايوليت في صورة فلوريد fluorides إلى مشكلة تلوث أساسية بالمنطقة .

وتبلغ درجة نقاء الألومنيوم الناتج بهذه الطريقة حوالي ٩٩٪ .  
ويستخدم في التحليل الكهربى تيار كهربى تبلغ شدته حوالى ١٢٥٠٠٠ أمبير تحت فرق جهد حوالى ٥,٥ فولت وتحتاج العملية إلى كمية طاقة هائلة .  
حيث تبلغ كمية الطاقة اللازمة لإنتاج ١ طن ألومنيوم حوالى ١٣٠٠٠ كيلو وات ساعة .

ويلقى الألومنيوم طلباً متزايداً عليه حيث تبلغ كثافته حوالى ثلث كثافة الحديد وهو موصل جيد للحرارة ولل كهرباء وهو يقاوم التآكل حتى الناشئ من مياه البحار وهو لا يجذب للمغناطيس .

وله خاصية التشكل في سبائك ذات مقاومة عالية إلا أنها ذات كثافة قليلة .  
وتستخدم هذه السبائك في الطائرات والسفن والمركبات وهندسة الإنشاءات .  
وهذه السبائك تُعرف بـ : H 30, H 14, LM 24 فمثلاً السبيكة H 30 عبارة عن :

٩٧,٢٥٪ ألومنيوم ، ١٪ مغنسيوم ، ١٪ سليكون ، ٠,٧٥٪ منجنيز .

، السبيكة H 14 عبارة عن :

٩٤,٢٥٪ ألومنيوم ، ٤,٢٥٪ نحاس ، ٠,٧٥٪ منجنيز ، ٠,٧٥٪ مغنسيوم

بينما السبيكة LM 24 فهي عبارة عن :

٨٨٪ ألومنيوم ، ٨,٥٪ سليكون ، ٣,٥٪ نحاس .

ويستخدم في كثير من الأغراض مثل أوعية التسخين الكهربائية وأوعية الطهى والأغذية والوحدات الكيميائية .

وهو يقاوم حمض النيتريك وبيروكسيد الهيدروجين والنشادر ويستخدم في تغليف وحفظ الأغذية والمشروبات .

وفي حالة استخدامه ككابلات كهربائية فإنه يتم تقويته بقلب من الصلب .

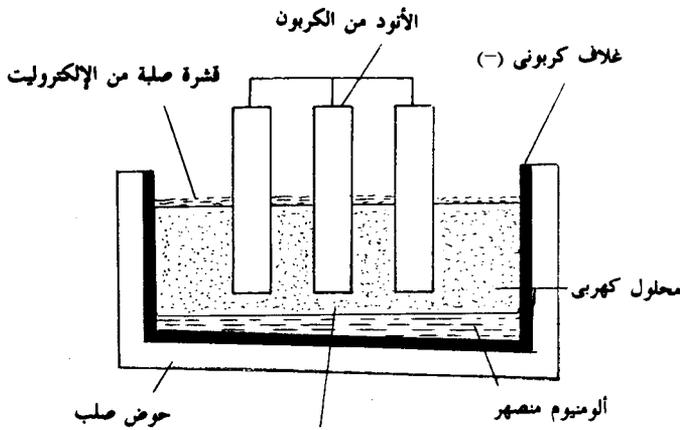
ويمكن استخدامه في الطلاء لحماية الحديد وسبائكه من الصدأ ويستخدم في طلاء خلفية مرايات التلسكوبات الكبيرة بسبب لمعانه ومقاومته للصدأ .

ويستخدم الألومنيوم في صناعة الصلب للحد من تكون الكبريت في أفران الحديد .

ويتغلى الألومنيوم في الجو ذى الهواء المشبع بالرطوبة بطبقة من أوكسيد الألومنيوم وهى طبقة شديدة التماسك بالألومنيوم .

ويستخدم خليط من الألومنيوم وثالث أوكسيد الحديد ويعرف باسم ثيرميت Thermit ، في لحام شروخ الحديد .

، انظر شكل (١٠ - ٣) .



