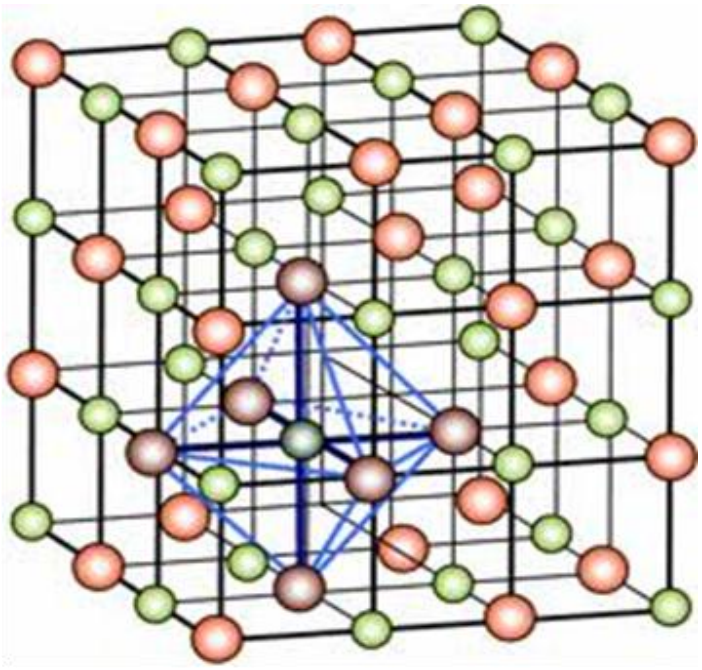
مصلحة الكفاية الإنتاجية والتدريب المهني
برنامج تطوير منظومة التعليم والتدريب المهني من أجل التشغيل
المقدم من البنك الإسلامي للتنمية لتطوير مهنة الخراطة

معهد بيان العالمية
للتدريب والاستشارات وخدمات السلامة الصناعية

كتاب: علم المواد

Materials Science

السنة : الثانية
للمهن الميكانيكية والمعدنية



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

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

العام التدريبى
2016/2017

حقوق الطبع والنشر محفوظة لمصلحة الكفاية الإنتاجية والتدريب المهنى

الفهرس والمحتويات

الباب	الموضوعات / العناصر	عدد الحصص	عدد الساعات	رقم الصفحة	متطلبات التنفيذ
الباب الأول تصنيف المواد	تصنيف المواد وخواص المواد	٤	٣	٣	**المكان:** - فصل تعليمى - معمل محاكاه **المساعدات التدريبية :** بروجيكتور - فيديو - وسائل الإيضاح - وحدة محاكاه – لوحات إرشادية - إخرى عند الحاجة
الباب الثانى المعادن غير الحديدية	- أنواعها - خواصها - إستخداماتها	٨	٦	٨	
الباب الثالث المعادن الحديدية	- المصطلحات الفنية	٤	٣	١٩	
	- الحديد الزهر	٤	٣	٢٣	
	- الحديد الصلب	١٠	٧.٥	٣٠	
الباب الربع المعالجه الحراريه للمعادن	- مقدمة ومنحنى الإتزان الحرارى	٤	٣	٤٠	
	- المعالجات الحرارية للصلب	٨	٦	٤٥	
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 الصدأ والإشعاع والتلف البيولوجى	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.

وعلوم 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 فى 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 فى سورة الكهف آية ٩٦: (ءَاتُونِي زُبَرَ الْحَدِيدِ حَتَّى إِذَا سَاوَى بَيْنَ الصَّدَفَيْنِ قَالَ انْفُخُوا حَتَّى إِذَا جَعَلَهُ نَارًا قَالَ ءَاتُونِي أُفْرِغْ عَلَيْهِ قِطْرًا).

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

ويمكن تقسيم المواد إلى ثلاثة أقسام هى: المعادن، اللدائن، الخزفيات والسيراميك.

وكل قسم له خواصه الفيزيائية والكيميائية المميزة ، وتجدر الإشارة هنا إلى انه لابد من فهم جميع هذه الخواص والعوامل المؤثرة عليها وطرق تغييرها باستخدام المعالجات الحرارية ومخططات الاتزان الحرارى.

وفى 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 فى التشغيل والتصنيع .

والحقيقة أن كثيرا من أساتذة الهندسة لهم السبق فى مثل هذه الموضوعات وقد تعلمنا منهم وأخذنا عنهم الكثير، ونتقدم لهم بخالص الشكر والتقدير ، ونبتهل بالدعاء إلى الله العلى القدير بأن يجعل جهدهم وهذا الجهد المتواضع فى ميزان حسناتنا إنه قريب مجيب الدعاء.

(والله من وراء القصد)

٢٠١٧/٢٠١٦

إعداد: بيان العالمية للتدريب

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

العام التدريبى
2016/2017

إشراف عام : مدير المكون
مهندسة : مديحة رفعت محمد

المراجعة الفنية والتصميمية
مهندس : سيد كامل محمد جاد

حقوق الطبع والنشر محفوظة لمصلحة الكفاية الإنتاجية والتدريب المهنى

الباب الأول: تصنيف وخواص المواد الهندسية

Classification and properties of Engineering Materials

تصنيف وخواص المواد الهندسية

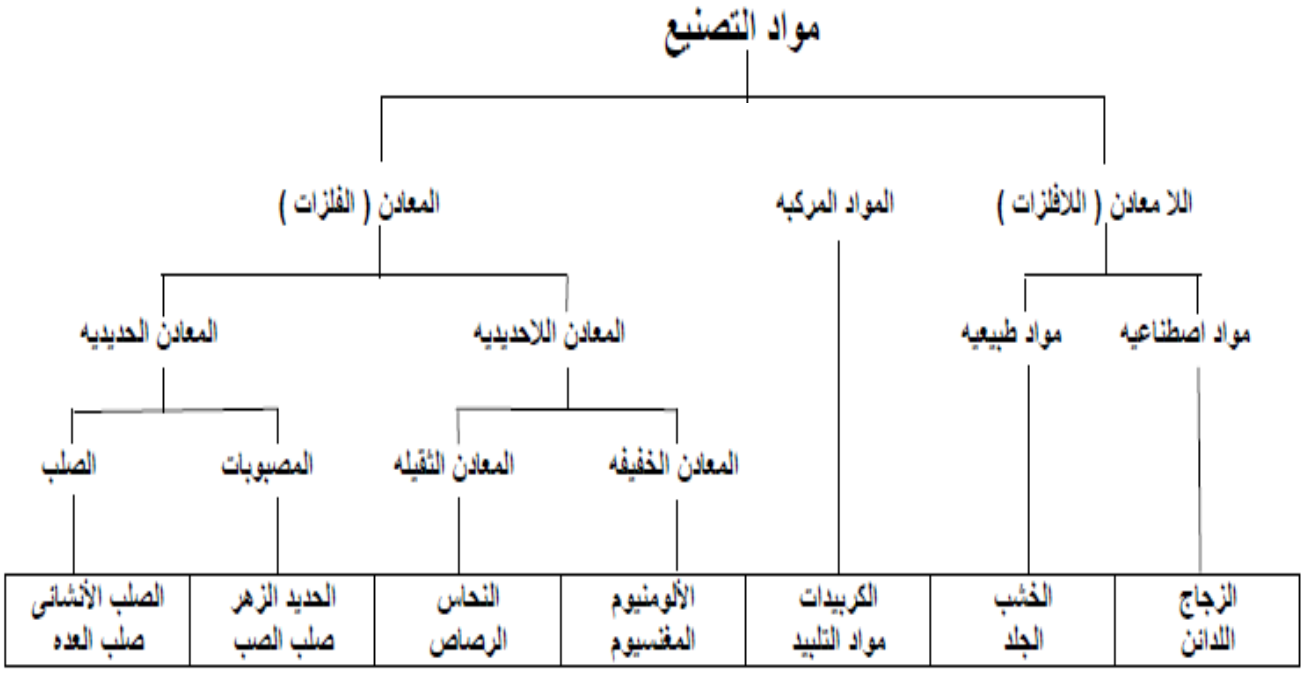
المواد الهنسية: هى أى مادة تدخل فى أى عمل من أعمال التشغيل والتصنيع.

مواد التصنيع :

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

وتسمى المواد التى لا يمكن تحليلها إلى مواد أخرى بالعناصر او المواد الأساسيه وهناك ٩٢ عنصرا طبيعيا و١٢ عنصرا إصطناعيا والمقصود بالعناصر الإصطناعيه إتحاد عدة عناصر طبيعيه كيميائيا لتكوين عنصر جديد وهى العمليه التى تعرف بالتحضير، وكمثال على ذلك إنتاج اللدائن أى أن العناصر الإصطناعيه هى مركبات كيميائيه لا يمكن تحليلها إلى العناصر الطبيعيه.

ويمكن تقسيم مواد التصنيع كما هو موضح بالشكل التالى:



وسوف نقتصر فى هذا الباب على المواد المركبة والمعادن نظرا لشيوع إستخدامها فى عمليات التشغيل والتصنيع الميكانيكية.

خواص مواد التصنيع:

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

١ – الخواص الفيزيائية :

يميز الناس بعض المواد بالنظر إليها أو برائحتها أو بملمسها 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.

ولإختلاف الكثافة بين المواد فإن كتلة من الفلين تزن أقل من كتلة مساوية لها فى الحجم من نوع آخر من الأخشاب المعروفة.

والذوبانية هى مقدرة نوع معين من أنواع المادة على الذوبان فى مادة أخرى، والموصلية أو التوصيل هى مقدرة المادة على توصيل الحرارة أو التيار الكهربائى، وهما أيضا من الخواص الفيزيائية.

٢ – الخواص الكيميائيه:

تصف الخواص الكيميائية للمادة الكيفية التي تتغير بها المادة كيميائيًا، فمثلاً نجد من خواص الحديد الكيميائية مقدرته على الإتحاد بالأكسجين فى الهواء الرطب لتكوين أكسيد الحديد أو الصدأ، وتؤدى بعض التغييرات إلى تغيير في قيم بعض الخواص الفيزيائية كالوزن أو الكثافة ولكن دون أن يحدث تغيير في تركيب المادة.

وتسمى هذه التغييرات بالفيزيائية، فمثلاً عندما يتحول الماء إلى بخار فإنه يتغير فيزيائيًا وليس كيميائيًا.

وتشمل الخواص الكيميائية مقاومة التآكل الكيميائى وقابلية الاحتراق ودرجه السمومه والتفاعل مع المواد الاخرى.

٣- الخواص الميكانيكيه وتشمل:

- **المتانة :** وهى قدرة الماده على مقاومة تأثير القوى الخارجية دون أن تنهار أو تتحطم وهى تعبر أيضا على مقدار تحمل الماده للصدمات وهى عكس الهشاشة.
- **الصلادة:** هى قدرة الماده على مقاومة الخدش او التآكل بالاحتكاك (البرى) وهى عكس اللدونة.
- **المرونة:** هى قابلية الماده لتغيير شكلها تحت تأثير قوى خارجية ثم إستعادة شكلها الأصلى بعد زوال تلك القوى (وهى عكس الجساءه).

- **الجساءه:** وهى قابلية الماده لتغيير شكلها مع عدم إستعادة شكلها الأصلى 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.
- **الممطولية :** وهى قابلية المادة للإستطالة عند شدها بنسبه كبيره قبل إنهيارها .
- **الليونة :** هى قابلية المادة للثنى أو الإنحناء.
- **الصلابة:** هى مقاومة الماده للإلتواء أو مقاومة التغيير فى الشكل والتشوه وتغيير الحجم وهى تشير بشكل عام إلى اللا مرونة.

٤– الخواص التكنولوجيه

- **الانسيابية:** هى قدرة المادة على ملء فراغ قالب السباكة جيدا وهى فى الحالة السائلة ، وهى خاصيه لازمه للمشغولات التى تصنع بطريقة السباكة.
- **قابلية التشكيل اللدن:** وهى خاصية لازمة للمواد التى تصنع بطريقة التشكيل ويعبر عنها بمدى إستجابة المعدن للضغط أو الطرق أو السحب.
- **قابلية اللحام:** هى 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 الثانى: 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 تؤدى إلى زيادة إستعمالات سبائك هذه المعادن ومن النادر إستعمال المعادن غير الحديدية بشكلها النقى فى الصناعة وذلك لضعف متانتها.

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

١- النحاس وسبائكه: Copper and its alloys

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

ويستخرج النحاس من خاماته إما بالطريقة الجافة أو بالطريقة الرطبة وتعد الطريقة الأولى هى الأكثر شيوعا 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 الآمونيا 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 الى 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^2، بينما هذه المقاومة قد تزداد إلى (٢١٥ او ٢٣٠) نيوتن / مم^2 عند طرق النحاس أو درفلته.
- مقاومة الشد لأسلاك النحاس المسحوبة قد تصل إلى (٣٨٠ أو ٤٦٠) نيوتن / مم^2 .

سبائك النحاس (Copper alloys) :

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

اسم السبيكـة	مكونات السبيكـة
البـراص (النحاس الاصفر)	النحـاس – الزنـك
البرونـز	النحـاس – القصديـر – (الخارصين)
البرونـز الألومينى	النحـاس – الألومنيوم
النيكـل النحاسـى	النحـاس – النيكـل

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 يلى بعض هذه الأنواع:

النحاس الأصفر الرصاصى:

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

النحاس الأصفر القصديرى:

يحتوى على (٦٢- ٧٠%) نحاس و (١%) تقريبا قصدير، والباقى 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 الالومنيومى :

يتكون من (٦٧%) نحاس و (٢.٥%) ألومنيوم ، والباقيى زنك.

نحاس أصفر الالومنيومي الحديدى:

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

نحاس أصفر سليكونى:

يتكون من (٨٠%) نحاس و (٣%) سيليكون، (٣%) رصاص، والباقى زنك.

النحاس الأصفر المنجيزى – الحديدى:

يتكون من (٥٢%) نحاس و (٤%) منجنيز ، و (١%) حديد ، والباقى زنك.

النحاس الأصفر المنجنيزي – الرصاصى:

يتكون من (٥٨%) نحاس و (٢%) منجنيز و (٢%) رصاص، والباقى زنك.

النحاس الأصفر المنجنيزي – القصديري – الرصاصى:

يتكون من (٥٨%) نحاس ، (٢%) منجنيز و (٢%) قصدير و (٢%) رصاص، والباقى زنك.

<u>إستخدامات النحاس:</u>

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 والمستخدمة فى الأجهزة الكهربائية، ويستهلك نصف الإنتاج العالمى من النحاس فى الوقت الحاضر فى الصناعات الكهربائية.

٣- نتيجة لقابلية النحاس العالية لتوصيل الحرارة فقد أستخدم أيضا 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- نظرا 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 والتى تستعمل فى الصناعات الكيميائية بكثرة.

