



القسم الثانى

خواص واختبار المعادن



الأجسام البلورية والأمورفية (الغير متبلورة) :

تتكون جميع الأجسام من ذرات، وتسمى الأجسام التيث يكون وضع الذرات فيها عشوائيا، دون نظام معين بالأجسام الأمورفية (أي غير متبلورة)، ومن أمثلة هذه الأجسام الزجاج والشمع والقار، والمواد الأمورفية ذات البنيان الذي لا يتخذ أي شكل معين (أيزوتروبية) الخواص، أي أن خواصها الطبيعية في جميع الإتجاهات واحدة .

وعلي العكس من ذلك نجد أن الذرات بالأجسام البلورية تتنظم فيما بينها في نظام دقيق محكم وقد تختلف الخواص الطبيعية لهذه الأجسام إختلافا كبيرا في الإتجاهات المختلفة، ويقال أن هذه الأجسام ذات خواص (أنيزوتروبية).

ومن الصفات المميزة للمعادن بريقها المميز وعدم شفافيتها، وتوصيلها للكهرباء والحرارة .

فالعالم الروسي م. ف. لومونوسوف هو أول من أعطي تعريفا واضحا للمعدن في عبارة التالية : " المعادن هي أجسام لامعة يمكن طرقها " وهذه الصفات المميزة للمعادن عبارة عن إنعكاس للبناء الذري وتتحد هذه الصفات المميزة للمعادن بخواص العناصر الداخلة بها وبأشكال تجمع الذرات بها، البناء الذري في في المعادن وتجمعات الذرات وتكون جميع المعادن والسبائك المعدنية في الحالة الصلبة، مهما كانت طريقة إستخلاصها أو تشغيلها ذات بناء بلوري بارز المعالم، وبما أن ذرات الأجسام البلورية عامة (وذراتالمعادن علي وجهه الخصوص)

توجد في مستويات وأوضاع فراغية مضبوطة تماما لذا فهذه الذرات تكون فيما بينها مايعرف بالشبكة البلورية الفراغية .

1- الشبكات البلورية للمعادن:

وضع العالم الروسي ي ، س ، فيدوروف في القرن التاسع عشر أسسا لعلم البلورات ونظرية بنائها وهو صاحب الفرض القائل بتوزيع الذرات المنتظم في البلورات . ولقد أثبتت الدراسات التالية لهذه المسألة والتي أجريت في مطلع القرن العشرون والتي أستخدمت فيها الأشعة السينية أن فرض فيدوروف حول وجود الشبكات البلورية صحيح تمام الصحة. وإن أكثر أنواع الشبكات البلورية إنتشارا في المعادن هي :

الشبكة المكعبية متمركزة (مركزية) الحجم (الجسد) :

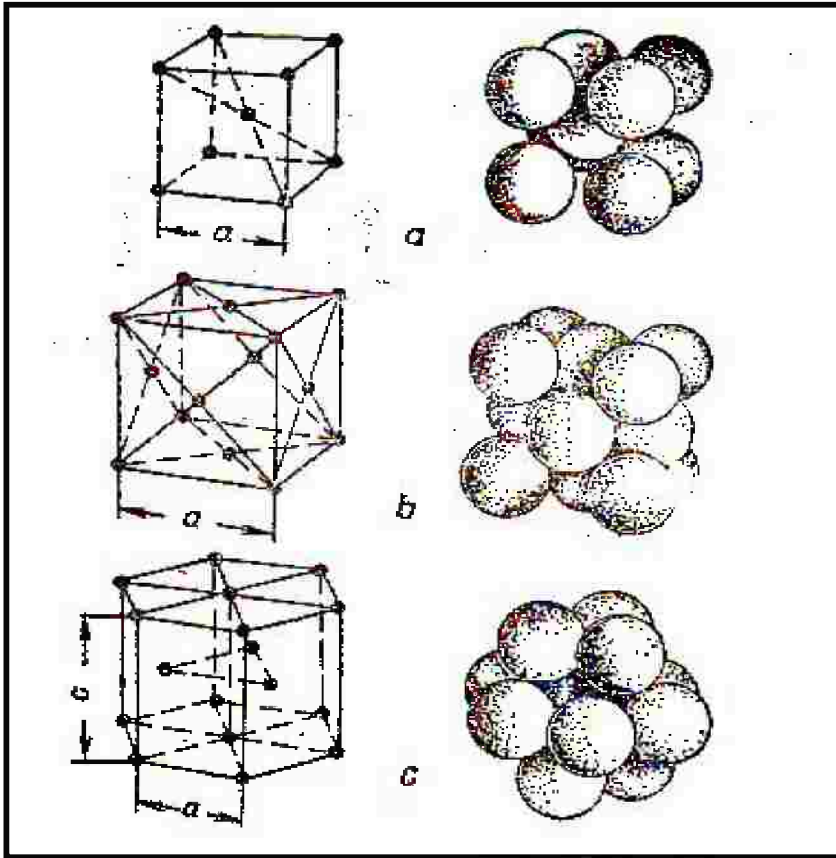
وهي عبارة عن مكعب مركزي من تسع ذرات : ثمانية منها تقع في أركان المكعب ، التاسع في مركزة (داخل المكعب) .(شكل 17) وكثير من المعادن ذات شبكة مكعبة متمركزة الحجم ، ومن أمثلة هذه المعادن " الليثيوم والصدىوم والبوتاسيوم والفاناديوم والكروم والحديد والروبيديوم والنيوبيوم والموليبدنوم والولفرام (التنجستن) وغيرها " .

وتختلف متغيرات الشبكة (ضلع المكعب) لكل معدن وفيما يلي أطوال المكعب بالأنجستروم :

(A) لبعض هذه المعادن : الليثيوم - 3,5 ، البيريليوم - 3,04 ،
الولفرام 3,15 ، الحديد 2,87 - المليدنيوم 3,14 - الكروم

الشبكة المكعبية متمركزة الوجهة :

وتتكون الوحدة الأولية لها (شكل 17) من 14 ذرة ثمانية منها في أركان المكعب وستة ذرات كل منها في مركز من أوجه المكعب الستة والمعادن التالية ذات شبكة مكعبية متمركزة الوجهة : الألومنيوم والكالسيوم والحديد والنيكل والنحاس والكوبالت والبلاديوم والفضة والبلاتين والذهب والرصاص .



(شكل 17) وضع الذرات بالوحدات الأولية للشبكة البلورية
(a) المكعبية المركزية الداخلية (b) المكعبية متمركزة الوجهة
(c) المسدسية المزدحمة التكديس

وفيما يلي طول طول ضلع المكعب بالانجستروم (A)
لبعضها : الألومنيوم 4,05 الحديد 3,63 الذهب 4,08 النحاس
3,6 الرصاص 0 4,94

وفيما عدا الشبكت المكعبية نتشر كذلك في المعادن
الشبكة المسدسية ووحدتها الأولية ليست مجرد منشور
سداسي تقع الذرات في ألاكاة الأثني عشر بل هي عبارة عما
يسمي بالوحدة المسدسية المزدحمة التكديس (المكتظة)
(شكل 17 c) وبها بالإضافة إلى الذرات الموجودة في الأركان
وفي مركزي القاعدتين المسدستين ثلاث ذرات أخرى بداخل
الوحدة ..

وبالإضافة إلى متغيرات الشبكة البلورية يعتبر عدد
الذرات الموجود بالوحدة الأولية والمحيطه بكل ذرة من ذرات
الشبكة البلورية من الخواص الهامة للشبكة ويسمي هذا
العدد بعدد الترابط، وكلما زاد عدد الترابط كلما كانت
الشبكة أكثر تكديسا (إكتظاظا) بالذرات، وعلي سبيل
المثال فاللذرة بالوحدة الأولية المكعب البسيط (شكل 17 c)
سته جارات تقع كلها علي أبعد متساوية عنها أي عدد الترابط
لهذه الوحدة 06 ودرجة أمتلاء هذه الوحدة بالذرات (معامل
التكدس) تساوي 0,52 أي أن 52% من فراغ هذه الشبكة تملؤة
الذرات و48% الباقية مسام .

وبالشبكة البلورية المكعبية متمركزة الحجم
(شكل 17 a) لكل ذرة ثمانى جارات قريبة، أي أن عدد الترابط
يساوي 08 ومعامل التكدس لهذه الشبكة 0,68 وفي

الشبكة المكعبية متمركزة الوجهة (شكل 17 b) والشبكة
المسدسية المزدحمة التكديس (شكل 17 c) تحيط بكل ذرة
إثنا عشر جاره قريبة وعدد الترابط لهذه الشبكات 12 لكل
مم الشبكتين ومعامل التكديس لكل منهما 0,74 ومن
الصفات الهامة للبنيان البلوري كذلك عدد الذرات التي تعد من
نصيب كل وحدة أولية للشبكة ،

وعلي سبيل المثال فكل ذرة من الذرات الموجودة بأركان
المكعب في الشبكة المكعبية متمركزة الحجم (شكل 17 a)
(تحتسب كثمان ذرة في الوحدة الأولية ناشئ عن أن كل ذرة من
هذه الذرات توجد في آن واحد في ثمان وحدات أولية ، ولما كان
عدد مثل هذه الذرات 8 إذا فتحتسب جميع هذه الذرات في الخلية
بذرة واحدة ($1 = 8 \times \frac{1}{8}$) اما الذرة الموجودة بالمركز فتحتسب
بجملتها في الوحدة الأولية وبالتالي فنصيب الوحدة الأولية من
الذرات : ($2 = 1 + 8 \times \frac{1}{8}$) ذرتان وفي حالة المكعب المركزي
الوجهة تصيب الوحدة الأولية أربع ذرات : $1 = 8 \times \frac{1}{8}$ ذرة من
الذرات الثماني الركنية و $3 = 6 \times \frac{1}{2}$ ذرات من ذرات مراكز
الأوجه .)

الترابط بين الذرات في الشبكة البلورية :

يحمل هذا الترابط طابعا خاصا يسمى بالترابط
(المعدني) فالفلزات الموجودة في أركان الشبكة البلورية تتنازل
بسهولة عن الكترونات تكافئها وتتحول إلى أيونات موجبة
الشحنة ، وهكذا فتكون في أركان الشبكة البلورية أيونات
موجبة بدلا من الذرات المحايدة. ويمتلئ الفراغ بين الأيونات

بالإلكترونات السالبة الشحنة - أى بما يسمى (بالغاز الإلكتروني) وتحدد الإلكترونات الحرة التي تنجذب في وقت واحد إلى عدة أيونات موجبة الصلة بين هذه الأيونات .

2- خصائص بناء الأجسام البلورية :

يعطي الوضع الهندسي المنتظم للذرات في الأجسام البلورية سمات خاصة لخواص هذه الأجسام تميزها عن خواص الأجسام غير البلورية أو الأمورفية ، وأول هذه السمات كما بينا أعلاه هي أنيزوتروبية الخواص الطبيعية للبلورات في الإتجاهات المختلفة ، فلو أخذنا بلور مفردة كبيرة من المعدن (وتسمى أحيانا - مونوكريستال) وقطعنا منها عينات في اتجاهات مختلفة بالنسبة لمحور البلورة وأجرينا عليها الاختبارات لتعيين خواصها الميكانيكية والطبيعية لحصلنا علي إثبات واضح للأنيزوتروبية ، وعلي سبيل المثال تبين التجارب التي أجريت علي العينات المأخوذة من بلورة النحاس أو نقطة الكسر (المقاومة القصوي) تتراوح في اتجاهات المختلفة من 14 إلي 35 كج/ مم² وأن الإستطالة النسبية تتراوح من 10 إلي 55 ٪ كما أن توصيلها للحرارة والكهرباء يختلف إختلاف كبيرا في الإتجاهات المختلفة وللأنيزوتروبية - وهي النتيجة الحتمية للوضع الهندسي المنظم للذرات في الشبكة - أهمية كبيرة في الهندسة والتكنيك ولكن المعادن تتكون عادة من عتد كبير من البلورات المختلفة في المعدن إلي تماثل خواص المعدن العديد البلورات في الإتجاهات المختلفة عمليا ، وتسمى هذه الظاهرة بالكوازي إيزوتروبية (أى الشبة أيزوتروبية) وبالطبع فكلما كانت حبيبات المعدن أدق

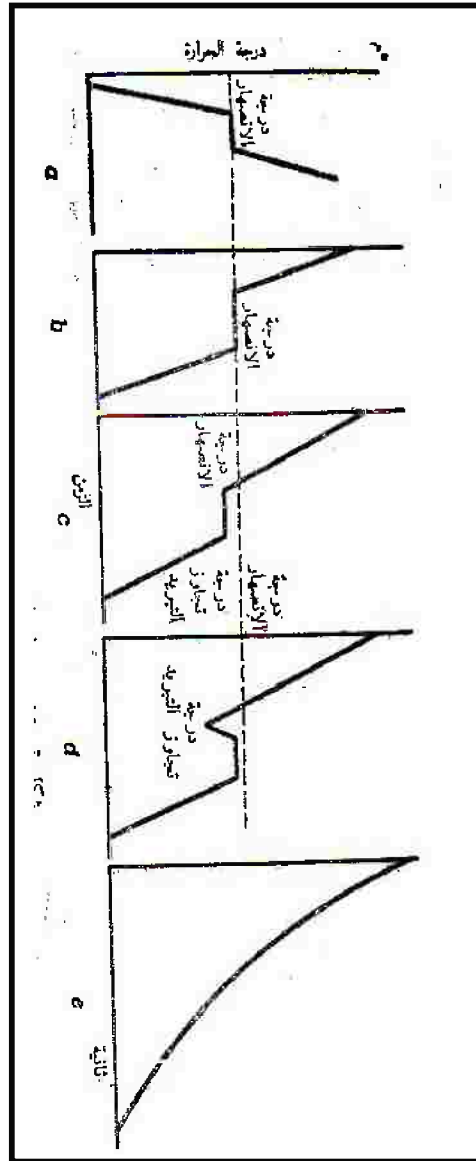
كلما كان المعدن أكثر أيزوتروبية، وينتج عن بعض عمليات التشغيل علي البارد توجيه سائد للحبيبات في إتجاه واحد : فتمتد محاور الحبيبات بطول خط التشغيل أي في إتجاه الدلفنة أو السحب مثلاً، وعند وجود مثل هذا البنيان (ويسمى كذلك بالنسيج) تلاحظ أنيزوتروبية الخواص، وعلي سبيل المثال فالخواص الميكانيكية للألواح المدلفنة علي البارد مقاسة في إتجاه الدلفنة تختلف عنها في الإتجاه العمودي علي إتجاه الدلفنة

3 - تبلور المعادن النقية :

توجد المواد في حالات ثلاث : الحالة الصلبة والسائلة والغازية ، والسبب في تحويل المواد تحويل المواد من حالة إلي أخرى هو أن الحالة الجديدة أكثر إستقراراً من الحالة الأولى .

ويمكن تتبع وجود التحولات في المعدن علي منحنيات تسخينية وتبريدية المرسومة في نظام إحداثيات درجة الحرارة والزمن طبقاً لنتائج التجارب (شكل 18) فالمعدن الصلب عند تسخينه لدرجة حرارة معينة يبدأ في الإنصهار ونظراً لإمتصاص المعدن للحرارة الكامنة للإنصهار فإن درجة حرارته تبقى ثابتة ويظهر ذلك في الجزء الأفقي من منحنى التسخين (شكل 18 a) ولا تود درجة الحرارة إلي الإرتفاع في الجزء المائل من المنحنى إلا بعد الإنصهار الكامل (شكل 18 a)

- A - منحني التسخين
- B - منحنى التبريد دون تجاوز للتبريد
- C - منحني بتجاوز للتبريد 0
- D - منحنى لتجاوز التبريد 0
- E - منحنى تبريد مادة أمورية "غير متبلورة"



شكل رقم 18

منحنيات تسخين وتبريد المعدن النقي

وبالمثل فإن المعدن المصهور يبرد تدريجيا حتي درجة حرارة التبلور ولكنه يتجمد عند درجة حرارة ثابتة .

*** [يتحد الاستقرار بالطاقة للزائد ، وتتحول المواد من الحالة ذات الطاقة الكبيرة إلي الحالة ذات الطاقة الأقل ذاتيا وبذلك فالحالات المستقرة هي تلك التي تملك أقل مقدار من الطاقة الزائدة] .

(الجزء الأفقي) ويشير هذا إلي فقدان الحرارة بالتبريد تعوضة الحرارة الكامنة للتبلور ، وعند إنهاء التجمد تنخفض درجة الحرارة تدريجيا (شكل 18 b) ولما كانت درجتا حرارة التبلور والإنصهار بمنحنيات التبريد والتسخين (شكل 18 a , b) تطبقان فإن هذه المنحنيات تصف عملية التحويل المتوازن للمعدن .

أما ما يحدث عمليا ، فإن التبلور يجري عند درجة حرارة أقل قليلا من درجة حرارة الإنصهار ، أي أن الجزء الأفقي من منحني التبريد الذي يجري عنده التجميد منخفض عن درجة حرارة الإنصهار المتوازنة كمما هو مبين (بشكل 18 c) وتسمى هذه الظاهرة " بالتبريد المتجاوز " (النظرية) والفعلية للتبلور بدرجة التبريد المتجاوز أو المقدارة .

وعلي سبيل المثال : درجة تجمد الأنثيمون المتوازن t ص = 631°م فإذا كتان الإنثيمون السائل يتجاوز عند تبريده هذه الدرجة إلي درجة :

$t = 595^{\circ}\text{م}$ ويبدأ التبلور عند هذه الدرجة فأً درجة التبريد المتجاوز

$$n = 631^{\circ} - 595^{\circ} = 36^{\circ}\text{م}.$$

ونظراً للتجاوز الشديد للتبريد تتكون على منحنى التبريد (شكل 18 d) تشير إلى أن الحرارة الكامنة للتجمد تخرج فجأةً من المعدن عند التبلور نظراً لتجاوز التبريد الشديد، مما ينتج عنه ارتفاع فجائي لدرجة حرارة المعدن تقترب معه إلى t ص.

وتتوقف درجة تجاوز التبريد على سرعة التبريد. فكلما كان التبريد أسرع كلما كان التجاوز أكبر، أما الأجسام **الامورفية** (الغير متبلورة) فنها تتجمد بالتدريج ولا تنتقل انتقالاً مفاجئاً من الحالة السائلة إلى الحالة الصلبة، وبالتالي ليس لها درجة معينة للتجمد، ولهذا فإن منحنيات تبريد المواد **الامورفية** ذات طابع تدريجي كما يظهر بشكل (18 e)

4 – آلية عملية التبلور :

لقد درس مؤسس علم خواص واختبار المعادن د. ك. تشيرنوف بناء الصلب المصبوب و أثبت أن عملية تبلور النعدن تتكون من عمليتين اساسيتين :

(1) تكون مراكز أو انوية للتبلور .

(2) نمو البلورات حول هذه المراكز أو الانوية .

فعند درجة حرارة التبلور تتكون في المعدن السائل مراكز للتبلور، ثم تتجمع حولها الذرات مكونة بلورات ذات شكل هندسي منتظم و لما كان عدد كبير من هذه الانوية يظهر في وقت واحد ثم تنمو

البورات فى جميع الاتجاهات، فان البلورات المتجاورة باصطدامها فيما بينها تعوق النمو الحر لكل بلورة، و تكون سرعة نمو البلورات على أقصاها فى اتجاه التيار الحرارى . و يؤدى هذا الى تكون بلورات ذات شكل خارجى غير منتظم هندسيا بالرغم من ان بناء اخلى هندسى منتظم، و تسمى هذه البلورات ذات الشكل غير المنتظم بالكريستاليتات أو البوليدرات كما انها تسمى ايضا بالحبيبات .

مراكز التبلور و نموها :

عند التبريد السريع ، و بالتالى عند تجاوز التبريد للمعدن المنصهر يزداد عدد مراكز التبلور التى تظهر فى وحدة الزمن (الدقيقة) فى وحدة الحجم (سم³) زيادة كبيرة .

و تؤيد الخبرة اليومية فى انتاج المسبوكات هذه الحقيقة ، اذ انه يتكون بالمسبوكات ذات الجدران الرقيقة نتيجة لسرعة التبريد بنيان دقيق الحبيبات، أما فى المسبوكات ذات الجدران السميكة فنظرا للتبريد البطيء يكون بنيانها كبير الحبيبات .

و للحصول على بيبات بالحجم المطلوب يجب ضبط سرعة التبريد فى المسبوكات باتخاذ الوسائل الصناعية : بوضع مبردات أو بالصب فى فورمات معدنية الخ ..

و عدا ذلك تنتشر انتشارا واسعا فى الانتاج الحديث الوسائل الصناعية لخلق مراكز اضافية للتبلور اضافية للتبلور باضافة مواد خاصة تسمى بالمعادلات الى المعدن المصهور .

ومن أمثلة ذلك اضافة الالومنيوم و التيتانيوم الى الصلب و اضافة الفروسليكون و الماغنسيوم و النحاس الى الزهر الرمادى و الصوديوم الى السيلومين الخ

5 – الألوتروبية (تآصل و تعدد اشكال) المعادن :

يمكن ان يكون لبعض العناصر المعدنية كالحديد و المنجنيز و الكوبلت و القصدير حسب درجات حرارتها شبكات بلورية مختلفة البنيان و بالتالى تختلف خواص هذه البلورات ، و تسمى هذه الخاصية بالألوتروبية (التآصل أو تعدد الاشكال) أو البولي مورفيزم . و جرت العادة على الرمز للحالات الألوتروبية بالأحرف اليونانية α ، β ، γ الخ .

و يصحب تحول حالة الألوتروبية للمعدن الى حالة اخرى امتصاص للحرارة عند التسخن و باطلاق لهذه الحرارة الكامنة عند التبريد و لهذا يجرى التحول عند درجة حرارة ثابتة . و يمثل التحول الألوتروبي على منحنى التحول الحرارى (فى احداثيات درجة الحرارة – الزمن) بجزء افقى (توقف) .

و التحول الألوتروبي عبارة عن تبلور ثان للمعدم و هو مشابه لعملية التبلور الاول للمعدن من السائل : فلبداً التحول الألوتروبي يجب ان يكون هناك تجاوز للتبريد بالنسبة لدرجة الانصهار و التجمد الوازنين ، ثم ينشأ عن تجاوز التبريد تكون عدد من مراكز التبلور تأخذ فى النمو حتى تصبح حبيبات جديدة .

وبشكل (19) يبين منحنى تبريد الحديد الذى يوضح التحولات الألوتروبية الحديد فتوقف درجة الحرارة أثناء التبريد عند درجة 1535 ° م ناتج عن التبلور الاول للحديد .

و فى المنطقو من 1535 ° م – 1390 ° م يكون الحديد ذا شبكة بلورية مكعبية متمركزة الحجم طول ضلع مكعبها 2.93 أنجستروم (Å) و يسمى بحديد δ (Fe δ). و عند درجة حرارة 1290 ° م تتحول الشبكة المكعبية متمركزة الحجم الى شبكة مكعبية متمركزة الوجه طول ضلع مكعبها 3.65 أنجستروم (Å) اى ان حديد δ يتحول الى حديد γ (Fe γ).

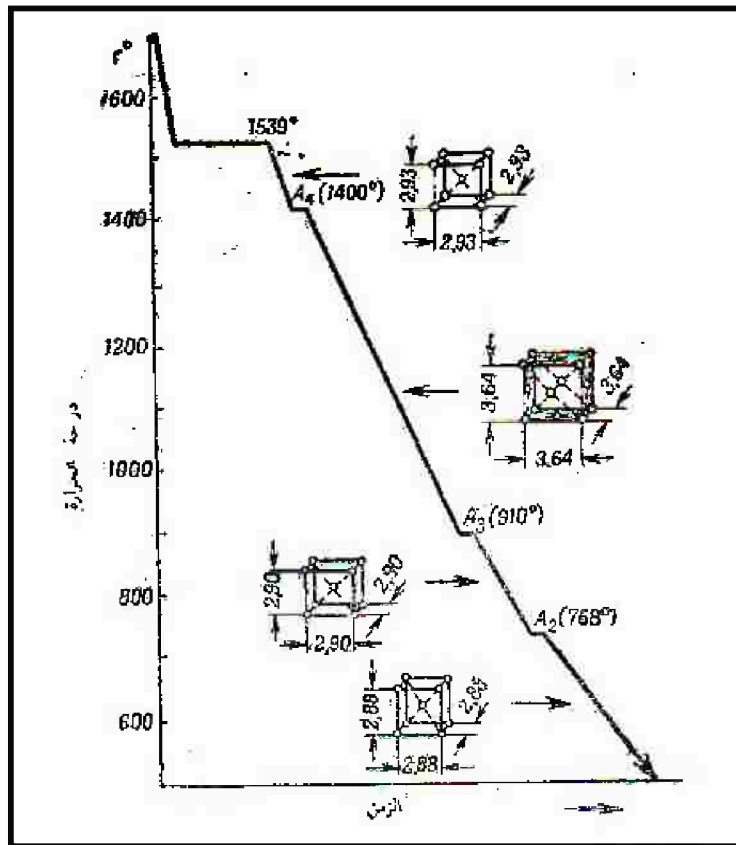
و فى المدى من 1390 ° - 900 ° م يكون الحديد فى الحالة الألوترابية γ .

و عند درجة 910 ° م تتحول الشبكة المكعبية متمركزة الوجه لحديد γ الى شبكة مكعبية متمركزة الحجم : Fe α طول ضلع مكعبها 2.90 Å ، و فى درجات الحرارة الاقل من ذلك يحتفظ الحديد بشبكة مكعبية متمركزة الحجم .

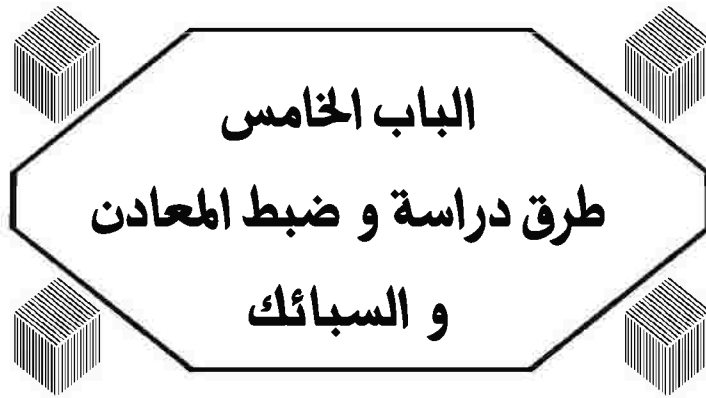
أما الخط الافقى على منحنى التبريد و المقابل لدرجة 770 ° م فهو ناتج عن ظهور الخواص المغناطيسية للحديد و ليس عن اعادة بناء الشبكة البلورية :

فالحديد α - فوق هذه الدرجة غير مغناطيسى (و يسمى احيانا بحديد β) أما فى تحت 770 ° م فحديد α - مغناطيسى .

و يسبب تغيير بناء الشبكة البلورية للحديد تغيير بعض صفاته : فحديد α - مثلاً يكاد لا يذوب الكربون الكربون، أما حديد γ فيذيب الكربون بنسبة تصل الى 2 % و يذوب الكربون فى حديد δ بنسبة تصل الى 0.1 % .



شكل 19 منحنى تبريد الحديد النقي



الباب الخامس

طرق دراسة و ضبط المعادن

و السبائك

1- تحليل البنيان المرئى :

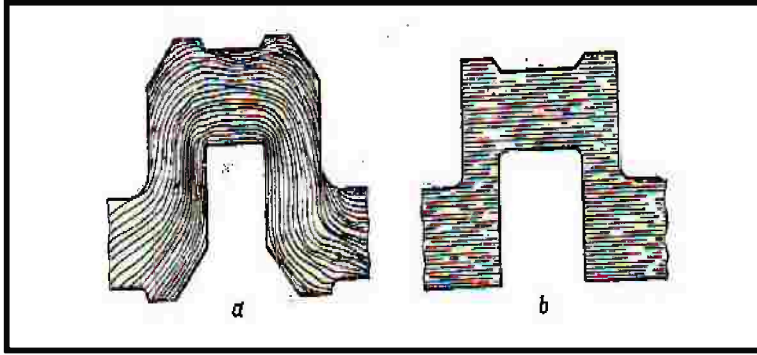
ويسمى بنيان المعادن و السبائك الذى تمكن رؤيته بالعين المجردة او بتكبير لا يزيد عن 30 بالبنيان المرئى لها . ومن أمثلة تحليل البنيان المرئى تحديد حجم الحبيبات و عمق الطبقة المكرينة و درجة تلوث السبيكة المصبوبة بالخبت الخ..

وذلك برؤية مكسر المعدن، و يجرى تحليل البنيان المرئى عادة على عينة تجهز خصيصا لذلك و تسمى بشريحة البنيان المرئى، و لتجهيز مثل هذه الشريحة تقطع المصنوعة المراد فحصها فى مستوى معين يناظر المكان المراد اختبار العينة فيه ثم تقطع فى هذا المستوى طبعة مسطحة و يكشط سطح الطبعة أولا ثم يصنفر بصنفرة مختلفة الحبيبات، و يبدأ بأخشنها حتى الوصول الى انعمها ثم يعرض السطح المصنفر بعد ذلك للتآكل (النمشى) بواسطة عامل كاشف يصبغ مكونات البنيان بألوان مختلفة أو يذيبها بدرجات مختلفة، و يمكن من البنيان المرئى

(شكل 20) الحكم على اتجاه الالياف فى الاجزاء المطروقة

و المعدة بالكبس .

و كذلك على حجم و شكل و وضع الحبيبات فى المسبوكات، و على عزل (تركيز) الكبريت و الفوسفور فى الصلب و وجود فجوات التجمد و الشقوق و هشاشة الترسيب .. الخ ..

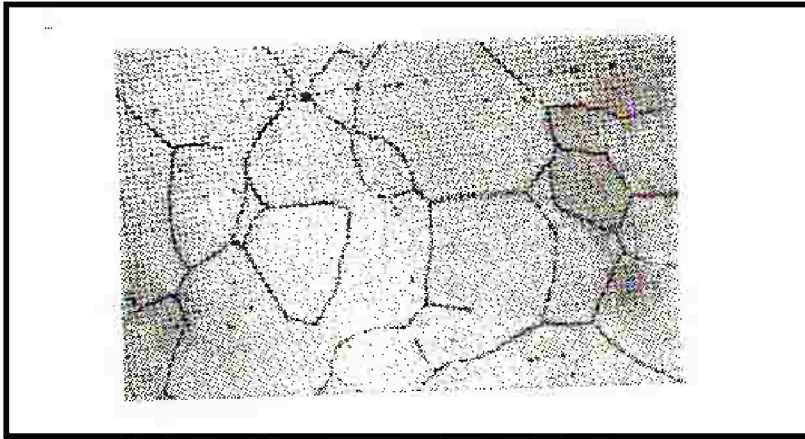


شكل (20) البنية الميكروسكوبية (المرئية) لمقطع طولى لعمود مرفق : (a)
عمود مكبس وضع الالياف حسب الشكل (b) عمود مقطوع من خامه
مسطحة ، الالياف مقطوعة .

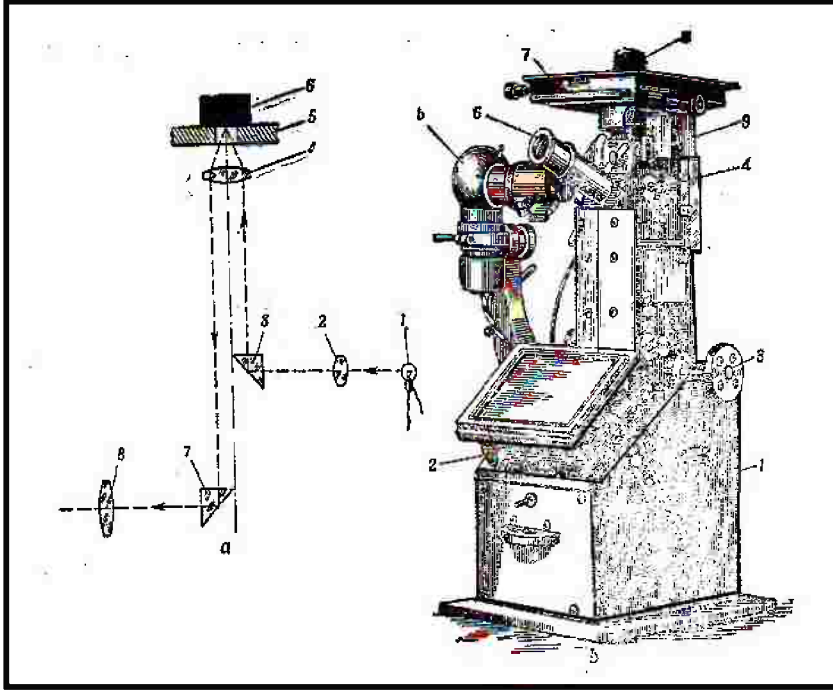
التحليل الميكروسكوبى :

يسمى بنيان المعادن و السبائك عند دراسته بتكبير من 30-1500 باستعمال الميكروسكوب بالنيان الميكروسكوبى لها . و قد اقترح اجراء التحليل الميكروسكوبى العالم الروسية ب . ب . أنوسوف فى سنة 1831 م . و يمكن بواسطة تحليل البنيان الميكروسكوبى (شكل 21) تحديد حجم و شكل الحبيبات و وجود العيوب الميكروسكوبية ، و طبيعة المعاملة الحرارية أو الحرارية الكيميائية و التركيب الكيميائى للصلب الكربونى المراجع و تحديد مكونات السبيكة .. الخ .. و لتجهيز العينات تقطع قطعة صغيرة من المعدن المراد بحثه و يجلى أحد سطوحها و يصقل ثم يعرض للنمى و تعرض العينات المصنوعة من الصلب أو الزهر عادة للنمى بواسطة عامل كاشف عبارة عن محلول من حامض النيتريك (فى الكحول) بنسبة 4 % ، و تفحص العينة المجهره بهذه الطريقة بواسطة الميكروسكوب المتالوجرافى الذى يعمل بمبدأ انعكاس الضوء . و بشكل (a22) رسم تخطيطى لسير

الاشعة فى الميكروسكوب المتالوجرافى العادى المستعمل للابحات يستعمل الميكروسكوب الالكترونى الذى يمكن بواسطته دراسة بنيان المعاد بتكبيره قدره 25000 او أكثر، وتستعمل فى الميكروسكوب الالكترونى الاسعة الالكترونية بدلا من الاسعة الضوئية ، ولا تفحص بواسطته العينة ذاتها و لكن تفحص طبعة مأخوذة منها على الكوارتز أو على مادة كوللويدية تعكس معالم السطح المبحوث بعد تعريضه للنمش بواسطة العامل الكاشف .



شكل (21) البنية الميكروسكوبية للحديد ، حبيبات من الفريت ،
المظهر الفعال : محلول بنسبة 4 ٪ من HNO₃ التكبير × 100



شكل (22)

الميكروسكوب الميتالوجرافى :

(a) رسم تخطيطى لسير الاشعة :

- 1- مصدر الضوء. 2- مكثف. 3- منشور. 4- الشيئية.
- 5- مائدة العينات. 6- العينة المجهرية. 7- منشور. 8- العينية.

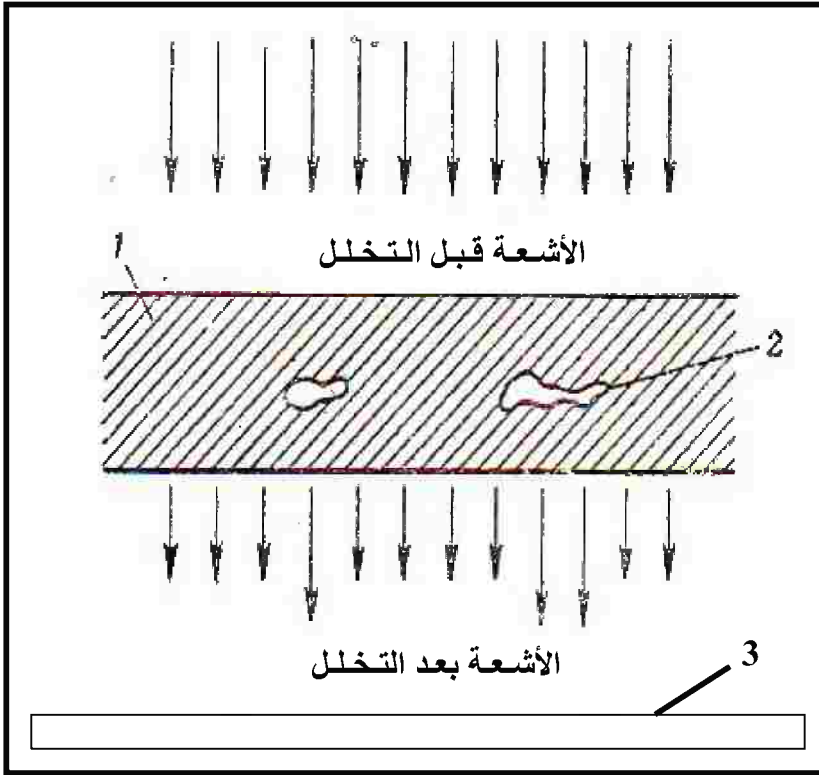
(b) الشكل الخارجى للميكروسكوب :

- 1- البدن. 2- غرفة تصوير. 3- مسمار الضبط الخشن.
- 4- مسمار الضبط الدقيق. 5- مصدر الضوء. 6- العينة.
- 7- مائدة العينات. 8- العينة المجهرية. 9- الميكروسكوب.

2- التحليل بأشعة رونتجن :

أشعة رونتجن ذات طبيعة مشابهة للأشعة الضوئية ولكنها تختلف عنها بقصر موجتها التي في الحدود من 2×10^{-8} إلى $0,06 \times 10^{-8}$ سم، ويمكن بأستعمال أشعة رونتجن لإجراء ثلاثة أنواع من الدراسات للمعادن والسبائك :

- 1) التحليل بأمرار أشعة رونتجن ، (2) تحليل بنيان المعادن
- 3- التحاليل الطيفي



رسم تخطيطي لنقص شدة أشعة رونتجن عند مرورها خلال المعدن

- 1- جزء مسبوك ، 2- فجوة ، 3- فيلم

الشكل رقم (33)

التحليل بأمرار أشعة رونتجن :

ويعتمد علي قدرة أشعة رونتجن - نظرا لقصر موجتها - علي إختراق الأجسام التي لا تسمح بنفاذ الأشعة الضوئية ويمكن بهذه الطريقة الكشف عن العيوب الداخلية للمسبوكات والمطروقات والوصلات الملحومة دون تحطيم الأجزاء المفحوصة ، فالأشعة التي تمر بآماكن التي توجد بها فجوات وفترغات غازية - شكل 33 - تمتص بقدرة أقل، وبالتالي فإن تأثيرها علي اللوحة الفوتوغرافية يكون أكبر من الأشعة الأخرى 0 ويصل العمق الذي يمكن تتخلله هذه الأشعة في الأجزاء المصنوعة من الصلب لآلي 100مم وفي الأجزاء المصنوعة من الألومنيوم وسبائكها إلي 400 مم . وقد بدئ في السنوات الأخيرة في فحص المعادن بأشعة جاما التي تشعها العناصر المشعة كاماناتيوم، الراديوم، والميزوتوريوم ونظيرة كوبلت وغيرها، وطبيعة أشعة جاما مشابهة لطبيعة أشعة رونتجن ولكن أمواجها أقصر، ولذلك فقدرتها علي النفاذ أكبر بكثير من قدرة الأشعة السينية علي الفاذ .

تحليل بنيان المعادن :

ويعتمد على قدرة المستويات الذرية للبلورات على عكس أشعة رونتجن حسب القانون :

$$N\lambda = 2d \sin \Theta$$

حيث :

- n - عدد صحيح. ، λ - طول موجة أشعة رنتجن.
- d - المسافة بين المستويات في البلورة.

Θ - زاوية انعكاس أشعة رونتجن عن المستوى فى البلورة.

و تسجل أشعة رونتجن المنعكسة على لوحة فوتوغرافية للحصول على صورة بالأشعة يمكن دراستها و استنتاج ما يمكن استنتاجه من معلومات . و يسمح تحليل بنيان المعادن بتحديد نوع الشبكات البلورية للمعادن و السبائك و بقياس متغيراتها .

التحليل الطيفي :

و فكرته مبنية على قدرة ذات العنصر فى ظروف الاثارة الدائمة على اشعاع خطوط معينة من الطيف . و يجرى هذا التحليل باستعمال جهاز يسمى (المطياف) او (السبكتروجراف) ، يمكن بواسطته دراسة أطيف الجزء المبحوث دون تحطيمه ، و يجرى على اساس المعلومات التى تحصل عليها التحليل الكمى و النوعى للتركيب الكيميائى للسبائك المنظورة و يستعمل التحليل الطيفى بنجاح لدراسة الصلب و سبائك المعادن غير الحديدية .

3- التحليل الحرارى :

يتلخص التحليل الحرارى فى تحديد درجات حرارة التحولات الطورية (النقط الحرجة) عند تسخين المعدن (او السبيكة) أو تبريده ثم انشاء رسم بيانى للعلاقة بين درجة الحرارة و الزمن . و تدل الانحناءات او الاجزاء الافقية من الرسم (18) على درجة حرارة التحولات من طور لآخر التى يصحبها اطلاق للحرارة (عند التبريد) او امتصاص لها (عند التسخين) و يمكن اجراء التحليل الحرارى فقط فى الحالات التى يصحب تحول المعدن فيها تبادل حرارى ملحوظ .

التحليل التمددى (الديلاتومتري) :

الطريقة التمددية لتحديد النقط الحرجة أكثر حساسية (و بالتالى أكثر دقة) من الطريقة السابقة . و تقوم هذه الطريقة على مبدأ تغير حجم المعدن (أو السبيكة) المنظور فى لحظة التحول . و لا يرتبط مقدار التغير فى الحجم بسرعة التسخين أو التبريد وتعد هذه الخاصية من اهم مميزات التحليل التمددى ، و يجرى قياس درجة الحرارة بأجهزة تسمى بالبيرومترات ، و تقسم هذه الاجهزة حسب مبدأ عملها الى ثلاثة أنواع :

(1) الكهروحرارية . (2) الحرارية . (3) الاشعاعية .

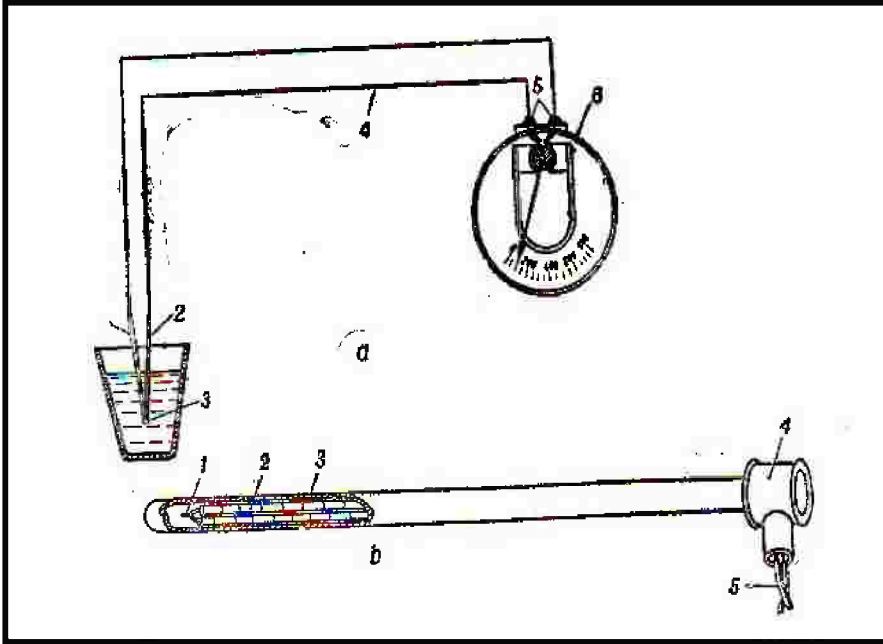
و تستعمل على نطاق واسع البيرومترات الكهروحرارية و الضوئية .

البيرومتر الكهروحرارى :

شكل (24 ، a) ويتكون من ازدواج حرارى و جلفانومتر، و الازدواج الحرارى عبارة عن سلكين 1 ، 2 من معدنين مختلفين ملحومين معا عند أحد الطرفين، و عند تسخين مكان الاتصال 3 يظهر فرق فى الجهد بين الطرفين الحرين يقدر باجزاء من الالف من الفولت . و يوصل الطرفان الحران بواسطة الاسلاك 4 الى طرفى 5 الميلي فولتميتر 6 الذى يتحرك مؤشره من الوضع الصفر بزاوية تتوقف على مقدار فرق الجهد . و بالميلي فولتميتر يوجد تدريجان أحدهما بالميلي فولتات و الثانى بالدرجات . و تستعمل لقياس درجات الحرارة التى لا تتعدى 700 °م ازدواج حرارية من الحديد و الكونستانتان . و قد حظيت الازدواجات الحرارية من الكرومىل و الأليومىل بانتشار

كبير فى ورش المعاملة الحرارية، و تستخدم لقياس درجات الحرارة حتى 1000 ° م .

أما درجات الحرارة الاعلى من ذلك (حتى 1600 ° م) فتقاس بازدواجات حرارية من البلاتين و البلاتينو- ايريديوم و لحماية الازدواجات فى أنبوبة من الخزف أو الكوارتز ثم تغطى بغطاء من الصلب (شكل 24 ، b)

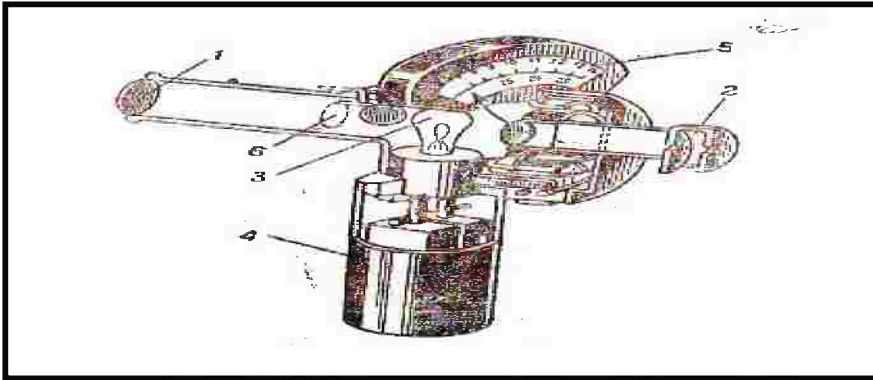


شكل (25) البيرومتر الكهروحرارى :

(a) رسم تخطيطى للبيرومتر الكهروحرارى: 1 ، 2- سلكان من معدنين مختلفين. 3- نقطة الاتصال 4- أسلاك 5- طرفان 6- ميللفولتمتر. (b) شكل خارجى للازدواج الحرارى: 1- نقطة الاتصال 2- جلب من الطين الحرارى 3- غلاف من الصلب 4- رأس 5- أسلاك

البيرومتري الضوئي :

ويقوم بقياس درجة الحرارة بتقدير شدة اضاءة الجسم المتوهج و ذلك بمقارنته بالشعيرة المتوهجة لمصباح كهربائى درجة حرارتها معروفة . و يتكون البيرومتري الضوئى شكل (25) من أنبوبة للرؤية موضوع بداخلها مصباح متوهج تقع شعيرته فى منتصف مجال الرؤية . و يوضع أمام الانبوبة مرشح أحمر لقياس درجة الحرارة فى الحدود من 800 – 1500 °م ، و لقياس درجات الحرارة الاعلى من ذلك يوضع زجاج مدخن لاضعاف شدة الضوء . و عند توجيه الانبوبة الى الجسم المتوهج تشاهد شعيرة المصباح سوداء فى مجال أحمر . و عند توصيل التيار من البطارية و ضبط شدته بالريوستات يبدأ فى تسخين شعيرة المصباح حتى ينطبق الضوء الذى يشعه الجسم المتوهج و الذى تشعه الشعيرة تماما . و يتحرك مؤشر الجهاز حسب قوة التيار المار بالمصباح على تدريج تبين عليه درجة الحرارة المقابلة لتوهج الشعيرة فى اللحظة الراهنة .

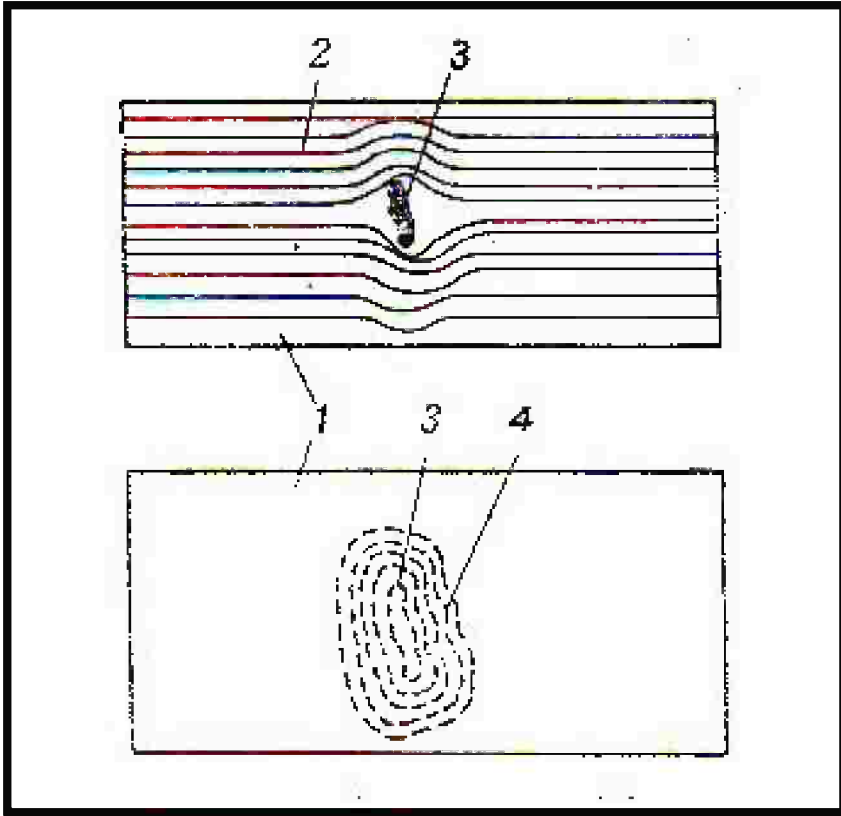


شكل رقم (25) البيرومتري الضوئى :

- 1- الشيئية. 2- العينية. 3- مصباح كهربائى. 4- بطارية. 5-
- تدريج. 6- زجاج مدخن .

4- التحليل المغناطيسي (كشف العيوب بالطرق المغناطيسية):

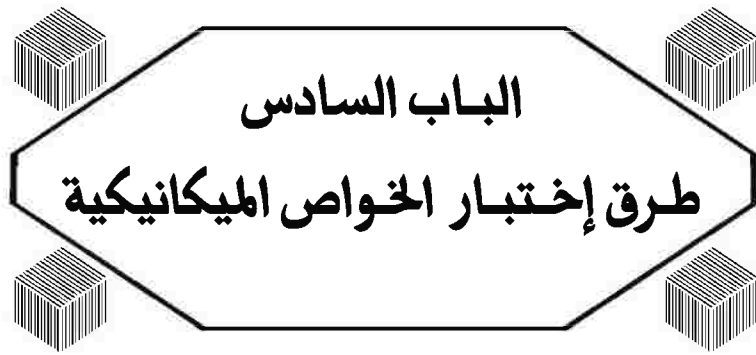
وقد حظيت هذه الطريقة بانتشار واسع لأنها تسمح
بضبط جودة الأجزاء الجاهزة والنصف مجهزة دون إتلافها
وتمغنط المصنوعة المراد فحصها أولاً ، فتتفرق خطوط القوي
المغناطيسية عند الأماكن التي توجد بها عيوب .



الشكل رقم 26

رسم تخطيطي لوضع خطوط القوي المغناطيسية بجزء من عيب
1- الجزء 2- خطوط القوي المغناطيسية 3- خبث 4- خطوط
القوي المغناطيسية عند العيب.

كما تتكون أقطاب عند طرفي العيب وعند نشر البرادة علي المصنوعة (في الطريقة الجافة) أو المستحلب المغناطيسي (في الطريقة الرطبة) تبدأ الدقائق المغناطيسية فبالإنجذاب إلي الأقطاب المتكونة مما ينتج عنة شكل واضح المعالم (شكل 26) يبين مكان وهيئة العيب . وبعد الفحص تزال مغتطة المصنوعة ويمكن بواسطة الطرق المغناطيسية الكشف عن كثير من العيوب مثل الشقوق والشعيرات والفجوات والعصوص غير المعدنية وعدد من العيوب الأخرى.



تحدد الخواص الميكانيكية قدرة المواد علي مقاومة تغير شكلها وإنهيارها عند وقوعها تحت تأثير القوي الخارجية. وتتوقف هذه الخواص علي نوع المادة وطريقة تشغيلها وبنائها الداخلي والشكل المصنوع وعلي عدد من العوامل الأخرى .

وتحدد الخواص الميكانيكية للمواد بأختبار عينات مجهزة خصيصا لذلك علي ماكينات خاصة . وهذه الإختبارات يمكن أن تكون :

- 1- إستاتيكية، عندما تكون زيادة تحميل العينة بطيئة وتدرجية.
- 2- ديناميكية وذلك تحت تأثير قوي خارجية تؤثر بسرعة كبيرة (صدمة).
- 3- متكررة متغيرة عندما يتغير مقدار الحمل وإتجاهة عل مدي الإختبار.

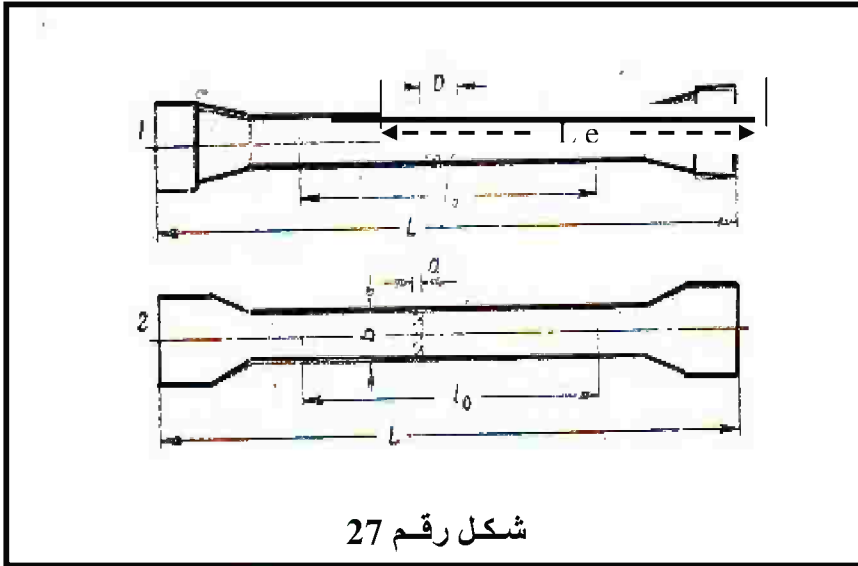
وفيما يلي نستعرض أكثر من أختبارات الخواص الميكانيكية إنتشارا.

1- أختبار المواد بالشد :

يعد إختبار المواد بالشد أختبارا ستاتيكية، ويجري لتحديد متانة المعادن والسبائك ولدونتها :

- متانة : المعدن أو مقاومة هي قدرة المعدن علي مقاومة الإنهيار تحت تأثير القوي الخارجية المؤثرة عليه .

- المرونة : هي قدرة المعدن علي إستعادة شكله عند إزالة التحميل المسبب لتغير الشكل .
- اللدونة : هي قدرة المعدن علي تغير شكله وأبعاده تحت تأثير القوى الخارجية دون أن يتحطم مع أحفاظة شكله الجديد بعد إزالة التحميل .
- وتستعمل لإختبار المواد بالشد عينات أسطوانية ومسطحة عادية وقصيرة وقد وحدت أبعادها وشكل العينات حتي يتمكن مقارنة النتائج بعضها ببعض..

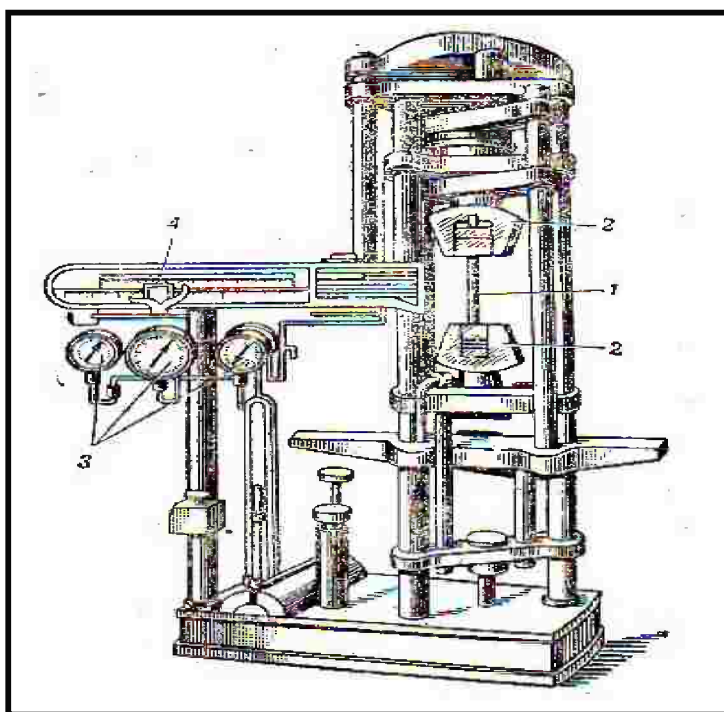


شكل رقم 27

- 1- عينة أسطوانية: L - الطول الكلي للعينة I - الطول الحسابي للعينة
- D - القاطر الابتدائي للعينة 2- عينة مسطحة : A - سمك العينة
- B - عرض العينة

وبشكل 27 أوردنا الشكل العام لعينات اختبار الشد ويسمى الجزء الأوسط من العينة بالجزء العامل ويحدد عتلية الطول الحسابي ويؤخذ مساويا لعشرة أمثال القطر للعينات العادية وخمسة أمثلة للعينات القصيرة وعند اختبار العينات العادية غير الموحدة أو المسطحة يحدد الطول الحسابي للعينة العادية من المعادلة $F_o = 11.3 I_o$

والعينات القصيرة من المعادلة $F_o = \sqrt{5.65 I_o}$ حيث F_o مساحة مقطع العينة بالمليمتر المربع وبشكل 28 رسم لماكينة هيدروليكية لاختبار المواد بالشد، وتثبت العينة 1 قبل الاختبار بواسطة الرؤوس في القوابض 2.

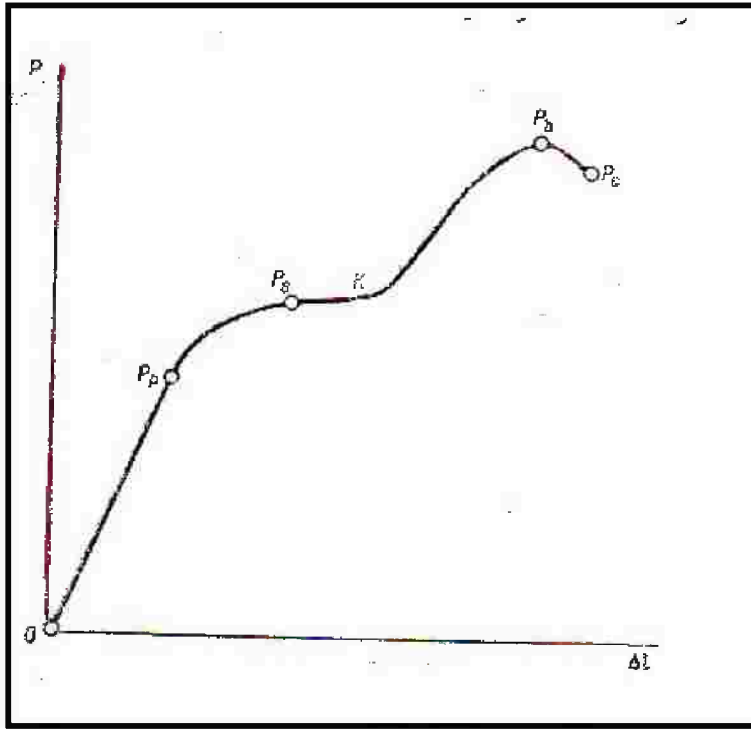


الشكل رقم 28 ويسمى الجزء الأوسط من العينة بالجزء العامل

وعند تشغيل الماكينة يبدأ عمود المكبس في الارتفاع تحت ضغط الزيت الذي تدفقه المضخة تحت تأثير عمود المكبس يبدأ القابض العلوي في الحركة إلى أعلي في حين يظل القابض السفلي ثابتا ولذلك فإن العينة تبدأ في الإستطالة حتي تنكسر ويمكن تحديد مقدار تحميل العينة في أي لحظات التجربة بواسطة المانومتر 3 أو تدرج الماكينة 4 وتزود ماكينات اختبار الشد عادة بأجهزة خاصة ترسم أوتومتيكيا منحنى تغير طول العينة حسب التحميل ويسمى هذا المنحنى بمنحنى الشد .

ولقد أوردنا في الشكل التالي رقم 29 هذا المنحنى لعينة من الصلب اللين (ذي نسبة الكربون المنخفضة) ويمثل المحور الرأسى التحميل P أما المحور الأفقى فيظهر الإستطالة المطلقة للعينة ΔI والنقط والجزاء المميزة بهذا المنحنى هي :

- 1- الجزء المستقيم O--Pp وتحفظ العينة علي مداه بالتناسب بين الإستطالة والتحميل ،
- 2- نقطة الإنحناء الحاد - - - Ps علي المنحنى.
- 3- الجزء الأفقى من Ps - K وفيه تتساب العينة تحت حمل ثابت .
- 4- النقطة Pb وتمثل أقصى حمل (الحمل المناظر لتكوين عنق للعينة) .
- 5- النقطة Pe وتمثل التحميل عند إنكسار العينة .



شكل رقم 29
بيان شد عينة من الصلب الكربوني

وتحدد الإجهادات في النقاط الموضحة أعلاه الخواص التالية :

حد التناسب (المرونة) δp ويحسب من المعادلة

$$\frac{P_p}{F_o} = \delta p \text{ كج/مم}^2$$

حيث P_p - - - التحميل (كج) عند حد التناسب،

F_o - - - مساحة مقطع العينة (مم²) عند بدء الإختبار .

حد الانسياب : δs ويحسب متن المعادلة :

$$\frac{Ps}{Fo} = \frac{\delta S}{2 \text{ كج/سم}}$$

حيث Ps – التحميل (كج) عند حد الانسياب .

أقصى إجهاد (المقاومة القصوي) δb وتحسب من من

المعادلة

$$\frac{Pb}{Fo} = \frac{\delta b}{2 \text{ كج / مم}}$$

حيث Pb شسهو أقصى حمل بالكيلوجرام .

وبالإضافة إلي الخواص الموضحة أعلاه فإنه يمكن عند

أختبار الشد تحديد لدونة المادة ونقدر بالإستطالة النسبية δ % أو

بتناقص مساحة المقطع النهي Ψ % وتعين الإستطالة النسبية من

المعادلة

$$\delta = \frac{100 \times I0 - I1}{I0} \%$$

حيث I1 — طول العينة بعد الإنكسار

أما تناقص مساحة المقطع النسبي فيحسب من المعادلة

$$\Psi = \frac{100 \times F1 - Fo}{Fo} \%$$

حيث F1 --- مساحة العينة عند مكان الإنكسار

مثال : عند اختبار عينة من الصلب قطرها 10مم كان أقصى حمل Pb=3140 كج .

