



مصلحة الكفاية الإنتاجية والتدريب المهني
برنامج تطوير منظومة التعليم والتدريب المهني من أجل التشغيل
المقدم من البنك الإسلامي للتنمية لتطوير مهنة الخراطة



معهد بيان العالمية

للتدريب والاستشارات وخدمات السلامة الصناعية

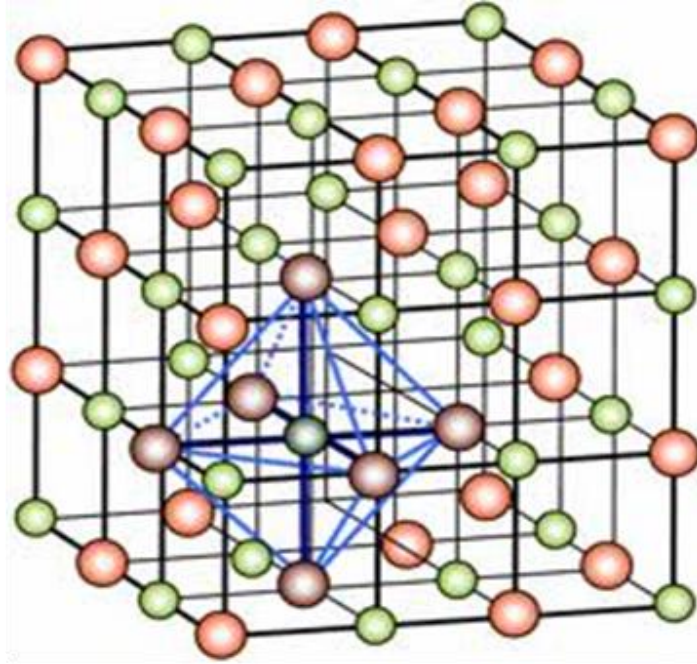


كتاب: علم المواد

Materials Science

السنة : الثانية

للمهن الميكانيكية والمعدنية



إشراف عام : مدير المكون
مهندسة : مديحة رفعت محمد
المراجعة الفنية والتصميمية
مهندس : سيد كامل محمد جاد

العام التدريبي
٢٠١٦/٢٠١٧

إعداد: بيان العالمية للتدريب
مراجعة: د م . هاني السيد عبد الحليم
كلية الهندسة - جامعة عين شمس

حقوق الطبع والنشر محفوظة لمصلحة الكفاية الإنتاجية والتدريب المهني

الفهرس والمحتويات

الباب	الموضوعات / العناصر	عدد الحصص	عدد الساعات	رقم الصفحة	متطلبات التنفيذ
الباب الأول تصنيف المواد	تصنيف المواد وخواص المواد	٤	٣	٣	
الباب الثاني المعادن غير الحديدية	- أنواعها - خواصها - إستخداماتها	٨	٦	٨	المكان: - فصل تعليمي
الباب الثالث المعادن الحديدية	- المصطلحات الفنية	٤	٣	١٩	- معمل محاكاة
	- الحديد الزهر - الحديد الصلب	٤	٣	٢٣	
الباب الرابع المعالجة الحرارية للمعادن	- مقدمة ومنحنى الإتران الحرارى	٤	٣	٤٠	المساعدات التدريبية :
	- المعالجات الحرارية للصلب	٨	٦	٤٥	بروجيكتور - فيديو - وسائل الإيضاح - وحدة محاكاة - لوحات إرشادية - إخرى عند الحاجة
الباب الخامس اختبارات مواد التصنيع	١- الإختبارات الميكانيكية	٨	٦	٦٧	
	٢- إختبارات الخصائص الحرارية	٤	٣	٨٢	
	٣- إختبارات الخصائص الكهربائية	٤	٣	٨٣	
	٤- إختبارات تلف الصدا والإشعاع والتلف البيولوجي	٤	٣	٨٤	
	٥- الإختبارات غير الإتلافية	٤	٣	٨٦	
	مراجعة وإختبار	٦	٤,٥		
	إجمالى عدد الحصص	٧٢	٥٤		

مقدمة:

يعتبر علم المواد من أهم العلوم لدى الدول الصناعية المتقدمة وهو علم متجدد تكثر فيه الأبحاث والدراسات للحصول على مواد جديدة بخواص مميزة ، ولقد برع العلماء قديما في هذا العلم وخصوصا علم المعادن ومنهم: ابن سينا الذي يعتبر أول من درس وصنف المعادن.

وعلم وهندسة المواد هو تخصص متداخل يتضمن دراسة خواص المواد وتطبيقاتها للعلوم والهندسة ، وتوجد معظم المواد على صورة خام يستخرج من القشرة الأرضية أو سبائك (خليط من مادتين أو أكثر) أو مواد أخرى مصنعة، ونظرا لأهمية هذه المواد في حياة الإنسان فقد ورد ذكر بعض منها في القرآن الكريم ومنها سورة الحديد آية ٢٥ في قوله تعالى: (وَأَنْزَلْنَا الْحَدِيدَ فِيهِ بَأْسٌ شَدِيدٌ وَمَنَافِعُ لِلنَّاسِ) ، وقوله تعالى في سورة الكهف آية ٩٦: (عَاثُوْنِي زُبْرَ الْحَدِيدِ حَتَّىٰ إِذَا سَاوَىٰ بَيْنَ الصَّدَفَيْنِ قَالَ انْفُخُوا حَتَّىٰ إِذَا جَعَلَهُ نَارًا قَالَ عَاثُوْنِي أُفْرِعْ عَلَيْهِ قَطْرًا).

وعن النحاس في سورة الرحمن آية ٣٥ قوله تعالى: (يُرْسَلُ عَلَيْكُمَا شُوَاظٌ مِّن نَّارٍ وَنُحَاسٌ فَلَا تَنْنَصِرَانِ) ، وهذه الآيات وغيرها من الشواهد في حياتنا اليومية تدل على أهمية هذا العلم ودوره في تقدم ورقي الدول، وكل ما نشاهده وننبره به من الصناعات أساسه يبدأ من المادة وطرق التعامل معها.

ويمكن تقسيم المواد إلى ثلاثة أقسام هي: المعادن، اللدائن، الخزفيات والسيراميك. وكل قسم له خواصه الفيزيائية والكيميائية المميزة ، وتجدر الإشارة هنا إلى انه لا بد من فهم جميع هذه الخواص والعوامل المؤثرة عليها وطرق تغييرها باستخدام المعالجات الحرارية ومخططات الاتزان الحراري.

وفي هذا الكتاب نحاول إيصال ولو جزء يسير من المعلومات عن هذه المواد وخاصة الحديد والفولاذ وحديد الزهر والألمونيوم والنحاس بالإضافة إلى بعض السبائك الشائعة الإستخدام في التشغيل والتصنيع . والحقيقة أن كثيرا من أساتذة الهندسة لهم سبق في مثل هذه الموضوعات وقد تعلمنا منهم وأخذنا عنهم الكثير، ونقدم لهم بخالص الشكر والتقدير ، ونبتهل بالدعاء إلى الله العلي القدير بأن يجعل جهودهم وهذا الجهد المتواضع في ميزان حسناتنا إنه قريب مجيب الدعاء.

(والله من وراء القصد)

٢٠١٧/٢٠١٦

إشراف عام : مدير المكون
مهندسة : مديحة رفعت محمد

المراجعة الفنية والتصميمية
مهندس : سيد كامل محمد جاد

العام التدريبي
٢٠١٦/٢٠١٧

إعداد: بيان العالمية للتدريب

مراجعة: د م . هاني السيد عبد الحليم
كلية الهندسة – جامعة عين شمس

حقوق الطبع والنشر محفوظة لمصلحة الكفاية الإنتاجية والتدريب المهني

الباب الأول: تصنيف وخواص المواد الهندسية

Classification and properties of Engineering Materials

تصنيف وخواص المواد الهندسية

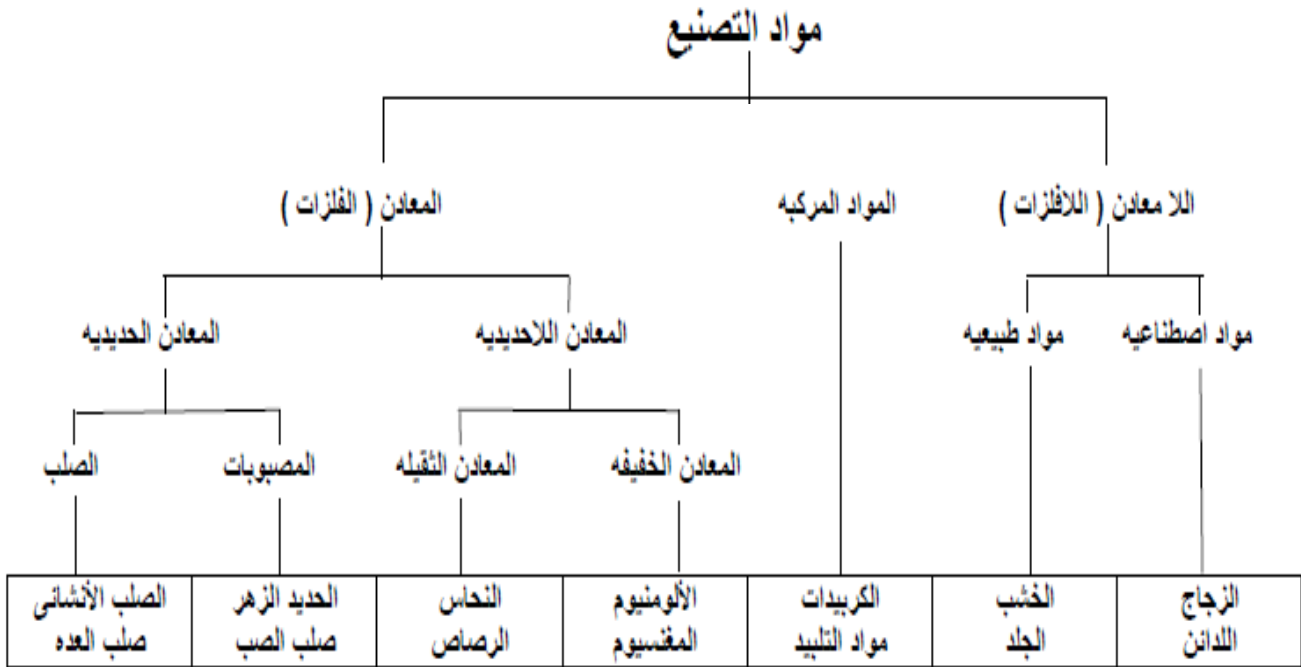
المواد الهندسية: هي أي مادة تدخل في أي عمل من أعمال التشغيل والتصنيع.

مواد التصنيع :

هي مواد طبيعيه مثل الحديد الخام والخشب وزيت البترول مرت بمراحل معالجه متعددة ومختلفة حتى تصبح مواد صالحه للتصنيع مثل الصلب والزره وسبائك الالمنيوم .

وتسمى المواد التي لا يمكن تحليلها إلى مواد أخرى بالعناصر أو المواد الأساسية وهناك ٩٢ عنصرا طبيعيا و ١٢ عنصرا إصطناعيا والمقصود بالعناصر الإصطناعية إتحاد عدة عناصر طبيعيه كيميائيا لتكوين عنصر جديد وهي العمليه التي تعرف بالتحضير، وكمثال على ذلك إنتاج اللدائن أي أن العناصر الإصطناعية هي مركبات كيميائيه لا يمكن تحليلها إلى العناصر الطبيعيه.

ويمكن تقسيم مواد التصنيع كما هو موضح بالشكل التالي:



وسوف نقتصر في هذا الباب على المواد المركبة والمعادن نظرا لشبوع إستخدامها في عمليات

التشغيل والتصنيع الميكانيكية.

خواص مواد التصنيع:

يتم إختيار مواد التصنيع بحسب خواصها الفيزيائية والكيميائية والميكانيكية والتكنولوجية وإذا كانت الخواص الميكانيكية والفيزيائية والكيميائية المطلوبة فى المنتج يتحدد على أساسها إختيار نوع المادة لضمان تحقيق المنتج للأداء المطلوب وتحمله لظروف الإستخدام فإن الخواص التكنولوجية للمعادن تؤثر على إختيار نوع المادة حسب طبيعة عملية الإنتاج المناسبة أو بمعنى اخر فالخواص التكنولوجية تحدد قابلية المعادن لتحويلها إلى أجزاء مصنعه.

١- الخواص الفيزيائية :

يميز الناس بعض المواد بالنظر إليها أو برائحتها أو بلمسها أو طعمها أو سماع رنينها. فيمكننا معرفة الذهب والنحاس من لونهما، والسكر من طعمه، والبترول من رائحته. وهذه أمثلة لبعض الخواص الفيزيائية للمادة. والخاصية الفيزيائية الأخرى للمادة هي الكثافة أو كمية الكتلة الموجودة فى وحدة حجمية واحدة. وإختلاف الكثافة بين المواد فإن كتلة من الفلين تزن أقل من كتلة مساوية لها فى الحجم من نوع آخر من الأخشاب المعروفة. والذوبانية هي مقدرة نوع معين من أنواع المادة على الذوبان فى مادة أخرى، والموصلية أو التوصيل هي مقدرة المادة على توصيل الحرارة أو التيار الكهربائى، وهما أيضا من الخواص الفيزيائية.

٢- الخواص الكيميائية:

تصف الخواص الكيميائية للمادة الكيفية التي تتغير بها المادة كيميائياً، فمثلاً نجد من خواص الحديد الكيميائية مقدرته على الإتحاد بالأكسجين فى الهواء الرطب لتكوين أكسيد الحديد أو الصدأ، وتؤدى بعض التغيرات إلى تغيير فى قيم بعض الخواص الفيزيائية كالوزن أو الكثافة ولكن دون أن يحدث تغيير فى تركيب المادة. وتسمى هذه التغيرات بالفيزيائية، فمثلاً عندما يتحول الماء إلى بخار فإنه يتغير فيزيائياً وليس كيميائياً. وتشمل الخواص الكيميائية مقاومة التآكل الكيميائى وقابلية الاحتراق ودرجه السمومه والتفاعل مع المواد الأخرى.

٣- الخواص الميكانيكية وتشمل:

- **المتانة** : وهى قدرة المادة على مقاومة تأثير القوى الخارجية دون أن تنهار أو تتحطم وهى تعبر أيضا على مقدار تحمل المادة للصدمات وهى عكس الهشاشة.
- **الصلادة**: هى قدرة المادة على مقاومة الخدش او التآكل بالاحتكاك (البرى) وهى عكس اللدونة.
- **المرونة**: هى قابلية المادة لتغيير شكلها تحت تأثير قوى خارجية ثم إستعادة شكلها الأسمى بعد زوال تلك القوى (وهى عكس الجساءه).
- **الجساءه**: وهى قابلية المادة لتغيير شكلها مع عدم إستعادة شكلها الأسمى بعد زوال القوى المؤثرة.
- **اللدونة**: هى قدرة المادة على تغيير شكلها دون إنهيار تحت تأثير قوى خارجية وثبوت الشكل المتغير بعد زوال هذه القوى.
- **الهشاشة**: هى تفكك المادة وإنهيارها إلى أجزاء عند تعرضها الى أحمال وقوى ديناميكية وهى أيضا قابلية المعدن للكسر عند تعرضه للصدمات وهى عكس المتانة.
- **المطولية** : وهى قابلية المادة للإستطالة عند شدها بنسبه كبيره قبل إنهيارها .
- **الليونة** : هى قابلية المادة للثنى أو الإنحاء.
- **الصلابة**: هى مقاومة المادة للإلتواء أو مقاومة التغيير فى الشكل والتشوه وتغيير الحجم وهى تشير بشكل عام إلى اللامرونة.

٤- الخواص التكنولوجية

- الانسيابية: هي قدرة المادة على ملء فراغ قالب السباكة جيدا وهي فى الحالة السائلة ، وهي خاصية لازمه للمشغولات التى تصنع بطريقة السباكة.
- قابلية التشكيل اللدن: وهي خاصية لازمة للمواد التى تصنع بطريقة التشكيل ويعبر عنها بمدى إستجابة المعدن للضغط أو الطرق أو السحب.
- قابلية اللحام: هي خاصية لازمة للمواد التى يشكل بها منتجات بإستخدام عمليات اللحام والمعادن التى لها قابلية للحام يجب أن تكون موصلة جيدة للحرارة وقابليه قليلة الانكماش وأن يكون معامل التمدد الطولى لها صغير.
- قابلية التشغيل: هذه الخاصية لازمة للمواد التى تصنع بواسطة عمليات التشغيل وتتم عملية التشغيل عن طريق إزالة اجزاء من المادة (رايش) بواسطة آلات قاطعة.

الباب الثاني: المعادن غير الحديدية

Non-Ferrous Metals

المعادن غير الحديدية (Non-Ferrous Metals)

تتمتع معظم المعادن غير الحديدية بمقاومة جيدة للتآكل وسهولة تقبلها للتشكيل والتشغيل وتوصيليتها الجيدة للكهرباء والحرارة، وهذه الخواص تؤدي إلى زيادة إستعمالات سبائك هذه المعادن ومن النادر إستعمال المعادن غير الحديدية بشكلها النقي في الصناعة وذلك لضعف متانتها.

وسوف نتعرض في هذا الباب إلى المعادن غير الحديدية الشائعة الإستخدام في عمليات التشغيل المختلفة.

١- النحاس وسبائكه: Copper and its alloys

يعد النحاس أول المعادن التي عرفها الإنسان واستعملها منذ عصور ما قبل التاريخ وذلك لإمكانية وجوده حراً في الطبيعة ومن أهم مركباته الموجودة في الطبيعة هي أكسيده الأحمر وكبريتيده المزدوج مع الحديد والمعروف باسم بيراييت النحاس copper purite ويعد هذا من أهم خامات النحاس الموجودة في الطبيعة حيث يحتوى على ٣٣% نحاس.

ويستخرج النحاس من خاماته إما بالطريقة الجافة أو بالطريقة الرطبة وتعد الطريقة الأولى هي الأكثر شيوعاً ويستعمل فيها أفران خاصة عاكسه حيث تتم فيها العمليات المختلفة لتنقية الخامات ثم من بعدها تصفية النحاس الناتج أما الطريقة الثانية فتعامل خامات النحاس بالأحماض ثم يستخلص النحاس بعملية الترسيب الكهربى.

الخواص الكيميائية:

- رمزه الكيميائي "Cu" وتكافؤه أحادى وثنائى وعدده الذرى ٢٩ , وزنه الذرى ٦٣,٥٤.
- لا يتأكسد فى الهواء الجاف ولكنه يتأكسد بسهولة فى الهواء الرطب مكونا أكسيد النحاس الأحمر وعند تعرضه للهواء فترة طويلة تتكون عليه طبقة خضراء من كربونات النحاس المائية.
- لا يتفاعل مع المحاليل القلوية ولكنه يتأثر بالأحماض المختلفة وخاصة حمض النيتريك المخفف والمركز وحمض الكبريتيك المركز الساخن.
- يتفاعل مع كبريتيد الهيدروجين مكونا كبريتيد النحاس على السطح.
- يتفاعل فى الأكسجين الموجود فى محلول الأمونيا ويمكن أن يسبب ذلك تآكل لمعدن النحاس.

الخواص الميكانيكية:

الخواص الميكانيكية للنحاس تعتمد على طريقة تصنيعه وأهم هذه الخواص:

- معدن قابل للطرق والسحب وتسهل درفلته إلى شرائح رقيقة وسحبه إلى أسلاك دقيقة.
- صلادة النحاس تبلغ نصف صلادة الحديد تقريباً، حيث أن درجة صلادته تصل إلى ٣٧ على مقياس فيكرز، ويكتسب بعض الصلادة إذا ما درفل أو سحب ولكنه يلين مرة ثانية عند تسخينه إلى درجة حرارة ٣٢٠° وتبريده.
- مقاومة الشد للنحاس المصبوب قد تصل إلى (١٥٠ أو ١٧٠) نيوتن / مم^٢، بينما هذه المقاومة قد تزداد إلى (٢١٥ أو ٢٣٠) نيوتن / مم^٢ عند طرق النحاس أو درفلته.
- مقاومة الشد لأسلاك النحاس المسحوبة قد تصل إلى (٣٨٠ أو ٤٦٠) نيوتن / مم^٢.

سبائك النحاس (Copper alloys) :

يتم سبك النحاس مع العديد من العناصر لإنتاج سبائك مختلفة وأهم هذه السبائك هي:

اسم السبيكة	مكونات السبيكة
البراص (النحاس الاصفر)	النحاس - الزنك
البرونز	النحاس - القصدير - (الخاصين)
البرونز الألوميني	النحاس - الألومنيوم
النيكل النحاسي	النحاس - النيكل

مواصفات بعض أنواع سبائك النحاس والزنك (النحاس الأصفر):

لرفع الخواص الميكانيكية للنحاس الأصفر ولتحسين قابليته للتشغيل ومقاومته للصدأ تضاف إليه العناصر الآتية: السيليكون , الالومنيوم، النيكل , القصدير , الرصاص ، وغيرها، وفيما يلي بعض هذه الأنواع:

النحاس الأصفر الرصاصي:

يحتوى على (٦٠ - ٧٤%) نحاس و (١ - ٣%) رصاص لتحسين قابليته للتشغيل بالقطع، والباقي زنك وتصنع منه الأجزاء المختلفة بكبسه على الساخن ثم تشغيله بالقطع على الماكينات.

النحاس الأصفر القصديري:

يحتوى على (٦٢ - ٧٠%) نحاس و (١%) تقريبا قصدير، والباقي زنك ويستعمل لصناعة الأجزاء المستعملة فى صناعة السفن البحرية، لإرتفاع مقاومته للصدأ فى ماء البحر.

النحاس الأصفر النيكلي (الفضة الألمانية):

يتكون من (٦٥%) نحاس و (٥%) نيكل والباقي زنك يستعمل بدل البرونز لصناعة كراسي المحاور وغيرها.

النحاس الأصفر الالومنيومي :

يتكون من (٦٧%) نحاس و (٢,٥%) ألومنيوم , والباقي زنك.

نحاس أصفر الالومنيومي الحديدى:

يتكون من (٦٠%) نحاس و (١%) ألومنيوم و (١%) حديد والباقي زنك.

نحاس أصفر سليكونى:

يتكون من (٨٠%) نحاس و (٣%) سيليكون, (٣%) رصاص, والباقي زنك.

النحاس الأصفر المنجيزى - الحديدى:

يتكون من (٥٢%) نحاس و (٤%) منجنيز , و (١%) حديد , والباقي زنك.

النحاس الأصفر المنجيزى - الرصاصى:

يتكون من (٥٨%) نحاس و (٢%) منجنيز و (٢%) رصاص, والباقي زنك.

النحاس الأصفر المنجيزى - القصديري - الرصاصى:

يتكون من (٥٨%) نحاس , (٢%) منجنيز و (٢%) قصدير و (٢%) رصاص, والباقي زنك.

إستخدامات النحاس:

١- النحاس هو أول مادة أستخدمت فى صناعة الأوانى المنزلية غير أن استعماله لهذا الغرض فى الوقت الحاضر يكاد يكون معدوماً.

٢- معدن النحاس من أجود المعادن المستخدمة فى الصناعات الكهربائية، فتصنع منه الأسلاك والكابلات الكهربائية، وكذلك القطع والأجزاء الناقلة للتيار الكهربائى والمستخدمه فى الأجهزة الكهربائية، ويستهلك نصف الإنتاج العالمى من النحاس فى الوقت الحاضر فى الصناعات الكهربائية.

٣- نتيجة لقابلية النحاس العالية لتوصيل الحرارة فقد أستخدم أيضاً على نطاق واسع فى صناعة مختلف أجهزة التبادل الحرارى وفى إنتاج الأنابيب وملفات التسخين والتبريد المستعملة فى السخانات والثلاجات ومبردات (راديترات) المحركات ذات الاحتراق الداخلى وغيرها.