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

٧- تستخدم أملاح النحاس ولاسيما الزاج الأزرق (كبريتات النحاس) (Cu So4) فى الكيمياء ودباغة الجلود وصناعة الفرو، كما يستعمل الزاج الأزرق أيضا كعامل للمواد الملونة فى الصباغة وكذلك يستعمل فى صناعة الحرير الصناعى، ويستعمل محلول الزاج الأزرق أيضا فى الخلايا الكهربائية، 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 فى القشرة الأرضية، وهو معدن خفيف الوزن سهل الصهر ولدن ينتج الألومنيوم بطريقة التحليل الكهربائى لمحلول من الألومينا (Al_2O_3) والكريولايت المعدنى (Na_3AlF_6) فى درجة حرارة (٩٥٠°م) 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 660° م.
- البنية البلوريـــــة مكعب متمركز الوجـه.
- الكثافـــــة ٢,٧ × ١٠^{٣} كجم/م^{٣} .
- مقاومة الشد القصـوى ٤٥ × ١٠^{٦} نيوتن/م^{٢} .
- المقاومة الكهربائيــة ٢,٦٦ × ١٠$^{-٨}$ اوم متر فى درجة حرارة ٢٠م .
- جيد التوصيل للكهرباء (٦٠ % من توصيل النحاس).
- مقاومة التآكـــل جيـده 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 العالية تجعله ملائما لكثير من الإستعمالات فى المجالات الصناعية الكهربائية.

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 فى 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 البـــارد والسبيكة التجارية الوحيدة فى هذا النظام هى السبيكة التى تحتوى على (١,٢٥%) منجنيز وهذه السبيكــة متينة كما أن مقاومتها للتآكل أفضل من الألومنيوم النقى التجارى، وتستخدم بشكل رئيسى فى إنتاج الأدوات المنزلية ومنها قدور الضغط وكذلك الصفائح المتموجه لاكساء الأبنية.

الثانى: القابل للمعالجة الحرارية

من الممكن إضافة المتانة اللازمة إليه بمعالجته حرارياً.

من أهم السبائك القابلة للمعالجة الحرارية هى التى تحتوى على النحاس، النحاس والنيكل ، النحاس والخارصين ، المغنيسيوم والسليكون والتى 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 والخارصين لأعلى متانة مقارنة بسبائك الألومنيوم الأخرى لذا فإنه من الصعب تشكيلها .

ان المغنيسيوم والسليكون يكونان مركبا معدنيا (Mg2Si) ، لذا فان سبائك الألومنيوم والتى تحتوى على مغنيسيوم وسليكون بتناسب صحيح عبارة عن سبائك ثنائية من الألومنيوم والمركب المعدنى (Mg2Si) 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 فأنه يضيف متانة متميزة على السبيكة، وكذلك يحسن المغنيسيوم المقاومة ضد التآكل وعلى الأخص التآكل فى المجالات البحرية وهناك أنواع كثيرة من سبائك الألومنيوم التى تسوق تجاريا لهذه الأنواع وتحتوى لغاية (10%) 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 وعالي المقاومة
- موصل ردىء للتيار الكهربائي (٠.٧% من توصيل النحاس)
- يستخدم فى صناعة السبائك و البطاريات

٥- الزنك Zinc

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

٦- الماغنيسيوم Magnesium

- معدن مرن ومقاومته قليلة
- موصل للتيار الكهربائي (٣٨% من توصيل النحاس)
- يستخدم فى صناعة السبائك والأشرطة فى مصابيح ماكينات التصوير و فى 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- الفضه Silver

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

الباب الثالث: المعادن الحديدية
Ferrous Metals

المعادن الحديدية Ferrous Metals

المصطلحات الفنية

قبل الحديث عن خواص وإستخدامات الحديد والصلب لابد من معرفة بعض المصطلحات الفنيه الهامه وهى:

الفريت (الحديديك (ح Fe)) : الفريت هو الحديد النقى وهو معدن ذوممطوليه عاليه قليل الصلاده ضعيف المتانه وهوأكثر ليونة من الألومنيوم، لكن يتم زيادة صلادته بإضافة بعض العناصر السبائكية كالكربون بنسب معينة.

السمنتيت (ح٣ك Fe3C) : هو بلورات كربيد الحديد وهو مركب كيميائى من الحديد والكربون ونسبة الكربون فيه تصل الى ٦.٧% وهى أكثر نسبة كربون يمكن إذابتها فى الحديد وهو أصلد مكونات بنية الصلب وأكثرها قصافه وتتحسن خواص الصلب بإضافة نسبه منه.

البرليت (Pearlite): وهو عباره عن بنية رقائقية تتكون من طبقات متبادلة من الفيريت (٨٨ ٪ من الوزن) والسمنتيت (١٢ ٪ من الوزن) وهى ماده قويه تتحمل قوى الشد ولها ممطوليه منخفضه وسميت بهذا الإسم بسبب أنها تظهر تحت المجهر على شكل يشبه اللؤلؤ لذا أطلق عليه الشكل اللؤلؤى (بيرلايت) وكلما زادت نسة الكربون فى الصلب كلما زادت نسبة السمنتيت المتكون وبالتالى تزداد نسبة البرليت وعندما تصل نسبة الكربون ٠.٨٧ % يكون الصلب المتكون ذو بنيه برليتيه بالكامل.

الأوستنيت (محلول الصلب) : (نسبة الى العالم الانجليزى أوستن) وهو الحديد المذيب للكربون أوهو بنية الصلب عندما يتفكك وينحل الكربون فى الحديد تماما وهو فى الحاله الصلبه وعند درجة حراره أعلى من ٧٢٣° مئوية.

المارتنزيت (نسبه الى العالم الألمانى مارتنز) وهو إسم بنية الصلب الذى أجريت له عملية سقيه بالتبريد الفجائى ويحدث بالتبريد السريع للأوستنيت وهو ذو قصافه عاليه وصلاده وله شكل إبرى.

اليوتيكتويدى : وهى كلمه يونانيه تعنى المتوازن وهى تطلق على الصلب اللاسبائكى ذو البنيه الجيده والذى يبلغ فيه نسبة الكربون ٠.٦٨% وتتكون بنيته بالكامل من بلورات البرلييت أى تتوازن (تتساوى) بلورات السمنتيت مع بلورات الفرييت ليكونا البرلييت.

درجة االحراره الحرجه العليا للصلب:

هى درجة الحراره التى يتم بعدها تحول بنية الصلب بالكامل الى الأوستنيت وهى تتأثر بنسبة الكربون فنجد أنه بزيادة نسبة الكربون فى الصلب تقل درجة الحراره الحرجه العليا حتى تصل إلى أقل قيمه لها وهى ٧٢٣° درجه مئويه عندما تصل نسبة الكربون إلى حوالى ٠.٨٦% أى عندما تكون بنية الصلب بالكامل برليت ثم تزداد بزيادة نسبة الكربون.

درجة الحراره الحرجه السفلى للصلب: وهى درجة الحراره التى يبدأ فيها تحول بنية الصلب من البنيه البرليتيه الى البنيه الأوستنيتيه وهى لا تتأثر بنسبة الكربون الموجود فى الصلب.

التصليد (التقسيه): التصليد هو تسخين الصلب إلى درجة حرارة أعلى من درجة الحراره التى يبدأ فيها تحول بنية الصلب ثم إبقائه عند تلك الدرجة لفترة زمنية مناسبة ثم طشه بعد ذلك بإستخدام 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 الماده 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 متبوع بمراجعه فى درجات الحراره العاليه ولا تهدف هذه المعالجه للتصليد وإنما للحصول على بنيه دقيقة الحبيبات عالية المتانه والصلابه.

الحديد الصلب:

يعتبر الحديد الصلب من أهم المواد المستخدمة فى الصناعة على نطاق واسع تكنولوجيا حيث يمكن التحكم فى خواصهما ومواصفتهما والتى تناسب الغرض من إستخدامهما وذلك بواسطة الطرق المختلفة لتحضيرهما وتجهيزهما وتصنيعهما أو بعمل سبائك منهما أوعن طريق معالجتهما حراريا.

هناك ثلاث مسميات لسبائك الحديد والكربون :

١-الحديد (Iron) :

وهو الذى يحتوى على نسبة كربون اقل من ٠.٠٠٨%

٢- الصلب (Steel) :

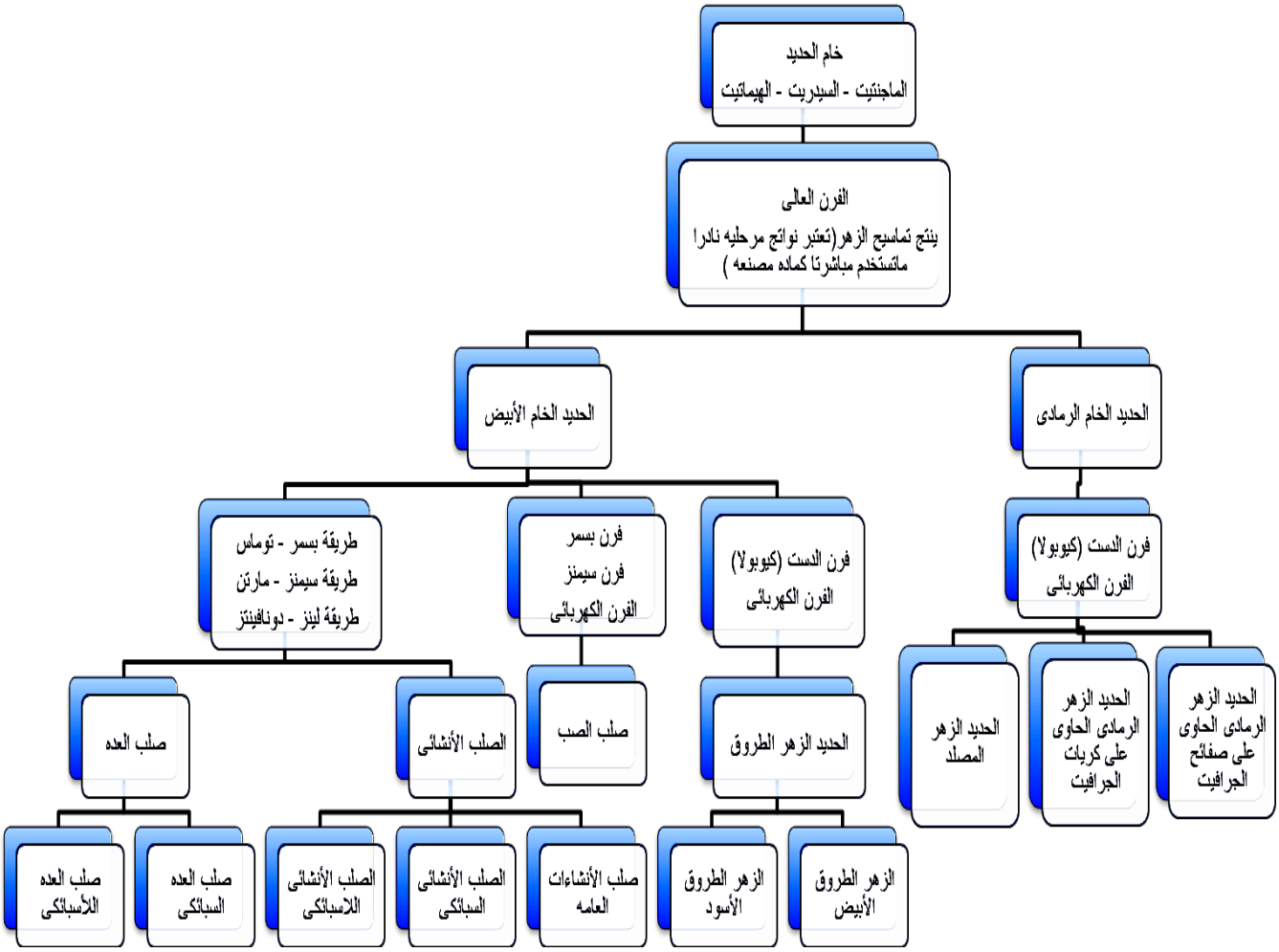
وهو الذى يحتوى على نسبة كربون بين ٠.٠٠٨% و ٢.٢%

٣- الحديد الزهر (Cast iron) :

وهو الذى تتراوح نسبة الكربون فيه من ٢% الى ٦.٧% وعادة فى الحياه العمليه لاتتجاوز نسبة الكربون فى الحديد الزهر ٤.٥%.

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

مخطط يوضح الطرق المختلفة لانتاج الحديد والصلب من الفرن العالى



أولا: الحديد الزهر (Cast Iron)

إن الفرق الأساسى بين الحديد الزهر وبين الصلب يتلخص ببساطة فى إختلاف نسبة الكربون فى كل منهما ، وهى تتراوح فى أنواع الحديد الزهر بين (2 - 4%) بالإضافة إلى وجود نسبة من السليكون والمنجنيز والكبريت والفسفور ، أما نسبة الكربون فى الصلب فلا تتجاوز 2% وعمليا (1,7%) وإذا كان الكربون فى الصلب يتواجد متحدا مع الحديد مكونا السمنتايت ، فإنه فى الحديد الزهر يتواجد على شكل جرافيت (مستقر) أو سمنتايت (غير مستقر).

إن الجرافيت بلونه الرمادى اللين يشغل مساحة كبيرة نسبيا من البنية الداخلية لحديد الزهر الرمادى لكونه مقاوما للإنكماش، بينما السمنتايت يكون عالى الصلادة وذو كثافة مقاربة لكثافة الحديد.

إن العوامل التى تتحكم بطبيعة وهيئة الكربون الموجود فى الحديد الزهر هى معدل التبريد والتركيب الكيميائى.

إن معدلات التبريد العالية تحول دون تكون الجرافيت ولذلك يكون الحديد الزهر الناتج صلدا 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 فى المقطع الأقل سمكا يكون أعلى من معدل التبريد للمقطع الأكثر سمكا مما يسبب تكون الجرافيت فى المقطع السميك، ويتضح تحكم التركيب الكيماوى فى 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 كميه كبيرة من الكربون يساعد فى تكوين حديد زهر قابل للتشغيل بسهولة .

