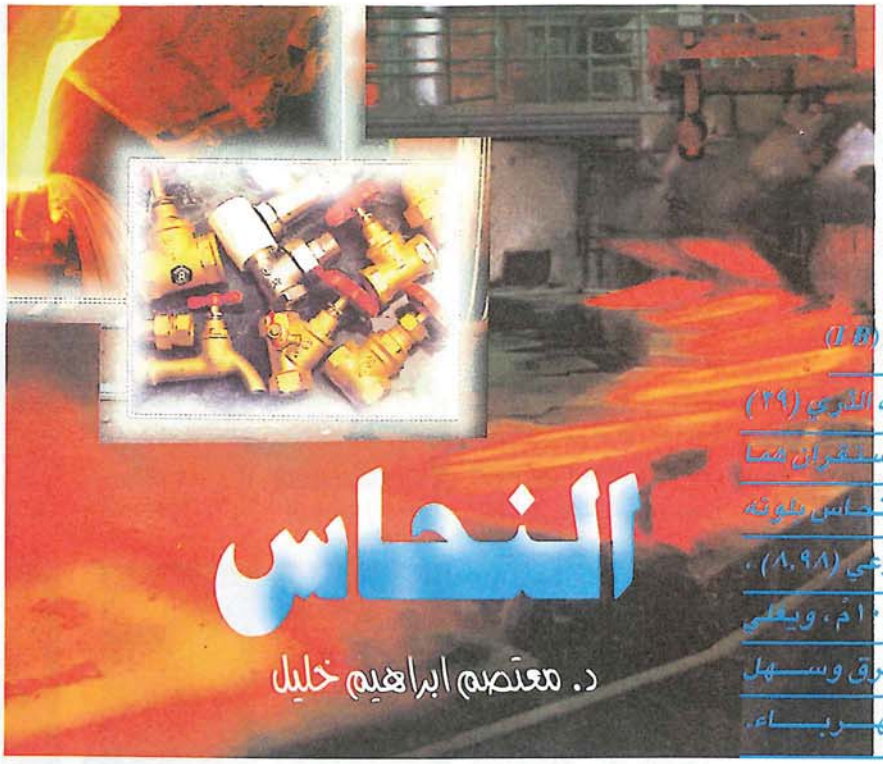


النحاس

د. معتصم ابراهيم خليل

النحـــــــاس (Copper - Cu)

فلز ينتمي لفلزات العناصر الإنتقالية - وبالتحديد ينتمي إلى المجموعة (ا ب) ، (I B) في الجدول الدوري للعناصر، وعدده الذري (٢٩) وكتله الذرية ٦٣,٥٩ وله نظيران مستقران هما النحاس ٦٣ والنحاس ٦٥ . يتميز فلز النحاس بلونه الأحمر الذهبي، ويبلغ وزنه النوعي (٨,٩٨) ، وتساوي درجة انصهاره ١٠٨٣ مْ ، ويغلي عند ٢٥٩٥ مْ ، وهو قابل للطرق وسهل التشكيل وموصل ممتاز للكهرباء.

يذوب النحاس بسهولة في حامض النيتروجين وحامض الكبريت المركز الساخن ، ويتفاعل بسهولة مع القلويات ، وهو مقاوم جيد للتآكل الجوي أكثر من الحديد حيث يكوِّن طبقة خضراء من الكربونات المميّهة تعزل باقي النحاس عن الهواء الجوي . كما أنه عنصر مهم في غذاء الإنسان وليس ساماً في شكله العنصري ولايشتعل إلا وهو في هيئة المسحوق.

يتفاعل النحاس مع الهواء - الأكسجين - عند درجة حرارة ٣٠٠ مْ مشكلاً طبقة سوداء من أكسيد النحاس (II) - (CuO) - على سطحه ، وعند درجة حرارة ١٠٠٠ مْ فإن تفاعله مع الهواء يؤدي إلى تشكل أكسيد النحاس (I) (Cu2O) ، كما تؤثر عليه أبخرة الكبريت والهالوجينات مشكلة معه كبريتيد النحاس (Cu2S) وهاليدات النحاس (II) ماعدا اليود حيث يشكل يوديد النحاس (I).

