

مواد التصنيع

المواد والمعادن الحديدية وغير الحديدية وغير المعدنية

مواد التصنيع

المواد والمعادن الحديدية وغير الحديدية وغير المعدنية

تأليف

د. أحمد زكي حلمي



حلمي، أحمد زكي
مواد التصنيع: المواد والمعادن الحديدية وغير الحديدية وغير المعدنية
تأليف/ أحمد زكي حلمي
القاهرة: دار العلوم للنشر والتوزيع، 2017
204 صفحة، 2سم
تدمك 2 514 380 978 977
1. المعادن الصناعية. 2. المعادن الحديدية
3. التصنيع – أ) العنوان 666/86
رقم الإيداع: 27990 التاريخ: 2016/12/29

دار العلوم للنشر والتوزيع

تليفون:

01144764000

01061160988

الموقع الإلكتروني: WWW.dareloloom.com

البريد الإلكتروني: dareloloom@hotmail.com



إهداء

إلى تلك الأنتى التي ألهمتني كتابة مؤلفاتي العلمية والأدبية
إلى التي جعلت مني شاعراً وسجلت كل أفكاري
إلى التي جعلت القلم فوق صفحات الشوق يهذي
إلى التي في قلبي وعقلي وهزت كل كياني
إلى النجمة التي تؤنسني في نهاري وتضيئ ليلى
إلى التي تربعت على عرش فؤادي ووجداني
إلى التي وضعت يدها فوق قلبي لأجده ينبض ويغني بأجمل الأغاني
إلى زوجتي الفقيدة رحمة الله عليها التي أحببتها وعشقناها طول حياتي
أهدي هذا الكتاب

مُقَدِّمَةٌ

كلمة حديدية **ferrous** جاءت من الكلمة اللاتينية **ferrum** وهو عنصر كيميائي وفلز وهو من أقدم المعادن المكتشفة.. يرمز له بالرمز **Fe**، والآن استخدم للتعبير عن الحديد وسبائكته، وهو عنصر ضروري لحياة الإنسان لأنه يدخل في تركيب هيموجلوبين الدم، وكذلك في حياة النباتات كما يدخل في الكلوروفيل وفي كل شيء.

وردة كلمة حديد في عدة مواضع في القرآن الكريم، كما أن الحديد هو اسم سورة من سور القرآن.. قال تعالى.. بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

﴿لَقَدْ أَرْسَلْنَا رُسُلَنَا بِالْبَيِّنَاتِ وَأَنْزَلْنَا مَعَهُمُ الْكِتَابَ وَالْمِيزَانَ لِيَقُومَ النَّاسُ بِالْقِسْطِ وَأَنْزَلْنَا الْحَدِيدَ فِيهِ بَأْسٌ شَدِيدٌ وَمَنَافِعُ لِلنَّاسِ وَلِيَعْلَمَ اللَّهُ مَنْ يَنْصُرُهُ وَرُسُلَهُ بِالْغَيْبِ إِنَّ اللَّهَ قَوِيٌّ عَزِيزٌ﴾.. صدق الله العظيم سورة الحديد.. آية 25

الفلز بالإنجليزية يسمى **metal** وفي مصر وبعض الدول العربية يسمى بالمعدن، في علم الكيمياء كلمة معدن أو فلز **metal** تعني العنصر الكيميائي الذي يفقد الإلكترونات ليكون أيونات موجبة.

معظم المعادن غير ثابتة كيميائياً لتتفاعلها مع أكسجين الهواء لتكوين أكاسيد بمرور الوقت، حيث أن الحديد يصدأ على مر السنين، كما يحترق البوتاسيوم في ثواني، أما الفضة فإنها تفقد لمعانها في شهور.

تتفاعل بعض المعادن لتتأكسد مثل الحديد والنحاس والنيكل.. بينما لا يتفاعل البالاديوم والذهب والبلاتين مع الأكسجين الجوي على الإطلاق، وبعض المعادن تكون طبقة سائرة من الأكسيد على سطحها والتي لا يمكن اختراقها بجزيئات الأكسجين ولهذا فإنها تحتفظ بخاصية اللمعان مثل الألومنيوم وبعض أنواع الصلب والتيتانيوم وغيرها، وبالنسبة للفلزات الأخرى فإنها تظلى بالبويات أو بالطلاء الكهربائي لمنع تأكسدها.

يحتل الحديد المركز الرابع من حيث وجود العناصر في القشرة الأرضية، وهو فلز قابل للطرق والسحب، ويدخل في صناعة العديد من السبائك.

يوجد الحديد غالباً في الطبيعة في صورة أكاسيد، ويعتبر الحديد وسبائكته من أكثر المواد المعدنية استخداماً على الإطلاق، كما يُعتبر من أكثر العناصر الكيميائية استقراراً ومن أقوى الفلزات وأكثرها أهمية للأغراض الهندسية بشرط حمايته من الصدأ.. أي حمايته من التفاعل

مع الأكسجين، وهناك عدة طرق لحماية الحديد من الصدأ وأبسطها هو منع تماسه للأكسجين والرطوبة.. وذلك بتغليفه بمادة كالأصباغ أو العوازل، ويعتبر أفضل الطرق المستخدمة في الصناعة هو الحماية الكاثودية للوقاية من الصدأ والتآكل.

تعتبر صناعة الحديد والصلب من أهم الصناعات الإستراتيجية، حيث تقوم بدور رئيسي في التنمية الصناعية والاقتصادية، حيث توضح البيانات الإحصائية على مدار فترات زمنية في العديد من الدول ذات المستوى الاقتصادي المرتفع وجود علاقة طردية من كمية الاستهلاك في منتجات الصلب والنمو الاقتصادي للدولة.

وعلى الرغم من أن الفلزات (المعادن) الحديدية مثل الحديد والصلب والزرع بأنواعهم من أهم المعادن المستعملة في الصناعة، إلا أن هناك معادن ومواد أخرى غير حديدية مستعملة أيضا في المجال الصناعي على نطاق واسع وهي التي لا يدخل الحديد في تركيبها مثل النحاس - الألومنيوم - النيكل - الرصاص - القصدير - الزنك - المغنسيوم.. والمواد الأخرى مثل المواد السيراميكية - المواد الزجاجية - المواد اللدنة الخشب - المطاط..... إلخ وهي لا تقل أهمية عن المعادن الحديدية.

من هنا جاء دور هذا الكتاب وأهميته، الذي يهدف إلى شرح جميع عمليات إنتاج المعادن والمواد المختلفة، للحصول على منتجات نصف مصنعة والتي سبق إعدادها وتجهيزها بعمليات تشكيل مختلفة، أو للحصول على منتجات كاملة التصنيع.

لقد روعي عند إعداد هذا الكتاب أن يكون مرجعاً شاملاً، يغطي موضوعات مواد التصنيع المختلفة، من خلال الشرح التفصيلي لكل عملية من هذه العمليات على حدة، مع عرض المعادلات والأمثلة المحولة والجداول المختلفة ذات العلاقة.

أعد هذا الكتاب ليناسب طلاب كليات الهندسة والمعاهد العليا الصناعية، كما يفيد المهندسين والفنيين بالحقل الصناعي بالأنشطة المختلفة بشتى المجالات.

يسرني أن أقدم بوافر شكري وعميق تقديري إلى كل من قدم لي نصح أو عون أو مشورة أدى إلى ظهور هذا الكتاب بهذه الصورة المشرفة.

آمل بتقديم هذا الكتاب أن يكون عوناً وسنداً للطالب، وأن يحقق ما نصبو إليه من رفع المستوى العلمي والعملية، وأن يكون دعامة على طريق التقدم والتطور في عصر سميته العلم والتكنولوجيا، كما أرجو أن أكون وفقت في إضافة جديدة إلى المكتبة العربية.

والله ولي التوفيق،،

المؤلف

الباب الأول

المواد الهندسية

مُهَيِّدٌ

كلمة معدن أو فلز مترجمة عن كلمة **Metal** بالإنجليزية والمأخوذة من الأصل اللاتيني **Metallum** ومعناها حفرة أو منجم حيثما كانت تستخرج الفلزات. وقد أتفق أخيراً على إختيار كلمة فلز بدلاً من معدن في اللغة العربية.

توجد الفلزات (المعادن) المختلفة كالحديد والمعادن غير الحديدية بالطبقات السطحية والطبقات العميقة في القشرة الأرضية في صورة غير نقية، تتفاوت الكميات الموجودة والمستخرجة من هذه الفلزات (المعادن) كما يتفاوت تركيزها ودرجة نقاوة كل منها من مكان إلى الآخر.

تجرى على أغفال المعادن المختلفة عمليات استخلاص باستخدام أنواع من الأفران التي تتميز عن بعضها البعض من حيث السعة (كمية المعدن الممكن صهرها) - نوع وكمية ودرجة نقاوة المعدن المنتج - نوع المصدر الحراري (الوقود) ... الخ.

يتناول هذا الباب استخلاص وإنتاج الفلزات (المعادن) الحديدية وسبائكها مثل حديد الزهر بأنواعه، والأفران المستخدمة في عمليات الصهر وعمليات نقاوة وتكرير هذه المعادن، واستخلاص وإنتاج الفلزات (المعادن) غير الحديدية وسبائكها مثل النحاس - الألومنيوم - الزنك - القصدير - الرصاص وغيرها، من خلال صهرها وتكريرها عن طريق الأفران المختلفة أو بالترييب أو بالتحليل الكهربائي.

ويتعرض لأفران الصهر المختلفة مثل الفرن العالي - فرن الدست المعروف بالكيوبولا - فرن البوتقة - فرن التقلب - المحولات والأفران الكهربائية..... وغيرها. وذلك من خلال الشرح التفصيلي لكل فرن من هذه الأفران على حدة، مع عرض لطريقة التشغيل ومميزات وعيوب كل منهم.

المواد الهندسية

لسهولة عرض المواد الهندسية التي نتعامل معها في الصناعة، فقد قسمت المواد الهندسية كما هو موضح بشكل 1 - 5 إلى ثلاثة مجموعات أساسية، وقسمت كل مجموعة إلى مجموعات فرعية على النحو التالي:-
1. مواد فلزية (معدنية).

2. مواد غير معدنية.
3. مواد مركبة.
4. مواد مساعدة للتصنيع.
5. مواد أخرى.

أولاً: مواد فلزية (معدنية) :Metallic Materials

ويمكن تنقسم المواد الفلزية (المعدنية) إلى الآتي:-

1. معادن حديدية **Ferrous Materials** مثل الحديد المطاوع **Wrought Iron** وحديد الزهر **Cast Iron**. درجة إنصهار الحديد النقي 1539°C ، كثافته 7.78 جم/سم^3 .
يمكن إدراك أهمية سبائك الحديد في الصناعة من خلال الإنتاج العالمي للمعادن الحديدية الذي يبلغ حوالي 800 مليون طن في العام تقريباً، علماً بأن المعدن الذي يليه في الانتشار هو الألومنيوم والذي يبلغ إنتاجه العالمي حوالي 12 مليون طن في العام.. هذا يعني أن إنتاج المعادن الحديدية يفوق إنتاج جميع المعادن الأخرى مشتركة بعدة أضعاف.

2. معادن غير حديدية **Non-Ferrous Metals**.. أي جميع المعادن الأخرى المستخدمة في الصناعة بخلاف الحديد، تم تجميعها في مجموعات.. ويمكن تقسيمها إلى الآتي:-

- معادن ثقيلة **Heavy Metals** مثل النحاس **Copper** والنيكل **Nickel**.
- معادن خفيفة **Light Metals** مثل الألومنيوم **Aluminum** والمغنسيوم **Magnesium**.

- معادن طرية **Soft Metals** مثل الرصاص **Lead** والقصدير **Tin**.

ثانياً: مواد غير معدنية **Building materials**

جميع المواد غير المعدنية المستخدمة في الصناعة بخلاف المواد الحديدية، والمواد غير الحديدية، تم تجميعها في مجموعات.. ويمكن تقسيمها إلى الآتي:-

1. مواد طبيعية **Natural** وتنقسم إلى الآتي:- (الأحجار- الرمل - الزلط - الرخام - الخشب - مطاط - جلد - ماس).
2. مواد إصطناعية **Synthetic** وتنقسم إلى الآتي:- الزجاج - اللدائن - الاسمنت - الجبس - الطوب - الخرسانة - السيراميك (الخزف) - اللدائن - الفلين.

ثالثاً: المواد المركبة **Composite Materials**

تنقسم المواد المركبة إلى الآتي:-

- مواد مقواه بالحبيبات Particle – Reinforced materials.
- مواد مقواه بالألياف Fiber– Reinforced materials.

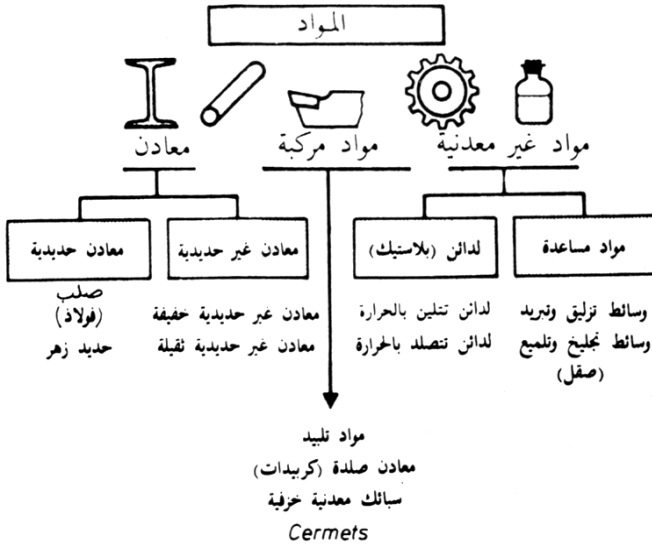
رابعاً: المواد المساعدة للتصنيع Auxiliary materials

تتقسم المواد المساعدة إلى الآتي:-

- مواد اللحام واللصق Soldering and Adhesion materials
- مواد التنظيف Cleaning materials
- المواد الحاكة للتجليخ والتلميع Grinding and Polishing materials
- الحراريات Refractories
- المواد العازلة Insulators materials.

خامساً: مواد أخرى

مواد أخرى
الغرض منها الطاقة
مثل المياه والوقود
والمفرقات ومواد
الطاقة النووية.



شكل 1 - 5

تصنيف المواد
الهندسية

إختيار المواد الهندسية:

عند إختيار مواد هندسية لإنتاج جزء معين على سبيل المثال، فإنه يجب تحديد متطلبات وظيفة هذا الجزء بالإضافة إلى الإعتبارات الإقتصادية، وبالتالي فإنه يجب الإلمام بالمعارف الأساسية التالية:-

1. أنواع المواد التي يمكن الحصول عليها وخواصها.
2. الإستعمال المطلوب.

3. طرق وأساليب التصنيع الممكنة لتلك المواد، أى ملائمة خصائص المواد لأساليب التصنيع المختلفة ومدى تأثرها بتلك الأساليب.

4. التوفير النسبي في المواد، مع الأخذ في الاعتبار تكاليف المنتج.. من حيث قيمة المواد وأسلوب التصنيع وقدرة المنتج على المنافسة في الأسواق التجارية.

إرتباط العناصر السابق ذكرها بعضها ببعض.. يمثل المفهوم الأساسي لإختيار المواد الهندسية وأسلوب تصنيع المنتج المطلوب تصنيعه. علما بأنه لا يكفي إختيار المواد ذات الخصائص المناسبة الرخصة، فقد تكون تكلفة تصنيعها باهظة، كما أن كثير من خصائص المواد تتأثر بصورة مباشرة بأسلوب التصنيع المستخدم.

بذلك يمكن الوصول إلى قناعة بأن إختيار المواد الهندسية لتصنيع منتج معين، هي عملية توافق بين خواص المواد المتاحة والمتطلبات والظيفية للمنتج والتي يمكن تشغيلها أو تشكيلها بالوسائل والمعدات بأقل تكلفة ممكنة.

جدول 1 - 1 يوضح أمثلة لبعض المنتجات والخواص المطلوبة لكل منها.

جدول 1 - 1

أمثلة لبعض المنتجات والخواص المطلوبة

الخاصية	المنتج المطلوب
مقاومة للكسر	سلاسل
مقاوم لتآكل والبرى	قضيب محور دوار
قدرة على امتصاص الطاقة	نابض (ياي)
مقاومة للأحمال المتكررة	قواعد إرتكاز
الصلادة والمتانة مع خفة الوزن	أجزاء طائرات
مقاومة للضغط	أعمدة خرسانية

خواص المواد الهندسية

خواص المواد الهندسية.. تعني جميع الصفات التي تتصف بها الفلزات (المعادن) من حيث الخواص الطبيعية - الميكانيكية - الحرارية - الكهربائية - الكيميائية..... وغيرها.

تفيد هذه الخواص عند مقارنة العينات والمنتجات المختلفة للمادة الواحدة، هذا يعني أنه عند المعرفة الدقيقة لمادة أو لمجموعة مواد التي تؤدي إلى انخفاض في ثمن المنتج.. فإنه يجب معرفة خواص هذه المواد تحت ظروف متباينة للحصول على المعلومات التي تؤثر

على القيمة الاقتصادية بغرض الوصول إلى منتج يؤدي نفس الغرض، علماً بأنه قد تكون الخواص في بعض الاستعمالات مرغوبة بصورة واضحة، في حين أنها في استعمالات أخرى تكون غير مرغوبة.

أنواع خواص المواد:

يمكن تقسيم خواص المواد الهندسية كما هو موضح بجدول 1 - 2 إلى الآتي:-

جدول 1 - 2

خواص المواد الهندسية

النوع	الخاصية
طبيعية	الأبعاد - الشكل - الكثافة - الوزن النوعي - المسامية - نسبة الرطوبة - بنیان مرئي بالعين المجردة - بنیان دقيق.
كيميائية	التركيب الكيميائي (الحمضي - القلوي) - مقاومة الصدأ - عدم التأثر بالتغيرات الجوية - امتصاص الماء - عدم امتصاص الماء - الإنكماش - التمدد - التأثر بالرطوبة.
حرارية	الحرارة النوعية - التمدد - التوصيل الحراري.
ميكانيكية	مقاومة الأحمال والإجهادات - سهولة التشكيل - الإنفعال - المرونة - اللدونة - الممتطولية - القصفة - منحنى الإجهاد - المرونة - الصلادة - المتانة.
كهربائية	موصل جيد للتيار الكهربائي - موصل رديئ للتيار الكهربائي - غير موصل للتيار الكهربائي.
مغناطيسية	قابليته للمغطة - عدم قابليته للمغطة.
بصرية	اللون - نفاذ الضوء - إنعكاس الضوء.
سمعية	التوصل الصوتي - إنعكاس الصوت.

الخواص الميكانيكية للمواد

لكل مادة خصائص ومميزات تحدد شخصيتها ومجال إستخدامها، كما إنها تلعب دوراً هاماً في إختيار أساليب التشغيل المناسبة لها، ويمكن توصيف المادة بمدي مقاومتها ومطاوعتها للقوى الواقعة عليها وبالتغيرات في المقاومة والانفعالات والاجهادات المؤثرة عليها أثناء التشغيل أو التشكيل. ومن ثم فإن الخواص الميكانيكية لمواد التصنيع المختلفة تحدد من خلال سلوك هذه المواد، وتبعاً لذلك توجد مواد قابلة لعمليات التصنيع كالصب - الطرق

- اللحام - التشغيل بالقطع.... وغيرها من العمليات، كما أن الخواص الميكانيكية تستخدم كأساس للمقارنة بين المواد الهندسية المختلفة.

المواد القابلة للصب يمكن صهرها عن طريق عمليات السباكة.. مثل حديدي الزهر - الرصاص - سبائك النحاس - سبائك الألومونيوم.

المواد القابلة للطرق يمكن تشكيلها عن طريق عمليات الحدادة، الدرفلة، الثني، مثل الصلب - النحاس - سبائك الألومونيوم.

المواد القابلة للحام يمكن وصل بعضها البعض بواسطة لحام الانصهار أو اللحام بالضغط مثل الصلب والمعادن الغير حديدية.

المواد القابلة للتشغيل بالقطع يمكن تشغيلها على آلات القطع.. على سبيل المثال بواسطة الثقب - القشط - البرد - الخرط - التفريز - التخليق - التجليخ.....الخ، وتصلح جميع مواد التصنيع المعدنية لهذا الغرض.

كما توجد خواص ميكانيكية، تحدد أهم صفات الخواص الميكانيكية للمعادن وهي الآتي:-

المتانة Toughness:

عكس القساوة.. وهي قدرة المعدن على تحمل الصدمات ومقاومة الإجهادات الخارجية المفاجئة دون أن يتحطم، وهي صفة تجمع ما بين المرونة والصلادة.

الصلادة Hardness:

هي الخاصية التي تمكنها من الاحتفاظ بشكل سطحها سليماً متماسكاً تحت تأثير الأحمال. وتعرف بقدرة المادة لمقاومة التشوه - النقر - القطع - الخدش - البرى (التآكل) نتيجة للإحتكاك وأيضا لمقاومة الخدش أو القطع. يوجد للصلادة عدة أنواع أهمها ما يلي:-

(أ) صلادة الخدش Scratch Hardness:

هي خاصية مقاومة سطح المادة للخدش.

(ب) صلادة البرى Wear Hardness:

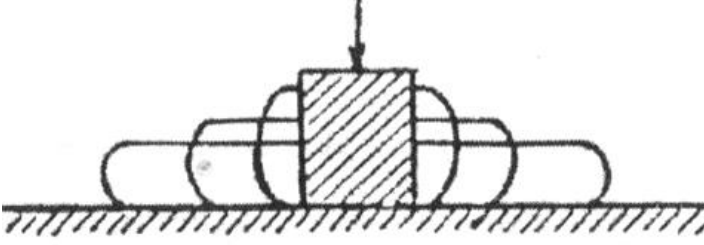
هي خاصية مقاومة سطح المادة للبرى نتيجة الإحتكاك.

(ج) صلادة الإرتداد Rebound Hardness:

هي خاصية قدرة المادة للرجوعية.. أى إمتصاص الطاقة وإعادتها مرة أخرى للأحمال المؤثرة مسببة إرتداد لها، ترتفع قيمتها كلما زادت صلادة المادة.

(د) صلادة التشكيل بالماكينات Malleability:

هي قدرة المادة على التشكيل بواسطة الطرق Hammering أو الدرفلة Rolling بدون كسر كما هو موضح بشكل 1 - 6، وهي خاصية مشابهة للمطولية ولكن لا يوجد علاقة مباشرة بينهما.



شكل 1 - 6

مادة مشكّلة بالطرق
تحت تأثير حمل
الضغط

المرونة Elasticity:

هي خاصية تغيير شكل المادة تحت تأثير قوى معينة، ثم تعود إلى شكلها وأبعادها الأصلية بعد زوال الإجهادات المسلطة عليها.. هذا يعني أن المرونة عكس اللدونة.

معايير المرونة Modulus of elasticity:

هو قيمة الزيادة في الإجهاد مقسوماً على الزيادة المناظرة في الإنفعال لجزء الخط المستقيم الابتدائي لمنحنى الإجهاد والإنفعال. وحدة قياسه هي Kgf/cm^2 يساوي معايير المرونة في الشد والضغط لأكثر المعادن، ويعبر عن معايير الليونة في الشد والضغط بالعلاقة التالية:-

$$E = \frac{\sigma}{e}$$

حيث σ مقدار الزيادة في الإجهاد

e مقدار الزيادة المناظرة في الإنفعال

E معايير المرونة في الشد والضغط.

اللدونة Plasticity:

هي قابلية المادة للتشكيل (تغيير شكلها) تحت تأثير إجهادات أو قوى خارجية، دون عودته إلى شكله الأصلي بزوال تلك الإجهادات.. هذا يعني أن اللدونة عكس المرونة. لا يوجد في الطبيعة مادة مرنة تماماً، فالمطاط على سبيل المثال يأخذ شكل عندما يسقط عليه حمل.. ولكنه يعود بعد إلى حالته وأبعاده بعد زوال الحمل المسلط عليه.

هذا يعني أن هناك مواد لها خاصية المرونة العالية في حدود مدى معين من الإجهادات، ثم تتحول إلى لدنة لدرجة معينة ومن أمثلة ذلك الصلب، وهناك مواد أخرى لها لدونة عالية وقليل من المرونة مثل الرصاص.

الهشاشة Crackly:

هي عدم قدرة المعدن للصدمات أو للأحمال أو القوى الخارجية المؤثرة عليه، الذي يؤدي إلى تحطيمه.

المطيلية Ductility:

هي قابلية المعدن للاستطالة، ويكون ذلك تحت تأثير قوى الشد، أى قابلية للسحب.. كما هو الحال بعملية السحب إلى أسلاك.

وتقاس نسبة مطولية المادة.. (نسبة الزيادة في طول المادة) من العلاقة التالية:-

$$\text{النسبة المئوية للإستطالة} = \frac{\text{الزيادة في طول المادة}}{\text{طول المادة}} \times 100$$

$$\text{النسبة المئوية للإخفاض مساحة المقطع} = \frac{\text{النقص في طول المادة}}{\text{مساحة المقطع الأصلية}} \times 100$$

اليونة Cottony :

عكس الصلادة، وهي قابلية المعدن للتني والحنى والالتواء.

القصافة Brittleness:

معناها الهشاشة، وهي قابلية المادة للكسر قبل حدوث تغير ملحوظ في الشكل مثل حديد الزهر والزجاج والخرسانة.. فإنها تنكسر تحت تأثير حمل دون أن يحدث لها تغيير في الشكل. يعتبر النقص عكس الممطولية.

الصلابة Stiffness:

هي خاصية تماسك المادة ومقاومتها لأى نوع للتغير في الشكل، وهي عكس السيولة.

الرجوعية Resilience:

هي كفاءة المادة لإمتصاص طاقة الإجهادات المبذولة في حدود المرونة.

المتانة Toughness:

عكس القصفة، وهي خاصية المواد التي تعبر عن قدرتها على تحمل ومقاومة الإجهادات، هذه الخاصية تجمع ما بين المرونة والصلادة.

قابلية السحب:

هي استجابة المعدن للتمدد باتجاه الشد أو التشكيل بالطرق.

قابلية الطرق:

هي استجابة المعدن للتشكيل بالتمدد في جميع الجهات عند طرقه بدون تشقق أو ضغطه أو درفلة.

قابلية الشد:

هي مقاومة المعدن للكسر عند تأثير جهد شد.

قابلية اللحام:

هي استجابة قطعتين من المعدن للوصل باستعمال لحام بالضغط أو بالحرارة أو كلاهما معاً.

مقاومة الصدم:

هي قدرة المعدن على مقاومة الضربات المفاجئة.

الخواص الميكانيكية للمواد عند تعرضها لقوى إستاتيكية أوديناميكية:

يمكن تحديد الخواص الميكانيكية لبعض المواد من خلال التعبير عن سلوكها عند تعرضها للقوى والإجهادات المؤثرة المختلفة، سواء كانت هذه القوى إستاتيكية أو ديناميكية أو متكررة كالآتي:-

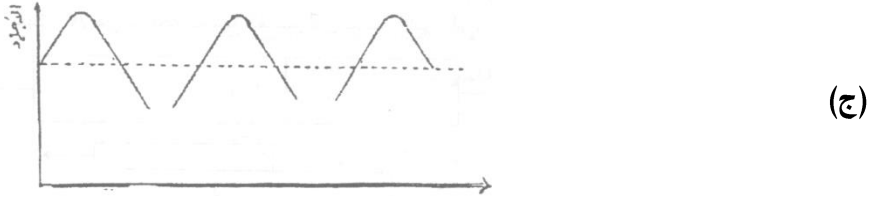
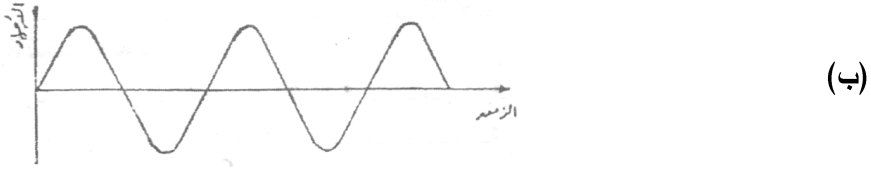
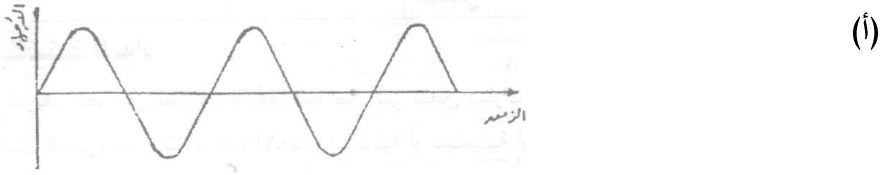
التحميل:

يمكن تقسيم الطرق التي تؤثر بها الأحمال على المادة على الآتي:-

1. حمل إستاتيكي Static load: هو القوة أو الحمل الذي يكون تأثيره على المادة بطيئاً ويزداد تدريجياً حتى يصل إلى قيمته القصوى دون حدوث أى صدم أو إهتزاز.
2. حمل ديناميكي Dynamic load: هو القوة أو الحمل الذي يطلق على الفلز (المعدن) من خلال صدمة تؤدي إلى حدوث إهزاز. يختلف هذا النوع عن التحميل الإستاتيكي، حيث تكون الإجهادات الناتجة في هذه الحالة أعلى من الإجهادات الناتجة تحت تأثير حمل بطيء له نفس القيمة.

3. تحميل متكرر **Repeated loading**: الذي يكون فيه تأثير الحمل على المادة عدة مرات، حيث تتحمل المادة إجهادات معينة إذا كان الحمل مؤثراً لمرة واحدة، بينما قد يكون هذا الحمل مؤثراً ويؤدي إلى إنبهار المادة تحت تأثير نفس الحمل أو أقل في حالة تكرره لعدة مرات.

يؤدي التحميل المتكرر إلى إجهادات متغيرة في حدود معينة كما هو موضح بشكل 1 - 7 كالآتي:-



شكل 1 - 7

تأثير الإجهادات على المادة عند التحميل المتكرر

- (أ) إجهادات تتغير من قيمة قصوى في الشد إلى قيمة قصوى في الضغط.
- (ب) إجهادات تتغير من قيمة قصوى في الشد إلى قيمة تساوي صفر.
- (ج) إجهادات تتغير من قيمة قصوى في الشد إلى قيمة أقل تكن أعلى من صفر.

الإجهادات Stress:

عندما تتعرض المادة (جزء من منشأ أو جزء من ماكينة على سبيل المثال) لأحمال أو قوى خارجية، تؤدي هذه القوى أو الأحمال إلى تولد قوى مقاومة في داخل المادة لتلك الأحمال.

تسمى كثافة القوى الداخلية في جزء المنشأ بالإجهاد **Stress**، يمكن أن تكون هذه الإجهادات شد **Tensile** أو ضغط **Compressive** أو قص **Shear**.. ووحدتها هي Kg/cm^2 .

يعبر عن إجهاد الشد أو الضغط بالرمز σ ، ويعبر عن إجهاد القص بالرمز q . ويفترض في حالة الأحمال المركزية F في الشد أو الضغط تكون القوى الداخلية عند أى مقطع مستعرض موزعة توزيعاً منتظماً، وعليه تكون كثافة القوى الداخلية (الإجهادات) عند أى نقطة هي كما هو موضحة بالعلاقة التالية:-

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

حيث σ الإجهاد عند أي نقطة.

P الحمل أو القوة المؤثرة.

A مساحة المقطع المستعرض.

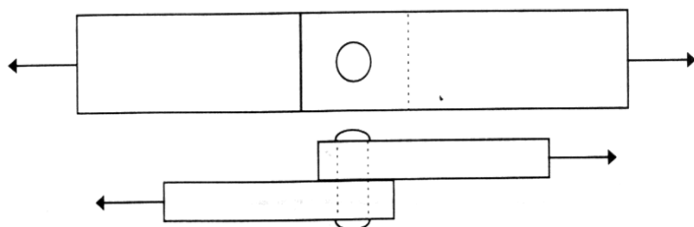
ويمكن استخدام العلاقة السابقة في بعض حالات القص الذي لا يؤثر فيها الحمل F بطريقة مركزية حقيقية، ولكنه يؤثر في المستوى المراد حساب الإجهادات عليه، وعلى سبيل المثال مسمار البرشام الموضح بشكل 1 - 8 يكون إجهاد القص المؤثر عليه كما هو موضح بالعلاقة التالية:-

$$q = \frac{F}{A}$$

حيث q إجهاد القص.

F الحمل.

A مساحة المقطع المستعرض لمسمار البرشام.



شكل 1 - 8

إجهاد القص

الواقع على مسمار

البرشام

التشكيل والانفعال Deformation & Strain:

عندما تؤثر قوى خارجية على المنشأ أو جزء من ماكينة يؤدي إلى تغير في نسبي في شكل وأبعاد هذا الجزء.. يسمى التغير في أى بعد طولي للمنشأ تشكيلاً

Deformation، أما الأنفعال Strain فهو وحدة التشكيل أو التغيير لكل وحدة من الأبعاد الطولية للمنشأ.

فيما يلي جدول 1 - 3 الذي يوضح أهم الفلزات (المعادن) المستخدمة في الصناعة ورموزها وكثافتها ودرجة حرارة إنصهارها.

جدول 1-3

أهم الفلزات (المعادن) المستخدمة في الصناعة
(رموزها - كثافتها النسبية - درجة حرارة إنصهارها)

المعدن	رمز المعدن	الكثافة النسبية	درجة حرارة الانصهار °م
الأكومنيوم	Al (Aluminum)	10×2.7	660
البيزموث	Bi (Bismuth)	10×9.8	271.3
الكاديوم	CD (Cadminium)	10×8.6	320.9
الكروم	Cr (cromium)	10×7.1	1890
الكوبلت	Co (Cobalt)	10×8.9	1490
النحاس	Cu (Copper)	10×8.9	1083
الذهب	Au (Gold)	10×19.3	1063
الحديد	Fe (Iron)	10×7.9	1535
الرصاص	Pb (Lead)	10×11.3	326.4
الزئبق	Hg (Mercury)	10×13.6	388
النيكل	Ni (Nickel)	10×8.9	1458
البلاتين	Pt (Platinum)	10×21.4	1773
الفضة	Ag (Silver)	10×10.5	960
القصدير	Sn (Tin)	10×7.3	231.9
التيتانيوم	Ti (Titanium)	10×4.5	1725
التنجستن	W (Tungsten)	10×4.5	3410
الزئبق	Zn (Zinc)	10×7.1	419.5
المغنسيوم	Mg (Magnesium)	10×1.7	651

الباب الثاني

المعادن الحديدية

مُهَيِّدٌ

توجد الفلزات (المعادن) المختلفة كالحديد والمعادن غير الحديدية بالطبقات السطحية والطبقات العميقة 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 بدلاً 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.

ويتعرض لأفران الصهر المختلفة مثل الفرن العالي — فرن الدست المعروف بالكيوبولا — فرن البوتقة — فرن التقلب — 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. كما يتعرض لتآكل المعادن وأسباب التآكل وطرق الحماية المختلفة

الفلزات (المعادن) الحديدية **Ferrous materials**:

الفلزات (المعادن) الحديدية **ferrous** 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 – 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 جزءاً من هذا الزهر يستعمل لإنتاج مسبوكات الزهر. الحديد الخام (تماسيح الزهر) هو من الفلزات (المعادن) الثقيلة، درجة الحرارة العادية 7.875°C ، ودرجة حرارة إنصهاره 1300°C ، ودرجة حرارة غليانه 2450°C . كثافته ما بين 7 – 7.3 كجم/دسم². نسبة الكربون تتراوح ما بين 3 – 4 %.

يعرف الحديد بسهولة تمغنطه، كما إنه يفقد مغناطيسيته بسهولة أيضاً ويفقدها كلياً في درجة حرارة 769°C . قابلية الحديد للتوصيل الحراري أقل من قابلية الفضة للتوصيل الحراري بمقدار 6 – 7 مرات، وأقل من قابلية الألومنيوم للتوصيل الكهربائي بمقدار 3 مرات.

الرمز الكيميائي للحديد هو Fe مأخوذة من كلمة لاتينية Ferum، 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 السيليكا.... 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.

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

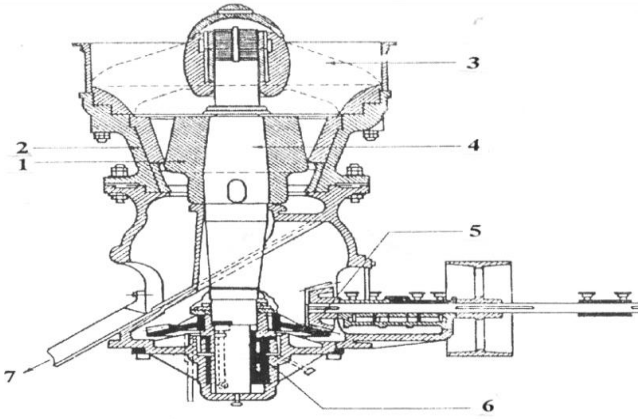
1. تكسير الخامات وتفنيتها.
2. الفرز .. (التصنيف).
3. التحميص.
4. الغسل.

5. التركيز الكهرومغناطيسي. 6. التليد.

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

أولاً: عملية التكسير : الصخور المستخرجة من المناجم تكون في العادة كبيرة الحجم نسبياً، يصل حجمها إلى ما بين 1.2 – 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 1 - 2 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 1 - 2
كسارة مخروطية
للكتل الكبيرة

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

ثانياً: 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 أو متوسط 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 (الغرايل) ذات شبكات مختلفة من خلال هزازات ميكانيكية، وتسمى هذه العملية بعملية تصنيف المواد حسب الحجم.

ثالثاً: 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، هذا بجانب التخلص من جزء كبير من الكبريت وثاني أكسيد الكربون. ولزيادة تركيز الخام تستخدم طريقة الفرن الدوار حيث يختلط الغفل مع الفحم ويسخن في فرن أسطواني دوار، ترتفع درجة حرارته إلى حوالي 1200⁰ م، حيث يتخلص من معظم السيليكا والشوائب الأخرى، وبذلك يتم الحصول على غفل غني بالحديد حيث تبلغ نسبة الحديد بالغفل إلى نحو 90 % تقريباً.

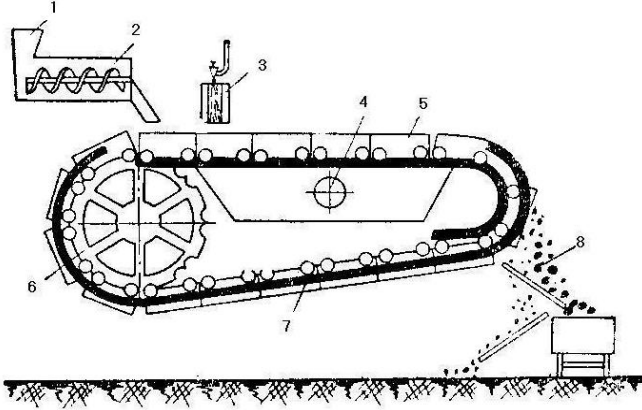
رابعاً: الغسيل : تجرى عملية غسل الخامات باستخدام تيار مائي بضغط مناسب للتخلص من الأتربة والرمل والطين، كما يعمل التيار المائي على حمل المواد العاطلة والشوائب بعيداً عن الخام، وبعد عملية الغسل تجرى عملية التجفيف

خامساً: التركيز الكهرومغناطيسي : تعمل ماكينات الفصل الكهرومغناطيسية على النقاط أجزاء الخام التي تحتوي على حديد، وتلقى بالمواد العاطلة والشوائب التي لا يلتقطها المغناطيس بعيداً عنها.

سادساً: التلبيد: تجرى عملية تلبيد الغفل للأحجار الصغيرة وغبار الخام المتطاير للحصول على أحجار كبيرة. شكل 2 - 2 يوضح ماكينة تلبيد الخام وهي عبارة عن جنزير يحتوي على عربات صغيرة تتحرك في دورة مغلقة، تحمل على القضبان الموجودة على هذه العربات طبقة يصل سمكها إلى ما بين 250 - 350 ملليمتر من خليط مبلل من الخام والوقود المفتت، ويشعل الوقود بواسطة مشعل، ويسحب تيار من الهواء من أعلى إلى أسفل، وتتولد عند اشتعال الوقود درجة حرارة ما بين 1200 - 1300⁰ م، ويتم معها تسوية أجزاء الخام الصغيرة إلى أجزاء كبيرة مسامية تصلح للصهر في الأفران العالية

وقد بدأ في الوقت الحاضر في تلبيد 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 تليد الخام

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

إنتاج الحديد 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 بالأفران 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 الأكسجين 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 إيلي حديد زهر (تماسيح حديد).

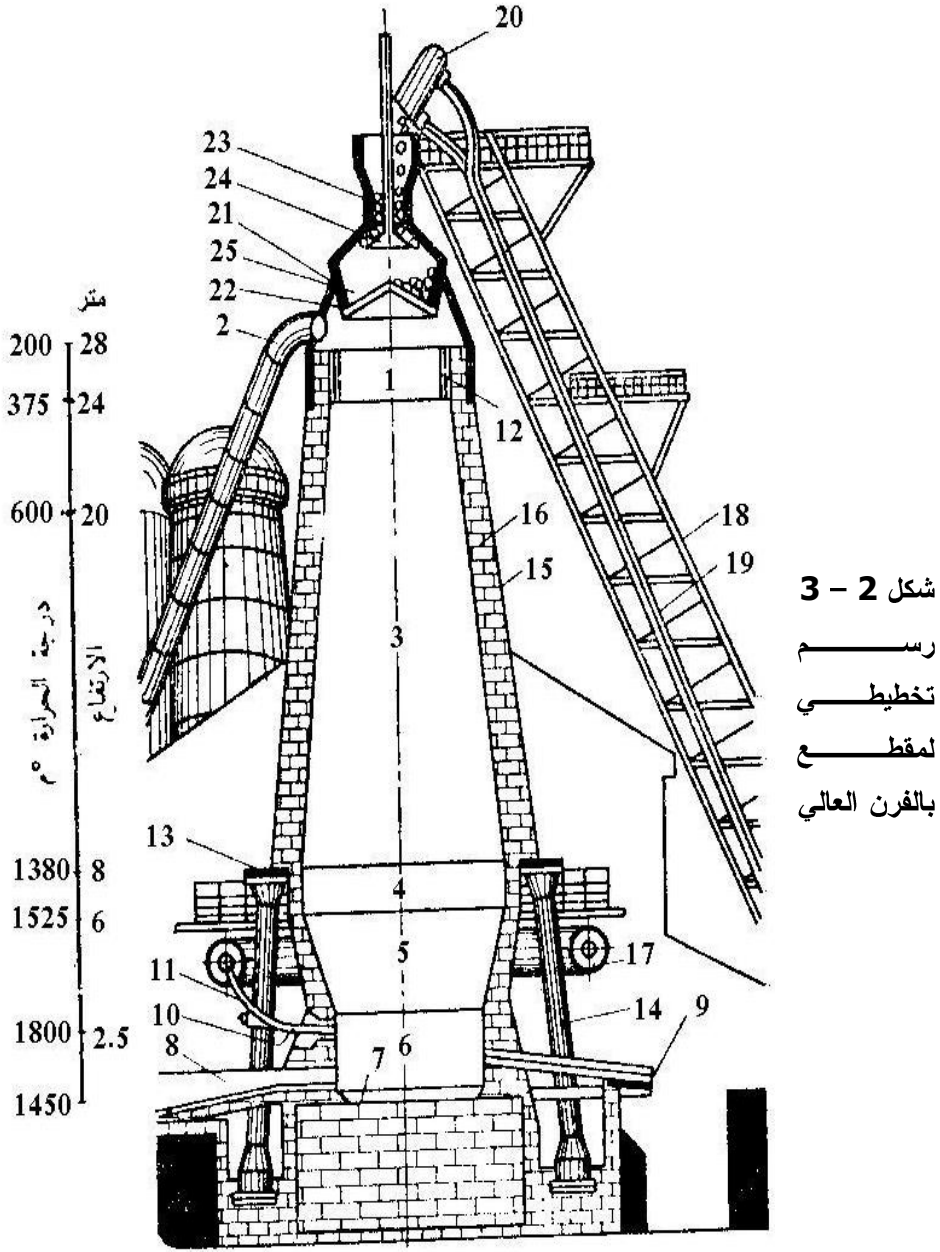
سمي الفرن العالي بهذا الاسم لضخامته وارتفاعه الشاهق، حيث يتراوح ارتفاع الفرن الذي يعمل بالكوك إلى ما بين 30 — 80 متر، ويبلغ قطر أكبر مقطع فيه ما بين 10 — 14 متر. علماً بأن ارتفاع الفرن الذي يعمل بالفحم الخشبي يصل إلى 20 متراً فقط. يعمل الفرن بشكل متواصل.. أي بدون توقف منذ إنشائه وتشغيله. يصل إنتاجه إلى 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 — 1730 °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 — 80 متر، ويبلغ قطر أكبر مقطع فيه ما بين 10 — 14 متر. علماً بأن ارتفاع الفرن الذي يعمل بالفحم الخشبي يصل إلى 20 متراً فقط.



- | | |
|---------------|-----------------------|
| 1. قمة الفرن. | 2. ماسورة خروج الغاز. |
| 3. القصبية. | 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 الموضح بالشكل السابق 2 - 3 من الأجزاء الأساسية التالية:-

1.القمة: هو جزء أسطوانى قصير يستقبل الشحنة عن طريق جهاز الشحن بأعلى الفرن، ويحتوى على جهاز ناثر للشحنة لسقوطها داخل الفرن، كما يحتوى على مواسير لخروج الغازات الناتجة عن عملية الصهر.

2.القصبة: هي جزء أسطوانى مخروطى 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 سائدة من الصلب وترتكز على قواعد خرسانية.

3.منطقة الانصهار: هو جزء أسطوانى قصير، ويعتبر من أكثر أجزاء الفرن اتساعاً.

4.الأكثاف: هو جزء أسطوانى مخروطى، أسفل القصبة.

5.الكور: هو جزء أسطوانى 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 °م.

شحنة الفرن العالي blast furnace charge:

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

1. خام الحديد: يشحن الفرن باثنتين 2 طن خام حديد قبل شحن خام الحديد إلى الفرن العالي، ويتم تجهيزه بعدة عمليات تحضيرية كالآتي:-

(أ) تكسير الخام.

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

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

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

(هـ) يلتقط 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 مواسير بأسفل 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 م² / 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.

يبدأ الفرن بمزيج من الخامات وفحم الكوك ومساعدات الصهر، وتقوم رافعة مائلة موجودة 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 الأكسجين 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 وفحم 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 كمعادن خام في المسابك وذلك حسب تركيبه.

منتجات الفرن العالي Blast Furnace Products:

ينتج الفرن العالي المنتجات التالية:-

1. حديد زهر التماسيح: 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.

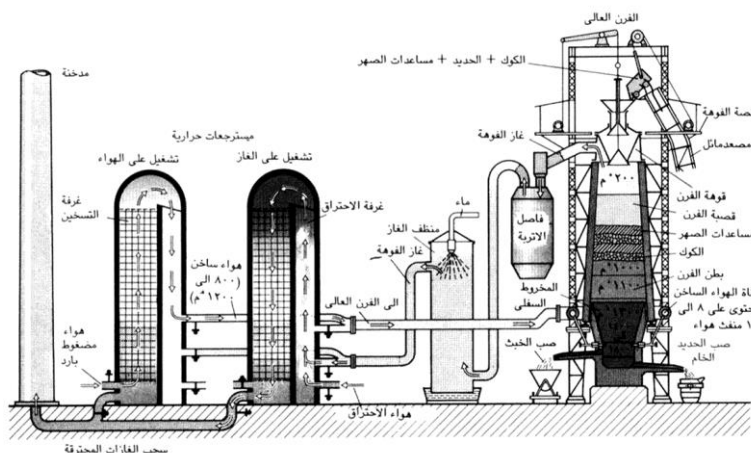
3- الغازات: تتكون الغازات المنتجة من أول أكسيد الكربون بنسبة 25 % تقريبا، أما الغازات الباقية فهي مكونة من ثاني أكسيد الكربون وأكسوجين وأوزون، وهذه الغازات قابلة للاحتراق، تستعمل في تسخين الهواء في منشأة الفرن، كما تستخدم كوقود للمحركات الغازية، وتسخين غرف فحم الكوك، وفي التدفئة.

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 بدرجته.

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 بجواره للمساعدة في عمليات الصهر. شكل 2 - 4 يوضح منشأة الفرن العالي.



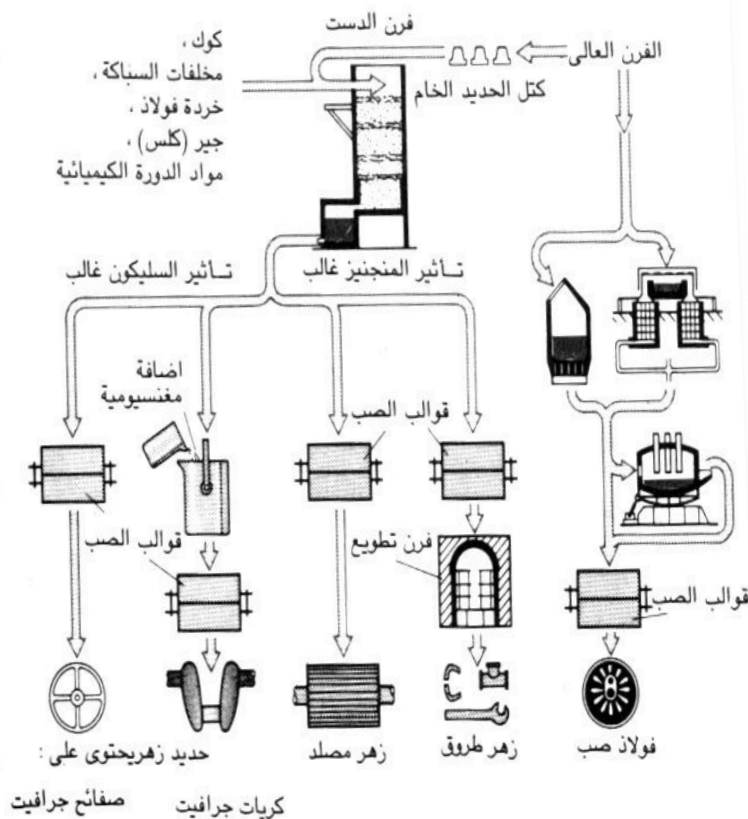
شكل 2 - 4
منشأة الفرن
العالي

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 الدست 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 العناصر 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/دسم³.
درجة إنصهاره: 1150 — 1250 °م. درجة حرارة الصب: 1350 °م.
متانة الشد 10 — 40 كجم/مم².
الإنفعال: معدوم تقريباً.
نسبة الإنكماش: 1 %.
التركيب: 2.5 — 3.6 % كربون.
1.8 — 2.5 % سليكون.
0.4 — 1.0 % منجنيز.
0.2 — 0.9 % فوسفور.
0.8 — 0.12 % كبريت.