ما مقدار نقطة الكسر δb للمادة عند الشد ؟

الحل : مساحة مقطع العينة

$$Fo = \mu D^2 = \frac{10 \times 3,14}{4} = \frac{100 \times 3,14}{4} = 78,5 \text{ مم}^2$$

نقطة الكسر عند الشد

$$\delta b = Pb = \frac{3140}{78,5} = 40 \text{ كجم / مم}^2$$

مثال : ما مقدار الإستطالة النسبية δ % إذا كان الطول

الحسابي للعينة قبل الإختبار 50 مم وبعد الإختبار كان طولها 60مم ؟

$$\delta = \frac{Io - I1}{Io} \times 100 = \frac{50 - 60}{50} \times 100 = -20 \%$$

2- أختبار الصلادة :

الصلادة هي قدرة المادة علي مقاومة إنضغاط الأجسام الأخرى الأكثر صلادة فيها . وتعد أختبارات الصلادة من الإختبارات الستاتيكية واجراء هذه الإختبارات سهل يسير سريعا ولا يؤدي إلي تحطيم الجزء المختبر، ولهذه الأسباب فقد لقيت أختبارات الصلادة إنتشارا واسعا في التطبيق الصناعي .

أختبار الصلادة بجهاز برينل : (مقياس الصلادة البرينلي)

وتستعمل هذه الطريقة لتحديد صلادة الأجزاء غير المصلدة (كالقطع المدلفنة والمطروقة والمسبوكة والاسطمبات والتركيبات وغيرها) وفي هذه الطريقة تضغط كرية من المصلد المقسي ذات قطر D يضغط ثابت P في سطح الجزء المختبر بعد تنظيفه علي حجر الجليخ أو بالصنفرة (شكل 30) فكلما كان المعدن أكثر صلادة كلما كان قطر الأثر الذي عليه الكرية أصغر وتضغط الكرية بأستخدام إما مكبس هيدروليكي أو مكبس ميكانيكي برافعة كما ذكرنا في الشكل التالي رقم 30، b رسما لمكبس هيدروليكي يتكون من البدن 1 - والصامتولة الثابتة 2- واللولب 3- توضع العينة 5- علي المائدة 4- ثم تقرب إلي الكرية 7- بتحريك العجلة 6- ثم يضغط الزيت بواسطة ذراع المضخة 10 - من الخزان إلي أسطوانة المكبس فيخلق بذلك الضغط اللازم علي الكرية، وفي الوقت ذاته يؤثر هذا الضغط علي المكبس ذي الأثقال 11 والمانومتر 9 وبواسطة يمكن قياس الضغط P علي الكرية وبعد ذلك يزال الضغط ويقاس قطر الأثر D الذي تركه الكرية بعدسة خاصة عليها تدريج خطوات 0,1 مم ويختار قطر الكرية ومقدار الضغط حسب سمك والصلادة التقريبية المختبر حسب الجدول التالي :

الضغط Pb كج			قطر الكرية مم	سمك العينة مم
2D 2,5 للمواد اللينة	2D10 للنحاس الصلب والنحاس الصفرة والبرونز وما شابة	2D30 لصلب والزهر		
250	1000	3000	10	أكثر من 0006
62,5	250	750	5	من 6 - 3 0000
15,6	62,5	187,5	2,5	أقل من 0000

وزمن أبقاء الضغط 10 ثواني للمواد الصلدة و30 ثانية للمواد اللينة ويحسب رقم الصلادة البرينلي (ويرمز لة Ha) من المعادلة :

$$\frac{P2}{(2d \sqrt{2D} - D) D \mu} = HB$$

حيث D - قطر الكرية من الصلب، مم

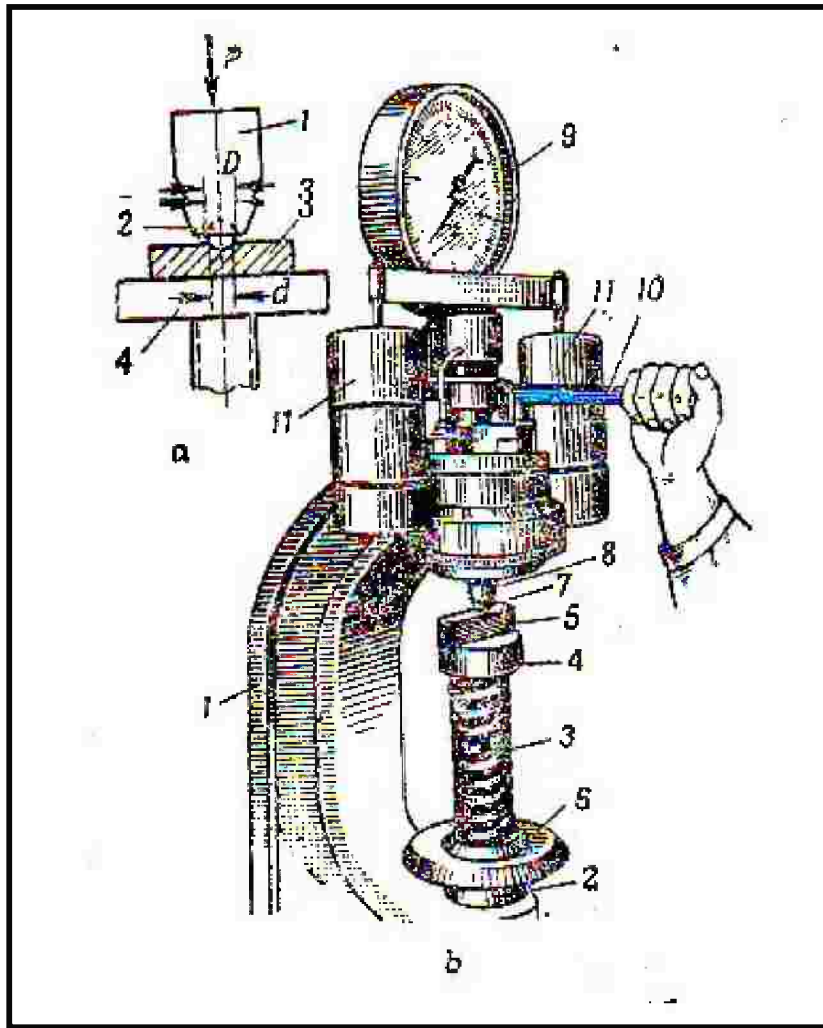
D قطر أثر الكرية، مم

وتستعمل لحساب رقم الصلادة عمليا جداول معطي بها قيمة Ha بمعلومة قطر أثر الكرية، ومن الثابت أن Ha ونقطة الكسر δb يرتبطان بالعلاقة التالية.

لصلب المدلفن $\delta b = 0,36 Hs$ ،

لصلب المسبوك $\delta b = (0,3 \div 0,4) Hs$

للزهر الرمادي $\delta b = 0,1 Hs$



شكل رقم 30 اختبار الصلابة البرينلي

A: رسم تخطيطي 1- حامل الكرة 2- الكرة 3- المادة المختبرة

4- مائدة العينات

B: الشكل الخارجي للمكبس: 1- البدن 2- الصامولة الثابتة ، 3- اللولب ،

4- مائدة العينات ، 5- المادة المختبرة 6- العجلة ، 7- الكرة من الصلب

8- الحامل الضاغط ، 9- مانومتر ، 10 ذراع ظلمبة الزيت ، 11- أثقال

وتحدد صلادة المادة المختبرة علي مابين الجهاز (شكل 31

ولا ينصح باستعمال طريقة برينل لإختبار المواد البالغة الصلادة كما لمصنوعات الكربنة والمعاملة بالنيتروجين والصفائح الرقيقة .

مثال : ما مقدار نقطة الكسر لنوع من الصلب الكربوني إذا كان H s لة 120؟

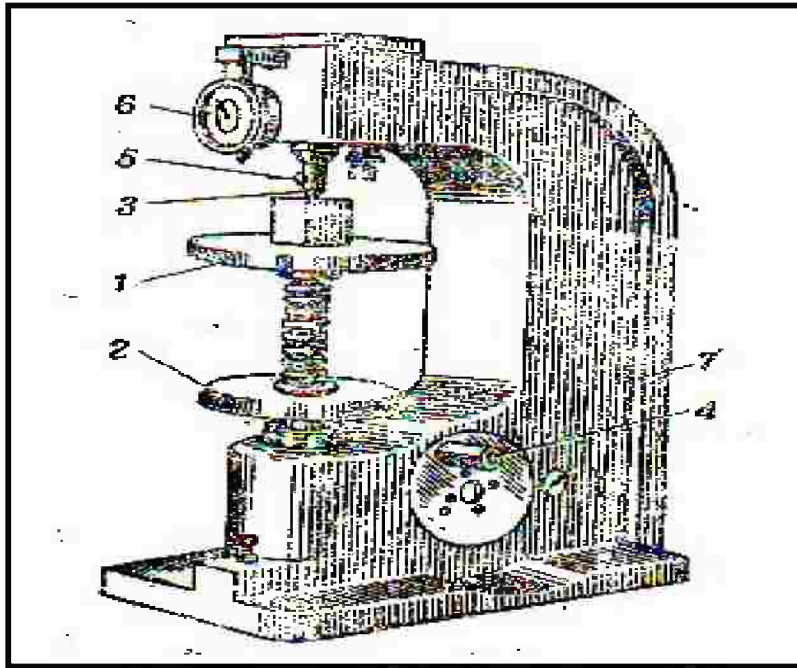
الحل : $\delta b = HB 0,36 = 120 \times 0,36 = 43,2$ كج/مم²

أختبار الصلادة بجهاز روكويل : (مقاس الصلادة الروكويلي) .

لأختبار صلادة المواد بطريقة روكويل، تضغط علي سطح الجزء المختبر، كرية من الصلب قطرها 1,59 مم أو مخروط من الماس زاوية قمته 120° وتختبر المواد اللينة بالكرية المصنوعة من الصلب أما المواد الصلدة فتختبر بالمخروط الماسي .

وبعكس طريقة برينل تقاس الصلادة بطريقة روكويل لا بمساحة الأثر ولكن بعمق تغلغل الضاغط (الكرية أو المخروط الماسي) في السطح المصنوعة، ويجري الطرف علي مرحلتين : يعطي أولا ضغط ابتدائي قدرة 10 كج، وبعد ذلك يعطي الضغط الرئيسي وقدرة 90 كج، عند الإختبار بالكرية و 140 كج عند الإختبار بالمخروط الماسي دون رفع الضغط الابتدائي، وبعد فترة قصيرة (5ثواني) يرفع الضغط الرئيسي وتحدد صلادة المادة المختبرة علي مابين الجهاز (شكل 31) ورقم الصلادة الروكويلي يتناسب مع الفرق بين عمقي الأثرين الناتجين عن تأثير الضغط الرئيسي والضغط الابتدائي وهو ما يبينه مؤشر الجهاز وعلي وجه المبين

تدرجيا : أحدهما التدرج B باللون الأحمر ، ويبين الصلادة عند الإختبار بالكرية ، والثاني التدرج C باللون الأسود ، ويبين الصلادة عند الإختبار بالمخروط الماسي ويرمز للصلادة بالرمز R مع إضافة رمز التدرج الذي أجري بالنسبة إلى الإختبار RB عند الإختبار بالكرية الصلبة و Rc عند الإختبار بالمخروط الماسي ، ولإختبار المواد البالغة الصلادة يستعمل مخروط ماسي تحت ضغط قدرة 60 كج وتؤخذ القراءة في هذه الحالة التدرج الأسود ويرمز لرقم الصلادة بالرمز RA .



(شكل 31) جهاز روكويل من طراز "ديورومتر"

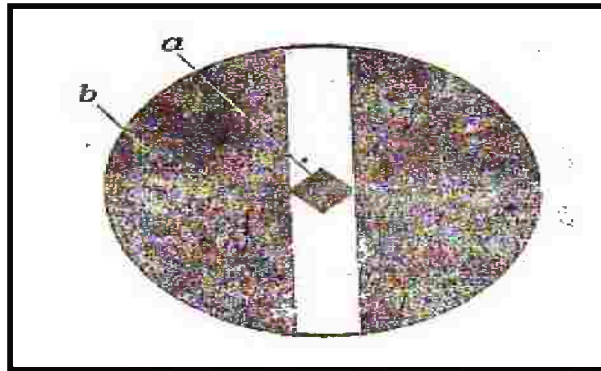
- | | | | | |
|-----------|------------|----------------|--------|-----|
| 1 - مائدة | 2 - حدافنة | 3 - مخروط ماسي | 4 - يد | 5 - |
| طرف ، | 6 - ميين ، | 7 - البدن | | |

ومن مميزات طريقة روكويل الدقة الكبيرة والإنتاجية العالية وصغر الأثر (الختم) الذي يتركه الاختبار علي المصنوعة وبساطة الاختبار وهناك جداول ومنحنيات خاصة لتحويل رقم الصلادة الروكويلي إلي رقم الصلادة البرينلي .

أختبار الصلادة بجهاز فيكرز (مقياس الصلابة الفيكري) :

تسمح هذه الطريقة بقياس صلادة الطبقات السطحية الرقيقة الناتجة عند الكربنة أو النتردة أو المعاملة السيانية (الكربونتروجينية) كما يمكن بولسطتها قياس صلادة المواد الشديدة الصلادة المصنوعات ذات المقطع الصغير وتعين الصلادة بضغط هرم رباعي مسي زاوية قمته 136° في المادة المختبرة ويجري الضغط تحت تأثير حمل قدرة - 5 ، 10 ، 20 ، 30 ، 50 ، 100 ، 120 كج 0 ثم تقدر مساحة الأثر الناتج بقياس قطرة بواسطة ميكروسكوب مثبت علي الجهاز وزيادة دقة القياس يعتم جزء مجال الرؤية الذي لا يشغله الأثر بضلفات صغيرة (شكل 32) .

الرؤية الذي لا يشغله الأثر بضلفات صغيرة (الشكل 32)
ويحسب رقم الصلادة الفيكري من المعادلة التالية .



شكل رقم 32 تخطيطي للأثر عند إختبار فيكرز

A : الأثر B : ضلفات الميكروسكوب

$$\frac{H_v = P \text{ Kg} / \text{mm}^2}{F}$$

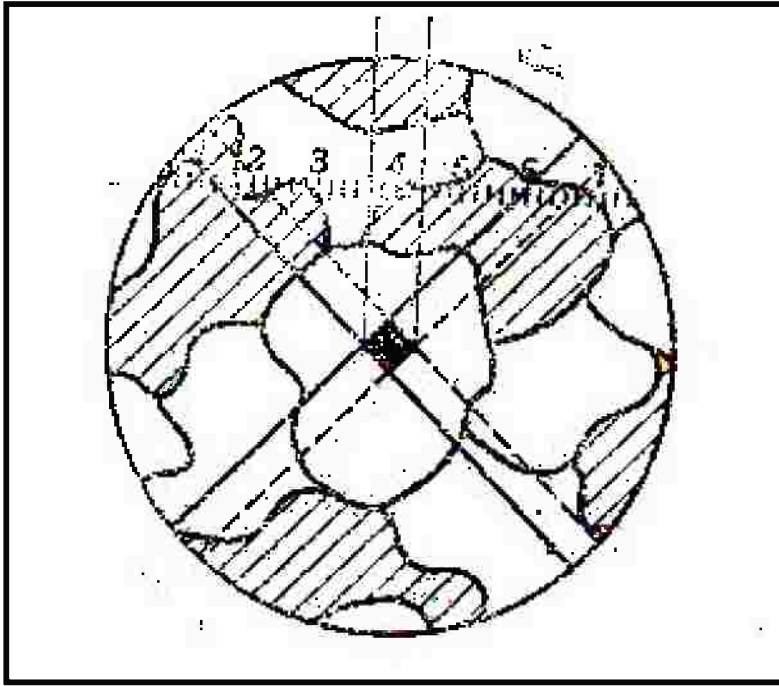
حيث P -- الضغط (كج) ،

F --- مساحة الأثر الهرمي (مم²)

ان مقياس الصلادة الفكري يتصف بنفس الأرقام التي يتصف بها مقياس الصلادة البرينلي . أما أرقام الصلادة التي تحدد بهذه الطريقة للمواد ذات الصلادة حتي 450 فتتطابق معا .

تحديد الصلادة الميكروسكوبية (الصلادة الميكروسكوبية) :

وتستعمل لتحديد صلادة الطبقات الرقيقة جدا للطلاء بالمعادن والإجزاء الصغيرة للأجهزة والعدادات وبعض مكونات بنية السبائك والشعيرات المعدنية وما أشبه ، ويجري الإختبار بواسطة ضغط هرم مسي زاوية قمته 136° في سطح المادة المختبرة ، ويجري الضغط تحت تأثير حمل يتراوح قدرة بين 1 إلى 200 جم فبعد الضغط يقاس طول قطر الأثر الناتج d (شكل 33) بواسطة الميكروسكوب الميتالورجي الذي يكون الجزء الأساسي من الجهاز وتستعمل لتحديد رقم الصلادة الميكروسكوبية في المعادلة التالية :



شكل 33 رسم تخطيطي لتحديد مقاس الأثر عند اختبار الصلابة
الميكروسكوبية

حيث : H ---- رقم الصلادة الميكروسكوبية،

P ---- الضغط بالجم،

d ---- طول قطر الهرم بالميكرون

1,8544 ---- معامل حسابي ثابت

3-إختبار مقاومة الصدمات :

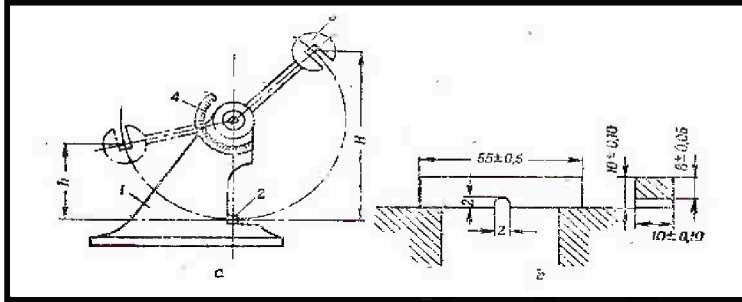
أنتشر اختبار مقاومة الصدمات للمعادن إنتشارا واسعا بالنسبة للأنواع الأخرى من الإختبارات الديناميكية نظرا لبساطة طريقته وكذلك لدقته وتطابق النتائج النتائج التي يحصل عليها منه و يسمح هذا الإختبار بتحديد مدي مقاومة المادة للإلنكسار عند تعرضها للصدمات⁰ ويجري الإختبار علي جهاز خاص يسمى

بدقاق شارني (شكل 34) وذلك بكسر العينة بصدمة من بندول ثقيل يسقط عليها من إرتفاع محدد وتجهز العينة المختبرة بشكل قياسي موحد (شكل 34 b) وبها حز في منتصف أحد جانبيها، ولإجراء الإختبار توضع العينة علي حامل الدقاق بحيث يكون الحز في الجانب البعيد عن الصدمة وبعد ذلك يرفع البندول ووزنة Q إلي إرتفاع H ثم يترك ليسقط سقوطا حرا وبكسر البندول عند سقوط العينة ثم يرتفع الي أرتفاع h ويحدد الشغل A المجدول لكسر العينة بالفرق بين بين طاقة وضع البندول قبل الصدمة QH وطاقة الوضع التي بقيت لدية بعد الصدمة Qh وطاقة الوضع التي بقيت لدية بعد الصدمة Qh وهكذا فإن :

$$A = QH - Qh = Q (H - h) \text{ Kgm}$$

وتقدر مقاومة المادة للصدمات k a بالنسبة بين الشغل المبذول لكسر العينة إلي مساحة مقطعها في مكان الصدمة F سم :

$$ak = \frac{Q(H-h)}{F} \text{ kgm/cm}^2$$



(شكل 34) رسم تخطيطي لدقاق البندول A : شكل تخطيطي
للدقاق : 1- البدن ، 2- العينة ، 3- الدقاق ، 4- تدريج B :
عينة لأختبار مقاومة الصدمات

ويمكن حساب الشغل المبذول لكسر العينة من جداول تعطي فيها قيمة هذا الشغل حسب زاوية إرتفاع البندول بعد الصدمة، وتحدد زاوية إرتفاع البندول بواسطة مؤشر ينزلق على تدريج الجهاز .

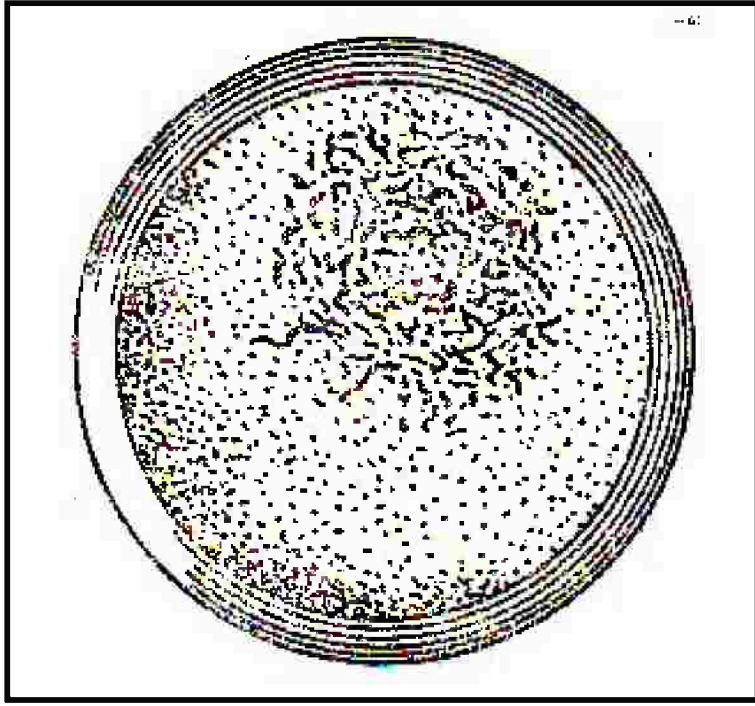
وقيمة k a للمواد الهشة بالغة الإنخفاض (0,1 --- 0,2 كجم /سم²) أما للصلب فهي تتراوح بين 2 – 12 كجم/سم² .

إختبار مقاومة الكلال :

تسمى ظاهرة إنكسار المعادن تحت تأثير الإجهادات المتكررة أو المتغيرة

الإتجاه (وبالكسر الكالي) للمعادن ، ويمكن أن يحدث الكسر الكلالي عند إجهادات تقل كثيرا عن المقاومة القصوي وقد تقل حتي عن مقدار حثد الإنسياب .

ويسمى قدرة المعدن علي مقاومة الإنكسار في هذه الظروف "بمقاومة للكلال " والسبب في كل المعادن هو الإنزلاقات التي تحدث في الحبيبات البلورية الموجودة في أسوأ وضع بالنسبة للقوي المؤثرة وتساعد هذ الإنزلاقات علي تكوين شقوق بالغة الدقة ، تزداد تدريجيا تحت تأثير التحميل المتكرر أو المتغير الإتجاه حتي تصل إلي مستويات اتصال الحبيبات، وبعد ذلك تنتشر علي مدي هذه الحدود ، يتكون الكلال (شكل 35) .



(شكل 35) مكسر الكلال

من منطقتين واضحي المعالم منطقتة خارجية ومنطقة داخلية، والمنطقة الخارجية ذات سطح ناعم مثل الرخام وهي منطقة الشقوق المتزايدة تدريجيا، أما المنطقة الداخلية، وتتميز ببناء حبيبي، فهتي منطقة الانكسار المفاجئ، وتحدث ظاهرة الكلال، كما بينت التجارب، عند تخطي إجهاد الكلال لحد الكلال للمادة، وحد الكلال هو أكبر إجهاد تتحملة المادة خلال عدد معين (أساسي) من دورات التحميل دون أن تتكسر، وتختبر عينات الصلب لتحديد مقاومتها للكلال علي مدي عدد أساسي قدرة 5,000,000 دورة، اما عينات المعادن غير الحديدية فتختبر علي مدي عدد أساسي من الدورات قدره 20,000,000 وهناك عدد

كبير من الماكينات الخاصة لإختبار مقاومة الكلال عند الإنثناء والشد إلخ . ولقد حظي بأوسع إنتشار أختبار مقاومة الكلال أثناء الإنثناء، ولهذا الهدف حمل العينة المراد إختبارها بحمل يقوم بثني العينة المراد إختبارها بحمل يقوم بثني العينة التي تقوم أثناء ذلك بالدوران بسرعة كبيرة فتتسأ في العينة إجهادات متغيرة في الإشارة (ضغط وشد) تتبادل التأثير علي العينة طيلة مدة الإختبار ولتعين حثد الكلال (حد الإعياء) تختبر مجموعة من العينات (6 – 8 عينات) تجهز من نفس السبيكة وتختبر العينة الأولى عند إجهاد يساوي للصلب $\delta b 0,6$ ، وللمعادن غير الحديدية $\delta b 0,4$ ويظل هذا الإجهاد ثابت طوال التجربة . ثم يعين بواسطة العداد عدد الدورات التي أنكسرت بعدها العينة، ويقلل الإجهاد للعينة الثانية وما يليها بمقدار 2—4 كج /مم² حسب عدد الدورات التي تنكسر بعدها العينة السابقة، نعين حسب نتائج الإختبار أقصى إجهاد لا يسبب إنكسار العينة، هذا الإجهاد وهو حد الكلال المطلوب تعينة .

ولقد لوحظ أن تجليخ الأجزاء الهامة بالماكينات وتلميعها بعناية يطيل كثيرا في مدة عملها، وبالعكس فإن وجود الخدوش والحرز علي سطح الجزء والانتقال المفاجئة .. وغيرها تنقص كثيرا من مقاومة المعدن للكلال نتيجة لتركز أجهادات المادة في هذه الأماكن .

4- إختبار مقاومة التزحف :

تتفعل الأجزاء المعدنية المحتملة بإجهادات ضعيفة نسبيا في درجات حرارة مرتفعة ويتغير شكل هذه الأجزاء وأبعادها تدريجيا ببطء بالغ علي متدي الأيام والشهور .

وتسمى هذه الظاهرة "تزحف" المعادن، ويجب أخذ هذه الظاهرة بعين الاعتبار عند تصميم وإختبار مادة أجتزاء الماكينات والأجهزة التي تعمل في درجات الحرارة المرتفعة لأن الإستطالة يد التدريجية للمعادن المتزحف تؤدي إلي نقصان مقطاعة وقد تنتهي بانكسار الجزء .

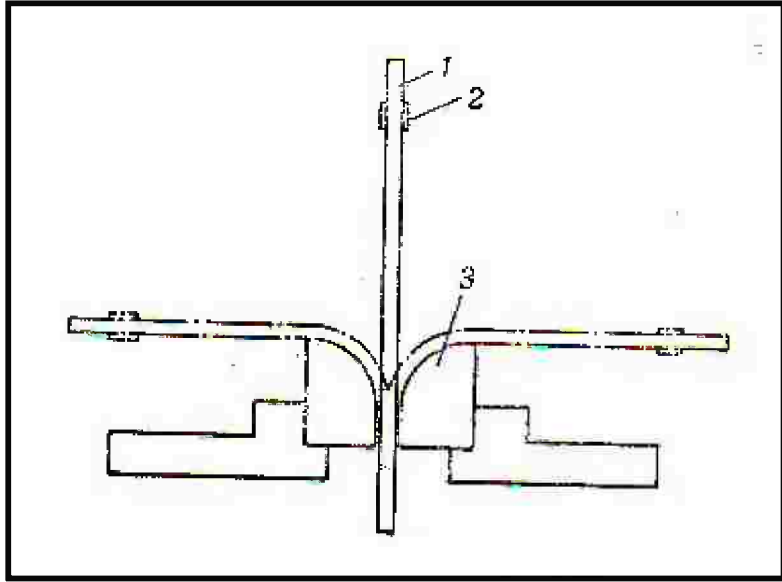
وعند إختبار مقاومة المواد للزحف توضع العينة في فرن كهربائي وتسخن إلي درجة الحرارة المطلوبة مع تحميلها في الوقت ذاتة بواسطة تركيبة من الروافع، وفي أوقات محددة يقاس تغير شكل العينة تحت تأثير هذا الحمل، ويرسم من هذه المعلومات منحني التزحف بين إحداثي (الإستطالة - الزمن) .

وتختبر عادة عتد درجة الحرارة الواحدة عدة عينات محملة بأحمال مختلفة، ، ويعين " حد التزحف " من المنحنيات التي نحصل عليها، وهو أكبر إجهتاد تنشأ عنه في المادة السرعة المسموح بها لتغير الشكل عند درجة الحرارة المطلوبة، ومثال ذلك أن حد التزحف لاجزاء المراحل البخارية (الغليات) والتوربينات والأجهزة الكيميائية التي تعمل في درجات الحرارة المرتفعة (من 300--600°م) يؤخذ مساويا للإجهاد الذي تنشأ عنه سرعة للإستطالة قدرها 0,01% في السنة أي 0,000001 % في الساعة .

5- الإختبارات التكنولوجية (العمليات التقريبية) :

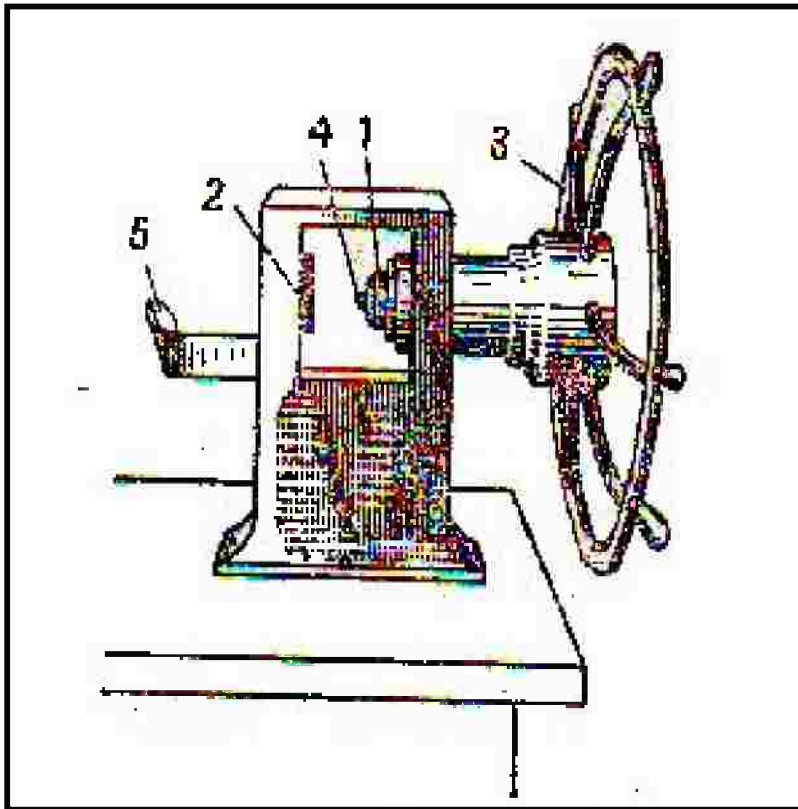
تحدد الخواص التكنولوجية لقدر المادة علي تحمل التغير في شكلها أثناء عملية تشغيلها أو عند عملها، وهذه الخواص تحدد بواسطة الإختبارات التكنولوجية، وفيها لا تقاس الإجهادات الناشئة في المادة عند إختبارها .

إختبار التطبيق : ويمكن إجراء علي البارد أو علي الساخن
للألواح+ ذات السمك حتي 30مم لتعين قدرة المعدن علي الإنثناء بزاوية
معينة حتي تتوازي جوانبة أو تنطبق، ويجب ألا تكون بالعينة بعد
الإختبار شروخ أو كسور أو تمزقات.



(شكل 36) الإختبار بالثني

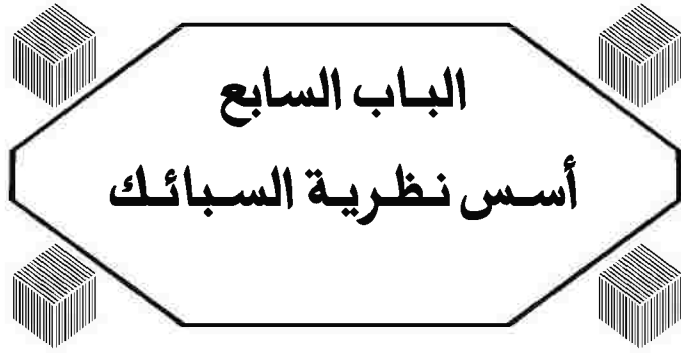
1- العينة ، 2- ماسك ، 3- فكي المنجلة



(شكل 37) تركيبة للاختبار بالسحب

إختبار الثني : (شكل 36) ، ويجري للألواح والأسياخ الرقيقة المشغلة علي البارد ، وتمسك العينة المختبرة في منجلة ثم تثني إلي اليمين وإلي اليسار عدة مرات حتي تتكسرو ويحدد عدد المرات إنشاء العينة صلاحية المادة للأعمال المختلفة .

إختبار السحب : ويجري لتحديد قدرة الألواح علي تحمل التشكيل بالكبس والسحب علي البارد ، ويجري الإختبار علي الجهاز المبين بشكل 37 ويتلخص فيما يلي : تضغط عينة من المادة المختبرة مجتهزة علي شكل قرص أو مربع بين طريفي العمود "1" الإسطمية "2" وعند إدارة العجلة "3" تدريجيا ويبطئ يضغط المعدن المختبر بواسطة الطرف الكروي للضاغط "4" ويستمر الإنضغاط حتي اللحظة التي يظهر فيها أول شرخ علي السطح ، ويلاحظ ظهور الشرخ بالنظر في المرآة "5" ويحدد عمق الفجوة المتكونة حتي لحظة ظهور الشرخ قدرة المعدن علي تحمل التشكيل بالسحب .



1- الخواص العامة للسبائك المعدنية :

تستعمل سبائك المعادن المختلفة علي نطاق واسع في التكنيك وذلك لأن خواصها الميكانيكية والتكنولوجية أجود من خواص المعادن النقية كما يمكن ض، بط خواص الكثير من السبائك بتغيير التركيب الكيميائي والبنيان الداخلي لها .

وقد قدم مؤسس التحليل الطبيعي الكيميائي ن، س كورناكوف الكثير لعلم السبائك، إذا أثبت لأول مرة العلاقة بين الصفات الطبيعية للسبائك وبنيانها، كما أنشأ عددا من الرسوم البيانية للوازن الحراري للسبائك المختلفة .

والسبيكة عبارة عتن جسم مركب يحصل عليه من الأجسام البسيطة بانتشار العناصر بعضها في الآخر ويحصل علي السبائك أحيانا بخلط العناصر بعضها في الحالة السائلة . ولكن بعض السبائك يحصل عليها بتسوية العناصر وانتشار بعضها في الأخرى في الحالة الصلبة .

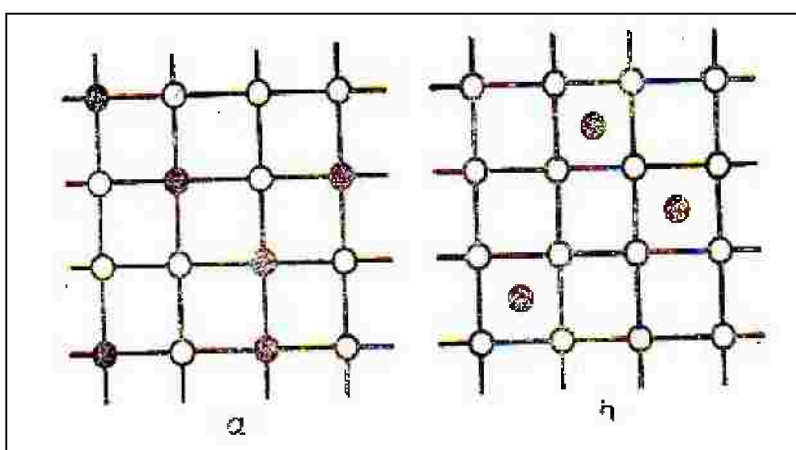
وتسمى العناصر اللازمة لتكوين السبيكة بمكونات السبيكة، وتنقسم السبائك حسب عدد مكوناتها إلي ثنائية وثلاثية وهكذا.

وأغالب مكونات السبائك تتزاوب بعضها في البعض في الحالة السائلة، ولكن بعض أزواج المعادن كالنحاس والرصاص، والحديد والرصاص لا تتذاب عمليا حتي في الحالة السائلة، ويفسر هذا بالفرق الكبير بين أحجام ذراتها ودرجة إنصهارها .

ويمكن أن تكون مكونات السبائك عند التجمد إما : (1)
خليطاً ميكانيكياً أو (2) محلولاً صلباً أو (3) مركب كيميائياً،
وتبعاً لذلك فإن إختلاف بنى السبائك المختلفة في الحالة الصلبة .

1- أن البنى عبارة عن خليط من البلورات أطوار منفصلة للعناصر
المكونة لا تتزاوب في الحالة الصلبة، ويسمى هذا البنى
عادة بالخليط الميكانيكي، ومن أمثلة هذه السبائك سبائك
الرصاص + القصدير + الزنك واللومينيوم + السليكون
وغيرها .

2- المحلول الصلب : ويتميز عن الخليط الميكانيكي بكونه
وحيد الطور وبأن له شبكة بلورية واحدة بها ذرات جميع
مكونات السبيكة، ويمكن أن



● ذرة العنصر الذائب ○ ذرة العنصر المذيب

(شكل 38) وضع الذرات (الأيونات) في المحاليل الصلبة

a : محلول صلب بالإحلال ، b : محلول صلب بالتغلغل 0

يكون وضع الذرات في الشبكة البلورية للمحلول الصلب من نوعين - بالإحلال أو بالتغلغل، وفي الحالة الأولى تحل ذرات العنصر المذاب محتلت ذرات العنصر المذيب كما في حالة المحلول الصلب للنحاس في النيكل (شكل 38 a) أما في الحالة الثانية فإن ذرات العنصر المذاب تتخذ أماكنها بين ذرات العنصر المذيب التي تستقر في أركان الشبكة الذرية كما هو الحال مع المحلول الصلب للكربون في الحديد (شكل 38 b).

3- تكون بعض العناصر التي توجد عادة في أماكن متباعدة من جدول مندلييف الدوري، مركبات كيميائية تختلف في خواصها عن العناصر المكونة. فالمركبات الكيميائية المكونة يمكن أن تكون إما ذات تكافؤ معتاد، مثل: $Mg_2 Si$ ، $Mg_3 Bi_2$ ، $Mg_2 Sn$

أي ذات تركيب محدد ثابت، أو تكون من النوع الإلكتروني الذي يتميز بالنسبة الثابتة بين عدد الكاتيونات التكافؤ و عدد الذرات في المركب مثل $Cu Zn$ وبه تكون هذه النسبة كنسبة 2:3 أو مثل $Cu_5 Zn_8$ و النسبة به كنسبة 13: 21 أو $CuZn_3$ حيث تساوى هذه النسبة 4 : 7 .

منحنى التسابك وطريقة انشاءه:

بينما فيما سبق استعمال منحنيات التبريد لوصف أطوار المعادن النقية و التغيرات الحادثة عند تبريدها و تسخينها . و لوصف أطوار السبائك تنشأ و تستعمل منحنيات التسابك و تبين هذه المنحنيات درجات الانصهار و التجمد و التحولات الطورية و البوليمورفية (الالوتروبية) للسبائك . و بمعونة منحنى التسابك (منحنى التوازن الحرارى) يمكن

تحديد شروط تكون بنيات السبيكة التى تدرس تحت الميكروسكوب وكذلك يمكن تعيين العلاقة بين بنية السبيكة و خواصها الميكانيكية والتكنولوجية . ويمكن استعمال منحى التسابك للسبائك المختلفة اختيار احسن تركيب للسبيكة للانتاج .

ولانشاء منحنيات التسابك تستعمل الطريقة الحرارية التى تتلخص فى تعيين درجات حرارة التحولات من الانحناءات و التوقفات الناشئة عن الاثر الحرارى للتحول على منحى التبريد .

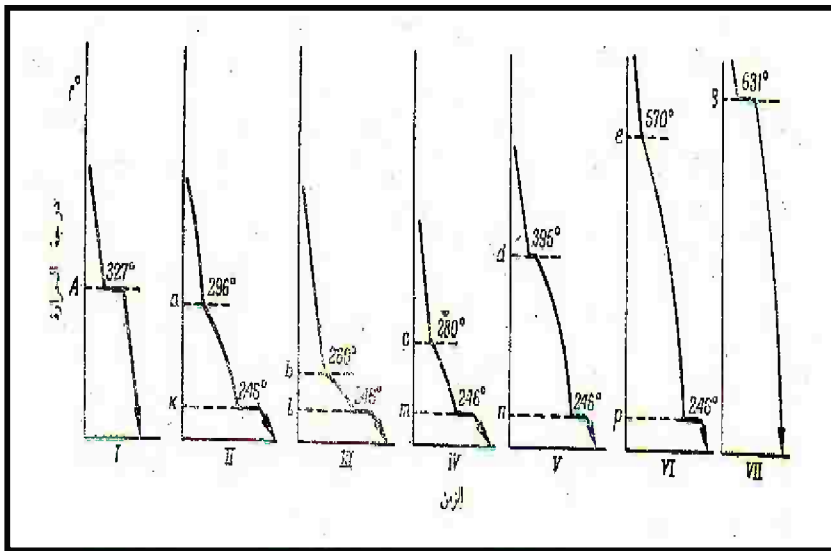
مثال لانشاء منحنى التسابك لسبيكة ثنائية :

سنبحث على سبيل المثال انشاء منحنى التسابك لسبائك الرصاص والانتيمون ($b - Sb$) ، و تسمى السبائك المختلفة التركيب من نفس المكونات بـ "مجموعة" سبائك هذه المكونات . و تختلف سبائك مثل هذه المجموعة بعضها عن البعض بتركيبها فقط ، اى بالنسبة الكمية للمكونات (او تركيز هذه المكونات) . و يعبر عن تركيب السبيكة عاد بالنسبة المئوية للمكونات بالوزن . و هكذا فاذا كانت نسبة الانتيمون فى سبيكة ($Pb - Sb$) 15 % فان نسبة الرصاص تكون هى 85 % الباقية .

درجة انصهار الرصاص النقى 327 ° ، والانتيمون النقى 631 ° ، نفرض ان لدينا 5 سبائك ذات وزن واحد و تركيبها كالاتى : 5 % ، $Pb \ 95 - Sb \ 5$ ، $Pb \ 60 - Sb \ 40$ ، $Pb \ 90 - Sb \ 10$ ، $Pb \ 80 - Sb \ 20$ ، $Pb \ 20 - Sb \ 80$ ، توضع كل سبيكة فى البودقة و تسخن الى درجة حرارة اعلى بـ 25 - 30 ° من درجة انصهارها . ثم يغمر فى السبيكة المنصهرة ازدواج حرارى و تسجل قراءات البيرومتر فى فترات متساوية من الزمن (كل 30 ثانية مثلا) مع

تبريد السبيكة تدريجياً حتى نهاية التبلور . و من هذه المعلومات نرسم
بیم احداثی درجة الحرارة و الزمن منحنيات تبريد السبائك، و منها
تحدد درجات حرارة التحولات او النقط الحرجة

و فی الشكل الاتی رقم (39) اوردنا منحنيات تبريد السبائك
المبينة اعلاه . وتبين هذه المنحنيات ان للسبائك بعكس المعادن النقية
نقطتان حرجتان : درجة حرارة ابتداء و انتهاء التبلور (جدول 3)



شكل (39) منحنيات تبريد الرصاص و الانتيمون النقيين و سبائك

لهما معا لبناء الرسم البياني للحالة :

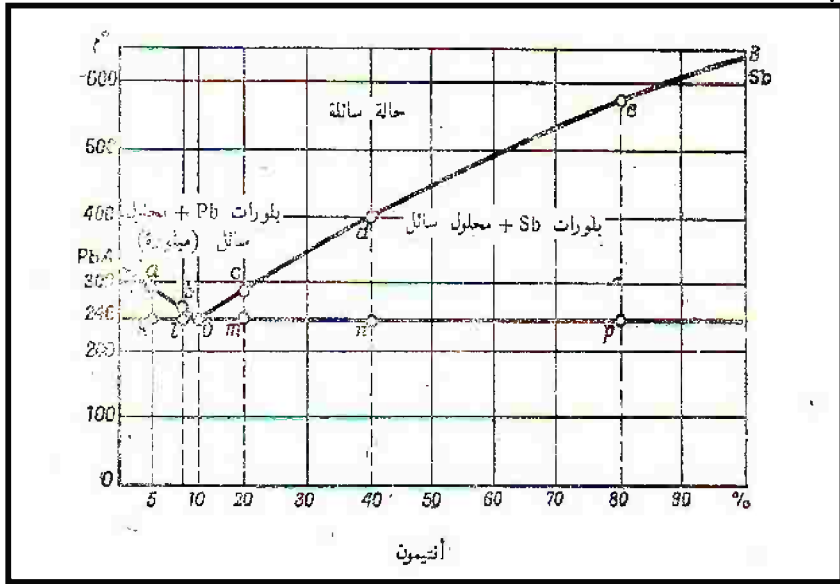
- 1- المكون النقي Pb % 100 ، Sb % 0
- 2- السبيكة المحتوية على Pb%95 ، Sb %5
- 3- السبيكة المحتوية على Pb%90 ، Sb %10
- 4- السبيكة المحتوية على Pb %80 ، Sb %20
- 5- السبيكة المحتوية على Pb %60 ، Sb %40
- 6- السبيكة المحتوية على Pb %20 ، Sb %80
- 7- المركب النقي Pb % 0 ، Sb %100

جدول رقم 3

درجة حرارة التبلور ° م		تركيب السبيكة %	
النهاية	البداية	Sb	Pb
327	327	0	100
246	296	5	95
246	260	10	90
246	280	20	80
246	395	40	60
246	570	80	20
631	631	100	0

ولانشاء الرسم البيانى لحالة سبائك هذه المجموعة فان هذه النقط الحرجة تءخذ على محورى احداثيات : يمثل المحور الافقى تركيب (تركيز) السبائك - 5 ، 10 ، 20 ، 40 ، 80 % انتيمون و تؤخذ على المحور الرأسى درجات الحرارة ، فتقام على النقط المأخوذة على المحور الافقى اعمدة (الخطوط المنقطة) و تؤخذ عليها النقط الحرجة المحددة قبل ذلك ، وقد أشرنا عليها فى شكل (39) بدوائر صغيرة و حروف ، وقد رمزنا للنقط الحرجة العليا بالحروف a ، b ، c ، d ، e والسفلى بالحروف k ، l ، m ، n ، p . وقد اخذت على الاحداثيين الرأسيين الحرفيين درجات حرارة انصهار الرصاص - النقطة A (327°) و على اليمين درجة انصهار الانتيمون - النقطة B (631°) والنقط الحرجة السفلى للسبائك k ، l ، m ، n ، p تقابل درجة حرارة واحدة وهى 246° م ، و لهذا توصل هذه النقط بمستقيم يمد حتى يقابل الاحداثيين الرأسيين للمكونات النقيين (باعتبار ان العنصرين Pb ، Sb لا يذوب احدهما فى الاخر فى الحالة الصلبة) . وبتوصيل النقط الحرجة العلوية التى تدل على بدء تجمد السبائك بمنحنيين سلسين

Aab ، Bedc يتقاطعان فى النقطة . الواقعة على الخط الافقى
klmnp نحصل على منحنى تسابك المجموعة Pb - Sb (شكل 40)



شكل رقم (40) رسم بيانى لحالة النظام بواسطة النقط الحرجة المحددة
من منحنيات تبريد السبائك

من الرسم البيانى نرى ان التبلور يبدأ فى جميع السبائك عند درجة حرارة تقع على الخط AabOcdB ، المسمى بخط السيولة و ان درجة حرارة بدء التبلور للسبيكة تنخفض بزيادة نسبة الانتيومون بها حتى التركيب المناظر للنقطة O (246 °) ثم تبدأ بعد ذلك فى الارتفاع اى ان لكل سبيكة درجة حرارة خاصة لبدء التبلور تتوقف على تركيب السبيكة (عند التسخين يدل خط السيولة على درجة حرارة نهاية انصهار السبيكة) ، اما انتهاء التجمد لجميع سبائك هذه المجموعة فيحدث عند درجة حرارة واحدة تقع على المستقيم klmnp اذى يسمى

بخط الجمود (و يبين هذا الخط درجة حرارة بدء انصهار السبائك عند التسخين) .

و تكون السبائك فوق خط السيولة فى الحالة السائلة كلية ، اما تحت خط الجمود فتكون فى الحالة الصلبة ، وفيما بين الخطين تكون السبائك مزدوجة الحالة متبلورة و سائلة .

و تنشأ منحنيات التسابك لاي مجموعة ثنائية المكونات بالطريقة المبينة مسبقا ، و يختلف شكل هذه المنحنيات حسب نوع السبائك الناتجة - ان كانت خليطا ميكانيكيا او محلولاً صلباً او مركبا كيميائياً .

و يبين منحنى التسابك نوع البنيان الميكروسكوبى الذى يتكون فى السبائك عند تجمدها تحت خط الجمود ، و لما كان البنيان الميكروسكوبى يتصل اتصالاً وثيقاً بالخواص التكنولوجية للسبائك و كذلك الخواص التشغيلية فمعرفة منحنيات التسابك و القدرة اسرارها ذات اهمية عملية كبرى .

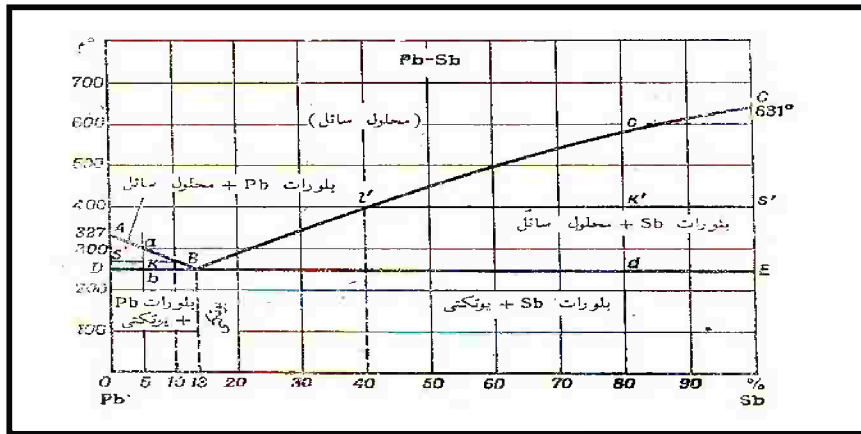
2- السبائك ذات المكونين القابلين للذوبان تمام فى الحالة

السائلة و غير القابلين للذوبان فى الحالة الصلبة ، اى يكونان

خليطاً ميكانيكياً من المكونات (سبائك النوع الاول) :

يمكن ان تعتبر سبائك مجموعة الرصاص و الانتيمون مثالا عملياً لسبائك هذا النوع ، لان مكونى هذه المجموعة يذوبان تمام فى الحالة السائلة و يمكن اعتبارهما غير قابلين للذوبان عملياً فى الحالة الصلبة . و قد بينا فيما سبق كيفية انشاء منحنى تسابك هذه المجموعة .

من الرسم البياني (شكل 41) نرى ان المكونين النقيين لمجموعة الرصاص و الانتيومون و سبائك هذه المجموعة تكون فوق خط السيولة ABC فى الحالة السائلة، اى انها ذات طور واحد . و عند التبريد يتجمد لامكونان النقيان عند درجتى حرارة معينتين : Pb عند 327° و Sb 631° مكونين بنيانا يرى تحت الميكروسكوب على شكل حبيبات متماثلة . و فى النقطة B التى تقابل تركيبا قدره 13 % Sb، 87 % Pb و درجة حرارة خط الجمود (246°) يتبلور المكونان فى وقت واحد مكونين خليطا ميكانيكيا دقيقا من بلورات الرصاص و الانتيومون يسمى " باليوتكتى " . و تسمى السبيكة ذات التركيب 13 % Sb، 87 % Pb بسبيكة " يوتكتية " اما السبائك ذات التركيب الواقع على يسار النقطة B فتسمى سبائك " قبل اليوتكتية " و تسمى السبائك التى يقع تركيبها على يمين النقطة B بالسبائك " بعد اليوتكتية " .



شكل (41) رسم بياني لحالة سبائك النظام Pb - Sb و البنيات المتكونة

فلنبحث عملية تبلور السبيكة قبل اليوتيكية المحتوية على 5 % Sb و السبيكة بعد اليوتيكية المحتية على 80 % Sb .

تكون السبيكة قبل اليوتيكية المحتوية على 5 % انتيمون فيما فوق خط السيولة AB فى الحالة السائلة . وعندما تصل السبيكة أثناء تبريدها الى الخط AB [نقطة a (296 °) بالبيانى] ، تبدأ فى التكون بلورات من الرصاص النقى و تستمر هذ العملية حتى درجة 246 ° . وفيما بين درجتى 296 ، 246 ° م تتزايد كمية بلورات الرصاص باستمرار فى حين ان الجزء السائل من السبيكة يغير تركيبه حسب نقط خط السيولة AB و يمكن تحديد تركيب الجزء السائل من السبيكة عند اى درجة حرارة بين خطى السيولة و الجمود و النقل عند درجة 260 ° مثلا ، بمد خط مواز لمحور التركيز يقطع خط السيولة فى نقطة 1 و يعطى اسقاطها على محور التركيز تركيب الطور السائل بالسبيكة (10 % Sb) عند درجة الحرارة المعطاة (260 °) . و عند وصول درجة الحرارة الى الدرجة اليوتيكية (246 °) يتجمد الطور السائل من السبيكة – و يتكون تركيبه عندئذ موافقا للنقطة B ، أى مساويا لتركيب اليوتكتى (13 % Sb ، 87 % Pb) ، مكونا ليوتكتى من بلورات الرصاص و الانتيمون . بالمثل تجرى عملية تجمد جميع السبائك قبل اليوتكتية : ففى درجات الحرارة بين خط السيولة و خط الجمود تتكون فى السبيكة بلورات من الرصاص ، و تتجمد السبائك نهائيا على خط الجمود DB مكونة يوتكتى . و تحت خط الجمود (246 °) يتكون بنيان السبائك من أجزاء من الرصاص النقى المفردة فى درجات الحرارة بين خطى السيولة و الجمود و من اليوتكتى الذى تكون عند التجمد النهائى للسبائك على خط الجمود (246 °) .

اما السبائك بعد اليوتكتية، المحتوية مثلاً على 80% Sb فانها تكون فوق خط السيولة BC فى الطور السائل و عندما تصل عند تبريدها الى الخط BC [نقطة c (570 °) على البيانى] تتكون بها بلورات من الانتيمون النقى، و تستمر هذه العملية حتى درجة 246 °، و تتزايد كمية بلورات الانتيمون فيما بين نقطة c (570 °) و النقطة d (246 °) باستمرار فى حين ان الطور السائل من السبيكة يغير تركيبه حسب نقط خط السيولة BC . ولتعيين تركيب الطور السائل بالسبيكة عند اى درجة للحرارة بين خطى السيولة و الجمود و لتكن k1 (395 °) يمد خط مواز لمحور التركيز يقطع خط السيولة فى نقطة 11 التى تعطى اسقاطها على محور التركيز تركيب الحالة السائلة (40% Sb + 60% Pb) عند درجة الحرارة المعطاة (395 °) .

و عند الوصول الى درجة الحرارة اليوتكتية (246 °) يكون تركيب الطور السائل للسبيكة موافقاً لنقطة B (13% Sb ، 87% Pb) فيتبلور مكوناً يوتكتى . و بنفس الطريقة تتجمد كل السبائك بعد اليوتكتية . و بهذه المجموعة سبيكة واحدة - وهى السبيكة ذات التركيز اليوتكتى (13% Sb + 87% Pb) تتجمد عند درجة حرارة واحدة (246 °) مكونة بنينا يتركب من اليوتكتى فقط، دون بلورات ائدة من العنصرين النقيين .

قاعدة الاجزاء المقطوعة :

و تسمح بتحديد كمية الاطوار الموجودة بالسبيكة و مكوناتها بنيانها . و لهذا الغرض يمد خط عند درجة الحرارة المطلوبة) و لتكن 395 °، مثلاً اى النقطة K1 (شكل 41) مواز لمحور التركيز حتى يقطع خط لسيولة BC .

و يعطى استقامة نقطة التقاطع 11 على محور التركيز (نقطة
d) تركيب الطور السائل (40 % Sb) ، اما الطور الصلب فهو
انتيمون نقي . و تساوى النسبة بين كميات الطور الصلب Qs ، و الطور
السائل Ql :

$$\frac{Q_s}{Q_l} = \frac{11 k_1}{s_1 k_1}$$

أى أن كميات الاطوار تتناسب عكسيا مع الاجزاء المقطوعة
من الخط بين النقطة المعطاة و النقط التى تحدد تركيب الاطوار 11 ،
s1 .

و على سبيل المثال فالسبيكة 80 % Sb عند درجة 395 °
تكون

$$\frac{Q_s}{Q_l} = \frac{40}{20} = 2$$

أى أن الطور الصلب بهذه السبيكة ضعف الطور السائل . و
لتحديد نسبة كميات الطور المطلوب Ql ، Qs بالنسبة لكميات
السبيكة كلها Q يستعمل القانون التالى :

$$\frac{11 k_1}{11 s_1} = \frac{Q_s}{Q}$$

، فاذا كانت Q ك = 1 فان القانون يصبح :

$$\frac{k_1 11}{S_1 11} = Q_s$$

حيث $sl\ 11$ - الجزء المقطوع من خط السيولة حتى احداثى الانتيمون النقى.

3- قاعدة الاطوار :

تسمح قاعدة الاطوار، التى تعطى العلاقة بين عدد الاطوار والمكونات والعوامل الخارجية للمجموعة الموجودة فى حالة توازن - تسمح بالتحقق من صحة انشاء منحنيات و بيانات الحالة . يجب ان نحدد بدقة بعض المصطلحات المستعملة كثيرا فى نظرية السبائك .

النظام : هو مجموعة مكونات الاطوار بحثها و الموجود فى حالة توازن .

و يمكن ان يكون النظام بسيطا (رصاص نقى أو انتيمون نقى وحده) أو مركبا (سبيكة $Pb + Sb$)، متجانسة (سبيكة $Pb - Sb$ فى الحالة السائلة) او غير متجانسة (سبيكة $Pb - Sb$ فى الحالة الصلبة) .

المكون : هو كل جزء مستقل مكون للمجموعة على شكل عنصر او مركب كيميائى مستقل فمكونات النظام $Pb - Sb$ هى الرصاص و الانتيمون، و فى النظام $Fe - C - Fe_3C$ هى الحديد و كربيد الحديد و يرمز الى عدد المكونات بالحرف k .

الطور : هو كل جزء متماثل من النظام، يفصله عن الاجزاء الاخرى (فى الانظمة المركبة) سطح انفصال . و الاطوار يمكن ان تكون صلبة، سائلة او غازية والاطوار فى السبائك هى المكونات النقية و المحاليل الصلبة و السائلة و المركبات الكيميائية . و يرمز لعدد الاطوار بالحرف P .

عدد درجات الانطلاق (التغير) : هو عدد عوامل الاتزان التي

يمكن تغييرها فى حدود معينة دون أ يتغير عدد الاطوار . و من عوامل الاتزان : تركيز المكونات فى الاطوار (عوامل داخلية) ، و درجة الحرارة و الضغط (عوامل خارجية) ، و بالنسبة لسبائك المعادن لا ندخل الضغط فى الاعتبار عادة ، و بهذا يتبقى عامل خارجى واحد هو درجة الحرارة . و يرمز لعدد درجات الانطلاق عادة بالرمز C . و يعبر عن قاعدة الاطوار فى الحالة العامة بالشكل التالى : $C = K + 1 - p$

و لما كان التغير لا يمكن أن يكون كمية سالبة فان عدد الاطوار يجب الا يزيد عن عدد المكونات K بأكثر من 1 لتوازن السبائك المعدنية ، أة أن أقصى عدد للأطوار تحدده من العلاقة $P = K + 1$ و هذا يعنى ان عدد الاطوار فى نظام ثنائى المكونات لا يمكن أن يزيد عن 3 .

أمثلة لتطبيق قاعدة الاطوار : تشير القاعدة الافقية على منحنى

تبريد سبائك المجموعة $Pb - Sb$ عند تجميد اليوتكتى الى وجود 3 أطوار : الطور السائل و بلورات الرصاص و بلورات الانتيمون . اما عدد درجات الانطلاق فهو صفر (توازن غير قابل للتغيير) $C = 3 - 1 + 2 = 3$ صفر أى أن الاتزان ذى الثلاث أطوار يجرى عند درجة حرارة محددة (على خط أفقى) .

و فى سبائك النظام $Pb - Sb$ فى درجات الحرارة بين خط السيولة و خط الجمود توازن ثنائى الطور و لذلك فهناك درجة واحدة للانطلاق

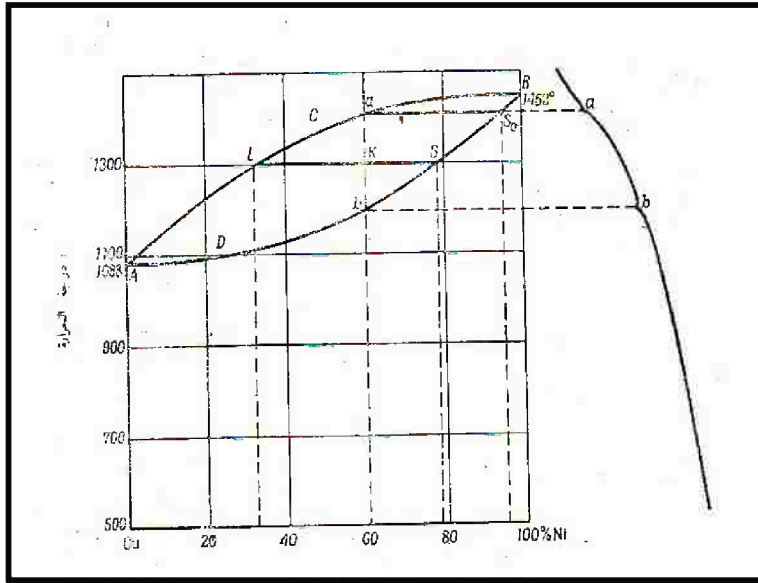
$$C = 2 - 1 + 1 = 2 \text{ (توازن وحيد التغير) .}$$

و تكون سبائك هذه المجموعة فى درجات الحرارة الاعلى من خط السيولة وحيدة الطور (الطور السائل) ، اى ان هناك توازن ثنائى التغير $C = 2 = 1 - 1 + 2$ ، اى انه يمكن تغيير درجة الحرارة (فوق خط السيولة حتى درجة الغليان) و التركيب مع الاحتفاظ بوحدة الطور .

4 – سبائك من مكونين قابلين للذوبان تمام فى الحالة السائلة و الصلبة (سبائك النوع الثانى) :

تكون الازواج التالية للمعادن محاليل صلبة غير محدودة النسبة : النحاس و النيكل ، الذهب و الفضة ، الذهب و الرصاص ، الحديد و النيكل ، الحديد و الكوبلت ، الحديد و الفاناديوم و بعض المعادن الاخرى .