لايتأثر النحاس بالماء أو البخار أو الأحماض المخففة غير المؤكسدة مثل حمض كلوريد الهيدروجين المخفف وحمض الكبريت المخفف عند غياب عامل مؤكسد ، ولكنه يتفاعل مع حمض كلوريد الهيدروجين المركز محرراً غاز الهيدروجين ، كذلك يتفاعل النحاس مع الأحماض الأكسجينة المركزة والساخنة ومن أمثلة ذلك مايلي :-

$$Cu + 2H_2SO_4 \rightarrow Cu\,SO_4 + 2H_2O + SO_2$$
مركز

$$3Cu + 8HNO_3 \rightarrow 3Cu(NO_3)_2 + 4H_2O + 2NO$$
مخفف

$$Cu + 4HNO_3 \rightarrow Cu\,(NO_3)_2 + 2H_2O + 2NO_2$$
مركز

عرف الإنسان فلز النحاس ومركباته منذ زمن بعيد واستخدمه في صناعة المدقات والسكاكين والحراب والسهام ، وقد جلبه الرومان من جزيرة قبرص حيث جاءت تسميته من الكلمة اليونانية (Kypros) التي حولها الرومان إلى الكلمة الألمانية لجزيرة قبرص (Cyprium) ثم تحول الإسم لاحقاً إلى الكلمة الإنجليزية (Copper) ، وقد طور الفراعنة أفران لصهر النحاس وصنعوا منه البرونز وصبوا منه أبواب معبد الكرنك ، كما أن الهنود الحمر أستخدموه في الشمال الغربي الأمريكي في قطع الأخشاب .

النحاس في الطبيعة

يعد النحاس من الفلزات المتوسطة الانتشار في الطبيعة إذ تبلغ نسبته في القشرة الأرضية ٠,٠١٢ ٪ وزناً . ويأتي ترتيبه السادس والعشرين من حيث كميته في القشرة الأرضية . وتتراوح نسبته في الخامات المعدنية القابلة للتعدين إقتصادياً بين ٠,٥ ٪ إلى ٥ ٪ .

ويوجد النحاس بصفة أساس في الصخور النارية والرسوبية وهناك أكثر من ٢٠٠ معدن محتوية عليه ولكن تعد ٢٠ منها الأكثر أهمية ، وهي تشمل النحاس الخام والكبريتيدات والأكسيدات . ويوضح شكل (١)

بعض تلك المعادن وتركيبها الكيميائى ونسبة فلز النحاس فيها .

تعد الولايات المتحدة وتشيلي الأكثر وفرة في احتياطي خام النحاس بنسبة ٢١,١ ٪ و ٢٠,٥ ٪ على التوالي ، تليها كل من بيرو وروسيا والكونغو الديمقراطية بنسبة ٦,٤ ٪ لكل ، ثم كندا والمكسيك وأستراليا بنسبة ٥,٨ ٪ ، ٤,٩ ٪ ، ٣,٤ ٪ على التوالي .

استخلاص وتعدين النحاس

تعتمد طرق استخلاص النحاس على نوع الخام . ويأتي حوالي ٨٠ ٪ من النحاس المستخلص في العالم من خام الكبريتيدات . وفي هذه الحالة فإن عمليات الإستخلاص والتعدين ، شكل (٢) ، تتكون مما يلي :-

● التركيز

نظراً لوجود النحاس في خاماته بتراكيز قليلة جداً فإن عملية صهر الخام مباشرة تصبح مكلفة للغاية وغير مجدية أقتصادياً ، لذا يلجأ لعملية

* النسبة (٪) للنحاس في المعدن .

● شكل (١) بعض معادن فلز النحاس في الطبيعة .

فيزيائية لتركيز النحاس أولاً ، ويتم ذلك بعملية الطفو حيث يدفع النحاس ليلتصق بالفقاقيع الهوائية التي تضخ من خلال محلول الخام ، ثم تزال طبقة النحاس الطافية أعلى المحلول حيث يصل تركيزه إلى حوالي ٢٠-٣٠٪ .