السليكـون :

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

الكبريت والمنجنيز:

يتواجد الكبريت فى الحديد إما على هيئة كبريتيد الحديد (FeS) الذى يزيد من استقرارية السمنتايت فيزيد بذلك من صلادة حديد الزهر، أو على هيأة كبريتيد المنجنيز (MnS) (فى حالة إضافة المنجنيز إلى الحديد الزهر) والذى يطفو على سطح المنصهر حيث يختلط مع الخبث نظرا لكونه غير قابل للذوبان فى المعدن المنصهر، اذ أن التأثير المباشر للمنجنيز هو تكوين الجرافيت لأنه يتحد مع الكبريت ويقلل من نسبته فى 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 فى الحديد الزهر على هيئة فوسفيد (Fe3P) الذى يكون يوتكتيك مع الحديد فى حالة الحديد الزهر الرمادى ، ومع الفرايت والسمنتايت فى 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 فى حالة سباكة مسبوكات ذات مقاطع سميكة تقلل نسبة الفسفور إلى (٠,٣%) لتجنب حدوث المساحات التقلصية 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 الرئيسيه الآتيه :

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 الإنزلافيه، وهو أكثر أنواع الزهر إستخداما وتعود كثرة الإستخدامات الصناعية له لعدة أسباب منها:

- رخص ثمنه وسهولة تشغيلـه .
- درجة حرارة إنصهاره المنخفضة والتى تتراوح بين (١١٤٠-١٢٠٠)° م.
- سيولته العالية مما يسهل إنتاج مسبوكات معقدة الشكل منه .
- مقاومتــه للبلى .
- 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 ومراجعته كما يمكن تصليدة سطحيا يستخدم فى صناعة اجراء الجرارات والآلات الزراعية وهياكل المضخات والتوربنيات 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 قصيفة 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 الانصهار١٤٠٠م

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 الشىء 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 الأصلى 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 الكيميائى كالتالى:

كربون (٢.٥%) ، سليكون (١%) ، منجنيز (٠.٤%) ، كبريت (٠.٠٨%) ، فسفور (٠.١%) ، ثم تجرى عليها عملية تلدين (التصفيه بالتلدين) وتتم بتنظيف أسطح المسبوكات ورصها 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°- ٩٥٠°م) وذلك تبعا لجودة المنتج والتركيب الكيميائى للمسبوكات أما طول الفترة الزمنية للمعالجة فهى تتراوح بين (٥٠-١٧٠) ساعة

ويعتمد هذا على شكل المسبوكات والتركيب الكيميائى لها ، أما الأفران الحديثة فيمكن بواسطتها فى الوقت الحاضر إتمام عملية التخمير هذه خلال (48) 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 بدلا من تكوين أشرطة 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 او إرجاعه الى بنيته الأصليه إلا أنه لايمكن تصليده سطحيا 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 كالآتى : كربون (٣.٣%) ، سليكون (٠,٦%) ، منجنيز (٠,٥%) كبريت (٠.٢٥%) ، فسفور (٠.١%) بعد تطويعه أى إمتصاص الكربون من سطحه (التصفيه بالتطويع) 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 هيأة غاز أوكسيد الكربون ، وهذا يؤدى 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 أبيضا أما المقاطع الأكثر سمكا فلا يتأكسد الكربون الموجود فيها ولذلك تتدرج ببنيتها الداخلية من فرايت على السطح إلى فرايت وبيرلايت فى الطبقات الداخليه للمسبوكة.

ان المنتجات ذات المقاطع الرقيقة التى تتطلب مطيلية عالية تصنع دائما على هيأة مسبوكات ذات قلب أبيض كإنتاج وصلات أنابيب الغاز والماء والبخار وعموما فهو حديد لين يمكن تشغيله بالقطع بسهوله كما يمكن تصليده ومراجعته (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 والموليبديم والفاناديوم للحصول على سبائك لا حصر لها ذات خواص معينه مثل مقاومة الحرارة أو الصدأ أو الأحماض أو القلويات .....الخ وهو مايعرف بالحديد الزهر السبائكى أو الحديد الزهر الخاص.

٧- الحديد الزهر السبانكى

أكثر أنواع عناصر التسابك شيوعا والخاصة بالحديد الزهر هى النيكل والكروم والنحاس والمولبيديوم

أ- النيكل:

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

ب- الكروم:

له مفعول قوى فى تثبيت الكاربيدات وبذلك يمنع تكوين الجرافيت إضافة إلى أن كاربيدات الكروم أكثر استقرارا وثبوتا وأقل ميلا للجرفتة تحت تأثير الحرارة العالية وكاربيد الحديد، لذلك فإن أنواع الحديد الزهر الحاوية على الكروم تكون أقل تعرضا للنمو، وكما هو الحال فى الصلب فإن عيوب إستخدام 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- المولبيديوم :

ان اضافة كمية صغيرة من المولبيديوم تذوب فى الفرايت ولكن الكميات الكبيرة منه تكون كاربيدا مزدوجا (ثنائى) وهو يزيد من صلادة المقاطع السمكية ويحقق التجانس فى البنية الداخلية، كما تتحسن مقاومة المعدن للصدمات بإضافة المولبيديوم بنسبة (٠.٥%) .

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

هـ- النحـاس : قليل الذوبان فى 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 المستخدمه فى الصناعه إى مجموعتين رئيسيتين هما صلب الإنشاءات وصلب العده، وتصنف هاتان المجموعتان بدورهما إلى صلب لاسبائكى و صلب سبائكى منخفض الخلط ، وصلب 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 السبائيكيه 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 السبائيكيه من ٥ إلى ٤٥%. ولا يمكن فى جميع الحالات وضع حد فاصل تماما بين الأنواع المختلفة للصلب.

١- الصلب الإنشائى

أ- صلب الإنشاءات العامة

نسبة الكربون من ٠.١٧ الى ٠.٥ % ، الرمز ST

مثال ST37 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 البنائية أو كقطاعات معدنيه لصناعة الجسور والجمالونات.

ب- الصلب الانشائى اللاسبائكى

نسبة الكربون من ٠.١ إلى ٠.٦ % ، الرمز C

مثال C42 حيث يدل الرمز C على أنه صلب إنشائى لاسبائكى كما يدل الرقم ٤٢ على نسبة الكربون (٠.٤٢%ك).

يعرف الصلب حتى C20 أى الذى لاتزيد نسبة الكربون فية عن ٠.٢ % بصلب التصليد الغلافى الذى يقبل التصليد السطحى أما الصلب من C20 الى C60 فيسمى بصلب التطبيع أى القابل للتصليد والمراجعه .

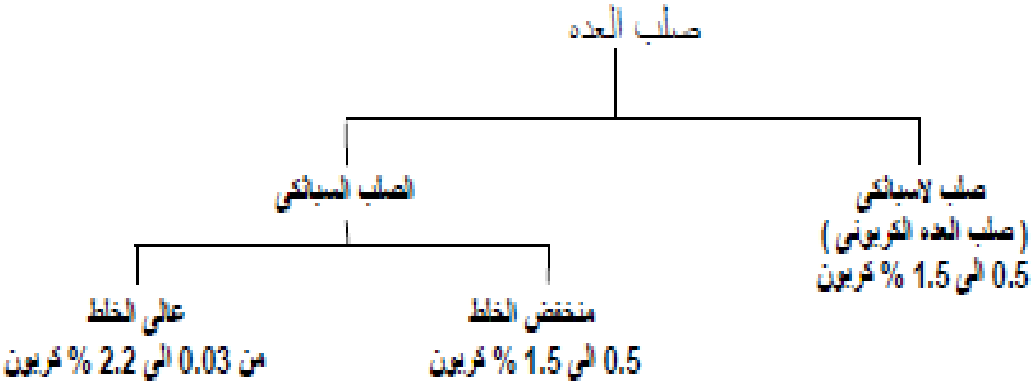
يستخدم الصلب الإنشائى اللاسبائكى على نطاق واسع فى صناعة أجزاء الماكينات كأعمده المحاور والتروس وأعمدة المرفق كما يستخدم فى صناعة المسامير وغيرها.

ج- الصلب الإنشائى السبائكى

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 للصدا وغيرها كثير وبصفه عامه فإن أنواع الصلب السبائكى كثيرة وكلها تعالج حراريا للحصول على خواص محددة، ومثال ذلك الصلب 34crmo4 حيث يدل الرقم 34 على النسبة المئويه 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 الإستخدام إلى :

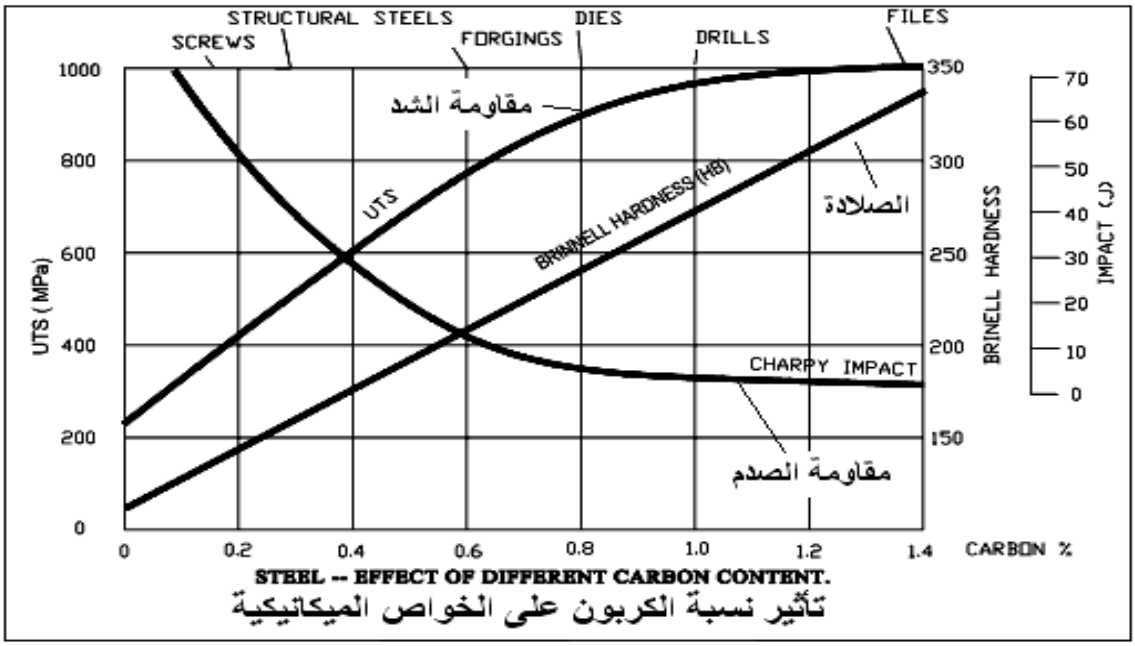
وعموما فإن كل أنواع صلب العدة تعالج حراريا وهنا يجب أن ننوه أن صلب العده يتداول فى الاسواق تحت أسماء تجارية تخص الشركات المصنعه مثال ذلك k100,k110 وغيرها.

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

- **الصلب الكربونى**
- **الصلب السبائكى**

١- الصلب الكربونى واستخداماته:

الصلب الكربونى هو سبيكة من الحديد والكربون لاتتعدى نسبة الكربون فيها عمليا (1,7%) مع وجود بعض العناصر الأخرى مثل المنجنيز والسليكون والفسفور والكبريت والتى تعتبر كشوائب نتيجة لعملية إنتاج الصلب، ويجب ألا تزيد نسبتا الفسفور والكبريت فى الصلب الكربوني عن (0,05%) إلا فى حالات خاصة ونسبة المنجنيز Mn والسليكون Si عن (0,5%) وحيث أن خواص الصلب الكربونى تتأثر كثيرا بنسبة الكربون الموجودة فيه مما يغير مجالات إستخدامه لذلك يمكن تقسيم الصلب الكربونى إلى ما يلى:



العلاقة بين نسبة الكربون والخواص الميكانيكية للصلب الكربونى

أ – صلب منخفض الكربون:

وهو الصلب الذى لاتزيد نسبة الكربون فيه عن (0,25 %) ويتميز بمتانته وكونه سهل التشكيل والتشغيل ، أما استخداماته فهو يستخدم بتصنيع الصفائح، الأسلاك، الأسلاك الشائكة ، المسامير، البراغى التى تستخدم لربط الأجزاء الخشبية ، وكل الأجزاء التى تشكل على البارد والتى لاتحتاج إلى متانة عالية، وعلى الرغم

من أن الصلب منخفض الكربون لايتمتع بصلادة عالية إلا أنه من الممكن زيادة صلادته السطحية بطرق التصليد السطحى مثل عملية الكربنـة.

ب – صلب متوسط الكربون:

وفيه تتراوح نسبة الكربون من (0,25 %) إلى (0,5 %) 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 فى تصنيع الأجزاء التى تتطلب متانة عالية نسبيا مثل الأعمدة والمحاور والتروس وغيرها من الأجزاء التى تتعرض لحمل أو إصطدام مفاجىء .

ج – صلب عالى الكربون:

وهو الصلب الذى تكون نسبة الكربون فيه (٠.٥٥% - ١.٥%) ويستخدم فى تصنيع المعدات التى تتطلب متانة عالية مثل النوابض (الياءات) والمطارق ومفاتيح الربط، أما العدد التى تتطلب صلادة عالية جدا مثل المناشير الحديدية فتصنع من صلب نسبة الكربون فيه لاتقل عن (١,٥ %).

٢- الصلب السبائكى:

هو صلب كربونى يحتوى على بعض العناصر التسابكية الأخرى مثل النيكل، المولبيديوم، الكروم، الفناديوم التنجستن، الكوبلت، التتانيوم ويعتبر المنجنيز وكذلك السليكون من ضمن العناصر التسابكية إذا تعدت نسبتـــه عن (0,5 %)، والغرض من إضافة هذه العناصر إلى الصلب هو زيادة متانتة ومقاومته للصدمات والتآكل ومقاومتة لفقد خواصه الميكانيكيه عند درجات الحرارة العالية.

تأثير العناصر المضافة على خواص الصلب ويمكن تحديدها كما يلى :

- 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 (550 م) دون أى انخفاض فى قيمة صلادته.

- تؤثر كيماويا 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 في درجات الحرارة المرتفعة) حيث تكون كاربيدات دقيقة وهذا ما يفعله عنصر المولبيديوم.

أنواع الصلب السبائكى حسب مجالات استخدامهـا:

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 الجامالونات وأجزاء الآلات كالأعمدة والمحاور، المسامير، البراغى وغير ذلك.

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

أ- الصلب المستخدم فى تصنيع النوابض (اليايات):

يحتوى عادة على (١,٥%) كروم + (0,2 %) فناديوم أو (2%) سليكون + (1%) 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 (0,59 %) كربون ، (12 %) نيكل ، (5,1 %) منجنيز ، (3,4 %) 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 (1%) كربون ، (0,5%) منجنيز ، (1,36%) كروم والباقى حديد .

د- الصلب المقاوم للزحف:

إن هذا النوع من الصلب يقاوم الزحف عند درجات حرارة تصل إلى (550 م) ولذلك فهو يستخدم فى تصنيع مواسير نقل البخار وهو يحتوى على (0,10% - 0,2%) كربون ، (0,5%) مولبيدنوم ، (0,25%) فناديوم والباقى حديـد .

