إن تطور العديد من أنظمة التقنية الحديثة، مثل محطات إنتاج الطاقة النووية والطائرات النفاثة السريعة ومراكب الفضاء، وكذلك أنظمة الحاسوب والاتصالات بأنواعها، أدى إلى الشعور بأهمية مواد التصنيع الأساسية كخيار أولي لأي تصنيع أو تطوير هندسي، بالإضافة إلى البحث عن مواد جديدة وبدائل للمواد المستعملة حاليا، فإن الاستفادة المثلى من المواد لا يتأتى إلا بفهم عميق لخواصها الميكانيكية والفيزيائية والكيميائية، وتركيباتها البلورية وتأثرها بالعوامل المحيطة.

1. مفاهيم تصنيف المواد:

يوجد هناك عدة تقسيمات للمواد الهندسية أهمها تلك التي تعتمد على طبيعة المادة وخواصها ومن هذه، تقسيم المواد إلى مواد معدنية وغير معدنية مع وجود تفريعات كثيرة لكل منهما كما بالشكل (1-1).

1-1 المواد المعدنية:

تتكون المواد المعدنية أساسا من عناصر المعادن والتي تتجاوز 80 عنصراً في حين أن المستعمل منها في النواحي الهندسية لا يتجاوز 20 عنصراً، ومن أهم هذه العناصر الحديد والنحاس والالومنيوم والكروم والنيكل وغيرها.

وهذه المعادن قد تستخدم نقية، وفي معظم الأحيان تضاف إلى بعضها البعض بنسب معينة لتكوين السبائك، وذلك أن الخواص الميكانيكية للسبائك أفضل

أما المعادن غير الحديدية فلها خواص فيزيائية مهمة مثل التوصيل الكهربي والحراري الجيد الذي يتمثل في النحاس والالومنيوم والفضة أو خفة الوزن كالماغنيسيوم والالومنيوم والتيتانيوم أو مقاومة التآكل كالالومنيوم والكروم أو مقاومة التأكسد عند درجات الحرارة العالية كما في سبائك النيكل وهكذا فإن المعادن وسبائكها تتنوع في خواصها وتطبيقاتها.

2-1 المواد غير المعدنية:

تحتوي المواد غير المعدنية على عدة أنواع متباينة من ناحية الخواص ومن ناحية الاستعمال، فالخشب خفيف الوزن وذو مرونة العالية قد ثم استخدامه في الكثير من المجالات لقرون عديدة وهو من المواد غير المعدنية الطبيعية، ومثله الطوب والرمل. ومن هذه المجموعة ما هو غير معدني صناعي مثل المواد البلاستيكية والخزفية والزجاج والمواد المركبة.

ا- المواد البلاستيكية:

تتكون المواد البلاستيكية من سلاسل هيدروكربونية مرتبطة مع بعضها البعض بروابط تساهمية، وهي في معظمها مواد غير متبلرة ولها خواص ميكانيكية اقل جودة من المواد المعدنية خاصة عند إرتفاع درجات الحرارة عن 150 دم، إلا أنها لها خواص أخرى على درجة كبيرة من الأهمية مثل العزل الحراري والكهربي وخفة الوزن ومقاومة التآكل وسهولة التصنيع بالإضافة إلى إنتاج أحجام مختلفة وأشكال معقدة ذات تشطيب نهائي في خطوة واحدة.

ب- المواد الخزفية:

يوجد بالمواد الخزفية عناصر معدنية ومركبات تحتوي على عناصر غير معدنية مترابطة مع بعضها البعض بروابط أيونية وتساهمية، وقد تكون مواد متبلرة أو غير متبلرة أو مزيج منهما. وتمتاز المواد الخزفية بصلادتها الكبيرة ومقاومتها العالية للحرارة، ولا يحد من إستخدامها سوى قابليتها للكسر، فمعظم المواد الخزفية مواد هشة لا تتحمل الصدمات الفجائية.

ولقد ثم أخيراً تطوير بعض الأنواع من الخزفيات التي تتصف بصلابة أفضل من الخزفيات التقليدية، ومن الصفات الأساسية المتميزة للخزفيات عزلها الحراري والكهربي مما جعلها مناسبة للعديد من التطبيقات الهندسية المتطورة مثل سفن الفضاء وصناعة الأفران والعوازل الكهربية والمكتفات والمجسات وغيرها.

ج- المواد المركبة:

يتلخص مفهوم المواد المركبة في وجود أكثر من مادة في وسط واحد ويكون الترابط بينها فيزيائيا. وتحتوي المواد المركبة على مادة تكون مالئة أو مانحة للقوة مثل الألياف الزجاجية والألياف الكربونية وكذلك مساحيق العديد من العناصر والمركبات، ومادة أخرى رابطة مثل بوليميرات الايبوكسي و بولي إستر، ويمكن تصنيع نوعيات مختلفة من هذه المواد بإستخدام تراتيب مختلفة لطبقات الألياف.

والجدير بالذكر أن المواد المركبة لها قوة شد تتجاوز قوة معظم المعادن أو السبائك المستخدمة حاليا، هذا بالإضافة إلى خفة الوزن التي تضاهي سبائك الالومنيوم، مع مقاومة جيدة للظروف الجوية، الأمر الذي يجعل المواد المركبة مناسبة لصناعة الهياكل المعدنية المستخدمة في السيارات والعربات والقوارب والسفن والطائرات وكذلك الأنابيب الناقلة للمياه والمقاومة للظروف الجوية في مجال النفط وغيرها من التطبيقات الهندسية المختلفة.

البنية الداخلية للمواد

تتركب جميع المواد مهما اختلفت مصادرها أو مكوناتها من ذرات لها أوزان ذرية متباينة في الكتلة، وهذه الذرات ترتبط مع بعضها البعض بروابط وقد تتكتل في مجموعات بلورية أو مواد غير متبلرة مما يجعل كل نوع منها ذات خواص فيزيائية وميكانيكية محددة.

1-2 أنواع الروابط الذرية:

تنقسم روابط الذرات إلى نوعين إحداهما الروابط القوية، وهذه الروابط على درجة كبيرة من الأهمية بسبب تواجدها في معظم المواد الصلبة في حين أن الروابط الضعيفة توجد معظمها في السوائل و الغازات.

روابط قوية : الرابطة الأيونية ، التساهمية ، المعدنية .

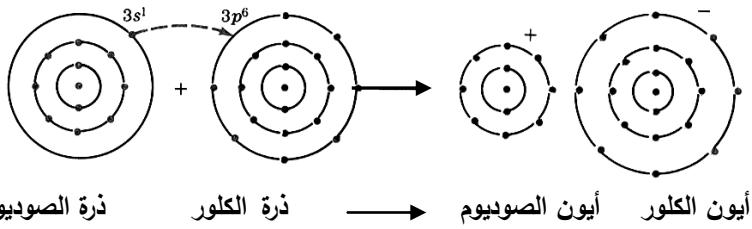
روابط ضعيفة :رابطة فاندرفالس، ورابطة الهيدروجين .

1- الرابطة الأيونية:

هي الرابطة التي تحدث بين العناصر ذات الايونات الموجبة القوية (المعادن) والعناصر السالبة (غير معدنية) وبذلك تكون الرابطة عبارة عن تجاذب بين الايونات الموجبة والسالبة كما بالشكل (2-1). ومن أمثلة هذه المركبات $NaCl,\ CaCl,\ Al_2O_3$

خواص الرابطة الأيونية:

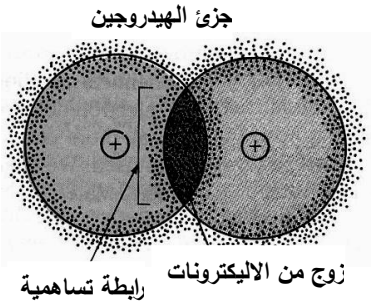
مركبات الرابطة الأيونية معظمها أملاح لا لون لها هشة (Brittle) لها توصيلية كهربية منخفضة، ودرجة إنصهار عالية.



شكل(2-1) الرابطة الأيونية لملح كلوريد الصوديوم.

2- الرابطة التساهمية :

تساهم الذرة بالكتروناتها في المدار الأخير مع ذرات أخرى لتكوين رابطة تساهمية ويتطلب ذلك أن أحد الذرات يكون لها أربعة اليكترونات أو أكثر والأخرى لها أربعة إليكترونات أو أقل في مدارهما الأخير كما بالشكل(2-2). وتعتبر الرابطة التساهمية أساسية في مشاركة ذرات المواد العضوية والبلاستيكية والمواد المركبة.



ويمكن أن تكون الروابط التساهمية بين ذرات العناصر من نوع واحد أو بين عناصر مختلفة كما يأتي:

أ- روابط تساهمية للعناصر النقية:

المجموعة الرابعة من الجدول الدوري: عناصر ترتبط بروابط ثنائية (O, S, Se)

المجموعة الثالثة من الجدول الدوري: عناصر ترتبط بثلاثة روابط (N,P, As)

المجموعة السادسة من الجدول الدوري: عناصر لها أربعة روابط (C, Si, Ge, Pb).

ب- روابط تساهمية للمركبات:

روابط المركبات العضوية: وتكون بين الكربون والعناصر الأخرى مثل الأكسجين والنيتروجين والكبريت وغيرها -O=C ، N=C

روابط المجموعة الثالثة والخامسة مثل مركب زرنيخات الجاليوم Ga As

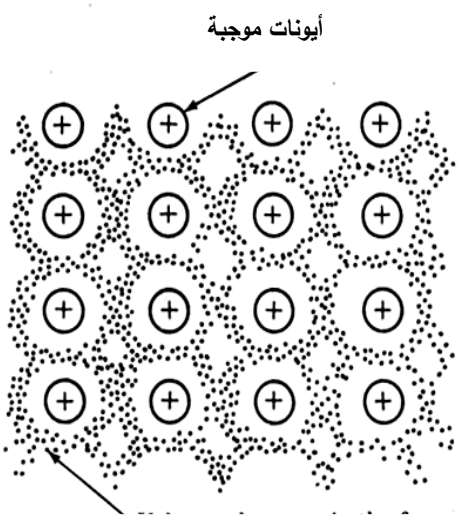
روابط المجموعة الثانية والسادسة مثل مركب كبريتيت الخارصين Zn S

3- الرابطة المعدنية:

تحدث الرابطة المعدنية بين المعادن التي يوجد في مدارها الأخير عدد قليل من الاليكترونات غير ملائمة لتكوين روابط تساهمية وعدم وجود ايونات مختلفة في الشحنة لتكوين روابط أيونية.