الألومينا (أكسيد الألومنيوم) فى الكرايوليت

(ألومينات الصوديوم الفلوريدة) المنصهر

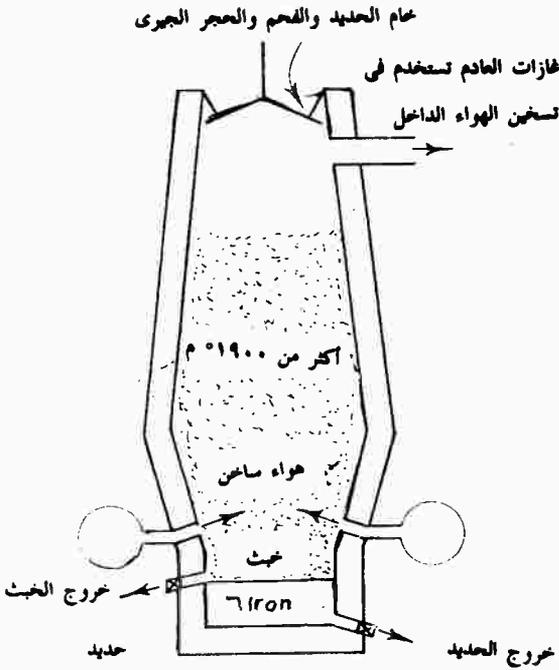
شكل (١٠ - ٣)

استخلاص الألومنيوم

ويتم إنتاج الألومنيوم عادة في الأماكن التي يتوفر بها مصدر كهرباء رخيص وبكميات ضخمة وتعتبر نيجيريا من أكبر الدول المنتجة للألومنيوم في العالم وتستفيد في هذا من الطاقة الكهربائية الناتجة من سد نهر الفولتا .

## [ ١٠ - ٥ ] الحديد :

يتوفر خام الحديد في العالم كله والخامات الغنية rich ores تحتوي على كميات كبيرة من الحديد وهي تشمل الهيماتيت والماجنتيت Haematite, magnetite وهما عبارة عن أكاسيد للحديد . وفي بعض البلاد التي لا يتوفر بها خام غنى بالحديد ، فإنه يتم إستيراد الخام الغنى ، وخلطه بالخام الفقير في أثناء عمليات استخلاص الحديد ويتم إنتاج الحديد في أفران الصهر أو في الفرن العالى Blast furnace انظر الرسم شكل (١٠ - ٤) .



شكل (١٠ - ٤)

الفرن العالى لصناعة الحديد Blast furnace

ويبلغ إرتفاع الفرن حوالى ٧٠ متر ويُصنع من الصلب ويُطن بطوب حرارى fire proof bbricks في حين يبلغ قطره حوالى ١٤ متر والمواد الخام اللازمة

لإنتاج الحديد عبارة عن خام الحديد والفحم والحجر الجيري ويتم إلقتها من وقت لآخر عبر فتحة بأعلى الفرن .

ويتم دفع هواء ساخن إلى قاع الفرن عبر مجموعة من المواسير تُسمى بقصبه Tuyeres الهواء للفرن .

ويؤدي احتراق الفحم بالفرن إلى توليد حرارة كافية لرفع درجة الحرارة إلى ما فوق ١٩٠٠°م وهي كافية لصهر محتويات الفرن وينتج عن احتراق الفحم تولد غاز أول أكسيد الكربون .

وهو يقوم بفعل العامل المختزل حيث يختزل أكسيد الحديد إلى الحديد وفيما يلي موجز ما يحدث بالفرن العالى :

أكسيد الحديد + أول أكسيد الكربون ← حديد + ثانى أكسيد الكربون  
iron oxide + carbon monoxide → iron + carbon dioxide

وتتكون الغازات الخارجة من الفرن من أول أكسيد الكربون والهيدروجين حيث يمكن استخدامها مرة ثانية كوقود لتسخين الهواء اللازم لعملية إنتاج الحديد .

