





الباب الأول
انتاج الحديد الزهر

تتقسم سبائك الحديد والكربون حسب نسبة الكربون فيها، إلى صلب وزهر، فالسبائك التي تحتوي علي كربون بنسبة لا تزيد عن 2% تعد صلبا، أما التي تحتوي علي كربون بنسبة أكثر من ذلك فتعتبر من الحديد الزهر. وفي الواقع فإن نسبة الكربون في أنواع الزهر المصهور عنليا تتراوح بين 2,5 – 4,5% ويستخلص الحديد الزهر في الأفران العالية (ويسمي عند صبة منها بتماسيح الحديد)، أما الصلب فيحصل عليه بالتحويل من الزهر .

والجزء الأكبر من الزهر المستخلص في الأفران العالية يستعمل لإنتاج الصلب . كما أن جزءا من هذا الزهر يستعمل لإنتاج المسبوكات الزهر .

1- المواد الأولية لاستخلاص الحديد الزهر بالأفران العالية :

هذه المواد هي خام الحديد والوقود والفلكس .

** خامات الحديد :

هي خامات طبيعية تحتوي علي مختلف أنواع الأكاسيد الحديدية وما يعرف بأسم المادة العاطلة وهذه المادة العاطلة تتكون عادة من السليكا (SiO_2) والإلومينا (Al_2O_3) وأكسيد المغنسيوم (MgO) وتتحدد صلاحية خام الحديد للإستخلاص بنسبة الحديد فيه وبتكوين المادة العاطلة، وبوجود عناصر ضارة مختلطة به ومن هذه العناصر .."الكبريت -والفسفور -والزرنيخ وغيرها .

و من خامات الحديد الصناعي :-

خام الحديد المغنطيسي :

وهو يحتوي علي الحديد في شكل أكسيد الحديد المغنطيسي ($Fe_3 O_4$) ونسبة الحديد في هذا الخام تتراوح عادة بين 45 – 70 % والخام ذو خواص مغناطيسية، شديد الكثافة، أسود اللون، ويوجد هذا الخام في الوراال وسيبيريا ومقاطعة كورسيك .

خام الهاتيت الأحمر :

وهو عبارة عن أكسيد الحديد غير مائي ($Fe_2 O_3$) وتتراوح نسبة الحديد في هذا الخام من 50 – 60% ولونة أحمر داكن . وإختزاله أسهل بكثير من خام الحديد المغناطيسي . ويتواجد هذا الخام في حوض كريفوي .

خام الليمونيت (الهمايتيت البني) :

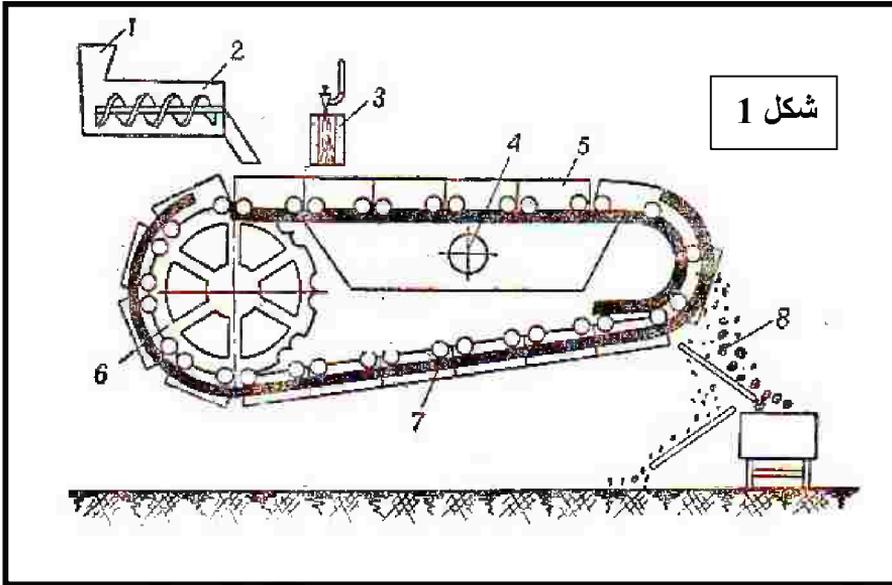
وهو عبارة عن أكسيد الحديد المائي ($2Fe_2O_3.3H_2O$) ونسبة الحديد فيه من 20 – 60% ولونة بني ذو صبغات مختلفة . وهو سهل الإختزال مما يجعل إستخلاص الحديد الزهر إقتصاديا حتي الأنواع غير الغنية منة ويوجد في جبال الاورال وحوض ضواحي موسكو .

خام كربونات الحديد (السبار) :

وهو عبارة عن كربونات الحديد (Fe_2CO_3) وتتراوح نسبة الحديد فية عمليا من 30 – 42% ولونة رمادي مصفر . وخام السبار سهل الإختزال .

- تحضير وتركيز الخام:

إن عمليات تحضير الخام وتركيزه التكمسية الفرز و التجميص والغسيل والتركيذ الكهرومغناطيسي والتلبيد، ويتوقف سير عملية الإستخلاص في الفرن العالى وإستهلاك الوقود وجودة الزهر المستخلص على حسن تحضير الخام، ويتم التكمسير في كسارات مخروطية أو وجهية ويفرز الخام المكسر على هزازات أو غربايل تفصل الأحجار الكبيرة عن الصغيرة، وهذه الأخيرة فيما بعد يجري تلبيدها أي تجميعها وتسويتها إلى أحجار كبيرة.



الشكل رقم 1- رسم لتركيب ماكينة تلبيد الخام

1- صندوق 2- الخلاط 3- مشعل 4- غرفة التخلخل 5- عربة

6- ترس محرك 7- قضيب 8- غربال هزاز 0

وتفرز الأحجار الكبيرة حجم 30 - 100مم الناتجة الي درجات وترسل للصهر . ولجعل الخام مساميا وسهل الإختزال وخاليا من الشوائب الضارة يجري تحميص الخام . ويفسل الخام بالماء إذا كان يحتوي علي نسبة كبيرة من الطين والرمل والطفل .. إلخ فعند الغسيل يحمل تيار قوي من الماء هذه المادة العاطلة بعيدا عن الخام ويركز الخام إذا كان ذا خواص مغناطيسية في مجاهز خاصة تقوم فيها مغناطيسيا كهربائية بالتقاط أجزاء الخام وتلقي المادة العاطلة غير المغناطيسية بعيدا ، أما الأحجار الصغيرة وغبار الخام المتطاير الراجع من قمة الفرن العالي فتلبد للحصول علي أحجار كبيرة . وماكينة التليدي الشكل السابق (رقم 1) عبارة عن جنزير حامل مجموعة من العربات الصغيرة تتحرك في دورة مغلقة وهي تحمل علي القضبان الموجودة علي هذه العربات طبقة يصل سمكها إلي 250مم من خلطة مبللة من الخام والوقود المفتت ويشعل الوقود بواسطة مشعل ويسحب تيار الهواء من أعلي لأسفل وتتولد عند اشعال الوقود درجة حرارة 1200 – 1300 °م ويتم معها تسوية أجزاء الخام الصغيرة إلي أجزاء كبيرة مسامية تصلح لعملية الصهر في الأفران العالية. وقد بدئ في الوقت الحاضر في تلييد ختليط من الخام والوقود والفلكس (الأساسي) للحصول علي مركب مختلط بالفلكس، وترفع هذه الطريقة كثيرا من إنتاجية الأفران العالية وتقلل إستهلاك الوقود عند صهر الحديد الزهر.

الوقود :

الوقود هو مادة عضوية تتكون من جزء قابل للإشتعال وجزء غير قابل للإشتعال (ويسمي بالجزء العاطل) والأجزاء القابلة للإشتعال هي الكربون والهيدروجين أما الجزء العاطلة فهي

الرطوبة والرماد والكبريت، والكبريت وإن كانت تتولد عند اشتعال حرارة، إلا أنه يعتبر مادة غير مرغوب فيها لأنه يسئ خواص المعدن عند اختلاطه به. ويجب علي وقود الأفران العالية أن يكون ذا حجم محدد ومتانة كافية، ومقاومة جيدة للإنسحاق. كما يجب ألا ينشق عند درجات الحرارة العالية وأن يحتوي علي أقل كمية من الشوائب الضارة التي يمكن أن تختلط بالمعدن، وأن تتكون عند أحراقه أقل كمية من الرماد، وأن يكون ذا قدرة كبيرة علي توليد الحرارة وثمن رخيص، ويستعمل أساسا في الأفران العالية كوقود فحم الكوك ونادرا الفحم الخشبي.

فحم الكوك:

هو أهم أنواع الوقود المستعملة للصهر بالأفران العالية ويحصل علي الكوك بالتقطير الإتلافي للفحم الحجري، ويجتري انتاج الكوك في أفران خاصة عند درجة حرارة 1000 – 1100 م°، والكوك الجيد لونه رمادي فضي فاتح وهو غير ملوث للأيدي، مسامي بشكل واضح وعلي سطحه شقوق، ويحتوي علي 85 – 87% كربون و1,5 – 2,0% كبريت 5 – 9% ماء و10 – 13% رماد والقيمة الحرارية للكوك 7000 – 8000 كيلوكالوري /كجم وتبلغ مقاوته للإنسحاق 140 كجم /سم²، فتتميز أنواع الكوك الجيد بنسبة ضئيلة من الرماد والرطوبة وبنسبة نوعية صغيرة من الكبريت في تركيبها ومن مزايا إرتفاع قيمته الحرارية ومساميته ومقاومته العالية للإنسحاق والتشم وخص ثمنه، ويستعمل الكوك في الأفران العالية علي شكل قطع يبلغ حجمها من 30 - 80 مم.

الفحم الخشبي :

ويحصل عليه بتقطير الخشب في أفران خاصة ، والفحم الخشبي الجيد لونه أسود لامع ويتركب من 80 – 90% C ، 10- 12% (H+O+N) ورماد من 0,6 إلى 1% وقيمة الحرارية 65000 - 8000 كيلو كالوري / كيلو جرام 0 والمزايا الأساسية لهذا الفحم (الفحم الخشبي) هي عدم وجود الكبريت وإنخفاض نسبة الرماد أما عيوبه فهي إنخفاض متانتة (نحة 20 كج / سم²) وإرتفاع ثمنة ، ويستعمل الفحم الخشبي عند صهر الأنواع الجيدة من الحديد الزهر فقط

الفلكس :

هو مادة معدنية توضع في الفرن العالي فتتحد مع المادة العاطلة لل خام ورماد الوقود مكونة خبثا سهل الإنصهار ، وعند وجود الشوائب الرملية أو الطينية في الخام يستعمل الحجر الجيري كفلكس أما اذا كانت المادة العاطلة جيرية التكوين فتستعمل بمثابة فلكس مواد تحتوي علي السليكا والكوارتز والحجر الرملي والكوارتزيت ، ويكسر الفلكس قبل الصهر إلي قطع حجمها من 30 - 80 مم .

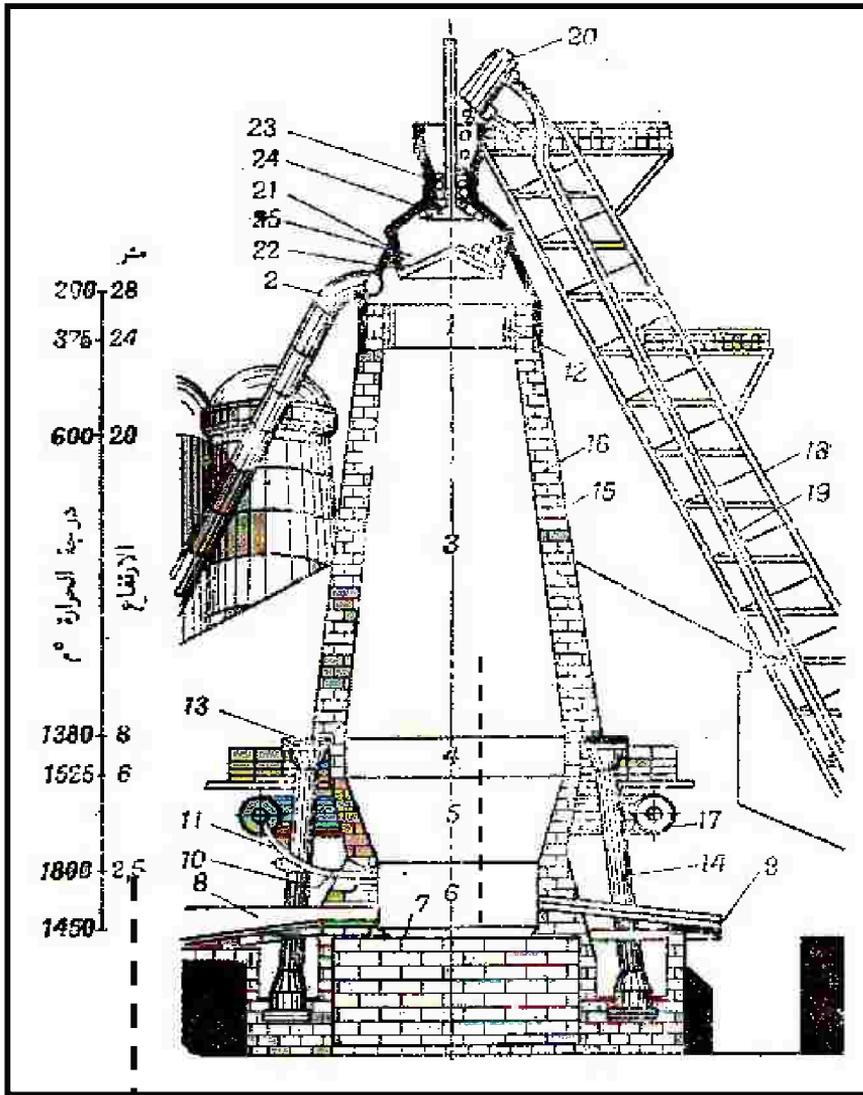
3- الفرن العالي وتركيبه :

