الباب الثاني
2

المعادن الحديدية

تمهيد

توجد الفلزات (المعادن) المختلفة كالحديد والمعادن غير الحديدية بالطبقات السطحية والطبقات الع4ميقة بالقشرة الأرضية في صورة غير نقية . تتفاوت الكميات الموجودة والمستخرجة من هذه الفلزات ، كما يتفاوت تركيزها ودرجة نقاوة كل منها من مكان إلى الآخر ، وعادة توجد أغفال الفلزات (المعادن) مختلطة بالأتربة الأرضية والشوائب المختلفة.

كلمة فلز أو معدن هي كلمة مترجمة عن كلمة Metal بالإنجليزية وهذه الكلمة مأخوذة عن كلمة من أصل لاتيني Metallum ومعناها حفرة أو منجم ، حيث كانت تستخرج الفلزات أو المعادن ، وقد أتفق أخيراً على إختيار كلمة فلز بدلا من معدن في اللغة العربية.

تستخرج أغفال الفلزات (المعادن المختلفة كالحديد والصلب والنحاس وغيرها) من باطن الأرض ، وتجرى عليها عمليات استخلاص من خلال صهر هذه المعادن باستخدام عدة أنواع من الأفران.

يتناول هذا الباب استخلاص وإنتاج المعادن الحديدية وسبائكها مثل حديد الزهر والصلب بأنواعهم المختلفة.

كما يتعرض لأفران الصهر المختلفة مثل الفرن العالي ــ فرن الدست المعروف بالكيوبولا ــ فرن البوتقة ــ فرن التقليب ــ المحولات والأفران الكهربائية ..... وغيرها ، والأفران المستخدمة في صهر ونقاوة وتكرير هذه الفلزات ، وذلك من خلال الشرح التفصيلي لكل فرن من هذه الأفران على حدة ، مع عرض لطريقة التشغيل ومميزات وعيوب كل منهم.

الفلزات (المعادن) الحديدية
Ferrous materials

الفلزات (المعادن) الحديدية هي سبائك من حديد مضاف إليها كربون وعناصر أخرى منها السيلكون والمنجنيز والفسفور والكبريت ..... وغيرها.

تنقسم سبائك الحديد حسب نسبة الكربون بها إلى صلب وزهر ، فالسبائك التي تحتوي على نسبة كربون لا تزيد عن 2 % تعتبر من المعادن الصلبة ، أما السبائك التي تحتوي على كربون بنسبة أكبر فإنها تعتبر من حديد الزهر ، علماً بأن نسبة الكربون في أنواع الصلب الذي ينتج عملياً لا تتجاوز 1.4 % ، وكذلك نسبة الكربون في الزهر المنصهر عملياً تتراوح ما بين 2.5 ــ 4.5 %.

يستخلص الحديد في الأفران العالية ، ويسمى عند صبه بتماسيح الحديد ، أما الصلب فيحصل عليه بالتحويل من الزهر.

الجزء الأكبر من الزهر المستخلص في الأفران العالية يستعمل لإنتاج الصلب ، كما أن جزءا من هذا الزهر يستعمل لإنتاج مسبوكات الزهر.

الحديد الخام (تماسيح الزهر) من الفلزات (المعادن) الثقيلة ، درجة الحرارة العادية 7.875 ^{0}م ، ودرجة حرارة إنصهاره 1300 ^{0}م ، ودرجة حرارة غليانه 2450 ^{0}م . كثافته ما بين 7 ــ 7.3 كجم/دسم^{2} . نسبة الكربون تتراوح ما بين 3 ــ 4 % .

يعرف الحديد بسهولة تمغنطه ، كما إنه يفقد مغناطيسيته بسهولة أيضاً ويفقدها كلياً في درجة حرارة 769 ^{0}م . قابلية الحديد للتوصيل الحراري أقل من قابلية الفضة للتوصيل الحراري بمقدار 6 ــ 7 مرات ، وأقل من قابلية الألومنيوم للتوصيل الكهربائي بمقدار 3 مرات.

الرمز الكيميائي للحديد هو Fe مأخوذة من كلمة لاتينية Ferumm ، وهو لا يصدأ في الهواء الجاف ، ولكنه يصدأ بسرعة في الهواء الرطب المحتوي على ثاني أكسيد الكربون.

استخلاص الحديد الغفل : PIG IRON EXTRACTION

لا يوجد الحديد منفرداً في الطبيعة ، ولكنه يوجد متحداً مع عناصر أخرى كالأكاسيد أو الأكسوجين أو الكبريت أو السيليكات .... وغيرها ، كما يحتوي على شوائب من القشرة الأرضية ، هذا يعني أن الحديد يستخرج من الأرض في صورة غير نقية ، ويتفاوت في جودته وتركيزه من موقع إلى آخر ، كما تختلف درجة نقاوته.

العمليات التجهيزية التي تجرى على الحديد الغفل :

المقصود بالعمليات التجهيزية التي تجرى على الحديد الغفل .. هي العمليات الأولية التي تجرى على الخامات المستخرجة من باطن الأرض قبل إرسالها إلى الأفران العالية لإستخلاص الحديد منها.

وهـــذه العمليات هي في الحقيقة عمليات تحضير وتهيئة وتركيز لهذه الخامات ، وتشتمل هذه العمليات على الآتي :-

1. تكسير الخامات وتفتيتها.
2. الفرز .. (التصنيف).
3. التحميص.
4. الغسل.
5. التركيز الكهرومغناطيسي.
6. التلبيد.

هذه العمليات رخيصة ، وهي لا تحدث أى تغيير في التركيب الكيميائي للمعدن أو في حالته المعدنية.

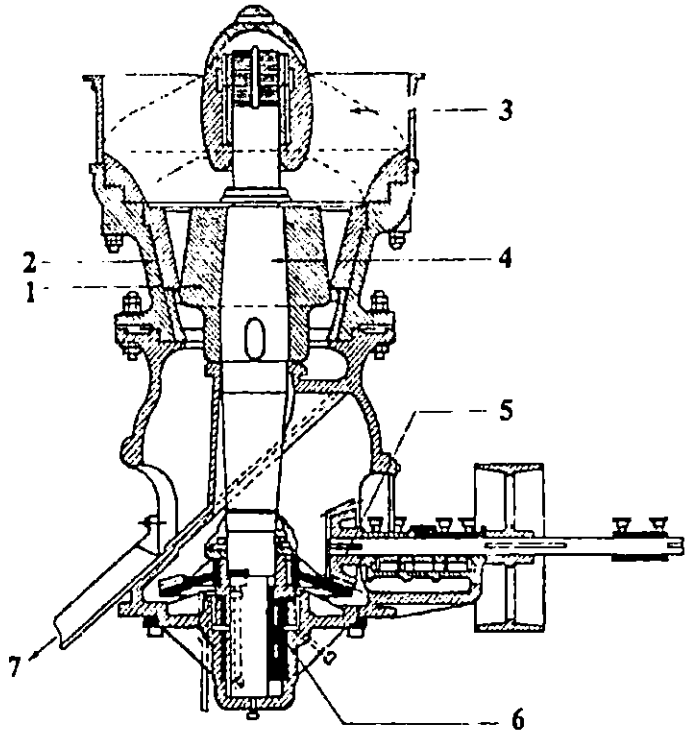
أولا : عملية التكسير

الصخور المستخرجة من المناجم تكون في العادة كبيرة الحجم نسبياً ، يصل حجمها إلى ما بين 1.2 ــ 1.5 متر تقريباً ، وإن عمليات استخلاص المعدن من خاماته تتطلب قطعاً صغيرة من الخامة الغفل ، ولهذا السبب تستعمل الماكينات

والآلات لتكسير وتفتيت هذه الخامات . تسمى الماكينات المستعملة لهذا الغرض بالكسارات أو الطواحين.

تتم عملية تكسير غفل الحديد في كسارات مخروطية كما هو موضح بشكل 2 – 1 وذلك عن طريق الضغط المستمر بين مخروطيين ناقصين أحدهما متحرك والآخر ثابت.

تستخدم الكسارات المخروطية على إختلاف أنواعها في تكسير الكتل الخام الكبيرة والمتوسطة والصغيرة . تصل سعة الكسارة المخروطية إلى 2100 طن في الساعة.



شكل 2 – 1

كسارة مخروطية للكتل الكبيرة

1. المخروط المتحرك.
2. المخروط الثابت.
3. شحن الغاز.
4. عمود الدوران.
5. تروس نقل الحركة.
6. العنق.
7. تفريغ الخام.

ثانيا : الفرز والفصل

المقصود بعملية الفرز والفصل هو تصنيف المواد بعد تكسيرها حسب الحجم ، حيث أن المواد الخام تختلف حجمها بعد عملية التكسير ، فمنها ما يكون صغير الحجم نسبياً أومتوسط الحجم أو كبير الحجم نسبياً.

تتم عملية الفرز باستخدام مغناطيسيات كهربائية ، حيث تلتقط الأجزاء التي تحتوي على حديد وتلقى المواد الأخرى الغير مغناطيسية بعيداً .

أما عملية فصل الخام المكسر فيتم بالمناخل (الغرابيل) ذات شبكات مختلفة من خلال هزازات ميكانيكية ، وتسمى هذه العملية بعملية تصنيف المواد حسب الحجم.

ثالثا : التحميص

تجرى عملية التحميص لخامات الحديد بعد إستخراجها من المنجم في الهواء الطلق المباشر ، ثم تنقل إلى أفران أو في قمائن خاصة تعمل بالهواء الساخن لتبخير ماء الغسيل وطرده ، هـذا بجانب التخلص من جـزء كبـير من الكبريت وثاني أكسيد الكربون . ولزيادة تركيز الخام تستخدم طريقة الفرن الدوار حـيث يختلط الغفل مع الفحم ويسخن في فرن أسطواني دوار ، ترتفع درجـة حرارته إلى حوالي 1200 °م ، حيث يتخلص من معظم السيليكا والشوائب الأخرى ، وبذلك يتم الحصول على غفل غني بالحديد حـيث تبلغ نسبة الحديد بالغفل إلى نحو 90 % تقريبا .

رابعا : الغسيل

تجرى عملية غسل الخامات باستخدام تيار مائي بضغط مناسب للتخلص من الأتربة والرمل والطين ، كما يعمل التيار المائي على حمل المواد العاطلة والشوائب بعيداً عن الخام ، وبعد عملية الغسل تجرى عملية التجفيف

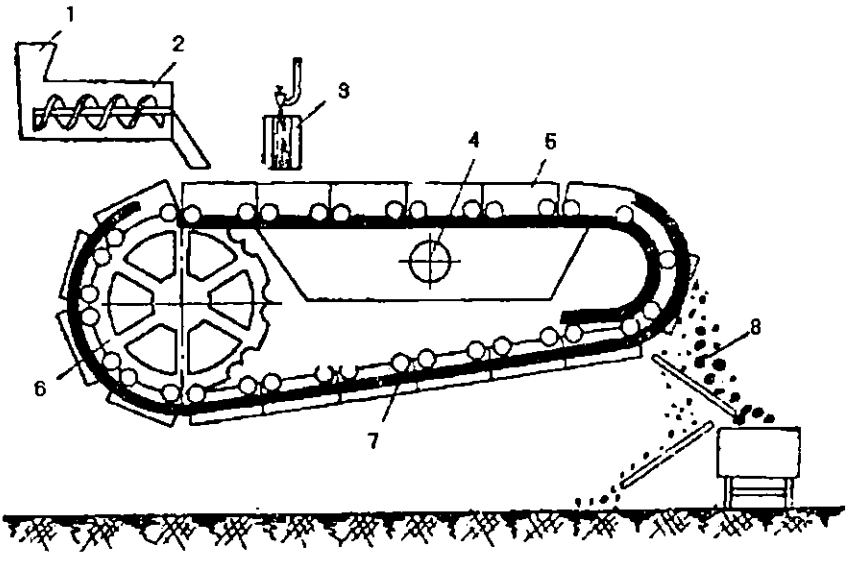
خامسا : التركيز الكهرومغناطيسي

تعمل ماكينات الفصل الكهرومغناطيسية على التقاط أجزاء الخام التي تحتوي على حديد ، وتلقى بالمواد العاطلة والشوائب التي لا يلتقطها المغناطيس بعيدا عنها.