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

أ- صلب عدد القطع:

تركيبـه (0,3%) فناديوم ، (1,1-1,4%) كربون ، (4%) تنجستين ، (0,7-1,5%) كروم والباقى حديد.

ب- صلب القوالب المستخدمة فى التشكيل البارد:

وتركيبه (1%) كربون ، (1,0%) منجنيز ، (0,3 – 1,6%) تنجستين ، (5%) 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%) مولبيدنوم والباقى حديد .

د- الصلب المستخدم فى مطارق الحدادة:

هناك أربعة أنواع منه تختلف حسب تركيبها :

١- (٠,٦%) كربون والباقى حديد .

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

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

٤- (٠,٦%) كربون ، (٠,٧%) كروم ، (١,٥%) نيكل ، (٠,٢٥%) مولبيدنوم والباقى 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 مولبيدنوم ، 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 لايصدأ (.SST) :

إن مقاومة الصدأ العالية التى يمتلكها الصلب الذى لايصدأ تعود بالدرجة الأولى إلى وجود الكروم فيه وهو يقسم بدوره إلى نوعين، يمكن معالجة الأول حراريا 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 لايمكن معالجته حراريا .

وأخيرا يجدر الإشاره إلى أن تنوع أساليب إنتاج الصلب يحقق المتطلبات المختلفة فيما يختص بالخواص المطلوبة أيضا فإن خواص الصلب تتوقف إلى حد كبير على التركيب الكيميائى وعلى المعالجه الحراريه التى تمت عليه وبمعنى آخر فإن الذى يحدد نوعية الصلب هو العناصر الثلاث الآتيه مجتمعه :

١- طريقة إنتاجه

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

٣- المعالجه الحراريه التى تمت عليه

ويمكن القول أنه يوجد عدد لا نهائى من أنواع الصلب المختلفة لذلك فلابد من الرجوع إلى المنتج أو إلى المورد لمراعاة تعليمات المعالجه الحراريه لمصنع الصلب بكل دقه كما سنوضح ذلك لاحقاعند شرح المعالجه الحراريه للصلب.

الباب الرابع:
المعالجة الحرارية للمعادن
Heat Treatment For Metals

المعالجة الحرارية للمعادن:

مقدمة

تعرف المعالجة الحرارية بأنها تغيير التركيب البنائى للمادة بواسطة الحرارة للحصول على خواص ميكانيكية معينه 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 مفتقدة مثل تحويل المعادن اللينة (الطرية) إلى صلدة ، أو تليين الصلد منها، أو إكساب هذه المعادن مقاومة البرى والتآكل.

فمثلا يجب أن يكون الحد القاطع للأزميل مصلدا بالكامل فى حين يجب أن تكون أسنان التروس مصلده سطحيا لتقاوم التآكل بالإحتكاك بينما تبقى نواة السنه متينه ومرنه لتقاوم الطرق والحنى.

يمكن تحقيق هذه الخواص المتفاوته 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 بإختلاف 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.

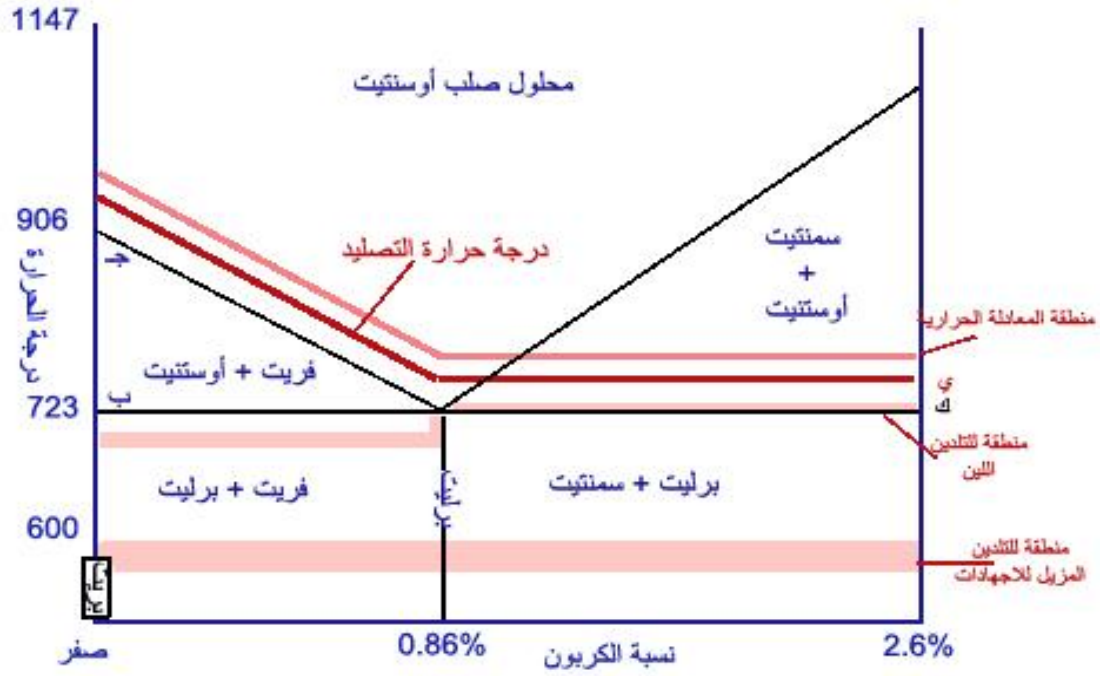
٥- زيادة المطيلية والمتانة.

٦- زيادة قابلية المعدن لعمليات التشكيل والتشغيل.

٧- إزالة الإجهادات الداخلية الناتجة عن عمليات التشغيل.

وسوف نتناول فى دراستنا كيفية معالجة الصلب ذلك أنه أكثر المعادن إستخداما فى الصناعة ولا يمكن فهم المعالجه الحراريه للمعادن الحديدية إلا بعد دراسة منحنى الإتزان الحرارى للحديد والكربون ودراسة النسق البلورى (البنيه الذريه) 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 تاثير المواد السبائكية المضافة مع تأثير الكربون.

البرليت
الصلب اليوتكتويدى

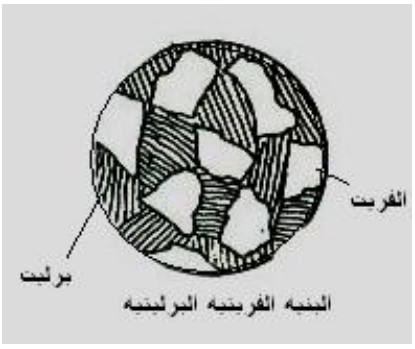
يوضح مخطط التوازن الحرارى بين الحديد والكربون الحالات المختلفة لبنية الصلب اللاسبائكى والتى تتوقف على درجة الحرارة ونسبة الكربون فى الحديد وتبعا لنسبة الكربون تجرى التفرقه بين ثلاث مجموعات رئيسية للصلب اللاسبائكى

١. الصلب الحاوى على نسبة ٠.٨٦% كربون:

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

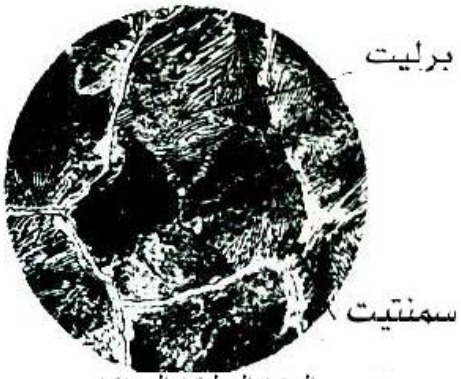
٢. الصلب الحاوى على نسبة اقل من ٠.٨٦% من الكربون:

يسمى أيضا بالصلب تحت (دون) اليوتكتويدى أى ذو البنيه غير المتوازنه بمعنى وجود فريت (ح Fe) زائد عن الكميه المطلوبه لتكوين بلورات البرليت (فريت + سمنتيت) أوبمعنى آخر يحتوى هذا الصلب على نسبه قليله من الكربون لا تكفى لتحويل البنيه بالكامل إلى البرليت لذا يستمر وجود الفريت بجانب البرليت ويسمى الصلب بذو البنيه الفريتيه البرليتيه.



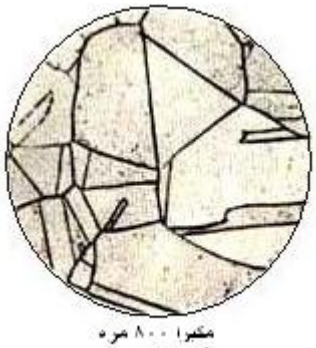
٣. الصلب اللاسبائكى الحاوى نسبه أكبر من ٠.٨٦% من الكربون:

ويسمى أيضا بالصلب فوق اليوتكتويدى ويحتوى هذا الصلب على نسبه 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 (اليوتكتويدى) وهى بنيه برليتيه بالكامل وذلك عند درجة حراره ٧٢٣ درجه مئويه (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 الموجودة فوق الخط جـ – س (درجة الحراره الحرجه العليا) إلى أوستنيت



البنيه البرليتيه السمنتيه
الصلب فوق اليوتكتويدى

أما فى حالة الصلب الحاوى على أكثر من ٠.٨٦% كربون فعند تخطى درجة حرارة الحرجه السفلى الخط س - ك فيتحول البرليت إلى أوستنيت بينما لا يتحول السمنتيت .


مكبرا ٨٠٠ مره
الأوستنيت

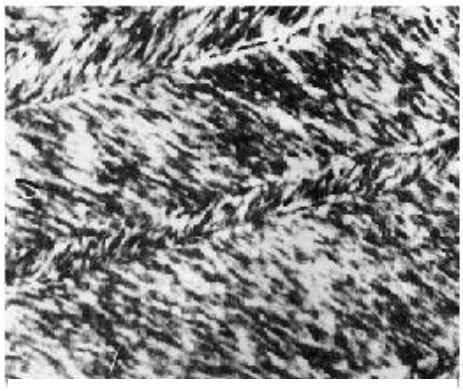
ملحوظات هامه:

١- لتصليد الصلب اللاسبائكى يجب تسخينه أعلى من الخط الحرارى جـ س ك بمقدار من ٣٠°مئوية الى٦٠ مئوية لضمان حدوث التغيير التام فى بنية الصلب من برليت الى اوستنيت (الخط الحرارى هـ - ى).

٢- بالتبريد البطىء للصلب تعود بنيته إلى حالتها الاصلية.

٣- بالتبريد الفجائى (السقيه) للصلب المسخن أعلى الخط الحرارى هـ - ى 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.

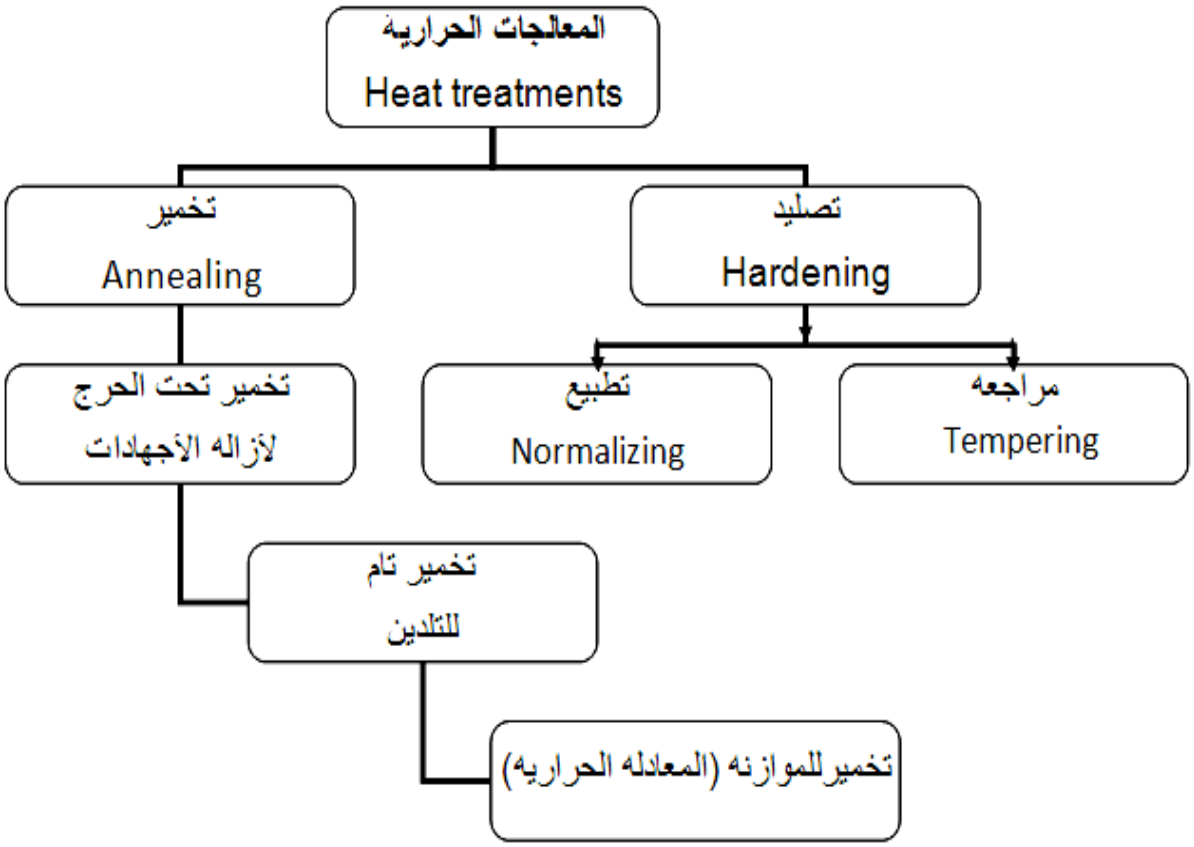
٤- عند تسخين الصلب فى النطاق الحرارى أعلى من ٧٢٣ ° مئويه يتحول البرليت إلى أوستنيت وهو بنية غير مستقرة بحيث يتحول الصلب عند التبريد البطىء إلى بنيته الأصلية وللمحافظه على الصلب ذو بنيه أوستنيتية (الصلب الأوسستنيتى) حتى عند تبريده إلى درجة حرارة الغرفه فإنه يضاف بعض المكونات السبائكيه مثل النيكل والكروم إلى سبيكة الصلب.