٤- نظراً لمقاومة النحاس للصدأ والتآكل بواسطة السوائل فإنه يستعمل فى صنع صناديق وأجهزة تسخين الماء وفى صنع أنابيب الماء والخزانات المستعملة فى المصانع الكيماوية.

٥- يستخدم النحاس فى صنع السبائك المختلفة مثل البرونز والنحاس الأصفر وغيرها والتي تستعمل فى الصناعات الكيمائية بكثرة.

٦- يستعمل النحاس أيضاً فى إنتاج ألواح الحفر النحاسية والأسطوانات النحاسية المستخدمة فى طباعة النسيج.

٧- تستخدم أملاح النحاس ولاسيما الزجاج الأزرق (كبريتات النحاس) ($Cu So_4$) فى الكيمياء ودباغة الجلود وصناعة الفرو، كما يستعمل الزجاج الأزرق أيضا كعامل للمواد الملونة فى الصباغة وكذلك يستعمل فى صناعة الحرير الصناعى، ويستعمل محلول الزجاج الأزرق أيضا فى الخلايا الكهربية، وتضاف كبريتات النحاس عادة إلى مستودعات مياه الشرب وذلك لمنع نمو النباتات التى تحدث روائح كريهة فى الماء.

٢- الألومنيوم وسبائكه : Aluminum and its alloys

الألومنيوم هو أهم المعادن المتواجدة بكثرة في القشرة الأرضية، وهو معدن خفيف الوزن سهل الصهر ولدن ينتج الألومنيوم بطريقة التحليل الكهربائي لمحلول من الألومينا (Al_2O_3) والكربولايت المعدنى (Na^3AlF_6) فى درجة حرارة ($950^{\circ}C$) ونقاوة الألومنيوم المنتج بهذه الطريقة تتراوح بين (٩٩,٥-٨٨,٨%) وبقية المواد المتواجدة مع الألومنيوم عبارة عن حديد وسليكون ومنجنيز، ويمكن أن تصل نسبة نقاوة الألومنيوم إلى (٩٩,٩٩) بالتحليل الكهربائى مره أخرى.

الألومنيوم النقي:

الخواص الرئيسية للألمنيوم النقى (٩٩,٩٩%) كما يلى :

- درجة حرارة الانصهار $960^{\circ}C$ م.
 - البنية البلورية مكعب متمركز الوجه.
 - الكثافة $2,7 \times 10^3$ كجم/م^٣.
 - مقاومة الشد القصوى 45×10^6 نيوتن/م^٢.
 - المقاومة الكهربائية $2,66 \times 10^{-10}$ اوم متر فى درجة حرارة $20^{\circ}C$ م.
 - جيد التوصيل للكهرباء (٦٠% من توصيل النحاس).
 - مقاومة التآكل جيدة جدا.
 - للألومنيوم شراهة عالية للأكسجين وأى سطح جديد منه يتأكسد بسرعة وتحمى طبقة الأوكسيد المتكونة على السطح المعدن الذى يقع تحتها لذا فان مقاومة الألومنيوم للتآكل تعزى لهذا السبب.
 - يتمتع الألومنيوم بمطيلية عالية جدا لذا فإنه من الممكن تشكيله بطرق كثيرة مختلفة.
 - توصيلته الكهربائيه العاليه تجعله ملائما لكثير من الإستعمالات فى المجالات الصناعيه الكهربائيه.
- إستخدامات الألومنيوم العالى النقاوة:
- الأوراق المعدنية الرقيقة المستخدمة فى التغليف.
 - المكثفات .
 - أدوات المطبخ .
 - القضبان والأسلاك المستخدمة فى كابلات النقل الكهربائى .

سبائك الألومنيوم:

كما أنه من الممكن سبك الألومنيوم مع العديد من العناصر الأخرى لإنتاج الكثير من السبائك النافعة المستخدمة في الصناعة ، ومن الممكن تقسيم سبائك الألومنيوم إلى نوعين رئيسيين هما:

الأول: غير القابل للمعالجة الحرارية

من الممكن إضافة المتانة اللازمة على سبائك هذا النوع بتشكيلها على البارد والسبيكة التجارية الوحيدة في هذا النظام هي السبيكة التي تحتوى على (١،٢٥%) منجنيز وهذه السبيكة متينة كما أن مقاومتها للتآكل أفضل من الألومنيوم النقى التجارى، وتستخدم بشكل رئيسى فى إنتاج الأدوات المنزلية ومنها قذور الضغط وكذلك الصفائح المتموجة لأكساء الأبنية.

الثانى: القابل للمعالجة الحرارية

من الممكن إضافة المتانة اللازمة إليه بمعالجته حررياً.

من أهم السبائك القابلة للمعالجة الحرارية هي التي تحتوى على النحاس، النحاس والنيكل ، النحاس والخرصين ، المغنيسيوم والسليكون والتي تستجيب للتصلد ويسمى بتصلد التقادم أو تصلد الترسيب وفى السبائك الثلاثية للألمنيوم والنحاس والنيكل يساهم كل من النحاس والنيكل فى عملية تصلد التقادم (الإزمان). وتتمتع السبائك الثلاثية للألمنيوم والنحاس والخرصين لأعلى متانة مقارنة بسبائك الألومنيوم الأخرى لذا فإنه من الصعب تشكيلها .

ان المغنيسيوم والسليكون يكونان مركبا معدنيا (Mg_2Si) ، لذا فان سبائك الألومنيوم والتي تحتوى على مغنيسيوم وسليكون بتناسب صحيح عبارة عن سبائك ثنائية من الألومنيوم والمركب المعدنى (Mg_2Si) ويتميز هذا النوع من السبائك بمقاومته العالية للتآكل لذا فإنها تستعمل فى بناء وإكساء وسائل النقل المستعملة فى الطرق والسكك وكذلك تستخدم فى بناء صناديق الشحن.

والسليكون يزيد من سيولة الألومنيوم لذا فان هذه السبائك تصلح لإنتاج المسبوكات الرملية وفى قوالب معدنية تحت الضغط .

أما المغنيسيوم فإنه يضيف متانة متميزة على السبيكة، وكذلك يحسن المغنيسيوم المقاومة ضد التآكل وعلى الأخص التآكل فى المجالات البحرية وهناك أنواع كثيرة من سبائك الألومنيوم التي تسوق تجاريا لهذه الأنواع وتحتوى لغاية (١٠%) مغنيسيوم وتستخدم فى صنع صناديق وأقفاص الشحن البحرى وفى بناء أجزاء كثيرة من السفن.

- القصدير Tin

- معدن لدن و قليل المقاومة ومرن
- موصل جيد للتيار الكهربائي (١٥% من توصيل النحاس)
- يستخدم في أعمال الطلاء و اللحام و صناعة السبائك

-٤ الرصاص Lead

- معدن هش قليل المرونة و عالي المقاومة
- موصل رديء للتيار الكهربائي (٠,٧% من توصيل النحاس)
- يستخدم في صناعة السبائك و البطاريات

-٥ الزنك Zinc

- صلب عالي المقاومة
- موصل للتيار الكهربائي (٢٦% من توصيل النحاس)
- يستخدم في صناعة السبائك و أعمال الطلاء

-٦ الماغنيسيوم Magnesium

- معدن مرن ومقاومته قليلة
- موصل للتيار الكهربائي (٣٨% من توصيل النحاس)
- يستخدم في صناعة السبائك والأشرطة في مصابيح ماكينات التصوير و في تركيب بعض الأدوية

٧- الذهب Gold

- معدن عالى المقاومة للتآكل والصدأ
- له مظهر لامع و براق
- غالى الثمن و قليل الوجود فى الطبيعة
- يستخدم فى صناعة حلى الزينة و التحف الثمينة
- موصل جيد للتيار الكهربائى (٢٠٠% من توصيل النحاس)

٨- الفضة Silver

- معدن عالى المقاومة للتآكل والصدأ
- لها مظهر لامع و براق
- غالية الثمن و قليلة الوجود فى الطبيعة
- موصله جيده للتيار الكهربائى (١٥٠% من توصيل النحاس)
- تستخدم فى صناعة حلى الزينة و التحف الثمينه و بعض الأدوات للأغراض الطبية و اللوحات الإلكترونية .

الباب الثالث: المعادن الحديدية

Ferrous Metals

Ferrous Metals المعادن الحديدية

المصطلحات الفنية

قبل الحديث عن خواص وإستخدامات الحديد والصلب لابد من معرفة بعض المصطلحات الفنية الهامة وهي:

الفريت (الحديديك ح Fe)) : الفريت هو الحديد النقي وهو معدن ذو ممتوليه عاليه قليل الصلاده ضعيف المتانه وهو أكثر ليونه من الألومنيوم، لكن يتم زيادة صلادته بإضافة بعض العناصر السبائكية كالكاربون بنسب معينه.

السمنتيت (ح³ك Fe³C) : هو بلورات كربيد الحديد وهو مركب كيميائي من الحديد والكاربون ونسبة الكربون فيه تصل الى ٦,٧% وهي أكثر نسبة كربون يمكن إذابتها في الحديد وهو أصلد مكونات بنية الصلب وأكثرها قصفاه وتتحسن خواص الصلب بإضافة نسبه منه.

البرليت (Pearlite): وهو عباره عن بنية رقائقيه تتكون من طبقات متبادله من الفيريت (٨٨ ٪ من الوزن) والسمنتيت (١٢ ٪ من الوزن) وهي ماده قويه تتحمل قوى الشد ولها ممتوليه منخفضه وسميت بهذا الإسم بسبب أنها تظهر تحت المجهر على شكل يشبه اللؤلؤ لذا أطلق عليه الشكل اللؤلؤي (بيرلايت) وكلما زادت نسه الكربون في الصلب كلما زادت نسبة السمنتيت المتكون وبالتالي تزداد نسبة البرليت وعندما تصل نسبة الكربون ٠,٨٧% يكون الصلب المتكون ذو بنيه برليتيه بالكامل.

الأوستنيت (محلول الصلب) : (نسبة الى العالم الانجليزي أوستن) وهو الحديد المذيب للكاربون أو هو بنية الصلب عندما يتفكك وينحل الكربون في الحديد تماما وهو في حاله الصلبه وعند درجة حراره أعلى من ٧٢٣° مئوية.

المارتنزيت (نسبه الى العالم الألماني مارتنز) وهو إسم بنية الصلب الذي أجريت له عملية سقيه بالتبريد الفجائي ويحدث بالتبريد السريع للأوستنيت وهو ذو قصفاه عاليه وصلاده وله شكل إبري.

اليوتيكويدي : وهي كلمه يونانيه تعنى المتوازن وهي تطلق على الصلب اللاسبائكي ذو البنيه الجيده والذي يبلغ فيه نسبة الكربون ٠,٦٨% وتتكون بنيته بالكامل من بلورات البرلييت أى تتوازن (تتساوى) بلورات السمنتيت مع بلورات الفرييت ليكونا البرلييت.

درجة الحرارة الحرجة العليا للصلب:

هى درجة الحرارة التى يتم بعدها تحول بنية الصلب بالكامل الى الأوستنيت وهى تتأثر بنسبة الكربون فنجد أنه بزيادة نسبة الكربون فى الصلب تقل درجة الحرارة الحرجة العليا حتى تصل إلى أقل قيمه لها وهى ٥٧٢٣ درجة مئوية عندما تصل نسبة الكربون إلى حوالى ٠,٨٦% أى عندما تكون بنية الصلب بالكامل برليت ثم تزداد بزيادة نسبة الكربون.

درجة الحرارة الحرجة السفلى للصلب: وهى درجة الحرارة التى يبدأ فيها تحول بنية الصلب من البنية البرليتية الى البنية الأوستنيتية وهى لا تتأثر بنسبة الكربون الموجود فى الصلب.

التصليد (التقسية): التصليد هو تسخين الصلب إلى درجة حرارة أعلى من درجة الحرارة التى يبدأ فيها تحول بنية الصلب ثم إبقائه عند تلك الدرجة لفترة زمنية مناسبة ثم طشه بعد ذلك باستخدام الماء أو الزيت أو الهواء.

التقسية السطحية: هى عملية تصليد لسطح المعدن تتم عن طريق إشباع سطح المعدن ببعض العناصر السبائكية (الكربون – النتروجين)، لتشكيل طبقة رقيقة قابله للتصليد ، غالبا ما تكون لسبائك الصلب منخفض الكربون.

المراجعة الحرارية: تهدف المراجعة الحرارية إلى إزالة الإجهادات الداخلية الناشئة عن الصلادة وتتم بإعادة تسخين المادة إلى درجات حراره معينه بعد تصليدها.

التلدين: هى معالجة حرارية ينتج عنها إنشاء بنية داخلية جديدة متجانسة ذات خصائص جيدة تزيد من مطيلية المعدن وتقلل من قيمة إجهاد الخضوع وإجهاد الشد.

التطبيع: هو عباره عن تصليد متنوع بمراجعته فى درجات الحرارة العاليه ولا تهدف هذه المعالجه للتصليد وإنما للحصول على بنيه دقيقة الحبيبات عالية المتانه والصلابه.

الحديد الصلب:

يعتبر الحديد الصلب من أهم المواد المستخدمة في الصناعة على نطاق واسع تكنولوجيا حيث يمكن التحكم في خواصهما ومواصفتها والتي تناسب الغرض من إستخدامهما وذلك بواسطة الطرق المختلفة لتحضيرهما وتجهيزهما وتصنيعهما أو بعمل سبائك منهما أو عن طريق معالجتهم حراريا.

هناك ثلاث مسميات لسبائك الحديد والكربون :

١- الحديد (Iron) :

وهو الذى يحتوى على نسبة كربون اقل من ٠,٠٠٨%

٢- الصلب (Steel) :

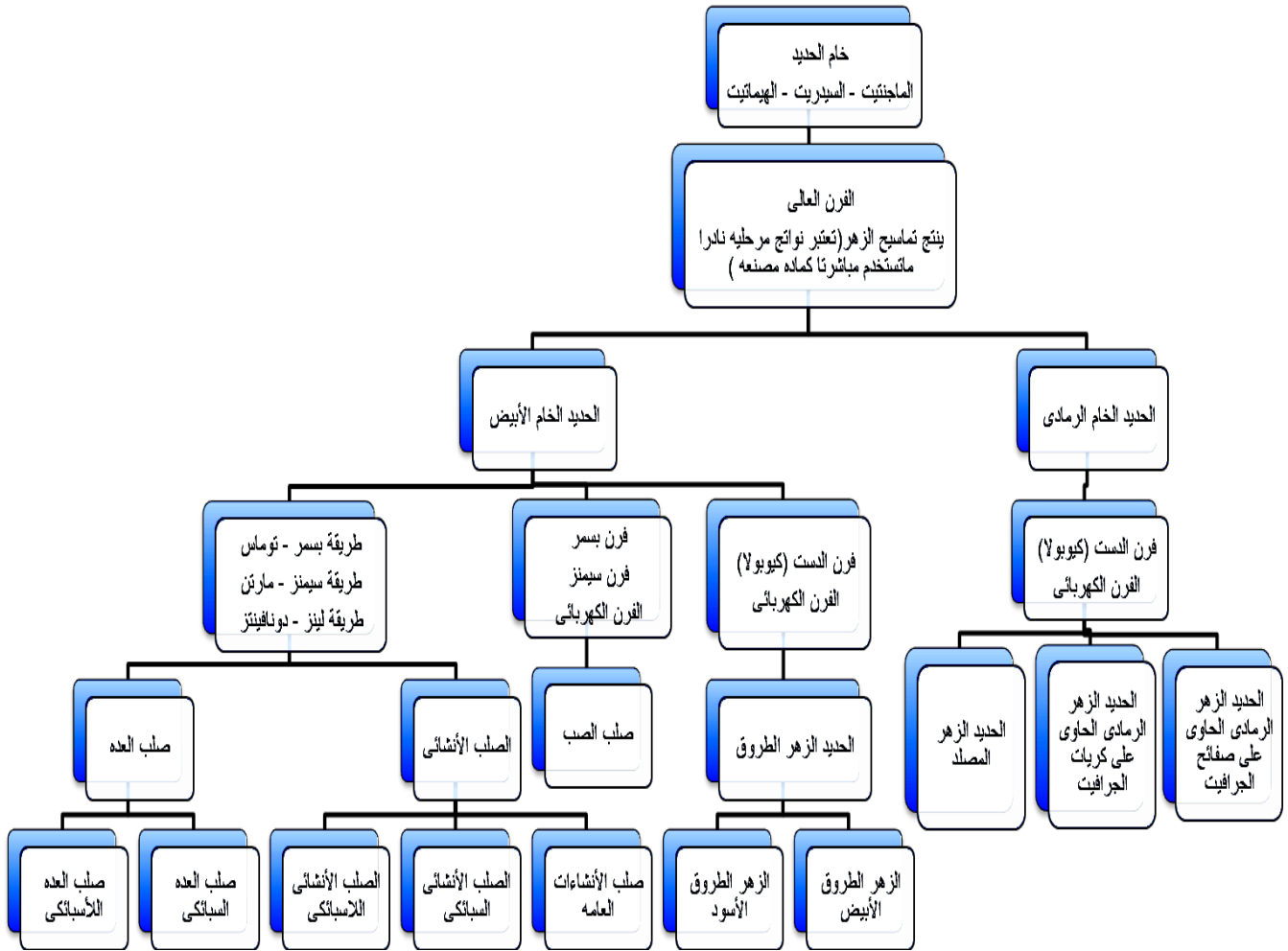
وهو الذى يحتوى على نسبة كربون بين ٠,٠٠٨% و ٢,٢%

٣- الحديد الزهر (Cast iron) :

وهو الذى تتراوح نسبة الكربون فيه من ٢% الى ٦,٧% وعادة فى الحياه العمليه لا تتجاوز نسبة الكربون فى الحديد الزهر ٤,٥%.

والمخطط الاتى يوضح الطرق المختلفة لانتاج الحديد والصلب من الفرن العالى :

مخطط يوضح الطرق المختلفة لإنتاج الحديد والصلب من الفرن العالي



أولاً: الحديد الزهر (Cast Iron)

إن الفرق الأساسي بين الحديد الزهر وبين الصلب يتلخص ببساطة في إختلاف نسبة الكربون في كل منهما ، وهي تتراوح في أنواع الحديد الزهر بين (٢ - ٤٪) بالإضافة إلى وجود نسبة من السليكون والمنجنيز والكبريت والفسفور ، أما نسبة الكربون في الصلب فلا تتجاوز ٢٪ وعمليا (١،٧٪) وإذا كان الكربون في الصلب يتواجد متحدا مع الحديد مكونا السمنتايت ، فإنه في الحديد الزهر يتواجد على شكل جرافيت (مستقر) أو سمنتايت (غير مستقر).

إن الجرافيت بلونه الرمادي اللين يشغل مساحة كبيرة نسبيا من البنية الداخلية لحديد الزهر الرمادي لكونه مقاوما للإنكماش، بينما السمنتايت يكون عالي الصلادة وذو كثافة مقاربة لكثافة الحديد. إن العوامل التي تتحكم بطبيعة وهيئة الكربون الموجود في الحديد الزهر هي معدل التبريد والتركيب الكيميائي.

إن معدلات التبريد العالية تحول دون تكون الجرافيت ولذلك يكون الحديد الزهر الناتج صلبا جدا وغير قابل للتشغيل ، ومثال ذلك عندما تكون المسبوكات ذات مقاطع مختلفة السمك يكون المقطع الأقل سمكا أصلد من المقطع الأكثر سمكا ، وهذا راجع إلى أن معدل التبريد في المقطع الأقل سمكا يكون أعلى من معدل التبريد للمقطع الأكثر سمكا مما يسبب تكون الجرافيت في المقطع السميك، ويتضح تحكم التركيب الكيميائي في البنية المجهرية بدراسة تأثير العناصر المضافة على خواص الحديد الزهر.

تأثير العناصر المضافة على خواص الحديد الزهر:

الكربون :

مع إزدياد نسبة الكربون تقل درجة حرارة الإنصهار للمعدن وتتولد كمية أكبر من الجرافيت ولذلك فإن توفر كميته كبيرة من الكربون يساعد في تكوين حديد زهر قابل للتشغيل بسهولة .

السليكون :

إن وجود السليكون يعزز من وجود الفرايت في البنية الداخلية لحديد الزهر ، وذلك لأن السليكون يذوب في الفرايت وعلى هذا الأساس يعمل السليكون كمخفض لصلادة الحديد، لأنه يزيد من عدم استقرارية السمنتايت فيفتكك السمنتايت إلى فرايت وجرافيت بينما يساعد السليكون على تقوية الفرايت بذوبانه فيه، فإنه في نفس الوقت يقلل من صلادة الحديد، نتيجة لتفكك السمنتايت عندما تزيد كمية السليكون عن الكمية الضرورية لإتمام عملية تفكك كل السمنتايت، فإن ذلك يؤدي مرة أخرى إلى زيادة الصلادة والقصفة إذ من الملاحظ أن التركيب الكيماوي للحديد يكون إما محتويا على نسبة عالية من الكربون ومنخفضة السليكون، أو نسبة منخفضة للكربون وعالية للسليكون ليعطى بذلك حديد زهر رمادي، كما أن لوجود السليكون تأثيرا آخر، إذ أنه يزيد من سيولة الحديد المنصهر فيحسن من خواصه في عمليات السباكة .

الكبريت والمنجنيز:

يتواجد الكبريت في الحديد إما على هيئة كبريتيد الحديد (FeS) الذي يزيد من استقرارية السمنتايت فيزيد بذلك من صلادة حديد الزهر، أو على هيئة كبريتيد المنجنيز (MnS) (في حالة إضافة المنجنيز إلى الحديد الزهر) والذي يطفو على سطح المنصهر حيث يختلط مع الخبث نظرا لكونه غير قابل للذوبان في المعدن المنصهر، إذ أن التأثير المباشر للمنجنيز هو تكوين الجرافيت لأنه يتحد مع الكبريت ويقلل من نسبته في الحديد الزهر ، وعندما تزيد كمية المنجنيز عن الكمية اللازمة للاتحاد مع الكبريت فإنه يسبب زيادة صلادة الحديد الزهر .

الفسفور:

إن عنصر الفسفور له تأثير قليل على نسبة وجود كل من السمنتايت والجرافيت ويتواجد في الحديد الزهر على هيئة فوسفيد (Fe₃P) الذي يكون يوتكتيك مع الحديد في حالة الحديد الزهر الرمادي ، ومع الفرايت والسمنتايت في حالة الحديد الزهر الأبيض ، مما يجعل أنواع الحديد الزهر ذات نسبة الفسفور العالية تتميز بسيولة عالية ، نظرا لكون المركبات اليوتكتيكية تنصهر عند درجات حرارة منخفضة ولذلك في حالة سباكة مسبوكات ذات مقاطع سميكة تقلل نسبة الفسفور إلى (٠,٣%) لتجنب حدوث المساحات الثقضية هذا من ناحية ومن ناحية أخرى تعتبر أنواع الزهر المحتوية على فسفور مناسبة جدا لإنتاج مسبوكات رقيقة المقطع .

أنواع الحديد الزهر:

تنقسم أنواع الحديد الزهر إلى الأنواع الرئيسية الآتية :

١- الحديد الزهر الحاوى على صفائح جرافتييه (الزهر الرمادى)

الرمز GG

نسبة الكربون من ٢,٥ الى ٣,٦%

درجة حرارة الإنصهار حوالى ١٢٠٠ درجة مئوية

توجد منه أنواع كثيرة يمكن تصليدها ومراجعتها حراريا، يستخدم فى صناعة هياكل الآلات وقواعدها وصناعة المواسير وأجسام التروس والمجارى والدلائل الإنزلافية، وهو أكثر أنواع الزهر إستخداما وتعود كثرة الإستخدامات الصناعية له لعدة أسباب منها:

- رخص ثمنه وسهولة تشغيله .
- درجة حرارة إنصهاره المنخفضة والتي تتراوح بين (١١٤٠-١٢٠٠) °م.
- سيولته العالية مما يسهل إنتاج مسبوكات معقدة الشكل منه .
- مقاومته للبللى .
- قدرته العالية لإمتصاص الصدمات .
- بعض أنواعه (ذات التركيب الكيماوى المناسب) تتمتع بمتانة شد جيدة .