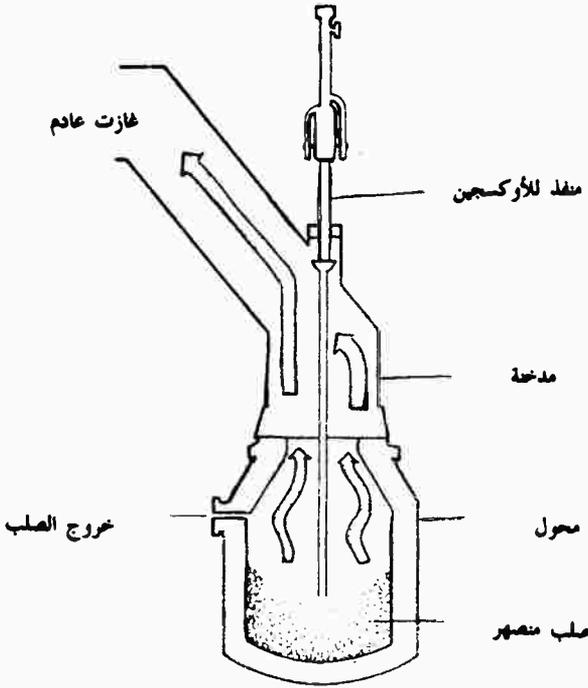
ويُفيد الحجر الجيرى المستخدم فى الفرن فى إزالة الشوائب خاصة الرمل مكوناً الخبث slag وسيليكات الكالسيوم .

وعملية تكوين الحديد بهذا الفرن ، عبارة عن عملية مستمرة ويستمر الفرن يعمل لعدة شهور ليل نهار حيث يتم رفع الحديد المنصهر والخبث المنصهر من أسفل الفرن ، من وقت لآخر .

والحديد الناتج من هذا الفرن يكون غير نقى حيث يحتوى على الكربون والفوسفور والسيلكون ويسمى هذا الحديد بالحديد الزهر : Pig iron ،  
. Cast iron

وتصنع أفران الصهر الأفران العالية ، الحديثة بحيث يمكنها أن تنتج حوالى ١٠ ٠٠٠ طن من الحديد يومياً .

ومعظم هذا الحديد يتم تحويله مباشرة إلى صلب بواسطة طريقة: basic oxygen converter ، انظر الرسم شكل (١٠ - ٥) .



شكل (١٠ - ٥)  
طريقة Basic oxygen process لصناعة الصلب

حيث يتم إمالة الفرن كله وتعبئته بحوالي ٣٠٪ من الحديد الخردة ، ٧٠٪ من الحديد المنصهر السابق تصنيعه « الحديد الزهر » بالفرن العالى ويتم تدليه مزراق Lance نحاس مبرد بالماء من أعلى الفرن ويتم دفع الأوكسجين النقى تحت ضغط عالى عبر المزراق إلى سطح الحديد المنصهر .

حيث تهرب أكاسيد الكربون والفوسفور كغازات ويتم إضافة الحجر الجيري لإزالة أى شوائب أخرى كالخبث وفى النهاية يتم إضافة مواد أخرى وبنسب معينة

طبقاً لنوعية الصلب المراد إنتاجه ويتم سحب الصلب من الفرن وتعمل الأفران الحديثة من هذا النوع على إنتاج حوالي ٥٠٠ طن من الصلب في الساعة .

والحديد يعتبر من أقدم المعادن التي اكتشفها الإنسان ، وأشهر خامات الحديد هي الهيماتيت  $Fe_2 O_3$  - Haematite .

، الماجنتيت Magnetite  $Fe_3 O_4$

، والحجر الحديدي ironstone والذي هو عبارة عن السيدريت والكالبيت

ورمزه  $Fe CO_3$  .

وتكون معادلات الفرن العالى كالتالى :

كربون + أوكسجين ← ثانى أوكسيد الكربون



ثم يتحد ثانى أوكسيد الكربون مع الكربون مرة ثانية مكوناً أول أوكسيد الكربون .

ثانى أوكسيد الكربون + كربون ← أول أوكسيد الكربون



ثم يقوم أول أوكسيد الكربون باختزال خام الحديد  $Fe_3 O_4$  إلى الحديد

أول أوكسيد الكربون + ماجنتيت ← حديد + ثانى أوكسيد الكربون



ويحتوى الحديد الخارج من الفرن العالى على ١ - ٥٪ كربون وكميات صغيرة من السيلكون والكبريت والفوسفور والمنجنيز .