مكبره ٥٠٠ مره
المارتنزيت

المعالجات الحرارية للصلب:

يوضح المخطط التالي أنواع المعالجات الحرارية التى 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 ببطئ ، 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 في 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 الناتجه عن السباكة اوالدرفله أوالطرق أواللحام أوالتشغيل بالقطع بقوة كبيرة، وغالباً ما تستخدم أفران الغاز للتسخين حيث تحمى المشغولات إلى درجة حرارة عادة أقل من درجة حرارة إكتمال تحوّل المعدن إلى أوستنيت، وتركها لفترة كافية حتى تخترق الحرارة وتتوزع بإنتظام داخل جسم المشغوله لمده تتراوح بين ساعة وساعتين للتخلص من الإجهادات الداخلية وبمجرد إنتهاء عملية التسخين بنجاح، يتم ترك المشغوله داخل الفرن، لكى لتبرد ببطء وتتراوح درجات حرارة التلدين لأنواع الصلب اللاسبيكى بين ٥٠٠ و ٦٠٠°م (أنظر منحنى التوازن الحرارى)، وللأنواع السبيكية منخفضة الخلط بين٦٥٠ و٧٠٠°م .

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 هامه للمعادن فى بعض العمليات الصناعية مثل الدرفلة والسحب والطرق والبثق، ويتم ذلك بتسخين الصلب وفقا 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 و٧٣٠°م ، والأنواع السبيكية منخفضة الخلط بين ٧١٠ و٧٣٠°م، وللأنواع السبيكية عالية الخلط بين ٨٠٠ و٨٥٠° .

تلدين الموازنة (المعادله الحرارية):

وهى عمليه الهدف منها تنظيم بنية المشغولات ذات الحبيبات الخشنة غير المتجانسة، الناتجة عن الحدادة أو السباكة أو المعالجه الحراريه كالتصليد الغلافى مثلا وتحويلها إلى بنيه ذات حبيبات دقيقه 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 و٩١٠°م ، وللأنواع السبيكية منخفضة الخلط بين ٨٥٠ و ٩٢٠°م.

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

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.، واذا سخن الصلب الكربونى حتى الإشعاع (الحرارة البيضاء) فانه 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.

ثانيا: التصليد والمراجعه:

١- التصليد (التقسية) ومراجعة أنواع الصلب اللاسبائكى

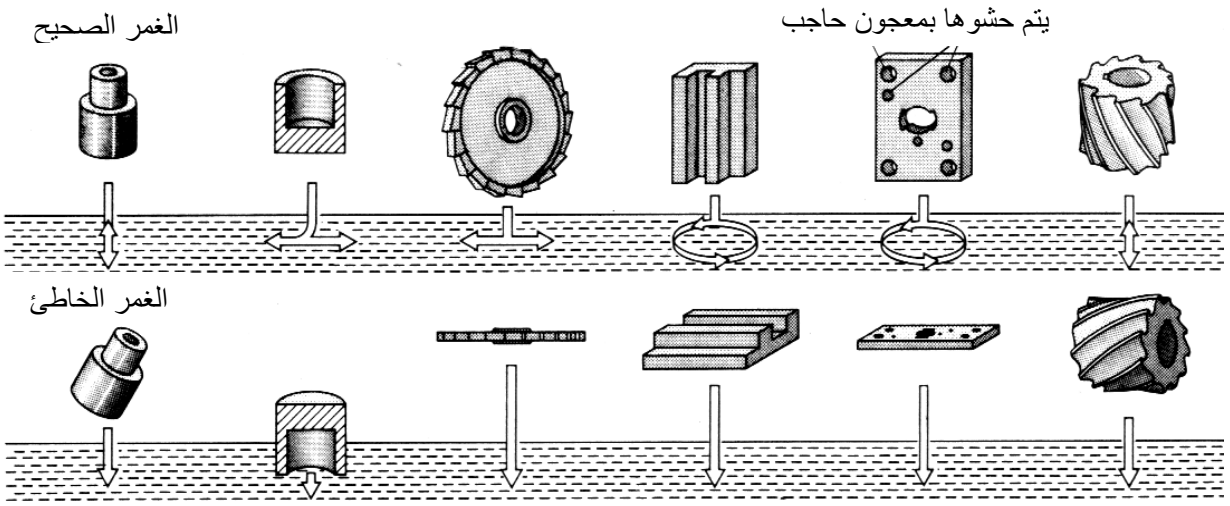
تهدف هذه العمليه إلى زيادة صلادة الصلب ورفع مقاومته لإجهاد الشد ومقاومة التآكل بالإحتكاك .

ونعني بالتصليد تسخين الصلب الى درجة حرارة فوق الخط الحرارى جـ س ك الموضح بمخطط الأتزان الحرارى بدرجه تكون كافية لتكوين أوستنايت متجانس من حيث التركيب الكيميائى 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 هى :

- التسخين الى درجة حرارة التصليد .
- إبقاء الصلب عند هذه الدرجه لفتره زمنيه محدده.
- 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 فى عملية المراجعة، ونعنى بالمراجعة إعادة تسخين الصلب بعد التصليد، وهذه العمليه تؤدى بجانب إزالة الإجهادات الداخلية إلى ازالة قصافة المشغولات وزيادة متانة الصلب قليلا أو كثيرا على حسب درجة حرارة المراجعة، كما تقل صلادته بمعدل مناظر.

وعند المراجعة تظهرعلى أسطح المشغولات (إذا كانت مجلخه ومصقوله) مايسمى بألوان المراجعة

(انظر الجدول التالى للألوان) يناظر كل لون منها درجة حرارة معينة.

وتنشأ ألوان المراجعة عن إزدياد تخانة القشرة الأكسيدية السطحية بزيادة درجة الحرارة وبالتالى تغير انكسار الضوء على هذه القشرة.

يمكن أن تتم المراجعه فى رمل ساخن أوعلى مسطح محمى أو داخل فرن التصليد بعد إيقاف تشغيله ، أو على لهب مشعل بورى اللحام أو فى أفران مراجعة خاصة مزودة بمغاطس (بأحواض) زيتية أو ملحية.

ويمكن أن تجرى المراجعه دون أن تتأثر الصلاده بالتعتيق (التخزين لمدة طويلة) حيث تتخلص المشغولات من الاجهادات الداخلية الناشئة عن المعالجة الحرارية دون أن تفقد شيئا من صلادتها.

ويمكن أن يجرى التعتيق فى درجة حرارة الغرفة وهو مايعرف بالتعتيق الطبيعى وذلك بتخزين المشغولات المصلدة بعد التشغيل الأولى لفترة تصل الى ١٢ شهرا، قبل تشغيلها بالمقاسات النهائية أوبالتعتيق الإصطناعى حيث يتم ازالة الإجهادات فى فترة أقل كثيرا وذلك بتسخين المشغولات إى درجة حرارة تتراوح بين ١٠٠ و ١٥٠°م ، لمدة ٢٠٠ ساعة.

وإذا كان المطلوب تصليد المشغولة فى موضع معين فقط فإن المراجعة يمكن أن تتم بالحرارة الذاتية للمشغولة، وأقرب مثال لذلك هو تبريد الحد القاطع لأجنة مصنوعة من الصلب اللاسبائكى عند التصليد وترك الساق ساخنه حيث تختزن ساق الأجنة حرارة تكفى لمراجعة الحد القاطع دون الحاجة إلى تسخينه من جديد ، وفى هذه الحالة تتدفق الحرارة إلى الحد القاطع وتسخنه إلى درجة حرارة المراجعة المطلوبة مع مراعاة أن يتم دفن الأجنه فى رمل ساخن، وتسمى هذه الطريقة بالمراجعة من الداخل أو المراجعة الذاتية .

والجدول التالى يوضح الألوان ودرجات الحراره للمراجعه الحراريه :

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

٢- تصليد ومراجعة أنواع صلب العدة :

- تتطلب أنواع صلب العدة اللاسبائكى والسبائكى منخفض الخلط والسبائكى عالى الخلط معالجات حرارية مختلفة بسبب إختلاف تركيبها الكيميائى،ولذا يجب معرفة نوع الصلب بدقة،قبل إجراء المعالجة الحراريه.
- تصليد ومراجعة أنواع صلب العدة اللاسبائكى.
- أنواع صلب العدة اللاسبائكى هى أنواع كربونية نقية (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 تنبعج هذه المشغولات قليلا.
- ولتحاشى التشدخ والتشوه الناشئ عن التصليد يستحسن سقية 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 اللاسبائكى فى درجة حرارة تتراوح من ٢٢٠ الى ٣٢٠°م 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 & ٢٠٠°م، ويمكن بواسطة ألوان المراجعة (انظر جدول الالوان) تقدير درجات حرارة المراجعة الواقعة بين ٢٢٠ و ٣٢٠°م ويجب تلميع أسطح المشغولات المراد مراجعتها قبل العملية،كى تظهر ألوان المراجعة بصورة جيدة.
- تصليد ومراجعة أنواع صلب العدة السبائكى منخفض الخلط.
- تحتوى أنواع صلب العدة السبيكى منخفض الخلط بالاضافه لـ ٠.٨ الى ١.٧ % كربون على نسب من المكونات السبائيكيه مثل الكروم والتنجستن والنيكل والموليبديم والفانديوم لا تتعدى الـ ٥% .

التسخين:

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

السقيه :

- تسقى هذه الأنواع من الصلب فى الزيت وأحيانا فى الماء ويمكن إستخدام أملاح منصهره (حمام ملحى) 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 الغرفه وتسمى هذه الطريقه بالتصليد الحرارى أو المرحلى وتمتاز أنواع صلب العدة السبائكى منخفض الخلط بتصلدها بشكل تام كما تمتاز بإنعدام خطر التشوه والتشدخ.

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

تصليد ومراجعة أنواع صلب العدة السبائكى عالى الخلط

تحتوى أنواع صلب العدة السبائكى عالى الخلط بالاضافه لـ ٠.٣ الى ٢.٢ % كربون على نسب من المكونات السبائيكيه تتعدى الـ ٠.٥% فقد تصل الى ١٨%من التنجستن و١١%من الكوبالت مع إضافات من الموليبديم والفانديوم والكروم.

التسخين:

تتراوح درجة حرارة التصليد بين ٩٥٠ & ١٢٠٠م° (لون أحمر مصفر الى أبيض مصفر) ويجب مراعاة الإلتزام بدرجة الحراره 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 ملحى) 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 السبائكى عالى الخلط بشكل تام كما أن تشوهها قليل جدا

المراجعه:

تتوقف درجة حرارة المراجعه لأنواع صلب العدة السبائكى عالى الخلط على تركيبها الكيميائى وأسلوب السقيه وتتراوح بين ١٠٠ & ٦٠٠°م فمثلا تتم مراجعة صلب السرعات العاليه عند درجة حراره من٥٣٠ الى ٥٨٠م° ومع ذلك لاتقل صلادته كما هو الحال فى أنواع صلب العده اللاسبائكى والسبائكى منخفض الخلط بل تزداد الصلاده (المراجعه المزيده للصلاده) ويعود السبب فى هذه الظاهره إلى أن اثر السقيه فى الأنواع السبائكيه عالية الخلط يكون حاد للغايه 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 بين٧٨٠ & 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:

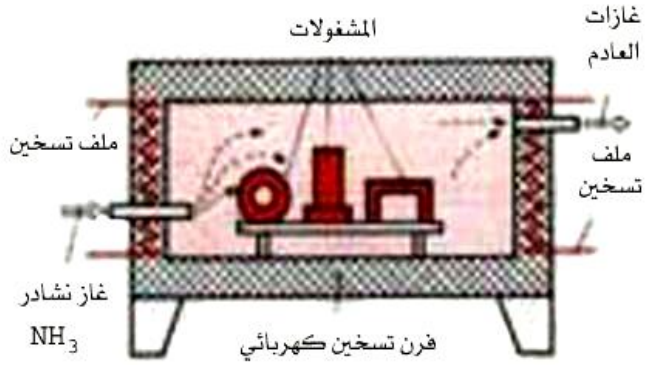
العيب المكتشف	أسبابه
طبقة التصليد الغلافى ليست عميقة بالقدر المطلوب	قصر مدة التسخين أو إنخفاض درجة حرارة التلدين أكثر من اللازم، أو أن يكون وسيط التصليد مستهلكا.
إمتصاص الكربون لايتم فى بعض المواضع	وجود بقع من الصدأ أو الشحم على سطع الشغلة
إمتصاص الكربون يتم بصورة غير متجانسة للمشغولات المختلفه	قصر المسافة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

٢- النتردة

النتردة هى عباره عن تصليد سطحى يخترق فيه النتروجين (الأزوت) سطح الشغله لتتكون فى الطبقه الغلافيه مركب من الحديد والنتروجين يسمى بالنتريدات يؤدى إلى تصليد الطبقه الغلافيه دون الحاجه إلى السقيه، وتعطى النتردة صلاده تفوق بكثير الصلاده الناتجه بالكربنه إلا أن أقصى عمق تصليد يكون أقل مما هو فى الكربنه.

وعند النتردة الغازية توضع المشغولة فى فرن مسخن كهربائيا عند درجة حرارة تتراوح بين ٥٠٠ & ٥٢٠°م وتعرض لتيار من غاز النشادر (ن يد٣ ، NH_3) لمدة تتراوح بين & ٩٦ ساعة فيتغلغل الآزوت الموجود فى غاز النشادر فى الطبقة الخارجية للمشغولة، وعند الرغبة فى عدم تصليد بعض المواضع فى المشغولة فإنه يتم قصدرتها أو تغطيتها بمعجون خاص.

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



النتردة بالغمر (السيندة)

عبارة عن نتردة فى حمامات ملحية تحتوى على السيانيد (سيانيد البوتاسيوم وسيانيد الصوديم) مضافا اليها النتروجين ولتحاشى تبلورالملح 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 النتردة بالغمر لأنواع صلب الانشاءات السبائكية واللاسبائكية وأنواع الصلب المقاومة للصدأ أو الأحماض، وكذلك الحديد الزهر والحديد الملبد.

وتطيل النتردة بالغمر أعمار عدد التشغيل المصنعة من صلب السرعات العالية أو صلب التشغيل على الساخن بدرجة كبيرة.

ويمتاز التصليد بالنتردة عن الاساليب الاخرى للتصليد السطحى بما يلى:

- انخفاض درجة حرارة المعالجة الحرارية نسبيا (٥٠٠ الى ٥٢٠°م).
- عدم الإحتياج إلى سقية المشغولات وبالتالى عدم تشوهها .
- الحصول على أعلى صلادة ممكنة للصلب .
- بقاء الصلادة ثابتة حتى ٥٠٠°م وأكثر (استدامة الصلادة).
- إمكانية تشطيب الأجزاء بصورة نهائية قبل نتردتها لعدم تقشر الطبقة السطحية وعدم إزدياد حجم المشغولة بدرجة محسوسة.
- الحصول على تزليقية ممتازة وأكبر مقاومه للتأكل بالاحتكاك بين الأسطح المنتردة.