المواد الحديدية المستخدمة في الصناعة:

يمكن تقسيم المواد الحديدية المستخدمة في الصناعة إلى الأنواع الثلاثة التالية:-
1. خامات معدنية. 2. مواد نصف مصنعة. 3. منتجات نهائية.
أولاً: 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 — خام الماجنتايت أما المواد العاطلة في الخامات فهي السيليكا (الرمال) — الألومينا (إحدى مكونات الطين) — أكسيد الكالسيوم (الجير).

ثانياً: المواد نصف المصنعة: هي المواد التي أجرى عليها بعض العمليات التصنيعية والتي لا تزال تنتظر إجراء عمليات تصنيعية أخرى للحصول على 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 رمليّة أو تجاويف لها نفس الشكل المراد إنتاجه)، ثم يبرد المعدن ويتجمد في هذه القوالب أو التجاويف للحصول على مسبوكات بالأشكال المطلوبة.

كتل التشكيل:

تصب 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 البلوري 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 أشكالاً 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 إسم 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 الحداة أو البثق.

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

ثالثاً: 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 Ferrous Metals Production:

تعتبر المعادن الحديدية من أكثر المواد استخداماً 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.

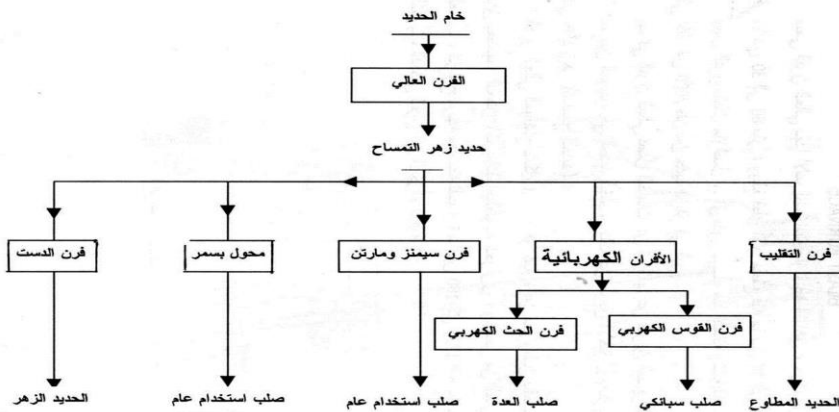
يستخلص الحديد من المواد الخام من خلال صهرها بهدف إزالة الشوائب العالقة بها، ومن الصعب فصل المعدن (الحديد النقي) فصلاً تاماً من العناصر المكونة له في الطبيعة، حيث يتطلب ذلك عمليات معقدة غير اقتصادية، هذا بجانب كون الحديد النقي ليس له خواص مفيدة من الناحية العملية، فهو معدن طرى ذو مقاومة منخفضة للصدأ والتآكل، 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 مضافاً إليه الكربون بنسبة تتراوح ما بين 0.1 % - 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 على حديد وكربون وبعض العناصر الأخرى.

ويمكن تلخيص عمليات إنتاج المعادن الحديدية المخلفة في الآتي:-

1. استخلاص الحديد الخام باستخدام الفرن العالي لإنتاج حديد زهر التماسح.
2. استخدام حديد زهر التماسح 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 — 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 — 3.75 % 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 لكي يتلاءم مع متطلبات الاستخدام 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

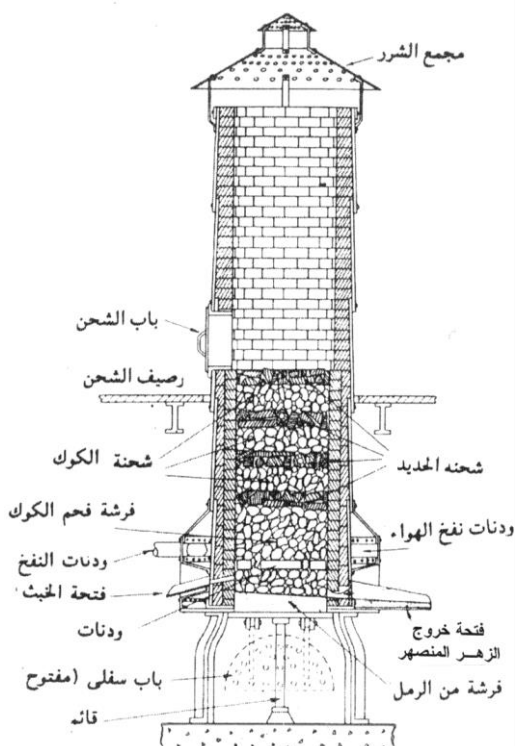
على الرغم من أن اختراع فرن الدست كان في القرن الثامن عشر.. إلا أنه يعتبر من أكثر أنواع أفران الصهر انتشاراً، حيث ينتج ملايين الأطنان من حديد الزهر سنوياً.. والتي تمثل حوالي 80 % إلى 90 % من حديد الزهر المنصهر في المسابك

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 فرشاة 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 أكثر سيولة.

يعتمد الصهر في فرن الدست على استمرار عملية الشحن وإخراج المنصهر، إذ كلما تحركت الشحنة إلى أسفل.. أي إلى منطقة الصهر، يضاف بالفرن شحنة إضافية 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:

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 السبائك 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 ومنزلاقات 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 — 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 المنزلاقات 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 — 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 أكسدةها 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 التقليل - فرن سيمنز مارتن.
3. الأفران الكهربائية.

تحويل الحديد الخام إلى 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 أكسدةها عند صهر الحديد الخام، حيث تتأكسد هذه العناصر أو تحترق لقابليتها للإتحاد بالأكسوجين، وينتج عن ذلك حديد صلب لدن (فقير) لا يحتوي إلا على نسبة ضئيلة جداً من الكربون.. أى حديد صلب طري سهل تشكيله بالطرق أو السحب أو الضغط. ويطلق على هذا الصلب إسم الحديد المطاوع Wrought Iron.

يعتبر حديد الصلب الطري (الحديد المطاوع) من أقدم 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 % - 99.9 %، أما نسبة الكربون فإنها تتراوح ما بين 0.02 - 0.03 %، ويمكن زيادة نسبة الكربون في الحديد وذلك حسب الحاجة، وتحويله إلى أنواع أخرى من الصلب الأكثر صلادة مثل صلب العدة.

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

خواص الحديد المطاوع (الصلب الطري) : Properties Of Wrought Iron

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

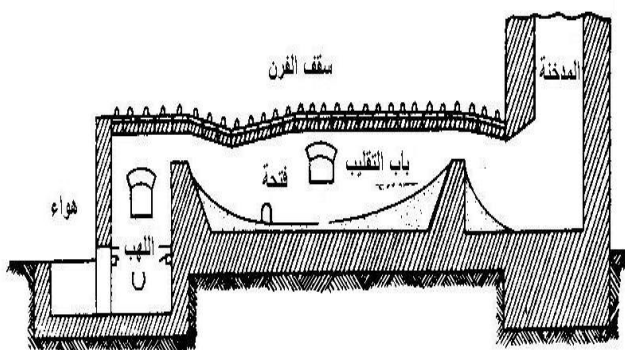
1. سهل التشكيل بالحدادة واللحام الحدادي.
2. يعتبر من أكثر المعادن الحديدية تقبلاً لعمليات السحب والثني والتشكيل.
3. سهل الثني على البارد.
4. يتحمل الصدمات.

5. مقاوم للعوامل الخارجية، حيث أن أكسوجين الجو لا يمكنه الوصول إلى الطبقات الداخلية للمعدن.

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

فرن التقليل Pudding furnace:

فرن التقليل 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 وجران الفرن إلى الكور.



شكل 2 - 8
قطاع بفرن التقليل لصناعة
الصلب الطري (الحديد
المطاوع)

استخدام فرن التقليل:

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

المبدأ الأساسي في هذه الطريقة هو إختزال الكربون الموجود بالحديد الغفل iron ore باستخدام الأكسوجين.

طريقة فرن التقليل لصناعة الصلب:

توضع الشحنة المتكونة من تماسيح الحديد الخام وخردة الحديد وقدرها 0.5 - 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 ابتداء انصهار الحديد، تبدأ عملية خلط الحديد بواسطة قضبان حديد من خلال البوابة الخاصة بذلك، وتضاف كمية أخرى من أكسيد الحديد وتستمر عملية الخلط، وبعد حوالي 30 دقيقة تقريباً يتحول الحديد إلى عجينة،

وتتم أكسدة الحديد المضاف لتتكون أكاسيد السيليكون والفسفور 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 تقلبيه، 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 الكهربائية ومغناطيسية 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 الأكسجين النقي بدلا من الهواء (النفخ يكون من أعلى الفرن)، حيث يعمل الأكسجين على حرق الكربون والشوائب الأخرى الغير مرغوب بها مثل السيليكون والمنجنيز والفسفور والكبريت، لذلك فإن هذه الطريقة تعرف بطريقة الصلب الأكسجيني.

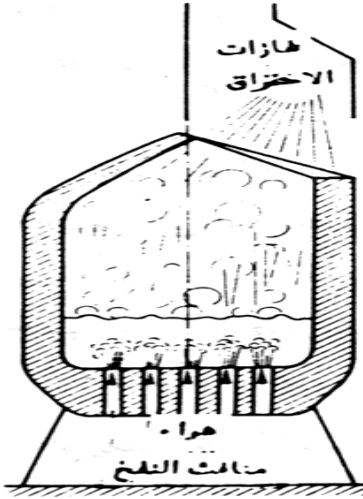
تولد هذه العملية كمية كبيرة من الحرارة تكفي للمحافظة على درجة حرارة الشحنة.

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 - 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 – 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
محول بسمر

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 % سيليكاً.

تستخدم هذه الطريقة عندما تكون نسبة 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 الأكسجين بمحول بسمر الموضح بشكل 2 - 10 إلى ثلاث مراحل كالاتي:-
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

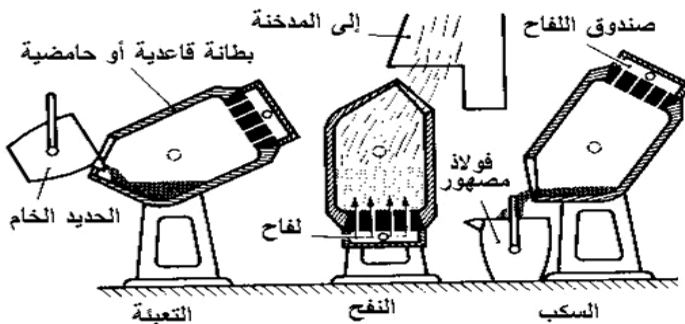
ظهور الشرر بتأثر الحديد الخام المنصهر من تيار الهواء المندفع، والذي يؤدي إلى تطاير قطرات منه.

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

المرحلة الثانية: تبدأ هذه المرحلة عند ارتفاع درجة حرارة المعدن المنصهر ما بين 1300 – 1600 °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 براقية يصل إرتفاعها إلى حوالي 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 تدريجياً.

تستمر المرحلة الثالثة حوالي 3 دقائق، ويستمر النفخ من خلال إندفاع الهواء بالمعدن المنصهر حتى إحتراق جميع الشوائب. ويدار المحول إلى الوضع الأفقي مع توقف نفخ الهواء المندفع لخم الحديد المنصهر تدريجياً، ويضاف إلى محتويات الشحنة سبيكة من الحديد والمنجنيز والكربون قبل تفريغها من المحول، وذلك لإختزال أكاسيد الحديد الذائبة في المعدن المنصهر 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 بسم

ملاحظة:

يمكن تمييز المراحل الثلاثة 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)

لتنولد الحرارة اللازمة نتيجة لإحتراق الفوسفور في المقام الأول ليصل درجة حرارته إلى 1300°C ، وترتفع درجة الحرارة داخل المحول أثناء النفخ لتصل إلى 1600°C ، وارتفاع درجة الحرارة ليس نتيجة لتأكسد الفوسفور كما هو الحال في محول بسمر (المحول الحامضي).. بل نتيجة لاحتراقه.

يستمر هذا الوضع ما بين 15 – 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 كالحداثة 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 الطريقة.
2. صعوبة تنظيم عمليات التحويل.

تطوير محولات إنتاج الصلب:

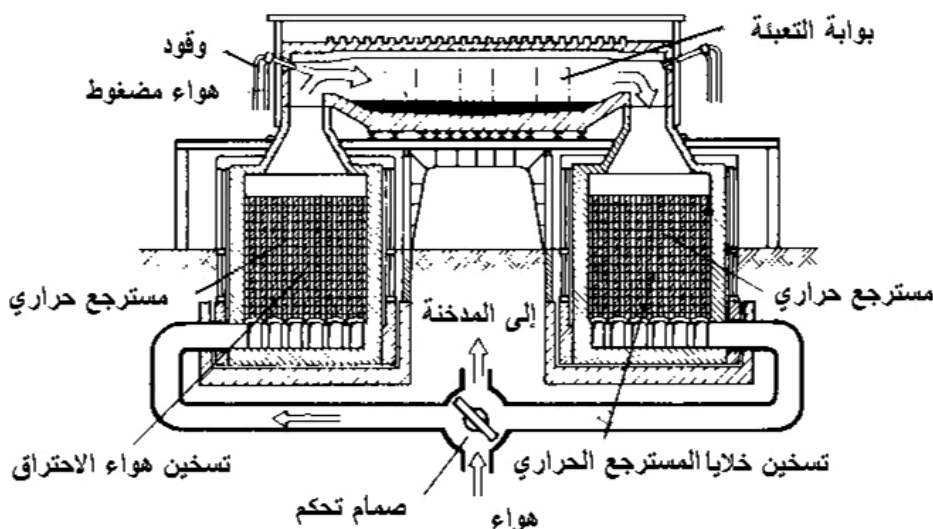
لقد تم إضافة بعض التحسينات في العقود الماضية على محولات بسمر وتوماس أدت إلى تطويرها، وأهم هذه التحسينات هي نفخ الأكسوجين بدلا من الهواء الذي أدى إلى سرعة

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 المجرمة المفتوحة OPEN HEARTH PROCESS، وذلك لأن مجرمة الفرن قريبة من السطح ومعرضة للوقود الفازي بصورة مباشرة. بنى الفرن بالطوب الحراري وغلف بألواح من الصلب. يصل طول الفرن إلى 25 متر وعرضه إلى 7 متر، ويتراوح سعته إلى ما بين 200 - 500 طن. يعمل الفرن على تصفية المعدن المنصهر في مجرمة مفتوحة، وقد طورت عملية احتراق الوقود في هذا الفرن بحيث يكون فرنًا عاكسًا.



شكل 2 - 11

فرن سيمنز مارتن

شحنة فرن سيمنز مارتن:

يشحن فرن سيمنز 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 الوقود الغازي أو من الوقود 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 إحدى أنواع الغازات الجديدة.

طريقة تشغيل فرن سمنز مارتن:

يندفع الهواء الساخن مسبقاً 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 المجرمة.

تتلامس السنة اللهب التي تبلغ درجة حرارتها إلى ما بين 1800 — 2000 °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. وغالباً يضاف الأكسجين إلى هواء الاحتراق لرفع درجة الحرارة في الفرن.

وهناك طريقة أخرى لدفع الأكسجين 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 ضالة نسبة الكربون فيها. هذه الطريقة تؤدي إلى الارتفاع بجودة الصلب، كما تجعلها طريقة أقل تكلفة.

أما القيمة الاقتصادية المميزة لطريقة سمنز 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 بالخرقة 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 سمنز مارتن أو بصلب المجرمة 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. قابليته 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 Furnaces.

أفران القوس الكهربائي Electric Arc Turnaces :

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

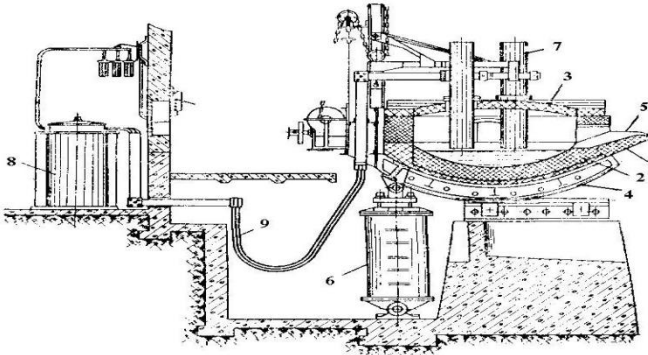
تسير الدائرة الكهربائية بفرن القوس الكهربائي الموضح بشكل 2 - 12 بتسلسل (القطب - القوس - الخبث - القوس - القطب)، حيث تعمل على تولد طاقة حرارية مرتفعة تصل إلى 3400°C . تؤدي هذه الطاقة إلى انصهار خردة الصلب (الفولاذ) المصفى مسبقاً وإزالة جميع الشوائب الموجودة مثل الكبريت والفسفور والكربون، حيث تحترق هذه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

يستعمل غاز الأكسجين النقي أو يؤخذ الأكسجين 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، وتنقل 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 electric arc furnaces 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:

1. تتميز الأنواع المختلفة لأفران القوس الكهربائي بالآتي:-
1. إمكانية الحصول على درجات حرارة عالية جداً في مكان الصهر تصل إلى 3400 °C
- م مما يسمح بالحصول على خبث به كثير من الجير
2. التخلص من الشوائب مثل المسفور والكبريت.
3. انخفاض 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. قابليته المنتج لعمليات الحدادة واللحام.

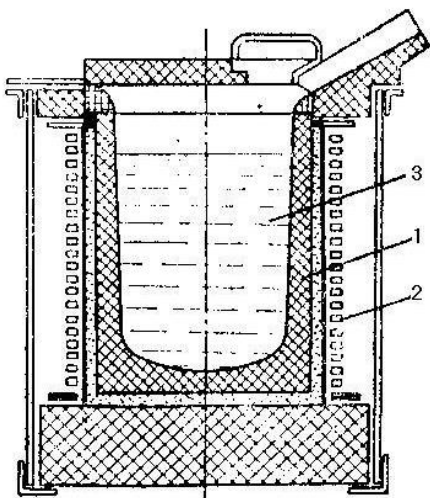
أفران الحث الكهربائي Electric Induction Furnaces:

فرن الحث الكهربائي الموضح بشكل 2 - 13 يعمل بتيار متردد 500 - 2000 ذبذبة / ثانية. سعته لا يتجاوز 8 طن.

يحتوي الفرن على بوتقة مقاومة للحرارة 1، يوجد حول البوتقة ملف كهربائي على شكل ماسورة من النحاس 2 مقطوعاً 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 منتجاً 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 لأفران الحث الكهربائي

1. بوتقة مقاومة للحرارة.

2. ملف كهربائي.

3. المعدن الموجود داخل البوتقة.

منتجات أفران الحث الكهربائي Electric induction furnaces production:

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 كثيراً 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 غالباً 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

الاسم	النسبة المئوية للكربون	الاستخدامات
(الصلب الرخو) الصلب المنخفض الكربون	0.125 – 0.1	قضبان السلك، والأنواع الرقيقة، والأنابيب المصمتة المسحوبة.. الخ
	0.3 – 0.15	ألواح الغلايات، وأعمال الكباري، والقطاعات الإنشائية، ومطروقات مشكلة بالمطرقة الساقطة، وأعمال الورش العامة.
الصلب المتوسط الكربوني	0.5 – 0.3	أعمدة الدوران، ومطروقات مشكلة بالمطرقة الساقطة، ومواسير، والأسلاك، والأجهزة الزراعية.

البيات، وعجلات السكك الحديدية، وقوالب الحدادة الكبيرة، وحبالسك، والمطارق، وعدد تشكيل البرشام.	0.7 – 0.5	
البيات وقوالب الحدادة الصغيرة، والحدود القاطع للمقصات، والمقاطع على البارد، والمقاطع المستخدمة في ورش النجارة.	0.9 – 0.7	
أجنات القطع على البارد، وقوالب الكبس، والسنابك، ولقم قطع أسنان القلاووظ، وأدوات أعمال النجارة، وأعمدة المحاور.	1.1 – 0.9	الصلب العالي الكربوني
شفرات الحلاقة، والمبارد اليدوية، وبنط المثقاب، ومحددات القياس، وأدوات قطع الماكينات.	1.4 – 1.1	

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 التأثير 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
الكربون	المتانة - الصلادة - قابلية التصليد	نقطة الانصهار - الانفعال - قابلية التشكيل - قابلية اللحام - قابلية الحدادة
السليكون	المرونة - المتانة - قابلية التصليد التام - الصلادة في درجات الحرارة العالية - الصمود للتآكل الكيميائي	قابلية اللحام

المادة	تؤدي إلى زيادة	تؤدي إلى خفض
الفسفور	التميع - التقصفية على البارد - مقاومة الحرارة العالية	الانفعال - مقاومة الصدمات
الكبريت	تقصف الرايش - اللزوجة - التقصفية عند الاحمرار	مقاومة الصدمات
المنجنيز	قابلية التصليد التام - المتانة - مقاومة الصدمات - مقاومة التآكل الإحتكاكي	سهولة التشغيل بالقطع
النيكل	المتانة - الصمود للتآكل الكيميائي - الصمود للتسخين - قابلية التصليد التام	التمدد الحراري
الكروم	الصلادة - المتانة - مقاومة الحرارة العالية - درجة حرارة التصليد - الصمود للقطع - مقاومة التآكل الإحتكاكي - الصمود للتآكل الكيميائي	الانفعال (بصورة ضئيلة)
الفاناديوم	الصلادة - مقاومة الحرارة العالية	الحساسية للتسخين الزائد
الموليبدنم	الصلادة - مقاومة الحرارة العالية	الانفعال - قابلية الحدادة
الكوبالت	الصلادة - الصمود للقطع - مقاومة الحرارة العالية	قابلية التشكيل بأى كيفية - الحساسية للتسخين الزائد
التنجستين	الصلادة - المتانة - الصمود للتآكل الكيميائي - درجة حرارة التصليد - مقاومة الحرارة العالية - الصمود للتسخين - الصمود للقطع	الانفعال (بصورة ضئيلة)

أساليب إنتاج الصلب:

يتيح تنوع أساليب إنتاج الصلب المختلفة لتحقيق العديد من المتطلبات فيما يختص بالخواص المرغوبة للصلب. ومن ثم فإنه يجرى 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 صلب يحتوي على نسبة ضئيلة من الشوائب (الكبريت والفسفور). يمتاز بنقاوة عالية وبنية منتظمة.

الباب الثالث

المعادن غير الحديدية

Non-ferrous metals

مهيّد

توجد المعادن غير الحديدية المختلفة كالححاس والألومنيوم والقصدير والزنك والرصاص، بالطبقات السطحية والطبقات العميقة في القشرة الأرضية في صورة غير نقية، تتفاوت الكميات الموجودة والمستخرجة من المعادن والمواد المختلفة، كما يتفاوت تركيزها ودرجة نقاوة كل منها من مكان إلى الآخر.

تجرى على أغفال المعادن والمواد المختلفة عمليات استخلاص من خلال صهر هذه المعادن باستخدام عدة أنواع من الأفران. تتميز هذه الأفران عن بعضها البعض من حيث السعة ونوع ودرجة نقاوة المعادن أو المواد المنتجة ونوع المصدر الحراري (الوقود المستخدم)..... الخ.

يتناول هذا الباب استخلاص وإنتاج المعادن غير الحديدية وسبائكها، والأفران المستخدمة في عمليات الصهر، وعمليات نقاوة وتكرير هذه المعادن، وذلك من خلال الشرح التفصيلي للمعدن والمواد المختلف كل منها على حدة، مع عرض لطريقة التشغيل ومميزات وعيوب كل منهم.

الفلزات (المعادن) غير الحديدية

Non-ferrous metals

على الرغم من أن الفلزات (المعادن) الحديدية مثل الحديد والصلب والزرر بأنواعهم من أهم المعادن المستعملة في الصناعة، إلا أن هناك معادن أخرى غير حديدية مستعملة أيضا في المجال الصناعي على نطاق واسع مثل النحاس — الألومنيوم — النيكل — الرصاص — القصدير — الزنك — المغنسيوم، وهي لا تقل أهمية عن المعادن الحديدية.

ويفسر استعمال الفلزات (المعادن غير الحديدية وسبائكها بأن لبعضها خواص مميزة في الاستخدام الصناعي مثل جودة التوصيل الكهربائي والحراري — مقاومة الصدأ — مقاومة التآكل — انخفاض معامل التآكل — خفة الوزن — سهولة التشكيل على البارد أو على الساخن..... الخ، بجانب الاعتبارات الاقتصادية الأخرى، ومن ثم فإنه يجب التعرف عليها من حيث خواصها وإستخداماتها ومميزات وعيوب كل منها.

الفلزات (المعادن) غير الحديدية النقية

Pure non-ferrous metals

هي فلزات (معادن) لينة جداً وذات متانة ضئيلة للغاية. يمكن تحسين خواصها عند عمل سبائك منها.. أى عند مزجها مع معدنين أو أكثر في حالة سائلة، حيث تتحسن صفاتها كزيادة الصلادة والمتانة كما تنخفض الانفعالات بين المعادن الممتزجة، بينما تنخفض درجة جودة توصيلها للكهرباء.

درجة إنصهار السبائك بصفة عامة أقل من درجة إنصهار المعادن المتكونة منها، كما إنها تنخفض إلى أدنى درجة إنصهار لأى من المواد المتكونة منها.

يمكن تغيير لون أى معدن من خلال خلطه بمعدن آخر أو أكثر، الأمر الذي يؤدي إلى خفض مقاومته وصموده للتآكل الاحتكاكي.

هي فلزات (معادن) لينة جداً وذات متانة ضئيلة للغاية. يمكن تحسين خواصها عند عمل سبائك منها.. أى عند مزجها مع معدنين أو أكثر في حالة سائلة.

أنواع الفلزات (المعادن) غير الحديدية النقية:

يمكن تقسيم الفلزات (المعادن) غير الحديدية من حيث الكثافة إلي نوعين أساسيين هما:-

1. فلزات (معادن) ثقيلة.. Heavy metals.

2. فلزات (معادن) خفيفة.. Light metals.

الفلزات (المعادن) غير الحديدية الثقيلة

Non-ferrous heavy metals

هي التي تزيد كثافتها عن 5 كجم /د سم³ وأهمها النحاس — القصدير — الرصاص — النيكل — الكروم — التنجستين — الموليبدنم — الفاناديوم — الكوبالت — المنجنيز — التنتالوم — التيتانيوم — الأنثيمون — الكاديوم — البزموت — الزئبق، وكذلك المعادن الثمينة مثل

الفضة — الذهب — البلاتين.

إنتاج النحاس

Production of copper□

يعتبر النحاس هو أقدم الفلزات (المعادن) التي عرفها الإنسان منذ عصور ما قبل التاريخ، وذلك لوجوده في حالته الطبيعية متحداً مع كثير من العناصر الأخرى. النحاس الطبيعي النقي لونه أحمر ذهبي براق، أما لون سبائكه فهي مائلة إلى الاصفرار. يمكن تشكيله على البارد أو على الساخن.

يتميز النحاس وكثير من سبائكه بارتفاع قابليته للتوصيل بالكهرباء والحرارة، بجانب قابليته للسحب (المطيلية).. وبالتالي يمكن سحبه إلى أسلاك رفيعة، بجانب ذلك فهو طروق يمكن تشكيله بالطرق على البارد أو على الساخن وتحويله إلى تخانات مختلفة ومنها الصفائح أو الرقائق الدقيقة.

يستعمل النحاس في حالته النقية في العديد من الصناعات وأهمها بالمجالات (الكهربائية — الحرارية — الكيميائية)، كما يستعمل النحاس على نطاق واسع للحصول على بعض السبائك.

خواص النحاس Copper prooerties:

يسمى النحاس باللاتينية كوبروم. يرمز للنحاس وسبائكه بالرمز (نح أو CU). كثافته 8.9 كجم /دسم³. درجة انصهاره تصل إلى ما بين 1070 — 1093 °م وترتفع درجة انصهاره كلما ازدادت درجة نقاوته. تصل مقاومته للشد إلى ما بين 30 — 36 كجم/م² وبالأسلاك الدقيقة إلى 60 كجم/م². درجة إنفعاله ما بين 35 — 50 %.. وتصل بالأسلاك الدقيقة إلى 2 % من أهم خواصه الآتي:-

1. الليونة.

2. قابليته الكبيرة للتمدد.

3. لونه أحمر لامع.

4. موصل ممتاز للحرارة والكهرباء.

5. مقاوم ممتاز للتآكل الكيميائي واللهب.

6. يتغير لون سطحه عند تأكسده إلى اللون الأخضر.

غفل النحاس Copper Blank :

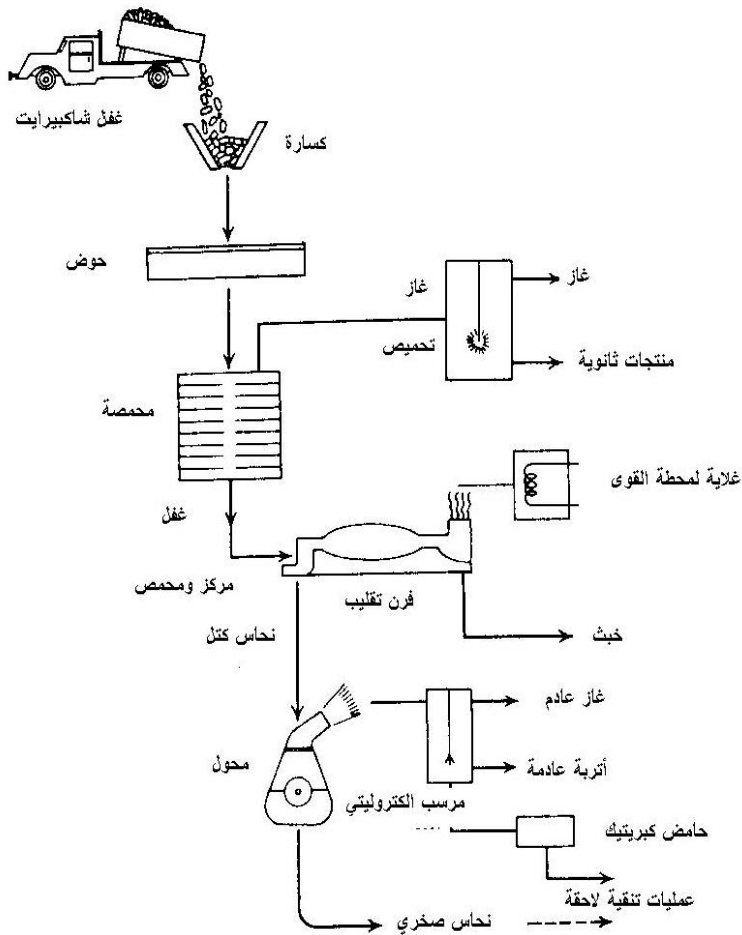
يوجد غفل النحاس بالقشرة الأرضية (بأعماق باطن الأرض) على شكل مركبات مختلطة بخامات معادن أخرى. مركبات النحاس الموجودة في الطبيعة هي أكاسيد النحاس مختلطة مع

الكبريت والحديد والتي تعرف باسم بيريت أو شالكوبيريت. يحتوي على نسبة نحاس حوالي 32 %.

استخلاص النحاس

Copper extraction□

يستخلص النحاس من خاماته بإحدى طريقتين أساسيتين هما:-
أولاً: الطريقة الجافة لاستخلاص النحاس: تتكون الطريقة الجافة لاستخلاص النحاس والموضحة بشكل 3 - 1 من عدة مراحل كالآتي:-

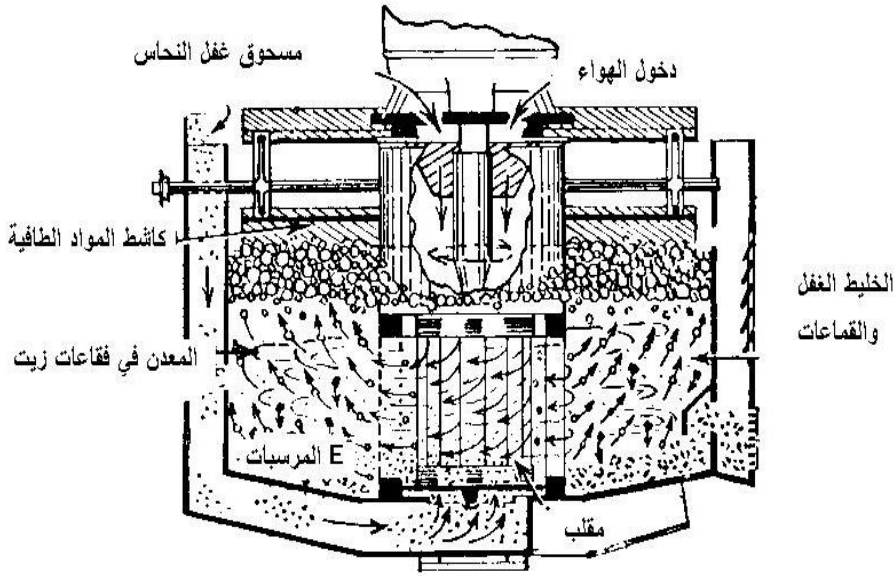


شكل 3 - 1

رسم تخطيطي لخريطة استخلاص النحاس بالطريقة الجافة

1. تكسير الغفل في كسارات خاصة.

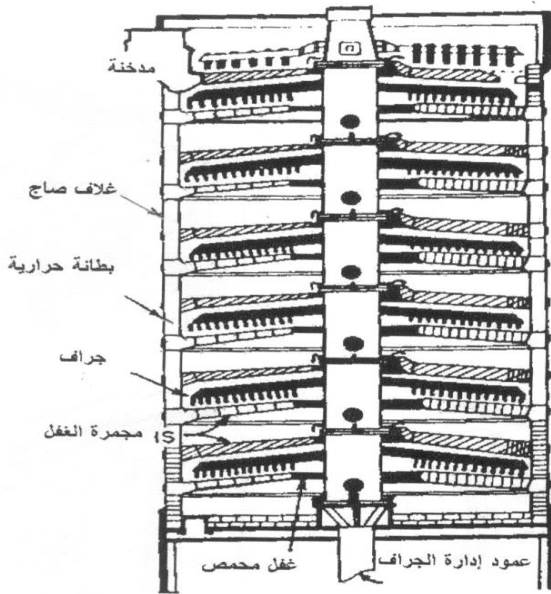
2. خلط الغفل المكسر مع الجير ومساعد الصهر (سيليكون).
3. تخلص الغفل من الشوائب والأتربة العالقة كما هو موضح بشكل 3 - 2، ويتم ذلك بطريقة التقويم في حوض ماء، حيث تبدأ حبيبات الغفل الغير مبتلة بتكوين فقاعات وتطفو على سطح الماء ويرسب الباقي في القاع، وعادة يضاف زيت بترول للماء، ونفخ الهواء في الماء للتعجيل بالطفو، حيث تلتصق فقاعات الهواء المتكونة بحبيبات الغفل وتطفو على شكل زيت يمكن إزالته بسهولة.



شكل 3 - 2

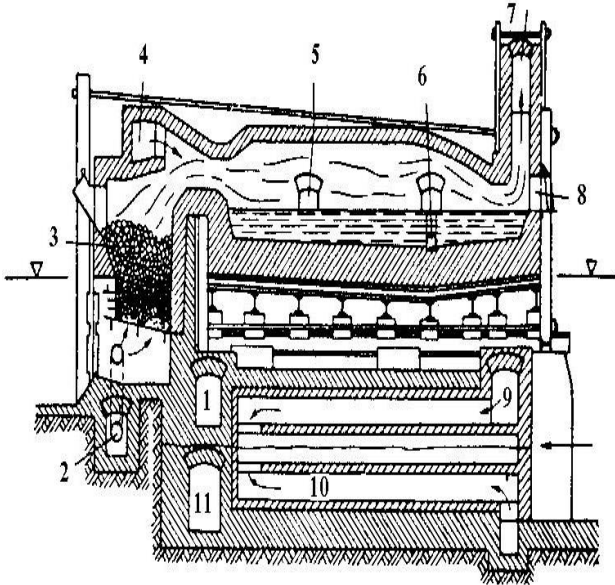
خليط تقويم لفصل غفل النحاس عن المواد العالقة به

4. يحميص خليط الغفل جزئياً بالتسخين والذي يتكون من مركبات كبريتيد النحاس وأكاسيد الحديد، ويسمى هذا الخليط بالكالسين. يتم التحميص عند درجة حرارة ما بين $800 - 1000^{\circ}\text{C}$ في أفران عاكسة كما هو موضح بشكل 3 - 3.



شكل 3 - 3
تحميص غفل النحاس

5. صهر الكالسين مع حجر الجير (كمساعد صهر) في فرن يشبه فرن التقليل الموضح بشكل 3 - 4، حيث يتم التخلص من معظم مركبات الحديد في صورة خبث، ويتبقى غفل النحاس ملبداً مع باقي مركبات حديد الخبث الذي يسمى بالنحاس الصخري.



شكل 3 - 4
فرن التقليل
لاستخلاص النحاس

1. هواء الاشتعال.
2. المدخل الأول للهواء.
3. مولد غاز.
4. تسخين هواء المدخل الثاني.

5. أبواب الشحن والتفريغ.

7. مخرج الغازات إلى دورة التسخين.

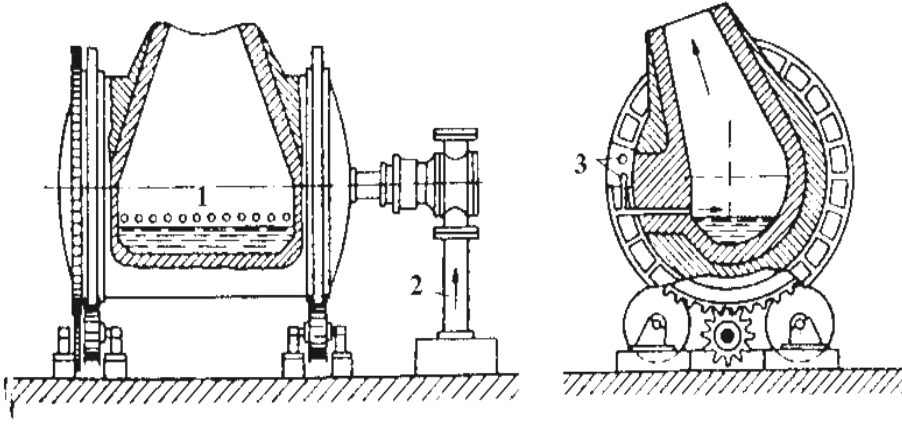
8. مخرج الخبث.

9. غازات العادم.

10. هواء.

11. إلى المدخنة.

6. يصب النحاس الصخري في محول يشبه محول بسمر شكل 3 - 5، حيث يتم نفخ سطح المعدن المنصهر بالهواء من الفتحات 1 المقامة في المداخل 2 عن طريق قنوات هوائية 3، ويستمر النفخ لفترة تتراوح ما بين 4 - 5 ساعات، حتى تتأكسد الشوائب وتخرج معظمها على هيئة أكاسيد متطايرة، أما الشوائب المتبقية فإنها تنضم إلى الخبث الذي يطفو على سطح المعدن المنصهر، ويقشط من حين لآخر.



شكل 3 - 5

محول نفخ النحاس

1. منافس النفخ.

2. مدخل هواء النفخ.

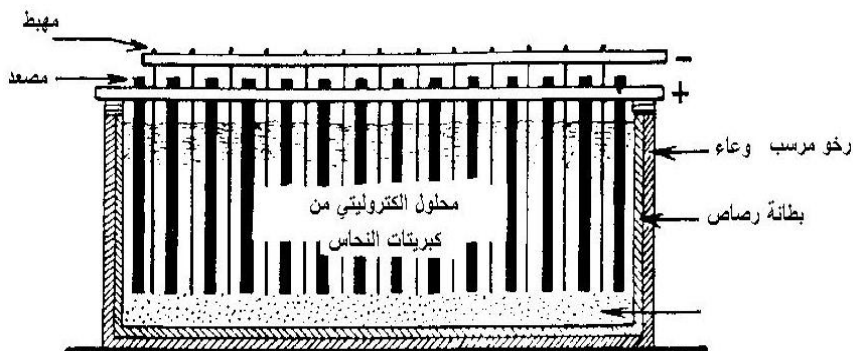
3. قنوات هواء النفخ.

7. تحفظ الشحنة منصهرة كما هو الحال في محول بسمر.

8. يتأكسد كبريتيد النحاس نتيجة للنفخ بالهواء، ويتحول إلى أكسيد النحاس أو إلى كبريتات النحاس، وبعد انتهاء فترة النفخ يبدأ التفاعل بين أكسيد النحاس وكبريتات النحاس، حيث تحتوي الشحنة في هذه الحالة على نسبة ما بين 98 - 99 % نحاس، وهو خام لا يصلح للاستخدام المباشر، بل إنه يحتاج إلى عمليات تنقية أكثر.. كما هو الحال بالحديد الخام المستخرج من الفرن العالي.

9. تتم عملية التنقية النهائية للنحاس الخام (التنقية من الشوائب الضارة) بالطريقة الحرارية بأفران عاكسة أو بالطريقة الكهروكيميائية.. أى بالترسيب الكهربائي كما

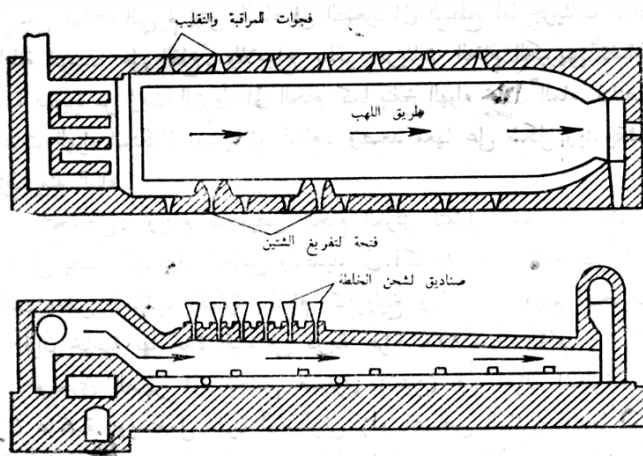
هو موضح بشكل 3 - 6 وذلك لإنتاج نحاس نقي تماماً، وهو الذي يطلق عليه نحاس عالي الجودة والخالي من الأكسجين. يحتوي النحاس الذي ينتج بهذه الطرق على ما بين 99.5 - 99.7 من عناصر النحاس. ثم يصب هذا النحاس في صفائح مصعدية، ليجرى عليه عملية تحليل كهربائي للحصول على تنقية أكثر للنحاس لتصل نسبته إلى 99.98 % من عناصر النحاس.



شكل 3 - 6

خلية ترسيب كهربائية لإنتاج النحاس النقي

ثانياً: الطريقة الرطبة لاستخلاص النحاس: يستعمل للطريقة الرطبة لاستخلاص النحاس الخامات الأكسيدية الفقيرة بالنحاس، حيث توضع في أفران عاكسة كما هو موضح بشكل 3 - 7، علماً بأن الطريقة الأولى (الطريقة الجافة) هي الطريقة الأكثر استخداماً.



شكل 3 - 7

رسم تخطيطي لفرن عاكس

يفتت الخام إلى أن يصل حبيباته إلى ما بين 2 - 15 ملليمتر، ويفرز للحصول على أحجام واحدة، ويجري لكل حجم عملية تركيز في ماكينة ترسيب، وفي هذه الماكينة يغسل الخام والمادة العاطلة بواسطة تيار مائي، ولما كان الوزن النوعي للخام والمادة العاطلة

مختلفاً، فإنهما ينفصلان عن بعضهما البعض، ويرسب الخام إلى أسفل بينما تظل المادة العاطلة إلى أعلى، ويعامل الخام المركز بمحلول مخفف من حامض الكبريتيك، ثم يرشح للحصول على محلول نظيف، ويتم ترسيب النحاس من المحلول بالتحليل الكهربائي، أو باستخدام الحديد الخردة بدلاً من النحاس حسب التفاعل، ويعاد صهر النحاس الناتج في أفران لهبية ثم ينقى.

إستخدامات النحاس Uses Of Copper :

يستخدم النحاس بشكل أساسي في تلبية إحتياجات الصناعات الكهربائية، حيث تصنع منه الأسلاك والكبلات الكهربائية وكابويات اللحام وملفات التبريد والتدفئة وبعض الأعمال الفنية.

مميزات النحاس:

يتميز النحاس بالصفات التالية:-

1. ارتفاع قابليته للتوصيل الكهربائي والحراري.
2. قابليته للسحب (المطيلية).
3. قابلية تشكيله على البارد أو على الساخن.

إنتاج سبائك النحاس Production of copper alloys:

النحاس الأحمر النقي لا يستفاد منه إلا في الأجزاء والعناصر التي يهتم فيها بأهم خواصه وهي خاصية التوصيل الكهربائي والحراري، ولا يستفاد به في المجالات الأخرى بسبب قصور مقاومته للإجهادات الميكانيكية، حيث لا يرقى إلى مستوى الصلب في المجالات الهندسية بجانب إرتفاع ثمنه، ولكن يستفاد به في مجالات عديدة عندما يختلط بمعادن أخرى مكوناً سبائك، ويمكن تقسيم سبائك النحاس إلى الآتي:-

سبيكة النحاس الأصفر Brass Alloy :

هي سبيكة مكونة من النحاس النقي والزنك، وتعتبر من أكثر السبائك اللاحديدية الثقيلة استعمالاً. نسبة النحاس فيها لا تقل عن 50 %، حيث أنه كلما إرتفعت هذه النسبة كلما تحسنت الخواص الميكانيكية وإزدادت قابلية السبيكة للتشكيل كمقاومة الشد والضغط والإنحناء وإزدادت صلابتها، لذلك تصنع الأجزاء النحاسية التي تشكل على البارد أو على الساخن من سبيكة النحاس الأصفر التي لا يتجاوز نسبة الزنك فيها عن 30 %.

تتميز سبيكة النحاس الأصفر بمقاومتها للصدأ والبرى بالاحتكاك (التآكل الاحتكاكي).

استعمالات سبيكة النحاس الأصفر :Uses Of Brass Alloy

تستعمل سبيكة النحاس الأصفر في صنع بعض الأجهزة والأجزاء الخاصة بالصناعات الكهربائية والميكانيكية — العملات النحاسية — مقابض الأبواب — التماثيل — أعمال الزينة والديكور، كما تدخل في صناعة المحامل (كراسي المحاور)، بحيث تحتوي السبيكة على سيليكون أو ألومنيوم.

سبائك البرونز :Bronze Alloy

هي سبيكة مكونة من النحاس النقي وأى معدن آخر عدا الزنك. نسبة النحاس فيها 80 % تقريباً، ونسبة البرونز الفسفوري 0.1 %، أما نسبة القصدير فهي تتراوح ما بين 1 — 22 %.

كما يوجد سبيكة البرونز النيكل وهي مكونة من النحاس النقي والبرونز النيكل. يتراوح نسبة النحاس في هذه السبيكة ما بين 70 — 80 %، أما نسبة البرونز النيكل فهو يتراوح ما بين 20 — 30 %.

سميت هذه السبائك بسبائك البرونز، لأن أى سبيكة تسمى باسم المعدن المضاف إليها مهما كانت نسبته ضئيلة.

تتميز سبائك البرونز بصفة عامة بمقامتها العالية للشد ومقاومة ممتازة للتآكل الإحتكاكي.

استعمالات سبيكة البرونز : Uses Of Bronze Alloy

تشكل سبيكة البرونز بالصب لصعوبة تشكيلها بالوسائل الأخرى، وتستعمل في صنع مراوح الدفع في السفن ومراوح المضخات والأجراس.

سبائك النيكل :Nickel Alloy

هي سبيكة مكونة من النحاس النقي والنيكل والزنك والرصاص. تتراوح نسبة النحاس في هذه السبيكة ما بين 45 — 65 %، وتتراوح نسبة النيكل ما بين 10 — 25 %، ونسبة النيكل ما بين 15 — 42 %، ويضاف الرصاص بنسبة تصل إلى 2 %.

ينشأ اللون الأبيض الفضي في هذه السبيكة بسبب وجود النيكل، وكلما إزدادت نسبته كلما زاد صمود السبيكة للتآكل الكيميائي وإزدادت لمعته.

استعمالات سبيكة النيكل :Uses Of Nickel Alloy

تستعمل تشكل البرونز النيكل في صنع أسلاك المقاومات الكهربائية — بادئات التشغيل ومنظمات التحكم — أدوات الرسم — براغي الأجهزة الدقيقة — أغلفة الساعات — الحلي —

أدوات المائدة، كما تستعمل هذه السبيكة في تغطية الألواح المقاومة للتآكل الكيميائي وفي صنع العملات المعدنية وذلك عند زيادة نسبة النيكل في السبيكة إلى ما بين 15 — 25 %.

إنتاج الزنك (الخاصين)

Zinc production

يوجد في الطبيعة بشكل خامات الزنك (مركبات الزنك مع الأحماض الكبريتية والكربونية). يتوفر في ألمانيا وفي الولايات المتحدة الأمريكية وإنجلترا والكنغو.. يرمز له بالرمز (Zn أو ZN).

يستخلص الزنك (الخاصين) من خامات الزنك بالتحميص أو الإختزال أو بالتقطير أو بالتحلل الكهربائي. يحتوي على ما بين 30 — 50 % خاصين.