سادسا : التلبيد

تجرى عملية تلبـــيد الغفل للأحجار الصغيرة وغبار الخام المتطاير للحصول على أحجار كبيرة . شكل 2 – 2 يوضح ماكينة تلبـــيد الخام وهي عبارة عن جنزير يحتوي على عربات صـــغيرة تتحرك في دورة مغلقة ، تحمل على القضبان الموجـــودة على هذه العربات طـــبقة يصل ســـمكها إلى ما بين 250 ــ 350 ملليمتر من خليط مبلل من الخام والوقود المفتت ، ويشعل الوقود بواسطة مشعل ، ويسحب تيار من الهواء من أعلى إلى أسفل ، وتتولد عند اشـــتعال الوقود درجة حرارة ما بين 1200 ــ 1300 ^{0}م ، ويتم معها تسوية أجزاء الخام الصغيرة إلى أجزاء كبيرة مسامية تصلح للصهر في الأفران العالية

وقد بدأ في الوقت الحاضر في تلبـــيد خليط من الخام والوقود والمواد المساعدة للصهر Fluxes للحصول على مركب مختلط بمساعدة الصهر ، تعمل هذه الطريقة على رفع كثيراً من إنتاجية الأفران العالية وتخفض من استهلاك الوقود عند صهر حديد الزهر .



شكل 2 – 2

رسم تخطيطي لتركيب ماكينة تلبـــيد الخام

1. صندوق .
2. الخلاط .
3. مشعل .
4. غرفة التخلخل.
5. عربة.
6. ترس محرك
7. قضيب .
8. غربال هزاز .

إنتاج الحـــديد الخام

Wrought iron production

يجرى استخلاص الحديد الخام من غفل الحديد في أفران خاصة لتحويله إلى حديد خام كمرحلة أولى ، ويتم ذلك عادة باستخدام الأفران العالية Blast Furnaces ، وفي بعض الأحيان يستخلص الخام في أفران كهربائية ، علماً بأنه بدأ في الآونة الأخيرة إستخلاص الحديد الخام باستخدام غازات مختزلة ساخنة مثل الهيدروجين والميثان وأول أكسيد الكربون ، وقد تختلف وسائل تسخين الغفل بهذه الطريقة ، حيث تستخدم الوسائل الكيميائية بإحراق فحم الكوك وتحويله إلى ثاني أكسيد الكربون وتوليد حرارة

عالية كما هو الحال بالفرن العالي .

تستخدم الطاقة الكهربائية في التسخين بالأفران العالية .. إلا أن إختزال أكسيد الحديد يتم بأسلوب واحد في كلا الطريقتين ، حيث يستخدم كربون فحم الكوك لينزع الأكسوجين من أكسيد الحديد . هذا يعني أنه لا بد من استخدام فحم الكوك في كلا الطريقتين للاختزال أكاسيد الحديد الموجودة بالخام.

الفرن العالي

Blast furnace

يستخدم الفرن العالي في فصل الخامات عن شوائبها بواسطة الصهر ، والتخلص من الأكسوجين الموجود في الحديد الخام عن طريق الإختزال بالكربون لتحويله إلى إلي حديد زهر (تماسيح حديد).

سمي الفرن العالي بهذا الاسم لضخامته وارتفاعه الشاهق ، حيث يتراوح ارتفاع الفرن الذي يعمل بالكوك إلى ما بين 30 ــ 80 متر ، ويبلغ قطر أكبر مقطع فيه ما بين 10 ــ 14 متر . علماً بأن ارتفاع الفرن الذي يعمل بالفحم الخشبي يصل إلى 20 مترا فقط.

يعمل الفرن بشكل متواصل .. أي بدون توقف منذ إنشائه وتشغيله . يصل إنتاجه إلى أكثر من 2000 طن من حديد الزهر في اليوم.

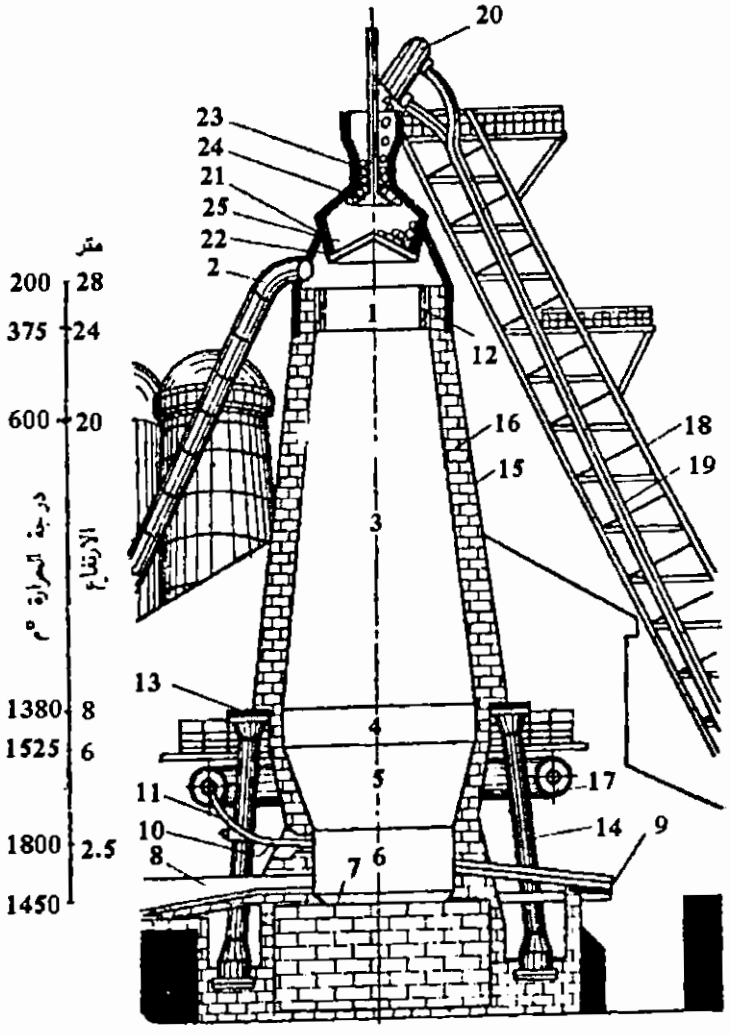
الفرن العالي الموضح بشكل 2 – 3 عبارة عن مخروطين ناقصين مركبين فوق بعضهما البعض ، تم بنائهما بالطوب الحراري ، مغطى من الخارج بغلاف من الصلب . تتراوح درجة مقاومته للحرارة إلى ما بين 1580 ــ 1730 ^{0}م.

يحيط بجدران الفرن قنوات تبريد مائية مصنوعة من الصلب ، أما قمة الفرن فتتكون من منصة الفوهة وغطاء ناقوسي الشكل ، ويحيط بأكبر مقطع بالفرن أنبوب بشكل حلقي لخروج الهواء منها إلى داخل الفرن.

يعمل الفرن بشكل متواصل .. أي بدون توقف منذ إنشائه وتشغيله . يصل إنتاجه

إلى أكثر من 2000 طن من حديد الزهر في اليوم.

سمي الفرن العالي بهذا الاسم لضخامته وارتفاعه الشاهق ، حيث يتراوح ارتفاع الفرن الذي يعمل بفحم الكوك إلى ما بين 30 ــ 80 متر ، ويبلغ قطر أكبر مقطع فيه ما بين 10 ــ 14 متر . علماً بأن ارتفاع الفرن الذي يعمل بالفحم الخشبي يصل إلى 20 مترا فقط.



شكل 2 – 3

رسم تخطيطي لمقطع بالفرن العالي

1. قمة الفرن.
2. ماسورة خروج الغاز.
3. القصبة.
4. منطقة الصهر.
5. الأكتاف.
6. الكور.
7. القعر.
8. قناة صب الزهر.
9. قناة الخبث.
10 فتحات دخول الهواء.
11. كوع الهواء.
12. حلقات.
13. حلقة السند.
14. مسند.
15. الغلاف الخارجي.
16. البطانة.
17. أنبوب الهواء.
18. رافعة عربة الشحن.
19. قضيب.
20. عربة الشحن.
21. القمع الكبير.
22. المخروط الكبير.
23. القمع الصغير.
24. المخروط الصغير.
25. مواد الشحنة.

الأجزاء الأساسية للفرن العالي :

يتكون الفرن العالي الموضـــح بالشكل السابق 2 – 3 من الأجــزاء الأساسية التالية :-

1. القمة :

هو جــزء أسطواني قصير يستقبل الشحنة عن طريق جهاز الشحن بأعلى الفرن ، ويحتوى على جهاز ناثر للشحنة لسقوطها داخل الفرن ، كما يحتوي على مواسير لخروج الغازات الناتجة عن عملية الصهر.

2. القصبة :

هي جزء أسطواني مخروطي متصل بالقمة ، وهو كثر أجزاء الفرن اتساعاً وارتفاعاً . صممت القصبة بهذا الارتفاع وذلك لحدوث العمليات المختلفة من انتقال الحرارة والاختزال التي تؤدي إلى انصهار الحديد أسفل القصبة . تحمل القصبة على أعمدة ساندة من الصلب وترتكز على قواعد خرسانية.

3. **منطقة الانصهار** :

هو جزء أسطواني قصير ، ويعتبر من أكثر أجزاء الفرن اتساعاً .

4. **الأكتاف** :

هو جزء أسطواني مخروطي ، أسفل القصبة .

5. **الكور** :

هو جزء أسطواني يتراوح قطره ما بين 5.5 إلى 8.5 متر ، يتجمع به المعدن المنصهر ، يوجد بالجزء الأسفل عدة فتحات هي :-

- فتحة في القاع لخروج الزهر المنصهر .
- فتحة علوية في مستوى أعلى من مستوى فتحة خروج الزهر ، وذلك لخروج الخبث المنصهر .
- فتحات دخول الهواء الساخن للفرن ، توجد بأعلى الكور ، وتتكون ما بين 12 إلى 18 فتحة منتشرة على محيط دائرة واحدة . تصل درجة حرارة الهواء الساخن إلى حوالي 1000 ^{0}م.

شحنة الفرن العالي : BLAST FURNACE CHARGE

تتكون شحنة الفرن العالي من مكونات مختلفة حسب النسب التالية :-

1. **خام الحديد** :

يشحن الفرن باثنين 2 طن خام حديد قبل شـــحن خام الحديد إلى الفرن العالي ، ويتم تجهيزه بعدة عمليات تحضيرية كالآتي :-

(أ) تكسير الخام .

(ب) فرز الاحجم الصالحة للشحن ما بين 30 إلى 100مم .

(ج) الأحجام الصغيرة والتربة يتم تلبيدها على شكل قوالب بحجم مناسب.

(د) غسل الخام للتخلص من المواد العالقة به والمواد العاطلة مثل الطفل والسيليكا ..... وغيرها .

(هـ) يلتقـــط الخام الصالح لعملية الشحن من خلال مغناطيسيات كهربائية ، ومن الطبيعي فصل المواد العاطلة الأخرى .

2.فحم الكوك :

يشحن الفرن بطن فحم كوك ، الذي يعتبر من أجود أنواع الوقود المستخدم للصهر في الأفران العالية ، حيث يولد طاقة حرارية تتراوح ما بين 7000 إلى 8000 كيلوكالورى / كجم ، ومن مميزاته أنه يساعد على اختزال أكاسيد الحديد .

3.مساعد صهر :

يستخدم الحجر الجيري كمساعد للصهر ، حيث يتحد مع المواد العاطلة أو الشوائب الموجودة بالشحنة (المواد الغير معدنية) مكونا خبث سهل الانصهار ، يطفو على سطح المعدن المنصهر ، حيث أن كثافة الخبث المنصهر أقل من كثافة حديد الزهر المنصهر .

4.هواء ساخن :

ينفخ الهواء الساخن الذي يصل إلى 1000 ° م من خلال مواســير بأســفل الفرن ، ويحتاج الفرن العالي إلى كمية هائلة من الهواء الساخن بحيث يتراوح ما بين 2 إلى 4 متر مكعب لكل كيلوجرام من الزهر المنصهر . لذلك فإن الهواء الساخن الذي يصل إلى الأفران العالية الحديثة يصل ما بين 1300 إلى 3500 م^2 / دقيقة ، تحت ضغط 1.4 إلى 2.1 ضغط جوي .

العمليات التي تتم داخل الفرن العالي :

يوجد في الفرن العالي تياران متصلان متضادان في الاتجاه ، فمن أعلى إلى أسفل يتساقط الخام وفحم الكوك ومساعدات الصهر ، ومن أسفل إلى أعلى تتصاعد نواتج احتراق فحم الكوك والهواء الساخن والغازات .