هذه الوضعية تؤدي إلى أن كل ذرة تشارك باليكترونات التكافؤ لتكوين سحابة من الاليكترونات السالبة تكون في حالة إتزان كهربي مع النواة الموجبة، وهذه الاليكترونات ليست تابعة لذرة معينة ولكنها حرة الحركة، وبذلك يمكن توضيح إنتقال أو توصيل الكهرباء في المعادن عن طريق الاليكترونات الحرة القابلة للحركة عند التأثير عليها بجهد خارجي كما هو مبين في الشكل(2-3).

ويمثل الرابطة المعدنية بجلاء المعادن الموصلة للكهرباء والحرارة مثل النحاس والالومنيوم والفضة وكذلك المعادن الأخرى الأقل توصيلا مثل الحديد والنيكل.



الرابطة المعدنية.

4- رابطة فاندرفالس :هي عبارة عن روابط ضعيفة تتكون بين الذرات الموجودة في المركبات، وذلك لوجود قطبين في المركب أحداهما موجب والآخر سالب، ويرجع ذلك إلى اختلاف حجمي الذرات في المركب.

2-2 تبلر المواد:

إن جميع المواد الصلبة يمكن تقسيمها إلى مواد بلورية وأخرى غير متبلرة كما بالشكل(2-4). وتمتاز المواد المتبلرة بوجود ترتيب معين لمكان الذرات على نطاق واسع، وبذلك نرى أن الوحدة البلورية تتكرر على جميع أبعاد المادة، على العكس من ذلك فإن المواد غير المتبلرة، لا يوجد لذراتها ترتيب معين على نطاق واسع، ولا يوجد نسق محدد لتوزيع الذرات.

ومن الملاحظ أن معظم المعادن الصناعية المهمة تندرج تحت إحدى ثلاثة طرق رئيسية للتبلر وهي:

1- بلورات مكعبة وسطية الذرة Body centered cubic (BCC)

2- بلورات مكعبة سطحية الذرة Face centered cubic (FCC)

3- بلورات سداسية Close packed hexagonal (CPH)

شكل(2-7) ترتيب الذرات في البلورات السداسية والمكعبة السطحية والمكعبة الوسطية.

من الشكل (2-7) يمكن تصور أن كل ذرة من ذرات الزوايا في البلورة المكعبة، تشترك مع ثمانية ذرات مجاورة، في حين أن ذرات البلورات السداسية تشترك مع إثنى عشرة ذرة من البلورات المجاورة. والجدول (2-2) يوضح البنية البلورية لأهم المعادن الصناعية.

جدول (2-1) البنية البلورية لبعض المعادن الصناعية.

المعادن	نوع البنية
Cr, Fe(α), Mo, V, K, Na, W,	BCC
Al, Cu, Ag, Au, pt, Pb, Ni,	FCC
Mg, Zn, Cd, Be, Ti,	CPH

2- 4 حساب كثافة البلورات المكعبة:

تعتمد كثافة البلورات على عدد الذرات في البلورة عندما يكون حجم المكعب ثابت، ويمكن حساب عدد الذرات في البلورة من المعادلة الآتية:

$$N = N_c / 8 + N_l + N_f /2 \qquad (1\text{-}2)$$

حيث أن:

N عدد الذرات في البلورة.

N_c عدد ذرات الزوايا.

N_l عدد الذرات الداخلية.

N_f عدد الذرات السطحية.

مثال (1)

أوجد عدد الذرات الموجودة في كل من البلورة الوسطية والبلورة السطحية.

أ- البلورة الوسطية (BCC):

$$N= Nc /8 + N_l + N_f /2 =2$$

عدد الذرات = 2

ب- البلورة السطحية (FCC):

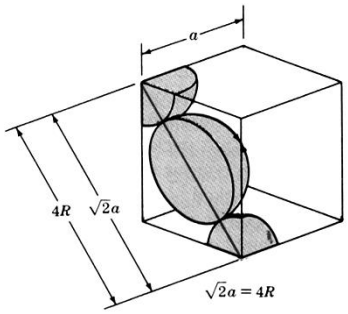
$$N= N_c /8 + N_l + N_f /2 =4$$

عدد الذرات = 4

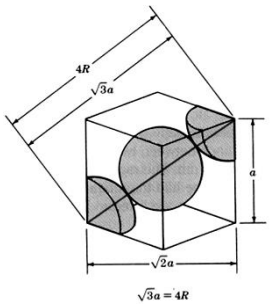
وهذا يوضح أن البلورة السطحية أكبر كثافة من البلورة الوسطية.

مثال: (2)

أوجد نسبة التغيير المئوية في حجم البلورة من نوع المكعبة السطحية (FCC) إذا تم تحويلها إلى مكعبة وسطية (BCC) على إفتراض أن الذرات كروية الشكل ولها قطر ثابت لكلا النوعين من البلورات .



بلورة مكعبة سطحية



بلورة مكعبة وسطية

شكل (2-8) أبعاد الأقطار في البلورة المكعبة الوسطية والسطحية .

الحل:

بفرض أن طول نصف قطر الذرة يساوى r وطول ضلع المكعب a كما بالشكل(2-8) يتم معرفة الأبعاد الأخرى بحساب المثلثات كما يأتي:

1- البلورة المكعبة الوسطية : تكون الذرات مترابطة ومتراصة في قطر المكعب وبذلك يكون طول ضلع المكعب:

$$2a^2 + a^2 = (4r)^2$$

$$3a^2 = (4r)^2$$

$$a = \frac{4r}{\sqrt{3}}$$

2- البلورة المكعبة السطحية :

$$a^2 + a^2 = (4r)^2$$

$$2a^2 = (4r)^2$$

$$a = \frac{4r}{\sqrt{2}}$$

بذلك يكون الحجم المتعلق بكل ذرة في البلورة = حجم البلورة / عدد الذرات في البلورة

الحجم المتعلق بكل ذرة في البلورة المكعبة السطحية (V_{fcc})

$$V_{fcc} = \frac{(4r/\sqrt{2})^3}{4} \qquad (2-2)$$

والحجم المتعلق بكل ذرة في البلورة المكعبة الوسطية (V_{Bcc})

$$V_{Bcc} = \frac{(4r/\sqrt{3})^3}{2} \qquad (3-2)$$

كما أن نسبة التغيير في الحجم عند تحويل البلورة السطحية إلى وسطية = الفرق بين الحجمين على حجم البلورة الوسطية.

$$\% = \frac{V_{Bcc} - V_{Fcc}}{V_{Bcc}} \qquad (4-2)$$

وبتعويض قيم المعادلتين(2–1) و (2–2) في المعادلة (2–3) تتحصل على نسبة التغيير وتساوي 8.8 %

2- 5 المواد الصلبة غير المتبلرة:

عند تصنيع بعض المواد الصلبة يتعذر تكوين البلورات لإحدى السببين :

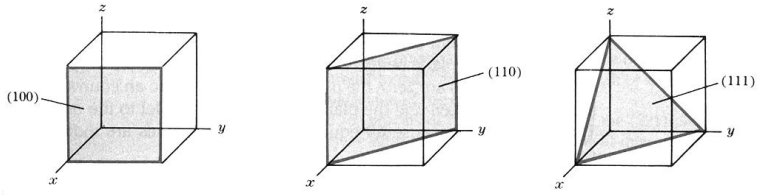
أ– نتيجة لوجود جزيئات معقدة في المادة، الأمر الذي لا يسمح لها بترتيب نفسها في بلورات منتظمة، وهذا ما يحدث في الكثير من المواد البلاستيكية وبعض الخزفيات.

ب– عندما يبرد المصهور بسرعة فإن الذرات والجزئيات لن يكون لها وقت مناسب لترتيب تواجدها على شكل بلورات منتظمة وهذه الحالة شائعة في بعض المعادن وأكاسيدها.

2- 6 المستويات البلورية:

كما ذكرنا سابقا يتم تحديد أبعاد وتواجد الذرات في البلورة من تمثيلها بإحداثيات ذات ثلاثة أبعاد، وبالمثل تحدد المستويات البلورية بالنسبة للإحداثيات الثلاثة. ولقد قام العالم ميللر بوضع دليلا يسمى باسمه (Miller indices) يوضح فيه وضعية المستويات المختلفة في البلورة وتحديد أماكنها بإستعمال الإحداثيات الثلاثة كما بالشكل(2-9).ويتم إيجاد قيم دليل ميللر للمستويات البلورية على خطوتين؛ أولاهما تحديد إحداثيات المستوي في ثلاثة أبعاد، ثم إيجاد معكوس القيمة، فمثلا المستوي في

الشكل(2- 9a) له إحداثيات (∞ ، ∞ ، 1) ويتم إيجاد المعكوس بتقسيم الواحد الصحيح على كل قيمة منها (1/∞ ، 1/∞ ، 1/1) وهكذا تكون قيم دليل مللر تساوي (0 ،0 ، 1).



شكل(2-9) دليل ميللر لبعض المستويات في البلورات المكعبة.