إستخلاص الزنك بالتحلل الكهربائي:

تعتبر طريقة التحليل الكهربائي للزنك هي الأكثر استخداماً.. كما أنها حظيت بانتشار كبير.. ويمكن تلخيصها في الآتي:-

يحمص الخام المركز ثم يعالج بمحلول حامض الكبريتيك، ويرسل المنتج بعد تنقيته من الشوائب إلى حوض التحليل الكهربائي، الذي يحتوي على مصعد من ألواح الرصاص، ومهبط من ألواح الألومنيوم.

يترسب الزنك في عملية التحليل على المهبط، ويصهر الزنك المهبطي في أفران عاكسة ذات جو مختزل للمحافظة على المعدن من التأكسد، حيث ينتج الزنك النقي على شكل مصبوبات أو كتل على هيئة تماسيح.

يحتوي الزنك المنتج بطريقة التحليل الكهربائي على 98.5 % من عنصر الخاصين.

خواص الزنك Zinc Properties:

كثافته 7.1 كجم/دسم³ تقريباً — درجة إنصهاره 419 °م — درجة التبخر 907 °م. لونه أبيض مائل للزرقة.

من أكثر المواد الصلبة تمدداً بالحرارة مقاومته للتآكل في الهواء جيدة، إلا أنه يتأثر سريعاً بالأحماض والأملاح. مقطع الكسر بلوري خشن.

ينصهر عند درجة حرارة 419 °م.

يتداول في الأسواق على شكل ألواح أو مسحوق بالكيلوجرام.

استعمالات الزنك Uses Of Zinc :

يستعمل الزنك في صناعات مختلفة أهمها الآتي:-
في صناعة الألواح والمواسير المجلفنة.
البطانات الخاصة بالمبردات.
طلاء للحديد والصلب.
الطلاء المقاوم للصدأ.

سبائك الزنك Zinc Alloys:

يخلط الزنك النقي بالدرجة الأولى مع إضافات من النحاس والألومنيوم، وتصب بالقوالب الرملية أو القوالب الدائمة أو تحت ضغط بصورة خاصة.
تبلغ مقاومة الشد لسبائك الزنك المصبوبة في القوالب الرملية إلى 18 كجم/مم²، وفي القوالب الدائمة إلى ما بين 20 — 22 كجم/مم² وتحت ضغط 27 كجم/مم².

استعمالات سبائك الزنك Uses Of Zinc Alloys:

تستعمل سبائك الزنك النقي المصبوب في صنع المصبوبات المختلفة، وجلب المحاور، والتروس الدودية الغير معرضة للإجهادات العالية.
أما سبائك الزنك النقي المصبوب تحت ضغط فإنه يستعمل في صنع المشغولات ذات المقاسات الدقيقة التي يصل دقتها إلى ± 0.02 مم والأسطح الممتازة، لذلك فإنها لا تحتاج إلى عمليات تشغيل بالقطع.

إنتاج القصدير

Tin production

يستخلص القصدير من خاماته النادرة الموجودة بالطبيعة والتي لا توجد بكميات كبيرة..
يرمز له بالرمز (قص أو Sn).
يوجد القصدير على هيئة أحجار قصديرية (أكسيد القصدير)، نسبة القصدير في الخام عادة تكون صغيرة جداً، حيث تبلغ ما بين 0.25 — 1 %، أما الباقي فهي مواد عاطلة عبارة عن كوارتز وشوائب أخرى.
تصل نسبة القصدير في الخامات الغنية إلى ما بين 2 — 6 %. تحتاج خاماته إلى عمليات تحضيرية كبيرة قبل البدء في عمليات التعدين المناسبة.

يجرى على الخام المستخرج التركيز والتحضير، وبعدها يصهر الخام المركز لاختزال ثاني أكسيد القصدير في أفران عاكسة باستخدام الفحم، عند درجة حرارة 800 °م. يحتوي القصدير المنتج على كثير من الشوائب والتي تصل نسبتها إلى 3 %، أما الأنواع القصديرية النقية فإنها تحتوي على 99.99 % من عنصر القصدير.

أماكن وجود القصدير:

أماكن وجوده الرئيسية هي الهند (جزيرة بانكا وشبه جزيرة ملقا) — أمريكا الجنوبية — أستراليا — إنجلترا. يتخلص القصدير من خاماته بطريقة الإختزال أو بالتحميص.

خواص القصدير Tin properties :

أهم خواص القصدير هو الآتي:-

1. كثافته 7.3 كجم/دسم³.
2. درجة إنصهاره 332 °م.
3. مقاومته للشد كثافته 4 — 5 كجم/مم².
4. لونه أبيض لامع مائل للزرقة.
5. معدن طرى (أطري من الزنك).
6. مقاوم جيد للتآكل الكيميائي.
7. يتأثر بالأحماض والقلويات.
8. يتحول إلى مسحوق رمادي عند إنخفاض درجة حرارته بالتبريد إلى أقل من 18 °م، إلا أن هذه الظاهرة التي يطلق عليها (طاعون القصدير) لا تحدث غالباً إلا عند تبريده إلى درجة حرارة تحت الصفر.
9. يصدر عنه صرير يسمى بصرخة القصدير بسبب إحتكاك بلوراته مع بعضها البعض.
10. يتحد مع النحاس مكونا البرونز.

استعمالات القصدير Uses of tin :

1. تكوين سبيكة مع الرصاص لإستخدامها في لحام السمكرة.
2. تكوين سبيكة مع الرصاص والأنتمون لإستخدامها في صناعة حروف الطباعة.
3. تكوين سبيكة مع النحاس والأنتمون لإستخدامها في صناعة كراسي المحاور.
4. تغطية أسطح الصلب لحمايتها من الصدأ، وقصدرة النحاس لحمايته من الأكسدة.
5. تستخدم مركباته الكيميائية في النسيج والخزف ومواد الطلاء.
6. يستخدم ثاني أكسيد القصدير في صناعة وإنتاج الزجاجاللبني والمينا.
- .. يتداول في الأسواق على شكل صفائح أو كتل أو أسلاك بالكيلوجرام.

سبائك القصدير Tin alloys:

أهم سبائك القصدير هي سبائك لحام القصدير (اللحام اللين) والتي تحتوي على 12 — 90 % قصدير مضاف إليه الرصاص أو الأنتيمون أو الكاديوم. تستخدم سبائك القصدير التي تتوفر فيها خواص والمتطلبات العالية مثل قابلية الإنزلاق — تحمل الإجهادات في صنع المحامل (كراسي المحاور) .. إلا أن استعمالاتها تتراجع بالمقارنة بمعادن المحامل المصنوعة من سبائك الرصاص.

إنتاج الرصاص

Lead production

يوجد الرصاص في الطبيعة في مركبات عديدة، كما يوجد بالأماكن التي يوجد بها الزنك. أهم خامات الرصاص هو كبريتيد الرصاص الطبيعي (الجالينا)، تتراوح نسبة الرصاص بالخام المتوسط ما بين 6% — 16% .. يرمز له بالرمز (ر أو Pb). يستخلص الرصاص من خاماته بالتحميص بطريقة الصهر الاختزالي للخام المركز بعد تحميصه مبدئياً. ويجري التحميص المبدئي في أفران عاكسة كتخليب كبريتيد الرصاص، وتحويل الرصاص إلى كبريتات، ويمكن بواسطة التحميص الثانوي التخلص تماماً من الكبريت، ويختزل الرصاص عند الصهر في أفران أسطوانية بواسطة كربون فحم الكوك. يحتوي الرصاص المنتج على شوائب بنسبة تصل إلى 1.5 %، ويحتوي الرصاص بعد تنقيته على نحو 99.99 % من عنصر الرصاص.

خواص الرصاص Lead properties:

أهم خواص الرصاص هو الآتي:-

1. كثافته 11.3 كجم/دسم³.
2. درجة إنصهاره 327 °م.
3. مقاومته للشد 1.5 — 2 كجم/مم².
4. لونه رمادي مائل للزرقة، ذو سطح غير لامع.
5. معدن طري ثقيل.
6. سهل التشكيل، يتأكسد بسرعة في الهواء.
7. مقاوم جيدة للتآكل الكيميائي .. حتى ضد الأحماض.
8. لا يسمح لأشعة رونتجن وأشعة المواد ذات النشاط الإشعاعي والإشعاعات الذرية باختراقه.

9. مركباته سامه جداً، لذلك فقد وضع لاستعمالاته قواعد وقوانين خاصة.
10. يتداول في الأسواق على شكل تماسيح أو بالكيلوجرام.

استعمالات الرصاص :Uses of lead

- يستعمل الرصاص في العديد من المجالات الصناعية.. أهمها الآتي:-
1. تكسية الواح الصلب والأوعية المقاومة للأحماض والأنابيب والواح المراكم (البطاريات) والأغلف العازلة للكابلات.
 2. يكون سبائك مع القصدي لإستخدامها في عمليات لحام السمكرة.
 3. يكون سبائك مع الأنثيمون لإستخدامها في صناعة الرصاص الصلب.
 4. تستعمل مركباته (أكسيد الرصاص الأصفر وأكسيد الرصاص الأحمر) في صناعة الزجاج وزجاج العدسات والكريستال والفخار.
 5. نظراً لأن الرصاص لا يسمح بجميع الإشعاعات بإختراقه، فإنه يستخدم للوقاية من جميع الإشعاعات.

إنتاج النيكل

Nickel production

يوجد النيكل في الطبيعة متحداً مع الكبريت والزنك والانتيمون. تحتوي سيليكات منجنيز النيكل والبيريت المغناطيسي على 3 % نيكل ويعتبرا من أهم المواد الأولية التي تستخدم في إستخراج النيكل.. يرمز له بالرمز (ني أو Ni).

خامات النيكل متوفرة بكثرة في كندا واليونان والنرويج كما يوجد بنسب أقل في روسيا والولايات المتحدة الأمريكية.

يجرى استخلاص النيكل الخام بالتحميص والتلبيد المتكررين، وتبعاً لطريقة التحضير يتداول النيكل تجارياً على عدة أنواع منها كاربونيل النيكل الذي على شكل مسحوق، أو النيكل القمري الذي على شكل كريات، أو النيكل اللاكتروليتي الذي على شكل صفائح، أو النيكل المقطع الذي على شكل مكعبات.

خواص النيكل Nickel properties:

- أهم خواص النيكل هو الآتي:-
1. كثافته 8.85 كجم/دسم³.
 2. درجة إنصهاره 1450 °م.

3. مقاومته للشد عند التليد اللين تصل إلى ما بين 40 — 50 % — مقاومته للشد عندما يكون مصلد بالدرفلة تصل إلى ما بين 70 — 80 %.
4. لامع بلون الفضة وقابل للصقل.
5. صلد جداً.
6. مقاوم ممتاز للتآكل الكيميائي.
7. قابل للمغطة.
8. يذوب بسهولة في الأحماض، ولكنه لا يتفاعل مع القلويات.

استعمالات النيكل Uses of nickel:

يستعمل النيكل في التكسيات الجلفانية، كما تستخدم كبريتات النيكل النوشادرية في الطلاء الكهربائي، حيث تترسب طبق من النيكل على الأسطح المعدنية المراد حمايتها. علماً بأن النيكل يلتصق جيداً بالنحاس الأصفر.

سبائك القصدير Nickel alloys:

أهم سبائك النيكل هي السبائك التالية:-

1. سبائك النيكل المطروق التي تستعمل في تصنيع النوابض والأغشية المرنة.
2. سبائك النيكل المطروقة مع النحاس التي تحتوي على ما لا يقل عن 63 % نيكل ونحو 30 % نحاس بالإضافة إلى الحديد الألومنيوم، وهي سبيكة ذات مقاومة ممتازة للتآكل الكيميائي. لذلك فإنها تستعمل في تصنيع أجهزة الصناعات الكيميائية وتصنيع المشغولات المعرضة للتآكل الكيميائي.
3. سبائك النيكل المطروق مع الحديد تحتوي على النيكل بالإضافة إلى الحديد وبعض النحاس والكروم والموليبدنم. تستخدم هذه السبيكة في صناعة المضخات المغناطيسية. أما إذا تجاوزت نسبة الحديد بالسبيكة أكثر من نسبة النيكل (64 % صلب، 36 % نيكل).. سميت السبيكة بالصلب النيكلي، تتميز هذه السبيكة بتمددتها الحراري الضئيل للغاية ومقاومتها الكهربائية العالية.
4. سبائك النيكل المطروق مع الكروم والموليبدنم.. تتمتع بمقاومة شد تصل إلى 90 كجم/مم²، وتمددتها الذي يصل إلى ما بين 20 — 30 %، تتميز هذه السبيكة بمقاومتها الجيدة للتآكل الكيميائي والأكسدة. يصنع من هذه السبيكة القطع والأجزاء المقاومة للأكسدة وأسلاك التسخين والمعدات الكهربائية.

إنتاج الكروم

Chromium production

يوجد الكروم في الطبيعة على هيئة كروميت. يوجد في أمريكا الجنوبية وروسيا وروسيا. يحصل على الفيروكروم الذي يحتوي على 60 — 70 % كروم عن طريق الإختزال بالأفران الكهربائية.. يرمز له بالرمز (Cr أو Cr).

استعمالات الكروم : Uses of chromium

يستعمل الكروم بالصناعات التعدينية في الطلاء بالكهرباء، وكمادة واقية من التآكل الكيميائي بسبب مقاومته العالية (الطلاء الكرومي الثقيل والصلد)، ويستعمل الطلاء الكرومي الصلب كثيراً في صناعة العدة وقوالب الكبس، كما يلعب دوراً هاماً في تحضير أنواع الصلب السبائكي.

خواص الكروم Chromium properties:

أهم خواص الكروم هو الآتي:-

1. كثافته 6.8 كجم/دسم³.
2. درجة إنصهاره 1900 °م.
3. لونهم مادي ومقطعه لامع كالفضة.
4. صلد وحش.
5. مقاوم للتآكل الكيميائي.

إنتاج التنجستين

Tungsten production

يوجد التنجستين في الطبيعة على شكل خامات التنجستين. يوجد في كندا — كاليفورنيا — أسبانيا — البرتغال — أفريقيا الجنوبية — روسيا.. يرمز له بالرمز (W أو W). يستخلص التنجستين من خاماته بالترسيب على شكل حمض التنجستين، ثم يمرر الحمض في تيار من الأيدروجين، بحيث يختزل إلى مسحوق التنجستين. ينتج التنجستين على شكل تماسيح تسمى تماسيح التنجستين.

استعمالات التنجستين : Uses of tungsten

يستعمل التنجستين في صناعة الأسلاك التهوية بالمصابيح الكهربائية (بسبب درجة إنصهاره العالية)، كما يستعمل لأقطاب اللحام (الالكترودات) وكمادة سبيكة لأنواع صلب

الإنشاءات وصلب العدة وللمعادن الصلدة، حيث يكسب الصلب مقاومة جيدة للحرارة مما يزيد من تحمله للقطع.

خواص التنجستين Tungsten properties:

أهم خواص التنجستين هو الآتي:-

1. كثافته 19 كجم/دسم³.
2. درجة إنصهاره عالية جداً تصل إلى 3370 °م.
3. مقاومته للحرارة جيدة.

إنتاج الموليبدنم

Molybdenum production

يوجد الموليبدنم في الطبيعة على شكل موليبدانيت وولفنيت. أماكن توفره في أمريكا الشمالية — أستراليا — سويسرا — النمسا.. يرمز له بالرمز (Mo أو Mo).

استعمالات الموليبدنم Uses Of Molybdenum:

يستعمل الموليبدنم كمادة سببكية في أنواع الصلب النقي المكرر، كما يستعمل كأقطاب (الكثرويدات).

خواص الموليبدنم Molybdenum properties:

أهم خواص الموليبدنم هو الآتي:-

1. كثافته 10.3 كجم/دسم³.
2. درجة إنصهاره تصل إلى 2600 °م.

إنتاج الفاناديوم

Vanadium production

الفاناديوم لونه رمادي وهو صلد جداً. الفاناديوم النقي صعب التحضير، يتداول عادة كمركب من الفاناديوم والحديدي لذلك يسمى بالفاناديوم الحديدي.

استعمالات الفاناديوم Uses Of Vanadium:

يستعمل الفاناديوم كمادة سببكية مع سبائك الصلب، كما أن كميات قليلة منه (2%)

فقط تستخدم في سبائك صلب النوايض وصلب العدة)، حيث ترفع متانة الشد والصلادة للسبيكة بشكل كبير.

خواص الفاناديوم Vanadium properties:

أهم خواص الفاناديوم هو الآتي:-

1. كثافته 5.7 كجم/دسم³.
2. درجة إنصهاره تصل إلى 1715 °م.

إنتاج الكوبلت

Cobalt production

الكوبلت لونه أبيض مائل للون الأحمر والأزرق وهو من المعادن شديدة الصلادة، لذلك فإنه يعتبر من أهم المكونات الهامة لسبائك للمعادن الصلدة.. يرمز له بالرمز (كو أو Co).

استعمالات الكوبلت Uses of cobalt:

يستعمل الكوبلت في بسبب صلادته العالية كسبيكة صلب السرعات العالية وفي صناعة المغناطيس الممتازة الدائمة.

خواص الكوبلت Cobalt tungsten:

خواص الكوبلت تتشابه إلى حد كبير مع خواص النيكل، ومن أهم خواصه هي الآتي:-

1. كثافته 8.6 كجم/دسم³.
2. درجة إنصهاره 1490 °م.
3. شديد الصلادة.
4. لونه أبيض مائل للون الأحمر إلى الأزرق.

إنتاج المنجنيز

Manganese production

المنجنيز هو معدن صلد وهش. يستخدم بصورة رئيسية في سبائك الصلب والنحاس، كما يدخل كثيراً في مركبات سبائك المعادن الخفيفة.. يرمز له بالرمز (من أو Mn).

استعمالات المنجنيز Uses Of Manganese:

يستعمل المنجنيز كمادة أساسية في سبائك الصلب والنحاس، كما يدخل كثيراً في مركبات السبائك المعدنية الخفيفة.

خواص المنجنيز Cobalt Manganese:

أهم خواص المنجنيز هو الآتي:-

1. كثافته 7.4 كجم/دسم³.
2. درجة إنصهاره 1250 °م.
3. معدن صلد وهش.

إنتاج التنتالوم

Titatlum Production

معدن مقاوم للتآكل الكيميائي أكثر من الصلب، وهو غير قابل للصدأ، له نفس متانة صلب الإنشاءات الجيد، ويحافظ عليها في درجات حرارة تصل إلى 400 °م. يعتبر التيتاليوم من أهم المواد الأساسية في مركبات سبائك المعادن الصلدة وفي الصلب والألومنيوم.. يرمز له بالرمز (تي أو Ti).

يوجد التنتالوم في الطبيعة بشكل كولومبيت مختلطاً بالتنتالوم، وهو معدن رمادي لامع، تزداد ليونته ومطيلته بارتفاع درجة نقاوته. ترتفع مقاومته للشد عند تشكيله على البارد من 35 — 110 كجم/م². أكسيد التنتالوم هش وصلد جداً لدرجة خدش الزجاج.. يرمز له بالرمز (تا أو Ta).

يتواجد التنتانوم على شواطئ الهند وشمال البلطيق، كما يوجد في خامات الألبمنت في شمال أمريكا وأسكندنافيا. نسبة وجوده بالقشرة الأرضية بين المعادن المستخدمة في التنقية يلي نسبة وجود الألومنيوم والحديد والمغنسيوم. إستخلاصه صعب للغاية، التنتالوم مقاوم للتآكل الكيميائي ولا يؤثر فيه سوى حمض الفلور.

استعمالات التنتالوم : Uses Of Titatlum

يستعمل التنتالوم في صناعة المعدات والأجهزة الطبية الخاصة بالأسنان، وكأوزان معايرة (محددات الوزن)، كما يستعمل كمادة في مركبات سبائك الصلب والنحاس، كما يدخل كثيراً في مركبات السبائك المعدنية الخفيفة.

خواص التنتالوم Titatlum Manganese:

أهم خواص التنتالوم هو الآتي:-

1. كثافته 16.6 كجم/دسم³.
2. درجة إنصهاره 3030 °م.
3. مقاومته للشد عند التشكيل على البارد ما بين 35 — 110 كجم/م².

4. مقاوم للتآكل الكيميائي.
5. لونه رمادي لامع.
6. يقبل الليونة والإستطالة عند إرتفاع درجة نقاونه.
7. هش وصلد جداً.. (يمكنه خدش الزجاج).

إنتاج التيتانيوم

Titanium production

التيتانيوم معدن لونه أبيض فضي مقاوم للتآكل الكيميائي أكثر من الصلب، وهو غير قابل للصدأ، له نفس متانة صلب الإنشاءات الجيد، ويحافظ عليها في درجات حرارة تصل إلى 400 °م. يعتبر التيتانيوم من أهم المواد الأساسية في مركبات سبائك المعادن الصلدة وفي الصلب والألومنيوم.. يرمز له بالرمز (تي أو Ti).

يوجد التيتانيوم في الطبيعة برمال الأليمينيت على شواطئ الهند وشمال البلطيق، كما يوجد في خامات الألومنيت في شمال أمريكا وأسكندنافيا. نسبة وجوده بالقشرة الأرضية بين المعادن المستخدمة في التنقية يلي نسبة وجود الألومنيوم والحديد والمغنسيوم. إستخلاصه صعب للغاية.

استعمالات التيتانيوم Uses of titanium:

يستعمل التيتانيوم في الصناعات البالغة الدقة وأهمها صناعة مركبات الفضاء والطائرات وما شابهها.

خواص التيتانيوم titanium manganese:

أهم خواص التيتانيوم هو الآتي:-

1. كثافته 4.51 كجم/دسم³.
2. درجة إنصهاره 1700 °م.
3. غير قابل للصدأ.
4. مقاوم للتآكل الكيميائي أكثر من الصلب.
5. لونه أبيض فضي.
6. له نفس متانة صلب الإنشاءات الجيد، ويحافظ عليها في درجات حرارة تصل إلى 400 °م.
7. يعتبر من المواد الأساسية في مركبات سبائك المعادن الصلدة وفي الصلب والألومنيوم.

سبائك التيتانيوم Titanium alloys :

تحتوي سبائك التيتانيوم على نسبة ما بين 5 — 7 % من الألومنيوم، وتبعاً لاستعمالها يخلط معها 2.5 % قصدير أو 4 % فاناديوم أو 4 % موليبدنم. مقاومتها جيدة للتآكل الكيميائي. وزنها النوع صغير (كثافتها 4.45 كجم/دسم³). مقاومتها للشد ما بين 70 — 100 كجم/مم².

خواص سبيكة التيتانيوم Titanium alloys properties :

- أهم خواص سبيكة التيتانيوم هو الآتي:-
1. كثافتها 4.45 كجم/دسم³.
 2. مقاومتها للشد ما بين 70 — 100 كجم/مم².
 3. غير قابلة للصدأ.
 4. لها مقاومة ممتازة للتآكل الكيميائي.
 5. قابلة لعمليات التشغيل بالقطع بسرعات منخفضة (ما بين 10 — 20 م/د للخراطة، وما بين 4 — 8 م/د للثقب).
 6. يلزم تبريدها بصفة مستمرة أثناء عمليات التشغيل بالقطع.
 7. تعتبر من المواد الهامة في مركبات سبائك المعادن الصلدة كالألومنيوم.

إنتاج الأنثيمون

Antimony production

الأنثيمون معدن هش لونه فضي لامع. يدخل في مركبات سبائك الرصاص الننتيموني والمعدن الأبيض ومعادن حروف الطباعة والحديد، حيث يعمل على زيادة صلابتها.. يرمز له بالرمز (نت أو Sb).

استعمالات الأنثيمون Uses of antimony :

يستعمل الأنثيمون في مركبات السبائك فقط مثل سبائك الرصاص والمعادن البيضاء ومعادن حروف الطباعة والحديد، حيث يعمل على زيادة صلابتها.

خواص الأنثيمون Antimony Properties :

أهم خواص الأنثيمون هو الآتي:-

1. كثافته 6.6 كجم/دسم³.
2. درجة إنصهاره 630 °م.
3. معدن هش.
4. لونه فضي لامع.

إنتاج الزئبق

Mercury production

الزئبق هو المعدن الوحيد السائل تحت درجات الحرارة العادية. خامات الزئبق الرئيسية هي كبريتيد الزئبق، ونادر وجوده بشكل نقي. يستخرج الزئبق من خاماته الموجودة في أسبانيا – إيطاليا – كاليفورنيا – بيرو – البرازيل – الصين – اليابان.. يرمز له بالرمز (Bi أو Bi).

استعمالات الزئبق Uses of mercury:

يستعمل الزئبق بفضل تمدده الحراري العالي في موازين الحرارة الزئبقية (الترمومترات الزئبقية)، كما يستعمل في مفاتيح بخار الزئبق، وفي المفاتيح الكهربائية كسائل موصل للتيار الكهربائي.

خواص الزئبق Mercury properties:

أهم خواص الزئبق هو الآتي:-

1. كثافته 83.5 كجم/دسم³.
2. درجة إنصهاره 39 °م.
3. موصل للتيار الكهربائي.
4. يتصلد مع الزمن.
5. درجة تبخره 357 °م.
6. يطلق أبخرة زئبقية سامة جداً.

المعادن الثمينة

Noble metals

توجد المعادن الثمينة في الطبيعة غالباً بشكل نقي، هي التي لا تتأثر بالمواد الكيميائية ولا تتحد مع أكسوجين الهواء بالتسخين. أهم المعادن الثمينة هي الفضة – الذهب – البلاتين.

إنتاج الفضة

Silver production

تعتبر الفضة من أفضل المعادن الموصلة للكهرباء، وتوجد في حالة منفردة بروتاسيها

وأهم خاماتها هي Silver glance التي تحتوي على 87 % فضة.. يرمز له بالرمز (ف أو Ag). توجد خامات الفضة في المكسيك — كندا — الأمريكتين (الجنوبية والشمالية)

استعمالات الفضة uses of silver:

تستعمل الفضة في صناعة البواتق للمعامل — الأجهزة المعملية — المصوغات — العملات — أدوات المائدة (التي يجري طلاؤها بالفضة) — أسلاك المصاهر والملاسمات الكهربائية طلاء المعادن — إنتاج أفضل المرايا في المعدات البصرية (هي المطلية بالفضة) — الأملاح الحساسة للضوء اللازمة في التصوير.

لا تستخدم الفضة في حالتها النقية للأغراض المعملية، بل تستخدم عادة على هيئة سبائك بكميات مختلفة من النحاس لكي تكون أكثر صلابة ومتانة، كما تتحسن صفاتها للصب وتزداد مقاومتها للتمزق.

خواص الفضة Silver properties:

أهم خواص الفضة هو الآتي:-

1. معدن أبيض رخو قابل للاستطالة.
2. يمكن تلميعه بسهولة.
3. موصل ممتاز للحرارة والكهرباء.
4. يتغير لونه إلى الأسود الذي يلاحظ كثيراً، وذلك لتكوين كبريتيد الفضة السوداء على سطحه نتيجة للتأثره بالأيديروجين الموجود في الهواء.
5. كثافته 10.5 كجم/دسم³.
6. درجة إنصهاره 960 °م.
7. لها نفس تمدد النحاس الأصفر.

إنتاج الذهب

Gold production

يوجد الذهب في الطبيعة عادة في حالة منفردة على هيئة حبيبات صغيرة مدفونة في الكوارتز (الرمل)، أما الذهب الموجود في الصخور فهو فطري في الحالة رواسب الذهب الأولى، كما يوجد الذهب في رمال الأنهار وهو في حالة رواسب الذهب الثانية، وذلك نتيجة لتحليل الصخور المحتوية على الذهب.. يرمز له بالرمز (ذ أو Au).

يفصل جزيئات الذهب المستخرج من مياه الأنهار عن الرمل بالغسيل بالماء الذي يحمل جزيئات الذهب الأخف، ويفصل الذهب عن الصخور بطرق إستخراج خاصة، حيث تطحن الصخور المحتوية على رواسب الذهب في طواحين مع الماء لينتج عنها رمال مبللة ناعمة،

ثم ترسب الرمال كهربائياً في محاليل، ليتحد الذهب مع الزئبق، ويفصل الذهب بالتقطير لإزالة الزئبق.

يوجد أهم رواسب الذهب في جنوب أفريقيا وروسيا وأستراليا والأمريكتين (الجنوبية والشمالية)

استعمالات الذهب : Uses of gold

يضاف إلى الذهب نحاس أو فضة بنسب لتحويله إلى سبائك لإمكان إستخدامه في العملات أو المصوغات، كما يستعمل الذهب في طلاء الخزف والزجاج وأيضاً في طلاء المعادن بالطرق الحرارية أو الكهربائية.

خواص الذهب : Gold properties

أهم خواص الذهب هو الآتي:-

1. معدن لين قابل للإستطالة لونه أصفر لامع مائل إلى اللون الأحمر.
2. يمكن درفله إلى رقائق رفيعة جداً.
3. تحدد نسبة نقاوة الذهب في السبائك بالألف أو بالقيراط، علماً بأن عيار الذهب النقي $1000 = 24$ قيراط، وسبيكة منه تحتوي على مقدار 333 في الألف.. أي 8 قيراط أو سبيكة منه تحتوي على مقدار 585 في الألف.. أي 14 قيراط، ويبين ذلك على الأصناف بأختام خاصة.
4. لا يتغير لونه في الهواء، ولكن لونه يتغير عند التسخين.
5. كثافته 19.3 كجم/دسم³.
6. درجة إنصهاره 1063°C .
7. يذوب في ماء الكلور ومحلول سيانيد الصوديوم.

إنتاج البلاتين

Platinum production

البلاتين من المعادن الثمينة، يوجد في الطبيعة على شكل رواسب منفردة من الأريديوم أو البلاتين، أو متحداً مع عناصر أخرى. يتشابه خواص البلاتين مع خواص الذهب إلى حد كبير ما عدا ارتفاع صلادة ودرجة حرارة إنصهار الأول. يوجد في الأورال — كندا — البرازيل — كولومبيا — جنوب أفريقيا.. يرمز له بالرمز (Pt أو بلا).

استعمالات البلاتين Uses of platinum:

يستعمل البلاتين وسبائكه في صنع الحلي – أسنان أقلام الحبر الذهبية – الترمومترات المقاومة البلاتينية لقياس درجات الحرارة البالغة الارتفاع والانخفاض – قواطع التيار في المزدوجات الحرارية التي تصل إلى 1600 °م – الأقطاب والبطاقات للمختبرات الكيميائية.. نظراً لثبات وارتفاع درجة حرارة انصهاره.

خواص البلاتين Platinum properties:

أهم خواص البلاتين هو الآتي:-

1. كثافته 21.5 كجم/دسم³.
2. درجة إنصهاره 1770 °م.
3. لا يتأكسد حتى في درجة التوهج البيضاء. 4. لا يتأثر بالأحماض والقلويات.
5. يتمتع بصفات ميكانيكية ممتازة وذلك لقابليته للدقلة والسحب والكبس.. حيث يصل سمك صفائح إلى 0.0025 مم وقطر أسلاكه 0.015 مم.

المعادن اللاحديدية الخفيفة

المعادن اللاحديدية الخفيفة هي التي تكون كثافتها أقل من 5 كجم / د سم³ وأهمها الألومنيوم وسبائكه – المغنسيوم وسبائكه.

إنتاج الألومنيوم

Production of aluminium

الألومنيوم معدن حديث الاكتشاف، استخلص لأول مرة عام 1825م، ويعتبر الألومنيوم من أكثر المعادن انتشاراً في الطبيعة، وأكثر المعادن غير الحديدية استخداماً.. يرمز له بالرمز (لو أو Al).

يوجد الألومنيوم على شكل أكاسيد أو سيليكات ولا يوجد الألومنيوم حراً في الطبيعة، وذلك لشدة اتحاده مع الأكسجين.

أهم خامات الألومنيوم التي انتشر استخدامها بانتشار كبير في الصناعة، هي أكسيد الألومنيوم المائي الذي يعرف بالبوكسيت، وأهم أنواع البوكسيت المعروف صناعياً هو البوكسيت الأبيض والبوكسيت الأحمر.

يتم استخلاص الألومنيوم من خام البوكسيت بطريقة التحليل الكهربائي، وشكل 3 – 8 يوضح خريطة استخلاص الألومنيوم من البوكسيت.

1. كثافته 2.7 كجم/دسم³.
2. درجة إنصهاره 685 °م.
3. مقاومته للشد مصبواً 9 — 12 كجم/سم²، بالتلييد اللين 7 كجم/سم²، مصلد بالجلفنة 13 — 20 كجم/سم².
4. معدن خفيف لين قابل للمط.
5. سهل التشغيل.
6. يمكن لحامه أو صهره باستخدام مساعد صهر مناسب.
7. جيد التوصيل للحرارة والكهرباء.
8. مقاومته عالية للصدأ.

استعمالات الألومنيوم وسبائكها : Uses of aluminium and its alloys

- يصنع الألومنيوم على شكل ألواح ورقائق عن طريق الدرفلة، أما القضبان والأنابيب والأسلاك فإنها تصنع بالبنق.
- يستعمل الألومنيوم على نطاق واسع في مجالات عديدة بسبب وزنه وثنائه المعتدل ومقاومته العالية للتآكل الكيميائي وقابليته للتشكيل بطرق عديدة.. وفيما يلي أهم استعمالاته:-
1. يستعمل الألومنيوم مع سبائك النحاس في صناعة الأسلاك الكهربائية في التوصيلات البعيدة، ومقومات التيار والمكثفات وغيرها.
 2. الأواني المنزلية، والمعلبات، وآلات المستخدمة في صناعة الألبان والحلويات والسكر.
 3. إطارات النوافذ والأبواب، وفي أعمال التسخين والتدفئة.
 4. هياكل الطائرات، كما يدخل في صناعة المركبات الفضائية والأقمار الصناعية، وذلك لمثانته وخفة وزنه وقابليته العالية للتوصيل الحراري.
 5. صنع أجزاء عديدة لمحركات الاحتراق مثل الهياكل والأسطوانات والمكابس وغيرها، وفي بناء السفن النهرية، وقوارب النجاة.
 6. يستخدم الألومنيوم النقي جداً بالدرجة الأولى في صنع عاكسات الضوء والأجسام المضئية والعديد من الصناعات الأخرى مثل الحلقات — قطع غيار السيارات — الصناعات الكيميائية — أجهزة وتركيبات الصناعات الغذائية — أوعية وصهاريج النقل — الأواني المنزلية — الرقائق والعلب — صناعة التغليف، كما يستعمل في مجال البناء كطلاء للأسطح وللدكور.

إنتاج المغنسيوم

Production of magnesium

الخامات التي يستخلص منها المغنسيوم هي الكارناليت — الدولوميت. أماكن وجودها في ألمانيا وسويسرا.

يستخلص المغنسيوم مثل الألومنيوم بالطريقة الجافة، إلا أن كثافته المنخفضة تجعله يطفو فوق سطح الألكتروليت الذي يكون مغطى بطبقة ملحبة لا تذوب إلا في درجة حرارة مرتفعة، لذا يتم تجميعه من سطح الألكتروليت.

يحتوي المغنسيوم الخام على شوائب كثيرة.. قد تكون هذه الشوائب على شكل قشور على سطحه أو مواد غريبة بداخله.

يجري تنقية المغنسيوم بالصهر في مزيج ملحي يتحد مع المعادن الأخرى والشوائب، تصل نقاوته إلى 99.8 % ويمكن زيادتها إذا لزم الأمر.

استعمالات المغنسيوم: Uses of magnesium

لا يستعمل المغنسيوم كمعدن بمفرده وذلك لضعف مقاومته للشد، ولا يستعمل أيضاً في تجهيز المنتجات نصف المصنعة مثل الألواح والقضبان وغيرها، ولكنه يستعمل كمادة اختزال في مصانع صب الصلب وفي تصنيع الألعاب النارية، ويستعمل بالدرجة الأولى كمادة أساسية في سبائك المغنسيوم، وكإضافات لسبائك الألومنيوم المتنوعة، كما أنه يستعمل مع النحاس لتصنيع البرونز، وفي صهر المصبوبات التي تحتوي على كريات جرافيتية. ينتج المغنسيوم ويتداول في الأسواق التجارية على شكل تماسيح أو مكعبات أو مساحيق.

خواص المغنسيوم: Magnesium properties

يتميز المغنسيوم بالخواص التالية:-

1. كثافته 1.74 كجم/دسم³.
2. درجة إنصهاره 650 °م.
3. مقاومته للتآكل الكيميائي ضعيفة.
4. قابليته سريعة للاشتعال لذا يجب الحيلولة دون ملامسة المغنسيوم أو سبائكه لأكسوجين الهواء عند صبه أو صهره وذلك بإحاطته بالكبريت.

سبائك المغنسيوم: Magnesium alloys

تعتبر سبائك المغنسيوم من أخف مواد التصنيع المعدنية. يلزم لتشغيل سبائك المغنسيوم

نفس المعايير المتبعة لتشغيل سبائك الألومنيوم.

تقبل سبائك المغنسيوم عمليات التشغيل بالقطع أكثر من جميع المعادن الأخرى، أما التبريد أثناء القطع فينبغي استعمال الزيوت ذات اللزوجة المنخفضة (الزيوت الخفيفة) وعدم استعمال سوائل التبريد المحتوية على ماء.

الرايش الدقيق الناتج من عمليات قطع المغنسيوم (قطع الجذاذة أو النحاتة الصغيرة) سريعة الاشتعال، مما يستدعي وجود مواد إطفاء في متناول اليد مثل الرمل أو رايش حديد الزهر، كما يجب وضعها بمكان ظاهر أثناء عمليات التشغيل بالقطع. تصدأ سبائك المغنسيوم بسرعة، لذلك فإنه يجب طلاؤها بمادة عازلة واقية. توجد سبائك مغنسيوم كثيرة أهمها السبائك التالية:-

1. سبائك المغنسيوم المطروقة: كثافتها 1.8 كجم/دسم³. مقاومتها للشد 20 — 23 كجم/سم². تتركب من 1.2 — 2 منجنيز والباقي مغنسيوم.

هي سبيكة قابلة للحام بشكل جيد. يصنع منها الألواح — الأنابيب — القضبان — الأسلاك — المشغولات التي تتم بالطرق أو الكبس —

2. سبائك المغنسيوم المقاومة للشد: كثافتها 1.8 كجم/دسم³. مقاومتها للشد 28 — 32 كجم/سم². تتركب من 7.8 — 1.2 ألومنيوم، 0.2 — 0.8 زنك، 0.121 — 0.3 منجنيز والباقي مغنسيوم.

تتميز هذه سبيكة لمقاومتها العالية للشد. تستعمل في المطروقات ومشغولات الكبس — القضبان — القطاعات، وكذلك الأجزاء المعرضة للإجهادات العالية بالآلات.

3. سبائك المغنسيوم المصبوبة: كثافتها 1.8 كجم/دسم³. مقاومتها للشد 24 — 28 كجم/سم² — الانفعال 6 — 10 %. تتركب من 8.3 — 10 ألومنيوم، 0.3 — 1.0 زنك، 0.15 — 0.3 منجنيز والباقي مغنسيوم.

هذه سبيكة مناسبة لعمليات السباكة في قوالب رملية، تتميز مسبوكتها بمطيلية جيدة ومتانة عالية وتحملها للصدمات.

تستعمل هذه السبيكة في صناعة السيارات — أغلفة المحركات — صناديق التروس.

4. سبائك المغنسيوم المقاومة للصدمات والحرارة العالية: كثافتها 1.8 كجم/دسم³. مقاومتها للشد 24 — 28 كجم/سم² — الانفعال 8 — 12 %. تتركب من 9 — 11 ألومنيوم، 7.5 — 9.0 زنك، 0.3 — 1.0 منجنيز والباقي مغنسيوم.

تتميز هذه سبيكة في حمل الانحناء الكلاسي. وتستعمل في المصبوبات المعرضة للصدمات وارتفاع درجات الحرارة العالية. يمكن صب هذه السبيكة في قوالب رملية أو في قوالب دائمة.

الباب الرابع

مواد التصنيع الملبدة

Sintered manufacturing materials

مهيّد

تصنع اليوم أدوات كثيرة بأسلوب حديث يعتمد على كبس مساحيق المعادن في قوالب متينة معدة بشكل المنتج المطلوب تصنيعه، تحت ضغوط عالية تصل إلى 5000 كجم / سم²، حيث تتقارب الحبيبات مع بعضها البعض، وتتلاصق وتتماسك في الشكل المطلوب، إلا أنه يلزم لتمامها التام تعرضها للحرارة، أما أثناء ضغطها في القالب أو بعد إخراجها من القالب متماسكة، وذلك باستعمال أفران خاصة يتناول هذا الفصل الطرق المختلفة لتجهيز المساحيق وتشكيلها بالكبس أو التليد، والمعالجات اللاحقة على المشغولات المصنعة. ويتعرض للمنتجات المصنعة بالمساحيق الملبدة ومميزات وعيوب كل منها.

ميتالورجيا المساحيق

Metallurgy of powders

يطلق على فن تشكيل مساحيق المعادن إسم ميتالورجيا المساحيق لإنتاج سلع تجارية تحتوي على خليط من مساحيق المعادن بواسطة الضغط مع التسخين. التليد هو معالجة حرارية من خلال كبس مساحيق المعادن، أو مساحيق أكاسيدها أو كربيداتها، حيث تتشابك حبيبات المسحوق بشكل كثيف عند الكبس بسبب عدم إنتظام أسطحها الخارجية لتلتصق في مواضع تلامسها بتأثير قوة الترابط. إلا أنها لا تتحول إلى كتلة واحدة لأن الحبيبات تكون صلبة وتحافظ على شكلها في الحالة الباردة. أما عند وجود الحبيبات في حالة لدنة.. أي إذا إرتفعت درجة حرارتها إلى أقل من درجة حرارة الإنصهار بقليل، يؤدي ذلك إلى ظهور أثر قوة الترابط من خلال تماسك الحبيبات مع بعضها البعض.

ينتج عن صغر مسام الجسم المضغوط إنكماشه مع إرتفاع كثافته وزيادة متانته. تسمى عملية تكثيف المادة المصنعة تحت تأثير قوة الترابط للحبيبات في الحالة العجينية بالتليد. يتوقف شكل الحبيبات أو جسيمات المسحوق على طريقة صنعها.. فقد تكون على شكل كريات أو مسطحة أو مدببة أو قشرية..... أو غير ذلك.

القطع المصنعة من مواد ملبدة **Sintered Materials** ليست بحاجة لعمليات تشغيل بالقطع، إذ يمكن إكتسابها الشكل المطلوب عند التليد مما يوفر كثيراً في إستهلاك المواد.

تعتبر مساحيق المعادن الملبدة أعلى تكلفة من المواد الأخرى بحالتها الصلبة، وتعلل الزيادة في التكلفة لخواصها الممتازة، علماً بأن بعض المنتجات لا يمكن صنعها بأى أسلوب آخر سوى هذا الأسلوب.

طريقة التجهيز:

- يتم تحضير القطع المصنعة بالتليد وفقاً للخواص المطلوبة على المراحل التالية:-
- إنتاج المسحوق
 - صب المسحوق في قوالب
 - الكبس
 - معايرة المشغولات الملبدة
 - التصليد الكلي أو التصليد الغلافي أو التشريب بالزيت.

طرق تحضير مساحيق المعادن:

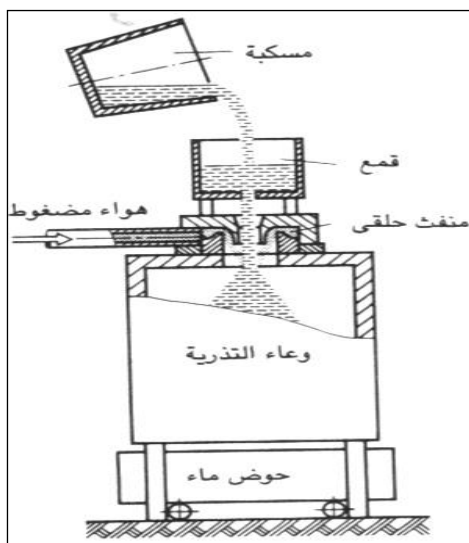
لا يمكن تحضير جميع مساحيق المعادن بطريقة واحدة، بل تتفاوت طرق صنع تحضيرها، وذلك لاختلاف خصائص المعادن الفيزيائية والكيميائية. فيما يلي عرض أكثر طرق تحضير مساحيق المعادن إنتشاراً.

1. **استخدام ماكينات التشغيل:** تستخدم ماكينات التشغيل أحياناً للحصول على رايش (جذادة أو نحاته) يصلح لأغراض التشكيل، علماً بأن جزيئات الرايش تكون خشنة إلى حد ما. تستخدم هذه الطريقة لإنتاج مساحيق المغنسيوم.
2. **الطحن:** تستخدم أنواع مختلفة من الكسارات والطواحين الدوارة لتفتيت المعادن للحصول على جزيئات دقيقة على مسحوق على هيئة قشور، يمكن إضافة الزيت للمعدن أثناء سحقه لعدم التصاق الجزيئات ببعضها البعض.
3. **القذف:** يبرد المعدن المنصهر بالماء من خلال تساقطه من فوهة صغيرة جداً، للحصول على جزيئات صغيرة كروية الشكل.
4. **التذرية:** تسمى هذه الطريقة بالتذرية أو الرش، حيث تنفصل جزيئات المعدن المنصهر

بالدفع أو بالرش، وهي وسيلة ممتازة لإنتاج مساحيق من المعادن التي تنصهر في درجات حرارة منخفضة نسبياً مثل الألومنيوم والرصاص والزنك والقصدير.

تتلخص هذه الطريقة من خلال اندفاع الهواء المضغوط أو بتوجيه تيار من بخار الماء إلى المعادن السائلة المنصهرة كما هو موضح بشكل 3 - 9 ثم تجميع المسحوق في حوض مائي، حيث تتكون أجزاء مساحيق هذه المعادن بأشكال غير منتظمة وتنتج بمقاسات مختلفة.

يتم إختيار نسب تركيب المسحوق الذي سيجرى كبسه تبعاً للهدف المطلوب من المشغولات المراد تصنيعها، أما أنواع المساحيق المستخدمة في الخلط فإنها توزن بدقة ثم تخلط جيداً في برميل أسطواني دوار قبل كبسها.



شكل 3 - 9
إنتاج مساحيق معدنية بالتذرية

5. **الأقراص الدوارة:** يصب المعدن المنصهر على قرص يدور بسرعة كبيرة، ليتساقط إلى أسفل على وعاء به ماء، حيث يتناثر المعدن المنصهر بفعل القوة طاردة المركزية للقرص الدوار ويتجزأ المعدن المنصهر، وعند ملامسته لسطح الماء يتحول إلى شرائح رقيقة. تنتقل الشرائح المعدنية الصغيرة إلى مطارق لتحويلها إلى مسحوق. تستخدم هذه الطريقة عند إنتاج مسحوق الألومنيوم.
6. **التجيب:** يمكن تحويل قليل من المعادن إلى أجزاء صغيرة من خلال تقليب المعدن المنصهر بسرعة أثناء تبريده. تتوقف هذه الطريقة على تكوين الأكاسيد على أسطح المجسمات أثناء عملية التقليب.
7. **الترسيب بالتحليل الكهربائي:** تستخدم هذه الطريقة عند إنتاج مساحيق النحاس والحديد والفضة، وبعض المعادن الأخرى.

8. **الاختزال:** تختزل الأكاسيد المعدنية وتتحول إلى مساحيق عند تلامسها لغاز مختزل في درجة حرارة أقل من درجة إنصهاره.

تستخدم هذه الطريقة عند إنتاج مساحيق التنجستين والحديد والنيكل.

تشكيل المساحيق بالكبس:

يتم كبس المسحوق في مكابس خاصة مجهزة لهذا الغرض، علماً بأن المسحوق لا يتكثف في كل أنحاء القالب بنفس الدرجة كما هو الحال بالكتلة السائلة أو العجينية، لذلك فإنه يجب إضافة مادة مزقة على المسحوق المراد كبسه لتحسين التكثيف، كما يجب أن تكون فراغات المكبس متوائمة تماماً مع القالب ومناسبة لنوع المسحوق المراد كبسه.

التلييد:

هي عملية تسخين للقطعة المكبوسة إلى درجة حرارة عالية لكي يزداد تماسك وترباط الجزيئات مع بعضها البعض. يضاف إلى مساحيق المعادن غالباً بعض عناصر سببكية أخرى لتحسين المنتج وارتفاع جودته.

درجة الحرارة التي تستخدم في عملية التلييد تساوي ما بين 60 – 80 % من درجة إنصهار تلك المادة، أما إذا كان المسحوق المراد تلييده من خليط مكون من مادتين أو أكثر.. فإن درجة حرارة التلييد تكون أعلى قليلاً من أدنى درجة إنصهار إحدى المواد المركبة. يجرى التلييد في أفران خاصة لتجنب حدوث أكسدة. يتراوح زمن التلييد ما بين 30 – 150 دقيقة، أما المواد التي تتطلب كثافة وخواص متانة عالية فإنها تكبس كبس مضاعف.. أى على مرحلتين.

أهم مميزات التلييد هو إمكانية خلط وتركيب مواد تصنيع مختلفة الكثافة ومتباينة في درجات إنصهارها بشكل أسهل من مزجها بالصهر. بهذه الطريقة يمكن تحضير مواد ذات الجودة العالية وبخواص ممتازة.

التشطيب وضبط المقاسات:

بعد عملية التلييد تجرى عملية أخرى تسمى بعملية إعادة تشكيل المشغولات (بدون قطع) في عدة ضبط الأبعاد من خلال الكبس على الساخن، حيث تزيد من كثافة ومتانة المنتج بالإضافة إلى تحسين جودة أسطح المشغولات واستقرار مقاساتها، ومن ثم إنتاج مشغولات ذات جودة عالية بأبعاد ومقاسات دقيقة بتجاوزات تتراوح ما بين 0.01 – 0.03 ملليمتر.

ملاحظة:

تجرى عمليات تشطيب وضبط المقاسات على المشغولات الملبدة من المعادن الحديدية

واللاديدية لتحسين خواصها الفيزيائية، ولا يمكن إجراؤها على المواد الصلدة أو الخزفية (مواد السيراميك).