ويترك الخبث الناتج من الفرن العالى حيث يتصلب ثم يتم تكسيره حيث يُستخدم فى أعمال الطرق وصناعة الأسمنت والأسمدة .

أما عن الغازات المندفعة من أعلى الفرن فيتم حرقها فى أفران خاصة Cowper

stoves لتسخين الهواء الداخلى للفرن .

وتكون النسبة الكيميائية لمكونات هذه الغازات ، كالتالى :

٢٤٪ أول أكسيد كربون ، ٤٪ هيدروجين ، ٦٠٪ نيتروجين ، ١٢٪ ثاني أكسيد الكربون وكل من الغازين الأولين ، سريع الإلتهاب .

ويلزم لإنتاج ١ طن من الحديد كمية من الهواء يبلغ وزنها حوالي ٤,٥ طن هواء أو ما يعادل ٣٢٠٠ متر مكعب من الهواء .

والحديد الزهر الناتج من الفرن العالى قصفاً أو هشاً brittle إلا أنه يتحمل ضغوط عالية لذلك يستخدم فى صناعة السيارات والمكينات والمواسير وأغطية البالوعات وأفران الغازات .

، وتنحصر عملية تصنيع الصلب فى الحد من أو تقليل الشوائب بالحديد الناتج من الفرن العالى ثم إضافة خامات أخرى طبقاً لنوع الصلب المراد صناعته . وتوجد ثلاث طرق رئيسية لتحويل الحديد إلى صلب .

١ — محول بسمر الذى تم اختراعه عام ١٨٥٦ على يد الإنجليزى هنرى بسمر (١٨١٣ — ١٨٩٨) .

٢ — محول LD من اكتشاف ويليم كيلي الأمريكى .

٣ — محول BOC وهو تعديل نمساوى لمحول LD .

والرموز BOC هى إختصار لاسم العملية .

### Basic Oxygen Converter

والأخيرة هى الشائعة الآن فى بلاد كثيرة .

والصلب هو صورة نقية للحديد ويحتوى على ١,٥٪ كربون على الأقل ويوجد الكربون على صورة مركب سمينتيت Fe<sub>3</sub>O Cementite ويتم تصنيف الصلب طبقاً لنسبة الكربون به كالتالى :

١ — الفولاذ المطاوع mild steel : وهو يحتوى على أكثر من ٢٥٪ من الكربون ويستخدم هذا الصلب فى الأغراض والأشغال الهندسية العامة مثل الأسلاك والمسامير البرشام وألواح الصلب .

٢ — صلب متوسط الكربون Medium-Carbon steel وهو يحتوى على

٠,٢٥ — ٠,٤٠ ٪ كربون ويستخدم في صناعة اليايات والنوابض .

٣ — صلب على الكربون High Carbon Steel وهو يحتوى على ٠,٤٥ — ١,٥ ٪ كربون ويستخدم في صناعة المطارق والأزاميل chisels والأجنات .

وتستخدم الأفران الكهربية Electric furnaces أساساً ، لإنتاج سبائك الصلب steel alloys أى ذلك الصلب الذى يدخل في تكوينه التنجستن tungsten أو الكوبالت Cobalt أو النيكل Nickel أو الكروم Chromium أو المنجنيز Manganese أو الفاناديوم Vanadium أو الموليبدنوم molybdenum . حيث تضاف هذه المواد بنسب خاصة إلى خليط الحديد والكربون .

كما تستخدم الأفران الكهربية في عمل الصلب الكربونى العالى الجودة والذى يستخدم في صناعة عدد وأدوات القطع Cutting tools وقد بدأت صناعة سبائك الصلب منذ أن اكتشف روبرت موشيت Robert Mushet ، في عام ١٨٦٨ أن إضافة التنجستن تزيد من الصلابة ومقاومة الحرارة .

وفي عام ١٨٨٢ اكتشف سير روبرت هادفيلد Robert Hadfield الإنجليزى ، الصلب المنجنيزى Manganese steel والذى أدت صلابته العالية إلى استخدامه في خطوط السكك الحديدية .