يعبأ الفرن بمزيج من الخامات وفحم الكوك ومساعدات الصهر ، وتقوم رافعة مائلة موجــودة بالقرب من الجزء العلوي للفرن بنقل هذه المواد إلى الفوهة ، ويحتاج

الفرن العالي عادة إلى مسخنات هوائية قد يصل عددها إلى أربعة ، تعل هذه المسخنات على تسخين جدران الفرن العالي بالتناوب ، وذلك من خلال حرق غاز الفوهة ، أما وظيفة مساعدات الصهر وأهمها الحجر الجيري فهي تمييع المواد الترابية الصعبة الانصهار المختلطة بالخامات ، وكذلك رماد المواد المحترقة لتحويلها إلى خبث . وفي أحوال كثيرة يتم شحن الفرن العالي بالحجر الجيري مطحونا ملبدا .

يحترق فحم الكوك عند دفع الهواء الساخن عبر المنافس ، وينتج عن هذا الاحتراق غاز ساخن ترتفع درجة حرارته أكثر عند رش زيت إضافي على الفحم لزيادة توهجه

يرتفع غاز إلى الفوهة عبر محتويات الفرن إلى الطبقات العليا جارفا معه غاز ثاني أكسيد الكربون وجزءاً من الكبريت ، أما أكاسيد الحديد المتبقية فإنها تهبط في الفراغ الناتج عن حرق فحم الكوك ، ويتم اختزال أكاسيد الحديد الساخنة .. أي استخلاص الأكسوجين منها بواسطة الغازات الصاعدة والتي تحتوي على أول أكسيد الكربون .

فحم الكوك المتوهج يمتص الكربون ويختزله من الحديد أثناء عملية الصهر ، وينصهر الخام ويهبط الخام ويهبط إلى أسفل ليتجمع في الكور أو في ما يسمى ببئر الفرن ، أما الخبث المنصهر فإنه يطفو بأعلى الحديد المنصهر لكونه أقل كثافة منه ، ويمتص جزءا كبيرا من الكبريت المرافق للمعدن المنصهر ولفحم الكوك ويحول دون اتحاده مع الحديد .

يسحب الخبث بصورة مستمرة من خلال قناة الخبث ، ويفرغ حديد الزهر المنصهر ليتجمع في الكور (بئر الفرن) مرة كل أربع ساعات ، وينقل حديد الزهر المنصهر في بواتق خاصة إلى مصنع الصلب ، أو يصب ويشكل تماسيح تستخدم كمواد خام في المسابك وذلك حسب تركيبه .

منتجات الفرن العالي : BLAST FURNACE PRODUCTS

ينتج الفرن العالي المنتجات التالية :-

1. حديد زهر التمساح :

يعتبر الحديد المستخلص من الفرن العالي هو المنتج الأساسي للفرن ، ويستخدم في إنتاج أنواع مختلفة للصلب والزهر .

2. الخبث :

يستعمل الخبث الذي على شكل قار في عمليات رصف الشوارع ، وفي الطوب الخبثي ، كما يدخل في صناعة إسمنت بورتلاند ، وفي صناعة الأسمدة ، والصوف الخبثي الذي يستخدم كعازل حراري وذلك لرداءة التوصيل للحرارة.

3. الغازات :

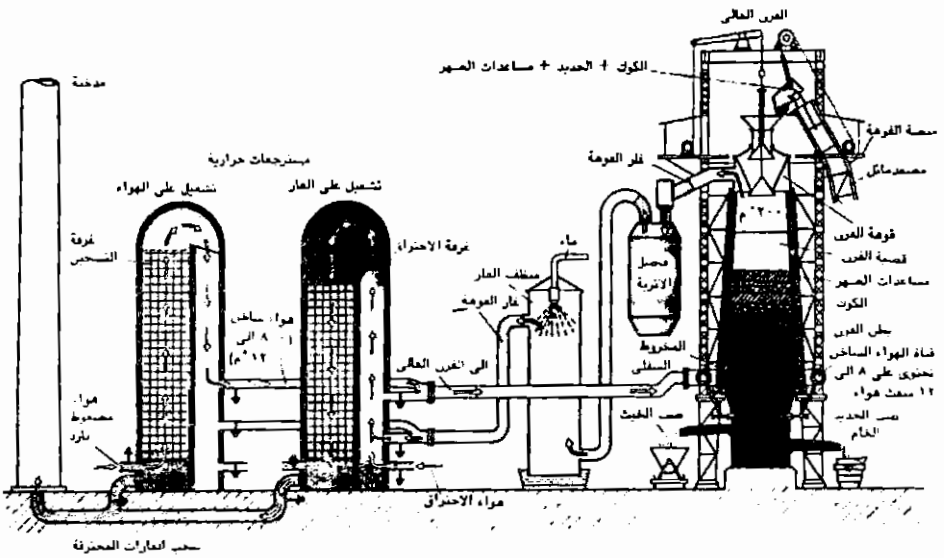
تتكون الغازات المنتجة من أول أكسيد الكربون بنسبة 25 % تقريبا ، أما الغازات الباقية فهي مكونة من ثني أكسيد الكربون وأكسوجين وأوزوت ، وهذه الغازات قابلة للاحتراق ، تستعمل في تسخين الهواء في منشأة الفرن ، كما تستخدم كوقود للمحركات الغازية ، وتسخين غرف فحم الكوك ، وفي التدفئة .

ملاحظة :

تعتبر تماسيح الحديد المنتجة من الفرن العالي كمادة خام ، هذه المادة الخام لا تصلح للعمليات الصناعية مباشرة ، إلا بعد إجراء عمليات تنقية بتجهيزات بدرجات مختلفة ، باستخدام الأفران والمحولات وذلك للحصول على الزهر والصلب بدرجاته .

منشأة الفرن العالي : BLAST FURNACE ESTABLISHMENT

يحتاج الفرن العالي إلى منشأة ، وهي تتمثل في إنتاج العمليات العديدة مثل رافعات للشحنة – تجهيز الهواء الساخن – ماء تبريد – فواصل للأتربة والمواد غير المرغوب فيها ... وغيرها . لذلك لا يعمل الفرن العالي بمفرده بل يجب إنشاء وحدات جواره للمساعدة في عمليات الصهر . شكل 2 – 4 يوضح منشأة الفرن العالي .



شكل 2 – 4

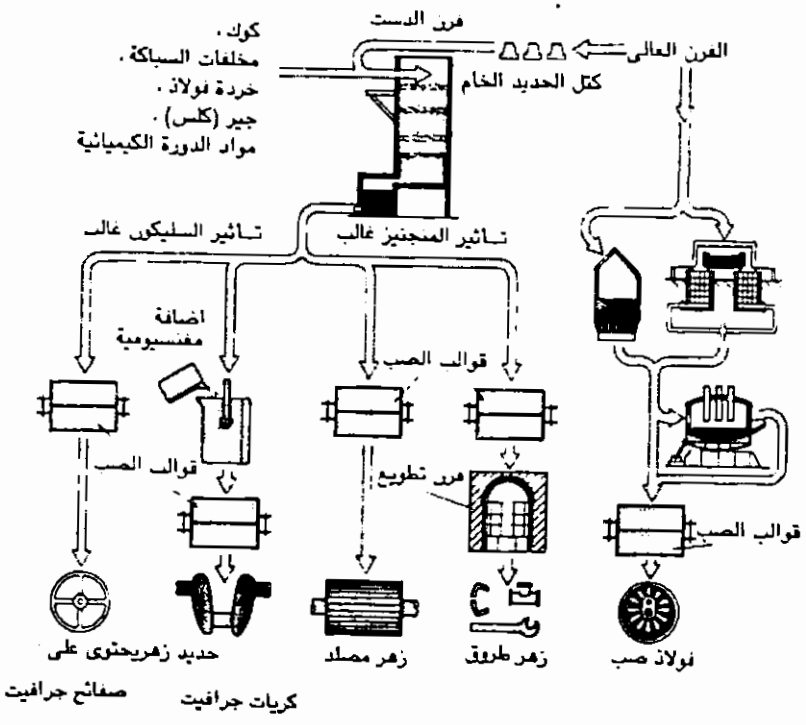
منشأة الفرن العالي

استخلاص الزهر من الحديد الخام :

تعتبر تماسيح الحديد المنتجة من الفرن العالي كمادة خام ، لا تصلح لأعمال السباكة Casting قبل أن تجري عليها عمليات تنقية . وعادة تتم عملية التنقية من خلال صهر تماسيح الحديد الخام الرمادي مع خردة الحديد والصلب في أفران الصهر مثل فرن الدســت أو الفرن الكهربائي كما هو موضح بشكل 2 – 5 ، وذلك لتحويل الحديد المنتج من الفرن العالي إلى حديد صالح للصناعة.

وللتخلص من الخبث يضاف الحجر الجيري ، وبهذا الصهر يكون حديد الزهر المنتج أكثر كثافة وتماسك وذا حبيبات أنعم وأدق.

وبالتبريد البطيء بعد الصهر ينفصل الكربون في أغلب الأحوال بشكل صفائح من الجرافيت.



شكل 2 – 5

تحويل الحديد الخام إلى حديد قابل للصب

والشائع بصفة عامة وبدون إستثناء هو استخدام سبائك أو خلائط من الحديد وعناصر أخرى مثل الكربون والسليكون والمنجنيز مع بعض الشوائب الأخرى مثل الكبريت والفسفور ، هذه العاصر وأهمها الكربون تحدد إلى قدر كبير نوع وخواص سبيكة الحديد الناتجة.

خواص حديد الزهر القابل للصب :

من أهم خواص القصدير هي الخواص التالية :-

الرمز : GG .

كثافته : 7.25 كجم/دسم^3.

درجة إنصهاره : 1150 ــ 1250 ^{0}م.

درجة حرارة الصب : 1350 ^{0}م.

متانة الشد 10 ــ 40 كجم/مم^2.

الإنفعال : معدوم تقريباً.

نسبة الإنكماش : 1 %.

التركيب : 2.5 ــ 3.6 % كربون.

1.8 ــ 2.5 % سليكون.

0.4 ــ 1.0 % منجنيز.

0.2 ــ 0.9 % فوسفور.

0.8 ــ 0.12 % كبريت.

المواد الحديدية المستخدمة في الصناعة :

يمكن تقسيم المواد الحديدية المستخدمة في الصناعة إلى الأنواع الثلاثة التالية :ـ

1. خامات معدنية.
2. مواد نصف مصنعة.
3. منتجات نهائية.

أولا : الخامات المعدنية

هي معادن متحدة مع عناصر أخرى على شكل أكاسيد أو كربونات أو كبريتات وغيرها ، توجد هذه العناصر في الطبيعة مختلطة مع مواد أخرى تسمى بالمواد العاطلة .

تستخرج الخامات في الطبيعة بواسطة الصناعات التعدينية ومنها على سبيل المثال

لا الحصر .. خام الهيماتايت ــ خام الماجنتايت أما المواد العاطلة في الخامات فهي السيليكا (الرمل) ــ الألومينا (إحدى مكونات الطين) ــ أكسيد الكالسيوم (الجير).

ثانيا : المواد نصف المصنعة

هي المواد التي أجرى عليها بعض العمليات التصنيعية والتي لا تزال تنتظر إجراء عمليات تصنيعية أخري للحصول عل أشكال وخواص مناسبة.

تعرف المواد نصف المصنعة بأنها ذات أشكال متعددة ، تتوقف هذه الأشكال على المرحلة التي وصلت إليها في التصنيع .. فيما يلي بعض الأمثلة للمواد الحديدية نصف المصنعة.

المعدن الخام :

هو المعدن الناتج عن عمليات الاستخلاص الأولية من الخام المعدني الأصلي .

يحتاج التركيب الكيميائي للمعدن الخام إلى تعديل بواسطة عمليات تصنيعية أخرى للحصول على التركيب النهائي المطلوب .. كما هو الحال في تسلسل عمليات حديد الصلب والزهر.

معدن مجهز :

بعد إعادة صهر المعدن الخام وضبط تركيبه الكيميائي يكون جاهز للصب في القالب بالشكل المطلوب ، وأقرب مثال لذلك هو إعادة صهر الزهر الخام المستخرج من الفرن العالي في فرن الدست أو صهره في أى أفران أخرى ، ثم يصب في قوالب بالأشكال المطلوبة ، أو يحول في فرن تحويلي آخر إلى حديد صلب ويصب على شكل كتل.

هي الأشكال التي تنتج عن طريق صب المعدن المنصهر في قوالب (قوالب رملية أو تجاويف لها نفس الشكل المراد إنتاجه) ، ثم يبرد المعدن ويتجمد في هذه القوالب أو التجاويف للحصول على مسبوكات بالأشكال المطلوبة.