و لدراسة هذا النوع من السبائك سنبحث سبائك المجموعة Ni – Cu (البرونز النيكلى) . و ينشأ الرسم البيانى لحالة سبائك هذه المجموعة (شكل 42) مثلما أنشأ الرسم البيانى للمجموعة Pb – Sb مسبقا ، باستعمال الطريقة الحرارية . و للمكونات النقية لهذه السبائك درجة واحدة للتوقف و هى النحاس 1083 ° (نقطة A) و للنيكل 1452 ° (نقطة B) . اما سبائك هذين المكونين فتتجمد فى مدى معين لدرجة الحرارة و لها نقطتان حرجتان على منحنى التبريد – و هما نقطتا الانحناء (على المنحنى المبين بيمين الشكل 42) . و لا توجد على منحنى تبريد سبائك هذا النوع هضبة . و ينشأ بيانى الاطوار على اساس النقط الحرجة المحددة للتحويل .



شكل رقم 42 ، رسم بياني لحالة سبائك النظام Cu – Ni

و الخط العلوى ACB يمثل نقط بدء التبلور للسبائك - خط السيولة، اما الخط السفلى ADB (الجمود) يبين درجة حرارة بدء الانصهار اما الخط ACB (السيولة فيبين انتهاء انصهار السبائك .

و تكون سبائك المجموعة Cu – Ni فوق خط السيولة ACB عبارة عن محلول سائل - أى طور واحد ، عدد درجات الانطلاق : $C = 1 - 1 + 2 = 2$ و يعنى هذا انه من الممكن فوق الخط ACB تغيير درجة الحرارة و تركيز السبيكة مع الاحتفاظ بتوازن النظام فى الطور الواحد ، اما فى مدى درجات الحرارة فما بين خط السيولة ACB و خط الجمود ADB فان النظام مزدوج الطور - هناك بلورات المحلول الصلب بالاضافة الى المحلول السائل، و هو لذلك وحيد التغير $C = 2 - 1 + 2 = 1$ ، و هذا يعنى انه يمكن تغيير درجة الحرارة فقط اما تركيب السبيكة فهو متغير غير مستقل . و السبائك تحت خط الجمود

ADB وحيدة الطور تتكون من المحلول الصلب وحده و لها درجتان من درجات الانطلاق $C = 2 - 1 + 1 = 2$.

لنبحث على سبيل المثال عملية تبلور سبيكة معينة، و لتكن تلك التى تركيبها 60% Ni ، 40% Cu (شكل 42) و احداثها هو 60% Ni . فعند وصولها الى درجة حرارة خط السيولة (النقطة a $\sim 1410^\circ$ م) تتكون اول بلورات من المحلول الصلب للنحاس فى النيكل (Cu) Ni * و يتحدد تركيب البلورات المتكونة عند درجة حرارة النقطة a 1410° بمسقط النقطة S0 الموجودة على خط الجمود على محور التركيب (95Ni %) .

و عند درجة الحرارة المقابلة للنقطة K تتكون السبيكة م محلولين : بلورات المحلول الصلب و السائل (الجزء السائل من السبيكة) . و لتحديد تركيب كل من هذين الطورين نمذ خطا يمر بنقطة K موازيا لمحور التركيب فيقع خط السيولة فى l و خط الجمود فى s . فيكون مسقط النقطة S متناساب مع الطور الصلب QS و يحتوى على 77% Ni ، 23% Cu (تسقط النقطة S0 على محور التركيز) اما نقطة l فتبين تركيب الطور السائل Ql و يحتوى على 32% Ni ، 68% Cu (مسقط النقطة l على محور التركيز) . و تحدد كمية الطور الصلب QS و الطور السائل Ql بالسبيكة بقاعدة الاجزاء المقطوعة :

$$Ql = \frac{sk}{sl} = \frac{17}{45} \text{ مج } l = \frac{28}{45} \text{ مج } s = QS$$

و عند تبريد السبيكة حتى درجة النقطة b (على خط الجمود) تتجمد السبيكة تماما و فيما تحت هذه النقطة تكون السبيكة وحيدة الطور عبارة عن محلول صلب (Cu) Ni .

و يتغير تركيب المحلول الصلب فى عملية التبلور تابعا فى ذلك خط الجمود ، اما تركيب المحلول فيتبع فى تغيره خط السيولة . فتكون البلورات المتكونة فى بداية التبلور (شكل رقم 42) غنية بالنيكل صعب الانصهار ، و باستمرار التبريد ينتشر النحاس من السبيكة المنصهرة الى هذه البلورات ، كما ان البلورات الجديدة التى تتكون تكون اكثر احتواء على النحاس و اقل احتواء على النيكل . و نتيجة لذلك ففى حالة الظروف الاتزانية تكون جميع البلورات فى نهاية التبلور ذات تركيب واحد نظرا للانتشار ، و يقابل هذا التركيب التركيب الاول للسبيكة ، اى انه فى كل بلورة حجم السبيكة كله يجب ان يكون التركيب فى الحالة التى نبحثها 60 % Ni ، 40 % Cu .

اما فى الظروف العملية ، اذا كان التبريد سريعا نوعا ، فان تركيب البلورات لا يجد الفرصة للتعاقل فيكون تركيب الاماكن المختلفة فى البلورة الواحدة مختلفا و يسمى عدم التماثل الكيميائى هذا بالانعزال الدندريتى او الانعزال داخل البلورات . و يسمح شكل الرسم البيانى لاطوار السبائك و المحاليل الصلبة بتحديد ميل اى سبيكة معينة الى تكوين الانعزال الدندريتى . و من الثابت انه كلما كان المدى بين خطى السيولة و الجمود اكبر كلما زاد احتمال حدوث الانعزال فى السبيكة . و يمكن ازالة الانعزال الدندريتى باستعمال التلدين الانتشارى على نطاق واسع و ابقائها فى هذه الدرجات .

5 – سبائك من مكونين ذوى قابلية غير محدودة للذوبان فى الحالة السائلة وقابلية محدودة للذوبان فى الحالة الصلبة (سبائك النوع الثالث) :

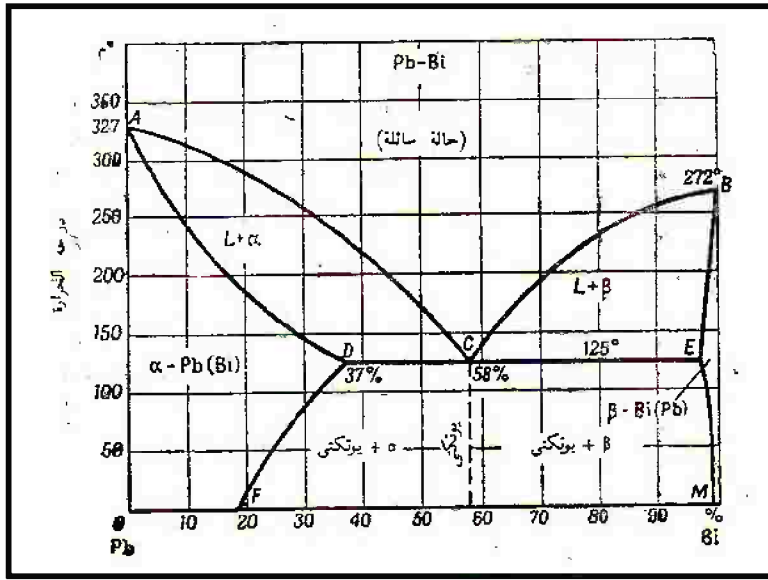
فى النوعين المبحوثين فيما سبق من السبائك اوردنا الحالات القصوى، و هى ان تكون المكونات فى الحالة الصلبة اما قابلة للذوبان تماما (Cu – Ni) او لا تقبل الذوبان اطلاقا (Pb – Sb) بعضها فى بعض .

اما عمليا فاننا نجد ان مكونات اكثر السبائك ذات قابلية محدودة للذوبان فى الحالة الصلبة . ومن هذه السبائك السبائك الاتية :

Fe – C ، Al – Cu ، Al – Si ، Pb – Bi ، Cu – Ag

و فى سبائك هذا النوع نجد مكونين A ، B ويمكن وجود ثلاث اطوار معا: الطور السائل L ، و المحلول الصلب α - A (B) ، و المحلول الصلب β - B (A) ، ولما كان الاتزان فى هذه الانظمة عديم التغير لاتزان ثلاثة اطوار عند درجة حرارة ثابتة هى α ، β ، L فانه يمكن ان يكون هناك نوعان من سبائك هذه المجموعة حسب التفاعل الذى يجرى عند هذه الدرجة الثابتة سبائك ذات يوتكتى و سبائك ذات بيريتكتى . و لفهم هذه العمليات التى تحدث عند تبلور السبائك محدودة الذوبان و المكونة ليوتكتى سنبحث الرسم البيانى لحالة سبائك المجموعة Pb – Bi (شكل 43) و لا تتكون عند تبلور سبائك هذه المجموعة اطوار تمثل اى من المتكونين النقيين، فمن السائل يمكن ان يفرز فقط المحلولان الصلبان α او β .

فوق خط السيولة ACB تقع منطقة المحلول السائل المتماثل L. و عند خط الجمود ADCEB يحدث التجمد التام للسبائك. و على يسار النقطة D و يمين النقطة E يجرى تجمد و تبريد السبائك حسب الرسم البياني للذوبان المتبادل الغير محدود (شكل 42) اما فى المناطق الواقعة بأسفل الخط AD و BE فيكون بناء السبائك عبارة عن المحلولات الصلبة α اى (Bi) و β اى (Pb) و فى سبائك هذا النوع تقل قابلية ذوبان المكونين فى بعضهما مع انخفاض درجة الحرارة، و نتيجة لذلك تفرز من بلورات α عند التبريد بلورات ثانوية من المحلول الصلب β حسب الخط DF و تفرز من بلورات β بلورات ثانوية من المحلول الصلب α حسب الخط EM.



* يرمز للمحلول الصلب

شكل رقم 43 ، رسم بياني لحالة سبائك النظام Pb – Bi

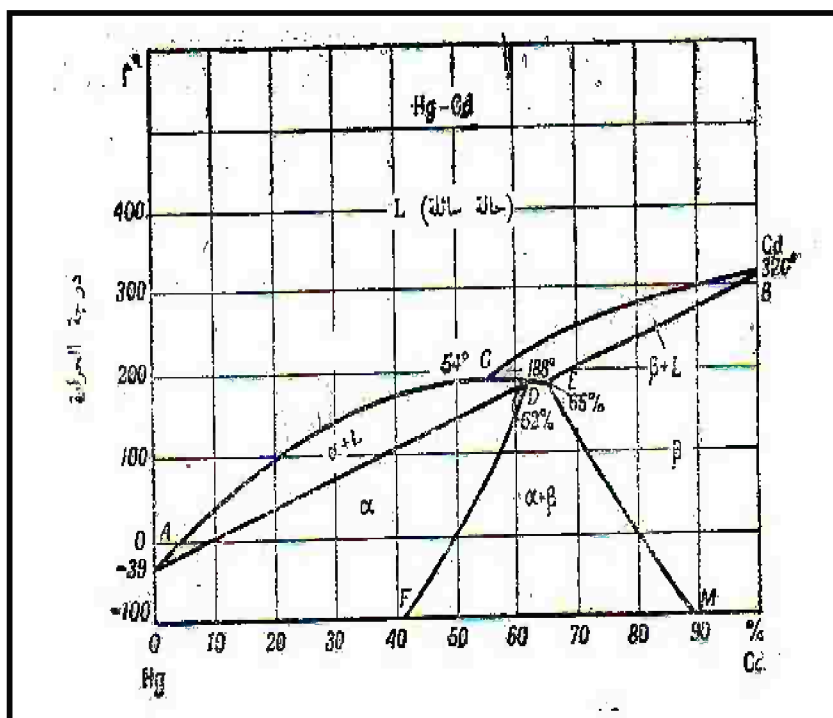
و تسمى هذه التحولات فى المحاليل الصلبة عادة بالتبلور الثانوى لتمييزها عن التبلور الاول اذى يحدث من المحلول السائل .

و فى السبائك التى يقع تركيبها بين النقط E و D يجرى التجمد مع تكون يوتكتى من $\alpha D + \beta E$ (حدود التركيز α هو D ، و β هو E) .

و تحدث عملية التبريد تحت خط الجمود تغيرات مستمرة للاطوار الموجودة - فيتغير المحلول الصلب α حسب الخط DF ، والمحلول الصلب β حسب الخط EM ، و عند انتهاء التبريد يكون تركيب الطور α هو تركيب النقطة F ($17\% Bi$) و تركيب الطور β هو تركيب النقطة M ($100\% Bi$) ، اى ان قابلية الرصاص للذوبان فى البزموت تنخفض الى الصفر و لهذا فان بنية سبائك المجموعة $Pb - Bi$ عند انتهاء التبريد (عند درجة حرارة الغرفة) تكون كالاتى : فى المدى من صفر الى $17\% Bi$ (نقطة F) بنية وحيدة الطور عبارة عن المحلول الصلب α ، و فى المدة من 17 الى $58\% Bi$ اجزاء من α الطليق + يوتكتى ($Bi + \alpha$) ، و عند التركيز $58\% Bi$ - يوتكتى خالص ($Bi + \alpha$) ، و فى المدى من 85 الى $100\% Bi$ اجزاء من البزموت الطليق + يوتكتى ($Bi + \alpha$) و تعيين النسبة بين كميات المكونات بتطبيق قاعدة الاجزاء المقطوعة .

و لنبحث الان الرسم البيانى لاطوار السبائك التى يحدث بها " تحول بيريتكتى " و من هذه السبائك المجموعة $Hg - Cd$ (شكل 44) و تكون السبائك فوق خط السيولة ACB فى الحالة السائلة (L) ، و تحت خط الجمود $ADEB$ فى الحالة الصلبة ، و بين هذين الخطين خليط من الطورين السائل و الصلب فتحت الخط AD -

المحلول الصلب α اى (Cd) Hg ، و الذى يتغير تركيبه مع تيردرجة الحرارة حسب الخط DF ، وتحت الخط BE - المحلول الصلب β اى (Hg) Cd ، و يتغير تركيبه حسب الخط EM .



شكل رقم 44 ، رسم بيانى لحالة سبائك النظام Hg - Cd

وسنستعمل للاختصار الرموز الاتية : يدل الحرف المكتوب على يسار الطور من أسفل على تركيب هذا الطور، مثال (L0) تعنى السبيكة السائلة ذات التركيب المساوى لتركيب النقطة C ، (α D) تعنى المحلول الصلب α ذى التركيب المساوى لتركيب النقطة D . و يحدث على الخط الافقى CDE تحول بيرتكى

فى السبائك تشترك فيه الاطوار الثلاثة التالية : المحلول السائل L0 ، و المحلول الصلب α D و المحلول الصلب β E فى اتران عديم التغير

$C = 2 + 1 - 3 = 0$ ، أى ان عملية التبلور تجرى عند درجة حرارة ثابتة (188 °م) ، و تدل الاحرف C, D, E على تركيب الاطوار .

و فى الجزء CD يتفاعل الجزء السائل من السبيكة L (54 Cd %) مع بلورات المحلول الصلب β (65 Cd %) مكونا محلولاً صلباً جديداً α D (62 Cd %) ، حسب التفاعل $LC + BE + \alpha D \longrightarrow LC$ (زائد)

و عند التبريد أسفل CD يتبلور من السبيكة السائلة المحلول α فقط و يكون تركيبه متغيراً .

اما فى الجزء DE فيتبقة نتيجة اتفاعل البيريتكتى :



بلورات زائدة من المحلول الصلب β E ، و بذلك فان بنية السبائك DEMF تتكون من خليط من المحلولين الصلبين α و β المتغيرى التركيب حسب الخطين DF و EM ، و يحدد تركيب الاطوار و النسبة الكمية لها بتطبيق قاعدة الاجزاء المقطوعة .

6- سبائك من مكونين يكونان فى الحالة السائلة محاليل

وعند التجمد مركبا كيميائيا ثابتا (سبائك النوع الرابع):

كثيرا ما نقابل فى الصناعة هذا النوع من السبائك . و لوصفها سنبحث مجموعة السبائك Mg - Sn (شكل 45) التى يكون مكوناتها مركبا كيميائيا ثابتا Mg_2Sn يحتوى على 71 % Sn و 29 % Mg . درجة انصهار Mg_2Sn - 778 °م . من الرسم البيانى نرة ان لهذا المركب الكيمائى نفس سمات المكون المستقل ، و تقسم هذه المجموعة الى مجموعتين : Mg - Mg_2Sn (السبائك المحتوية على Sn

بنسبة حتى 71 ٪ و $Mg_2Sn - Sn$ (السبائك المحتوية على Sn بنسبة 71 – 100 ٪) و بالتالى فانه يجب دراسة الرسم البيانى (بشكل 45) كما لو كان رسمين بيانين، الايسر منهما يمثل المجموعة $Mg - Mg_2Sn$ و هو عبارة عن الرسم البيانى لاطوار السبائك ذات الذوبان المحدود. و الايمن $Mg_2Sn - Sn$ يمثل بيانى اطوار السبائك ذات المكونات غير القابلة للذوبان فى بعضها فى الحالة الصلبة .

تكون السبائك فوق خط السيولة ABCDE فى الحالة السائلة و تحت خط الجمود AFKOM فى الحالة الصلبة . و فى المنطقة ABF يكون هناك طوران : الكور السائل L و الطور الصلب α (Mg_2Sn) Mg المتغير التركيب و بالجزء BCK طوران : المحلول السائل L و بلورات Mg_2Sn وبالجزء COD طوران : المحلول السائل L و بلورات Mg_2Sn وبالجزء DEM طوران المحلول السائل L و بلورات القصدير .

و تحت الخط NF تفرز من المحلول α بلورات ثانوية، و عند انتهاء التبريد تنخفض قابلية Mg_2Sn للذوبان فى Mg الى الصفر، و يتجمد اليوتكتى على الخط الافقى FBK (561 °) و يتركب من المحلول الصلب α و التركيب الكيميائى Mg_2Sn . و تحت درجة 561 ° فى مدى التركيب من 14.8 – 26.4 ٪ Sn تتكون بنية السبائك من α + يوتكتى و السبيكة ذات التركيب 36.4 ٪ الى 71 ٪ فتتكون بنيتها من بلورات طليقة Sn من Mg_2Sn مع اليوتكتى . اما السبيكة المحتوية على 71 ٪ Sn فلها بنية بلورية وحيدة الطور – وهى المركب الكيميائى Mg_2Sn .

عند انتهاء التبريد تكون للسبائك البنيات الاتية :

1) السبائك قبل اليوتكتية، اى المحتوية على Sn بنسبة 14.8 – 36.4%

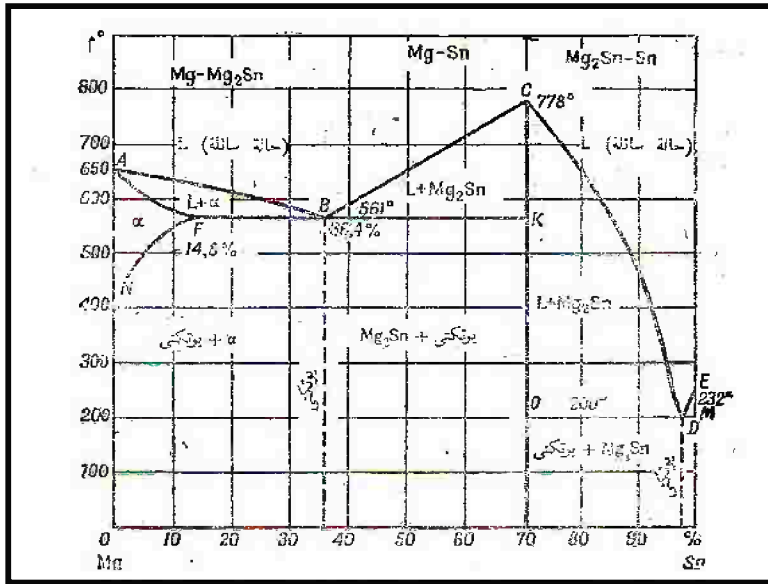
- تتكون من بلورات زائدة من الماغنسيوم + يوتكتي (Mg + Mg₂Sn) .

2) السبيكة المحتوية على 36.4 % Sn - يوتكتية التركيب .

3) السبائك بعد اليوتكتية (المحتوية على قصدير بنسبة 36.4 – 71%)
- وتتكون من بلورات زائدة من Mg₂Sn + يوتكتي .

4) السبائك المحتوية على 14.8 % من القصدير - وتتكون من بلورات
Mg₂Sn + Mg (ثانوية) دون يوتكتي .

يتكون على الخط ODM يوتكتي من الاكوار Mg₂Sn و
بلورات القصدير . و عند تمام تتكون بنية السبائك فى مدى التركيب
من 71 – 98 % Sn من بلورات طليقة من Mg₂Sn + يوتكتي . و عند
التركيب 98 % Sn - يوتكتي خاص، وفى مدى التركيب من 98 –
100 % صدير - بلورات طليقة من القصدير + يوتكتي .

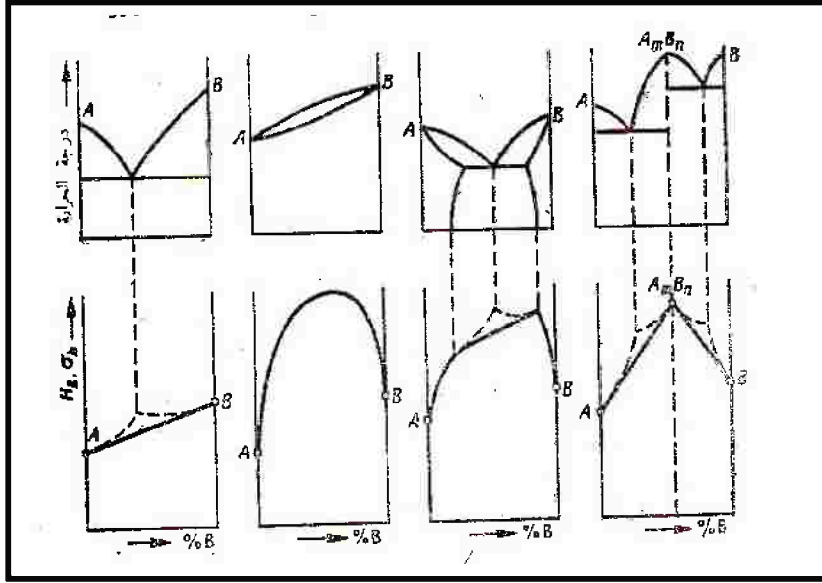


شكل رقم 45 ، رسم بياني لحالة سبائك النظام Mg – Sn

العلاقة بين خواص السبائك وتركيبها وبنائها :

أثبت العالم ن. س. كورناكوف بعد ابحاث متواصلة العلاقة بين الخواص الميكانيكية و الطبيعة للسبائك و تركيبها و بنائها (شكل 46) . وبعد ذلك بين العالم أ. أ. بوتشفار انه يمكن بتحليل السبيكة باستعمال الرسم البياني للاطوار، و تحديد أهم خواص السبائك عند سباكتها و هى السيولة و المسامية و غيرها .

و يمكن كذلك من الرسوم البيانية للاطوار الحكم على امكان تشغيل المعادن على الساخن و المعاملة الحرارية و التشغيل بالآلات القاطعة و غيرها من الصفات . و على سبيل المثال فالصلادة HB ونقطة الكسر (اجهد أقصى مقاومة) δ_b و التوصيل الكهربائى النوعى و المقاومة فى السبائك المكونة ليوتكتى ما تتغير بقانون الخط المستقيم، اى انها عبارة عن متوسط خواص المكونين .



شكل 46 ، العلاقة بين خواص السبائك وتركيبها (بياني الحالة)

والسبائك اليوتكتية ذات خواص ممتازة فى السبابة : فهى ذات درجة انصهار منخفضة و سيولة عالية و قابلية جيدة للتشغيل على ماكينات القطع اكا بالنسبة للسبائك التى تتجمد مكوناتها على شكل محاليل صلبة فان الخواص الميكانيكية ($HB\delta b$) ، تتغير بمنحنيات سلسلة كما ان لهذه السبائك توصيل منخفض للكهرباء و قابلية جيدة للتشغيل بالضبط ، كما ان قابليتها اردأ للسبابة و التشغيل بالقطع و تتغير الخواص الميكانيكية و الطبيعة للسبائك التى تكون مكوناتها مركبا كيميائيا و يوتيكا بقانون الخط المستقيم ابتداء من العنصر النقى حتى المركب الكيميائى باعتباره مكون جديد فى المجموعة ، اى انها المتوسط الحسابى من خواص المكون و المركب الكيميائى .



1- مكونات سبائك الحديد والكربون :

يعتبر الصلب والحديد ازهر، وهما أهم المواد المعدنية في الصناعات الميكانيكية، من سبائك الحديد والكربون .

ومكونات سبائك الحديد والكربون هما الحديد والكربون، وقد أوردنا فيما سبق منتحني تبريد الحديد النقي (شكل 19) مع بيان ما فيه م، أشكال تآصلية α و γ في سبائك الحديد والكربون ، غير أن درجات حرارة التحولات تتغير قليلا حسب نسبة الكربون في السبيكة .

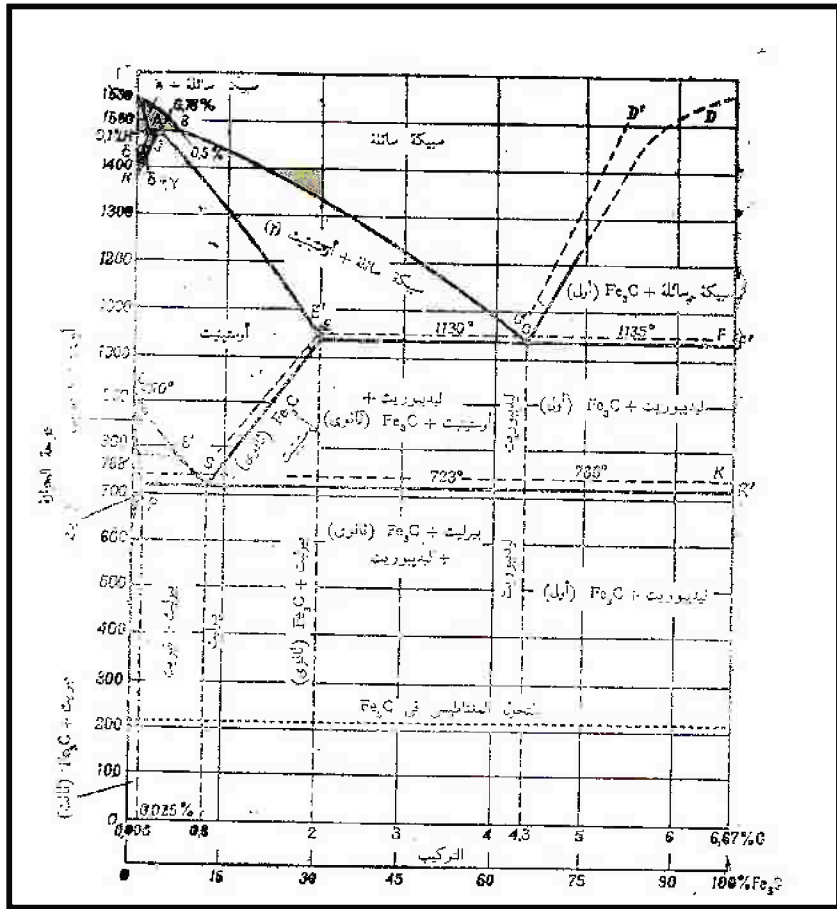
أما المكون الثاني لهذه السبائك هو الكربون (c) فيكون مع الحديد مركبا كيميائيا FeaC (كارييد الحديد - السمنتيت) وهو يحتوي علي الكربون بنسبة 6,67 % .

2- بيان أطوار سبائك الحديد والكربون

لقد تحددت معالم بيان أطوار سبائك مجموعة الحديد والكربون (قي الشكل التالي رقم 47) كما نعرف الآن نتيجة للأبحاث التي قام بها عدد من علماء المعادن، وقد بدأ إنشاء هذا البياني د. ك تشرنوف، الذي أكتشف النقط الحرجة للصلب في سنة 1868 م . وقد عاود بحث هذا البياني بعد ذلك أكثر من مرة، وقد قدم ن، ف، جوتوفسكي و م. ف. وروترتس - أوستن وروزيانوم الكثير في دراسة هذا البياني وبأعمال إ. إ. كوربنيلوف أحدث البيئات بهذا الخصوص، وتعتبر سبائك الحديد والكربون من النوع الذي يكون مركبا كيميائيا (أنظر الشكل 45) .

وسنبحث فيما يلي الجزء من بياني الأطوار الذي يشمل السبائك المحتوية علي الكربون بنسبة تصل إلي 6,67% فقط، إذا أن السبائك المحتوية علي الكربون بنسبة أعلي من ذلك لا تستعمل عمليا والكربون في سبائك الحديد والكربون يمكن أن يكون متحدا FeaC أو في الحالة الحرة (c أى الجرافيت) ولهذا فإن الأطوار يشمل علي نظامين : 1) Fe-Fe₃C (غيرالمستقر) وهو مبين في الشكل (47) بخطوط منقطة - يعطي هذا النظام الشكل التخطيطي لتكوين البنيات المختلفة بأنواع الزهر الرمادي والمختلط، حيث يوحد الكربون كلياً أو جزئياً في الحالة الحرة (الجرافيت).

لدراسة التحولات التي تحدث في أنواع الصلب الزهر الأبيض يستعمل لبياني Fe-Fe₃C أما لدراسة أنواع الزهر الرمادية فبستعمل البيانيان (Fe - C, Fe- Fe-Fe₃C) معا .



شكل رقم 47 - بياني لحالة سبائك الحديد والكربون :
الخطوط المستمرة - النظام Fe-Fe₃C الخطوط المنقطعة
(الأفقية والمائلة - النظام C-Fe)

بيان أطوار سبائك المجموعة Fe-Fe₃C :

تمثل الخطوط المستمرة (بشكل 47) بياني أطوار سبائك الحديد السمنتيت يبين ببيان وتحويلات أنواع الصلب والزهر الأبيض، وذكرونا هذا البياني ببيانات أطوار السبائك التقليدية التي بحثناها فيما سبق، فية تحول بيريتكلي (بالركن العلوي الأيسر)

وقابلية محدودة للذوبان في الحالة الصلبة ومركب كيميائي ويوتكتي، غير أن بة شيئاً جديداً - وهو خطوط درجة الحرارة الموجودة تحت خط الجمود والتي تمتد فتشمل كل سبائك المجموعة وتدل هذه علي حدوث التبلور الثانوي .

وقد أخذت علي المحور الأفقي نسبة الكربون المئوي في السبائك حتي 6,67% حتي نسبة التركيزه في المكون الثاني للمجموعة - السمنتيت . وعلي نفس المحور أخذنا كذلك نسبة السمنتيت (أرقام السطر الثاني) بالمئة من 0 إلي 100 إذا احتواء السبيكة علي 6,67% من الكريون يعني احتوائها علي 100% من السمنتيت .

فلنبحث بياني حالة المكونين Fe- Fe-Fe₃C تتاظر النقطة D درجة تجمد السمنتيت (~ 1550 °) .

ويمكن تقسيم البياني إلي جزئين حسب تحول السبائك عند تغير درجة الحرارة : 1- الجزء العلوي ويشمل التبلور الأولي للسبائك ابتداء من خط السيولة ABCD حتي خط الجمود AHJECF ، ، 2) الجزء السفلي ابتداء من خط الجمود حتي إنتهاء التبريد ويشمل عمليات البلور الثانوي للسبائك .

وتكون تقسيم مهما كان تركيبها في الحالة السائلة فوق خط اليولة ABCD وبين خط الجمود AHJECF درجة تجمد السبائك، أي أن عملية اليبلور تنتهي عند هذا الخط . أما بين خط الجمود والخط GPSK فتجري عمليات التبلور الثانوي للسبائك .

ويمكن تقسيم البياني حسب تركيب السبائك (او تركيزها) إلى منطقتين:

1) منطقة الصلب المحتوي علي كربون بنسبة حتي 2% ولا يوجد بهذه السبائك يوتكي- ليديوريت و 2- منطقة للحديد الزهر المحتوي علي كربون بنسبة من 2 إلي 6,67% (ويتكون بهذه السبائك يوتكي - ليديوريت).

أ- منطقة التبلور الأولي :

المنطقة ABC هي المنطقة إفراز بلورات المحلول الصلب للكربون في حديد أي $\text{Fe}\delta(\text{C})$ من السبيكة السائلة . وبالمناطق ABH توازن ثنائي الطور بين بلورات المحلول الصلب $\text{Fe}\delta(\text{C})$ ذات التركيز المتغير (يتغير تركيب هذه البلورات حسب الخط AH والمحلول السائل (L) ذي التركيز المتغير كذلك (بتغير تركيز المحلول السائل حسب الخط AB) وتتجمد علي الخط AH السبائك المحتوية علي كربون بنسبة حتي 0,1% ويوجد تحت هذا الخط طور واحد - المحلول الصلب $\text{Fe}\delta(\text{C})$ ويجري علي الخط الفقي HJB (1496°) تفاعل بيريتكتي : فيكون الطور السائل (المحتوي علي 0,1% C) والمحلول الصلب للكربون في حديد - $\text{I}\delta$ $\text{Fe}\delta(\text{c})$ (المحتوي علي 0,1% C) محلولاً صلباً للكربون في حديد - $\text{F}_2(\text{C})$ (يحتوي علي 0,18% C) أي أن هناك توازن ثلاثي الطور عديم التغلر للنظام ، فيرمز للمحلول الصلب للكربون في حديد $\text{F}_2(\text{C})$ بالرمز $\text{FeF}_2(\text{C})$ ويسمي (بالأوسنيت) .

وتشمل المنطقة JBCE السبائك المحتوية علي C بنسبة حتي 4,3% ويتحول المحلول الصلب $\text{Fe}(\text{c})$ إلي FeF_2 تحت الخط JB ،

أما الخط BC فيبين بدء إفراز بلورات المحلول الصلب للكربون في حديد - ٢ . (الأوستيت) (Fe_3C) من السبيكة السائلة وبين الخط JE إنتهاء تبلور السبائك المحدودة بالنسبة 2% C يتكون الأوستيت (Fe_3C) ، فالطور الوحيد الذى يبقى تحت هذا الخط هو الأوستيت الخالص . و تكون السبائك بين الخطين BC و JEC ثنائية الطور : فيها بلورات من الأوستيت التى يتغير تركيبها حسب الخط JF ، و السبيكة السائلة (L) ، التى يتغير تركيبها حسب الخط BC . و نسبة الكربون فى الأوستيت عند درجة حرارة 1130 ° (نقطة E) هى 2 % ، بينما نسبته فى الجزء السائل من السبيكة (نقطة C) 4.3 % . و تتجمد السبائك المحتوية على كربون بنسبة من 2 - 4.3 % على الخط EC عند درجة 1130 ° . وعند نقطة C تتحول السبيكة السائلة الى يوتكتى يسمى بالليديوريت و هو عبارة عن خليط من بلورات (Fe_3C) ، Fe_3C .

و تتركز السبيكة المحتوية على كربون نسبة 4.3% عن السبائك الاخرى للمجموعة بكونها تتجمد عند درجة حرارة واحدة لا فى مدى من درجات الحرارة (خط السيولة و خط الجمود) و هى درجة حرارة النقطة 1130 ° C و تكون عند تجمدها يوتكتيا هو الليديوريت دون أطوار زائدة .

المنطقة DCF (شكل 47) و يبين خط السيولة DC بدء افراز بلورات السمنتيت الاولى Fe_3C من السبيكة السائلة . اما فى المدى بين DC و CF فان السبائك تكون مزدوجة الطور : بلورات من السمنتيت المفرز من السبيكة السائلة ، و السبيكة السائلة التى يتغير تركيبها حسب الخط DC حتى يصل تركيزها الى 4.3 % C و ينتهى

تبلور السبائك على خط الجمود CF يتكون يوتكتى يتركب من :
 Fe_3C ، $Fe\gamma(C)$. وهكذا تتكون فى نظام حديد - سمنتيت
بنتيجة التبلور الاولى للبنيات التالية :

(1) السبائك المحتوية على C بنسبة حتى 0.1% و تكون محلول صلب
من $Fe\gamma(C)$.

(2) السبائك المحتوية على $0.1 - 0.18\%$ C تكون خليطا من المحلولين
الصلبين $Fe\delta(C)$ ، $Fe\gamma(C)$.

(3) السبائك المحتوية على $0.18 - 2\%$ C تكون محلولاً صلباً من
الاورستيت $Fe(C)$.

(4) السبائك المحتوية على $2 - 4.3\%$ C تتكون من اورستيت و
الليديوريت .

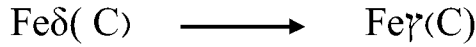
(5) السبيكة المحتوية على على كربون بنسبة 4.3% C تكون
ليديوريت .

(6) السبائك المحتوية على كربون بنسبة من $4.3 - 6.67\%$ تتكون من
سمنتيت و ليديوريت .

وكما بينا سابقا فان جميع سبائك المجموعة $Fe - Fe_3C$
تتقسم حسب مكونات بنياتها الناتجة عند التبلور الاولى الى الانواع
التالية : الصلب - و هى السبائك المحتوية على كربون بنسبة حتى 2%
(الجزء الايسر من الرسم البيانى) و التى لا يتكون بها ليديوريت ،
وانواع الحديد الزهر (الابيض) - و هى السبائك المحتوية على كربون
بنسبة من $2 - 6.67\%$ ، و التى يتكون بها ليديوريت .

ب - التبلور الثانوى للسبائك :

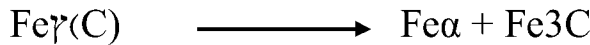
تسمى التحولات التى تحدث فى السبائك فى الحالة الصلبة عند درجات حرارة تحت خط الجمود ، بالتبلور الثانوى للسبائك . لنبحث التبلور الثانوى للصلب اولا (شكل 47) اى للسبائك المحتوية على كربون بنسبة 2 % . فى انواع الصلب المحتوية على كربون بنسبة لا تزيد عن 0.1 % عند الخط NH يحدث تحول بوليمورفى (تتكون به عدة أطوار)



اما السبائك المحتوية على كربون بنسبة تقع فيما بين 0.1 – 0.18 % (بالمنطقة NHJ) فان عملية التحول من δ $\longrightarrow$ γ بها تتكون عملية مزدوجة الطور ($\text{Fe}\delta(\text{C})$ و $\text{Fe}\gamma(\text{C})$ ، يتغير تركيزها حسب الخطين NH و JN .

اما المنطقة بين الخطين NJE و GSE والتى تشمل انواع الصلب المحتوية على كربون بنسبة لا تزيد عن 2 % فتكون كل انواع الصلب فيها وحيدة الطور و تتألف بنيتها من الاوستنيت $\text{Fe}\gamma(\text{C})$.

و يكون الصلب المحتوى على 0.8% كربون (الصلب اليوتكتويدى) فوق النقطة 723°S فى حالة اوستنيتية و عند هذه النقطة يحدث تحول يتكتويدى يشبه التحول اليوتكتى فيتحول الاوستنيت الى خليط من الفيريت و السمنتيت، و يسمى بالبيرليت، و ذلك حسب التفاعل :



وهذا التحول عديم التغيير و ذلك لوجود ثلاثة اطوار :



و فيما تحت درجة الحرارة اليوتكتويدية يكون هذا الصلب ذا بنية بيرليتية (شكل 48، c). و يسمى هذا الصلب بالصلب اليوتكتويدى كما يسمى التحول عند النقطة S بالتحول اليوتكتويدى و درجة حرارة هذا التحول (723 °) بدرجة الحرارة اليوتكتويدية .

و يقسم الصلب اليوتكتويدى (0.8 % C) انواع الصلب الى

قسمين :

1) انواع الصلب قبل اليوتكتويدية المحتوية على كربون حتى نسبة 0.8 % .

2) انواع الصلب بعد اليوتكتويدية المحتوية على كربون بنسب من 0.8 - 2 %

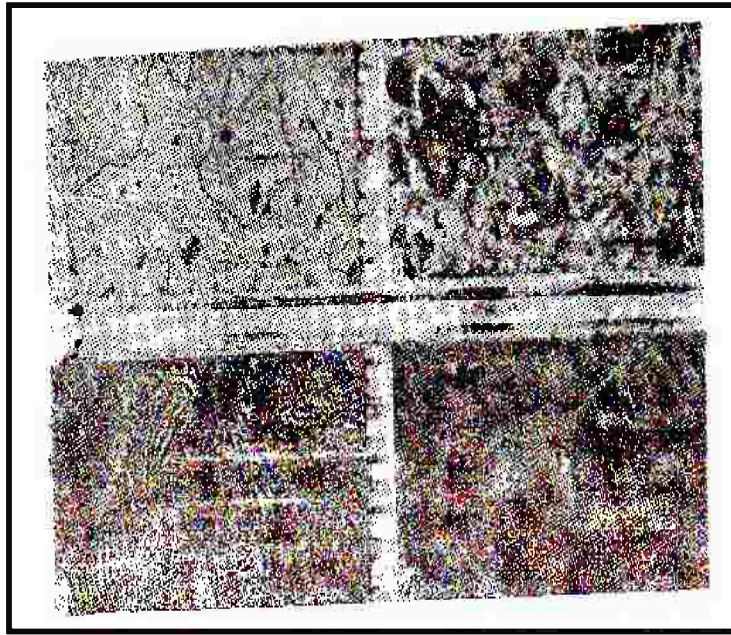
التحولات فى انواع الصلب قبل اليوتكتويدية عند التبريد :

يبين الخط GS (شكل 47) بدء افرازات بلورات الفيريت $Fe\alpha(c)$ من الاوستيت نتيجة للتحول $\gamma \rightarrow \delta$ يوجد بالمنطقة GSP طوران : بلورات الفيريت $Fe\alpha(C)$ المتغيرة التركيز (و يتغير تركيز الكربون فى الفيريت حسب الخط GP و عند درجة حرارة 723 ° يذوب الفيريت 0.025 % C)، و بلورات للاوستيت $Fe\gamma(C)$ المتغيرة التركيب : اذ ان تركيز الاوستيت يتغير حسب الخط GS فيصل S. و نتيجة للتبلور الثانوى و عند تمام التبريد تتكون بالصلب الذى يحتوى على نسبة 0.8 % كربون عند درجة 723 ° (نقطة قبل

اليوتكتويدى بنيات مكونة من الفيريت + بيرليت (شكل 48))
ويحتوى الفيريت $Fe_2(C)$ على 0.008 % كربون .

التحولات فى انواع الصلب بعد اليوتكتويدية :

تفرز بلورات السمنتيت الثانوى Fe_3C من الاوستيت حسب الخط ES وهذا يعنى انه فى مدى درجات الحرارة بين ES و SK (شكل 47) تكون انواع الصلب مزدوجة الطور : منها اوستيت (C) Fe_2 المتغير التركيز، يتغير تركيزه حسب الخط ES ويصل لدرجة حرارة $723^{\circ}C$ الى 0.8 % C ، كما ان بها سمنتيت ثانوى Fe_3C . ويتحول الاوستيت عند الخط SK $723^{\circ}C$ الى بيرليت (تحول يوتكتيدى) . وعند تمام التبريد تتكون بنية الصلب بعد اليوتكتويدى من البيرليت و بلورات طليقة (زائدة) من السمنتيت الثانوى (شكل 48، d) و هكذا فان تحليل الجزء الخاص بالصلب من بيانى الاطوار للمجموعة $Fe - Fe_3C$ (شكل 47) - اى ان نتائج التبلور الاول و الثانوى - تبين انه يمكن تقسيم جميع انواع الصلب حسب بنيتها الى ثلاثة انواع و قد اوردنا بجدول 4 بنيات هذه الانواع من الصلب .



شكل رقم 48 ، البنية الميكروسكوبية للحديد و الصلب :

- (1) الحديد (الفيريت) .
- (2) صلب يوتكتويدي يحتوى على 0.5% كربون (فيريت + بيرليت) .
- (3) صلب يوتكتويدي يحتوى على 0.8% كربون (بيرليت) .
- (4) صلب بعد يوتكتويدي يحتوى على 1.3% كربون (بيرليت + شبكة من السمنتيت) .

أنواع الصلب	نسبة الكربون	البنية
قبل يوتكتويدي	0.8 – 0 %	فيريت + بيرليت
يوتكتويدي	0.8 %	بيرليت
بعد يوتكتويدي	0.8 – 2 %	بيرليت + سمنتيت

جدول رقم (4) ، أنواع بنيات الصلب الكربوني

كما اوردنا بشكل (48) البنيان الميكروسكوبى لهذه
الانواع من الصلب، و تتحدد النسبة الكمية لمكونات البنية حسب
قاعدة الاجزاء المقطوعة .

مثال :

صلب قبل يوتكتويدى يحتوى على 0.3 % كربون و يتركب
بنيته من الفيريت و البيرليت . و المطلوب تحديد كمية الفيريت ك ف و
البيرليت ك ب بهذا الصلب.

ملاحظة : يمكن اهمال احتواء الفيريت على الكربون (بنسبة
0.008 %) فى الحسابات العملية .

الحل

بتطبيق قاعدة الاجزاء المقطوعة :

$$\text{ك ب} = \frac{100 \times 0.5}{0.8} = 62.5 \%$$

$$\text{ك ب} = \frac{100 \times 0.3}{0.8} = 37.5 \%$$

مثال :

تتركب بنية الصلب بعد اليوتكتويدى المحتوى على 1.2 % C
من البيرليت و السمنتيت . و المطلوب تحديد كمية البيرليت ك ب و
السمنتيت ك س .

الحل

للنوع المعطى من الصلب نجد ان طول الجزء المقطوع المتناسب مع كمية البيرليت : $1.2 - 0.8 = 0.4$ ، و طول الجزء المقطوع المتناسب مع كمية السمنتيت : $6.67 - 1.2 = 5.47$ ، و مجموع الاجزاء المقطوعة هو $6.67 - 0.8 = 5.87$. بتطبيق قاعدة الاجزاء المقطوعة نجد ان :

$$\text{ك ب} = \frac{5.47}{5.87} \times 100 = 93.18 \% \text{ و كمية السمنتيت :}$$

$$\text{ك س} = \frac{0.4}{5.87} \times 100 = 6.82 \%$$

و يمكن من وجود مكونات البنية فى الصلب الحكم على خواصه اذا كانت خواص هذه المكونات معروفة لنا .

3- خواص الصلب الكربونى فى حالة الاتزان (بعد التبريد البطيء) :

بنية الصلب المبرد تبريدا بطيئا تكون مزدوجة الطور : فهى تحتوى على الفيريت و السمنتيت ، و يدخل هذان الطوران فى تركيب البيرليت ، و قد يوجدان جزئيا على شكل مكونات طليقة زائدة - هى الفيريت و السمنتيت .

و بتطبيق فروض ن . س . كورناكوف للسبائك - المخاليط على انواع الصلب ، يمكن تحديد خواصها على اساس خواص كل من الطورين الداخلين فى تركيب بنيتها بهذه النسبة او تلك - و هما الفيريت و السمنتيت . و يعتبر الفيريت الحالة اللينة الصعبة الكسر نسبيا فى سبائك الحديد و الكربون . و يمكن عمليا ان تؤخذ الخواص

الميكانيكية للفيريت كما يلي رقم الصلادة البينيلى $HB \approx 80$ كجم/مم²، و المقاومة القصوى $\sigma_b \approx 30$ كجم/مم²، الاستطالة النسبية $\delta \approx 40\%$ ، نقص مساحة المقطع $\Psi \approx 70\%$ ، مقاومة الصدمات (رقم آيزود)

$ak \approx 20$ كجم مم² اما السمنتيت فهو الطور الصلب الهش فى سبائك الحديد و - الكربون، و تساوى صلادة السمنتيت $H_s = 700 - 800$.

و الخواص الميكانيكية للبيرليت كالآتى :

الصلادة $H_s = 180$ ، المقاومة القصوى $\sigma_b = 85$ كجم/مم²، الاستطالة النسبية $\delta = 10\%$. وهذه الارقام صحيحة بالنسبة للبيرليت ذى الرقائق الكبيرة، اما البيرليت الدقيق الرقائق و البيرليت الحبيبي فان الصلادة و المقاومة القصوى بهما تنخفض فى حين تزداد الاستطالة النسبية و مقاومة الانكسار (الشغل المبذول لكسر العينة). وعلى العموم لتعيين خواص الصلب من بنيته فلا يكون الاتقريبيا و لما كان ن. س . كورناكوف و أ . أ . بوتشفار يقولان بأن الصلادة و المقاومة القصوى للسبائك هى عبارة عن المتوسط الحسابى لهذه الخواص بالنسبة لمكونات السبائك، فان صلادة الصلب المملدن يمكن تحديدها من المعادلة :

$$HB = 1.3 (80 \text{ ك ف} + 180 \text{ ك ب}) \text{ للصلب القابل}$$

اليوتكتويدى، كما ان

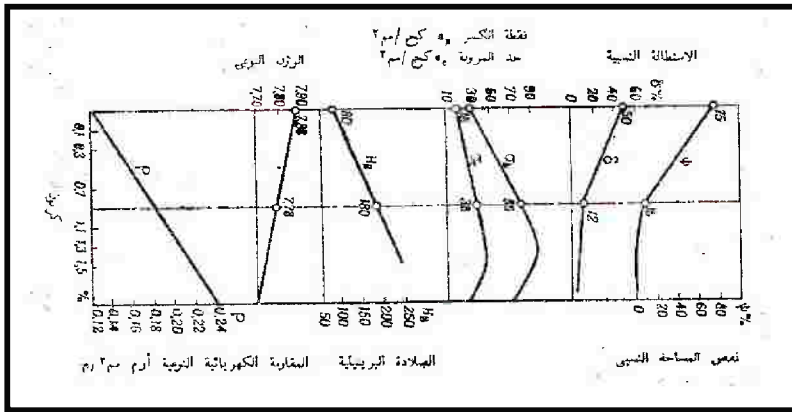
$$HB = 1.3 (180 \text{ ك ب} + 800 \text{ ك س}) \text{ للصلب بعد}$$

اليوتكتويدى . وقد أضيف المعامل 1.3 لتصحيح التغير الناتج عن تأثير الشوائب فى الصلب، اما المعاملات 80، 180، 800 فهى ارقام الصلادة البرينيلية للفيريت و البيرليت و السمنتيت . فى حين ان الرموز

ك ف، ك ب، ك س تعبر عن كمية الفيريت و البيرليت و السمنتيت فى الصلب فى اجزاء عشرية او مئوية من الكمية الكلية للصلب التى تعتبر مساوية للوحدة .

و تتحدد خواص الصلب قبل اليوتكتويدى، الذى يتكون من البيرليت و الفيريت الزائدة بمكية كل من عنصرى البنية و لذا تكون مقادير هذه الخواص متوسطة بين مقادير خواص الفيريت و البيرليت . اما فى الصلب بعد اليوتكتويدى فيظهر بدلا من الفيريت سمنتيت زائد ، و بزيادة نسبة الكربون فى الصلب تتغير كل خاصه كما يحدث فى الصلب قبل اليوتكتويدى، فتتزايد الصلادة و المقاومة و تنقص اللدونة . و بزيادة كمية السمنتيت الائد فى الصلب تتزايد قساوته زيادة كبيرة و تنقص المقاومة و يصبح تقدير الخواص الميكانيكية بالحساب غير دقيق .

و يبين شكل رقم (49) تغير خواص الصلب تبعا لنسبة الكربون به .



شكل رقم (49) ، تغير خواص الصلب حسب نسبة الكربون

ومن الشكل نرى ان زيادة نسبة الكربون فى الصلب، او بمعنى آخر زيادة نسبة الطور الصلب القصيف وهو السمنتيت تتبعها تتبعها زيادة صلادة الصلب HB ومقاومته σ_b فى خطوط مستقيمة، فى حين تتناقص لدونة الصلب و اما بالنسبة للخواص الطبيعية للصلب فان الوزن النوعى يتناقص فى خط مستقيم فى حين تتزايد المقاومة الكهربائية فى خط مستقيم تقريبا . ويتم التحكم فى خواص الصلب عمليا بتغيير بنيته بمعاملته حراريا وكيميائيا .

الشوائب فى الصلب :

تحتم ظروف انتاج الصلب وجود بعض العناصر، غير الكربون، فى الصلب على شكل شوائب ومن هذه العناصر : السيليكون Si، المنجنيز Mn ، والفوسفور P، والكبريت S، والاكسجين O، والنيتروجين N .

السيليكون :

يعتبر هذا العنصر فى حالة وجوده فى الحدود من 0.17 – 0.37 % عنصرا مفيدا، اذ انه يساعد على اختزال الصلب و يرفع بذوبانه فى الفيريت مرونة الصلب .

المنجنيز :

و هذا العنصر ايضا مفيد فى الحدود ما بين 0.25 – 1 % فهو يزيد من متانة الفيريت عند ذوبانه فيه، كما انه يرفع الخواص الميكانيكية للصلب و يزيد من قابليته للتقسية اذ يكون كاربيد المنجنيز Mn_3C و يساعد المنجنيز على ابطال الاثر السيئ للكبريت .

الكبريت :

من الشوائب الضارة فى الصلب . فان كبريتيد الحديد Fe S يكون مع الحديد يوتكتيا سهل الانصهار، اذ ينصهر عند 985°C . ويؤدى ذلك الى انكسار الصلب عند تخزينه اذ انه يذوب عند تسخين الصلب تمهيدا لتشغيله بالحرارة او الكبس او الدرفلة. ولمنه تكون ال FeS تضاف الى الصلب نسبة مرتفعة من المنجنيز الذى يتحد مع الكبريت مكونا Mn S ولا يسمح فى انواع الصلب المعتادة بزيادة نسبة الكبريت عن 0.05 % وفى الانواع الجيدة منه عن 0.03 %.

الفوسفور :

يكون الفوسفور الحديد محلولاً صلباً Fe(P) متغير التركيز مركب كيميائى Fe_3P ، و يميل الى الانعزال ويرفع بذلك من الصلادة للصلب كما يخفض لدونته و مقاومته للصدمات بدرجة كبيرة و لهذا فلا يسمح بزيادة نسبة الفوسفور فى الانواع المعتادة من الصلب عن 0.05 % و فى الانواع الجيدة منه عن 0.03 % .

ومن الجدير بالذكر ان الكبريت و الفوسفور يرفعان من قابلية الصلب للتشغيل – فيمكن استخدام الآلات القاطعة مدة أطول كما ان السطح المشغل يكون اجود . و لهذا توجد للمخارط الاوتوماتيكية (الآلية) انواع خاصة من الصلب تصل فيها نسبة الكبريت الى 0.08 – 0.2 % و نسبة الفوسفور الى 0.15 % .

الاكسجين :

و يكون فى الصلب اكاسيد ، يسبب انكسار للصلب عند درجات الحرارة المرتفعة و تخفض من قابليته للتشغيل بالآلات القاطعة .

النيتروجين :

ويكون فى الصلب نتريدات قصفة شديدة الصلادة .

و تصل نسبة الشوائب فى الصلب الكربونى حسب المواصفات الحالية، المنجنيز (Mn) حتى 1.0 %، السليكون (Si) 0.8 %، الكروم (Cr) 0.3 %، والنيكل (Ni) 0.3 %، فاذا زادت نسبة هذه العناصر عن ذلك يعد الصلب صلبا سبائكيا .

4- انواع الصلب الكربونى :

ينقسم الصلب حسب استعماله الى نوعين : صلب انشاءات، و صلب عدة .

1 (صلب الانشاءات الكربونى : و ينقسم حسب استعماله الى :
1) صلب كربونى معتاد، و يستعمل عادة بنفس الحالة التى يورد بها دون معاملة حرارية .

2) صلب كربونى جيد، يستعمل للاجزاء التى تعامل معاملة حرارية كهربية .

و ينقسم الصلب الكربونى المعتاد الى مجموعتين : المجموعة أ (A) و المجموعة ب (B) .

طلب المجموعة أ (A) :

ويرقم طبقا للمواصفات القياسية السوفيتية لا حسب التركيب الكيميائى و انما حسب خواصه الميكانيكية صلب (صفر) - .
CT. 1 - (1) صلب، CT. 2 - (2) صلب، CT. 3 - (3) صلب، CT. 4 - (4) صلب، CT. 5 - (5) صلب، CT. 6 - (6) صلب .

CT، صلب (7) - CT. 7 . ولكل ماركة قيمة معينة للمقاومة القصوى و حد الانسياب و الاستطالة النسبية .

صلب المجموعة ب (B) :

ويرقم حسب التركيب الكيميائى، و يوضع قبل الماركة حرف (M) فى حالة صهر الصلب فى فرن مارتن فعلى سبيل المثال : الصلب م 1 - 1 MCT، و الحرف (B) فى حالة صهر الصلب فى محول بسمر مثل الصلب ب 3 - 3 BCT، والحرف (T) فى حالة صهر الصلب فى محول توماس، مثل الصلب ت 4 - 4 TCT .

ويستعمل الصلب المعتاد استعمالا واسعا على شكل الواح و مقاطع للانشاءات المعدنية و الكبارى و اجزاء الماكينات غير الهامة .

اما انواع صلب الانشاءات الجيد فقد وردت فى المواصفات القياسية السوفيتية مع بيان تركيبها الكيميائى و خواصها الميكانيكية بعد المعادلة، و هى الماركات

، 25 ، 30 ، 35 ، 40 ، 45 ، 50 ، 55 ، 60 ، 65 ، 70 KH ، 8 ، 10 ، 15 ، 20 .

و فى هذه الانواع يبين العدد المكون من رقمين نسبة الكربون فى أجزاء من مئة بالمئة . اما نسبة المنجنيز فى الصلب 08 فتتراوح بين 0.25 - 0.50 %، و فى الانواع 20 ، 15 ، 10 بين 0.35 - 0.65 % و فى الانواع الباقية من 0.5 - 0.8 % .

و نسبة السليكون فى صلب 08 الفوار $0.03 >$ وفى الانواع الاخرى من 0.17 - 0.37 %، ونسبة الكبريت لاتزيد عن 0.04 %، و

نسبة الفوسفور لا تزيد عن 0.045 %، و النيكل لا تزيد عن 0.3 %، و الكروم لا تزيد عن 0.3 % .

وتستعمل انواع الصلب (25)، 20، 15، 10، (08)للاجزاء المحملة تحميلا خفيفا، و تستعمل الانواع (20)، 15، (10)للاجزاء التى تقسى ثم تراجع مراجعة عالية (لتحسينها) .

(2) صلب العدة الكربونى :

و قد حددت المواصفات القياسية السوفيتية التركيب الكيميائى للانواع المختلفة لصلب العدة الكربونى y8، y7A، y7، y8A، y9، y9A، y10، y10A، y11، y11A، y12، y12A، y13A . y 13

و يدل الحرف y على انه صلب كربونى، فى حين يبين الرقم نسبة الكربون فى اجزاء من عشرة بالمئة .

و يجب ان تكون الآلات المعرضة للصدمات عالية المتانة، ولذلك فانها تجهز من صلب ماركات y7A، y8A (الأجنات، الاسطمبات، مطارق البرادة، وآلات النجارة الخ) ويستعمل الصلب ذو النسب العالية من الكربون (بعد اليوتكتويدى) من الماركات y13A، y12A، y9A، y10A، y11A لصناعة الآلات التى لن تتعرض للصدمات الشديدة اثناء عملها اذا كان مطلوبا ان تكون شديدة الصلادة ، مقاومة للتآكل (الآلات القاطعة، المثاقيب، ذكور القلاووظ، الفرايز، كفات القلاووظ، المناشير، الآلات الجراحية، القدود...الخ)

ويبدل الحرف A على جودة الصلب و احتوائه على اقل نسبة من الكبريت و الفوسفور، و يسمح فى صلب العدة الكربونى المعتاد المرقم بدون الحرف A بوجود الكبريت بنسبة لا تزيد عن 0.04 % اما فى انواع الصلب ذات الماركة المحتوية على حرف A فان نسبة كل من الكبريت و الفوسفور على حدى لا تزيد عن 0.03 % .

5- التبلور الثانوى لسبائك الحديد و الكربون المحتوية على

كربون بالنسب من 2 – 6.67 % (الزهر الابيض) :

يتم التبلور الاولى لسبائك هذه المنطقة، كما بينا مسبقا، على خط الجمود ECF (1130 °) فى توازن ثلاثى الطور مع تكون الليدييوريت (اليوتكتى)، وتكون انواع الزهر تحت خط الجمود ECF (1130 °) فى حالة توازن ثنائى الطور غير مستقر، و تتكون بنيتها من الاوستيت و السمنتيت . و تصل نسبة الكربون فى الاوستيت على خط الجمود ECF الى قيمة قصوى 2 % و عند التبريد تحت خط الجمود ECF يفرز من الاوستيت نظرا لانخفاض قدرته على اذابة الكربون سمنتيت ثانوى و عند درجة 723 ° يبقى فى الاوستيت كربون بنسبة 0.8 % (نقطة S) و يتحول الاوستيت فى انواع الزهر تحت درجة حرارة اليوتكتويد (723 °) يبقى فى الاوستيت فى انواع الزهر - مثلما يتحول فى انواع الصلب - الى بيرليت على الخط PSK (723 °) و تكون انواع الزهر تحت درجة حرارة اليوتكتويد (723 °) فى حالة اتزان ثنائى الطور، فيريت + سمنتيت، وتتكون بنيتها من خليط من هذين الطورين ويسبب السمنتيت الموجود فى الزهر الابيض المميز عند كسره و لذلك يسمى الزهر من هذا النوع بالزهر الابيض .

تقسيم انواع الزهر الابيض حسب بنيتها :

(1) زهر يوتكتى :

يحتوى على 4.3 % كربون، و تتكون بنيته من الليديبوريت (اليوتكتى) دون اطوار زائدة (شكل 50، a). واثاء عملية التبريد من درجة الحرارة اليوتكتية (1130°) الى درجة حرارة اليوتكتويدية (723°) يفرز من الاوستيت الداخلى فى تكوين الليديبوريت سمنتيت ثانوى Fe_3C ، و يتكون على الخط PSK نتيجة للتحويل اليوتكتويدى بيرليت . و يتكون الليديبوريت تحت درجة الحرارة اليوتكتويدية من سمنتيت يوتكتى و سمنتيت ثانوى و بيرليت . و تتحدد نسبة كل من هذه المكونات حسب قاعدة الاجزاء المقطوعة .

(2) زهر ابيض قبل اليوتكتى :

(شكل 50، b)، و تتراوح نسبة الكربون به من 2 – 4.3 % و تتكون بنيته عند درجة حرارة 1130° من بلورات الاوستيت الزائد (A) المحتوى على 2% من الكربون و الليديبوريت (شكل 47) ويمكن تحديد نسبة كل من هذين المكونين بواسطة قاعدة الاجزاء المقطوعة . و على سبيل المثال فان الزهر قبل اليوتكتى المحتوى على 3 % من الكربون تتكون بنيته عند التجمد فى درجة 1130° من الليديبوريت بنسبة

$$Q = \frac{100 \times 2 - 3}{2 - 4.3} = 43.5 \% \text{ و الاوستيت الطليق فى البنية بنسبة}$$

$$Q = \frac{100 \times 3 - 4.3}{2 - 4.6} = 56.5 \% \text{ و يفرز من الاوستيت فى مدى درجات}$$

الحرارة من 1130° الى 723° نظرا للتبلور الثانوى سمنتيت ثانوى، و عند وصوله الى درجة 723° يتكون البيرليت . و تتكون بنية الزهر قبل اليوتكتى تحت درجة حرارة اليوتكتويدية (723°) من ليديبوريت و بيرليت و سمنتيت ثانوى يمكن تحديد نسبة كل منها بواسطة قاعدة الاجزاء المقطوعة، و على سبيل المثال فان الزهر المحتوى على 3 % كربون يكون فى بنيته 11.3 % من السمنتيت الثانوى الطليق و 45.2 % من البيرليت .