وفي عام ١٩١٣ (اكتشف هارى بربرلى Harry Brearley الإنجليزى ، الصلب الذى لا يصدأ stainless steel وهو المستخدم حتى اليوم ويتكون من ٧٤ ٪ حديد ، ١٨ ٪ كروم ، ٨ ٪ نيكل .

والسبب في عدم صدئه هو الطبقة الرقيقة المُغلقة من ثالث أو أكسيد الكروم . ويمكن تحسين خواص الصلب بواسطة عمليات المعالجة الحرارية heat treatment .

فعملية التبريد السريع الفجائى للصلب الأحمر الساخن red-hot steel بالزيت أو بالماء ؛ تُعطيهِ صلابة hardness ، قسافة brittles وعادة ما يتم معالجة الصلب المراد بهذه الطريقة ، tempered أى بإعادة تسخينه ثم نتركه يبرد

وتؤدي هذه العملية إلى تقليل الصلابة إلا أنها تجعل منه أكثر تحملاً لإجهادات الشد .

وتم عملية Case hardening أى التصليد السطحي بتسخين الصلب فى الميثان أو فى الأمونيا أو فى سيانيد البوتاسيوم المنصهر حيث يتم تصليد السطح فى حين يبقى من الداخل طرياً . ويستخدم الصلب المعالج بهذه الطريقة فى صناعة التروس .

ويتم عمل الفولاذ المُلدّن Annealing Steel بغرض التخلص من إجهادات الانفعال strain بعد عمليات تشكيل الأشياء .

حيث يتم تسخين الصلب الطرى (Soft steel, low carbon steel only) المنخفض الكربون (فقط) إلى حوالى ٧٥٠°م فى هواء ساكن ثم تركه إلى أن يبرد ببطء فى الفرن وهذا من شأنه أن يجعل الصلب مطاطاً أى قابل للمط والسحب والطرق ductile وذو إجهاد شد عالى ويستخدم هذا الصلب فى عمل السلاسل ويعبر إنتاج الصلب فى أى دولة عن حالة إقتصاد هذا الدولة .

ويبدو من المحال أن تتصور العالم فى هذا العصر بدون صناعة الصلب فهو يستخدم فى التركيبات وفى النقل وفى الهندسة الميكانيكية وفى عمل الأسلاك وصناعة العلب المعدنية (الصفيح) . والأسطوانات والصناديق وإطارات وهياكل بعض المباني .

وبكميات أقل إلا أنها ذات أهمية بالغة فى عمل المسامير والجوايط والصواميل وكعامل الأمونيا وفى صناعة الأمونيا وفى صناعة الإطارات وفى المئات من الاستعمالات الأخرى المتعددة .

## [ ١٠ - ٦ ] النيكل :

تم عزل النيكل لأول مرة فى عام ١٧٥١ بواسطة السويدى أكسل كرون ستدت Axel Cronstedt والحام الرئيسى للنيكل هو بنتلانديت pentlandite وهو عبارة عن كبريتيد النيكل sulphide of nikel ، الحديد Fe Ni S<sub>2</sub> .

وتبلغ نسبة توفر النيكل في صخور الأرض حوالي ٠.٠٠٠٠٧٢٪ حيث يتم سحق الخام إلى عمليات طفو متلاحقة لفصل المواد الأرضية (أتربة وخلافه) من كبريتيد النيكل ومن كبريتيد النحاس (يكونا بنسب متساوية في خامات كثيرة) .

حيث يتأكسد كبريتيد النيكل إلى أوكسيد النيكل .



كبريتيد النيكل + أوكسجين ← أوكسيد النيكل + ثاني أوكسيد الكبريت

ويتحول ثاني أوكسيد الكبريت عادة إلى حامض كبريتيك .

ويمكن اختزال أوكسيد النيكل بالكربون للحصول على المعدن والذي تم تنقيته بواسطة التحليل الكهربى .

أوكسيد نيكل + كربون ← نيكل + ثاني أوكسيد الكربون



وقد يتم اختزال أوكسيد النيكل بالهيدروجين ويتم تنقية المعدن باستخدام أول أوكسيد الكربون .