٢- الحديد الزهر الحاوى على كريات جرافيتية (الحديد الزهر المرن)

يتم إنتاجه بإضافة نسبة ضئيلة من عنصر الماغنسيوم للتركيب الكيميائى للحديد الزهر الرمادى قبل الصب والتحكم فى معدلات التبريد الأمر الذى يؤدى الى تكور القشور الجرافيتية وينتج عن ذلك إرتفاع فى نسبة الممطولية والمرونة، ويستخدم فى العديد من التطبيقات الهندسية:

الرمز GGG

نسبة الكربون فيه ٢,٥ الى ٣,٦ % ، ودرجة حرارة الانصهار ١٤٠٠ م
يمكن تصليده ومراجعتة كما يمكن تصليده سطحيا يستخدم فى صناعة اجراء الجرارات والآلات الزراعية وهياكل المضخات والتوربينات وصناديق التروس والمواسير .

٣- الحديد الزهر المصلد (الزهر الأبيض)

ويتم إنتاجه بالتبريد السريع للزهر الرمادى أو بزيادة نسبة المنجنيز أو بتقليل نسبة السليكون الذى يؤدى إلى تكون بنية مجهرية خالية من الكربون المنفصل (الجرافيت) ويتصف بالصلادة العالية ويعتبر مادة قصفة منخفضة المتانة وعند فحص سطح الكسر يظهر سطح الكسر باللون الأبيض اللامع نظراً لعدم وجود جرافيت بالبنية المجهرية:

الرمز GH

نسبة الكربون ٢,٨ الى ٤%
درجة حرارة الانصهار ١٤٠٠ م
مقاوم جيد للتآكل الإحتكاكى شديد الصلاده لايمكن تشغيله الا بالتجليخ أو بعدد مزوده بلقم من الخزف الأكسيدى .
يستخدم فى صناعة دلائل فرش المخرطه وعجلات القاطرات والدرافيل بأنواعها.

٤- الحديد الزهر الطروق (القابل للطرق)

درجة حرارة الانصهار ١٣٠٠م

هى أنواع من الحديد الزهر يتم إنتاجها بالمعالجة الحرارية للخام الأبيض (للحديد الزهر الأبيض) بعد عملية الصب بهدف زيادة مطيليتها وتحسين قابليتها للطرق وذلك بالتسخين فى أفران خاصة لمدة زمنية طويلة بغرض تفكيك كربيد الحديد (السمنتايت) وترسيب تجمعات من الجرافيت فى البنية المجهرية وتجرى عمليتان مختلفتان بعض الشيء من أجل الحصول على الحديد الطروق ذى القلب الأسود والحديد الطروق ذى القلب الأبيض وسميت كذلك على أساس لون مقطع الكسر بعد المعالجة الحرارية وفى كلا العمليتين يكون المنتج الأسمى من الحديد الزهر الأبيض ويستخدم فى العديد من التطبيقات الهندسية الخاصة بالرغم من التكلفة الإضافية المطلوبة للمعالجة الحرارية.

٥- الحديد الطروق ذو القلب الأسود

الرمز GTS

تصنع مسبوكاته من الحديد الزهر الأبيض (الخام الأبيض) الذى يكون تركيبه الكيمايى كالتالى:

كربون (٢,٥%) ، سليكون (١%) ، منجنيز (٠,٤%) ، كبريت (٠,٠٨%) ، فسفور (٠,١%) ، ثم تجرى عليها عملية تلدين (التصفية بالتلدين) وتتم بتنظيف أسطح المسبوكات ورسها فى أوعية من الحديد الزهر الأبيض مع بعض المواد غير المتفاعلة مثل الحصى أو الرماد ويحكم الغطاء بحشو أسمنتى لعزل المسبوكات عن الهواء ثم توضع الأوعية فى فرن التخمير الذى تتراوح درجة حرارته بين (٨٥٠ - ٩٥٠م) وذلك تبعاً لجودة المنتج والتركيب الكيمايى للمسبوكات أما طول الفترة الزمنية للمعالجة فهى تتراوح بين (٥٠-١٧٠) ساعة

ويعتمد هذا على شكل المسبوكات والتركيب الكيمايى لها ، أما الأفران الحديثة فيمكن بواسطتها فى الوقت الحاضر إتمام عملية التخمير هذه خلال (٤٨) ساعة أو أقل وذلك لأن المسبوكات لاتحتاج إلى أن تغطى بمادة عازلة وبذلك يقل طول الفترة الزمنية اللازمة للتسخين والتبريد، وتعمل عملية التخمير لفترة طويلة على تفكيك السمنتايت ولكن بدلاً من تكوين أشربة جرافيتية غليظة يترسب الكربون على شكل وردات صغيرة ولذلك يظهر مقطع الكسر بعد عملية التخمير هذه أسود، أما البنية الداخلية الناتجة فتتكون من الفرايت والكربون ولذلك فهو حديد لين سهل التشكيل والتشغيل بالقطع ويمكن تصليده أو إرجاعه إلى بنيته الأصلية إلا أنه لايمكن تصليده سطحياً فقط.

إن المسبوكات من هذا النوع (الحديد الطروق ذو القلب الأسود) حظيت بتطبيقات عملية واسعة فى مجال صناعة السيارات وذلك لأنها تجمع بين سهولة الصب وسهولة التشغيل بالقطع إضافة إلى مقاومتها الجيدة للصدمات.

٦- الحديد الطروق ذو القلب الأبيض (الحديد المطوع) الرمز Gt w

يصنع من حديد الزهر الأبيض (الخام الأبيض) الذى يكون تركيبه الكيميائى كالاتى : كربون (٣,٣%) ، سليكون (٠,٦%) ، منجنيز (٠,٥%) ، كبريت (٠,٢٥%) ، فسفور (٠,١%) بعد تطويعه أى إمتصاص الكربون من سطحه (التصفيه بالتطويح) تصل نسبة الكربون من ٠,٥ الى ١,٨ % فى هذه العملية تسخن المسبوكات وهى فى تماس مع بعض المواد المؤكسدة مثل خام الهيماتايت إلى حوالى (١٠٠م) ولفترة زمنية تتراوح من (٧٠-١٠٠) ساعة وخلال عملية التخمير هذه يتأكسد الكربون الموجود على سطح المسبوكات لتماسه مع الهيماتايت ويتحد على هيئة غاز أوكسيد الكربون ، وهذا يؤدي إلى فقدان قلب المسبوكات من الكربون الموجود فيها والذى ينتشر إلى السطح ويتحول بدوره عندما يتأكسد إلى أوكسيد الكربون وبعد الإنتهاء من عملية المعالجة الحرارية هذه تكون المقاطع الدقيقة ذات بنية فرايتية فيظهر المقطع عند الكسر أبيضاً أما المقاطع الأكثر سمكا فلا يتأكسد الكربون الموجود فيها ولذلك تدرج بينيتها الداخلية من فرايت على السطح إلى فرايت وبيرايت فى الطبقات الداخلية للمسبوكة.

ان المنتجات ذات المقاطع الرقيقة التى تتطلب مطيلية عالية تصنع دائما على هيئة مسبوكات ذات قلب أبيض كإنتاج وصلات أنابيب الغاز والماء والبخار وعموما فهو حديد لين يمكن تشغيله بالقطع بسهولة كما يمكن تصليده ومراجعتة (يقبل السقيه) كما يمكن تصليده سطحيا.

يستخدم نوعى الزهر الطروق للمسبوكات التى يجب أن تكون متينه ولدنه مثل المسامير والصواميل والسلاسل وأقفال الابواب والصنابير والروافع والحدافات.

يجدر الاشاره هنا بأن أنواع الزهر المذكورة هى أنواع الزهر الرئيسية حيث يمكن خلط جميع أنواع الزهر بمعادن أخرى مثل النيكل والكروم والموليبيديم والفاناديوم للحصول على سبائك لا حصر لها ذات خواص معينه مثل مقاومة الحرارة أو الصداً أو الأحماض أو القلوياتالخ وهو مايعرف بالحديد الزهر السبائكى أو الحديد الزهر الخاص.

٧- الحديد الزهر السبائكي

أكثر أنواع عناصر التسابك شيوعا والخاصة بالحديد الزهر هي النيكل والكروم والنحاس والموليبيديوم

أ- النيكل:

هو أكثر عناصر التسابك شيوعا وكمثال يبين مفعوله عند إضافته فإنه يشجع على تكوين الجرافيت وفي نفس الوقت يعمل على تقليل حجم الحبيبات، فبينما يعمل النيكل على منع حدوث التبريد السريع في المقاطع الرقيقة فإنه يمنع تكوين الحبيبات الكبيرة في المقاطع السميكة كما ويعمل النيكل على تقليل ميل المقاطع الصغيرة للتشريح أو التصدع.

ب- الكروم:

له مفعول قوى في تثبيت الكاربيدات وبذلك يمنع تكوين الجرافيت إضافة إلى أن كاربيدات الكروم أكثر استقرارا وثبوتا وأقل ميلا للجرفقة تحت تأثير الحرارة العالية وكاربيد الحديد، لذلك فإن أنواع الحديد الزهر الحاوية على الكروم تكون أقل تعرضا للنمو، وكما هو الحال في الصلب فإن عيوب استخدام كل من النيكل أو الكروم على حدة يمكن التغلب عليها بإضافتهما معا بنسبة معينة (جزءين أو ثلاثة من النيكل إلى جزء واحد من الكروم) .

ج- الموليبيديوم :

ان اضافة كمية صغيرة من الموليبيديوم تذوب في الفرايت ولكن الكميات الكبيرة منه تكون كاربيدا مزدوجا (ثنائى) وهو يزيد من صلادة المقاطع السميكة ويحقق التجانس في البنية الداخلية، كما تتحسن مقاومة المعدن للصدمات بإضافة الموليبيديوم بنسبة (٠,٥%) .

د- الفناديوم : يزيد من مقاومة حديد الزهر لفعل الحرارة وذلك لأن الكاربيدات التي بكونها مستقرة لاتنفك بفعل الحرارة كما يزيد من متانة وصلادة حديد الزهر خاصة إذا أستعمل مع بعض العناصر التسابكية الأخرى.

هـ- النحاس : قليل الذوبان في الحديد وله تأثير قليل لتكوين الجرافيت وتأثير قليل أيضا على الخواص الميكانيكية ولكنه يزيد من مقاومة الحديد للتآكل عند تعرضه للجو .

ثانياً: الحديد الصلب (Steel)

يمكن تصنيف الأنواع العديدة للصلب المستخدم في الصناعات إلى مجموعتين رئيسيتين هما صلب الإنشاءات و صلب العده، وتصنف هاتان المجموعتان بدورهما إلى صلب لاسبائكى و صلب سبائكى منخفض الخلط ، و صلب سبائكى عالى الخلط وتحتوى أنواع الصلب اللاسبائكى على نسبة كربون تتراوح من ٠,٠٦ إلى ١,٥% وكميات ضئيلة من المنجنيز، السليكون، الفوسفور، والكبريت. وإلى جانب نفس نسبة الكربون تصل نسبة الإضافات السبائكيه فى أنواع الصلب السبائكى منخفض الخلط إلى ٥%. أما فى انواع الصلب السبائكى عالى الخلط فتتراوح نسبة الكربون فيها من ٠,٠٣ الى ٢,٢% ونسبة الإضافات السبائكيه من ٥ إلى ٤٥%. ولا يمكن فى جميع الحالات وضع حد فاصل تماما بين الأنواع المختلفه للصلب.

١- الصلب الإنشائى

أ- صلب الإنشاءات العامة

نسبة الكربون من ٠,١٧ إلى ٠,٥% ، الرمز ST

مثال ST٣٧ حيث يدل الرقم ٣٧ على مقاومة الشد بالكيلوبوند/مم^٢.

لايحتاج إلى أى معالجة حرارية ويستخدم فى صناعة المحاور والأعمدة للصناعات الميكانيكية أو كحديد تسليح للصناعات البنائيه أو كقطاعات معدنيه لصناعة الجسور والجمالونات.

ب- الصلب الإنشائى اللاسبائكى

نسبة الكربون من ٠,١ إلى ٠,٦% ، الرمز C

مثال C٤٢ حيث يدل الرمز C على أنه صلب إنشائى لاسبائكى كما يدل الرقم ٤٢ على نسبة الكربون (٠,٤٢%ك).

يعرف الصلب حتى C٢٠ أى الذى لاتزيد نسبة الكربون فيه عن ٠,٢% بصلب التصليد الغلافى الذى يقبل التصليد السطحى أما الصلب من C٢٠ الى C٦٠ فيسمى بصلب التطبيع أى القابل للتصليد والمراجعه .

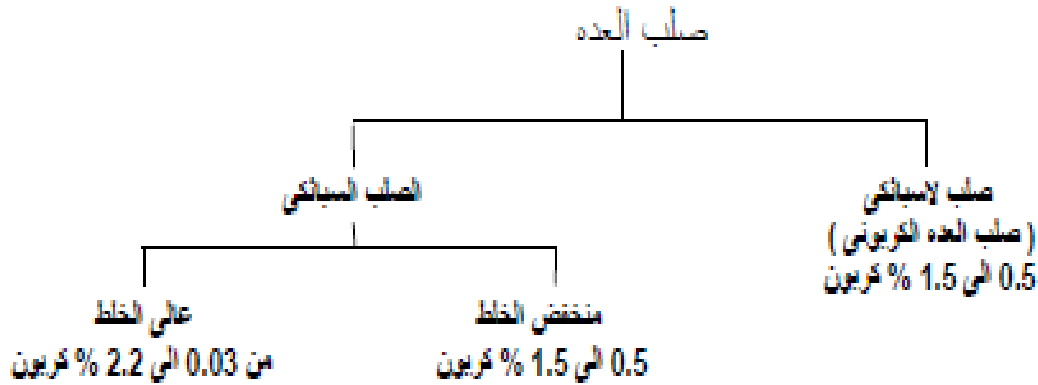
يستخدم الصلب الإنشائى اللاسبائكى على نطاق واسع فى صناعة أجزاء الماكينات كأعمده المحاور والتروس وأعمدة المرفق كما يستخدم فى صناعة المسامير وغيرها.

ج- الصلب الإنشائي السبائكي

هو أكثر أنواع الصلب إستخداما وفيه تبلغ نسبة الكربون من ٠,١% الى ٠,٦% وهو ذو أنواع كثيرة منها صلب التصليد الغلافى الذى يصلد سطحيا ومنها صلب التطبيع الذى يقبل التصليد والمراجعة ومنها الصلب الخاص كالصلب المقاوم للحرارة الذى تصنع منه المراجل البخارية و صمامات محركات الاحتراق الداخلى والصلب المقاوم للصدأ وغيرها كثير وبصفه عامه فإن أنواع الصلب السبائكى كثيرة وكلها تعالج حراريا للحصول على خواص محددة، ومثال ذلك الصلب ٣٤crmo٤ حيث يدل الرقم ٣٤ على النسبة المئوية للكربون (٠,٣٤% ك) أما الرموز والأرقام التالية فتدل على الرموز الكيميائية والنسبة المئوية للعناصر السبائكية الرئيسية فيه.

٢- صلب العدة

يستخدم صلب العدة فى صناعة عدد القطع المستخدمه فى تشكيل مواد التصنيع الأخرى "الأقل صلاده" بالقطع أو بدون قطع ويصنف صلب العدة حسب نسبة الكربون إلى:



ويتم التصنيف أيضا حسب نوع الوسيط المستخدم فى السقيه (أى السائل الذى يطش فيه اثناء عمليه السقيه) إلى:



كما يصنف حسب نوع الإستهلام إلى :



وعموما فإن كل أنواع صلب العدة تعالج حراريا وهنا يجب أن ننوه أن صلب العده يتداول فى الاسواق تحت أسماء تجارية تخص الشركات المصنعه مثل ذلك k100, k110 وغيرها.

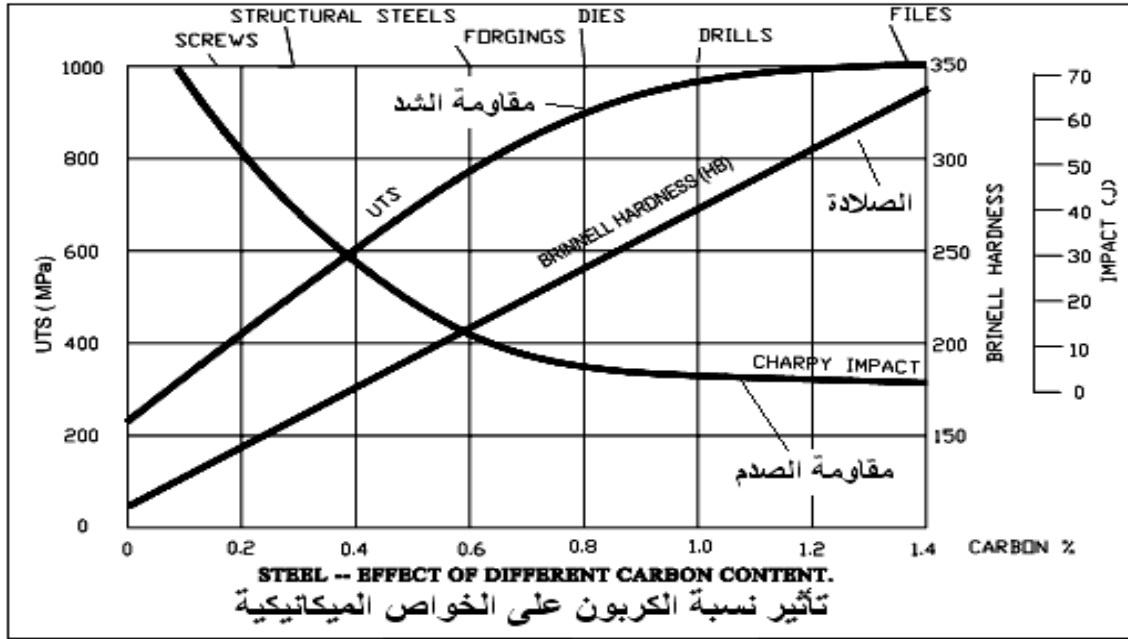
ويتم تصنيف الصلب بأنواعه إلى قسمين رئيسيين هما الصلب الكربونى والصلب السباتكى

➤ الصلب الكربوني

➤ الصلب السبائكي

١- الصلب الكربوني واستخداماته:

الصلب الكربوني هو سبيكة من الحديد والكربون لا تتعدى نسبة الكربون فيها عمليا (٠,٧%) مع وجود بعض العناصر الأخرى مثل المنجنيز والسليكون والفسفور والكبريت والتي تعتبر كشوائب نتيجة لعملية إنتاج الصلب، ويجب ألا تزيد نسبتا الفسفور والكبريت في الصلب الكربوني عن (٠,٠٥%) إلا في حالات خاصة ونسبة المنجنيز Mn والسليكون Si عن (٠,٥%) وحيث أن خواص الصلب الكربوني تتأثر كثيرا بنسبة الكربون الموجودة فيه مما يغير مجالات استخدامه لذلك يمكن تقسيم الصلب الكربوني إلى ما يلي:



العلاقة بين نسبة الكربون والخواص الميكانيكية للصلب الكربوني

أ - صلب منخفض الكربون:

وهو الصلب الذي لا تزيد نسبة الكربون فيه عن (٠,٢٥%) ويتميز بمتانته وكونه سهل التشكيل والتشغيل ، أما استخداماته فهو يستخدم بتصنيع الصفائح، الأسلاك، الأسلاك الشائكة ، المسامير، البراغي التي تستخدم لربط الأجزاء الخشبية ، وكل الأجزاء التي تشكل على البارد والتي لا تحتاج إلى متانة عالية، وعلى الرغم

من أن الصلب منخفض الكربون لا يتمتع بصلادة عالية إلا أنه من الممكن زيادة صلادته السطحية بطرق التصليد السطحي مثل عملية الكربنة.

ب - صلب متوسط الكربون:

وفيه تتراوح نسبة الكربون من (٠,٢٥ %) إلى (٠,٥ %) ويتميز بكونه ذو متانة عالية وقابلية للتصليد أكثر من الصلب المنخفض الكربون وذلك نتيجة لإرتفاع نسبة الكربون فيه لاحظ شكل رقم (١) وبناء على ذلك فهو نسبيا يعتبر صعب التشكيل على البارد، ويستخدم الصلب متوسط الكربون في تصنيع الأجزاء التي تتطلب متانة عالية نسبيا مثل الأعمدة والمحاور والتروس وغيرها من الأجزاء التي تتعرض لحمل أو إصطدام مفاجيء .

ج - صلب عالي الكربون:

وهو الصلب الذي تكون نسبة الكربون فيه (٠,٥٥ % - ١,٥ %) ويستخدم في تصنيع المعدات التي تتطلب متانة عالية مثل النوابض (اليايات) والمطارق ومفاتيح الربط، أما العدد التي تتطلب صلادة عالية جدا مثل المناشير الحديدية فتصنع من صلب نسبة الكربون فيه لا تقل عن (١,٥ %).

٢- الصلب السبائكي:

هو صلب كربوني يحتوى على بعض العناصر التسابكية الأخرى مثل النيكل، الموليبيديوم، الكروم، الفناديوم التنجستن، الكوبلت، التتانيوم ويعتبر المنجنيز وكذلك السليكون من ضمن العناصر التسابكية إذا تعدت نسبته عن (٠,٥ %)، والغرض من إضافة هذه العناصر إلى الصلب هو زيادة متانته ومقاومته للصدمات والتآكل ومقاومته لفقد خواصه الميكانيكية عند درجات الحرارة العالية.

تأثير العناصر المضافة على خواص الصلب ويمكن تحديدها كما يلي :

- تقلل من حساسية الصلب لفعل الحرارة فتجعله يحتفظ بخواصه كالصلادة فى درجات الحرارة المرتفعة نسبيا ومثال على هذا صلب العدد الذى يمكن إستخدامه فى مدى من درجات الحرارة تصل الى (٥٥٠ م) دون أى انخفاض فى قيمة صلادته.
- تؤثر كيمائيا على الشوائب الموجودة فمثلا إضافة كمية قليلة من الفناديوم إلى الصلب يجعله نظيفا ويخلصه من الخبث الموجود فيه.
- تكون بعض العناصر مثل الكروم، الألومنيوم، السليكون ، النحاس طبقة رقيقة من أوكسيدها على سطح الصلب مما يزيد من مقاومته للصدأ أو التآكل.
- تزيد من مقاومة الصلب للزحف (الزحف هو الاستطالة الدائمة التى تحدث فى المادة نتيجة التحميل بحمل ثابت لفترة طويلة، والزحف يحدث فى المواد فى أى درجة حرارة ولكنه يظهر بصورة أكبر فى درجات الحرارة المرتفعة) حيث تكون كاربيدات دقيقة وهذا ما يفعله عنصر الموليبيديوم.

أنواع الصلب السبائكى حسب مجالات استخدامها:

١- صلب الإنشاءات:

ينقسم إلى عدة مجاميع حسب مجال الإستخدام، ولو أنه لايمكن وضع حد فاصل بين كل نوع وآخر، فخواص كل نوع يمكن أن تتغير بالمعاملات الحرارية بحيث تصبح مشابهة لخواص نوع آخر يختلف عنه فى التركيب، ويستخدم هذا النوع من الصلب فى بناء الجاملونات وأجزاء الآلات كالأعمدة والمحاور، المسامير، البراغي وغير ذلك.