الفرن العالي هو عبارة عن جهاز مركب جبار ، متواصل العمل ، وتصل إنتاجيته الي 2000 طن من الحديد الزهر في اليوم (24 ساعة) ولقد وضع العلماء تصاميم للأفران العالية الحديثة وعلي رأسهم العالم الروسي م.أ. بافلوف . وفي الشكل التالي 3 مقاطع

تبين التركيب الداخلي لفرن عالي حديث، والجزء العلوي (1) من الفرن يسمى القمة، وبالقمة جهاز ناثر لإنزال الشحنة ومواسير (2) لخروج الغازات (تخرج منها) غازات الفرن العالي ويؤول هذا الجزء إلى مخروطي (3) ويسمى بالقصبة أما أكثر أجزاء الفرن إتساعا (4) فيسمى بمنطقة الإنصهار وتقع تحتة الأكتاف (5) ويليه الكور (6) وهو ذو شكل أسطواني ويسمى قاع الكور (7) القعر، وعلي مستوي القعر توجد قناة صب الزهر (8) وتستخدم لخروج الحديد المنصهر وأعلي منها بقليل قناة (9) لخروج الخبث المنصهر وفي الجزء العلوي من الكور توجد علي محيطه من 12 إلى 18 فتحة مركب بها أجهزة (10) انفخ الهواء (تويير) وبطانة الفرن (16) مصنوعة من الطوب الحراري الشاموت وتركيبه بالتقريب 50-
SiO₂ %65 ، Al₂O₃ %42 -35 ، Fe₂O₃ %3 - 1,5 وتراوح مقاومة للحرارة بين 1580 - 1730°م والفرن مغطي بغلاف (15) ملحوم أو مبرشم من ألواح الصلب (الصاج) وتوضع في بطانة الكور القرميدية والأكتاف مواسير (مردات) يجري فيها الماء بإستمرار ويرسل تيار من الهواء الساخن في أنبوبة الهواء (17) فيسير في الأكواع المثنية (11) حتي يصل إلي فتحات دخول الهواء (التويير) ويصل الإرتفاع النافع (منطقة التشعيل) للفرن العالي الذي يعمل بالفحم الخشبي إلي 20 مترا والأرتفاع النافع للفرن هو المسافة من قعر الفرن حتي مستويإنزال الشحنة، ويسخن الهواء الذي يدخل إلي الفرن العالي خلال فتحات الهواء (التويير) في مسخنات للهواء عبارة عن أبراج (1) (شكل3) مبطن بالطوب الحراري ومغطاة من الخارج بغلاف (2) من الصلب وتوجد داخل البرج غرفة الإحتراق 3 وقلب من الطوب (4) بة عدد من القنوات ويمر خليط من غاز الفرن

العالي والهواء الي المسخن خلال الماسورة (5) ويشعل هذا الخليط في غرفة الإحتراق وتخرج نواتج الإحتراق إلي القبة (6) ومنها تسير خلال قنوات القلب وتخرج من المدخنة إلي الجو 0 وبعد تسخين القلب (2 - 3 ساعات)توقف تغذية الخليط وتقف المدخنة ويدفع في البرج خلال ماسورة (8) هواء بارد فيسخن عند مروره في القلب الي درجة 800°م ويسير في الأنبوبة (9) إلي مواسير الهواء الساخن المتصلة بالماسورة الحلقية للفرن العالي وتستمر التغذية بالهواء الساخن لمدة ساعة تقريبا .

وتقوم بتغذية الفرن من 3 - 5 مستتات للهواء تعمل علي التوالي فيما بينها ، أحدهما (يغذي) الفرن بالهواء الساخن والأثنان الباقيتين في فترة التسخين بالغاز . ويشغل الفرن العالي الحديث في الفترة 24 ساعة كمية ضخمة من المواد الخام ولهذا فجميع العمليات الخاصة بتجهيز الخامات وشحنها تتم ميكانيكيا كما أنها مزودة الي حد كبير بوسائل الإدارة الاوتوماتيكية ، ولكي يسير العمل في الفرن سيرا طبيعيا يجب أن تحسب مقدما نسب الخام ولوقود والفلكس المجهزة ويسمي خليط الخام والوقود والفلكس بالنسب المحسوبة مقدما (بالشحنة) وتنزيل الشحنة في صناديق للأستقبال توجد بجانب ومنها تنزل إلي عربات - ميزان تحملها بعد الوزن علي عربات صغيرة خاصة (أسكيب) ترفع مع ما تحملة من خام إلي أعلي الفرن بواسطة رافعة مائلي أنظر شكل(1)

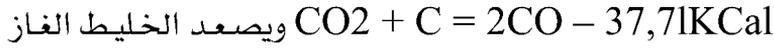


- 1- قبة الفرن، 2- ماسورة خروج الغاز، 3- القصبة، 4- منطقة
- الصهر، 5- الأكتاف، 6- الكور، 7- القعر، 8- قناة صب الزهر،
- قناه الخيث، 10- التويير (فتحات الهواء) 11- كوع الهواء، 12- حلقات،
- 13- حلقة السند، 14- مسند، 15- الغلاف الخارجي، 16- البطانة
- 17- أنبوية الهواء، 18- رافعة عربات الشحن، 19- قضيب،
- 20- عربة شحن، 21- القمع الكبير، 22- المخروط الكبير،
- 23- القمع الصغير، 24- المخروط الصغير، 25- مواد الشحن

ويتكون جهاز النثر (شكل 1) المركب بأعلي الفرن العالي من مخروط كبير 22 ومخروط صغير 24 وقمعين 21 و 23 وتشحن مواد الشحنة من العربة 20 (الأسكيب) في القمع الصغير 23 وعندما يكون المخروط الصغير 24 مغلقا وعند أنزال المخروط الصغير الصغير تتساب المواد إلى القمع الكبير 21 وبعد هذا الأخير ينزل مخروطة 22 فتتزل الشحنة إلى الفرن وفي هذا الوقت يكون المخروط الصغير مرفوعا ومغلقا وبهذا يمنع خروج غازات الفرن إلى الجو، وبهذه الطريقة يضمن احكام الفرن أثناء عملية الشحن ونظام الشحن كلة في الأفران العالية الحديثة أوتوماتيكي تماما .

3- عملية الاستخلاص بالفرن العالي :

يوجد في الفرن العالي عند عملية تياران متواصلان متضمان الإتجاه فمن أعلي إلى أسفل ينزل الخام وفحم الكوك والفلكس الداخلة إلى الفرن ومن أسفل إلى أعلي تصعد نواتج احتراق الكوك والهواء الساخن، ويسخن الكوك عند نزول ة بواسطة الغازات الساخنة الصاعدة، وعند تلامسة بالهتواء المدفوع في الجزء الأسفل من الفرن يحترق حسب التفاعل : $C+O_2 = CO_2+$ $97,65 \text{ Kcal}$ وعند إحتراق الكوك ترتفع درجة الحرارة إلى $1600 - 1750^\circ \text{م}$ ويتفاعل ثاني أكسيد الكربون المتكون مع الطبقات الجديدة من الكوك المتوهج فيختزل إلى أول أكسيد الكربون حسب التفاعل :



المتوهج الذي يتكون من أول أكسيد الكربون وحامض الكربونيك وأزوت الهواء إلى أعلى فيتلامس مع مواد الشحنة ويسخنها بإسمرار مما يخلق في أجزاء الفرن المختلفة مناطق حرارية مختلفة، فعند القمة والجزء الأعلى من القصبية يجف الخام النازل وتظهر بة شقوق وفي الجزء الأوسط من القصبية وما تحتها عند درجة حرارة 400 – 900° م يتفاعل أول أكسيد الكربون مع الخام فيختزلة تدريجيا حسب التفاعلات الآتية :

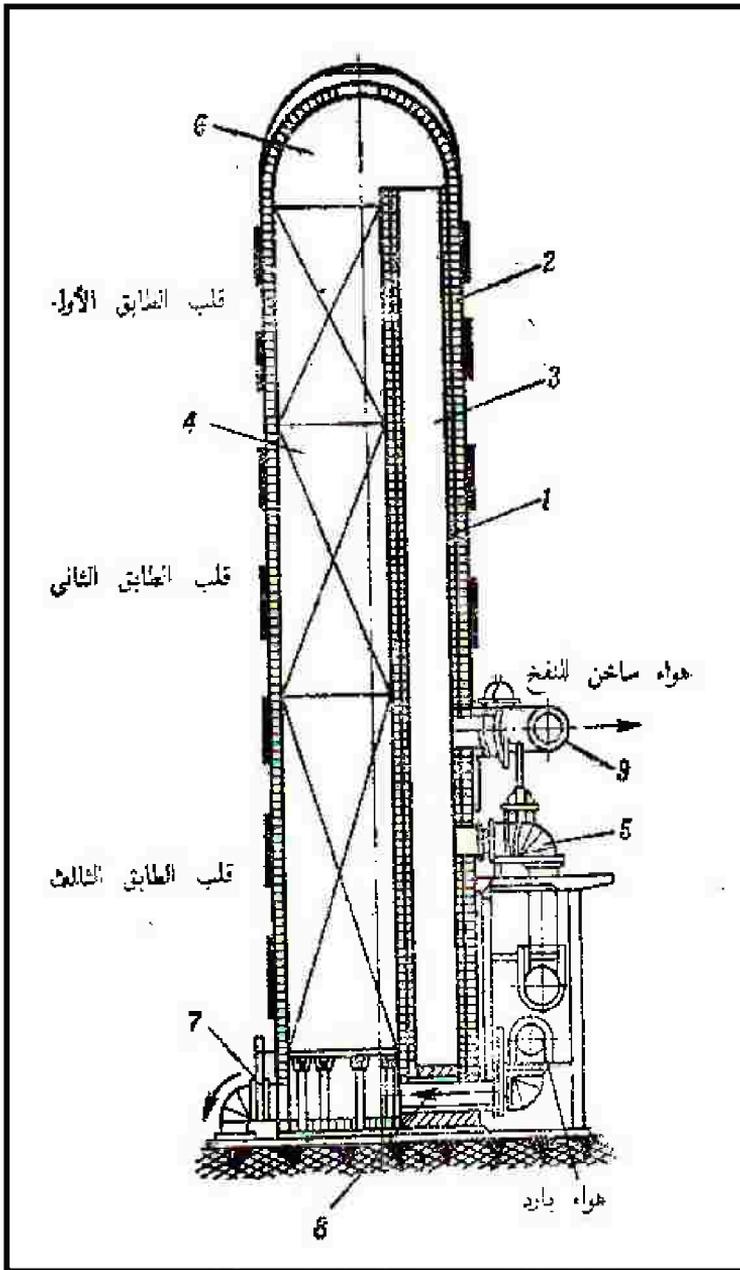


ومن العوامل المختزلة أيضا لخام الحديد اكاربون الصلب الذي يتكون نتيجة لتفكك CO حسب المعادلة $2\text{CO} = \text{C} + \text{CO}_2$ ويتم اختزال الخام بواسطة الكربون حسب التفاعل الآتي :



وتبدأ القطع الكبيرة من الحديد المختزل في الإنصهار فتكون كتلا من الحديد المسامي وفي منطقة الأكتاف عند درجة حرارة من 1100 إلى 1200° م تقريبا يختزل المنجنيز والسليكون والفسفور ثم تذوب هذه الشوائب في الحديد ويتم تشبع الحديد بالكربون عند تكوين كربيد الحديد حسب المعادلة التالية : $3\text{Fe} + 2\text{CO} = \text{Fe}_3\text{C} + \text{CO}_2$.

ويذوب كربيد الحديد المتكون وكذلك الكربون الصلب في الحديد المسامي الذي يتحول نظرا لهذا التشبع الي زهر، وتذوب في الحديد كذلك المركبات الكبريتية بالخام والكوك، ويسمي الحديد المذاب بة كربون وسليكون، ومنجنيز وفوسفور وكبريت بالزهر، وتظهر في منطقة الأكتاف فطرات من الزهر المنصهور تتساب تدريجيا إلي الكور، وكما بينا سابقا فهناك مادة عاطلة بالخام وهذه المادة العاطلة صعبة الإنصهار جدا، ولخفض درجة إنصهارها يضاف الي الشحنة الحجر الجيري، ويكون الحجر الجيري بتفاعلة مع المادة العاطلة (أو بأنصهاره معها) الخبث .