2- 7 عيوب بنية المواد الصلبة:

عند تسخين معدنين مثل النحاس والخارصين أو معدن وعنصر غير معدني مثل الحديد والكربون فان ذراتهما تتداخل بعدة طرق لتكوين سبائك، وقد ينظر إلى الذرات المضافة كعيوب موضعية أو شوائب في البلورة النقية إلا أنها من الناحية التقنية تعتبر وسيلة فعالة للحصول على العديد من السبائك ذات أهمية صناعية كبيرة. ومن هذا المنطلق فان المواد المتبلرة الصلبة تحتوي على العديد من العيوب نوردها فيما يأتي:

1- عيوب موضعية (Point Defects):

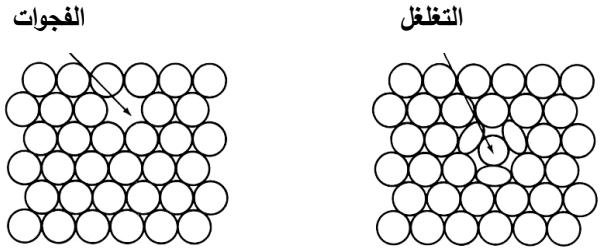
تحدث العيوب الموضعية في أماكن محددة في مستوى الذرات المتبلرة ويكون ذلك نتيجة لتغلغل ذرة خارجية أو ذرة من نفس النوع بين الذرات أو وجود فجوات ذرية في المستوى (Vacancy). وفى حالة المواد المتبلرة الصلبة النقية فان العيوب الموضعية تكون نتيجة لوجود شوائب من ذرات أخرى أو وجود فجوات ذرية أو وجود ذرات في غير مواضيعها كما بالشكل(2-10) .

أ- **الفجوات أو الثغرات (Vacancies):**

الفجوات عبارة عن وجود فراغات ناتجة عن فقدان ذرة أو أكثر من بين الذرات في المستوى البلوري، وتحدث هذه الفجوات بسبب التبريد السريع لمصهور المعدن أو إعادة التبلر أو الإجهادات الناتجة عن التشكيل.

ب- **التغلغل (Interstitial):**

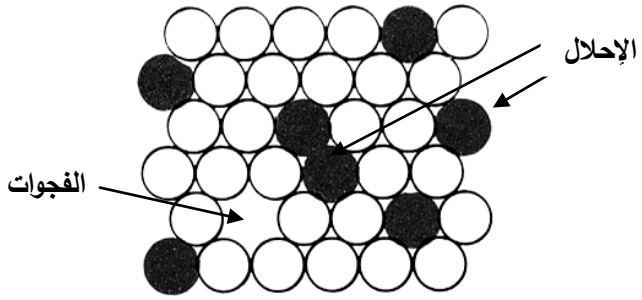
التغلغل عبارة عن وجود ذرة إضافية من نفس نوع ذرات البلورة أو من نوع آخر بين الذرات، وكلما كان حجم الذرات المضافة صغيراً، كلما كان التغلغل أسرع وأسهل.



الفجوات والتغلغل كعيوب موضعية للبلورات.

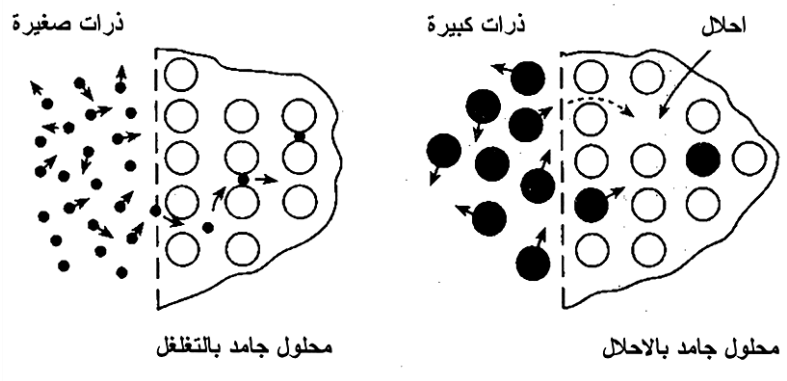
ج- **الإحلال (Substitution):**

هو إحلال ذرة شائبة بإحدى ذرات مستوى البلورة كما بالشكل(2 - 11). ويعتمد التغلغل والإحلال على حجم الذرة الشائبة بالنسبة لحجم المكان، فان الذرات الصغيرة الحجم يمكن لها أن تتغلغل بين ذرات البلورة، كما أن الذرات الكبيرة عادة ما تدخل البلورة بالإحلال.



الإحلال والفجوات كعيوب موضعية للبلورات.

وعندما تدخل ذرات مواد أخرى إلى البلورات عن طريق التغلغل أو الإحلال فانه يتكون طور جديد يعرف بالمحلول الجامدٍ (Solid solution) كما بالشكل(2-12).



شكل(2 -12) تكوين السبائك بالإحلال وبالتغلغل.

ويحدث المحلول الجامد بالإحلال بين المعادن أو المركبات في السبائك الآتية:

Si-Ge, Au- Ni, Cu-Ni, Al2 O3 - Cu2 O3, MgO – FeO

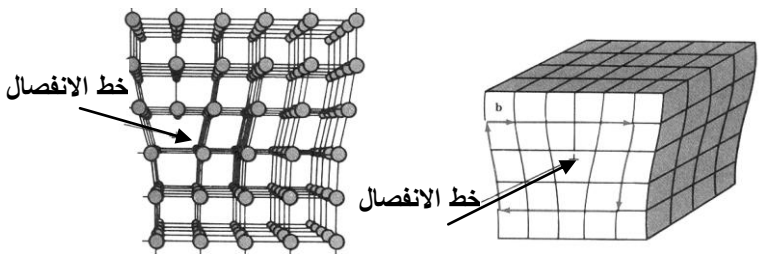
كما أن المحلول الجامد يحدث بتغلغل العناصر التي لها أوزان ذرية صغيرة مثل الهيدروجين والنيتروجين والكربون والبورون وبين ذرات بعض المعادن الصناعية مثل الحديد، ويعمل التغلغل على زيادة الصلادة للمعدن، ومن السبائك التي يمكن الحصول عليها بالتغلغل ما يأتي: Fe-C, Fe-H, Ni-C, Fe-N .

2- العيوب المحورية:

تتركز العيوب المحورية في وجود الانفصالات (Dislocations). والانفصال عبارة عن التواء لذرات البلورات حول محور واحد. ويحدث ذلك لعدة أسباب منها التصلب السريع للمصهور المتبلر لبعض السبائك أو عند التشكيل على البارد وكذلك بسبب عدم تجانس ذرات السبيكة.

أ - الانفصال بحافة أو الطرفي:

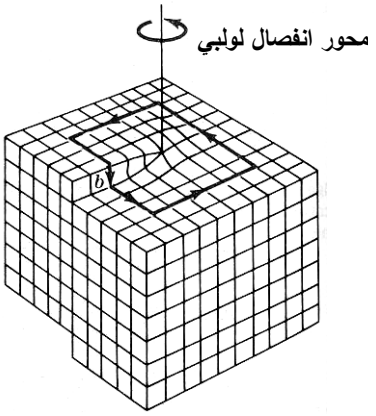
ويؤثر هذا الانفصال في صف الذرات التي حدت بها وتكون الصفوف الأخرى سليمة كما بالشكل(2-13).



الانفصال بحافة كعيب محوري للبلورات.

ب – الانفصال اللولبي:

يمتد الانفصال اللولبي لمسافات طويلة داخل المعدن وذلك بسبب إعادة ترتيب البلورات بداخل المعدن على شكل لولبي كما بالشكل(2-14).



الانفصال اللولبي.

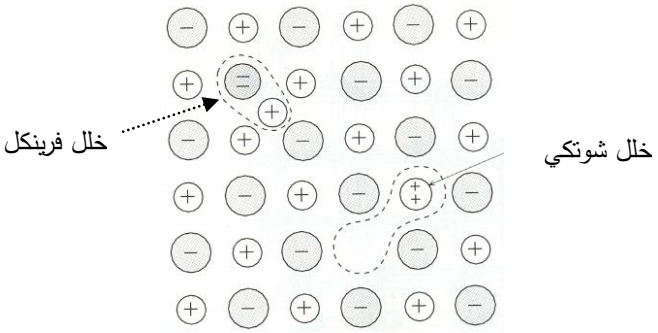
ولقد أقيمت عدة نظريات لتفسير دور الانفصال في بداية الانهيارات المعدنية وتأثيره في الخواص الميكانيكية وكذلك تأثير مواد السبك علي الانفصال وعلي الخواص الميكانيكية.

2- 8 البنية الأيونية:

1– العيوب الموضعية للبنية الأيونية :

بسبب الاتزان الاليكتروني في البلورات فان أي فجوة اليكترونية (أي نقص في إحدى الاليكترونات) ينتج عنها نقص في الايونات المعاكسة في الشحنة أو تغلغل للاليكترونات من نفس نوعية الاليكترونات الأصلية، كما أن الفجوات الاليكترونية قد

تحدث لأكثر من شحنة واحدة ويعبر عنها بعيوب شوتكي (Schottky imperfection) كما بالشكل(2-15). بالمقابل فإن خلل فرينكل يحدث عند إنتقال أحد الأيونات من موقعه في حالة الاتزان الأيوني إلى موقع بين الذرات فيؤدي إلى تكوين شحنتين معاكستين في الشحنة في المنطقة القريبة للمحافظة على الاتزان الكهربي للنسق البلوري كما بالشكل(2-15).



عيوب شوتكي الإليكترونية للمواد.

مخططات أطوار

تهدف مخططات أطوار الإتزان (Equilibrium phase diagrams) للمعادن والسبائك إلى فهم سلوك تركيزات المعادن في السبيكة الواحدة من حيث تكوين مركبات كيميائية أو مخاليط فيزيائية بسبب التشبع أو عدم القدرة على التفاعل وذلك عند رفع حرارة السبيكة إلى درجة الإنصهار أو قريبة منها وكذلك عند خفض الحرارة بمعدلات تبريد مختلفة، وما يترتب عن ذلك من تغير في الخواص الميكانيكية.

3- 1 تعريف الطور (phase):

الطور عبارة عن مادة متجانسة لها خواص فيزيائية وميكانيكية محددة وتركيب كيميائي معروف. فالمواد النقية تكون ذات طور واحد عند درجة حرارة وضغط معين، في حين أن السبائك والمخاليط كثيرًا ما تحتوي على عدة أطوار.