(3) الزهر العادى :

و يحتوى على كربون بالنسب من 4.3 – 6.67 % و تكون بنيته نتيجة للتبلور الاولى (شكل 50، c) بلورات من السمنتيت الاولى و الليديبوريت . و تتحدد كمية كل من عنصرى البنية هذين حسب قاعدة الاجزاء المقطوعة، فبنية الزهر المحتوى على 5 % C مثلا تتكون بعد التجمد على الخط CF (1130°) من ليديبوريت نسبته :

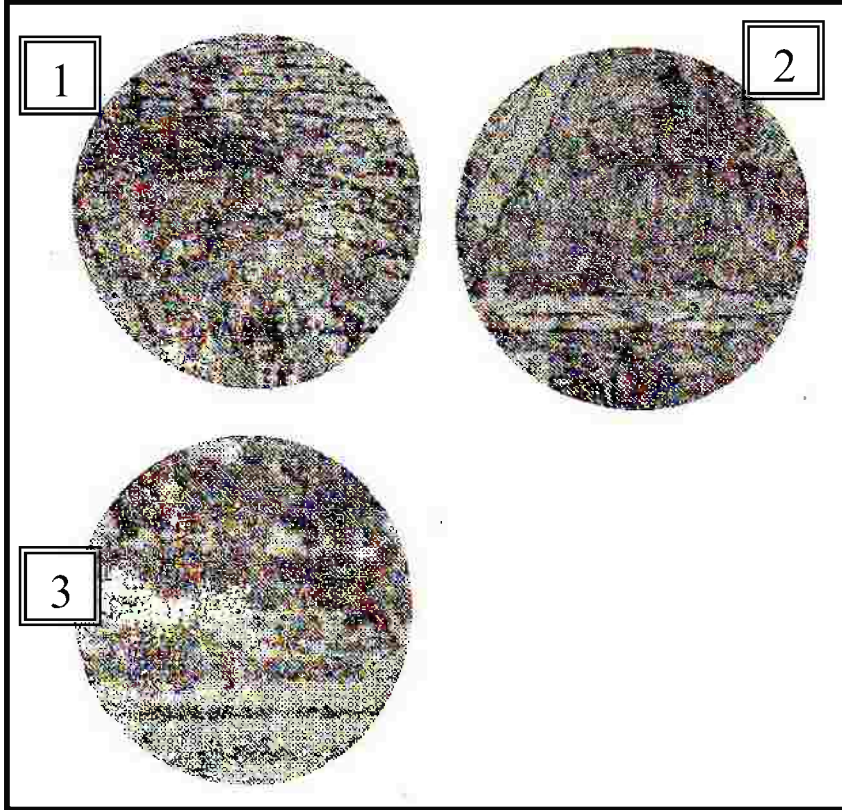
$$Q = \frac{100 \times 5 - 6.67}{4.3 - 6.67} = 70.46\%$$

و سمنتيت اولى نسبته :

$$Q = \frac{100 \times 4.3 - 5}{4.7 - 6.67} = 29.54\%$$

اما بعد التبلور الثانوى، اى تحت درجة الحرارة اليوتكتويدية (723°)، فان بنية الزهر بعد اليوتكتى تتكون من السمنتيت الاولى والليديبوريت الذى يتكون من سمنتيت ثانوى و سمنتيت يوتكتى و بيرليت .

و المسبوكات المصنوعة من الزهر الابيض ذات صلادة و هشاشة كبيرتين ، و لذلم فقلما يستعمل الزهر الابيض مباشرة . و ان كان الزهر الابيض قبل اليوتكتي المحتوى على 2.5 – 3.2 % كربون يستعمل على نطاق واسع لانتاج الزهر الطروق.



شكل رقم 50 ، بنيات و اطوار الزهر الابيض :

- 1- زهر ابيض يوتكتي : ليديبوريت ، الاحتواءات الفاتحة – سمنتيت اولى و ثانوى ، و الغامقة - بيرليت
- 2- زهر ابيض قبل يوتكتي : ليديبوريت ، بيرليت و احتواءات من السمنتيت الثانوى
- 3- زهر ابيض بعد يوتكتي : ليديبوريت + سمنتيت اولى .

6- الزهر الرمادى :

يستخدم الزهر الرمادى على نطاق واسع فى صناعة الماكينات الحديثة، و تصل نسبة الاجزاء المصنوعة من الزهر الى 50 ٪ من وزن الماكينات المصنوعة كلها . وقد تحسنت الخواص الميكانيكية للمسبوكات الزهر فى الثلاثين سنة الماضية اكثر من 3 اضعاف : فاذا كانت المقاومة القصوى للزهر عند الشدة سنة 1920 فى المتوسط 20 كجم / مم²، فان المقاومة القصوى للزهر العالى المتانة فى الوقت الحاضر تصل الى 60 – 70 كجم / مم² .

و الزهر الرمادى عبارة عن سبيكة حديدية تحتوى بنسب متغيرة على الكربون (2 – 4.5 ٪)، و السليكون (0.5 – 3.5 ٪) و المنجنيز (0.5 – 1.5 ٪)، و الفوسفور (0.1 – 1.0 ٪)، والكبريت (حتى 0.15 ٪) و تحدد هذه العناصر التغير فى خواص الزهر .

و اهم هذه العناصر الكربون و السليكون، و يعطينا بيانى الحالة المزدوج لسبائك الحديد و الكربون الذى يبين فى وقت واحد نظام الاتزان الفوق ثابت $Fe - Fe_3C$ ، (الخطوط المستمرة) و الاتزان الثابت $Fe - C$ (الخطوط المنقطعة) - يعطينا هذا البيانى صورة لمكونات البنية التى تتكون عند تبلور السبائك فى ظروف الاتزان .

و قد بينت الابحاث ان الزهر يتبلور طبقا للنظام الثابت او فوق الثابت، مع تكون الجرافيت فى الحالة الاولى و السمنتيت فى الثانية . ويعطينا بيانى اتزان الحديد - الكربون صورة عن تركيب الاطوار المتكونة، و لكنه لا يبين الشكل الذى تتخذه هذه الاطوار، كما انه لا يستطيع تفسير تكون البنية الذى يجرى دائما فى الزهر عند خروجه من حالة الاتزان . و الواقع ان تكون بنية الزهر يجرى عند تبريده المستمر فى القالب الذى يصب فيه مباشرة، ولهذا فان تكون الجزء

الأكبر من الزهر يتوقف على عمليات التحول الأولى (اليوتكتي) و
الثانوى (اليوتكتويدى) .

الكربون فى الزهر :

يمكن ان يكون فى حالة اتحاد مع الحديد (السمنتيت) او
فى الحالة الحرة (الجرافيت) . و الجرافيت فى الحديد الزهري يمكن ان
يتخذ الاشكال الاتية :

(1) رقائق الجرافيت . (2) كريات الجرافيت .

(3) كربون التلدين (التخمير) .

1) رقائق الجرافيت :

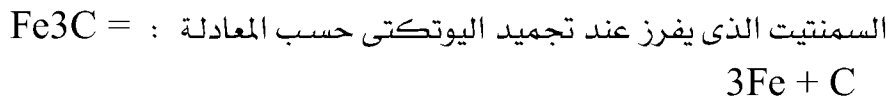
و تتكون فى الزهر الرمادى (غير المعامل حراريا غير المضافة
اليه عناصر اشابة) نتيجة لتبلور الكربون من المحلول السائل مباشرة .
ويمكن ان تتكون ثلاثة اشكال من الجرافيت حسب درجة تجاوز
التبريد ووجود انوية للتبلور :

أ) الجرافيت الصفائحى المنتظم .

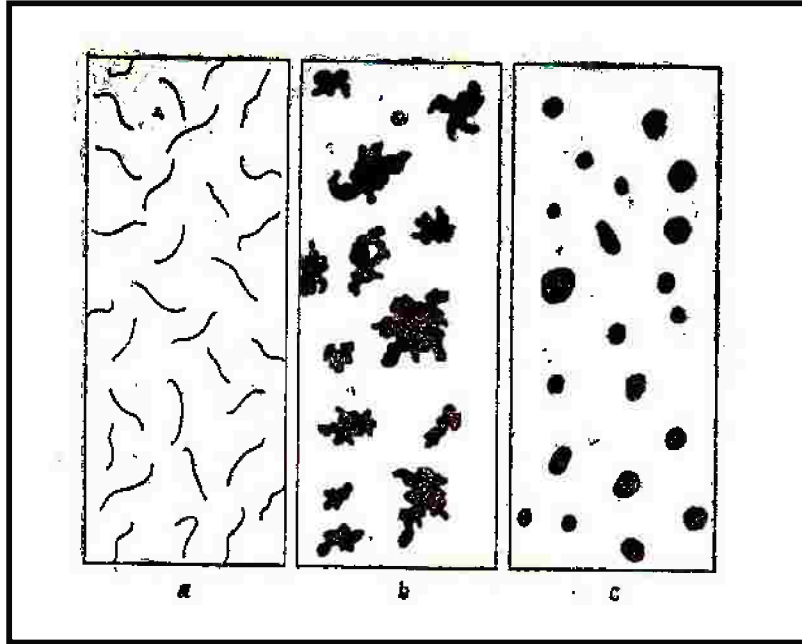
ب) الجرافيت المندوف .

ج) الجرافيت الكريى .

شكل (51) ، كما ان رقائق الجرافيت تتكون عند تحليل



ويساعد تجاوز تبريد الزهر على تكون بلورات دقيقة من السمنتيت وينتج عن تحولها جرافيت رقائقي غيرنامية من الجرافيت - الجرافيت النقطي .



شكل رقم (51)، اشكال الجرافيت لازهر الرمادى : (a) رقيق.

(b) ندفى (c) كرى

(2) الجرافيت الكرى :

و يمكن الحصول عليه فى بنية الزهر العالى المقاومة بواسطة اضافة الماغنسيوم او السيريوم الى الزهر الرمادى السائل ثم تعديله بالفيروسليكون .

(3) كرىون التلدين (التخمير) :

وهو عبارة عن جرافيت مندوف يحصل عليه نتيجة للمعاملة الحرارية للزهر الابيض وكذلك فى عملية الحصول على الزهر الطروق

السليكون فى الزهر :

وله تأثير قوى يساعد على تكوين الجرافيت، كما يساعد على تكون اطوار النظام الثابت . و تلعب زيادة نسبة السليكون فى الزهر عمليا نفس الدور الذى يلعبه ابطاء التبريد، و عند وجود السليكون بنسبة متوسطة (1.3 – 1.8 %) فى الزهر فان تأثيره يكون كبيرا فى المنطقة العليا (التحول اليوتكتى) فيسبب تكون الجرافيت، اما عند وجوده بنسبة كبيرة (2.5 – 3.0 %) فانه يكون كبير الاثر فى المنطقة السفلى (التحول اليوتكتويدى)، فيساعد على تكون الفيريت .

تأثير المنجنيز :

لما كان المنجنيز من العناصر المكونة للكاربيدات فى الزهر Mn_3C فانه يقلل من تكوين الجرافيت .

تأثير الكبريت :

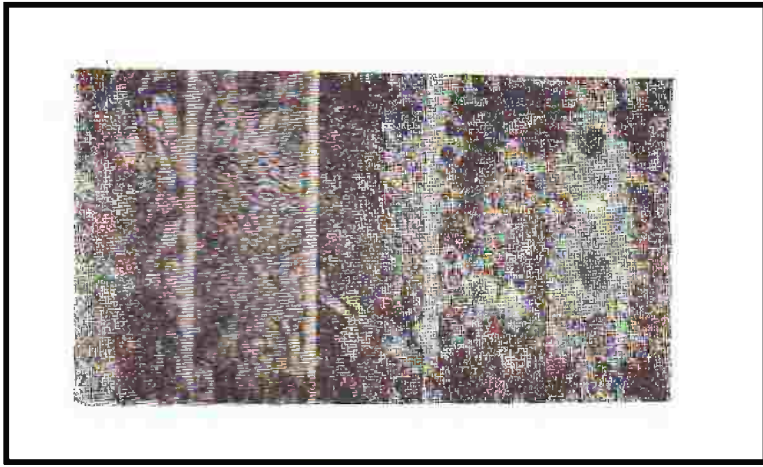
يكون الكبريت، الذى يوجد فى الزهر على شكل كبريتيد الحديد FeS ، يوتكتيا ثنائيا سهل الانصهار مع الحديد ($FeS + Fe$) ودرجة انصهاره 985° ولما كان هذا اليوتكتى السهل الانصهار فى الزهر الى كونه سهل الانكسار عند درجات الحرارة العالية مما ينشأ عنه تكون الشروخ فى المسبوكات عند تبريدها فى القالب . ووجود الكبريت فى الزهر يعمل على تعطيل تكوين الجرافيت، و يساعد على جعل الزهر المسبوك ابيض كما يخفض من قابليته للتشغيل بالقطع ومن خواصه الكيميائية .

و عند وجود المنجنيز فى الزهر فان الكبريت يتحول الى

كبريتيد المنجنيز MnS

$\text{FeS} + \text{Mn} = \text{MnS} + \text{Fe}$ و ليس لهذا الكبريتيد تأثير ضار على الزهر مثل تأثير FeS .

و لا يتأثر الفوسفور تأثيرا كبيرا على تكوين الجرافيت فى الزهر . و يبدو تأثير الفوسفور فى حالة احتواء الزهر عليه بنسبة اكبر من حد الذوبان (0.3 %) فعندئذ تظهر فى البنية اجزاء تتكون من يوتكتى ثلاثى فوسفورى يتكون من بلورات $\text{Fe} + \text{Fe}_3\text{C} + \text{Fe}_3\text{P}$ و نسبة العناصر فيه 91.15 % Fe ، 1.96 % C ، 6.89 % P و درجة انصهاره 950 ° و يتميز الزهر المحتوى على كمية كبيرة من الفوسفور الى الزهر عند سباكة الاجزاء الرقيقة الجدران بنسبة تصل الى 1 % او اكثر . اما فى المسبوكات الهامة فلا يسمح بزيادة نسبة الفوسفور عن 0.1 – 0.3 % .



شكل رقم (52) البنية الميكروسكوبية للزهر الرمادى :

- (a) فيريتوبيرليتى .
- (b) بيرليتى .
- (c) بيرليتو سمنتينى .
- (d) بيرليتوفيريتى مع جرافيت كبرى .
- (e) فيريتى به جرافيت كبرى .

أسس الحصول على زهر عالي الجودة :

في الوقت غير بعيد كان الزهر الذي تصل مقاومته القصوى عند الشد إلى 20 كج/مم² يعتبر زهرا عالي الجودة، أما في الوقت الحاضر فإن المواصفات القياسية السفيتية تعتبر أن الزهر ماركة Cy 38 – 60 يجب ألا تقل مقاومته القصوى عند الشد عن 38 كجم/مم²، أما الزهر البيرليني العالي المتانة ذو الجرافيت الكريي فان مقاومته القصوى تصل إلى 100 كجم / مم².

و تتوقف الخصائص الميكانيكية للزهر على عاملين :

- 1) كمية و حجم و شكل و توزيع الجرافيت الذى يحتوى عليه الزهر .
- 2) بنية المعدن الاساسى .

العامل الاول له فى الواقع اثر حاسم، اذ ان الجرافيت الذى يحتوى عليه الزهر يشكل ما يشبه الخدوش فى المعدن الاساسى، فيضعف من متانته بدرجة تزيد كلما زادت كمية الجرافيت و كلما كانت جزيئاته اكبر و اخشن ، و بالعكس فكلما كانت جزيئات الجرافيت اكثر دقة واستدارة كلما كان الزهر امتن .

ويمكن الحصول على خواص ميكانيكية بالغة الارتفاع بالزهر ذى الجرافيت الكريي بفضل استدارة جزيئات الجرافيت ، ما يخفض من تركيز الاجهادات الداخلية بالزهر .

العامل الثانى المؤثر على متانة الزهر هو بنية المعدن الاساسى (شكل رقم 52)، و بالزهر الرمادى (غير المضاف اليه عناصر اخرى و غير المعامل معاملة حرارية) عادة تتكون بنية المعدن الاساسى من الفيريت و البيرليت ومن البنية الوسطى بينهما – الفيريتوبيرليت .

و يفضل ان يكون المعدن الاساسى بالزهر العالى المتانة من
البيرليت المحتوى على 0.8 ٪ من الكربون المتحد ، اما الزهر ذو
الاساسى الفيريتى و الفيريتوبيرليتى فان مقاومته القصوى تكون اقل
من مقاومة الزهر البيرليتى عند تشابه كل الظروف الاخرى ، و لكنه
يكون اكثر متانة و مقاومة للصدمات منه لقلة او عدم وجود الكربون
المتحد به .

التعديل :

انتشر مؤخرا استعمال التعديل فى الانتاج المسبكى لرفع
الخواص الميكانيكية للزهر بتصغير حجم جزيئات الجرافيت به . و
يتلخص التعديل فى اضافة المعدل الى الزهر قبل صبه فى القوالب بوضعه
على مجرى الصب بفرن الدست او فى البودقة تحت تيار الزهر
المنسكب . و المعدل عبارة عن سليكات الكالسيوم المفتتة او
الفيروسليلكون العالى التركيز بنسبة تصل الى 0.1 – 0.4 ٪ من وزن
الزهر . و تقوم المعدلات باختزال الزهر مع تكوين دقائق متناثرة من
السليكات (عكارة سليكاتية) تقوم بدور مراكز صناعية عديدة
لتكوين الجرافيت ، و فى الوقت ذاته يحدث تعطيل لنمو حبيبات
الجرافيت . و فى السنوات الاخيرة تم بحث طريقة لتعديل الزهر بواسطة
الماغنسيوم و سبائككه و طبقت هذه الطريقة فى عدد من المصانع .
وتسمح هذه الطريقة بالحصول على زهر عالى المقاومة ذى جرافيت
كرى.

تتكون عملية تعديل الزهر العالى المقاومة من عمليتين متتاليتين :

1) معاملة الزهر بالماغنسيوم او سبائككه .

(2) معاملة الزهر بالفيروسليكون .

و قد بحثت مؤخرا وسيلة لتعديل الزهر بسبيكة من الماغنسيوم
و الفيروسليكون العالى التركيز .

7- التحكم فى بنية الزهر بضبط النسبة بين كميات الكربون و السليكون الذى يحتوى عليهما و سمك جدران المسبوكات :

الكربون و السليكون هما العنصران الاساسيان اللذان
يمكن بواسطتهما التحكم فى تركيب الزهر المعتاد حسب سرعة
التبريد ، و لما كان ضبط نسبة الكربون عمليا اصعب من ضبط
السليكون لذلك تختار نسبة للكربون تضمن للزهر خواصا جيدة فى
السيالة مثل السيولة و قلة التقلص ويمكن الحصول عليها بسهولة
بالمعدات المسبكية الموجودة بالمسبك المعنى .

و فى الشكل التالى (شكل 53 ، a) رسما بيانيا للعلاقة بين
نسب الكربون و السليكون بالزهر و بنية هذا الزهر . و ينقسم البيانى
حسب نسبة السليكون (على المحور الافقى) والكربون (على المحور
الرأسى) الى 5 مناطق تختلف فيها البنية من منطقة الى اخرى . و هذا
البيانى منشأ لمسبوكات ذات سمك ثابت للجدران ، يؤخذ بحيث يعطى
عينة قطرها 30 مم ، كما لم يؤخذ فى الاعتبار عند انشائه تأثير سرعة
التبريد على البنية . و فى الواقع ان درجة تكون الجرافيت تتوقف
كذلك على سرعة تبريد الزهر - فالتبريد البطئ يزيد من افراز
الجرافيت ، و يبين (شكل 53 ، b) العلاقة بين بنية الزهر و مجموع
نسبتى الكربون و السليكون ($C + Si$) و سمك جدران المسبوكات ،

اى بمعنى اخر سرعة التبريد . و قد اخذ على المحور الافقى هنا سمك جدران المسبوكة فى حين اخذ على المحور الرأسى مجموع نسبتي الكربون و السليكون بالزهر . و ينقسم هذا البيانى كذلك الى 5 مناطق للبنية مثله فى ذلك مثل البيانى الاول و هذه المناطق هى :

البنية	المنطقة
ب + س	1
ب + جر	2
ف + جر	3
ب + س + جر	4
ب + ف + جر	5

جدول 5

* ب : بيرليت

* س: سمنتيت

* جر : جرافيت

* ف فيريت

شكل رقم 53

رسم بياني لبيان

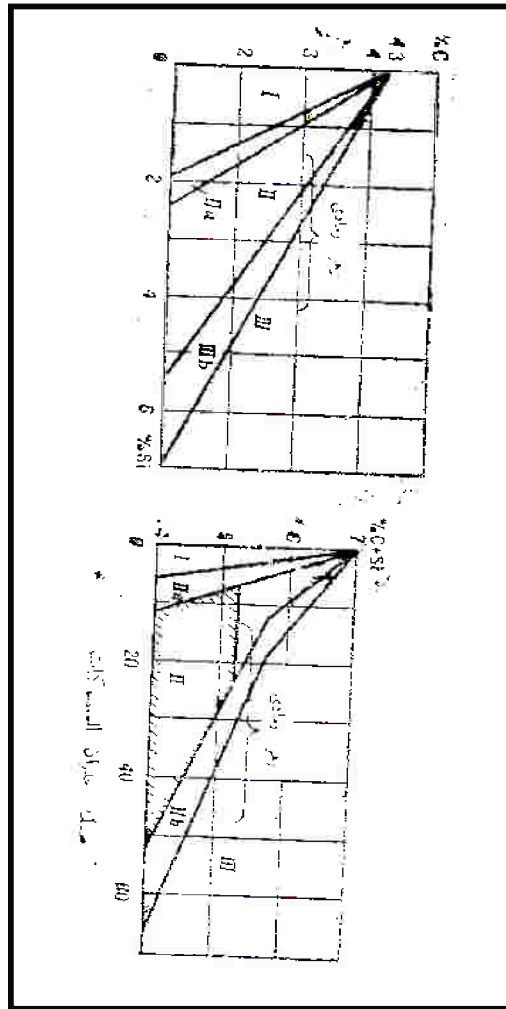
الزهر :

(a) تأثير احتواءات C ,

Si

(b) مع اعتبار سمك

جدار المسبوكة .



حد الخط الافقى 5.3 % (C + Si) منطقة الزهر البيرليتي
 العالى الجودة بالبيانى (شكل 53 ، b) وهى المنطقة المظلمة بالبيانى ،
 فمن الثابت ان انقاص C + Si عن هذا الحد يؤدي الى رفع مقاومة
 الزهر بشكل ملحوظ نظرا لنقص كمية الجرافيت . وقد اوردنا هذين
 البيانين لايضاح اثر نسبة C ، Si و سرعة التبريد على بنية مسبوكات
 الزهر .

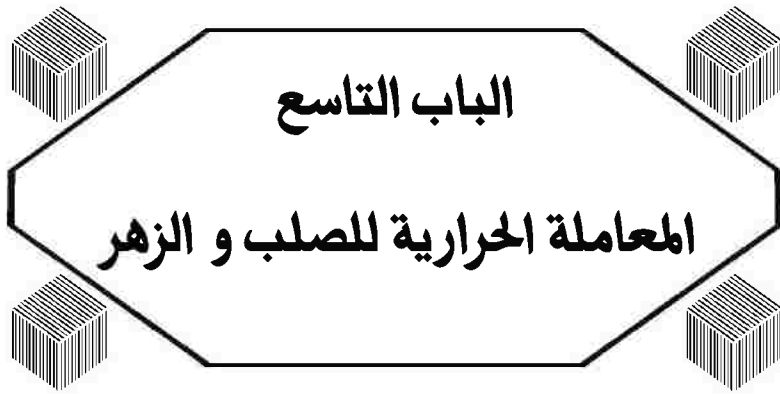
و نستخلص من دراسة البياني (شكل 53، b) ان الزهر
البيرليتي هو اقدر انواه الزهر على اعطاء بنية وحيدة التكوين (ب +
جر) حتى عندما يتغير سمك جدران المسبوكات فى حدود واسعة . و
يمتاز بهذه الخاصية بدرجة اكبر الزهر البيرليتي المحتوى على نسبة
منخفضة من C + Si ، اذ ان المنطقة البيرليتيية (2) بالرسم البياني فى
الشكل السابق اعرض عند جزئها الاسفل .

رقم الصلادة البرينلى HB	المقاومة القصى عند الضغط، كجم/مم2	مدى الترخيم عند الثى ، مم . عندما تكون المسافة بين نقط تحميل العينة 300 600		المقاومة القصوى عند الثى، كجم/مم2	المقاومة القصى عند الشد، كجم/مم2	الماركة
		لا يختبر				Cγ 00
229 -143	50	2	6	18	12	Cγ 12-18
229 -163	65	2	7	32	15	Cγ 15-32
229 -170	70	2	8	36	18	Cγ 18-36
241 -170	75	2	8	40	21	Cγ 21-40
241 -170	85	3	9	44	24	Cγ 24-44
241 -170	100	3	9	48	28	Cγ 28-48
241 -197	100	3	9	52	32	Cγ 32-52
248 -197	120	3	9	56	35	Cγ 35-56
262 -207	130	3	9	60	38	Cγ 38-60

جدول (6)

ملحوظة : يعتبر النوعان Cγ 38 – 60 , Cγ 35 – 56 من الزهر
الرمادى المعدل

و يرمز الزهر الرمادى بأرقام حرفية عددية، فالحرفان $C\gamma$ يعنيان زهر رمادى، أما الرقمين الآخرين فيبين الأول منهما المقاومة القصوى عند الشد و الثانى المقاومة القصوى عند التنى . وعلى سبيل المثال فان الماركة $C\gamma 21 - 40$ تدل على ان هذا الزهر ذو مقاومة قصوى = 21 كجم/مم²، تنى = 40 كجم/مم² (حسب المواصفات القياسية السوفيتية) .



الباب التاسع

المعاملة الحرارية للصلب و الزهر

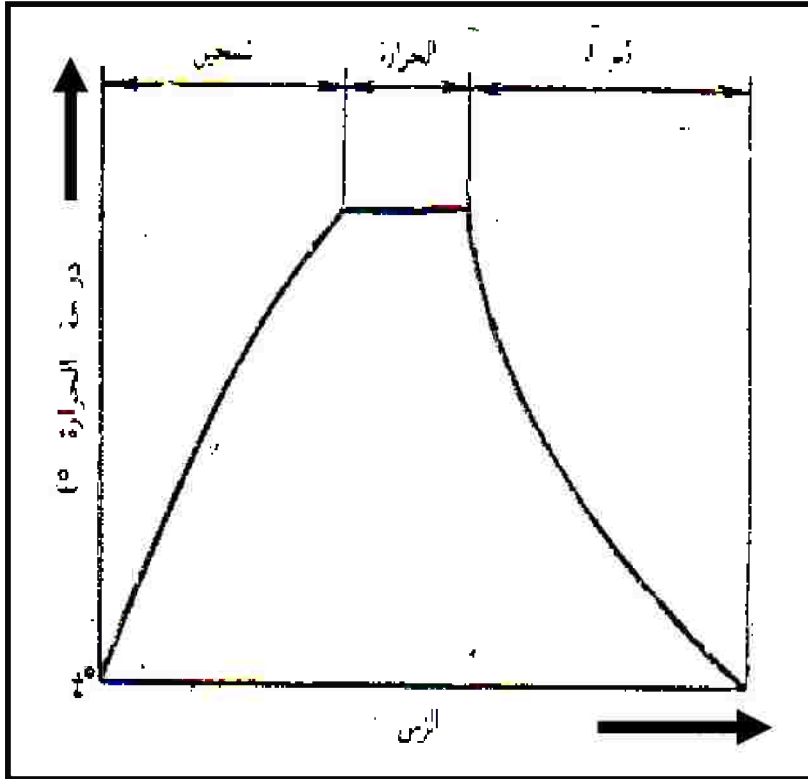
1- أسس المعاملة الحرارية :

المعاملة الحرارية هي مجموعة عمليات تسخين السبائك المعدنية في الحالة الصلبة و ابقائها عند درجة حرارة ثابتة ، ثم تبريدها بغرض تغيير بنيتها و اعطائها الخواص الطبيعية و الميكانيكية المطلوبة .

و تعامل الاجزاء النصف مجهزة (كالمسبوكات و الخامات المستعملة لتجهيز الاجزاء و المطروقات) معاملة حرارية للخفض من صلابتها و تحسين قابليتها للتشغيل ، و لاعداد البنية للمعاملة الحرارية النهائية ، كما تعامل الاجزاء الجاهزة و الآلات لمنحها الخواص النهائية المطلوبة ، ويمكن تغيير خواص السبائك بواسطة المعاملة الحرارية في حدود واسعة ، فعلى سبيل المثال يمكن رفع صلادة الصلب الابتدائية من $HB = 150 \div 200$ بواسطة التصليد الى $HB = 600 \div 650$ ، كما يمكن بواسطة المعاملة الحرارية المناسبة زيادة مقدار الاستطالة النسبية (δ) و مقاومة الصدمات (ak) و المقاومة القصوى (σB) الى حد كبير . و تسمح امكانية رفع الخواص الميكانيكية للمعادن بشكل ملموس بواسطة المعاملة الحرارية بزيادة الاجهادات المسموح بها و انقاص ابعاد و وزن الاجزاء مع احتفاظها بمقاومتها و متانتها و الاعتماد عليها في الاستعمال ، بل و حتى مع تحسين هذه الصفات في بعض الاحيان .

وقد وضع أسس نظرية المعاملة الحرارية العالم الروسى د. ك. تشرنوف ، الذى اكتشف النقط الحرجة لتحول الصلب $(A3)$ b (MH d ، $(A1)$ a . كما توصل العلماء السوفييت الى نجاح كبير فى اتقان الوسائل التكنولوجية المعروفة و اختراع وسائل جديدة للمعاملة الحرارية للصلب و المعادن غير الحديدية .

درجة الحرارة و الزمن هما العاملان الاساسيان اللذان يحددان سيرعملية المعاملة الحرارية . و لهذا فان اى عملية من عمليات المعاملة الحرارية يمكن تمثيلها بيانيا على احداثيات درجة الحرارة و الزمن (شكل 54) .



شكل رقم 54 ، رسم تخطيطى للمعاملة الحرارية للصلب

وقد اصطلح على تسمية النقط الحرجة للصلب : عند التسخين AC1 (السفلى) ، AC3 (العليا) ، و عند التبريد Ar1 (السفلى) ، Ar3 (العليا) (شكل 56) .

Ac1 (723 °) هي درجة حرارة تحول البيرليت الى اوستيت و
بدء تحول الفيريت الى اوستيت ، Ac3 هي درجة حرارة نهاية تحول
الفيريت الى اوستيت ، Ar1 هي درجة حرارة تحول الاوستيت الى
بيرليت (وهي اقل من 723 °) ، Ar3 هي درجة حرارة بدء افراز الفيريت
من الاوستيت ، Acm وهي درجة حرارة بدء افراز السمنتيت الثانوى من
الاوستيت عند التبريد ، و هي كذلك درجة انتهاء ذوبان السمنتيت
الثانوى فى الاوستيت عند التسخين .

2- تحولات الصلب عند التسخين :

من الشكل التالى (55) نرى ان بنية الصلب قبل
اليوتكتويدى تتكون اسفل درجة الحرارة اليوتكتويدية Ac1 من
الفيريت و البيرليت ، فى حين تتكون بنية الصلب اليوتكتويدى من
البيرليت ، و بعد اليوتكتويدى من البيرليت + السمنتيت .

ويعنى هذا ان البنية الابتدائية لهذه الانواع عبارة عن خليط من
طورين هما الفيريت و السمنتيت . و عند عبور النقطة الحرجة Ac1 يبدأ
التحول الطورى

$\alpha \leftarrow \gamma$ و ذوبان السمنتيت فى حديد - γ مع تكون
الاوستيت . و تتكون بنية الصلب قبل اليوتكتويدى فى مدى درجات
الحرارة من Ac1 الى Ac3 من الفيريت و الاوستيت المتغير التركيز ،
مع ملاحظة حدوث التحول الطورى السابق بارتفاع درجة الحرارة (اى
تحول الفيريت الى اوستيت) . و بالمثل فان الاوستيت الذى يتكون فى
الصلب بعد اليوتكتويدى بتحول البيرليت عند درجة Ac1 يذوب مع
استمرار تسخين السمنتيت الثانوى الزائد . و تتكون بنية الصلب فوق
فوق نقطة Acm من طور واحد هو الاوستيت . و يذوب كذلك افيريت

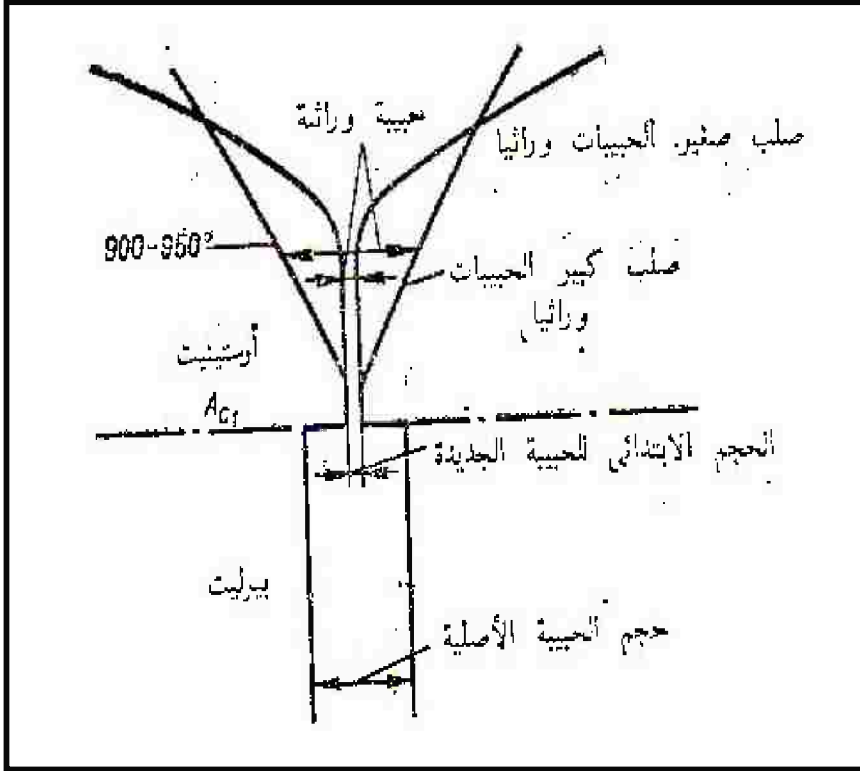
نمو حبيبات الأوستنيت :

يصحب تحول البيرليت الى الأوستنيت تكون الأوستنيت دقيق الحبيبات، و فى درجات الحرارة الاعلى من النقطة الحرجة $Ac1$ تنمو حبيبات الأوستنيت بدرجة تزداد كلما زادت درجة حرارة التسخين و ابقائها فيها، و من الثابت ان نمو حبيبات الأوستنيت يجرى فى بعض انواع الصلب عند درجة حرارة لا تزيد الا قليلا عن النقطة الحرجة $Ac1$. و قد اصطلح على تسمية هذه الانواع (كبيرة الحبيبات بالوراثة) و فى انواع اخرى من الصلب يحتفظ الصلب بحبيبات دقيقة للأوستنيت عند التسخين لدرجات حرارة عالية، و تسمى هذه الانواع من الصلب (صغيرة الحبيبات بالوراثة) و يقصد بصغر او كبر الحبيبات الوراثى ميل حبيبات الأوستنيت الى النمو.

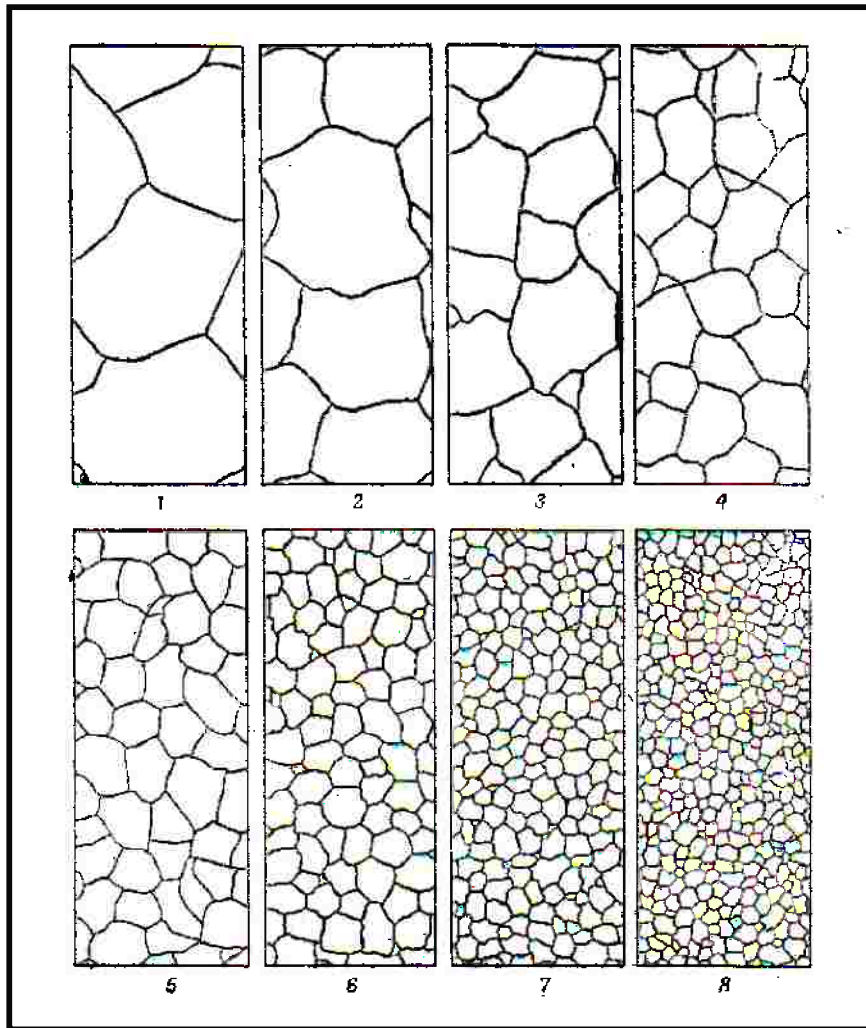
والشكل التالى (56) عبارة عن شكل تخطيطى لتغير ابعاد حبيبات الصلب الصغير الحبيبات و الكبير الحبيبات بالوراثة. و يحصل على الصلب الصغير الحبيبات بالوراثة بتعديل الصلب بالالومنيوم او الفاناديوم او التيتانيوم، و تكون هذه العناصر مركبات ثابتة على شكل Al_2O_3 ، V_2O_5 ، TiO_2 ، AIN تخلق انوية للتبلور و تعوق نمو الحبيبات.

ويجب ان نميز بين الحبيبات الوراثية و الحبيبات الفعلية التى نحصل عليها نتيجة للعمليات المختلفة للمعادلة الحرارية، و تتوقف الخواص الميكانيكية للصلب و على الاخص الخواص التى تبينها نتائج الاختبارات الاستاتيكية على الحبيبات الفعلية فى المقام الاول و يعين حجم الحبيبات بمقارنة بنية الصلب تحت الميكروسكوب بتكبير مائة ضعف بالحجم القياسى للحبيبات المتخذة اساسا فى المواصفات القياسية

السوفيتية . وتدل الارقام 8, 3, 2, 1 على رقم الحبيبات . وقد بنى هذا المقياس على اساس العلاقة $f = 82 \times 500 - N$ حيث ان f - مساحة الحبيبة بالميكرون المربع ، N - رقم الحبيبات حسب المواصفات القياسية . وتعتبر الحبيبات من رقم 1 الى رقم 4 كبيرة ، اما الحبيبة رقم 5 و مل يليها فتعتبر حبيبات صغير .



شكل رقم 56 ، رسم تخطيطي لنمو الحبيبات بالصلب الكبير الحبيبات و الصغير الحبيبات بالوراثة عند التسخين الى درجة اعلى من $Ac1$.



شكل رقم 57 ، المقاسات القياسية للحبيبات حسب المواصفات
القياسية السوفيتية ($100 \times$)

4- تحولات الصلب عند تبريده :

الأوستنيت ثابت عند درجة الحرارة الأعلى من الخط GSE فقط (شكل 55) و عند التبريد الى درجات حرارة اسفل من ذلك يبدأ فى التحول، و تتوقف سرعة التحول و كفاءته على درجة تجاوز التبريد .

1- تحول الأوستنيت عند درجة حرارة ثابتة (التحول الأيزوثرمى) :

بشكل (58، a) رسم بيانى لتحول الأوستنيت عند درجة حرارة ثابتة، و هو الرسم البيانى منشأ بين أحداثيات الزمن - درجة الحرارة، و قد اخذت أحداثيات الزمن على المحور الأفقى بالمقياس اللوغاريتمى 1، 10، 100، 1000، 10000 ثانية .. الخ، فى حين اخذت أحداثيات درجة الحرارة على المحور الرأسى بالدرجات ° م . و يحد الرسم البيانى من أعلى الخط المنقط A1، و من أسفل الخطوط المنقطة لدرجتى حرارة بدء و نهاية التحول المرتسيتى MK, MH.

و قد اوردنا على سبيل المثال منحنيات التحول الأيزوثرمى بالعينات فوق الرسم البيانى لتحول الأوستنيت . و يمكن الحصول على هذه المنحنيات بواسطة الانيزومتر المغناطيسى ابتداء من درجات الحرارة 700 و 600 و 400 ° م (و تؤخذ القراءات كل 50 ° م) و تؤخذ على هذه المنحنيات النقط التالية :

(1) نقط بدء التحول H . (2) نقط انتهاء التحول K .

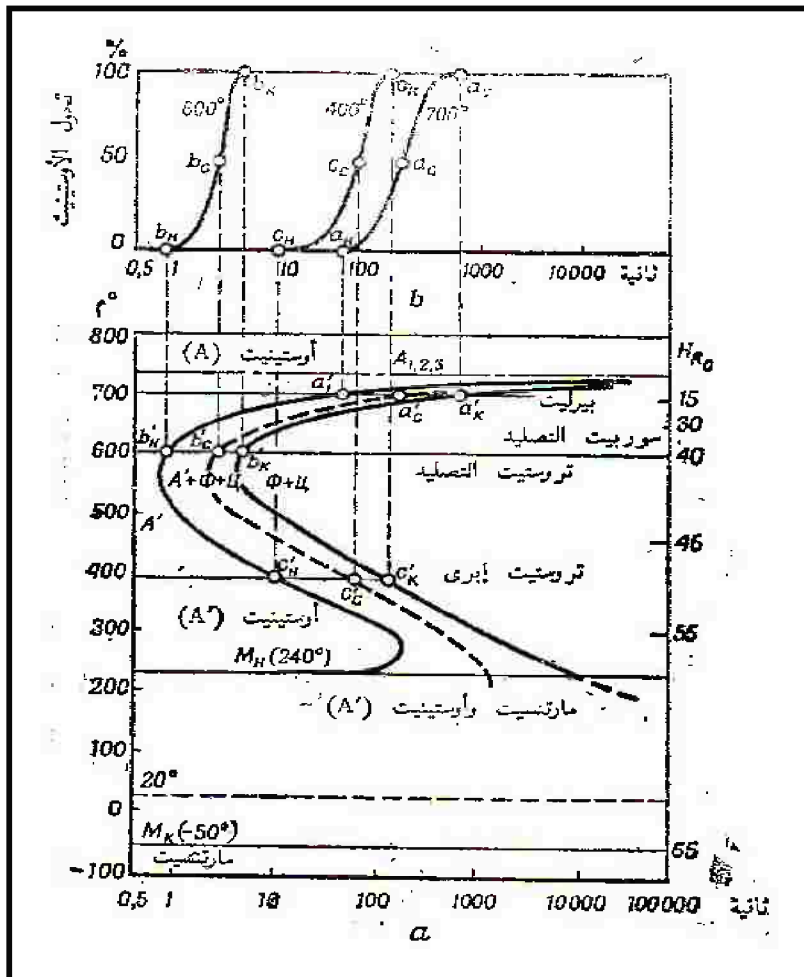
و بهذا نحصل على عدد معين من النقط تبين بداية و نهاية التحول الكامل . و بتوصيل جميع النقط H بمنحنى مستمر نحصل على منحنى بدء التحول، و بتوصيل النقط K بمنحنى مستمر نحصل على منحنى نهاية تحول الأوستنيت .

و يتحول الاوستيت تحت درجة الحرارة المارتستية MH الى مارتسيت، و سنبحث هذا على حدى فيما بعد .

و تظهر على بيانى التحول الايزوثرمى للاوستيت المناطق التالية :

يكون الاوستيت (A) فوق درجة الحرارة A1 ثابتا، وتوجد بين النقطتين A1 و Mσ ثلاث مناطق : 1) على يسار البيانى - المنطقة من بداية الاحداثيات حتى منحنى بدء التحول وبها اوستيت متجاوز التبريد (و يرمز له بـ A') المنطقة بين منحنى بداية و نهاية التحول و يكون بها الاوستيت قد بدأ تحوله وما زال مستمرا (و يرمز لهذا بـ A' + Φ + Π) المنطقة على يمين منحنى انتهاء التحول و يكون التحول قد تم كلية بها (و يرمز لها بـ Φ + Π) .

و يتعقد بيانى الصلب قليلا قبل اليوتكتويدى نظرا لظهور منحنى آفراز الفيريت و الاوستيت، و كذلك بعد اليوتكتويدى لظهور منحنى آفراز الكريبيد و يقع قبل الجزء العلوى من منحنى البدء .



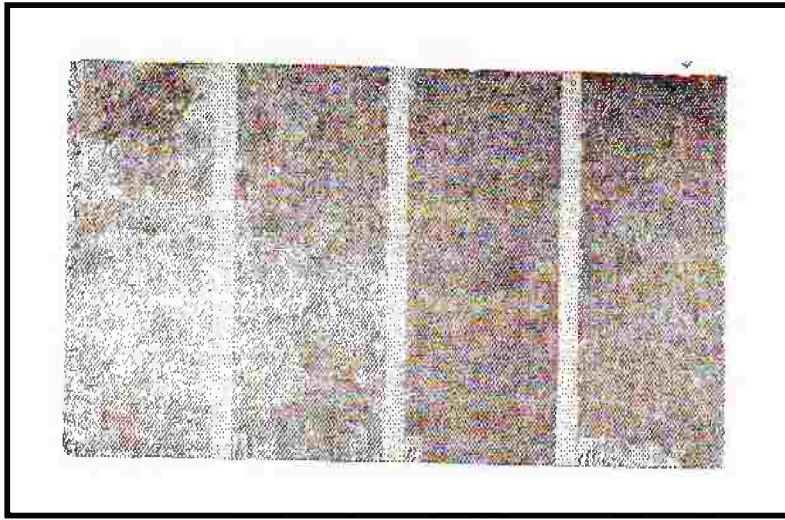
شكل رقم 58 ، بياني التحول الايزوثرمي للاوستينيت بالصلب
اليوتكتويدي

2- التحول البيرليتي :

تتكون نتيجة للتحول الايزوثرمي عند درجة حرارة 710° بنية من البيرليت الكبير الرقائق $\Phi + \Pi$ (شكل 59، a) صلابته $Rc = 15$ بانقاص درجة حرارة التحول الايزوثرمي الى 650° مثلاً، تصبح رقائق البيرليت دقيقة الى درجة بصعب معها تمييزها تحت الميكروسكوب البصري (شكل 59، b) وتسمى هذه البنية عادة بسوربيت التصليد و صلابته Rc نحو 30 . ويكون الاوستيت المتجاوز التبريد عند درجة 550° بيرليتا تنتشر به رقائق السمنتيت انتشاراً شديداً و يسمى مثل هذا البيرليت بتروستيت التصليد (شكل 59، c) . و يمتاز التروستيت بصلادة عالية ($Rc = 40$) نظراً لانتشار السمنتيت به، و يتكون بالجزء السفلي من بياني التحول الايزوثرمي للاوستيت التروستيت الابري (شكل 59، d) الذي يتكون من رقائق من السمنتيت المعلق في فيريت مشوه الشبكة، و صلابته $Rc = 50$.

و هكذا فان الاوستيت (C) $Fe\gamma$ تجرى به نظراً لتجاوز التبريد عملية تحول

$\gamma \leftarrow \alpha$ و انتشار يتكون بعدها بيرليت على شكل خليط مزدوج الطور : فيريت + سمنتيت يختلف به انتشار السمنتيت .



شكل رقم 59 ، عائلة البيرليتيات :

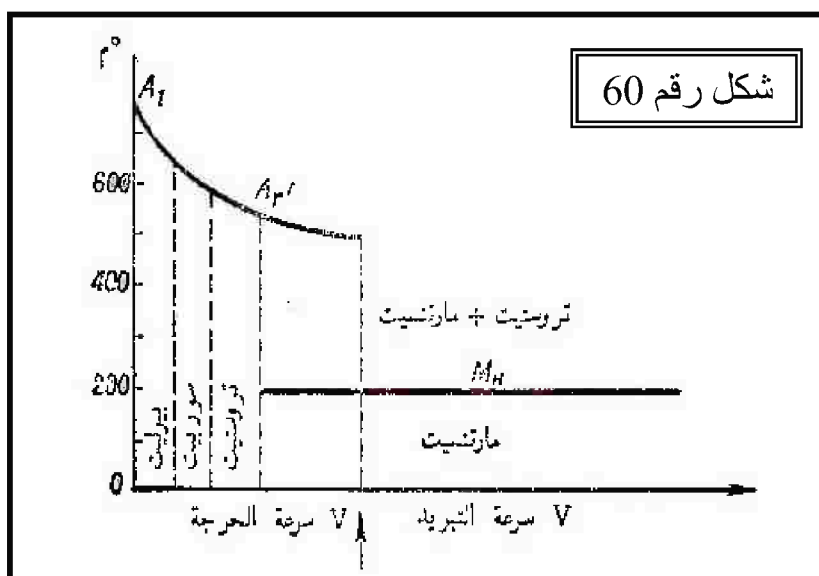
(a) بيرليت كبير الرقائق . (b) بيرليت صغير الرقائق . (c) سورييت
التصليد . (d) تروسيت ابرى .

3- تحول الأوستنيت عند التبريد المستمر :

يمكن عند المعاملة الحرارية للصلب الحصول على نفس
البنىات النموذجية الناتجة عند التحول الايزوثرمى وذلك بتبريده تبريدا
مستمر مع التحكم فى سرعة التبريد . و على سبيل المثال فان النقطة
الحرية A1 تنخفض فى الصلب اليوتكتويدى عند تبريده تبريدا
مستمر بسرعة $1^\circ / \text{دقيقة}$ الى $A2 = 710^\circ$ و يتكون به بيرليت كبير
الرقائق صلابته $Rc = 15$. و بزيادة سرعة التبريد الى $1^\circ / \text{ثانية}$ يصبح
البيرليت المتكون دقيق الرقائق و تزداد صلابته ، و لو زادت سرعة
التبريد الى $50^\circ / \text{ثانية}$ انخفضت درجة التحول الى $Ar' = 600^\circ$ و
لتحول الأوستنيت الى تروسيت تصليد بصلادة $Rc = 40$. و عند
سرعات التبريد الاعلى من $150^\circ / \text{ثانية}$ تصل النقطة الحرية الى

240° و يبدأ الأوستنيت Fe γ (C) فى التحول الى مارتنسيت Fe α (C) دون انتشار .

و يبين الرسم البيانى (شكل 60) تأثير سرعة التبريد على انخفاض النقطة الحرجة Ar₁ فى الصلب اليوتكتويدى . و يمثل المنحنى العلوى Ar' اوستنيتا متجاوز التبريد و تحوله الى خليط من الفيريت و السمنتيت . و بازدياد سرعة التبريد تزداد درجة تجاوز التبريد و تصبحنواتج التحلل اكثر تناثرا . وكما نرى من الرسم فانه يظهر عند السرعات الكبيرة بالاضافة الى النقطة Ar' خط يمثل النقطة MH - اى بدء تكون المارتنسيت .



4- التحول المارتنسى :

عند سرعات التبريد الاعلى من 150° / ثانية تختفى النقطة العليا Ar' (شكل 60) و يبدأ الأوستنيت Fe γ (C) فى التحول دون

انتشار الى مارتسيت $Fe\alpha(C)$ و يختلف هذا التحول عن تحول الاوستيت الى بيرليت بان هذا الاخير يصحبه انتشار .

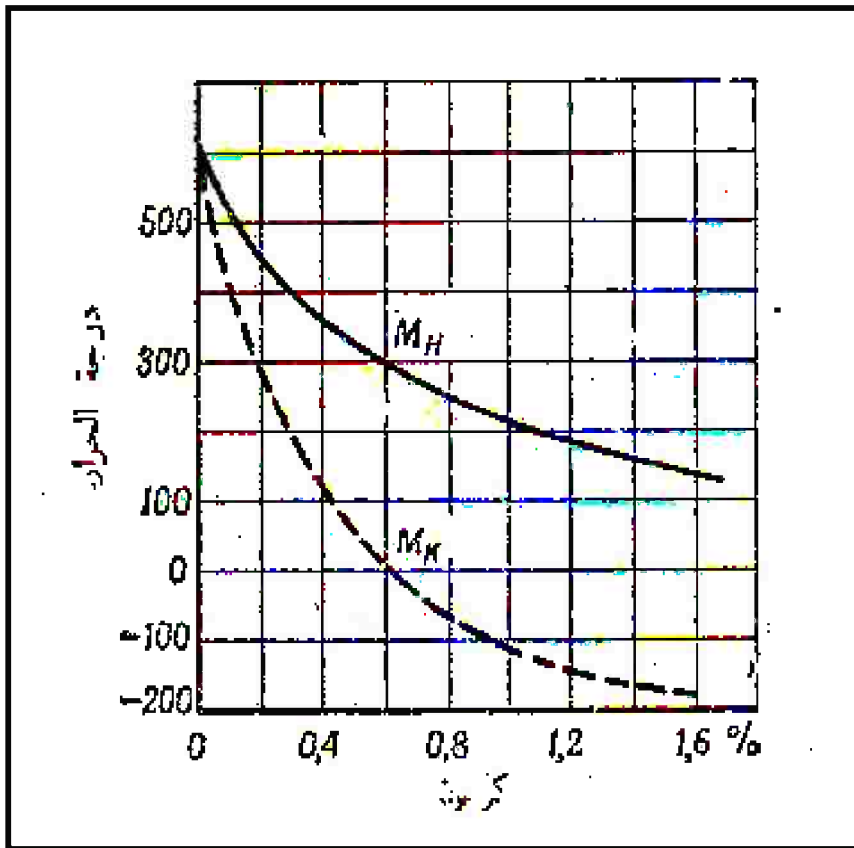
5- السرعة الحرجة للتصلد V :

هى اصغر سرعة لتبريد الصلب تلزم لكى يصل تجاوز تبريد الاوستيت الى نقطة المارتسيت MH (شكل 58) . و تتوقف قيمتها على التركيب للاوستيت : فزيادة نسبة الكربون به حتى 0.8% تخفض السرعة الحرجة كما تنخفض هذه السرعة عند وجود عناصر اشابة سبيكية بالاوستيت .

وقد أثبت ن.ت. جودتسوف و غ.ف. كورديوموف و ن.ى. سلياكوف سنة 1927 بالتحليل باشعة رونتجن ان المارتسيت عبارة عن محلول صلب مشبع جدا بالكربون فى حديد $\alpha - Fe\alpha(C)$ ذى شبكة رباعية بدلا من ان تكون مكعبية ، و تزداد نسبة الشكل الرباعى

$$1 > \frac{c}{a}$$

بزيادة نسبة الكربون بالمارتسيت . و المارتسيت ذو بنية ابرية فاتحة ، شديدة الصلادة ($62 - 66 Rc$) و القصافة ، و تتوقف هاتان الخاصيتان على نسبة الكربون به . و يتم تحويل المارتسيت فى الفترة ما بين درجتى الحرارة MH-MK (شكل 61 ، b) ولا يتوقف مكانهما على سرعة التبريد و انما على نسبة الكربون بالاوستيت .



شكل رقم 61 ، بنيان الصلب اليوتكتويدي المصلد :

تأثير كمية الكربون بالصلب على درجة حرارة بداية MH و نهاية
MK التحول المارتنسي

4- تلدين (تخمير) و استبدال الصلب :

تلدين (تخمير) الصلب هو احد اشكال المعاملة الحرارية له ،
ويتركب من عمليات تسخين المعدن الى درجات حرارة معينة
(شكل 55) ، و ابقائه عند هذه الدرجات لفترة معينة ، ثم تبريده تبريدا
بطيئا . و الغرض من التلدين هو الحصول على بنية مستقرة و ازالة

الاجهادات المتبقية و ما يتبع ذلك من تحسين الخواص الميكانيكية و
التكنولوجيا للمعدن . و هناك انواع مختلفة من التلدين :

- (1) التلدين التام . (2) التلدين غير التام . (3) التلدين الايزوثرمى .
- (4) التلدين للحصول على بيرليت حبيبي . (5) التلدين الانتشارى . (6)
التلدين لاعادة التبلور .

1) التلدين التام :

و يستعمل عادة للصلب قبل اليوتكتويدي و يتلخص فى تسخين
الصلب الى درجة اعلى من درجة Ac_3 ، اى اعلى بنحو $30 - 50^\circ$ من
الخط GS (شكل 55) و ابقائه عند هذه الدرجة ربع مدة التسخين ،
ثم تبريد ببطء حتى درجة $400 - 500^\circ$ و يبرد الصلب الكربونى
بسرعة $100 - 200^\circ /$ ساعة ، اما الصلب السبائكى فيبرد بسرعة
 $50 - 60^\circ /$ ساعة .

ويمكن ان يجرى التبريد التالى لذلك فى الهواء ، و تحدث عند
التلدين التام للصلب اعادة تبلور الاطوار ، و يتكون صلب صغير
الحبيبات من الصلب الكبير الحبيبات . وفيما يلى المعدلات التقريبية
لمدة تسخين الاجزاء الاسطوانية ، و تشمل مدة الابقاء عند درجة الحرارة
العليا :

- فى الفرن فى درجة 600° 100 ثانية لكل ملليمتر من
القطر .
- فى الفرن فى درجة 800° 100 ثانية لكل ملليمتر من
القطر .

- فى الملح فى درجة 800° 100 ثانية لكل ملليمتر من القطر.

- فى الرصاص فى درجة 800° 100 ثانية لكل ملليمتر من القطر.

وتزداد هذه المدد عند تسخين الاجزاء ذات المقطع المربع بمقدار 1.5 مرة كما تزداد عند تسخين الرقائق مرتين .

(2) التلدين غير التام :

و يتلخص فى تسخين الصلب الى درجة اعلى من Ac1 و لكنها اقل من Ac3، وابقائه عند هذه الدرجة لفترة ما ، ثم تبريده بمثل مايتبع عند التلدين التام . و يستعمل هذا النوع من التلدين عند ازالة الاجهادات المتبقية بدلا من التلدين التام لخفض نفقات التلدين ، كما يستعمل فى بعض الحالات لتحسين قابلية الصلب للتشغيل .

(3) التلدين الايزوثرمى :

و به يسخن الصلب كما فى حالة التلدين التام الى درجة GSK + (30 - 50°) و يبقى عندها لفترة ما ثم يبرد بسرعة نسبيا الى درجة اقل من Ar1 (630 - 700°) مع بقاءه عندها حتى يتم تحليل الاوستيت ، و بعد ذلك يتم تبريده فى الهواء و يسمح التلدين الايزوثرمى باختصار دورة التلدين بالمقارنة مع التلدين المعتاد مرتين تقريبا .

(4) التلدين للحصول على بيرليت حبيبي :

يستعمل للصلب اليوتكتيدى وبعد حيث يسخن الصلب الى درجة اعلى قليلا من Ac1 (شكل 55) و يبقى عندها مدة طويلة ، ثم يبرد ببطء الى درجة اقل من Ar1 و يبقى عندها لفترة ما ، ثم يسخن مرة

اخرى الى درجة اعلى من Ac1 ويبقى عندها مدة طويلة، ثم يبرد ببطء الى درجة اقل من Ar1، ثم يبرد فى الهواء . و نتيجة لهذه العمليات تتخذ الكاربيدات شكلا حبيبيا (مستديرا) . و الغرض من مثل هذا التلدين هو انقاص صلادة الصلب و تحسين قابليته للتشغيل.

5) التلدين الانتشارى (التلدين الصناعى) :

و يستعمل لمعادلة التركيب الكيميائى للصلب الذى يوجد به انعزال داخل البلورات . يسخن الصلب الى 1000 – 1150 ° (شكل 55) و يبقى عندها لمدة 8 – 15 ساعة . و يؤدى التلدين الانتشارى الى تكون بنية كبيرة الحبيبات، مما يستوجب تلافى هذا العيب باعادة تلدين الصلب للحصول على حبيبات صغيرة (بتلدينه تلدينا تاما)

6) التلدين لاعادة التبلور :

و تعامل به المعادن التى دلفنت او سحبت او كسبت على البارد . و يسخن المعدن فى هذه الحالة الى درجة اقل من درجة التحول الطورى و لكنها اعلى من درجة اعادة التبلور. ويقول أ.أ. بوتشفار بان درجة اعادة التبلور المطلقة $T = 0.4 t$ انصهار المعدن (ومن هذا نجد ان درجة اعادة التبلور للحديد نحو 450° و للنحاس 270° و للالومنيوم 150°) و يزال نتيجة لمثل هذا التلدين تصلد المعدن نتيجة لتشغيله على البارد و تنخفض صلابته و مقاومته فى حين ترتفع لدونته مثل الاستطالة النسبية ومقاومته الصدمات (رقم أيزود) .

استعمال الصلب :

يسمى تسخين الصلب الى درجة اعلى من الخط GSE (شكل 55) بنحو 30 – 50 °، وابقاؤه عند هذه الدرجة كما هو

الحال بالتلدين ثم تبريده فى الهواء بالاستعدال . و يخفض الاستعدال من حجم حبيبات البيرليت وتقضى الاستعدال من حجم حبيبات البيرليت و تقضى على شبكة السمنتيت فى الصلب بعد اليوتكتويدى و تحسن الخواص الميكانيكية للصلب .

و يستعمل الاستعدال بالصناعات الهندسية الحديثة على نطاق اوسع من التلدين، و ذلك لانه اعلى انتاجية منه و يعطى نتائج أحسن .

5- تصلد (تقسية) الصلب

الغرض من التصلد (التقسية) هو الحصول على صلادة أو متانة عالية بالمصنوعات، وعند التصلد يبرد الأستيت الناتج عن التسخين الصلب إلى درجة حرارة التصلد تبريدا متجاوزا (شكل 55) إلى درجة الحرارة اللازمة فيتحول إلى مارتستيت أو سوربيت.

ويكون تسخين الصلب في هذه الحالة بنفس طريقة تسخين الصلب أثناء التلدين

وسيط التصلد : يحسن أن يقوم وسط التصلد بتبريد الصلب تبريدا سريعا في مدي درجات الحرارة الذي يكون فيه الأوستيت غير مستقر (600 – 550°) ويبطء في مديث التحول المارتسيتي (200 - 300 °) حتي لا يسبب أى أجهادات في الصلب .