● التحميص

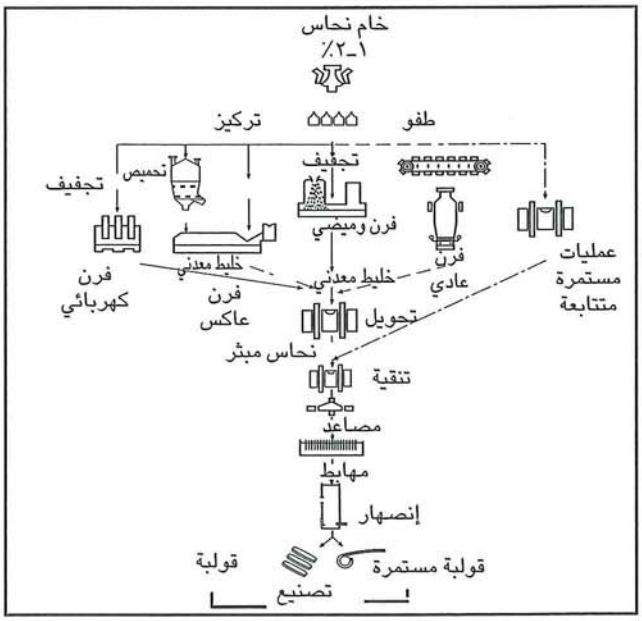
تتكون عملية التحميص من الأكسدة الجزئية لكبريتيد النحاس والتخلص الجزئي من الكبريت في هيئة ثاني أكسيد الكبريت (SO2) ، وتتم العملية بتمرير هواء ساخن على المادة المركزة في الخطوة السابقة عند درجة حرارة ٥٠٠-٧٠٠مْ ، حيث ينتج خليط من أكسيد وكبريت النحاس . وتستخدم عملية التحميص هذه عادة في أفران عاكسة تعمل على تركيز الخليط المعدني (Cu2S,FeS) المسمى بالمت (Matte) .

● صهر المت

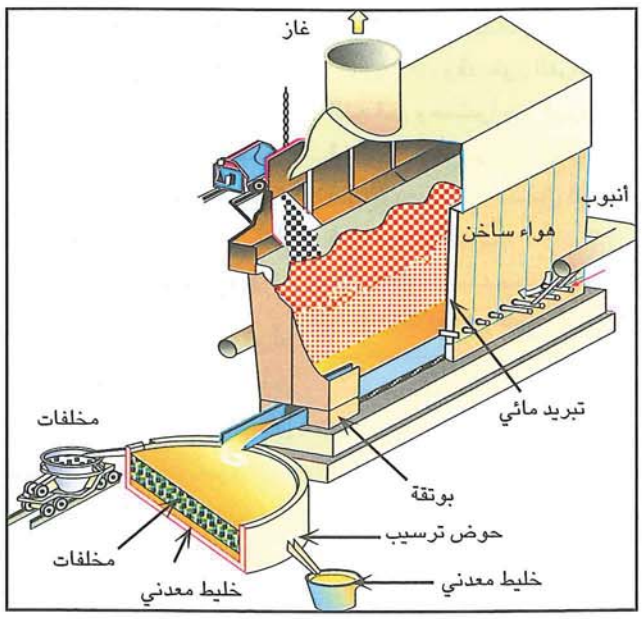
تهدف عملية صهر المت إلى فصل النحاس من الحديد والكبريت وذلك بتكوين طبقة سائلة من النحاس في أعلى الفرن عندما تصل درجة حرارة الجهاز إلى حوالي ١٢٠٠مْ وتبقى طبقة الحديد والكبريت ليتم فصلها واستبعادها من أسفل الفرن . وتتم عملية الصهر بواسطة أفران تختلف فيما بينها باختلاف نوع الخام والطاقة وذلك كما يلي :-

* **الفرن العالي :** وهو نوع من الأفران يتم فيه دفع خام النحاس (المت) من أعلى الفرن ليقابل تيار الهواء الساخن الصاعد إلى أعلى، شكل (٣) ، وتؤدي هذه العملية إلى تجفيف ثم تسخين وأخيراً صهر المادة الخام ليكون طبقتين من الخليط المعدني الذي يكون في قاع الفرن ومخلفات في الطبقة العليا منه .