المعالجات اللاحقة:

يمكن إجراء عملية المعالجة اللاحقة على المشغولات الملبدة لغرض تحسين بعض خواصها وذلك حسب تركيب المشغولة كالآتي:-

1. زيادة مقاومة الشد في الصلب الملبد بالتصليد ثم التسقية بسرعة.
2. زيادة صمود التآكل الاحتكاكي والكيميائي بالحديد الملبد بوضعه في حمام من البخار درجة حرارته 200 °م.
3. قابلية التصليد الغلافي والتصليد السطحي لمعادن الحديد والصلب الملبدة.
4. يصلح النحاس الأصفر الملبد للمعالجات السطحية بالجلفنة.

مميزات مواد التصنيع الملبدة:

- تتميز مواد التصنيع الملبدة المشكلة بالمساحيق المعدنية بالآتي:-
1. التحكم في أبعاد ومقاسات المنتج.
 2. إمكان إنتاج عدد كبير من الأجزاء الصغيرة (إنتاج بالجملة) بنفس دقة الأجزاء المنتجة على ماكينات التشغيل.
 3. إنتاج أجزاء ذات صلادة وخواص ممتازة وجودة عالية.
 4. الاقتصاد في المواد المستعملة من خلال التوفير في استهلاك المواد، وذلك لانعدام الفاقد أثناء عمليات التصنيع.
 5. انخفاض تكلفة الأيدي العاملة، لأنه لا يلزم عمال وفنيين مهرة لتشغيل المكابس والمعدات الأخرى، وبالتالي انخفاض التكلفة الكلية للمنتج.
 6. بعض المنتجات لا يمكن تصنيعها إلا بهذا الأسلوب.

عيوب مواد التصنيع الملبدة:

- أهم عيوب مواد التصنيع الملبدة المشكلة بالمساحيق المعدنية هي الآتي:-
1. ارتفاع التكلفة علاوة على صعوبة تخزينها، بسبب تلف أو تدهور خواصها.
 2. ارتفاع تكاليف معدات التشغيل وخاصة قوالب التشكيل وأفران التليد.
 3. عدم توزيع ضغط المكبس على الأجزاء الكبيرة توزيعاً منتظماً.
 4. وجود بعض الصعوبات الفنية في عمليات التليد.
 5. تعرض بعض المساحيق ذات الحبيبات الدقيقة للانفجار مثل مساحيق الألومنيوم والمغنسيوم والتيتانيوم.

منتجات المساحيق الملبدة:

أهم المنتجات المشكلة بالمساحيق المعدنية كالموضحة بشكل 3 - 10 وهي الآتي:-

1. **التروس والأعضاء الدوارة بالمضخات:** تصنع التروس والأعضاء الدوارة بالمضخات من الحديد المسحوق الذي يخلط مع كمية من الجرافيت، وذلك لضبط نسبة الكربون المطلوبة في المنتج.
2. **المرشحات المعدنية المسامية:** تستخدم المرشحات المعدنية لتنقية البنزين والزيت وبعض المواد الكيميائية.
3. **المحامل الإنزلاقية:** المحامل الإنزلاقية (كراسي المحاور) التي لا تحتاج إلى أعمال الخدمة والصيانة بصفة دورية منتظمة مثل المحامل الإنزلاقية لأعمدة الدوران ذاتية التزليق.
- تصنع هذه المحامل بكبس وتليبد خليط من مساحيق النحاس الأحمر والقصدير مع نسب مختلفة من الجرافيت. وبعد إجراء عملية التليبد تضغط مقاساتها وتغطس في الزيت لتشرب منه كمية كبيرة تدخل في مسامها الإسفنجية.
- تستخدم هذه المحامل في صناعة السيارات والأجهزة المنزلية مثل الغسالات والثلاجات.
4. **فراجين المحركات:** تصنع فراجين المحركات (الفرش) من خلال خلط مسحوق النحاس مع الجرافيت بمقادير محددة للحصول على المتانة الميكانيكية اللازمة، كما يضاف مقادير من القصدير والرصاص لتحسين مقاومة التآكل الميكانيكي.
5. **أجزاء حديد الزهر:** تصنع بعض الأجزاء الدقيقة ذات الأشكال المعقدة من حديد الزهر كالتروس وغيرها من المنتجات التي تتطلب دقة عالية وتفاوتات صغيرة والتي يصعب الحصول عليها بطرق التشغيل.
6. **المغناطيسيات:** يمكن إنتاج مغناطيسيات صغيرة ممتازة من خليط من الحديد والألومنيوم والنيكل والكوبالت.
7. **الكرييدات:** تصنع العدد وقوالب التشكيل وكثير من السلع الكرييدية المقاومة للتآكل الميكانيكي.
8. **أجزاء التلامس الكهربائية:** تستخدم ميثالورجيا المساحيق على نطاق واسع في تصنيع أجزاء التلامس الكهربائية، وذلك من خليط مكون من مساحيق التنجستين والنحاس — التنجستين والكوبالت — التنجستين والفضة.
9. **أقراص القوابض (الدبرياج):** تصنع أقراص القوابض (الدبرياج) للسيارات والمحركات ذات السرعات العالية.

10. **الدهانات:** تصنع الدهانات ذات اللون الفضي من مسحوق الألومنيوم، حيث يمزج مسحوق الألومنيوم مع عناصر أخرى. يستعمل هذه الدهانات في طلاء المنشآت الهامة لوقايتها من العوامل الجوية مثل مستودعات البترول وعربات السكك الحديدية والإنارة.



شكل 3 - 10

بعض المشغولات المصنعة من المواد الملبدة

المعادن الصلدة

Hardness metals

يجب أن تكون مواد التصنيع المستخدمة كمواد قاطعة أو للأجزاء المعرضة للتآكل الاحتكاكي ذات صلادة عالية ومقاومة كبيرة للتآكل الاحتكاكي — لذلك تستخدم كبريدات المعادن لهذا الغرض مثل كربيد التنجستين — كربيد التيتانيوم — كربيد التانتالوم.. التي يمكن صهرها أو صبها أو لحامها، ومن ثم فإنها تكبس وتلبد مساحيقها بالإضافة إلى مواد رابطة أخرى.

خامات المعادن الصلدة Hardness metals Ores:

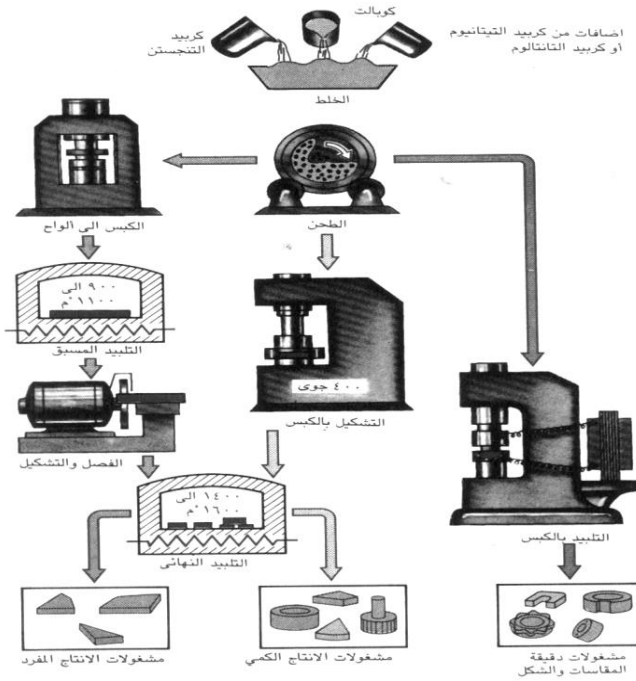
تتكون خامات المعادن الصلدة من كربيد التنجستين وكربيد التيتانيوم وكربيد التنتالوم ويستعمل الكوبالت كمادة رابطة، وتتباين نسب خلط المساحيق المستعملة كثيراً وتحددها الخواص المطلوبة من المعدن الصلب مثل الصلادة.

يتراوح نسبة كربيد التيتانيوم وكربيد التنتالوم ما بين 8 — 65 %، ونسبة الكوبالت في جميع أنواع الخلائط ما بين 4 — 18 %، أما نسبة كربيد التنجستين فإنه يوجد بنسب مختلفة في جميع أنواع المعادن الصلدة.

تحضير وإنتاج مشغولات المعادن الصلدة:

يتم تحضير المعادن الصلدة كما هو موضح بشكل 3 - 11 من خلال طحن كربيدات التنجستين التيتانيوم التنتالوم في المادة الرابطة وهي الكوبالت ليصل شكل المعادن المطحونة إلى مسحوق ناعم، ثم يخلط المسحوق جيدا ويكبس على شكل ألواح وقضبان أو على شكل مشغولات جاهزة، بينما تلبد (تعالج حراريا) المشغولات الجاهزة في درجات حرارة تصل إلى ما بين 1400 - 1600 °م، بينما تلبد القضبان والألواح تلييدا أولا في درجة حرارة ما بين 900 - 1100 °م، بحيث تكتسب هذه المواد المتانة والصلادة، ثم يجرى التلييد النهائي للمشغولات.

تلبد القطع ذات الأشكال والمقاسات الدقيقة تحت ضغط، بحيث يتم الكبس والتلييد في مرحلة واحدة.



شكل 3 - 11
تحضير وإنتاج
مشغولات المعادن
الصلدة

خواص المعادن الصلدة Hardness metals properties:

- تتميز المشغولات المصنوعة من المعادن الصلدة بالخواص التالية:-
1. تقترب صلادة المعادن الصلدة من صلادة الماس.
 2. تتميز بمقاومتها للتآكل الاحتكاكي وتأثرها الضئيل بالحرارة والسرعات العالية أثناء عمليات الخراطة - التفريز - الثقب.
 3. قدرات جرف كبيرة تتراوح ما بين 5 - 8 أضعاف صلب السرعات العالية.

4. الكثافة: 7.2 — 15 كجم/دسم³. 5. مقاومة الضغط: 460 — 750 كجم/مم².
6. درجة حرارة التليد: 1100 °م.
7. التركيب: كربيد التيتانيوم وكربيد التنتالوم 65 %، كوبالت ما بين 4 — 18 %، والبقية كربيد التنجستين.

استعمالات المعادن الصلدة : Uses of hardness metals

تسمح المعادن الصلدة بتشكيل كثيرا من المواد الصلدة مثل الحديد الصلب والصلب الكرومي النيكلي المطبوع، والمشغولات مصلدة السطح والزجاج والخزف والمواد صعبة القطع مثل اللدائن والمطاط الصلب بالمكبريت.

تتميز المشغولات لمصنوعة والمشكلة بدون قطع من المعادن الصلدة مثل اللقم القاطعة بتضاعف عمرها التشغيلي بمقدار يتراوح ما بين 50 — 100 مرة بالنسبة للعدد المصنوعة من صلب العدة، مما يعني زيادة العمر التشغيلي الكلي للعدد بدرجة كبيرة.

مواد القطع الخزفة

Ceramic cutting materials

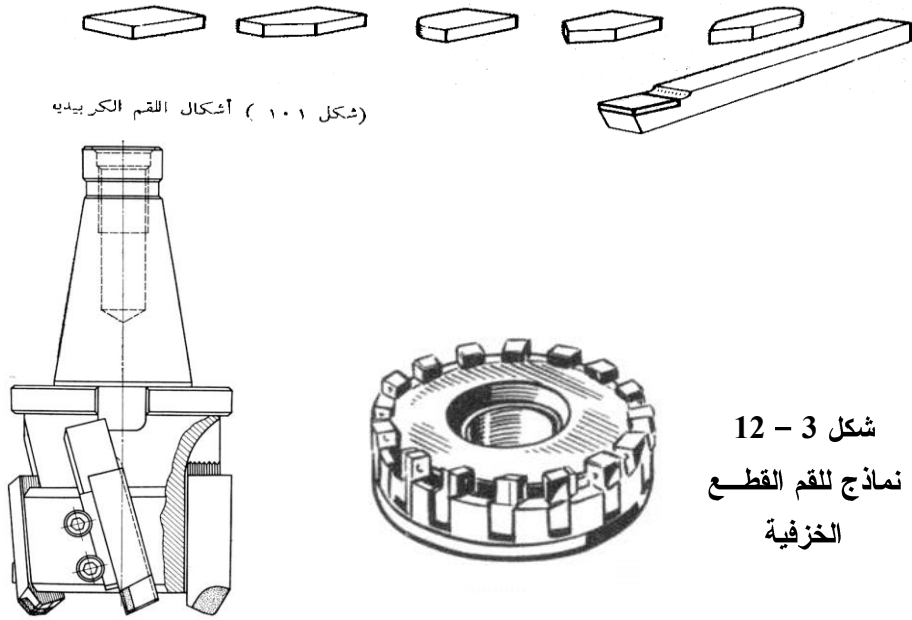
تتكون مواد القطع الخزفية بشكل رئيسي من أكسيد الألومنيوم الذي يضاف إليه أكاسيد مواد أخرى ومواد رابطة عضوية. تتمتع هذه المواد بصلادة عالية، ومقاومة عالية للتآكل الاحتكاكي، كما تصمد للتآكل الكيميائي في درجات الحرارة العالية.

تحضر لقم القطع الخزفية الموضحة بشكل 3 — 12 من الخزف الأكسيدي من خلال كبس مسحوق أكسيد الألومنيوم بدرجة نقاوة 99.7 % في قالب ثم تلبد (تعالج حراريا) عند درجة حرارة قريبة جدا من درجة إنصهاره.

تحفظ المواد القاطعة المصنوعة من الخزف الأكسيدي بصلادتها العالية، ومقاومتها العالية للتآكل الاحتكاكي، وصمودها للمواد الكيميائية في درجات الحرارة العالية، ومن ثم فإنها تستعمل في قطع المعادن بسرعات قطع عالية.

تعمل لقم القطع الخزفية متعددة الرؤوس المصنوعة من الخزف الأكسيدي على توفير الكثير في استهلاك عدد القطع والأجور.

من أهم عيوب لقم القطع الخزفية المصنوعة من الخزف الأكسيدي هي حساسيتها الشديدة للاجهادات الميكانيكية مثل الطرق والحنى وكذلك ضغط القطع المتغير.. كما هو الحال عند التشغيل المتقطع.



شكل 3 - 12
نماذج للقم القطع
الخزفية

خواص مواد القطع الخزفية Ceramic cutting materials properties:

أهم خواص القطع الخزفية هي الآتي:-

1. الكثافة 3.9 كجم/دسم³.
2. الصلادة 2100 — 2300 كجم/مم.
3. متانة الضغط 300 كجم/مم.

استعمالات مواد القطع الخزفية Uses of ceramic cutting materials:

تستعمل مواد القطع الخزفية في صناعات مختلفة أهمها الآتي:-

1. في صناعة النسيج كدلائل للخياط.
2. كأغطية للصمامات الالكترونية.
3. منافث رش وتذرية السوائل.
4. كأقراص دورانية لتشكيل قطاعات في أقراص التجليخ.
5. بوائق الصهر.
6. الأنابيب الواقية للمزدوجات الحرارية.

الباب الخامس

المواد غير المعدنية

Non metallic materials

مهيّد

تحتاج الصناعات المعدنية إلى كثير من المصنوعات غير المعدنية لتتكامل الوحدات بشكلها النهائي، وعلى سبيل المثال يستخدم الجلد والمطاط في صنع سيور الآلات والماكينات المختلفة، والنسيج في صنع الملابس، واللدائن في صناعة العديد من الأجزاء كالتروس ومرتكزات الأعمدة (كراسي التحميل) ومقابض بعض الآلات والأدوات المنزلية، والخشب في صناعة الأثاثات، والطوب الإسمنت والجبس في أعمال البناء، كما يستعمل الخزف في الأدوات المنزلية وكمادة قاطعة، ويستعمل الزجاج في صناعة عدسات النظارات كما يستعمل للنوافذ والأبواب في جميع الأماكن (بالمنازل — بالمصانع — المنشآت)..... وغيرها.

فالمواد غير الحديدية تعتبر من المواد الهامة في الإنتاج الصناعي، ومن ثم فإنه يجب دراستها والوقوف على أساليب صنعها. يتناول هذا الباب عرض لأكثر المواد غير المعدنية إنتشاراً.

المواد غير المعدنية

Non metallic materials

عمليات تحويل المواد غير المعدنية إلى أجزاء أو سلع ذات نفع خاص، تستلزم إتباع أساليب معينة تتناسب مع كل منها، حيث تتضمن استعمال آليات ومعدات مختلفة بجانب الاستعانة بعمليات كيميائية ومعاملات حرارية خاصة.

وعلى الرغم من اختلاف هذه الأساليب، فإن أساليب التشكيل والتشغيل فيها لا تختلف كثيرا من حيث المبدأ عن الأساليب المتبعة في الصناعات المعدنية، وعلى سبيل المثال فإن عمليات قطع الأخشاب لا تختلف عن عمليات قطع المعادن إلا من ناحية سرعات القطع وشكل آلة القطع ومقدار زواياها، كما أن تشكيل اللدائن تشتمل على عمليات كبس وسحب ودرفلة.. لا تختلف هذه العمليات من ناحية المبدأ عنها في تشكيل المنتجات المعدنية.

يمكن تقسيم المواد غير المعدنية إلى قسمين أساسيين هما:-

1. مواد عضوية.
2. مواد غير عضوية.

أولاً: المواد العضوية Organic materials :

تقسم المواد العضوية إلى قسمين أساسيين هما:-

1. **مواد طبيعية Natural materials**: تشتمل المواد العضوية الطبيعية على.. الغازات الطبيعية – البترول – المركبات الكربونية – الجلود الطبيعية – الفلين – المطاط الطبيعي – القلغونية الطبيعية – الخشب – الفبر الطبيعي.
2. **مواد تخليقية (مواد صناعية) Synthetic materials**: تشتمل المواد العضوية التخليقية (الصناعية) على.. الورق – اللدائن – الجلد الصناعي – مواد الطلاء – المطاط الصناعي – الفبر الصناعي.

ثانياً: المواد غير العضوية Inorganic materials :

تقسم المواد غير العضوية إلى قسمين أساسيين هما:-

1. **مواد طبيعية Natural materials**: تشتمل المواد غير العضوية الطبيعية على.. الأحجار – الطفل والطيني – الأملاح.
2. **مواد تخليقية (مواد اصطناعية) Synthetic materials**: تشتمل المواد غير العضوية التخليقية (الصناعية) على.. الإسمنت – الخرسانة – المصيص – الجبس – الزجاج – المواد الخزف – الصيني – الطوب – السيلكا والألومينا – الإسبستوس – الجرافيت – الكربيدات.

فيما يلي عرض لأكثر المواد غير المعدنية استخداماً.

اللدائن

Plastics

اللدائن من المواد العضوية المخلقة (مواد إصطناعية).. أي مواد تركيبية، وتعرف اللدائن بالكلمة اللاتينية Polymer، وتسمى اللدائن تلك المواد الطبيعية التي يجرى تحويلها بالمعالجة الكيميائية (المواد المحولة)، ومن أمثلة ذلك إنتاج اللدائن السليولوزية من الخامات النباتية، والقرن الإصطناعي من الخامات الحيوانية (اللبن).

اللدائن عبارة عن مركبات كيميائية من مواد بترولية أولية (نפט — غاز طبيعي — فحم — ماء)، أما كلمة عضوية فإنها تعني أن المواد الأولية المستخدمة في تركيب اللدائن أغلبها من مركبات الكربون، حيث يشكل الكربون العنصر الأساسي في تركيبها. عرفت اللدائن منذ نحو قرن مضي تقريباً، وقد حلت محل كثير من المعادن والمواد الطبيعية في العديد من الاستخدامات الهندسية والاستعمالات اليومية.

وحيث أن جميع المواد الاصطناعية تكون في أي من مراحل معالجتها عند درجة حرارة تتراوح غالباً ما بين 90 — 200 °م قابلة للتشكيل العجائني، أي في الحالة اللدنة.. لذا تسمى أيضاً بالبلاستيك.

خواص اللدائن Plastics properties:

اللدائن لها خواص أهمها الآتي:-

1. تصنع من خامات أولية سهلة الاستخلاص، معظمها من مركبات الكربون.
2. كثافتها منخفضة وهي ما بين 0.9 — 2/3 دسم، حيث تقل كثافتها عن كثافة الألومنيوم.
3. منتجاتها ذات أسطح ناعمة أو مصقولة، كما يمكن تلوينها، بذلك لا يكون هناك حاجة إلى دهانها.
4. لا تنفذ أسطحها الماء ولا الغازات.
5. لها مقاومة ممتازة لتأثير العديد من المواد الكيميائية.
6. رديئة التوصيل للحرارة، إلا أن معامل تمددها الحراري كبير، ولها قابلية محدودة للصدوم الحراري وللحفاظ على الشكل.
7. يمكن استخدام الغالبية العظمى منها كمواد عازلة للكهرباء.. إذ أنها تعتبر عملياً غير موصلة للتيار الكهربائي، وتتحول جزئياً عند الحرائق. متوهجة دون لهب ثم إلى

رماد. إلا أنها تحدث غازات تحدث تآكل كيميائياً (صدأ)، مما تنشأ عنه أضرار كبيرة للماكينات والتجهيزات.

8. يمكن تشكيلها بسهولة وسرعة، إذ أنه يمكن إنتاج مختلف الأشكال منها بواسطة الصب أو الضغط أو الدرفلة.

مميزات اللدائن:

- تتميز اللدائن بمميزات عديدة أهمها الآتي:-
1. خفيفة الوزن.
 2. انخفاض تكلفتها.
 3. سهولة التشكيل.
 4. مقاومة للتآكل.
 5. موصلة سيئة للحرارة.
 6. عازلة للكهرباء والصوت.
 7. المرونة وجمال المظهر وصلاحياتها لأعمال الديكور.
 8. مقاومة للطفيليات الحشرية والنباتية.
 9. يمكن استخدام الغالبية العظمى منها كمواد عازلة للكهرباء.. إذ أنها تعتبر عملياً غير موصلة للتيار الكهربائي، وتتحول جزئياً عند الحرائق. متوهجة دون لهب ثم إلى رماد. إلا أنها تحدث غازات تحدث تآكل كيميائياً (صدأ)، مما تنشأ عنه أضرار كبيرة للماكينات والتجهيزات.
 10. خواصها الميكانيكية الفريدة.

عيوب اللدائن:

- عيوب اللدائن هي الآتي:-
1. انخفاض مقاومتها لفعل الحرارة.
 2. قابلية بعض أنواعها للاشتعال.
 3. ضعف مقاومتها للاجهادات الميكانيكية.
 4. ضعف مقاومة بعضها للمذيبات أو الأحماض.
 5. تعتبر إحدى ملوثات البيئة لعدم إمكان التخلص منها بالقمامة.. إلا من خلال إعادة تشكيلها مرة أخرى.

التركيب الكيميائي لللدائن:

تتركب اللدائن كلها باستثناء الأنواع السليكونية من روابط كربونية على هيئة سلاسل متصلة أو خيوط (جزيئات مترابطة)، ويمكن أن يترابط مع الكربون في هذه السلاسل عناصر الهيدروجينية — الأكسوجين — النيتروجين — الكلور — الفلور.

تنتج اللدائن أساساً من خامات النفط (زيت البترول الخام) والغازات البترولية.. ويتم ذلك على خطوتين أساسيتين هما:-

1. تخليق مواد أولية قابلة للتفاعل تتركب مع جزيئات أحادية تسمى ميرات.
 2. ترابط وتجميع الآلاف من الجزيئات الأحادية وتحويلها إلى جزيئات كبيرة مترابطة.. يطلق عليها بوليميرات.
- ويمكن أن يتم هذا التجمع من هذه الجزيئات وتحويلها إلى بوليميرات من خلال أحد التفاعلات التالية:-

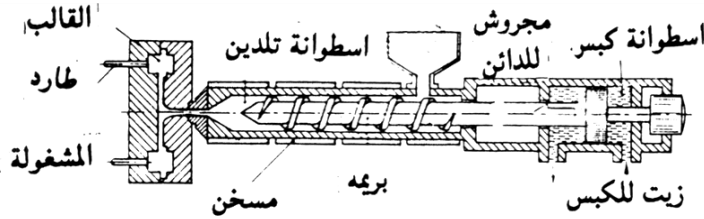
- البلمرة (التجميع).
- التكثف.
- الإضافة

أنواع اللدائن:

يمكن تقسيم اللدائن من حيث تركيبها إلى الأنواع الثلاثة التالية:-

1. **لدائن تلين بالتسخين:** يتصف هذا النوع بتلينه عند التسخين حتى درجة حرارة معينة، بحيث لا يتجاوزها، وعند تجاوزها يحدث تتحلل لهذه اللدائن.
- تصنع اللدائن التي تلين بالتسخين أولاً في صورة مجروش من حبيبات صغيرة كمادة خام للتصنيع، ومن ثم يمكن تشكيلها بكافة وسائل التسخين لتأخذ الأشكال المطلوبة، كما يمكن إعادة تشكيلها إلى أشكال أخرى عدة مرات. تتميز هذه اللدائن بقابليتها للحام بالتسخين.

يتشكل هذا النوع من اللدائن بالحقن في قوالب بالأشكال المطلوبة كما هو موضح بشكل 4 - 1.



شكل 4 - 1

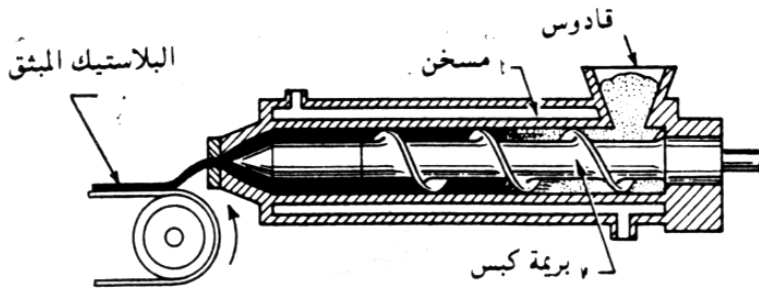
حقن اللدائن في القوالب

2. **لدائن تتصلد بالتسخين:** تصنع اللدائن التي تتصلد بالتسخين من مسحوق أو سائل، وتكون قابلة للتشكيل في حدود درجات حرارة معينة في بادئ الأمر، وتتصلب عند

التسخين في درجة حرارة ما بين 127 – 177⁰ م تحت ضغط، حيث تأخذ شكل القالب الذي يحويها، ولا تقبل التشكيل مرة أخرى سواء بالتبريد أو بإعادة التسخين، أى إنها تكون مستقرة في شكلها. ولكنها تحترق أو تنفحم إذا تجاوز تسخينها أكثر من 345⁰ م.. وبذلك تفقد تركيبها المميز.

يشكل هذا النوع من اللدائن بالبنق للحصول على الأشكال المطلوبة كما هو موضح بشكل 4 - 2.

هذه اللدائن لا تقبل اللحام بالتسخين كما هو الحال باللدائن التي تلين بالحرارة، ولكن يمكن ربط أجزائها باللصق بمواد لاصقة.



شكل 4 - 2

بنق اللدائن بالأشكال المطلوبة

3. لدائن مرنة (مطاطية): تتركب هذه اللدائن من خطوط الجزيئات شأنها في ذلك شأن النوعين السابقين، إلا أن تشابك خيوطها يكون متباعدًا. تتميز هذه اللدائن بتشكيلها المرن، حيث تزيد طولها عند شدها إلى عدة أمثال طولها، ثم تعود إلى شكلها وطولها الأصلي بعد إزالة قوى الشد. يؤدي التسخين إلى ليونتها بعض الشيء، أما المبالغة في التسخين.. فقد يؤدي إلى تفككها أو إحترقها. هذه اللدائن غير قابلة للتشكيل أو اللحام.. إلا باللصق بالمواد اللاصقة.

الكأوتشوك (المطاط) Rubber:

يوجد الكأوتشوك (المطاط) الطبيعي الذي يستخرج من شجر الهيفيا بالمناطق الحارة الرطبة، كما أمكن تخليق وصناعة الكأوتشوك (المطاط) من مواد مرنة من خلال المجموعة التي يطلق عليها الكأوتشوك البوتادين أو الكأوتشوك الصناعي.. فيما يلي عرض كل من الكأوتشوك الطبيعي والصناعي.

الكاوتش الطبيعي (المطاط الطبيعي): Natural rubber

الكاولتش الطبيعي هو مادة طبيعية متحولة (هيدرو كربونية)، تستخرج هذه المادة من شجر الهيفيا التي تنمو بالمناطق الاستوائية.

يستخرج المطاط من الشجر على هيئة عصارة لبنية تسمى لاتكس، وهي عبارة عن مستحلب أبيض يتكون من كريات هيدرو كربونية معلقة في مصل مائي، تحتوي هذه العصارة على 35 % هيدرو كربون (مطاط)، 60 % ماء، 5 % بروتينات.

المطاط الطبيعي الخام لا يصلح للاستخدام الصناعي المباشر، وذلك لخواصه وتحوله إلى مادة لزجة بالتسخين، وتصلبه بالبرودة.. أى فقده للمرونة، هذا بجانب رائحته الكريهة وذوبانه بالمذيبات العضوية كزيت البترول ومشتقاته.

تجهيز المطاط الطبيعي:

يتم تحويل العصاراة اللبنية (اللاتكس) من خلال إضافة حامض الخليك، ثم يعصر للتخلص من السوائل العالقة به، ويخفف للحصول على مطاط خام.

يمكن المحافظة على المطاط الخام من التعفن من جراء ما تبقى به من المصل المائي بالإضافة إلى تحويل لونه إلى اللون البني، وذلك من خلال تعرضه لدخان أشجار جوز الهند لمدة أسبوعين عند درجة حرارة حوالي 50⁰ م، ومن ثم يمكن الحصول على مطاط يسمى بالمطاط المدخن.

ويمكن الحصول على نوع من المطاط الطبيعي غير داكن اللون من خلال تقطيعه إلى قطع صغيرة، ويمزج بالكبريت، ويضاف له المادة الحشوية والألوان اللازمة، ثم يقلب ويكبس.

المادة الحشوية الرئيسية المستعملة مع المطاط الطبيعي هي السنج، ويؤدي سنج الغاز إلى تحسين المتانة والصلادة والمرونة ومقاومة التآكل الاحتكاكي في المطاط، لذلك فإنه يستخدم في إطارات السيارات، أما سنج الزيت و سنج اللهب فليسا غاية في الجودة، ويستخدمان بالدرجة الأولى في زيادة مطيلية المطاط واكتسابه اللون الأسود.

معالجة المطاط الطبيعي الخام:

خلال إضافة بعض المركبات الكيميائية التي تعمل على تخفيض مدة الطبخ إلى حوالي 5 دقائق مع تخفيض درجة الحرارة إلى 90 °م، كما يمكن أن تتم عملية الفلكنة (معالجة التصليد) في درجات حرارة الجو العادي لمدة دقائق قليلة من خلال إضافة محلول كلوريد

الكبريتيد بنسبة مرتفعة تصل إلى 50 % عند الطبخ مع الكبريت، ومع إطالة التسخين يؤدي إلى تحول المطاط إلى مطاط صلد.

يمكن الإرتفاع من تماسك المطاط الطبيعي وخواصه الميكانيكية من خلال إضافة ألياف القطن أو الاسبتوس (الحرير الصخري) ومسحوق الكربون وأكسيد الزنك، كما يمكن الحصول على مطاط طبيعي طري من خلال إضافة بعض الأحماض الدهنية مثل حامض الستياريك أو بعض الزيوت النباتية قبل المعالجة بالكبريت، ويمكن تقوية المطاط الطبيعي من خلال إضافة نسيج من الكتان أو القطن أو النيل أو خيوط الألياف الصناعية كما هو الحال في إطارات السيارات، والخرطوم المستخدمة للضغوط العالية.

ويمكن لصق بعض القطع المعدنية على المطاط أثناء تقطيعه.. كما هو الحال في مقابض أذرع التحويل أو اطارات السيارات أو أنابيب إطارات السيارات على سبيل المثال.

المطاط اللين:

يتم الحصول عليه من خلال إضافة نسبة من الكبريت تتراوح ما بين 3 — 20 %، وتزداد مطيلته ومرونته كلما انخفضت نسبة الكبريت.

يستعمل المطاط اللين في خرطوم الماء — موانع التسرب — السيور — مخمدات الارتجاج — القوابض — دلافين الضغط — الأغشية المرنة للمضخات — الملابس الواقية — إطارات السيارات — نعال الأحذية.

المطاط الصلب:

يتم الحصول عليه من خلال إضافة نسبة من الكبريت تتراوح ما بين 30 — 50 %، وهو قابل للتشغيل بالقطع، إلا أنه يتسبب في نحر عدة القطع بسرعة، مما يستلزم إستعمال عدة قطع مصنوعة من صلب السرعات العالية أو عدة كربيدية.

يستعمل المطاط الصلب في مقابض أذرع المرافق — عجلات القيادة بالسيارات — صناديق المراكم الكهربائية.. كما يستخدم كمادة رابطة في أقراص التجليخ.

المطاط الرغوي:

يحضر المطاط الرغوي من خلال خلط العصارة اللبنة مع مسحوق الكبريت مع إضافات أخرى، ثم تصب الرغوة في قوالب وتعالج بالتصليد.

يستعمل المطاط الرغوي في حشو المقاعد ومساند الآلات الكاتبة وأبسطة الحمامات وبالأحذية الطبية.

خواص المطاط الطبيعي المعالج بالتصليد:

المطاط الطبيعي المعالج بالتصليد يكسب الخواص التالية:-

1. زيادة مرونته.. أى انخفاض التشكيل اللدن الباقي بعد زوال الحمل.
2. زيادة مقاومة الشد.
3. زيادة مقاومة المطاط للتلف عند درجات الحرارة المرتفعة.
4. زيادة مقاومة المطاط للتلف عند التعرض للمذيبات.
5. موصل سيئ للحرارة والكهرباء.
6. موصل سيئ للصوت والاهتزازات.

المطاط الصناعي Synthetic Rubber :

على الرغم من اتفاق المطاط الصناعي مع المطاط الطبيعي في معظم خواصه، إلا أنه لا يتفق معه تماماً من حيث التركيب.

ينتج المطاط الصناعي من خلال التحكم في عملية*البلمرة أو مضاعفة الأصل (تجميع) بالبداية بمواد وزنها الجزيئي ضئيل وسائلة والتجميع بالبلمرة حتى تصل إلى جزيئات كبيرة في الحدود المطلوبة. يحضر المطاط الصناعي على هذا البداية بعمل مستحلب من المواد الأولية مع محلول الماء والصابون مع عامل مساعد للبلمرة تحت ضغط ودرجة حرارة وزمن محددين، ثم تجرى بعد ذلك المعالجة بالكبريت ومشتقاته، وأيضاً إضافات التقوية بالتلويين والمصبغات.

*البلمرة (Polymerization):

هي عملية تجميع عدة آلاف من جزيئات المونوميرات الغازية أو السائلة معاً لتكوين الجزيئات الضخمة للمادة الصلبة، وتسمى طرق التحضير المستخدمة لذلك والتي يتوقف دورها على التركيب البنائي للمونوميرات بالبلمرة [في اليونانية القديمة (بولي) .. أى متعدد أو كثير] أو البلمرة التكاثفية أو البلمرة الجمعية.

وتكون أسماء اللدائن الناتجة عن الطرق الثلاثة على الترتيب هي المادة (بوليمر) أو المادة المبلمرة تكاثفياً (بلمرة تكاثف) أو المادة المبلمرة جمعياً (بوليمر جمعي)، وتعطى هذه الطرق الثلاثة تركيبات بنائية مختلفة للمادة اللدنة تتحد من خلالها أهم خواص أنواع اللدائن المذكورة.

يوجد المطاط الصناعي بأنواع مختلفة، يختلف كل منها عن الآخر باختلاف المواد الأولية المستخدمة والتي يجرى بلمرتها.. أهم أنواع المطاط الصناعي هو الأتي:-

1. مطاط بوتاديين (ستيرين).
2. مطاط البوتاديين.
3. مطاط النيوبرين.
4. مطاط البوتيلي.
5. مطاط النيوكول.

الجلود Leather:

تعالج جلود الحيوانات بدباغتها للتخلص من الشعر والمواد القابلة للتعفن. تستخدم الجلود في صناعة الأحذية والحقائب، كما تستخدم في الصناعات الهندسية في صنع السيور المستخدمة في نقل الحركة بالآلات والماكينات، وحشو المكابس الهيدروليكية، كما تستعمل بعد كبسها وتحويلها إلى مادة صلبة في تصنيع التروس الصغيرة في الآلات والماكينات التي يتطلب بها عدم إصدار أي ضوضاء.

النسيج المصلد:

يستعمل النسيج المصلد في تصنيع تروس نقل الحركة التي تعمل دون ضجيج، والمطارق التي لا تجرح أو تشوه القطع المعالجة، وبطانات المحامل للتشغيل الشاق.

الورق المصلد:

يستخدم الورق المصلد في تصنيع الألواح العازلة وأجسام الملفات وفي تصنيع التروس وأقراص القوابض وفي بعض أجزاء مكائن الحياكة.

الإسمنت Cement:

الإسمنت من المواد الرابطة واللاصقة، ويعتبر الإسمنت من المواد الأساسية المستخدمة في البناء بصفة عامة، حيث يعمل على ربط والتصاق الأحجار والطوب مع بعضهما البعض، كما يختلط مع الرمل والزلط وحديد التسليح للحصول على هياكل خرسانية.

الفحم والبترول Petroleum & Coal :

يعتبر الفحم والبترول من أهم مصادر الطاقة بالإضافة أنهما من أهم الخامات المستخدمة في الصناعات الكيميائية.

يوجد الفحم في الطبيعة في أشكال مختلفة مثل فحم الخشب — الفحم النباتي — الفحم الحجري، علماً بأن جميع أنواع الفحم مصدره نباتي.

يستخرج الفحم من المناجم السطحية والعميقة. يستخدم الفحم بأنواعه كمادة وقود، كما يحصل منه على القطران وبعض المواد الأخرى التي تستخدم في الصناعات الكيميائية

لتحضير عدد من المنتجات الهامة مثل الألوان — الأدوية — العطور، كما يلعب دوراً هاماً في إنتاج اللدائن.

أما البترول فإنه يوجد مخزناً في أعماق بعيدة أحياناً، وفي طبقات مسامية بين الرمل والصخور.

يتكون النفط من مركبات كيميائية مثل الكربون والهيدروجين، ويشترك من النفط منتجات كثيرة مثل البنزين وزيت الديزل) وزيوت التزليق المختلفة، ويستعمل بقايا التقطير من مواد قطرانية في الصناعات الكيميائية لتصنيع عدد كبير من المنتجات الهامة، بالإضافة إلى ذلك يتبقى مادة لزجة قطرانية تسمى بالقار أو الزفت التي تستخدم في رصف الطرق.

الميلامين:

يوجد على هيئة خامات سائلة كما يوجد بحالة صلبة عند إضافة بعض المواد المصلدة أو بتأثير الحرارة.

يتميز الميلامين بصلادته وأسطحه الناعمة اللامعة بالإضافة إلى عدم وجود رائحة له، كما إنه يتحمل الماء المغلي، أما عيوبه فهو قصيف وقابل للكسر.

يحشى الميلامين بمواد حشو وذلك لخفض تكاليف إنتاجه، بالإضافة إلى إكتسابه خواص أخرى.

يستعمل الميلامين للسائل للبيوت، كما يوجد كمادة لاصقة (غراء صناعي للخشب)، ويستعمل الميلامين الصلد في أدوات المائدة وفي صناعة المواد اللدائنية المدعمة.

الزجاج Class :

يستعمل الزجاج بسبب خواصه الممتازة بكثرة في الأغراض الصناعية والبناء، وهو صلد شفاف لا يتأثر بالأحماض والقلويات وموصل سيئ للحرارة وعازل للكهرباء، ومن أهم عيوبه إن هش ولا يتحمل الصدمات.. تبلغ كثافته 2.5 كجم/دسم².

يحضر الزجاج في مصانع الزجاج، خاماته الأساسية هي الرمل الكوارتزي (حمض السليسيك) الذي يطحن جيداً ويضاف إليه الصودا أو كبريتات الصوديوم. ينصهر في درجة حرارة ما بين 1500 — 1700⁰ م، تؤخذ المادة المنصهرة التي على شكل كتل عجينية في درجة حرارة 1250⁰ م لتصنيعها بالصورة المطلوبة. يكون الزجاج في الحالة العجينية قابل للتشكيل بصورة جيدة. تتجمد الكتل الزجاجية بعد تصنيعها وتبريدها بشكل مادة شفافة عديمة اللون، كما يمكن تلوينها بإضافة بعض الأكاسيد المعدنية.

يحضر الزجاج المفرغ كالأواني – الأكواب – القوارير.... وغيرها من خلال النفخ في قوالب، وألواح الزجاج المسطحة (زجاج النوافذ – زجاج المرايا – ألواح الزجاج) فإنه يحضر من المادة الزجاجية اللدنة بالدرقلة أو السحب، أو بالصب في حالة الألواح السميكة، أما الكرسنال فإنه يحضر بإضافة أكسيد الرصاص إلى المادة الزجاجية مما يعطي الزجاج لمعاناً.

زجاج الأمان متعدد الطبقات:

زجاج الأمان المتعدد الطبقات هو عبارة عن زجاج مركب من لوحين من الزجاج أو أكثر، تلتصق الطبقات الزجاجية مع رقائق مرنة من مادة لدائنية شفافة مقاومة للقطع وغير قابلة للتفكك، أو مع أسلاك من الصلب غير القابل للقطع. يتميز هذا النوع من الزجاج بتماسكه والتصاقه على الرقائق اللدائنية الرقيق أو مع أسلاك الصلب عند كسره.

زجاج الأمان سابق الإجهادات:

يتميز زجاج الأمان سابق الإجهادات بمقاومته العالية للطرق والصدم. يصنع هذا النوع من الزجاج بتسخينه مرة ثانية إلى 600⁰ م، ثم تسقيته بسرعة في الهواء البارد.. وهو ما يسمى بالتصليد الحراري، مما يولد في اللوح الزجاجي إجهادات داخلية تجعله عند الصدمات العنيفة يتفتت إلى حبيبات صغيرة غير خطرة. يستخدم هذا الزجاج عادة في السيارات لمنع حدوث إصابات بين الركاب عند وقوع الحوادث نتيجة تطاير الشظايا الزجاجية.

الاسبستوس Asbestos :

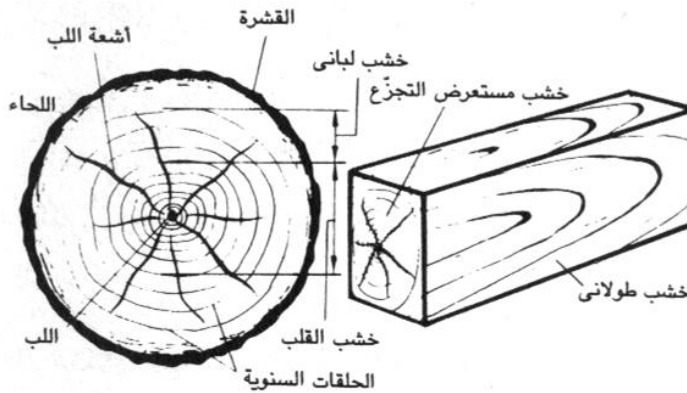
الاسبستوس هي مادة ليفية مقاومة للاحتراق وتأثير الأحماض، كما إنه موصل سيئ للحرارة والكهرباء، يلتصق بسهولة بمواد أخرى كالمطاط مكوناً مادة إحكام، كما يلتصق مع الإسمنت مكوناً ألواح تستعمل كأغطية سقفية. يستخدم الاسبستوس بعد غزله إلى خيوط وتصنيعه إلى ثياب في الملابس المقاومة للحرارة والاحتراق، كما يستخدم كألواح عازلة للحرارية وحشوات مقاومة للاحتراق.

الخشب Wood :

يعتبر الخشب من أقدم مواد التصنيع ومواد البناء التي عرفها الإنسان، له خواص متانة وتشكيل متباينة تحددها درجة النمو والأرض والعمر ومسار العروق ونسبة الرطوبة فيه. يظهر عادة في القطاع العرضي في جذع أي شجرة شكل 4 – 3 (قناة العصارة الغذائية) وأشعة القلب (تشذخات القلب) خشب القلب وخشب اللب والقشرة الخارجية، ومن ثم

فإنه يمكن تحديد عمر أي شجرة من خلال الحلقات الثانوية الظاهرة في المقطع العرضي بوضوح.

تعطي المقاطع الطولية في جزع الشجرة خشباً قشرياً أو مضلعاً على شكل ربع جذع أو مربع المقطع أو ألواح سميكة أو رفيعة، أو على شكل ألواح رقيقة. يميز أنواع الخشب من خلال لونه وتجدده ومسامه وصلادته، يتراوح كثافة الخشب ما بين 0.138 — 1.33 كجم/دسم³، من أهم عيوب الخشب هو تمدده بالرطوبة وانكماشه عند الجفاف.



شكل 4 - 3

مكونات الخشب بقطاع عرض في جذع شجرة

يستخدم الخشب في صناعة تشغيل المعادن كمادة تغليف (صناديق) وكنماذج في ورش صناعة نماذج السباكة ومطارق خشبية ومقابض للمبارد، وكفحم خشب للأفران، ولمحامل التروس، وأقراص إحتكاكية، وبطائن للقوابض، ومادة عازلة للحرارة والكهرباء. كما يستخدم في ورش النجار في صناعة الأثاثات المنزلية وأدوات للمائدة ولتجهيز المنشآت البنائية.

المواد المزلفة Lubricants :

المزلاقات هي مواد وسيطة تستخدم في تخفيض معامل الاحتكاك والبرى بين الأسطح الميكانيكية المترددة أو الدائرية، حيث تشكل المادة المزلفة طبقة عازلة رقيقة تعمل على فصل الأسطح المحتكة، يمكن أن تكون المواد المزلفة في صورة صلبة أو لينة أو سائلة أو غازية. أهم المواد الصلبة المزلفة هي الجرافيت — مسحوق التلك — مسحوق المينا. تستخدم هذه المواد في تزليق الأسطح المعرضة للضغوط العالية كمرتكزات الإدارة بعربات السكك الحديدية ومرتكزات الطواحين وماكينات رصف الطرق.

المواد اللينة المزلقة هي الشحوم بأنواعها التي تستخدم في تزليق الأسطح المعرضة للإجهادات والضغوط المتوسطة.

المواد السائلة المزلقة هي الزيوت بأنواعها التي تستخدم في تزليق صناديق التروس والمحاور المعرضة للسرعات العالية، وأيضاً للأجزاء الميكانيكية المترددة والدائرية.

المواد الغازية المزلقة هي عبارة عن هواء مضغوط، يستخدم الهواء المضغوط للأجزاء المعرضة للاحتكاك كمحاور ومرتكزات الأعمدة ليفصل بينها، كما يعمل على تخفيض درجات الحرارة المرتفعة.

الباب السادس

عمليات التصنيع

تحويل الصلب إلى منتجات نصف مصنعة

مُهَيِّدٌ

يصب الصلب المنتج بالمحولات أو بالأفران الكهربائية في قوالب خاصة مصنوعة من الزهر أو من الصلب. تصنع هذه القوالب بشكل مستدق (مسلوب) لسهولة إخراج الصبة (الكتلة المصبوبة).

يناقش هذا الباب الأساليب المختلفة لصب الصلب بالقوالب، والتغيرات التي تحدث أثناء عملية الصب.

ويتناول لعمليات تحويل الصلب إلى منتجات نصف مصنعة عن طرق الدلفنة — البثق — السحب..... إلخ.

ويتعرض لعمليات الإنتاج للمنتجات تامة التصنيع من خلال عمليات تشكيل وتشغيل المعادن على الساخن أو على البارد، عن طريق نوعين أساسيين هما التشكيل بدون قطع والتشغيل بالقطع.

الصلب

Steel

يصب حوالي 5 % من الصلب المجهز في منشآت الصلب في قوالب، وتبلغ نسبة الصلب المشكل بالطرق والكبس حوالي 25 %، وبالدلفنة والبثق حوالي 70 %.

ولتحويل الصلب بالدلفنة إلى منتج نصف مصنع، فإنه يصب فور إنتاجه في قوالب دائمة على شكل كتل وشرائط.

وتتأثر خواص المادة المصنعة بنوع الصب وحالة الصلب عن تصلبه.

التغيرات التي تحدث بالصلب عند الصب:

عند صب الصلب في القوالب الدائمة، يمتص الصلب الأكسجين والأزوت والرطوبة من الهواء. وتتحلل رطوبة الهواء بفعل الحرارة العالية إلى إيدروجين وأكسوجين. كذلك تتفصل الغازات المذكورة وكذا أول أكسيد الكربون المتكون في الصلب من اتحاد الكربون والأكسوجين عن الصلب أثناء تبرده القوالب الدائمة، إلا إذا أضيفت إليه عناصر مساعدة خاصة تعمل على ربط الغازات وأول أكسيد الكربون بالصلب.

في الصلب المصبوب دون تخميد تسبب الغازات المنطلقة أثناء التبريد تيارات دوامية (غليانا) في الصلب، تجعله يتجمد بصورة غير هادئة، يؤدي ذلك إلى فصل المواد المرافقة للحديد كالكربون والفسفور والكبريت عن الصلب نفسه وتجميعها في منتصف القالب الدائمة، وتعرف هذه العملية (عملية الفصل.. بالعزل).

ولتخميد الصلب عند الصب يضاف السليكون أو الألومنيوم للصلب المصفى قبل صبه في القوالب الدائمة، مما يمنع انطلاق الغازات إلى حد كبير ويؤدي ذلك إلى تجمد الصلب بصورة هادئة، كما يتحد الألومنيوم مع الأزوت مما يجعل الصلب صمودا للتعتيق. ويبقى تركيب القشرة والنواة متجانسا تقريبا. ولذلك تستخدم أنواع الصلب المخمد أثناء الصب للأغراض التي تطلب تجانسا عاليا في البنية والمتانة، كما هو الحال في أنواع صلب التطبيع وصلب العدة.

ويتم حصر فجوات النقائص المتكونة عند رأس القالب الدائم للصلب المخمد بصورة أشد منها لقالب الصلب غير المخمد باتخاذ تدابير خاصة، كإضافة مساحيق مولدة للحرارة مثلا، تجعله قاصرا على رأس القالب في معظمها. تحتوى أنواع الصلب المصبوب بتخميد مضاعف على السليكون والألومنيوم لتزيد من ترابط الأكسجين والأيدروجين مع الصلب.