وكمثال على أطوار المواد النقية ذوبان الثلج وتحوله من الطور الصلب إلى الطور السائل وكذلك تبخر الماء وتحوله إلى الطور الغازي وهذا التحول من طور إلى أخر يعتمد على درجة الحرارة والضغط كما بالشكل (3- 1).

3-2 قاعدة الطور (Phase rule):

أوضح العالم (Gibbs) أن هناك ثلاثة متغيرات تؤثر في مخططات أطوار الإتزان وهي درجة الحرارة والضغط وعدد المكونات، وهذه المتغيرات هي التي تحدد

سلوك السبائك وتكوين الأطوار، ويتم التعبير عن ذلك بقاعدة الطور كما بالمعادلة (1-3).

$$P + F = C + 2 \qquad (1-3)$$

حيث أن:

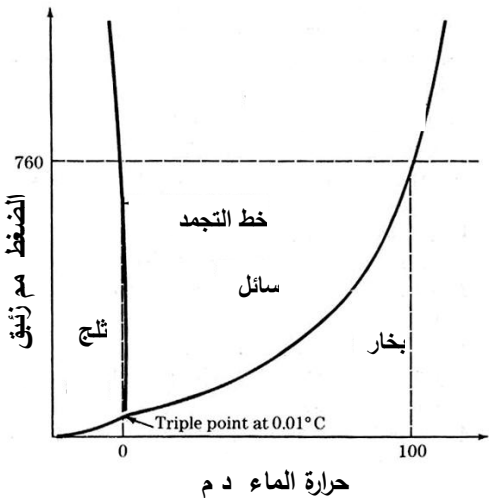
F: درجة الحرية (degree of freedom).

P: عدد الأطوار.

C: عدد المكونات التي قد تكون عناصر أو مركبات.

فمثلا عند وجود مكون واحد كما في حالة الماء وبطور واحد (البخار أو الثلج أو الماء) تكون درجة الحرية 2 أي درجة الحرارة والضغط كما بمخطط إتزان الماء في الشكل(3-1).

F = C + 2 - P = 1 + 2-1=2



منحنى إتزان أطوار الماء النقي.

إن وجود أكثر من طور مع تغير درجة الحرارة والضغط يتطلب رسم المخطط في ثلاثة أبعاد وهو أكثر تعقيدًا. وبما أن المواد المتعددة المكونات من السبائك عادة ما تتعرض لضغط ثابت يساوي 1 ضغط جوي فإن قاعدة الطور يمكن كتابتها علي الوجه التالي:

$$P + F = C + 1 \qquad (2-3)$$

3- 3 مخططات الإتزان الثنائية (Binary phase diagram):

عند وجود عنصرين أو مركبين تامي الإمتزاج في الحالتين الصلبة والسائلة عند ضغط الهواء الجوي، فإن درجة الحرية يمكن حسابها من المعادلة (3−2) أي أن:

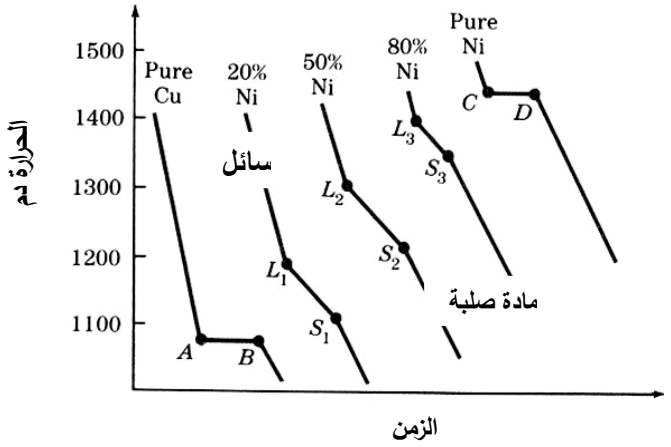
$$F = C + 1 - P = 2 + 1 - 2 = 1$$

وبذلك فإن درجة الحرية تساوي الواحد الصحيح، وهو التغيير في درجة الحرارة أو المكونات، وهذه الحالة تمثل الكثير من السبائك الصناعية المحتوية على عنصرين مثل سبائك النحاس والنيكل وسبائك النحاس والخارصين والسليكون والجرمانيوم وغيرها.

3-3- 1 مخطط الطور للنحاس والنيكل:

يمكن رسم مخطط إتزان عنصرين في سبيكة عن طريق تحضير عدد من العينات (في هذه الحالة خمسة عينات كما بالشكل (3- 2)) بنسب مكملة لبعضها البعض، أي عندما يكون هناك 20% نيكل يكون النحاس بنسبة 80% وهكذا، ثم تسخن العينات إلى درجة حرارة الانصهار بالكامل ويلي ذلك تبريدها تدريجيا واحدة تلو الأخرى، ويتم متابعة تغير درجات الحرارة مع الزمن، وذلك انه عند درجة حرارة معينة

لكل عينة يحدث ثبات للحرارة مع الزمن وهذا يعطي نقطتين وهما نقطة بداية التحول من الحالة السائلة إلى مزيج من السائل والصلب والأخرى نقطة التصلب الكامل للمصهور كما بالشكل (3- 2). وهذا المنحنى يعرف بمنحنى التحول لدرجة الحرارة مع الزمن (Time Temperature Transformation) أو (TTT).



العلاقة بين درجة الحرارة والزمن.

وعند توصيل نقاط التحول للمصهور (L) وكذلك نقاط التصلب (S) فإننا نحصل على مخطط الطور للنحاس والنيكل كما بالشكل (3-2).

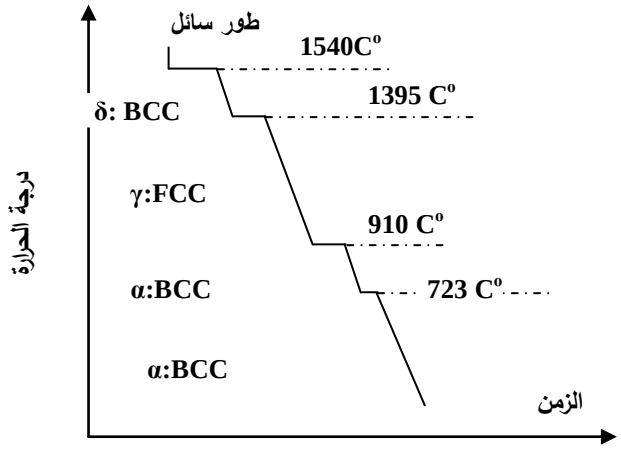
وبذلك يمكن الحصول على علاقة بين درجة الحرارة لمصهور المعدنين ونسبة كل معدن في السبيكة في الطورين السائل والصلب، ومنها يمكن حساب أوزان كل عنصر في السبيكة بدلالة درجة الحرارة.

5-3 مخطط إتزان أطوار الحديد والكربون

يعتبر مخطط الحديد والكربون **(Iron-carbon equilibrium phase diagram)** من أهم المخططات الثنائية من الناحية التقنية وأساساً لتصميم سبائك الصلب و يمثل العنصر الأهم في تحديد مناطق المعالجة الحرارية المختلفة للصلب الكربوني.

3- 5-1 منحنى التبريد للحديد النقي (TTT):

تتغير بنية معدن الحديد حسب درجة الحرارة، فعند درجة حرارة أعلى من 1534°م يكون المعدن مصهوراً سائلاً، ويتحول بعد ذلك إلى حديد متبلر على شكل مكعبات وسطية، تم مكعبات سطحية، ويليها مكعبات وسطية عند درجة الحرارة العادية كما هو موضح بالشكل (3-5). وعندما يكون هناك عدد كبير من عينات الحديد والكربون، بنسب مكملة كما في المخططات الثنائية السابقة، ويتم تسخينها إلى درجة الانصهار، وبعد ذلك تبرد ببط مع مراقبة نقاط التحول من المصهور السائل إلى شبه الصلب ثم الصلب وكذلك التغير في نوع البلورات والأطوار، فإننا نتحصل على مخطط إتزان أطوار الحديد والكربون كما بالشكل (3 -6).



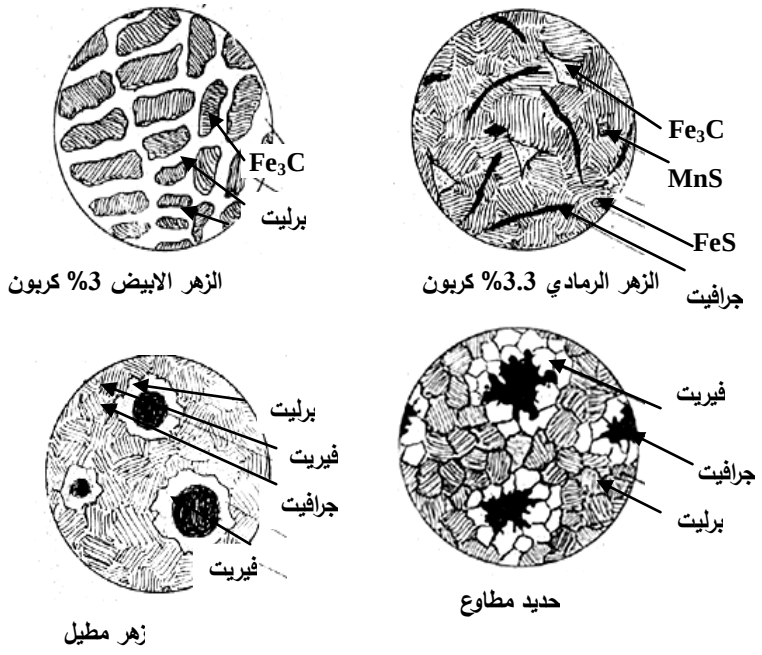
TTT(. تحول البنية البلورية مع تغير الحرارة والزمن

2- **حديد المطاوع بيرليت (Pearlite):**

يتم الحصول على حديد المطاوع من نوع البيرليت من تبريد الزهر في الهواء الجوي تم تحسين خواصه بالتطبيع. والشكل (6-1) يوضح التركيب المجهري لحديد المطاوع.