ويستخدم التصليد بالنتردة بالدرجة الأولى لأجزاء الماكينات المعرضة لدرجات حرارة تشغيل عالية والتى يجب أن تقاوم التآكل الكيميائى والتآكل الإحتكاكى والكلال (الكلال أو التعب أو الإجهاد أو إرهاق المادة (Fatigue) والذى 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:

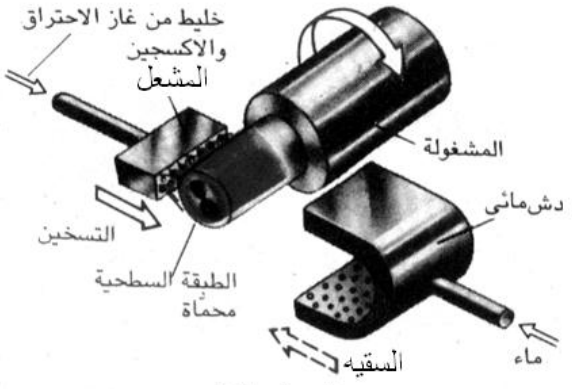
وهوصلب يحتوى على نسبه من الكربون تتراوح بين 0.3 & 0.6 % ك

التصليد باللهب:

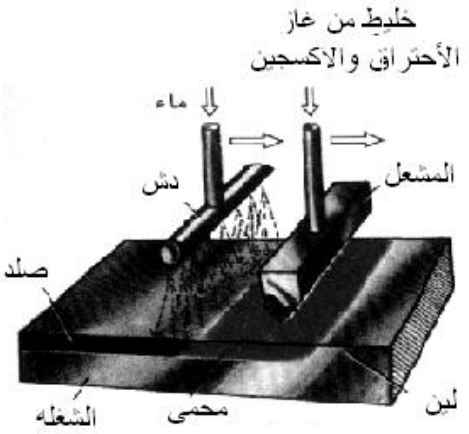
يتم التصليد باللهب بتسخين الطبقة السطحية للمشغولة بلهب غاز الإستصباح أولهب من غازى الأكسجين والأستيلين إلى درجة حرارة التصليد فى وقت قصير جدًا، ثم تسقى المشغولة بدش مائى مطابق لشكلها ، وذلك قبل وصول الحرارة إلى الطبقات الداخلية للمشغولة مما يؤدى إلى تصليد السطح فقط بينما يبقى القلب لينًا، وتستخدم هذه الطريقه فى تصليد العديد من العدد، وعلى سبيل المثال تصليد التروس وأعمدة المحاوروالبنوز وغيرها وغالبا ما تستخدم ماكينات تصليد باللهب خاصة فتوضع ضمن خطوط الإنتاج

ويتم التصليد باللهب بعدة أساليب كما هو موضح بالشكل وهى:

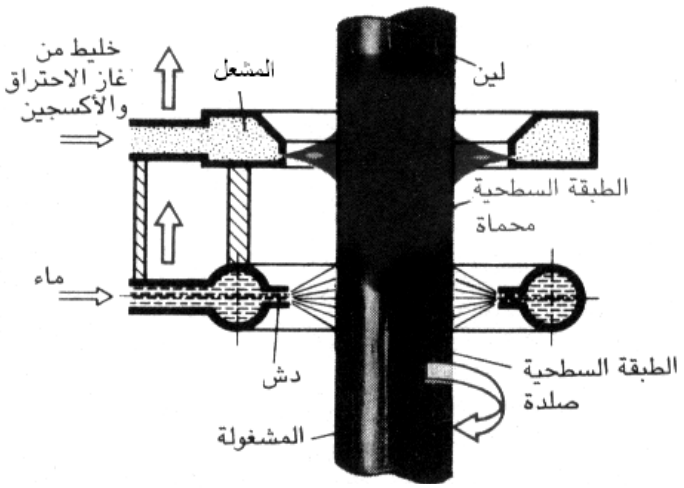
- التصليد الدائرى.
- التصليد الخطى.
- التصليد الحلزونى.



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 منتظمه ، ويتناسب عمق التصليد عكسيا مع سرعة التغذية.

يناسب التصليد باللهب أنواع الصلب السبائكى الذى يحتوى على نسبة من الكربون تتراوح ما بين0.35 & 0.70 %، وأنواع صلب الإنشاءات ذات النسب السبائيكية الضئيلة من الكروم والموليبدنم التى تتراوح نسبة الكربون فيها ما بين ٠.٣ & ٠.٥ %.

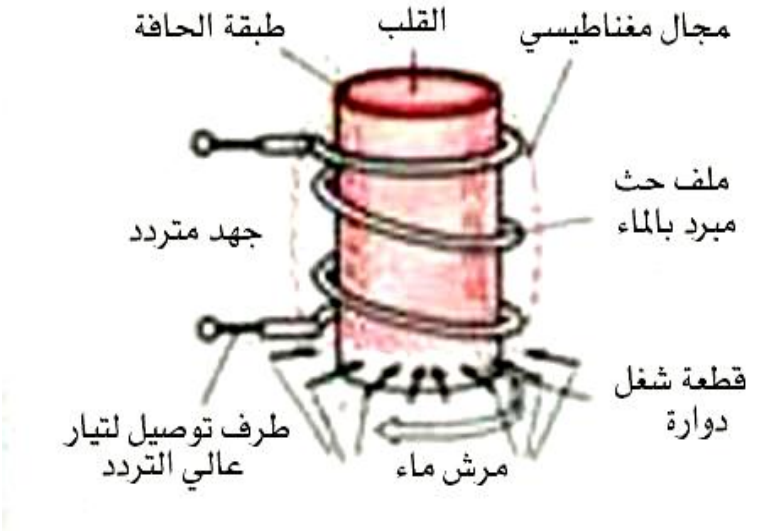
التصليد بالغمر:

عبارة عن تسخين الطبقة الخارجية للمشغولة إلى درجة حرارة التصليد بغمرها فى حمام ملحى متعادل ، بحيث يكون التسخين سريعا جدا ومتجانس، ويتم ذلك بمعزل عن الهواء، وتسمح طريقة الغمر بتسخين المشغولة جزئيًا ، وبالتالى تصليدها جزئيًا أيضً، وتسحب المشغولة من الحمام الملحى 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 سطحة بملف من مواسير النحاس الأحمر ملفوف حوله بصوره مطابقه لشكله ويبعد عن سطحه بمسافه تتراوح بين ١& ١.٥ مم، يمر داخله ماء لتبريده أثناء العمل، ثم يمر فى الملف تيار كهربى متغير عالى التردد تتراوح ذبذبتة بين ٥٠٠٠ & ٥٠٠٠٠٠ 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 الحرجة العليا بقليل ثم تبرد الشغلة فجأة فى الماء بعد أن تكون قد تكونت بللورات الأوستينيت ونظرا لعدم تمكن الحراره من التغلغل إلى داخل الشغله فإن السطح يتصلد بينما يبقى القلب لينا ومتينا ويمكن ضبط عمق التسخين بدقه بالتحكم فى تردد التيار الحثى ويصغر العمق بزيادة التيار ولإزالة الإجهادات تراجع الشغله بعد تصليدها بتسخينها إلى درجة حراره تتراوح بين ١٥٠& ٢٠٠ م° ويناسب التصليد بالحث نفس أنواع الصلب الصالح للتصليد باللهب.



ثالثا: التطبيع (Normalizing)

وهو عباره عن تصليد متبوع بمراجعه فى درجات الحراره 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 أأنواع تتراوح نسبة الكربون فيها بين ٠.٢٢& ٠.٦ % وتحتوى على العناصر السبائكيه مثل السليكون أو المنجنيز أو الكروم أو الموليبيدنيوم ، وتسخن أنواع صلب التطبيع إلى درجات حراره تتراوح بين٨٢٠ & 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 نتيجه لهذه العمليه إلا أن حبيبات المعدن الصغيرة المتكونة تجعل المعدن أكثر صلابه وأكثر تحمل للصدمات (زيادة المتانه) وتتحسن 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 فى الظروف المختلفه ، وتفيد النتائج المستخلصة من هذا القياس فى تحديد المواد وصفاتها المميزة فى 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 International Organisation for Standardization (ISO) ومقرها جنيف خمسة اختبارات رئيسة للمواد وهى:

١. الإختبارات الميكانيكية .
٢. إختبارات الخصائص الحرارية.
٣. إختبارات الخصائص الكهربائية.
٤. إختبارات تلف الصدأ 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 رياضى أو دراسات تجريبية على نموذج حقيقى لمعرفة مدى تحمل الآلة للإجهادات وظروف التشغيل ، كما يقوم بإختبار المواد التى يجب تصنيع كل جزء من الآلة منها لضمان حسن أدائها، وفيما يلى بعض الإختبارات التى يمكن توظيفها للوصول إلى هذه الغاية.

إختبار الشد والضغط :

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

تقوم آلة الاختبار بشد جزء صغير من العينة (يسمى عادة مقطع الإختبار) شداً متسقاً 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 إستنادى كما فى حالة دعامات المنازل ويكون للعينات شكل أسطوانى ويكون الطول المعيارى فى إختبار الإنضغاط مساوياً طول العينة كله.

ويجب الإنتباه فى هذه الإختبارات إلى وجوب إبقاء قطع الإختبار قصيرة وغليظة منعاً لانثنائها أثناء الإختبار.

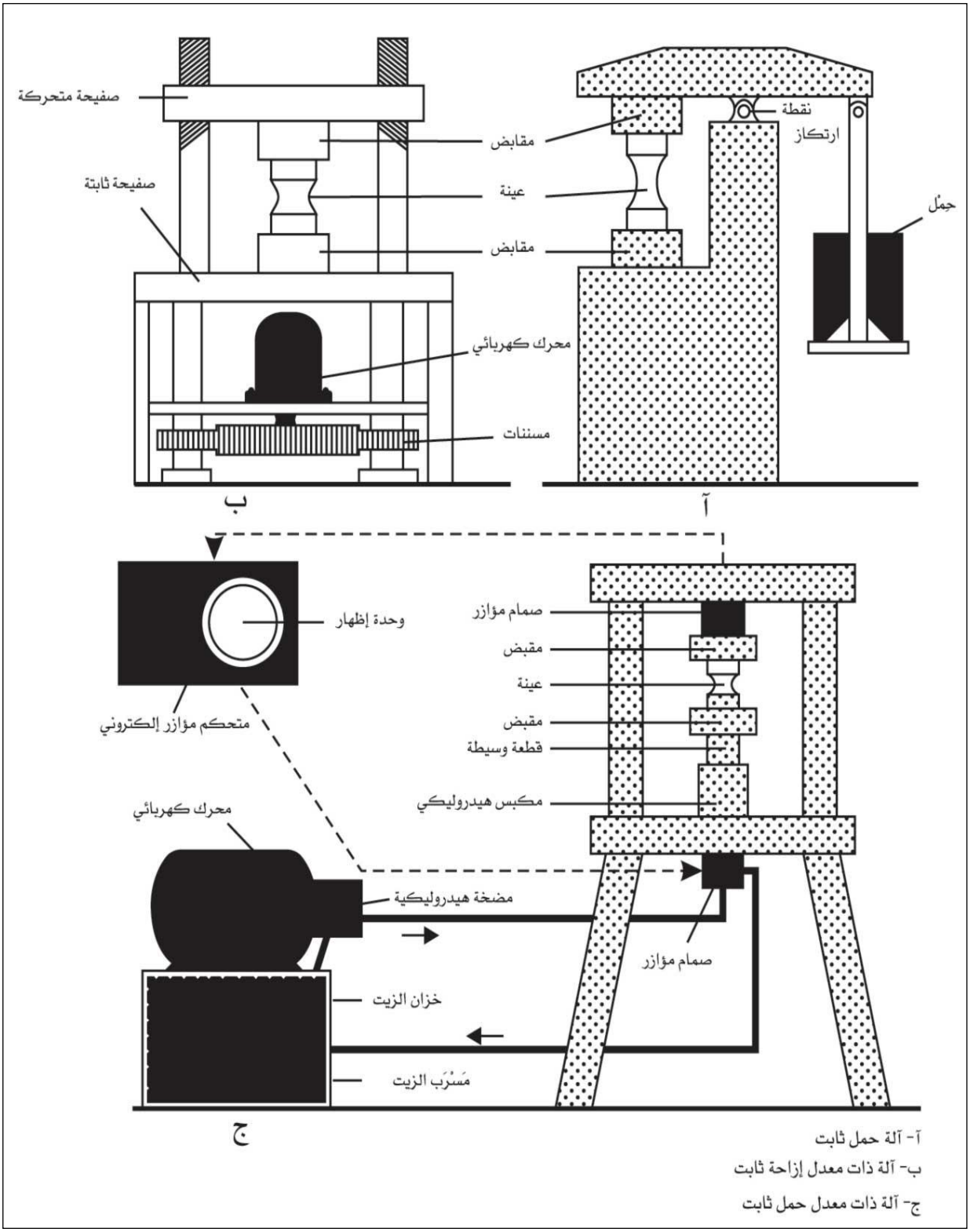
ويمكن تصنيف آلات الاختبار التقليدية الى ثلاثة أنواع هى:

١- الآلات ذات الحمل الثابت Constant load

٢- الآلات ذات معدل الحمل الثابت Rate Constant load

٣- الآلات ذات معدل الإزاحة الثابت Rate Constant Desplacement

والشكل التالى يوضح رسم تخطيطى لآلات الاختبار الميكانيكى



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

إختبارا 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 في اختبار 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 بإختلاف 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.

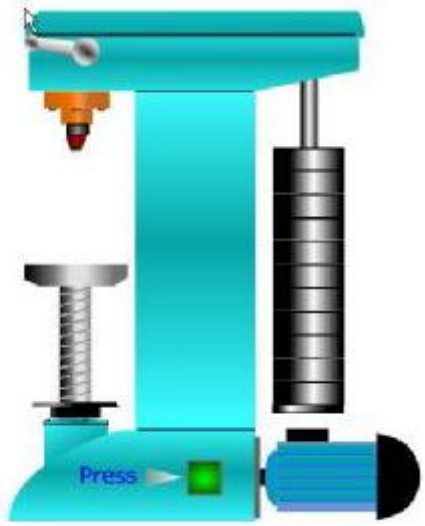
ويمكن التعبير عن قابلية الإسطوانة للسحب بالشد وبتقلص المساحة فى وحدة المساحة أو بالمتانة Toughness التى هى كمية القدرة اللازمة لإحداث تشوه دائم فى المادة.

إختبارات الصلاده: Hardness Tests

تعرف صلادة الماده فى التكنولوجيا بأنها المقاومه التى تبديها الماده تجاه محاولة اختراقها بواسطة جسم آخر، وهناك عدة أساليب لقياس هذه المقاومه وبالتالى استنباط الصلاده وبحسب صلادة الشغله ونوع مادتها وشكلها وحجمها يجرى إختبار الصلاده بأساليب عده هى برنيل ، أوفيكرز أو روكويل .