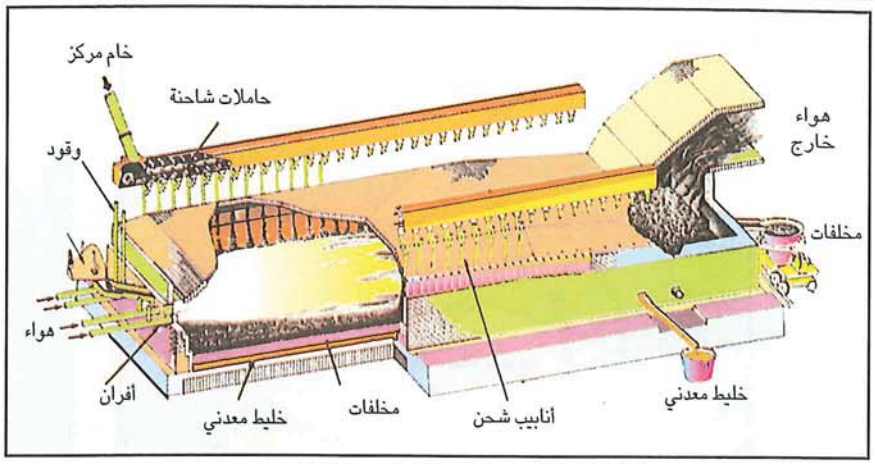
ويستخدم في هذا النوع من الأفران الوقود الأحفوري ـ الفحم ، وزيوت الوقود، والغاز الطبيعي ـ كمصدر من مصادر الطاقة اللازمة للتشغيل . ورغم أن عملية التحميص قد قللت من استخدام مثل هذه الأفران إلا أنها لازالت مستخدمة في اليابان وبعض الدول الأفريقية .



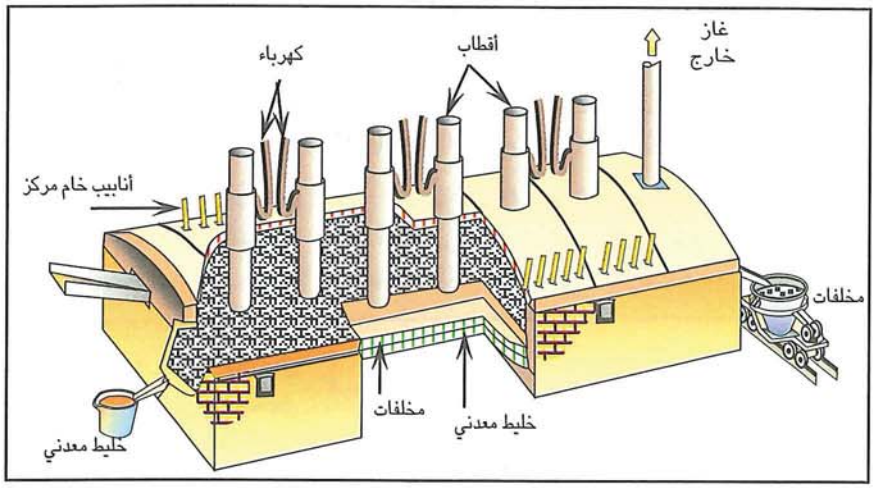
● شكل (٢) مخطط إنتاج النحاس من خام الكبريتيد.



● شكل (٣) مقطع من الفرن العالي لإنتاج النحاس.



● شكل (٤) مقطع من الفرن الإنعكاسي لإنتاج النحاس .



● شكل (٥) الفرن الكهربائي لإنتاج النحاس.

* **الفرن الانعكاسي :** وهو عبارة عن موقد حراري تسخن فيه المواد إلى درجة ١٢٠٠أ-١٢٥٠مْ . بواسطة هواء ساخن يأتي من طرف واحد لينساب إلى داخل الفرن ويصهر المادة الخام منتجاً طبقتين عبارة عن نحاس مبثر ومخلفات ، شكل (٤) .

يتم تسخين الهواء باستخدام الفحم أو زيوت الوقود أو الغاز الطبيعي ، وبما أن هذا النوع من الطاقة يحتوي على مادة الكبريت فان إستخدامها بكميات كبيرة يؤدي إلى تكوين كمية كبيرة من غازات الاحتراق الحاوية على غاز ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) ، وبالتالي تتسبب في تلوث الهواء الجوي ، مما حول الانظار عنها والإتجاه إلى الأفران الكهربائية .

* **الفرن الكهربائي :** وهو شبيه بالفرن الإنعكاسي ولكن يختلف عنه في مصدر الطاقة المستخدمة التي تأتي في هذه الحالة من الكهرباء . ومن مزايا الفرن الكهربائي ، شكل (٥) ، التحكم في درجة الحرارة وأكسدة المواد ، وبالتالي فإنها فضلاً عن أن الطاقة المستخدمة فيها لاتحتوي على كبريت ، فإنها تعمل على تقليل كمية غاز ثاني أكسيد الكبريت المنبعث إلى الهواء الجوي .