3 - حديد المطاوع مرتينسيت:

يمكن الحصول على حديد المطاوع من نوع المارتينسيت من غمس الزهر الساخن في الزيت لتكوين المارتينسيت، يتلو ذلك التطبيع للتخلص من الإجهادات الداخلية.



شكل (6-1) التركيب المجهري لحديد الزهر الأبيض والرمادي والمطيل وكذلك الحديد المطاوع.

6 .1. 2 الصلب الكربوني والصلب السبائكي:

تحتوي معظم أنواع الصلب الكربوني على نسبة كربون أقل من 2 % كما تضاف كميات قليلة من السيلكون بما يقارب 0.3 % وكميات متباينة من المنجنيز التي تكون في مدى من 0.2 % إلى 0.95 % منجنيز، وذلك للتخلص من الأكسجين والكبريت اللذان يؤثران كثيراً في الخواص الميكانيكية للصلب ويسببان تأكسده. كما تضاف كميات من عناصر أخرى مثل الكروم والنيكل والموليبدنيوم للحصول على خواص مطلوبة مثل تحسين مقاومة الشد أو التأكسد أو مقاومة الحرارة العالية.

وتضاف هذه العناصر بنسب لا تتجاوز 5 % للحصول على الصلب الكربوني منخفض السبائك (low alloy steel) في حين أن إضافة كميات كبيرة من العناصر السابقة إلى الصلب الكربوني ينتج سبائك أخرى لها مسمياتها مثل الصلب المقاوم للصداء أو صلب السرعات العالية أو صلب العدد أو غيرها من السبائك.

6. 1. 2.1 تصنيف الصلب الكربوني والسبائكي:

هناك العديد من الطرق التي يتم بها تصنيف الصلب الكربوني، فأقدمها وأكثرها شيوعا تلك التي تعتمد على كمية الكربون المتوفرة في السبيكة، وبذلك يمكن تصنيف الصلب الكربوني إلى ثلاثة مجموعات رئيسية وهي:

1 . الصلب منخفض الكربون ويوجد به أقل من 0.25 % كربون.
2 . الصلب متوسط الكربون ويوجد به من 0.25 إلى 0.55 % كربون.
3 . الصلب عالي الكربون ويوجد به أكثر من 0.55 % كربون .

والطريقة الأخرى للتصنيف والأكثر دقة، هي التي وضعها المعهد الأمريكي للصلب والحديد، ويتلخص مضمونها في تحديد أربعة أو خمسة أعداد لكل سبيكة،

والتنجستون، والتي قد تتجاوز 25 % من وزن السبيكة، وهذه العناصر تعمل على تكوين كربيدلت عالية الصلادة ولها تبات ومقاومة جيدة للإحتكاك عند درجات الحرارة العالية، وذلك أن أكاسيد وكربيدات هذه المعادن غير موصل للحرارة ودرجة إنصهارها كبيراً جداً مقارنة بكربيد الحديد في حالة الصلب عالي الكربون.

ويصنف صلب العدد حسب المكونات وعملية التبريد المقامة عليه عند التصنيع وكذلك الغرض من الإستعمال، وتستخدم عدة حروف وأرقام للدلالة على نوع صلب العدد وهي كما يأتي:

المجموعة	نوع المعالجة
W	صلب كربوني مقاوم للحرارة " مقاوم للصدمات الحرارية".
S	يمكن تشكيله على البارد.
O	يحتوي على 1 % كربون ويمكن تقسيته بالتبريد في الزيت.
A	يحتوي على 1 إلى 2% كربون مع 5 % كروم ويمكن تقسيته بالتبريد في الهواء الجوي.
D	صلب عالي الكربون به كروم تم تشكيله على الساخن.
H	صلب منخفض الكربون يحتوي على أي من المعادن الثقيلة.
T	أقلام التجليخ ؛ 1% كربون 12–18% تنجستون و 4 % كروم.
P	صلب منخفض الكربون يصنع منه قوالب الصلب.

صلب للأغراض خاصة:

L	صلب منخفض السبائك.
F	يوجد بالصلب كربون وتنجستون.

فمثلا الصلب W1 الذي لا يوجد به عناصر أخرى غير الكربون ويمكن تقسيته بالماء، و O1 يمكن سقايته بالزيت للحصول على عدد صلبة وصلدة . و H تستعمل لقوالب التشكيل على الساخن لأنها منخفضة الكربون (عالي الكربون قد يصاب بالتشققات عند التعرض للصدمات الساخنة) وأخيراً T1 يستعمل لصناعة عدد قطع سريعة (High speed steel) ويحتوى على تنجستون وكروم أو كوبلت أو فاناديوم. ورغم إرتفاع أسعار أذوات القطع المصنعة من صلب السرعات العالية إلا أنها تسترد قيمتها مع الزمن وتشتغل بكفاءة عالية.

4 .1.6 الصلب المقاوم للصدأ:

يستعمل الصلب المقاوم للصدأ لغرضين أساسيين وهما مقاومة التآكل وتحمل درجات الحرارة العالية، ويستعمل نظام 3 أرقام لتصنيف هذه المجموعة من الصلب، بحيث يدل الرقم الأول على العنصر أو العناصر الأساسية في السبيكة، ولا يوجد للرقمين الأخيرين معنى معين.

سلسلة المئتين 2XX :

تحتوي سلسلة المئتين على الكروم والمنجنيز مع القليل من النيكل، وتوجد على شكل طور الأستينيت وهي غير قابلة للمغنطة. ويدخل المنجنيز في هذه السلسلة بديلا عن النيكل للحصول على طور الأستينيت عند درجة الحرارة العادية، وبذلك يمكن الحصول على سبائك أقل تكلفة من التي تحتوي على النيكل.

سلسلة ثلاثمئة 3XX :

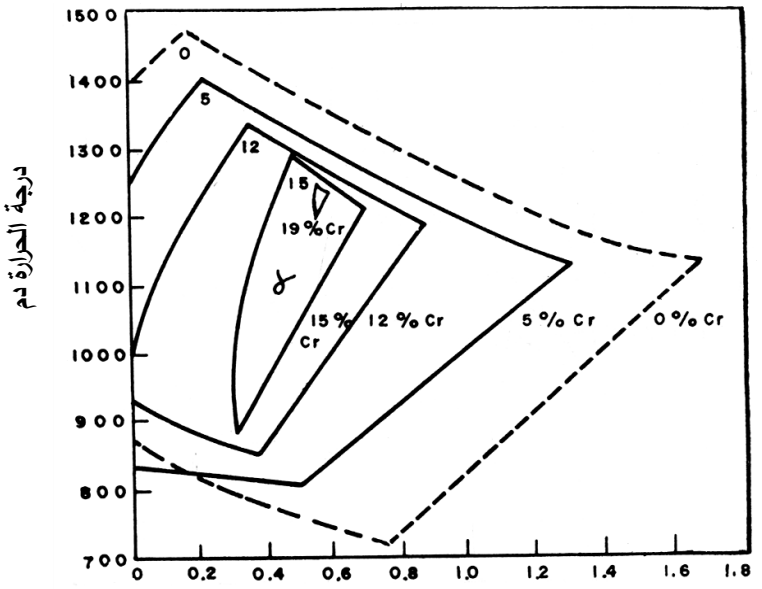
تعتبر سلسلة الثلاتمئة من السلاسل الأكثر أهمية في الصناعة، وتحتوي على الكروم والنيكل بالإضافة إلى الحديد والكربون، وتتكون من طور الأستينيت غير قابل للتقسية بالمعالجة الحرارية، وغير قابل للممغنطة، وهذه السبائك شديدة الصلابة والصلادة، وذات قوة شد عالية مع مقاومة جيدة للتآكل والإحتكاك.

سلسلة أربعمائة 4XX :

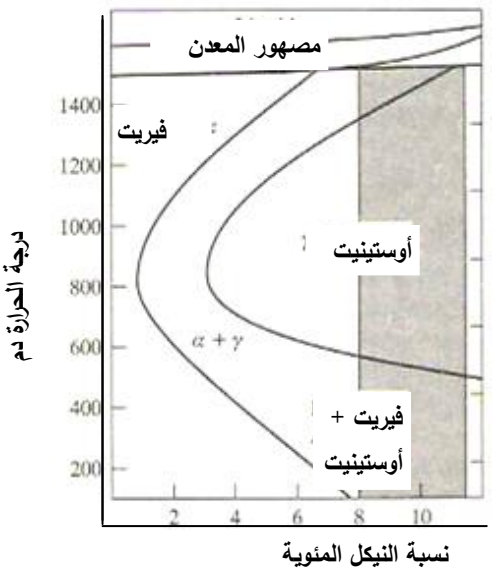
تتكون هذه السلسلة من سبائك تحتوي على الكروم والحديد بالإضافة إلى كميات متباينة من الكربون وجميعها قابل للمغنطة، وتندرج تحت مجموعتي الفيريت غير قابلة للتقسية بالمعالجة الحرارية، والمارتينسيت الشديد الصلادة والقابل للمعالجة الحرارية.

والجدير بالذكر أن جميع أنواع سبائك الحديد المقاوم للصدأ تحتوي على عنصر الكروم بكميات تتجاوز 13% ، وذلك أن هذا العنصر يعمل على تكوين أكسيد الكروم مع أكسيد الحديد (Cr_2O_3 & Fe_2O_3) من نوع الغشاء السالب (Passive film) على سطح المعدن ليحمي السبيكة من التآكل.

ويلاحظ كذلك أن وجود الكروم مع الحديد والكربون يزيد من درجة الحرارة الحرجة من 723 إلى 900 درجة مئوية في حالة 18 % كروم، وهذا يساعد على تحمل السبيكة لدرجات الحرارة العالية، ويقلل من مساحة الأستينيت كما هو موضح بالشكل(6 -2). في حين أن النيكل يعمل على تكبير مساحة الأستينيت حتى يكون الأستينيت متوفر في درجات الحرارة العادية عندما يكون النيكل بنسبة أعلى من 8 % في السبيكة وقد يصل إلى 24 % بالوزن.