كتل التشكيل :

تصـــب المعادن المراد تشكيلها تشكيلاً لدناً عن طري الدرفلة أو الطرق على شكل كتل تشكيل . يتراوح وزن هذه الكتل ما بين 100 كيلوجرام إلى 10 طن.

كتل تشكيل نصف مدرفلة :

جميع كتل التشكيل يجرى عليها درفلة أولية لتغيير التركيب انبلوري للمعدن ، لأنه عادة لا يكون غير متجانس ، ومن ثم فإنه لا يلائم عمليات التشكيل اللدنة اللاحقة.

ينتج من عمليات الدرفلة الأولية كتل نصف مصنعة .. يطلق عليها بالكتل المربعة أو بلاطات التشكيل.

القضبان :

هي المنتجات المنتجة عن طريق الدرفلة أو البصق أو السحب ، وعادة تكون على شكل أطوال كبيرة ذات مقاطع صغيرة .. قد تكون هذه المقاطع مستديرة أو مربعة أو مسدسة أو مستطيلة ، ويمكن تكون هذه القضبان مستقيمة وقد تكون أحياناً ملفوفة على بكرات.

المطروقات :

هي المنتجات اللدنة الناتجة عن طريق طرقات متتالية على المعدن الذي يكون في حالة لدنة.

القطاعات الإنشائية :

هي منتجات ذات أطوال كبيرة ، تأخذ قطاعاتها أشكالا معددة ومنها على سبيل المثال حرف I أو حرف T أو على شكل زاوية . وتنتج هذه القطاعات عن طرق الدرفلة وتستخدم في الأعمال الإنشائية وبالبناء.

الأسلاك :

يطلق إســم الأسلاك على القطاعات المستديرة الصغيرة التي لا يزيد قطرها عن 2 ملليمتر.

تنتج الأسلاك عن طرق سحب القضبان المعدنية .. وعادة تكون أطوالها كبيرة جداً.

الألواح :

هي منتجات مسطحة ذات تخانات مختلفة، لا يقل سمكها عن 1 ملليمتر، يتم إنتاجها عن طريق الدرفلة.

الصاج :

تصنع ألواح الصاج من الحديد يتم إنتاجها عن طريق الدرفلة ، وهي ألواح مسطحة ذات تخانات مختلفة ، لا يقل سمكها عن 1 ملليمتر، منها المجلفن بالزنك ويسمى بالصاج الأبيض المجلفن ، أما الغير مجلفن فإنه الذي لم يعالج كيميائياً ويعرف بالصاج الأسود.

الرقائق :

هي ألواح مسطحة ذات تخانات مختلفة ، سمكها أقل من 1 ملليمتر ، يتم إنتاجها عن طريق الدرفلة.

تستخدم المواد نصف المصنعة ذات الأشكال المتعددة كمواد أولية لصناعات أخرى ، وعلى سبيل المثال يستخدم السلك في صناعة المسامير ، كما يستخدم بعد معالجته كيميائياً في صناعة النوابض اللولبية (السوستة أو الزنبرك أو الياى).

ويستخدم الصاج في صناعة هياكل السيارات والثلاجات والأفران ..... وغيرها . أما الكتل المربعة فإنها تستخدم كمواد أولية في عمليات الحدادة أو البثق.

وتستخدم القضبان ذات المقاطع المستديرة أو المربعة أو المسدسة أو المستطيلة كمواد أولية في عمليات قطع المعادن (البرادة ـ الخراطة ـ المقاشط ـ التفريز ـ التخليق).

ثالثا: المنتجات النهائية

هو المنتجات الناتجة عن مرورها بجميع مراحل التصنيع كالتشكيل والتشغيل والمعالجة والطلاء .. وأصبحت جاهزة للاستخدام النهائي أو لتجميعها مع منتج آخر.

إنتاج المعادن الحديدية

FERREOUS METALS PRODUCTION

تعتبر المعادن الحديدية من أكثر المواد إستخداماً في الصناعات الهندسية ، حيث تمثل أكثر من 90 % من وزن أى ماكينة ، لذلك فإنها تحتل مركزاً لم تستطع أى مواد معدنية أخرى منافستها ، كما أن سبائك الحديد سواء كانت على هيئة ألواح أو قضبان أو أسلاك أو قطاعات إنشائية ذات مقاطع مختلفة ، أو مسبوكات أو مطروقات .. فإنها تمثل العمود الفقري لأى إقتصاد صناعي حديث.

يستخلص الحديد من المواد الخام من خلال صهرها بهدف إزالة الشوائب العالقة بها ، ومن الصعب فصل المعدن (الحديد النقي) فصلا تاماً من العناصر المكونة له في الطبيعة ، حيث يتطلب ذلك عمليات معقدة غير اقتصادية ، هذا بجانب كون الحديد النقي ليس له خواص مفيدة من الناحية العملية ، فهو معدن طرى ذو مقاومة منخفضة للصدأ والتآكل ، ولا يتحمل الشد .. لذلك فإنه لا يستخدم ، ولا يوجد له أي استخدام على الإطلاق .

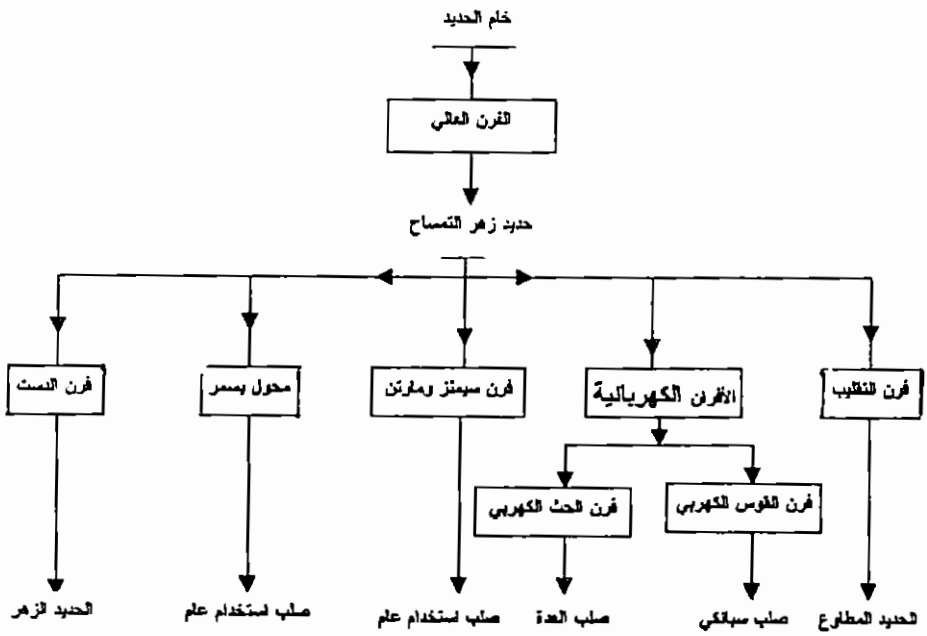
أما الحديد المستخدم في الصناعة فهو عبارة عن سبيكة (خليط) من الحديد النقي مضافا إليه الكربون بنسبة تتراوح ما بين 0.1 % ـ نحو 3.7 % مع بعض العناصر الأخرى بنسب ضئيلة جداً مثل السيليكون – المنجنيز – الفوسفور – الكبريت.

وعادة يكون معظم أنواع الحديد المستخدم هو عبارة عن سبيكة تحتوي علي حديد وكربون وبعض العناصر الأخرى.

ويمكن تلخيص عمليات إنتاج المعادن الحديدية المخلفة في الآتي :-

1. استخلاص الحديد الخام باستخدام الفرن العالي لإنتاج حديد زهر التمساح .
2. استخدام حديد زهر التمساح المستخرج من الفرن العالي لإنتاج الأنواع والمواد الحديدية المستخدمة في الصناعة مثل الحديد المطاوع - حديد الزهر - الصلب بأنواعه .. وذلك باستخدام أفران ومحولات مختلفة ، والغرض من ذلك هو تحسين الخواص الميكانيكية للمعادن المستخدمة كالشد - الضغط - وقابلية الاستطالة والتشكيل بصفة عامة ، من خلال الصهر والصب في قوالب ، أو السحب أو الدرفلة ..... الخ .

شكل 2 – 6 يوضح رسم تخطيطي لعمليات إنتاج المعادن الحديدية المختلفة والأفران المستخدمة لكل منها .



شكل 2 – 6

كسارة مخروطية للكتل الكبيرة

إنتاج حديد الزهر والصلب

STEEL & CAST IRON PRODUCTION

لا يختلف تركيب حديد الزهر Cast Iron الناتج من عملية التنقية عن حديد الصلب Steel إلا في نسبة إحتوائه على الكربون بصفة أساسية والعناصر الأخرى بصفة ثانوية ، حيث نسبة الكربون في حديد الزهر تصل إلى ما بين 2.5 ــ 3.75 %، وترتفع نسب العناصر الأخرى كالسليكون والمنجنيز والفسفور والكبريت بنسب مختلفة.

والصلب هو سبيكة من إحدى سبائك الحديد . يحتوي على أقل من 2 % كربون ، أما الزهر فهو السبائك التي تحتوي على نسب تتراوح ما بين 2.5 ــ3.75 % كربون.

وإذا تأملنا أى منتج من الأشياء التي تصادفنا في حياتنا اليومية مصنوع من المعادن الحديدية مثل السيارة سنجد أن أكثر أجزاء محركها مصنوع من سبائك الحديد والزهر ، أما هيكلها فهو مصنوع من الصاج ، وإذا تحرينا عن طريقة تصنيعها .. لوجدنا أن هذا المنتج قبل أن يصل إلى شكله النهائي قد مر بسلسلة طويلة مترابطة من العمليات الصناعية ، أدت إلى تغيير في شكل وخواص المعدن لكى يتلاءم مع متطلبات الإستخدام النهائي.

وفي كثير من الأحيان يصعب إختصار أى عملية من العمليات المتسلسلة أو البحث عن طريقة أقصر ، إذ إنه بغير هذا التسلسل لا يصل المنتج إلى خواصه المطلوبة.

إنتاج حديد الزهر

Cast iron production

تعتبر تماسيح الحديد المنتجة من الفرن العالي كمادة خام ، لاتصلح لإنتاج المسبوكات قبل أن تجري عليها عمليات تنقية ، وعادة تتم عملية التنقية للحصول علي حديد الزهر عن طريق الصهر باستخدام فرن الدست المعروف بالكيوبولا . وهذا

الفرن هو صورة مصغرة من الفرن العالي ، ولكنه يختلف في طريقة تشغيله ، حيث إنه لا يعمل بصورة مستمرة مثل الفرن العالي ، بل يتم تشغيله في الفترات التي يحتاج إليها فقط .

فرن الدست

Cupola furnace

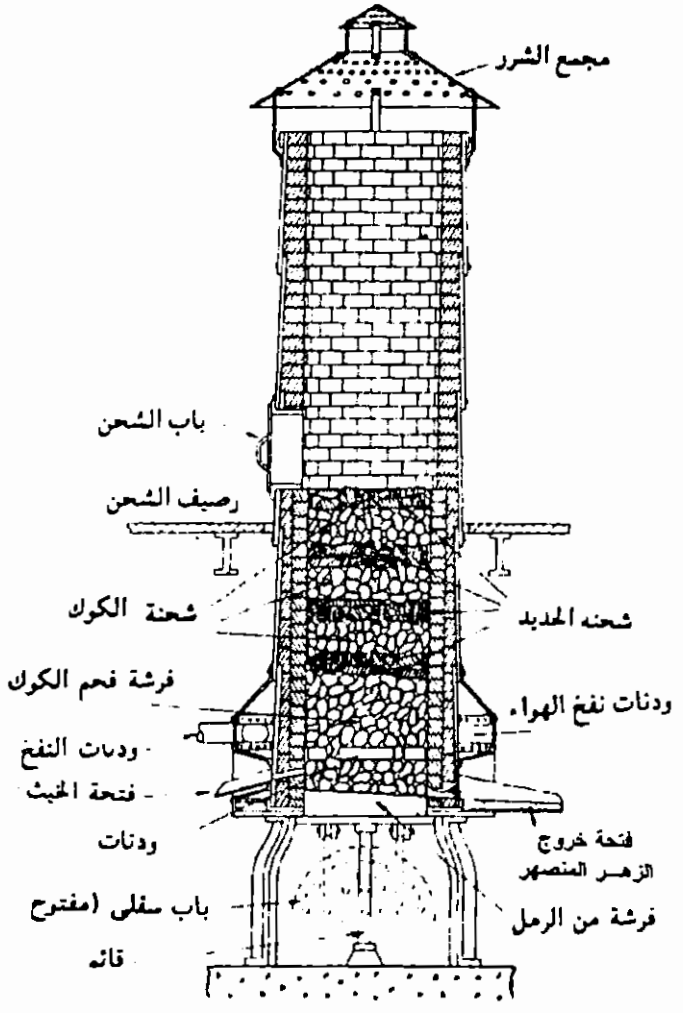
على الرغم من أن اختراع فرن الدست كان في القرن الثامن عشر .. إلا أنه يعتبر من أكثر أنواع أفران الصهر انتشاراً ، حيث ينتج ملايين الأطنان من حديد الزهر سنوياً .. والتي تمثل حوالي 80 % إلى 90 % من حديد الزهر المنصهر في المسابك

يسمى فرن الدست بفرن الصهر المستمر .. بمعنى أن عمليتي شحن الفرن واستخراج المعدن المنصهر منه يمكن أن تتم في آن واحد بدون أي تعارض بينهما ، مما يتيح تدفق المعدن المنصهر داخل خزان ملحق بالفرن ، بحيث يمكن استخدام كميات كبيرة من المعدن المنصهر مرة واحدة ، وذلك عند صب القوالب ذات الأحجام الكبيرة من المسبوكات .