وهناك بعض أنواع صلب الإنشاءات الخاصة التي تستخدم لتصنيع أجزاء معينة مثل :

أ- الصلب المستخدم فى تصنيع النوابض (اليايات):

يحتوى عادة على (١,٥%) كروم + (٠,٢%) فناديوم أو (٢%) سليكون + (١%) منجنيز والباقى حديد.

ب- صلب معامل تمدده الحرارى مرتفع أو منخفض:

حيث أن بعض الأجزاء المصنعة من الصلب تحتاج لمعامل حرارى مرتفع وذلك ليتوافق معاملها مع أجزاء أخرى مرتبطة بها مصنوعة من سبائك معامل تمددها مرتفع كما فى مسامير ربط رؤوس الإسطوانات المصنوعة من سبائك الألومنيوم المستخدمة فى محركات الطائرات ومن أمثلة هذا النوع الصلب الاوستنيتى الذى يحوى على (٠,٥٩%) كربون ، (١٢%) نيكل ، (٥,١%) منجنيز ، (٣,٤%) كروم والباقى حديد وعلى عكس ذلك فقد تحتاج بعض الأجزاء المصنعة من الصلب إلى أن يكون معامل تمددها منخفضا جدا مثل أجهزة القياس.

ج- صلب كراسى المحاور:

وتركيبه (١%) كربون ، (٠,٥%) منجنيز ، (١,٣٦%) كروم والباقى حديد .

د- الصلب المقاوم للزحف:

إن هذا النوع من الصلب يقاوم الزحف عند درجات حرارة تصل إلى (٥٥٠ م) ولذلك فهو يستخدم فى تصنيع مواسير نقل البخار وهو يحتوى على (٠,١٠% - ٠,٢%) كربون ، (٠,٥%) موليبدنوم ، (٠,٢٥%) فناديوم والباقى حديد .

٢- صلب العدد والقوالب: وينقسم إلى عدة أنواع منها:

أ- صلب عدد القطع:

تركيبه (٠,٣%) فناديوم ، (١,٤-١,١%) كربون ، (٤%) تنجستين ، (١,٥-٠,٧%) كروم والباقى حديد.

ب- صلب القوالب المستخدمة فى التشكيل البارد:

وتركيبه (١%) كربون ، (١,٠%) منجنيز ، (٠,٣ - ١,٦%) تنجستين ، (٥%) كروم ، والباقى حديد.

ج- صلب القوالب المستخدمة فى التشكيل على الساخن:
وتركيبه (%٠,٣) كربون، (%٠,٣) منجنيز، (%١٠) تنجستين، (%٣) كروم، (%٠,٣) فناديوم ، (%٠,٣) موليبدنوم والباقي حديد .

د- الصلب المستخدم فى مطارق الحدادة:

هناك أربعة أنواع منه تختلف حسب تركيبها :

١- (%٠,٦) كربون والباقي حديد .

٢- (%٠,٦) كربون ، (%١) نيكل والباقي حديد .

٣- (%٠,٦) كربون ، (%٠,٦) كروم ، (%١,٥) نيكل والباقي حديد .

٤- (%٠,٦) كربون ، (%٠,٧) كروم ، (%١,٥) نيكل ، (%٠,٢٥) موليبدنوم والباقي حديد .

هـ - صلب السرعات العالية: (HSST)

هو الصلب المستخدم فى تصنيع عدد القطع التى تعمل بسرعات قطع عاليه ومن أهم عناصر التسابك المضاف فى صلب السرعات العالية عنصرا التنجستن والكروم حيث تكون نسبة التنجستن (%١٤) أو (%١٨) أما الكروم فتتراوح نسبته من (%٣ - %٥) ونسبة الكربون حوالى (%٠,٦) وهناك بعض الأنواع الحديثة من صلب السرعات العالية التى تدخل فى تركيبه عناصر تسابكية موليبدنوم ، كوبلت وغيرها .

٣- الصلب المغناطيسى:

وينقسم إلى نوعين:

صلب مغناطيسى مؤقت: ويحتوى على نسب معينة من المنجنيز والزنك بالإضافة للحديد والكربون .

صلب مغناطيسى دائم: ويحتوى على نسب معينة من الكروم والتنجستين والكوبلت وغيرها بالإضافة للحديد والكربون .

٤- الصلب الذى لا يصدأ (SST.) :

إن مقاومة الصدأ العالية التى يمتلكها الصلب الذى لا يصدأ تعود بالدرجة الأولى إلى وجود الكروم فيه وهو يقسم بدوره إلى نوعين، يمكن معالجة الأول حرارياً ويدخل فى تركيبه الكروم فى الدرجة الأولى حيث تتراوح نسبته بين (١٢-١٤%) مع نسبة ضئيلة من الكربون تتراوح بين (٠,١-٠,٤%) والنوع الثانى لا يمكن معالجته حرارياً .

وأخيراً يجدر الإشارة إلى أن تنوع أساليب إنتاج الصلب يحقق المتطلبات المختلفة فيما يختص بالخواص المطلوبة أيضاً فإن خواص الصلب تتوقف إلى حد كبير على التركيب الكيميائى وعلى المعالجة الحرارية التى تمت عليه وبمعنى آخر فإن الذى يحدد نوعية الصلب هو العناصر الثلاث الآتية مجتمعة :

١- طريقة إنتاجه

٢- التركيب الكيميائى من حيث نوعية العناصر السبائكية والنسب المئوية لها

٣- المعالجة الحرارية التى تمت عليه

ويمكن القول أنه يوجد عدد لا نهائى من أنواع الصلب المختلفة لذلك فلا بد من الرجوع إلى المنتج أو إلى المورد لمراعاة تعليمات المعالجة الحرارية لمصنع الصلب بكل دقة كما سنوضح ذلك لاحقاً عند شرح المعالجة الحرارية للصلب.

الباب الرابع:
المعالجة الحرارية للمعادن

Heat Treatment For Metals

المعالجة الحرارية للمعادن:

مقدمة

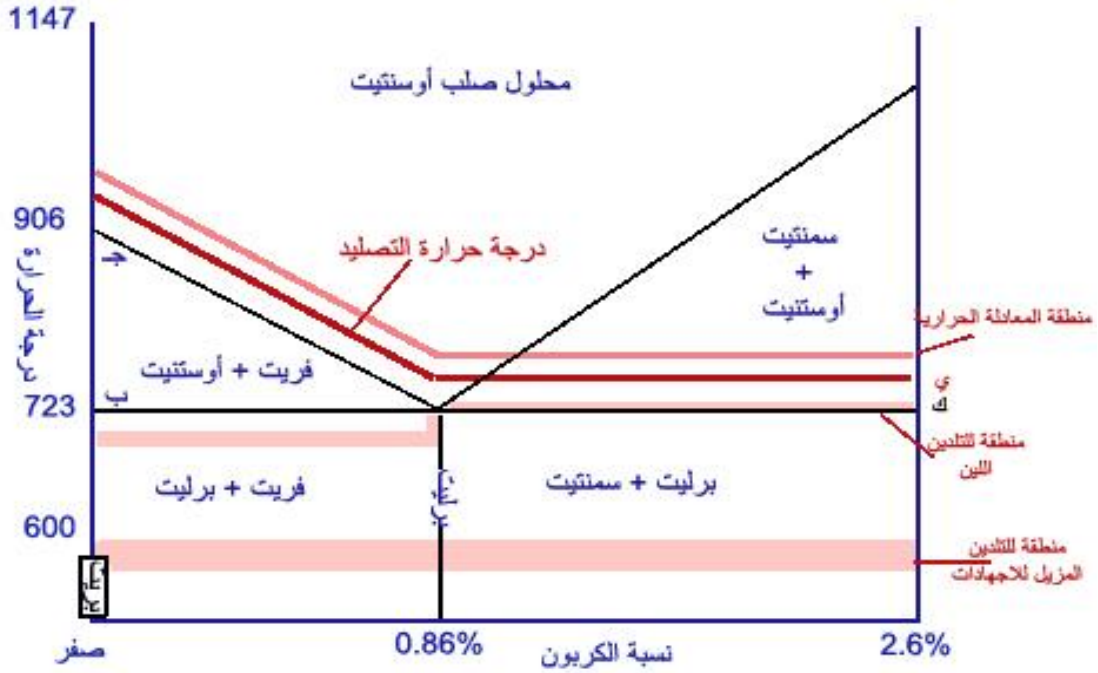
تعرف المعالجة الحرارية بأنها تغيير التركيب البنائي للمادة بواسطة الحرارة للحصول على خواص ميكانيكية معينة تلائم إستعمالاتها، حيث أنه من النادر أن توجد المواد المعدنية بالخواص المطلوبة . وعلى سبيل المثال وجود الحديد لدناً (طرياً) ومن ثم فإنه لا يتحمل الإجهادات المطلوبة، ولا يقاوم البرى بالإحتكاك أو التآكل، لذلك نجد الحاجة إلى إكساب هذه المعادن خواص أخرى مفقودة مثل تحويل المعادن اللينة (الطرية) إلى صلدة ، أو تليين الصلدا منها، أو إكساب هذه المعادن مقاومة البرى والتآكل. فمثلاً يجب أن يكون الحد القاطع للأزميل مصلداً بالكامل فى حين يجب أن تكون أسنان التروس مصلده سطحياً لتقاوم التآكل بالإحتكاك بينما تبقى نواة السنه متينه ومرنه لتقاوم الطرق والحنى. يمكن تحقيق هذه الخواص المتفاوتة بإختيار مادة التصنيع المناسبة والمعالجة الحرارية اللازمة لذلك وهنا يجب أن نشير إلى أنه ليس كل مواد التصنيع تقبل المعالجة الحرارية كما أن طرق المعالجة تختلف باختلاف المادة من حيث تركيبها الكيميائى وبنيتها.

أهم الخواص التى نحصل عليها بواسطة المعالجة الحرارية:

- ١- زيادة المرونه والليونه.
- ٢- زيادة المقاومة للخدش والتآكل بالاحتكاك (زيادة الصلادة).
- ٣- تقليل الهشاشة.
- ٤- إعادة تنظيم بنية المعدن التى تغيرت أثناء عمليات التشكيل او التشغيل على البارد.
- ٥- زيادة المطيلية والمتانة.
- ٦- زيادة قابلية المعدن لعمليات التشكيل والتشغيل.
- ٧- إزالة الإجهادات الداخلية الناتجة عن عمليات التشغيل.

وسوف نتناول في دراستنا كيفية معالجة الصلب ذلك أنه أكثر المعادن إستخداما في الصناعة ولا يمكن فهم المعالجه الحراريه للمعادن الحديدية إلا بعد دراسة منحنى الإتزان الحرارى للحديد والكربون ودراسة النسق البلورى (البنية الذرية) له.

ونظرا لشيوع الصلب اللاسبائكى فى عمليات التشغيل المختلفة سوف نقوم بدراسة منحنى الاتزان الحرارى للحديد والكربون له كالأتى:



منحنى الإتزان الحرارى للحديد والكربون

قبل البدء فى شرح المنحنى لابد من التنويه إلى أن هذا المخطط يسرى فقط على الصلب اللاسبائكى (حديد + كربون) ولا يسرى على أنواع الصلب السبائكى حيث تتداخل تأثير المواد السبائكية المضافة مع تأثير الكربون.



البرليت
الصلب المونوكرومى

يوضح مخطط التوازن الحرارى بين الحديد والكربون الحالات المختلفة لبنية الصلب اللاسبائكى والتي تتوقف على درجة الحرارة ونسبة الكربون فى الحديد وتبعاً لنسبة الكربون تجرى التفرقة بين ثلاث مجموعات رئيسية للصلب

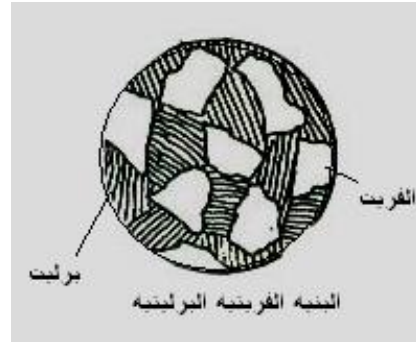
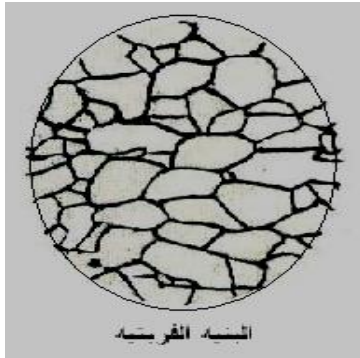
اللاسبائكى

١. الصلب الحاوى على نسبة ٠,٨٦% كربون:

يسمى هذا الصلب بالصلب اليوتكتويدى وهو يحتوى على كميته متوازنة من الفرييت وكريبيد الحديد (السمنتيت) ولذا تكون بلوراته متماثلة وتسمى هذه البلورات بالبرليت (خليط من الفريت والسمنتيت).

٢. الصلب الحاوى على نسبة اقل من ٠,٨٦% من الكربون:

يسمى أيضا بالصلب تحت (دون) اليوتكتويدى أى ذو البنية غير المتوازنة بمعنى وجود فريت (ح Fe) زائد عن الكمية المطلوبه لتكوين بلورات البرليت (فريت + سمنتيت) أو بمعنى آخر يحتوى هذا الصلب على نسبة قليلة من الكربون لا تكفى لتحويل البنية بالكامل إلى البرليت لذا يستمر وجود الفريت بجانب البرليت ويسمى الصلب بذو البنية الفريتيه البرليتيه.



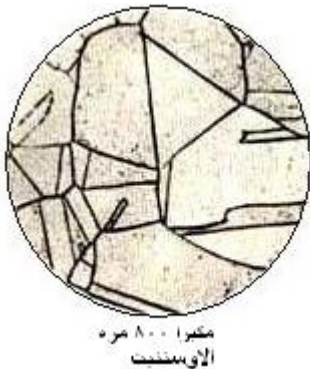
٣. الصلب اللاسبائكى الحاوى نسبة أكبر من ٠,٨٦% من الكربون:

ويسمى أيضا بالصلب فوق اليوتكتويدي ويحتوى هذا الصلب على نسبة كبيره من الكربون تسبب بقاء بعض كربيد الحديد (السمنتيت) بعد تكون البرليت وهى بنيه غير متوازنه وتسمى بالبنيه البرلتيه - السمنتيه بالنظر إلى منحنى التوازن الحرارى نلاحظ أنه يحدث تحول فجائى فى بنية الصلب اللاسبائكى الحاوى على نسبة ٠,٨٦% من الكربون (اليوتكتويدي) وهى بنيه برلتيه بالكامل وذلك عند درجة حراره ٧٢٣ درجة مئوية (نقطه التحول أو درجة الحراره الحرجه السفلى) بحيث يتحطم (يتفكك) البرليت وينحل الكربون فى الحديد تماما ويتم ذلك كله فى الحاله الصلبه ليتكون ما يسمى بمحلول الصلب وهو ذوبنيه جديده مختلفه عن البرليت تسمى بالأوستنيت أما فى الصلب الحاوى على أقل من ٠,٨٦% من الكربون فيتحول كل البرليت عند التسخين إلى ٧٢٣° مئوية (الخط ب س درجة الحراره الحرجه السفلى) إلى محلول صلب (أوستنيت) بينما تتحول كل بقايا الفريت الموجوده فوق الخط ج - س (درجة الحراره الحرجه العليا) إلى أوستنيت



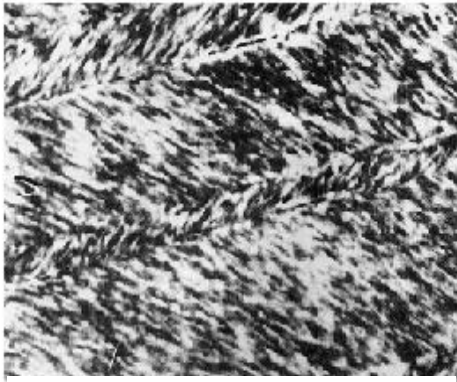
أما فى حالة الصلب الحاوى على أكثر من ٠,٨٦% كربون فعند تخطى درجة حراره الحرجه السفلى الخط

س - ك فيتحوّل البرليت إلى أوستنيت بينما لا يتحوّل السمنتيت .



ملحوظات هامه:

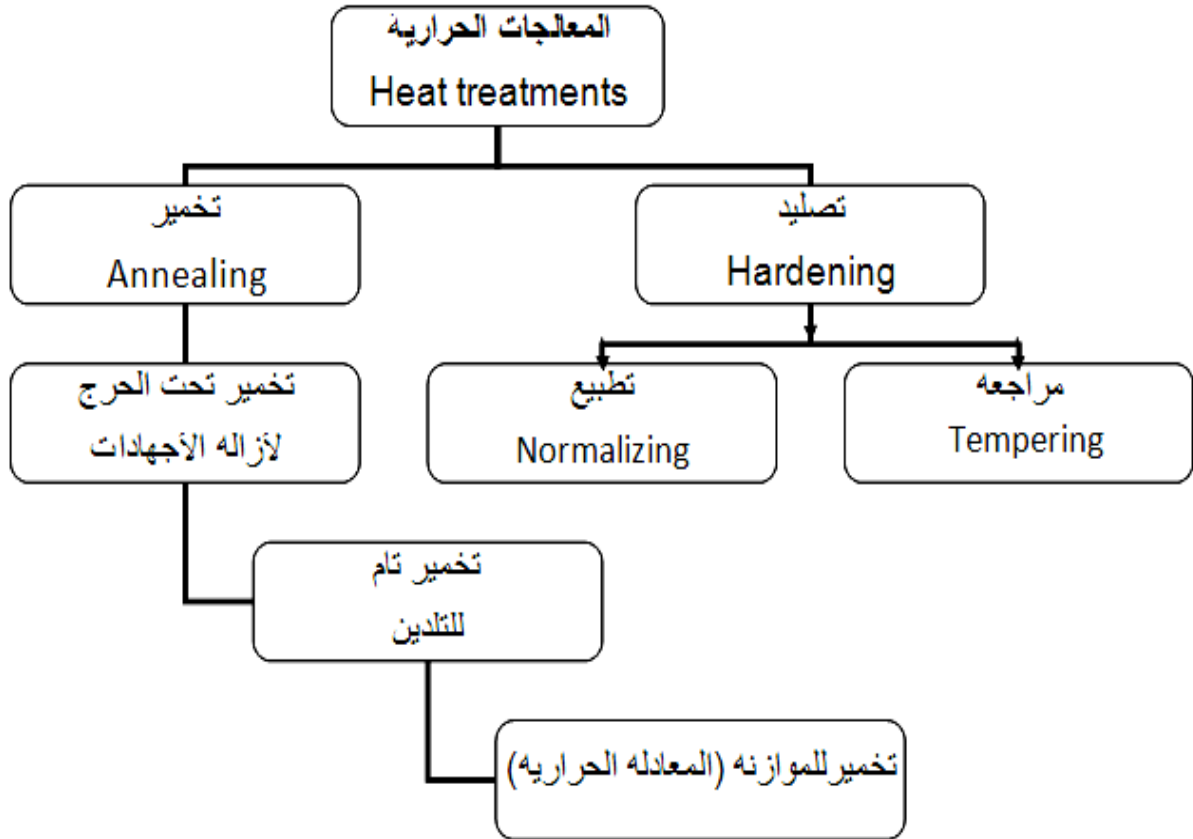
- ١- لتصليد الصلب اللاسبائكى يجب تسخينه أعلى من الخط الحرارى ج س ك بمقدار من ٣٠° مئوية الى ٦٠ مئوية لضمان حدوث التغيير التام فى بنية الصلب من برليت الى اوستنيت (الخط الحرارى هـ - ي).
- ٢- بالتبريد البطيء للصلب تعود بنيته إلى حالتها الاصلية.
- ٣- بالتبريد الفجائى (السقيه) للصلب المسخن أعلى الخط الحرارى هـ - ي فإن الصلب لا يتمكن عندئذ من إستعادة بنيته الأصلية وإنما تتغير بنيته حيث يتحول الأوستنيت إلى بنيه جديده تسمى المارتنزيت وهى بنيه ذات بلورات دقيقه أو إبريه ويصبح الصلب صلدا أكثر بعدة مرات من الصلب ذو البنيه الفريتيه.
- ٤- عند تسخين الصلب فى النطاق الحرارى أعلى من ٧٢٣ ° مئوية يتحول البرليت إلى أوستنيت وهو بنية غير مستقرة بحيث يتحول الصلب عند التبريد البطيء إلى بنيته الأصلية وللمحافظه على الصلب ذو بنيه أوستنيتية (الصلب الأوستنيتى) حتى عند تبريده إلى درجة حرارة الغرفة فإنه يضاف بعض المكونات السبائكيه مثل النيكل والكروم إلى سبيكة الصلب.



مكبره ٥٠٠ مره
المارتنزيت

المعالجات الحرارية للصلب:

يوضح المخطط التالي أنواع المعالجات الحرارية التي من خلالها تتغير الخواص الميكانيكية للصلب



أولا التخمير:

التخمير: (Annealing)

يقصد بتخمير الصلب تسخينه ببطء إلى درجة حراره محددة وإبقاؤه عندها لفترة معينة ثم تبريده ببطء ،
ويستخدم التخمير لتحسين ليونة السبيكة وتقليل الإجهادات الداخلية وتحسين البنية الداخلية للسبيكة عن طريق
جعلها أكثر تجانساً، وتحسين قدرتها على التشغيل على البارد.
ويحدث التخمير عن طريق إنتشار الذرات داخل المادة الصلبة، مما يعطى الفرصة للمعدن للإستقرار،
ويحدث الإنتشار عن طريق إستغلال الطاقة الحرارية الناتجة عن التسخين فى كسر الروابط بين الذرات،
وإكسابها طاقة حركية تعيد بها الذرات ترتيب نفسها فى مصفوفة الذرات، مما يجعل المعدن أكثر ليونة
وأسهل فى التشكيل، وأقل صلادة.
وهناك ثلاثة اساليب للتلدين هى التلدين المزيل للإجهادات، والتلدين اللين، وتلدين الموازنة (المعادلة
الحرارية).

التلدين المزيل للإجهادات (التخمير دون الحرج):

الغرض منه تقليل الإجهادات الداخلية الناتجة عن السباكة او الدرفله أو الطرق أو اللحام أو التشغيل بالقطع بقوة كبيرة، وغالباً ما تستخدم أفران الغاز للتسخين حيث تحمي المشغولات إلى درجة حرارة عادة أقل من درجة حرارة إكمال تحوّل المعدن إلى أوستنيت، وتركها لفترة كافية حتى تخرق الحرارة وتوزع بانتظام داخل جسم المشغولة لمدة تتراوح بين ساعة وساعتين للتخلص من الإجهادات الداخلية وبمجرد إنتهاء عملية التسخين بنجاح، يتم ترك المشغولة داخل الفرن، لكي لتبرد ببطء وتتراوح درجات حرارة التلدين لأنواع الصلب اللاسبيكي بين ٥٠٠ و ٦٠٠م (أنظر منحنى التوازن الحرارى)، وللأنواع السبيكية منخفضة الخلط بين ٦٥٠ و ٧٠٠م .