مسخن الهواء (شكل 2)

يزوب في الخبث جزء من المواد الضارة (الكبريتية والفسفورية) والرماد، ويسمي الخبث الذي يحتوي علي نسبة كبيرة من ثاني أكسيد السليكون SiO_2 حمضيا، عند إرتفاع نسبة أكسيد الكالسيوم CaO في الخبث فيسمى قاعديا، وكلما كان الخبث أكثر قاعديا كلما ساعد أكثر علي تخلص الحديد الزهر من الكبريت، وينساب الخبث علي شكل قطرات كالحديد إلي أسفل الفرن العاللي، ولما كان الون النوعي للخبث أقل من الون النوعي للحديد الزهر، فإن الخبث المصهور يطفو فوق الحديد الزهر المصهور، ويخرج الحديد الزهر من الفن العاللي من القناة السفلي المسماة بقناة الحديد الزهر 8 (شكل "1") أما الخبث فيخرج خلال الفتحة العليا المسماة بقناة الخبث 9 .

ويجمع الخبث مرة كل ساعة تقريبا، ويحمل الخبث المجمع في حملات الخبث الي مكان تحويلة التالي، أما الحديد فيجري إستخراجة 6 مرات تقريبا كل 24 ساعة ولإستخراج الحديد يوقف تيار الهواء وتثقب سداة قناة الحديد الزهر، فينسب الحديد الزهر المصهور في الميازيب إلي بواق كبيرة مبطنة (مأخذ المعادن) نسمي كذلك بالخلاط، ويحمل فيها إلي مكان إستعمالة، ويذهب جزء كبير من الحديد الزهر في حالة السائلة إلي ورشة صهر الصلب، أما الجزء الباقي فيسبك في متكينات السأبك للحصول علي حديد التماسيح .

وأهم دليل فنى اقتصادى على كفاءة عمل الفرن العاللي هو معامل استغلال سعته النافعة K و هو نسبة السعة النافعة للفرن V

بالامتار المكعبة الى انتاجه فى فترة 24 ساعة بالطن T . و المعامل K
يساوى :

$$m^3/t \ K = \frac{V}{T}$$

فكلما قل K كلما زاد مقدار الحديد الزهر المستخلص بكل
متر مكعب من حجم الفرن، و بالتالى فكلما قل K كلما زادت انتاجية
الفرن . و باستعمال الطرق المتقدمة التى يطبقها خبراء الافران العالية
السوفيتية يمكن الوصول الى قيمة متوسطة للمعامل K بنحو 0.65
ويقوم الصناع المجددون فى الانتاج بتطبيق الاجراءات التالية للحصول
على افضل استغلال للسعة النافعة للفرن :

- 1- شحن الفرن بخام وكوك مجهزة بالاحجام المناسبة .
 - 2- الاحتفاظ بدرجة حرارة عالية و ثابتة بالافران .
 - 3- استخدام اجهزة المراقبة و القياس الاوتوماتيكية لتسجيل دلائل
سير العمل فى الفرن . كما يوجه المجددون عناية خاصة لمكنة
العمليات التى تطلب جهدا كبيرا للتحكم فى الافران العالية .
- و قد بدىء فى السنوات الاخيرة فى دفع هواء غنى بالاكسجين
الى الفرن و ذلك مما يزيد من انتاجية الافران العالية . و لتزويد العمليات
المتالوجية بالكمية اللازمة من الاكسجين فقد عكف الخبراء فى
الوقت الحاضر على تجهيز تركيبات لتحضير الاكسجين تنتج من
10000 – 30000 م³ / ساعة .

4- نواتج الفرن العالى :

من نواتج الفرن العالى - الحديد الزهر و الخبث و غاز الفرن العالى . و الحديد الزهر هو الناتج الاساسى لعملية الصهر فى الفرن العالى ، و ينقسم الحديد الزهر للفرن العالى حسب تركيبه الكيمايى و استعماله الى حديد زهر للسباكة و حديد زهر للتحويل و حديد زهر خاص . كما ينقسم حسب نوع الوقود المستعمل الى حديد زهر الكوك و حديد زهر الفحم الخشبى .

1) حديد زهر السباكة يستعمل للحصول على مسبوكات زهر فى ورش سباكة الزهر . و يتراوح تركيب زهر السباكة المنتج فى الافران العالية فى الحدود التالية :

سليكون 1.25 - 4.25 % ، منجنيز 0.5 - 1.3 % ، فوسفور الى 0.3 % ، كبريت الى 0.7 % و ترقم انواع زهر السباكة بالارقام JIK-00 ، JIK-0 ، JIK-1 ، JIK-2 ، JIK-3 ، JIK- . وفى هذا الترقيم كلما زاد الرقم الموجود فى الترقيم كلما كانت نسبة السليكون اقل ، فنسبة السليكون فى JIK-00 مثلا من 3.76 - 4.25 % و فى الزهر JIK-4 نسبة السليكون 1.25 - 1.7 % .

2) حديد زهر التحويل و هو الزهر الذى يحول الى صلب و يسمى هذا حديد الزهر الابيض حسب طريقة التحويل اما بحديد زهر مارتن (م) او حديد زهر باسمر (ب) او حديد زهر توماس (ت) .

و الجدول التالى (1) يبين التركيب التقريبى لانواع الحديد الزهر للتحويل ومنه نرى ان بهذه الانواع نسبة صغيرة من السليكون و نسبة كبيرة من المنجنيز ، وعلى الاخص فى حديد زهر مارتن ، و يوجد الكربون فى هذه الانواع فى حالة متحدة مع الحديد ولهذا فهو ذات ميكسر ابيض وكثيرا ما يسمى بالحديد الزهر الابيض .

3) احديد الزهر الذى يحتوى على نسبة كبيرة من السيليكون او المنجنيز و المسمى بالسبائك الحديد و تستعمل سبائك الحديد كاضافات خاصة عند انتاج الصلب و كذلك عند انتاج المسبوكات من الزهر . و فى جدول (1) ترد تركيبات انواع زهر التحويل و زهر السبائك و الانواع الخاصة من التحويل .
شبائك الحديد المستخلصة فى الافران العالية .
جدول رقم 1

تركيب حديد الزهر التحويل وسبائك الحديد المنتجة فى الافران العالية				
الكبريت	الفوسفور	المنجنيز	السيليكون	أنواع الحديد
حتى 0.07	حتى 0.3	1.5 - 3.5	0.3 - 0.5	حديد تحويل (م)
حتى 0.06	حتى 0.07	0.6 - 1.5	0.9 - 2	حديد تحويل (ب)
حتى 0.8	حتى 1.6 - 2	0.8 - 1.3	0.2 - 0.6	حديد تحويل (ت)
0.04	0.2	3	9 - 13	حديد سباكة الحديد: حديد - سيليكون (فروسيليكون)
0.03	0.35 - 0.45	70 - 75	2	حديد - منجنيز (كرومنجنيز)

4) خبث حديد الافران و يستعمل لانتاج طوب الخبث و كتل الخبث و الاسمنت الخبثى كما يحصل من الخبث الحامض على صوف الخبث الذى يستعمل عازل حرارى لرداءة توصيله للحرارة .

5) غاز الفرن العالى و يستعمل بعد تخليصه من الغبار كوقود لمسخنات الهواء و الغلايات و غيرها من التركيبات الصناعية و النسب المتوسطة لمركباته هى : 27% CO ، 12% CO₂ ، 2% H₂ ، 0.5% CH₄ ، 58% N₂ . و قيمته الحرارية نحو 1000 كالورى /م³ و يعد هذا الغاز من الغازات الفقيرة من حيث القيمة الحرارية .



الباب الثاني
انتاج الحديد الصلب

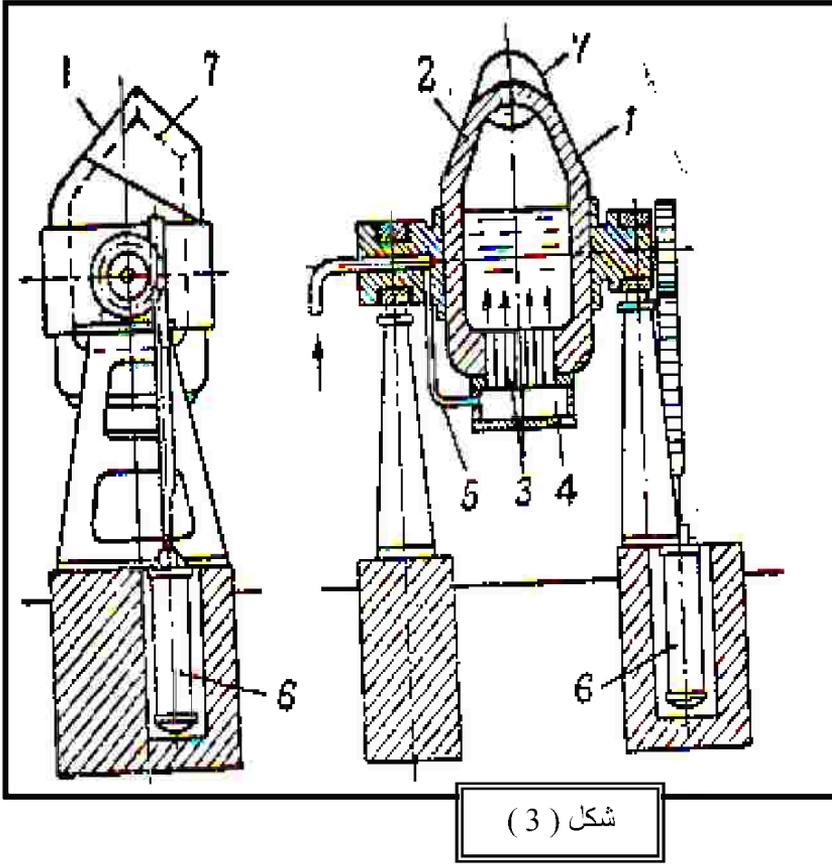
المادة الخام الاساسية لانتاج الحديد الصلب هي حديد زهر التحول و كذلك الحديد الخردة و يجب ان يكون نسبة الكربون والمواد المختلطة الاخرى فى الصلب اقل بكثير منها فى الحديد الزهر ويتوصل لى ذلك بأكسدتها فى عملية التحويل و من الطرق الحديثة لانتاج الصلب :

1- طريقة التحويل . 2- انتاج الصلب فى افران مارتن .

3- انتاج الصلب فى الافران الكهربائية .

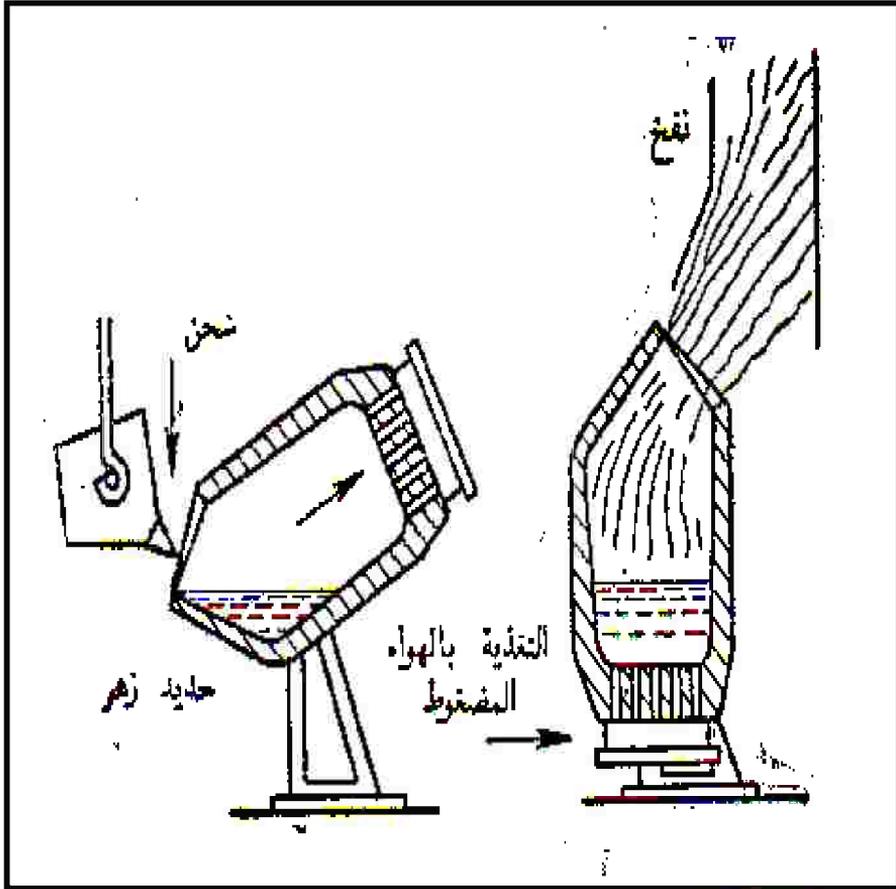
1- طريقة التحويل :

وقد اقترحت هذه الطريقة المتأورجى الانجليزى هـ. بسمر 1855، وهى مبنية على نفخ الهواء المضغوط خلال الحديد الزهر المصهور المصبوب فى وعاء خاص يعرف بالمحول، و المحول عبارة عن وعاء 1 كمثرى الشكل كما هو مبين بالشكل التالى مبرشم من صفائح الصلب (الصاج) سمكها 15 - 30 مل و التجويف الداخلى (2) للمحول مبطن بمادة مقاومة للحرارة (بطانة) سمكها نحو 300 مم و السعة النافعة للمحول تصل الى 30 طن و يدخل الهواء خلال القاع القابل للتغيير (3) الذى له نحو 300 فتحة و هذه الفتحات مغلقة من أسفل بواسطة الصندوق (4) الذى يدخل فيه الهواء عن طريق المحور المجوف و الكوع (5) و تقوم تركيبه خاصة بادرارة المحول الى الوضع الافقى لشحنه بالمعدن او لصب الصلب الجاهز خلال العنق (7) و عند صهر الصلب يدار المحول الى الوضع الرأسى و فى هذا الوضع تكون تغذية الهواء على أقصاها 1.5 - 2.5 ض. ج و يكون التحويل حامضيا او قاعديا حسب التركيب الكيمياءى للحديد الزهر المحول .