يتكون فرن الدست الموضح بشكل 2 – 7 من اسطوانة رأسية طويلة مصنوعة من ألواح الصلب التي يتراوح سمكها من 6 إلى 18 ملليمتر ، تبطن بالطوب الحراري . يوجد حول الجزء الأسفل بالفرن صندوق هواء ، وهو الذي يوصل الهواء إلى داخل الفرن عن طريق ودنات ، ومن الطبيعي وجود مراوح لإمداد الصندوق بالهواء اللازم.

يشحن الفرن من خلال فتحة عليا على ارتفاع يصل إلى 6 متر ، ويوجد بقاع الفرن بابين منفصلين ، يكون شكل الفرن عند غلق البابين أشبه بالاسطوانة القائمة ، نهايتها السفلي مغلقة ونهايتها العليا مفتوحة على المدخنة . تدك قاعدة الفرن بأعلى البابين المغلقين برمل المسبك ، ويمكن تفريغ الفرن عند إسقاط هذين البابين .

توجد فتحتان بأسفل الفرن ، الفتحة الأمامية لخروج حديد الزهر المنصهر ، والفتحة الخلفية لخروج الخبث .



شكل 2 – 7

رسم تخطيطي لفرن الدست

تشغيل فرن الدست : CUPOLA FURNACE WORKING

يوضع كمية كافية من كسر الخشب وذلك لإشعال الفحم ، ثم يملأ قاع الفرن بطبقة من فحم الكوك إلى ارتفاع أعلى من مستوى الودنات ، ويسمى هذا الارتفاع فرشة فحم الكوك ، وبعد إتمام اشتعال هذه الكمية من فحم الكوك ، يشحن الفرن بطبقات متتالية من الحديد الخام والخردة معا ، وفحم الكوك ، ومساعد الصهر .. (غالبا يكون من

الحجر الجيري) ، بحيث تكون كل ثلاث طبقات متتالية شحنة واحدة . الغرض من إضافة مساعد الصهر مع كل شحنة هو الحصول على خبث اكثر سيولة.

يعتمد الصهر في فرن الدســت على استمرار عملية الشحن وإخراج المنصهر ، إذ كلما تحركت الشحنة إلى أسفل .. أي إلى منطقة الصهر ، يضاف بالفرن شحنة إضافيا من أعلى . وتتوقف حجم الشحنة على حجم وسعة الفرن .

يخرج حديد الزهر المنصهر من فرن الدست عند درجة حرارة تتراوح ما بين 100 إلى 1600 °م ، حيث يصب المعدن المنصهر في بواتق مبطنة من الطين الحراري ، وتنقل البواتق عن طريق حوامل خاصة لصب المعدن المنصهر في القوالب المجهزة.

تسخن أفران الدست الكبيرة عن طريق أوناش خاصة تستعمل لرفع المواد إلى منطقة الشحن بالفرن.

جدول 2 – 1 يوضح الشحنة التي تحتوي على المواد المختلفة التي توضع في فرن الدست ، والمواد المنتجة منه .

جدول 2 – 1

يمثل شحنة فرن الدست والمواد المنتجة

المواد التي توضع بالفرن	المواد المنتجة من الفرن
1.0 طن من حديد زهر خام والحديد الخردة	0.98 طن حديد زهر منصهر
0.15 طن فحم كوك	0.5 طن خبث
0.03 طن مساعد صهر	هذا بالإضافة إلى الغازات المستفاد بها ،
1.20 طن هواء	والغازات المفقودة بالجو .

مميزات فرن الدست :

يتميز فرن الدست عن أفران الصهر الأخرى المستخدمة في المسابك بالمميزات التالية :-

1. تركيبه بسيط.

2. سهل الاستعمال.
3. اقتصادي في استهلاكه للوقود.
4. إنتاجية عالية.
5. يمكن استخدامه بنظام الإنتاج المستمر أو الإنتاج المرحلي.
6. إمكانية التحكم في التركيب الكيميائي لحديد الزهر المنصهر المنتج.
7. إمكانية الحصول على درجة الحرارة المناسبة لتوفير السيولة المناسبة واللازمة للمعدن المنصهر.

إستعمالات حديد الزهر المنتج من الفرن الدست :

يستعمل حديد الزهر المنتج من الفرن الدست (الكيوبولا) في السباكة لتصنيع العديد من المصبوبات .. فيما يلي بعض إستخداماته :-

1. أسطوانات ومكابس المحركات البخارية ومحركات الإحتراق الداخلي.
2. هياكل التربينات والمضخات والماكينات.
3. أنابيب الغاز وأنابيب الماء كبيرة الحجم.
4. بعض المستلزمات المنزلية الخاصة بالحمامات.
5. قواعد وفرش ومنزلقات وهياكل الماكينات.

مميزات حديد الزهر المنتج من الفرن الدست :

يتميز حديد الزهر المنتج من الفرن الدست (الكيوبولا) بالمميزات التالية :-

1. انخفاض درجة انصهاره للمعدن حيث تصل ما بين 1150 إلى 1200 °م.
2. يحتوى على نسبة كبيرة من الكربون تتراوح ما بين 2 ــ 4 %.
3. طول فترة سيولة المعدن المنصهر.
4. رخيص الثمن.
5. يحتوي بداخله على نسبة من الجرافيت الحر ، الذي يعمل على تحسين الأداء الزيتي له ، ومن ثم فإنه يساعد على تخفيض معامل الاحتكاك مع المواد الأخرى ، لذلك يستخدم في صناعة المنزلقات الطويلة للماكينات.

تحويل الحديد الخام إلى صلب

المادة الخام الأساسية لإنتاج الصلب هي الحديد الخام (حديد زهر التماسيح) وكذلك الحديد الخردة .

يحتوي الحديد الخام (حديد زهر التماسيح) على نسبة كربون تصل إلى ما بين 2 ــ 4 % ، علما بان نسبة الكربون بالصلب أقل من 1.5 % ، بالإضافة إلى ذلك يحتوي الحديد الخام على شوائب غير مرغوب بها مثل السيلكون والمنجنيز والفسفور والكبريت.

بتحويل الحديد الخام (حديد زهر التماسيح) إلى حديد صلب فإنه يجب تخفيض نسبة الكربون إلى حد كبير ، مع إزالة الشوائب الغير مرغوب بها ، ويمكن التخلص من معظم الكربون والشوائب الأخرى الموجودة في حديد الزهر بحرقها أو أكسدتها عند صهر الحديد الخام ، حيث تتأكسد هذه العناصر أو تحترق لقابليتها للإتحاد بالأكسوجين.

تسمى عملية تحويل الحديد الخام (حديد زهر التماسيح) إلى حديد صلب بالتصفية .. وهناك أساليب مختلفة للتصفية.

طرق إنتاج الصلب : WAYS OF STEEL PRODUCTION

يجرى على الحديد الخام (حديد زهر التماسيح) المنتج من الفرن العالي ، عمليات تنقية بطرق ذات أساليب مختلفة ، لتحويله إلى صلب باستخدام إحدى الأفران أو المحولات التالية :-

1. المحولات .. (محول بسمر – محول توماس) .
2. فرن التقليب ــ فرن سيمنز مارتن .
3. الأفران الكهربائية .

تحويل الحديد الخام إلي صلب طري :

يمكن تحويل الحديد الخام (حديد زهر التماسيح) إلى حديد صلب طري (حديد مطاوع) من خلال تخفيض نسبة الكربون إلى حد كبير ، مع إزالة الشوائب الغير

مرغوب بها ، ويمكن التخلص من معظم الكربون والشوائب الأخرى الموجودة في حديد الزهر بحرقها أو أكسدتها عند صـــهر الحديد الخام ، حيث تتأكسد هـــذه العناصر أو تحترق لقابليتها للإتحاد بالأكسوجين ، وينتج عن ذلك حديد صـــلب لدن (فقير) لا يحتوي إلا على نسبة ضئيلة جداً من الكربون .. أى حديد صـــلب طري سهل تشكيله بالطرق أو السحب أو الضغط . ويطلق على هـــذا الصلب إسم الحديد المطاوع WROUGHT IRON .

يعتبر حديد الصلب الطري (الحديد المطاوع) من أقـــدم أنواع حديد الصلب الذي استخدمه الإنسان في الحدادة ، وهو من أنقى وأطرى المعادن الحديدية وأقلها إحتواء على الكربون ، حيث يحتوي على نسبة عالية من الحديد تتراوح ما بين 99 % ــ 99.9 % ، أما نســـبة الكربون فإنها تتراوح ما بين 0.02 ــ 0.03 % ، ويمكن زيادة نسبة الكربون في الحديد وذلك حسب الحاجة ، وتحويله إلى أنواع أخرى من الصلب الأكثر صلادة مثل صلب العدة.

يستخدم فرن التقليب لإنتاج الحديد المطاوع المعروف في الوسط الفني بالصلب الطري.

خواص الحديد المطاوع (الصـلب الطري) :

PROPERTIES OF WROUGHT IRON

أهم خواص الحديد المطاوع (الصلب الطري) هو الآتي :-

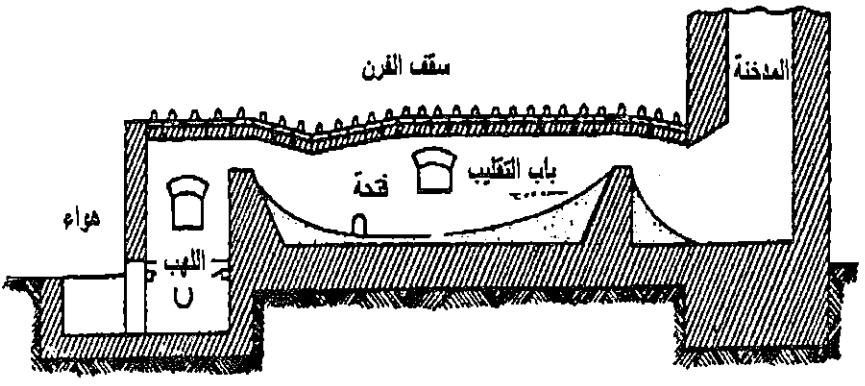
1. سهل التشكيل بالحدادة واللحام الحدادي.
2. يعتبر من أكثر المعادن الحديدية تقبلا لعمليات السحب والثني والتشكيل.
3. سهل الثني على البارد.
4. يتحمل الصدمات.
5. مقاوم للعوامل الخارجية ، حيث أن أكسوجين الجو لا يمكنه الوصول إلى الطبقات الداخلة للمعدن.

فيما يلي عرض للأفران والمحولات المختلفة المستخدمة في تحويل الحديد الخام إلى أنواع من صلب .. (صلب مطروق أو صلب صلد).

فرن التقليب

Pudding furnace

فرن التقليب الموضح بشكل 2 – 8 يسمى أيضاً بالفرن العاكس ، ويطلق عليه لفظ العاكس لأن الشحنة لا تتعرض للهب المباشر الناتج عن احتراق الوقود ، بل تتعرض للغازات الساخنة نتيجة لانعكاسها من سقف وجدران الفرن إلى الكور.



شكل 2 – 8

قطاع بفرن التقليب لصناعة الصلب الطري (الحديد المطاوع)

استخدام فرن التقليب :

يستخدم فرن التقليب (الفرن العاكس) في تحويل الحديد الخام إلى صلب طري مطاوع ، ولو إن إستخدام هذا الفرن أصبح محدوداً.