* **الفرن الوميضي :** ومن مزاياه الإستفادة من الطاقة الناتجة من أكسدة الكبريتيد واستخدامها في عملية الصهر ، وعليه فإن هناك توفيراً في الطاقة المستخدمة سواء كان من المحروقات أم الكهرباء .

وهناك طريقتان لعملية الصهر بالفرن الوميضي ، شكل (٦) هما :ـ

ـ **طريقة أوتوكمبو :** ويستخدم فيها هواء تم تسخينه مسبقاً .

ـ **طريقة أنكو :** ويستخدم فيها غاز الأكسجين .

وفي كلتا الطريقتين يتم ضخ الخام المركز إلى داخل الموقد الحراري حيث يتم التفاعل التالي :

$$2Cu\,Fe\,S_2 + \frac{5}{2}O_2 + SiO_2 \rightarrow Cu_2SiFeS + FeO.\,SiO_2 + 2SO_2 + heat\ (\text{حرارة})$$

وبالاضافة إلى إنتاج الحرارة اللازمة للتسخين والصهر فإن هذا التفاعل ينتج كميات كبيرة من غاز ثاني أكسيد الكبريت الذي يمكن إزالته مباشرة واستخدامه للحصول على حامض الكبريت مما يعد ميزة أخرى لهذه الطريقة .

● عملية التحويل

تتكون عملية تحويل النحاس من أكسدة الخليط المعدني السائل النا تج من الصهر . وبذلك يتم التخلص من الحديد والكبريت الموجود في الخليط المعدني ليعطي نحاساً بنقاوة ٩٩٪ ويسمى نحاساً مبثراً . وتتم العلمية في خطوتين متتابعتين كلاهما يتضمن نفخ الهواء في الكبريتيد المنصهر ، وهما :

(أ) التخلص من كبريتيد الحديد : ويعنى التخلص من المخلفات ، وذلك وفقاً لمعادلة التفاعل التالية :

$$2FeS + 3O_2 + SiO_2 \rightarrow 2Fe\,O.\,SiO_2 + 2SO_2$$

(ب) تكوين النحاس المبثر : ويتم حسب معادلة التفاعل التالية :

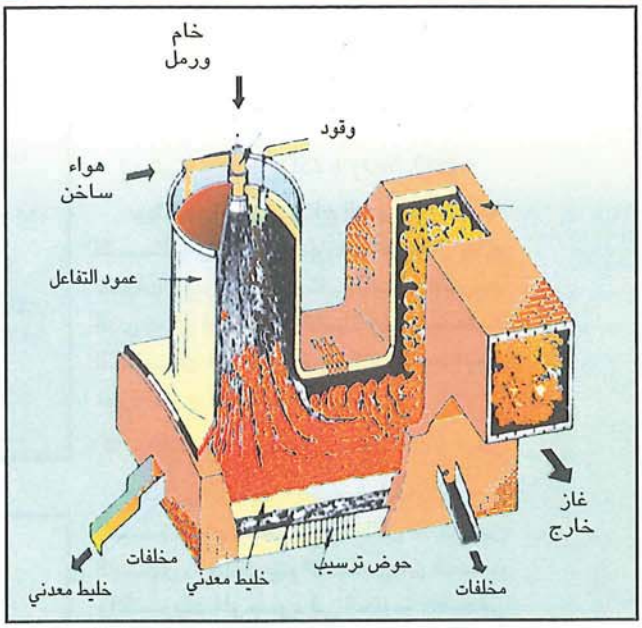
$$Cu_2S + O_2 \rightarrow 2Cu + SO_2$$

وكما هو واضح فإن غاز ثاني أكسيد الكبريت هو ناتج جانبي لهذه العملية ، ويكون تركيزه أكثر من ٥٪ لذلك يمكن التخلص منه مباشرة على شكل حامض كبريت .