و يجرى التحويل الحامضى و يسمى بطريقة بسمر فى محول ذو بطانة حامضية من الطوب الديناسى المجهز من مادة مقاومة للحرارة تحتوى من 90 - 97% سيليكيا و لما كانت البطانة الحامضية تتآكل عند تعرضها للخبث القاعدى فلا يمكن ان تحول بطريقة (بسمر) الى انواع الحديد الزهر السيليكى التى تعطى خبثا حامضيا بالاضافة الى ذلك فان الحديد الزهر المحول يجب ان يحتوى على الاقل كمية ممكنة من الفوسفور و الكبريت، لانه لا يمكن تخلص الصلب من هذه المواد عند التحويل لعدم وجود خبث قاعدى .

و قبل أن يبدأ نفخ الهواء فى المحول، يوضع فى الوضع الافقى
شكل (4) و يسخن، ثم يملا بالحديد الزهر السائل الى $1/3$ حجمه
تقريبا . وبعد ذلك يبدأ نفخ

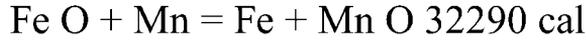


شكل (4) المحول فى وضع الصب ووضع النفخ

الهواء و يدار المحول الى الوضع الرأسى (العامل)، و تنقسم
عملية التحويل الى ثلاث مراحل متميزة :

المرحلة الاولى :

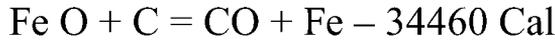
و تتميز بظهور شرر كثير عند عنق المحول و يفسر ظهور الشرر بالتأثير الميكانيكى لتيار الهواء على الحديد الزهر المصهور الذى تتطاير قطرات منه و تحرق فى الهواء بشكل نجوم مضيئة و فى هذه المرحلة تبدأ الاكسدة الشديدة للمواد المختلطة بالحديد الزهر المصبوب نتيجة لتفاعل اكسيد الحديد المتكون مع السيليكون والمنجنيز المختلطين بالحديد و تتم هذه العملية حسب التفاعلات التالية :



و يصحب أكسدة السيليكون توليد كمية كبيرة من الحرارة و ارتفاع حاد لدرجة حرارة المعدن .

المرحلة الثانية :

و تبدأ عند ارتفاع درجة الحرارة الى 1500 °م، مما يخلق الظروف الملائمة للاحتراق الشديد للكربون :



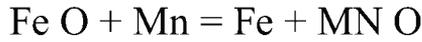
و يسبب تكوين اول غليانا شديدا للمعدن و يظهر عند عنق المحول لها ابيض خاطف نتيجة لاتمام احتراق اول اكسيد الكربون فى الهواء الى ثانى اكسيد الكربون



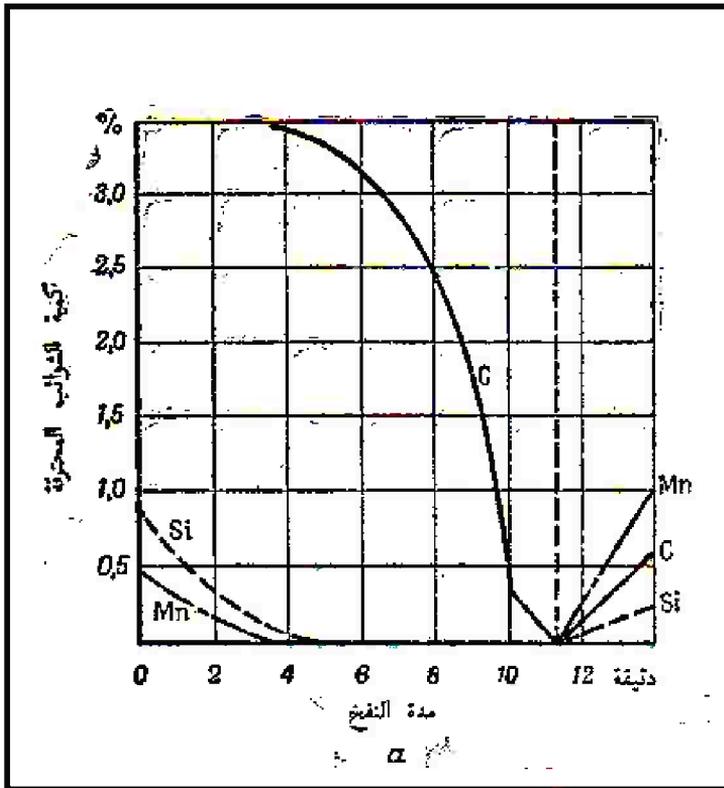
المرحلة الثالثة :

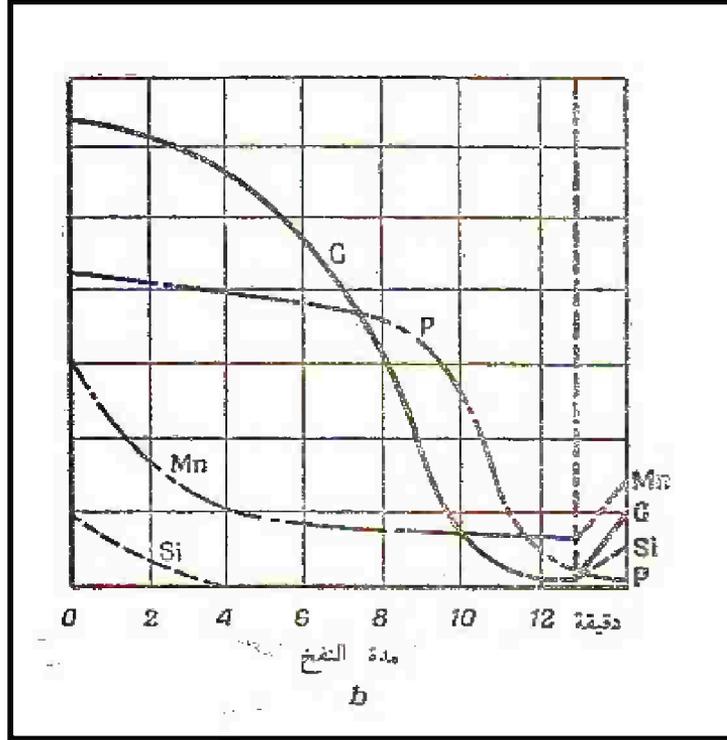
وتتميز بظهور دخان بنى داكن و هو دليل على تأكسد شديد للحديد و عندئذ توقف العملية و يدار المحول الى الوضع الافقى و يدار

الهواء تدريجيا و يحتوى المعدن بعد نفخ الهواء خلاله على كمية كبيرة من اكسيد الحديد الذائب الذى تقلل كثيرا من جودته و لاختزال الصلب تضاف سبائك الحديد كحديد المنجنيز مثلا و يتم الاختزال حسب التفاعل :



ويمكن الحصول على صلب يحتوى على النسبة المطلوبة من الكربون حسب كمية سبائك الحديد الزهر الخاص المضاف و تستمر عملية نفخ الهواء فى المعدن 10 - 15 دقيقة و بعد ذلك تؤخذ عينة للتحليل ثم يصب الصلب الجاهز فى بوتقة و فى شكل (5 a) منحنيات احتراق المواد المختلفة للحديد فى عملية بسمر .





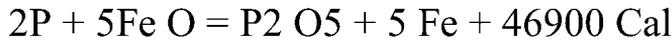
شكل رقم (5) رسم بياني لاحتراق الشوائب عند تحويل الصلب (a) في محول ذى بطانة حامضية و (b) فى محول ذى بطانة قاعدية

طريقة توماس :

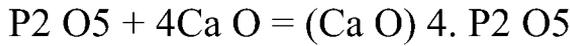
و قد اقترحها فى سنة 1878 الانجليزى توماس وتستعمل لتحويل حديد الزهر المحتوى على نسبة كبيرة من الفوسفور و تصنع بطانة محول توماس من الدولوميت و هو مادة مقاومة للصهر و تركيبها $MgCO_3.CaCO_3$ وسعة محول توماس اكبر بقليل من سعة محول بسمر والسبب فى ذلك هو ضرورة شحن المحول بالجير و يشحن الجير فى بدأ العملية فى المحول المسخن بكمية تقرب من 10 - 15 % من وزن المعدن ثم يصب الحديد الزهر و يرسل تيار الهواء خلاله و فى الشكل

(b 5) رسم بياني لاحتراق المواد المختلطة بالحديد الزهر فى عملية توماس .

و فى عملية التحويل القاعدى تتولد الحرارة اللازمة نتيجة لتأكسد السيليكون كما يحدث فى العملية الحامضية و لكن نتيجة لاحتراق الفوسفور فى المقام الاول و يصحب تأكسد الفوسفور توليد كمية كبيرة من الحرارة و ارتفاع كبير من درجة الحرارة :



ويتحد ختمس اكسيد الفوسفور المتكون مع الجير :



و يعد نفخ تيار الهواء يقشط الخبث و تضاف المواد المختزلة و تستمر العملية نحو 20 دقيقة و الخبث القاعدى يحتوى على 25 % تقريبا من خامس اكسيد الفوسفور و يستعمل كسماد زراعى و يجب ان تحتوى فى انواع زهر الفرن العالى المستعملة للتحويل القاعدى على نسبة صغيرة من السيليكون (انظر جدول رقم 1 حديد ت) لان السيليكون يتأكسد عند الصهر الى $Si O_2$ و يكون خبثا حامضيا يسبب تآكل البطانة القاعدية للمحول .

و تمتاز طريقة التحويل بارتفاع انتاجية المحول و صغر حجمه وببساطة عدم الحاجة الى وقود اذا ان الوصول الى درجة حرارة عالية يكون على حساب كمية الحرارة المتولدة فى عملية تأكسد العناصر و هذا كله يجعل تكاليف الصلب الناتج زهيدة و العيوب الجوهرية لهذه الطريقة هى استحالة تحويل الكمية الكبيرة من الحديد الخردة و تحويل انواع الزهر ذات التركيب المحدد و التأكسد الكبير للمعدن (5 - 10 %) و صعوبة تنظيم عملية و وجود نسبة كبيرة من أكسيد

الحديد و الازوت فى الصلب مما يخفض من جودته و يعتبر صلب محولات من انواع الصلب ذات الجودة العادية و يستعمل لانتاج صفائح الصلب و المواسير الملحومة و الكمرات ذات المقاطع المختلفة و الاسلاك و غيرها من المنتجات التى تتطلب لانتاجها كمية كبيرة من المواد الرخيصة . و قد أدخل فى السنوات الاخيرة فى عملية التحويل نفخ تيار من الاكسجين بدلا من الهواء مما يزيد من سرعة العملية و يرفع انتاجيتها . و الصلب المحول الناتج عند استعمال تيار الاكسجين يقارب فى جودته صلب عملية مارتن . ان الاستخدام الواسع للاجهزة و العدادات الاوتوماتيكية التى تراقب و تنظم عمليات الصهر فى المحولات يحسن نوعية الصلب كثيرا و يجعل هذه الطريقة فى صهر الصلب اكثر تطورا و بانتهاء مشروع السنوات السبع فقد انتشر انتاج الصلب فى المحولات فى الاتحاد السوفييتى انتشارا واسعا.