ويستعمل الماء عمليا لتصلد الأجزاء المصنوعة من الصلب الكربوني ذي السرعة الحرجة العالية للتصلد . ويقوم الماء بتبريد الجزء بشدة في مدي درجات الحرارة من 550 - 600°، ولكنة يستمر في تبريدة بشدة في منطقة التحول المارتسيتي (200 - 300 °) ويعد هذا عيبا للماء كوسط للتصلد ، ويمتاز الزيت كوسط بميزة حسنة

وهي عدم تأثرة بدرجة الحرارة مطلقا ، فالزيت عند درجة 20°م يقوم بالتصلد تماما كما يقوم به عندما تكون درجة حرارته (150- 200°م) .

طرق التصلد

هناك عدد من طرق التصلد تستعمل عمليا حسب تركيب الصلب وشكل الجزء والصلادة المطلوب الحصول عليها . كما يمكن أن يكون التصلد تاما أو غير تألما حسب درجة التسخين .

الصلد التام :

ويستعمل للحصول علي حالة وحيدة الطور بالصلب وهي الأستتيب وذلك بتسخيته أعلي من الخط GSE في (الشكل 55) ثم تحويله إلي بنية من المارتنسية .

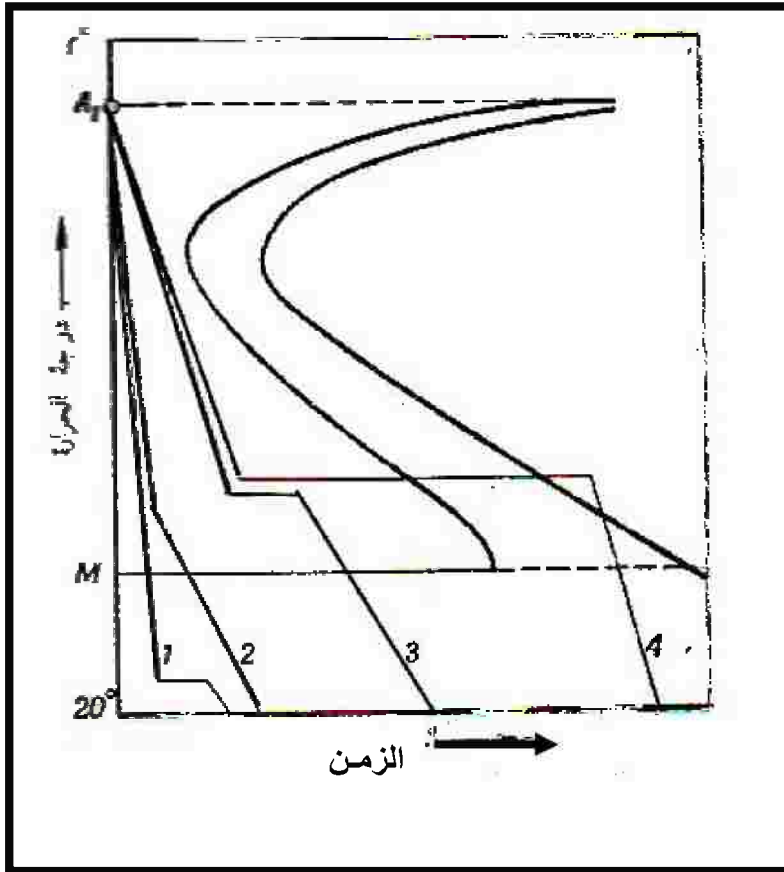
التصلد غير التام :

يتم بتسخين الصلب إلي أعلي من الخط PSK ولكن تحت الخط GSE (شكل 55) وتكون نظرا للتبريد بالسرعة الحرجة للتصلد بنية من الفيريت والمارتنسية بالصلب قبل اليوتكتويدي ومن المارتنسية المحتوي علي اليسمنتيت بالصلب قبل اليوتكتويدي ومن المارتنسية المحتوي علي السمنتيت الثانوي بالصلب بعد اليوتكتويدي .

ويجب أن يستعمل للأجزاء المصنوعة من الصلب قبل اليوتكتويدي التصلد التام لتجنب أحتوائها عتي الفيريت وعلي العكس من ذلك يجب أستعمال التصلد غير التام للآلات المصنوعة من الصلب بعد اليوتكتويدي لأن إحتواءها علي السمنتيت الثانوي

بالمارتسيت لا ينقص من صلابتها بل يزيد منها في حين أن التصلد التام مع التسخين فوق الخط ES (شكل 55) يعني تسخين الأوستيت أكثر من اللازم مما يخفض من الصلادة نظرا لذوبان السمنتيت الثانوي ونمو حبيبات الأوستيت وظهور الأوستيت المتبقي بالآلة بعد تصلدها⁰ ويمكن حسب ظرّةف التبريد أن يكون التصلد :

(1) في مبرد واحد ، (2) متقطعا ، (3) متدرجا



شكل 62 - منحنيات التبريد عند التصلد بطرق مختلفة مرسومة علي

بياني التحلل الأيزوثيرمي للأوستيت (أ - ي ، جوليايف)

1- تصلد في مبرد واحد - 2. تصلد متقطع (تصلد في وسطين)

3- تصلد متدرج 4. تصلد أيزوثيرمي

1- الصلد في مبرد واحد :

وهو أبسط الطرق وأكثرها استعمالاً (شكل 62 المنحني 1) وبة يغمر الجزء المسخن إلى درجة حرارة التصلد في سائل التبريد (الصلب الكربوني في الماء والصلب السبائكي في الزيت) ويبقى به حتى تمام التبريد وهذه الطريقة بسيطة ولكنها قد تسبب كثيراً من الإجهادات الداخلية .

2- التصلد المتقطع :

أو التصلد في وسطين، ويستعمل لتجنب حدوث أجهادات داخلية بالجزء (62 المنحني 2) وفيث هذه الطريقة يبرد الجزء المسخن حتى درجة الحرارة اللازمة أولاً بشدة في الماء حتى درجة (300-350°) ثم ينقل بعد ذلك إلى الزيت أو الهواء لتبردة ببطء في مدي التحول المارتنسييتي، وعيب هذه الطريقة هو صعوبة التحكم في زمن إبقاء الجزء في الماء .

3- التصلد المتدرج :

ويمك بواسطة تلافي العيب السالف (شكل 62 المنحني 3) وبة يبرد المسخن بسرعة يغمر في حمام ملحي درجة حرارته أعلى بقليل من درجة حرارة التحول المارتنسييتي لهذا الصلب MH ويبقى الحمام حتى تتساوي درجة حرارة في كل أجزاء المقطع، ثم يبرد في الهواء وتستعمل للتصلد المتدرج مخلوطات من الأملاح السهلة الانصهار مثل خليط من 55% KNO₃، 45% NaNO₂ ودرجة إنصهاره 137° وغيره ولا يمكن استعمال هذه الطريقة إلا لتصلد الأجزاء الصغيرة من الصلب الكربوني لأن سرعة تبريد الأجزاء

الكبيرة يمكن أن تقع في منطقة عدم الإستقرار للأوستنيت (500 - 600 °) تحت الدرجة الحرجة .

4- التصليد الأيزوثيرمي (عند درجة حرارة ثابتة) :

ويسمح بالحصول علي بنية من النوع البيرليني (سورييت أو تروستيت) بتبريد الجزء المسخن إلي درجة التصلد في حمام ملحي درجة حرارته هي الدرجة المطلوبة وإبقاء في الحمام حتي 'نتهاء التحويل الأوستيني (شكل 62، المنحني 4) وتحدد مدة بقاء الجزء في وسط التصلد من بياني التحليل الأيزوثيرمي، للأستيت للصلب المعني،

ومن المستحسن الحصول بواسطة التصلد الأيزوثيرمي علي بنية من التروستيت الابري ذي الصلادة 45 Hrc ÷ 55 إذا أن ذلك يعي احتفاظ الجزء بلدونة كافية، ولكن لا يمكن تصليد الأجزاء المصنوعة من الصلب الكربوني أو الصلب السبائكي عند إنخفاض نسبة العنصر المضاف إذا زاد مقطعها عن 8 - 10 مم إذا أنه لا يمكن تبريد قلب الأجزاء الكبيرة من هذا الصلب إلي درجات حرارة منخفضة (أعلي بقليل من MH) في وسط ساخن نظرا لعدم إستقرار الأستيت في هذه الأنواع من الصلب .

5- معاملة الصلب في درجت أقل من الصفر :

توجد النقطة المارتنسيك Mk لبعض أنواع الصلب تحت الصفر ويجب لتحويل الأوستنيت إلي المارتنسيك تحويلا تاما عند هذه النقطة تبرده إلي درجات أقل من الصفر . وفي هذه الحالات يعتبر تبريد الجزء تحت الصفر جزءا من الدورة المعتادة للمعاملة الحرارية

وتتغير نتيجة لتبريد الجزء خواصها الميكانيكية والطبيعية فتستعمل المعاملة بالتبريد لزيادة صلادة الآلات القاطعة ولتثبيت أبعاد آلات القياس إلخ،

ويستعمل للتبريد مزيج من ثاني أكسيد الكربون المتجمد (الثلج الجاف) واكحول الصناعي (-- 78,5°) والأكسجين السائل (-- 183°) والنتروجين السائل (-- 195°) .

6- أصلادية الصلب (قابليته للتصيد)

تسمى قدرة الصلب علي التصلد علي عمق معين بالاصلادية (أو قلبية التصلد) وعمق الاصلادية هو المسافة من السطح إلي الطبقة ذات البنية النصف مارتنسيكية، أي المحتوية علي 50% مارتنسيك و50% تروستيت ويتوقف عمق الاصلادية علي التركيب الكيميائي للصلب، وعلي وجة التحديد علي قيمة السرعة الحرجة للتصيد، فكلما نقصت السرعة الحرجة كلما كان الاصلادية أعمق .

العيوب الممكن حدوثها عند التصلد

الصلادة غير الكافية للجزء المصلد :

وتكون النتيجة لعدم تسخينه إلي الدرجة اللازمة أو لعدم تبريده بالسرعة الكافية – أي لتبريده بسرعة أقل من السرعة الحرجة .

الصلادة متفاوتة للنقط المختلفة للجزء : وهي نتيجة لتسخينه تسخيناً غير متساوي قبل التصلد أو لتفاوت سرعة التبريد للأجزاء وهي نتيجة لتسخينه تسخيناً غير متساوي قبل التصلد أو

لتفاوت سرعة التبريد للأجزاء المختلفة منة، ويمكن تجنب هذين العيبين (الصلادة غير الكافية والمتفاوتة) بمراعاة الطرق الصحيحة للتسخين والتبريد وبإسعادال الجزء قبل تصليده للحصول علي بنية متشابهة كما يمكن تلافيهما بإعادة التصليد .

تأكسد السطح وإحتراق الكربون بة :

ويحدث هذا نتيجة لتسخين الجزء في أفران مؤكسدة (بكسر السين) والوسيلة الفعالة لمقاومة هذا العيب هي تسخين الجزء في أفران لافعة (موفل) ذات جو واقى من غاز خامل يحمي السطح من التأكسد أو بتسخينه في الأملاح المنصهرة، NaCl $\text{BaCO}_3 < \text{Na}_2\text{CO}_3$, NaCl

أعوجاج الجزء وتشققة :

وهي تحدث نتيجة للأجهادات الكبيرة التي تحدث اثناء عملية التصليد نتيجة لتكون بنيات مختلفة يتفاوت حجمها النوعي لعدم تساوي التبريد في الأجزاء المختلفة من الجزء (الأركان الحادة، الانتقالات المفاجئة للمقطع) ويجب تجهيز الأجزاء ذات الشكل المعقد من الصلب سرعته الحرجة للتصليد منخفضة، أما التشقق فهو عيب لا يمكن إصلاحه في حين علاج الإعوجاج بالإستبدال بعد التلدين

7- التصلد السطحي :

يستعمل التصلد السطحي علي نطاق واسع في الصناعات الميكانيكة الحديثة وذلك للحصول علي بنية مارتنسيكية بالطبقة السطحية مع الإحتفاظ بقلب لين، مقاوم للصدمات (

الأعمدة والتروس)، ويتم هذا بتسخين الطبقة السطحية للجزء إلى درجة التصلد ثم تبريدها، وهناك عدة طرق للتصلد السطحي حسب طريقة التسخين :

- 1- التصلد مع التسخين بلهب البوري .
- 2- التسخين بالتلامس الكهربائي .
- 3- التسخين بالتيار العالي التردد .
- 4- التسخين في الألكتروليت .

1- التصلد مع التسخين بلهب البوري الغازي :

يسخن سطح الجزء بلهب الأكسي - أستلين حتي درجة حرارة التصليد ويبرد بتيار من الماء، وبهذا يتم تصليدة.

2- التسخين بالتلامس الكهربائي بطريقة الدكتورن، ف، وفلنج:

هو تسخين الطبقة السطحية للجزء بتيار منخفض الجهد (2- 6 فولت) ذي شدة عالية، ويخلق التلامس بواسطة أقطاب نحاسية خلال المعدن المسخن وتبرد الطبقة المسخنة بتيار من الماء أو الزيت، ونظرا لوجود طريقة أحسن للتسخين وهي طريقة التسخين بواسطة التيار العالي التردد فإن هاتين الطريقتين بسبب إنتاجيتهما المنخفضة لا تستعملان إلا إستعمالا محدودا .

3- التسخين بالتيار العالي التردد :

وقد أقترحها وقام ببحثها الأستاذ ف. ب. فولوجدين سنة 1934 وهي واحدة من أكثر طرق المعاملة الحرارية تقدما وفعالية،

وتسمح بالحصول علي سطح مصلد يباي سمك ويتم التحكم في التردد حسب المعادلة، 500 mm ف δ

$$\sqrt{1}$$

حيث δ —عمق التسخين و f — التردد بالهرتز (ذبذبة في الثانية) وهذه الطريقة للتصليد ذات إنتاجية عالية وتسمح بإدخال الأوتوماتيكية الكاملة في عملية الصليد (شكل 63) ويوضع الجزء I في الحاث 2 المغذي بتيار من مجموعة محرك – مولد 3 يديرها المحرك الكهربائي 4، وتكون التغذية بواسطة محول 5 والمكثف 6 يوضع بغرض تحسين عمل المولد وتنشأ في الجزء I الموضوع في الحاث 2 تيار حثية (دوامية) عالية التردد ذات شدة كبيرة في الطبقة السطحية، فتسخنها بسرعة إلي درجة التصليد وتبريد الجزء بعد ذلك بتيار من الماء من رشاش تتكون به بنية مارتسيتية .

وتستعمل للحصول علي العمق المطلوب للطبقة المصلدة أنواع مختلفة من المولدات العالية التردد (جدول 6)

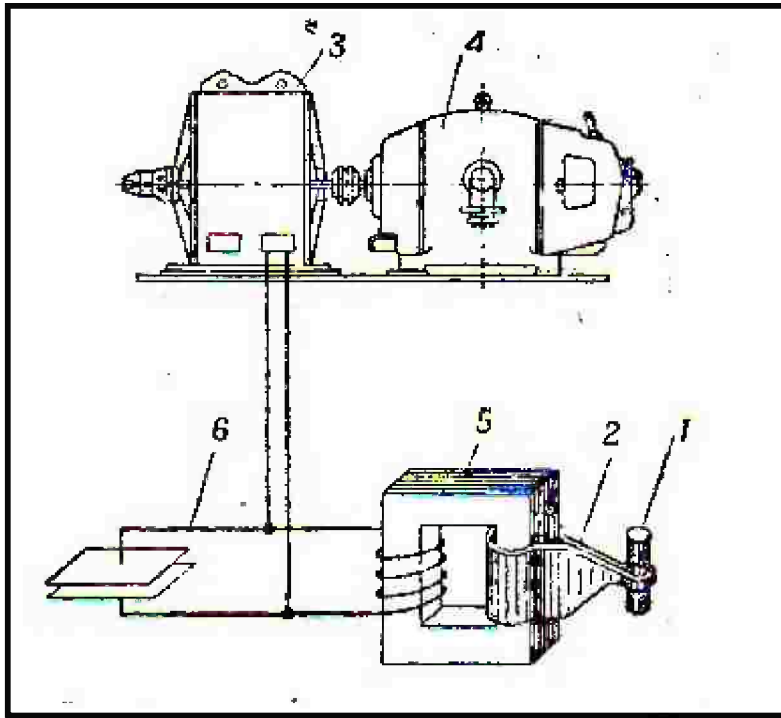
والدلائل الأساسية التي تحدد البنية التي نحصل عليها للطبقة المصلدة هي درجة حرارة التسخين وسرعتها ..

أنواع المولدات العالية التردد (جدول رقم 6)

نوع المولد	مدي الترددات المستعملة، هرتز (ذبذبة في الثانية)	القدرة كيلواط	عمق التصليد مم
مجموعة محرك - مولد	500 -- 10000	20 - 500	إبتداء من 2
مولد شراري	5000 - 500000	5 - 35	إبتداء من 1
مولد الكتروني	100000 - 10000000	5 - 1000	إبتداء أجزاء المليمتر

4- التصليد مع تسخين المعدن في الألكتروليت :

وتتلخص هذه الطريقة في أن الجزء المراد تصليدة يغمر في الكتروليت (محلول مائي للصودا) ويكون فيه بمثابة مهبط أما المصعد فهو الوعاء نفسه فعند توصيل دائرة التيار المستمر عبر الألكتروليت تتكون حول المهبط (الجزء) طبقة من الأيدروجين عالي المقاومة كهربائياً مما يساعد علي تكوين حرارة عالية عند الجزء تقوم بسرعة بتسخين الطبقة السطحية ويتم ذلك بتبريد الجزء المسخن (تصليدة) في الألكتروليت نفسه وذلك بقطع التيار ويستعمل للتسخين تيار مستمر جهد 220 – 300 فولت وشدة من 4 - 6 أمبير/س2 من السطح المسخن .



(شكل 63) رسم تخطيطي للتسخين بالتيار العالي التردد

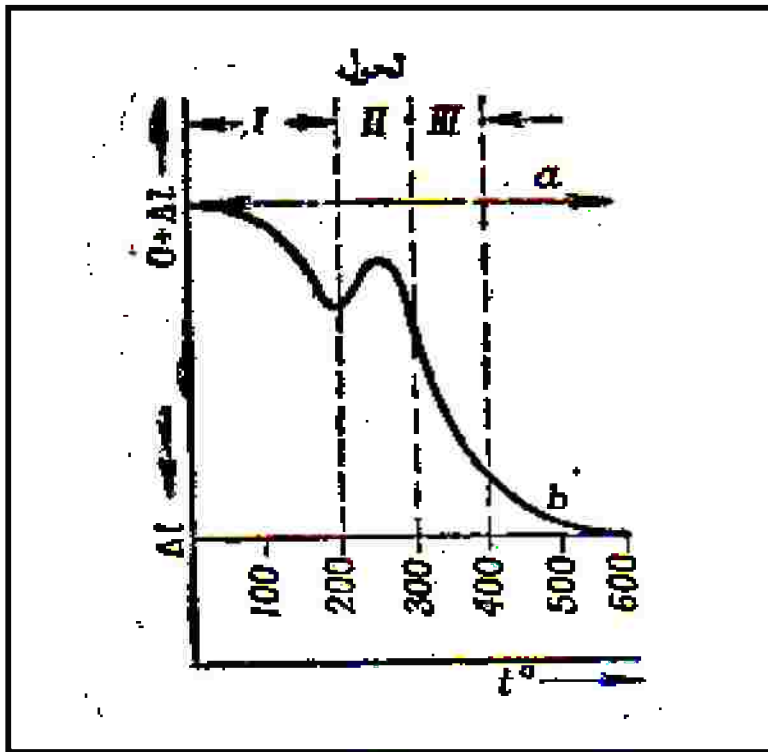
8- مراجعة الصلب المصلد :

المراجعة هى عملية نهائية فى المعاملة الحرارية ، و تتوقف على صحة القيام بها خواص الاجزاء المعاملة حراريا . و اهم العوامل فى عملية مراجعة الصلب هى درجة حرارة التسخين و طول مدة بقاء الجزء عند هذه الدرجة . و الغرض من المراجعة هو ازالة الاجهادات الداخلية جزئيا او كليا ، و تخفيض الصلادة وزيادة المتانة (مقاومة الصدمات) . تراجع الاجزاء المصلدة ذات البنية المتكونة من المارتنستيت الرباعى و الاوستنيت المتبقى . وهاتان البنيتان غير مستقرين و تميلان عند التسخين الى التحول الى حالات اكثر استقرارا مع تغير الحجم ، ولما كان ترتيب البنيات المختلفة فى سبائك الحديد و الكربون حسب زيادة حجمها النوعى هو اوستنيت > سورييت > تروستيت > مارتنستيت ، فان هذا يعنى ان الاوستنيت اقلها حجما اما المارتنستيت فهو اكثر بنيات سبائك الحديد و الكربون الناتجة عند المعاملة الحرارية فى الحجم النوعى ولذلك يحدث عند تحول المارتنستيت نقص فى الحجم (و الطول) و عند تحليل الاوستنيت زيادة فى الحجم (و الطول) .

و بشكل (64) منحنى التحول التمددى و يبين تغير طول العينة عند مراجعة الصلب المصلد . و بشكل (65) منحنيات تبين تغير نسبة الكربون فى المارتنستيت حسب درجة حرارة المراجعة فى انواع الصلب المحتوية على الكربون بنسب مختلفة . و يعطى الصلب المملدن (شكل 64 ، a) خطا افقيا لعدم حدوث اى تحولات طورية به عند التسخين ، اما عند مراجعة الصلب المصلد فنلاحظ حدوث ثلاثة تحولات (شكل 64 ، a) .

التحول الاول :

عند المراجعة الى درجة 200°، و يصحبه انكماش بطول العينة نتيجة لانكماش الشبكة الرباعية للمارتنيسيت اى اقتراب نسبة المحاور c/a الى واحد تقريبا : و يحدث هذا نظرا لافراز الكربون من المارتنيسيت Fe α (C) (شكل 65) و يتحول نتيجة لهذا التحول الاول مارتنيسيت التصليد الى مارتنيسيت مراجعة ،



شكل رقم 64 ، المنحنى الديلاتومتري لمراجعة الصلب الكربوني :

(a) صلب ملدن ، (b) صلب مصلد (أ.ب. جوليايف)

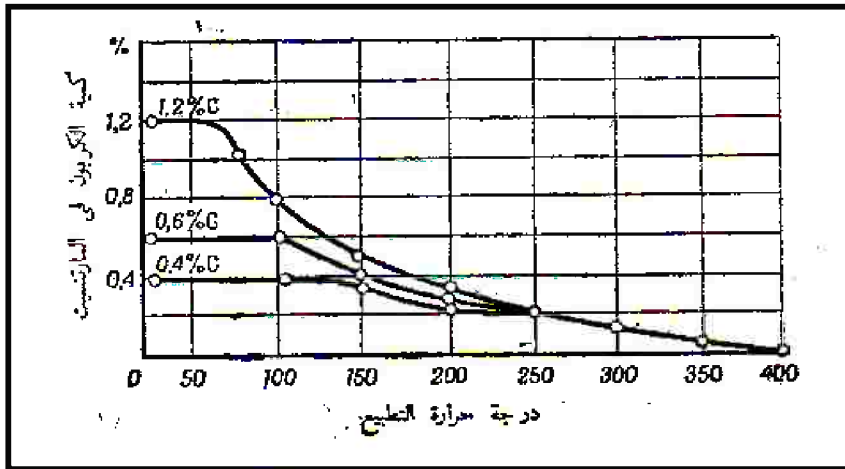
التحول الثانى :

عند المراجعة من 200 – 300 ° و به يزداد حجم الجزء (طولته) (شكل 64 ، المنحنى b) وهذا نتيجة لتحلل الاوستيت المتبقى الى مارتنيسيت مراجعة ،

التحول الثالث :

عند المراجعة من 300 – 400 ° و يؤدى الى نقص الطول (شكل 64 ، المنحنى b) وهذا نتيجة لتحلل المارتنيسيت الى خليط من الفيريت و السمنتيت . و تكون نسبة الكربون فى الفيريت المتكون مساوية للصفر عمليا (شكل 65) ، تسمى البنية الناتجة بتروستيت المراجعة .

و يساعد رفع درجة حرارة المراجعة اكثر من ذلك على زيادة نسبة السمنتيت و تكون سوربيت المراجعة مع آثار من التروستيت عند درجات 500 – 600 ° .



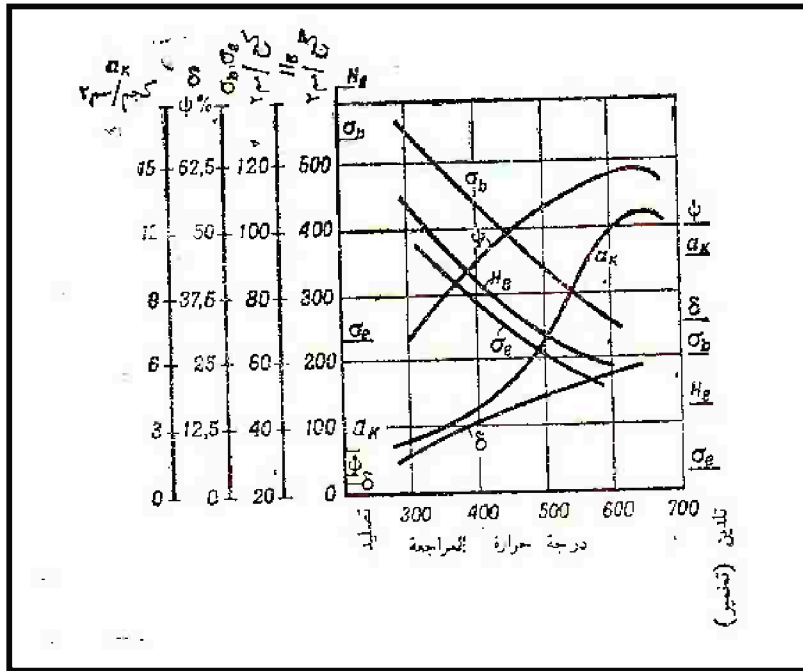
شكل رقم 65 ، نسبة الكربون بمحلول - α (مارتنيسيت) حسب درجة حرارة التطبيع (ج . ف . كورديموف)

و تستعمل المراجعة عند الدرجات المنخفضة (150 – 200 °)
عمليا لازالة الاجهادات فى المارتسيت و المراجعة عند الدرجات العالية
(550 - 600 °) للحصول على بنية من سوربيت المراجعة .

و تسبب تغيرات بنية الصلب عند المراجعة تغيرات فى خواصه
الميكانيكية . وبشكل (66) اوردنا منحنيات تبين تغير الخواص
الميكانيكية للصلب الكربونى المصلد 40 عند تغير درجة حرارة
المراجعة .

فعند المراجعة حتى 300 ° تزداد المقاومة القصوى (أقصى
اجهاد) ، وحد المرونة (σ_b ، t_e) بالنسبة لما كانت عليه فى الصلب
المصلد ، فى حين تنخفض الصلادة HB ، و بزيادة درجة حرارة المراجعة
اكثر من 300 ° تبدأ الخصائص المذكورة فى الانخفاض و ترتفع
الدونة δ ، Ψ ، و المتانة و مقاومة الصدمات ak بالنسبة لقيمتها فى
الصلب بعد التصليد (و قد بينهاها بشرطات افقية بالجانب الايسر من
البيانى) .

مع ذلك فان خواص الصلب بعد المراجعة عند درجة حرارة عالية
(550 - 600 °) كالمقاومة (σ_b ، $e\sigma$) و الدونة (Ψ) و المتانة (ak)
تكون اعلى مما تكون عليه بعد التلدين (و قد بينا قيمتها بعد
التلدين بشرطات افقية بالجانب الايمن من البيانى) و لهذا فانالتصليد
للحصول على المارتسيت ثم المراجعة عند درجة حرارة عالية للحصول
على سوربيت يستعملان على نطاق واسع لاجزاء الماكينات و تسمى
بالتحسين . و خواص المقاومة و المتانة بسوربيت المراجعة ذى السمنتيت
الحبيبي اعلى منها فى سوؤبيت التصليد ذى السمنتيت الصفائحي .



شكل رقم 67 ، تغير الخواص الميكانيكية للصلب 40 مع تغير درجة حرارة التطبيق (ج.أ. كاشنكو و ن.أ. منكيفتش)

9- المعاملة الحرارية للزهر الرمادى :

تعامل انواع الزهر الرمادى العالية المتانة و المعدلة و السبيكية
كانواع الصلب بالعمليات الحرارية التالية :

1- التلدين لازالة الاجهادات الداخلية بالمسبوكات المعقدة الشكل من
الزهر الرمادى :

تسخين بطيء (75 - 100 ° / ساعة) حتى درجة 500 -
550 ° ، ثم ابقاء الجزء عند هذه الدرجة لمدة 2 - 5 ساعات ، ثم تبريد
بطيء فى الفرن (50 - 60 ° / ساعة) ، حتى درجة 200 ° وفى حالة

التبريد دون فرن تترك المسبوكات لمدة طويلة (تصل الى عام) بالمخزن و يسمى هذا بالتعبير الطبيعى ، و فى هذه الحالة تزال الاجهادات جزئيا فقط (20 – 30 %) .

2- التلدين لانقاص الصلادة و لزيادة القابلية للتشغيل :

للزهر الرمادى بتسخينه الى درجة 850 – 900 ° لمدة 1 – 2 ساعة مما يتيح عنه افرازات الجرافيت من السنتيت الطليق حسب المعادلة



3- مراجعة الزهر الرمادى :

تتم تسخين الى درجة 850 – 870 ° م لزيادة الكربون المتحد باذابة جزء من الكربون الطليق من الاوستيت ثم تبريد الجزء فى الهواء للحصول على بنية من السوربيت .

4- تصليد الاجزاء المصنوعة من الزهر الرمادى :

بأشكالها المختلفة ، و ذلك للحصول على بنية من المارتنسيت أو التروستيت او السوربيت و يشبه تصليد الصلب (كما سبق و بينا) وتتراوح درجة حرارة التسخين عند التصليد فى الحدود من 820 – 900 ° .

ويجدر بنا ان نشير بصفة خاصة الى فعالية العمليتين التاليتين :

أ) التصليد الايزوثرمى للزهر الرمادى و يسمح برفع متانته بنسبة 30 – 50 % و مقاومته للتآكل 3 – 4 مرات .

ب) التصليد السطحى بالتسخين الحثى بالتيار عالى التردد للاجزاء التى تتعرض للاحتكاك .

5- المراجعة بعد التصليد :

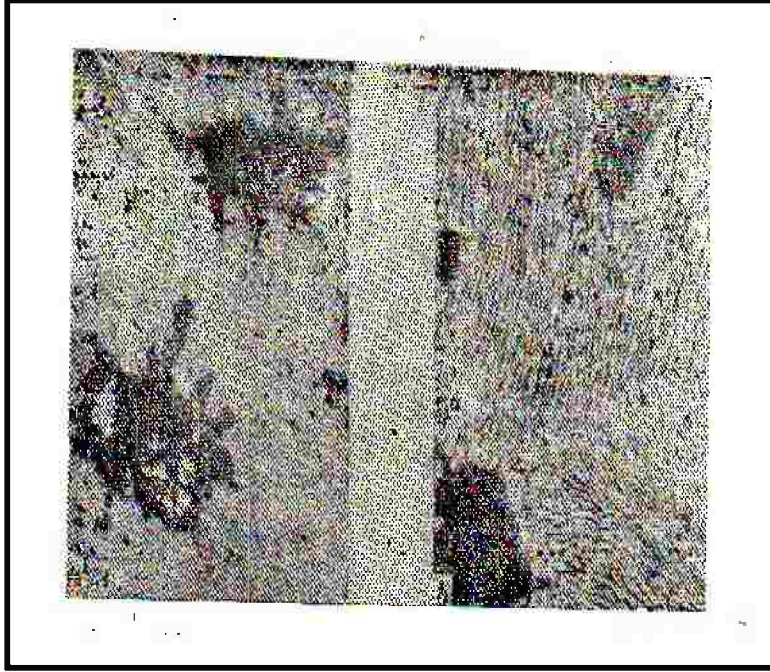
أ) عند الدرجات المنخفضة من 180 – 250 ° لازالة الاجهادات .

ب) عند الدرجات العالية من 500 - 600 ° للحصول على سورييت المراجعة .

10 – الزهر الطريق :

الزهر الطريق عبارة عن مسبوكة من الزهر بنيتها ذات اساس فيريتي او بيرليتي (شكل 67) و تحتوى على الكربون على شكل قطع مندوفة و يحصل على الزهر الطريق من الزهر الابيض (شكل 67) بتلدينه (تخميره) لافراز الجرافيت ويستعمل عمليا نوعان من الزهر الطريق : النوع الفيريتي و النوع البيرليتي، وتختلف خواصهما الميكانيكية .

و ينتج الزهر الطريق على مرحلتين : اولا بالحصول على مسبوكات ذات بنية من الزهر الابيض (شكل 51) ، ثم بتلدين الزهر الابيض لافراز الجرافيت و الحصول على الزهر الطريق (شكل 67) ، و يصهر المعدن عند انتاج الزهر الفيريتي الطريق بالعملية المزدوجة (دوبلكس) فى فرن الدست و الفرن الكهربائى ويكون تركيب الزهر الابيض كالأتى : 2.4 – 2.8 % C ، 0.5 – 1 % Si ، 0.3 – 0.4 Mn و حتى 0.08 % S و 0.10 – 0.20 % P و يصهر المعدن عند انتاج الزهر البيرليتي الطريق فى فرن الدست، فتكون نسبة الكربون بالزهر الناتج اعلى ثم يعالج بالتلدين لانقاص الكربون به .



شكل رقم 67 ، بنيان الزهر الطريق فى فرن الدست ، فتكون نسبة الكربون بالزهر الناتج اعلى ، ثم يعالج بالتلدين لانقاص الكربون به .

طرق التلدين (التخمير) :

يجرى تلدين الزهر الطريق فى الافران الغرفية و النفقية و فى الافران المستمرة الاشتعال ذات الجو الواقى . و عند تلدين المسبوكات المصنوعة من الزهر الابيض فى افران دون جو واق يضعوها فى صناديق (من الصلب او الزهر الابيض) و ينثر عليها الرمل عند تلدين الزهر الفيريتى الطريق و خام الحديد عند تلدين الزهر البيرليتى . و توضع المسبوكات مباشرة على صوانى عند تلدينها فى افران ذات جو واق ، مما يقلل من زمن التلدين و ينتج مسبوكات عالية الجودة

و بشكل (68) رسم بياني لعملية تلدين الزهر الطريق : و
يبين الخط المتقطع العملية المتبعة عادة و تستغرق 80 ساعة، فى حين
يبين الخط المستمر التلدين عند درجات الحرارة المنخفضة (350 –
410 °) و الابقاء عندها لمدة ما لازالة الهيدروجين من الزهر المعدل
بالألومنيوم و يستغرق 60 ساعة و تتكون عملية التلدين من مرحلتين من
افراز الجرافيت .

(1) المرحلة الاولى :

بالتسخين الى 950 – 970 ° و بها يتحول البيرليت الى اوستيت
و يذوب فيه الكربون الزائد عن 1 % و الابقاء عند درجة الحرارة
المذكورة (5 – 13 ساعة) لافراز الجرافيت من السمنتيت الطليق على
شكل ندف مع افراز الفيريت حسب المعادلة $Fe_3C \longrightarrow 3Fe + C$

(2) المرحلة الثانية :

وهى تبريد الاجزاء المدنة حتى مدة درجات الحرارة الذى
يحدث به التحول اليوتكتويدى و ابقائها (10 – 16 ساعة)، و تساعد
على تحلل السمنتيت الثانوى المفرز من الاسوتيت فى عملية التبريد (انظر شكل 47) و كذلك تحلل السمنتيت البيرليتى الى فيريت و ندف
من الجرافيت تتكون البنية بعد تمام التلدين من افرازات مستديرة من
الجرافيت و حبيبات من الفيريت (شكل 67) .

الزهر البيرليتى الطريق :

و يحصل عليه بالتلدين غير التام، اذ يبرد الزهر بعد المرحلة
الازلى من تكوين الجرافيت من درجة 1000 ° فى الفرن دون اجراء
المرحلة الثانية . و تتكون بنية الزهر البيرليتى الطريق من البيرليت و

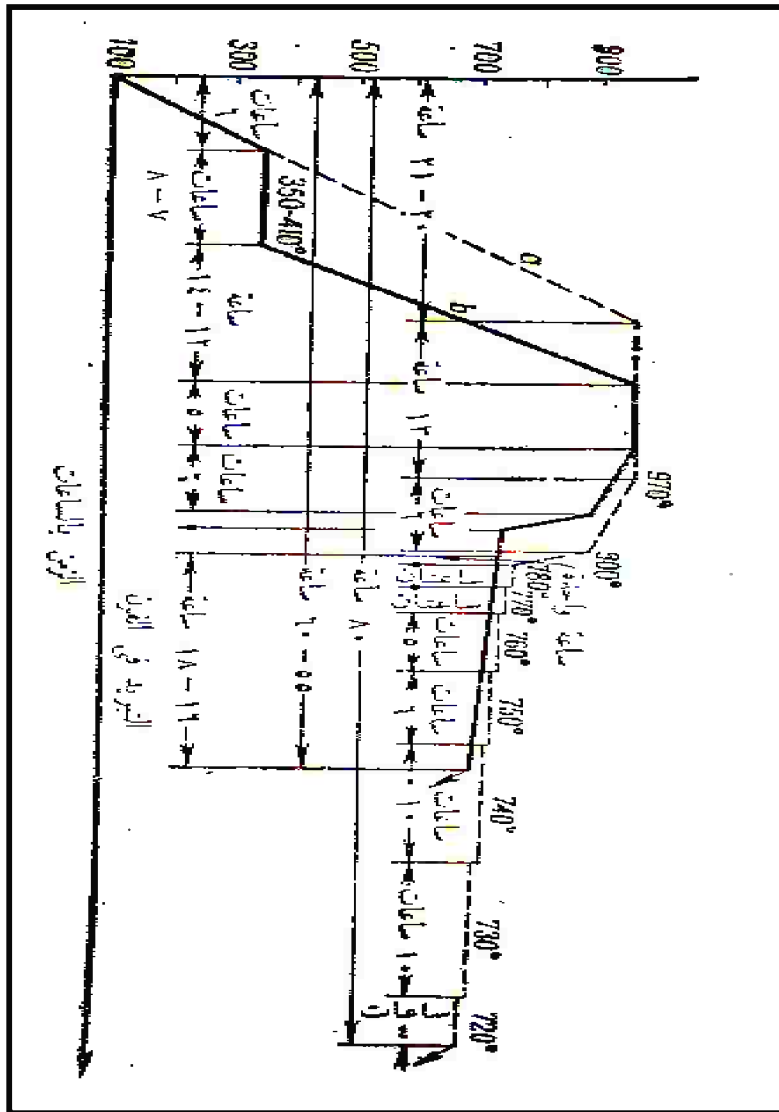
كربون التلدين (شكل 67 ، b) . ولزيادة متانة الزهر البيرليتي و مقاومته للصدمات يعالج بعملية تكوين للكريات عند درجة 650 – 750 ° مما يخلق بنية من البيرليت الحبيبي و قد طبقت فى الاتحاد السوفييتى عمليا طرق سريعة لتلدين الزهر الطريق تسمح باجراء التلدين فى 7 – 18 ساعة ومن وسائل زيادة سرعة التلدين :

أ) تصليد الزهر الابيض قبل التلدين لزيادة عدد مراكز تكون الجرافيت .

ب) تعديل الزهر الابيض بالالومنيوم او التيتانيوم .

ج) معاملة الزهر حراريا عند درجات الحرارة لازالة الايدروجين قبل التلدين .

د) اجراء المرحلة لتكوين الجرافيت فى وسط سائل (حمام ملحى) عند درجة حرارة 1050 – 1100 ° و تكوين البنية الكروية فى فرن كهربائى مقفل عند درجة حرارة 710 – 720 ° (للزهر البيرليتي) .



شكل رقم 68 ، النظام الحرارى لتلدين الزهر الطريق :

- (a) النظام المعتاد (المنحنى المنقط) زمدته 80 ساعة .
 (b) التلدين مع الابقاء عند درجة حرارة مختلفة 250 °م عند التعديل
 بالالومنيوم و مدته 60 ساعة .

ويستعمل الزهر الطريق على نطاق واسع فى صناعة السيارات و
الجرارات و عربات السكة الحديد و الآلات الزراعية لصناعة الاجزاء
المعقدة الشكل التى تتعرض للصدمات . وان كان الزهر الرمادى ذو
الجرافيت الكروى الذى تتفوق خواصه الميكانيكية على خواص الزهر
الطريق فى هذه الاستعمالات .



الباب العاشر

المعاملة الكيميائية الحرارية للصلب

عند المعاملة الكيميائية الحرارية للصلب بواسطة الانتشار
تجرى تغذية الطبقات اسطحية للجزء المصنوع من الصلب بأحد العناصر
التالية :

الكربون (الكربنة)، النيتروجين (النتدة)، الكربون و
النيتروجين معا (المعاملة السيانية او السيندة)، الالومنيوم (الالمنة)،
الكروم (المعاملة بالكروم) و غيرها، و ذلك لزيادة مقاومة الجزء
للتآكل و الصدأ و غيرها من الخواص . و تجرى المعاملة الكيميائية
الحرارية عند درجة حرارة وفى وسط يمكن من افراز العنصر المراد
انتشاره فى الجزء فى حالته الذرية النشطة كيميائيا . و تحدث عند
المعادلة الكيميائية الحرارية العمليات التالية :

- 1- يكون العنصر المراد انتشاره فى الجزء فى حالته الذرية نتيجة
لتحلل بعض مركباته .
- 2- امتصاص سطح الصلب لذرات العنصر المنتشر .
- 3- انتشار ذرات العنصر داخل الجزء .

و قد اشتغل الباحثون بعمليات المعاملة الكيميائية الحرارية منذ
زمن بعيد، فكان العالم ب.ب. أنوسوف أول من استعمل الكربنة
الغازية من العلماء الروس (سنة 1837 م) ومن بعده قام ن.ب.
تشيجفسكى فى سنوات 1907 – 1914 م بدراسة النتدة و معاملة
الصلب بالبوريوم . كما قام العلماء السوفييت بتحقيق كثير من
الدراسات فى هذا الموضوع و لقد عممت بالاتحاد السوفييتى الكربنة
الغازية و السائلة نتيجة لهذه الدراسات .

1- الكربنة (السمنتية) :

الكربنة (السمنتية) أقدم وسائل اقدم تسييع سطح الصلب بالكربون و تستعمل للحصول على صلادة عالية و مقاومة للتآكل للطبقة السطحية، مع الاحتفاظ بقلب لين متين لبعض الاجزاء كالتروس و بنز المكابس و حديدات الجذع الموزع .

و تتوقف عملية الكربنة على العوامل الآتية :

- 1) تركيب الصلب .
- 2) تركيب الوسط المحتوى على الكربون (الوسط المكربن) .
- 3) طريقة القيام بالعملية، درجة حرارة التسخين ومدة ابقاء الجزء عندها.
- 4) طابع المعاملة الحرارية بعد الكربنة .

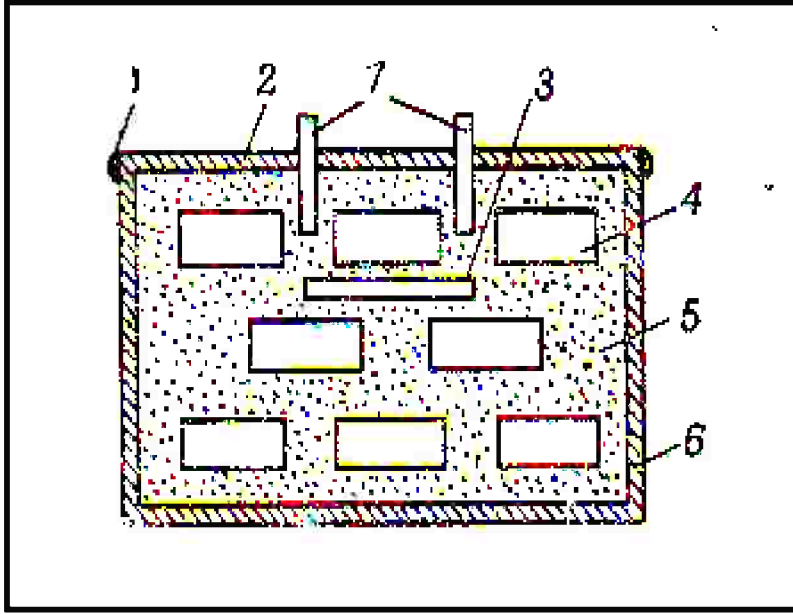
و تصنع الاجزاء التى تجرى كربنتها من صلب ذى نسبة الكربون المنخفضة : صلب كربونى 10 ، 15 ، 20 ، 25 و من الصلب السبائكى 15x ، 20X ، 12XH3A ، 18XTT و غيرها . ولما كانت عملية الكربنة تتم عند درجات حرارة اعلى من Ac3 مع ابقاء الجزء لمدة طويلة فيحسن لتجنب نمو الحبيبات ان تصنع الاجزاء من صلب صغير الحبيبات بالوراثة رقم 6 - 8 حسب المقياس (انظر شكل 57)

و تنقسم الكربنة حسب نوع المواد المستخدمة الى كربنة صلبة وسائلية و غازية .

أ) الكربنة فى وسط مكربن صلب :

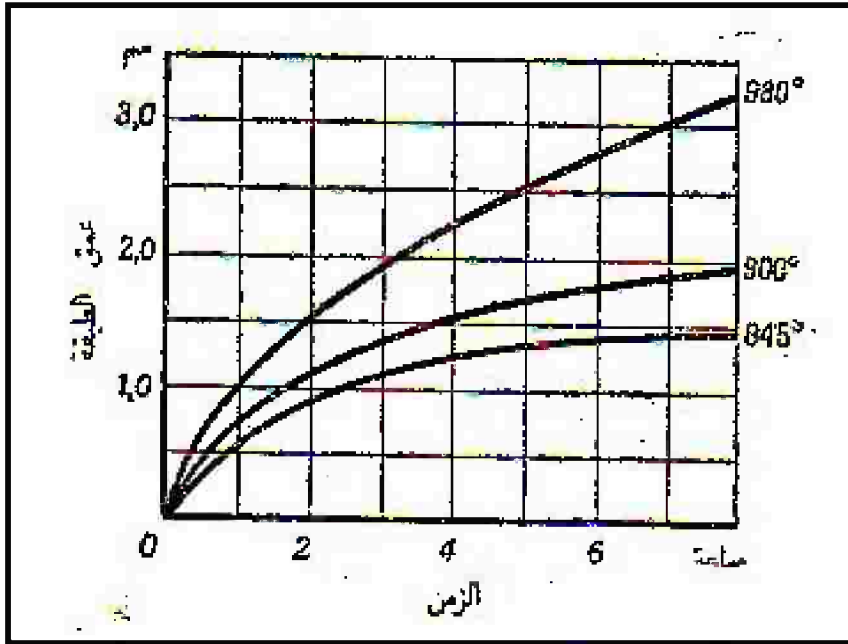
و هى اقدم الطرق لتسبيح سطح الصلب بالكربون و فى هذه الحالة تتظف الاجزاء بعد تشغيلها من القلويات و التراب و الزيوت و تعزل الاماكن التى لاتراد كربنتها مثل السطح الداخلى لبنز المكبس و اعناق الجذوع الحديدية و ذلك بتغطيتها بالكهرباء بطبقة من النحاس سمكها 0.005 مم . ثم تعبأ الاجزاء 4 فى عدة صفوف فى صندوق الكربنة 6 المصنوع من الصاج الملموم سمكه 6 - 8 مم (شكل 69) وينثر بين هذه الاجزاء الخليط المكربن 5 ، الذى يتكون من 75 - 80 % من فحم الحرور او البلوط دقيق الحبيبات (2 - 4 مم) و 20 - 25 % Na_2CO_3 او $BaCO_3$.

و ينثر المخلوط المكربن على قاع الصندوق فى طبقة سمكها 25 - 30 مم ثم توضع فوقها الطبقة الاولى من الاجزاء بحيث تكون المسافة بينها و بين بعضها 15 - 20 مم و بحيث تبعد 25 - 35 مم عن جدران الصندوق ثم ينثر عليها طبقة من الخليط المكربن مع دكه قليلا ، ثم يوضع الصف التالى من الاجزاء ، ثم طبقة من المخلوط المكربن و هكذا حتى يمتلأ الصندوق ، و توضع فى الصندوق بالاضافة الى اجزاء عينة قياسية 3 و عينات تجريبية 7 خلال تقب فى غطاء الصندوق لمعاينة نتائج الكربنة ، حتى يمكن اثناء العملية قياس سمك الطبقة المكربنة من المكسر . و تصنع العينات القياسية من نفس الصلب الذى تصنع منه الاجزاء المكربنة و بعد تعبئة الاجزاء تغلق الصناديق بالغطاء 2 و تدهن بطينة حرارية 1 لمنع تسرب الهواء .



شكل رقم 69 ، تعبئة الاجزاء فى الصندوق عند الكربة
(رسم تخطيطى)

و توضع الصناديق المعبأة فى فرن يسخن الى درجة اعلى من Ac_3 (وهى عادة $920 - 940^\circ$) ويبقى عند هذه الدرجة للمدة الكافية للحصول على طبقة مكربة سمكها نحو $1.2 - 1.7$ مم، وبشكل (70) اوردنا العلاقة بين سمك الطبقة المكربة و درجة الحرارة و مدة الابقاء اثناء الكربة الصلبة و و منها نرى انه للحصول على طبقة مكربة سمكها نحو 2.0 مم يجب ابقاء الاجزاء عند درجة 900° لمدة نحو 8 ساعات .



شكل رقم 70 ، تأثير درجة الحرارة وزمن الابقاء على الكربنة بواسطة مخلوط صلب (كربون + 40 % BaCO3)

و يتفاعل اكسجين الهواء المتبقى فى الصندوق حسب المعادلة

$$2C + O_2 = 2CO$$

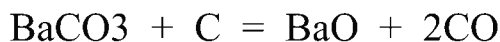
 ويتحلل أكسيد الكربون عند تلامسه بسطح
 تلامسه بسطح الاجزاء

$$2CO \longrightarrow CO_2 + C$$

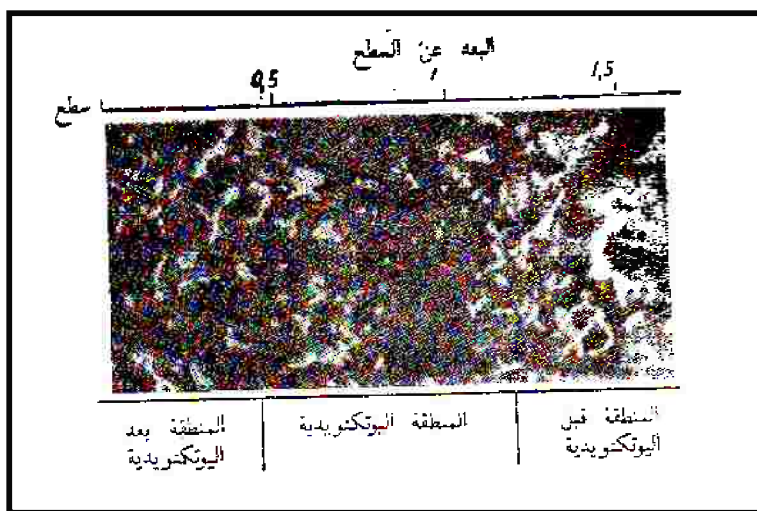
 الذرى مكونا اوستيت $Fe\gamma + C \longrightarrow Fe\gamma (C)$ وينتشر
 الكربون الى داخل الصلب بسرعة تزيد كلما زادت درجة حرارة
 الكربنة .

و عند التبريد يتحول الاوستيت المشبع حسب منحنى تسابك Fe
 Fe_3C - ، فلو كانت نسبة الكربون اعلى من 0.8 % فان السمنتيت

الثانوى يفرز فى مدى درجات الحرارة من $A1 - Acm$ ويتحول
 الاوستيت الى بيرليت عند درجة $A1$. و تنشط أملاح حامض
 الكربونيك المضافة الى المخلوط المكاربن عملية الكربنة و تكون
 أكسيد كربون اضافى حسب المعادلة :



و تتكون نتيجة للكربنة طبقة مكاربنة (شكل 71) من
 ثلاث مناطق : عند سطح الجزء منكقة بعد يوتكتويدية (بيرليت +
 شبكة من السمنتيت) تحتوى على نحو 1.2 ٪ من الكربون و منطقة
 يوتكتويدية (بيرليت) تحتوى على 0.8 ٪ من الكربون ، و منطقة قبل
 يوتكتويدية بالقرب من القلب (فيريت + بيرليت) . و يسمى مجموع
 سمك المنطقة بعد اليوتكتويدية و المنطقة اليوتكتويدية و نصف المنطقة
 الانتقالية (قبل اليوتكتويدية) بعمق الطبقة المكاربنة .



شكل رقم 71 ، البنية الميكروسكوبية للصلب المكاربن ($100 \times$)

ب) المعاملة الحرارية للأجزاء المكرينة :

لا تصبح للطبقة المكرينة للجزء صلابتها العالية المطلوبة و مقاومتها للتآكل إلا بعد معاملتها حرارياً بالتصليد و المراجعة . و يساعد بقاء الأجزاء مدة طويلة بالفرن عند درجة حرارة عالية على نمو الحبيبات. الاوستيت في كل سمك الجزء ، و لتلافي هذا العيب يستعمل النظام التالي للمعاملة الحرارية للأجزاء المكرينة :

- 1- التسخين و التصليد عدة مرات او الاستعداد من 900 – 920 ° لتحسين بنية القلب ذي نسبة الكربون المنخفضة .
 - 2- التصليد من درجة 770 – 7780 ° لتحسين بنية الطبقة المكرينة .
 - 3- المراجعة عند درجة 160 – 180 ° لازالة الاجهادات في المارتسيت . و يجرى تصليد الأجزاء المكرينة المصنوعة من الصلب الكربوني في الماء و المصنوعة من الصلب السبائكي في الزيت .
- و يبسط استعمال الصلب الصغير الحبيبات بالوراثة (رقم 6 – 8) مثل النوع 18XTT من عملية المعاملة الحرارية . اذ يمكن الاكتفاء بالتصليد مرة واحدة – للطبقة المكرينة – ثم المراجعة .

3-الكربنة الغازية :

و قد استعملها ب.ب. انوسوف في سنة 1830 م بمصنع زلاتوأوست و تستعمل الآن على نطاق واسع في صناعة الآلات لانتاج بالجملة و للانتاج في مجموعات ، لتفوقها على الكربنة الصلبة بعدد من المميزات ، و المخلوط المكرين هنا على شكل غازات : أكسيد الكربون (CO)، و الميثان (CH₄) ، و الايثان (C₂H₆) ، والبروبان (C₃H₈) ، و البوتان (C₄H₁₀) و غيرها . و تستعمل عملياً اما الغازات

الطبيعية او منتجات عملية تكسير جزيئات الكيوسين و البنزول و البيروبنزول – وتتم الكربنة فى افران لافعة مستمرة العمل او افران ذات قصبة فتسخن الاجزاء الى درجة 930 ° مع ابقائها حوالى 6 ساعات لكربنة طبقة سمكها يصل الى 1 مم .

يجرى تصليد الاجزاء المصنوعة من صلب صغير الحبيبات (رقم 6 – 8) بعد الكربنة مباشرة و ذلك بتبريدها الى الدرجة المثلى للتصليد . اما اذا تكونت فى الصلب نتيجة للكربنة بنية كبيرة الحبيبات فيستعمل التصليد المزدوج كما بينا فى حالة الكربنة فى وسط صلب . و تحتتم المعاملة الحرارية بالمراجعة عند درجة 160 – 180 ° .

4-الكربنة الغازية السريعة :

للتروس المصنوعة من الصلب ماركة 18XTT او 30XTT (الصغيرة الحبيبات بالوراثة) و تتم بالتسخين التأثيرى على التردد الى درجة 1050 – 1070 ° م . و يسمح هذا بكربنة الصلب الى عمق 1 مم فى مدة 30 – 45 دقيقة (كما تدل على ذلك خبرة مصنع ليخاشوف) و يسمح تطبيق هذه الطريقة للكربنة بخلق خطوط اوتوماتيكية جارية لانتاج التروس و غيرها من الاجزاء التى تعامل بالكربنة .

5-الكربنة السائلة :

و تستعمل عادة للاجزاء الصغيرة عندما يكون العمق المطلوب للطبقة المكربنة صغيرا (0.3 – 0.5 مم) و تجرى فى حمامات ملحية تركيبها : 75 – 80 % Na_2CO_3 ، 10 – 15 % $NaCl$ ، 6 – 10 SiC مع التسخين الى درجة 820 – 850 ° و الابقاء لمدة تصل الى ساعة ، و حسب التفاعل الاتى :



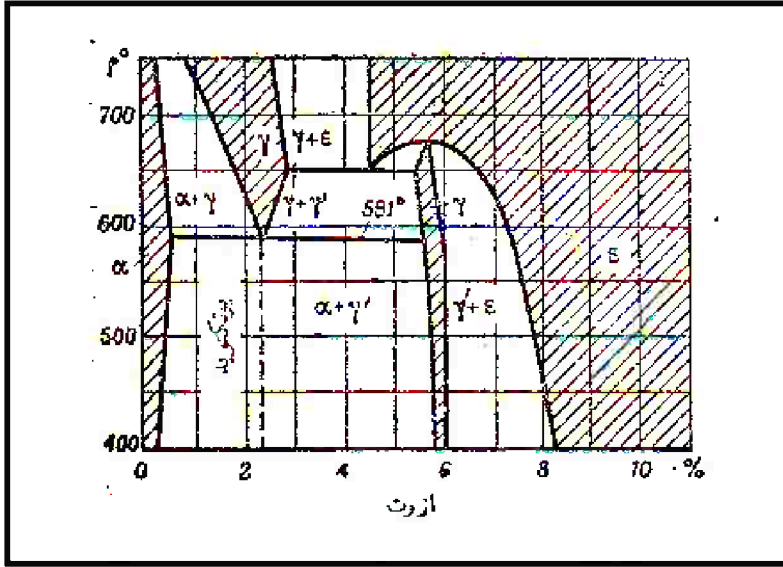
ويتكون اكسيد الكربون (CO) و الكربون الذرى (C)
و يقومان بتشبييع الاجزاء بالكربون . و بعد اجراء عملية الكربنة تصلد
الاجزاء مباشرة باخراجها من الحمام الى الماء او الزيت حسب نوع
الصلب، ثم تراجع بعد ذلك .

2- نتردة الصلب :

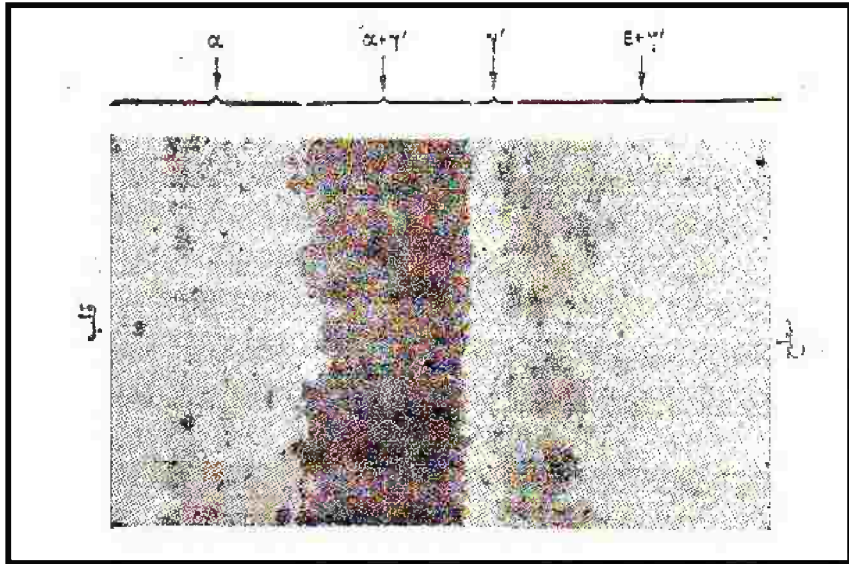
قام بدراسة نتردة الصلب و استعمالها العالم الروسى ن.ب.
تشيجفسكى فى الفترة من 1907 – 1914 م، و الغرض من النتردة
رفع صلادة و مقاومة الطبقة السطحية للجزء للتآكل و الصداً بتشبييعها
بالنيتروجين .

و تعامل الاجزاء بالنتردة بعد معاملة حرارية اولية (تصليد و
مراجعة عالية) و ذلك فى فرن لافع (عند درجة 500 – 520 °) تدخل
به الامونيا، و تتحلل الامونيا عند هذه الدرجات مكونة نيتروجينا ذريا
حسب التفاعل $NH_3 = N + 3H$ ويمتص سطح الصلب النيتروجين الذرى
الذى ينتشر فى شبكة حديد - α مكونا فيريتا نيتروجينيا فى الطور
 $Fe\alpha(N) - \alpha$ تركيزه الاقصى 0.42 % عند درجة 591 ° (شكل
72) . و اوستنيتيا نيتروجينيا فى الطور $Fe\gamma(N) - \gamma$ نسبة النيتروجين
القصوى به 2.75 % و يتحول عند درجة حرارة 591 ° الى يوتكتويد
يشبه البيريت يتكون من الطورين α و γ ، و الطور γ الذى يتكون
عندئذ هو عبارة عن المركب الكيميائى Fe_4N و هو نتريد يحتوى على
5.9 % من النيتروجين و يظهر ايضا فى نتيجة الطور ϵ - المركب
الكيميائى Fe_2N وهو نتريد يحتوى على 11.2 % من النيتروجين،
وبشكل (73) اوردنا بنية الطبقة المنتردة . و لا تعطى نتردة الصلب
الكربونى صلادة عالية، ولذلك تصنع الاجزاء التى تنترد من صلب

خاص مثل الصلب 35XMIOA ويحتوى على الكروم و المولبدنيوم و الالومنيوم، و تكون هذه العناصر نتريدات مستقرة منتشرة ترفع من صلادة الطبقة السطحية الى $HV = 1200$ ، و يتوقف سمك الطبقة المنتrede على درجة الحرارة و طول مدة العملية، فتتطلب نتردة طبقة سمكها 0.15 - 0.30 مم عند درجة حرارة 500 - 520° نحو 24 ساعة و نتردة طبقة سمكها 0.4 مم نحو 48 ساعة .