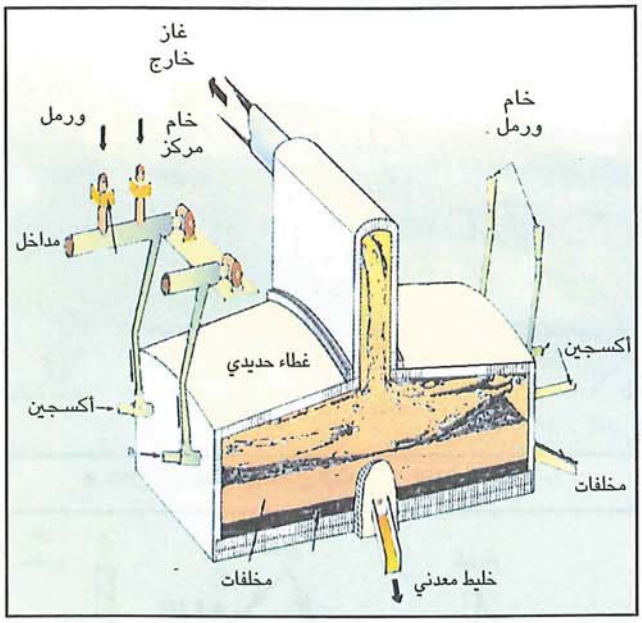
تعد جميع الخطوات الثلاث أعلاه ـ التحميض والصهر والتحويل ـ عمليات أكسدة يمكن التحكم فيها ، وناتجها النهائي هو FeO ، SO2 وفلز النحاس كما هو الحال في الفرن الوميضي ، وعليه يمكن استخدام الفرن الوميضي لإنتاج النحاس المبثر في خطوة واحدة توفيراً للجهد المبذول في الخطوات المتلاحقة وكذلك الطاقة .

تنقية النحاس

يمكن القول بأن كل النحاس المبثر المنتج بواسطة الطرق أعلاه ينقى بالتحليل



● شكل (٦أ) الفرن الوميضي (أوتوكمبو).



● شكل (٦ب) الفرن الوميضي (أنكو).

الكهربي ليعطي نحاساً بنقاوة ٩٩,٩٩٪ . وتتم تلك العملية باستخدام محلول كبريتات النحاس (٥٠كجم لكل متر مكعب) في محلول الحامض المائي (٢٠٠كجم لكل متر مكعب) ، وبجهد كهربائي قدره ٠,٢ـ٠,٢٥ فولت ، وتيار كهربائي بكثافة ١٢٠٠ أمبير لكل متر مربع من المهبط (Cathode) .

ويعد النحاس الناتج من هذه العلمية أنقى الأنواع التجارية له ، وقد يعالج بطريقة خاصة للتخلص من الأكسجين الذائب فيه ويصبح بذلك أكثر ليونة وأسهل للتشكيل.

استخلاص النحاس من الخامات الأكسيدية

بالرغم من أن النحاس يوجد كخام في شكل كبريتيد ، لكنه يتواجد أيضاً على شكل مركبات اكسجينية ، كالكربونات ، والسلفات والسيليكات خاصة في أفريقيا.

ويمكن استخلاص النحاس من الأكسيد بواسطة تفاعله مع حامض الكبريت ومن ثم ترسيبه بواسطة نفايات الحديد ، شكل (٧) .