كذلك يضاف الفاناديوم والتيتانيوم والنيوبيوم حسب الحاجة، للحصول على متطلبات خاصة مثل عدم الحساسية للتسخين الزائد، وتحسين الخواص الميكانيكية وقابلية اللحام. ويعرف الصلب المخمد أثناء الصب بإضافة السليكون والألومنيوم إلى الحد الذي تتوزع فيه المواد المسببة لفجوات النقائص، وهى الفوسفور والكبريت، في كامل المقطع بصورة متجانسة تقريبا بالفولاذ المصبوب بنصف تخميد أو الفولاذ نصف المخمد.

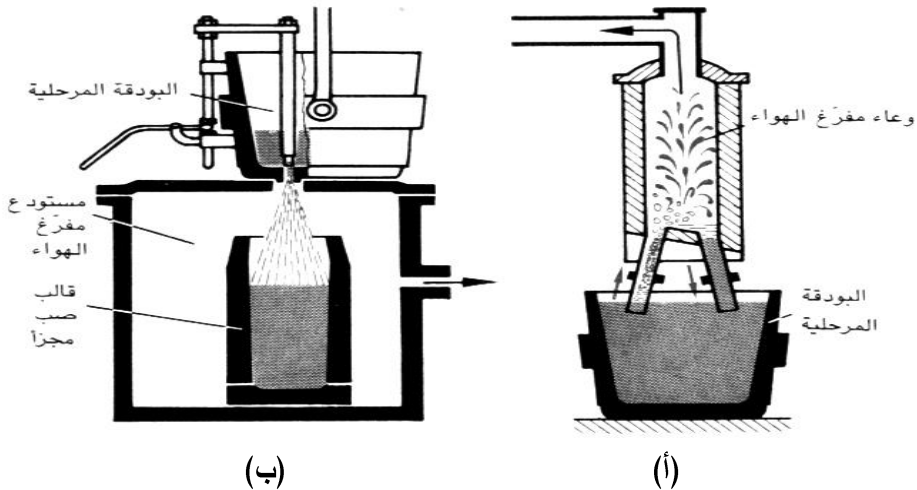
ويمكن الحصول على نفس النتيجة في أنواع الصلب الخاص، مثل بعض أنواع الصلب سهل القطع، أي التي تحتوى على نسبة عالية من الكبريت تزيد من قسافة الجذادة بزيادة

نسبة المنجنيز (أعلى من 1% إلى 1.5%) وتسمى هذه الأنواع أيضاً بأنواع الصلب نصف المخمد.

أسلوب الصب تحت التفريغ:

يعتبر الإيدروجين من أكثر الغازات الضارة التي يمتصها الصلب من رطوبة الهواء أثناء الصب، حيث أنه يشكل إجهادات في بنية المشغولات وشدوفاً دقيقة بين البلورات، ويظهر ذلك على سطح المقطع بشكل يقع تعرف بالشدوخ المجهرية. وللتخلص ما أمكن من الغازات قبل وأثناء الصب، تستخدم طريقة الصب في حيز مفرغ.

تتكون المنشأة المستخدمة للتخلص من الغازات قبل وأثناء الصب من وعاء مفرغ من الهواء بواسطة مضخة ماصة تولد أكبر قدر ممكن من التفريغ. وفي طريقة إزالة الغازات من البودقة، توضع بودقة المصهور، المأخوذ من الفرن أو المعدة للصب، في حيز مفرغ بحيث تمتص الغازات من سطح المصهور. وفي طريقة الشعاع المصبوب تستخلص الغازات من تيار الصلب المتدفق، إما أثناء إعادة الصب (الإزالة المستمرة للغازات) أو أثناء الصب في القوالب الدائمة أو المؤقتة كما هو موضح بشكل 5 - 1. وللتخلص من بقايا الأكسجين المنفصل الذائب، تضاف مواد مختزلة إلى الصلب المعالج بالتفريغ قبل صبه، مثل المنجنيز أو السليكون أو الألومنيوم.



شكل 5 - 1 أسلوب الصب تحت التفريغ

(ب) صب الكتل تحت التفريغ.

(أ) إزالة الغازات.

الصب باستخدام خبث طارد للحرارة:

عند صب أنواع الصلب ذات النسب العالية من المكونات السببكية سهلة الأكسدة كالتيتانيوم أو الألومنيوم أو السليكون على سبيل المثال، فإنه من الضروري منع اتحاد هذه المكونات مع أكسجين الهواء. وفي طريقة جديدة للصب يستخدم خبث طارد للحرارة كمانع لاتحاد المكونات السببكية مع أكسجين الهواء.

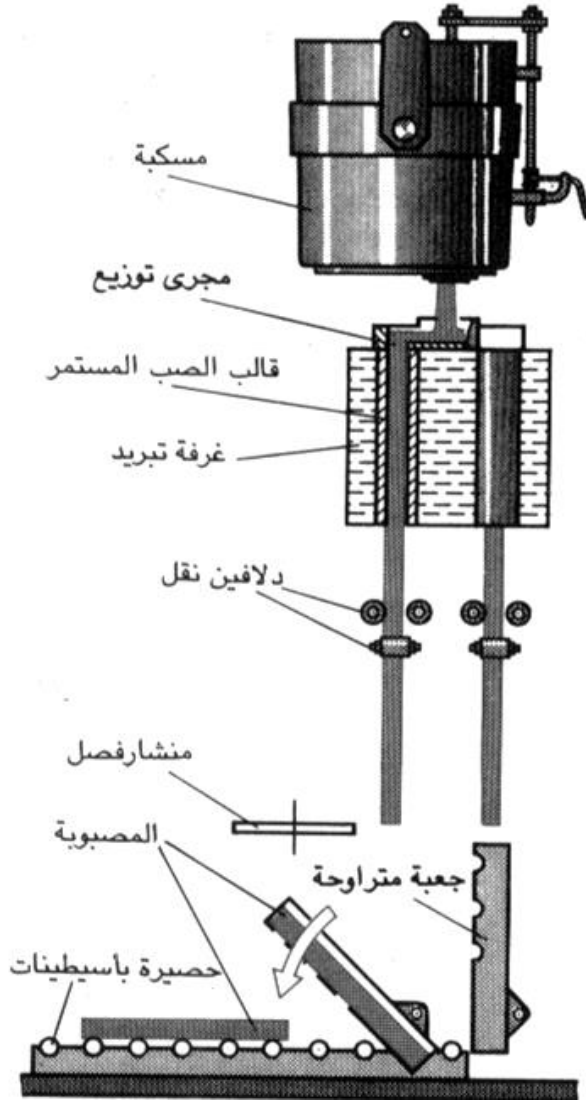
يتألف الخبث الطارد للحرارة من مسحوق خليط، قادر على إطلاق الحرارة عند انصهاره، ويرش المسحوق على أرضية القوالب الدائمة قبل الصب، ويؤدي الصلب المصبوب إلى إشتعال المسحوق وإسالتة، مما يجعله يطفو بشكل خبث بأعلى سطح الصلب الذي يرتفع مستواه تدريجياً داخل القالب الدائم، مشكلاً بذلك طبقة واقية بين الصلب والهواء المحيط، وبالإضافة إلى ذلك تذوب في الخبث الشوائب المؤكسدة العائمة في الصلب، مما يؤدي إلى أبطال مفعولها الضار، وتحيط قشور الخبث بالكتلة المصبوبة ككسوة واقية لحين إخراج الكتلة من القالب فتسقط كالبثور دون أن تترك وراءها أثراً على سطح الفولاذ أو على الجدران الداخلية للقالب الدائم، ويمكن بواسطة هذه الطريقة صب الأنواع الممتازة من الصلب المكرر، مثل الصلب المقام للحرارة والصلب الذي لا يصدأ وذلك بشكل كتل خالية من الأكاسيد ذات أسطح نظيفة.

أسلوب الصب المستمر:

يعتبر أسلوب الصب المستمر الموضح بشكل 5 - 2 هو الأكثر إنتشاراً، حيث يستخدم بدلاً من أسلوب الصب في القوالب الدائمة.

يصب الصلب في طريقة الصب المستمر من بودقة الصب في قناة توزيع، حيث يسرى إلى عدة قوالب صب أسطوانية نحاسية مبردة بالماء مفتوحة من طرفيها العلوي والسفلي. ومن الطبيعي إغلاق الفتحة السفلية عند الصب، وتتحرك القوالب النحاسية بصورة ترددية مستمرة وبأشواط قصيرة، ومن ثم يأخذ الصلب المصبوب إشكال القوالب النحاسية المبردة (بأشكال مستديرة أو مربعة أو مستطيلة).

تعمل منشأة الصب المستمر آلياً، ولا يقتصر الصب في القوالب الدائمة فحسب، بل يعمل أيضاً على تلدين الصلب في الأفران الغاطسة والدلفنة الأولية للكتل المصبوبة.



شكل 5 - 2

أسلوب الصب المستمر

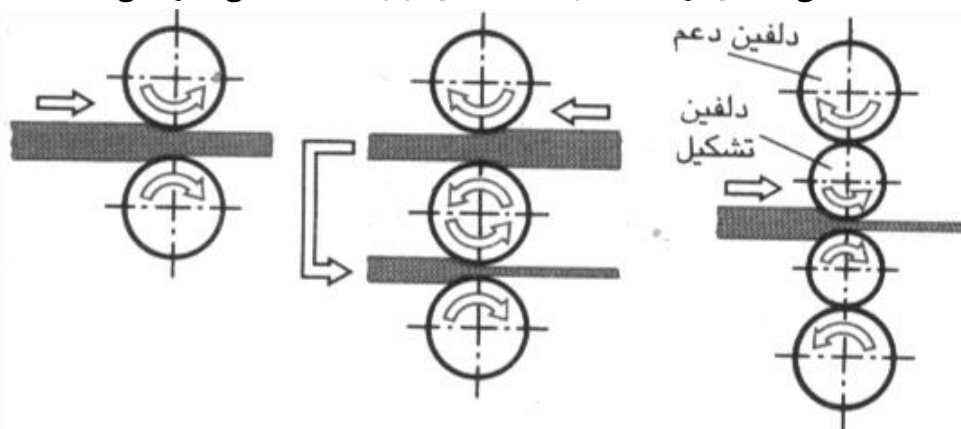
الدلفنة:

تجهز القضبان والمقاطع الفولاذية والأسلاك وألواح الصاج والأنابيب عادة بالدلفنة، حيث تمرر قطع الصلب الغفل في منشأة الدلفنة (كتل - بلاطات - قضبان - ألواح) بين زوج من الدلافين عدة مرات متتالية، حيث يجرى بسطها وتصغير مقطعها، إلى أن تتخذ الأشكال والمقاسات المطلوبة كما هو موضح بشكل 5 - 3.

ويتم العمل في منشأة الدلفنة الثنائية (أي ذات الدلفنين) في اتجاه واحد فقط، بينما يتم في منشأة الدلفنة الثنائية المزدوجة ومنشأة الدلفنة الثلاثية (أي ذات الثلاثة دلافين) إعادة دلفنة المشغولات في الاتجاه العكسي. أما دلفنة المنشأة الرباعية.. أي ذات الأربعة دلافين فإنها تتكون من دلافين تشكيل بأقطار صغيرة، ودلفين دعم بأقطار كبيرة، حيث أن الدلافين الصغيرة يعمل على تصغير مشغولات الدلفنة أكثر وأفضل من الدلافين الكبيرة، إلا أنها تتحني وتتبعج بسهولة، لذلك فإنها تدعم دائما بدلافين إسناد.

وتجرى التفرقة بين الدلفنة على الساخن والدلفنة على البارد، فعند الدلفنة على الساخن تزداد المتانة والانفعال، وتؤدي الدلفنة اللاحقة على البارد إلى استمرار زيادة المتانة بينما يقل الانفعال، ويمكن إزالة ما يسمى بالتصلد على البارد بعمليات تليدين لاحقة، إلا أنه يبقى بالإضافة إلى صقالة سطح المعدن، توجيه متناسق لبلوراته، كما هو مرغوب مثلا في الألواح الكهربائية لتكون قابلة للمغنطة بسهولة.

بالدلفنة على الساخن تزداد متانة وانفعال المعدن، وتؤدي الدلفنة على البارد إلى التصلد.



شكل 5 - 3

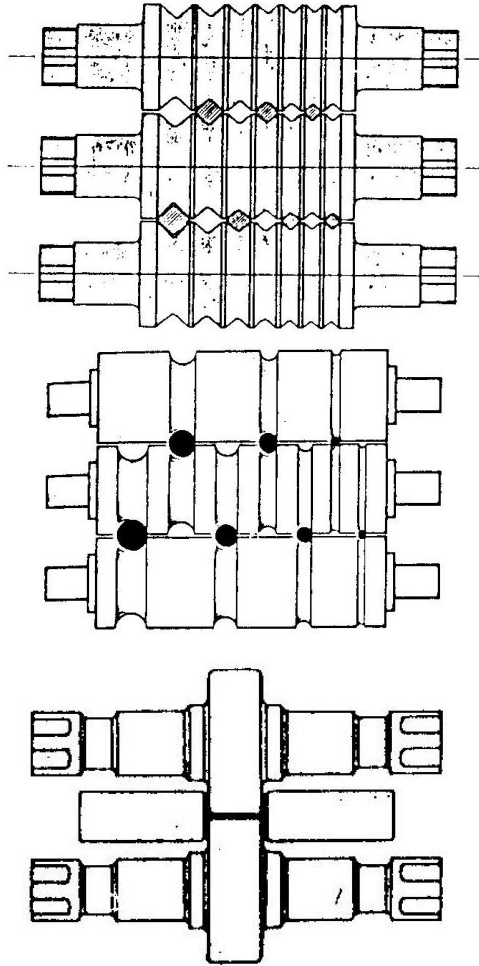
تجهيزات الدلفنة

منشأة دلفنة كتل الصلب المصبوب:

في هذه المنشأة تتم دلفنة كتل الصلب المصبوبة (التماسيح) في القوالب الدائمة، والمسخنة في الأفران الغاطسة إلى درجة حرارة الدلفنة، عدة مرات لتصغير مقطعها، ثم تقطع بأطوال مناسبة لأجراء معالجات لاحقة عليها.

دلفنة القضبان وقطاعات وأسلاك الصلب:

تدلفن الكتل الناتجة عن منشأة دلفنة التماسيح أو منشأة الصب المستمر إلى مشغولات نصف مصنعة بشكل قضبان مربعة المقطع، ثم تسخنها إلى درجة حرارة الدلفنة ثم تمرر خلال منشأة دلفنة القضبان عدة مرات حتى تتخذ الأشكال والمقاسات المطلوبة، ولهذا الغرض تخرط في الدلافين أخاديد وممرات تشكيل بشكل قضبان وقطاعات وأسلاك كما هو موضح بشكل 4 - 5، بحيث تكون هذه الممرات مناظرة للشكل والمقاس المطلوب إنتاجه. ويمكن دلفنة الأسلاك إلى قطر 5 مم، وتستخدم الأسلاك المدلفنة لإنتاج الأسلاك ذات أقطار أصغر على مكينات السحب الموجودة في منشآت السحب العميق للأسلاك.

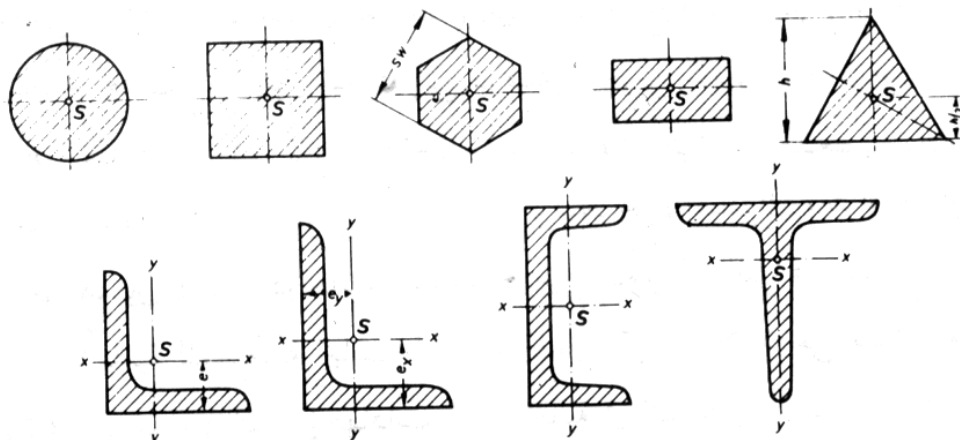


شكل 4 - 5

دلفنة قضبان وقطاعات الصلب المختلفة الأشكال والمقاسات

وهناك مجموعات أخرى مركبة من دلافين بأشكال مختلفة لإنتاج المدلفنات المعقدة
القطاعات مثل الكمرات بقطاعاتها المختلفة.

ويوضح شكل 5 - 5 نماذج مختلفة من قطاعات الكمرات المصنوعة من الصلب
والمنتجة بالدلفنة.



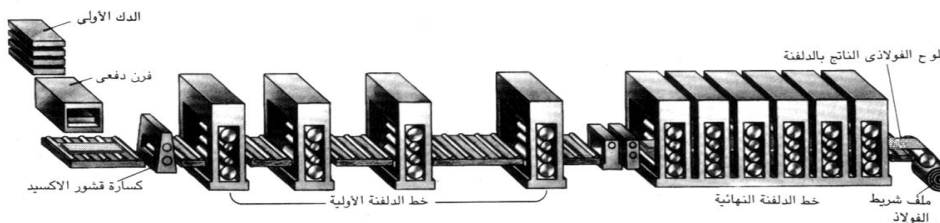
شكل 5 - 5

دلفنة قضبان وقطاعات الصلب

دلفنة ألواح الصاج:

تجرى التفرقة بين منشأة دلفنة الصاج السميك والمتوسط السمك والدقيق، حيث ينتج
الصاج السميك والمتوسط السمك بتخانات تتراوح ما بين 3 - 50 مم، وعرض يتراوح من 2
إلى 4 أمتار، وأطوال تصل إلى 40 متر. وتنتج الألواح الدقيقة بصورة أوتوماتية مستمرة في
منشآت متسلسلة للدلفنة على الساخن، ذات سير دلفيني ناقل عريض وقوائم ومكنات دلفنة
وأفران تالدين مرتبة على التوالي كما هو موضح بالرسم التخطيطي بشكل 5 - 6.

ويجرى تشغيل ومراقبة منشآت الدلفنة المتسلسلة من منصات تحكم، باستخدام أجهزة
ومعدات كهربائية وإلكترونية وهيدرولية، يديرها عدد قليل من الفنيين.



شكل 5 - 6 خط دلفنة شريط عريض على الساخن

تمرر كتل الصلب الغفل من الأفران الغاطسة إلى منشآت الدك الأولى، حيث تصهر وتتحول إلى تخانات تتراوح ما بين 100 – 250 مم، وبطول 6 أمتار تقريباً، ثم تسخن في أفران دفعية إلى درجة حرارة الدلفنة وتمرر عبر كسارة للتخلص من قشور الأكسيد الناتجة، ثم تصهر مرة أخرى إلى تخانة قدرها 20 مم تقريباً. ويقوم مقص بقطع النهايات غير المنتظمة للشريط المدلفن كما تقوم غسالة بإزالة قشور الأكسيد المتراكمة على السطح، ثم يمر الشريط المدلفن من خلال خط الدلفنة النهائي للحصول تخانة قدرها 1.6 مم تقريباً. يرش الشريط العريض بالماء لتبريده ثم يلف على بكرة ليصل طوله إلى 600 متر، أو يقطع إلى ألواح وذلك حسب الطلب.

وللحصول على ألواح ذات تخانات أقل (حتى حوالي 0.1 مم)، تعاد دلفنة وصقل أسطح الألواح والشرائط المدلفنة على الساخن في منشآت دلفنة على البارد. ويمكن بالتلدين اللاحق إزالة التصليد الناتج عن التشغيل على البارد.

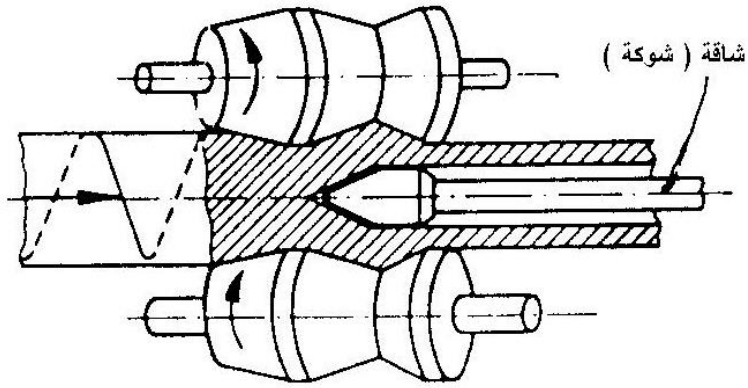
دلفنة الأنابيب:

تصنع أنابيب (الموسير) غير الملحومة، كما تصنع أنابيب بدرزة لحام طولية، وأنابيب أخرى بأقطار كبيرة ذات درزة لحام حلزونية. تتحمل الأنابيب غير الملحومة ضغوطاً أكبر، ألا أن الأنابيب الملحومة أرخص وأكثر استعمالاً من الأنابيب الغير ملحومة. لذلك فقد صممت أساليب مختلفة لإنتاج الأنابيب غير الملحومة بواسطة الدلفنة.

دلفنة الأنابيب غير الملحومة:

تنتج الأنابيب غير الملحومة بدفنها أو بسحبها في درافيل خاصة، ويمكن تلخيص هذه العملية من خلال إعداد عمود أسطواني مصمت، ووضع طرفه بين درفيلين على شكل مخروطين ناقصين، وغير متوازيين بالنسبة لبعضهما البعض، وذلك لعصر العمود الأسطواني الموضح بشكل 5 - 7.

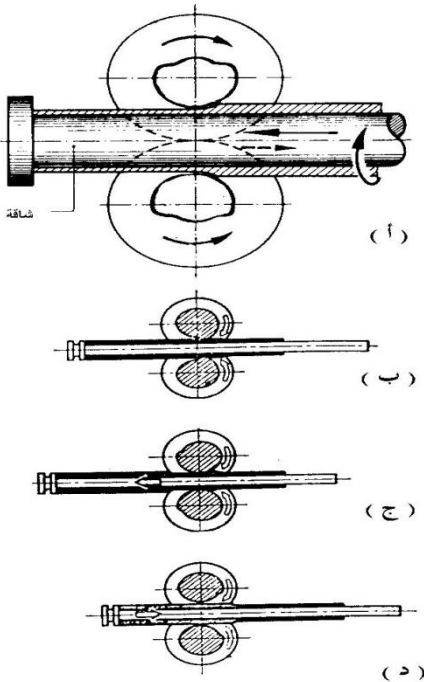
الدرفيلين يدوران في اتجاه واحد، بحيث يتدرج العمود الأسطواني بينهما وينعصر، كما يستخدم بجانب الدرفيلين المذكورين درفيلين آخرين كدليل لتدرج العمود الأسطواني بينهما، يتسبب ميل محاور الدرافيل في الحصول على حركة تغذية أمامية للعمود بجانب الحركة الدورانية، وعلاوة على ذلك تتولد فجوة في العمود بسبب الاختلاف المحوري وعدم توازي محاور الدرافيل أثناء عملية الدرفلة. ومن خلال الفجوة المتكونة يمكن التحكم في أبعادها، وبإدخال شاقعة طرفها الأمامي مخروطي، ينساب معدن العمود على الشاقعة مكوناً أسطوانة مجوفة ذات تخانة سميكة.



شكل 5 - 7

درفلة المواسير

يمكن الحصول على المواسير بأقطار خارجية وداخلية ذات سمك أقل، من خلال درفلتها عدة مرات عن طريق درافيل تدار في اتجاهين متضادين، مع استخدام شاقة بالقطر الداخلي المطلوب كما هو موضح بشكل 5 - 8، وبذلك يمكن الحصول على أنابيب مدلفنة بدون لحام. تتميز هذه المواسير بتحملها للضغوط العالية.



شكل 5 - 8

إنتاج المواسير الغير ملحومة

(ب) عض جزء من طول الماسورة.

(أ) درفلة عند كل شوط رجوع.

(ج) درفلة الطول الذي نم عضه. (د) التمهيد لعض طول جديد.

دلفنة الأنابيب الملحومة:

تصنع الأنابيب الملحومة بدرجة عالية من الدقة بأساليب مختلفة. حيث يتم تحويل شرائط الصلب في منشأة الثني بالدلفنة إلى أنابيب مشطورة، ويلحم الطرفين المتقابلين بالقوس الكهربائي، بين قطبين نحاسيين متدحرجين بأعلى الأنبوب.

بثق المعادن

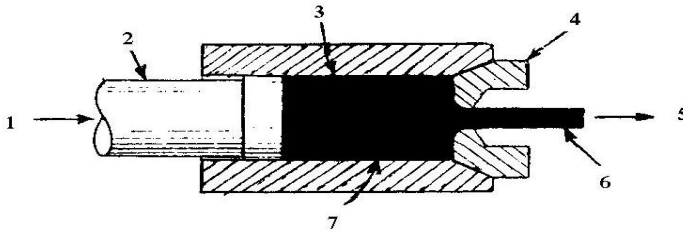
Metals extrusion □

بالإضافة إلى قطاعات الصلب المنتجة بالدلفنة، فإنه يمكن تشكيل المعادن تشكيلاً لَدناً وتحويلها إلى قضبان أو سيقان بقطاعات معقدة وبأشكال مختلفة، مما لا يمكن إنتاجه بالدلفنة، كما يمكن تشكيل المعادن اللاحديدية بهذا الأسلوب.

يسخن الصلب عند بثقهِ إلى درجة حرارة البثق وهي 1250°C ، ويضغط داخل إسطمية مزودة بفتحة تحتوي على شكل المقطع المطلوب إنتاجه، حيث يجبر المعدن الساخن على الخروج من خلال هذه الفتحة كما هو موضح بشكل 5 - 9، ويمكن تشبيه عملية البثق بأنبوبة معجون الأسنان عند الضغط عليها، الذي يؤدي إلى خروج (بثق) المعجون منها. هذا يعني أنها عملية توجيه للمادة المراد بثقها من خلال الضغط عليها لينساب المعدن من فتحة معينة، ويتخذ شكلاً معيناً محدداً.

وقد أصبحت عملية بثق الصلب ممكنة نتيجة لاستخدام الزجاج كمادة تزليق، حيث يوضع قطع زجاجية بين كتلة الصلب والإسطمية، لينصهر الزجاج بتأثير حرارة كتلة الصلب مكوناً غشاء تزليقي دقيق بين جدران الإسطمية والصلب المراد تشكيله، ولا يحتاج بثق المعادن غير الحديدية إلى زجاج كمادة تزليق.

ويمكن إنتاج الأنابيب والقطاعات المجوفة المختلفة الأشكال من خلال استخدام سنبك بالمقاس والشكل الداخلي المطلوب.



شكل 5 - 9
عملية بثق المعادن

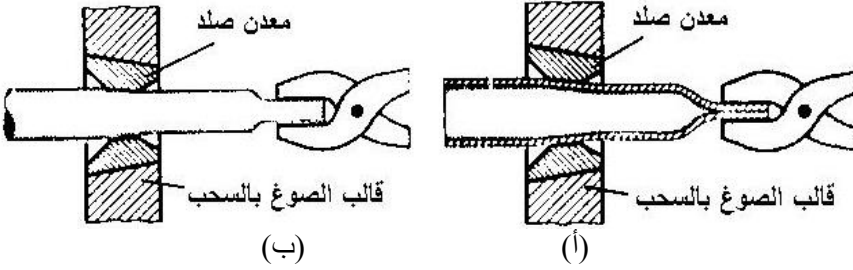
1. اتجاه الضغط على الخامة.
2. كباس.
3. جسم أسطواني.
4. الإسطمية.
5. اتجاه خروج المنتج.
6. المنتج.
7. الخامة الساخنة.

سحب المعادن

Metals drawing

الغرض من عملية سحب المعادن هو اختصار للمقاطع المختلفة، وذلك لتخفيض سمك المعدن وزيادة طوله من خلال جذبه من فتحة إسطمية قطرها الداخلي أصغر من قطر المعدن المراد سحبه شكل 5 - 10، وعادة تتم عمليات السحب من خلال إسطمية واحدة، أو عدة إسطميات تخفيض متدرجة.

تجرى عادة عمليات سحب المعادن على البارد، لذلك ينتج عنها تصلد، وتستخدم عمليات السحب أساسا في إنتاج الأسلاك، بالإضافة إلى المواسير والقضبان ذوات المقاطع المختلفة. المعادن التي تشكل بطريقة السحب هي الصلب، والنحاس الأحمر وسبائكها، والألومنيوم وسبائكها.



شكل 5 - 10

عمليات سحب المعادن

- (أ) سحب القضبان والأسلاك. (ب) سحب المواسير.

خواص واستخدامات الصلب

يمكن تصنيف الأنواع العديدة للصلب المستخدم في التكنولوجيا إلى مجموعتين رئيسيتين هما صلب الإنشاءات وصلب العدة. وتصنف هاتين المجموعتين بدورتهما إلى صلب لا سبيكي وصلب سبيكي منخفض الخلط، وصلب سبيكي عالي الخلط، وتحتوي أنواع الصلب اللاسبيكي على نسبة كربون تتراوح ما بين 0.06 - 1.5%، بالإضافة إلى كميات ضئيلة من

المنجنيز والسيلكون والفسفور والكبريت. وإلى جانب نفس نسبة الكربون تصل نسبة الإضافات السبكية في أنواع الصلب السبائكي منخفض الخلط إلى 5%، أما أنواع الصلب السبائكي عالي الخلط فتتراوح نسبة الكربون فيه إلى ما بين 0.03 — 2.2 ونسبة الإضافات السبكية إلى ما بين 5 إلى 45 %، ولا يمكن في جميع الحالات وضع حد فاصل تماماً بين الأنواع المختلفة للصلب.

صلب الإنشاءات:

يقصد بصلب الإنشاءات.. أنواع الصلب المستخدم في الأغراض الإنشائية أو لصناعة أجزاء المكنات بجميع أنواعها. تبلغ نسبة صلب الإنشاءات أكثر من 90 % من مجموع الإنتاج العالمي للصلب، علماً بأن هناك أنواع من صلب الإنشاءات تستخدم لأغراض المتطلبات العادية الأخرى.

صلب الإنشاءات العام:

أنواع صلب الإنشاءات العام عبارة عن أنواع لا سبكية، تلعب مقاومة الشد لها دوراً حاسماً في استخدامها، علماً بأن مقاومة الشد تزداد بزيادة نسبة الكربون في الصلب، إلا أن ذلك يؤدي إلى انخفاض الانفعال (المطيلة)، أي أن الصلب في هذه الحالة يكون أكثر نقصاً كما تتضاءل قابليته للتشكيل على البارد وعلى الساخن ولحام بالانصهار وللتشغيل بالقطع. للصلب St 34 بنسبة كربون 0.17 % ومقاومة شد تتراوح ما بين 34 — 42 كيلوبوند/مم² وانفعال قدره 28%، وفي مقابل ذلك فإن الصلب St 70 يحتوي على نسبة كربون 0.5 % ومقاومة شد تتراوح ما بين 70 — 85 كيلوبوند/مم² وانفعال قدره 10% فقط. وتتوقف قابلية الاستخدام للصلب بجانب مقاومة الشد على نوع الصلب وخواصه الخاصة، مثل قابليته للتشكيل على البارد وعلى الساخن أو قابليته الجيدة للحام بالانصهار. لذلك يتم توريد الصلب في 3 رتب للجودة.

تخصص أنواع الصلب من الرتبة الأولى مثل St 42 للمتطلبات العامة، ولا تعطى رتبة الجودة في هذه الحالة، ويخصص صلب 2 - St 42 بالرتبة الثانية.. أي للمتطلبات الأعلى، وتكون أنواع الصلب من الرتبة الثالثة للمصبوبات ذات التخميد الخاص وتخصص للمتطلبات الخاصة. وبصفة عامة لا تحتاج هذه الأنواع من الصلب لإجراء أي معالجة حرارية، إلا أنه يتم في حالات خاصة إزالة الاجهاد أو معادلتها حرارياً. ويتم توريد أنواع صلب الإنشاءات بحالة التشكيل على البارد أو الساخن أو كمطروقات.

يستخدم صلب الإنشاءات في الهندسة الميكانيكية في صناعة المحاور – الأعمدة – التروس..... وغيرها، وفي الصناعات البنائية كصلب خرسانة والجسور في الهندسة المدنية.

الصلب سهل القطع:

يتم تشغيل أنواع صلب سهل القطع غالباً على المخارط الأوتوماتية، حيث يكون الرايش (الجزء أو النحاتة) قصير ليناسب الحيز الضيق لهذه الماكينات، ويمكن تقصير الرايش بإضافة كمية مناسبة من الكبريت إلى الصلب.

يحتوي أنواع الصلب سهل القطع على ما بين 0.07 – 0.12 % كربون، وما بين 0.18 – 0.4 % سيلكون، كما يضاف ما بين 0.15 – 0.3 % رصاص للحصول على تقصفية قطع جيدة وأسطح ناعمة لمساء.

وتقوم مصانع الصلب بتوريد صلب سهل القطع مدلفن على الساخن أو على شكل أعمدة مستديرة أو مربعة أو مسدسة أو بشكل ألواح مسطحة.

صلب التصليد الغلافي:

تستخدم أنواع صلب التصليد الغلافي في تجهيز المشغولات ذات الأسطح الصلدة المقاومة للتآكل الاحتكاكي (المقاومة للبلل)، مثال ذلك مسامير الربط والأعمدة والتروس وأجزاء التحكم والتوجيه..... وغيرها من الأجزاء المعرضة للإجهاد والتآكل الاحتكاكي. وتحصل المشغولات على أسطح صلدة بالتغليف، أي بكرينة الطبقة السطحية ثم تصليدها. ولكي يكون قابل للتشكيل، فلا يجوز إن تزيد نسبة الكربون فيه عن 0.2 %، وتعتبر أنواع صلب التصليد الغلافي اللاسيكي وكذلك جميع أنواع فولاذ التصليد الغلافي السبيكي من الأنواع المكررة، التي تمتاز نسبياً عن أنواع الصلب الجيد بتجانس البنية وجودة تشطيب السطح وضآلة نسبة الكبريت والفسفور.

صلب التطبيع:

بواسطة التطبيع.. أي التصليد المراجع في درجة حرارة ما بين 500 – 700 °م، يمكن الحصول على مقاومة عالية للشد ومقاومة عالية للصدم وقابلية للتشكيل. وتصلح هذه الأنواع للأجزاء المعرضة لاجهادات صدمية ودفعية مثل أعمدة المرافق والأعمدة اللامركزية وأعمدة محاور المركبات المختلفة، وكذلك الأجزاء الصغيرة مثل مسامير الربط والبراغي (المسامير الملولة) والبراغي ذات رأس اسطواني مسدس من الداخل.

تتراوح نسبة الكربون في أنواع صلب التطبيق ما بين 0.2 إلى 0.6 %، وتتوقف خواص المتانة لأنواع صلب التطبيق على التركيب الكيميائي، وحالة المعالجة الحرارية لها وكذلك درجة حرارة المراجعة ومساحة المقطع.

صلب النتردة:

يمكن الحصول على مشغولات مصنوعة من أنواع صلب النتردة بصلادة سطحية عالية من خلال إضافة أزوت إلى أسطحها، وتخلط هذه الأنواع بالكروم والموليبدنم والألومنيوم. يستخدم صلب النتردة في أعمدة التجليخ السريعة والمسامير المركبة بالكباسات ومحددات وأجهزة القياس الدقيقة..... وغيرها.

تطبع أنواع صلب النتردة وذلك لرفع درجة قابليتها للتشكيل بالإضافة إلى متانة مادة قلب المشغولة، كما ترتفع قيمة صلابتها السطحية.

صلب النوابض:

يجب أن تكون أنواع صلب النوابض مرنة ومقاومة عالية للشد. ولا تتوقف هذه الخواص على صلب النوابض فقط، وإنما يمكن أيضا تغييرها بصورة محدودة بواسطة المعالجة الحرارية والتشكيل على البارد للأغراض العامة في الهندسة الميكانيكية وصناعة المركبات.

تستخدم أنواع صلب النوابض السبيكي واللاسبيكي المقاومة للحرارة في صناعة صمامات محركات الاحتراق الداخلي، حيث تحتفظ هذه الأنواع بخواص متانة جيدة تصل حتى 500⁰ م، ويمكن أن تبلغ مقاومة الشد للأسلاك المصنوعة من أنواع صلب النوابض غير القابلة للصدأ بأقطار أقل من 0.5 مم بالسحب على البارد دون تصليد أو مراجعة إلى 190 كيلوبوند/مم²، كما تصل الأسلاك الدائرية المقطع المصنوعة من صلب النوابض إلى سبيكي إلى أقطار أقل من 0.25 مم وعلى مقاومة شد تتراوح ما بين 275 — 315 كيلوبوند/مم². ولا تكون هذه المقاومات العالية للشد ناتجة عن التركيب الكيميائي للصلب فحسب، وإنما عن عملية التصنيع بالدرجة الأولى. وتقسم أسلاك النوابض المستديرة المقطع إلى رتب دقة المقاسات A , B , C، حيث يكون الانحراف السماحي عن القطر الأسمى لأسلاك الرتبة A أكبر ما يمكن ولأسلاك الرتبة C أصغر ما يمكن.

الصلب الخاص:

تستخدم أنواع الصلب المقاوم للحرارة في المراحل البخارية وأجهزة تحميص البخار وریش التربينات البخارية والغازية وكذلك صمامات العادم بمحركات الاحتراق الداخلي، حيث يحتفظ بخواص متانته حتى 600°C ومقاومة تكون القشور الأكسيدية حتى 800°C . أنواع الصلب المستخدمة لأنابيب البخار الساخن ذات قابلية جيدة للحام، وتصل مقاومة الشد لأنواع صلب الصمامات السبيكي عالي الخلط المقاوم للتآكل الاحتكاك وللتآكل الكيميائي في درجة حرارة 700°C م نحو 40 كيلوبوند/مم².

يتحمل الصلب المقاوم للحرارة والمستخدم في صناعة صناديق التلدين وفي ورش التصليد درجات حرارة تصل إلى حوالي 1200°C م دون أن يتأكسد سطحه. أما أنواع الصلب الغير قابل الصدأ فأنها لا تصدأ عند تعرضها لرطوبة الهواء والماء ومعظم الأحماض والقويات، ولذلك فأنها تستخدم في الصناعات الكيميائية وفي تصنيع الأوعية والمستودعات وخطوط الأنابيب وأجزاء الماكينات، كما تستخدم أيضاً في صناعات الآلات المستخدمة للأغذية والحلويات.

أنواع الصلب الغير قابل للصدأ يصلح للتشغيل بالقطع أو بدون قطع، وأيضاً للحام بالانصهار وللتلميع عالي البريق.

يتميز هذا الصلب بقابليته الجيدة للسحب العميق والتلميع، كما أنه غير قابل للمغطنة. يستخدم في صناعة أغلفة الساعات والبوصلات، وأدوات المائدة والزخرفة. ويمكن التخلص من التصلد الناتج عن التشكيل على البارد لهذه الأنواع بالتسخين إلى نحو 1000°C م ثم التسخية بالماء، لتكون لينة وقابلة للتشكيل، إلا أنها تكون في هذه الحالة أقل قابلية للتشغيل بالقطع.

ألواح الصلب (ألواح الصاج):

تنقسم ألواح الصلب إلى ألواح بالغة الدقة وألواح بيضاء، وكذلك ألواح دقيقة ومتوسطة وسميكة وألواح خاصة للمراحل، وتتحدد القيم العيارية لمقاسات ألواح الصاج وسمك الألواح وقيمة الانحراف السماحي عن المقاس الأسمى للألواح الدقيقة الأقل من 3 مم، والألواح متوسطة السمكة التي ما بين 3 — 4,75 مم والألواح السمكة الأكبر من 4.75 مم حسب بمواصفات ISO، وتسرى نفس هذه المقاسات العيارية على أنواع صلب المراحل.

تصنع ألواح الصلب (ألواح الصاج) غالباً من أنواع صلب الإنشاءات العام، كما إنها تصنع أيضاً من أنواع صلب التصليد الغلافي أو صلب التطبيع أو الصلب الغير قابل للصدأ.

وتصنع الألواح متناهية الدقة والألواح البيضاء التي تضمها من أنواع الفولاذ اللاسبيكي اللينة بسمك أقل من 0.5 مم، وتزال الشحوم من على أسطح الألواح متناهية الدقة مما يجعلها صالحة للطلاء بالدهان كما تصلح للطباعة، ويمكن كسوة الألواح البيضاء بكسوة قصديرية مجهزة بالصهر أو التحليل الكهربائي.

تجهز ألواح الصاج السميكة أو متوسط السمك غالبا من أنواع صلب الإنشاءات العام كما تصنع من صلب التصليد الغلافي وصلب التطبيع، ويجب أن تكون ألواح صاج المراجل المستخدمة في صناعة أوعية الضغط وخطوط أنابيب الضغط قابلة للحام بالانصهار.

صلب العدة:

يستخدم أنواع صلب العدة في تشكيل مواد التصنيع الأخرى بالقطع أو بدون قطع. ويميز صلب العدة طبقا لتركيبه إلى لا سبيكي وسبيكي عالي الخلط وسبيكي منخفض الخلط. ويصنف صلب العدة بحسب نوع التسقية إلى صلادة بالماء و صلادة بالزيت و صلادة بالهواء، وينقسم صلب العدة حسب نوع الاستخدام إلى صلب تشغيل على الساخن وصلب تشغيل على البارد.

تتراوح نسبة الكربون في صلب العدة اللاسبيكي والسبيكي منخفض الخلط إلى ما بين 0.5 إلى 1.5 %، كما يمكن أن تصل نسبة الكربون في فولاذ العدة السبيكي عالي الخلط إلى 2.2 %.

تستعمل أنواع الصلب التشغيل على البارد في تشكيل مواد تصنيع أخرى بالقطع أو بدون قطع، تحت درجات الحرارة العادية.

يستخدم صلب العدة في صنع أقلام القشط والخراطة والمثاقب ومقاطع التفريز وذكور ولقم القلاووظ، وكذلك عدد القص والتشكيل بالكبس.

يجهز من أنواع صلب التشغيل على الساخن إسطوانات الحدادة والكبس وقوالب الصب بالضغط وإسطوانات البثق وعدد القص على الساخن وغيرها. وتستعمل هذه الأنواع لعمليات القطع بالمشغولات المصنوعة من الصلب والمعادن الخفيفة.

وتعتبر تسميات الصلادة بالماء أو الصلادة بالزيت أو الصلادة بالهواء وسيلة مناسبة لبيان نوع مادة التسقية المستخدمة عند تصليد الصلب.

صلب العدة اللاسبيكي (الصلب الكربوني):

تلعب نسبة الكربون وهي ما بين 0.5 — 1.5 % الدور الحاسم في استخدامات أنواع صلب العدة اللاسبيكي، فترتفع صلادة الصلب بزيادة نسبة الكربون فيه. ويصلد صلب العدة اللاسبيكي عادة في درجة حرارة ما بين 760 — 850 °م.

يستخدم الصلب الكربوني في صناعة أسلحة المناشير وعدد التوربينات، أما صلب العدة فيصلح لصناعة عدد التشغيل بسبب قابليته الجيدة للتصليد، كما يمكن تحويله إلى صلب سرعات عالية.

صلب العدة السبيكي منخفض الخلط:

تصل النسبة الكلية للإضافات السبكية في أنواع صلب العدة السبيكي منخفض الخلط.. وهى الكروم والنجستين والنيكل والموليبدنم والفاناديوم إلى 5 %، وتتراوح درجة حرارة تصليده إلى ما بين 780 — 850 °م، ودرجة حرارة الحدادة ما بين 1100 — 900 °م، إلا أنه يجب مراعاة تعليمات المعالجة الحرارية للشركات الصانعة في كل حالة. وتسمح هذه الأنواع باستخدام سرعات تشغيل بالقطع أكبر من نظائرها في أنواع فولاذ اللاسبيكي، حيث صمودها لقوة القطع ومحافظة على صلابتها إلى درجة حرارة تصل إلى 400 °م.

يستخدم أنواع صلب العدة السبيكي منخفض الخلط في صناعة عدد القص والتخريم والأسطوانات وقوالب الصب بالضغط والحقن والكبس وكذلك أجهزة القياس، كما يستعمل لصناعة المثاقب وعدد قطع البراغي وعدد القص وعدد تشغيل التوربينات ذات الأسنان الدقيقة.

صلب العدة السبائي عالي الخلط:

تدخل في نطاق أنواع صلب العدة السبيكي عالي الخلط جميع أنواع صلب السرعات العالية للتشغيل بالقطع وأنواع صلب التشغيل على الساخن المستخدم لقوالب الحدادة وإسطمبات الكبس وكذلك أنواع الصلب عديم التشوه بالتصليد المستخدم لعدد القص والتشكيل بالكبس، حيث أن درجة حرارة التصليد لهذه الأنواع تتراوح ما بين 920 — 1320 °م ودرجة حرارة مراجعة ما بين 100 — 670 °م، فإنه يجب مراعاة تعليمات المعالجة الحرارية لمصانع الصلب بدقة.

يسمح صلب السرعات العالية بسرعات قطع بأكثر من تلك المسموح بها في الصلب السبائي منخفض الخلط، كما تصل درجة حرارة التشغيل إلى نحو 550 °، وتتراوح درجة حرارة التصليد ما بين 1180 — 1320 °م ودرجة حرارة مراجعة ما بين 530 — 950 °م. وتتزايد صلادة الصلب نتيجة المراجعة إلى هذه الدرجات العالية.

يصلح هذا الصلب بصفة خاصة في أعمال التخشين بسرعات قطع عالية وتشغيله بالقطع بتخانات كبيرة، كما يصلح صلب السرعات العالية بصورة ممتازة لأعمال التخشين والتسوية في المخارط الأوتوماتية والمخارط البرجية، وأيضاً التشغيل على الساخن للإسطمبات الكبس المعرضة لأجهادات عالية، ويتم تصليده في درجة حرارة حوالي 1160 °م ومراجعته في درجة حرارة ما بين 630 – 670 °م.

الأشكال التجارية لأنواع الصلب:

يجرى تداول أنواع الصلب تجارياً بشكل قطاعات عيارية في أغلب الأحيان، حيث تنتج على شكل قطاعات دائرية أو مفلطحة أو مربعة أو سدسة، يمكن تكون مسحوبة على البارد أو مدلفنة على الساخن أو مطروقة، وتنتج قضبان الصلب بأقطار ما بين 1 – 200 مم طبقاً لرتب التجاوز h11 أو h9 أو h8 حسب المواصفات الدولية ISO، وبأطوال تصل إلى 12 متر، وتنتج القضبان الدائرية المقطع مصقولة بالتجليخ برتب تجاوز أدق، مثل h7 و h6، كما ينتج الصلب المسطح ومربع المقطع وسداسي المقطع طبقاً لرتبة h11 حسب المواصفات الدولية ISO، ويتم توريد ألواح الصاج من المصانع بشكل صاج بالغ الدقة أو دقيق أو متوسط السمك أو سميك، أو صاج مراحل أو على شكل أنابيب ملحومة أو غير ملحومة وأسلاك مدلفنة أو مسحوبة، كذلك يمكن توريد قطاعات الصلب مثل الكمرات التي على شكل I , Z , U , T , L بمقاسات مختلفة.

وفي طريقة الصب بالحقن تمزج مع مسحوق الخزف الأكسيدي لدائن حرارية، بحيث تصلح المادة بعد تسخينها للصب.

الباب السابع

المعالجة الحرارية للمعادن

Heat treatment of steel

مَهَيِّدٌ

المعالجات الحرارية تعني المعاملات الحرارية، وهي عمليات تسخين تجرى عادة على المعادن المختلفة وإبقائها عند درجة حرارة ثابتة، ثم تبريدها لغرض إحداث تغيير في البنية الداخلية يتبعه تغيير في الخواص الطبيعية والميكانيكية لهذه المعادن، وبذلك يمكن تقسية المعادن المختلفة وعلى سبيل المثال يمكن رفع درجة صلادة الصلب إلى أربعة أضعاف قيمتها، أو التخمير لتحويل الصلب إلى الحالة الطرية، أو التخمير لغرض التخلص من الاجهادات التي تكون قد وقعت على المشغولات من تأثير الطرق أو السبك أو بعض العمليات الميكانيكية الأخرى، أو لجعله سهل التشكيل أو لتغليف أسطح المشغولات الخارجية بطبقة من صلادة منعا لسرعة التآكل.

يتناول هذا الباب المعالجات الحرارية لأنواع الصلب المختلفة مثل التلدين (التخمير) — التصليد بالتسخين — التصليد بالتقسية — التعتيق — المراجعة — التصليد الغلافي بأنواعه المختلفة.

ويتعرض للمعالجة الحرارية لحديد الزهر مثل إزالة الاجهادات الداخلية من المصبوبات — المعالجة الحرارية لمصبوبات القوالب المعدنية المبردة — التصليد السطحي لحديد الزهر، والمعالجة الحرارية للمعادن الخفيفة بأنواعها المختلفة. كما يتعرض للتآكل الكيميائي وأساليب الوقاية منه.

المعالجة الحرارية

Heat treatment

تهدف المعالجة الحرارية إلى تغيير الخواص الميكانيكية والفيزيائية للمعدن (تغيير التركيب البنائي لمادة التصنيع) للحصول على خواص أخرى لهذه المعادن، حيث نادراً وجود المواد المعدنية بالخواص المطلوبة، وعلى سبيل المثال وجود الحديد لدناً (طرياً) ومن ثم فإنه لا يتحمل الإجهادات المطلوبة، ولا يقاوم البرى بالاحتكاك أو التآكل Corrosion، وكذلك النحاس والألومنيوم رغم جودة توصيلهما للحرارة والكهرباء. إلا أنهما من المعادن الطرية، حيث لا يتحملان الإجهادات ولا يقاوما البرى والتآكل. لذلك نجد الحاجة إلى إكتساب هذه المعادن خواص أخرى مفقودة مثل تحويل المعادن اللينة (الطرية) إلى صلدة، أو تليين الصلد منها، أو إكتساب هذه المعادن مقاومة البرى والتآكل.