شكل رقم 72 ، بيانى حالة النظام حديد - نيتروجين



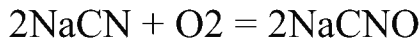
شكل رقم 73 ، البنية الميكروسكوبية للطبقة المنتrede من الحديد :
 درجة حرارة الترتدة 600 ° ، مدتھا 43 ساعة ، العنصر الفعال - محلول
 بنسبة 5 ٪ لحامض البيكريك × 200 (ف.أ. ماسلنيكوف)

3- السينةة (المعاملة السيانية او النتروكربونية) :

السينةة عبارة عن عملية تسبيع سطح الصلب بالكربون و
 النتروجين فى وقت واحد لزيادة صلاذته و مقاومته للتآكل . و تستعمل
 عمليا طريقتان للسينةة هما :

أ - الطريقة السائلة :

و تجرى عند درجة 820 - 870 ° مع ابقاء الاجزاء لمدة تصل
 الى الساعة فى حمام سيانيدى يحتوى على خليط من الاملاح تركيبھا
 التقريبى : 45 ٪ NaCH ، 35 ٪ Na₂CO₃ ، 20 ٪ NaCl ،
 وتجرى بالحمام التفاعلات الاتية :

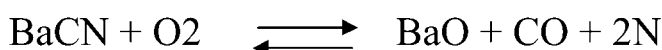
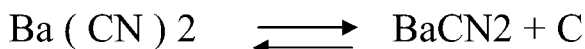
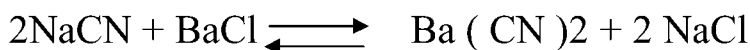




و يقوم الكربون و النيتروجين الذريان بتشبييع الطبقة السطحية للصلب بالكربون و النيتروجين على عمق يصل الى 0.25 مم، و بعد سينة الجزء يبرد الى الدرجة المثلى للتصلد، و يبرد فى الماء او الزيت حسب نوع الصلب، و بعد التصلد تراجع الاجزاء عند درجة 160 – 180 °.

2- السينة السائلة العميقة :

و تستعمل بدلا من الكربة للحصول على طبقة نتركبونية سمكها تصل الى 0.2% عندما تكون درجة حرارة الحمام 930 – 950 ° مع ابقاء الاجزاء لمدة 6 ساعات . و يكون تركيب سائل الحمام فى العادة للسينة العميقة كالاتى : 6% NaCH ، 84% BaCl₂ ، 10% NaCl ، و نتيجة للتفاعل :



و تتكون كمية كافية من الكربون الفعال تقوم بكربة الصلب . و تصلد الاجزاء بعد معاملتها و تغسل و بعناية لازالة الاملاح السيانية تماما ، ثم تراجع عند درجة حرارة منخفضة .

3- السينة الغازية (النتروكربة) :

و هى تشبييع الطبقة السطحية للاجزاء بالكربون و النيتروجين فى وسط غازى يتكون من 70 – 80 % من غاز مكربن و 20 – 30 % من الامونيا مع التسخين لدرجة 850 – 900 ° . و مدة العملية اللازمة للحصول على طبقة سمكها 0.3 – 0.5 مم 3 ساعات ، 0.5 – 0.7 مم

6 ساعات، و للطبقة التى سمكها 0.7 – 0.9 مم 8 ساعات، و بعد المعاملة النيتروكربونية تصلد الاجزاء و تراجع .

و هناك بالاضافة الى الطرق المذكورة للمعاملة السيانية عند درجات الحرارة العالية طريقة للمعاملة السيانية عند درجات الحرارة المنخفضة (سائلة و غازية) عند درجة 540 – 570 ° للآلات من انواع الصلب سريعة القطع لتحسين خواصها القاطعة و مقاومتها .

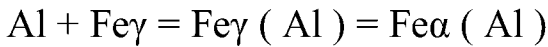
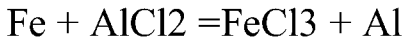
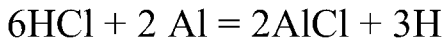
4- المعدنة الانتشارية :

تشبع الطبقة السطحية للاجزاء لمنحها مقاومة عالية للقلويات و الحرارة و الصدأ و التآكل و لرفع صلابتها بمعادن مختلفة : كالألومنيوم و الكروم و السليكون و غيرها ، و تسمى المعاملة الكيميائية الحرارية فى هذه الاحوال بالمعدنة الانتشارية و يمكن اجراء المعدنة الانتشارية مثلها فى ذلك مثل الانواع التى بحثناها اعلاه من المعاملة الكيميائية الحرارية فى الاوساط الصلبة او السائلة او الغازية .

أ - الألمنة :

و هى تشبييع سطح الجزء المصنوع من الصلب او غيره من المعادن بالالومنيوم و يجرى هذا لزيادة مقاومته للحرارة . و تجرى اللمنة الصلبة كالكربنة فى وسط صلب لناديق كربنة فتعباً الاجزاء فى خليط من 49 % فيروالومنيوم و 49 % اكسيد الالومنيوم و 2% من النشادر . و تبقى الصناديق المعبأة فى الفرن عند درجة 950 – 1000 ° لمدة 4 – 15 ساعة . و تبرد بالفرن الى درجة 400 – 500 ° ، و بعد ذلك تبرد فى الهواء . و تحدث اثناء هذه العملية التفاعلات الاتية





ويتكون نتيجة للتفاعل (ب) الومنيوم ذرى يكون حسب التفاعل (د) محلولاً صلباً للالومنيوم فى الحديد ، و يتوقف سمك الطبقة المؤلمنة (المعاملة بالالومنيوم) على درجة التسخين و مدة الابقاء و هو عادة يتراوح من 0.3 – 0.5 مم عند استعمال الجزء عند درجات حرارة عالية يتكون على سطحه غشاء متين من اكاسيد الالومنيوم Al_2O_3 تحمى المعدن من استمرار التأكسد .

و تستعمل عملياً بنجاح الالمنة السائلة فى حمام من الومنيوم المصهور مع اضافة كلوريد الالومنيوم اليه ، و الالمنة الغازية فى وعاء مع الكلوريدات AlCl_3 و لتجنب قسافة الاجزاء المعاملة بالالومنيوم تلدن هذه الاجزاء تلدينا انتشارياً عند درجة 900 – 950 ° .

2-المعاملة الانتشارية بالكروم:

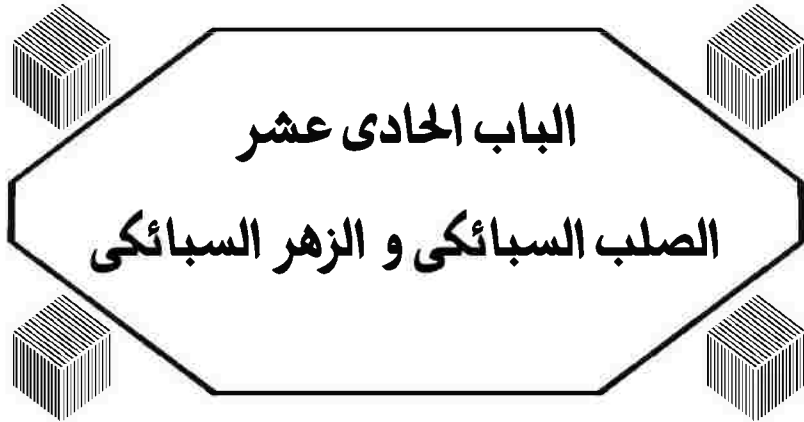
ويمكن اجراؤها مثل الالمنة فى الاوساط الصلبة او السائلة او الغازية ، المحتوية على كلوريد الكروم CrCl_2 ، و تجرى هذه العملية عادة عند درجة 900 – 1000 ° مع ابقاء الاجزاء عند هذه الدرجة لمدة 10 – 12 ساعة و يتكون نتيجة التفاعل : $\text{Fe} + \text{CrCl}_2 = \text{FeCl}_2 + \text{Cr}$

الكروم الذرى الذى ينتشر فى الصلب ذى نسبة الكربون المنخفضة محلول صلب للكروم فى الحديد ($\text{Fe}_\alpha (\text{Cr})$) ، اما فى الصلب المحتوى على نسبة عالية من الكربون فبالاضافة الى تشبع المحلول الصلب بالكروم تتكون كاربيدات الكروم Cr_7C_3 . و تزيد

المعاملة الانتشارية بالكروم من مقاومة الاجزاء المصنوعة من الصلب و الزهر للصدأ و القلويات و التآكل، و تزيد من صلابتها .

3- السلكنة (المعاملة بالسليكون) :

اي تشبيع سطح الجزء بالسليكون، و يمكن اجراؤها فى الاوساط الصلبة و السائلة و الغازية، التى تحتوى على كلوريدات السليكون (SiCl_2)، و يمكن بواسطة المعاملة الغازية بالسليكون عند درجة 1050° لمدة ساعتين تشبيع السطح فى طبقة يصل سمكها الى 1 مم . و يتكون عند انتشار السليكون فى الصلب محلول صلب للسليكون فى الحديد ($\text{Fe}\alpha$ (Si) و تزيد المعاملة بالسليكون من مقاومة الاجزاء المصنوعة من الصلب و الزهر للصدأ فى الاوساط المختلفة - كماء البحر و احماض النيتريك و الكبريتيك و كلور الماء - كما تزداد مقاومتها للحرارة و التآكل .



الباب الحادى عشر
الصلب السبائكى و الزهر السبائكى

يسمى الصلب الذي يحتوي بالإضافة إلي الشوائب المستديمة من المنجنيز والسليكون والفسفور والكبريت بالنسبة المعتادة - علي عنصر خاص أو أكثر، أو علي نسبة عالية من السليكون أو المنجنيز بالصلب السائكي وقد ساعدت نشأة صناعات السيارات والجرارات والطائرات وصناعة الأدوات والآلات وغيرها من الصناعات الميكانيكية الحديثة وتطورها علي إنتشار إستعمال الصلب السبائكي إذا أن خواص الصلب الكربوني لا تكفي بإحتياجات الصناعات الميكانيكية الحديثة في كل الأحوال ويسمى الصلب السبائكي حسب العنصر المضاف إليه فيقال مثلاً : صلب كرومي أو منجنيزي أو سلكوني أو نيكل - كروم - موليديني . والغرض من إضافة هذه العناصر لصلب الإنشاءات هو زيادة مقاومة ومتانة (وخاصة مقاومة للصدمات) ومقاومة للتآكل وقابليته للتصليد كما تضاف لصلب العدد لتحسين خواص القاطعة وزيادة مقاومة عند درجات الحرارة العالية .

1- تأثير العناصر المضافة على خواص الصلب :

1- العلاقة بين العناصر المضافة و المكون الاساسي للصلب - الحديد :

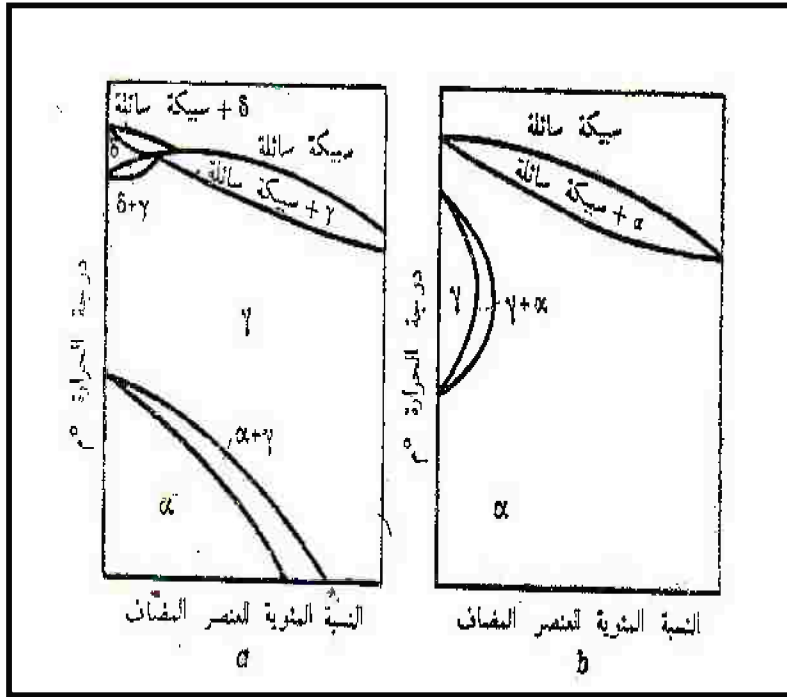
و تظهر فيما يلي : عند وجود بعض هذه العناصر (Ni ، Mn ، Co ، Cu) في سبيكة مع الحديد توسع نطاق منطقة حديد - γ و تخلق بذلك منطقة أضيق من حديد - α (شكل 74 - a) في حين ان البعض الاخر (Cr ، W ، Mo ، V ، Si ، Ti ، Al) توسع منطقة حديد - α فتخلق بذلك منطقة مقفلة من حديد - γ ،

شكل (74 - b) و يلاحظ ان العناصر التى ترفع النقطة A4 ، توسع منطقة الحديد - γ و تخفض النقطة A3 ، فى حين ان العناصر التى تخفض النقطة A4 و ترفع النقطة A3 تضيق من منطقة حديد - γ .

و تذوب العناصر (المعادن) المضافة فى الفيريت و الاوستنيت مكونة محاليل صلبة بالاحلال عند وجود تشابه بين الشبكات البلورية و صغر الفرق فى الاقطار الذرية الحديدية و العناصر المضافة .

و يقول أ.أ. كورنيلوف بأن القابلية للذوبان تكون غير محدودة عندما لا يزيد الفرق فى الاقطار الذرية بين العنصر المذيب و العنصر المذاب عن 8 % و اذا انحصر الفرق من 8 - 15 % تكون القابلية للذوبان محدودة ، و لو كان الفرق اكبر من 20 % لا تتكون المحاللي الصلبة عمليا .

و تكون العناصر اللافلزية ذات القطر الذرى الصغير جدا (B,C,N,O,H) محاليل تغلغل ، و تزيد عناصر السليكون و النيكل و الكوبالت و المنجنيز و الكروم و المولبدنيوم و التنجستين و النيتروجين من متانة الفيريت عند ذوبانها فيه ، كما تزيد من استقرار الاوستنيت عند تبريده .



شكل رقم 74 ، رسم بياني لانواع حالة لانظام السبائك حديد -
عنصر الاضافة، a (بمنطقة γ - موسعة . b) بمنطقة γ - ضيقة .

2- العلاقة بين عناصر المضافة بالصلب و كربونه :

وهي ذات شقين : فبعض هذه العناصر (Cr ، Mn ، Mo ،
V ، W ، Ti) تكون مع كاربيدات بسيطة (Cr₂₃C₄ ، Cr₄C ،
WC) ، Mo₂C ، Cr₇C₃

ومركبات (FeW)₆ C ، (FeCr)₄ C ، (FeCr)₇ C₃ ،
C و يزيد هذان النوعان من الكاربيدات عند وجودهما في الصلب من
صلادته ومقاومته . في حين ان عناصر مثل (Ni ، Si ، Co ، Al ، Cu) ،
(N) لا تكون كاربيدات ، بل ان Al ، Si ، Ni تساعد على تحليل

الكاربيدات (اى افراز الجرافيت) و خاصة فى انواع الصلب المحتوية على نسبة عالية من الكربون .

3- تأثير العناصر المضافة على وضع النقط الحرجة للصلب وعلى نسبة الكربون فى البيوتكتويد و الاوستنيت :

ترفع العناصر التى تضيق منطقة γ و النقطة $Ac1$ فى حين تخفضها العناصر التى توسع هذه المنطقة (شكل 47) ز تسبب جميع العناصر المضافة انتقال النقطة S الى اليسار، اى انها تقلل نسبة الكربون فى البيرليت السبيكى .

كذلك تخفض العناصر، و بالذات تلك التى تضيق المنطقة γ ، من قابلية الكربون للذوبان فى الاوستنيت، اى انها تنقل الخط ES ببيانى الاطوار الى اليسار.

4- تأثير العناصر المضافة على التحول الايزوثرمى للاوستنيت :

تزيد جميع العناصر فيما عدا الكوبالت من استقرار الاوستنيت بدرجة او بأخرى اذ تسبب انتقال منحنيات تحوله الايزوثرمى الى اليمين بالنسبة لم تكون عليه فى الصلب الكربونى، مما يسبب انخفاض السرعة الحرجة للتصليد و زيادة عمق التصليد بالصلب . و لهذا يمكن تصليد الصلب السبائكى مع سرعة منخفضة للتبريد (فى الزيت او حتى فى الهواء عند وجود نسبة عالية من العناصر المضافة).

5- تأثير العناصر المضافة على التحول المارتنسييتى :

أثبتت ابحاث ف. أز زيوزين و ف. د. سادوفسكى و س. أ. بارانتشوك ان معظم العناصر المضافة تخفض درجة حرارة بدء التحول المارتنسييتى فى الصلب المحتوى على $0.9 - 1.0$ % كربون (شكل 75

– a) و تزيد كمية الاوستنيت المتبقى (شكل 75 - b)، فلو كانت نسبة المنجنيز فى الصلب 5 ٪ لانخفضت نقطة بدء التحول المارتنسييتى الى الصفر . و فى مثل هذه الانواع من الصلب نحصل على كمية كبيرة من الاوستنيت المتبقى بعد التصليد و ترفع بعض العناصر على العكس من ذلك (Al)، (Co) نقطة بدء التحول المارتنسييتى و تقلل نسبة الاوستنيت المتبقى، و تخفض معظم العناصر المضافة درجة نهاية التحول المارتنسييتى ولكن بدرجة اقل من تخفيضها لدرجة حرارة بدء التحول .

6- خصائص المعاملة الحرارية للصلب السبائكى :

لما كان الصلب السبائكى أهدأ توصيلاً للحرارة فانه يجب تسخينه و تبريده بانتظام و ببطء اكثر حتى لا تتكون به اجهادات داخلية كبيرة او شقوق او اعوجاجات .

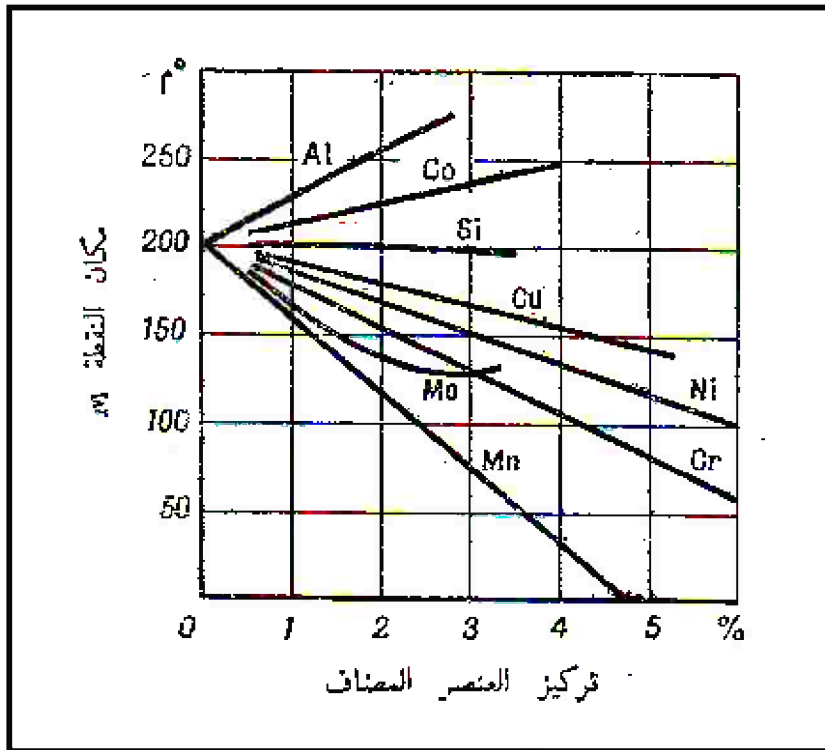
و انواع الصلب السبائكى (فيما عدا المنجنيز منها) عادة ذات حبيبات صغيرة للاوستنيت، مما يقلل من قابليتها لتجاوز التسخين .

١١ عند المراجعة فان العناصر المضافة لا تؤثر كثيرا على نتائج التحول الاول و لكنها ترفع كثيرا من درجة التحول الثانى – اى تحلل الاوستنيت المتبقى .

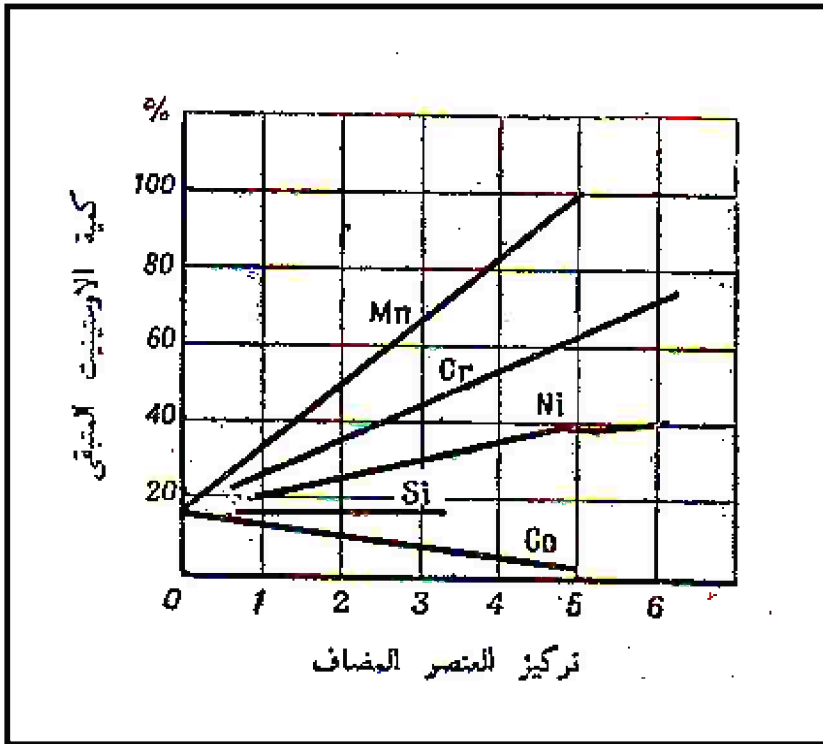
و يلاحظ عند مراجعة بعض انواع الصلب السبائكى مثل النيكل – كرومى و المنجنيز – كرومى انخفاض مفاجئ لمقاومة الصدمات ak ، و تسمى هذه الظاهرة بتقصف المراجعة . وهناك نوعان من تقصف المراجعة :

النوع الاول ويحدث عند المراجعة المنخفضة (260 – 325 °) .

و النوع الثانى و يحدث عند المراجعة العالية (450 – 550 °) .
و يفسر تقصف النوع الاول بتحول الاوستنيت المتبقى الى مارتنسيت .
و السبب فى النوع الثانى من التقصف هو افراز جزيئات بالغة
الدقة من الكاربيدات و النيتريدات و الاكاسيد من المحلول - α - تستقر
على حدود الحبيبات . و تميل انواع الصلب المضاف اليها Mn, Ni, Cr
الى تقصف المراجعة من النوع الثانى بينما تقاومها اضافات
Ti, W, V, Mo . و يجب لتلافى تقصف المراجعة من النوع الثانى تبريد
الاجزاء بسرعة بعد المراجعة العالية .



(a) و كمية الاوستنيت المتبقى



(b) انواع الصلب المحتوية على 1 % كربون
شكل رقم 75، تأثير عناصر الاضافة على وضع نقطة التحول
المارتنسيته

2- تصنيف انواع الصلب السبائكي :

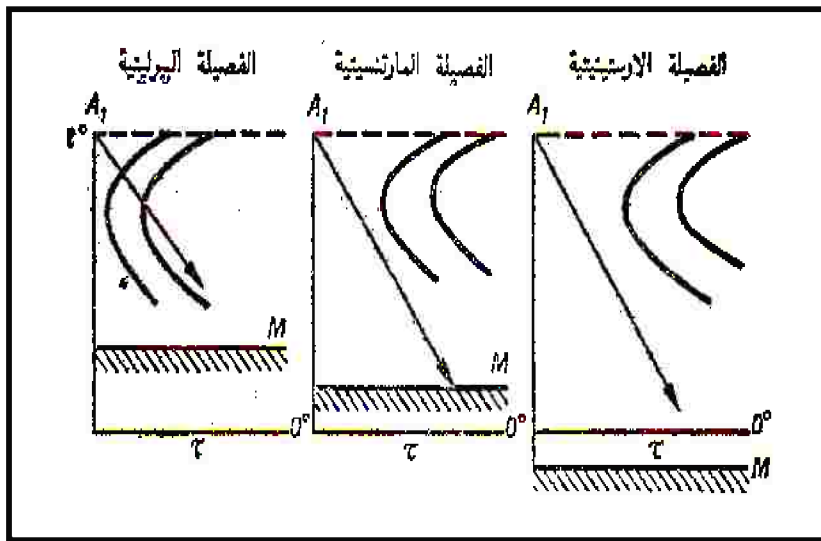
تقسم انواع الصلب السبائكي حسب بنيتها او تركيبها او استعمالها .

تصنيف انواع الصلب حسب بنيتها :

بينما مسبقا تأثير العناصر المضافة على النقط الحرجة Ac_3 و Acm و بنية الصلب . وهناك ستة انواع من الصلب حسب بنيتها بعد الاستعداد : بيرليتي، مارتنسيته، أوستنيتي، كاربيدي، ليديبوريتي،

فيريتى . و تبين الرسوم البيانية للتحويل الايزوثرمى للاوستيت تكون
الانواع الاولى الثلاثة بمجرد النظر و بالرسم كذلك منحنيات التبريد
عند الاستبدال (التبريد فى الهواء)

و يقع المنحنى شكل - C قريبا جدا من بداية الاحداثيات فى
الصلب المحتوى على نسبة منخفضة من العناصر المضافة (عدم استقرار
الاوستيت) بحيث ان منحنى التبريد يقطعه فى منطقة تكون خليط
الفيريت و السمنتيت اى البيرليت (شكل 76) .



شكل رقم 76 ، رسم بيانى للتحلل الايزوثرمى للاوستيت لثلاثة انواع
من الصلب

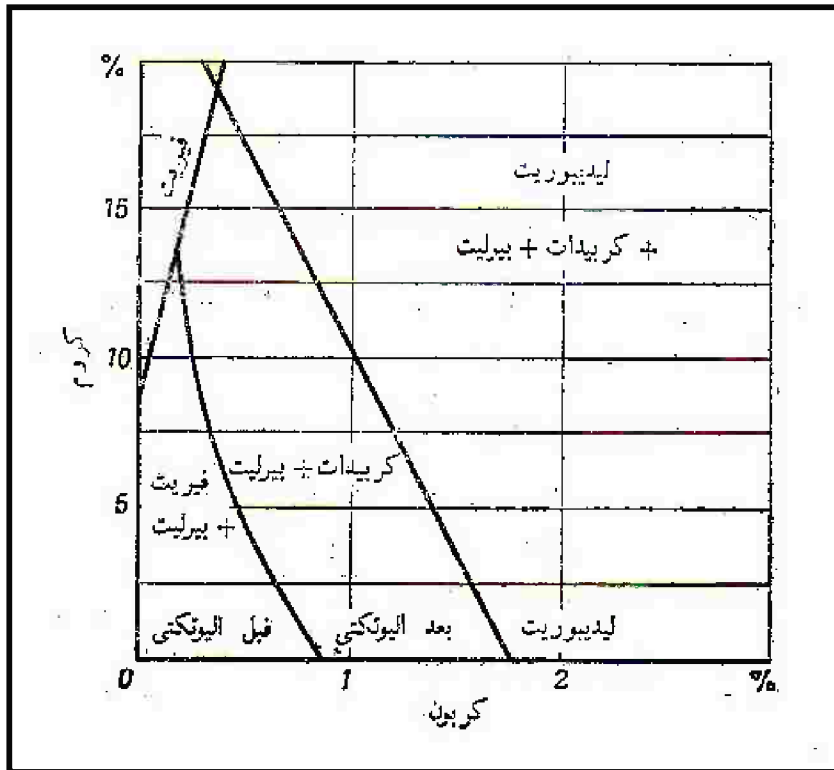
اما فى الصلب المحتوى على نسبة كبيرة من العناصر المضافة
فان المنحنى شكل - C يكون الاوستيت المتجاوز التبريد حته النقطة
بداية التحول المارتنسى و تحفظ بنية المارتنسى . و فى انواع الصلب
المحتوية على نسبة كبيرة من عناصر Mn, Ni يكون المنحنى شكل

– C منقولا الى اليمين و نقطة بداية تحول المارتنسيته منقولة الى اسفل درجة حرارة الغرفة . فلا يقطع منحني التبريد عند الاستعداد المنحني شكل – C و لكنه لا يصل الى نقطة بداية التحول المارتنسيته و بذلك تبقى البنية الاوستنيتية .

عندما تكون نسبة الكربون و العناصر المكونة للكاربيدات (Cr, W, Mo, V) عالية بالصلب فانه يمكن ان تكون بنيته كثير من الكاربيدات . و بشكل (77) اوردنا على سبيل المثال بيانى البنية للصلب الكرومى : فعندما تكون نسبة الكربون و الكروم كبيرة نحصل على صلب من الانواع الكاربيدية و الليدييوريتية و لو كانت نسبة الكربون صغيرة و نسبة الكروم كبيرة – لحصلنا على صلب من النوع الفيريتى (شكل 77) – الركن الايسر العلوى . وهكذا فان انواع الصلب السبائكى تقسم حسب بنيتها بعد الاستعداد الى ستة انواع: الفيريتى، المارتنسيته، الاوستنيتى، الكاربيدى، الليدييوريتى، البيرليتى .

ترقيم انواع الصلب السبائكى حسب المواصفات القياسية السوفييتية رقمى – حرفى . فتدل الحروف على العنصر المضافة : X – كروم، T – منجنيز، H – نيكل، Φ – فاناديوم، M – موليبدنيوم، B – ولفرام (تنجستين)، IO – الومنيوم، C – السليكون، D – النحاس، K – الكوبالت . و تدل الارقام الموجودة فى اول مكان لماركات صلب الانشاءات على متوسط نسبة الكربون بالاجزاء المئات فى المائة كما يدل الرقم الواحد فى ترقيم انواع صلب العدة و كذلك انواع الصلب السبائكى الخاص على متوسط نسبة الكربون بالاجزاء العشرية فى المائة . و تكتب نسبة العناصر المضافة لو زادت عن 1 % بعج

الحرف الدال عليها بالاعداد الصحيحة فى المائة . فيقال مثلا صلب ماركة 12XH3 وهذا يعنى ان هذا الصلب نيكل - كرومى نسبة الكربون به نحو 0.12% و نسبة الكروم 1% و نسبة النيكل 3% و يدل الحرف A فى نهاية الماركة على ان الصلب عالى الجودة، اى ان نسبة الشوائب الضارة به - S و P - منخفضة (لا تزيد عن 0.03% لكل منهما) فالصلب 12X2H4A مثلا يحتوى على 0.12% تقريبا من الكربون و نحو 2% كروم و 4% نيكل و اقل من 0.03% P و اقل من 0.03% S .



شكل رقم 77 ، رسم بيانى لبنيان الصلب الكرومى

و لبعض انواع الصلب السبائكى مجموعات خاصة حسب المواصفات القياسية السوفيتية و لها حروف خاصة فالحرف A - يعنى أوتوماتيكي، A20 مثلا، و الحرف III - يعنى لكراسى المحاور الكروية مثل IIIx15 (و يحتوى على 15 % Cr) و الحرف P - يعنى صلب سريع القطع مثل P18 و يحتوى على 18 % W، و الحرف E - و يعنى صلب مغناطيسى مثل EX3 و به 3 % تقريبا من الكروم .

تصنيف الصلب حسب تركيبه :

تقسم انواع الصلب السبائكى حسب العناصر المضافة بها الى صلب نيكلى و كرومى و سليكونى و نيكل - كرومى و منجنيز - كرومى وما أشبه .

و يقسم الصلب حسب استعماله الى 3 مجموعات :

- 1- صلب انشاءات و يستعمل لاجزاء الماكينات و العناصر المنشآت .
- 2- صلب عدة و تصنع منه القاطعة و الآت القياس و الاسطوانات .
- 3- صلب ذى خواص طبيعية او كيميائية خاصة .

3- صلب الانشاءات السبائكى :

يجب ان تكون انواع صلب الانشاءات السبائكى المستعملة لصناعة الانواع المختلفة من اجزاء الماكينات و المنشآت عالية المقاومة و المتانة .

و تنقسم انواع صلب الانشاءات حسب نسبة الكربون الى :

- 1) كربنة و هو الذى يحتوى على الكربون بنسبة تتراوح من 0.1 - 0.25 %

(2) صلب محسن و يحتوى على 0.30 – 0.55 % كربون .

1- طلب الكربنة (الصلب الكربونى منخفض نسبة الكربون) :

(الماركات 10 ، 15 ، 20) و يستعمل للاجزاء الصغيرة التى لا

تتعرض لصدمات قوية .

* الصلب المنجنيزى : (من الماركات 15T ، 20T) و يصبح

نتيجة للكربنة و التصليد و المراجعة ذى قشرة عالية الصلادة و قلب متين (مقاوم للصدمات) .

و قابلية هذه الانواع للتشغيل احسن من قابلية الصلب

الكربونى و تستعمل لصناعة بنز المكابس و التروس . و تتكون فى الصلب المنجنيزى عند الكربنة حبيبات كبيرة من الاوستيت و لهذا يجب تصليده مرتين .

* الصلب الكرومى : (من الماركات 15X ، 20X)

و يستعمل على نطاق واسع لصناعة التروس و البنز و اعمدة الكامات المكربنة . و يميل هذا الصلب الى تكوين شبكة من السمنتيت و الى نمو الحبيبات فيجب مراعاة ذلك عند تقرير نظام المعاملة الحرارية .

الصلب النيكل - كرومى (ماركات 12XH3A ،

12X2H4A) و يستعمل لصناعة الاجزاء المكربنة المحملة تحميلا

عاليا . و عندما تكون حبيبات الاوستيت دقيقة (رقم 2 – 8) تصلد الاجزاء بتبريدها مباشرة بعد الكربنة او المعاملة السيانية .

* الصلب الولىفرايم - نيكل - كرومى (18XHBA)

والمولبدنيوم - نيكل - كرومى (18XHMA) : و هما ذا مقاومة

قصوى عالية و متانة و مقاومة عالية للكلال، و تستعملان لصناعة الاجزاء المكربنة الهامة .

و تحتوى الطبقة المكربنة بعد التصليد على بعض الاوستيت المتبقى مما ينقص من صلادة السطح و مقاومته للتآكل . و لتجنب وجود الاوستيت المتبقى تعامل الاجزاء المكربنة احيانا عند درجات حرارة اقل من الصفر . و الصلب المنجنيز - تيتان - كرومى (18XTT) ذو حبيبات اوستيت دقيقة (رقم 6 - 8) و لا يميل لتجاوز التسخين . و لهذا فالاجزاء المصنوعة من هذا الصلب (التروس) تصلد بعد الكربنة فى الزيت بتبريدها الى درجة 840 °، تكون فى الطبقة المكربنة مارتسيت و فى القلب تروستو - سورييت .

2- طلب الانشاءات السبائكى المحسن :

تعامل اجزاء الماكينات معاملة حرارية على شكل تصليد ثم مراجعة عالية (تحسين) او تصليد سطحى التسخين بالتيار على التردد ، و ذلك لتجهيز انشاءات خفيفة عالية المتانة ، و للحصول بها على بنية من سورييت المراجعة . و يحتوى الصلب المستعمل فى هذه الاحوال على 0.30 - 0.65 % كربون . و يستعمل للاحزاء ذات المقطع الصغير الصلب الكربونى ، اما للاجزاء ذات المقطع الكبير فيستعمل الصلب السبائكى نظرا لانخفاض اصلادية الصلب الكربونى .

* الصلب الكربونى : (الماركات 45 ، 40 ، 35) ذو متانة عالية فى الحالة المحسنة و يستعمل لصناعة الاجزاء التى تصلد سطحيا بالتيار على التردد .

❖ انواع الصلب الكرومى : (الماركات 45X ، 40X) و النيكل - كرومى (الماركات 40XH - 37XH3A) وهى ذات

اصلاحية عالية، و يستعمل على نطاق واسع لانتاج مختلف الاجزاء التى تعامل بالتحسين و التصليد السطحي التام .

* الصلب المولبدنيوم - نيكل - كرومى (40XHMA) و المنجنيز - تيتان - كرومى (40XTT) : و يستعملان لصناعة الاجزاء المحملة تحميلا عاليا و التى تتطلب مقاومة عالية للكلال .

* انواع الصلب الكربونى 65 و 85 و السليكونى 55C2 و 60C2 و المنجنيزى 60T و 65T و السليكون - منجنيزى 55CT و المنجنيز - كرومى 50XT و الفاناديوم - كرومى 50XΦA و تستعمل عادة لصناعة النوابض و السست فى الحالة المصلدة المطبوعة عند 400 - 500 ° و يكون حد المرونة للنوابض و السست المصنوعة من هذه الانواع من الصلب عاليا نتيجة لهذه المعاملة . و تميل انواع الصلب الكرومية و النيكل - كرومية و السليكون - منجنيزية و المنجنيز - كرومية الى تكوين تقصف عند المراجعة و لذلك يجب تبريدها بسرعة من درجة حرارة المراجعة العالية .

4- صلب العدة :

تنقسم الآلات المستعملة عمليا الى ثلاثة مجموعات : الآلات القاطعة و آلات القياس و الاسطمبات .

و يستعمل للآلات القاطعة صلب عالى الصلادة (اعلى من 60RC) و المقاومة عند درجات الحرارة العالية فى حالته بعد المعاملة الحرارية ، اما آلات القياس فيجب ان تحتفظ بمقاييسها ، و لذا يجب ان يكون الصلب المستعمل لصناعتها مقاومة للتآكل . و تتطلب ظروف عمل الاسطمبات ان يكون الصلب المستعمل لصناعتها الصلادة و المتانة

العاليتين . و تستعمل لصناعة الانواع المختلفة من الآلات انواع الصلب
الاربعة التالية :

(1) صلب العدة الكربونى

(2) صلب العدة السبائكى .

(3) صلب اسطمبات .

(4) صلب سريع القطع .

(1) صلب العدة الكربونى :

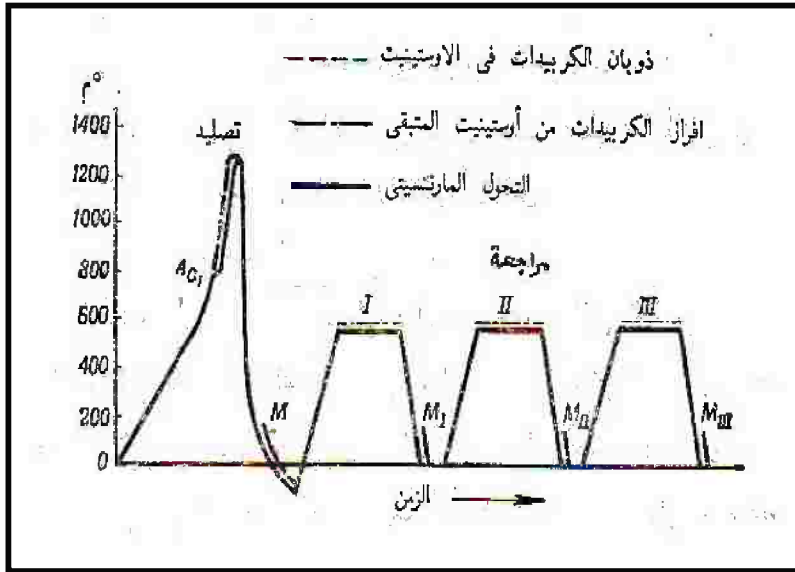
و يكون عند توريده ذا بنية من البيرليت الحبيبي . و هو سهل
التشغيل على المخارط و يستعمل لصناعة الآلات القاطعة و آلات القياس و
الاسطمبات . و تتوقف خواصه على نسبة الكربون و المعاملة الحرارية
المجراة له . و تختار درجة حرارة التصليد لصلب العدة الكربونى حسب
بيانى $Fe - Fe_3C$ (شكل 55) و يبرد فى الماء . و نحصل نتيجة
للتصليد على ابنىات التالية :

فى الصلب y8, y7 - مارتسيت و فى الصلب y9, y10
y11, y12, y13 - مارتسيت و اسمنتيت . و تحدد درجة حرارة المراجعة
حسب الصلادة العاملة المطلوبة للآلة .

(2) صلب العدة السبائكى (جدول رقم 7) :

و هو اكثر صلادة و مقاومة للتآكل من الصلب الكربونى
نظرا لوجود العناصر المكونة للكاربيدات به : Cr, Mn, W, V و
يصلد الصلب السبائكى فى الزيت، و فى المواصفات القياسية
السوفيتية تركيب الماركات التقليدية من صلب العدة السبائكى و

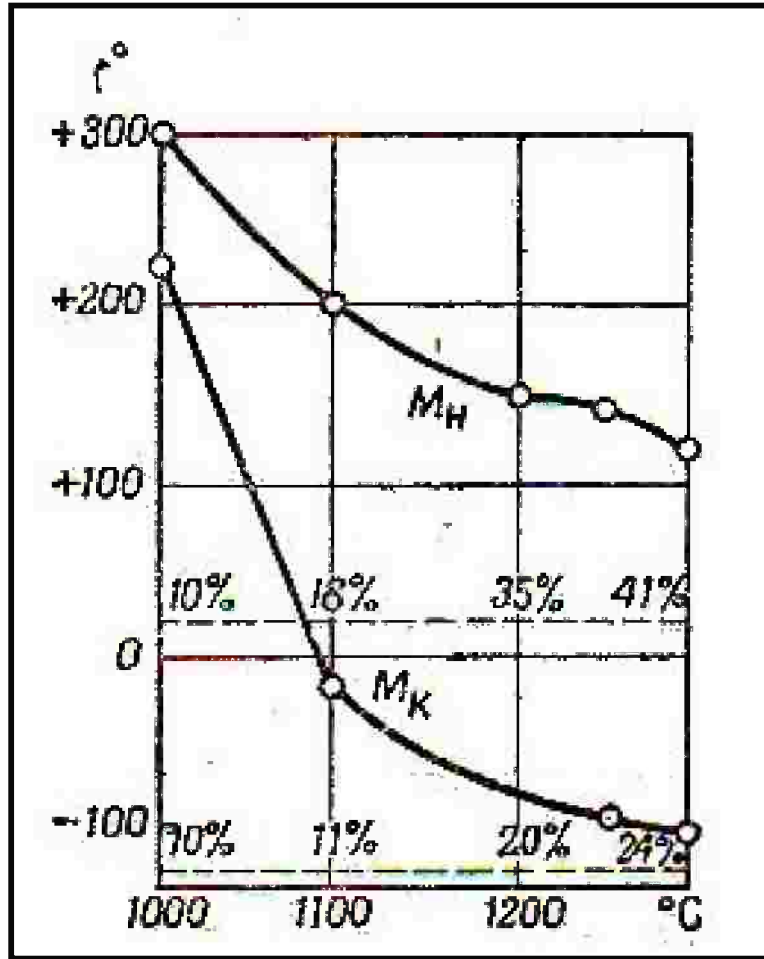
نظم معاملتها الحرارية . و تحدد درجة حرارة المراجعة حسب الصلادة
العامة المطلوبة للآلة



(شكل رقم 78) رسو تخطيطي للنظام الحراري للتصليد
والنرجعة الثلاثي للصلب السريع P18

مشاركات بعض أنواع صلب المعدة السيلاني

نوع المعدن		درجة الحرارة، °C		التركيب الكيميائي، %						مشاركات الصلب
التصنيف		التخمير		W, V, Ni, Ti	Cr	Si	Mn	C		
زيت	AV0-A00	A40-A70			1,70-1,90	1,70-1,70	1,40	0,90-0,90	9XC	
"	A01-A70	A00-VA0			1,70-1,70	1,40	0,70-0,70	1,10-1,70	XI	
"	A00-A70	A00-VA0	1,70-1,70 W		1,70-1,90	1,40	1,10-1,90	1,00-0,90	XBI	
"	1000-9V0	A00-VA0		1,70-1,90	1,70-1,90	1,40	1,30	1,30-1,90	XI2	
"	A40-A70	A00-VA0		1,70-1,70	1,40	1,10-1,90	1,10-1,90	1,10-1,90	III XI5	
"	10A0-1070	A00-VA0	0,90-0,70 V	1,70-1,90	1,70-1,90	1,40	1,70-1,70	1,70-1,70	XI201	
"	AV0-A00	A00-VA0		1,70-1,90	1,40	1,70-1,70	1,70-1,70	1,70-1,70	7X3	
"	1000-9V0	AV0-A00	0,90-0,70 W	1,70-1,90	1,40	1,70-1,70	1,70-1,70	1,70-1,70	3X2B8	
"	400-A00	A70-A00	1,50-1,70 W	1,70-1,90	1,40	1,70-1,70	1,70-1,70	1,70-1,70	4XB2C	
"	A70-A40	A40-A70	1,50-1,70 Ni	1,70-1,90	1,40	1,70-1,70	1,70-1,70	1,70-1,70	5XHM	
"	A70-A40	A00-VA0	1,70-1,70 Ni	1,70-1,90	1,40	1,70-1,70	1,70-1,70	1,70-1,70	5XHT	
"	1000-900	A00-VA0	1,70-1,70 W	1,70-1,90	1,40	1,70-1,70	1,70-1,70	1,70-1,70	4X8B2	



(شكل رقم 79) درجة حرارة بدائية (Ma) ونهاية (Mk) التحويل
 المارتنسيكي وكمية الأوستيت المتبقي وعلاقتها بدرجة حرارة التصليد
 الصلب P18

ويستعمل الصلب X، 9XC، XP، XBP للآلات التي تتطلب صلادة ومقاومة للتآكل عليتين مثل المثقاب والفرايز وكفألت ذكر القلاووظ ومحددات القياس وأسطمبات للكبس علي البارد، وتصنع من الصلب X12Φ1 الذي يحل محل الصلب الذي يصعب الحصول عليه X12M للآلات الهامة ذات الصلادة العالية والمقاومة للتآكل وقليلة التغير في شكلها عند التصليد : كالترتر وآلات المشد (البروش) واسطمبات الثني والسحب والقص.

(3) صلب الإسطمبات :

لصناعة الإسطمبات يستعمل صلب العدة السبائكي المذكور أعلا، كما تستعمل اماركات الخاصة من الصلب الإسطمبات .

5XHT, 5XHM, 7X3 الخ وتركيبها واضح من الترقيم . ويستعمل الصلب 7X3 وهو جيد الاصلادية و مقاومة للتآكل و لكن مقاومته عند الصدمات غير عالية – يستعمل لصناعة اسطمبات الكبس على الساخن.

و يستعمل الصلب المحتوى على نيكل – 5XHT، 5XHM، ذو المتانة العالية عند الصدمات و الاصلادية العميقة لصناعة اسطمبات الحدادة (المطارق) .

ويستعمل الصلب 3X2B8، 4X8B2، 4XB2C ذى المقاومة الكبيرة عند درجات الحرارة العالية لانتاج الاسطمبات الثابتة و المستعملة للكبس السطحى على الساخن .

4) الصلب السريع القطع :

و يستعمل على نطاق واسع لصناعة الآلات القاطعة ذات الصلادة العالية و المقاومة عند درجات الحرارة العالية، و قد اوردنا بجدول (8) تركيب الماركات القياسية للصلب السريع القطع .

و يعتبر الصلب السريع القطع من النوع الليدييوريتى اذ يتكون بنيته فى الحالة المسبوكة من اليوتكتى الليدييوريتى و الاوستنيت او نواتج تحلله . و يوجد بالصلب P18 الكاربيد Fe_2W_2C فقط و يكون الكروم و الفاناديوم ذائبين فى الفيريت و الكاربيد . و فى الصلب P9 يوجد بالاضافة الى الكاربيد Fe_2W_2C الكاربيد VC . و لهذا فالخامات المعدة لصنع الالة تطرق لتكسير اليوتكتى . و بعد الطرق تلدن الخامة بالتسخين الى $850 - 900^{\circ}C$ مع التبريد ببطء او الابقاء ايزوترميا عند درجة حرارة $720 - 750^{\circ}C$ ن حصل نتيجة لتلدين الصلب على بنية من البيرليت و السوربيت تحتوى على حبيبات من الكاربيدات و صلاقتها بحدود $HB = 207 \div 250$

ماركات الصلب السريع القطع

(حسب المواصفات القياسية السوفيتية)

التركيب الكيميائى %					ماركة
W	Cr	Si	Mn	C	الصلب
19 - 17.5	4.4 - 3.8	0.40 >	0.40 >	0.9 - 0.7	P18
10 - 8.5	4.4 - 3.8	0.40 >	0.40 >	0.95 - 0.85	P9

P	S	Ni	Mo	التركيب الكيميائي %	ماركة الصلب
لا تزيد عن %				V	
0.03	0.03	0.4	0.3	1.4 - 1.0	P18
0.03	0.03	0.4	0.3	2.6 - 2.0	P9

** المعاملة الحرارية للألات المصنوعة من الصلب السريع القطع تتكون من التصليد و المراجعة ثلاث مرات . و يجرى التصليد السريع القطع من درجة حرارة عالية (تكون للصلب P18 من 1260 – 1300 ° و للصلب P9 من 1220 – 1260 °) و ذلك لضمان اختلاط عناصر الاشابة بالاوستنيت ثم المارتنيت بعد التصليد .

و لما كان الصلب السريع القطع ردىء التوصيل للحرارة فانه يسخن عند التصليد بالطريقة المتدرجة ، اى انه يسخن ببطء الى 800 – 850 ° و يبقى عند هذه الدرجة . و تسخن الآلة الواجيهة من هذا الصلب اولا الى درجة 550 – 600 ° و تترك ثم تسخن الى 800 – 850 ° ثم تترك عند هذه الدرجة مرة اخرى (شكل 78) . و يتحول السوربيت عند 800 – 850 °م الى اوستنيت $Fe\gamma$ (c) و تبقى الكاربيدات طليقة . و ترفع حرارة الصلب من درجة 800 – 850 ° الى درجة 1280 ° بسرعة لكى تذوب فى الاوستنيت اكبر كمية ممكنة من الكاربيدات (و يبقى طليقا منها نحو 10 %). و بعد مدة قصيرة عند هذه الدرجة تبرد الآلة فى الزيت او الهواء . و تنتقل نقطتا بداية MH و نهاية MK التحول المارتنيتى (شكل 79) الى اسفل التصليد بمثل هذه الدرجة العالية 1280 ° ، (MH = 150 ° و MK = 10 %) . و تتكون نتيجة

للتصليد بنية تركيبها التقريبي 60% مارتنسيت، و 10% كاربيدات معقدة، و 30% اوستنيت متبقى، و صلابتها $RC = 63$.

ووجود الاوستنيت المتبقى بالألة القاطعة ضار اذ انه يخفض من توصيل الألة للحرارة و يساعد على تسخين الحد القاطع عند العمل، كما يخفض من صلادة الألة . و المعتاد لتحويل الاوستنيت المتبقى الى مارتنسيت ان تراجع الألة بعد تصليدها ثلاثة مرات عند درجة حرارة 560° مع ابقائها كل مرة لمدة ساعة (شكل 78) . و يساعد التسخين و الابقاء عند المراجعة على افراز الكاربيدات من الاوستنيت المتبقى و رفع النقطة MH و تحويل الاوستنيت المتبقى عند التبريد الى مارتنسيت استعدال . و تزداد نتيجة للمراجعة الثلاثية كمية المارتنسيت و الكاربيدات بالبنية و تنخفض كمية الاوستنيت المتبقى و تصل الصلادة الى 65 .

و المارتنسيت الثانوى المتكون عند المراجعة اقل تجانسا من المارتنسيت الاولى المتكون عند التصليد . و من الثابت فائدة تحويل الاوستنيت لمتبقى الى مارتنسيت تصليد و ذلك بالتبريد الى -80° (شكل 78)، اى بعد التصليد مباشرة .

❖❖ المعاملة النيتروكربونية عند درجات الحرارة المنخفضة للألات المصنوعة من الصلب السريع القطع بعد مراجعتها، ترفع من خواصها القاطعة . و تجرى العملية فى وسط غازى او سائل عند درجة $540 - 570^{\circ}$ (انظر صفحة 181)

5- الصلب السبائكى الخاص :

تستعمل فى الصناعات الميكانيكية الحديثة انواع من الصلب و السبائك ذات الخواص الطبيعية و الكيميائية الخاصة . ومن هذه الانواع : الصلب غير القابل للصدأ و الصلب المقاوم للحرارة و الصلب المغناطيسى و الصلب ذو المقاومة الكهربائية العالية و الصلب المقاوم للتآكل .

الصلب غير القابل للصدأ :

و هو نوعان : الصلب النيكل - كرومى اوستيتى من الماركات X18H9 و X18H9T ، و الكرومى - الفيرومارتنسيتى من الماركات 1X13 و 2X13 و 3XB و X18 . و السبب فى مقاومة هذا الصلب العالية للصدأ هو احتوائه على نسبة كبيرة من الكروم الذى يكون على سطح الجزء غشاء متينا لا يخترق من الاكاسيد . ويزيد وجود النيكل من متانة الصلب بتكوين أبنية أوستيتية .

الصلب المقاوم للحرارة :

و يستعمل لصناعة اجزاء المنشآت التى تعمل عند درجات حرارة عالية او فى وسط فعال ضار - كحالة الصدأ الغازى او الصدأ الكهروكيميائى - و هو عبارة عن صلب يحتوى على نسبة كبيرو من الكروم و مضافة اليه Si, Ni, W و من انواع الماركات X25 ، X9C2 ، X23H18 ، 4X14H14B2M و تركيبها واضح من الرمز السابق .

الصلب و السبائك المغناطيسية :

و يستعمل نوعان من هذا الصلب : الصلب المغناطيسى القاسى و اللين .

أ (الصلب المغناطيسى القاسى :

و تستعمل لصناعة المغناطيسات الدائمة و يجب ان تكون ذات قوة ممانعة مغناطيسية كبيرة و ثابتة HC و مهاودة حثية كبيرة Br و معامل انفاذية (معامل نفاذية مغناطيسية) منخفض . ومن هذه السبائك الصلب الكرومى المحتوى على نسبة عالية من الكربون من الماركات EX2 ، EX3A و يصلد عند 850 ° فى الزيت ، او السبائك عديمة الكربون من الماركة AH2 و تحتوى على 13 % Al و 24.5 % Ni و 3.5 % Cu و تصلد عند 1200 ° فى الماء المغلى ، و تراجع عند 550 ° ، و AHK04 و تركيبها 9 % Al ، 13.5 % Ni ، 24 % Co ، 3 % Cu ، و تصلد عند درجة 1300 ° فى الهواء .

ب) الصلب المغناطيسى اللين :

و هو ذو قوة ممانعة صغيرة HC و معامل انفاذ عال و يستعمل لصناعة المغناطيسات الكهربائية . و الحديد الصناعى النقى المحتوى على اقل من 0.025 % C عبارة عن مادة مغناطيسية لينة ، و يحتوى صلب المحولات على اقل من 0.06 % C و صلب المولدات الكهربائية على اقل من 0.1 % C .

الطلب و السبائك العالية المقاومة الكهربائية :

و تستعمل لصناعة عناصر المقاومة بالافران و غيرها من اجهزة التسخين ، و من هذه السبائك الفيكرال (1X17IO5) ، الكرومال OX25IO5 و النيكروم 60 (X15H60) ، و النيكروم 80 (X20H80) . و تتراوح نسبة الكربون فى هذه السبائك جميعا فى

الحدود من 0.06 – 0.15 % ولا يوجد كربون مطلقا بالنيكروم 80 و السبب فى ارتفاع مقاومتها الكهربائية هو انها محاليل صلبة .

الصلب المقاوم للتآكل T13 و يحتوى على 1 – 1.3 % كربون و 11 – 14 % منجنيز، تتكون بنيته بعد التصليد عند درجة 1000 – 1100 ° فى الماء من الاوستنيت، هو عالى المتانة و المقاومة للتآكل، ويستعمل لصناعة الاجزاء المعرضة لتآكل شديد كصليب السكك الحديدية و قباقيب الجنازير و قطع كسارات الاحجار و غير ذلك .

6- الزهر السبائكى :

لتحسين خواص الزهر كثيرا ما يضاف اليه عناصر كالتىكل و الكروم و المولبدنيوم و النحاس و التيتانيوم . و تغير اضافة هذه العناصر الى زهر من طبيعة الافرازات الجرافيتية و الاساس المعدنى اذ ان الجرافيت المتكون يكون دقيقا و البيرليت يكون رقيق الصفائح يشبه السوربيت .

♦ **النكل :** و يساعد على تكون الجرافيت وان كان ذلك بدرجة اقل من السليكون، وعند اضافة الكثير من النكل الى الزهر يجب تخفيض كمية السليكون به .

و تتوقف بنية الاساس المعدنى للزهر النكل على نسبة النكل به . فلو كانت نسبة النكل 3 – 4 % يكون الزهر ذو بنية سوربيتية، و عندما تكون نسبة النكل 7 – 8 % يكون الزهر ذا بنية مارتنسييتية، و عندما تكون نسبة النكل 18 – 20 % يكون الزهر ذا بنية اوستنيتية للاساس المعدنى .

❖ **الكروم :** وهو احد من اهم العناصر التى تضاف للزهر .

ولما كان الكروم من العناصر المكونة للكاربيدات، فانه يعوق تكون الجرافيت و يؤدى الى توزع الجرافيت فى زهر كما يساعد بدخوله جزئيا فى محلول صلب مع الحديد على تكون بيرليت يشبه السوربيت . و يضاف النيكل و الكروم الى الزهر على شكل فيروكروم فى البودقة او فى مجرى فرن الدست او باضافة زهر تماشيح سبيكى الى الشحنة .

و تحسن اضافة النيكل و الكروم معا من بنية الزهر و خواصه الميكانيكية، و تصغر من حجم الجرافيت به و تساعد على تكوين بيرليت شبيه بالسوربيت كما تساعد على مساواة الصلادة فى المقاطع الرقيقة و السمكية .

و يجب عند اضافة النيكل و الكروم معا ان تزيد نسبة النيكل المضاف عن نسبة الكروم بمقدار 1.5 – 2 ضعفا و ذلك حتى لا تزيد من نسبة السليكون محافظين اثناء ذلك على نفس الدرجة من تكوين الجرافيت .

❖ **المولبدنيوم :** و يقلل من تكون الجرافيت ولكن بدرجة اقل

عند اضافته بنسبة حتى 1.5 % مساعدا على تصغير الجرافيت و انتشاره، و يؤثر هذا العنصر فى المقام الاول على الاساس المعدنى للزهر عند وجود المولبدنيوم به بالنسبة المذكورة اعلاه .

❖ **التيتانيوم :** و هو يتحد مع الغازات و الكبريت فى الزهر

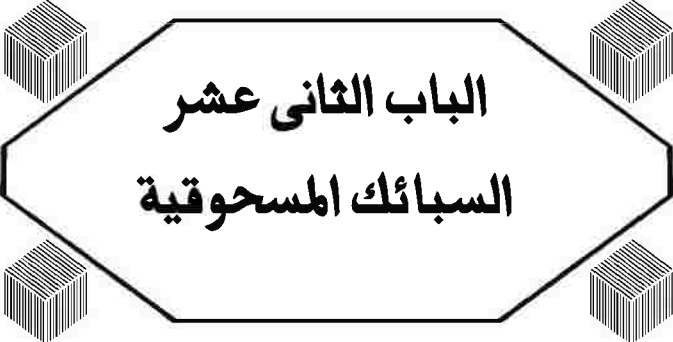
السائل لكونه من المختزلات النشيطة للمعدن، و تؤدى اضافة التيتانيوم الى الزهر بنسبة نحو 0.1 % الى تصغير الجرافيت و ارتفاع المقاومة

الميكانيكية للزهر بدرجة محسوسة . و تجرى اضافى التيتانيوم الى الزهر باضافة زهر سبيكى طبيعى يحتوى على التيتانيوم الى الشحنة .

♦ **النحاس :** و يساعد على تكون الجرافيت (الجرافة) عند اضافته الى الزهر المحتوى على نسبة صغيرة من السليكون واذا اذيب النحاس فى الفيريت بنسبة تصل الى 3.4 ٪ عنج درجة التحول اليوتكتويدى ، و بنسبة اقل من 1 ٪ عند درجات الحرارة المعتادة فانه يتكون لدينا الفيريت النحاسى .

اما الكمية الزائدة من النحاس فتعطى محتويات موزعة . و يساعد النحاس على تحويل البيرليت الى سوربيت لتخفيضه لدرجة حرارة التحول الالوتروبي . و يصهر بمصانع الاورال السوفيتية نوعان من الزهر السبيكى الطبيعى هما الزهر الخليلى و اليلزافيتى التى تصهر فى مصانع الاورال .

و عند تجهيز المسبوكات التى تتميز بصفات خاصة كالمقاومة للاحماض و المقاومة الحرارية و اللا مغناطيسية .. الخ ، تستعمل انواع من الزهر تحتوى على نسبة كبيرة من العناصر المضافة . فالزهر المحتوى على نيكل بنسبة 12 – 20 ٪ و النحاس بنسبة 5 – 8 ٪ و الكروم بنسبة 2 – 6 ٪ مثلاً ذو مقاومة عالية للصدأ عند وجوده فى الاحماض ، و الزهر المقاوم للحرارة يجهز بان نضيف الى الحديد الزهر 18 – 20 ٪ نيكل ، 5 – 7 ٪ سليكون ، 2 – 3 ٪ من الكروم ، و يحتوى الزهر الالومنيومى المقاوم عند درجات حرارة عالية (حتى 950 °) المستعمل لوصلات الافران على 20 – 24 ٪ من الالومنيوم . كما يحتوى الزهر السليكونى المقاوم على 5 – 14 ٪ سليكون . و هذا الزهر ذو مقاومة عالية عند درجات الحرارة العالية (حتى 900 °) و مقاومة عالية للصدأ

The title is centered within a white octagonal frame. At each of the four corners of this frame, outside the octagon's boundary, there is a small, stylized 3D cube-like icon composed of many thin, parallel lines.

الباب الثانى عشر

السبائك المسحوقة

1- أسس الحصول على السبائك المسحوقية :

تسمى السبائك التى يحصل عليها من مسحوقات المعدن بالكبس ثم التليد دون صهر بالسبائك المسحوقية . و للعالم الروسى ب. ج. سوبوليفيسكى اسبقية استعمال السبائك المسحوقية صناعيا فقد استخدم فى سنة 1827 طريقة للحصول على مصنوعات (قطع النقد) من مسحوق البلاتين بالكبس ثم التليد و الطرق .

**** أمثلة لاستعمال السبائك المسحوقية اجزاء متباينة : كشميرة المصابيح الكهربائية المتوهجة الصعبة الانصهار المصنوعة من الولفرام (التسجيتين) ، و قطع التماس و اجزاء الاجهزة المصنوعة من المولبدنيوم وغيره من المعادن الصعبة الانصهار وسبائك كراسى المحاور المضادة للاحتكاك المصنوعة من مساحيق الحديد و الجرافيت ، و المغناطيسات الدائمة من مساحيق الحديد و النيكل و الالومنيوم و الكوبالت ، والسبائك الصلدة (الكاربيدات) للألات القاطعة ، و اسطوانات السحب المصنوعة من مساحيق كاربيدات التسجيتين و التيتانيوم و الكوبالت وغيرها .**

**** تكنولوجيا صناعة السبائك المسحوقية : و هى عبارة (فيما عدا عمليات الحصول على المسحوق) عن تجهيز الشحنة للسبيكة وتقليبها و كبسها ثم تليدها .**

كبس المساحيق : و يجرى فى اسطوانات تحت ضغط من 10 – 100 كجم /م² و تستعمل لذلك المكابس المرفقية و نادرا الهيدروليكية .

تليد القطع المكبوسة : و يجرى فى الافران الكهربائية ذات المقاومة و ذات التردد العالى فى جو واق، و تعادل درجة حرارة التليد $3/2$ درجة انصهار المكون الاساسى تقريبا فتكون على سبيل المثال للناس $800 - 850^{\circ}$ و للحديد $1050 - 1150^{\circ}$. و مدة التليد من 1 - 3 ساعات . و يزيد التليد من سطح التلامس بين الجزيئات و يساعد على اعادة التبلور . و يمكن ان تتكون فى السبائك المسحوقية كثيرة المكونات عند التليد محاليل صلبة و مركبات كيميائية .