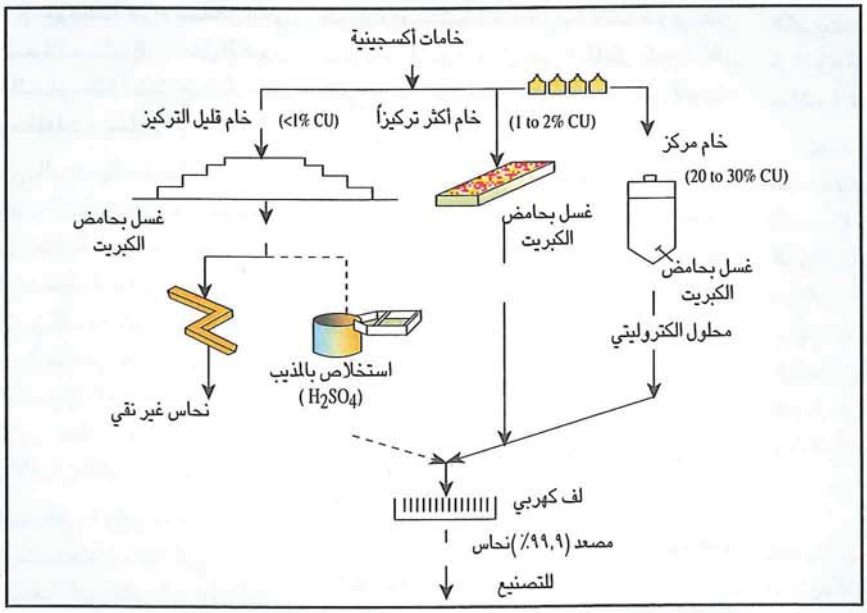
تكلفة الاستخلاص

تتفاوت تكلفة الاستخلاص لفلز النحاس بين مصنع وآخر وذلك إما بسبب نوعية الخام ، أو حجم العمليات أو طرق التعدين. فمثلاً تبلغ تكاليف إنتاج النحاس من منجم تحت الأرض ضعف تكاليف إنتاج النحاس من منجم مفتوح ، إلا أن من مزايا المناجم العميقة تحت الأرض إحتوائها على خامات أكثر تركيزاً من النحاس مما يجعل المقارنة صعبة.

وتكون المناجم ذات جدوى اقتصادية بأي حجم إعتماداً على نوعية الخام . أما أدنى حد أقتصادياً مجدي لعملية التركيز فهو ألف طن في اليوم . وفي هذه الحالة لابد أن تتراوح إنتاجية المصنع من النحاس المنقى بين ٢٥٠ـ٥٠٠طن يومياً.

مشكلة الكبريت

بما أن ٨٠٪ من النحاس العالمي يأتي من خام الكبريتيد ، فإن الكبريت يشكل ناتجاً جانبياً لأغلب الطرق المستخدمة في استخلاص النحاس ، وبسبب انبعاث ثاني أكسيد الكبريت من المصانع المنتجة لفلز النحاس فانه يشكل



● شكل (٧) مخطط إستخلاص النحاس من الخامات الأكسجينية.

السبيكة	المكونات	الإستخدامات
النحاس المطاوع	٩٩,٣٪ نحاس + فضة.	الأسلاك الكهربائية، المسامير، المفاتيح الكهربائية، مواسير لتبادل الحراري للمياه، الألواح، الآت تبريد المياه في العربات.
النحاس المطاوع	٩٩,٣٪ نحاس + فضة + فوسفور.	مواسير التبادل الحراري للمياه، الألواح.
كادميوم نحاس	٩٦٪ نحاس، ٠,٧-١٢٪ كادميوم، فضة، حديد.	أسلاك البكرات المتحركة، الوسائد والأغطية الحرارية، خطوط الموصلات الكهربائية.
بريليوم نحاس	٩٦٪ نحاس، ١,٨-٢٪ بريليوم، نيكل + كوبلت + حديد + فضة.	المفاتيح الكهربائية، أدوات التوصيل الكهربائية، الأغشية النحاسية.
الصُفْر الأبيض المطاوع	٩٤-٩٦٪ نحاس + ٦-٤٪ خارصين.	العملات المعدنية، الميداليات، أدوات أعمال النحت، المجوهرات.
الصُفْر الأحمر المطاوع	٨٤-٨٦٪ نحاس، ١٦+-١٤٪ خارصين.	التوصيلات الكهربائية والمكثفات، أنابيب التبادل الحراري، العملات المعدنية، المجوهرات، الخراطيم المرنه.
الصُفْر الأصفر المطاوع	٦٤-٦٨,٥٪ نحاس، ٣٦+-٣١,٥٪ خارصين.	أنابيب تبريد محركات السيارات، الصهاريج، اللوالب، العواكس.
برونز الفسفور	٨٩٪ نحاس ٩-١١٪ قصدير، ٠,٠٣ - ٠,٣٥٪ فوسفور	أعمدة الكباري و الجسور، الأنابيب، التوصيلات الكهربائية، الفرش النحاسية، النوابض.
برونز الألمنيوم	٨٨٪ نحاس، ٦-٨٪ المنيوم، ١,٥-٣,٥٪ حديد.	أنابيب اللحام وأنابيب التبادل الحراري، الأنابيب المقاومة للأحماض والمعدات المقاومة للتآكل، صناديق المياه.
برونز السيليكون	٩٤٪ نحاس، ١,٢-١٩٪ قصدير، ٢,٧-٣,٤ سيليكون.	التوصيلات الكهربائية، النوابض.
نحاس/نيكل		المبخرات، المكثفات، أنابيب التقطير، أنابيب ومعدات المياه المالحة.