المبدأ الأساسي في هذه الطريقة هو إختزال الكربون الموجود بالحديد الغفل IRON ORE باستخدام الأكسوجين.

طريقة فرن التقليب لصناعة الصلب :

توضع الشحنة المتكونة من تماسيح الحديد الخام وخردة الحديد وقدرها 0.5 ــ 0.75 طن في مجمرة الفرن من فتحة جانبية ، ثم يسلط عليها لهب الوقود المحترق في الموقد (يستخدم الفحم الحجري كمادة لتوليد الطاقة الحرارية) ، وعند

إبتداء انصهار الحديد ، تبدأ عملية خلط الحديد بواسطة قضبان حديد من خلال البوابة الخاصة بذلك ، وتضاف كمية أخـــرى من أكسيد الحديد وتستمر عملية الخلط ، وبعد حوالي 30 دقيقة تقريبا يتحول الحديد إلى عجينة ، وتتم أكسدة الحديد المضاف لتتكون أكاسيد السيليكون والفوسفور والكبريت على شكل خبث ، أما أكاسيد الكربون فإنها تصعد إلى أعلى الفرن وتتحول إلى لهب وتخرج كغازات عادمة من خلال المدخنة . تصاحب هذه العملية غليان الشحنة ، وعندما تنخفض كمية الكربون الموجودة في الحديد ، تنخفض ميوعته ويصعب تقليبه ، كما يصعب خلطه ، ويحول الحديد إلى شكل كتل منصهرة ، ثم تجزأ إلى كتل صغيرة ، يتراوح وزن الكتلة إلى ما بين 30 إلى 60 كيلو جرام.

تخرج هذه الكتل من الفرن وتطرق بالمطارق الآلية للتخلص من الجزء الباقي من الخبث الذي يحتويها . تنقل إلى ماكينات الدرفلة لتحويلها إلى قضبان بمقاطع بأشكال مختلفة .

استعمالات الصلب الطري (الحديد المطاوع): USES OF WROUGHT IRON

يستعمل الحديد المطاوع المعروف بالصلب الطري في العديد من المنتجات الصناعية .. أهمها الآتي :-

1. عمل السلاسل الحديدية - خطاطيف الأوناش - الأجزاء المفصلية - الأبواب وملحقاتها .. كما يستعمل في صنع بعض المعدات الزراعية.
2. يستعمل الحديد المطاوع النقي في بعض أجزاء الماكينات الكهربائية كالأقطاب الكهرومغناطيسية والملفات الكهربائية وبعض أجزاء الأجهزة الكهربائية.

تحويل خام الحديد إلى صلب بالنفخ

يتمثل هذا الأسلوب من التحويل في إختزال الكربون بخام الحديد (تماسيح الحديد الخام) من خلال نفخ خام الحديد المنصهر بغاز الأكسوجين النقي بدلا من الهواء (النفخ يكون من أعلى الفرن) ، حيث يعمل الأكسوجين على حرق الكربون والشوائب الأخرى الغير مرغوب بها مثل السيلكون والمنجنيز والفسفور والكبريت ، لذلك فإن هذه الطريقة تعرف بطريقة الصلب الأكسوجيني .

تولد هذه العملية كمية كبيرة من الحرارة تكفي للمحافظة على درجة حرارة الشحنة.

محول بسمر

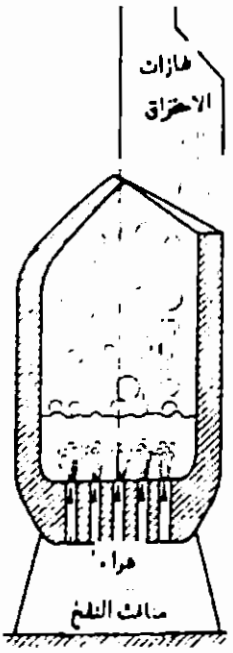
Bessmer converter

اكتشف هنري بسمر عام 1855 م طريقة إنتاج حديد الصلب بكميات كبيرة باستخدام محول ، ويعتبر هذا الاكتشاف من الأحداث التاريخية الهامة التي أدت إلى تطور صناعة الصلب.

محول بسمر الموضح بشكل 2 - 9 عبارة عن وعاء أسطواني كمثري الشكل على هيئة بوتقة . مصنوع من ألواح الصلب سمكها 15 ــ 30 ملليمتر ومبطنة من الداخل طوب مجهز من مادة مقاومة للحرارة.

يجرى التحويل الحامضي في هذا المحول من خلال البطانة الحامضية المكونة من طوب حراري الذي يحتوي على 90 ــ 97 سيلكا.

توجد فتحات في قاعدته عددها 300 فتحة ، تغلق هذه الفتحات من أسفل عن طريق صندوق الهواء . يبلغ سعة المحول حوالي 40 طن.



شكل 2 – 9

محـــول بســـمر

التحويل باستخدام محول بسمر (التحويل الحامضي) :

تتم عملية تحويل الخام المنصهر والمأخوذ من الفرن العالي مباشرة ، للحصول على صلب بطريقة بسمر باستخدام محول حامضي .. أي باستخدام فرن مبطن بطوب حراري خاص يحتوي على 90 % سيليكا.

تستخدم هذه الطريقة عندما تكون نســبة الفسفور الشوائب الموجودة بالخام منخفضة.

يشحن المحول عندما يكون وضعه بشكل أفقي تقريباً ، ويسمى هذا الوضع بوضع الصب ، حيث يصب فيه الحديد الخام المنصهر والمأخوذ مباشرة من الفرن العالي ، ثم يعاد وضعه تدريجياً إلى الوضع القائم الذي يسمى بوضع التشغيل.

خطوات عملية التحويل باستخدام محول بسمر :

تنقسم خطوات عملية تحويل خام الحديد (تماسيح الحديد الخام) من خلال نفخ خام الحديد المنصهر بغاز الأكسوجين بمحول يسمر الموضح بشكل 2 – 10 إلى ثلاث مراحل كالآتي :-

المرحلة الأولى :

تبدأ هذه المرحلة منذ اللحظة الأولى لنفخ الهواء ، وتتميز بظهور شرر كثيف من المعدن عند عنق المحول واحتراقها في الهواء على شكل نجوم مضيئة ، ويفسر ظهور الشرر بتأثر الحديد الخام المنصهر من تيار الهواء المندفع ، والذي يؤدي إلى تطاير قطرات منه.

في هذه الحالة تبدأ الأكسدة الشديدة للمواد المختلطة بالحديد الخام ، وذلك نتيجة لتفاعل أكسيد الحديد المتكون مع السيليكون والمنجنيز المختلطين بالحديد ، حيث تتوليد طاقة حرارية كبيرة ينتج عنها ارتفاع كبير في درجة حرارة الشحنة ، لتنتقل أكاسيد هذه الشوائب إلى الخبث . تستمر هـذه المرحلة ما بين 3 ــ 4 دقائق .. وتسمى بمرحلة تكوين الخبث.

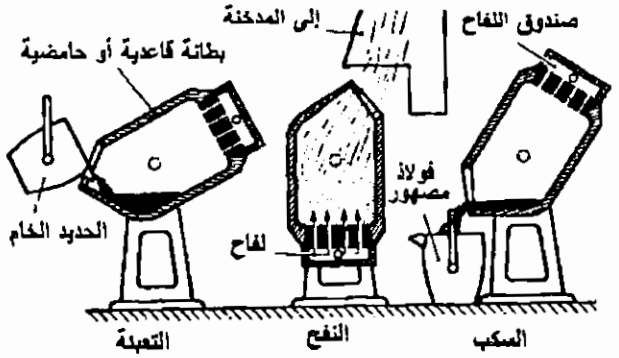
المرحلة الثانية :

تبدأ هذه المرحلة عند ارتفاع درجة حرارة المعدن المنصهر ما بين 1300 ــ 1600 ^{0}م، مما يخلق الظروف الملائمة لتأكسد وإحتراق الكربون ، الذي يتسبب في تكوين غاز أول أكسيد الكربون الذي يؤدي إلى غليان شديد للمعدن المنصهر ، ونتيجة لعملية الإحتراق السابقة يصعد غاز أول أكسيد الكربون إلى أعلى ويحترق ويتحول إلى ثاني أكسيد الكربون ، ويظهر عند عنق المحول شعلة بيضاء براقة يصل إرتفاعها إلى حوالى 5 أو 6 متر.

المرحلة الثالثة :

تبدأ هذه المرحلة عند إنخفاض إرتفاع الشعلة البيضاء إلى حد كبير وتحولها إلى دخان بني داكن ، وذلك نتيجة لنقص تركيز الكربون في المعدن ، وهو دليل على التأكسد الشديد للحديد. وعندئذ تتوقف العملية ، ويدار المحول إلى الوضع الأفقي مع يتوقف تيار الهواء المندفع تدريجيا.

تستمر المرحلة الثالثة حوالى 3 دقائق ، ويستمر النفخ من خلال إندفاع الهواء بالمعدن المنصهر حتى إحتراق جميع الشوائب . ويدار المحول إلى الوضع الأفقي مع توقف نفخ الهواء المندفع لخام الحديد المنصهر تدريجياً ، ويضاف إلى محتويات الشحنة سبيكة من الحديد والمنجنيز والكربون قبل تفريغها من المحول ، وذلك لإختزال أكاسيد الحديد الذائبة في المعدن النصهر نتيجة لنفخ الهواء المندفع والذي يخفض كثيراً من جودته ، كما تعمل هذه السبكه المضافة على ضبط مقدار الكربون بالمعدن المنصهر لإنتاج صلب حسب المواصفات المطلوبة.



شكل 2 – 10

الأوضاع المختلفة لمحول بسمر

ملاحظة :

يمكن تمييز المراحل لثلاثة أثناء عملية التحويل ، من خلال مراقبة ألوان الدخان واللهب الصاعد من فوهة المحول .

محول توماس

Thomas converter

قام توماس الإنجليزي الجنسية عام 1878 م بتطوير محول بسمر ، حيث صنع بطانة المحول من الدولوميت وهي مادة مقاومة للحرارة والصهر ، لتكون قاعدية للتخلص من العناصر الحامضية الغير مرغوبة بالحديد مثل الفوسفور والكبريت.

تستخدم هذه الطريقة عندما تكون نسبة الفسفور والكبريت والشوائب الأخرى الموجودة بالخام مرتفعة ، لذلك يختار لهذا المحول الحديد الخام الغني بالفسفور والذي يصل إلى 2 %.

يبلغ سعة هذا المحول حوالي 100 طن ، وقد سمي باسمه (محول توماس) كما عرف أيضا بمحول بسمر القاعدي (نسبة إلى مخترعه الأول) . يعتبر هذا المحول من أكثر المحولات استخداماً.

التحويل باستخدام محول توماس (التحويل القاعدي) :

تسمى هذه الطريقة بطريقة بسمر القاعدية ، حيث أن المحول المستخدم هو نفس محول بسمر السابق ، ولكن توماس قد طوره بحيث تكون بطانته قاعدية للتخلص من العناصر الحامضية الغير مرغوبة مثل كالفسفور والكبريت.

يوضع المحول الذي يدار حول محوره بوضع أفقي ، ثم يشحن بالحديد الخام المنصهر مع خردة الصلب ، ويضاف إليها مقدار من الحجر الجيري يعادل 15 % من الشحنة لتكوين الخبث.

يوجه إلى الشحنة تيار هواء مندفع من الفتحات السفلية بقاع المحول ، ثم يدار المحول في وضعه الرأسي ليندفع هواء النفخ خلال الحديد المنصهر ليبدأ التفاعل بحرق الكربون والعناصر الأخرى ، بالإضافة إلى التفاعل مع بطانة المحول .. وذلك حسب نوعها (حامضية أو قاعدية)

لتتولد الحرارة اللازمة نتيجة لإحتراق الفوسفور في المقام الأول ليصل درجة حرارته إلى 1300 °م ، وترتفع درجة الحرارة داخل المحول أثناء النفخ لتصل إلى

1600 °م ، وارتفاع درجة الحرارة ليس نتيجة لتأكسد الفوسفور كما هو الحال في محول بسمر (المحول الحامضي) .. بل نتيجة لاحتراقه .

يستمر هذا الوضع ما بين 15 ــ 20 دقيقة ، ثم يقشط الخبث من أعلى سطح المعدن المنصهر ، ويدار المحول للوضع الأول لتفريغه من الصلب المنتج ، حيث يصب بقوالب أو على هيئة أعمدة لإستخدامها فيما بعد في عمليات الدرفلة . يسمى الصلب المنتج من هذا المحول بصلب توماس.