المعالجة الحرارية للصلب

Heat treatment of steel

الصلب هو سبيكة من الحديد، وليس من الحديد الغفل أو من حديد الزهر، وتتحد أنواع وخواص الصلب من خلال نسبة الكربون الذي يحتويه.

يجب أن تتصف العدة وأجزاء الآلات بخواص ميكانيكية ملائمة لاستعمالاتها مثل الصلادة – المتانة – استدامة القطع..... إلخ، وعلى سبيل المثال فإنه يجب أن يكون الحد القاطع للأجنة مصلاً كاملاً.. هذا يعني رفع درجة خواص الصلب حتى يمكن إستعماله كأداة قطع كأقلام المخارط ومقاطع التفريز، بينما يجب أن يكون السطح الخارجي لأسنان التروس صلدة ومقاوم للتآكل الاحتكاكي، في حين أنه يجب أن تكون الأسنان مقاومة للحنى، أو تخمير بعض المعادن للتخلص من الإجهادات التي وقعت عليها من تأثير عمليات الطرق والسبك أو بعض العمليات الميكانيكية الأخرى التي أجريت عليه، أو لتحسين قابلية المعادن للتشكيل أو الإنثناء أو لتغليف أسطحه الخارجية بطبقة من الصلب الصلد منعا لسرعة تآكله.

ويمكن تحقيق هذه الخواص المتفاوتة من خلال اختيار مادة التصنيع المناسبة والمعالجة الحرارية اللاحقة واللازمة لذلك.

مقومات بنية الصلب اللاسبيكي:

تتوقف عملية تغيير خواص الصلب اللاسبيكي على نسبة الكربون فيه. وتبعاً لنسبة الكربون تجرى التفرقة بين ثلاثة مجموعات رئيسية من الصلب وهي كالآتي:-

1. **صلب يحتوي على نسبة 0.85٪ كربون:** يحتوي الصلب ذو البنية الجيدة على كمية متوازنة من الفريت (الحديديك) وكربيد الحديد ولذلك فإن بلوراته تكون متماثلة، وتسمى هذه البلورات بالبرليت بسبب مظهرها الشبيه بالصدف في الصورة المجهرية للتركيب المعدني.

2. **صلب يحتوي على نسبة أقل من 86٪ الكربون:** الصلب الذي يحتوي على نسب قليلة من الكربون لا تساعده على تكوين بنية مؤلفة من بلورات البرليت فقط، يؤدي ذلك إلى استمرار وجود الفريت. وتعتبر هذه البنية غير متوازنة وتسمى بالبنية الفريتية البرليتية، وتدعى بلورات الحديد النقي بالفريت.

3. **صلب يحتوي على نسبة أكبر من 0.86٪ الكربون:** الصلب الذي يحتوي على نسبة كبيرة من الكربون، يؤدي إلى بقاء بعض كربيد الحديد (السمنتيت) بعد تكون البرليت، وتعتبر هذه البنية غير متوازنة وتسمى بالبنية البرلنتية السمنتية، وتسمى بلورات الحديد والكربون بالسمنتيت وهي أصلد مكونات بنية الحديد. وبالتبريد البطيء تعود البنية إلى حالتها الأصلية. أما إذا جرى تبريد الصلب الموجود في نطاق الحرارة بصورة فجائية.. أى تسقيته، فإن الصلب لا يتمكن عندئذ من استعادة بنيته الأولى، وإنما يغير بنيته بحيث يتحول الأوستنيت إلى بنية تتراوح بين الأبرية الدقيقة والحبيبية الدقيقة وتكون أصلد عدة مرات من الفريت.

التلدين:

يسمى التلدين في الوسط الفني بالتخمير، ويقصد بتلدين الصلب.. أى تسخينه ببطء إلى درجة حرارة محددة وإبقاؤه عندها لفترة معينة ثم تبريده ببطء سواء داخل الفرن أو بدفنه في الرمل أو تركه في الهواء الراكد. يتوقف نوع التلدين (التخمير) ونتيجته على مراحل درجة الحرارة والزمن المستخدم للعملية.

أساليب التلدين:

يوجد ثلاثة أساليب للتلدين وهي كالآتي:-

1. التلدين المزيل للإجهادات.
2. التلدين اللين.
3. تلدين الموازنة (المعادلة الحرارية).

أولاً: التلدين المزيل للإجهادات:

يعمل التلدين المزيل للإجهادات على تخفيض الإجهادات الداخلية الناتجة عن السباكة أو الدلفنة أو الطرق أو اللحام أو التشغيل بالقطع بقوة كبيرة، حيث تعمل على حماية مشغولات الصلب لفترة تتراوح بين ساعة وساعتين، ثم تبرد ببطء شديد. تتراوح درجات حرارة التلدين لأنواع الصلب اللاسبيكي إلى ما بين 500 – 600 °م، ولأنواع السبيكية منخفضة الخلط إلى ما بين 650 – 700 °م

ثانياً: التلدين اللين:

يعمل التلدين اللين على تليين الصلب المصلد بالحرارة أو بالتشغيل على البارد حتى يكون جيداً للتشغيل، ويتم ذلك بتسخين الصلب عدة ساعات ثم تبريده ببطء. يعالج الصلب اللاسبيكي بالتلدين اللين إلى ما بين 680 – 730 °م، والصلب اللاسبيكي المنخفضة الخلط إلى ما بين 710 – 730 °م، وصلب السبائك العالية الخلط إلى ما بين 800 – 850 °م.

ثالثاً: تلدين الموازنة (المعادلة الحرارية)

يستخدم تلدين الموازنة أو ما يسمى بالمعالجة الحرارية وذلك لتنظيم بنية مشغولات الصلب ذات الحبيبات الخشنة غير المتجانسة والناتجة عن عمليات الحداة أو السباكة أو المعالجة الحرارية كالتصليد الغلافي. وعادة يكفي التلدين لمدة قصيرة لأنواع الصلب السبيكي إلى ما بين 820 – 910 °م. ولأنواع السبيكية منخفضة الخلط إلى ما بين 850 – 920 °م.

أخطاء التلدين:

لا يعطى التلدين في درجات حرارة أقل من اللازم التحول المطلوب في البنية، بل يؤدي إلى عدم تلدين الصلب المصلد بالتشغيل على البارد بشكل كاف. والتلدين في درجات حرارة أعلى من اللازم.. أى التسخين المبالغ فيه يؤدي إلى خشونة حبيبات المعدن، إلا أنه يمكن تصحيح ذلك بإجراء تلدين موازنة (معادلة) لتعود إلى الحبيبات دقتها. كما إن تسخين الصلب الكربوني حتى الإشعاع (الحرارة البيضاء)، يؤدي إلى إحتراقه وبذلك يكون عديم الفائدة.

ويؤدي التلدين لمدة أطول من اللازم عند درجة الحرارة الصحيحة للتلدين إلى تخفيض المتانة بالإضافة إلى تحول حبيبات المعدن إلى حبيبات خشنة، كما يؤدي إلى خطر إزالة الكربنة من الطبقات السطحية نتيجة إتحاد الكربون مع أكسوجين الهواء.

التصليد (التصليد بالتقسية):

يتم تصليد الصلب بالتسخين إلى درجة حرارة التصليد، ثم أبقاء الفولاذ لفترة معينة في درجة حرارة التصليد، ثم تبريده فجائياً (أى تسقيته).

التسخين:

يسخن الفولاذ في البداية ببطء ثم بسرعة حتى يصل إلى درجة حرارة التصليد، ويتم ذلك في فرن الاحتراق المتقدم أو بالتسخين في الفرن اللافع، حيث توضح المشغولات أولاً قريبة من باب الفرن، ثم تدفع بعد تسخينها بشكل كاف إلى المنطقة الساخنة فيه، علماً بأن التسخين الفجائي أو غير المنتظم في بداية العملية يؤدي إلى نشوء إجهادات داخلية في المشغولة، حيث تسخن الأجزاء الرقيقة سريعاً جداً وتتمدد، تسخن الأجزاء السميكة أو الداخلية للمشغولة بمعدل أبطأ، مما يؤدي إلى نشوء إجهادات موضعية عند التصليد بالإضافة إلى تشوه المشغولة.. وهذا ما يسمى التشوه بالتصليد.

ومن ثم فإنه يجب أن يتم التسخين ابتداءً من 700⁰ م وترتفع درجة الحرارة إلى درجة حرارة التصليد بمعدل سريع جداً لتحاى إزالة الكربنة من الطبقات السطحية وعدم تكون حبيبات خشنة.

ولمنع تسخن الأجزاء البارزة والرقيقة الحساسة في المشغولة بصورة فجائية وبصورة غير منتظمة، فإنه يجب استخدام أحجبة واقية مثل شرائط الإيسبستوس، أو الطلاءات أو المعاجين الواقية.

التقسية:

التقسية هي امتصاص فجائي للحرارة، ومنع إعادة تكوين البنية الأصلية. ولا تتوقف الصلادة المطلوبة على نوع الصلب فقط وإنما على معدل التبريد، وبالتالي الوصول إلى الصلادة المطلوبة بسرعة التبريد الحرجة.

يجب أن تتم التقسية بأقل سرعة ممكنة، لمنع نشوء إجهادات داخلية أو تشوهات تصليد على سطح المشغولة، وتتوقف هذه السرعة على نوع الصلب في كل حالة.

يمكن التقسية بالماء بحيث تبلغ درجة حرارة الماء المستخدم 20⁰ م، علماً بأن فعالية وسيط التسقية تزداد حدة عند إضافة ملح الطعام والأحماض، بينما يلطف اللبن الجيري

والجلسرين والزيوت التي تذوب في الماء من هذه الفعالية. كذلك تكون التسقية بالماء الساخن أقل حدة عنها بالماء البارد.

يجب أن تكون درجة حرارة وسيط التبريد لبعض أنواع الصلب أقل من 20° م، لذا يخلط الماء بالتلج أو يستخدم خليط الماء وملح الطعام. علماً بأنه يمكن إنخفاض درجة التبريد لتصل إلى $(70^{\circ}$ م) من خلال استخدام جليد ثاني أكسيد الكربون كوسيط تبريد. ويمكن التسقية بالزيوت، حيث إنها تعتبر أكثر ليونة من الماء. يستخدم لهذا الغرض زيوت معدنية، وقد طورت أنواع من زيوت التصليد لتعطي سرعات تبريد تبلغ نحو ضعف سرعات تبريد الزيوت العادية.

الهواء الساكن يعطى أبداً معدل تبريد على الإطلاق، إلا أنه يمكن الحصول على سرعات تبريد أكبر باستخدام هواء مجفف مدفوع بمروحة.

المراجعة الحرارية:

المراجعة هي إعادة التسخين بعد التصليد، وتهدف إلى إزالة الاجهادات الداخلية الناشئة عن الصلادة، والقصافة العالية للمشغولات. يزداد قابلية الصلب للتشكيل قليلاً أو كثيراً على حسب درجة حرارة المراجعة، كما تنخفض صلابته بمعدل مناظر.

عند المراجعة تظهر على الأسطح المشغولات المصنوعة من الصلب ما يسمى بالألوان المراجعة كما هو موضح بجدول 7 - 1 الخاص بألوان ودرجات حرارة المراجعة الحرارية، حيث يناظر كل لون منها درجة حرارة معينة، وتنشأ ألوان المراجعة عن ازدياد تخانة القشرة الأكسيدية السطحية بزيادة درجة الحرارة، وبالتالي تغير انكسار الضوء على هذه القشرة. وتتم التسقية مرة أخرى عند ظهور لون المراجعة المطلوب، للوصول بالصلب إلى قابليته للتشكيل بالإضافة إلى الصلادة اللازمة حسب الغرض من استخدامه.

جدول 7 - 1

ألوان ودرجات الحرارة اللازمة للمراجعة الحرارية

درجة التصليد	لون المراجعة	درجة حرارة المراجعة °م	الاستخدام
صلد جداً	أبيض مائل للأصفر أصفر فاتح أصفر ذهبي بنى مصفر	200 220 230 240	أدوات القياس البراغل شوك العلام ذكور اللولبة
صلد	أحمر مائل للبنى أحمر أحمر قاتم	250 260 270	المطارق المثاقب الحلزونية الأزاميل
متوسط الصلادة	بنفسجي أزرق داكن أزرق أزرق فاتح	280 290 300 320	ذنب المركزة المفكات السنايك والأجنات الفؤوس والبلط

التعتيق:

يعمل التعتيق (التخزين لمدة طويلة) على تخلص المشغولات من الاجهادات من الداخلية الناشئة عن المعالجة الحرارية دون أن تفقد شيئاً من صلابتها.

تمتد هذه العملية أثناء التعتيق الطبيعي في درجة حرارة الغرفة، لفترة زمنية طويلة تصل إلى 12 شهر. ومن ثم فإنه يجب تخزين المشغولات المصلدة بعد التشغيل الأولى وقبل تشغيلها بالمقاسات النهائية.

يعمل التعتيق الاصطناعي على إزالة الاجهادات في فترة أقل كثيراً من خلال تسخين المشغولات إلى درجة حرارة تتراوح ما بين 100 - 150 °م لمدة 200 ساعة تقريباً، ويمكن الحصول على نفس الفاعلية في وقت أقل، من خلال معالجة المشغولات بالموجات فوق السمعية أو بالرج. وليست المراجعة في واقع الأمر إلا تعتيقاً اصطناعياً.

المعالجة الحرارية لصلب العدة

Heat treatment of tool steel

تتطلب أنواع فولاذ العدة اللاسبيكي، والسبيكي منخفض الخلط، والسبيكي عالي الخلط معالجات حرارية مختلفة، بسبب اختلاف تركيبها الكيميائي، ومن ثم فإنه يجب معرفة نوع الصلب بدقة قبل إجراء العملية الحرارية.

تصليد ومراجعة أنواع صلب العدة اللاسبيكي:

أنواع صلب العدة اللاسبيكي هي أنواع كربونية نقية (مكررة). تتراوح نسبة الكربون فيها ما بين 0.6 – 1.5%.

التسخين:

يتم التسخين إلى درجة حرارة تتراوح ما بين 760 – 850 °م (لون التلدين أحمر فاتم إلى أحمر فاتح).

يحدد لون التلدين (درجة حرارة المراجعة) بصورة تقريبية.. (أنظر جدول 7 – 1 الخاص بألوان ودرجات الحرارة للمراجعة الحرارية)، ويمكن تقدير درجة الحرارة بدقة باستخدام بيرومتر كهربائي حراري أو بيرومتر إشعاع حراري. ويمكن استخدام الطريقة التالية مؤقتاً في حالة عدم توافر تجهيزات لقياس درجة الحرارة وهي كالآتي:-

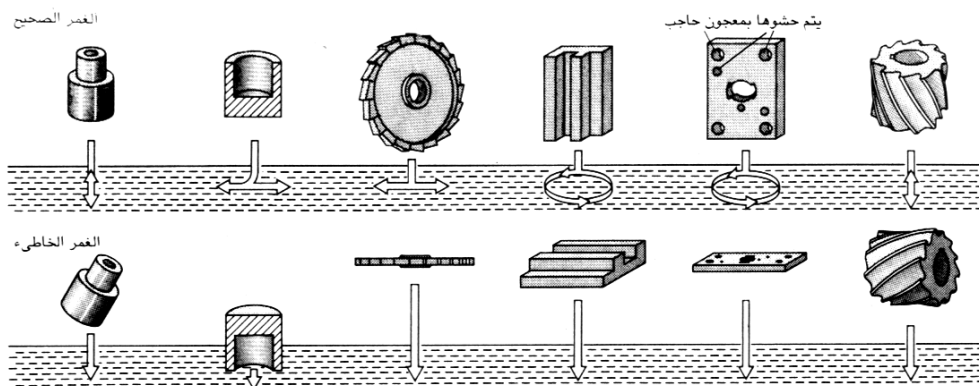
عند بلوغ درجة الحرارة الصحيحة للتصليد، تظهر على أسطح المشغولة بعض البقع الصغيرة الفاتحة التي تدل على اجتياز حد التحول، وعند تسخين مشغولات تحتوى على ثقوب، يظهر عليها لون تلدين أغمق من لون المشغولة نفسها، ومع استمرار التسخين يتماثل لون الثقوب مع اللون الفاتح للمشغولة، وعند بلوغ درجة حرارة التصليد، تظهر الثقوب بلون أقل تفتحاً من لون الأجزاء الأخرى للمشغولة، ومن ثم فإنه يجب اعتبار هذه الملاحظات وسيلة مؤقتة لتقدير درجة الحرارة

التقسية:

التقسية هي التبريد الفجائي، حيث تسقى أنواع الصلب اللاسبيكي في ماء درجة حرارته 20 °م، ويجب أن يتم الغمر في الماء بسرعة.

ويعتبر كل من شكل ونوع المشغولة وطريقة غمرها وتحريكها في سائل التقسية من أهم العوامل المؤثرة على كفاءة التقسية شكل 7 – 1، ومن ثم فإنه يجب غمر المشغولات ذات

الثقوب المسدودة بقاعها أولاً، لكي تتفلت فقاعات الهواء والبخار وتطرد إلى الخارج، حيث تلعب فقاعات البخار الملتصقة على المشغولات دوراً عازلاً للحرارة، كما تؤدي بعض مواضع فقاعات الهواء والبخار إلى عدم تصليد المشغولة، مما يؤدي إلى تبريدها بصورة متجانسة. وتحتاج المشغولات أنبوبية الشكل إلى خطافات وملاقط تصليد مناسبة للامساك بها وغمرها بأسلوب يتيح تدفق سائل التسقية خلالها دون عوائق وبكميات كافية.



شكل 7 - 1

الغمر الصحيح والخاطئ في وسيط التسقية

ملاحظات:

1. تغمر المشغولات في سائل التسقية بأجزائها المصمتة أولاً، كما يجب تحريكها باستمرار وهي مغمورة بالكامل.
2. لا تتصلد المشغولات المصنوعة من أنواع صلب العدة اللاسبيكي ذات المقاطع الكبيرة، وذلك لعدم إمكانية امتصاص الحرارة من الأجزاء الداخلية للمشغولة بسرعة كافية، لذلك تتبع هذه المشغولات قليلاً، ولتلاشي التشوه الناشئ عن التصليد، يفضل تسقية مثل هذه المشغولات بالماء في درجة حرارة قدرها 200°C م، ثم استكمال التبريد تماماً في الزيت، وتعرف هذه الطريقة بالتصليد التجزيئي.

المراجعة:

يجب أن تتم المراجعة بقدر الإمكان بعد التصليد مباشرة، علماً بأن أنواع صلب العدة اللاسبيكي تراجع في درجة حرارة تتراوح ما بين $220 - 320^{\circ}\text{C}$ م، يلي ذلك التبريد النهائي في الماء، ويؤدي ذلك إلى زيادة قابلية المعادن للتشكيل وتحويل الصلادة الهامدة إلى صلادة عملية، وإذا كان المطلوب إزالة الاجهادات الداخلية للصلب فقط، فإنه يتكفى بمراجعة

في درجة حرارة تتراوح ما بين 100 – 200 °م، ويمكن بواسطة ألوان المراجعة (نظر جدول 7 – 1 الخاص بالألوان ودرجات حرارة المراجعة الحرارية) تقدير درجات حرارة المراجعة الواقعة بين 220 – 320 °م. ويفضل تلميع أسطح المشغولات المراد مراجعتها، لكي تظهر ألوان المراجعة بصورة جيدة.

وإذا كان المطلوب تصليد المشغولة في موضع معين فقط، فإن المراجعة يمكن أن تتم بالحرارة الذاتية للمشغولة، وأقرب مثال لذلك هو تبريد الحد القاطع لأجنة مصنوعة من الصلب اللاسبيكي عند التصليد، حيث تختزن ساق الأجنة حرارة تكفي لمراجعة الحد القاطع، دون الحاجة إلى تسخينه من جديد، وفي هذه الحالة تتدفق الحرارة إلى الحد القاطع وتسخنه إلى درجة حرارة المراجعة المطلوبة، وتسمى هذه الطريقة بالمراجعة من الداخل أو المراجعة الذاتية، وتسمى المراجعة بمصدر حراري خارجي بالمراجعة من الخارج، وهي التي يمكن أن تتم في رمل ساخن أو على سطح محمي أو داخل فرن التصليد بعد أبطال تشغيله، أو على لهب مشعل (بوري) اللحام أو في أفران مراجعة خاصة مزودة بمغاطس زيتية أو ملحية.

مغاطس المراجعة:

تتميز مغاطس المراجعة بإمكانية التحكم التنظيمي لدرجة الحرارة ومراقبتها بدقة، كما أنه ليس من الضروري تلميع المشغولات قبل مراجعتها. جدول 7 – 2 يوضح نطاق استخدام حمامات المراجعة الملحية والمعدنية.

جدول 7-2

نطاق استخدام حمامات المراجعة الملحية والمعدنية

نطاق الاستخدام °م	نقطة الانصهار °م	التركيب الكيميائي
870 – 180	500 – 160	حمامات ملحية
900 – 350	327	حمامات رصاصية
500 – 200	180	حمامات رصاصية قصديرية

تصليد ومراجعة أنواع صلب العدة السبيكي منخفض الخلط:

تحتوي أنواع صلب العدة السبيكي منخفض الخلط على نسبة كربون ما بين 0.8 – 1.7%، بالإضافة إلى نسب من المكونات السبيكية مثل الكروم والتجستن والنيكل والموليبدنم والفاناديوم، بحيث لا تتجاوز نسبة هذه المكونات مجتمعة 5%.

التسخين:

تسخن أنواع الصلب وفقاً لتركيبها الكيميائي، إلى درجة حرارة تصليد تتراوح ما بين 780 – 850 °م. (ألوان التلدين من الأحمر القاتم إلى الأحمر الفاتح).

التسقية:

تسقى أنواع الصلب في الزيت وأحياناً في الماء أو بالمغسطس الساخن الذي يسمى أيضاً بالتصليد المرحلي.. أو في تيار من الهواء المضغوط الجاف التي تسمى بالمصلدات بالهواء. تتراوح درجة حرارة التسقية عند التصليد في المغسطس الساخن ما بين 400 – 600 °م، ثم يبرد الصلب في هواء ساكن إلى درجة حرارة الغرفة، وتتصلد أنواع الصلب السبائكي عالي الخلط بصورة كلية. تمتاز هذه الطريقة بعدم ظهور تشوهات بالمشغولات أو بوجود تشوهات بسيطة جداً تكاد يكون معدوماً.

المراجعة:

تتوقف درجة حرارة المراجعة لأنواع صلب العدة السبائكي عالي الخلط على تركيبها الكيميائي وأسلوب التسقية. تتراوح درجة حرارة المراجعة لأنواع صلب السرعات العالية ما بين 530 – 600 °م، كما هو الحال في أنواع الصلب اللاسبيكي منخفض الخلط وإنما تزداد الصلادة بالمراجعة، ويمكن تفسير هذه الظاهرة إلى أن أثر التسقية في الأنواع السبائك العالية الخلط يكون حاداً للغاية بسبب الارتفاع الشديد في درجة حرارة التصليد، بحيث لا تجد المكونات السبيكية وقتاً كافياً لتنظيم بنيتها المتشكلة أثناء التصليد، وإنما يتم ذلك بالمراجعة اللاحقة، وتسمى هذه العملية بعملية التصليد بالترسيب.

تصليد ومراجعة أنواع صلب العدة السبيكي عالي الخلط:

تحتوي أنواع صلب العدة السبيكي عالي الخلط على أكثر من 5% من المكونات السبيكية، وتتراوح نسبة الكربون فيها ما بين 0.3 – 2.2%، كما تحتوي على نسبة تصل إلى 18% من التجستن، 11% من الكوبالت، مع إضافات من الموليبدنم والكروم والفاناديوم.

التسخين:

تتراوح درجة حرارة التصليد ما بين 950 – 1200 °م، كما تصل في حالة صلب السرعات العالية إلى 1300 °م.. (ألوان التلدين أحمر مائل للأصفر إلى الأبيض المائل للأصفر).

يراعى إتباع دور الصناعة المنتجة بشأن درجات الحرارة المعطاة.

المعالجة الحرارية لأنواع صلب الإنشاءات

المعالجة الحرارية لأنواع صلب الإنشاءات الذي يحتوي على الكربون بنسبة تتراوح ما بين 0.1 – 0.6 % تشتمل على عمليتين أساسيتين هما.. التصليد السطحي والتطبيع.

التصليد السطحي:

يجرى التصليد السطحي عندما تتطلب المشغولة سطحاً صلباً مقاوماً للتآكل الاحتكاكي وأقرب مثال إلى ذلك هو من أمثلة ذلك جوانب أسنان التروس.

هناك أسلوبان للتصليد السطحي هما كالآتي:-

1. تحديد مواضع وجود الكربون في المناطق المطلوب تصليدها بالصلب الغير قابل

للتصليد. يسمى هذا الأسلوب بالتصليد الغلافي أو التصليد بالنفخة:

2. تصليد الطبقة الخارجية للصلب القابل للتصليد. يسمى هذا الأسلوب بالتصليد باللهب

أو التصليد بالغمر أو التصليد بالحث.

التصليد الغلافي:

يتناسب التصليد الغلافي لأنواع الصلب اللاسبيكي الذي يحتوي على نسب ضئيلة من الكربون تتراوح ما بين 0.1 – 15%، كما يتناسب مع الأنواع السبيكية ذات النسب المنخفضة من المنجنيز أو الكروم أو النيكل والتي تصل نسبة الكربون فيها إلى 2 %، ولتصليد أسطح هذه الأنواع (تصليد طبقاتها الخارجية) فإنه يجب إضافة الكربون إليها باستخدام مواد مطلقة للكربون، قد تكون هذه المواد صلبة أو سائلة أو غازية.

وتتم الكربنة السطحية (إضافة الكربون على الأسطح) في صناديق التصليد الغلافي، أو

في مغاطس التصليد الغلافي أو مغاطس السمنت أو في وسط غازي.

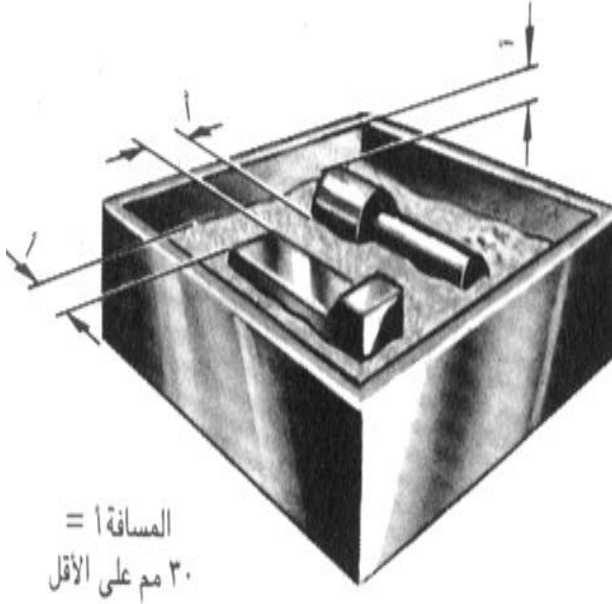
التصليد الغلافي بالصناديق (السمنتة):

تجرى كربنة أنواع الصلب ذات نسب الكربون المنخفض في وسط مانح للكربون، ثم تصليدها بعد ذلك. تعرف عملية الكربنة.. بالشحن بالكربون أو بالسمنتة.

تغلف المشغولات محاطة بوسيط التصليد الغلافي في صناديق حديدية يحكم إغلاقها بالطفل أو بمعجون مع ترك مسافة بين المشغولات وبعضها، وبين المشغولات وجوانب الصندوق لا تقل عن 30 مم كما هو موضح بشكل 7 - 2، بحيث لا تسمح المسافات الصغيرة بانطلاق كمية كافية من غاز الإستصباح أو غاز الميثين أو غاز أول أكسيد الكربون، مما يجعل عمق التصليد الغلافي في تلك المواضع أقل منه في المواضع الأخرى، ويسخن الصندوق لمدة معينة في درجة حرارة تتراوح ما بين 860 - 930 °م.. وفقاً لعمق التصليد المطلوب، لتتغلغل ذرات الكربون الموجود في وسيط التصليد الغلافي إلى الطبقة السطحية للمشغولة.

ويمكن أن تكون الوسائط المستخدمة جافة مثل فحم الكوك، أو بسائط سائلة مثل سيانيد البوتاسيوم أو سيانيد الصوديوم

تتراوح تخانة الطبقة الكربنة (السمنتة) إلى ما بين 0.15 - 1.8 مم، عند التسخين لفترة تتراوح ما بين 1 - 10 ساعات. ويمكن وصول التصليد إلى عمق يصل إلى 5 مم بعد فترة كربة طويلة. جدول 7 - 3 أعماق التصليد الغلافي في الصناديق لأنواع الصلب السبيكي واللاسبيكي.



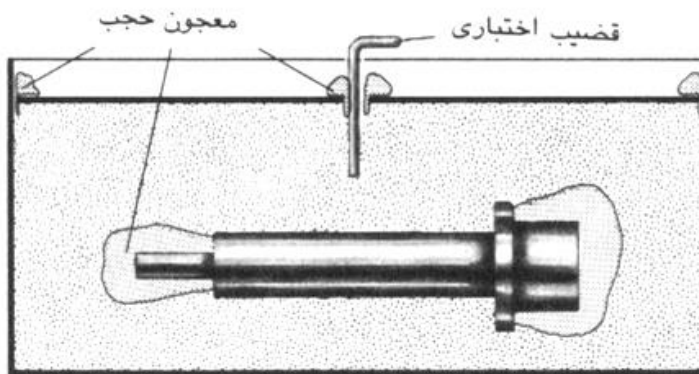
شكل 7 - 2
التصليد الغلافي في
الصناديق

جدول 3-7
أعماق التصليد الغلافي في الصناديق
لأنواع الصلب السبيكي واللاسبيكي

عمق التصليد بالمليمتر				زمن التصليد بالساعات
في درجة حرارة تليدين قدرها 930 °م		في درجة حرارة تليدين قدرها 860 °م		
سبيكي	لاسبيكي	سبيكي	لاسبيكي	
0.5	0.3	0.25	0.15	
1.3	1.2	1.0	0.8	5
1.8	1.5	1.5	1.2	10

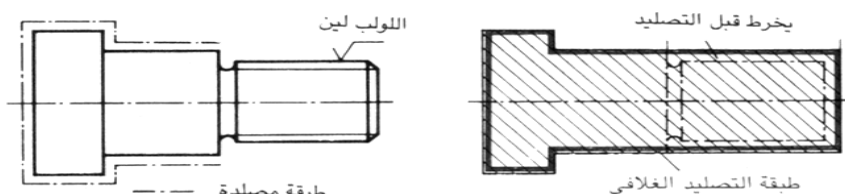
تستخدم كوسائط تصليد غلافي في الحالة الصلبة خلائط من فحم الخشب مع كربونات الباريوم أو فحم العظام أو فحم الجلود، وهى متوفرة تجاريا بشكل جاهز للاستخدام، وتصبح البنية خشنة الحبيبات نتيجة للتسخين الطويل، ويمكن إزالة هذا العيب بمعادلة الصلب حراريا.. أي إعادة تنظيم بنيته.

وإذا كان المطلوب هو إجراء كربنة سطحية لأجزاء معينة فقط من المشغولة، فإنه يجرى تغطية الأجزاء التي يراد تصليدها بمعجون خاص شكل 3-7 أو تغليفها بالنحاس.



شكل 3 - 7
طريقة الحجب

ويمكن تشطيب المشغولات في المواضع التي لا يراد تصليدها غلافياً بمقاسات أكبر من اللازم بقليل كما هو موضح بشكل 4 - 7، ثم إزالة الطبقة الكربنة بعد التصليد الغلافي مرة أخرى، بحيث تظل هذه المواضع لينة أثناء التصليد اللاحق. وتسخن المشغولات التي تم تصليدها غلافياً بالصندوق من جديد، ثم تسقى في الماء أو الزيت، وتتم المراجعة في درجة حرارة تتراوح ما بين 150 - 200 °م.



شكل 4 - 7

طريقة المقاسات الزائدة

التصليد الغلافي بالحمامات السمنتية:

غالبا تستخدم المصهورات الملحية التي تحتوي على كربون وذلك لغرض الكربنة السطحية أيضاً، مما يتيح تسخيناً فجائياً وكربنة سطحية سريعة.

التصليد الغلافي في وسط غازي:

يستخدم غاز الاستصباح أو غاز الاستيلين أو غاز البروبان أو غاز البوتان في تصليد المشغولات المصنوعة من الصلب، تعتبر هذه الطريقة من أسهل الطرق كما إنها نظيفة للغاية.

توضح المشغولات المراد تصليدها في وعاء مغلق بإحكام ويسخن بمحتوياته إلى درجة حرارة تتراوح ما بين 850 - 900 °م، ثم يدفع الغاز إلى الوعاء ليتغلغل الكربون الموجود في غاز أول أكسيد الكربون إلى الطبقات السطحية للمشغولات، يمكن بهذه الطريقة حساب عمق التصليد الغلافي بسهولة ودقة.

يتميز التصليد الغلافي بهذه الطريقة بعدم وجود قشور أكسيدية على أسطح المشغولة، كما يكون التصليد بالكربنة السطحية متجانسة للغاية. وتتم المعالجة الحرارية اللاحقة كالمعتب بطرق التصليد الغلافي السابق ذكرها.

خطوات التصليد الغلافي:

يمكن الحصول على تصليد غلافي بالكربنة السطحية، حيث تحصل الطبقة الخارجية للمشغولات على بنية مختلفة عن قلبها، ويؤدي ذلك عند التسقية إلى نشوء إجهادات داخلية،

وإذا كان على المشغولة أن تفي بمتطلبات أعلى، فإنه يجب أن يتم إجراء تلدين مرحلي أو تصليد مزدوج لها.

فيما يلي جدول 7 - 4 الذي يوضح العمليات الخارجية والداخلية أثناء التصليد المزدوج المصحوب بمعادلة القلب وتلدين مرحلي للصلب الكربوني، و جدول 7 - 5 الذي يوضح الأخطاء المحتملة أثناء التصليد الغلافي.

جدول 7 - 4

التصليد المزدوج والتلدين المرحلي للصلب الكربوني

العملية الداخلية	العملية الخارجية
كربنة الطبقة الخارجية.	التصليد الغلافي في مسحوق عند درجة حرارة قدرها 880 - 930 °م. تعمل درجة الحرارة العالية على تخفيض من فترة التصليد الغلافي.
موازنة الاجهادات عند الحدود الفاصلة بين البنية السطحية وبنية القلب (حببيات البنية خشنة في الطبقة السطحية والقلب).	تترك المشغولات لتبرد في الصندوق ببطء.
تنظيم بنية النواة وإعادة دقة حبيباتها.	التسخين إلى درجة حرارة تتراوح ما بين 880 - 930 °م.
الاحتفاظ بدقة حبيبات النواة.	التسقية في ماء درجة حرارته 20 °م.
موازنة الاجهادات من جديد عند الحدود الفاصلة بين البنية السطحية وبنية القلب.	تلدين مرحلي في درجة حرارة تتراوح ما بين 650 - 680 °م ثم التبريد البطيء في الفرن.
إعادة ترتيب البلورات ودقة الحبيبات وتصليد الطبقة الخارجية.	تسخين فجائي إلى درجة حرارة تتراوح ما بين 780 - 800 °م، ثم التسقية في ماء درجة حرارته 20 °م.
مراجعة القلب.	المراجعة إذا استدعى الأمر إلى درجة حرارة تتراوح ما بين 150 - 175 °م لمدة ساعة واحدة.

جدول 5-7

الأخطاء المحتملة أثناء التصليد الغلافي

الخطأ المكتشف	أسبابه
طبقة التصليد الغلافي ليست عميقة بالقدر المطلوب اللازم.	قصر مدة التسخين أو انخفاض درجة حرارة التلدين.
امتصاص الكربون لا يتم في بعض المواضع.	وجود بقع من الصدأ أو الشحم على سطح المشغلة.
امتصاص الكربون يتم بصورة غير متجانسة.	قصر المسافة بين المشغولات بعضها في صندوق التصليد الغلافي أكثر من اللازم، أو عدم انتظام وتجانس التركيب الكيميائي لوسيط التصليد الغلافي.
تقشر طبقة التصليد الغلافي.	وجود نسبة عالية من الشوائب كالفسفور أو الكبريت في الصلب أو سوء نوعية وسيط التصليد الغلافي.

التصليد بالنتردة:

التصليد بالنتردة أو التصليد بالتأزيت.. يعني التصليد باستخدام الأزوت (النروجين) في عملية التصليد السطحي، حيث يخترق الأزوت سطح المشغلة المصنوعة من الصلب، لتتكون في الطبقة الغلافية مركبات للحديد والأزوت تسمى بالنتريدات، يؤدي ذلك إلى تصليد الطبقة الغلافية دون الحاجة إلى تسقيتها.

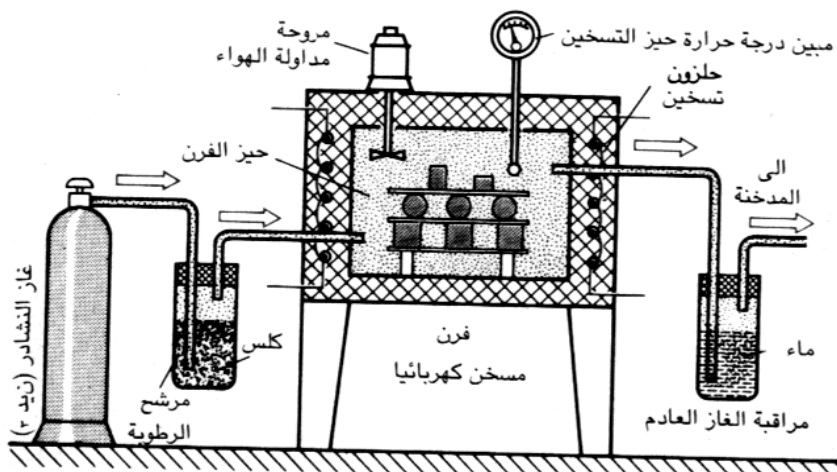
تتميز عملية التصليد بالنتردة للمشغولات المصنوعة من الصلب صلادة تفوق بكثير الصلادة الناتجة بالكربنة السطحية، إلا أن من أهم عيوب هذه الطريقة هو عمق التصليد الذي لا يتجاوز بضعة أعشار من المليمتر.

توجد النتردة بأسلوبين للتصليد هما النتردة بالغاز والنتردة بالغمر.. فيما يلي عرض كل منهما على حدة.

النتردة الغازية:

توضع المشغولة في طريقة النتردة الغازية في فرن كهربائي كما هو موضح بشكل 7 - 5 عند درجة حرارة تتراوح ما بين 500 - 520 °م، وتعرض لتيار من غاز النشادر لمدة تتراوح ما بين 12- 96 ساعة، حيث يتغلغل الأزوت الموجود في غاز النشادر إلى الطبقات

الخارجية للمشغولة، وعند الرغبة في تصليد بعض المواضع بالمشغولة، فإنه يتم قصدرتها أو تغطيتها بمعجون خاص، ولا يصلح الطفل في هذه الحال للاستخدام لأنه منفذ للأزوت. يمكن استخدام طريقة النتردة الغازية للتصليد الغلافي للمشغولات الطويلة، مثل الأعمدة وأعمدة المحاور بالغاز من خلال تعليقها حرة في أفران ذات درجة حرارة عالية. تصلح النتردة بالغاز لأنواع الصلب السبيكي الذي يحتوي على الكروم والألومنيوم فقط.



شكل 5 - 7

تجهيزة النتردة

النتردة بالغمر:

هي عبارة عن غمر المشغولات المصنوعة من الصلب في حمامات ملحية تحتوى على السيانيد (سيانيد البوتاسيوم وسيانيد الصوديوم)، ولعدم تبلور الملح المنصهر فإنه يجب تسخين المشغولات مسبقاً، ثم تغمر بالحمام الساخن في درجة حرارة تتراوح ما بين 500 - 550 °م، وتترك لمدة تتراوح ما بين 10 - 90 دقيقة، ثم تبرد المشغولات في هواء ساكن وتشطف بالماء.

يناسب أسلوب التصليد السطحي بالنتردة بالغمر لأنواع صلب الإنشاءات السبيكية واللاسبيكية، وأنواع الصلب المقاوم للصدأ والمقاوم للأحماض، وكذلك الحديد المبلد

مميزات أسلوب التصليد السطحي بالنتردة بالغمر:

يتميز أسلوب التصليد السطحي بالنتردة بالغمر عن الأساليب الأخرى للتصليد السطحي بالآتي:-

1. زيادة عمر عدد التشغيل (زيادة الفترة التشغيلية لعدد التشغيل) المصنعة من أنواع صلب السرعات العالية أو لأنواع صلب التشغيل على الساخن بدرجة كبيرة.
2. انخفاض درجة حرارة المعالجة الحرارية نسبياً إلى ما بين 500 – 520 °م.
3. عدم الحاجة إلى تسقية المشغولات، وبالتالي عدم تشوهها والحصول على أكبر صلادة ممكنة للصلب والحديد الزهر.
4. ثبات الصلادة عند درجة حرارة 500 °م أو أكثر بما يسمى باستدامة الصلادة.
5. إمكانية تشطيب الأجزاء بصورة نهائية قبل نتردتها لعدم تقشر الطبقة السطحية.
6. عدم ازدياد حجم المشغولة بدرجة محسوسة.
7. الحصول على صلب ذات تزييق ممتاز مع إرتفاع مقدار الصمود للنحر أو التآكل بين الأسطح المنتردة.

يستخدم التصليد بالتردة بالدرجة الأولى لأجزاء المكينات المعرضة لدرجات حرارة تشغيل عالية، والتي يجب أن تكون صمودة للتآكل الكيميائي والتآكل الاحتكاكي والكلال فى نفس الوقت.

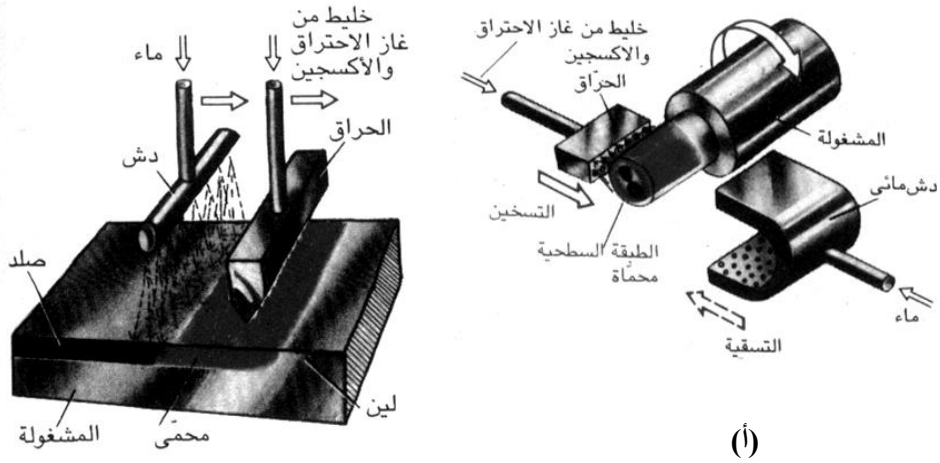
التصليد باللهب:

يتم التصليد باللهب بتسخين الطبقة السطحية للمشغولة باللهب غاز الاستصباح أو لهب من غازي الأكسجين والأستيلين إلى درجة حرارة التصليد فى وقت قصير جداً، ثم تسقى المشغولة بالماء، وذلك قبل وصول الحرارة إلى الطبقات الداخلية للمشغولة.. مما يؤدى إلى تصليد السطح فقط بينما يبقى القلب ليناً.

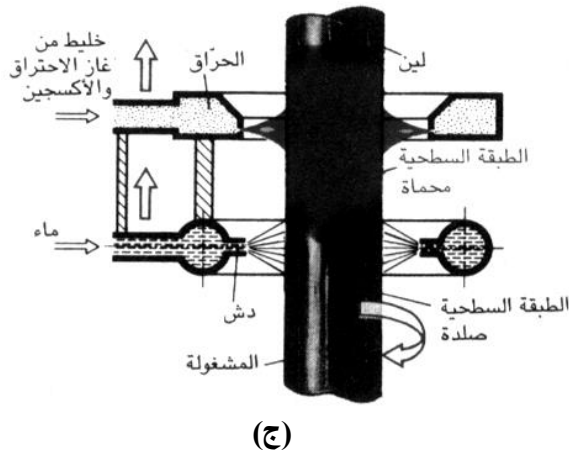
أنواع التصليد باللهب:

- يميز التصليد باللهب بعدة أساليب للتصليد كما هو موضح بشكل 7 – 6 وهي كالآتي:-
1. التصليد الدائري.
 2. التصليد الخطي.
 3. التصليد الحلزوني.
- يستخدم التصليد باللهب فى أحوال كثيرة ماكينات تصليد خاصة، حيث تعمل على هذه الماكينات على تصليد العديد من العدد، وعلى سبيل المثال تصليد التروس — أعمدة المحاور — المسامير — الأعمدة..... وغيرها. تتوقف تخانة طبقة التصليد على مدة تعرض المشغولة لتأثير اللهب.
- يمكن فى التصليد الخطى والحلزوني التحكم تنظيمياً فى مدة تعرض المشغولة لتأثير اللهب بتحريك لهب المشعل أو المشغولة بسرعة منتظمة. ويتناسب عمق التصليد عكسياً مع سرعة التغذية.

يناسب للتصليد باللهب أنواع الصلب السبيكي الذي يحتوي على نسبة من الكربون تتراوح ما بين 0.35 – 0.70 %، وأنواع صلب الإنشاءات ذات النسب السبيكية الضئيلة من الكروم والمولبدنم التي تتراوح نسبة الكربون فيها ما بين 0.30 – 0.50 %.



(ب)



(ج)

شكل 6 - 7

أنواع التصليد باللهب

(أ) التصليد الدائري. (ب) التصليد الخطي. (ج) التصليد الحلزوني.

التصليد بالغمر:

التصليد بالغمر عبارة عن تسخين الطبقة الخارجية للمشغولة إلى درجة حرارة التصليد بغمرها في حمام ملحي متعادل، بحيث يكون التسخين سريعاً جداً ومتجانساً. يتم ذلك بمعزل عن الهواء.

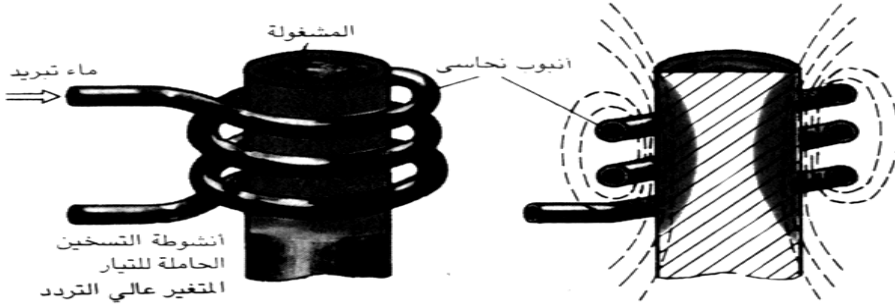
تسمح طريقة الغمر بتسخين المشغولة جزئياً، وبالتالي تصليدها جزئياً أيضاً، وتسحب المشغولة من الحمام الملحي قبل تغلغل الحرارة إلى قلبها، وتغمر في حمام تسقية. التصليد بالغمر ينافس نفس أنواع الصلب الصالح للتصليد باللهب.

التصليد بالحث:

عند التصليد بالحث لا يتم تسخين المشغولات من الخارج، وإنما توليد الحرارة بواسطة تيارات دوامية مترددة عالية التردد شكل 7 - 7، حيث تسرى إلى الطبقة السطحية للمشغولة، ويقوم التسخين على مبدأ المقاومة بالتيار المتغير، بحيث لا تتأثر المشغولات أثناء عملية التصليد بالمغنطة في بلورات الطبقة السطحية للمشغولة.

ويمكن عند الرغبة حجب المجال الحثي بالصورة المطلوبة لإجراء تصليد جزئي، ويمكن ضبط عمق التسخين بدقة من خلال التحكم في تردد التيار الحثي، حيث يصغر العمق بازدياد التردد الذي يتراوح ما بين 4000 - 400000 هرتز، ويتكون ملف التسخين من أنبوب نحاسي غالباً، يلف حول المشغولة بصورة مطابقة لشكلها، بحيث يبعد عن سطحها بمسافة تتراوح ما بين 1 - 1.5 مم.

تسقى المشغولات في حمام مائي أو حمام زيتي بعد تسخين طبقاتها الغلافية بالحث، وتتم التسقية في تجهيزات التصليد الحثي الأوتوماتي من خلال دش من الماء المضغوط، هذا الدش مركب بعد موضع التسخين مباشرة. ونظراً لعدم تمكن الحرارة من التغلغل إلى الطبقات الداخلية للمشغولة، فإن السطح يتصلد بينما يبقى القلب ليناً.



شكل 7 - 7 التسخين بالحث الكهربائي

ولموازنة الإجهادات تراجع المشغولات بعد التصليد بتسخينها إلى درجة حرارة تتراوح ما بين 150 – 200 °م.

التصليد بالحث الكهربائي يناسب نفس أنواع الصلب اللاسبيكي والصلب السبيكي منخفض الخلط.

وعلى الرغم من التكاليف الباهظة لتجهيزات التصليد بالحث الأوتوماتية ونصف الأوتوماتية الموجودة ضمن خطوط الإنتاج، فإن سهولة استخدامها وانخفاض فترة التسخين وإمكانية الضبط الدقيق لعمق التصليد تجعلها اقتصادية، وخاصة لحالات التصليد بالجملة.

التطبيع:

التطبيع عبارة عن تصليد يتبعه مراجعة في درجات حرارة عالية، ولا تهدف هذه المعالجة إلى التصليد، وإنما للحصول على بنية دقيقة الحبيبات، عالية المتانة.

يستخدم لهذا الغرض ما تسمى بأنواع صلب التطبيع، وهي أنواع تتراوح نسبة الكربون فيها ما بين 0.22 – 0.60 %، والتي تحتوى على مكونات سبكية مثل السليكون أو المنجنيز أو الكروم أو الموليبدنم، وفي بعض الأحيان الفاناديوم والنيكل.