أوكسيد النيكل + هيدروجين ← نيكل + ماء

ثم نيكل + أول أوكسيد الكربون ← رابع كربونيل النيكل



ويحتوى الصلب الذى لا يصدأ على ٨٪ نيكل

وتوجد سبيكة عالية النيكل تعرف باسم [ مونل Monel ]

تحتوى على ٦٥٪ نيكل ، ٣٢٪ نحاس ونسب صغيرة من المنجنيز والحديد ويستخدم معدن مونل فى صناعة أنابيب المكثفات وفى صناعة أعمدة الجر بالسيارات (عمود الكردان) وفى وحدات إنتاج الكيماويات والأغذية والعقاقير .

وتحتوى الطائرة البوينج ٧٤٧ على ما مقداره ٥ طن من النيكل فى صورة سبائك .

وتحتوى الطائرة الكونكورد على ما مقداره ٧ طن من النيكل فى صورة سبائك ، كذلك .

وتصنع مفاتيح الإنارة من سبائك من النيكل والفضة ، ويدخل النيكل فى صناعة العملات المعدنية فى كثير من دول العالم ، بنسب مختلفة .  
ويعتبر النيكل عامل محفز هام ويستخدم فى تحويل الزيوت إلى دهون .

### [ ١٠ - ٧ ] النحاس :

عُرف النحاس منذ ٤٠٠٠ عام قبل الميلاد أى منذ حوالى ٦٠٠٠ عام فى مصر ومن المرجح أنه أول معدن يتم استخدامه على الإطلاق ويظهر النحاس مختلطاً مع بعض من المواد الأخرى التى تشكل فى مجموعها ، الخام الرئيسى للنحاس وهناك حوالى ٣٦٠ خاماً معروفاً للنحاس تختلف كمية النحاس فى كل منها وبعض من هذه الخامات تحتوى على النحاس بنسبة أقل من ١٪ .  
والخام الأشهر هو بيريت النحاس  $Cu Fe S_2$  Copper pyrites أى كبريتيد الحديد والنحاس .

وتبلغ نسبة توفر النحاس فى صخور الأرض حوالى ٠,٠٠٥٨٪ ويتوفر النحاس بكثرة فى شيلي وزامبيا وزائير وبيرو .

ولما كان ترتيبه فى سلسلة النشاط الكيماوى (بالأسفل) ، لذلك فإن استخلاصه من خاماته يكون أسهل بكثير من العناصر التى تسبقه فى جدول النشاط الكيماوى .

ويُشبه استخلاص النحاس وإلى حد كبير استخلاص النيكل ومن الهام جداً خاصة حين استخدم النحاس فى الأغراض الكهربية من إزالة كل الحديد والكبريت من النحاس ، والنحاس الناتج يتم تنقيته بالتحليل الكهربى وذلك يجعل النحاس المراد تنقيته هو الأنود ويكون الكاثود لوح رقيق من النحاس النقى ويكون المحلول

الكهرنى عبارة عن كبريتات النحاس وكمية قليلة من حمض الكبريتيك المخفف .  
ويتج عن هذه العملية انتقال النحاس من الأنود إلى الكاثود أما الشوائب ومنها  
الفضة والذهب والبلاتين فإنها تسقط إلى القاع في حين تمر الرواسب الحديدية  
وتبقى بالمحلول .

ويستخدم في مجال الهندسة الكهربائية حوالى ٤٥٪ من إنتاج النحاس العالمى  
في صورة أسلاك وكابلات للمولدات والمحركات وملفات المحولات والموصلات  
الكهربائية من كل الأنواع .

ويستخدم في مجال الدوائر المطبوعة **printed circuits** .

في حين يستخدم حوالى ٣٠٪ من إنتاج النحاس في عمل السبائك فمثلاً  
النحاس الأصفر brass هو سبيكة من النحاس والزنك (٦٥٪ نحاس ، ٣٥٪  
زنك) وفي عمل مجموعات المياه والصنابير، والبرونز هو سبيكة من النحاس  
والقصدير (٨٥٪ نحاس ، ١٥٪ قصدير) للوحدات الكيميائية ولأعمال المعمار  
والديكور .