شكل (6 -2) تأثير الكروم على مساحة طور الأستينيت.



العلاقة بين نسبة النيكل ودرجة الحرارة للصلب المحتوي على 18% كروم.

أطوار الصلب المقاوم للصدأ:

تتدرج سلاسل الصلب المقاوم للصداء في ثلاثة مجموعات رئيسية وهي؛ صلب المارتينست وصلب الفيريت وصلب الأستينيت، ولكل من هذه الأطوار خواصه الفيزيائية والكيميائية وإستخداماته الصناعية:

المجموعة الأولى : صلب المارتينسيت (Martensitic Stainless Steel):

يتركب صلب المارتنسيت من حديد يوجد به 11.5 إلى 18 % كروم وكمية من الكربون تتراوح ما بين 0.15 إلى 1.2 %، وهذه الكمية الكبيرة من الكربون تساعد على زيادة مساحة الأستينيت عند التسخين كما بالشكل (2.6)، الأمر الذي يمكن به الحصول على كمية مناسبة من المارتنسيت عند التبريد السريع للاستينيت. ويظهر صلب المارتنسيت تركيباً داخلياً تحت المجهر، مكوناً من كربيدات الحديد والكروم في وسط من المارتينسيت، وهذه السبائك قابلة للتقسية عن طريق المعالجة الحرارية، وتتصف بالصلادة العالية والخواص المغنطيسية الجيدة، إلا أن مقاومتها للتآكل ضعيفة مقارنة بأنواع الصلب المقاوم للصدأ الأخرى.

والجدول(1.6) يوضح التركيب الكيميائي للمجموعات الرئيسية للصلب المقاوم للصدأ. فمثلا يستعمل صلب المارتينسيت من نوع 410 الذي يحتوي على 12 % كروم و 416 المشابه له في صناعة ريشات التربينات والنوع 440A المضاف إليه معدن الموليبدنيوم لصناعة الصمامات وكرات كراسي التحميل كما يستعمل الصلب 420 لصناعة أدوات الجراحة . وعند إضافة 2 % نيكل و 6–18 % كروم وبوجود كمية قليلة من كربون نتحصل على السبيكة 431 ذات الصلابة والصلادة العالية، وتستعمل هذه السبيكة في صناعة القلووذات والمضخات وتجهيزات الطائرات.

المجموعة الثانية : صلب الفيريت (Ferritic Stainless Steel):

تحتوي هذه المجموعة على حديد يوجد به 12 إلى 30 % كروم، ويتكون من طور واحد هو الفيريت ذو البلورة المكعبة الوسطية، ولذا لا يمكن تقسيته بالمعالجة الحرارية، ويمكن تقسيته بالتشغيل على البارد (Cold work)، ولصلب الفيريت مقاومة للصدأ أفضل من صلب المارتنسيت ويعتبر أسهل في التشغيل على الالات، ويمتاز صلب الفيريت كذلك بخواصه المغناطيسية الجيدة.

ويستعمل صلب الفيريت كثيراً في عمليات التشكيل على البارد أو الساخن لصناعة الخزانات والأنابيب ومن هذه السبيكتان 446 و 442 اللتان لهما مقاومة جيدة للحرارة نتيجة لوجود كمية عالية من الكروم وتستعملان في صناعة الأفران وغرف الإحتراق، وكذلك السبيكة 430 التي تستخدم للاغرض العامة عند درجة الحرارة العادية.مثل تجهيزات المطابخ والخزانات بالمصانع وغيرها.

المجموعة الثالثة : صلب الأستينيت (Austenitic Stainless Steel):

يتكون صلب الأستينيت بالضرورة من حديد يوجد به 16 إلي 28 % كروم و 7 إلى 22 % نيكل، وهذه المجموعة تسمى كذلك لأنها تتواجد على شكل طور الأستينيت (بلورات مكعبة سطحية) عند درجة الحرارة العادية، ويرجع الفضل في ذلك إلى وجود النيكل أو المنجنيز بكمية مناسبة لتكوين الأستينيت، ويظهر تحت المجهر على شكل حبيبات ذات زوايا مع توائم متوازية كما بالشكل (6 -3).

والجدير بالذكر أنه لا يمكن تقسية سبائك الأستينيت بالمعالجة الحرارية، وذلك بسبب عدم وجود تغير في البنية الداخلية للسبيكة عند التسخين أو التبريد، وتتم التقسية غالبا بالتشغيل على البارد. وتتسم هذه المجموعة بمقاومة جيدة للتآكل أي أنها

لها مقاومة أكبر من المجموعتين السابقتين، كما يبدي صلب الأستينيت صلابة وصلادة عالية ومقاومة جيدة للتأكسد عند درجات الحرارة المرتفعة.

إن سبائك الأستينيت تعتبر من أكبر وأهم مجموعات الصلب المقاوم للصدأ، وتتكون من سلسلتين هما سلسلة المئتين 2XX وتحتوي على الحديد والكروم والمنجنيز والثلاثمئة وتحتوي على الحديد والكروم والنيكل وهذه المجموعة الأخيرة صلدة وقاسية جداً ويصعب تشغيلها على الالات ولها خاصية مقاومة الحرارة العالية مع مقاومة جيدة للتآكل.

ومن السبائك المشهورة في هذه المجموعة، السبيكة 304 التي يصنع منها العديد من الهياكل المعدنية مثل الأنابيب والخزانات للعديد من الصناعات الغذائية والدوائية والبتروكيميائية، وكذلك السبيكة 316 وهي عبارة عن السبيكة 304 مضاف إليها عنصر الموليبدنيوم، وتمتاز هذه السبيكة بمقاومة جيدة للتآكل في مياه البحر والمياه المالحة الأخرى. ويمكن تحسين التشغيل على الالات وتقليل الصلادة باضافة عناصر أخرى مثل السيلينيوم أو الكبريت كما هو في السبيكة **303 Se** والجدول(1- 6) يبين التركيب الكيميائي لبعض سبائك صلب الاستنينيت .

ومن العيوب التي تواجه هذه المجموعة عند اللحام هو ترسب الكربيدات بين حبيبات الأستينيت (grain boundaries) مع وجود نقص شديد في كمية الكروم بها مما يجعلها معرضة للتآكل بالإجهاد، أي يحدث لها تشققات بين الحبيبات. ويتم معالجة ذلك بتخفيض نسبة الكربون بهذه السبائك من 0.06 إلى 0.03 % وهذا يحد من تكوين الكربيدات في المنطقة المحيطة باللحام كما في السبيكة 304l أو بإضافة عناصر مثبتة مثل التيتانيوم في السبيكة 321 أو النايوبيوم في السبيكة 347 .

التركيب المجهري للسبيكة 304 من الصلب المقاوم للصداء.

جدول(6-1) يوضح الخواص الميكانيكية لبعض سبائك الصلب المقاوم للصداء.

Alloy	Comp (%)	TS (MPa)	YS (MPa)	El (%)	H T
		سبائك صلب الفيريت			
430	17Cr, 0.012 C	517	345	25	Ann.
446	25Cr, 0. 20 C	552	345	20	Ann.
		سبائك صلب المارتينسيت			
410	12.5 Cr, 0.15 C	517	276	30	Ann.
440A	17Cr, 0.70 C	724/1828	414/1690	20/5	Ann/Q&T
440C	17 Cr, 1.1 C	759/1966	276/1897	13/2	Ann/Q&T
		سبائك صلب الأستينيت			
301	17 Cr,7 Ni	759	276	60	Ann.
304	19 Cr, 10 Ni	580	290	55	Ann.
304L	19 Cr, 10 Ni, 0.03 C	559	269	55	Ann.
321	18Cr, 10Ni, Ti	621	241	45	Ann.
347	18Cr,10Ni, Nb	655	276	45	Ann.

El%: elongation in 2inch %, HT: Heat treatment, Ann. Annealed, Q&T: quenched and tempered.

2.6 السبائك غير الحديدية:

1.2.6 سبائك الالومنيوم:

يعتبر الألومنيوم وسبائكه من أكثر المعادن إستعمالاً بعد الصلب، حيث يمتاز الألومنيوم بكثافته المنخفضة التي تبلغ 2.74 جرام/سم3 وقوة الشد الجيدة، بحيث يمكن القول أن سبائك الالومنيوم لها أكبر قوة شد بالنسبة إلى الوزن مقارنه بأي معدن آخر، كما أن الألومنيوم تترتب ذراته على شكل مكعبات سطحية، مما يجعله مطيل (Ductile) وسهل التشكيل والتشغيل على الالات، وبذلك يمكن إجمال خواص الالومنيوم فيما يأتي:

1. للالومنيوم كثافة تعادل ثلث كثافة الحديد.
2. معظم سبائك الألومنيوم سهلة التشكيل والتشغيل على الآلات.
3. لسبائك الالومنيوم نسبة عالية لقوة الشد إلى الكثافة.
4. للألومنيوم غشاء سالب مقاوم للظروف الجوية.
5. يمكن تكسية أو طلاء سبائك اللألومنيوم للحصول على أسطح عالية الجودة من ناحية الشكل أو من ناحية مقاومة التآكل.
6. يمتاز الالومنيوم بتوصيلية عالية للحرارة والكهرباء.
7. يمكن صقل الالومنيوم للحصول على أسطح لامعة أو عاكسة للأشعة.
8. الألومنيوم معدن غير قابل للمغنطة وليس له تأثير بيولوجي سام.

1.1.2.6 تأثير العناصر المضافة على خواص سبائك الالومنيوم:

يمتاز الألومنيوم بذوبانية عالية للعديد من العناصر المضافة إلى مصهوره، إلا أن الذوبانية تقل كثيراً في الوسط الصلب كما هو مبين في الجدول (6−2).