2- طريقة مارتن :

تتميز طريقة مارتن لانتاج الصلب عن طريقة التحويل بكونها لا تسمح بتحويل الحديد الزهر (السائل او حديد التماسيح) فحسب بل ويمكن بواسطتها كذلك اعادة صهر اجزاء الماكينات التى اصبحت غير صالحة للعمل والمتراكمة فى المصانع وكل الانواع الممكنة من خردة المعادن الحديدية . و يصهر نحو 85 % من الصلب فى الاتحاد السوفييتى بطريقة مارتن . و يصل طول الافران المارتية الكبيرة الى 25 مترو عرضها الى 7 أمتار و تتراوح سعة الافران من 20 – 500 طن . و شكل (6) يوضح تركيب فرن مارتن ويتكون الفرن من مكان التشغيل A حيث تصهر الشحنة ، و شبابيك الشحن 1 لادخال المواد . و الرأسين B ، B1 التى تتجه منها قنوات الى مسترجعات الحرارة 3 ، 4 ،

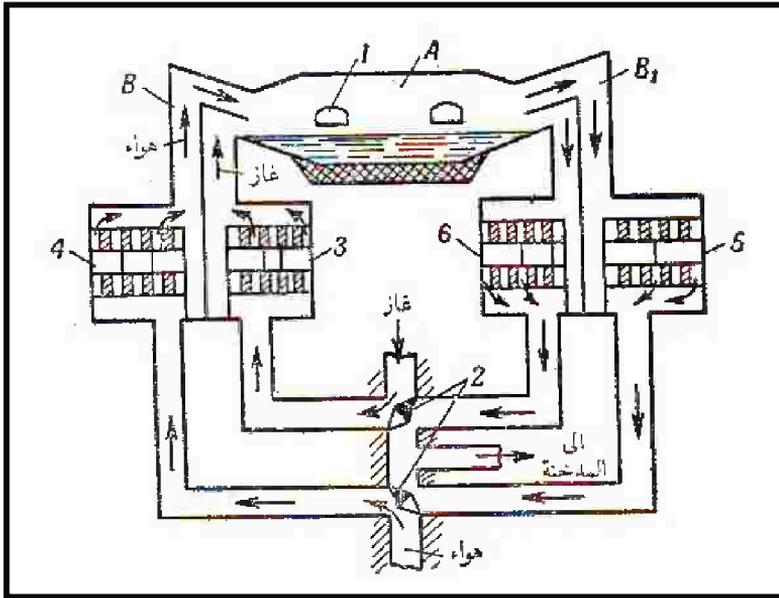
5، 6 وهذه الاخيرة عبارة عن غرف ذات قلب من الطوب الحرارى المصنوف على شكل يشبه القفص . والهدف منها استعمال الحرارة الزائدة فى عمليات الصهر .

و فى الوضع المبين بالشكل للصمامين 2 يسير الهواء و الغاز فى قنوات منفصلة الى الرأس B ويمر الغاز بمسترجع الحرارة 3 بينما يمر الهواء بالمسترجع 4 . و عند خروج الخليط الساخن من الرأسين يشتعل معطيا لها طويلا زاحفا يسخن مكان التشغيل بالفرن حتى 1200 ° م . و تخرج النواتج المتوهجة للاحتراق خلال الرأس B1 الى المسترجعين 5، 6 حيث تترك كمية من الحرارة للقلب ثم تتجه الى القناة المؤدية الى المدخنة . و بعد تسخين المسترجعات يدار الصمامان 2 بزاوية 90 ° فيغير الهواء و الغاز اتجاههما ويمران بالقلب الحار للمسترجعين 5، 6 حيث يسخنا حتى 110 – 1200 ° م و يدخلان بهذه الدرجة الى مكان تشغيل الفرن حيث يختلطان و يشتعلان فيرفعان درجة حرارة الفرن الى 1800 ° م . و تخرج نواتج الاحتراق من الفرن خلال الرأس B الى المسترجعين 3، 4 حيث يسخن قلبيهما ثم تذهب الى القناة المؤدية الى المدخنة . و بعد 20 – 30 دقيقة يعاد الصمامان الى الوضع السابق و تتكرر الدورة، وقد اتسع فى الوقت الحاضر استخدام التحكم الاوتوماتيكي فى النظام الحرارى بالفرن . و توضع لهذا الغرض فى الاماكن الملائمة اجهزة تقوم بتسجيل درجة الحرارة مما يضمن تحقيق الظروف الحرارية المطلوبة .

ويجرى اخراج الصلب الجاهز خلال فتحات الخروج بالحائط الخلفى للفرن (لا ترى بالرسم)، و عند عمل الفرن بالوقود السائل يكون به مسترجعان للحرارة فقط لتسخين الهواء، و افران مارتن

يمكن ان تكون حامضية او قاعدية حسب نوع الطوب الحرارى المستعمل فى التبطين و تصنع قصب و ردوس الافران الحامضية القاعدية من الطوب الكرومى المنجنيزى، الذى يتحمل جيدا التقلبات الحدة لدرجة الحرارة و هناك عدو انواع من عمليات الصهر بطريقة مارتن حسب كبيعة المواد الاولية للعملية . واهم هذه الانواع هى عملية الخام و عملية الخردة، وتستعمل عملية الخام فى ورش افران مارتن بالمصانع المتالورجية . و فى هذه العملية يحول اتلديد الزهر المنصهر معاضافات من خام الحديد و بقايا الانتاج المتالورجى .

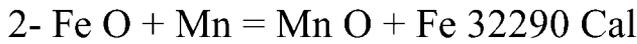
اما عملية الخردة فتستعمل فى ورش افران مارتن بمصانع بناء الماكينات التى تمتلك كمية كبيرة من نفايات الانتاج . و يكون تركيب الشحنة المحولة فى هذه الحالة من 60 - 80 % خردة (نفايات الانتاج، وخردة المعادن الحديدية (و 20 - 40 % من حديد التماسيح)



شكل رقم 6 يبين رسم تخطيطى لتركيب فرن مارتن

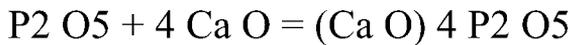
عملية خام (القاعدية) :

يصهر بهذه الطريقة الجزء الاكبر من الصلب المنتج جميعه. و فى بداية العملية يلقى فى الفرن المسخن بالدولوميت المحمص لتحمية قاع الفرن و جوانبه المائلة، و بعد ذلك تشحن المواد الصلبة بالشحنة بترتيب معين، و كذلك الجير اللزم لتحويل الفوسفور و الكبريت الى خيث و تتم عملية شحن المواد الاولية بواسطة ماكينة للشحن باعتبارها عملية تتطلب جهدا كبيرا و بعد تسخين المواد الصلبة يصب الحديد الزهر السائل، و عملية صب الحديد الزهر السائل مثلها مثل عملية شحن المواد الصلبة تتم ميكانيكيا و اثناء سير العملية يبدأ سطح المعدن المصهور فى التأكسد بواسطة اكسجين غازات الفرن و يتغطى تدريجيا بطبقة من الخبث و يذوب اكسيد الحديد Fe O المتكون فى المعدن المنصهر و يتفاعل مع مواد الشحنة :



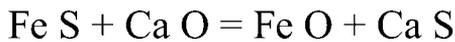
ويتحد الجير الموجود بالشحنة مع $\text{P}_2 \text{ O}_5$ مما يساعد على

تخليص الشحنة من الفوسفور :



وبالمثل فوجود كمية كافية من اكسيد الكالسيوم فى

الخبث يضمن تحويل الكبريت الى خبث :



وكما نرى التفاعلات 1- 4 اعلاه، فان اكسيد الحديد FeO هو المصدر الوحيدى للاكسجين بحمام المعدن المنصهر المغطى بطبقة من الخبث . ويضاف خام الحديد عدة مرات لمضاعفة سرعة عمليات الاكسدة . و العلامات المميزة الدالة على السير الطبيعى للعملية هى الغليان و هى الفترة التى يتم فيها التأكسد الشديد للكربون .

و يساعد الغليان على تقليب المعدن و خروج الغازات و التوزيع المتساوى للحرارة على عمق حمام المعدن كله . وتؤخذ اثناء سير العملية عينات عدة مرات يمكن منها الحكم على التركيب التقريبى للصلب . وفيما عدا العينات يجرى تحليل عاجل للمعدن و الخبث يحدد تركيب الصلب الكيمى بدقة خلال 3- 5 دقائق . وقبل نهاية الصهر يزاح الخبث و تضاف المواد المختزلة . و للحصول على انواع الصلب الخاصة (السبائكىة) يضاف الحديد الكرومى (الفروكروم) او الحديد الفانادى (الفرو فانديوم) الخ .

عملية الخردة :

و تجرى فى افران ذات بطانة حامضية على شحنة تحتوى على اقل كمية ممكنة من الفوسفور و الكبريت . و يتلخص جوهر العملية فى أكسدة الكربون و السيليكون و المنجنيز و هى تحت وقاية الخبث . و سير العملية فيما يختص بأكسدة المواد المختلطة و تبادل الاكسجين سبيه بما اوضحناه سابقا . و تكوت خواص الصلب المصهور فى الفرن الحامضى اجود بكثير من خواص الصلب المصهور فى الفرن القاعدى ، ولكن ضرورة استعمال الشحنات النقية ترفع كثيرا من تكاليف الانتاج . و اهم دليل فنى اقتصادى على كفاءة الانتاج بطريقة مارتن هو كمية الصلب الناتج عن كل مترمربع من ارضية الفرن فى مدة 24

ساعة . و قد توصل منتج الصلب المجددون باستعمال الطريقة السريعة لصهر الصلب الى انتاجية عالية تصل الى 12 طنا من الصلب الجيد لكل متر مربع من ارضية الفرن كل 24 ساعة وقد تمكن المتالورجيون السوفييت من استعمال الاكسجين فى انتاج الصلب فى افران مارتن مما رفع كثيرا من انتاجية الافران . وتسير عملية مارتن سيرا هادئا مقارنة مع عملية التحويل كما انها تسمح بالحصول على صلب كربونى و صلب سبائكى ذى جودة عالية ، و تركيب كيميائى يطابق تماما التركيب المطلوب . و الصلب المارتنى و ان كان يقل عن الصلب المنتج بالافران الكهربائىة فى كثافته و تماثل اجزائه الا انه ارخص بكثير من الصلب الكهربائى .

و يستعمل صلب مارتن الحامضى فى انتاج الماكينات التى يعلق عليها الكثير من الاهمية فى حين يستعمل الصلب القاعدى فى الصناعة العامة كالكسك الحديدية و الكبارى و الهندسة المدنية

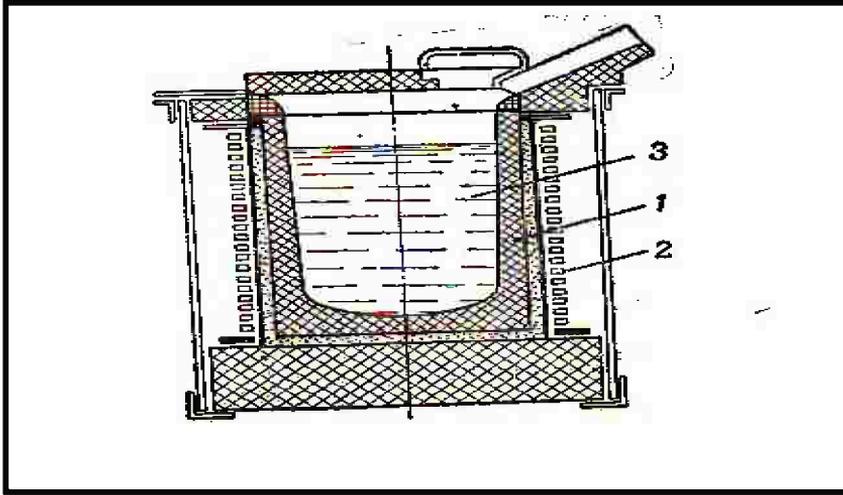
3- الصهر الكهربائى :

يمتاز الصهر الكهربائى اذا قورن بالطرق الاخرى لصهر الصلب بعدة مميزات، منها امكان التوصل لدرجة حرارة عالية فى مكان الصهر، مما يسمح بالحصول على خبث به كثيرا منالجير، يضمن التخلص التام تقريبا من الفوسفور و الكبريت، و كذلك يخفف كثيرا من احتراق المعدن عناصر الاشابة نتيجة لعدم وجود لهب مؤكسد .

وتعمل الافران الكهربائىة الصناعية اما بالحث الكهربائى واما بمبدأ القوس الكهربائى .

أفران كهربائية بالحث :

فى شكل (7) رسم لفرن كهربائى بالحث (بدون قلب) يعمل بتيار تردده 500 – 2000 ذبذبة / الثانية . فحول البودقة المقاومة للحرارة 1 ملف على شكل ماسورة من النحاس ذات مقطع مستطيل 2 يجرى بها الماء للتبريد . ويمر تيار عالى التردد من مولد خاص فى الملف فيثير فى المعدن تيارات دوامية تسخن المعدن 3 بسرعة حتى انصهاره . وتشغل فى الافران ذات التردد العالى شحنات موادها شديدة النقاوة منتخبة بعناية ، و نظرا للسرعة الكبيرة للعملية لا يجد المعدن فرصة للتأكسد الشديد و عند نهاية الصهر تضاف كمية صغيرة من الاضافات و المواد المختزلة . و لا تزيد سعة الفرن العالى التردد عن 8 طن . و هى تستعمل لانتاج مسبوكات الصلب الواجهية و لصهر سبائك الصلب ذات النسبة العالية للعناصر المضافة (الصلب المتحمل للحرارة و الصلب المقاوم للانصهار و الصلب الغير قابل للصدأ) .