تجرى لأنواع صلب التطبيع، التي تشوهت بشدة نتيجة لعمليات مثل الحدادة أو تخشين السطح، معادلة حرارية يتبعها تشغيل أولى ثم تطبيع قبل تشغيلها بالمقاسات النهائية.

تسخن أنواع صلب التطبيع عند تصليدها إلى درجة حرارة تتراوح ما بين 100 – 820 °م ثم تسقى في الماء أو الزيت، وتتم المراجعة إلى درجات حرارة ما بين 530 – 670 °م.

وعلى الرغم من انخفاض الصلادة بشدة نتيجة لهذه العمليات، إلا إنها تؤدي في الوقت نفسه إلى زيادة المتانة ومقاومة الصدم بصورة كبيرة.

تطبع عادة أجزاء الماكينات المعرضة للإجهادات العالية، مثل المحاور وأعمدة المرفق وأذرع التوصيل وغيرها.

المعالجة الحرارية لحديد الزهر

تهدف المعالجة الحرارية لحديد الزهر إلى تغيير بنية مادة التصنيع عن طريق التسخين، كما هو الحال بالصلب، وذلك للحصول على خواص عديدة أخرى.

إزالة الإجهادات من المصبوبات:

بتبريد مصبوبات القوالب المعدنية والقوالب الرملية داخل القالب، تنشأ إجهادات داخلية تسبب تشوه المصبوبات أو تشددها عند تمام تبريدها أو تشغيلها بالقطع لاحقاً، وتزول هذه

الإجهادات بمرور الزمن عند تخزين المصبوبات لمدة طويلة بما يسمى بالتعتيق الطبيعي فى العراء ما بين 7 — 18 شهر قبل تشغيلها بالقطع، ويمكن فى حالة المصبوبات الصغيرة إزالة الإجهادات بالتعتيق الاصطناعي فى فرن تصل درجة حرارته إلى 300 °م، ويمكن إزالة الإجهادات فى المصبوبات الكبيرة من خلال رجها لمدة تتراوح ما بين 8 — 25 ساعة.

المعالجة الحرارية لمصبوبات القوالب المعدنية المبردة:

عند صب حديد الزهر فى القوالب المعدنية المبردة تنتج مصبوبات ذات أسطح أكثر نعومة ومقاسات أكثر استقرارا من مصبوبات القوالب الرملية، وتؤدى التسقية إلى فصل كمية ضئيلة فقط من الجرافيت، بينما يبقى الكربون متحداً بشكل كربيد حديد منتجاً مادة صلادة سيئة التشغيل وقليلة التخميد للذبذبات، ولفصل الجرافيت لاحقاً، تلدن المشغولات فى فرن تلدين بعد تجمدها فى القالب المعدني المبرد، بينما تمرر المشغولات خلال أنفاق تلدين فى حالة خطوط الإنتاج المستمر للكميات كبيرة.

التصليد السطحي للحديد الزهر:

لتخفيض التآكل الاحتكاكي لمسارات الدلائل فى مكينات التشغيل بالعدة، تصلد هذه الدلائل المصنعة من حديد الزهر سطحياً بواسطة التصليد باللهب أو التصليد بالحث، ولا يصلح التصليد السطحي إلا أنواع الزهر التي وضعت بها رقائق الجرافيت داخل بنية الأساسية، كما يجب أن تكون رقائق الجرافيت صغيرة ما أمكن، حيث تؤدى الرقائق الكبيرة إلى حدوث تشدخات بالبنية الداخلية.

يتراوح عمق الصلادة بعملية التصليد باللهب ما بين 1 — 3 ملليمتر، ويعطى التصليد بالحث نفس عمق الصلادة، إذا تراوح متوسط التردد ما بين 4000 — 10000 هرتز، بينما يمكن بالترددات العالية التي تصل إلى نحو 450000 هرتز التصليد إلى عمق 1.5 مم على الأكثر.

المعالجة الحرارية للمعادن الخفيفة

بالمعالجة الحرارية تتغير بنية المعادن الخفيفة، كما هو الحال فى الصلب، مما يؤدى بالتالي إلى تغيير خواص عديدة أهمها المتانة وحد الخضوع والانفعال والصلادة، ويتطلب الألومنيوم وسبائكه أسلوباً للمعالجة الحرارية يختلف عما يتطلبه المغنسيوم وسبائكه.

المعالجة الحرارية للألومنيوم وسبائكه:

يمكن إجراء تلدين ملين للألومنيوم وسبائكه، كما يمكن تصليد بعض سبائك الألومنيوم بالتعتيق.

التلدين اللين:

عند التلدين اللين ينخفض مقدار الصلادة والمتانة ويزداد الانفعال، مما يؤدي إلى إرتفاع قابلية تشكيل، بعكس الصلب الذي يجب تبريده ببطء عند التلدين اللين.

تبلغ درجة حرارة التلدين اللين المنخفضة نسبيا ما بين $350 - 400^{\circ}\text{C}$ ، يتبعها التبريد في الهواء أو التسقيته في الماء.

يستخدم التلدين اللين خاصة عند إرتفاع مقدار صلادة وقصافة مادة التصنيع نتيجة للدفنة أو الكبس أو التصليد بالتعتيق، ويجب تلدين مادة التصنيع في مراحل الكبس المختلفة وخاصة عندما تكون المادة قصفة نتيجة لتصلدها بالتشغيل على البارد بدرجة تجعل استمرار تشغيلها مصحوبا بخطر تشددها، ويسمى هذا الأسلوب بالتلدين المرحلي.

ملاحظة:

يكون الألومنيوم صمودا للتآكل الكيميائي عند تلدينه إلى درجة حرارة تتراوح ما بين $450 - 500^{\circ}\text{C}$.

التصليد بالتعتيق (التصليد بالترسب):

يمكن بأسلوب التعتيق زيادة متانة بعض سبائك الألومنيوم بدرجة كبيرة، ويؤدي ذلك في نفس الوقت إلى إرتفاع مقدار الصلادة وتخفيض الانفعال، وتكون سبيكة الألومنيوم قابلة للتصليد بالتعتيق. كما يمكن زيادة التصليد بالتعتيق لسبائك النحاس.

يتم التصليد بالتعتيق على ثلاث مراحل هي التلدين الانحلالي ثم التسقية ثم التعتيق. يعمل التلدين الانحلالي على تحلل جميع المكونات السببكية تقريبا في بلورة الألومنيوم في درجات حرارة تلدين حوالي 500°C ، ويجب مراعاة درجة حرارة التلدين الانحلالي لمادة التصنيع الواردة في المواصفات بدقة، ويتوقف كل من توقيت التلدين ومدته على نوع السبيكة، علماً بأن التسخين الزائد يؤدي إلى تتلف مادة التصنيع وبذلك تكون عديمة القيمة.

التسقية:

يتم تثبيت حالة البنية التي تم بلوغها بالتلدين الانحلالي في ماء درجة حرارته 20°C ، ويمكن أن يتم ذلك في الزيت أو الهواء أيضا. ويؤدي عدم تسقية مادة التصنيع إلى عودة البنية إلى حالتها السابقة.

التعتيق:

ترتفع متانة وصلادة المشغولات التي تم تسقيتها خلال الساعات الثمانية التالية لعملية التسقية وذلك دون أية معالجة لاحقة لها، وتصل إلى نهايتها العظمى خلال الأيام الخمسة

التالية، وتسمى هذه العملية بالتخزين على البارد، أو التعتيق الطبيعي. لذلك يجب إجراء عمليات التشكيل بدون قطع خلال الساعات الخمس الأولى بعد تسقية المشغولة. وتعتق السبائك بتسخينها بعد التسقية في فرن هوائي إلى درجة حرارة حوالي 160°C لفترة ما بين 8 — 10 ساعات، وتسمى هذه العملية بالتخزين على الساخن أو التعتيق الاصطناعي، كما توجد أنواع من السبائك يمكن تعتيقها على البارد أو على الساخن. ويستغرق التعتيق وقتا طويلا في درجات الحرارة المنخفضة، لذلك يفضل وضع المشغولات التي لا يمكن تشكيلها بدون قطع في غرف مثلجة بعد التسقية مباشرة. سبائك الألومنيوم المصلدة بالتعتيق شديدة التأثير بالحرارة ولذا لايجز وصلها بلحام الأنصهار، أو اللحام اللين أو الصلد.

المعالجة الحرارية لسبائك المغنسيوم:

لا يمكن تصليد سبائك المغنسيوم بالتعتيق وإنما تلدينها بليونة فقط، من خلال تسخينها إلى درجة حرارة ما بين $280 - 320^{\circ}\text{C}$. يراعى معالجة سبائك المغنسيوم في حمام حمضي بعد المعالجة الحرارية مباشرة، وذلك لانخفاض مقدار صمودها للتآكل الكيميائي.

الباب الثامن

تآكل المعادن

مُهَيِّدٌ

المعادن (الفلزات) لها خواص فيزيائية مميزة، فإنها غالبا ما تكون لامعة (لها بريق) وذات كثافة عالية، يمكن سحبها أو طرقها وتكون درجة إنصهارها عالية، كما أنها صلبة وجيدة التوصيل للكهرباء والحرارة، ويرجع هذا بصفة عامة لكتافتها.

معظم المعادن غير ثابتة كيميائيا لتتفاعلها مع أكسجين الهواء لتكوين أكاسيد بمرور الوقت، حيث أن الحديد يصدأ على مر السنين، كما يحترق البوتاسيوم في ثواني، أما الفضة فإنها تفقد لمعانها في شهور.

يتآكل سطح المعدن الموجود في حالة تفاعل كيميائي أو كهروكيميائي مع الوسط الخارجي، ويسمى مثل هذا التآكل بالصدأ، ويسبب التآكل (الصدأ) خسائر جسيمة للاقتصاد الوطني لأنه يدمر كمية ضخمة من المنشآت والماكينات المعدنية، ولمقاومة الصدأ.. فإنه يجب معرفة أسبابه ووسائل مقاومته.

تتفاعل بعض المعادن لتتأكسد مثل الحديد والنحاس والنيكل، بينما لا يتفاعل البالاديوم والذهب والبلاتين مع الأكسجين الجوي على الإطلاق، وبعض المعادن تكون طبقة ساترة من الأكسيد على سطحها والتي لا يمكن اختراقها بجزيئات الأكسجين ولهذا فإنها تحتفظ بخاصية اللمعان مثل الألومنيوم وبعض أنواع الصلب والتيتانيوم وغيرها، وبالنسبة للفلزات الأخرى فإنها تظلى بالبويات أو بالطلاء الكهربائي لمنع تأكسدها.

يتناول هذا الباب تآكل المعادن والأضرار التي يسببها فشل الأسطح بسبب التآكل وتغير الأبعاد وفقدان الخواص الميكانيكية وتلوث المنتجات والأضرار الاقتصادية بسبب الإجراءات الوقائية. مع شرح تفصيلي للتآكل الكيميائي والتآكل الكهروكيميائي والوقاية منهما من خلال الكسوات المعدنية واللامعدنية، والتكسية بالطلاء والغمر بالكهرباء وباللدائن وبالمينا، والتكسية برش المعادن وبشعر المعادن كالطلاء الكرومي، والتكسية بالرقائق المعدنية (التصفيح)، وبالكسوة الكرومية والقصديرية والنحاسية والرصاصية، والتكسية بالأوساط الغازية الواقية التي تستخدم كمادة تغليف.

ويتعرض للتخطيط لمقاومة التآكل الكيميائي والحماية منه الذي يقوم به المصمم بدوراً رئيسياً، إذ إنه يمكنه تخفيض التآكل بوضع تصميم واستخدام مواد صمودة للتآكل واختيار أسلوب التشغيل المناسب لتفادي التآكل أو التخفيض منه.

التآكل

Corrosion

يعرف التآكل بأنه أحد أشكال انحلال المعدن بسبب تفاعله مع الوسط الذي يتعرض له أو فشل المعدن بأي سبب غير السبب الميكانيكي، أو يعرف أحياناً بأنه العملية العكسية لإستخلاص المعدن من خاماته، والتآكل فشل يصيب سطح المعدن والذي ينتج بسبب عوامل كيميائية تساعد على عوامل ميكانيكية متوفرة في الوسط الذي يعمل فيه المعدن، وهناك نوع آخر في الفشل السطحي سببه ميكانيكي يسمى البلى *Wear* ، والذي ينتج بسبب الاحتكاك بين سطح المعدن وتحت تأثير الجهود الخارجية، والأمثلة عديدة على التآكل منها صدأ هيكل السيارة وعلب المواد الغذائية والصفائح ومقاطع الصلب وتآكل الأنابيب المدفونة في التربة، وهناك أمثلة أخرى على تآكل أجزاء معدنية عديدة تتعرض إلى أوساط صناعية مثل الأحماض والقواعد والمياه المالحة وما إلى غير ذلك.

الأضرار التي يسببها الفشل السطحي بسبب التآكل:

الأضرار التي يسببها الفشل السطحي بسبب التآكل عديدة وجميعها ذات مردود اقتصادي سيئ ويمكن تلخيصها في الآتي:-

1. **تغير الأبعاد وفقدان الخواص الميكانيكية:** يؤدي التآكل إلى فقدان الوزن بسبب انحلال المعدن وبالتالي إلى تغير أبعاده، لذلك تعطى في الغالب بعض السماحات للتآكل (*Corrosion Allowance*) عند وجوده وعند التصميم وتكون هذه السماحات أكبر سمكاً في الأوساط التي يكون فيها معدلات التآكل عالية منها في الأوساط التي يكون فيها معدلات التآكل منخفضة. ولتغير أبعاد القطعة المعدنية بسبب التآكل يؤثر في الخواص الميكانيكية، حيث تنخفض قابليتها لتحمل الأحمال الخارجية.. أي تزداد قابليتها للتشوه اللدن *Plastic deformation* والتشويه المرن *Elastic Deformation* . استخدام المعادن في أوساط مساعدة على التآكل يؤدي إلى انخفاض قيم العديد من خواصه الميكانيكية وخصوصاً مقاومة المعدن

لللال Fatigue strength ونشوء التشققات Cracks التي تؤدي إلى حصول الكسر الهش السريع Fast Fracture

2. **المظهر:** يتأثر مظهر المعدن بدرجة كبيرة عند إصابته بالتآكل حيث يظهر المعدن دائماً بمظهر سيئ. لذا يجب استخدام معادن مقاومة للتآكل الجوي مثل الألمنيوم أو الصلب المقاوم للصدأ بدلاً من الصلب الكربوني، كمعادن ببناء ظاهرية مثل مقاطع الشبائيك ومواد وخصوصاً في واجهات الأبنية الخارجية ويعزى المظهر الحسن لهذه المواد إلى مقاومتها للتآكل الجوي. أما المعدن ذات المقاومة الضعيفة للتآكل فإنها تظلى بأنواع الطلاء المختلفة لتحسين مظهرها من خلال الحد من تأكلها.

3. **تلوث المنتجات:** ينتج عن التآكل إلى تغيير الطبيعة الكيميائية للوسط، أي تلوثه وعادة يكون ذلك غير مرغوب فيه حيث أن المتطلبات التجارية هي الحصول على منتج نقي ذو مواصفات محددة وخالي من التلوث، والأمثلة على ذلك عديدة منها تلوث المنتجات الغذائية المعلبة بسبب حصول درجة بسيطة في التآكل في العلبة التي تحفظ فيها تلك المادة الغذائية، وعلى ضوء ذلك فإن عمر القطعة المعدنية أو الجهاز ليس هو العامل الأساسي في تحديد فترة الفشل، فمثلاً من الممكن في بعض الأحوال أن نستخدم لغرض ما الصلب العادي ولفترة زمنية طويلة بدون وصول التآكل إلى درجة كبيرة، ومع ذلك نجد أن استخدام مواد أعلى تكلفة مثل الصلب المقاوم للصدأ هو الأكثر شيوعاً، ذلك لأن الصلب العادي يلوث المنتج بعد استخدامه لفترة وجيزة نسبياً بسبب تأكله خلال هذه الفترة حتى ولو بدرجة بسيطة وعندئذ لا يكون صالحاً للاستعمال.

4. **فقدان السلامة:** يؤدي التآكل أحياناً أو في كثير من الأحيان إلى حصول كوارث إذا لم تتخذ الإجراءات الوقائية الكفيلة بإيقافه أو الحد منه، فمثلاً التعامل مع المواد الخطرة مثل الغازات السامة وحامض الهيدروفلوريك والأحماض المركزة مثل حامض الكبريتيك والنيتريك والمواد القابلة للاشتعال والمواد المشعة والمواد الكيميائية في درجات حرارة عالية وعند ضغط عالي يتطلب استعمال مواد معدنية معينة لا تتآكل بدرجة كبيرة في مثل هذه الظروف، فمثلاً قد يؤدي حصول تآكل إجهادي Stress corrosion في الجدار المعدني الذي يفصل الوقود عن المؤكسدات في الصاروخ إلى الخلط المبكر بين هذين الوسطين وبالتالي إلى خسارة اقتصادية وبشرية، وفي كثير من الأحيان يؤدي حصول تآكل في جزء معدني صغير إلى انهيار أو سقوط منشأ كامل، وقد تسبب نواتج التآكل أحياناً إلى تحول مواد غير مضرّة إلى مواد متفجرة.

في هذا المجال هناك العديد من اعتبارات السلامة الصحية مثل تلوث ماء الشرب بسبب تآكل الأنابيب أو خزانات المياه، وكذلك يلعب التآكل دوراً مهماً ورئيسياً في اختيار نوع المواد المعدنية التي تصنع منها الأجزاء المعدنية التي تستخدم داخل جسم الإنسان مثل مفاصل بالقدم أو الذراع Hip joints والصفايح الطبية وصمامات القلب وغير ذلك.

الأضرار الاقتصادية بسبب الإجراءات الوقائية:

الأضرار الاقتصادية الناتجة عن التآكل عديدة ومهمة، حيث يسبب هذا الفشل في كثير من الأحيان توقف المصانع عن العمل توقف غير مبرمج، وما يوافق ذلك من كلف اقتصادية إضافية غير متوقعة. كذلك فإن حصول التآكل يؤدي إلى ارتفاع كلف الصيانة الدورية حيث يتطلب في كثير من الحالات تبديل الجزء المعدني التالف بجزء جديد آخر، وبهذا الخصوص يكون بالإمكان أحياناً توفير بعض المبالغ عند اختيار مادة معدنية ذات مقاومة تآكل أعلى لتصنيع هذا الجزء التالف. وتتوفر العديد من الأمثلة التي تشير إلى أن اختيار مادة عالية التكاليف نسبياً، ولكنها ذات مقاومة جيدة للتآكل من الناحية الاقتصادية أفضل من استخدام مادة معينة أرخص ثمناً ولكنها تتعرض للتلف السريع بسبب التآكل، مما يتطلب عندئذ تغييرها بصورة دورية وفي كلتا الحالتين يلاحظ بأن التآكل يسبب أضراراً اقتصادية بسبب زيادة التكاليف، كما أن الإجراءات الوقائية للحد من التآكل تدخل ضمن تكاليف التشغيل والصيانة. إن التآكل يؤدي أحياناً إلى حدوث فشل غير متوقع في الأجزاء المعدنية في المصنع، وهنا تكمن أساساً خطورة مشكلة التآكل، حيث أن حدوث الفشل بصورة مفاجئة قد يؤدي إلى حصول أضرار كبيرة أكبر من تلك التي يسببها التآكل المتوقع حصوله، ومن ثم فإنه يجب الوقوف بدقة على معدلات التآكل في الأجزاء المعدنية أثناء سير عملية التصنيع وذلك عن طريق القياسات المستمرة والدورية لمعدلات التآكل والفحص المستمر للقطع المعدنية لاتخاذ الإجراءات الوقائية قبل وصول درجة التآكل إلى الحد الذي يسبب توقف المصنع عن العمل أو التأثير في سير عمليات التصنيع.

يعتبر التآكل إحدى المشاكل التي تتعرض لها وتعاني منها الكثير من المنشآت البترولية كخطوط البترول والغاز والخزانات وأبراج التقطير، كما يحدث في الكثير من القطاعات الأخرى الهامة كقطاعات الصناعة والنقل البحري والمعدات والمنشآت العسكرية ويحدث التآكل تلف شديد في المنشآت مما ينتج عنه تكاليف ضخمة تتمثل في فاقد الإنتاج.. وبالتالي انخفاض الكفاءة بالإضافة إلى تكاليف الإحلال وتطبيق أساليب مقاومة التآكل وهذه التكاليف تشمل تكاليف مباشرة وتكاليف غير مباشرة وهي كما يلي:-

أولاً: التكاليف المباشرة:

1. انتهاء العمر الافتراضى للمعدة.. (تلف كلى).
2. تكاليف عملية الحماية من التآكل و تنقسم إلى الآتي:-
 - زيادة التصميم: عملية الزيادة فى التصميم تكون متمثلة فى زيادة السمك عن الحد العادى وذلك لإطالة عمر المعدة للحماية من التآكل كما أن عملية الزيادة فى التصميم تؤدى إلى زيادة المكان المطلوب للمعدة وهذا فى حد ذاته يعتبر زيادة فى التكاليف.
 - تعديل مواد التصنيع باستخدام مواد أكثر مقاومة للتآكل وأعلى تكلفة.
 - تكاليف المواد المانعة للتآكل.
 - تكاليف الحماية الكاثودية.

ثانياً: تكاليف غير مباشرة:

1. إنخفاض الانتاج:عمليات الإصلاح والتجديد التى تجرى للأجزاء المتآكلة من المعدات تحتاج إلى إيقاف المصنع أو الوحدة لمدة معينة حتى إذا كان سعر تلك الأجزاء صغيراً، كما أن إرتفاع معدل التآكل يؤدى فى كثير من الأحيان إلى حدوث إيقافات إضطرارية مما يؤدى إلى زيادة عمليات الصيانة للمعدات ووقف عمليات الإنتاج لمدد أطول من اللازم وهذا التوقف يؤدى إلى زيادة التكاليف وإنخفاض فى الإنتاج.
2. تخفيض الكفاءة: تؤدى عمليات التآكل إلى تخفيض كفاءة المعدات أو الخطوط وذلك نتيجة تراكم نواتج التآكل، حيث يؤدى ذلك فى بعض الأحيان إلى زيادة القوة المطلوبة.. وعلى سبيل المثال.. دفع السوائل داخل الخطوط المصابة بالتآكل ومن ثم تخفيض الحيز اللازم لمرور السائل، ويؤدى تراكم التآكل إلى تخفيض الانتقال الحرارى من خلالها أو إنتاج منتجات معيبة.
3. التلوث بنواتج التآكل: بعض الصناعات مثل الصناعات الكيماائية أو صناعة الأغذية لا تسمح بتلوث منتجاتها بأكسيد المعدن ولتجنب هذا التلوث الناتج عن التآكل فإنه يتم تصنيع الأوعية والخطوط من الصلب الذى لا يصدأ.
4. الفقد أو الخسارة العامة: التآكل يمكن أن يؤدى إلى حدوث خطورة على أرواح العاملين بالوحدة أو المصنع وهذه خسارة غير محسوبة فى التصميم ولكن يجب أن تؤخذ فى الاعتبار.

التآكل الكيميائي

يقصد بالتآكل الكيميائي وفقاً للمواصفات القياسية ISO، تلف ودمار مواد التصنيع نتيجة لفاعلات أو العمليات الكيميائية أو الكهروكيميائية للمادة مع الجو المحيط بها، ويعنى ذلك أن التآكل الكيميائي لا يقتصر على المعادن فقط، وإنما يحدث أيضاً في جميع أنواع مواد التصنيع، ومن ناحية أخرى تتوقف شدة التآكل الكيميائي بصورة رئيسية على حالة الجو المحيط بالمواد كالهواء الرطب وهو ما يسمى بالتآكل الكيميائي الجوى أو بالتآكل من ماء البحر أو التآكل بالأحماض أو القلويات.

ويعرف التآكل بأنه التلف (جزئى أو كلى) الذى يحدث للمعدن أو السبيكة من حيث المظهر أو الأداء بسبب التفاعل الذى يحدث بين المعدن أو السبيكة مع الأجواء المحيطة به سواء كانت غازية أو سائلة أو تلف المعدن نتيجة تدهور فى خواصه الطبيعية أثر التفاعلات التى تحدث له فى التربة المحيطة.

التآكل:

هو رد فعل كهروكيميائي للمعادن المحاطة بمواد كيميائية من التربة أو ماء وهذه تشكل خلايا توصيل تولد الكهرباء نتيجة فرق الجهد الطبيعي بين المعادن والذى ينتج عنه ذوبان المعدن الأكثر نشاطاً.

الأنود (المصعد - القطب الموجب):

معدن له مستوى أعلى من الطاقة (القيمة المطلقة لفرق الجهد) أو (فرق جهد قطبى V أقل مع وضع الإشارة فى الاعتبار طبقاً لترتيبه فى السلسلة الكهروكيميائية) وينساب منه التيار خلال التربة و هو الجسم الذى يحدث له التآكل.

الأنود (المهبط - القطب السالب):

معدن له مستوى أقل من الطاقة (القيمة المطلقة لفرق الجهد) أو (فرق جهد قطبى V أعلى مع وضع الإشارة فى الاعتبار طبقاً لترتيبه فى السلسلة الكهروكيميائية)، وينساب منه التيار خلال سلك التوصيل وهو الجسم الذى يتم حمايته من التآكل.

الكاثود (المهبط - القطب السالب): معدن له مستوى أقل من الطاقة (القيمة المطلقة لفرق الجهد) أو (فرق جهد قطبى V أعلى مع وضع الإشارة فى الاعتبار طبقاً لترتيبه فى السلسلة الكهروكيميائية) وينساب منه التيار خلال سلك التوصيل وهو الجسم الذى يتم حمايته من التآكل.

الأيون:

هو ذرة أو مجموعة ذرات تحمل شحنة كهربية موجبة أو سالبة فإذا كانت أيونات موجبة يقال انها عناصر موجبة التكهرب، وإذا كانت ايونات سالبة يقال عنها سالبة التكهرب.

الأيون الموجب:

يتكون بفقد الكترونات من الذرات التى لها أنصاف أقطار كبيرة و تحتوى طبقاتها الخارجية على عدد قليل من الإلكترونات.

الأيون السالب:

يتكون باكتساب الذرة للإلكترونات.

الوسط الالكترولى:

هو الذى يسمح بمرور التيار خلاله من المصعد إلى المهبط (من الأنود إلى الكاثود) ويكون تربة أو ماء.

الوصلة العازلة:

هى وصلة أو رباط من مادة عازلة كهربائياً بين جزئين من الخط كى تمكن من منع استمرار التوصيل الكهربى بينهما.

الموصل:

هو جزء معدنى أو كربونى ينساب فيه التيار الكهربائى بواسطة حركة الالكترونات من الكاثود إلى الأنود وهناك نوعان من الموصلات هما:-

- الموصل الالكترونى و هو المعدنى.
- الموصل الأيونى و هو المحلول.

الخلية:

هى دائرة كهربية كاملة تتضمن الكاثود والأنود موضوعين فى وسط موصل ومتصلين بموصل معدنى.

قطب كبريتات النحاس:

هو قطب يتكون من قضيب من النحاس موضوع فى محلول مشبع من كبريتات النحاس متصل بسلك لتوصيله بجهاز القياس وهو الأساس فى قياس فرق الجهد للمعادن، بالإضافة إلى بعض الأقطاب الأخرى التى تستخدم فى ماء البحر والمعامل.

الاستقطاب:

هو التغير الذى يحدث فى جهد القطب نتيجة لمرور التيار (الحيود عن حالة الاتزان).

السلسلة الكهروكيميائية:

هى ترتيب المعادن المختلفة طبقاً للجهد الكهربائى الطبيعى لها من الأكبر للأصغر، أو
هى ترتيب المعادن طبقاً لمدى مقاومتها للتآكل فى ظروف معينة، وكل معدن فى هذه السلسلة
يكون مصعد Anode للمعادن السابقة له فى السلسلة كالموضح فى جدول 8 – 1.

جدول 8 - 1 السلسلة الكهروكيميائية

العنصر	جهد القطب القياسى	رمز العنصر	Name
الليثيوم	3.01-	Li	
البوتاسيوم	2.92 -	K	
الكالسيوم	2.84 -	Ca	
الصوديوم	2.71 -	Na	
ماغنسيوم	2.38 -	Mg	MAGNESIUM
ألومنيوم	1.66 -	Al	ALUMINUM
زنك - خارصين	0.76 -	Zn	ZINC
كروم	0.71 -	Cr	CHROMIUM
حديد	0.44 -	Fe	IRON
كادميوم	0.4 -	Cd	CADMMIUM
نيكل	0.23 -	Ni	NICKEL
قصدير	0.14 -	Sn	TIN
هيدروجين	صفر	H	HYDROGEN
رصاص	0.13 -	Pb	LEAD
نحاس	0.34 +	Cu	CUPPER
فضة	0.8 +	Ag	SILVER
بلاديوم	0.83 +	Pd	PLLADIUM

MERCURY	Hg	0.85 +	زئبق
PLATINUM	Pt	1.2 +	بلاتين
GOLD	Au	1.42 +	ذهب

أنواع التآكل الكيميائي:

يصيب المعادن أنواع مختلفة من التآكل الكيميائي وهي كالآتي:-

التآكل الكيميائي البحت: تصاب أكثر المعادن بتآكل سطحي نتيجة للتفاعلات الكيميائية مع الجو المحيط، مما يؤدي إلى تغير خواصها، ويلعب الأكسجين دوراً كبيراً في عملية الأكسدة أو بما يسمى بالتفاعلات الكيميائية، التي قد يشترك فيها السوائل — الأحماض — القلويات — محاليل أملاح — الغازات والأبخرة.. بالإضافة إلى ذلك تؤدي درجات الحرارة العالية التي تؤدي إلى سرعة التآكل الكيميائي.

ينشأ عن الأكسدة طبقة سطحية كثيفة صمودة، كما هو الحال في النحاس والألومنيوم مثلاً، حيث تعمل كطبقة عازلة تمنع استمرار التآكل، أما إذا كان التآكل الكيميائي عبارة عن طبقة مسامية متخلخلة كالصدأ مثلاً، فإنها لا تكون عازلاً واقعياً.

التآكل الكهروكيميائي: لا يتم التآكل الكهروكيميائي إلا في وجود سائل موصل للكهرباء بين مادتين مختلفتين مثل الماء ورطوبة الهواء، أو عرق الديدن.

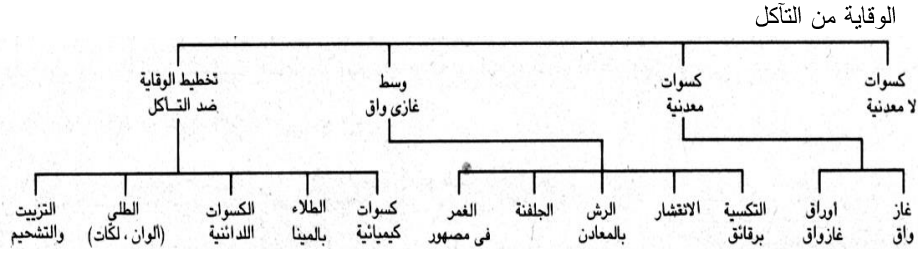
التآكل التلامسي: إذا تلامست معادن مختلفة دون وجود طبقات عازلة فيما بينها مع سائل اليكتروليتي، تنشأت خلية تآكلية تسمى بالتآكل التلامسي، وتؤدي إلى إتلاف إحدى المعادن. وكلما كان المعدن نفيساً.. كلما انخفض قابليته للتآكل.

الوقاية من التآكل الكيميائي بالمعادن:

يتوقف عمر وسلامة التشغيل للمشغولات والأجزاء التصميمية في أحوال كثيرة على مدى تجنب أو منع عمليات التآكل ذات التأثير الكيميائي الانحلالي. المخطط الموضح بشكل 8 — 1 يوضح الأساليب المختلفة للوقاية من التآكل الكيميائي.

ملاحظة:

يكون المعدن أكثر قيمة.. كلما انخفضت قابليته للتحلل كيميائياً، لذلك يعتبر البلاتين والذهب والفضة من أكثر المعادن الثمينة، وذلك لارتفاع مقاومتهم للتحلل الكيميائي.



شكل 8 – 1

أساليب الوقاية من التآكل الكيميائي

علاج التآكل:

1. إزالة الكربيدات بواسطة المعالجة الحرارية.
2. إضافة مواد مثبثة مثل التيتانيوم والفانديوم.
3. تخفيض نسبة الكربون T3316L.

طرق الحماية من التآكل:

1. اختيار التصميم المناسب كآلاتي:-

- البساطة فى التصميم.
- تجنب الرطوبة.

2. تعديل نوعية المعدن كآلاتي:-

- إزالة العناصر المضادة المسببة للتآكل.
- إضافة العناصر المحسنة لمقاومة التآكل.
- إتمام أعمال المعالجة لإزالة الاجهادات المتوافرة التى نتجت عن أعمال اللحام.

3. تعديل وتغيير وسط التآكل كآلاتي:-

- إزالة الأملاح عن طريق أعمال التأين.
- إزالة الأحماض بإضافة الجير والمواد القلوية.
- تقليل نسبة تواجد الأكسجين بإضافة موانع التآكل (كلوريد الصوديوم والأمونيا وموانع التآكل والمواد الكيماوية المقاومة لعملية التآكل).

4. التغطية:

هى وسيلة الغرض منها تكوين غشاء متصل من مادة عازلة للكهرباء على سطح المعدن المراد حمايته عن الوسط الالكترولى الملامس له والمحيط به وكذلك اعتراض الدائرة

(الأنودية - الكاثودية) عن طريق ذلك الغشاء ذو المقاومة الكهربائية العالية وبالتالي يضمحل بل ويكاد يتلاشى تيار التآكل.

ومن المعلوم أن أساليب التغطية الجيدة و المناسبة والتي تكون كفاءتها أكثر من 99 % من سطح المنشأ المعدني تحمي هذا المنشأ تماماً من التآكل إلى جانب هذا إذا طبق نظام للحماية الكاثودية للمنشآت بالتغطية فإنه يكون نظام بسيط نسبياً حيث تكون المساحات المكشوفة أو الضعيفة التغطية هي فقط المراد حمايتها بواسطة أساليب الحماية الكاثودية. ونقص المعرفة يؤدي إلى عمل تغطية ضعيفة بسبب عدم معرفة نوع التغطية المناسبة وعدم الاهتمام بتجهيز السطح و معاملة مادة التغطية بإهمال بعد إتمام عملية التغطية وأثناء الردم بالإضافة إلى إهمال عملية الفحص النهائي بعد انتهاء عملية التغطية.

خصائص مواد التغطية:

- سهولة التطبيق.
- جيدة التلاصق.
- مقاومة للصدم.
- مرنة.
- تقاوم إجهاد التربة.
- لها مقاومة ضد الماء.
- لهت مقاومة كهربية عالية.
- متزنة في الخواص الطبيعية والكيميائية.
- مقاومة للبكتريا.
- لها مقاومة للكائنات البحرية (عند استعماله في المنشآت البحرية).

طرق حماية المعادن بالتغطية:

أولاً: التغطية بالتغليف:

يمكن تقسيم أنواع التغليف للمواسير المدفونة بالمواد التالية:-

- البيتومين.
- شرائط البلاستيك.
- البولي إيثيلين (عالي - منخفض) الكثافة.
- شرائط قطران الفحم.

ثانياً: التغطية بالدهانات:

- الأغشية العضوية ORGANIC COATING (الورنيشات - اللاكيهات - البويات المانعة للتآكل).
- زجاج السيراميك (الأغشية غير المعدنية غير العضوية - NON METALIC (NON ORGANIC).

التغطية بالدهانات:

- باستخدام الفرشاة للطلاء.

- باستخدام الرش بالمسدس.
- باستخدام الغمر فى المحاليل الكيميائية المراد طلاء المعدن بها.

ثالثاً: التغليف المعدنى (الجلفنة Metallic coating):

هى طريقة معروفة وأثبتت جدارتها للتغطية والوقاية الخارجية للسطوح فى حالات الرطوبة العالية، وفى الوقاية من العوامل الجوية، وفى الإنشاءات البحرية، وهى عديمة الجدوى فى الحماية الداخلية، وتتم الجلفنة بالغمر فى مصهور فلز الزنك، والجلفنة تعتمد فى المقام الأول على أن الزنك يحتل مكاناً متقدماً فى ترتيب الفلزات بالنسبة لجهد القطب القياسى ويلاحظ وجود مسام مجهرية فى بعض الحالات تسبب خلق خلايا مجهرية بين المعدن.

المعالجة الابتدائية لأسطح المعادن (التغليف أو الدهانات):

قبل إجراء عملية التغليف يجب تجهيز السطح جيداً عن طريق تنظيفه وتلميعه بالطرق اليدوية باستخدام فرشاة أو صنفرة أو بالطريقة الميكانيكية وهى الطريقة الأكثر انتشاراً فى تنظيف سطح المواسر باستخدام كرات صغيرة من الصلب قطر (1 مم) أو رمل ناعم باندفاع كبير عن طريق ضغط الهواء ثم يتم تنظيفها من الأتربة أو الشحومات باستخدام المذيبات الكيميائية، كما يتم تنظيف السطح كيميائياً بالتخليل عن طريق غمس الألواح فى أحواض بها حامض، ويمكن تنظيفها أيضاً الكترولوكيميائياً عن طريق دائرة كهربائية كاملة.

مراحل معالجة أسطح المعادن:

تتم معالجة أسطح المعادن على عدة مراحل كالآتي:-

المرحلة الأولى: عن طريق إزالة المواد العضوية مثل (الزيوت و الشحوم)، حيث يتم ذلك قبل التغطية وقبل التنظيف الهوائى وقبل التخمر الكيميائى فى الأحماض، حيث يتم إزالة الزيوت المعدنية والشحوم بالمذيبات العضوية، وإزالة الدهون والزيوت الدهنية والشمع والصابون بالمحاليل القلوية.

إزالة الشحم: يتم إزالة الشحم بالآتي:-

- المواد العضوية مثل الكحول الأبيض.
- المواد القلوية مثل الفوسفات القلوية والسليكات القلوية.
- التنظيف باستخدام الكحول الأبيض + مواد صابونية أوليات البوتاسيوم.
- الإزالة بالبخار.. ربما تستعمل مع التنظيف بعد الإزالة بالاستحلاب أو بعد إزالة الدهان بالقلويات.

إزالة الطبقات الرقيقة والصدأ مثل:-

- طبقة رقيقة من القشور. - طبقة رقيقة من الصدأ.

هذه المرحلة تؤدي إلى الحصول على سطح مناسب لعملية التغطية وتضمن تغيير صلادة المعدن، ولهذا يزال جزء صغير أو كبير من سطح المعدن وتم ذلك عن طريق الآتي:-

المرحلة الثانية: بالطرق الميكانيكية:

- استخدام الصنفرة بالفرشاة السلك والتجليخ والكشط.
 - استخدام ضغط الهواء والرمل في ماكينة الرمال.
 - استخدام الطرد المركزي باستخدام نصل سكين في حركة دائرية.
 - بواسطة الصقل (التلميع) بواسطة صنفرة ناعمة.
- الحرارة:** باستخدام لهب الأوكسي استيلين وهذا الطريقة مناسبة للمنشآت الكبيرة ولإزالة القشور الرقيقة والصدأ.

بواسطة أفران الحث الحراري وهي مناسبة لقضبان الحديد والأنابيب.

الطرق الكيميائية: هي غمر المعدن المراد تنظيفه في محاليل مائية مثل حمض الكبريتيك وحمض الهيدروكلريك وهي تستخدم لإزالة الصدأ والطبقات الرقيقة المتآكلة في المعدن.

المرحلة الثالثة: تجهيز وتنظيف الأسطح ويتم ذلك باستخدام الرمال حتى يصل لدرجة نظافة ناعمة تسمى sa21/2.

اختبار التغليف:

يتم إجراء الاختبارات التالية لتحديد صلاحية التغليف:

1. **سمك التغليف:** يتم قياس سمك التغليف باستخدام الميكروميتر في حالات التغليف السميكة، كما يتم قياسه بالوزن في الأجزاء الصغيرة حيث يوزن السطح قبل وبعد التغطية.
2. **قوة التلاصق:** يتم اختبار قوة التلاصق بشد التغليف من على سطح المعدن ويسمى بالاختبار الاتلافي أو اختبار سقوط كرة من ارتفاع على سطح المعدن.
3. **النفذية:** يتم اختبار النفذية باستخدام جهاز اختبار الفجوات، وإذا كان هناك بعض الأتربة بين لفات العازل والذي يمكن أن يكشف عنه هذا الجهاز هو تخانة العازل وخلوه من الثقوب والفقايع والمواد الموصلة الغريبة، وإذا كان العازل يلف في الموقع فانه يجب أن يختبر مرتين.

- المرة الأولى: لا يلزم أن تكون على كل الماسورة بل فقط في المناطق التي يحتمل وجود تلف فيها لتغير درجات الحرارة أو الشد اللازم للنفق نتيجة طريقة النقل.
 - الاختبار الثاني: قبل تنزيل المواسير داخل النفق، يجب أن يكون التغليف دقيقاً ومعنى ذلك أنه يجب الكشف على المواسير بدقة خطوة خطوة وإصلاح ما قد يكون تالفاً وهذا يعطى كفاءة للحماية وجعل المواسير تعيش طويلاً.
4. اختبار مقاومته للتآكل.

الكسوات الالمعدنية

تعمل الكسوات الالمعدنية على عدم تلامس أسطح المشغولات مع بعضها البعض، من أمثلة هذه الكسوات.. الطلاء بالزيت أو الشحم، وغالباً ما يكون هذا الأسلوب كافياً فقط لحماية المشغولات أثناء تخزينها، ويراعى أن تكون الزيوت والشحوم المستخدمة خالية من الأحماض، وإلا فإنها تهاجم المعدن أو تتفاعل معه. كما يجب أن تكون المشغولات نظيفة قبل طلائها بالشحم. يستخدم لهذا الغرض زيوت أو شحوم معدنية.

التكسية بالطلي:

يقصد بالطلي التوزيع المتجانس لمواد الطلاء على الأسطح المراد حمايتها، بحيث تلتصق عليه بعد جفافها، ويميز من أنواع الطلاء بصورة رئيسية الألوان الزيتية، الدهانات الزيتية، ودهانات الراتنجات الاصطناعية، ويمكن أن يتم الطلي وفقاً للغرض من استخدام المشغولة ودرجة الجودة المطلوبة، ويعمل الطلي الأساسي كعنصر وصل (لاصق) بين السطح وطبقات الطلي التالية له، ويجب أن تكون الطبقة الأساسية للطلاء متعادلة كيميائياً بالنسبة لمادة سطح المشغولة، وأن تلتصق عليها جيداً، وأن تكون ذات سطحاً أصلياً لاصقاً لطبقات الطلي التالية بصورة جيدة، ويتولى الطلي الغطائي حماية طبقات الطلاء الموجودة أسفله، لذلك فإنه يجب أن تكون مادة الطلاء غير نافذ للماء والضوء كما يكون صلباً، وفي نفس الوقت مرناً وصموداً للحرارة تحت ظروف معينة وجيد المظهر.

وتتوقف جودة الطلاء بدرجة كبيرة على المعالجات الأولية للسطح، ومن ثم فإنه يجب تنظيف أسطح المشغولات المراد تكسيته بعناية قبل طلائها بالدهان. لذلك تجرى معالجات ميكانيكية مسبقة وتنظيف للأسطح بوسائل كيميائية.

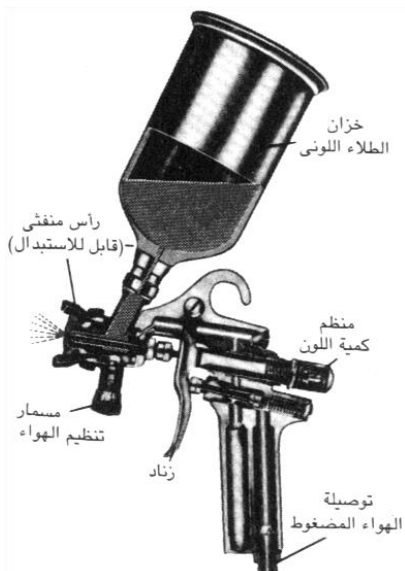
تستخدم للمعالجة الميكانيكية الأولية فرشاة سلكية، أو تعرض المشغولات لتيار من الهواء المضغوط يحتوى على رمل جاف أو جسيمات من الصلب الصغيرة.

ومن الوسائل الكيميائية للمعالجة الأولية للأسطح، على سبيل المثال لا الحصر.. التخليل بالغمر في حمام حمضي، حيث يزال الشحم، وتستخدم الأحماض المخففة لإزالة طبقات الطلاء السابقة أو لتخشين السطح الأصلي بهدف تحسين التصاق الطلاء عليه، ويجب إزالة الشحم من أسطح المشغولات المراد وقايتها ضد التآكل الكيميائي، إذا ما أريد للتكسية أن تلتصق بصورة ممتازة، ويتم ذلك بغسل الأسطح ببنزين الغسيل أو الأثير أو بمزيلات أخرى للشحم.

توفر ما تسمى بالدهانات الأولية Wash primer وهي دهانات أساسية لاصقة للمعادن وواقية ضد التآكل الكيميائي، هذه الدهانات تؤثر كيميائياً على السطح الأصلي بصورة تجعله مانعاً للتآكل الكيميائي، ويتم طلاء الدهانات الأولية في طبقات رقيقة تعمل كطبقة أساسية لزيادة الصمود للتآكل الكيميائي وقابلية الالتصاق لطبقات الطلاء اللاحقة. يجب تنظيف السطح الأصلي من الطبقات المتآكلة والشوائب قبل تكسيته بالطلاء، وكذلك إزالة الشحم في أغلب الأحوال.

أساليب التكسية بالرش:

يوجد أسلوبين للتكسية بالرش هما الرش على البارد والرش على الساخن. يستخدم لتلك الأسلوبين لعملية الرش مسدس رش كالموضح بشكل 8 - 2. يحتوي مسدس الرش على مادة كيميائية معالجة ويعمل بالهواء المضغوط، حيث تندفع المادة المستخدمة للتكسية من منفث بفوهة المسدس لتلتصق هذه المادة على أسطح المشغولات المراد تكسيته.



شكل 8 - 2
مسدس الرش

التكسية بالرش على البارد:

يخفف اللون المستخدم للتكسية بمذيبات إلى درجة تجعله قابلاً للرش بصورة جيدة، حيث تتبخر المادة المذيبة بعد التكسية، وتعتبر المادة المذيبة من العناصر الهامة والضرورية رغم ارتفاع ثمنها.

التكسية بالرش على الساخن:

يسخن اللون المستخدم في عملية التكسية بواسطة ملف تسخين كهربائي موجود في قاع وعاء مسدس الرش، بحيث تصل درجة حرارة اللون المستخدم إلى ما بين $50 - 120^{\circ}$ ، مما يؤدي إلى انخفاض لزوجة اللون بدرجة تسمح باستخدام كمية من المادة المذيبة أقل بكثير مما هو متبع في حالة الرش على البارد.

من مميزات هذا الأسلوب هو انخفاض الفترة الزمنية اللازم لعملية الطلاء بالإضافة إلى تخفيض كمية اللون، والحصول على طبقات طلائية أكثر تخانة، وجفاف الطلاء في وقت أقل.

ملاحظات:

تتوقف جودة التكسية الناتجة بالرش على مدى جفاف ونظافة الأسطح وخلوها من الشحوم.

ووفقاً لضوابط الأمان الصناعي.. فإن غرف الطلاء بالرش أو الغمر أو الأساليب المماثلة بذلك تعتبر من أكثر الأماكن المعرضة لخطر الحريق والانفجار، إذا استخدمت فيها مذيبات ذات درجة التهاب أقل من 21° ، أو المذيبات الأكثر من 21° م المصحوبة بتسخين إضافي، لذلك فإنه يجب ألا تحتوي غرف الطلاء على آلات أو مكينات مولدة للشرر أو مصادر اللهب أو أى نوع من النيران أو الإضاءة المكشوفة.

التكسية بالرش الكهربائي:

تذرى المادة المستخدمة في عملية التكسية بصورة دقيقة بواسطة مجال كهربائي شديد، مما يؤدي إلى جذب الذرات الطلائية بواسطة المشغولة المعدنية المراد طلاؤها. تتميز هذه الطريقة بإمكانية تكسية المشغولة بصورة منتظمة متجانسة، حتى في المواضع التي يصعب الوصول إليها، مع استهلاك أقل كمية ممكنة من الطلاء.

التكسية بالغمر الكهربائي:

تغمر المشغولة في حوض يحتوي على ألون الطلائي ومولد كهربائي. تعتبر هذه الطريقة من الطرق الموفرة للون الطلائي، وتنتج عنها كسوة متجانسة حتى في المواضع التي يصعب الوصول إليها.

التكسية باللدائن:

تعتبر التكسية باللدائن من الكسوات الواقية من التآكل الكيميائي كما إنها تعمل كعازل كهربائي. تتم التكسية عن طريق رش اللدائن الساخنة أو بالتغطيس في مسحوق أو بالترسيب الكهربائي. يمكن بهذه الطريقة الحصول على كسوة بتخانات أكبر بالمقارنة مع الطلاء العادي، كذلك يمكن بهذه الطريقة التكسية بالقطران أو الإسفلت لوقاية ألواح الصاج والأنابيب والصهاريج من التآكل الكيميائي.

التكسية بالمينا:

يتكون طلاء المينا من مسحوق زجاجي (كوارتز وألومينا) بالإضافة إلى مواد لونية. يتم التكسية على سطح المشغولات بالغمر أو الرش، ثم تجفيف بالتسخين في فرن التكسية بالمينا عند درجة تتراوح ما بين 600 – 1000⁰م، حيث يكون مسحوق الزجاج المنصهر على أسطح المشغولات والنتائج بعد عملية الطلاء شديد الصلادة وصموداً للحرارة ومقاوماً للمؤثرات الكيميائية، إلا أنه يكون قصفاً إلى حد ما.

يستخدم الطلاء بالمينا بالدرجة الأولى للأجهزة المستخدمة للأعمال المنزلية وللأجهزة الكيميائية المصنوعة من الصلب أو الحديد الزهر أو الصاج. للحصول على كسوة ممتازة من المينا، فانه يجب أن تكون طبقة كسوة المينا رقيقة بقدر الإمكان.