إن المركبات التي تتكون عند إضافة كميات قريبة من نسبة الذوبان يكون مردودها جيداً على الخواص الميكانيكية للسبيكة، في حين أن الكميات الكبيرة من العناصر المضافة تعمل على تكوين أطوار كثيرة من ضمنها طور المعدن المضاف وهذا يؤدي إلى زيادة صلادة السبيكة مع نقص في الصلابة ومقاومة الشد. وعلى وجه العموم فإن مجموع العناصر المضافة قلما تتجاوز نسبة 14% من وزن سبيكة الالومنيوم.

جدول (2.6) ذوبانية بعض المعادن في سبائك الالومنيوم.

العناصر	الذوبانية { % بالوزن}	
المضافة	في درجة الحرارة العادية	عند درجة حرارة التصلب
Mg	0.02	5.65 % at 548 ^{o}C
Mn	2.5	14.9 % at 450 ^{o}C
Si	0.3	1.8 % at 659 ^{o}C
Zn	0.1	1.65 % at 577 ^{o}C
Cu	2	82 % at 716 ^{o}C

ومن ناحية أخرى فإن كل عنصر من العناصر المضافة يختص بتأثير معين على خواص السبيكة التي يكون جزاً منها أي أن هذه العناصر قد تم إضافتها للحصول على خواص ميكانيكية أو فيزيائية مرغوبة والجدول (6−3) يوضح تأثير مختلف العناصر على خواص سبائك الألومنيوم.

المجموعة	العناصر الأساسية المضافة
1XXX	AL 99%
2XXX	Cu
3XXX	Mn
4XXX	Si
5XXX	Mg
6XXX	Mg and Si
7XXX	Zn
8XXX	Other elemements

سلسلة الألف 1XXX

تحتوي سلسلة الألف على سبائك من معدن الالومنيوم ذو نقاوة عالية أي ما يساوي 99 % أو أكثر، مع إضافات ضئيلة، ويستعمل هذا المعدن في عدة مجالات مختلفة مثل الأواني المنزلية، والأسقف المعلقة للمباني، والمبادلات الحرارية، والموصلات الكهربية وغيرها من الأغراض التي تحتاج إلى قوة شد متوسطة ومقاومة كبيرة للتآكل، أو توصيلية عالية للحرارة والكهرباء.

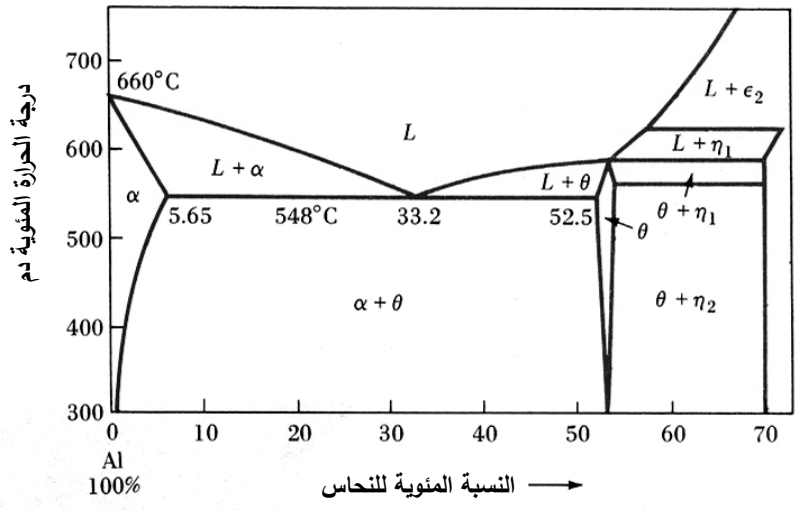
سلسلة ألفان 2XXX

تمتاز هذه السلسلة بقوة شد كبيرة، نتيجة لإضافة 4–6 % نحاس مع عناصر أخرى مثل الماغنيسيوم والمنجنيز. وهذه السبائك يتم تقسيتها بالتعتيق الصناعي وكذلك التشغيل على البارد.

ويتكون نتيجة المعالجة الحرارية مركبات الألومنيوم والنحاس ($CuAl_2$) أو مركبات الألومنيوم والنحاس والماغنيسيوم (Al_2CuMg) وهذه المركبات تترسب على حواف الحبيبات (Grain boundary) وتساعد على زيادة صلادة وصلابة هذه السبائك، والشكل(6–5) يبين مخطط إتزان الالومنيوم والنحاس. إلا أن ما يؤاخذ على

هذه المركبات أنها تمثل منطقة مهبطية مما يعجل من تآكلها بعدة طرق منها التآكل بالاجهاد التصدعي (SCC) والتقشر (Exfoliation).

ومن السبائك المستعملة كثيراً السبيكة 2014، 2017 ، 2024. فسبيكة ديورالومين 2017 تحتوي على 4 % نحاس وتستعمل في صناعة مسامير البرشمة لهياكل الطائرات، والسبيكة 2024 تحتوي على نحاس ومنجنيز ويتم تقسيتها بالتعتيق الصناعي، وتستعمل لصناعة هياكل الشاحنات وتجهيزات الطائرات، والسبيكة 2021 تستعمل لصناعة هياكل صواريخ الوقود السائل.



الشكل (6-5) مخطط إتزان معدني الالومنيوم والنحاس.

سلسلة ثلاثة ألآف 3XXX

تتشابه سلسلة ثلاثة ألآف مع سلسلة الألف مع السلسلة أربعة ألاف في الكثير من الخواص، وتحتوي سبائك هذه المجموعة على معدن المنجنيز بنسبة 1 إلى 2 % بالإضافة إلى كميات قليلة من النحاس تقارب 15. 0 % .

وحيث أن العناصر المضافة قليلة التركيز بالسبيكة، فإن ذلك لن يحدث تغيراً في البنية الداخلية عند التسخين مما يجعلها تحتفظ بطور واحد، ولذا فإن هذه المجموعة كما في السلسلة ألف لا تستجيب للمعالجة الحرارية. ومن السبائك المستعملة كثيراً في هذه السلسلة، السبيكة **3003** التي تمتاز بسهولة تشكيلها على البارد. وتستعمل هذه السبائك في صناعة المبردات والمبادلات الحرارية والخزانات المقاومة للضغط وغيرها.

سلسلة أربعة ألآف 4XXX

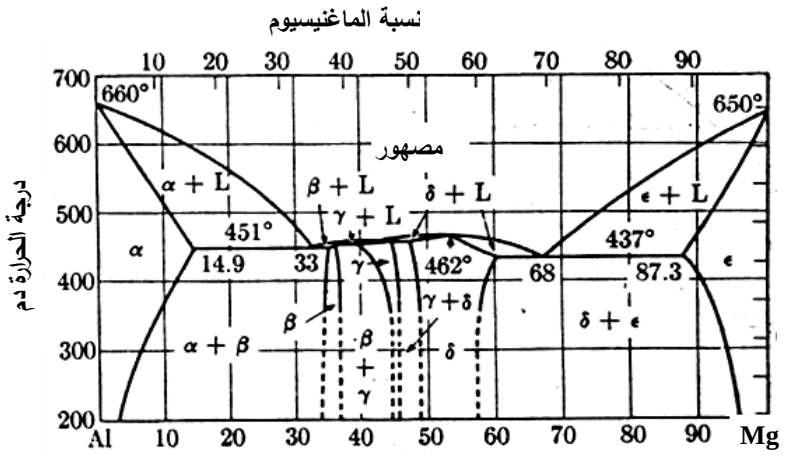
تحتوي سلسلة أربعة ألاف على سبائك ألومنيوم التي يوجد بها كمية كبيرة السليكون، الأمر الذي يجعلها ذات مقاومة عالية الحرارة، بالإضافة إلى مقاومة التآكل، كما يعطي السليكون خاصية السيولة لمصهور السبيكة عند صبها مما يجعلها سهلة السباكة.

وتعتبر السبيكة 4032 من أكثر السبائك إستعمالاً في هذه المجموعة، حيث أنها تحتوي على 12.5 % سليكون ويمكن تشكيلها بسهولة على الساخن، كما أنها تمتاز بانخفاض معامل التمدد الحراري ولذا تستعمل في صناعة كباسات محركات السيارات (Pistons).

سلسلة خمسة ألآف 5XXX

يضاف الماغنيسيوم الخفيف الوزن إلى الألومنيوم في هذه السلسلة ليزيد من قوة الشد، وقد تضاف كميات قليلة من معادن أخرى مثل الكروم أو المنجنيز لتحسين خواص سبائك هذه المجموعة، وتعتمد كمية طور بيتا في السبيكة على كمية الماغنيسيوم كما هو مبين في الشكل**(6-6)** ، ويساعد هذا الطور كثيراً على زيادة صلابة المعدن.

وتجمع هذه السلسلة بين قوة شد جيدة ومقاومة للتآكل ويختلف التركيب من سبيكة إلى أخرى، فمثلا السبيكة (5005) تحتوي على 0.8 % ماغنيسيوم في حين أن السبيكة 5456 تحتوي على 5.25 % مع كمية قليلة من المنجنيز (0.0 – 8 %) والنحاس (0.0 –0.25 %) .



مخطط إتزان اللألومنيوم والماغنيسيوم.

وتستعمل سبائك هذه المجموعة في صناعة الصفائح والأنابيب، وأنابيب توزيع الوقود والزيوت للعربات والطائرات مثل السبيكة (5050) التي تحتوي على 0.2 % ماغنيسيوم والسبيكة (5052) التي يوجد بها 2.5 % ماغنيسيوم و0.25 % كروم، حيث تستعمل في صناعة هياكل الحافلات والمقطورات والبواخر، كما أن السبيكة (5083) المحتوية على 4.5 % ماغنيسيوم، تمتاز بقابليتها للحام بصورة جيدة. وتستعمل سبائج هذه المجموعة لصناعة الهياكل المعدنية وخاصة البحرية منها وفي صناعة خزانات الضغط العالي.

سلسلة ستة ألآف 6XXX

تعتمد سبائك هذه المجموعة على وجود عنصري الماغنيسيوم والسليكون بنسبة شبه ثابتة حسب المركب (Mg_2Si) الذي يترسب بين الحبيبات ويزيد من قوة السبيكة، ولذلك يمكن معالجة هذه السبائك حراريا للحصول على مقاومة شد عالية، كما تضاف عناصر أخرى مثل الكروم والنحاس لتحسين خواص هذه السلسلة.