● جدول (١) مكونات وإستخدامات بعض سبائك النحاس

مصدر تلوث للنبات والحيوان إذا بقي في الطبقة الجوية ولو لمدة قصيرة.

ولمعرفة حجم المشكلة، فإن إنتاج طن نحاس واحد من الخام المركز ($CuFeS_2$) يفرز طناً من الكبريت أو طنَّين من ثاني أكسيد الكبريت.

ومن الممارسات الماضية - وربما حتى الآن - بث هذا الأكسيد في الجو مباشرة، إلا أن هذه الممارسات قد منعت في كثير من بلدان العالم. فبالامكان تحويل هذا الأكسيد إلى عنصر الكبريت أو حامض الكبريت أو كسماد كبريت. وعليه فإن هناك اتجاهاً قوياً لاعتماد طريقة الأفران الكهربائية لما لها من مزايا في التحكم في درجة الحرارة - وبالتالي التحكم في في التفاعل - مع البحث عن طرق لإنتاج النحاس يكون من نواتجها الكبريت بدلاً من ثاني أكسيد الكبريت الذي يعمل على تلوث الجو.

سبائك النحاس

عرفت سبائك النحاس منذ أن انتقل الإنسان من العصر الحجري إلى البرونزي، بعدها جرت عدة محاولات لفصل وتنقية الفلزات من السبائك المكونة منها، تلا ذلك محاولات لتحسين الصفات الفيزيائية لبعض الفلزات بغية تكوين سبائك لاغراض صناعية معينة تختلف باختلاف مكونات تلك السبائك.

ولم يكن من الممكن اغفال أهمية النحاس في صناعة العديد من السبائك حتى أن البرونز المعروف منذ أمد بعيد طرأت عليه تحسينات عديدة لإنتاج العديد من أنواعه لتخدم أغراض مختلفة. ولذلك نجد العديد من سبائك النحاس التي تستخدم لأغراض صناعية شتى مثل المحولات، الآلات الكهربائية ومواسير التبادل الحراري والعملات المعدنية وغيرها، ويوضح الجدول (١) مكونات واستخدامات بعض سبائك النحاس.

الصناعة	النسبة ٪
الصناعات الكهربائية والإلكترونية	٥١
الماكينات والمعدات الصناعية	١٥
المباني والإنشاءات	١٣
المواصلات	١٣
صناعات أخرى (كيميائية وغيرها)	٨

● جدول (٢) الاستخدامات الصناعية للنحاس في العالم الغربي.

مركبات النحاس

رغم الأهمية الصناعية للنحاس في العديد من الأغراض الحياتية، جدول (٢)، إلا أنه لايمكن إهماله في الصناعات الكيميائية حيث تستخدم مركباته كأسمدة ومبيدات ومضافات غذائية وغيرها. ومن أهم مركبات النحاس الأكاسيد والهيدروكسيد، وأملاح الكلوريدات والأكسوكلوريدات والمعقدات، ويوضح جدول (٣) بعض تلك المركبات وأهميتها الصناعية.

المركب	الصيغة الكيميائية	الاستخدامات
أحادي أكسيد النحاس	Cu_2O	دهانات السفن، مبيد فطري، تكوين الخزف والزجاج، مادة امتصاص لأول أكسيد الكربون.
ثنائي أكسيد النحاس	CuO	صناعة أملاح النحاس، المضافات الغذائية، تلوين الخزف والزجاج، محفز.
هيدروكسيد النحاس	$Cu(OH)_2$	صناعة مركبات النحاس، مبيد فطري، مضافات غذائية، محفزا، لأصباغ.
أحادي كلوريد النحاس	$CuCl$	محفز، صناعة مركبات النحاس، مسحوق النحاس.
ثنائي كلوريد النحاس	$CuCl_2$	محفز، تحلية البترول، الأصباغ، صناعة النسيج
أوكس كلوريد النحاس	$Cu_2Cl(OH)_3$	مبيد فطري، الأصباغ.
كبريتات النحاس	$CuSO_4.5H_2O$	الأسمدة، مبيدات، المناجم، الطلاء الكهربائي.

● جدول (٣) اهم مركبات النحاس واستخداماتها