ملاحظة :

يمكن التحكم في نسبة الكربون في الصلب المنتج من المحول من خلال التحكم في فترة التفاعل .. أى في فترة تعرض خام الحديد المنصهر للنفخ.

منتجات محولات بسمر وتوماس :

تنتج محولات بسمر وتوماس المنتجات التالية :-

1. الصلب : STEEL

يعتبر الصلب المنتج من محولات بسمر وتوماس من أجود أنواع الصلب والذي يتميز بالجودة العالية وقابليته لعمليات التشكيل كالحدادة واللحام السحب والدرفلة ..... إلخ ، كما يستخدم في إنتاج ألواح الصلب والمواسير الملحومة ، والمشغولات المدرفلة مثل القضبان الكمرات ذات المقاطع المختلفة وكتل الصلب والأسلاك ..... وغيرها من المنتجات .

2. الخبث : SLAG

يتميز خبث توماس باحتوائه على 25 % تقريباً من خامس أكسيد الفوسفور ، حيث يطحن ويستعمل كسماد زراعي .

مميزات محولات إنتاج الصلب :

تتميز محولات بسمر وتوماس لإنتاج الصلب للآتي :-

1. إرتفاع إنتاجها.
2. صغر حجمه.
3. بساطتها.
4. إنخفاض التكلفة الذي يؤدي إلى إنخفاض ثمن الصلب المنتج.

عيوب محولات إنتاج الصلب :

عيوب محولات بسمر وتوماس لإنتاج الصلب هي الآتي :-

1. صعوبة تحويل كمية كبيرة من الحديد الخردة إلى صلب بهذه الطرقة.
2. صعوبة تنظيم عمليات التحويل.

تطوير محولات إنتاج الصلب :

لقد تم إضافة بعض التحسينات في العقود الماضية على محولات بسمر وتوماس أدت إلى تطويرها ، وأهم هذه التحسينات هي نفخ الأكسوجين بدلا من الهواء الذي أدى إلى سرعة عملية التحويل ورفع الإنتاج ، كما خفض من نسبة النتروجين (الأزوت) ، ولقد أدى الإستخدام الواسع للأجهزة والمعدات الحديثة إلى المراقبة الدقيقة لعمليات الصهر وتنظيمها بالمحولات ، كما رفعت من جودة الصلب المنتج وجعلت طريقة التحويل أكثر تطوراً.

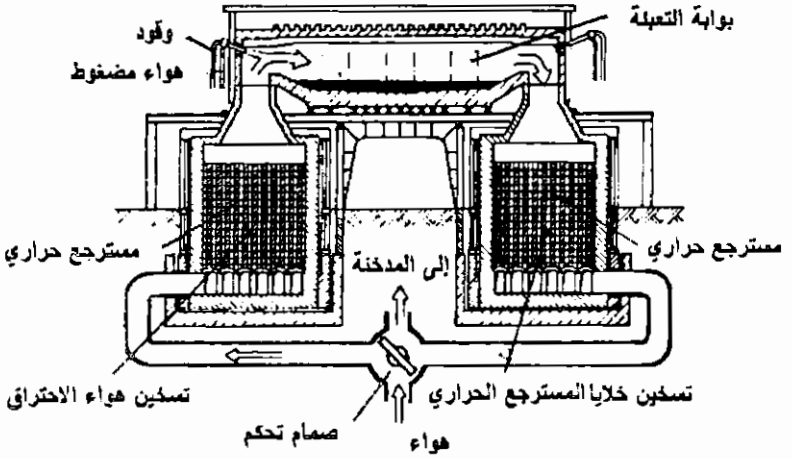
فرن سيمنز مارتن

Siemens martin furnace

فرن سيمنز مارتن الموضح بشكل 2 – 11 سمي بهذا الاسم نسبة إلى مخترعه ، كما سمي بفرن المجمرة المفتوحة OPEN HEARTH PROCESS ، وذلك لأن مجمرة الفرن قريبة من السطح ومعرضة للوقود الفازي بصورة مناشرة.

بنى الفرن بالطوب الحراري وغلف بألواح من الصلب . يصل طول الفرن إلى 25 متر وعرضه إلى 7 متر ، ويتراوح سعته إلى ما بين 200 ــ 500 طن.

يعمل الفرن على تصفية المعدن المنصهر في مجمرة مفتوحة ، وقد طورت عملية احتراق الوقود في هذا الفرن بحيث يكون فرناً عاكساً.



شكل 2 – 11

فرن سيمـــنز مارتن

شحنة فرن سمنز مارتن:

يشحن فرن سمنز مارتن بالحديد الخام المنصهر أو حديد زهر التماسيح وكذلك خردة الحديد والصلب **Scrape** ونفايات المعادن الحديدية .. هذا يعني أنه قد أمكن بواسطة هذا الفرن صهر أجزاء الآلات والماكينات القديمة التي أصبحت غير صالحة للعمل والمتراكمة بالمصانع ، هذا بالإضافة إلى الجير أو الحجر الجيري.

وقود فرن سمنز مارتن:

الوقود المستخدم في أفران سمنز مارتن إما أن يكون من الوقـــود الغازي أو من الوقـــود السائل ، بحيث يكون له قيمة حرارية عالية ولا يحتوي على كبريت.

يستعمل الوقود الغازي مثل غاز الأفران العالية وغاز فحم الكوك ، حيث تختلط هذه الغازات مع الهواء الساخن في غرف خاصة تسمى بالمسترجعات الحرارية قبل دفعها إلى الشحنة ، ويستعمل الوقود السائل عند عدم القدرة على الحصول أحدى أنواع الغازات الجديدة.

طريقة تشغيل فرن سمنز مارتن :

يندفع الهواء الساخن مسبقا عند إشعال لهب الفرن ، ويحترق الوقود المكون من غاز مصانع الكوك أو الغاز الطبيعي أو الزيت ، كما يتم تسخين الهواء عن طريق أحد مسترجعات الحرارة الموجودة أسفل المجمرة .

تتلامس السنة اللهب التي تبلغ درجة حرارتها إلى ما بين 1800 ــ 2000 ^{0}م مع سطح الشحنة المنصهرة ، ويتم ذلك عن طريق الإمرار التبادلي لغازات التسخين خلال خلايا المسترجعات الحرارية ، حيث تسخين أحدهما في حين يقوم الآخر بتسخين هواء الاشتعال في نفس الوقت ..... وهكذا . وغالبا يضاف الأكسوجين إلى هواء الاحتراق لرفع درجة الحرارة في الفرن .

وهناك طريقة أخرى لدفع الأكسوجين مباشرة في المعدن المنصهر ، وذلك من خلال مواسير مبردة بالماء والتي تسمى بحربة الأكسوجين ، مما يسمح بخلط الحديد مع المعادن الأخرى ذات درجة انصهار مرتفعة ، الذي يؤدي إلى التجهيز السريع لأنواع من الصلب الملائم للسحب العميق وذلك بسبب ضآلة نسبة الكربون فيها . هذه الطريقة تؤدي إلى الارتفاع بجودة الصلب ، كما تجعلها طريقة أقل تكلفة .

أما القيمة الاقتصادية المميزة لطريقة سيمنز مارتن ، تكمن في إمكانية إضافة أجزاء الماكينات التي أصبحت غير صالحة للعمل والمتراكمة في المصانع وكل الأنواع الممكنة من خردة المعادن الحديدية ، كما يمكن تعبئة الفرن بالخردة وحدها أو مع تماسيح الحديد الخام الجامدة أو المنصهرة ، وتضاف بعض المعدن بنسبة بسيطة وذلك لتحسين وجودة الصلب المنتج ، ويعرف الصلب المنتج بهذه الطريقة بصلب سيمنز مارتن أو بصلب المجمرة المفتوحة .

منتجات فرن سيمنز مارتن: Simens Martin Furnace Production

ينتج فرن سيمنز مارتن الصلب بأنواع التالية :-

1. الصلب المصلد بأنوعه المختلفة.
2. الصلب المطبع.

3. الصلب السبائكي.

مميزات فرن سمنز مارتن :

يتميز أنواع صلب سيمنز مارتن بالآتي :-

1. إنتاجه الغزير للأنواع المختلفة النقية من الصلب لإنخفاض نسبة الشوائب التي تحتويها.
2. إنتاج أنواع جيدة من سبائك الصلب.
3 قاليته المنتج لعمليات الحدادة واللحام.
4. إمكانية تصليده إذا ارتفعت نسبة الكربون فيه عن 0.5 %.
5. إقتصادي.

الأفران الكهربائية

Electrical furnaces

لا ينتج الصلب في الأفران الكهربائية ، بل يتم تكريره وتنقيته فقط للحصول على أنواع نقية من الصلب تحتوي على نسبة ضئيلة جداً من الفوسفور والكبريت ، نظراً لانعدام غازات الاحتراق التي تتسبب في وجود شوائب ونفايات.

تعرف أنواع الصلب بالأنواع المكررة نسبة إلى نقائها أو إلى أسلوب تجهيزها نسبة إلى نوع الفرن الكهربائي المستخدم.

لإرتفاع ثمن الكهرباء نسبياً بالمقارنة بالوقود المستخدم في المحولات والأفران ، لذا فإن الأفران الكهربائية تستخدم عادة للتنقية النهائية لأنواع الصلب المنتجة بالمحولات والصلب المنتج بفرن سمنز مارتن السابق ذكره لإنتاج سبائك عالية أو منخفضة الخلط.

تعمل الأفران الكهربائية على تحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة حرارية ، ويمكن تقسيم الأفران الكهربائية إلى نوعين أساسيين هما :-

1. أفران القوس الكهربائي .. Electric Arc Furnaces.
2. أفران الحث الكهربائي .. Electric Induction Furnace .

أولا : أفران القوس الكهربائي

هـــي أفران قوسية ذات تيار ثلاثي الأطوار ، تحتوي عادة على 3 أقطاب من الكربون أو الجرافيت أما قاعدتها فإنها تصنع منمادة غير موصلة للكهرباء . يتراوح ســـعتها إلى 180 طن.

تسير الدائرة الكهربائية بفرن القوس الكهربائي الموضح بشكل 2 – 12 بتسلسل (القطب ــ القوس ــ الخبث ــ القوس ــ القطب) ، حيث تعمل على تولد طاقة حرارية مرتفعة تصل إلى 3400 ^{0}م . تؤدي هذه الطاقة إلى انصهار خردة الصلب (الفولاذ) المصفى مسبقاً وإزالة جميع الشوائب الموجودة مثل الكبريت والفسفور والكربون ، حيث تحترق هذه الشوائب أثناء هذه عملية الانصهار.

يستعمل غاز الأكسوجين النقي أو يؤخذ الأكسوجين اللازم من الهواء المحيط بحمام الفرن لعملية الاحتراق .

يضاف في نهاية عملية التنقية بعض المواد للحصول على التركيب المناسب للسبيكة المطلوبة.

تنقسم أفران القوس الكهربائي إلى الأنواع التالية :-

1. فرن القوس الكهربائي المباشر :

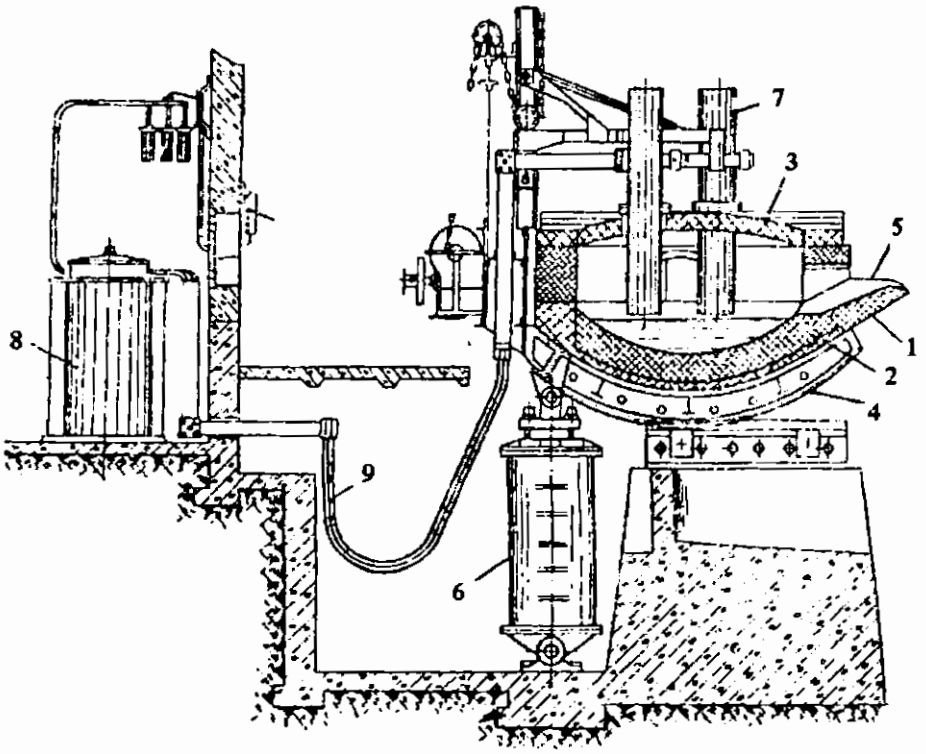
تتولد الحرارة بهذا الفرن عن طريق القوس الكهربائي بين الأقطاب الكهربائية والشحنة مباشرة.