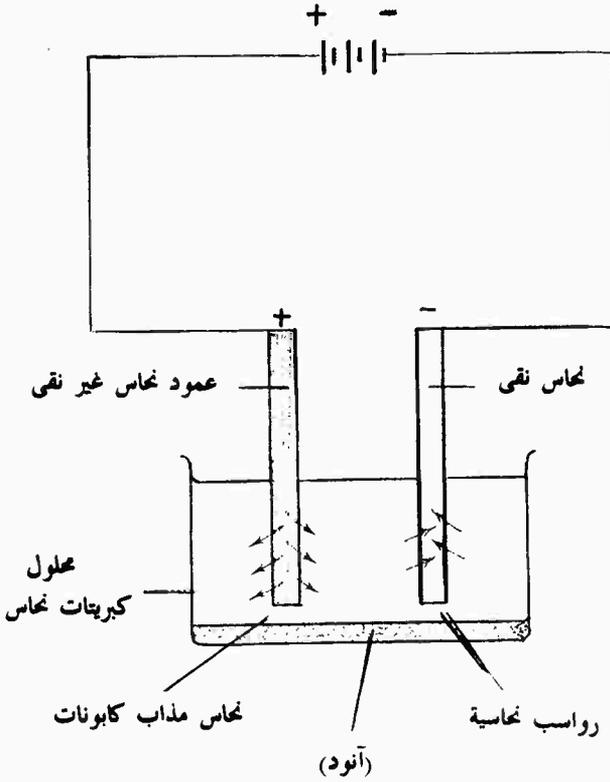
وتستخدم المواسير النحاسية في أعمال السباكة والصحية وفي أغراض التسخين  
وبنسبة حوالى ١٠٪ من النحاس .

ولما كانت نسبة النحاس في الخام قليلة أقل من ١٪ (حوالى ٠,٣٪) فإنه يتم  
تركيز الخام بعملية طفو حيث يوضع الخام في أحواض مياه تحتوى على بعض  
المنظفات الصناعية والإضافات الكيميائية الأخرى .

حيث تطفو المركبات المحتوية على النحاس ، على السطح ويمكن رفعها ، ثم  
يتم خلط الخام المركز مع الحجر الجيري ويُسخن ويتم الرفع والتخلص من  
الشوائب .

ثم يحمل الناتج من كبريتيد النحاس إلى فرن يعرف باسم المحول Converter  
حيث يدفع الهواء عبر منطقة المعدن الساخن المنصهر بالفرن فيهرب غاز ثانى  
أكسيد الكبريت ويخرج النحاس مندفعاً من المحول ، نقياً بنسبة ٩٨٪ .

ولأسباب كثيرة فإنه يلزم تنقية النحاس وذلك بالتحليل الكهربى انظر شكل (١٠ - ٦) .



شكل (١٠ - ٦)  
تنقية النحاس

حيث يحول النحاس إلى محلول كبريتات النحاس ويعتبر هذا بمثابة الإلكتروليت فى وحدة التنقية أو التحليل بالكهرباء .

[ ١٠ - ١ ] خلاصة :

تعتبر عملية استخلاص المعادن من خاماتها فى غاية الأهمية ويقوم على هذه العملية أساس إقتصاد كثير من الدول .

وتعتمد تكلفة استخلاص المعدن على مكان استخراج خامة الأصيل كما  
تعتمد طريقة استخلاصه على وضع المعدن في سلسلة النشاط الكيميائي .  
فالمعادن ذات الأولوية في هذه السلسلة تكون مركباتها أكثر استقراراً ويتم  
استخلاص هذه المعادن بالتحليل الكهربى للعناصر المنصهرة .

بينما المعادن التي تقع في وسط هذه السلسلة من حيث الترتيب فتكون  
مركباتها أقل استقراراً في الخام ويمكن استخلاصها بالاختزال باستخدام الكربون  
أو أول أو أكسيد الكربون كعامل إختزال ؛ في حين أن المعادن التي تقع في  
نهاية هذه السلسلة من حيث الترتيب فتكون في باطن الأرض إما في صورة  
منفردة وغير متحدة أو تتوفر في مركبات غير مستقرة وهذه المعادن يمكن  
استخلاصها بتسخين الخام .