و قد انتشر فى الاعوام الماضية استعمال الكبس على الساخن، وفيه توجد عمليتا الكبس و التليد فى عملية واحدة، و من مزايا الكبس على الساخن انقاص الضغط المطلوب بنسبة من 5 - 10 % من الضغط عند الكبس على البارد . و امكان الحصول على اجزاء ذات شكل معقد و مقاسات مضبوطة .

2- السبائك الصلدة (الكاربيدات) :

تستعمل السبائك الصلدة (الكاربيدات) فى الصناعة الحديثة على نطاق واسع و ذات صلادة عالية، و مقاومة للتآكل و تحمل لدرجات الحرارة العالية، و تزداد الآلات القاطعة و الاسطمبات و كفات ذكر القلاووظ و اسطمبات السحب و المثاقب و النقارات و الاجزاء التى تتعرض للتآكل بالسبائك الصلدة و يستعمل عمليا نوعان من السبائك الصلدة : المعدنية الخزفية (المسحوقية) و المسبوكة.

1- السبائك الصلدة المعدنية الخزفية (جدول 9) :

و تنقسم حسب تركيبها الى نوعين : الولىفرامية و الولىفرايم - تيتانية . و تجهز الولى بكبس و تليد كاربيدات الولىفرايم WC

والكوبالت Co، اما الثانية فتصنع من خليط من كاربيدات التيتانيوم TiC و الولفرام WC و الكوبالت Co .

و يمكن تمثيل انتاج السبائك الصلدة الولفرامية تخطيطا فى الشكل التالى :

أ (يخلط مسحوق ناعم من الولفرام النقى بالجرافيت الناعم (هباب المصاييح) ، و يسخن الخليط الناتج فى فرن كهربائى عند درجة 1400 ° فى جو من H₂ او Co و فنحصل على كاربيد الولفرام WC على شكل مسحوق يطحن و ينخل .

ب) مسحوقات ناعمة من WC ، Co تخلط بالنسبة المطلوبة (جدول 9) لمدة 24 ساعة فى طاحونة ذات كرات، ثم يخلط الخليط الناتج بمادة لاصقة (محلول من المطاط الصناعة فى البنزين) ثم يجفف.

و بنفس الطريقة يجهز الخليط اللازم للسبيكة الولفرام - تيتانية .

ج) يكبس الخليط المجهز فى اسطوانات تحت ضغط 10 - 40 كجم/م²، و الضغط اللازم للسبائك الولفرام - تيتانية اكبر من الضغط اللازم للسبائك الولفرامية .

د (تلييد الاقراص المسبوكة فى جو من الهيدروجين عند درجة 1400 ° لمدة ساعتين (للولفرامية) ، و عند درجة 1500 ° لمدة 1 - 3.5 ساعة (للسبائك الولفرام - تيتانية) .

السبائك المسحوقة الصلدة
(المواصفات القياسية السوفيتية)

جدول 9

HRA الصلادة	حد المقاومة عند النش كج/م ²	التركيب الكيميائي %			ماركة السبيكة	HRA الصلادة	حد المقاومة عند النش كج/م ²	التركيب الكيميائي %		ماركة السبيكة
		TiC	Co	WC				Co	WC	
لا تقل عن						لا تقل عن				
ولفارم – تيتانية						ولفارم				
88.5	115	6	9	85	T5K10	89	100	3	97	BK3
89.5	115	14	8	78	T14K8	88	120	6	94	BK6
90	110	15	6	79	T15K6	87.5	130	8	92	BK8
92	90	30	4	66	T30K4	87	135	10	90	BK10
90	75	60	6	34	T60K6	86	160	15	85	TK15

وتنكمش السبيكة الصلدة نتيجة للتليد بمقدار يصل الى 25% من حجمها و تصبح بالغة الصلادة $HRA = 88 \div 91$ و تتكون بنيتها من الكاربيدات التى يربطها الكوبالت بقوة . و تتفوق الخواص القاطعة للسبائك الصلدة على خواص الصلب السريع القطع . و لذلك تجهز الآلات القاطعة و البنط و الفرايز و البرغل و غيرها بقطع من السبائك الصلدة و ذلك بلحمها او تثبيتها ميكانيكيا الى الحامل .

و تستعمل سبائك المجموعة BK للآلات المستعملة لتشغيل المواد الهشة كالزهر و البرونز و الزجاج و غيرها ، فى حين تستعمل سبائك المجموعة الاخرى TK لتشغيل المواد المتينة كالصلب و النحاس الاصفر و غيرهما ، و يسمح باستعمال السبائك الصلدة بزيادة سرعة قطع المعادن الى 1000 – 2000 م³/ دقيقة .

2-السبائك الصلدة المسبوكة :

بالاضافة الى السبائك الصلدة المسحوقية تستعمل سبائك صلدة مسبوكة .وقد اوردنا بجدول 10 التركيب الكيمياءى للسبائك الصلدة المسبوكة .

جدول (10)

التركيب الكيمياءى %								اسم السبيكة
Fe	W	Co	Si	Mn	Ni	Cr	C	
67-55	-	-	4.2-2.8	1.5-0.5	3.5	31-25	3.3-2.5	سورمايت 1
81-75	-	-	2.2-1.5	1	2.5-1.5	17.5-13.5	2-1.5	سورمايت 2
الى 2	17-13	53-47	2 -1	1	الى 2	33-27	2.5-1.8	ستلليت
57				15		18	10	ستالينيت

و تستعمل السبائك الصلدة المسبوكة على شكل قضبان لصهر طبقة منها على الاسطمبات و السكاكين المستخدمة لقطع المعادن و ذنب المخارط و حلقات السحب و هلم جر و لاصلاح الاجزاء المتآكلة . و يجرى الصهر باستعمال لهب اكسى - استلين او القوس الكهربائى .

❖❖ **سورمايت 1** : و هو عبارة عن زهر سبائكى كرومى بعج يوتكتى تتكون بنيته من الكراييدات الاولى و يوتكتى كاربيدى ، و صلادة الطبقة المريبة بالصهر من السورمايت 1 $RC = 48 \div 52$ و تملأ به الاسطمبات و آلات القياس و ذنب المخاريط و السكاكين و الاجزاء التى لا تتعرض للصدمات .

❖❖ **سورمايت 2** : و هو عبارة عن زهر ابيض قبل يوتمتى تتكون بنيته من الدندريت و البيرليت و اليوتكتى الكاربيدى ، و يعامل السورمايت 2 بعد ترسيبه معاملة حرارية فيلدن عند درجة 850 -

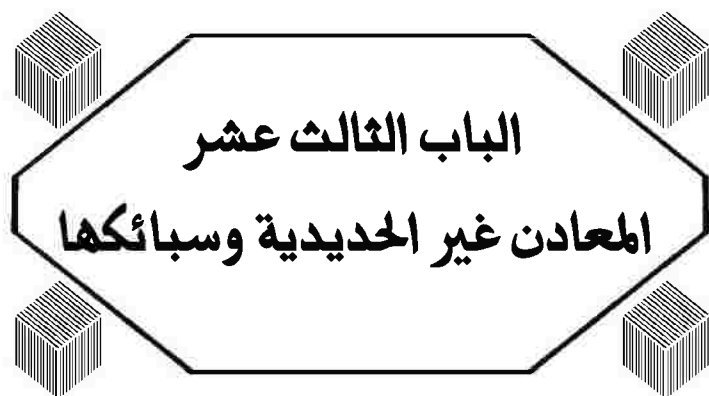
900°، و تكون صلابته بعد التلدين $RC = 30 \div 35$ و تكون الصلادة بعد التصليد من 850 – 900 ° فى الزيت $RC = 60 \div 62$ ولا تنقص المراجعة عند 500 ° من هذه الصلادة .

**** الستليت :** و يحتوى على العناصر W ، Co و هو ذو مقاومة عالية للصدأ و خاصة فى حامض الكبريتيك كما ان مقاومته كبيرة عند درجات الحرارة العالية (حتى 800 °) و لذلك فهو يستعمل للترسيب على الآلات القاطعة .

**** الستالينيت :** و هو عبارة عن خليط من مساحيق الفيروكروم و الفيرو منجنيز و رايش الزهر و فحم الكوك البترولى ، والطبقة المرسبة بالصهر من الستالينيت عيارو عن زهر ابيض سبيكى بعد يوتكتى تتكون بنيته من الكاربيدات الاولى و اليوتكتى الكاربيدى و صلادة السبائك $RC = 55 \div 56$.

و يستعمل الستالينيت للترسيب على الاجزاء المعرضة لتآكل شديد كواجهات كسارات الاحجار واسلحة المحارث و اسنان و اطراف ملاعق الحفارات و غسالات الخام و ما شابه .

و تزداد مقاومة الاجزاء و الآلات المرسب عليها طبقة من السبائك الصلدة المنصهرة بنحو 7 – 10 مرات او اكثر .



قام العلماء السوفييت بأعمال فذة فى ميدان دراسة سبائك
المعادن غير الحديدية و طرق الحصول عليها و الجدول التالى يوضح اكثر
المعادن غير الحديدية استعمالا فى الصناعة و خواصها :

الخواص الكيميائية			مقاومة الكهربية، اوم والنوعية، مم/2م	درجة الانصهار، °م	الوزن النوعى ، جم/مم ³	الرمز الكيميائى	سم المعدن
نقص المساحة النسبى Ψ، %	المقاومة القصى Σb كج/مم ²	الصلادة B					
75	22	35	1.56	1083	8.94	Cu	النحاس
85	8	20	2.7	658	2.7	Al	الالومنيوم
70	56 -45	60	11.8	1452	8.9	Ni	النيكل
74	4 -2	10 -5	11.1	232	7.3	Sn	القصدير
95	1.8	4.6	20.4	327	11.34	Pb	الرصاص
70	15	42-30	5.92	419	7.14	Zn	الزنك
20	20 -17	25	4.2	651	1.74	Mg	المغنسيوم

الاستعمال الشائع	التركيب %		الماركة حسب المواصفات	نوع الشبكة البلورية	اسم المعدن
	الشوائب	العنصر الاساسى			
الاسلاك و السبائك	0.05	99.95	M0	مكعبية متمركزة الوجه	النحاس
عالية الجودة	0.1	99.9	M1		
-----	0.3	99.7	M2		
السبائك عالية الجودة	0.5	99.5	M3		
-----	1.0	99.0	M4		
السبائك					
الاسلاك	0.1	99.9	AB1	~	الالومنيوم
الاجهزة الكيميائية	0.15	99.85	AB2		
الرقائق	0.30	99.7	A00		
الطلاء و الكابلات	0.4	99.6	A0		
السبائك	0.5	99.5	A1		
الاوعية	1.0	99.0	A2		
المصنوعات	2.0	98.0	A3		
الواسعة الاستعمال					
صناعة الاجهزة	0.2	99.8	H0	~	النيكل
~	0.3	99.7	H1		
السبائك	1.1	98.9	H2		
~	1.4	98.6	H3		
~	2.4	97.6	H4		
~					
الطلاء	0.1	99.9	01	رباعية مركزة	القصدير
رقائق	0.2	99.8	02		
سبائك اللحام	0.3	99.7	03		
السبائك	0.4	99.6	04		
البطاريات	0.008	99.992	CB	مكعبية متمركزة الوجه	الرصاص
~	0.01	99.99	C0		
سبائك مابيت	0.02	99.98	C1		
حمامات التصليد	0.05	99.95	C2		
السبائك	0.1	99.9	C3		
~	0.5	99.5	C4		
الطلاء	0.01	99.99	IIB	مسدسية مزدحمة التكديس	الزنك
~	0.04	99.96	IIO		
السبائك	0.06	99.94	I1		
	0.1	99.90	I2		
~	1.3	98.7	I3		
~	2.5	99.5	I4		
~					
~					
~	0.09	99.91	Mr1	مسدسية	الماغنسيوم
~	0.15	99.85	Mr2		

1- النحاس :

النحاس اكثر المعادن الغير حديدية انتشارا فى الصناعة ، ويستعمل فى حالته النقية (M1, M2) ، فى الصناعة الكهربائية كموصل جيد للتيار و ينقص وجود الشوائب بشدة من توصيل النحاس للكهرباء . وتستعمل الماركات (M2, M3, M4) التى تحتوى على كمية من الشوائب لانتاج السبائك الصناعية.

و تتكون الشوائب المشار اليها فى ماركات النحاس (جدول 11) من : (O, S, Sn, Pb, Ni, Fe, As, Sb, Bi) و تؤثر على خواص النحاس تأثيرا مختلفا ، و بالذات فان البزموت و الرصاص ضاران لانهما يتكونان لعدم ذوبانهما فى النحاس يوتكتيا يقع على حدود الحبيبات ، مما يضعف مقاومة النحاس لدرجات الحرارة العالية و يزيد من قصافته .

و يساعد وجود الاكسجين (Cu_2O) على ظهور المرض الهيدروجينى النحاسى اذ يسبب الهيدروجين عند تلامسه بالنحاس اختزال الاخير و تكون نواتج غازية CO_2 او H_2O (حسب التفاعل $3\text{Cu}_2\text{O} + \text{CH}_4 = 2\text{H}_2\text{O} + \text{CO} + 6\text{Cu}$) مما يسبب ضغطا داخلية و شقوقا .

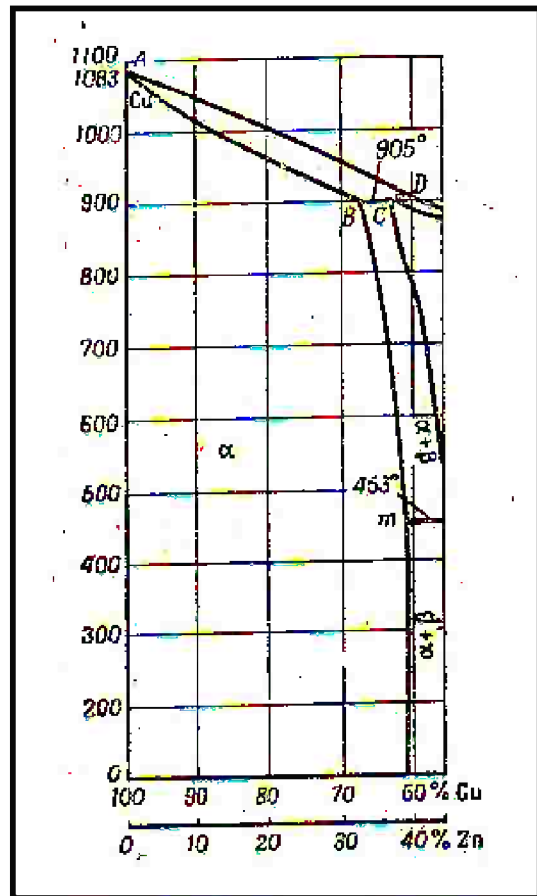
و تجهز المصنوعات النحاسية (الاسلاك و الخوص و الصفائح) بالدلفنة و السحب و الكبس ، وفى هذه العملية يحدث للخامة تشغيل على البارد يزداد معه أقصى اجهاد (نقطة الكسر) σ_b و تنقص اللدونة Ψ اى ان النحاس يصبح قصفا ، و لازالة التشغيل على البارد واسترجاع اللدونة يجرى للنحاس تلدين لاعادة التبلور عند $500 - 600^\circ\text{C}$

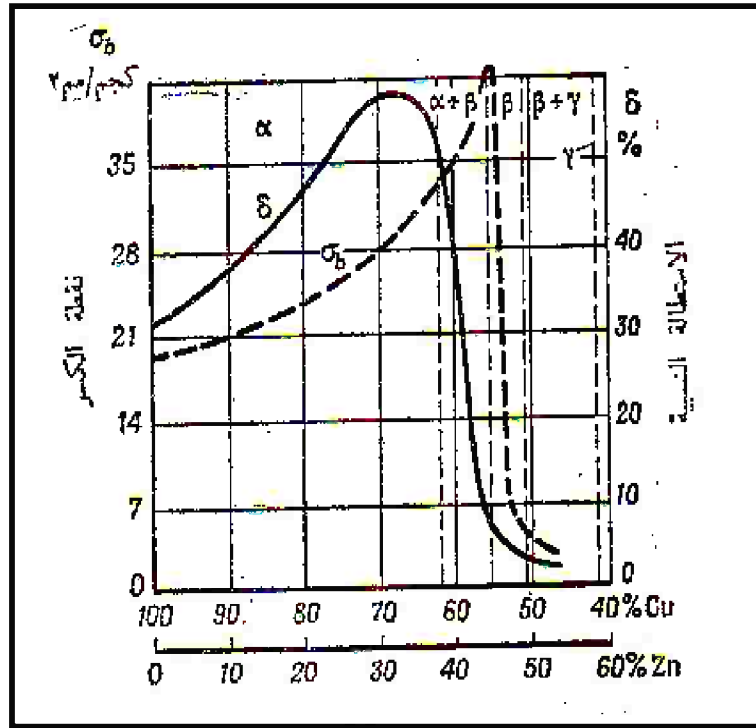
2- النحاس الاصفر :

النحاس الاصفر (الشبه) عبارة عن سبيكة من النحاس مع الزنك ، كما تضاف اليه احيان عناصر اخرى لاعطائه خواصا اخرى . ويكون الزنك معالنحاس عددا من الاطوار على شكل محلولات صلبة ومركبات الكترونية .

و يبين الجزء الموضح من بيانى الاطوار (منحنى التسابك) للمجموعة Cu-Zn (شكل 80) انه فى حدود تركيز Zn 32 % ودرجة 905° م ، و التركيز 39% عندتمام التبريد يتكون محلول صلب الزنك فى النحاس (الطور α ذو شبكة مكعبية مركزية الوجه) وعند 905° فيما بين التركيزين 32 – 39 % Zn يحدث تحول بيريتكتى ويتكون الطور β و هو عبارة عن محلول صلب على اساس المركب الالكترونى CuZn ذى شبكة مكعبية مركزية الجسد ، و يتبلور الطور β كذلك مباشرة من السبيكة السائلة فى الحدود من 39 الى 55 % Zn .

شكل رقم 80 ، جزء من
رسم بياني لحالة سبائك
النظام
Cu - Zn





شكل رقم 81، تأثير نسبة الزنك على الخواص الميكانيكية للنحاس الاصفر

ويستعمل الان عمليا نوعان من النحاس الاصفر : نحاس اصفر α وحيد الطور ويحتوى على Zn بنسبة حتى 39 %، وثنائى الطور ($\alpha + \beta$) يحتوى على 39 – 45 % Zn. وبشكل (81) الرسم البيانى لتأثير كمية الخارصين على خواص النحاس الاصفر، و النحاس الاصفر الوحيد الطور α عالى المتانة ذو قابلية كبيرة للتشغيل بالضغط على البارد. و تنخفض متانة النحاس الاصفر بظهور الطور β و فى حين تستمر متانة فى الزيادة حتى تصل نسبة الخارصين الى 43%، و بعدها تنخفض بشدة، ولهذا فالنحاس ذو البنية $\alpha + \beta$ يمكن تشكيله جيدا فى الحالة الساخنة فقط .

و يرقم النحاس الاصفر طبقا للمواصفات القياسية السارية فى الاتحاد السوفييتى بالحرف Л و على يمينه تكتب الحروف الدالة على نسبة النحاس و العناصر الخاصة بنفس الترتيب المكتوبة به فى الماركة، و ترقم العناصر بالحروف الروسية O - القصدير، Ц - الزنك، C - الرصاص، H - النيكل، МЦ - المنجنيز، Ж - الحديد، K - السليكون، A - الالومنيوم و هكذا . و على سبيل المثال تدل الماركة 90 Л على نحاس اصفر يحتوى على 90 ٪ من النحاس . 10 ٪ الباقية من الزنك، و الماركة 66-63-2 ЛАЖМЦ تدل على نحاس اصفر الومينى - حديدى - منجنيز و 23 ٪ زنك .

و الماركات الاربع الاولى من الماركات الست للنحاس الاصفر الزنكى (حسب المواصفات القياسية السوفييتية) Л59، Л80، Л62، Л96، Л90 عبارة عن نحاس اصفر وحيد الطور (α) جيد القابلية للتشغيل بالكبس على البارد . اما الماركتان Л59، Л62 فهما نحاس اصفر ثنائى الطور ($\beta + \alpha$) و هما قصفتان فى الحالة الباردة و تشغلان بالكبس على الساخن .

تصنع من النحاس الاصفر الالواح و الشرائط و الاسلاك بالتشكيل على البارد الناجمة عن ذلك يستعمل التلدين لاعادة التبلور عند درجة 600 - 700 ° .

و لرفع الخواص الميكانيكية للنحاس الاصفر و تحسين قابليته للتشغيل و مقاومته للصدأ تضاف اليه العناصر Pb, Sn, Ni, Fe, Al, Si و غيرها .

النحاس الاصفر الرصاصي :

من الماركات LC74-3, LC59-1, LC64-2, LC60-1
و يحتوى على الرصاص بنسبة من 1 - 3 % لتحسين قابليته للتشغيل
بالقطع، و تصنع منه الاجزاء بالكبس على الساخن ثم التشغيل بالقطع
على ماكينات اوتوماتيكية .

النحاس الاصفر القصديرى :

الماركات LO62-1, LO70-1 و يحتوى على 1 % من
القصدير، و يستعمل لصناعة السفن الحربية لارتفاع مقاومته للصدأ فى
ماء البحر .

النحاس الاصفر النيكلى :

الماركة LH65-5 و يستعمل بدلا من البرونز لصناعة البيت و
جلب كراسى المحاور وما أشبهه .

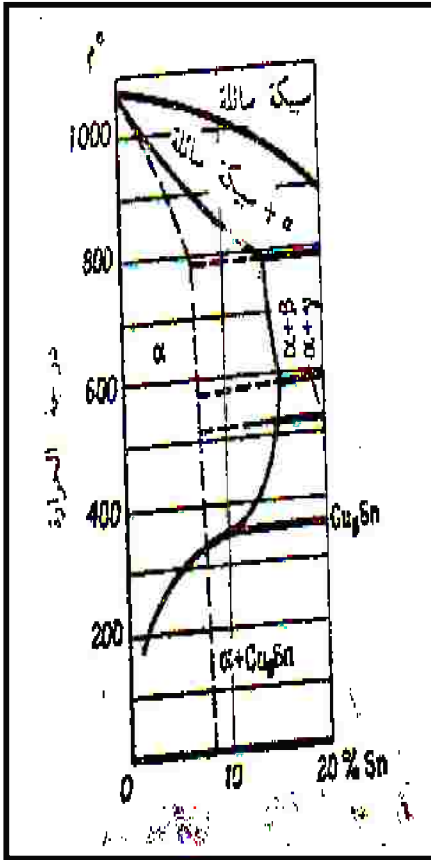
النحاس الاصفر الخاص المسبوك :

الماركات ЛМЦОС58-، ЛА67-2-5، ЛАЖ60-1-1
2-2-2، ЛК80-3، ЛМЦЖ52-4-1، ЛМЦС58-2-2، ЛКС-80-3-3
و يستعمل للحصول على جلب مسبوكه لكراسى
المحاور و جلب و وصلات وتروس الخ .

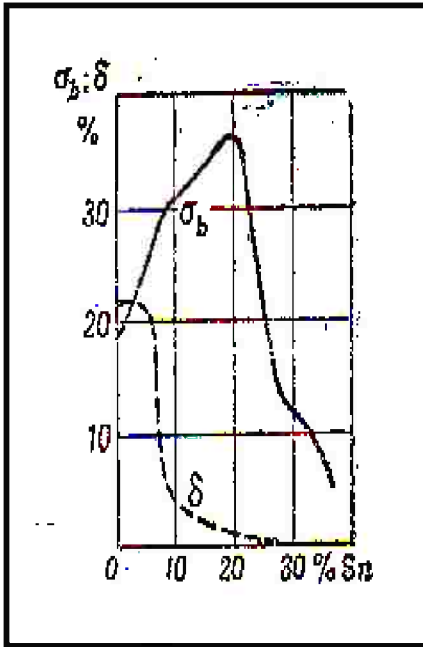
3- البرونز :

تسمى سبائك النحاس و القصدير و الالومنيوم و غيرها من
العنصر بالبرونز، و يرقم البرونز بالحرفين Bp و تكتب على يمينها
العناصر الداخلية فى تركيبه :

O - القصدير، Ц - الزنك، C - الرصاص، Φ -
 الفوسفور، H - النيكل، K - السليكون .. الخ . و تكتب بنفس
 الترتيب النسبة المئوية للعناصر الداخلة فى تركيب البرونز و على سبيل
 المثال تدل الماركة Bp-O-10 على برونز قصديرى يحتوى على 10% من
 القصدير، و 90 % من النحاس، و الماركة 3-7-5-1 Bp.OЦCH
 تدل على برونز قصديرى - زنكى - رصاصى - نيكلى يحتوى على
 3% قصدير، 7 % زنك، 5% رصاص، 1% نيكل و الباقى 84% من
 النحاس .



شكل رقم 82 ، رسم بيانى
 لحالة سبائك النظام Cu - Sn



شكل رقم 83 ، تأثير نسبة
القصدير على الخواص
الميكانيكية للبرونز

البرونز القصديرى :

و هو عبارة عن سبيكة من النحاس و القصدير و قد اوردنل
بشكل (82) جزء من رسم بيانى الاطوار منحنى التسابك للمجموعة
Cu – Sn الذى يهمننا عمليا (و يحتوى على القصدير بنسبة لا تزيد عن
22 %) و تتكون فى هذا النظام فى الجزء المبين بالشكل ثلاثة اطوار
هم : الكور – α – و هو محلول صلب بالاحلال للقصدير فى النحاس ذو
شبكة مكعبية مركزية الوجه، و الطور – β – و هو محلول صلب
على اساس المركب الالكترونى Cu₅Sn (و نسبة عدد الالكترونات
المكافئة الى عدد ذات المركب 3 : 2) و يتكون جزئيا نتيجة للتفاعل
البيريتكتى من الطور – α ، جزئيا من المحلول السائل مباشرة، و
الطور – γ – و هو محلول صلب على اساس من المركب الكيميائى
Cu₃₁Sn₈ (و نسبة عدد الالكترونات المكافئة الى عدد الذرات به

21 : 13) و يتكون جزئياً نتيجة للتفاعل البيريتكتى من الطور السائل مباشرة .

و يكون البرونز المحتوى على القصدير بنسبة حتى 7 ٪ وحيد الطور α - ز عند زيادة نسبة القصدير عن 7 ٪ - ثنائى الاطوار α - β ، و شكل (83) يبين الخواص الميكانيكية لانواع البرونز القصديرى المسبوك .

وتضاف بعض العناصر الى البرونز القصديرى : كالرصاص - لتحسين قابليته للتشغيل، و الفوسفور لاختزاله و تقليل احتكاكيته، و الزنك لتحسين خواصه التكنولوجية و مقاومته للتآكل .. الخ . و تستعمل الماركات Br.OЦCH3-7-5-1 و Br.OЦC3-11-5 لصناعة الوصلات التى تستعمل فى ظروف ماء البحر او البخار والماركات Br.OЦC5-5-5 ، Br.OΦ10-1 ، Br.4-4-17

Br.OЦC6-6-3 ، Br.OΦ6,5-0,4 لسباكة الاجزاء التى تتعرض للتآكل، اما الماركات Br.OЦC4-4-3 ، Br.OΦ4-0,2 ، Br.OΦ6-0,1 -0,25 ، Br.OΦ6,5 فتستعمل لصناعة القضبان و الاسلاك .

وقد بدأت الصناعة فى استعمال انواع خاصة من البرونز بدلا من البرونز القصديرى على نطاق واسع وهذه الانواع ذات متانة عالية و مقاومة للحرارة و للصدأ ولا تحتوى على القصدير .

البرونز الالومينى :

من الماركات Br.A5 ، Br.AMЦ9-2 ، Br.A5 و يستعمل لصناعة الاشرطة و الخواص و المواسير Br.AЖH10-4 ، Br.AЖC7-1,5-1,5 ، Br.AЖH11-5-6 لسباكة الواجهة .

البرونز السليكونى :

ويحتوى على 3 - 4 ٪ سليكون و خواصه تفوق خواص
البرونز القصديرى فهو اكثر منه مقاومة للصدمات و المتانة يصل الى
50 كجم/مم² و تستعمل الماركات Bp.KC3-9 ، Bp.KI4-4 و
غيرهما لسباكة الواجهة .

البرونز البيريلى :

و يحتوى على 2 ٪ بيرليوم و هو عالى المقاومة و الصلادة مع
الاحتفاظ بالمتانة بعد تصليده من 800 - 820 °م (مراجعتة عند 300 -
350 °م و مقاومة الصدمات تصل الى 30 كجم/مم² HB = 370) .

4- سبائك الالومنيوم :

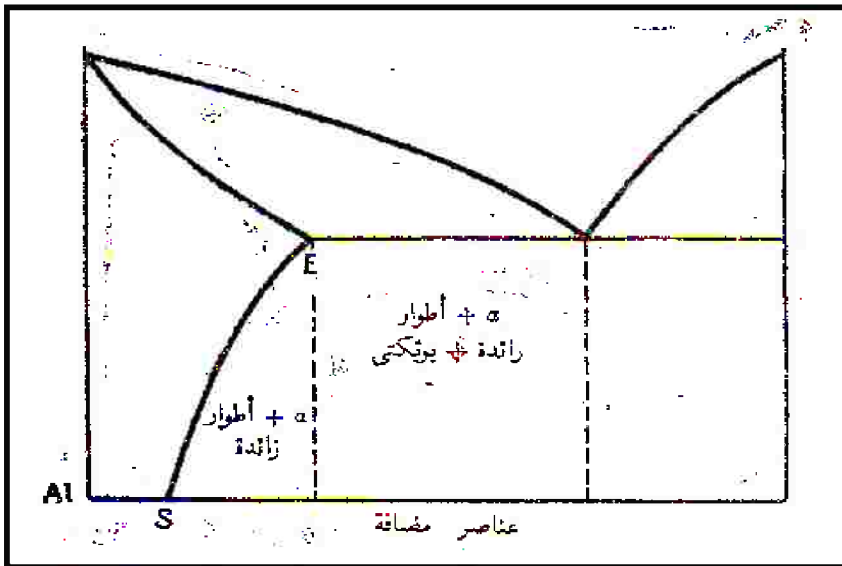
الالومنيوم :

بجدول (11) ترقيم و خواص الالومنيوم الصناعى النقى .
والالومنيوم معدن خفيف سهل الصهر و رخو و لدن و جيد التوصيل
للحرارة و الكهرباء (نحو 60٪ من توصيلية النحاس) و تستعمل فى
الصناعة الحديثة على نطاق واسع سبائك ذات الاساس الومنيومى . و
يكون عدد من العناصر الداخلة فى تركيب هذه السبائك محاليل
صلبة محدودة متغيرة التركيز مع الالومنيوم .

و بشكل رقم (84) رسم بيانى تخطيطى لاطوار بعض
السبائك ذات الاساس الالومنيومى ، فالسبائك المحتوية على عناصر
مضافة بكمية اقل من النقطة S تكون فى الحالة الصلبة وحيدة الطور
و هى عبارة عن محلول صلب . و هذه السبائك لدنة و جيدة القابلية

للتشغيل بالكبس على البارد و الساخن و ولا يمكن زيادة متانتها الا بتشكيلها على البارد .

اما فى السبائك المحتوية على عناصر اشابة مضافة اكثر من النقطة S فتفرز عند تبريد الاطوار الزائدة عن المحلول الصلب، فيفرز مثلا فى سبائك (الومنيوم - سليكون) - السليكون الزائد، و فى سبائك الومنيوم - نحاس - النحاس الزائد الذى يكون $CuAl_2$ و فى سبائك الومنيوم - ماغنسيوم - الماغنسيوم الذى يكون Al_2Mg_2 و بتسخين هذه السبائك اعلى من الخط ES تذوب الاطوار الزائدة و تصبح السبائك وحيدة الطور جيدة القابلية للتشغيل بالكبس .



شكل رقم 84 ، رسم بيانى تخطيطى لحالة السبائك ذات الاساس الالومنيومى

و يمكن زيادة مقاومة السبائك الموجودة حسب تركيبها بين E ، S بمعاملتها حراريا بالتصليد من درجة حرارة اعلى من ES فيثبت هذا محلول العنصر فى الالومنيوم، و يساعد التعمير بعد ذلك على افراز الاطوار الزائدة من المحلول الصلب افرازا انتشاريا .

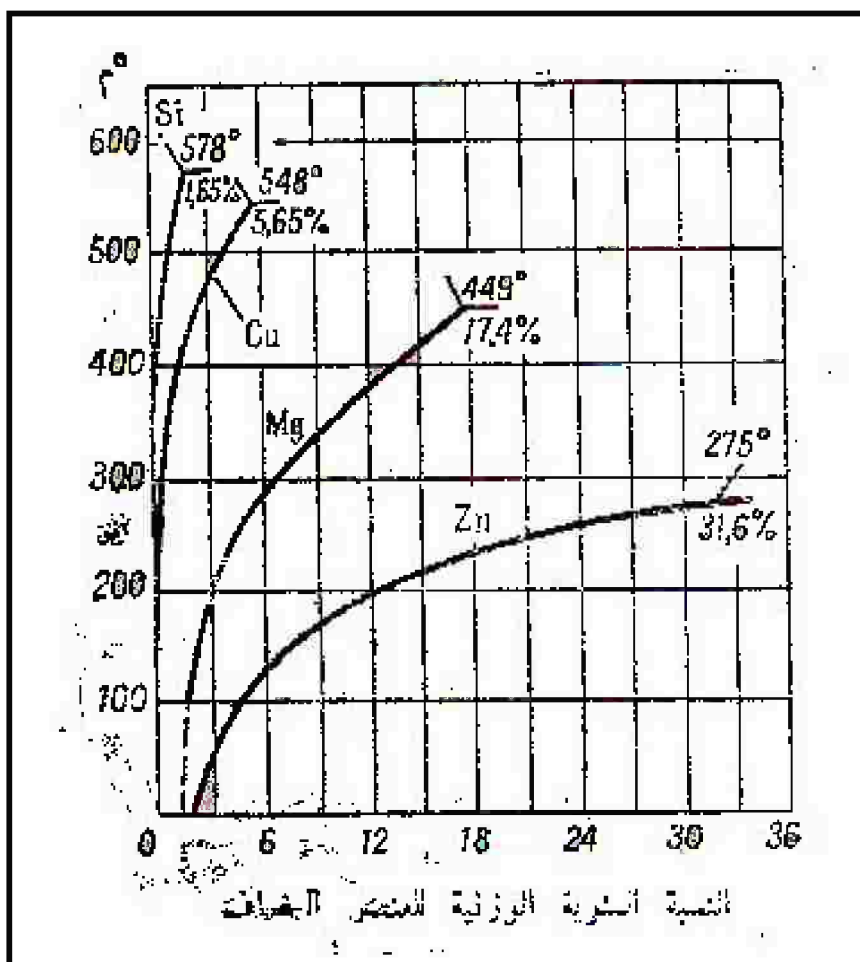
و يتكون بالسبائك الواقعة يمين ما قرب منها لليوتكتي ذات خواص جيدة عند السبك، و يمكن تقسيم سبائك الالومنيوم الى قسمين:

أ) السبائك المسبكية : عن يمين النقطة E بشكل 84.

ب) السبائك التشكيلية : عن يسار النقطة E بشكل 84 .

و تنقسم السبائك التشكيلية بدورها الى نوعين : غير القابلة لزيادة المقاومة بالمعاملة الحرارية (على يسار النقطة S بالشكل 84) والقابلة لزيادة مقاومتها

بالمعاملة الحرارية (و هى السبائك الواقعة حسب تركيبها بين النقطتين E و S كما هو موضح بشكل 84 .



شكل رقم 85 ، مناطق البداية ببياني حالة سبائك الالومنيوم
مع العناصر Zn, Mg, Cu, Si .

و بشكل رقم (85) الجزء الاول من بيانى اطوار سبائك

المجموعات Al-Si

Al-Mn, Al-Mg, Al-Cu و يبين قابلية هذه العناصر

للذوبان فى الالومنيوم.

و يحسن لتسهيل دراسة تنوع سبائك الالومنيوم ان نميز السبائك

الثنائية و المركبة له . ومن السبائك الثنائية سبائك المجموعات Al-Zn,

Al-Mg, Al-Cu, Al-Si اما السبائك المسبكية بالحرفين Al و

ترقم السبائك من نوع الدورالومين بالحرف π و تبين الارقام الموجودة

بالماركة رقم ماركة السبيكة المتفق عليه .

1- السبائك الالومنيومية المسبكية (جدول 12) : هى

المجموعات Al-Si, Al-Mn, Al-Mg, Al-Cu و السبائك

المركبة على اساسها و تسمى السبائك ذات الاساس من المجموعة

Al-Si ($\pi 10$, $\pi 9$, $\pi 6$, $\pi 5$, $\pi 4$, $\pi 2$)

بالسيلومينات . و يعد السيلومين $\pi 2$ ممثلا لها فهو ذو خواص

جيدة عند السباكة و مقاومة عالية للصدأ و لدونة كبيرة . و لما كانت

قابلية Si للذوبان فى Al ضئيلة جدا فانه لا داعى لاجراء اية معاملات

حرارية فى حالة عدم وجود عناصر اخرى غير السليكون . و تعامل

السيلومينات معاملة حرارية عند وجود النحاس و الماغنسيوم بها اذ

يكون هذان العنصران مع الالومنيوم محاليل صلبة محدودة (شكل

رقم 85) و تكون عند التعمير اطوارا منتشرة CuAl_2 , Mg_2Si تزيد

من مقاومة السيلومين . و تستعمل المسبوكات السيلومينية على نطاق

واسع فى الصناعة نظرا لانها بالاضافة الى كونها عالية المقاومة فهى

ذات وزن نوعى صغير – 2.65 – 7.5 جم/سم³ ، اى انها اخف من الصلب و الزهر و سبائك النحاس بثلاث مرات تقريبا .

و تستعمل السبائك المسبكية المصنوعة على اساس الالومنيوم و النحاس من الماركات AL1, AL7, B-195 لصناعة الاجزاء الهامة من المحركات و ذلك لانها تكتسب بعد المعادلة الحرارية (التصليد و التعمير) خواصا ميكانيكيا عالية. و تستعمل السبيكة المسبكية على اساس Al-Mg ماركة AL8 لصناعة الاجزاء التى تتعرض للصدمات و الاجزاء التى تتطلب مقاومة مرتفعة للصداً

سبائك الالومنيوم المسبوكة

جدول 12

طرق الحصول على مسبوكات	التركيب، % (الباقي Al)					الماركة
	عناصر اخرى	Mn	Mg	Cu	Si	
فى الرمل	2.25 - 1.75	-	1.75-1.25	4.5-3.75	-	AL1
~	-	-	-	-	1.3 -1	AL2
~	-	0.5-0.25	0.3-0.17	-	1.5 -0.8	AL4
~	-	-	0.6 -0.35	1.5 -1	5.5 -4.5	AL5
~	-	-	-	3 -2	6 -4.5	AL6
~	-	-	-	5 -4	-	AL7
~	-	-	0.4 -0.2	-	8 -6	AL9
~	-	1.1-0.7	0.5 -0.2	2.4-1.8	6 -4	AL10
فى قالب معدنى	14 -10	-	-	-	9 -6	AL11
~	-	-	-	5 -4	3 -2	B195

الاستعمال	الخواص الميكانيكية				المعاملة الحرارية				الماركة
					التعمير		التصليد		
	الصلادة ، HB	δ ، %	δs ، كجم/مم ²	σb ، كجم/مم ²	مدة الإبقاء ساعة	درجة التسخين °	مدة الإبقاء ساعة	درجة التسخين °	
المكابس و رؤوس السلندرات	95	0.5	-	20	2	220	2	515	АЛ11
الاجزاء المعقدة و الوصلات	55	6	8	18	-	-	-	-	АЛ12
الاجزاء الكبيرة المحملة	70	4	20	26	15	175	6 -2	535	АЛ14
~	80	0.3	18	22	5	180	4	525	АЛ15
الاجزاء المحتاجة ثبات ابعاد	70	1	15	22	3	290	2	520	АЛ16
الاجزاء العالية التحميل	80	5	15	25	4 -2	150	15 -10	515	АЛ17
الاجزاء المعقدة الشكل	55	6	11	20	3 -2	150	12 -10	500	АЛ19
بساتم المحركات	85	1	19	24	3 -2	160	15 -10	515	АЛ110
اجزاء المحركات	100	3	-	26	-	-	-	-	АЛ111
الاجزاء العالية التحميل	90	5	23	31.5	4 -2	4 -2	24 -16	-	B195

و تصل مقاومة قصوى للسبيكة على اساس Al-Zn (سيلومين زنكى
يحتوى على 6 – 9 % Zn) بعد استبدالها و تبلورها تحت الضغط
بطريقة الاكاديمى أ.أ. بوتشفار الى $\sigma_b = 26$ كجم/مم² و استطالها δ
تصل الى 3 % و الصلادة HB = 100 .

2- السبائك الالومينية التشكيلية : و تشغل بالضغط : بالدلفنة و
الكبس و السحب و الحدادة (و بجدول 13 تركيب و خواص و
استعمال هذه السبائك) ، و تكون السبائك التى يمكن زيادة
مقاومتها بالتصليد ثم التعمير . و من امثلة السبائك التى تعامل
حراريا سبائك المجموعة Al-Cu و قد اوردنا بشكل 85 بداية
منحنى تسابكها . و تصل قابلية النحاس للذوبان فى الالومنيوم
عند درجة الحرارة اليوتكتية (548° م) الى 5.65 % و تنخفض
عند درجة الحرارة المعتادة الى 0.1 % و هكذا يتكون فى
السبيكة المحتوية على 5.6 % من النحاس تقريبا نتيجة للتبريد
البطىء محلول صلب Al(Cu) و بلورات من المركب CuAl₂ .

و تحتوى السبائك التى يمكن زيادة مقاومتها بالمعاملة الحرارية
على نحو 4 % من النحاس ، و عند التسخين يذوب الطور CuAl₂ عند
درجة 500 – 510 ° تماما و يتكون محلول الصلب وحيد الطور
Al(Cu) ، و بالتبريد السريع (فى الماء) يمكن تثبيت المحلول الصلب
الفوق مشبع الذى تحدث به ظاهرة التعمير لكونه غير مستقر . و بترك
السبيكة 5 ايام فى درجة الحرارة الجوية (اى بالتعمير الطبيعى) تتجمع
ذرات النحاس بالمحلول فى اركان الشبكة البلورية للالومنيوم مشوهة
الشبكة الفراغية مما يساعد على زيادة مقاومة السبيكة . و عند
التسخين الى درجة 150 – 180 ° (بالتعمير الصناعى) تزداد المقاومة
نتيجة لافرازات دقائق بالغة الصغر من المركب CuAl₂ من المحلول
الصلب .

و بجدول (13) انواع الدورالومين مع بيان تركيبها و خواصها الميكانيكية الناتجة عند التصليد من درجة 500 – 510 °م و التعمير الطبيعى .

و لازالة أثر التعميرو عودة السبيكة الى حالتها الاولى بعد التصليد ، تسخن مدة قصيرة الى درجة 250 – 270 ° (العودة) ، و يجرى تلدين الدورالومين عند 360 ° . و السبائك التى لا تزداد متانتها بالمعاملة الحرارية ذات لدونة عالية و مقاومة للصدأ و تزداد مقاومتها بالطرق .

سبائك الالومنيوم التشكيفية

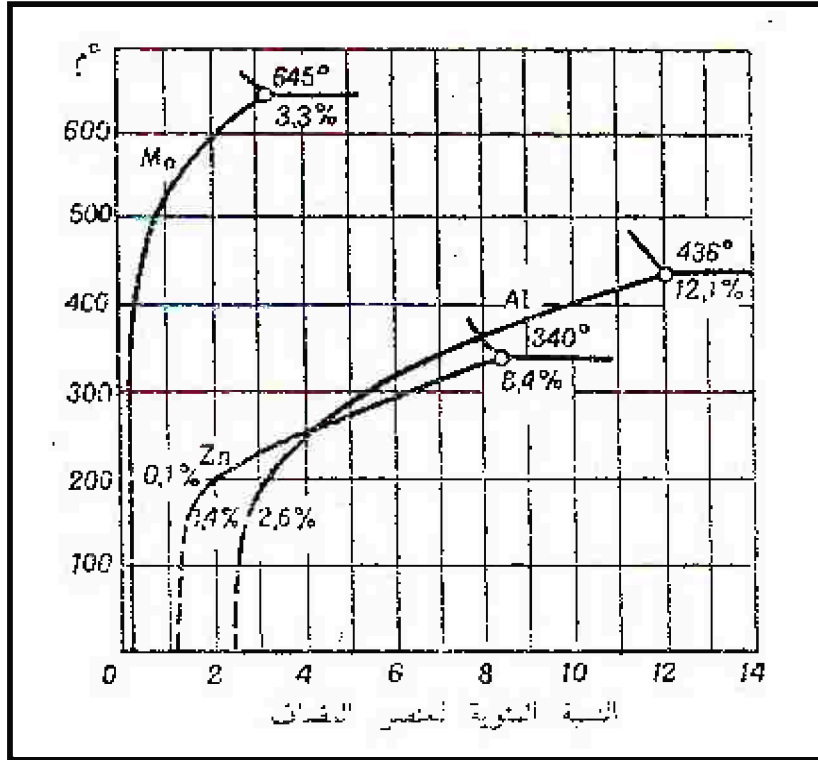
جدول (13)

التركيب، % الباقي Al						رقم
Ni	Fe	Si	Mn	Mg	Cu	
سبائك الطرق و الكبس						
2.3-1.8	1-0.5	1-0.5	0.2	0.8-0.4	4.5-3.5	AK2
1.5-1	1.6-1.1	1.2-0.5	0.2	1.8-1.4	2.5-1.9	AK4
-	0.7	1.2-0.6	0.8-0.4	0.8-0.5	2.6-1.8	AK6
-	0.8	1.2-0.6	1-0.4	0.8-0.4	4.8-3.9	AK8
دورالومين						
-	0.7	0.7	0.8-0.4	0.8-0.4	4.8-3.8	1д
-	0.5	0.5	1-0.5	1-0.5	5.2-4.6	6д
-	0.5	0.5	0.9-0.3	0.9-0.3	4.9-3.8	16д
-	0.5	0.5	0.2	0.2	3-2.2	18д
السبائك غير القابلة لزيادة المتانة بالمعاملة الحرارية						
-	-	-	0.3	2.5	-	AMr
-	-	-	1.6-1	-	-	AMu

استعمال	الخواص الميكانيكية				المعاملة الحرارية				الماركة
	الصلادة، HB	δ، %	δs، كجم/مم ²	σb، كجم/مم ²	التعمير		التصلب		
					مدة الإبقاء ساعة	درجة الحرارة °	وسط التبريد	درجة الحرارة °	
سبائك الطرق و الكبس									
رؤوس السلندرات	100	13	28	42	-16 18	-165 185	الماء	-510 520	AK2
المكابس	110	10	29	44	-16 18	-165 180	~	-510 520	AK4
اجنحة الطلمبات المكبوسة	105	13	30	42	-12 18	-150 160	~	-510 520	AK6
~	130	13	38	49	8-5	180	~	-500 510	AK8
دورالومين									
اجهزة هياكل الماكينات	100	18	24	42	التعمير الطبيعي		~	-505 510	1д
	105	15	30	46			~	-500 510	6д
مسامير البرشام	105	17	33	47			~	-495 510	16д
سلك البرشام	70	24	17	30			~	-500 510	18д
السبائك غير القابلة لزيادة المتانة بالمعاملة الحرار									
للاجزاء المشغلة	45	23	-10 20	-20 25	ملدنة				AMr
	30	20	13-7	-13 16					AMu
بالكبس العميق و اللحام									

5- سبائك الماغنسيوم :

بجدول (11) اوردنا خواص الماغنسيوم النقى، و ان سبائك الماغنسيوم ذات اهمية صناعية لكونها ذات وزن نوعى منخفض (17 كجم/سم³) مع مقاومة كافية، و تنتج عمليا سبائك الماغنسيوم مع Zn, Al, Mn. و العناصر المذكورة محدودة القابلية للذوبان فى الماغنسيوم (شكل 86) و يذوب الالومنيوم فى الماغنسيوم بنسبة تصل الى 12.1 % و الخارصين بنسبة تصل الى 8.4 % و المنجنيز بنسبة تصل الى 3.3 %.



شكل رقم 86 ، مناطق البداية ببيانى حالة سبائك الماغنسيوم مع Zn , Al , Mn

ويكون الالومنيوم مع الماغنسيوم مركبا كيميائيا هو Al_2Mg_3 ويكون الماغنسيوم مع الزنك (الخارصين) المركب $MgZn$ ، و تستعمل سبائك الماغنسيوم كمواد تسبك او تشكل، و ترقم السبائك المسبكية بالحرفين MJ1 و بالرقم المتفق عليه لكل سبيكة - مثل MJ3، MJ4، MJ2 و السبائك التشكيلية بالحرفين MA و الرقم مثل MA3، MA2 وهكذا .

و بجدول (14) اوردنا تركيب و خواص و استعمال سبائك الماغنسيوم المسبكية و التشكيلية، و من اكثر هذه السبائك انتشارا السبيكة MJ15 و هى احسنها سائلية، و يمكن سباكتها فى الارض و فى القوالب المعدنية و تحت الضغط، و مقاومتها القصوى $\sigma_b = 26$ كجم/مم²، و استطالتها قدرها $\delta = 5\%$.

و لرفع الخواص الميكانيكية للسبائك MJ15، MJ16، ذات العناصر المحدودة القابلة للذوبان فى الماغنسيوم (شكل 86) تعامل هذه السبائك حراريا كالآتى : التصليد مع التسخين الى $380 - 410^\circ$ و الابقاء لمدة 10 - 16 ساعة و التبريد فى الهواء و التعمير عند درجة 175° لمدة 16 ساعة .

و سبائك الماغنسيوم التشكيلية اكثر مقاومة و متانة و لدونة من السبائك المسبكية، و تتلخص المعاملة الحرارية لهذه السبائك فى التصليد من $350 - 410^\circ$ مع التبريد فى الهواء دون ان يتلو ذلك تعمير، مما يحفظ خواص اللدونة للمحلول الصلب المتجاوز التبريد، و تستعمل الأكسدة لحماية سبائك الماغنسيوم من الصدأ، اى تكون طبقة من الأكسيد على سطح الجزء، كما يستعمل لذلك الطلاء باللاكه .

سبائك الماغنسيوم

جدول (14)

الاستعمال	الخواص الميكانيكية				التركيب، % الباقي Mg			الماركة
	الصلادة، HB	٪،δ	كجم/مم ² ،δs	كجم/مم ² ،σb	Mn	Zn	Al	
السبائك المسبوكة								
الاجزاء البسيطة الشكل	35	3	3	10	2 - 1	-	-	MJ12
الاجزاء عالية الكثافة	40	6	-	16	0.5 -0.15	0.1-0.5	3.5-2.5	MJ13
محركات السيارات و اجسان الاجهزة	50	8	9	24	0.5 -0.15	3 - 2	7 - 5	MJ14
	55	5	8	26	0.5 -0.25	0.8-0.2	9.3-7.5	MJ15
الاجهزة متوسطة التحميل	80	2	12	25	0.5 -0.1	-	11 - 9	MJ16
السبائك التشكيلية								
الاجزاء المطروقة والمكبوسة	55	10	16	26	0.5-0.15	0.8-0.2	4 - 3	MA2
	70	7	10	24	0.5-0.15	1.5-0.5	7 -5.5	MA3
	75	8	22	30	0.5-0.15	0.3-0.2	9.2 -7.8	MA5

6- السبائك المضادة للاحتكاك (لكراسى المحاور) :

يجب ان تستعمل ملء جلب كراسى المحاور مادة تختار بحيث نقى العمود من التآكل و تخلق الظروف اللازمة للتزيت السليم و تخفض من مادة معامل الاحتكاك . و يجب ان تكون هذه المادة ذات لدونة كافية حتى تأخذ شكل العمود و درجة انصهار منخفضة لسهولة صهرها .

وتسمى السبائك التى تلبى المتطلبات المذكورة بالسبائك المضادة للاحتكاك (المحورية) و تتكون بنيتها من اساس صفائحى به جزيئات صلدة و يستقر عنق العمود على هذه الجزيئات الصلدة فى حين يكون تآكل الاساس اللين شبكية من القنوات تمتلئ بالزيت .

و اهم انواع السبائك المحورية هى السبائك المعروفة باسم (السبائك الباييت) و تستعمل لكراسى المحاور سبائك باييت ذات اساس من القصدير و الرصاص او سبائك الالومنيوم او البرونز و غيرها .

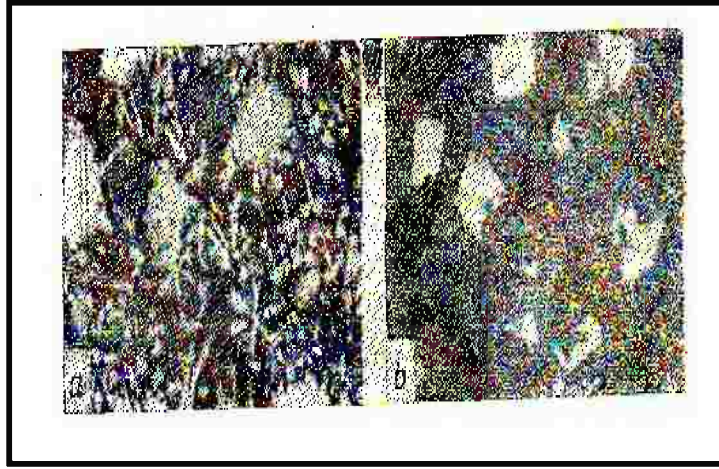
و ترقم سبائك باييت بالحرف B و يكتب على يمينه رقم يبين نسبة القصدير او حرف يدل على العنصر الداخلى فى تركيبه السبيكة (جدول 15) ، و تستعمل من سبائك الباييت القصديرية الماركة B83 المحتوية على 83 % Sn ، 11 % انتيمون ، 6 % Cu و يكون القصدير مع الانتيمون محلولين صلبين : المحلول α - على اساس القصدير Sn(Sb) ، و يكون اساس السبيكة اللين ، و المحلول β - على اساس المركب البين - معدنى SnSb ، و هو عبارة عن الجزيئات الصلدة فى بنية السبيكة . و يكون النحاس الموجود فى السبيكة بنسبة 6 % تقريبا

دندريئات خيطية الشكل من المركب البين - معدنى Cu_3Sn الذى يمنع الانعزال و طفو البلورات الخفيفة $SnSb$.

و بشكل (87 ، a)بنية تقليدية لسبيكة باييت القصديرية B83 و نرى به الجزيئات المكعبية $SnSb$ و الجزيئات الصغيرة المكونة من Cu_3Sn على خلفية معتمة من المحلول الصلب α .

ولما كان القصدير معدنا نادرا فان سبائك الباييت القصديرية لا تستعمل الا لكراسى المحاور المحملة حملا كبيرا و للماكينات السريعة .

و قد امكن نتيجة لايحات الاستاذ أ. م. بوتشفار منذ بداية هذا القرن داخل سبائك باييتعلى اساس رصاصى فى الصناعة بدلا من السبائك القصديرية .



شكل رقم 87 ، بنيان سبيكة باييت : a (B83 . b) $100 \times BC$

فالاساس فى سبائك بابيت B16 ,B6 ,BH ,BT ,BC ,BK هو الرصاص .ولزيادة مقاومة الرصاص و تكوين جزيئات صلدة محتواة فى هذه السبائك تضاف عدا القصدير العناصر Sb , Cu , Fe , Ca , Na , ويكون الانتيمون مع الرصاص يوتكتيا (شكل 41) ذا صلادة اعلى بثلاث مرات من صلاحة الرصاص . وهذا اليوتكتى هو اساس السبيكة ، وتكون البلورات الزائدة من الانتيمون (بلورات Sb) فى السبيكة جزيئات صلدة . ويمنع النحاس الموجود بالسبيكة بتموينه بلورات خيطية الشكل من Cu_3Sn او Cu_2Sb (C) انغزال الجزيئات الصلدة المحتواة (شكل 87 ، b) .

و اساس سبيكة بابيت الكالسيومية غير انتيمونية BK هو الرصاص ، يزيد من مقاومته ذوبان الصوديوم فيه $\text{Pb}(\text{Na})$ ويكون المركب CaPb_3 الناتج عن اتحاد الرصاص و الكالسيوم ، الجزيئات الصلدة المحتواة بالسبيكة .

تركيب و استعمال سبائك بابيت

جدول (15)

الاستعمال	التركيب الكيمياءى ، %						الماركة
	عناصر اخرى	Sn	Pb	Cd	Cu	Sb	
ملء كراسى محاور الماكينات كبيرة التحميل	-	الباقى	-	-	6.5-5.5	12 -10	B83
لكراسى المحاور متوسطة التحميل	-	17 -15	الباقى	-	2 -1.5	17 -15	B16

لكراسى محاور المكينات خفيفة التحميل	1 -0.6 As	6 -5	~	-1.75 2.25	3 -2.5	16 -14	B6
لكراسى محاور التوربينات البخارية حتى 1200 حصان	1.25 -0.75 Ni	11 -9	~	1.75 -1.25	2 -1.5	15 -13	BH
لكراسى محاور محركات السيارات	0.9 -0.5 As	11 -9	~	-	1.1-0.7	16 -14	BT
لكراسى محاور ذات ضغط نوعى منخفض	0.2 -0.5 Fe	-	~	-	1.25	17	BC
~	0.95 -0.65 Na	-	~	1.1 -0.75	-	0.25	BK

برونز كراسى المحاور :

يستعمل البرونز المحورى القصديرى المحتوى على 8 ٪ قصدير عندما تكون الضغوط النوعية و السرعات بالكرسى كبيرة . و اساس هذا البرونز هو المحلول الصلب للطور α - (Sn) Cu و الجزيئات الصلدة تتكون م Cu_3Sn و بالمثل يستعمل على نطاق واسع البرونز الرصاصى Bp.C30 المحتوى على نحو 30٪ من الرصاص، ولما كان النحاس و الرصاص عديمى الذوبان حتى فى الحالة السائلة، فاننا

نحصل عند التجميد على خليط ثنائى الطور من بلورات النحاس و الرصاص، و لمنع انعزال الرصاص لنقل وزنه النوعى يستعمل التبريد السريع مع التقليل .

السبائك المحورية على اساس من المعادن الخفيفة :

ومن هذه السبائك :

أ) السبيكة $Al + 15\% Cu$ تتكون بنيتها من اليوتكتى $Al + CuAl_2$ مع زيادة محتواة من $CuAl_2$.

ب) السبيكة $Al + 22\% Si$ و تتكون بنيتها من اليوتكتى $Si + Al + Si$.

ج) تستعمل من سبائك الماغنسيوم الماركات $MA3$ ، $MJ4$ ، $MA5$ كسبائك محورية .

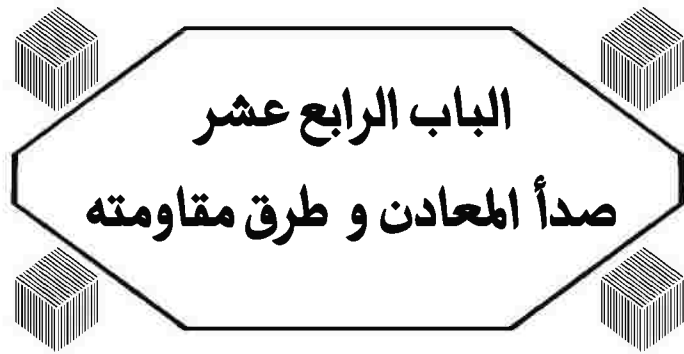
السبائك المحورية السيرامية – المعدنية المسامية :

تستعمل السبائك السيرامية المعدنية التى تتكون من مساحيق الحديد – الجرافيت، الحديد – النحاس – الجرافيت او البرونز – الجرافيت على نطاق واسع فى الصناعة باعتبارها مادة تتميز بقلّة التآكل و انخفاض معامل الاحتكاك و بالاحتفاظ بالزيت فى مسامها و بتشكيلها الجيد بشكل الاجزاء الاخرى التى تعمل معها .

و يستعمل كمادة مضادة للاحتكاك عندما تكون الضغوط النوعية كبيرة ($P = 20 - 25$ كجم /م²) و السرعات صغيرة ($V = 5$ م/ثانية) الزهر الرمادى و الطريق : البيرليتى و الفيريت – بيرليتى، و

بها اساس لدن (الفيريت) و محتويات اخرى صلدة (سمنتيت البيرليت)
و تكون الاحتواءات الجرافيتية بالزهر (و تكون صفائحية او كروية
الزهر الرمادى و مندوفة فى الزهر الطريق)قنوات للاحتفاظ بالزيت
كما ان الجرافيت نفسه يقوم بالتشحييم .

و يجب ان تكون ماركات الزهر المضاد للاحتكاك CЧЦ1
و CЧЦ2 (حسب المواصفات القياسية السوفيتية) ذات صلادة HB =
170 - 229 .



1- طبيعة الصدا :

يتآكل سطح المعادن الموجودة فى حالة تفاعل كيميائى او كهروكيميائى مع الوسط الخارجى، و يسمى مثل هذا التآكل بالصدا، و يسبب الصدا خسائر جسيمة للاقتصاد الوطنى، اذ يدمر كمية ضخمة من المنشآت و الماكينات المعدنية . و لمقاومة الصدا يجب معرفة اسبابه و الوسائل المجدية لمقاومته . و هناك نوعان من الصدا الكيميائى و الكهروكيميائى :

(1) الصدا الكيميائى :

و يحدث بسبب تفاعل المعدن مع الغازات الجافة و السوائل العازلة (الاثنى كهربية) دون ظهور تيار كهربائية، و مثل تأكسد صمامات العادم بمحركات الاحتراق الداخلى و مواسير العادم و مصبغات النار بالمواقد و الوصلات الداخلية الميكانيكية للتسخين بافران الحدادة و المعاملة الحرارية وما أشبه .

(2) الصدا الكهروكيميائى :

و ينشأ نتيجة لظهور التيار الكهربائى نتيجة للتفاعل بين المعدن و الالكتروليتات المحيطة به مثل صدا الصلب و الزهر و غيرهما من السبائك فى الجو الرطب و فى الماء العذب و ماء البحر و الاحماض و القلويات و المحاليل الملحية و فى الارض . تتكون الشبكة البلورية للمعدن من ايونات موجبة الشحنة (كاتيونات) موجودة باركان الشبكة البلورية و الالكترولونات الحرة المتحركة فى حجم المعدن كله . و يمكن ان تنفصل الكاتيونات عن سطح المعدن و ان تنتقل الى الوسط المجاور - الالكتروليت . و يسمى فرق الجهد المتكون عند

سطح تلامس المعدن مع الالكتروليت و هو الدال على ميل المعدن للذوبان بالجهد القطبى و و تتوقف قيمته اساسا على تركيب الالكتروليت و و يحدد الجهد القطبى للمعادن تجريبيا بمقارنته بجهد الهيدروجين و هو المعتبر مساويا للصفر .

و بجدول (16) اوردنا قيمة الجهد القطبى لبعض المعادن مقاسة بالنسبة للقطب (الالكترود) الهيدروجينى .