وعادة مايستخدم الألماس فى صناعة الأداه المستخدمه فى قياس الصلاده.

إختبار برينل للصلادة:



جهاز اختبار برينل

إختبار برينل للصلادة (Test Brinell Hardness): هو أحد الطرق أو الإختبارات المستخدمة لقياس صلادة المادة، إبتكره المهندس السويدى جون أغسطس برينل، وتتلخص طريقة الإختبار فى 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 ومجلخا كما يجب ان يكون فى مستوى عمودى على إتجاه الضغط، ويفضل فى هذا الإختبار ألا يقل سمك العينة عن ١٠ أمثال عمق الأثر (العلامة التى تتركها الكرة فى العينة). وعادة ما تستخدم كرة من كربيدات التنجستن قطرها ١٠ مم مع حمل ٣٠٠٠ ث.كجم عند اختبار الصلب والمعادن الصلده وعادة ما تستخدم كره من كربيدات التنجستن قطرها ١٠مم الى ٥ مم مع حمل ٥٠٠ ث.كجم عند اختبار المعادن الطريه مثل الألومنيوم، ولكن حجم هذه الكره لايصلح فى 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 ١٥٠٠ث كجم مع العينات ذات المعادن الطريه كما تستبدل كرة الصلب بأخرى من كربيدات التنجستن فى حالة المواد الأكثر صلادة.

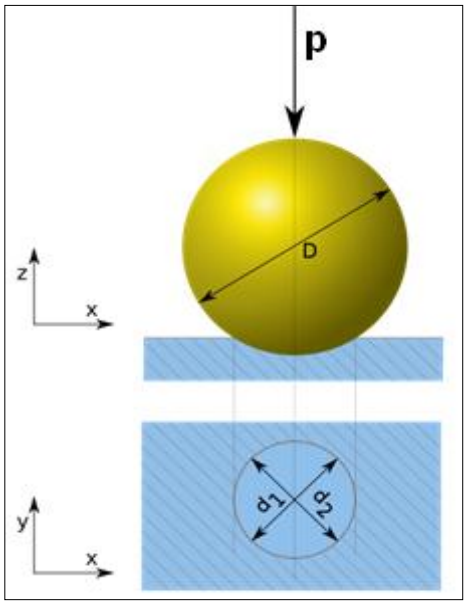
تخانة العينه (مم)	اقل من ٣	٣الى ٦	اكبر من ٦
قطر الكره (مم)	١الى ٢.٥	٥	١٠

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

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

ثم حساب الصلادة من العلاقة:

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



حيث:

HB رقم برينل للصلادة كجم/مم^2

P الحمل بالكيلو جرام

D قطر الكرة المستخدمة بالمليمتر

d قطر الأثر على سطح العينة بالمليمتر

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 للدلاله على نوع مادة الكره HBW تدل على أن الكره المستخدمه فى الإختبار من مادة تنجستن كربيد و HBS تدل على ان المادة المستخدمه مصنعه من الصلب.

وعندما تكون ظروف إختبار HBW20/3000 فهذا معناه إستخدام كره مصنعة من مادة التنجستن كربيد بقطر ٢٠ ملي متر وقوة تقدر ب ٣٠٠٠ ثقل كيلو جرام .

وعموما لا يتم إستنباط الصلادة البرينيلية حسابيا وإنما تؤخذ من جداول خاصة فعلى سبيل المثال إذا نتجت عن إختبار الصلاده بكره صلب قطرها D=2.5 mm وحمل اختبارى قدره P=187.5KG اثر قطره d=1mm فاننا نحصل من الجدول على الصلادة البرينيية HBS=229 Kg/mm^2 ويتكون الرمز الكامل للصلادة البرينيلية من الحروف الابجدية اللاتينية HBS او HBW وقطر الكره الاختباريه ومقدار الحمل الاختبارى وزمن تاثير الحمل الاختبارى مثال ذلك:

HBS5/250/25=120kg/mm^2

تدل على صلادة برينيلية مقدرها ١٢٠ كيلوجرام/مم٢ مستنبطه بكره قطرها ٥مم مصنوعه من الصلب وحمل إختبارى مقداره ٢٥٠ كيلوجرام يوثر لمدة ٢٥ ثانية .

أما إذا كان قطر الكرة ١٠ مم والحمل ٣٠٠٠ كيلوجرام وزمن تاثير الحمل من ١٠ الى ١٥ ثانيه فإنه يمكن إهمال كتابة هذه المعطيات فى رمز الصلاده البرينيليه الذى يتكون فى هذه الحاله من الحروف الابجدية اللاتينية HBS او HBW فقط مثال ذلك:

١- HBS=350 kg/mm2
تدل على صلاده برينيليه مقدرها ٣٥٠ كيلوجرام/مم٢ ناتجة عن الإختبار بكره صلب قطرها ١٠مم وحمل إختبارى مقداره ٣٠٠٠ كيلوبوند يؤثر لمده تترواح من ١٠ الى ١٥ثانية.

٢- $HBS2.5/62.5=170Kg/mm^2$
تدل على صلاده برينيلية مقدارها ١٧٠ كيلوجرام/مم٢ مستنبطة 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 H HBS و HBW مثال ذلك .

120HPS5/250/30

وعلى سبيل المثال تبلغ الصلاده البرينيلية المستنبطة لصلب الانشاءات St37 مقدار $116HB\ Kg/mm^2$

وعموما فأن رقم برينل يتراوح بين ٥٠ الى٧٥٠ HB حيث يزداد بزيادة صلادة العينه.

كيفية إختيار الحمل الإختبارى المناسب:

يجب إختيار الحمل الإختبارى بحيث يترواح 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 ($30 \times D^2$) فإذا إستخدمت كره قطرها ١٠مم على سبيل المثال لبلغ الحمل الاختبارى P مقدار:

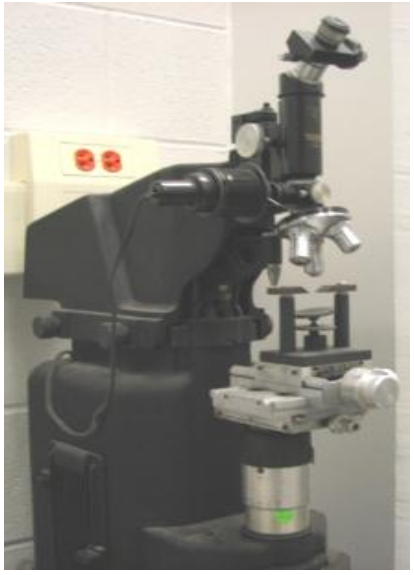
$$P= 30 \times 10^2= 3000\ Kg$$

كما تختبرالمعادن اللينة مثل الرصاص والقصدير بالحمل الإختبارى($1.5 \times D^2$) فإذا إستخدمت لإختبار عينه من النحاس الأصفر كره قطرها ٥مم لبلغ الحمل الإختبارى P مقدار :

$$P= 1.5 \times 5^2= 12\ Kg$$

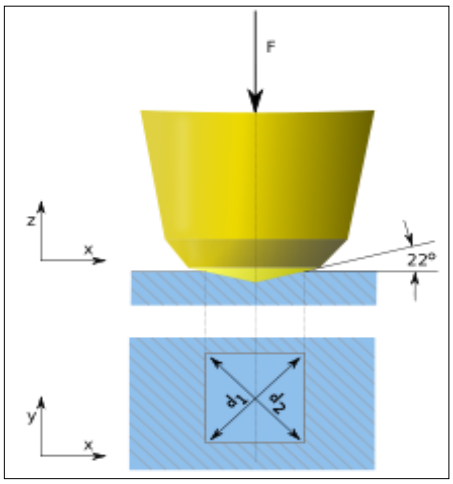
ولا يمكن مقارنة أرقام الصلاده البرينيلية ببعضها البعض إلا اذا تم إستنباطها بإستخدم نفس درجة التحميل الإختبارى وتوجد بين الصلاده البرينيلية وإجهاد الشد علاقه تقربييه هى:

إختبار الصلاده باسلوب فيكرز:



تم تطوير اختبار صلابة فيكرز في عام ١٩٢١ من قبل شركة فيكرز كبديل لـطريقة برينل لقياس صلادة المواد وتمتاز بإمكانية إستخدامها لإختبار جميع المواد بغض النظر عن صلادتها، كما تمتاز بالقدره على قياس صلادة العينات الرقيقه أو المصلده غلافيا بعمق قليل.

وفى إختبار الصلادة بأسلوب فيكرز يضغط على سطح العينة الإختبارية بالحافة المسلوبه لهرم ماسى رباعى الأوجه تبلغ الزاوية بين جوانبه ١٣٦° درجه وتتراوح قيمة الحمل الاختبارى من ١ الى ١٢٠ كيلوجرام



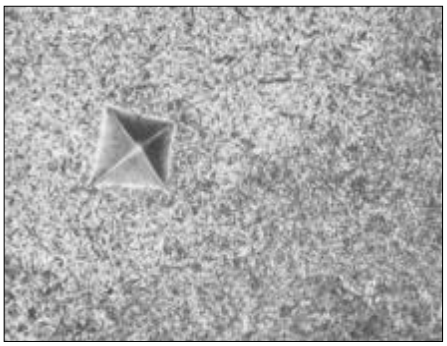
وتستخدم فى آلات إختبار الصلادة للأحمال الصغيرة أحمال اختبارية تبدأ من ٠.٠٢ كيلوجرام، والمقادير المفضله للحمل الإختبارى هى ٥ ، ١٠ ، ٢٠ ، ٣٠ ، ٥٠ ، ١٠٠ كيلو جرام وتنتج أرقام صلادة فيكرز (HV) بقسمة الحمل المستخدم (F) على مساحة سطح الأثر المستديم الذى يحدثة الهرم الماسى عند ضغطة على العينة ولحساب مساحة سطح الأثر يقاس كل من قطرى الأثر (d_1 , d_2) ويتم القياس بإظهار الأثر مكبرا على شاشة التركيز لآلة إختبار الصلادة التى تصل دقة القياس عليها الـى ٠.٠٠١ مم ويوخذ المتوسط الحسابى (d) للقطرين (d_1, d_2) 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 /مم^2

F الحمل المستخدم بالكيلوجرام

A مساحة سطح الأثر مم^2

d المتوسط الحسابى لقطرى الأثر مم

(d_1 , d_2) قطرى الأثر مم

ولحساب رقم صلادة فيكرز بالوحدات الدوليه ISO يمكن Yستخدام المعادلة التالية:

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

حيث:

HV رقم صلادة فيكرز بالنيوتن/مم^2

F الحمل المستخدم بالنيوتن

A مساحة سطح الاثر مم^2

ويجب أن يكون السطح المراد إختباره مستويا ساطعا، وعموديا على إتجاه ضغط الهرم، كما يجب أن ترتكزالعينة الإختبارية فى الآلة بحيث لاتترك فجوات هوائية بين العينه و قاعدة إسنادها فى الآلة و يصلح إختبارفيكرز لجميع أنواع المشغولات ومواد التصنيع، كما يستخدم بصوره ممتازه للأجزاء الرفيعة والمشغولات ذات الصلاده 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/mm^2 مع نظائرها المستنبطه باختبار برينيل وذلك إذا إستخدمت لصلادة فيكرز القوة الاختباريه F ≥٥ كيلوجرام وللصلادة البرينيلية درجة التحميل ($30 \times D^2$) كما هوموضح بالجدول الأتى :

جدول التحويل لصلادة روكويل			
صلادة روكويل	صلادة فيكرز	صلادة برينل	أجهاد الشد

Rockwell Scale Conversion Chart

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

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-

$$HV30=580kg/mm^2$$

تدل على صلادة فيكرز مقدارها ٥٨٠ كيلوجرام /مم^2 مستنبطة بحمل إختبارى مقداره ٣٠ كيلوجرام يوثر على العينه الإختبارية لمده تتراوح من ١٠ الى ١٥ ثانية.

٢-

$$HV80/30=210kg/mm^2$$

تدل على صلادة فيكرز مقدراها ٢١٠ كيلوجرام /مم^{٢} مستنبطة بحمل إختبارى مقدارة ٨٠ كيلوجرام يوثر 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 الفيكرزيه قبل الحرف HV مثال ذلك 210HV80/30.

أمثلة من أرقام صلادة فيكرز لمواد مختلفه نيوتن/مم^{٢}	
الماده	**قيمة الصلاده**
الصلب المقاوم للصدأ (L٣١٦)	HV30=140
الصلب المقاوم للصدأ (L٣٤٧)	HV30=180
الصلب الكربونى	HV5/120=55
حديد	HV5/80=30

وتوجد بين الصلاده الفيكرزيه واجهاد الشد علاقه تقربيية هى:

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

حيث:

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

إختبار روكويل للصلادة: (Rockwell scale)

جهاز اختبار روكويل.

إختبار روكويل للصلاده هو اختبار للصلاده يعبر عن مدى مقاومة ماده ما للخدش.

تتحدد قيم الصلاده بإستخدام إختبار روكويل لماده ما عن طريق التأثير عليها بحمل صغير يليه حمل كبير، ثم المقارنه بين عمقيّ الإختراق ثم تستخرج بعد ذلك قيمة الصلادة إما باستخدام جداول خاصه أوحسابيا أومن على شاشة الجهاز مباشرة.

مستويات اختبار 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 طريقة HRC والطريقه المستخدمه لإختبار الصلب غيرالمصلد ويطلق عليها طريقة HRB (انظر الجدول):

مستويات إختبار روكويل				
المستوى	الرمز	الحمل المستخدم	أداة الخدش	الإستخدام
B	HRB	100 kgf	كرة من الصلب قطرها ١/ ٦ بوصة	الألومنيوم والنحاس الأصفر والصلب غيرالمصلد
C	HRC	150 kgf	مخروط ماسى زاوية رأسه ١٢٠°	الصلب عالى الصلادة
*تعتبر القراءات التى تقل عن 20 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 التدريج للمؤشر على القراءه صفر) ثم نزيد الحمل بالتدريج 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 وبالتالى يتحرك المؤشر فى الإتجاه العكسى حتى يستقر عند قيمه تكون هى قيمة صلادة روكويل للعينه.

وفى بعض الأجهزه تكون القيمه المعطاه على شاشة أو مؤشر الجهازهى قيمة عمق التغلغل (d) وليس قيمة صلادة روكويل للعينه فى هذه الحاله يتم حساب الصلاده من العلاقه الأتيه:

$$HRC = 100 - d/0.002$$

ولكن فى معظم الأجهزه الحديثه تظهر قيمة صلادة روكويل للعينه على شاشة الجهاز مباشرة.