2. فرن القوس الكهربائي الغير مباشر :

تتولد الحرارة بهذا الفرن عن طريق توليد قوس كهربائي بين قطبين من الكربون أو من الجرافيت متصلين بمصدر التيار الكهربائي المتردد ، وتنتقل الحرارة إلي الشحنة بالإشعاع.

3. فرن القوس الكهربائي المغمور :

تتولد الحرارة بهذا الفرن عن طريق توليد قوس كهربائي بين الأقطاب الكهربائية والشحنة (الشحنة في هذه الحالة مكونة من حديد غفل مستخرج من باطن الأرض) وليس حديد خام ، حيث يكون القوس مغمور أسفل الشحنة.



شكل 2 – 12

فرن القوس الكهربائي

1. غلاف مصنوع من ألواح الصلب.
2. بطانة حامضية أو قاعدية.
3. قبة الفرن من الطوب الحراري.
4. مجاري مقوسة.
5. بوابة صب الشحنة.

6. تجهيزة كهربائية أو هيدروليكية لإمالة الفرن.
7. أقطاب متحركة مصنوعة من الكربون أو الجرافيت.
8. محول كهربائي لتغذية الأقطاب بالتيار الكهربائي.
9. كابلات مرنة.

منتجات أفران القوس الكهربائي :

SIMENS MARTIN FURNACE PRODUCTION

تنتج أفران القوس الكهربائي ذات البطانة الحامضية جميع أنواع صلب العدة تقريباً ، كما تنتج أنواع مختلفة من الصلب العالي الجودة الذي لا يحتوي على شوائب مثل الكبريت والفسفور ، أما الأفران القاعدية فإنها تنتج صلب الهياكل الإنشائية التي تتحمل الاجهادات العالية جداً.

مميزات أفران القوس الكهربائي :

تتميز الأنواع المختلفة لأفران القوس الكهربائي بالآتي :-

1. إمكانية الحصول على درجات حرارة عالية جداً في مكان الصهر تصل إلى 3400 ^{0}م مما يسمح بالحصول على خبث به كثير من الجير
2. التخلص من الشوائب مثل المسفور والكبريت.
3. يخفض من إحتراق المعدن المنصهر.
4. إنتاجه غزير لأنواع مختلفة نقية من الصلب لإنخفاض نسبة الشوائب التي تحتويها.
2. إنتاج أنواع جيدة من سبائك الصلب.
3 قالبته المنتج لعمليات الحدادة واللحام.

ثانيا : أفران الحث الكهربائي

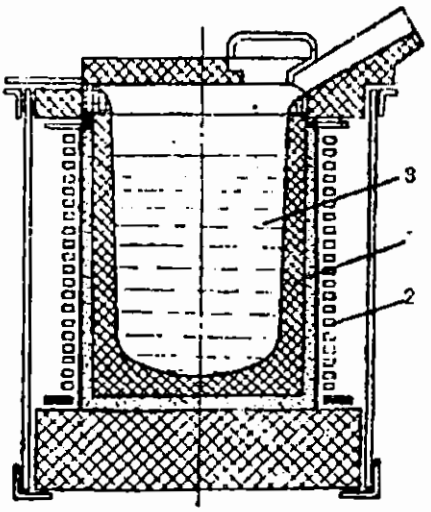
فرن الحث الكهربائي الموضح بشكل 2 – 13 يعمل بتيار متردد 500ـ 2000 ذبذبة / ثانية . ســعته لا يتجاوز 8 طــن.

يحتوي الفرن على بوتقة مقاومة للحرارة 1 ، يوجد حول البوتقة ملف كهربائي على شكل ماسورة من النحاس 2 مقطعها على شكل مستطيل ، يمر بها تيار عالي

التردد من مولد كهربائي خاص ، حيث يثير في المعدن المنصهر تيارات دوامية ، لترتفع درجة حرارة المعدن 3 الموجود داخل البوتقة إرتفاعاً كبيراً حتى ينصهر.

يشحن في أفران الحث الكهربائية العالية التردد شحنات مواردها شديدة النقاوة ، بحيث يتكون منتجة بعناية ، ونظراً للسرعة الكبيرة في عملية الصهر .. لا يجد المعدن فرصة للتأكسد الشديد.

يضاف في نهاية عملية الصهر كميات صغيرة من العناصر والمواد المختزلة للحصول على التركيب المناسب للسبيكة المطلوبة.



شكل 2 – 13

رسم تخطيطي لفرن الحث الكهربائي

1. **بوتقة مقاومة للحرارة.**
2. **ملف كهربائي.**
3. **المعدن الموجود داخل البوتقة.**

منتجات أفران الحث الكهربائي :

تستخدم عادة أفران الحث الكهربائي العالية التردد في إنتاج الآتي :-

1. صهر المعادن الثقيلة والخفيفة.

2. صهر وإعادة صهر حديد الزهر .
3. إنتاج حديد الزهر الذي يحتوي على كريات جرافيت.
4. إنتاج حديد الزهر السبائكي.
5. إنتاج أنواع الصلب ومسبوكاته العالية الجودة والتي تتميز بالصفات التالية :-
   - مقاوم عالي للتآكل.
   - مقاوم عالي للحرارة.
   - مقاوم للصدأ.
   - بخواص مغناطيسية ممتازة.

مميزات أفران الصهر الكهربائي :

تتميز أفران الصهر الكهربائي إذا قورن بطرق صهر الصلب الأخرى بعدة مميزات أهمها الآتي :-

1. إمكانية التوصل إلى درجة حرارة عالية في مكان الصهر .
2. يسمح بالحصول على خبث يحتوي على كمية كبيرة من الجير .
3. يضمن التخلص التام (تقريباً) من شوائب الفوسفور والكبريت .
4. يخفف كثيرا من احتراق المعدن وعناصره لعدم وجد لهب مؤكسد .

عيوب أفران الصهر الكهربائي :

يعتبر العيب الوحيد لأفران الصهر الكهربائي هو ارتفاع ثمن الكهرباء الذي يعتبر المصدر الحراري للصهر ، لذلك تستخدم الأساليب الكهربائية غالبا للتنقية النهائية للصلب المنتج من المحولات أو الأفران ، أو عند خلط المعادن بالصهر لإنتاج السبائك .

استخدامات الصلب : USES OF STEEL

توجد أنواع مختلفة من الصلب ، يختلف استخدام كل منها عن الآخر من حيث درجة الصلادة .. أي على نسبة الكربون الموجودة بالمعدن .

فيما يلي جدول 2 – 2 الذي يوضح نسبة الكربون داخل الصلب ، ومجال استخدام كل منها .

جدول 2 – 2

مجالات استخدام الصلب الكربوني

الاســـــم	النسبة المئوية للكربون	الاســـــتخدامات
(الصلب الرخو) الـــصلب المـــنخفض الكربون	0.125 – 0.1	قـــضبان السلك ، والأنواع الرقيقة ، والأنابيب المصمتة المسحوبة .. الخ
	0.3 – 0.15	ألواح الغلايات ، وأعمال الكباري ، والقطاعات الإنـــشائية ، ومطـــروقات مـــشكلة بالمطرقة الساقطة ، وأعمال الورش العلمة .
الـــصلب المتوســـط الكربوني	0.5 – 0.3	أعمدة الدوران ، ومطروقات مشكلة بالمطرقة الـــساقطة ، ومواسير ، والأسلاك ، والأجهزة الزراعية .
	0.7 – 0.5	الـــيايات ، وعجلات السكك الحديدية ، وقوالب الحـــدادة الكبيرة ، وحبال السلك ، والمطارق ، وعدد تشكيل البرشام .
	0.9 – 0.7	الـــيايات وقـــوالب الحدادة الصغيرة ، والحدود القاطـــع للمقـــصات ، والمقاطع على البارد ، والمقاطع المستخدمة في ورش النجارة .
الـــصلب العالـــي الكربوني	1.1 – 0.9	أجـــنات القطع على البارد ، وقوالب الكبس ، والـــسنابك ، ولقـــم قطـــع أســـنان القلاووظ ، وأدوات أعمال النجارة ، وأعمدة المحاور .
	1.4 – 1.1	شـــفرات الحلاقـــة ، والمبارد اليدوية ، وبنط المـــثقاب ، ومحـــددات القياس ، وأدوات قطع الماكينات .

تأثير الإضافات اللا معدنية والمكونات السبيكية على الحديد والصلب :

تتوقف خواص الحديد والصلب إلى حد كبير على الإضافات اللا معدنية والمكونات السبيكية لها كما هو موضح بجدول 2 – 3 . ولا يتوقف التأثر النهائي للمواد المضافة على نسبها المئوية فقط ، وإنما على نوعيتها أيضاً بسبب تأثيرها في كثير من الأحيان.

جدول 2 – 3

تأثير الإضافات المعدنية واللا معدنية على خواص الحديد والصلب

	المادة	تؤدي إلى زيادة	تؤدي إلى خفض
لا معادن	الكربون	المتانة ــ الصلادة ــ قابلية التصليد	نقطة الانصهار ــ الانفعال ــ قابلية التشكيل ــ قابلية اللحام ــ قابلية الحدادة
	السليكون	المرونة ــ المتانة ــ قابلية التصليد التام ــ الصلادة في درجات الحرارة العالية ــ الصمود للتآكل الكيميائي	قابلية اللحام
	الفسفور	التميع ــ التقصفية على البارد ــ مقاومة الحرارة العالية	الانفعال ــ مقاومة الصدمات
	الكبريت	تقصف الرايش ــ اللزوجة ــ التقصفية عند الاحمرار	مقاومة الصدمات
معادن	المنجنيز	قابلية التصليد التام ــ المتانة ــ مقاومة الصدمات ــ مقاومة التآكل الإحتكاكي	سهولة التشغيل بالقطع
	النيكل	المتانة ــ الصمود للتآكل الكيماتي ــ الصمود للتسخين ــ قابلية التصليد التام	التمدد الحراري
	الكروم	الصلادة ــ المتانة ــ مقاومة الحرارة العالية ــ درجة حرارة التصليد ــ الصمود للقطع ــ مقاومة التآكل الإحتكاكي ــ الصمود للتآكل الكيماتي	الانفعال (بصورة ضئيلة)
	الفاناديوم	الصلادة ــ مقاومة الحرارة العالية	الحساسية للتسخين الزائد
	المولبيدنم	الصلادة ــ مقاومة الحرارة العالية	الانفعال ــ قابلية الحدادة

المادة		تؤدي إلى زيادة	تؤدي إلى خفض
	الكوبالت	الصلادة ــ الصمود للقطع ــ مقاومة الحرارة العالية	قابلية لتشكيل بأى كيفية ــ الحساسية للتسخين الزائد
	التنجستين	الصلادة ــ المتانة ــ الصمود للتآكل الكيميائي ــ درجة حرارة التصليد ــ مقاومة الحرارة العالية ــ الصمود للتسخين ــ الصمود للقطع	الانفعال (بصورة ضئيلة)

أساليب إنتاج الصلب :

يتيح تنوع أساليب إنتاج الصلب المختلفة لتحقيق العديد من المتطلبات فيما يختص بالخواص المرغوبة للصـــلب . ومن ثم فإنه يجـــرى التفرقة بين أنواع صلب .. فيما يلي أمثلة لبعض أنواع الصلب المختلفة.

صلب الإنشاءات :

يتوقف استخدامه بالدرجة الأولى على مقاومة الشد.

الصلب الجيد :

عبارة عن صلب معالج بالتصليد الغلافي أو التطبيع ، وهو أكثر نقاوة وتجانس في التركيب من صلب الإنشاءات . تتحدد خواصه إلى حد كبير على نسبة الكربون الموجودة بأنواعه.

الصلب الممتاز :

عبارة عن صـــلب يحتوي على نسبة ضئيلة من الشوائب (الكبريت والفسفور) . يمتاز بنقاوة عالية وبنية منتظمة.