التلدين اللين (التخمير التام):

هى معالجة حرارية ينتج عنها إنشاء بنية داخلية جديدة متجانسة ذات خصائص جيدة تزيد من مطيلية المعدن وتقلل من قيمة إجهاد الخضوع وإجهاد الشد حيث يعاد تليين الصلب المصلد بالحرارة أو بالتشغيل على البارد لتزيد من ليونته وتقلل من قابليته للكسر عند إعادة تشغيله وهى خواص هامة للمعادن فى بعض العمليات الصناعية مثل الدرفلة والسحب والطرق والبنق، ويتم ذلك بتسخين الصلب وفقاً لتعليمات الصانع إلى درجة حرارة تقارب درجة حرارة إتمال تحوّل المعدن إلى أوستنيت (أنظر منحنى التوازن الحرارى) وتركه لفترة كافية لعدة ساعات للسماح للمعدن بالتحول الكامل إلى بنية داخلية تتكون من حبيبات الأوستنيت أو الأوستنيت مع السمنتيت ثم تبريده ببطء، وتعالج أنواع الصلب اللاسبائكى بالتلدين اللين بين ٦٨٠ و ٧٣٠م , والأنواع السبيكية منخفضة الخلط بين ٧١٠ و ٧٣٠م, وللأنواع السبيكية عالية الخلط بين ٨٠٠ و ٨٥٠م .

تلدين الموازنة (المعادله الحرارية):

وهى عملية الهدف منها تنظيم بنية المشغولات ذات الحبيبات الخشنة غير المتجانسة، الناتجة عن الحدادة أو السباكة أو المعالجة الحرارية كالتصليد الغلافى مثلا وتحويلها إلى بنية ذات حبيبات دقيقة تجعل المعدن أكثر تحملا للصدمات مع تحسين خواص المرونة والوصول إلى جهد شد معتدل كما تعمل المعادله الحرارية على تحوّل حبيبات المعدن التى إستطالت أثناء عمليات الدرفلة إلى حبيبات شبه كروية فى البنية الداخلية للمعدن، بل وتزيل التجمعات المعدنية لبعض العناصر السبائكية التى قد تحدث أثناء عمليات السباكة كما تحسن من قابلية المعدن للتشغيل (Machinability).

حيث تسخن القطعة حتى درجة حرارة أعلى بقليل من درجة الحرارة الحرجة التى يحدث عندها إعادة البلورة للبنية الداخلية للمعدن(انظر منحنى التوازن الحرارى)، ثم تخرج القطعة من الفرن قبل أن تنمو حبيبات المعدن المتكونة حديثاً فى البنية الداخلية للمعدن لتبرد فى الهواء، وفى العادة يكفى التلدين لمدة قصيرة لأنواع الصلب السبائكى بين ٨٢٠ و ٩١٠ م , وللأنواع السببكية منخفضة الخلط بين ٨٥٠ و ٩٢٠ م.

جدول ألوان التلدين	
لون التلدين	درجة حرارة التلدين (° مئوية)
بنى داكن	٥٥٠
احمر بنى	٦٣٠
احمر داكن	٦٨٠
احمر قفانى داكن	٧٤٠
احمر قانى	٧٨٠
احمر قانى فاتح	٨١٠
احمر فاتح	٨٥٠
احمر ساطع	٩٠٠
احمر مصفر	٩٥٠
احمر مصفر فاتح	١٠٠٠
اصفر	١١٠٠
اصفر فاتح	١٢٠٠
ايض مصفر	١٣٠٠ فأكثر

أخطاء التلدين:

- لا يعطى التلدين فى درجات حرارة أقل من اللازم التحول المطلوب فى البنية، ويؤدى ذلك مثلا الى عدم تليين الصلب المصلد بالتشغيل على البارد بشكل كاف.
- بالتلدين فى درجات حرارة أعلى من اللازم يتسخن الصلب بإفراط ويصبح خشن الحبيبات إلا أنه يمكن تصحيح ذلك بإجراء تلدين موازنة (معادلة) لتعود الحبيبات إلى دقتها، وإذا سخن الصلب الكربونى حتى الإشعاع (الحرارة البيضاء) فإنه يحترق ويصبح عديم الفائدة. (ألوان التلدين انظر جدول الالوان).
- يؤدى التلدين لمدة أطول من اللازم عند درجة الحرارة الصحيحة للتلدين إلى تقليل المتانة لتكون حبيبات خشنة كما يؤدى إلى خطر إزالة الكربنة من الطبقات السطحية نتيجة إتحاد الكربون مع أكسجين الهواء (لا يكون الصلب صلدا فى الطبقات مزالة الكربنة) وقد تتسبب فى أكسدة سطح المعدن، ولتجنب ذلك يتم التخمير فى جو خال من الأكسجين والنيتروجين والكربون لتجنب الأكسدة والكربنة والنتردة وذلك بإستخدام الغازات المختزلة مثل أول أكسيد الكربون والهيدروجين.

ثانياً: التصليد والمراجعة:

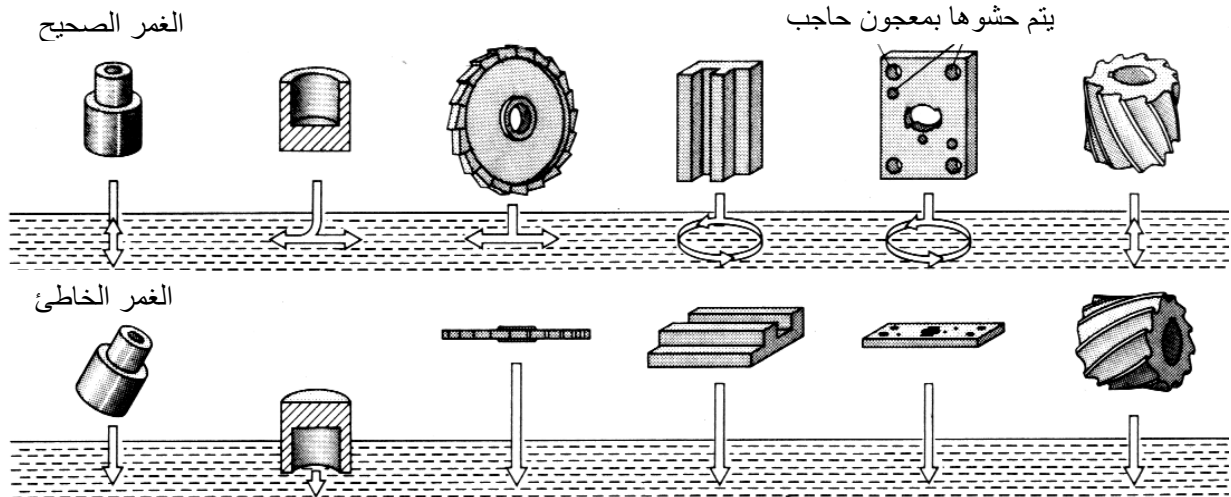
١- التصليد (التقسية) ومراجعة أنواع الصلب اللاسبانكي

تهدف هذه العملية إلى زيادة صلادة الصلب ورفع مقاومته لإجهاد الشد ومقاومة التآكل بالإحتكاك .
ونعني بالتصليد تسخين الصلب الى درجة حرارة فوق الخط الحرارى ج س ك الموضح بمخطط الأتزان الحرارى بدرجه تكون كافية لتكوين أوستنايت متجانس من حيث التركيب الكيمياءى ودرجة الحرارة ثم إبقائه عند تلك الدرجة لفترة زمنية مناسبة تعتمد على سمك المقطع ونوع الصلب ثم طشه بعد ذلك بإستخدام الماء او الزيت أو الهواء.

يتم تصيد الصلب على ثلاث مراحل هي :

- التسخين الى درجة حرارة التصليد .
- إبقاء الصلب عند هذه الدرجة لفترة زمنية محدد.
- التبريد الفجائى (السقيه).

والشكل التالى يوضح الأوضاع الصحيحة والخاطئه لعملية طش بعض للمشغولات



المراجعة الحرارية: Tempering

تهدف المراجعة الحرارية إلى إزالة الإجهادات الداخلية الناشئة عن عملية التصليد ويجب أن تتم المراجعة بقدر الإمكان بعد التصليد مباشرة. وتجدر الإشارة هنا إلى أن سرعة التسخين وسرعة التبريد لا تلعبان دوراً مهماً في عملية المراجعة، ونعنى بالمراجعة إعادة تسخين الصلب بعد التصليد، وهذه العملية تؤدي بجانب إزالة الإجهادات الداخلية إلى إزالة قسافة المشغولات وزيادة متانة الصلب قليلاً أو كثيراً على حسب درجة حرارة المراجعة، كما تقل صلابته بمعدل مناظر.

وعند المراجعة تظهر على أسطح المشغولات (إذا كانت مجلخه ومصقوله) مايسمى بألوان المراجعة (انظر الجدول التالي للألوان) يناظر كل لون منها درجة حرارة معينة. وتنشأ ألوان المراجعة عن إزدياد تخانة القشرة الأكسيدية السطحية بزيادة درجة الحرارة وبالتالي تغير انكسار الضوء على هذه القشرة.

يمكن أن تتم المراجعة في رمل ساخن أو على سطح محمي أو داخل فرن التصليد بعد إيقاف تشغيله ، أو على لهب مشعل بوري اللحام أو في أفران مراجعة خاصة مزودة بمغاطس (بأحواض) زيتية أو ملحية. ويمكن أن تجرى المراجعة دون أن تتأثر الصلاده بالتعتيق (التخزين لمدة طويلة) حيث تتخلص المشغولات من الاجهادات الداخلية الناشئة عن المعالجة الحرارية دون أن تفقد شيئاً من صلابتها.

ويمكن أن يجرى التعتيق في درجة حرارة الغرفة وهو مايعرف بالتعتيق الطبيعي وذلك بتخزين المشغولات المصلدة بعد التشغيل الأولى لفترة تصل الى ١٢ شهراً، قبل تشغيلها بالمقاسات النهائية أوبالتعتيق الإصطناعي حيث يتم إزالة الإجهادات في فترة أقل كثيراً وذلك بتسخين المشغولات إلى درجة حرارة تتراوح بين ١٠٠ و ١٥٠ م°، لمدة ٢٠٠ ساعة.

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 اللاسبانكي عند التصليد وترك الساق ساخنه 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 مع مراعاة أن يتم دفن الأجنة في رمل ساخن، وتسمى هذه الطريقة بالمراجعة من الداخل أو المراجعة الذاتية .

والجدول التالي يوضح الألوان ودرجات حراره للمراجعه الحراريه :

الألوان ودرجات الحراره للمراجعه الحراريه			
الإستخدام	درجة حرارة المراجعه م°	لون المراجعه	درجات التصليد
ادوات القياس	٢٠٠	ابيض مصفر	صلد جدا
البراغل	٢٢٠	اصفر قشنى	
شوك العلام	٢٣٠	اصفر ذهبى	
ذكر القلاووظ	٢٤٠	بنى مصفر	
المطارق , المخاوش	٢٥٠	احمر بنى	صلد
البنط	٢٦٠	احمر	
الأزاميل	٢٧٠	احمر قرمزى	
الذنب	٢٨٠	بنفسجى	متين صلد
المفكات	٢٩٠	ازرق داكن	
السنابك	٣٠٠	أزرق	
الفؤوس والبلط	٣٢٠	ازرق فاتح	

٢- تصليد ومراجعة أنواع صلب العدة :

- تتطلب أنواع صلب العدة اللاسبائكى والسبائكى منخفض الخلط والسبائكى عالى الخلط معالجات حرارية مختلفة بسبب إختلاف تركيبها الكيمياءى،ولذا يجب معرفة نوع الصلب بدقة،قبل إجراء المعالجة الحرارية.
- تصليد ومراجعة أنواع صلب العدة اللاسبائكى.
- أنواع صلب العدة اللاسبائكى هى أنواع كربونية نقيه (مكررة) تتراوح نسبة الكربون فيها من ٠,٦ الى ١,٥%

التسخين:

- يتم التسخين إلى درجة حرارة تتراوح من ٧٦٠ الى ٨٥٠°م (لون احمر كرزى الى احمر فاتح).

السقيه (التبريد الفجائى):

- تسقى أنواع صلب العده اللاسبائكى فى ماء درجة حرارته ٢٠°م (المصلدات بالماء)، ويجب أن يتم الغمر فى الماء بسرعة معقولة.
- ولا تتصلد المشغولات المصنوعة من صلب العده اللاسبائكى ذات المقاطع الكبيرة كلية لعدم إمكانية إمتصاص الحرارة من الأجزاء الداخلية للمشغولة بسرعة كافية ولذا تتبعج هذه المشغولات قليلا.
- ولتحاشى التشدخ والتشوه الناشئ عن التصليد يستحسن سقيه المشغولات بالماء حتى تصل درجة الحرارة الى نحو ٢٠٠°م، ثم إستكمال التبريد تماما فى الزيت. وتعرف هذه الطريقة بالتصليد التجزئى.

المراجعة:

- يجب أن تتم المراجعة بقدر الإمكان بعد التصليد مباشرة.
- وتراجع انواع صلب العدة اللاسبانكى فى درجة حرارة تتراوح من ٢٢٠ الى ٣٢٠م° ثم يلى ذلك التبريد النهائى فى الماء ويؤدى ذلك الى زيادة المتانه.
- واذا كان المطلوب إزالة الاجهادات الداخلية للصلب فقط،فانه تكفى المراجعة فى درجة حرارة تتراوح بين ١٠٠ & ٢٠٠م°، ويمكن بواسطة ألوان المراجعة (انظر جدول الالوان) تقدير درجات حرارة المراجعة الواقعة بين ٢٢٠ و ٣٢٠م° ويجب تلميع أسطح المشغولات المراد مراجعتها قبل العملية،كى تظهر ألوان المراجعة بصورة جيدة.
- تصليد ومراجعة أنواع صلب العدة السبانكى منخفض الخلط.
- تحتوى أنواع صلب العدة السبيكى منخفض الخلط بالاضافه لـ ٠,٨ الى ١,٧ % كربون على نسب من المكونات السبائكيه مثل الكروم والتنجستن والنيكل والموليبيديم والفانديوم لا تتعدى الـ ٥% .

التسخين:

- تسخن أنواع الصلب وفقا لتركيبها الكيميائى الى درجة حرارة تتراوح بين ٧٨٠ & ٨٥٠م° (لون أحمر كرزى الى احمر فاتح).

السقيه :

- تسقى هذه الأنواع من الصلب فى الزيت وأحيانا فى الماء ويمكن إستخدام أملاح منصهره (حمام ملهى) تصل درجة حرارتها الى ٢٠٠م° بدلا من الزيت تغمر فيه المشغولات المسخنه وتترك إلى أن تأخذ درجة حرارة الحمام ثم تبرد فى هواء ساكن الى درجة حرارة الغرفة وتسمى هذه الطريقة بالتصليد الحرارى أو المرحلى وتمتاز أنواع صلب العدة السبانكى منخفض الخلط بتصلدها بشكل تام كما تمتاز بإنعدام خطر التشوه والتشده.

المراجعة: تتراوح درجة حرارة المراجعة بين ٢٢٠ & ٣٢٠م° وتتم بنفس الأسلوب المتبع فى المراجعة الحراريه للصلب السبانكى.

تصليد ومراجعة أنواع صلب العدة السبائكي على الخلط

تحتوى أنواع صلب العدة السبائكي على الخلط بالاضافه لـ ٠,٣ الى ٢,٢ % كربون على نسب من المكونات السبائكيه تتعدى الـ ٠,٥% فقد تصل الى ١٨% من التنجستن و ١١% من الكوبالت مع إضافات من الموليبيديم والفانديوم والكروم.

التسخين:

تتراوح درجة حرارة التصليد بين ٩٥٠ & ١٢٠٠م° (لون أحمر مصفر الى أبيض مصفر) ويجب مراعاة الإلتزام بدرجة الحرارة المحدده من قبل الشركه المصنعه.

السقيه:

تسقى هذه الأنواع من الصلب فى الزيت أو فى تيار من الهواء المضغوط الجاف أو فى حمام أملاح منصهره (حمام ملحي) تصل درجة حرارتها من ٤٠٠م° الى ٦٠٠م° حيث تغمر فيه المشغولات المسخنه وتترك إلى أن تأخذ درجة حرارة الحمام ثم تبرد فى هواء ساكن الى درجة حرارة الغرفه وتتصلد أنواع صلب العدة السبائكي على الخلط بشكل تام كما أن تشوهها قليل جدا

المراجعه:

تتوقف درجة حرارة المراجعه لأنواع صلب العدة السبائكي على الخلط على تركيبها الكيمياءى وأسلوب السقيه وتتراوح بين ١٠٠ & ٦٠٠م° فمثلا تتم مراجعة صلب السرعات العاليه عند درجة حراره من ٥٣٠ الى ٥٨٠م° ومع ذلك لاتقل صلابته كما هو الحال فى أنواع صلب العده اللاسبائكي والسبائكي منخفض الخلط بل تزداد الصلابه (المراجعه المزيده للصلابه) ويعود السبب فى هذه الظاهره إلى أن اثر السقيه فى الأنواع السبائكيه عاليه الخلط يكون حاد للغاية بحيث لا تجد المكونات السبائكيه الوقت الكافى لتأخذ وضعها الصحيح فى البنيه المارتنزيه المتشكله اثناء التصليد وإنما يتم ذلك بالمراجعه اللاحقه وتسمى هذه العمليه بالتصليد بالترسيب.

مثال لتصليد سطحى لشغله مصنوعه من الصلب الأنشائى منخفض الكربون بواسطة الكربنه

ويشمل على تصليد مزدوج مصحوب بمعادلة القلب وتلدين مرحلى :

م	العملية	النتيجه
١	التصليد الغلافى فى مسحوق عند ٨٨٠ الى ٩٣٠°م. (تقلل درجة الحرارة العالية من زمن التصليد الغلافى)	كربنة الطبقة الخارجية
٢	تترك المشغولات لتبرد فى الصندوق ببطء	موازنة الإجهادات عند الحدود الفاصلة بين البنية السطحية وبنية القلب (حبيبات البنية خشنة فى الطبقة السطحية والقلب)
٣	التسخين إلى درجة حرارة تتراوح بين ٨٨٠ & ٩٣٠°م.	تنظيم بنية النواة وإعادة دقة حبيباتها.
٤	السقية فى ماء درجة حرارته ٢٠°	الإحتفاظ بدقة حبيبات النواة مع تصليد السطح.
٥	تلدين مرحلى فى درجة حرارة تتراوح بين ٦٥٠ & ٦٨٠°م, ثم التبريد البطئ فى الفرن	موازنة الإجهادات من جديد, عند الحدود الفاصلة بين البنية السطحية وبنية القلب
٦	تسخين فجائى إلى درجة حرارة تتراوح بين ٧٨٠ & ٨٠٠°م ثم السقيه فى ماء درجة حرارته ٢٠°م.	إعادة ترتيب البلورات ودقة الحبيبات وتصليد الطبقة الخارجية ومراجعة القلب
٧	المراجعة إذا إستدعى الأمر إلى درجة حرارة تتراوح بين ١٥٠ & ١٧٥°م لمدة ساعة واحدة.	تخليص الطبقة الخارجية من الإجهادات

الأخطاء المحتملة أثناء التصليد الغلافى:

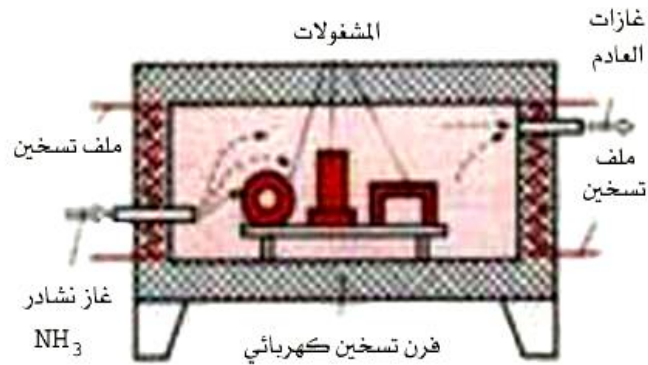
أسبابه	العيب المكتشف
قصر مدة التسخين أو إنخفاض درجة حرارة التلدين أكثر من اللازم، أو أن يكون وسيط التصليد مستهلكا.	طبقة التصليد الغلافى ليست عميقة بالقدر المطلوب
وجود بقع من الصدأ أو الشحم على سطح الشغلة	إمتصاص الكربون لا يتم فى بعض المواضع
قصر المسافة بين المشغولات وبعضها فى صندوق التصليد الغلافى أكثر من اللازم، أو عدم إنتظام وتجانس التركيب الكيمائى لوسيط التصليد الغلافى	إمتصاص الكربون يتم بصورة غير متجانسة للمشغولات المختلفه
وجود نسبة عالية من الفوسفور أو الكبريت فى الصلب أو سوء نوعية وسيط التصليد الغلافى	تقشر طبقة التصليد الغلافى

٢- النترده

النترده هي عبارة عن تصليد سطحى يخترق فيه النتروجين (الأزوت) سطح الشغله لتتكون فى الطبقة الغلافية مركب من الحديد والنتروجين يسمى بالنتريدات يؤدي إلى تصليد الطبقة الغلافية دون الحاجه إلى السقيه، وتعطى النترده صلاده تفوق بكثير الصلاده الناتجه بالكربنه إلا أن أقصى عمق تصليد يكون أقل مما هو فى الكربنه.

وعند النترده الغازية توضع المشغولة فى فرن مسخن كهربائيا عند درجة حرارة تتراوح بين ٥٠٠ & ٥٢٠ م° وتعرض لتيار من غاز النشادر (ن يد، NH₃) لمدة تتراوح بين ٩٦ ساعة فيتغلغل الأزوت الموجود فى غاز النشادر فى الطبقة الخارجيه للمشغولة، وعند الرغبة فى عدم تصليد بعض المواضع فى المشغولة فإنه يتم قصدرتها أو تغطيتها بمعجون خاص.

وتصلح النترده بالغاز لأنواع الفولاذ السبيكى الحاوية على الكروم والألومنيوم فقط، كما يوضح الشكل التالى



النترده بالغمر (السينده)

عبارة عن نترده فى حمامات ملحية تحتوى على السيانيد (سيانيد البوتاسيوم وسيانيد الصوديوم) مضافا إليها النتروجين ولتحاشي تبلور الملح المصهور تسخن المشغولات مسبقا ثم تغمر فى الحمام المسخن إلى درجة حرارة تتراوح بين ٥٠٠ & ٥٥٠ م° وتترك فيه لمدة تتراوح بين ١٠ & ٩٠ دقيقة ثم بعد ذلك تبرد المشغولات فى هواء ساكن ثم تشطف بالماء.

وتصلح النترده بالغمر لأنواع صلب الانشاءات السبائكية واللاسبائكية وأنواع الصلب المقاومة للصدأ أو الأحماض، وكذلك الحديد الزهر والحديد الملبد.

وتطيل النترده بالغمر أعمار عدد التشغيل المصنعة من صلب السرعات العاليه أو صلب التشغيل على الساخن بدرجة كبيرة.

ويمتاز التصليد بالتردة عن الاساليب الاخرى للتصليد السطحى بما يلى:

- انخفاض درجة حرارة المعالجة الحرارية نسبيا (٥٠٠ الى ٥٢٠م°).
 - عدم الإحتياج إلى سقية المشغولات وبالتالي عدم تشوهها .
 - الحصول على أعلى صلادة ممكنة للصلب .
 - بقاء الصلادة ثابتة حتى ٥٠٠م° وأكثر (استدامة الصلادة).
 - إمكانية تشطيب الأجزاء بصورة نهائية قبل تتردتها لعدم تقشر الطبقة السطحية وعدم إزدياد حجم المشغولة بدرجة محسوسة.
 - الحصول على تزييقية ممتازة وأكبر مقاومه للتآكل بالاحتكاك بين الأسطح المنتردة.
- ويستخدم التصليد بالتردة بالدرجة الأولى لأجزاء الماكينات المعرضة لدرجات حرارة تشغيل عالية والتي يجب أن تقاوم التآكل الكيمياءى والتآكل الإحتكاكى والكلال (الكلال أو التعب أو الإجهاد أو إرهاق المادة (Fatigue) والذي يعرف فى علم المواد بالتشوه البلورى المتدرج والمركز الذى يحدث عندما تتعرض المادة إلى حمل متكرر) فى نفس الوقت.
- ومن امثلة هذه الأجزاء أسطح الأسطوانات فى محركات الإحتراق الداخلى، وتروس المضخات وأعمدة المحاور.