و من الجدول نرى ان المعادن الموجودة فوق الهيدروجين ذات جهد موجب و لذا فهى صعبة الذوبان ، فى حين ان المعادن الموجودة تحت الهيدروجين تكون اكثر قابلية للذوبان كلما كان جهدها السالب اكبر .

و المعادن النقية و السبائك الوحيدة الطور تقاوم الصدأ جيدا . اما السبائك التى تتكون بنيتها من عدة اطوار ذات جهود مختلفة فهى عبارة عن عمود كهربائى متناهى فى الصغر كثير الاقطاب ، و لذا فهى سهلة الصدأ .

و تكون الاجزاء المصنوعة من عدة مواد معدنية مختلفة الجهود عمودا كهربائيا متناهى فى الصغر فيصبح المعدن المنخفض الجهد مصعدا و يتآكل ، فى حين لا يتآكل المعدن الاعلى جهدا لقيامه بدور المهبط . و على سبيل المثال فانه عند تلامس الحديد مع الزنك (طلاء الحديد بالزنك) يذوب الزنك - و هو هنا المصعد - فى الالكتروليت (يتآكل) فى حين لا يتآكل الحديد . و عند تلامس القصدير مع الحديد فان الحديد بالعكس يصبح مصعدا و يتآكل (اى يصدأ) اما القصدير فيصبح مهبطا و لا يتآكل . و يمكن ان يكون المعدن ايجابيا او سلبيا بالنسبة لتأثير الوسط و تتحدد ايجابية المعدن

بتآكله فى وسط الصدأ كتآكل الحديد فى وسط مؤكسد عند الدرجات العالية للحرارة، و يصبح الحديد و الالومنيوم و الكروم و غيرها بعد ان تؤثر عليها الاوساط المؤكسدة HNO_3 ، $K_2Cr_2O_7$ سلبية اى انها تتوقف عن الصدأ و هذا ينجم عن تكون غلاف واق على سطح المعدن من الاكاسيد .

القيم القياسية لجهد المعادن

جدول (16)

العنصر	الجهد العادى بالنسبة للهيدروجين	العنصر	الجهد العادى بالنسبة للهيدروجين
الذهب	150+	الكوبالت	- 0.27
الزئبق	0.86+	الحديد	- 0.439
الفضة	0.80+	الكروم	- 0.51
النحاس	0.334+	الزنك	- 0.726
البيرموت	0.221+	المنجنيز	- 1.10
الانتيمون	0.200+	الالومنيوم	- 1.30
الهيدروجين	0.005+	الماغنسيوم	- 1.55
الرصاص	- 0.127	الصوديوم	- 2.71
القصدير	- 0.136	الكالسيوم	- 2.76
النیکل	- 0.23	البوتاسيوم	- 2.92

2- انواع التآكل بالصدأ :

يمكن تقسيم التآكل بالصدأ الى ثلاث مجموعات : الصدأ المنتظم و الصدأ المکانى و الصدأ البلورى .

**** الصدأ المنتظم :** و تبدو مظهرة فى تآكل منتظم للمعدن على كل سطحه، و يحدث هذا فى المعادن او السبائك ذات البنية الوحيدة الطور (المعادن النقية، و المحاليل الصلبة و المركبات الكيميائية) .

**** الصدأ المكانى :** و يتآكل اثناء المعدن فى اماكن متفرقة من السطح، ويلاحظ حدوث هذا النوع من الصد بالسبائك الكثيرة الاطوار ذات البنية الخشنة كما يحدث بالسبائك الوحيدة الطور والمعادن النقية عند تدمير الغلاف الواقى . و تسبب الخدوش و الحزوز السطحية السطحية صدأ مكانيا اذ تتكون فى هذه الاماكن ظروف مناسبة لتكون الاعمدة الكهربائية المتناهية فى الصغر .

**** الصدأ بين البلورى :** و يتميز بانتشار الصدأ على حدود الحبيبات و يرجع السبب فى ذلك الى ان جهد حدود الحبيبات اقل (مصعد) و جهد الحبيبات اعلى (مهبط) . و هذا النوع من الصدأ هو اكثر الانواع خطرا لانه ينتشر فى اعماق المعدن و لا يسبب اى تغير ملموس على السطح . و تتعرض لهذا النوع من الصدأ انواع الصلب النيكل - كرومية و سبائك الالومنيوم، و هى التى يمكن ان تفرز اطوارا منتشرة .

3- طرق حماية المعادن من الصدأ :

تستعمل فى الصناعة طرق مختلفة لحماية المصنوعات والمنشآت المعدنية من الصدأ حسب اسباب حدوث الصدأ و ظروفه . و يمكن تقسيم كل طرق مقاومة الصدأ الى المجموعات التالية : اضافة عناصر سبيكة و تكوين الاغلفة الاكسيدية بالمعاملة بوسط مصدى، و بالطلاء المعدنى او الطلاء غير المعدنى او بالوقاية الكهربائية او بالوقايات (مهبطية) .

**** وقاية المعادن من الصدأ باضافة عناصر سبكية :**

و تتاخص فى اضافة عناصر الى السبيكة (Ni) ، (Cr) و تمنع هذه العناصر حدوث الصدأ او تقلل منه .

***الاغلفة الاكسيدية :** و يحصل عليها على سطح الاجزاء المعدنية بالاكسدة، و ينقى المعدن من الصدأ جيداً، و تجرى الاكسدة بمعاملة الجزء فى عوامل مؤكسدة قوية مثل المحلول المائى لصودا كاوية او ملح البارود وما اشبه، و فى العادة تؤكسد المشغولات المصنوعة من السبائك الحديدية و الالومينية و تجرى الفسفة فى محاليل ساخنة من الفوسفاتات الحامضية للحديد و المنجنيز و تعتبر الطبقة الاكسيدية و الفوسفاتية قاعدة جيدة للتشحيم الواقى (الفازلين او البارافين) و الطلاء و اللاكيه .

الوقاية بمعاملة الوسط الخارجى :

و يتلخص هذا اما فى ازالة المركبات الضارة التى تسبب الصدأ منه (كأن يزال الاكسجين من الماء لمنع الصدأ) ، او ان يضاف الى الماء عامل يقلل من فعاليته و هو الكرومبيك - بيكرومات البوتاسيوم $K_2Cr_2O_7$ نسبته 0.5 ٪ (فى نظام التبريد بمحركات الاحتراق الداخلى) و يمنع حدوث الصدأ عمليا .

الوقاية بالطلاء بالمعادن :

و تستعمل على نطاق واسع فى الصناعة و يجب ان نميز بين نوعين من انواع الوقاية - المهبطية و المصعدية .

عند الوقاية المهبطية :

يكون جهد معدن التغطية اعلى من جهد المعدن الاساسى (جدول 16) . و شرط الوقاية ان تكون التغطية كثيفة غير مسامية . و يسبب و ينشأ عن عدم تحقق هذا الشرط (كحدوث خدش مثلاً) صدأ هذه الاجزاء، اذ ان المعدن الاساسى (المحمى) يكون مصعداً فى الازدواج الجلفانى المتكون و يتآكل .

الوقاية المصعدية :

و بها يكون جهد معدن التغطية اقل من جهد (جدول 16)
وتحمى التغطية المعدن كهروكيميائيا اذ ان المعدن الاساسى سيقوم
بدور المهبط عند تكون ازدواج جلفانى، ويقوم معدن التغطية بدور
المصعد ويتآكل، و من التغطيات المهبطية الحديد و الصلب و القصدير
و الرصاص و النحاس و النيكل، و من التغطيات المصعدية الزنك
والالومنيوم و الكالسيوم و البوتاسيوم و تستعمل بالصناعة طرق مختلفة
للتغطية بالمعدن كغمرة فى المعدن المنصهر و التغطية الجلفانية و التغطية
الانتشارية و التغطية بالنثر و طريقة تكوين طبقة على سطح المعدن .

الطريقة الجلفانية للتغطية :

و بها يعلق الجزء بصفة مهبط فى حمام الكتروليتى من محلول
مائى لاحد املاح المعدن المرسب و الخواص الواقية للتغطية الجلفانية
جيدة فى حين انها بسيطة تكنولوجيا .

التغطية الانتشارية :

للمصنوعات المعدنية و تجرى بواسطة الطلاء بالالومنيوم او
الطلاء بالكروم او التغطية الكروم او النتردة و قد تكلمنا عنا فيما
سبق . و تخلق طبقة واقية تحمى المعدن الداخلى من الصدأ .

التغطية بطريقة النثر :

و تتلخص فى نثر المعدن المصهور بواسطة الهواء المضغوط من
جهاز خاص (المذر) على سطح المعدن الذى ينظف قبل ذلك، و يغذى
الجهاز بالمعدن على شكل سلك يصهر اما بلهب غازى او بقوس
كهربائى . وتكون التغطية بهذه الطريقة مسامية و هى لذا اقل جودة

من التغطية الجلفانية . و يعطى بهذه الطريقة صناعيا الصلب – بالزنك و الكاديوم و سبائكهما ، كما تغطى المنشآت المصنوعة من الدورالومين بالالومنيوم و الزنك .

التغطية بطريقة ضغط طبقة واقية :

و تتلخص فى ايجاد طبقة على المعدن من معدن اخر يكون غلافا متينا واقيا . و عادة يغطى الحديد بالزنك و الصلب الغير قابل للصدأ و الدورالومين بالالومنيوم النقى .

الوقاية بالتغطية غير المعدنية :

اى بطلاء سطح الجزء المعدنى بالطلاء او اللاكيه و تستعمل على نطاق واسع نظرا لكونها فى متناول اليد و لبساطتها تكنولوجيا ، و اكثر انواع الطلاء انتشارا طلاء الزيت و الميناء اللاكيه . و عيب التغطية بالطلاء هو تشقق طبقة الطلاء و تمريرها للرطوبة .

الوقاية الكهربائية :

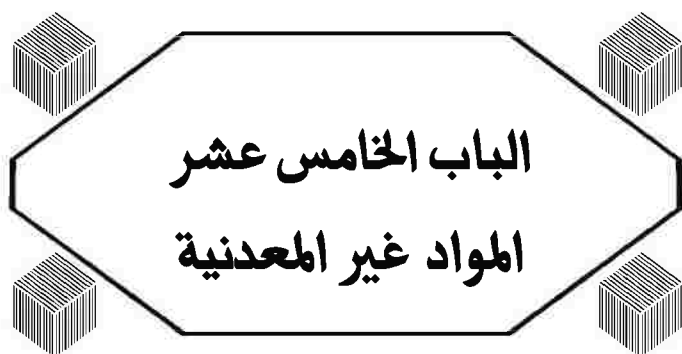
و تستعمل على نطاق واسع لحماية القزانات و اجزاء الصلب من التآكسد عند معاملتها حراريا فى حمامات ملحجية .

و تتلخص فى ان الجزء الذى تراد وقايته يوصل الى القطب السالب – المهبط – بشبكة للتيار المستمر تغذى من مولد او بطارية (مركم) و توصل بالمصعد صفيحة من الحديد او الزهر او الرصاص .

الوقاية بالمعدن الواقى :

و تتلخص فى ان المنشأة المنظفة توصل بقطعة من المعدن او السبيكة (الواقى) ذى جهد كهربائى سالب اعلى فى الوسط الذى

توجد به، من جهد المنشأة المراد وقايتها، ولما كان الواقع سيصبح مصعدا فإنه يتآكل فى حين تحفظ المنشأة التى ستصبح مهبطا من التآكل، و يستعمل الزنك كواق لمنشآت الصلب . وتستعمل الوقاية بالمعدن الوقى لحماية المنشآت التى تعمل فى ماء البحر و مواسير الماء الموضوعة فى التربة و الجزء الاسفل من السفن و الطائرات المائية و الطلمبات و غيرها .



الباب الخامس عشر

المواد غير المعدنية

و تنقسم المواد غير المعدنية الى مواد عضوية و مواد غير عضوية، و من المواد العضوية المواد الخشبية و اللدائن و المطاط و الورق و المواد الطلائية و الجلد و الفيبرو غيرها . و من المواد غير العضوية الزجاج والسليكات و الاسبستوس و الميكا و المواد الخزفية و الهباب و ما اشبهه .

1- اللدائن (البلاستيك) :

اللدائن مواد ذات بنية عالية الجزيئات من اصل عضوى . و تتحول هذه المواد عند تسخينها الى الحالة اللينة و تتخذ عند الضغط عليها الاشكال المطلوبة للاجزاء المراد صنعها .

و المواد الاولية اللازمة لصنع اللدائن هى المواد التفاعلية الحرارية و المواد ذات اللدونة الحرارية، و اساس المواد التفاعلية الحرارية هو الاصماغ المكثفة اما المواد ذات اللدونة الحرارية فأساسها الاصماغ البلميرية . و يمكن الحصول على الاصماغ المكثفة من بعض التفاعلات التى يصحب تكون المركبات عالية الجزيئية بها افراز نواتج للتفاعل (كالماء و الامونيا و غيرهما) و البلمرة هى عملية اتحاد عدة جزيئات لتكوين جزيء واحد كبير، و تنتج الاصماغ البلميرية فى عملية تكوين المركبات عالية الجزيئية دون افراز اى نواتج اخرى جانبية للتفاعل .

و تكبس المواد التفاعلية الحرارية عادة فى اسطوانات ساخنة، اما الاجزاء التى تصنع من المواد ذات اللدونة الحرارية فتصنع غالبا بالصب تحت الضغط، و اذا كانت الاجزاء تصنع من هذه المواد بالكبس فانه يجب تبريدها لتجمد . و تصبح المواد التفاعلية الحرارية بعد تجمدها فى الاسطوانات الساخنة غير قابلة للصهر او الاذابة و غير صالحة لاعادة الكبس و لذا تسمى هذه المواد غير قابلة للعكس . اما

المواد ذات اللدونة الحرارية فلا تتحول الى حالة تصبح معها غير قابلة للصهر او الاذابة و لذا يمكن اعادة تشكيلها بالكبس و تسمى هذه المواد بالمواد القابلة للكبس.

و تنقسم اللدائن حسب بنائها الى نوعين : بسيطة و مركبة، و من اللدائن البسيطة الزجاج العضوى (اكريلات) و الليتوت و الرزيت و البوليسيترول . و تتتركب اللدائن المركبة من عدة اجزاء مكونة المواد اللاصقة و الحشو و هى اضافات مختلفة، و المواد المدنة و المادة المشحمة و المعجلات و المواد الملونة .

*** المواد اللاصقة :** و هى التى تربط المركبات معا و تحدد نوع اللدائن و تؤثر على خواصها، و تستعمل كمواد لاصقة الاصماغ و الاثير و الاسفلت و السليلوز، و نسبة هذه المواد باللدائن نحو 30 – 60 % .

*** الحشو – اضافات مختلفة :** و تحسن من الخواص الميكانيكية لللدائن و تحدد خواصها التكنولوجية و الطبيعية والكهربائية و تخفض من تكاليفها، و تستعمل كحشو نشارة الخشب و نفايات القطن و الورق و الاقمشة القطنية و الاسبستوس او الميكا و الطلق و الالياف الزجاجية . و ينقسم الحشو حسب بنيانه الى مواد مسحوقية ليفية وصفية مشبعة بالصمغ و الحشوات المسحوقية هى نشارة الخشب و الاسبستوس المفتت على شكل مسحوق و الكاولين و الطلق و الطين المسامى . و من المواد الليفية الياف الاسبستوس و قصاصات او فروخ الورق و الاقمشة و الالياف الزجاجية و غيرها من المواد و تسمى المواد التى تنتج بوضع عدة طبقات من المواد الليفية و تشبييعها بالاصماغ الصناعية بالمواد الطبقية . و المواد اتلطبيقية و الليفية ذات مقاومة ميكانيكية عالية، و اللدائن التى يستعمل لحشوها الاسبستوس ذات

مقاومة عالية لارتفاع درجة الحرارة، وتعطى الميكا اللدائن خواصا عازلة للكهرباء ومقاومة حرارية مرتفعة . ونسبة الحشو باللدائن من 40 – 60 % و اكثر .

*** المواد الملدنة :** و تزيد من عجينية اللدائن وقابليتها للانسياب وتقلل من قصافتها وجسائتها . ومن هذه المواد الكافور والديبوتيلفتلات و التريكريزيفوسفات، وما أشبه .

*** مواد التزليق :** و تمنع التصاق اللدائن بالاسطمبات اثناء الكبس، و تستعمل كماد تزليق حامض الزيتيك و الستيارين و الشمع و ستيارات الكالسيوم .

*** المعجلات – العوامل المساعدى :**

مثل هكسا ميتيلنتترامين و غيره و تعجل بعملية .

*** المواد الملونة :** و تستعمل لاعطاء اللدائن الوان مختلفة و قد تكون عضوية او غير عضوية، طبيعية او صناعية، قابلة للذوبان فى الماء و الكحول او غير قابلة . و تنتج اللدائن التكستوليتية و التكستوليتية – الاسبستوسية بلونها الطبيعى دون اضافة اى مواد ملونة، و تلون المساحيق الفينولية بالالوان الاسود و البنى و غيرها . كما تنتج الاصماغ الفينولية المسبوكة بلون المرمر و العاج و غيرهما، و يجب ان تتحمل المواد الملونة درجة حرارة الكبس و الصهر، و ان تلون اللدائن جيدا والا تتفاعل معها والا يتغير تلوينها فى الهواء الجوى او تحت تأثير الضوء .

و يستعمل اكسيد الماغنسيوم و الجير الفينى و الليتوبان كاضافات خاصة لبعض المواد المكبسية، و تعمل هذه الاكاسيد

كمواد للتلميع و تقلل من التصاق المواد بالاسطمبات . و تلعب الخواص الطبيعية و الكيميائية، و الميكانيكية و التكنولوجية للدائن دورا كبيرا عند صناعتها . و اهم هذه الخواص الوزن النوعى و تحملها للحرارة و انكماشها و قابليتها للانسياب و سرعة تجمدها و نسبة الرطوبة بها و مقاومتها النوعية للصدمات و عازليتها للكهرباء و الحجم النوعى و غيرها من الخواص . و اللدائن من المواد الخفيفة فالوزن النوعى للأنواع المختلفة من اللدائن يتراوح من 0.5 – 2.0 جم / سم³ و لهذا فاللدائن تستعمل على نطاق واسع لتخفيف وزن المصنوعات .

* **تحمل الحرارة :** هو قدرة اللدائن على الاحتفاظ بخواصها الطبيعية و الميكانيكية عند ارتفاع درجة الحرارة .

* **الانكماش :** و هو نقص ابعاد المصنوعات عندما تبرد بعد اخرجها من الاسطمية الساخنة .

و يدل الفرق فى ابعاد الجزء و هو ساخن و ابعاده و هو بارد معبرا عنه بالنسبة لابعاد الجزء البارد فى المائة ، على مقدار الانكماش . و تتكماش المواد المكبوسة المحشوة بنشارة الخشب بمقدار 0.6 – 1.0 % و المحشوة بالاسبستوس بمقدار 0.3 – 0.6 % و بمعرفة مقدار انكماش اللدائن يمكن حساب ابعاد الاسطمية حسابا مضبوطا .

* **قابلية الانسياب :** و تبين قدرة المواد المكبوسة على ملء الاسطمية تحت تأثير الضغط و درجة الحرارة ، و تتوقف قابلية الانسياب على الاحتكاك الخارجى و الداخلى و سرعة تجمد اللدائن . و يتوقف الاحتكاك الداخلى على لزوجة الصمغ و خواص و حالة و كمية الحشو ، و يؤثر على الاحتكاك الخارجى درجة تلميع سطح القالب و

درجة التصاق المواد به و تتوقف سرعة تجمد الصمغ على تركيبه و درجة حرارة الكبس و على اضافات خاصة تعجل بعملية التجمد او تبطؤها .

❖ **سرعة التجمد :** و هى سرعة تحول اللدائن الى حالة البلمرة الكاملة، اى اتحاد الجزيئات المنفصلة لتكون جزيئات كبيرة، و تؤثر سرعة تجمد اللدائن بدرجة كبيرة على عملية تكون المصنوعات، فعند انقاص سرعة التجمد يجب زيادة مدة ابقاء المواد فى القالب تحت الضغط مما يبطىء من عملية الكبس و يخفض انتاجيتها .

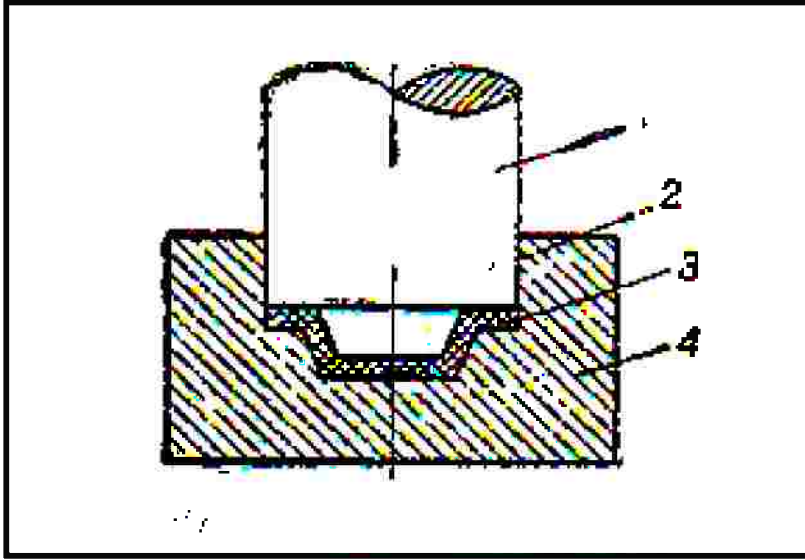
* **الرطوبة الزائدة :** ان الرطوبة الزائدة للمواد الكبس تؤثر تأثيراً سيئاً على جودة الجزء المكبوس، و تزيد من مدة الابقاء و تخفض معاملات العزل الكهربائى ز تؤدي الى زيادة الانكماش و الالتواء، و تجعل المظهر الخارجى للمصنوعات رديئاً، و لا يجب ان تزيد الرطوبة باللدائن عن 2 - 5 ٪ و عند وجود نسبة كبيرة من الماء باللدائن يجب تجفيفها او تسخينها .

* **مقاومة الصدمات :** مقاومة الصدمات لللدائن المحشوة بنشارة الخشب تتراوح بين 4 - 5 كجم/سم²، و لللدائن المحشوة بالالياف القطنية 9 كجم /سم² . و اهم طرق صناعة الاجزاء من اللدائن هى : الكبس و السبك تحت ضغط (الحقن) و السباكة فى قوالب .

* **طريقة الكبس :** و تتلخص فى ان فجوة القالب تملأ بالمواد المكبوسة ثم تعرض للضغط عند نظام حرارى معين . و تقوم بالضغط فى عملية تشكيل اللدائن مكابس هيدروليكية او ميكانيكية خاصة و لا يظل الضغط ثابتاً خلال عملية الكبس . فيصل الضغط عند بداية الكبس عندما تتحول المواد المكبوسة الى الحالة العجينة و تملأ

تجوييف القالب و تبدأ فى البلمرة - الى حد اقصى 100 - 500 كجم / سم 2 ، و ذلك حسب تعقيد شكل الجزء و عمق الجزء العامل من القالب. و عند نهاية التشكيل يكون الجزء لم يتجمد بعد ، و لا داعى لابقاء الضغط مرتفعاً فى لحظة تجمد الجزء ، و لهذا فان المكبس يوقف و يبقى ضغط قدره 12 - 15 كجم/سم2، و تخرج من المواد المكبوسة فى عملية الكبس غازات تتجمع فى التجوييف العامل للقالب ، و لازالة الغازات يجرى تخفيف الضغط لمدة 2 - 3 ثانية و يتلخص تخفيف الضغط فى ان المكبس يحول الى حركة الانفصال و يخرج الكباس لمسافة 8 - 10 مم من القالب فتخرج الغازات من خلال الخلوص بين جدران الكباس و غرفة الشحن . و القوالب المستعملة بطريقة الكبس ابسط تركيباً و ارخص من تلك المستعملة فى طريقة السبك .

و بشكل (88) رسم تخطيطى لقالب كبس من النوع المقفول و يمتاز بكون غرفة الشحن 2 عبارة عن استمرار لتجوييف القالب 4 الذى يدخل به الكباس 1 ، و يتوقف سمك الجزء 3 على كمية المادة المكبوسة المشحونة . و يمكن استعمال القوالب من هذا النوع للمواد المسحوقية و الطبقية و الليفية ، و لطريقة الكبس عيوب تتلخص فى ان تجمد المصنوعات يحدث أبطأ مما فى حالة السبك ، و فى استحالة كبس بعض انواع الوصلات المعدنية ، و صعوبة كبس عدد من الاجزاء ذات الفتحات غير النافذة ، و حدوث اجهادات و زيادة التشوه فى الاجزاء ذات الجدران المختلفة السمك .



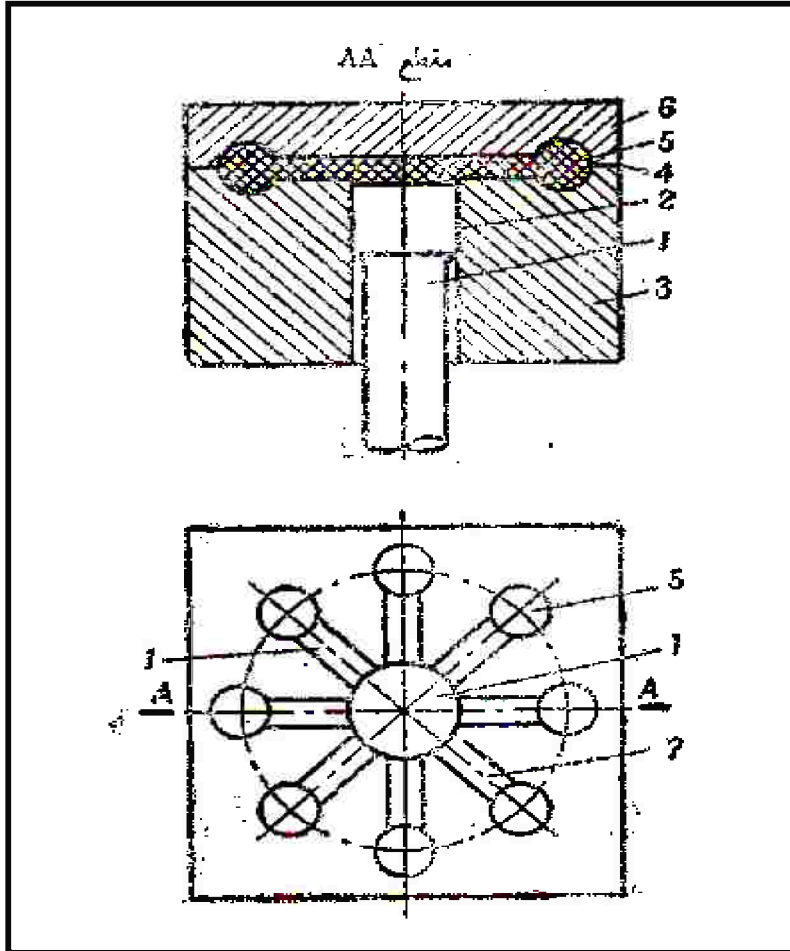
شكل رقم 88 ، رسم تخطيطى بقالب الكبس

و تتلخص طريقة السبك المكبسى فى ان غرفة الشحن تصنع منفصلة عن تجويف القالب و نتيجة لذلك فان القالب يكون مقفلا فى لحظة امتلائه بالمواد المكبوسة، و توضع المواد المكبوسة فى غرفة الشحن و تقع تحت تأثير الحرارة و الضغط، و عندما تتحول هذه المواد الى الحالة النصف سائلة فانها تتساب فى قنوات خاصة الى تجويف القالب، تجانس المادة المكبوسة فى حالة الكبس المسبكى اعلى من تجانسه فى حالة الكبس، نظرا لتجانس التسخين بجميع اجزاء المصنوعات، والضغط فى تجويف القالب فى هذه الحالة اكثر بكثير منه فى حالة الكبس و يصل الى 1500 – 2000 كجم/سم²، و تزول فى هذه الطريقة معظم العيوب التى تتميز بها طريقة الكبس .

و بشكل (89) رسم تخطيطى لقالب للكبس المسبكى ذى سطح انفصال افقى . ويتكون القالب من الكباس 1 و غرفة الشحن 2

(و يشغل الكباس بالرسم كل فراغ فى غرفة الشحن) و القالب 3 و سطح الانفصال 4 و الجزء 5 و الغطاء 6 و القنوات المتفرعة 7.

و بمكبس الكبس المسبكى مكبان يقوم احدهما باغلاق القالب بواسطة الغطاء 6 و يقوم السفلى بدفع المواد المكبوسة الى القالب بمساعدة الكباس 1 .



شكل رقم 89 ، رسم تخطيطى لقالب للكبس المسبكى للدائن بسطح انفصال افقى

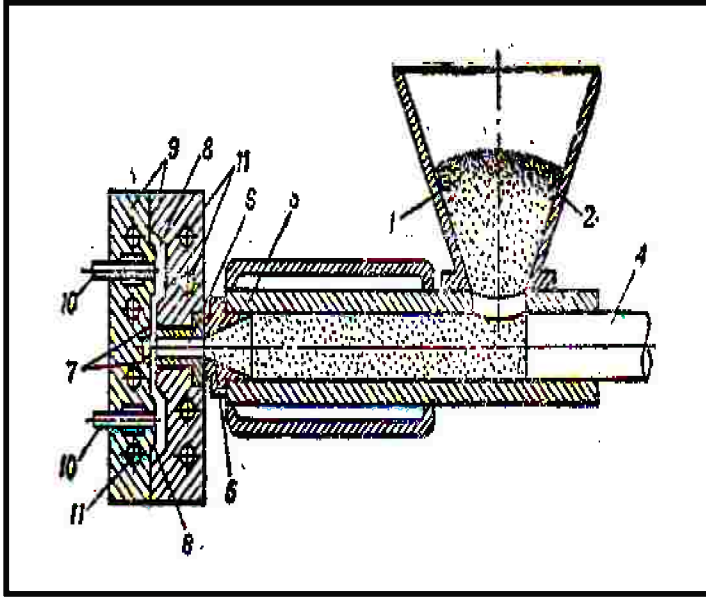
طريقة السباكة تحت الضغط (الحقن):

و تختلف عن طريقة الكبس المسبكي بان القوالب توضع فى ماكينات خاصة هيدروليكية و ميكانيكية للحقن . و بها تغذى المواد المكبوسة (شكل 90) اوتوماتيكيا من الصندوق 2 الى اسطوانة خاصة 3، و تسخن المواد فى هذه الاسطوانة تدريجيا حتى الحالة النصف سائلة و تكبس بواسطة الكباس 4 خلال الصمام (الفونية) 5 و القناة 6 و القنوات المتفرعة 7 الى تجويف التشكيل 8 بالقالب 9، و يجرى رفع الجزء المصنوع من تجويف التشكيل 8 بالقضبان الدافعة 10، و القنوات 11 بالقالب 9 تستعمل للتبريد و تتميز قوالب السباكة تحت الضغط يكون غرفة الشحن بعيدة عن القالب و تكون جزءا لا يتجزأ عن الماكينة، و يتراوح الضغط النوعى الذى يولده المكبس حسب تركيب المواد المكبوسة و قطر فتحة جلب السبك من 160 – 2000 كجم/سم² . و تمتاز هذه الطريقة بعدة مميزات بالنسبة لطريقة الكبس و الكبس المسبكي، ففى طريقة السباكة تحت الضغط تكون مدة الدورة اقل و انتاجية الماكينة اعلى بكثير فاذا كانت المدة المتوسطة للدورة لجزء وزنه نحو 30 كجم فى حالة الكبس المسبكي نحو 6 دقائق فان الدورة تستغرق لمثل هذه الاجزاء عند السباكة تحت الضغط 10 – 15 ثانية . و يمكن بهذه الطريقة تشكيل اجزاء ذات جدران مختلفة و شكل معقد مع جعل العملية اوتوماتيكيا تماما .

* طريقة السباكة فى قوالب : و تستعمل فى الحالات التى تصنع فيها الاجزاء من مواد لاصقة دون حشو .

و تستعمل اللدائن على نطاق واسع فى الفروع المختلفة للصناعة و فى صناعة الماكينات و فى الاستعمالات المنزلية، وبالذات فى صناعة

آلات الورش و الاجهزة و العدادات و السيارات و الجرارات و الصناعات الكيميائية و الكهربائية ، و تصنع من اللدائن جلب لكراسى المحاور و ايدى للأذرع و المنظمات و الازرار و اجسام الاجهزة و تابلوهات التوزيع و تيل و قباقيب الفرامل و تروس نقل الحركة و اجسام المراكم و زجاج البيان و عجلات القيادة و الاجزاء الداخلية بالسيارات و الاحواض و الصناديق و الخلطات و ما أشبه .



شكل رقم 90 ، رسم تخطيطى لماكينة حقن لسبك اللدائن تحت الضغط

و تستعمل اللدائن اساسا على شكل مساحيق للكبس تتحول الى مصنوعات بالكبس على الساخن ومن اهم هذه المساحيق المستعملة لعزل الكهرباء المساحيق المسماة بالكاربولىتية .

و تجهز من مساحيق الكبس اللوحات و القباقيب و بنز ماسك
الفرش و جلب حلقات التماس، و عندما تتطلب المصنوعات احتمالا
كبيرا للحرارة و مقاومة ميكانيكية تستعمل مادة اسبستوسية -
بكاليتية للكبس تحتوى على حشو من الياف الاسبستوس . و للاجزاء
المستعملة بالصناعة و بالمنزل والتي تتطلب مقاومة عالية للصدمات
تستعمل مادة (فيريت) ذات حشو من نفايات القطن، و تستعمل مادة
الكبس ذات الحشو من الاسبستوس للمصنوعات ذات المقاومة
الميكانيكية العالية و المقاومة عند درجات الحرارة العالية و على
الخصوص لاجزاء الفرامل، و يستعمل التكستوليست و هو عبارة عن
لدينة طبقة من طبقات توضع فوق بعضها و تشبع بالصمغ الريزول
ويضغط عليها نسيج قطنى (الشيفون، البياز، قماش الاحذية .. الخ)
لصناعة التروس و جلب كراسى المحاور و ما أشبه .

و تعتبر التكستوليست و المواد الكاربوليتية و الفيبريتية من
اللدائن الانشائية .

و يمكن زيادة المقاومة الميكانيكية بواسطة التسليح، اى
بصناعة اجزاء مركبة من اللدائن و الاجزاء المعدنية تربطهم ببعضهم فى
عملية الكبس .

و تعتبر اللدائن الاسبستوسية من لدائن الاحتكاك و هى ذات
خواص مفرملة و مقاومتها عالية للحرارة .و يستعمل هذا النوع من اللدائن
لصناعة قباقيب الفرامل و تيلها و اقراص القوابض (الكلتش)
للسيارات و الطائرات و عربات المترو و الترام و الحفارات و غيرها من
الماكينات، و التكستوليست لدينة مضادة للاحتكاك ذات مقاومة
ميكانيكية عالية و وزن نوعى صغير و مقاومة ضئيلة للاحتكاك و

ويستعمل التسكتوليسست على نطاق واسع كبديل للمعادن غير الحديدية لجلب كراسى المحاور الدرافيل و ما أشبه .

* اللدائن العازلة للكهرباء : و تستعمل لصناعة الاجزاء التى توجد عند استعمالها تحت تأثير جهد كهربى . و تستعمل كمادة كبس لها الاصماغ الفينول - انيلين فورمالدهيدية مع حشو معدنى كالميكامسحوق الكوارتز .

و يستعمل على نطاق واسع فى الصناعة البوليميتيل ميتكريلات و ينتج عن بلمرة الاثير الميثىلى لحامض الميتاكريليك . ويسمى البولى ميثيل ميتا كريلات فى الصناعة بالزجاج العضوى او البليكسيجلالاس لصناعة زجاج واجزاء الاجهزة .

و يمكن تشغيل اللدائن بازالة رايش كالخشب الصلب او النحاس الاصفر، و مع ذلك فللدائن عند التشغيل بعض الخصائص . فعند تشغيل اللدائن يكون تآكل الآلة القاطعة اكبر منه عند تشغيل الصلب، و يفسر هذا بعدم تجانس اللدائن و عدم تسارى صلابتها مركباتها المختلفة و رداءة توصيلها الحرارى .

و يجرى تشغيل الميكانيكى لللدائن بنشرها بالمناشير القرصية و الشريطية، و بخراطتها على المخارط باقلام من الكاربيد و بتفريزها بفرايز حلزونية ذات حد قاطع كربيدى، و تنقب اللدائن بمثاقيب حلزونية و تجلخ بالصنفرة المتصلة و باحجار الجلخ المعتادة و تلمع باقراص من القماش القطنى او من اللباد او الصوف مع استعمال معاجين (ГОИ) معهد البصريات الحكومى) .

2- المواد الحاكة (مواد التجليخ) :

تستعمل المواد الحاكة على نطاق واسع بصناعة الآلات القاطعة لتشغيل المعادن بالتجليخ القاطعة عادة على شكل احجار مختلفة الشكل الجانبى و المقاسات، و على شكل احجار مستطيلة و اقراص و قطاعات، و كذلك على شكل مساحيق و حبيبات تجليخ مختلفة المقاسات و الخواص و الصنفرة . و يمكن بهذه الآلات تشغيل اى مواد او معادن ابتداء من اكثرها ليئا (الالومنيوم) حتى السبائك الصلدة .

و تتركب احجار الجليخ من حبيبات صغيرة من مادة التجليخ تربط فيما بينها بمادة لاصقة خاصة، و تزيل حبيبات حجر الجليخ رايشا دقيقا من الجزء المشغل فتعطيه سطحا عالى الجودة من ناحية النعومة و كذلك من من جهة دقته، و تختلف احجار الجليخ حسب : (1) مادة الحبيبات . (2) الحبيبة . (3) الصلادة . (4) المادة اللاصقة . (5) الشكل و المقاس .

و مواد التجليخ اما طبيعية او صناعية، و من مواد التجليخ الطبيعية الحجر الرملى و الكورندوم و الحجر الكورندى - الحديدى .
* الكورندوم : و هو اعلى مواد التجليخ الطبيعية، و يحتوى على 90 ٪ من الالومينا، و تحتوى مواد التجليخ الطبيعية على شوائب تسبب الى خواصها القاطعة .

* الماس : و هو اصلد مواد التجليخ الطبيعية و لكنه لا يستعمل الا لتسوية حبيبات احجار الجليخ المتآكلة فى الاعمال الدقيقة .

* الكورندوم الصناعى : و يحتوى على الالومينا بنسبة تصل الى 95 ٪ و تسمح صلادة الكورندوم العالية و قدرته عند التكسير على

اعطاء مكسر متشعب ذى جوانب حادة - باستعماله لصناعة احجار الجليخ و يسمى الكورندوم الصناعى الذى يحصل عليه بصهر المواد الغنية بالالومينا بواسطة الكهرباء - الكورندوم الكهربائى . ويستعمل فى الوقت الحاضر كمادة تجليخ لصناعة الآلات القاطعة للكورندوم الكهربائى المعتاد و الابيض و كارييد السليكون الاسود و الاخضر و كارييد البوريوم و الكورندوم الطبيعى .

* الكورندوم الكهربائى : و هو عبارة عن اكسيد الومينوم متبلور يحصل عليه بالافران الكهربائية من الالومينا النقية (البوكسيت) والكورندوم الكهربائى المعتاد او كما يسمى الالوندوم، ذو لون وردى - احمر او بنى . و الكورندوم الكهربائى (الالوندوم) يحتوى على 87 - 97 ٪ من اكسيد الالومنيوم و 0.4 - 3.0 ٪ اكسيد حديد و كمية صغيرة من اكسيد السليكون والتيتانيوم و الكالسيوم .

* الكورندوم الكهربائى المعتاد : درجة انصهار حبيباته 1950 - 2000 ° و وزنه النوعى 3.8 - 3.9 جم / سم³ و صلابته الميكروسكوبية 2200 - 2600 كجم/مم²، اى اكثر مرتين من صلابة الصلب المصلد . و يحتوى الكورندوم الابيض بالاضافة الى اكسيد الالومنيوم على اكسيد الحديد و السليكون و التيتانيوم و الكالسيوم و بالاضافة الى الكورندوم الابيض المعتاد و الابيض (مونوكورندوم) يحتوى على نحو 98 ٪ من اكسيد الالومنيوم و 0.9 ٪ من اكسيد الحديد و هو ذو خواص ميكانيكية عالية بالمقارنة بالكورندوم المعتاد . و تستعمل احجار الجليخ الكورندومية لسن الآلات

القاطعة و لتجليخ المعادن ذات المقاومة العالية عند الشد و الاستطالة الكبيرة .

* كارييد السليكون : او كما يسمى الكاربونديوم و هو مركب كيميائى من السليكون و الكربون يتكون عند 2200 – 2300 ° . و الوزن النوعى لكارييد السليكون 3.1 – 3.2 جم / سم³ و صلابته الميكروسكوبية 3310 كجم/مم² ، و يحتوى كارييد السليكون الاسود على 97 – 98 % من السليكون مع الكربون و 0.6 – 0.7 % اكسيد حديد . و كارييد السليكون الاخضر له خواص ميكانيكية افضل . و اهم خواص كارييد السليكون هى حدة جوانب حبيباته و صلابته العالية ، ولكن متانته (مقاومته للصدمات) منخفضة ، و لذلك تستعمل احجار الجليخ من كارييد السليكون لتجليخ المواد القصفة و اللينة (الزهر و البرونز و الالومنيوم) .

و يستعمل لسن الآلات القطع المزودة بالكارييدات الصلدة كارييد السليكون الاخضر الذى يحتوى على كارييد السليكون بنسبة لا تقل عن 97 % .

* كارييد البوريوم : و يحتوى على كارييد البوريوم المتبلور بنسبة تصل الى 95 % و صلابته اعلى من صلادة كارييد السليكون و يستعمل لتحضين الآلات الكارييدية الصلدة و تصنع احجار الجليخ من مواد تجليخ تنتج فى الافران على شكل قطع كبيرة و كتل ، و ذلك بتكسيروها الى حبيبات ذات جوانب حادة ، و تربط الحبيبات المفتتة بعد فرزها حسب الحجم ببعضها بمادة لاصقة تحفظ هذه الحبيبات المفتتة بعد فرزها حسب الحجم ببعضها بمادة لاصقة تحفظ هذه الحبيبات على سطح احجر حتى تتلحم حدودها .

* حبيبة احجار الجليخ : و يحددها حجم الحبيبات و يجرى فرز الحبيبات بطريقة النخل و تستعمل للحبيبات التى يتراوح حجمها من 150 – 2300 ميكرون (0.15 – 2.3 مم) و تحدد الحبيبة بعدد الثقوب بالبوصة الطولية من المنخل الذى تتخل به الحبيبات و الرقم الذى يحدد مقدار الحبيبة .

$$n = \frac{25.4}{a+b}$$

حيث a عرض فتحة المنخل (مم) ، b سمك خيط المنخل (مم) و تحدد المواصفات القياسية السوفيتية 28 (28) رقما للحبيبة تنقسم الى ثلاث مجموعات : المجموعة الاولى – و هى حبيبات التجليخ من الارقام 24, 20, 16, 14, 12, 10, 70, 60, 54, 44, 36, 30, 90, 80. و المجموعة الثانية – هى مساحيق التجليخ و ارقام حبيباتها 320, 280, 240, 220, 180, 150, 120, 100 و المجموعة الثالثة – و هى المساحيق الميكروسكوبية و ارقامها M5, M10, M7, M28, M20, M14. و على سبيل المثال فان M28, M20 تعنى ان الحبيبات التى تنتمى الى هذه الدرجة ذات مقطع من 20 – 28 ميكرون فى الحالة الاولى و من 14 – 20 ميكرون فى الحالة الثانية .

و تعتبر الآت التجليخ التى تجهز من حبيبات ارقامها من رقم 10 الى رقم 99 و من ضمنها هذه الاخيرة كبيرة الحبيبات فى حين تعتبر المصنوعة من مساحيق حبيباتها من رقم 100 الى رقم 180 و متضمنة الرقم الاخير صغيرة الحبيبات و من رقم 220 الى رقم 320 صغيرة الحبيبات . و ترتبط حبيبات التجليخ و مساحيقه عند صناعة الآت

التجليخ بمواد لاصقة و اكثر هذ المواد انتشارا المواد الخزفية غير العضوية التى تصنع من الطين الحرارى الابيض و الطلق و السبار و المواد العضوية البكالييتية و الفولكانييتية .

* المواد اللاصقة الخزفية : و مقاومتها للرطوبة و الحرارة والعوامل الكيميائية اعلى من مقاومة المواد اللاصقة الاخرى . و تحتفظ المواد الخزفية بالشكل الجانبى العامل لحد الحجر و لكنها حساسة للصدمات و احمال الثنى، و خاصة عندما يكون الحجر رقيقا، ويمكن ان تعمل الاحجار ذات المواد اللاصقة الخزفية عند سرعة محيطية لا تزيد عن 35 متر /ثانية اذ انها شديدة القسافة و تكسر بسهولة تحت تأثير الصدمات، و يمكن ان تعمل بعض الانواع الخاصة من احجار الجليخ و القطاعات و الاحجار المستطيلة و الرؤوس المادة اللاصقة الخزفية . و تستعمل الآت التجليخ هذه لجميع انواع التجليخ فيما عدا عمليات القطع و فتح المشقبيات الضيقة . و ترمز المواد اللاصقة الخزفية بحرف K فى ترقيم الاحجار .

اما احجار الجليخ ذات المادة اللاصقة الباكلييتية فهى ذات مقاومة و مرونة عالية و تسمح بالعمل بسرعة محيطية تصل الى 50متر/ثانية، و فى بعض الحالات الخاصة عند التشغيل باحجار قطع رقيقة الى 75 متر/ ثانية، و تصنع احجالا الجليخ و القطاعات و الاحجار المستطيلة المستعملة للقطع و فتح المشقبيات الضيقة و لتجليخ الصلب المصلد و سن الآلات و عند التجليخ باقراص جليخ مكونة من القطاعات و الاحجار المستطيلة و عند التجليخ الواجهى و التحضين و تجليخ الاسطوانات و القلاووظ - تصنع بمادة لاصقة بكالييتية . و يرمز للمادة اللاصقة البكالييتية بحرف B .

و احجار الجليخ ذات المادة اللاصقة الفولكانيتية اكثر مرونة و اقل مقاومة للحرارة من البكاليتية . ذا ان المادة الفولكانيتية ذات بنية شديدة الكثافة و لا تصلح لازالة علاوة تجليخ كبيرة ، تصنع الاحجار القرصية و الاحجار المسطحة و الرؤوس بمادة لاصقة فولكانيتية .

و تستعمل هذه الاحجار للقطع و فتح المشقبيات و كذلك عند شق و تجليخ الاسطح الكروية و فى عمليات التشطيب و التجليخ الواجهى و فى التجليخ اللاذنبى (الاحجار المحركة) . و علاوة على خواص مادة التجليخ و الحبيبة و تركيب المادة اللاصقة و قدرتها على الاحتفاظ بالحبيبات المخلخة فى وقت العمل ، ويسمى حجر الجليخ لينا عندما يسهل نزع الحبيبات منه ، و صلبا اذا كان نزع الحبيبات منه صعبا . وتتوقف صلابة الحجر على صلادة المادة المشغة فاذا كان الحجر شديد الصلابة فانه سرعان ما تشحن فجواته بالرايش كما يسخن الجزء المشغل ، و اذا كان الحجر شديد الليونة فانه يتآكل بسرعة و لا يعطى تجليخا مضبوطا .

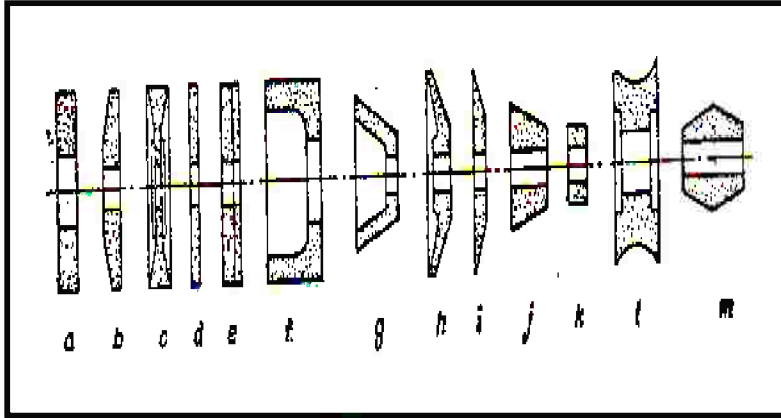
و تستعمل لتجليخ الصلب المصلد احجار لينة اذ ان الحبيبات الثالمة تنتزع بسهولة فنكشف حبيبات جديدة حادة الجوانب ، و عند تجليخ الصلب اللين تستعمل احجار صلبة ، و تستعمل لتجليخ النحاس الاصفر احجار لينة كبيرة الحبيبات اذ ان الاحجار الصلبة تشحن فجواتها بالرايش بسرعة .

و يفهم بصلابة آلة التجليخ مقاومة المادة اللاصقة لانتزاع الحبيبات المخلخة من سطح اليلة تحت تأثير القوى الخارجية ، و تنقسم آلات التجليخ حسب صلابتها تبعا للمواصفات القياسية السوفيتية الى الدرجات الاتية :

M3 ,M2 ,M3	M – لين
CM1 ، CM2.....	CM – متوسط اللينة
C1 ، C2.....	C – متوسط
C1 ، C2 ، C3.....	CT – متوسط الصلابة
T1 ، T2.....	T – صلب
BT1 ، BT2.....	BT – شديد الصلابة
٣T1 ، ٣T2.....	٣T – بالغ الصلابة

و تنتج الآت التجليخ ذات المادة اللاصقة الخزفية و البكالييتية بجميع درجات الصلابة و مشتقاتها، و تنتج الآت التجليخ ذات المادة اللاصقة الفولكانييتية من الدرجات CM ,C ,CT ,T فقط .

* شكل احجار الجليخ : و هناك اشكال مختلفة تقابل عمليا لاحجار الجليخ و بشكل (91) اشكال بعض احجار الجليخ، و تستعمل الاحجار المسطحة (92 ، a-e) للتجليخ الاسطوانى الخارجى، و الاحجار الفنجانية الشكل (شكل 92 ، g,f) تستعمل اساسا لتجليخ السطوح المستوية . و تستعمل الاحجار الطبقيه الشكل (91 ، i,h) لسن الفرايز و البراغل و ذكور القلاووظ و ما أشبه و و بشكل (91 ، l,k) بينا احجارا لتجليخ السطوح الداخلية الاسطوانية و المخروطية، و بشكل (91 ، l) بينا حجر لسن الابراما الحجر بشكل (91 ، m) فيستعمل لسن اسلحة الحاصدات .



شكل رقم 91 ، أشكال احجار الجلخ :

a,b,c,d,e - مسطحة ، g,f - طبقية ، j , k - التجليخ

الداخلي ، l - لسن الابر ، m - لسن اسلحة الحاصدات

و تتراوح اقطار الاحجام من 3 الى 2500 مم، و يجب عند اختيار خواص المادة اللاصقة و الحبيبة و صلابة الاحجار ان نبني هذا الاختيار على اساس الشروط التالية : لتجليخ انواع الصلب المصلد يجب استعمال الاحجار اللينة، و لتجليخ المعادن اللينة تختار الاحجار الصلدة ذات البنية المسامية، ولزيادة الانتاجية تستعمل احجار كبيرة الحبيبات، و للحصول على نعومة افضل للسطح المشغل نستعمل احجار صغيرة الحبيبات .

فعلى سبيل المثال لتجليخ الصلب الانشائي المصلد تجليخا اسطوانيا يستعمل حجر نوع المادة المجلخة به 3 و 3b وحبيته 36 - 80 و صلابته M3CM1 و المادة اللاصقة به K او B و لتجليخ البرونز الصلد يؤخذ حجر مادة التجليخ به 3 و حبيته 36 - 60، و صلابته M3-CM1 و المادة اللاصقة K . و يوجد لجميع احجار الجلخ ترقيم

خاص يميز خواصها من جهة الصلابة و الحبيبية و المادة اللاصقة و نوع المادة المجلخة مع بيان السرعة المحيطية التى يضمن معها امن العمل .

و تتلخص عملية التحضين فى ازالة جزيئات من المعدن بواسطة المواد المجلخة، و تجرى عملية التحضين بمحضنات من الزهر و النحاس و الرصاصو ما أشبه تشبع سطوحها بالمساحيق المجلخة المخلوطة بالزيت، و تستعمل كمادة للتجليخ الصنفرة ومسحوق الكورندوم و الكاربورندوم ذى الحبيبة من 80 – 120 للتحضين، و الاولى و 150 – 240 للتحضين النهائى، و بالاضافة الى ذلك تستعمل المعاجين ГОИ (معهد البصريات الحكومى) ذات الحبيبة من M28 الى M5 و يدخل فى تركيب المعاجين اكسيد الكروم (74 – 81 %) و عدد المكونات الاخرى (السليكا و السنيارين و الشحم المفتت و غيرها) .

و تستعمل لتحضين الاجزاء احجار الجليخ المستطيلة المصنوعة من الكورندوم الكهربائى ذات المادة اللاصقة الخزفية او الكاليتية و تؤخذ الاحجار المستطيلة بحبيبة من 320 الى M20 – و صلابة CM3- M3 للمواد اللينة و M3-M1 للصلب المصلد . و يجرى التلميع باحجار لينة مشبعة بالمعاجين او مساحيق التجليخ للحصول على سطح لامع كالمرآة للاجزاء المشغلة .

3- مواد التزليق (التزييت) و التبريد :

استعمال مواد التزليق (التزييت) :

و يتلخص فى تحقيق طول مدة عمل الاجزاء المحتكة باى مكيئة، و يوضع سائل التزليق على السطوح المحتكة لاجزاء الماكينة فيكون فيما بينها اغشية سائلة مزلفة تنقص من مساحة التلامس

المعدنى المباشر للسطحين المحتكين او تمنع هذا التلامس كلية، و تخفض بذلك معامل الاحتكاك وما ينشأ عنه من فقدان للقدرة بالماكيـنة، و بالاضافة الى ذلك فان سوائل التزليق بسريرانها بين السطحين المحتكين تحسن من توصيل الحرارة و تخلق ظروفـا مناسبة للعمل الطبيعى للازدواج المحتك . و يساوى معامل الاحتكاك للسطوح غير المزيتة 0.1 – 0.5 تقريبا فى حين لايزيد هذا المعامل عندما تفصل هذه السطوح طبقة تزييت متصلة عن 0.002 – 0.01 و فى الحالة الاخيرة يكون فقدان الطاقة بالماكيـنة بسبب الاحتكاك اقل 50 مرة منه فى حالة عدم التزييت .

و تنقسم مواد التزييت الى مواد معدنية و حيوانية و نباتية ، و تستعمل فى الوقت الحاضر الزيوت المعدنية على نطاق واسع كمـواد تزييت اساسية و الزيوت ذات الاصل المعدنى هى من نواتج تكرير البترول، و هى اكثر مواد التزييت استعمالا لتزييت الجرارات و السيارات و الطائرات و آلات الورش و مختلف المعدات .

و قد كان العالم الروسى البارز أ.د. مندلييف من اوائل من لفتوا الى اهمية الحصول على مواد التزييت من مازوت النفط القوقازى . و تتميز انواع الزيوت المعدنية بخواصها الطبيعية – الكيميائية التى يجب ان تلبى شروطا معينة تتوقف على ظروف استخدامها، فيجب ان ينتشر الزيت جيدا على سطح المعدن و ان يلتصق بقوة الى السطوح المعدنية، و تسمى هذه الخاصية بالزيتية او القدرة على التزييت او القدرة على الالتصاق، و كلما كان السائل اكثف كلما زادت لزوجته، و لا يمكن ان تستعمل كمـواد للتزييت الا السوائل التى تتصف فى نفس الوقت بزييتية و لزوجة كبيرتين، و كلما ان مواد التزييت تتميز بكمية

احتوائها على الشوائب الضارة وبقابليتها للالتهاب و بدرجة حرارة تجمدها ووزنها النوعى .

و اكثر انواع الزيوت استعمالا فى صناعة آلات الورش هى زيوت المحاور (الماركات 2، 3) و زيوت الماكينات (الماركات T, C, Π) و الاسطوانات والشحم الفازلينى و الفيلوسيت، و يستعمل لتزييت المجارى الافقية للآلات الورش عند العمل بسرعات كبيرة و حمولة صغيرة - زيت المحاور 3 ذى اللزوجة 2.8 - 3.2، و الوزن النوعى 0.881 - 0.901، ودرجة الالتهاب 170 ° ودرجة التجمد - 15 ° . و لتزييت صناديق التروس التى تعمل بسرعات كبيرة يستعمل زيت الماكينات Π ذى اللزوجة 4.0 - 4.5 و الوزن النوعى 0.886 - 0.916، و درجة التهاب 180 ° ودرجة التجمد - 10 ° .

و بالاضافة الى ذلك تستعمل فى صناعة آلات الورش شحوم التزليق، و تتكون هذه الشحوم من خليط غروى دقيق من الزيت المعدنى (75 - 95 %) و الصابون و تستعمل بنجاح لتزييت التركيبات التى تعمل على سرعات بطيئة و حمولة كبيرة عندما يكون توصيل الزيت السائل صعبا او غير اقتصادى .

و لتزييت محركات الطائرات تستعمل زيوت الطيران من الماركات MC-24, MC-20, MC-14, MK-22 ودرجة التهابها فى بودقة مغلقة 200 و 230 و 235 و 240 ° و درجة تجمدها - 14 و، - 30، - 18، - 17 ° و تستخرج زيوت الطيران هذه من افضل انواع البترول الزيتى، و لتزييت محركات السيارات شتاء عند درجات الحرارة الاقل من - 15 °، و كراسى محاور المحركات الكهربائية و المولدات التى تعمل على سرعات تصل الى 1000 لفة / دقيقة، و يستعمل

الافتول 4 و لزوجته 3.5 – 4 و درجة التهابه فى بودقة مفتوحة لا تقل 180 °، و درجة تجمده لا تزيد عن - 30 ° .

* سوائل التبريد و التزيت : و تستعمل لتسهيل عملية تشغيل المعادن بالقطع، مما يسمح بزيادة سرعة القطع و بالتالى بزيادة الانتاجية، و يجب ان تكون هذه السوائل ذات خواص مضادة للصدأ، و ان تكون درجة التهابا عالية لتجنب خطر الاشتعال، و يجب الا تسبب اى تهيج للاغشية المخاطية و لجلد العمال و يجب ان تكون درجة التهابها عالية لتجنب خطر الاشتعال، و يجب الا تكون ذات رائحة كريهة .

و تنقسم سوائل التبريد و التزيت المستعملة عند تشغيل المعادن بالقطع الى سوائل مبردة، و مبردة و مزيتة، و مزيتة و مبردة جزئيا .

** و من السوائل المبردة محاليل الالكتروليتات و يدخل فى تركيبها الماء و المواد المانعة للصدأ المسماة (بمانعات الصدأ) مثل كربونات الصوديوم و سليكات الصوديوم و البوتاسيوم – و الزجاج السائل و نترت الصوديوم وما أشبه .

** والسوائل المبردة و المزيتة عبارة عن محاليل مائية لمواد فعالة سطحية (الصوابين) و تحتوى على الماء و المواد الفعالة سطحية (انواع الصابون : البوتاسومية و الصوديومية و التريتانولامينية و البترولية و حوامض الزيتيك و زيت الخروع المكبرت و غيرها ..) و مانع للصدأ، وكذلك المستحلبات و المحاليل الشفافة و يدخل فى تركيبها الماء و المواد الفعالة سطحية و الزيت المعدنى المستحلب (المضاف اليه الصابون و املاح الاحماض الشحمية) و مانع الصدأ .

*و من السوائل المزيّنة و المبردة جزئيا المستحلبات المزايدة فعاليتها وتحتوى على الماء و المواد الفعالة سطحيا و الزيت المستحلب و مانع الصدأ كما يحتوى على الزيوت : المعدنية و المعدنية المزايدة فعاليتها بالمواد الفعالة سطحيا المكبرنة او المحتوية على كبريت، و المكبرنة و الكلورة، و المركبة (المتكونة من زيت نباتى و معدنى) و الزيوت المكبرنة مع اضافات (من الجرافيت) .

و المستحلبات عبارة عن خليط من سائلين غير قابلين للذوبان كلياً او جزئياً، وبها ينتشر احد السائلين فى الآخر على شكل نقط بالغة الصغر، و لزيادة استقرارها تضاف اليها المثبتات (مثبتات المستحلبات)، و مثبتات المستحلبات هى الصوابين - املاح الاحماض الشحمية .

و يتم اختيار سوائل التبريد و التزييت و استعمالها فى الصناعة حسب طريقة تشغيل الاجزاء و قابلية المادة للتشغيل، و حسب المعدات و الآلات المستعملة، و بحيث تضمن سلامة العامل و الحفاظ على المعدات و آلات الورش الثمينة و آلات القطع و القياس الغالية، و للحصول على جودة عالية للمصنوعات .

و تزييت المخارط الآلية بالزيوت اساساً و لا تستعمل سوائل التبريد و التزييت المائية (المستحلبات) الا على نطاق محدود، اذ ان وقوع المستحلبات فى كراسى المحاور يؤدى الى تحويل الزيت الموجود بها الى مستحلبات و من ثم الى تزييت السطوح العاملة للكراسى بالمستحلب بدلا من الزيت .

و قد اعطت الزيوت المكبرنة (السولفا فيزول) نتائج حسنة فى كثير من العمليات النهائية لتشغيل الصلب على المخارط

الاتوماتيكية و النصف اوتوماتيكية و مخارط قطع المسامير و القلاووظ و قطع التروس .

و السولفافيزول سائل مزيت - مبرد يدخل فى تركيبه الزيت المعدنى المازدة فاعليته بالكبريت (بما لا يقل عن 1.7 %) و المواد الصبغية . و درجة التهاب السولفافيزول لا تقل عن 140 ° و لا يدخل الماء فى تركيبه . و يستعمل عند الخارطة النهائية و التفريز والثقب (بنسبة طول الثقب الى قطره 3 - 5) محلول مائى للصابون يحتوى على 0.5-1.0 % من الصابون و 0.5-0.75 % من الصودا المكلسة او ثالث نترات الفوسفات و 0.25% من نترات الصوديوم، وكذلك المستحلب المحتوى على 3-4% من زيت المستحلب (الامولسول) و 0.3 % من الصودا المكلسة او ثالث نترات الفوسفات او 0.2% من الزجاج السائل .

و الامولسول محلول غروى للصوابين و الاحماض العضوية فى زيوت معدنية مثبتة بالماء او بمحلول كحولى ، و ينتج فى الصناعة الامولسول على عدة انواع يدخل فى تركيبها 7 % من حامض الزيتيك و 10 % من القلفونية و نحو 4 % من محلول الصودا الكاوية و 2.5-4% من الكحول والباقى زيت محاور رقم 3 .

و يجب ان تستعمل عند تشغيل سبائك الماغنسيوم زيوت معدنية منتقاة جيدا ، و يجب الا تستعمل المحاليل المائية و المستحلبات لتجنب الاشتعال .

و يمكن تشغيل سبائك الالومنيوم باستعمال الزيوت المعدنية وزيت السولار ، و يفضل عدم استعمال السوائل المبردة - المزيطة عند تشغيل الزهر و غيره من المعادن غير اللدنة و ذلك لضعف تأثير هذه السوائل على الزهر بما يحدث عند تشغيل المعادن اللدنية .