شكل رقم 7 ، رسم تخطيطى لفرن كهربائى بالحث

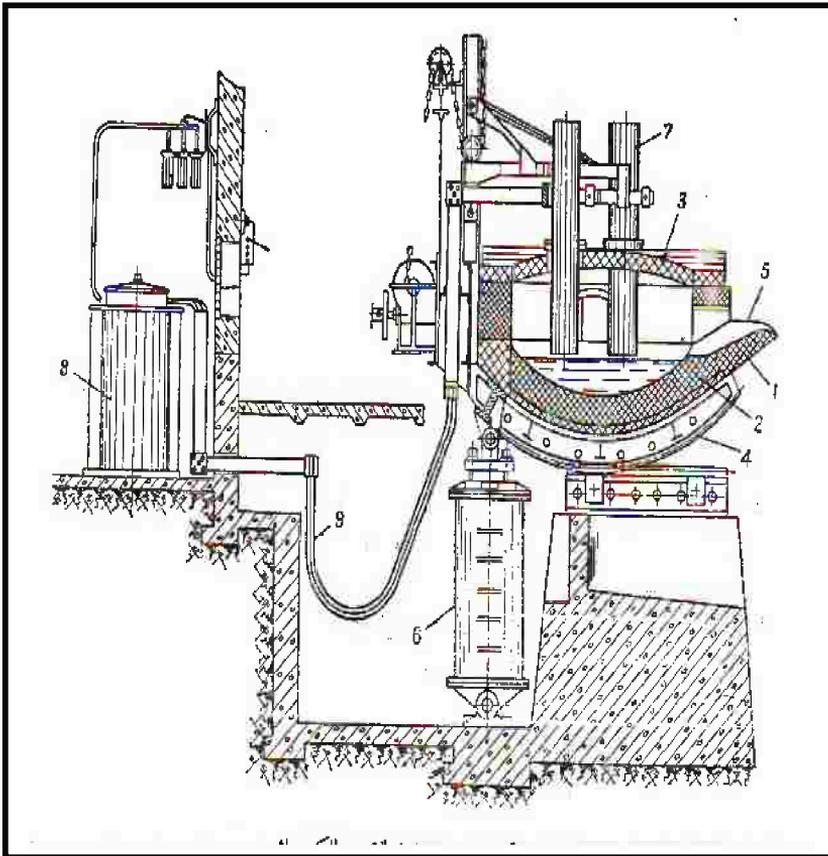
1- البودقة المقاومة للحرارة . 2- مفاعل حث . 3- المعدن

افران القوس الكهربائى :

وتعمل ببدأ استغلال الحرارة المتولدة عن القوس الكهربائى المتكون. و تنقسم الى افران ذات قوس مستق و افران ذات اقواس غير مستقل . و فى افران النوع الاول توجد الاقطاب فوق سطح حمام المعدن ، و يتم صهر الشحنة بواسطة الحرارة المتولدة عن القوس المتكون . اما فى الافران ذات القوس غير المستقل فيجرى صهر المعدن بواسطة حرارة القوس الكهربائى المتكون بين الاقطاب و حمام المعدن . و قد انتشر استعمال هذه الافران لصهر الصلب و السباكة انتشارا واسعا .

و فى شكل (8) مقطع تخطيطى لفرن قوس ذى وجهين و يصنع الغلاف 1 من صفائح سميكة من الصلب . و تصنع البطانة 2 فى الافران الحامضية من الديناس ، و فى الافران القاعدية من الماجنيزيت . و تصنع قبة الفرن 3 من الطوب الديناسى بحيث يمكن خلعها . و يركب الفرن لسهولة صب المعدن على مجارى مقوسة 4 ، و يجرى الصب بالميزاب 5 باستعمال التوصيلة الكهربائىة او الهيدروليكية 6 التى تقوم بامالة الفرن . و تصنع الاقطاب 7 متحركة ، و هى اما من الكربون او الجرافيت . و تغذى الاقطاب بالتيار من محول 8 ، بواسطة كابلات مرنة 9 ، و تصل سعة افران القوس 180 طن. و تضم الشحنة عند صهر الصلب فى افران القوس الكهربائى الخردة و الزهر و خام الحديد و الفلكس و المواد المختزلة و سبائك الحديد ، و المادة الاولية الرئيسىة هى خردة الصلب . اما الزهر فبقوم برفع نسبة الكربون فى المعدن ، و يضاف خام الحديد لأكسدة المواد المختلطة ، و يستعمل الجير كفلكس فيكون خبثا قاعديا ، و يحصل على الخبث الحامضى باضافة الرمل الكوارتزى . و تستعمل كمواد مختزلة الحديد السليكى (الفرو سيليكون) و

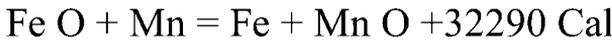
الحديد المنجنيزى (الفرومنجنيز) والالومنيوم. و يضاف الحديد الكرومى (الفروكروم) و الحديد النيكلى (الفرونكل) و الحديد الولفرامى (الفروولفرام) للحصول على صلب سبائكى . و ينتج فى الافران ذات البطانة الحامضية صلب على الجوده باستعمال شحنة نقيه خالية من الفوسفور و الكبريت بقدر الامكان . اما فى الافران القاعدية فينتج صلب يستعمل للانشاءات ذو نسبة منخفضة من الشوائب الضارة .



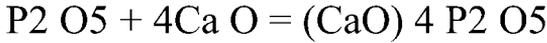
شكل رقم (8) فرن القوس الكهربائى

عملية الصهر الكهربائي (قاعدية) :

بعد انصهار الشحنة فى الفرن يلقى فيه بكمية محددة من الجيرو خام الحديد او نواتج تأكسد الحديد ثم يوصل التيار الكهربائى . و يمكن تقسيم عملية صهر الصلب الى مرحلتين : مرحلئ التأكسد و مرحلة الاختزال . وفى المرحلة الاولى تتأكسد جميع المواد المختلطة (ما عدا الكبريت) بواسطة اكسجين الخام او نواتج تأكسد :



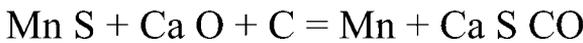
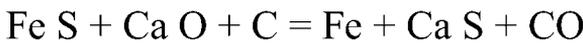
ويضمن وجود الجير حدوث التفاعل الاتئ :



يقشط الخبث و تضاف مرة اخرى كمية صغيرة من الجير والخام . وبعد تكون الخبث مرة اخرى تؤخذ عينة لمعاينة وجود الفوسفور ثم يقشط الخبث مرة اخرى وتكرر هذه العملية حتى التخلص التام من الفوسفور كله تقريبا . ومن المحتمل عند ارتفاع نسبة الكربون احتراق جزء منه لو كانت درجة الحرارة للفرن كافية ذلك .



اما فى المرحلة الثانية فيغممر سطح المعدن بخبث قاعدئ يتكون من الجيرو السبار القابل للانصهار ثم يضاف الكوك المفتت . و يجرئ اختزال المعدن و تحويل الكبريت الى خبث حسب التفاعلات الاتية :



بعد قشط الخبث يضاف خبث جديد و تتكرر هذه العملية حتى يتم التخلص من الكبريت كله تقريبا .

ولاختزال الصلب نهائيا تضاف سبائك حديد فاذا كان المطلوب هو الحصول على صلب سبائكى تضاف سبائك حديد تحتوى على نسبة عالية من عناصر الاشاية المطلوبة . وتؤخذ عينات اثناء سير العملية وقبل صب الصلب يحكم منها على مدى نضوج الصلب و مطابقاته للتركيب الكيمياءى المطلوب . و تتراوح مدة الصهر الكهربائى حسب سعة الفرن و تركيب الشحنة المشغلة من 2- 8 ساعات و قد اكتسب انتاج الصلب فى الافران الكهربائية اهمية كبيرة نظرا لانتشار استعمال انواع الصلب السبائكى والصلب العالى الجودة فى بناء الماكينات الهامة .

4- صب الصلب :

يصب الصلب المصهور فى المحول أو فى فرت مارتن أو الفرن الكهربائى فى بودقة صب، وبعد ذلك يجري سبكة فى قوالب خلصة . وبعد ذلك يجري سبكة فى قوالب خاصة .

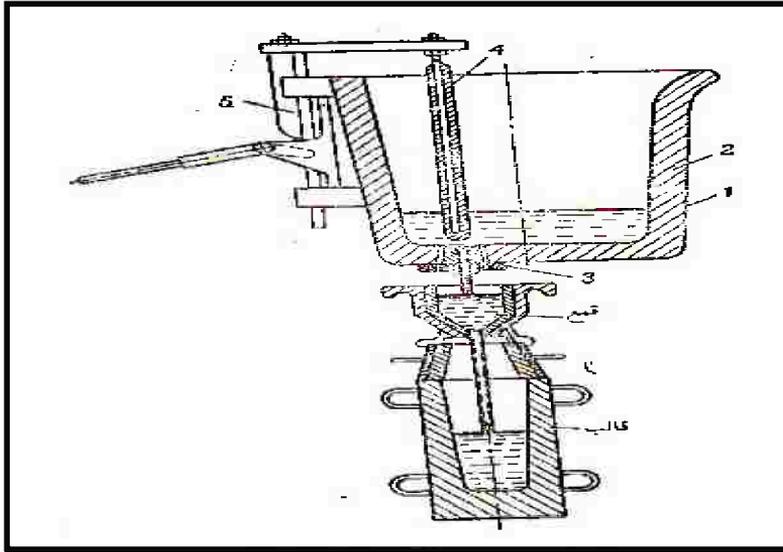
وبودقة الصب (أنظر الشكل 9) عبارة عن وعاء (1) من الصلب المبرشم، ومبطن بالطوب الحراري (2) وفي قاع البودقة فتحة مستديرة يركب بها كوب (3) من الطين الحراري وتغلق فتحة الكوب بسدادة مصنوعة من مادة مقاومة للحرارة، ومثبتة بذراع الإغلاق (4) وتركيبه الإغلاق (5) مثبتة علي الغطاء من الخارج، وتحمل البودقة إلى مكان الصب بواسطة الأوناش المعلقة. أما القالب فيصنع من الزهر، و احيانا من الصلب بقاع أو بدون قاع، ويصنع القالب مسلوبا من أحدي الجهتين لتسهيل

إخراج الصبة (الكتلة المصبوبة) ، كما هو مبين في الشكل (10)
ومبين به أنواع من القوالب ذات المقاطع المختلفة .

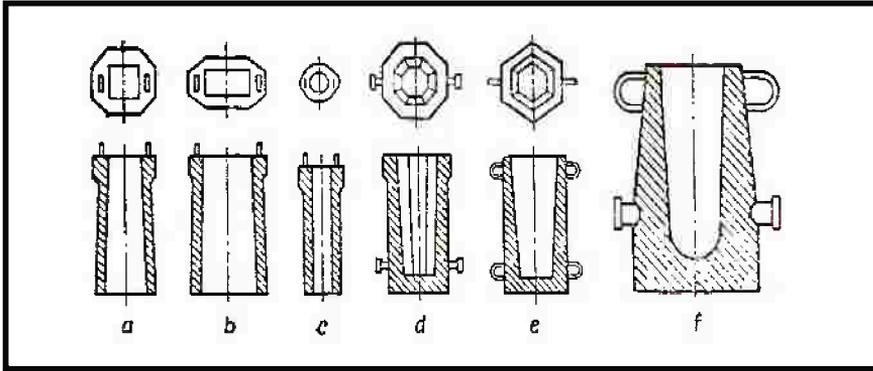
ويمكن أن يكون الصلب عند صبة أما (هادئاً) أو (فواراً)
وتخرج من الصلب الهادئ عند كمية قليلة من الغازات كما أنه لا
يفلّي .

وللحصول علي هذا لصلب يجري إختزال تام للمعادن
بإضافة كمية كافية من زهر الخاص ، أما الصلب (الفوار)
فيغلي أثناء عملية الصب وتتصاعد منه كمية مبيرة من
الغازات ،

ويفسر فوران الصلب بأنه يصب قبل أن يتم إختزاله
الكامل فعند إنخفاض درجة الحرارة يتفاعل جزء من الكربون
مع أكسيد الحديد المتبقي $FeO + C = Fe + CO$.