النوع الثانى: تصليد الطبقة الخارجية للصلب القابل للتصليد:

وهو صلب يحتوى على نسبة من الكربون تتراوح بين ٠,٣ & ٠,٦ % ك

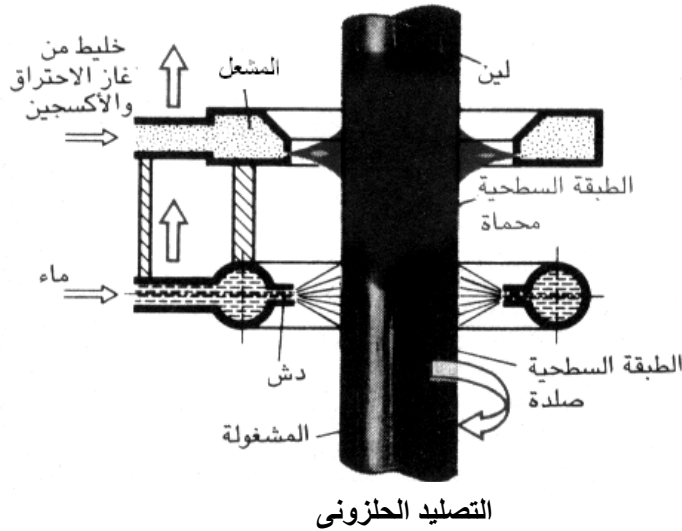
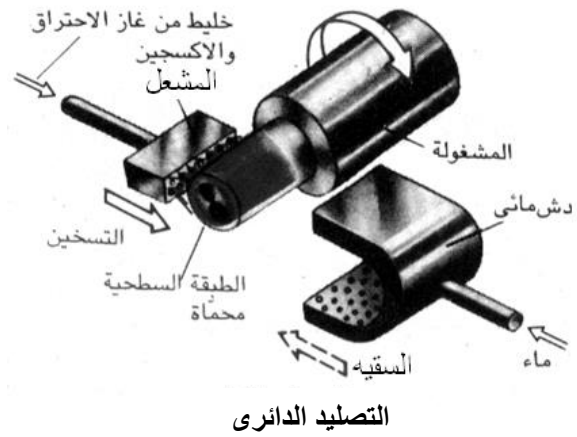
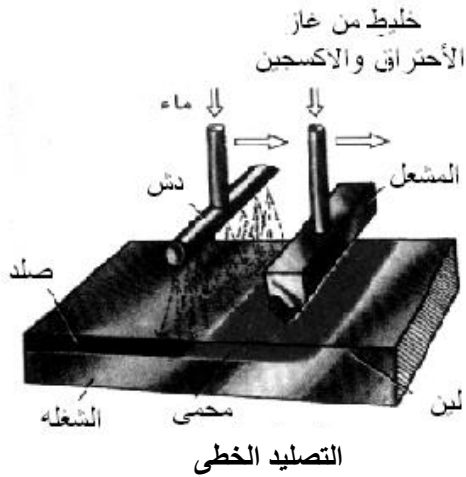
التصليد باللهب:

يتم التصليد باللهب بتسخين الطبقة السطحية للمشغولة باللهب غاز الإستصباح أولهب من غازى الأوكسجين والأستيلين إلى درجة حرارة التصليد فى وقت قصير جداً، ثم تسقى المشغولة بدش مائى مطابق لشكلها ، وذلك قبل وصول الحرارة إلى الطبقات الداخلية للمشغولة مما يؤدى إلى تصليد السطح فقط بينما يبقى القلب ليناً، وتستخدم هذه الطريقة فى تصليد العديد من العدد، وعلى سبيل المثال تصليد التروس وأعمدة المحاور والبنوز وغيرها وغالبا ما تستخدم ماكينات تصليد باللهب خاصة فتوضع ضمن خطوط الإنتاج ويتم التصليد باللهب بعدة أساليب كما هو موضح بالشكل وهى:

- التصليد الدائرى.

- التصليد الخطى.

- التصليد الحلزونى.



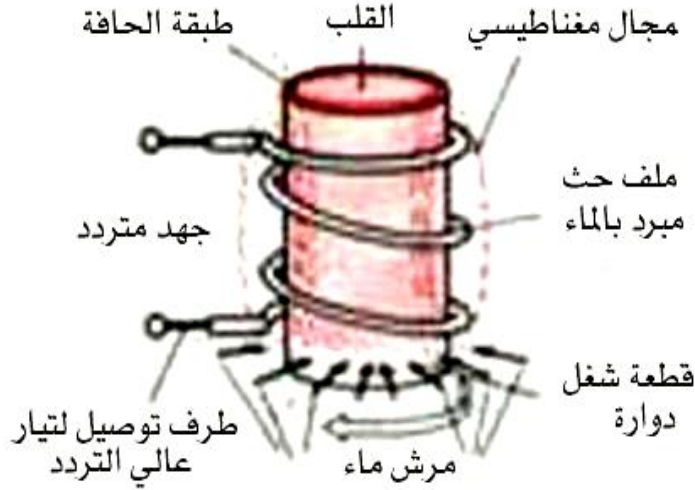
وتتوقف تخانة طبقة التصليد على مدة تعرض المشغولة لتأثير اللهب. ويمكن فى التصليد الخطى والحلزونى التحكم تنظيميا فى مدة تعرض المشغولة لتأثير اللهب بتحريك لهب المشعل أو المشغولة بسرعة منتظمة ، ويتناسب عمق التصليد عكسيا مع سرعة التغذية. يناسب التصليد باللهب أنواع الصلب السبائكى الذى يحتوى على نسبة من الكربون تتراوح ما بين ٠,٣٥ & ٠,٧٠ %، وأنواع صلب الإنشاءات ذات النسب السبائكية الضئيلة من الكروم والموليبدنم التى تتراوح نسبة الكربون فيها ما بين ٠,٣ & ٠,٥ %.

التصليد بالغمر:

عبارة عن تسخين الطبقة الخارجية للمشغولة إلى درجة حرارة التصليد بغمرها فى حمام ملهى متعادل ، بحيث يكون التسخين سريعا جدا ومتجانس، ويتم ذلك بمعزل عن الهواء، وتسمح طريقة الغمر بتسخين المشغولة جزئيا ، وبالتالي تصليدها جزئيا أيضا، وتسحب المشغولة من الحمام الملهى قبل تغلغل الحرارة إلى قلبها، وتغمر فى حمام سقيه بالماء أو الزيت. ويناسب التصليد بالغمر نفس أنواع الصلب الصالح للتصليد باللهب.

التصليد بالحث:

وتتم بإحاطة الجزء المراد تصليد سطحه بملف من مواسير النحاس الأحمر ملفوف حوله بصورة مطابقة لشكله ويبعد عن سطحه بمسافة تتراوح بين ١ و ١,٥ مم، يمر داخله ماء لتبريده أثناء العمل، ثم يمر في الملف تيار كهربى متغير عالى التردد تتراوح ذبذبته بين ٥٠٠٠٠ & ٥٠٠٠٠٠٠ ذبذبة فى الثانية حيث يتولد فى الجزء المراد تصليده تيارات حثيه دواميه عالية الذبذبات مستنتج من التيار الأول فيرفع هذا التيار درجة حرارة السطح إلى أعلى من درجة الحرارة العليا بقليل ثم تبرد الشغلة فجأة فى الماء بعد أن تكون قد تكونت بللورات الأوستينيت ونظرا لعدم تمكن الحرارة من التغلغل إلى داخل الشغلة فإن السطح يتصلد بينما يبقى القلب ليئا ومتينا ويمكن ضبط عمق التسخين بدقه بالتحكم فى تردد التيار الحثى ويصغر العمق بزيادة التيار وإزالة الإجهادات تراجع الشغلة بعد تصليدها بتسخينها إلى درجة حراره تتراوح بين ١٥٠ & ٢٠٠ م° ويناسب التصليد بالحث نفس أنواع الصلب الصالح للتصليد باللهب.



ثالثاً: التطبيع (Normalizing)

وهو عبارة عن تصليد متبوع بمراجعته في درجات الحرارة العاليه ولا تهدف هذه المعالجه للتصليد ولكن تهدف للحصول على بنيه دقيقة الحبيبات عالية المتانه والصلابه ويستخدم لهذا الغرض ما تسمى بأنواع صلب التطبيع وهى الأنواع تتراوح نسبة الكربون فيها بين ٠,٢٢ & ٠,٦ % وتحتوى على العناصر السبائكيه مثل السليكون أو المنجنيز أو الكروم أو الموليبيدينوم ، وتسخن أنواع صلب التطبيع إلى درجات حراره تتراوح بين ٨٢٠ & ١٠٠٠ م° لتصليدها ثم تسقى فى الماء أو الزيت ثم تراجع إلى درجات حراره أعلى بقليل من درجة الحرارة الحرجة التى يحدث عندها إعادة البلورة للبنية الداخلية للمعدن ثم تُخرج القطعة من الفرن قبل أن تنمو حبيبات المعدن المتكونة حديثاً فى البنية الداخلية للمعدن لتبرد فى الهواء وبرغم خفض الصلاده بشده نتيجة لهذه العمليه إلا أن حبيبات المعدن الصغيرة المتكونة تجعل المعدن أكثر صلابه وأكثر تحمل للصدمات (زيادة المتانه) وتحسن خواص المرونة مع جهد شد معتدل.

وتستخدم عملية التطبيع عادة لأجزاء الماكينات المعرضه للإجهادات العاليه مثل المحاور وأعمدة المرفق وأذرع التوصيل وغيرها .

الباب السادس: إختبارات مواد التصنيع
Manufacturing Materials Tests

إختبار المواد Materials Testing

هو قياس خصائص المواد وسلوكها في الظروف المختلفه ، وتفيد النتائج المستخلصة من هذا القياس في تحديد

المواد وصفاتها المميزة في مختلف الإستعمالات.

ويمكن أن يُجرى الإختبار على نموذج مصغر للآلة أو المادة، وقد يستعاض عن ذلك ببناء نموذج هندسى

بالإعتماد على خصائص المادة وسلوكها المعروفين مسبقاً للتنبؤ بقدرات النموذج.

وقد حددت المنظمة العالمية للمعايرة (ISO) International Organisation for Standardization

ومقرها جنيف خمسة اختبارات رئيسة للمواد وهى:

١. الإختبارات الميكانيكية .

٢. إختبارات الخصائص الحرارية.

٣. إختبارات الخصائص الكهربائية.

٤. إختبارات تلف الصدا والإشعاع والتلف البيولوجى.

٥. الإختبارات غير الإتلافية.

١- الاختبارات الميكانيكية:

تتعطل معظم الآلات والقطع ومكوناتها نتيجة تصدعها أو تشوهها الزائد، ومنعاً لحدوث هذا التعطل يقوم المصمم عادة بدراسات تحليلية على نموذج رياضي أو دراسات تجريبية على نموذج حقيقي لمعرفة مدى تحمل الآلة للإجهادات وظروف التشغيل ، كما يقوم بإختبار المواد التي يجب تصنيع كل جزء من الآلة منها لضمان حسن أدائها، وفيما يلي بعض الإختبارات التي يمكن توظيفها للوصول إلى هذه الغاية.

إختبار الشد والضغط :

تستطيل كل مادة عند تعرضها للشد (Strain) وتتهار إذا ما إستمرت هذه العملية، ويحدد إختبار بسيط للشد السكوني نقطة إنهيان المادة بعد استطالتها، ويتطلب هذا الإختبار توافر عينة إختبار أسطوانية أو يكون جزؤها الأوسط أصغر قطراً من نهايتها، وآلة إختبار تطبق مختلف الأحمال وتقيسها وتسجلها، ومجموعة مناسبة من المقابض (Grips) للإمساك بعينة الإختبار.

تقوم آلة الإختبار بشد جزء صغير من العينة (يسمى عادة مقطع الإختبار) شداً متنسقاً ويستخدم بعدئذ مقياس الاستطالة Extensometer لقياس طول جزء الإختبار ويسمى طول المعيار (Guage) عند مختلف الأثقال توصلاً لحساب الشد.

إختبارات الإنضغاط :

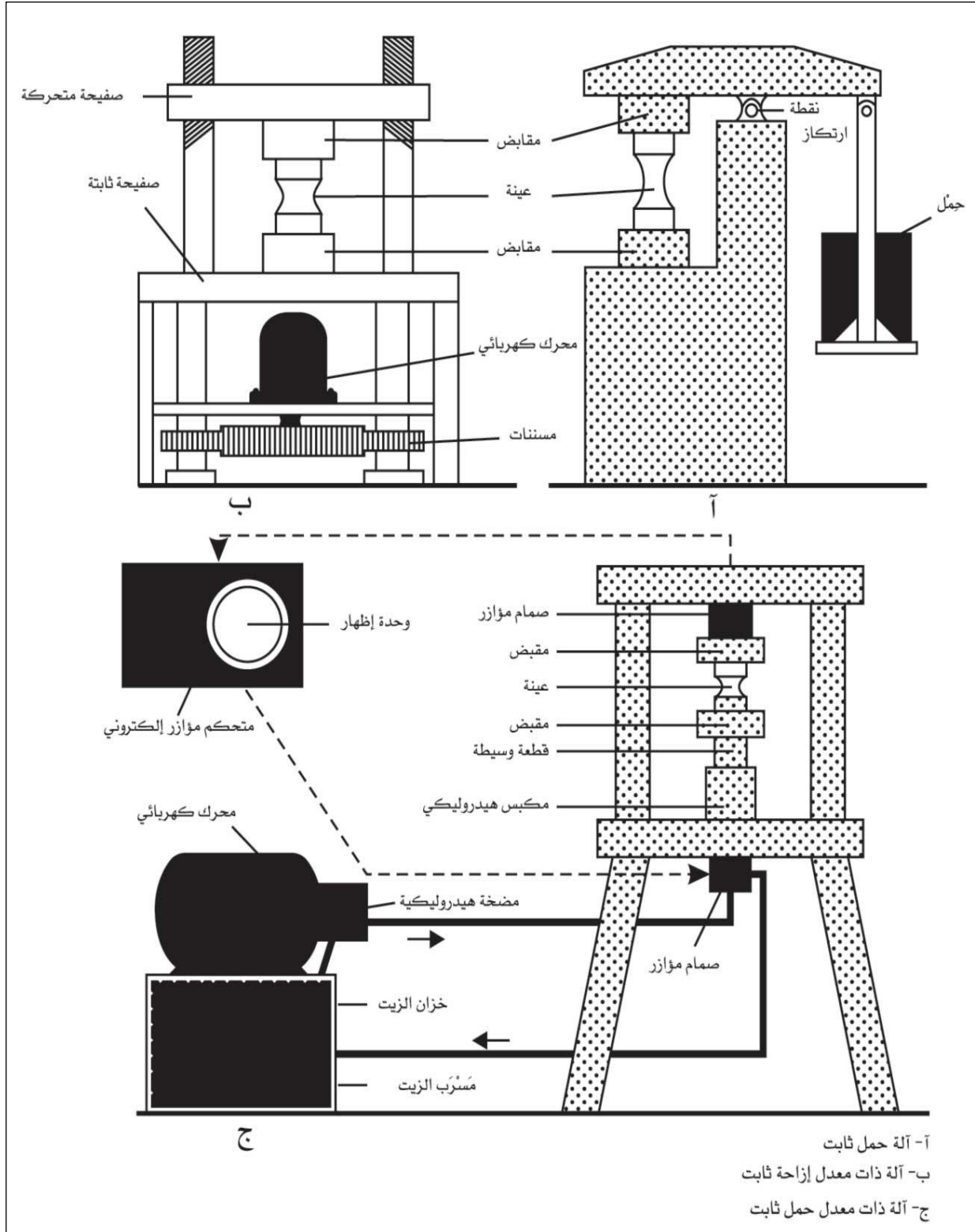
فتحدد إستجابة المادة لحمل ساحق Crushing أو لحمل إستنادي كما في حالة دعامات المنازل ويكون للعينات شكل أسطواني ويكون الطول المعياري في إختبار الإنضغاط مساوياً طول العينة كله. ويجب الإنتباه في هذه الإختبارات إلى وجوب إبقاء قطع الإختبار قصيرة وغلظتها منعاً لانثنائها أثناء الإختبار. ويمكن تصنيف آلات الإختبار التقليدية الى ثلاثة أنواع هي:

١- الآلات ذات الحمل الثابت Constant load

٢- الآلات ذات معدل الحمل الثابت Rate Constant load

٣- الآلات ذات معدل الإزاحة الثابت Rate Constant Displacement

والشكل التالي يوضح رسم تخطيطي لآلات الاختبار الميكانيكي



وتستخدم الآلات ذات الحمل الثابت أثقلاً لتطبيق الحمل وقياسه في حين تستخدم الآلات ذات معدل الحمل الثابت وحدتي تحميل وقياس منفصلتين ويستخدم مكبس هيدروليكي عادة لتطبيق الأحمال، ويتم التحكم في آلات الإختبار ذات معدل الإزاحة الثابت بواسطة مسننات لولبية.

إختبار القص واللى السكونيين:

تشير إختبارات القص فى مستوى إلى قيمة التشوه فى المادة نتيجة للقوى المطبقة مماسياً، وتطبق مبدئياً على المواد ذات الصفائح الرقيقة سواء كانت معدنية أو مركبة كاللدائن المقواة بألياف الزجاج. وتتولد فى إختبار اللى إجهادات شد على وجهى العنصر المعرض للى وتتولد إجهادات ضغط مقابلة على الوجه الآخر.

ويمكن إستخدام هذا الإختبار فى قياس مقاومة الشد للمواد التى يصعب إجراء إختبار الشد عليها مباشرة إذ يختلف تشوه المادة على وجهى العنصر المختبر باختلاف مقاومته للشد والضغط وبذلك يمكن معرفة قيمة مقاومة المادة للشد.

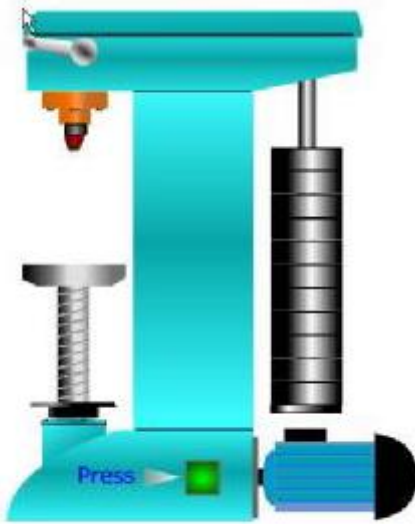
إختبار قابلية السحب: Ductibility

قابلية السحب هى: صفة للمادة تبين قابليتها للتشوه تشوهاً دائماً نتيجة لتطبيق إجهاد عليها. وتتشوه المادة عادة فى البداية تشوهاً مرناً يزول بزوال الإجهاد الموضعى ثم يصبح دائماً. فمثلاً تأخذ إسطوانة فولاذية شكل عنق متطاول نتيجة شدها، وتكون المادة قابلة للسحب إذا كان هذا التشوه دائماً لا تعود معه الإسطوانة إلى شكلها السابق. ويمكن التعبير عن قابلية الإسطوانة للسحب بالشد وبتقلص المساحة فى وحدة المساحة أو بالمتانة Toughness التى هى كمية القدرة اللازمة لإحداث تشوه دائم فى المادة.

إختبارات الصلادة: Hardness Tests

تعرف صلادة المادة في التكنولوجيا بأنها المقاومة التي تبديها المادة تجاه محاولة اختراقها بواسطة جسم آخر، وهناك عدة أساليب لقياس هذه المقاومة وبالتالي استنباط الصلادة وبحسب صلادة الشغله ونوع مادتها وشكلها وحجمها يجرى إختبار الصلادة بأساليب عدة هي برنيل ، أوفيكرز أو روكويل .
وعادة ما يستخدم الألماس في صناعة الأداة المستخدمه في قياس الصلاده.

إختبار برينل للصلادة:



جهاز إختبار برينل

إختبار برينل للصلادة (Test Brinell Hardness): هو أحد

الطرق أو الإختبارات المستخدمة لقياس صلادة المادة، إبتكره المهندس

السويدي جون أغسطس برينل، وتتخلص طريقة الإختبار في ضغط

كرة من الصلب المصلد، أو كرة مصنعة من مادة كربيدات التنجستن

الملبد، على سطح العينه المراد قياس صلادتها بعد تجهيزه حيث يجب

أن يكون نظيفا ومستويا وناعما ومجلا كما يجب ان يكون في مستوى

عمودي على إتجاه الضغط، ويفضل في هذا الإختبار ألا يقل سمك العينه عن ١٠ أمثال عمق الأثر (العلامة

التي تتركها الكرة في العينه). وعادة ما تستخدم كرة من كربيدات التنجستن قطرها ١٠ مم مع حمل ٣٠٠٠

ث.كجم عند إختبار الصلب والمعادن الصلده وعادة ما تستخدم كره من كربيدات التنجستن قطرها ١٠ مم الى

٥ مم مع حمل ٥٠٠ ث.كجم عند إختبار المعادن الطريه مثل الألومنيوم، ولكن حجم هذه الكره لا يصلح في

حالة العينات الرقيقة ولذا تستخدم كره قطرها أقل من ٥ مم (يتم إختيار قطر الكره وفقا لتخانة العينه أنظر

الجدول)، وعموما تستخدم الأحمال من ٥٠٠ ث كجم الى ١٥٠٠ ث كجم مع العينات ذات المعادن الطريه كما

تستبدل كرة الصلب بأخرى من كربيدات التنجستن في حالة المواد الأكثر صلادة.

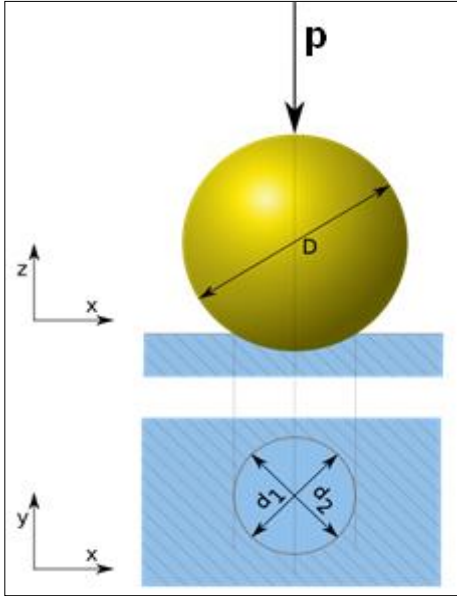
تخانة العينه (مم)	أقل من ٣	٣ الى ٦	أكبر من ٦
قطر الكره (مم)	١ الى ٢,٥	٥	١٠

يجرى الإختبار على ماكينه خاصه مزوده بشاشه مكبره بها تدريج لقياس قطرى الأثر (حفره كرويّه) الذى أحدثته الكره على سطح العينه الذى غالبا ما يكون قريبا من الشكل البيضاوى ثم نحسب القطر المتوسط من العلاقة :

$$d = \frac{d_1 + d_2}{2}$$

ثم حساب الصلادة من العلاقة:

$$HB = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$



حيث:

HB رقم برينل للصلادة كجم/مم²

P الحمل بالكيلو جرام

D قطر الكرة المستخدمة بالمليمتير

d قطر الأثر على سطح العينه بالمليمتير

نتائج الإختبار:

عند ذكر نتيجة إختبار برينل يجب ذكر نوع مادة الكرة وقطرها (D) والقوة المؤثرة (P) التى أدت إلى الحصول على هذه النتائج، وتوجد إختصارات للدلالة على نوع مادة الكره HBW تدل على أن الكره المستخدمه فى الإختبار من مادة تنجستن كربييد و HBS تدل على ان المادة المستخدمه مصنعه من الصلب.