تكسية الصلب بالتحول الكيميائي:

يتم هذا الأسلوب من خلال حرق الأسطح المراد تكسيتهها ثم تدهن بزيت بذر الكتان وتعرض للهب كور الحدادة، كذلك يمكن دهان المشغولة بزيت بذر الكتان ثم تعرض لنار كور الحدادة، أو دهان المشغولة بزيت معدني مضافاً إليه ما بين 3 – 5 % من شمع النحل، ثم تسخينها عدة مرات إلى نحو 450⁰م، ينتج في كل من هذه الحالات طبقة سوداء واقية من التآكل الكيميائي، إلا أنها لا تكون واقية من الصدأ على الدوام.

التكسية المعدنية:

تتوقف جودة الكسوة الواقية من التآكل الكيميائي بدرجة كبيرة على السلوك الكهروكيميائي لمعدن التكسية بالنسبة للمعدن الأساسي، فإذا تعرضت كسوة الزنك الموجودة على سطح من الصلب للرطوبة لفترة طويلة، فإن الزنك يكون سالبا بالنسبة للمعدن الأساسي، مما يؤدي إلى تآكل الكسوة الزنكية بسرعة، بينما يتأخر تآكل المعدن الأساسي قليلاً.

وفى حالة كسوة أسطح المشغولات المصنوعة من الصلب بكسوة من النيكل، يكون النيكل في هذه الحالة من وجهة السلوك الكهروكيميائي، أكثر فاعلية من المعدن الأساسي أى موجباً، مما قد يؤدي إلى تعرض المعدن الأساسي لخدش السطح، حيث يتآكل المعدن الأساسي حتى إذا بلغ الصداً حداً كبيراً تنتشر الكسوة النيكلية، ويعنى ذلك أنه عند مواضع التثني واللي، يكون المعدن الأصلي معرضاً للتشوه بدرجة أكبر مما لو كان غير مكسو بطبقة معدنية واقية اطلاقاً، لذلك فإنه يجب أن تكون الكسوة المعدنية ذات سلوك كهروكيميائي موجب، على درجة كبيرة من الكثافة والمتانة الدائمة لكي تعمر طويلاً، ويمكن الحصول على كسوة نيكلية مستديمة لسطح من الصلب عند تغطية السطح بالنحاس مسبقاً.

أساليب التغطية المعدنية:

أهم أساليب التغطية المعدنية هو الغمر في معدن منصهر — التغطية بالجلفنة — رش المعدن المنصهر باستخدام مسدسات رش — التغطية بالانتشار — التصفية.

التغطية بالغمر في معدن منصهر:

تنظف المشغولات أولاً بعناية بتخليئها في حمام حمضي لإزالة الشحوم، ثم تغمر في معدن منصهر كالزنك أو القصدير ليترسب على أسطحها بشكل طبقة رقيقة وهو ما يسمى بالجلفنة. كما يمكن التغطية بالجلفنة، حيث تغمر المشغولات عند تغطيتها في محلول من كبريتات النحاس والماء، ثم توصل بالقطب السالب لمصدر التيار الكهربائي المستمر، ويوصل القطب الموجب بلوح نحاسي، وعند مرور التيار تتجه أيونات النحاس إلى القطب السالب وتكسو المشغولة بطبقة نحاسية، بينما تتجه أيونات الكبريتات في اتجاه مضاد لتيار الأيونات وتمنع استمرار انفصال ذرات النحاس عن اللوح النحاسي للقطب الموجب، ويمكن بنفس الأسلوب التغطية بمعادن أخرى مثل النيكل — الكروم — الكاديوم — الزنك — الفضة — الذهب. يستخدم في هذا الأسلوب لوح من معدن مادة الكسوة كقطب موجب دائماً.

الرش بالمعادن:

يزود مسدس الرش بمعادن التغطية المنصهرة مثل الزنك والألومنيوم والصلب السبيكي، ثم تدرى بالهواء المضغوط ويرش على أسطح المشغولات. لا يستخدم الرش بالمعادن ضمن أساليب الوقاية ضد التآكل الكيميائي فقط وإنما كأسلوب للتغطية أيضاً.

التغطية بنشر المعادن:

التغطية بنشر المعادن كالطلاء الكرومي مثلاً. تقوم هذه الطريقة على ظاهرة الامتزاج السطحي الذاتي للغازات أو المعادن وذلك نتيجة للإثارة الحرارية للجزيئات.

يتم فى التكبسية بهذه الطريقة بوضع الكروم فى الطبقات السطحية للمشغولات المصنوعة من الصلب، ولهذا الغرض تسخن المشغولات فى غرف مغلقة إلى حوالي 1000 °م، حيث تبخر أملاح الكروم، ليتغلغل الكروم إلى الطبقات السطحية للمشغولات مكونا طبقة واقية ممتازة، وتنشأ عند التكبسية بالكروم طبقة شبيهة فى بنيتها بالصلب الصمود للتآكل الكيميائي، ينخفض فيها نسبة الكروم باتجاه قلب المشغولة، وأكثر أنواع الصلب صلاحية لهذه الطريقة هي الأنواع ذات النسبة المنخفضة من الكربون، أو تلك التي تحتوى على نسبة عالية من التيتانيوم.

تتميز التكبسية بنشر المعادن كالطلاء الكرومي بعدم تقشر مادة التكبسية وذلك نتيجة لالتحام المادة الأساسية بالطبقة الكرومية الواقية لها، وتمائل الأنواع المكسوة بالكروم بأنواع الصلب الكرومي فى صمودها للتآكل الكيميائي.

التكبسية برقائق معدنية (التصفيح):

يمكن أيضا تزويد أسطح المنتجات نصف المصنعة من المعادن الخفيفة أو الثقيلة بكسوة رقائقية، حيث يتم دلفنة طبقة رقيقة من النحاس الأصفر على سطح مشغولة من الصلب على الساخن ومن أمثلة ذلك قطع النقود الأوربية والألمانية المعدنية المصنوعة من الصلب والمكبسية بطبقة رقيقة من النحاس الأصفر.

الكسوة الكرومية:

يستخدم التكبسية الكروم لحماية السطح ولإكسابها مظهرا جميلا، وتستخدم التكبسية بالكروم الصلد للحصول على سطح صلد صمود للتآكل الاحتكاكي.

وتؤدى المسام أو الخدش فى التكبسية الكرومية إلى ازدياد التآكل الكيميائي للمعدن الأساسي، لذلك تزود الكسوات الزنكية فى بعض الأحيان بكسوة كرومية إضافية، وتؤدى الكسوة الكرومية إلى تحسين مقاومة السطح للمؤثرات الجوية نتيجة لوجود مركبات الكروم بها.

وتتم عملية الكسوة بالكروم بالغمر أو الرش أو الدهان، وتصمد الكسوة الكرومية إلى درجة حرارة تصل إلى 80 °م، إلا أنها تتأثر بدرجات الحرارة الأعلى من ذلك.

الكسوة القصديرية:

القصدير موجب كهروكيميائياً بالنسبة للحديد وللصلب، وإلى جانب استخدام التكبسية بالرش تستخدم أساليب الغمر فى معدن منصهر، والقصدير معدن غير سام، لذلك فإنه يستخدم

بصورة واسعة كمادة تغطية لأدوات وأجهزة الطعام، والصاج الأبيض عبارة عن صاج مكسي بالقصدير.

الكسوة النحاسية:

النحاس موجب كهروكيميائيا، وتتم التغطية به عن طريق الجلفنة أو بالتصفيح.

الكسوة الرصاصية:

الرصاص موجب كهروكيميائيا، وتتم التغطية به غالبا بالغمر في المعادن المنصهرة أو بالرش، وهو صمود للمؤثرات الكيميائية كالأحماض مثلا، لذلك فإنه يستخدم لكسوت المشغولات المعرضة بصورة خاصة للمؤثرات الكيميائية.

الأوساط الغازية الواقية

رقائق الغاز الواقية، المقاومة للتآكل الكيميائي: تستخدم كمادة تغليف للمشغولات المعدنية أثناء شحنها أو تخزينها مرحليا أو بعد إتمام إنتاجها، هذه الرقائق مشربة بمواد كيميائية تطلق غازات بصورة مستمرة، حيث تشكل غلافا غازيا واقيا، وتستمر فاعلية هذه الرقائق لمدة طويلة، وتصلح بالدرجة الأولى لحماية حديد الزهر والصلب، كما أنها تستخدم أيضا للمعادن اللاحديدية كالألومنيوم والنحاس، ويستخدم الوسط الغازي الواقية بصورة متزايدة لتجهيز وتشغيل مواد التصنيع لمنع تأكسدها، كما هو الحال في عمليات التلييد.

التخطيط لمقاومة التآكل الكيميائي:

يلعب المصمم دورا رئيسيا في مقاومة التآكل، إذ إنه يمكنه تخفيض التآكل بوضع تصميم واستخدام مواد صمودة للتآكل، واختيار أسلوب التشطيب المناسب لتفادي التآكل أو تخفيضه. ونظرا للخسائر والأضرار المادية الكبيرة التي يسببها التآكل الكيميائي سنويا والتي تبلغ في بعض الدول إلى 3 مليار دولار سنويا، فإنه يجب اتخاذ جميع الاحتياطات والإجراءات الضرورية لمنع التآكل أو محاصرته في حدود محتملة.

المصطلحات الفنية

للتآكل الكيميائي والمعاملات الحرارية

يقصد بالمصطلحات الفنية للتآكل الكيميائي والمعاملات الحرارية هو التعريف بعملياتهما المختلفة، هذه المصطلحات تم انتقاءها باللغة العربية لتكون موحدة المعنى على مستوى العالم العربي كله كما هو متبع في الأوساط العلمية والفنية.

التآكل:

هو رد فعل كهروكيميائي للمعادن المحاطة بمواد كيميائية من التربة أو ماء وهذه تشكل خلايا توصيل تولد الكهرباء نتيجة فرق الجهد الطبيعي بين المعادن والذي ينتج عنه ذوبان المعدن الأكثر نشاطاً.

الأنود (المصدر - القطب الموجب):

معدن له مستوى أعلى من الطاقة (القيمة المطلقة لفرق الجهد) أو (فرق جهد قطبي V أقل مع وضع الإشارة في الاعتبار طبقاً لترتيبه في السلسلة الكهروكيميائية) وينساب منه التيار خلال التربة و هو الجسم الذي يحدث له التآكل.

الأنود (المهبط - القطب السالب): معدن له مستوى أقل من الطاقة (القيمة المطلقة لفرق الجهد) أو (فرق جهد قطبي V أعلى مع وضع الإشارة في الاعتبار طبقاً لترتيبه في السلسلة الكهروكيميائية)، وينساب منه التيار خلال سلك التوصيل وهو الجسم الذي يتم حمايته من التآكل.

الكاثود (المهبط - القطب السالب):

معدن له مستوى أقل من الطاقة (القيمة المطلقة لفرق الجهد) أو (فرق جهد قطبي V أعلى مع وضع الإشارة في الاعتبار طبقاً لترتيبه في السلسلة الكهروكيميائية) وينساب منه التيار خلال سلك التوصيل وهو الجسم الذي يتم حمايته من التآكل.

الأيون:

هو ذرة أو مجموعة ذرات تحمل شحنة كهربائية موجبة أو سالبة فإذا كانت أيونات موجبة يقال انها عناصر موجبة التكهرب، وإذا كانت ايونات سالبة يقال عنها سالبة التكهرب.

الأيون الموجب:

يتكون بفقد الكترونات من الذرات التي لها أنصاف أقطار كبيرة و تحتوى طبقاتها الخارجية على عدد قليل من الإلكترونات.

الأيون السالب:

يتكون باكتساب الذرة للالكترونات.

الوسط الالكترولى:

هو الذى يسمح بمرور التيار خلاله من المصعد إلى المهبط (من الأنود إلى الكاثود) ويكون تربة أو ماء.

الوصلة العازلة:

هى وصلة أو رباط من مادة عازلة كهربائياً بين جزئين من الخط كى تمكن من منع استمرار التوصيل الكهربى بينهما.

الموصل:

هو جزء معدنى أو كربونى ينساب فيه التيار الكهربائى بواسطة حركة الالكترونات من الكاثود إلى الأنود وهناك نوعان من الموصلات هما:-
- الموصل الالكترونى و هو المعدنى.
- الموصل الأيونى و هو المحلول.

الخلية:

هى دائرة كهربية كاملة تتضمن الكاثود والأنود موضوعين فى وسط موصل ومتصلين بموصل معدنى.

قطب كبريتات النحاس:

هو قطب يتكون من قضيب من النحاس موضوع فى محلول مشبع من كبريتات النحاس متصل بسلك لتوصيله بجهاز القياس وهو الأساس فى قياس فرق الجهد للمعادن، بالإضافة إلى بعض الأقطاب الأخرى التى تستخدم فى ماء البحر والمعامل.

الاستقطاب:

هو التغير الذى يحدث فى جهد القطب نتيجة لمرور التيار (الحيود عن حالة الاتزان).

السلسلة الكهروكيميائية:

هى ترتيب المعادن المختلفة طبقاً للجهد الكهربائى الطبيعى لها من الأكبر للأصغر، أو هى ترتيب المعادن طبقاً لمدى مقاومتها للتآكل فى ظروف معينة، وكل معدن فى هذه السلسلة يكون مصعد Anode للمعادن السابقة له فى السلسلة كالموضح فى جدول 8 - 1.

جدول 8 - 1
السلسلة الكهروكيميائية

العنصر	جهد القطب القياسي	رمز العنصر	Name
الليثيوم	-3.01	Li	
البوتاسيوم	-2.92	K	
الكالسيوم	-2.84	Ca	
الصوديوم	-2.71	Na	
ماغنسيوم	-2.38	Mg	MAGNESIUM
ألومنيوم	-1.66	Al	ALUMINUM
زنك - خارصين	-0.76	Zn	ZINC
كروم	-0.71	Cr	CHROMIUM
حديد	-0.44	Fe	IRON
كادميوم	-0.4	Cd	CADMIUM
نيكل	-0.23	Ni	NICKEL
قصدير	-0.14	Sn	TIN
هيدروجين	صفر	H	HYDROGEN
رصاص	-0.13	Pb	LEAD
نحاس	+0.34	Cu	CUPPER
فضة	+0.8	Ag	SILVER
بلاديوم	+0.83	Pd	PLATINUM
زئبق	+0.85	Hg	MERCURY
بلاتين	+1.2	Pt	PLATINUM
ذهب	+1.42	Au	GOLD

المعاملة الحرارية:

هي كل عملية أو مجموعة عمليات تتعرض بواسطتها المشغولة لتغيرات في درجة حرارتها (دورات حرارية) بقصد الحصول على بناء مجهري جديد يعطى خواص معينة جديدة أو تغيير بعض خواص المشغولة، علاوة على ذلك فإن مثل هذه العمليات قد تحدث بعض التغيرات في التركيبي الكيميائي للشغلة، وعلى سبيل المثال.. تركيز الكربون بأن يكون منفصلاً أو متحداً وكذلك النتروجين، وعمليات التشكيل على الساخن.

معدل التبريد:

هو مقدار هبوط درجة الحرارة في وحدة الزمن وذلك في حدود درجات حرارة معينة.

التقسية:

يطلق على معدل التبريد بعد التسخين والذي يبلغ من السرعة، بحيث يترتب عليه تحول أو تغير في خواص المشغولة.

فترة التقسية:

تعني التبريد السريع بعد التسخين، وتقدر بالزمن المنقضي من لحظة غطس الشغلة في وسيط التبريد حتى لحظة إخراجها منه.

درجة حرارة التقسية: هي درجة الحرارة التي يبدأ عندها التبريد السريع.

التسخين الأولي: هو تسخين بطيء إلى درجة الحرارة المرجوة بقصد تجنب حدوث شروخ من خلال الاجهادات الحرارية.

التشوه: هو إختلاف في الأبعاد أو التشكيل للشغلة الذي ينشأ عن أي معاملة حرارية.
المعاملات دون درجة حرارة الصفر: هي معاملة لاحقة الغرض منها هو تقسية الصلب، وتتم عند درجات حرارة شديدة الانخفاض (ما يعادل -180°C).

فترة الغطس: هي الفترة المنقضية منذ لحظة غطس المشغولة في أي حمام حتى لحظة إخراجها.

التقسية المتقطعة: هي عملية تبريد تتم في وسيطاً تبريد على التوالي، بحيث تكون لهما خواص تبريد مختلفة دون الاحتفاظ بالمشغولة في الوسيط التبريد الأولى لفترة.

زمن الاحتفاظ: هو الزمن المنقضي للشغلة عند درجات حرارة معينة، بحيث تتساوى درجتي حرارة القلب والسطح معاً، ولا تشمل هذه الفترة لزمن التسريب الحراري الذي يلي ذلك.

فترة التسريب الحراري: هي الفترة الزمنية للمشغولة منذ الوصول إلى درجة حرارة التسخين المطلوبة لسطح المشغولة إلى أن تصل نفس درجة الحرارة إلى قلب المشغولة.

وفى حالة تسخين الشغلة من أحد أوجهها، فإنه الفترة الزمنية المنقضية تستمر حتى تساوى درجات الحرارة الوجهين معاً.

التقسية المباشرة: هى عملية تصليد السطح المكربن بالتقسية من درجة حرارة قد تكون دون درجة حرارة الكربنة، كما تكون أعلى من درجة 723°C م للمناطق السطحية.

فترة التسخين: هى الفترة المنقضية منذ بدء التسخين حتى الوصول بدرجة الحرارة إلى المدى المطلوب على سطح المشغولة.

الفترة الكلية للتسخين: هى مجموع فترتي التسخين والتسريب الحراري.

التحول الأوستنيتي: هو التحول للتركيب البنائي للصلب بالتسخين المفاجئ إلى 723°C م. أى إلى ما يسمى بنقطة التحول، بحيث يتحطم البرليت وينحل الكربون من الحديد تماماً، يتم ذلك كله في الحالة الصلبة، حيث ينشأ ما يسمى بالمحلل الصلب، وتسمى البنية الجديدة بالأوستنيت نسبة إلى الباحث الإنجليزي أوستن.

التسخين المفرط: هو المبالغة في التسخين إلى أعلى من الحدود الحرجة (ما بين 723°C – 912°C م)، الأمر الذي يترتب عليه زيادة حجم الحبيبات عند الاحتفاظ بالشغلة عند هذه الدرجة للفترة المقررة المعتادة. ويمكن علاج ذلك بمعالجه حرارية لاحقة أو بالتشكيل على البارد.

حساسية تسخين المفرط: هو حساسية المشغولة للتسخين المفرط وفي التقسية، فكمما كان المدى الحراري الذي يمكن أن تبرد منه المشغولة كبيراً دون أن تتأثر الصلادة الناتجة.. كلما إنخفضت حساسية المشغولة للتسخين المفرط والعكس صحيح.

الاحتراق:

هو التسخين إلى درجة حرارة عالية (درجة حرارة أعلى من 723°C م)، والذي يؤدي إلى تشوه حجم الحبيبات الذي لا يمكن علاجه، ومن ثم تلف المشغولة.

التخمير: هى عملية تسخين المشغولة إلى درجة حرارة معينة، والاحتفاظ بها عند هذه الدرجة لفترة قبل تبريدها الذي يتم في العادة ببطء.

فترة التخمير: هى الفترة الزمنية المقضية للمشغولة عند درجة حرارة التخمير.

التخمير المكشوف: هي عملية تخمير معتادة تتم وينشأ عنها طبقة من الأكسيد، هذه الطبقة متماسكة وملتصقة مع سطح المشغولة.

التخمير اللامع: هى عملية تخمير تتم بشرط المحافظة على سطح المشغولة لامعاً.. أى بأقل قدر من الأكسيدة.

درجة حرارة التخمير: هى درجة حرارة تسخين المشغولة بقصد التخمير.

التخمير الشامل: هي عملية تسخين للمشغولة إلى درجة الحرارة الحرجة Ac_3 (723 – 912 °م)، يتبعها تبريد لإمكان الحصول على حبيبات غليظة بقصد تحسين قابلية تشغيلها.

التخمير الأوسط: هو عملية تخمير للشغلة بعد كربنتها أو بعد تحول حبيبات قلبها إلى حبيبات دقيقة، وذلك بإطالة فترة تسخينها عند درجة حرارة دون الدرجة الحرجة 723 °م، ثم تبريدها ببطء.

التخمير بالشبوت الحراري:

يقصد بذلك الاحتفاظ بالمشغولة عند درجة حرارة التحول أثناء فترة التبريد عند درجة حرارة 723 °م، ثم التبريد بعد ذلك بمعدل إختياري.

تخمير التلدين:

يجرى التلدين.. أى تطرية معدن المشغولة عند تسخينها إلى درجة الحرارة دون الدرجة الحرجة مباشرة و أحياناً بأعلىها أو التأرجح حولها.. أى عند درجة 723 °م، يتبع ذلك التبريد بقصد الوصول بالمشغولة إلى أطرى حالة لها.

إزالة الإجهادات: هي عملية تخمير تتم عند درجة حرارة دون الدرجة، وفي المعتاد عند درجة 650 °م للصلب، يتبع ذلك تبريد بطيء بقصد إزالة الاجهادات دون الأضرار أو التعديل بالخواص المكتسبة من العمليات أو المعاملات السابقة بأى قدر ملموس.

معاملة تحول حبيبات القلب إلى حبيبات دقيقة: هي عملية تبريد للمشغولة من درجة حرارة تفوق الدرجة الحرجة (723 – 912 °م) للقلب إلى درجة حرارة دون الدرجة الحرجة 723 °م، بقصد تحول بنية القلب إلى حبيبات دقيقة، والتي قد تغلظت من خلال عملية كرينه سابقة.

المعادلة: هي التسخين إلى درجة حرارة أعلى من الدرجة الحرجة (723 – 912 °م) أو أعلى من 723 °م، يتبع ذلك تبريد في هواء راكد.

استقرار: هي عملية تخمير بهدف تجميع أو ربط المكونات المتباينة والمتناثرة، ويتم ذلك عند 850 °م.

المجانسة: هو تغير يتداول في صناعة سحب الأسلاك والخص الرقيقة، المقصود به هو تسخين الأسلاك والخص الرقيقة إلى درجة حرارة أعلى من درجة الحرارة الحرجة (723 – 912 °م)، ثم التبريد السريع بقصد جعل البيئة متجانسة مع تقبل عمليات التشكيل على البارد المتوالية، يتم ذلك عادة في أفران مفتوحة من الطرفين يستمر مرور

السلك داخلها ثم يغطس مباشرة في حمام وسيط (مثل الرصاص أو الملح المنصهر في درجة حرارة ما بين 400 — 500 °م)، أو التبريد في الهواء (مجانسة هوائية)، وقد يتم ذلك أيضا بصورة غير مستمرة.. بمعنى أن يسخن ملف كامل من السلك مرة واحدة، ثم يبرد بعد الحمام المذكور.

التجانس: هي عملية تخمير تجرى في درجات حرارة مرتفعة (في حالة الصلب تكون أعلى من درجة الحرارة الحرجة (723Ac3 — 912 °م)، ثم الاحتفاظ بالمشغولة فترة طويلة عند هذه الدرجة، يتبع ذلك تبريدها بأى طريقة مرغوبة بقصد توزيع منتظم ومتجانس للمكونات الذائبة.

المجانسة بالمقاومة الكهربائية: هي عملية تسخين بالمقاومة الكهربائية.

التطويع: هي عملية تخمير لحديد الزهر تتم بتحلل السمنتايت عند درجة حرارة أعلى من 723 °م، يمكن أن تتم في وسيط مؤكسد ليلازمها إزالة الكربنة، وقد تتم في وسيط محايد دون أي تأثير على نسبة الكربون.

التصليد أو التقسية بصلادة عالية:

يقصد بذلك التبريد من درجة حرارة المدى (723Ac3 — 912 °م) أو درجة الحرارة الحرجة 723 °م بمعدل تبريد عالي للحصول على صلادة كافية، بحيث تكون الصلادة سطحية أو صلادة للمشغولة كلها.

درجة حرارة التصليد: هي درجة حرارة تسخين المشغولة قبل تبريدها لغرض تصليدها.

التقسية بالغطس: هي تصليد سطح المشغولة بعد تسخين سطحها وغطسها في فلز منصهر أو ملح منصهر في درجة حرارة مرتفعة.

قابلية التصليد: هي قابلية السبيكة لزيادة صلابتها بالمعادلة الحرارية بالتسخين والتقسية، يشمل ذلك التصلد المفرط أو التصلد المفيد.

التقسية في الزيت: هو تسخين المشغولة المراد تصليدها، ثم تبريدها في حمام زيت.

التقسية والمراجعة في الزيت: هي عملية تسخين للمشغولة المراد تصليدها ومراجعتها، ثم تبريدها في حمامات زيت.

التقسية في الهواء: هي عملية تسخين للمشغولة المراد تصليدها، ثم تبريدها في الهواء بدرجات حرارة التصليد والمراجعة

التقسية والتطبيع في الهواء: هي عمليات تسخين للمشغولة المراد تصليدها وتطبيعها، ثم تتم تبريدها في الهواء من درجات حرارة التصليد والمراجعة.

التصليد بالتيارات الحثية: هو تصليد بالتسخين السطحي بالتيارات الكهربائية الحثية، أو تسخين حثي متغلغل في مقطع المشغولة.

عمق التصليد المراجع: هو بعد محدود من سطح الشغلة المصلادة سطحياً، تم تقسية ومراجعتها بمقدار محدود مفيد.

تصليد القلب: هو عملية التقسية بعد الكربنة والتبريد من درجة حرارة التصليد للصلب إلى درجة دون 723°C ، ليصل التصليد إلى قلب المشغولة.

تصليد السطح: هو عملية التقسية بعد الكربنة والتبريد من درجة حرارة التصليد للسطح إلى دون الدرجة الحرجة.. درجة 723°C م على السطح.

التقسية المزدوجة: هي تصليد المشغولة المكربنة بأسلوبين، التصليد الأول هو الذي ينشأ من التبريد من درجة حرارة التصليد للقلب، أما التصليد الثاني فإنه يتم بالتبريد من درجة حرارة التصليد للسطح.

التصليد المتغلغل: هي عملية تصليد متغلغلة من السطح إلى القلب، أو من أحد أوجه المشغولة إلى وجهها الآخر.

قابلية التصليد المفيدة: هي قابلية السبيكة للتصليد لعمق معين مفيد مقاساً من على سطحها.

عمق الصلادة المفيدة: هو مقدار تغلغل البنية المتصلدة في مقطع المشغولة، ويقدر العمق عند مستوى التصليد الذي يعتبر مفيداً للغرض المعنى.

اختبار التصلد على الأقرص: هو اختبار يجرى لتقدير مقاومة الإجهادات في قلب مشغولة من الصلب المصلده سطحياً بالتغليف، ويجرى الاختبار على القلب الذي لم يتكربن بالتغليف، وفي المعتاد يجرى استخدام أقراص مختلفة التخانة في هذا الاختبار.

التصلد المفرط: هو قابلية السبيكة للتصليد بإفراط بعد سقيتها في عملية التقسية أو التصليد. **مقدار التصلد:** هو الحد الأقصى للصلادة التي يتوصل إليها بعد عملية التقسية (التصلد) أو بعد عمليات اللحام أو القطع باللهب.

قابلية التشرح بالتسقية:

قابلية المشغولة لإظهار شروخ بها أثناء دورة التسخين أو بعد التسقية مباشرة قبل الطبع. **التصليد للتغلغل والمراجعة:** هي عملية تصليد يتتبعها تطبيع، تتم هذه العملية من خلال التغلغل من السطح إلى القلب.

التقسية والتطبيع في الماء: هي عملية تقسية وتطبيع تتم بالتبريد في الماء.

التقسية والتطبيع من درجة حرارة التشكيل: هي عمليات حرارية وتبريد مباشر من درجات حرارة التشكيل (الحدادة — السحب — الدلفنة — البثق) دون سابق تبريد.

التقسية والتطبيع أو (المراجعة): هي معاملة للحصول على أقصى متانة للسبيكة عند مقاومة معينة لإجهادات الشد، وذلك بالتقسية التي يتبعها عملية تطبيع عند حرارة مرتفعة.

التطبيع والمراجعة: هي عملية تسخين تتبع عملية التصليد بالمعاملة الحرارية والتشكيل على البارد أو اللحام، وذلك لدرجة حرارة تقع بين درجة حرارة الجو ودرجة حرارة دون الحد الحرج 723°C والاحتفاظ بالمشغولة عند هذه الدرجة لفترة، ثم تبريدها بمعدل مناسب.

فترة المراجعة: هي الفترة الزمنية التي يحتفظ بالمشغولة خلالها عند درجة حرارة التطبيع أو المراجعة.

درجات حرارة التطبيع: هي درجات الحرارة التي يحتفظ بالمشغولة عندها أثناء التطبيع.

القصفة الناشئة عن التطبيع: هي إنخفاض في المتانة الناشء عن التطبيع عند نطاق درجات حرارة معينة أو عند التبريد ببطء عبر نطاق درجات حرارة معينة بعد التطبيع.

التطبيع السريع عند درجة الحرارة العالية: هي عملية تطبيع سريعة تتم عند درجة حرارة تفوق درجة حرارة التطبيع المعتاد.

الغلي: هي عملية تطبيع تتم في درجات حرارة متوسطة في حمامات الماء أو الزيت الساخن.

التغليف: هي عملية تصليد للسطح من خلال الكربنة أو نتردة السطح أو بكليهما.

الكربنة: هي عملية أغناء السطح بالكربون من خلال الاحتفاظ بالمشغولة عند درجة حرارة فوق الحدود الحرجة ($723 - 912^{\circ}\text{C}$)، وذلك في وسيط مكرين مثل غاز مكرين أو حمام ساخن مكرين أو مسحوق أو معجون مكرين.

السنيده: هي عملية أغناء السطح بكل من الكربون والنيتروجين، وذلك بالاحتفاظ به أعلى من درجة الحرارة الحرجة أو أحياناً دون درجة الحرارة الحرجة (723°C) في وسط مكرين.

عمق الغلاف:

يستخدم في التصليد السطحي للدلالة عن عمق السطح المصلد بدرجة محددة.

إزالة الكربنة: هي عملية خفض نسبة الكربون من المشغولة وفي الغالب من سطحها.

العمق المزال منه الكربون: هو العمق الكلي المزال منه الكربون كلياً أو جزئياً من المنطقة السطحية.

النتردة: هي تسخين في وسيط منترد (أى محتوى على نيتروجين) بقصد زيادة نسبة تركيز النيتروجين على السطح.

النتردة الجافة: هي تسخين في وسط من غازات غنية بالنيتروجين.

التردة بحمامات الأملاح: هي تسخين في حمامات من الأملاح المنصهرة الغنية بالنتروجين.

عمق الكربنة: هو العمق في المنطقة السطحية للمشغولة التي تزداد فيها نسبة الكربون عن مستواها داخل المشغولة.

التصليد بالذهب: هي عملية تقسية بتسخين السطح أو المقطع الكلي للعينة باستخدام لهب من بوري (مشعل لحام).

التصليد بالترسيب: هي معاملة حرارية يعتمد فيها على درجة الحرارة في تحلل بلورات المحاليل المتجمدة فوق المشبعة المتكونة بعد التسقية من منطقة المحلول المتجمد، وقد يتم التحلل المذكور في درجة حرارة الغرفة وينشأ عنه إرتفاع فجائي في الصلادة، وقد يتم ذلك في درجات حرارة المرتفعة نسبياً (التصلد بالتعتيق التخليقي) بقصد تعديل الخواص الميكانيكية أو المغناطيسية.

التسخين للمحلول المتجمد: هي عمليات تسخين إلى درجة الحرارة التي تذوب عندها المكونات المترسبة.

التعتيق أو التشيخ: هو الاحتفاظ بالمشغولة عند درجة حرارة معينة سواء أعلى من درجة حرارة الجو أو دونها لمرة واحدة أو تكرارها لعدة مرات، بهدف تعجيل أو تأخير تغيير بعض الخواص في المشغولة مثل الخواص الميكانيكية، أو تخليقياً إذا كان هذا التغيير يحدث في درجة حرارة عالية نسبياً، أو طبيعياً إذا كان هذا التغيير يحدث في درجة حرارة الجو بعد زمن طويل.. وهو ما يسمى بالتعتيق الطبيعي.

الخاتمة

أرجو أن يكون هذا الكتاب الذي بين يديك بعد وصوله إلى نهاية الباب الثامن قد إكتمل، في هذه المحاولة المتواضعة، الغرض منها هو توصيل المعلومات الأساسية عن المواد التي نتعامل معها (المعادن الحديدية وغير الحديدية والمواد غير المعدنية) وطرق تشكيلها وتشغيلها.. أى تغيير شكل المواد الخام وتحويلها إلى منتجات يستفاد منها.

تم عرض هذه الموضوعات من خلال الشرح التفصيلي المبسط للغاية بمبدأ الصورة قبل الكلمة، هذا بالإضافة إلى عرض الجداول والمعادلات ذات العلاقة والتطبيق عليها بالأمثلة المحولة التي تناسب طلاب السنة الإعدادية لكليات الهندسة والسنوات الأولى لطلاب المعاهد العليا الصناعية، لذلك فإن الموضوعات التي لم تأخذ حقها من خلال الشرح التفصيلي في هذا الكتاب، فقد يجد لها القارئ موضوعات كاملة في كتاب آخر أكثر تخصصاً.

أأمل أن يتقدم أحد الزملاء من أعضاء هيئات التدريس بكليات الهندسة أو بالمعاهد العليا الصناعية أو من لديه القدرة على الكتابة في أحد التخصصات الصناعية أو الهندسية، بإصدار كتاب جديد يحمل إضافة علمية أخرى، لكي تتواصل المسيرة التعليمية على أكمل وجه، وحتى تزهوا وتتألق المكتبة العربية.

ربنا لا تؤاخذنا إن نسينا أو أخطأنا ربنا ولا تحمل علينا إصراً كما حملته على الذين من قبلنا ربنا ولا تحملنا مالا طاقة لنا به وأعف عنا وأغفر لنا وارحمنا أنت مولانا فانصرنا على القوم الكافرين.. صدق الله العظيم

ولك الحمد على نعمك وفضلك وتوفيقك.

المراجعة العربية

1. مدخل في هندسة الإنتاج.. تأليف الأستاذ. حسن حسين فهمي، أ.د. جلال شوقي.. مكتبة الأنجلو المصرية.. القاهرة.. مصر.
2. هندسة التشغيل والإنتاج.. تأليف الأستاذ المهندس. حسن حسين فهمي.. مكتبة النهضة المصرية.. القاهرة.. مصر.
3. المدخل إلى هندسة الإنتاج.. تأليف أ.د. أحمد سالم الصباغ.. عالم الكتب.. القاهرة.. مصر.
4. هندسة الإنتاج.. تأليف م. صباح عبد الصمد البجاري، م. سامي البجاري.. وزارة التعليم العالي والبحث العلمي.. مؤسسة المعاهد الفنية. الجمهورية العراقية.
5. المعاجم التكنولوجية التخصصية (معجم آلات الورش).. تصنيف م. محمد عبد النصير القديم.. إشراف د. أنور محمود عبد الواحد.. الأسس التكنولوجية.. المؤسسة الشعبية للتأليف في لايبزغ بالتعاون مع مؤسسة الأهرام بالقاهرة.
6. المعاجم التكنولوجية التخصصية.. (معجم المصطلحات التكنولوجية الأساسية).. تصنيف د.م. حماد يوسف حماد، د.م. محمود فوزي عبد العزيز، م. محمد عبد المجيد نصار.. المؤسسة الشعبية للتأليف في لايبزغ بالتعاون مع مؤسسة الأهرام بالقاهرة.
7. التكنولوجيا لمهن تشغيل المعادن.. إعداد مجموعة من المدربين المهنيين والمهندسين.. الترجمة بإشراف د. محمد عبد الرازق محمد عامر.. شركة هكلر أند كوخ.. جمهورية ألمانيا الاتحادية.
8. تكنولوجيا ميكانيكا الآلات.. ألماني مترجم.. تأليف نخبة من الأساتذة المتخصصين.
9. تكنولوجيا المعادن.. تأليف / مالمشيف.ج، نيكولايف.ي، شوفالوف.. دار مير للطباعة والنشر.. الاتحاد السوفيتي.. موسكو.

المراجعة الأجنبية



1. Understanding Technical., K. Methold & D.Waters.
2. General Course Workshop Processes And Materials. R. T. Pritchard.
3. General Course Workshop Processes And Materials
4. Workshop Technology., “ Part 1,2 “ W. A.J.Chapman.
5. Basic Engineering Process. Crawford.
6. Basic Engineering Processes. S. Crawford.
7. Manufacturing And Machine. Tool Operations – Herman W. Pollack.
8. Workshop Technology Part 1, 2.. By Dr. W.A.J. Chapman.. Edward Arnold.. London.
9. Materials And Processes In Manufacturing.. By/ E.Paul De Garmo.. Macmillan Publishing Company New York.
10. Manufacturing Processes.. By Herbert W. Yankee..

المحتويات

الصفحة	الموضوع
5	إهداء
7	المقدمة
9	الباب الأول المواد الهندسية
9	تمهيد
9	المواد الهندسية
11	إختيار المواد الهندسية
12	جدول أمثلة لبعض المنتجات والخواص المطلوبة
12	خواص المواد الهندسية
13	أنواع خواص المواد
13	جدول خواص المواد الهندسية
13	الخواص الميكانيكية للمواد
17	الخواص الميكانيكية للمواد عند تعرضها لقوى إستاتيكية أو ديناميكية
20	جدول أهم الفلزات (المعادن) المستخدمة في الصناعة
21	الباب الثاني المعادن الحديدية
21	تمهيد
21	الفلزات (المعادن) الحديدية
22	استخلاص الحديد الغفل
22	العمليات التجهيزية التي تجرى على الحديد الغفل
25	إنتاج الحديد الخام
26	الفرن العالي
29	شحنة الفرن العالي

30	العمليات التي تتم داخل الفرن العالي
30	منتجات الفرن العالي
31	منشأة الفرن العالي
31	استخلاص الزهر من الحديد الخام
32	خواص حديد الزهر القابل للصب
33	المواد الحديدية المستخدمة في الصناعة
33	الخامات المعدنية
33	المواد نصف المصنعة
35	إنتاج المعادن الحديدية
37	إنتاج حديد الزهر والصلب
37	إنتاج حديد الزهر
37	فرن الدست
38	تشغيل فرن الدست
39	مميزات فرن الدست
40	إستعمالات حديد الزهر المنتج من الفرن الدست
40	مميزات حديد الزهر المنتج من الفرن الدست
40	تحويل الحديد الخام إلى صلب
41	طرق إنتاج الصلب
41	تحويل الحديد الخام إلي صلب طري
41	خواص الحديد المطاوع (الصلب الطري)
42	فرن التقليل
42	استخدام فرن التقليل
42	طريقة فرن التقليل لصناعة الصلب
43	استعمالات الصلب الطري .. (الحديد المطاوع)
43	تحويل خام الحديد إلى صلب بالنفخ
43	محول بسمر
44	التحويل باستخدام محول بسمر (التحويل الحامضي)
46	محول توماس
46	التحويل باستخدام محول توماس (التحويل القاعدي)

47	منتجات محولات بسمر وتوماس
47	مميزات محولات إنتاج الصلب
47	عيوب محولات إنتاج الصلب
48	فرن سيمنز مارتن
50	منتجات فرن سيمنز مارتن
50	مميزات فرن سيمنز مارتن
50	الأفران الكهربائية
51	أفران القوس الكهربائي
51	فرن القوس الكهربائي المباشر
51	فرن القوس الكهربائي الغير مباشر
51	فرن القوس الكهربائي المغمور
52	منتجات أفران القوس الكهربائي
52	مميزات أفران القوس الكهربائي
52	أفران الحث الكهربائي
53	منتجات أفران الحث الكهربائي
54	مميزات أفران الصهر الكهربائي
54	عيوب أفران الصهر الكهربائي
54	استخدامات الصلب
54	جدول مجالات استخدام الصلب الكربوني
55	تأثير الإضافات اللا معدنية والمكونات السببكية على الحديد والصلب
55	جدول تأثير الإضافات المعدنية واللامعدنية على خواص الحديد والصلب
56	أساليب إنتاج الصلب
59	الباب الثالث المعادن غير الحديدية
59	تمهيد
59	الفلزات (المعادن) غير الحديدية
60	الفلزات (المعادن) غير الحديدية النقية
60	الفلزات (المعادن) غير الحديدية الثقيلة
61	إنتاج النحاس

62	استخلاص النحاس
67	إنتاج سبائك النحاس
69	إنتاج الزنك (الخاصين)
70	إنتاج القصدير
72	إنتاج الرصاص
73	إنتاج النيكل
75	إنتاج الكروم
75	إنتاج التنجستين
76	إنتاج الموليبدنم
76	إنتاج الفاناديوم
77	إنتاج الكوبلت
77	إنتاج المنجنيز
78	إنتاج التنتالوم
79	إنتاج التيتانيوم
80	إنتاج الأنتيمون
81	إنتاج الزئبق
81	المعادن الثمينة
81	إنتاج الفضة
82	إنتاج الذهب
83	إنتاج البلاتين
84	المعادن اللاحديدية الخفيفة
84	إنتاج الألومنيوم
87	إنتاج المغنسيوم
89	الباب الرابع مواد التصنيع الملبدة
89	تمهيد
89	ميثالورجيا المساحيق
89	طرق تحضير مساحيق المعادن
92	تشكيل المساحيق بالكبس

93	مميزات مواد التصنيع الملبدة
93	عيوب مواد التصنيع الملبدة
95	المعادن الصلدة
95	خامات المعادن الصلدة
96	تحضير وإنتاج مشغولات المعادن الصلدة
97	مواد القطع الخزفية
98	خواص مواد القطع الخزفية
98	استعمالات مواد القطع الخزفية
99	الباب الخامس المواد غير المعدنية
99	تمهيد
99	المواد غير المعدنية
101	اللدائن
101	خواص اللدائن
102	مميزات اللدائن
102	عيوب اللدائن
102	التركيب الكيميائي لللدائن
104	الكاوتشوك (المطاط)
105	الكاوتش الطبيعي
107	المطاط الصناعي
108	الجلود
108	النسيج المصلد
108	الورق المصلد
108	الإسمنت
108	الفحم والبترولد
109	الميلامين
109	الزجاج
110	الاسبستوس
110	الخشب

111	المواد المزلقة
113	الباب السادس عمليات التصنيع تحويل الصلب إلى منتجات نصف مصنعة
113	تمهيد
113	الصلب
114	التغيرات التي تحدث بالصلب عند الصب
117	الدلفنة
119	دلفنة القضبان والقطاعات وأسلاك الصلب
120	دلفنة ألواح الصاج
121	دلفنة الأنابيب
121	دلفنة الأنابيب غير الملحومة
123	دلفنة الأنابيب الملحومة
123	بثق المعادن
124	سحب المعادن
124	خواص واستخدامات الصلب
125	صلب الإنشاءات
125	صلب الإنشاءات العام
126	الصلب سهل القطع
126	صلب التصليد الغلافي
126	صلب التطبيع
127	صلب النتردة
127	صلب النوابض
128	الصلب الخاص
128	ألواح الصلب (ألواح الصاج)
129	صلب العدة
129	صلب العدة اللاسبيكي (الصلب الكربوني)
130	صلب العدة السبيكي منخفض الخلط
130	صلب العدة السبائكي عالي الخلط

131	الأشكال التجارية لأنواع الصلب
133	الباب السابع المعالجات الحرارية للمعادن
133	تمهيد
134	المعالجة الحرارية
134	المعالجة الحرارية للصلب
135	مقومات بنية الصلب الالاسبيكي
135	التلدين
135	أساليب للتلدين
136	التلدين المزيل للإجهادات
136	التلدين اللين
136	تلدين الموازنة (المعادلة الحرارية)
136	أخطاء التلدين
137	التصليد (التصليد بالتسقية)
137	التسخين
137	التقسية
138	المراجعة الحرارية
139	جدول ألوان ودرجات الحرارة اللازمة للمراجعة الحرارية
139	التعتيق
140	المعالجة الحرارية لأنواع صلب العدة
140	تصليد ومراجعة أنواع صلب العدة الالاسبيكي
143	تصليد ومراجعة أنواع صلب العدة السبيكي منخفض الخلط
143	تصليد ومراجعة أنواع صلب العدة السبيكي عالي الخلط
144	المعالجة الحرارية لأنواع صلب الإنشاءات
144	التصليد السطحي
144	التصليد الغلافي
145	التصليد الغلافي بالصناديق (السمنتة)
146	جدول أعماق التصليد الغلافي لأنواع الصلب السبيكي والالاسبيكي
147	التصليد الغلافي بالحمامات السمنتة

147	التصليد الغلافي في وسط غازي
148	جدول التصليد المزدوج والتلدين المرحلي للصلب الكربوني
149	جدول الأخطاء المحتملة أثناء التصليد الغلافي
149	التصليد بالنتردة
149	النتردة الغازية
150	النتردة بالغمر
150	مميزات أسلوب التصليد السطحي بالنتردة بالغمر
151	التصليد باللهب
151	أنواع التصليد باللهب
153	التصليد بالغمر
153	التصليد بالحث
154	التطبيع
154	المعالجة الحرارية لحديد الزهر
154	إزالة الإجهادات من المصبوبات
155	المعالجة الحرارية لمصبوبات القوالب المعدنية المبردة
155	التصليد السطحي للحديد الزهر
155	المعالجة الحرارية للمعادن الخفيفة
155	المعالجة الحرارية للألومنيوم وسبائكه
156	التلدين اللين
156	التصليد بالتعيق (التصليد بالترسب)
156	التقسية
156	التعيق
157	المعالجة الحرارية لسبائك المغنسيوم
159	الباب الثامن تآكل المعادن
159	تمهيد
160	التآكل
160	الأضرار التي يسببها الفشل السطحي بسبب التآكل
162	الأضرار الاقتصادية بسبب الإجراءات الوقائية

164	التآكل الكيميائي
167	أنواع التآكل الكيميائي
167	التآكل الكيميائي البحت
167	التآكل الكهروكيميائي
167	التآكل التلامسي
167	الوقاية من التآكل الكيميائي بالمعادن
168	علاج التآكل
168	طرق الحماية من التآكل
169	خصائص مواد التغطية
169	طرق حماية المعادن بالتغطية
169	التغليف المعدني
170	المعالجة الابتدائية لأسطح المعادن (التغليف أو الدهانات)
170	مراحل معالجة أسطح المعادن
171	اختبار التغليف
172	الكسوات اللا معدنية
172	التكسية بالطلاء
173	أساليب التكسية بالررش
174	التكسية بالررش على البارد
174	التكسية بالررش على الساخن
174	التكسية بالررش الكهربائي
174	التكسية بالغمر الكهربائي
175	التكسية باللدائن
175	التكسية بالميناء
175	تكسية الصلب بالتحويل الكيميائي
175	التكسية المعدنية
176	أساليب التكسية المعدنية
176	التكسية بالغمر في معدن منصهر
176	الرش بالمعادن
176	التكسية بنشر المعادن

177	التكسية برفائق معدنية (التصفيح)
177	الكسوة الكرومية
177	الكسوة القصديرية
178	الكسوة النحاسية
178	الكسوة الرصاصية
178	الأوساط الغازية الواقية
178	التخطيط لمقاومة التآكل الكيميائي
179	المصطلحات الفنية للتآكل الكيميائي والمعاملات الحرارية
189	الخاتمة
191	المراجع
193	الفهرس

إصدارات المؤلف



المؤلف: د. أحمد زكي حلمي

صدر له الكتب العلمية التالية :-

1. المرجع في خراطة المعادن .. الطبعة الرابعة
2. التشغيل علي المخرطة .. لا أرغب في إعادة طبعه
3. مبادئ الخراطة .. الطبعة الخامسة
4. خراطة المعادن .. الطبعة الرابعة
5. تكنولوجيا الخراطة .. الطبعة الرابعة
6. وسائل نقل الحركة .. الطبعة الثالثة
7. أجهزة القياس والمعايرة .. الطبعة الثانية
8. الأمان الصناعي والصحة المهنية .. الطبعة الخامسة
9. السلامة والصحة المهنية .. الطبعة الثالثة
10. المرجع في الأمان الصناعي .. الطبعة الثانية
11. الصحة المهنية .. الطبعة الثانية
12. تكنولوجيا التفريز .. الطبعة الثانية
13. أساسيات تكنولوجيا التصنيع (تشكيل المعادن بدون قطع) .. الطبعة الثانية
14. أساسيات تكنولوجيا الورش (تشغيل المعادن بالقطع) .. الطبعة الثانية
15. القلاووظات (اللوالب .. بالنظام المتري والإنجليزي وبالنظام الدولي SI بمواصفات ISO) .. الطبعة الأولى
16. الرسم الهندسي .. الطبعة الأولى
17. أساسات هندسة الإنتاج .. الطبعة الأولى
18. تكنولوجيا اللحام .. الطبعة الأولى
19. محركات الاحتراق الداخلي .. الطبعة الثانية
20. هيكل السيارة .. الطبعة الأولى
21. تكنولوجيا القياس .. الطبعة الثالثة
22. المخارط الرقمية CNC .. طبعة الأولى
23. التشغيل على الماكينات .. الطبعة الأولى

24. مواد التصنيع .. (المواد والمعادن الحديدية وغير الحديدية وغير المعدنية) .. الطبعة الأولى

25. تكنولوجيا البرادة .. الطبعة الأولى

26. سبائك المعادن .. الطبعة الأولى

27. مكافحة الحرائق .. الطبعة الأولى

28. الحرائق ذات الطبيعة الخاصة .. تحت الطبع

29. تلوث البيئة .. سيصدر قريباً بمشيئة الله

30. الجداول الفنية للمعادن .. سيصدر قريباً بمشيئة الله

ملاحظة :

يمكن للقارئ الاتصال بالمؤلف عن طريق البريد الإلكتروني عبر شبكة الإنترنت الدولية أو على الفيس بوك على العنوان التالي :-

E-mail : ahmedzhelmy@yahoo.com

تم بحمد الله ،،