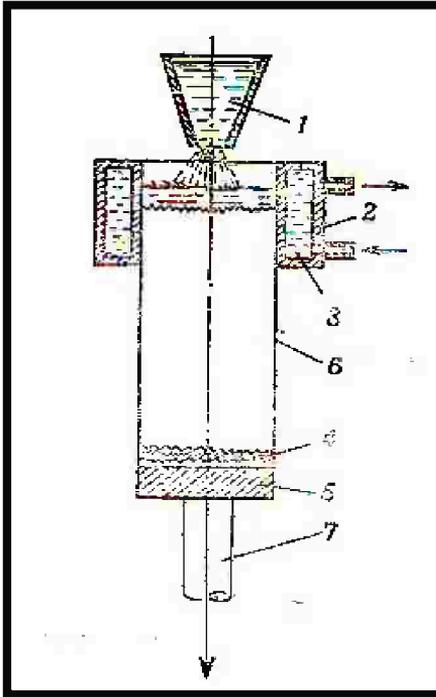


بودقة الصب (شكل 9)

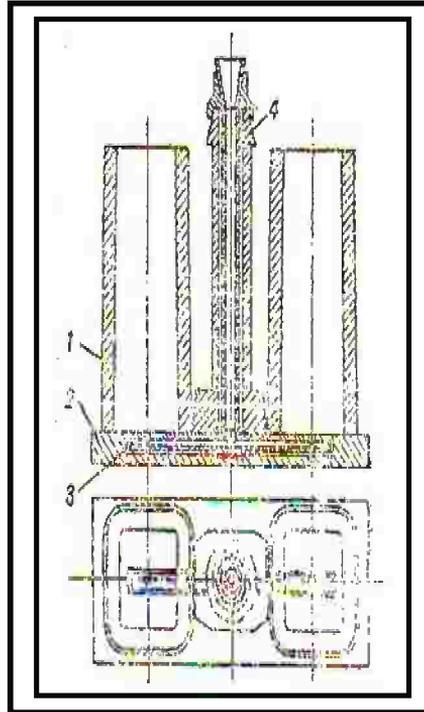


شكل (10) أنواع قوالب اصب

-B,A - لصب المستعملة للدفنة ، C - للمواسير ، F,E,D - للمطروقات



شكل (12) رسم تخطيطي
للصب المستمر للصب



شكل (11) الصب بطريقة
السيفون

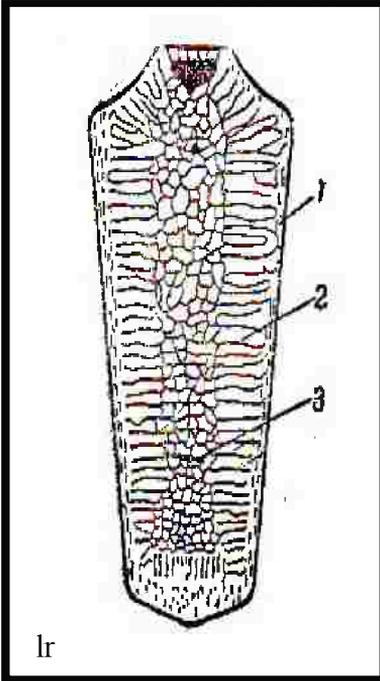
والصلب الفوار أرخص من الصلب الهادئ ، كما يعطي كمية أكبر من المعدن ويوفر في المواد المختزلة إلا أنه أقل في الجودة من الصلب الهادئ بكثير. ويمكن ملء القوالب بالمعدن السائل من أسفل (الصب بطريقة السيفون) أو من أعلى والصب بطريقة السيفون (شكل 11) يسمح بملئ عدد كبير من القوالب 1 في وقت واحد ، وتوضع هذه القوالب علي طبق 2 من الزهربة قنوات 3 مبطنة بطوب واجهة وتتصل القنوات بالمصب الرئيسي 4- وتملأ القوالب الموضوعه (بدون قاع) بالمعدن السائل خلال المصب الرئيسي بمبدأ الأواني المستطرقة . ويستعمل الصب بطريقة السيفون أساسا لصب الصلب الفوار، وتتكون بأعلي الصبة فجوة عند تجميد المعدن .

أما الصب من أعلى (شكل 9) فيستعمل للحصول علي صلب كبيرة من الصلب " الهادي " وفي هذه الطريقة يصب ذو درجة حرارة منخفضة مما يقلل من حجم فجوة التجمد ويعطي صلبا أكثر تكاثفا وقد أتسع في الوقت الحاضر إمتشار طريقة الصب المتواصل للصلب، مما أعطي وفرا كبيرا للمعدن وبشكل 12 رسم تخطيطي يبين أسس هذه الطريقة، فالصلب السائل ينساب من القمع 1 بسرعة محددة غلي المبلور 2 المبرد بالماء 4، ويبدأ المعدن المنساب 4 في التبلور عند تلامسة بالسطح المعدني 5، وبإنزال هذا لسطح إلي أسفل والتغذية بالصب السائل دون إنقطاع تحدث بلورة تدريجية لطبقات المعدن الأخرى، وهكذا يمكن الحصول علي صلب 6 ذات طول كبير ونظرا لملء الفراغ الناتج عن الإنكماش بالمعدن السائل لا تحدث فجوة عند التجميد، وتقوم

التركيبية 7 بتحريك الصبة إلى أسفل بسرعة تتناسب مع سرعة صب المعدن في المبلور .

بناء صلب الصلب :

لا يبرد الصلب المصبوب في قالب الصبة بانتظام (أنظر الشكل 13) يبين بناء الصبة، فعند أماكن تلامس المعدن السائل بحوائط القالب يبرد المعدن بسرعة، مكونا طبقة رقيقة متكافئة 1 من البلورات الدقيقة ذات الإتجاهات المختلفة ويجري التبريد في إتجاه مركز الصبة ببطء، ويكون نمو البلورات في غالبية في إتجاه عمودي علي جدران القالب، وتسمى البلورات المتكونة بالبلورات 2 العمودية (لشبهها بالأعمدة) في الجزء المحوري من الصبة فإن التبريد يكون أكثر بطئا،



ولما كانت الحرارة تتسرب في مختلف الجهات فإن الجزء من الكتلة 4 يتكون من بلورات متناثرة دون ترتيب معين وكما بين ذلك، تشرنوف فإن نمو البلورات المتكونة يكون غير منتظم . ففي البداية تنمو البلورة في إتجاه محورها الرئيسي ثم تتفرع منه فروع تنمو بزاوية معينة ومن هذه الفروع تنمو فروع أختری جديدة وهكذا .

شكل (13) مقطع تخطيطي لصبية من الصلب

ونتيجة لذلك تتكون بلورة ذات شكل شبيهة بالشجرة ولذلك تسمى (دندريت) (أي الشجرية) أما الفراغ الموجود بين الفروع فيملاً بالجزء الباقي من المعدن السائل، الذي يتجمد عند إكمال التبلور. ومن عيوب صلب : فجوة التجمد والعزل والفقاعات الغازية والشقوق .

وفجوة التجمد هي الفراغ الذي يتكون عند تجمد الصبة، ونظراً لوجود فرق بين حجم المعدن السائل والمتجمد، فمن المستحيل صب كتلة دون فجوة التجمد، ويعمل عادة علي أن تكون هذه الفجوة بأصغر حجم ممكن وعلي أن تكون بالجزء العلوي من الكتلة .

أما العزل فهو التوزيع الغير متساوي لمكونات السبيكة في أجزاء الكتلة المختلفة، وهناك نوعان من العزل : العزل داخل البلورات والعزل المناطقي ويؤدي العزل داخل البلورات إلي عدم تماثل أجزاء البلورة في تركيبها الكيميائي ويمكن بواسطة التسخين الانتشاري جعل تركيب البلورات متماثلاً إلي حد كبير . أما العزل المناطقي فيتميز بالتوزيع غير المتساوي للعناصر المكونة للسبيكة في مقطع الصبة ولا يمكن إعادة التماثل بالانتشار ولا يمكن إصلاح هذا العيب بطبيعتة بأي حال من الأحوال .

و الفقاعات الغازية هي فراغات صغيرة تنتشر في أماكن مختلفة من الكتلة . وتتكون الفقاعات في الصلب الرديئ الإختزال تحت القشرة بالقرب من السطح، ولا يعطي الصلب الجيد الإختزال كثيراً من الفقاعات عند التجمد وتكون هذه عادة في أعماق الكتلة. زمن العيوب المحلية للكتلة خشونة السطح والنتوءات، الشقوق والفصوص غير المعدنية الخ .



الباب الثالث
إنتاج المعادن الغير حديدية

من المعادن الغير حديدية المستعملة علي نطاق واسع في الصناعة النحاس والألومنيوم والقصدير والزنك والرصاص والنيكل والمغنسيوم، ويفسر استعمال المعادن الغير حديدية وسبائكها بأن لبعضها خواص قيمة، كجودة التوصال الكهربائي والحراري ومقاومة الصدأ وصغر معامل الإحتكاك - الخ .

ولقد ذكرنا في الجزء الخاص بخواص المعادن الغير حديدية وسبائكها.

1- إنتاج النحاس

يستعمل النحاس في حالة النقية في الصناعات الكهربائية والحرارية (إنتاج الطاقة) والصناعات الكيماوية، كما أن النحاس يستعمل علي نطاق واسع للحصول علي السبائك، ويستخلص من خامات النحاس.

خامات النحاس :

وتوجد في القشرة الأرضية أساسا علي شكل مركبات مختلطة، تحتوي عدا عن النحاس علي خامات معادن أخرى .

ويستخلص الجزء الأكبر من النحاس من خامات الكبريتية التي تحتوي علي النحاس بنسبة تصل إلي 5% من هذه الخامات :

1) بيريت النحاس، الهالكوبيريت $Cu_2S.Fe_2S_2$ وهو أكثر خامات النحاس إنتشارا .

2) الهالكوزيت .Cu₂S

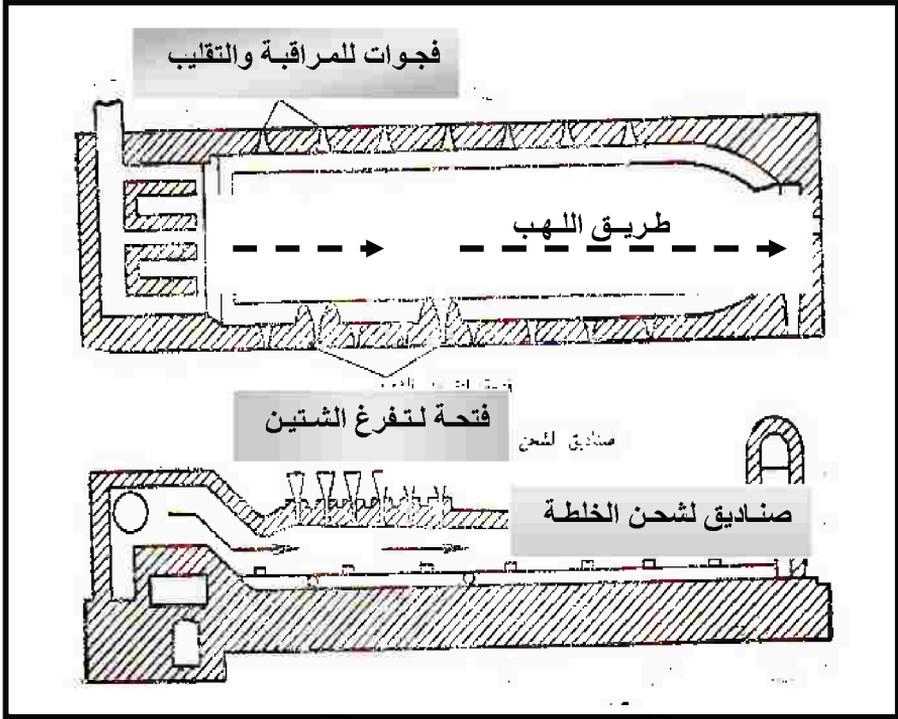
3) البورنيت أو الخام الأرقط Cu₂S. FeS.CuS

4) الكوبريت، خام أكسيد النحاس Cu₂O ويعتبر من الخامات الفقيرة وهناك طريقتان لإنتاج النحاس : الطريقة البيروميتالورجية (الجافة) والطريقة الهيدروميتالورجية (الرطبة) وقد أنتشر استعمال الطريقة الجافة التي تشغل بها الخامات الكبريتية، ولا يشغل بالطريقة الرطبة إلا الخامات الأوكسيدية .

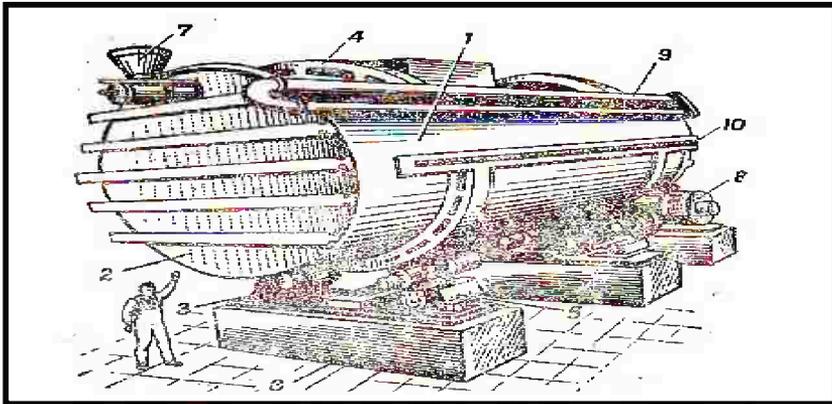
الطريقة الجافة (البيروميتالورجية لإستخلاص النحاس :

وتتكون هذه الطريقة من العمليات الآتية : 1) - تركيز الخام، 2) - التحميص 3) - التحويل إلى نحاس صخري (شتين) 4) الحصول على النحاس غير النقي 5) - التنقية تركيز خامات النحاس الكبريتية ويجري بطريقة الطفو وهي مبنية على قدرة المركبات الكبريتية على عدم الابتلال بالماء . فيفتت الخام

قبل التعويم في طواحين ذات كرات حتى يصل حجم حباته إلى 0,05 – 0,5 مم وبعد ذلك يحمل في ماكينة الطفو المملوءة بالماء فتبدأ جزيئات الخام الكبريتي المفتتة التي لم تبتل بالماء في الصعود إلى السطح أما



رسم تخطيطي للفرن الماكس الشكل (14)

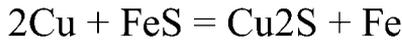


الشكل (15) محول أسطواناني لنفخ النحاس الصخري (الشتين)
 1- الغلاف 2- القاع 3- أستوانة 4- إطار 5- مسند
 6- الأساس 7- العنق 8- تركيبة التحريك 9- ماسورة الهواء
 10- فتحات الهواء

جزيئات المادة العاطلة فترسب علي القاع، ةللأسراع يطفو
جزيئات الخام الكبريتي تضاف كمية صغيرة من زيت البترول
الخام كما ينفخ الهواء خلال الماء فتلتصق فقاعات الهواء
المتكونة بجزيئات الخام وتصعد معها علي شكل زبد يقشط
ويزال منو الماء .