وعندما تكون ظروف إختبار HBW 20/3000 فهذا معناه إستخدام كره مصنعة من مادة التنجستن كربييد بقطر 20 ملي متر وقوة تقدر ب 3000 ثقل كيلو جرام .

وعموما لا يتم إستنباط الصلادة البرينيلية حسابيا وإنما تؤخذ من جداول خاصة فعلى سبيل المثال إذا نتجت عن إختبار الصلادة بكره صلب قطرها D=2,5 mm وحمل اختبارى قدره P=187,5KG اثر قطره d=1mm فاننا نحصل من الجدول على الصلادة البرينيلية HBS=229 Kg/mm² ويتكون الرمز الكامل للصلادة البرينيلية من الحروف الابدجية اللاتينية HBS او HBW و قطر الكره الاختباريه ومقدار الحمل الاختبارى وزمن تأثير الحمل الاختبارى مثال ذلك:

$$HBS_{5/250/25} = 120 \text{ kg/mm}^2$$

تدل على صلادة برينيلية مقدرها ١٢٠ كيلوجرام/مم^٢ مستتبطة بكره قطرها ٥ مم مصنوعة من الصلب وحمل إختبارى مقداره ٢٥٠ كيلوجرام يؤثر لمدة ٢٥ ثانية .

أما إذا كان قطر الكرة ١٠ مم والحمل ٣٠٠٠ كيلوجرام وزمن تأثير الحمل من ١٠ الى ١٥ ثانية فإنه يمكن إهمال كتابة هذه المعطيات فى رمز الصلادة البرينيلية الذى يتكون فى هذه الحالة من الحروف الابدجية اللاتينية HBS او HBW فقط مثال ذلك:

$$HBS=٣٥٠ \text{ kg/mm}^2$$

تدل على صلادة برينيلية مقدرها ٣٥٠ كيلوجرام/مم^٢ ناتجة عن الإختبار بكره صلب قطرها ١٠ مم وحمل إختبارى مقداره ٣٠٠٠ كيلوبوند يؤثر لمدته تتراوح من ١٠ الى ١٥ ثانية.

$$HBS_{٢,٥/٦٢,٥}=١٧٠ \text{ Kg/mm}^2$$

تدل على صلادة برينيلية مقدارها ١٧٠ كيلوجرام/مم^٢ مستتبطة بكره صلب قطرها ٢,٥ مم وحمل إختبارى مقداره ٦٢,٥ كيلوجرام يؤثر لمدة تتراوح من ١٠ الى ١٥ ثانية .
ويختلف هذا الترميز الذى يتم وفقا للمواصفات القياسية الألمانية (Din) عن الترميز وفقا لتوصيات المواصفات الدولية (ISO) التى تكتب فيها القيمة العددية للصلادة البرينيلية قبل الحروف HBS و HBW مثال ذلك .

$$١٢٠ \text{ HPS}_{٥/٢٥٠/٣٠}$$

وعلى سبيل المثال تبلغ الصلادة البرينيلية المستتبطة لصلب الانشاءات St٣٧ مقدار ١١٦ HB Kg/mm^2 وعموما فإن رقم برينل يتراوح بين ٥٠ الى ٧٥٠ HB حيث يزداد بزيادة صلادة العينه.

كيفية إختيار الحمل الإختبارى المناسب:

يجب إختيار الحمل الإختبارى بحيث يتراوح قطر الأثر الكروى الناتج عنه (d) من ٠,٢ الى ٠,٧ من قطر الكره الإختباريه (D) ويتم الحصول على القيم العياريه للحمل الإختبارى بضرب إحدى درجات التحميل الإختبارى ٣٠ او ١٠ او ٥ او ٢,٥ او ١,٥ فى مربع القيمة العددية لقطر الكره الإختباريه .
عادة يختبر الصلب بحمل إختبارى مقداره (٣٠ x D^٢) فإذا إستخدمت كره قطرها ١٠ مم على سبيل المثال لبلغ الحمل الاختبارى P مقدار:

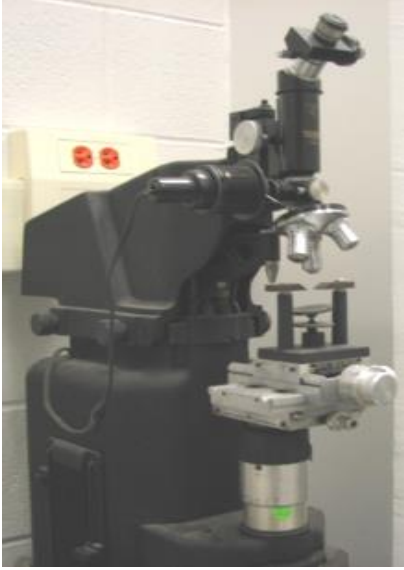
$$P= ٣٠ \times ١٠^٢ = ٣٠٠٠ \text{ Kg}$$

كما تختبر المعادن اللينة مثل الرصاص والقصدير بالحمل الإختبارى (١,٥ x D^٢) فإذا إستخدمت لإختبار عينه من النحاس الأصفر كره قطرها ٥ مم لبلغ الحمل الإختبارى P مقدار :

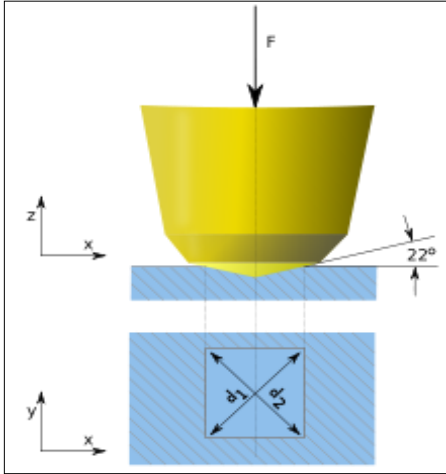
$$P= ١,٥ \times ٥^٢ = ١٢ \text{ Kg}$$

ولا يمكن مقارنة أرقام الصلاده البرينيلية ببعضها البعض إلا اذا تم إستنباطها بإستخدام نفس درجة التحميل الإختبارى وتوجد بين الصلاده البرينيلية وإجهاد الشد علاقه تقريبيه هى:

إختبار الصلادة بأسلوب فيكرز:



تم تطوير اختبار صلابة فيكرز في عام ١٩٢١ من قبل شركة فيكرز كبديل لطريقة برينل لقياس صلادة المواد وتمتاز بإمكانية إستخدامها لإختبار جميع المواد بغض النظر عن صلابتها، كما تمتاز بالقدره على قياس صلادة العينات الرقيقه أو المصلده غلافيا بعمق قليل. وفي إختبار الصلادة بأسلوب فيكرز يضغط على سطح العينة الإختبارية بالحافة المسلوبه لهرم ماسى رباعى الأوجه تبلغ الزاوية بين جوانبه ١٣٦° درجه وتتراوح قيمة الحمل الإختبارى من ١ الى ١٢٠ كيلوجرام



وتستخدم فى آلات إختبار الصلادة للأحمال الصغيرة أحمال إختبارية تبدأ من ٠,٠٢ كيلوجرام، والمقادير المفضله للحمل الإختبارى هى ٥ , ١٠ , ٢٠ , ٣٠ , ٥٠ , ١٠٠ كيلو جرام وتنتج أرقام صلادة فيكرز (HV) بقسمة الحمل المستخدم (F) على مساحة سطح الأثر المستديم الذى يحدثه الهرم الماسى عند ضغطة على العينة ولحساب مساحة سطح الأثر يقاس كل من قطرى الأثر (d₁ , d₂) ويتم

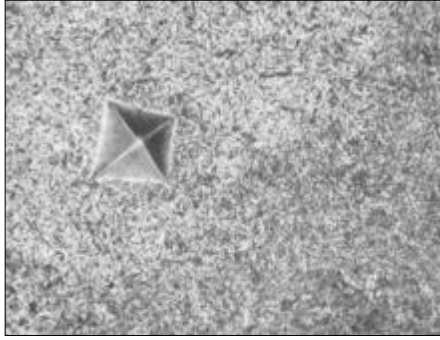
القياس بإظهار الأثر مكبرا على شاشة التركيز لآلة إختبار الصلادة التى تصل دقة القياس عليها الى ٠,٠٠١ مم ويؤخذ المتوسط الحسابى (d) للقطرين (d₁, d₂) أساسا لحساب مساحة الأثر .

$$d = \frac{d_1 + d_2}{2}$$

$$A \approx \frac{d^2}{1.8544}$$

$$HV = \frac{F}{A} \approx \frac{1.8544F}{d^2}$$

حيث:



HV رقم صلادة فيكرز بالكيلوجرام /مم²

F الحمل المستخدم بالكيلوجرام

A مساحة سطح الأثر مم²

d المتوسط الحسابي لقطرى الأثر مم

(d₁ , d₂) قطرى الأثر مم

ولحساب رقم صلادة فيكرز بالوحدات الدولية ISO يمكن استخدام المعادلة التالية:

$$HV = \frac{F}{A} \approx \frac{0.1891F}{d^2}$$

حيث:

HV رقم صلادة فيكرز بالنيوتن/مم²

F الحمل المستخدم بالنيوتن

A مساحة سطح الأثر مم²

ويجب أن يكون السطح المراد إختباره مستويا ساطعا، وعموديا على إتجاه ضغط الهرم، كما يجب أن تركز العينة الإختبارية فى الآلة بحيث لا تترك فجوات هوائية بين العينه و قاعدة إسنادها فى الآلة و يصلح إختبار فيكرز لجميع أنواع المشغولات و مواد التصنيع، كما يستخدم بصورة ممتازة للأجزاء الرفيعة والمشغولات ذات الصلادة الغلافية قليلة العمق نظرا لأنه يترك آثارا ضئيلة فقط على سطح العينه. ويشبه إختبار فيكرز إختبار الصلادة البرينيلية كما تتطابق تقريبا قيم صلادة فيكرز حتى HV³⁵⁰ Kg/mm² مع نظائرها المستنبطه باختبار برينيل وذلك إذا استخدمت لصلادة فيكرز القوة الإختباريه F ≥ 5 كيلوجرام وللصلادة البرينيلية درجة التحميل (30 x D²) كما هو موضح بالجدول الأتى :

جدول التحويل لصلادة روكويل			
أجهاد الشد	صلادة برينل	صلادة فيكرز	صلادة روكويل
Rockwell Scale Conversion Chart			
N/mm2	Brinell Number	Vickers	Rockwell C.
-	-	902	65
-	-	836	63
-	-	778	61
2033	601	715	59
1956	578	671	57
1879	555	633	56
1802	534	599	54
1725	514	572	52
1663	495	547	50
1617	477	523	49
1555	461	501	48
1509	444	479	47
1463	429	459	45
1417	415	441	44
1355	401	424	42
1309	388	409	41
1263	375	395	40
1232	363	382	39
1186	353	369	37
1155	341	356	36
1224	331	344	34
1093	321	332	33
1047	311	321	32
1016	302	310	31
986	293	299	30
970	285	290	29
939	277	282	27
909	269	274	26
893	262	267	25
862	255	260	24
847	248	253	22
816	241	246	21
785	235	240	20
770	229	234	-
755	223	228	-
739	217	222	-

وفى أغلب الأحوال يشتمل رمز صلادة فيكرز على قيمة الحمل الإختبارى فقط بالرغم من أن نتيجة القياس لا تتأثر بقيمة الحمل ويهمل كتابة زمن تأثير الحمل الإختبارى فى رمز صلادة فيكرز إذا تراوحت قيمته من ١٠ الى ١٥ ثانية ومن أمثلة ذلك:

-١

$$HV_{30} = 580 \text{ kg/mm}^2$$

تدل على صلادة فيكرز مقدارها ٥٨٠ كيلوجرام /مم^٢ مستنبطة بحمل إختبارى مقداره ٣٠ كيلوجرام يوتر على العينه الإختبارية لمدته تتراوح من ١٠ الى ١٥ ثانية.

-٢

$$HV_{80/30} = 210 \text{ kg/mm}^2$$

تدل على صلادة فيكرز مقدارها ٢١٠ كيلوجرام /مم^٢ مستنبطة بحمل إختبارى مقدارة ٨٠ كيلوجرام يوتر على العينه الإختبارية لمدة ٣٠ ثانية.

ويختلف هذا الترميز الذى يتم وفقا للمواصفات القياسية الالمانية (Din) عن الترميز وفقا لتوصيات المواصفات الدولية (ISO) التى تكتب فيها القيمة العددية للصلادة الفيكريه قبل الحرف HV مثال ذلك HV٨٠/٣٠.

أمثلة من أرقام صلادة فيكرز لمواد مختلفه نيوتن/مم ^٢	
قيمة الصلاده	الماده
HV٣٠=١٤٠	الصلب المقاوم للصدأ (L٣١٦)
HV٣٠=١٨٠	الصلب المقاوم للصدأ (L٣٤٧)
HV٥/١٢٠=٥٥	الصلب الكربونى
HV٥/٨٠=٣٠	حديد

وتوجد بين الصلاده الفيكريه واجهاد الشد علاقه تقريبية هى:

$$\sigma_y = \frac{H_V}{c} \approx \frac{H_V}{3}$$

حيث:

c هو ثابت تحده عوامل هندسية وتتراوح عادة بين ٢ و ٤

إختبار روكويل للصلادة: (Rockwell scale)



جهاز إختبار روكويل.

إختبار روكويل للصلادة هو إختبار للصلادة يعبر عن مدى مقاومة مادة ما للخدش.

تحدد قيم الصلادة بإستخدام إختبار روكويل لمادة ما عن طريق التأثير عليها بحمل صغير يليه حمل كبير، ثم المقارنه بين عمقَي الإختراق ثم تستخرج بعد ذلك قيمة الصلادة إما باستخدام جداول خاصه أو حسابيا أو من على شاشة الجهاز مباشرة.

مستويات إختبار روكويل:

هناك عدة مستويات (طرق) لإختبار روكويل تختلف عن بعضها

بحسب قيمة الحمل المستخدم أو نوعية أداة الخدش، وأكثرها شيوعاً

الطريقه المستخدمه لإختبار الصلب المصلد ويطلق عليها طريقه HRC والطريقه المستخدمه لإختبار الصلب

غير المصلد ويطلق عليها طريقه HRB (انظر الجدول):

مستويات إختبار روكويل				
المستوى	الرمز	الحمل المستخدم	أداة الخدش	الإستخدام
B	HRB	١٠٠ kgf	كرة من الصلب قطرها ١ / ٦ بوصة	الألومنيوم والنحاس الأصفر والصلب غير المصلد
C	HRC	١٥٠ kgf	مخروط ماسي زاوية رأسه ١٢٠°	الصلب عالي الصلادة

*تعتبر القراءات التي تقل عن ٢٠ HRC غير مقبولة

الأختبار بطريقة HRC:

فى إختبار الصلاده بطريقة HRC يضغط بمخروط ماسى زاوية رأسه ١٢٠° على سطح العينه بحمل أولى مقداره ١٠ كيلو جرام فيتغلغل المخروط الماسى فى العينه، ثم نقوم بتصفير الجهاز (ندير قرص التدرىج للمؤشر على القراءه صفر) ثم نزيد الحمل بالتدرىج وخلال ٦ ثوانى ليصل الى ١٥٠ كيلو جرام ويترك حتى يتوقف المخروط الماسى عن التغلغل ويستقر المؤشر ثم يقلل الحمل حتى يعود الى مقداره الأولى وقدره ١٠ كيلو جرام فيرتد الهرم الماسى حتى يستقر عند عمق تغلغل مستديم وبالتالي يتحرك المؤشر فى الإتجاه العكسى حتى يستقر عند قيمه تكون هى قيمة صلاده روكويل للعينه. وفى بعض الأجهزة تكون القيمه المعطاه على شاشة أو مؤشر الجهازهى قيمة عمق التغلغل (d) وليس قيمة صلاده روكويل للعينه فى هذه الحاله يتم حساب الصلاده من العلاقه الآتيه:

$$HRC = 100 - d/0.002$$

ولكن فى معظم الأجهزة الحديثه تظهر قيمة صلاده روكويل للعينه على شاشة الجهاز مباشرة. تتراوح صلاده روكويل لصلب العده الكربونى المصلد بين HRC ٥٨ & HRC ٦٠ وتبلغ صلاده الماس وفقا لصلاده روكويل الى HRC ١٠٠ .
الحرفان HR يدلان على إستخدام طريقة روكويل والحرف C يدل على الأسلوب المستخدم كما هو موضح بجدول مستويات إختبار روكويل أما الرقم المكتوب بجوار HRC فيعبر عن قيمة الصلاده بأرقام لا بعديه (الكمية اللابعدية هى كميته بدون أى وحدات فيزيائيه ماديه وبالتالي هى عدد محض، ويعرف هذا العدد بأنه ناتج أو نسبة كميات لها وحدات، بحيث تم اختصارها جميعاً).

الأختبار بطريقة HRB:

تشبه طريقة HRB لأختبار صلاده روكويل طريقة HRC الا أنه بدلا من المخروط الماسى تستعمل كره من الصلب المصلد قطرها $\frac{1}{16}$ بوصة يتم ضغطها على سطح العينه بحمل أولى قدره ١٠ كيلو جرام يتبعه حمل إختبارى قدره ١٠٠ كيلو جرام .
ولا يمكن إجراء أى تحويلات حسابيه لقيم الصلاده المستنبطه بهذه الطريقه إلى نظائرها المستنبطه بطرق اخرى إلا انه توجد للإستخدامات العمليه جداول مقارنه تضم مجموعات من متواليات أرقام الصلاده المستنبطه بطرق مختلفه فى مقابله بعضها مما يمكن من تحويل نتيجة إختبار الصلاده المستنبطه من إختبار معين الى القيم المناظره لها المستنبطه بطرق اختبار اخرى.
عند تطبيق هذا الاختبار على المعادن، فغالباً ما تتناسب القيم الناتجة مع قيم إجهاد الشد لها.

مميزات الاختبار بطريقة HRB:

١. يمتاز الإختبار بقدرته على عرض قيم مباشرة للصلادة، وبالتالي تفادى الحسابات المملة فى بعض إختبارات قياس الصلادة الأخرى.
٢. بعض أجهزة هذا الإختبار محموله، مما يعطى إمكانية إستخدامه فى أماكن مختلفه.
٣. الموثوقية فى القيم الناتجة.
٤. السرعة فى الإختبار.
٥. صغر مساحة الخدش، مما يجعل الإختبار يصنف من الإختبارات اللا إتلافية (هى نوع من أنواع الإختبارات لتحديد أسباب إنهيار المعادن تحت تأثير القوى المختلفه وذلك بإجراء الاختبار على القطعة دون إتلافها أو إلحاق أضرار بها).

إحتياطات واجبة:

- تراعى عدة احتياطات لضمان دقة النتائج الناتجة عن الإختبار مثل:
١. أن يكون سمك المادة المختبره على الأقل ١٠ أضعاف عمق الخدش الناتج عن الإختبار.
 ٢. أن يكون سطح الإختبار مستوياً، وأن يكون الحمل المستخدم عمودياً على السطح.

والجداول التالية توضح العلاقة بين صلادة روكويل و صلادة برينل

جداول توضح العلاقة بين صلادة روكويل وصلادة برينل

فيكرس	روكويل			برنل بحمل 3000 Kg و كرة قطرها 10 mm	
	هزم من الماس	روكول C مخروط و 150 Kg	روكول B كرة و 100 Kg	روكول A مخروط و 60 Kg	رقم الصلادة
640	57.3	...	79.8	...	2.50
533	51.3	...	76.5	495	2.75
440	44.5	...	72.8	415	3.00
372	37.9	...	69.3	352	3.25
319	32.1	...	66.3	302	3.50
276	26.6	...	63.6	262	3.75
241	20.5	...	60.8	229	4.00
202	...	93.0	58.0	202	4.25
179	...	88.0	56.0	179	4.50
159	...	83.0	53.0	159	4.75
143	...	78.0	...	143	5.00
126	...	71.0	...	128	5.25
116	...	65.0	...	116	5.50
98	...	58.0	...	105	5.75

وقد أثبتت التجارب انه لا توجد علاقة بين رقم برينل لصلادة المعادن وبين مقاومة الشد لذلك لا يمكن اتخاذ رقم الصلادة أساسا صحيحا لحساب مقاومة الشد للمعادن المختلفة ، وتستخدم تلك المقاومة للشد في حسابات التصميمات الهندسية .

والجدول التالي يوضح العلاقة بين مقاومة الشد ورقم برينل لصلادة المعادن المختلفة:

المعدن	صلب 0.4% كربون	سبيكة ألومنيوم	صلب	نحاس أصفر مصبوب	ألومنيوم مسحوب
مقاومة الشد (Kg/mm^2)	70	45	48	20	0.93
رقم برنل	194	114	135	53	31
مقاومة الشد/رقم برنل	0.361	0.395	0.355	0.378	0.300

٢- اختبار الخصائص الحرارية:

ويتناول الناقلية الحرارية والحرارة النوعية والتمدد الحرارى.

الناقلية الحرارية:

إن الحرارة التى تسرى فى جسم صلب بانتقال الإلكترونات الحرة انتقالاً فيزيائياً وباهتزازات الذرات

والجزيئات تتوقف عن السريان عندما تتساوى درجات الحرارة فى جميع نقاط الجسم الصلب وتتساوى كذلك مع درجة حرارة الوسط المحيط.

ويحدث سريان إجمالى للحرارة فى الجسم (عند الوصول إلى حالة التوازن الحرارى) يعتمد فى قيمته على

التباين الحرارى بين مختلف نقاط الناقلية الحرارية تجريبياً بتحديد درجة الحرارة تبعاً للزمن على امتداد طول

القضيب أو على سطح صفائح مسطحة، فى حين يتم التحكم أنياً فى الدخلى الخارجى والخرج الحرارىين من

سطوح القضيب أو من حواف الصفيحة.

الحرارة النوعية:

تعرف بأنها الحرارة الممتصة فى وحدة الكتلة لإحداث تغير بقيمة درجة واحدة للحرارة، وتقاس الحرارة

النوعية للمواد الصلبة عموماً بطريقة الغمر (Drop Method) التى تتم بغمر كتلة معروفة من المادة ذات

درجة حرارة معلومة فى كتلة من الماء لها درجة حرارة معروفة القيمة ثم قياس درجة حرارة توازن المزيج

الناتج، وتحسب عندئذ الحرارة النوعية بقياس الحرارة التى إمتصها الماء والوعاء وتكون مساوية للحرارة التى

أطلقتها المادة الساخنة.

التمدد الحرارى:

يقاس التمدد الحرارى بطريقة خطية ويعرف بأنه التغير فى وحدة طول المادة الذى يسببه تغير درجة الحرارة

بقيمة درجة واحدة، وتتم هذه القياسات بواسطة المجاهر لأن مواد كثيرة لا يزيد تمددها على أجزاء من

الميكرومتر.

٣- إختبار الخصائص الكهربائية:

يتطلب فهم الخصائص الكهربائية شرحاً موجزاً لنظرية سحابة الإلكترونات الحرة للناقلية الكهربائية .

الناقلية الكهربائية : هي سريان تيار من الإلكترونات في جسم صلب.

وبعض المواد كالمعادن موصلات جيدة للكهرباء لإمتلاكها إلكترونات حرة ليست مرتبطة ارتباطاً دائماً بالذرات بل تؤلف سحابة إلكترونية حول الذرات وتكون حرة الحركة داخل الجسم الصلب في حين تكون هذه الإلكترونات مقيّدة في مواد أخرى "إلى حد ما" ، وفي مواد أخرى كاللدائن تقاوم مرور التيار حيث لا تؤلف سحابة إلكترونية حرة ، وتؤثر الحرارة في الناقلية الكهربائية للمواد الناقلة والعازلة. وفي حين تنخفض ناقلية المواد الناقلة مع زيادة الحرارة فإن الناقلية الكهربائية للمواد العازلة تزداد مع هذه الزيادة.