تتراوح صلادة روكويل لصلب العده الكربونى المصلد بين 58HRC & 60HRC وتبلغ صلادة الماس وفقا لصلادة روكويل الى 100HRC .

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 الصلادة بأرقام لا بعديه (الكمية اللابعدية هى كميه بدون أى وحدات فيزيائيه مادية وبالتالى هى عدد محض، ويعرف هذا العدد بأنه ناتج أو نسبة كميات لها وحدات، بحيث تم اختصارها جميعًا).

الأختبار بطريقة HRB:

تشبه طريقة HRB لأختبار صلادة روكويل طريقة HRC الا أنه بدلا من المخروط الماسى تستعمل كره من الصلب المصلد قطرها $\frac{1}{6}$ بوصه 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 مقابلة 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 مباشره للصلاده، وبالتالى تفادى الحسابات الممله فى بعض إختبارات قياس الصلاده الأخرى.

٢. بعض أجهزة هذا الإختبار محموله، مما يعطى إمكانيه لإستخدامه فى أماكن مختلفه.

٣. الموثوقية فى القيم الناتجة.

٤. السرعة فى الإختبار.

٥. صغر مساحة الخدش، مما يجعل الإختبار يصنف من الإختبارات اللا إتلافيه (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 وصلادة برينل

جداول توضح العلاقة بين صلادة روكويل وصلادة برينل

فيكرس	روكول			برنل بحمل 3000 Kg و كرة قطرها 10 mm	
هرم من الماس	روكول C مخروط و 150 Kg	روكول B كرة و 100 Kg	روكول A مخروط و 60 Kg	رقم الصلادة	قطر الأثر
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 لاتوجد علاقة بين رقم برينل لصلادة المعادن وبين مقاومة الشد لذلك لايمكن اتخاذ رقم الصلادة أساسا صحيحا لحساب مقاومة الشد للمعادن المختلفة ، وتستخدم تلك المقاومة للشد فى حسابات التصميمات الهندسية .

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

المعدن	صلب 0.4% كربون	سبيكة ألمونيوم	صلب	نحاس أصفر مصبوب	ألمونيوم 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 تبعا للزمن على امتداد طول القضيب أو على سطح صفائح مسطحة، فى حين يتم التحكم آنياً فى الدخل الخارجى والخرج الحراريين 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 في 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 الحراري:

يقاس التمدد الحرارى بطريقة خطية ويعرف بأنه التغير فى وحدة طول المادة الذى يسببه تغير درجة الحرارة بقيمة درجة واحدة، وتتم هذه القياسات بوساطة 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 فى 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 فى حين تكون هذه الإلكترونات مقيّدةً فى مواد أخرى "إلى حد ما" ، وفى 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.

وتؤدى زيادة درجة الحرارة إلى زيادة كبيرة فى عدد الإلكترونات الحرة فى مواد محددة مثل السيليكون والجرمانيوم والكربون التى تسمى أنصاف النواقل، فهى تعمل عوازل فى درجة الصفر المطلق وتصبح ناقلة جيدة عند درجة حرارة الغرفة.

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

٤- إختبار تلف الصدأ 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 الصدأ):

التآكل هو عملية كيمياوية 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 عمليتى التآكل وتحليل المعادن كهربائياً.

وقد يتضمن الإختبار غمراً كاملاً للمعدن كما فى حالة مياه البحر أو تعريض المعدن لضباب مالح كما فى عمليات المعالجة الكيمياوية 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 التدلى منع ناتج التكثف من أن يتقطر من عينة إلى أخرى، وتعرّض 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 الكهرومغنطيسية وأشعة جاما والموجات الراديوية والإشعاعات الذرية التى قد تحتوى على نترونات أطلقها اليورانيوم أو أى مادة أخرى مشعة.

والمواد الأكثر تأثراً بهذه الإشعاعات هى البوليميرات "Polymers" مثل المركبات العضوية كاللدائن والمطاط التركيبى التى لها سلاسل طويلة مؤلفة من تكرار وحدة كيماوية واحدة.

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

ويمكن أن تعرّض عينات من الطلاء لإشعاع كهرومغنطيسي 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 والمغلِّفات ومواد طلى خطوط الأنابيب وهياكل الأبنية، وكلها مواد معرضة للتلف البيولوجى.

عندما يكون التركيب البيولوجى للتربة فى منطقة ما مجهولاً تعزل فطرياتها أو جراثيمها أو طحالبها المختلفة وتحضن بإستخدام 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 ويطلى 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 هى اختبارات إتلافية "Destructive" أى تتلف العينة أثناء العملية الاختبارية، 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 تمكّننا من كشف العيوب كشفاً سريعاً ودقيقا 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 الاختبار.

أجهزة الاختبار بالترددات فوق الصوتية Ultera Sonic:

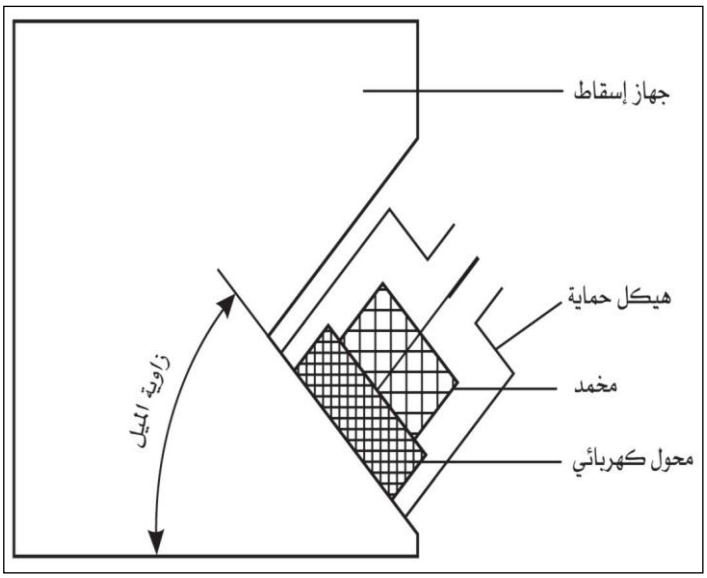
تستخدم فى إختبار المواد أجهزة نبضية لكشف عيوب المعادن تتألف من نماذج معيارية وتجهيزات مساعدة، ويزود جهاز الإختبار بالترددات فوق الصوتية بمجموعة من الحسَّاسات"Sensors " المائلة تكون فيها الصفيحة الكهربائية مائلة عن مستوى القطعة المراد فحصها .

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 ١- ٣ 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 الهامه التى تؤثر فى نتائج الفحص، وكذلك تتعلق نتائج الفحص بقدرة الكاشف على تحليل مكان توضع 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 عيبين متجاورين يظهران منفصلين، ويمكن بواسطة الفحص بالصدى قياس المسافة التى يبعدها العيب عن السطح وكذلك إرتفاعه، ويمكن الكشف عن عيبين متراكبين جزئياً.

ويمكن بإستخدام كاشف لا يتجاوز وزنه ٣ كجم فحص ألواح من الفولاذ والألومنيوم والتيتانيوم وغيرها والتى يتراوح سمكها بين ٦ و ٥٠مم.

خواص الفحص بالترددات فوق الصوتية:

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

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

وأساس هذه الأجهزة مادة خزفية ذات مواصفات خاصة تتمتع بظاهرة الضغط الإجهادى التى تتلخص فى أن الصفيحة المصنوعة من تيتانات الباريوم أو زركونات وتيتانات الرصاص تبدأ بالإهتزاز الميكانيكى تحت تأثير الجهد الكهربائى المتناوب الموصول بها، وتبث حزمة من الذبذبات بثاً عمودياً على سطح الصفيحة، ومن جهة أخرى تنشأ على السطوح المتقابلة للصفيحة الكهربائية، تحت تأثير التشوه الميكانيكى، شحنات كهربائية على شكل تيار كهربائى 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 فى داخل المعدن المراد فحصه شريطة أن يزال الهواء بين سطحى تماس جهاز البث والقطعة المختبرة، ويوفر التماس الصوتى بينهما بتغطية سطح القطعة بطبقة من الزيت المعدنى أو الجليسرين الصناعى.

<u>الاختبار بأشعة رونتجن وأشعة جاما :</u>

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

وتنقص شدة الأشعة عادة عند مرورها فى المادة، إذ يضعف الإشعاع بحسب قانون معين تبعاً للتركيب الكيمياوى للمعدن المفحوص وسمكه وطاقة الإشعاع، ويجرى تسجيل الشدة المتغيرة للإشعاع المار فى الجسم المفحوص، من السطح المقابل للسطح المفحوص بواسطة صفيحة تصوير إشعاعى كاشف، أو بواسطة منظومة بصرية إلكترونية أو بعداد إلكترونات.

ويضعف الإشعاع عند مروره فى المعدن الحاوى على عيوب جيب غازى أو مادة خبيثة أو شقوق أو غيرها لكنه أقل مما فى المعدن المصمت، وعند تسجيل العيب بواسطة صفيحة التصوير الإشعاعى فإن الإشعاع يترك على مادة الصفيحة تأثيراً كيمياوياً يظهر اسوداداً فى 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 «للورش» أو ثابت للمخابرات، وأكثرها يعمل بتوتر ١٢٠ ك.ف، وبأقصى تيار للمصعد (Anode) ٥- ١٠أمبير ، 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 خطرة جداً على الإنسان.

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

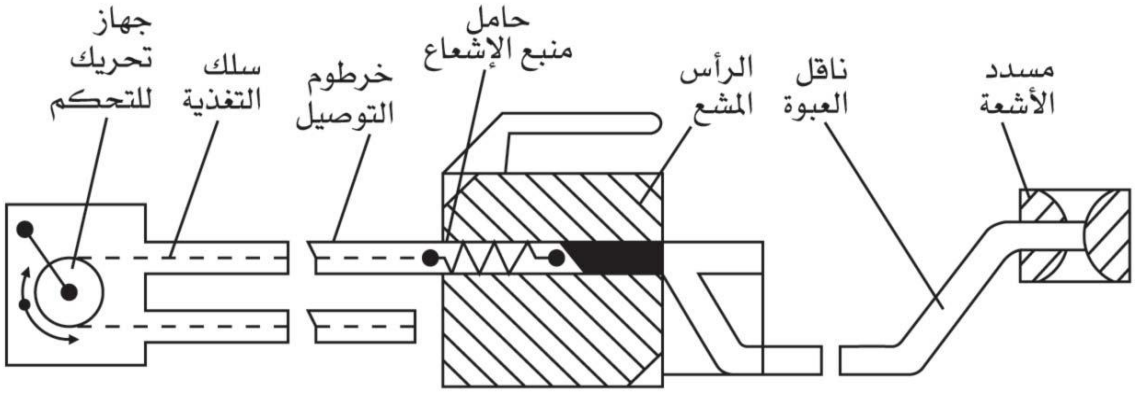
وعندما يستلزم الأمر فحص الفولاذ الذى يزيد سمكه عن ٧٠مم فيجب الحصول على أشعة X بكثافة كبيرة من المسرِّعات الخطية ومن الميكروترونات والبيتاترونات، وهذه الأجهزة تولد أشعة X بكثافة وحساسية أكبر للفحص ويكون زمن الفحص أقل.

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 ٤مم فى لوح سمكه ١٠٠مم، وتتمتع الأنواع المختلفة من النظائر المشعة بحساسية نسبية مختلفة.

والشكل التالى يوضح : مخطط جهاز أشعة جاما



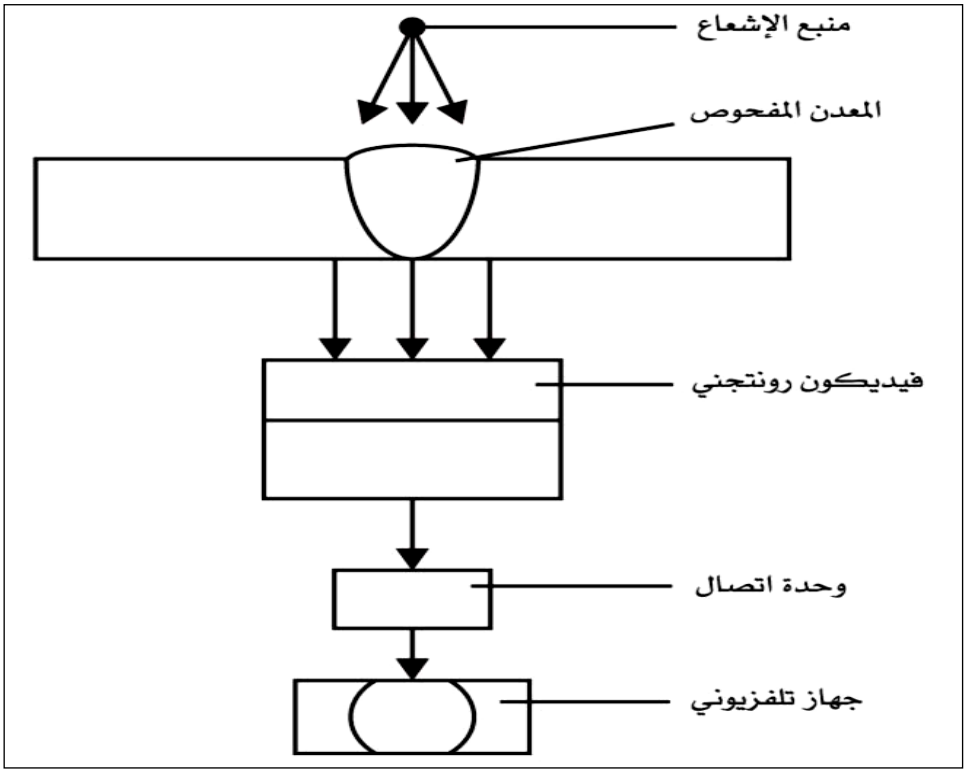
ويتم التحضير للتصوير بإختيار صفيحة التصوير بأشعة X بموجب جداول ومخططات بيانية، أما فى الإختبار المعتمد على أشعة جاما فيستعان بمخططات بيانية معيارية لتحديد زمن التعرض للإشعاع والمسافة بين مصدر الإشعاع ونوعية الصفيحة التصويرية الحساسة.

الكشف الداخلي 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 ٧٠مم وبحساسية ٣-٤٪ وبسرعة مسح مقدارها٥.١مم/ 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 رونتجنياً، وتُحوَّل الصورة الرونتجنية 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 بواستطها 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 التلفزيونيه 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)

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

8- Materials Science at Oxford University.

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

10- Materials Science and Technology. Teachers Handbook. Pacific Northwest National Laboratory. Richland, Washington. Published in 1994,

العام التدريبى
2016/2017

حقوق الطبع والنشر محفوظة لمصلحة الكفاية الإنتاجية والتدريب المهنى