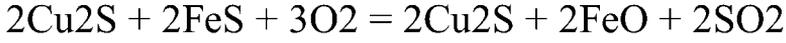
التحميص :

ويقام بتحميص الخام المركز لتقليل نسبة الكبريت بة
ولتحويل بعض كبريتيد النحاس والحديد إلي أكاسيد وعند
التحميص تزال كذلك بعض الشوائب الضارة بالخام كالزرنينخ
والأنتيمون، ويتم في أفران خاصة بها عدة اقباء في درجة حرارة
800 - 1000°م ويجري شحن الخام المركز بالطفو مخلوطا
بالفلكس خلال صناديق توجد علي طول قبة الفرن، وعند درجة
حرارة تقترب من 1100°م تجري التفاعلات الآتية :

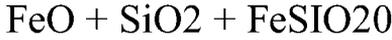


ويكون كبريتيد النحاس الثنائي Cu_2S وكبريتيد
الحديد FeS النحاس الصخري، بينما تعطي المادة العاطلة
والفلكس وأكسيد الحديد الخبث وتتراوح إنتاجية الفرن في
الحدود من 2- 6 طن كل 24 ساعة لكل متر مربع أرضية الفرن
وبعد إنتهاء الصهر يقشط الخبث ويؤخذ النحاس الصخري
للتشغيل في المحولات، ويجري التحويل في أجهزة كمثرية أو
أسطوانية الشكل (15) ذات تيار هواء جانبي ويمكن تمييز

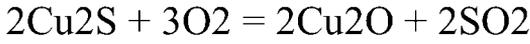
مرحلتين للتحويل ففي المرحلة الأولى عند نفخ الهواء يتأكسد الحديد حسب المعادلة التالية :



وفي هذا التفاعل تنطلق حرارة ولتحويل أكسيد الحديد إلى خبث تضاف السيلكا :



ويقشط الخبث المتكون (FeSiO_2) أما في المرحلة الثانية فيحرق الكبريت المتحد مع النحاس حسب المعادلة التالية :



ويتفاعل أكسيد النحاس المتكون Cu_2O مع كبريتيد النحاس Cu_2S المتبقي حسب المعادلة التالية :



ويحتوي النحاس غير النقي الناتج علي شوائب بنسبة نحو 2%.

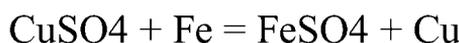
تنقية النحاس (التنقية من الشوائب الضارة) :

وتتم إما بالطريقة الحرارية أو بالطريقة الكهروكيميائية وتجري التنقية بالطريقة الحرارية في أفران عاكسة ويحتوي النحاس الذي ينتج بواسطها علي 99,5 - - - 99,7 % من عنصر النحاس ويصب هذا النحاس في كتل أو صفائح مصعدية لعملية التحليل الكهربائي وتستعمل هذه الصفائح للحصول علي تنقية أكثر للنحاس (تصل إلي نسبة

99,98% من عنصر النحاس) الذي يستعمل لتلبية احتياجات الصناعات الكهربائية .

الطريقة الرطبة (الهيدروميتالورجية) :

وتستعمل للخامات الأوكسيدية الفقيرة يفتت الخام أولاً إلى أن يصل حجم حبيبات إلى 2 – 15 مم وبعد ذلك يمر بمرحلة الفرز للحصول على حبيبات ذات حجم واحد (درجات) وتجري لكل درجة عملية تركيز في ماكينة ترسيب وفي هتزة الماكينة يغسل الخام والمادة العاطلة بواسطة تيار من الماء، ولما كان الوزن النوعي للخام والمادة العاطلة مختلفا، فإنهما ينفصلان : فيرسب الخام إلى أسفل بينما تبقى المادة العاطلة بأعلي، ويعامل الخام المركز بمحلول مخفف من حامض الكبريتك ويتلو ذلك ترشيحة للحصول على محلول نظيف ويم ترسيب النحاس من المحلول بالتحليل الكهربائي أو بأحلال الحديد (الخردة) محل النحاس حسب التفاعل التالي :



ويعاد صهر النحاس الناتج في أفران لهيبيية ثم بنقي .

2- إنتاج الألومنيوم :

يعد البوكسيت المادة الخام الرئيسية للحصول على الألومنيوم، والبوكسيت صخر معدني مركب يحتوي على هيدروكسيد الألومنيوم Al(OH)_3 طليقا بنسبة 40 – 60% وعلى عدد من الشوائب : Fe_2O_3 : SiO_2 : CaO : TiO_2 وغيرها

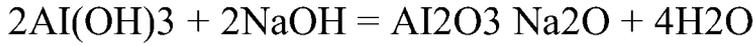
ويوجد في الإتحاد السوفيتي موارد غنية من البوكسيت وينقسم إنتاج الألومنيوم إلى عمليتين :

(1) الحصول علي أكسيد الألومنيوم (الالومينا) من البوكسيت .

(2) التحليل الكهربائي للألومينا .

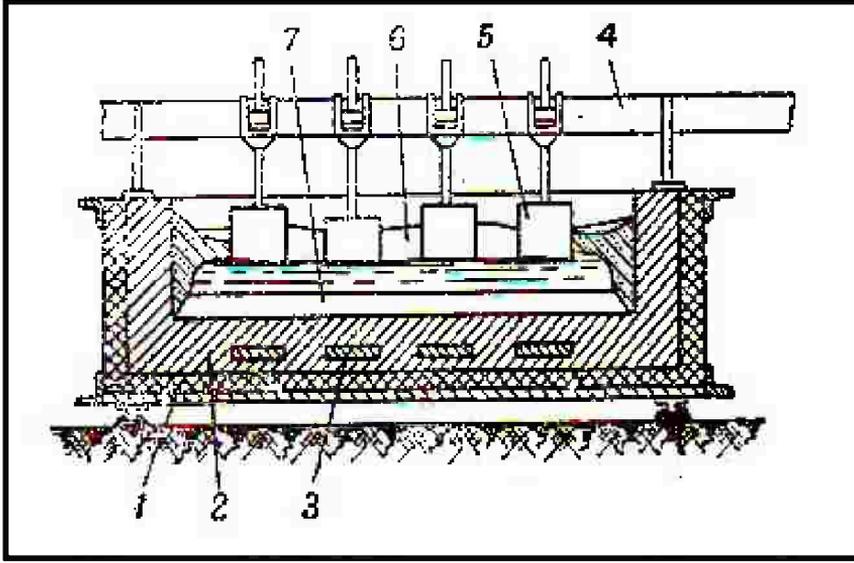
الحصول علي أكسيد الألومنيوم (الطريقة القلوية) :

وفيها يعامل الخام الذي يحتوي علي كمية صغيرة من السيليكا بالمواد القلوية لتحويل هيدروكسيد الألومنيوم إلي الومينات الصديوم :



وتذوب الألومينات الناتجة في الماء أما أكاسيد الحديد والكالسيوم والتيتانيوم فإنها تكون رواسب صلبة غير قابلة للزوبان تفصل علي المرشحات الكابسة ، ويجرى المحلول المائي المرشح لالومينات الصوديوم إلي أحواض بها قلابات حيث يتحلل المحلول بواسطة التحليل الكهربائي فينفصل منة راسب الصلب من هيدروكسيد الألومنيوم :

ويرسل الراسب المرشح المغسول إلي الفرن حيث يتحول عند درجة حرارة 1300°م إلي أكسيد الألومنيوم غير المائي Al_2O_3 وقد أستعملت الطرق القلوية لإنتاج الألومينا بأوسع إنتشار .



شكل (16) حمام لتحليل الألومينا

إنتاج الألومنيوم بطريقة التحليل الكهربائي :

يتلخص الحصول علي الألومنيوم من الألومينا في تحليل أكسيد الألومنيوم (كهربائياً) في حمام من الكريوليت AlF_3NaF المصهور إلي مكوناته ومن خواص الكريوليت AlF_3NaF القدرة علي إذابة الألومينا وهو بالإضافة إلي ذلك يخفض درجة إنصهارها التي تقدر بنحو 2000°C ويوضح الشكل (16) تخطيط لحمام التحليل الكهربائي. ويتكون الحمام من غلاف حديدي وبطانة عازلة للحرارة (1) وقاع الحمام وجدرانته، وهي مغطاة بطبقة من الكربون (2) وتوصل المهابط الاطارية (3) المدفونة في القاع بالقطب السالب لمصدر التيار، أما إطار المصعد (4) فتوصل به الأقطاب الكربونية (5) المدلاة في الحمام، وقبل بدء التحليل الكهربائي تنثر علي القاع الحمم

طبقة رقيقة من الكوك المفتت ثم تنزل الأقطاب حتي تتلامس معها ويوصل التيار 0 وعندما تسخن الطبقة الكربونية إلي درجة الإحمرار يدخل الكريوليت وبعد إنصهاره تشحن الألومينا (6) بما لا يزيد عن 15% من الكريوليت بالحمام، وعند هذه النسبة للأملاح تكون درجة حرارة المحلول من 950 - 1000°م ومع تحلل الألومينا يتجمع الألومنيوم (7) المختزل علي قاع الحمام وتضاف الألومينا لتعويض التحلل .

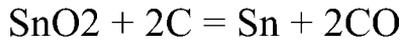
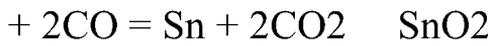
وتوصل الحمامات علي التوالي في ورشة التحليل الكهربائي في مجموعات بكل منها من 80 - 100 حمام وفرق الجهد بين الأقطاب للحمامات من 5 - 10 فولت متع شدة للتيار نحو 30000 أمبير .

يُجري صب الألومنيوم مرة كل 50—100 ساعة ويستهلك لإنتاج طن من الألومنيوم نحو 2طن م، الألومينا و 0,6 طن من الأقطاب الكربونية (المصعد) و 0,1 طن من الكريوليت ومن 16000 إلي 19000 كيلوات ساعة من الطاقة الكهربائية 0 وينقي الألومنيوم الناتج لتخليصة من جزيئات الكريوليت والغازات الذائبة ويحتوي الألومنيوم المنقي علي شوائب بنسبة 0,3 الي 1% .

3- إنتاج القصدير :

يستخلص القصدير من خامات النادرة الوجود نسبيا والتي لا توجد بكميات كبيرة، ويوجد القصدير في خامات علي شكل ثاني أكسيد القصدير SnO₂ المسمى بحجر القصدير أو الكاسيتريت، ويعثر نادرا علي بيريت القصدير وتكون نسبة

القصدير في الخام عادة صغيرة (0,25 إلى 1%) أما الباقي فهو مادة عاظمة (كوارتز وفلورسبار) وشوائب وتصل نسبة القصدير إلى 2 – 6% في الخامات النسيمة بالخامات (الغنية) فقط ويجري علي الخام المستخرج التركيز والتحضير⁰ وبعدها يصهر الخام المركز لإختزلة في أفران عاكسة حيث يختزل ثاني أكسيد القصدير SnO₂ عند درجة حرارة 800⁰م بواسطة أكسيد الكربون والكربون الصلب :



ويحتوي القصدير الناتج علي كثير من الشوائب والتي تصل نسبتها إلى 3% وللحصول علي نوعية جيدة من المعدن يحتوي علي 99,99% من عنصر القصدير تجري التنقية بالتحليل الكهربائي .

4- إنتاج الزنك :

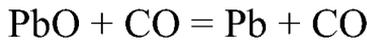
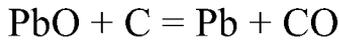
يستخرج الزنك (الخرسين) من خامات الزنك، ويعتبر البند الخارصيني ZnS أهم خامات الزنك، ويحتوي عادة من 30—50% خارصين ويجري للحصول علي الزنك بطريقتين : بطريقة التآطير (البيرومتالورجية) وبطريقة التحليل الكهربائي (الهيدرومتالورجية) وتتلخص الطريقة الكهربائبة التي حظيت بلانتشار كبير، في تحميص الخام المركز ثم معالجتة بمتحلول من حامض الكبريتيك ويرسل محلول ZnSO₄ بعد تنقية من الشوائب إلي حوض التحليل الكهربائي وبة المصعد من ألواح الرصاص والمهبط من ألواح الألومنيوم ويترسب الزنك في عملية

التحليل علي المهبط ويصهر الزنك المهبطي في أفران عاكسة ذات جو مختزل يقي المتعدن من التأكسد ، ويحتوي الزنك المصبوب في كتل علي 99,95% من عنصر الخرصين .

5- إنتاج الرصاص :

يستخلص الرصاص من خامات وأهم خامات الرصاص هو الليتارج PbS وتراوح نسبة الرصاص بالخام في المتوسط من 6—16% ويسخلص الرصاص بطريقة الصهر الاختزالي للخام المركز بعد تحميصة مبدئيا ، ويجري التحميص المبدئي في أفران عاكسة لتحليل كبريتيد الرصاص PbS وتحويل الرصاص إلي كبريتات PbSO4 ويمكن بواسطة التحميص الثانوي التخلص تماما من الكبريت والحصول علي PbO ،

ويختزل الرصاص عند الصهر في افران أسطوانية بواسطة كربون فحم الكوك حسب المعادلتين :



ويحتوي الرصاص الناتج بعد الاختزال علي شوائب تصل إلي 1,5% ويحتوي الرصاص بعد تنقيته علي 99,95% من عنصر الرصاص