وتؤدي زيادة درجة الحرارة إلى زيادة كبيرة في عدد الإلكترونات الحرة في مواد محددة مثل السيليكون والجرمانيوم والكربون التي تسمى أنصاف النواقل، فهي تعمل عوازل في درجة الصفر المطلق وتصبح ناقلة جيدة عند درجة حرارة الغرفة.

وتقاس ناقلية مادة ما عادة بتمرير تيار معروف الشدة عند جهد ثابت في حجم محدد من المادة وتحديد المقاومة بالأوم فتكون الناقلية الكلية مساويةً مقلوب المقاومة الكلية.

٤- إختبار تلف الصدا والإشعاع والتلف البيولوجي:

إزدادت فى الأعوام الأخيرة إختبارات إنهيار المواد وتلفها عند تعرضها لأحوال بيئية محددة. وغالباً ما تدرس الخواص الميكانيكية والكهربائية لمادة ما قبل تعريضها لهذه الأحوال وفى أثنائها وبعدها لمعرفة تغير هذه الخواص مع تبدل الأحوال البيئية من حرارة ورطوبة وضغط أو كلها معاً.

إختبار التآكل (تلف الصدا):

التآكل هو عملية كيميائية يتم فيها نزع الإلكترونات من المادة وتكوين مركبات أكثر استقراراً مثل أكسيد الحديد الذى تكون فيه الإلكترونات الحرة أقل عدداً، وتتكون مركبات التآكل عادة فوق سطح المعدن، فإذا كانت هذه المركبات قاسية وصماء وملتصقة جيداً بالمعدن يتوقف تطور التآكل، أما إذا كان المركب رخواً وذو نفاذيه فإن التآكل يتوالى بسرعة وبإستمرار.

يجرى إختبار التآكل للتحقق من عمل المعادن وغيرها من المواد بوجود محاليل كهربائية "Electrolytes" مختلفة وذلك لتشابه عمليتي التآكل وتحليل المعادن كهربائياً.

وقد يتضمن الإختبار غمرأ كاملاً للمعدن كما فى حالة مياه البحر أو تعريض المعدن لضباب مالح كما فى عمليات المعالجة الكيميائية الصناعية ، أو قرب المحيطات حيث يختلط الماء المالح بالضباب.

وتغمس المواد عموماً فى محلول كلور الصوديوم أو كلور الكالسيوم الممددين بالماء ويكون تركيز هذا المحلول خمسة بالمائة أو عشرين بالمائة أو قد يرش المحلول فى حجرة تكون العينات فيها مدلاة حرة. ويراعى فى إختبار التآكل منع ناتج التكثف من أن يتقطر من عينة إلى أخرى، وتعرض العينات لهذه البيئة بعض الوقت ثم ترفع وتفحص على أساس المظاهر المرئية للتآكل.

وكثيراً ما تجرى إختبارات ميكانيكية بعد تعريض المادة للتآكل للتحقق من تراجع المواصفات الميكانيكية للمادة.

كما طورت أساليب إختبار أخرى لقياس تآكل المعادن عن طريق دراسة الغازات الخارجة من مسارب اللهب أو المداخن.

إختبار الإشعاع :

يمكن اختبار المواد لمعرفة رد فعلها على أشعة إكس X الكهرومغناطيسية وأشعة جاما والموجات الراديوية والإشعاعات الذرية التي قد تحتوى على نترات أطلقها اليورانيوم أو أى مادة أخرى مشعة.

والمواد الأكثر تأثراً بهذه الإشعاعات هي البوليميرات "Polymers" مثل المركبات العضوية كالدائن والمطاط التركيبى التي لها سلاسل طويلة مؤلفة من تكرار وحدة كيماوية واحدة.

تجرى إختبارات الإشعاع بتعريض المواد لمنبع مشع معروف مدة زمنية محددة ويمكن استخدام الروبوت لتعريض مواد الاختبار للوقود النووي فى حجرة بعيدة ثم اختبارها بالطرائق التقليدية للتحقق من تغير خصائصها وفقاً لطول زمن تعرضها للإشعاع.

ويمكن أن تعرض عينات من الطلاء لإشعاع كهرومغناطيسي كأشعة الشمس لمدد طويلة ثم تفحص لمعرفة مدى تغير لونها أو تشققها.

إختبار التلف البيولوجي:

هناك إختبارات للتحقق من مقاومة المواد العضوية للفطريات والجراثيم والطحالب والطلاءات والمغلفات ومواد طلى خطوط الأنابيب وهياكل الأبنية، وكلها مواد معرضة للتلف البيولوجي.

عندما يكون التركيب البيولوجى للتربة فى منطقة ما مجهولاً تعزل فطرياتها أو جراثيمها أو طحالبها المختلفة وتحضن باستخدام تقنيات مخبرية معيارية .

ثم تستخدم فى إختبار المواد لمعرفة التلف البيولوجى الناتج منها أو لإختبار فعالية مبيد فطرى أو جرثومى، فعند إختبار مقاومة الطحالب، على سبيل المثال، تؤخذ شرائح من المادة المراد اختبارها ويطلق بعضها بطبقة رقيقة من الفينيل "Vinyle" ويترك بعضها الآخر بدون طلاء ثم تغمر فى أحواض إنبات إلى جانب مستنبتات بذور الطحالب فيظهر فى غضون أيام ثلاثة نمو طحلبى خصب على النماذج غير المطلية بالفينيل.

٥- الاختبارات غير الإتلافية: Non Destructive Tests

جميع الإختبارات السابقة هي إختبارات إتلافية "Destructive" أى تتلف العينة أثناء العملية الإختبارية، ولهذا تكون مثل هذه الإختبارات مقبولة فقط فى حالات وجود كثير من العينات، وتفضل الإختبارات غير الإتلافية عندما تكون العينة مرتفعة الثمن إقتصادياً أو عندما يكون تصنيعها مرتفع الثمن ومجهداً، ونذكر فيما يلى بعض الاختبارات غير الإتلافية:

الاختبارات بالترددات (الموجات) فوق الصوتية: Ultera Sonic

إستخدمت الترددات فوق الصوتية لكشف عيوب المعادن الداخلية منذ عام ١٩٢٨، ويمتاز أسلوب الكشف بهذه الطريقة بخصائص كثيرة منها الحساسية العالية للموجات فوق الصوتية التى تمكّنا من كشف العيوب كشفاً سريعاً ودقيقاً وذلك بتحديد أبعادها ومكان وجودها فى المعدن وفى الوصلات ومنها قدرة هذه الموجات الكبيرة على النفاذ فى المعدن إضافة إلى إنخفاض نفقة الرقابة فى هذا الإختبار.

أجهزة الاختبار بالترددات فوق الصوتية **Ultera Sonic**:

تستخدم فى إختبار المواد أجهزة نبضية لكشف عيوب المعادن تتألف من نماذج معيارية وتجهيزات مساعدة، ويزود جهاز الإختبار بالترددات فوق الصوتية بمجموعة من الحساسات "Sensors" المائلة تكون فيها الصفيحة الكهربائية مائلة عن مستوى القطعة المراد فحصها .
والشكل المقابل يوضح طريقة الاختبار بالترددات فوق الصوتية.
وإضافة إلى الحساسات المائلة توجد حساسات مستقيمة وحساسات منفصلة، وتعمل الحساسات المستقيمة والمائلة على النحو التالى:

توصل الصفيحة الكهربائية بمولد الترددات الكهربائية وتوصل الصفيحة الأخرى بالمستقبل، ويتم تحريك الحساس مهما كان تصميمه بمحاذاة سطح القطعة على طبقة من سائل التماس، وقد يكون التماس مباشراً عندما تكون سماكة طبقة التماس أقل من طول الموجة أو عن بعد عندما تكون سماكة طبقة التماس 1-3 مم، أو بالغمر عندما تكون طبقة التماس كبيرة (الإختبار فى الماء). ويتعلق إختيار طبقة سائل التماس بخشونة سطح التماس للقطعة المراد فحصها وبلدونة مادة الوقاية.

وتعد قيمة تردد الذبذبات فوق الصوتية وكذلك زاوية ميل المحور البصرى، وزاوية الموشور، وغيرها من

محددات (بارامترات) الحساس من العوامل

الهامة التى تؤثر فى نتائج الفحص، وكذلك

تتعلق نتائج الفحص بقدرة الكاشف على تحليل

مكان تواضع العيب إذ كلما كانت أبعاد العيب

(فجوة، أو تشقق) قليلة كانت قدرة التحليل لدى

الكاشف أعلى وبالعكس.

وتحدد سماكة الطبقة السطحية للقطعة المنطقة

الميتة التى لا يكتشف العيب فيها، وتوجد

المنطقة الميتة فقط عند الفحص بالصدى

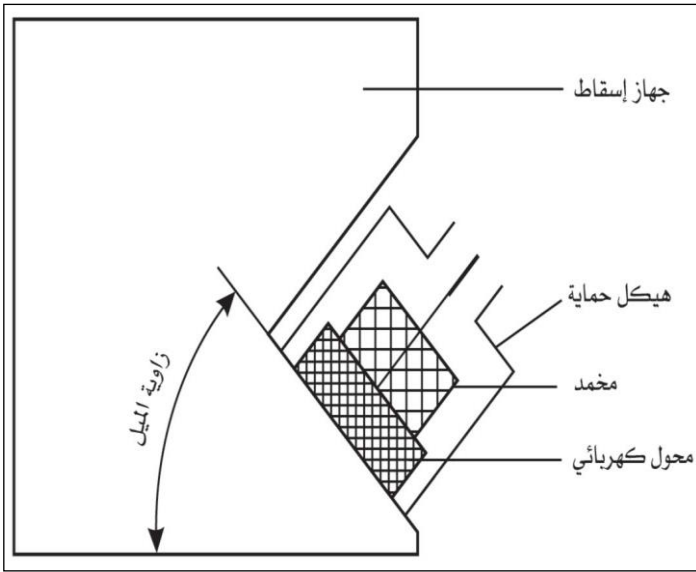
النبضى، وهذه إحدى عيوب هذه الطريقة،

وتتحدد قدرة التحليل بأقل مسافة بين عيينين متجاورين يظهران منفصلين، ويمكن بواسطة الفحص بالصدى

قياس المسافة التى يبعدها العيب عن السطح وكذلك إرتفاعه، ويمكن الكشف عن عيينين متراكبين جزئياً.

ويمكن بإستخدام كاشف لا يتجاوز وزنه 3 كجم فحص ألواح من الفولاذ والألومنيوم والتيتانيوم وغيرها والتى

يتراوح سمكها بين 6 و 50 مم.



خواص الفحص بالترددات فوق الصوتية:

يتجاوز تردد الموجات فوق الصوتية ٢٠٠٠٠ هرتز ولا تستطيع أذن الإنسان الإحساس بها، وهي تنتشر في المواد المتجانسة في خطوط مستقيمة نسبياً، وتنعكس عند حدود الفصل بين مادتين مختلفتين أو عند مصادفة بنيات غير متجانسة في المادة.

ويتم بث الموجات فوق الصوتية، وتسجيلها بأجهزة تحويل كهربائية صوتية.

وأساس هذه الأجهزة مادة خزفية ذات مواصفات خاصة تتمتع بظاهرة الضغط الإجهادي التي تتلخص في أن الصفيحة المصنوعة من تيتانات الباريوم أو زركونات وتيتانات الرصاص تبدأ بالاهتزاز الميكانيكي تحت تأثير الجهد الكهربائي المتناوب الموصول بها، وتبث حزمة من الذبذبات بثاً عمودياً على سطح الصفيحة، ومن جهة أخرى تنشأ على السطوح المتقابلة للصفيحة الكهربائية، تحت تأثير التشوه الميكانيكي، شحنات كهربائية على شكل تيار كهربائي متناوب، ينتقل إلى أجهزة التسجيل، وعلى هذا المنوال فإن الصفيحة الكهربائية تحول الطاقة الكهربائية إلى طاقة ميكانيكية (بشكل ترددات فوق صوتية) وبالعكس، وتتوغل هذه الترددات في داخل المعدن المراد فحصه شريطة أن يزال الهواء بين سطحى تماس جهاز البث والقطعة المختبرة، ويوفر التماس الصوتي بينهما بتغطية سطح القطعة بطبقة من الزيت المعدني أو الجليسرين الصناعي.

الاختبار بأشعة رونتجن وأشعة جاما :

يستخدم هذا الإختبار في كشف العيوب الداخلية في المعادن وفي الوصلات اللحامية على خاصية أشعة رونتجن (X) وأشعة جاما وقدرتها العالية على النفوذ في مختلف الأجسام الصلبة والمعدنية.

وتنقص شدة الأشعة عادة عند مرورها في المادة، إذ يضعف الإشعاع بحسب قانون معين تبعاً للتركيب

الكيميائي للمعدن المفحوص وسمكه وطاقة الإشعاع، ويجرى تسجيل الشدة المتغيرة للإشعاع المار في الجسم

المفحوص، من السطح المقابل للسطح المفحوص بواسطة صفيحة تصوير إشعاعي كاشف، أو بواسطة

منظومة بصرية إلكترونية أو بعداد إلكترونات.

ويضعف الإشعاع عند مروره في المعدن الحاوي على عيوب جيب غازي أو مادة خبيثة أو شقوق أو غيرها لكنه

أقل مما في المعدن المصمت، وعند تسجيل العيب بواسطة صفيحة التصوير الإشعاعي فإن الإشعاع يترك على

مادة الصفيحة تأثيراً كيميائياً يظهر اسوداداً في الصفيحة يدل على أماكن وجود العيوب، وتتصف هذه الأماكن

بأكبر شدة للإشعاع، وتظهر العيوب على هيئة بقع وخطوط سوداء على الخلفية الفاتحة للقطعة المعدنية.

الأجهزة المستعملة:

تنتج الصناعة أجهزة رونتجن على هيئة نظم متكاملة مدمجة مؤلفة من أنبوب رونتجن مع محول التوتر العالى أو أنبوب رونتجن منفصلة توصل كاملة بمنبع تغذيتها وهى نوعان: متنقل «اللورش» أو ثابت للمخبرات، وأكثرها يعمل بتوتر ١٢٠ ك.ف، وبأقصى تيار للمصعد (Anode) ٥- ١٠ أمبير ، تستعمل أجهزة رونتجن النبضية بصورة رئيسة فى الأعمال الإنشائية.

أما أجهزة جاما فتتألف من رأس فاحص، يحتوى على نظير مشع، ويضم أيضاً جهاز تحريك المنبع، وناقل العبوة ولوحة تحكم، ويعد السيزيوم ١٣٧ والكوبلت ٦٠ والإيريديوم ١٩٢ والثوليوم ١٧٠ المنابع الأساسية لإشعاعات جاما، وهى خطيرة جداً على الإنسان.

ويمكن حمل أجهزة جاما أو نقلها على عجلات، ويوصل المشع إلى منطقة الفحص عن طريق ناقل العبوة على مسافة ٥- ١٢ م، ومن الضرورى إستخدام هذه الأجهزة لفحص المعادن ووصلات اللحام فى الأماكن التى يصعب الوصول إليها، وكذلك فى فحص خطوط أنابيب النفط والغاز والخزانات.

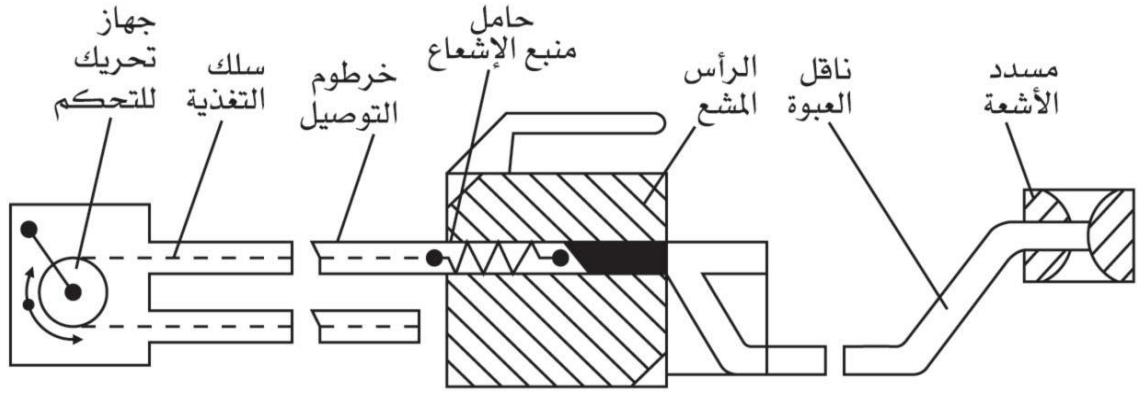
وعندما يستلزم الأمر فحص الفولاذ الذى يزيد سمكه عن ٧٠م فىجب الحصول على أشعة X بكثافة كبيرة من المسرعات الخطية ومن الميكروترونات والبيئاترونات، وهذه الأجهزة تولد أشعة X بكثافة وحساسية أكبر للفحص ويكون زمن الفحص أقل.

وتستخدم الصفائح التصويرية الإشعاعية بحواجز أو بدون حواجز، وتخصص مختلف مستويات الحساسية للصفائح لأهداف محددة، فمثلاً تستخدم الصفيحة رقم ٥ لكشف العيوب ذات البعد الأصغر، وغيرها لكشف العيوب العميقة، وغيرها، ومن المميزات الأساسية للصفيحة التصويرية حساسيتها للإشعاعات المتباينة الشدة، وقدرتها على كشف العيوب المتقاربة.

تقنية الفحص الإشعاعى:

يتم إختيار نوع الإشعاع تبعاً لسمك المعدن المراد فحصه، وأهمية المنتجات ذات العلاقة، والأنواع المتوافرة من مصادر الإشعاع. فمثلاً عند فحص المنتجات التى يمكن أن تكون فيها عيوب ذات أبعاد كبيرة يفضل إستخدام النظائر المشعة (أشعة جاما) وتكون الحساسية النسبية للنظائر المشعة ٤٪ ويعنى ذلك أنه يمكن إظهار عيب ارتفاعه ٤م فى لوح سمكه ١٠٠م، وتتمتع الأنواع المختلفة من النظائر المشعة بحساسية نسبية مختلفة.

والشكل التالي يوضح : مخطط جهاز أشعة جاما



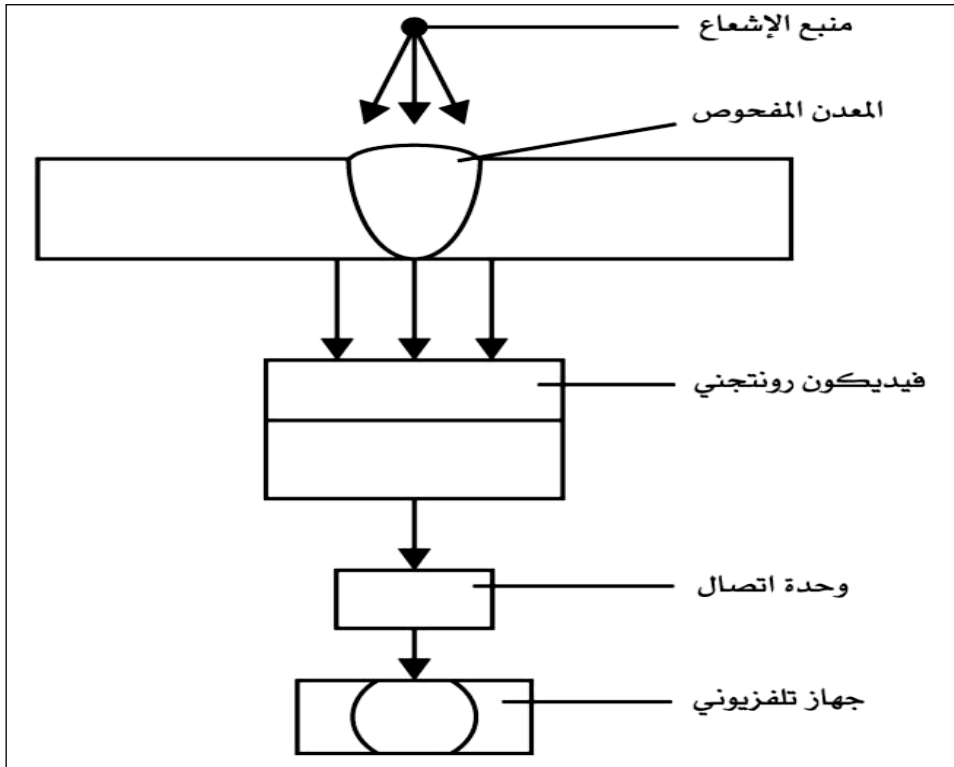
ويتم التحضير للتصوير بإختيار صفيحة التصوير بأشعة X بموجب جداول ومخططات بيانية، أما في الإختبار المعتمد على أشعة جاما فيستعان بمخططات بيانية معيارية لتحديد زمن التعرض للإشعاع والمسافة بين مصدر الإشعاع ونوعية الصفيحة التصويرية الحساسة.

الكشف الداخلى التلفزيونى:

وهو يعتمد على إظهار الأجسام المعدة للاختبار والمعرضة للأشعة على شاشة التلفزيون، وتظهر عندئذ أبعاد العيوب وأشكالها، وتستخدم عادة أشعة X وتقوم الأنابيب المهبطية والمحولات الإلكترونية والبصرية وغيرها بتحويل الإشعاعات بعد عبورها القطعة المراد فحصها، إلى أشعة مرئية.

وبعض هذه التجهيزات قادره على كشف العيوب فى سطوح معدنية حتى سمك ٧٠م وبحساسية ٣-٤٪ وبسرعة مسح مقدارها ١,٥م/دقيقة ويستخدم صمام التصوير التلفزيونى "Vidicon" بأشعة X لفحص الفولاذ مثلاً، إلى جانب أجهزة الكشف الداخلى بأشعة X ومن هذه الأجهزة المنظومة التلفزيونية المتضمنة صماماً رونتجياً، وتحوّل الصورة الرونتجية مباشرة إلى إشارة مرئية يمكن نقلها فى وحدة الإتصال إلى أنبوب الاستقبال التلفزيونى، وتتحول الصورة الإلكترونية إلى صورة ضوئية .

والشكل التالى يوضح تقنية الكشف التلفزيونى:



تتصف الوحدات التلفزيونية الصناعية بحساسية نسبية مرتفعة للتصوير على شاشات أجهزة الكشف الداخلى بأشعة رونتجن ويمكن بواسطتها فحص المعادن أو وصلات اللحام التى يصل سمكها إلى ١٥مم بدقة عالية جداً.

وبفضل تطور طرق جديدة مبنية على استخدام الحاسوب، أصبح ممكناً اليوم التصوير بأشعة رونتجن التلفزيونية لمنتجات معدنية وللحام أكثر سمكا.

تم بحمد الله وتوفيقه ،،،

قائمة المراجع والدوريات (Referances List)

- ١- تكنولوجيا تشغيل المعادن هكلر أند كوخ.
- ٢- علم المعادن الموسوعة العربية.
- ٣- تكنولوجيا الورش أ.د / أحمد سالم الصباغ.
- ٤- الحزم التدريبية لمهن المعادن مشروع المعايير المهنية المصرية
- ٥- الموسوعة العربية.
- ٦- شبكة المعلومات الدولية (الوب سايت)

٧- A. O.P. KHANNA & M.LAL "A Text Book of PRODUCTION TECHNOLOGY", DHANPAT RAI PUBLICATIONS.

٨- Materials Science at Oxford University.

٩- C. Hassan Abdel-Gawad El-Hofy "Fundamentals of Machining Processes", CRC Press.

١٠- Materials Science and Technology. Teachers Handbook. Pacific Northwest National Laboratory. Richland, Washington. Published in ١٩٩٤,

العام التدريبي
٢٠١٦/٢٠١٧

حقوق الطبع والنشر محفوظة لمصلحة الكفاية الإنتاجية والتدريب المهني