ومن السبائك المهمة في هذه المجموعة السبيكة 6061 التي تستعمل في صناعة دعائم الهياكل المعدنية للعربات والحافلات وهياكل القوارب والبواخر ومبردات السيارات، كما تستعمل السبيكة 6063 في صناعة ألانابيب والاشكال الهندسية الأخرى بطريقة البثق على نطاق واسع.

سلسلة سبعة ألآف 7XXX

تتركب سلسلة السبعة ألاف من Zn % 5-3 ، Mg % 3 – 1 و2-0 Cu % وهي من المجموعات القوية في سلاسل الألومنيوم ، حيت تمتاز بأكبر قوة شد إلى الكثافة مع مقاومة عالية للكلال. ومن المعروف أن المقاطع السميكة لسبائك هذه السلسلة يحتوي على Mg_3AL_2 أو $MgZn_2$ بين حبيبات المعدن (Grain boundary) وهذه المركبات مصعدية في طبيعتها مما يؤدي إلى تعرض هذه المنطقة للتآكل وخاصة التآكل بالإجهاد التصدعي (SCC) عند تعرضها إلى إجهاد كبير في وسط آكل؛ مثل الأوساط التي تحتوي على كميات كبيرة من الكلور أو الهالوجينات الأخرى. ومن السبائك المشهورة في هذه السلسلة ما يأتي.

7075 { 5.5% Zn , 2.5% Mg , 1.5 % Cu +.3 %Cr }

7079 {4.3 % Zn , 3.3 % Mg , 0.6 % Cu }

7178 { 6.8 % Zn , 2.7 % Mg , 2 % Cu}

وتستعمل السبائك السابقة في المجالات التي تحتاج إلى مقاومة شد عالية ومقاومة الكلال مثل هياكل الطائرات (7075) والأجزاء الأخرى من الطائرة.

وإجمالا فإن مفاضلة سبائك الألومنيوم تكون كما يأتي:

1- عندما يكون هناك حاجة إلى قوة شد متوسطة للسبيكة ومقاومة جيدة للتآكل يكون الإختيار بين مجموعة الألف أو الثلاثة ألآف.

2- وفي حالة الإحتياج إلى قوة شد أكبر من المجموعتين السابقتين مع مقاومة متوسطة للتآكل فإن الإختيار يكون من المجموعتين الخمسة أو الستة ألآف.

3- أما في حالة الرغبة في إستعمال سبائك ذات قوة شد كبيرة، ولا ضرر من وجود مقاومة تآكل ضعيفة، فإن المجموعة ألفان والمجموعة سبعة ألآف هما الإختيار الأنسب. وتحتاج هذه المجموعتين السابقتين إلى إستعمال وسائل للحماية من التآكل مثل الطلاء.

:)(ب.مسبوكات الالومنيوم مسبوكات أو

مصبوبات الألومنيوم هي السبائك التي ثم تصنيعها بالسباكة، وتتصف بأنها صلدة وذات قوة شد ضعيفة، مع درجة إنصهار منخفضة، ولا يمكن درفلتها أو سحبها فهي غير قابلة للسحب أو الطرق.

وتصنف هذه المسبوكات إلى مجموعات لكل منها ثلاثة أرقام مع كسر ع ارية كما في سبائك الالومنيوم الطروق (Wrought Aluminum)، ويدل الرقم الأول من اليسار على العناصر الأساسية المضافة والرقم الثاني والثالث على السبيكة داخل المجموعة والرقم العشري على نوع المنتوج.

والقائمة الآتية تبين أهم السلاسل والعناصر المضافة لكل منها:

المجموعة	العناصر الأساسية المضافة
1XX.X	AL 99.5 %
2XX.X	Cu
3XX.X	Si + Cu or Mg
4XX.X	Si
5XX.X	Mg
6XX.X	لم تستعمل
7XX.X	Zn
8XX.X	Tin
9XX.X	عناصر أخرى

ويلاحظ أن التركيب الكيميائي لمسبوكات الألومنيوم تختلف كثيراً عن سبائك الألومنيوم الطروق، فمثلا يضاف السليكون بنسب من 5 إلى 12 % لزيادة السيولة وزيادة قوة المعدن، كما يضاف الماغنيسيوم بنسب من 0.3 إلى 1 % لزيادة مقاومة الشد عند درجات الحرارة العادية، في حين أن إضافة 1 إلى 4 % نحاس يزيد من مقاومة الشد عند درجات الحرارة العالية نسبيا، هذا كما تضاف معادن أخرى مثل الكروم والخارصين والتيتانيوم لتحسين خواص مسبوكات الالومنيوم.

2.1.2.6 المعالجة الحرارية لسبائك ومسبوكات الألومنيوم:

تتشابه المعالجة الحرارية للألومنيوم الطروق والمسبوكات من حيت عملية تصنيف وترقيم المعالجة الحرارية، وذلك بأن يتبع ترقيم السلسلة حروف وأرقام تدل على عمليات التصنيع أو المعالجة الحرارية المقامة على السبيكة أو المسبوكة، وهذا التصنيف يشمل ما يأتي:

F : السبيكة أو المسبوكة كما هي مصنعة (أي بدون معالجة حرارية).

O : مقام عليها تلدين.

H : تم تشكيلها على البارد بالدرفلة أو الكبس الشد أو غيرها.

T : معالجة حرارية للمحلول الجامد (ويبين الرقم بعده طريقة المعالجة).

ونعني بمعالجة حرارية للمحلول الجامد هو تسخين سبيكة الألومنيوم إلى المنطقة ما قبل الإنصهار {100 دم تقريبا أقل من درجة الإنصهار} لفترة من الزمن تعرف بزمن النقع وذلك لجعل السبيكة متجانسة ثم التبريد في الماء عند درجة الحرارة العادية لتكوين محلول جامد ومشبع، ويعتمد زمن النقع على سمك المعدن.

ولتحسين خواص هذه السبيكة الصلدة، يقام لها تعتيق، وذلك لتكوين محلول ناعم من المواد المترسبة، وهذه المواد تمنع تحرك الانخلاعات (Dislocations) وبذلك تزداد الصلابة وتنخفض الصلادة مع الاحتفاظ بقوة شد عالية.

T2: تلدين للمسبوكات بعد المعالجة الحرارية للمحلول الجامد.

T3 : التقسية بمعالجة حرارية للمحلول الجامد ثم التشغيل على البارد.

T4 : التقسية بمعالجة حرارية للمحلول الجامد وبعد ذلك التعتيق الطبيعي (أي التصليد بمرور الزمن).

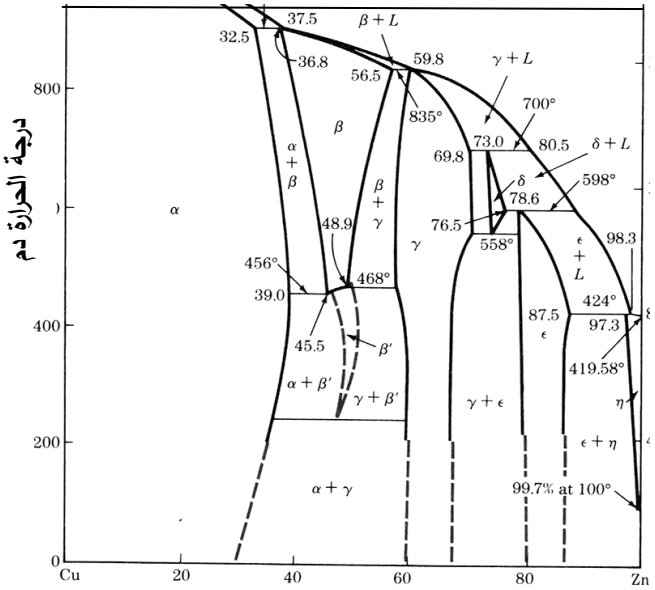
T5 : تعتيق صناعي أي التسخين إلى درجة حرارة ما بين 15 –25 % من درجة المعالجة للمحلول الجامد.

T6 : التقسية بمعالجة حرارية للمحلول الجامد ثم التعتيق الصناعي . ويعمل التعتيق على إعادة ترتيب وتنظيم الحبيبات بداخل السبيكة بحيث تزداد مقاومة الشد والصلابة للمعدن.

والجدير بالذكر أن سبائك سلاسل الألف والثلاثة ألآف والخمسة ألاف هي سبائك ذات كميات متدنية من العناصر المضافة، ولذلك فإنها لا تستجيب للمعالجة الحرارية، في حين أن سبائك سلاسل الألفان والستة ألاف والسبعة ألاف فإنها قابلة للمعالجة الحرارية ويمكن تحسين الكثير من خواصها بهذه المعالجة.

2- سبائك النحاس الأصفر (Brass):

تنتمي مجموعة النحاس الأصفر (Brass) إلى سلسلة العشرين ألف (C2xxxx) والتي تحتوي على 5 إلى 40 % خارصين. وحيث أن حجم ذرات عنصر الخارصين كبيرة، فإن النحاس يكون محلولا جامداً مع الخارصين بالإحلال حتى تركيز 35 %، وما بعد هذا التركيز ينفصل إلى طورين α و β ، والشكل (6-8) يوضح مخطط إتزان النحاس والخارصين، كما أن الشكل (6-9) يبين التركيب المجهري لطوري α و β ، في سبائك النحاس الأصفر.



نسبة الخارصين بالوزن (Zn wt %)

شكل(6-8) مخطط إتزان النحاس والخارصين.

ولقد تم وتصنيع العديد من سبائك النحاس الأصفر بنسب مختلفة من الخارصين، وأكثر السبائك إستعمالاً في هذه المجموعة السبيكة (C 26000) التي

2- سبائك النيكل والكروم والحديد (Inconel):

تتركب معظم سبائك هذه المجموعة من 76 % نيكل و 16 % كروم و 8 % حديد وتجمع في ميزاتها بين قوة الشد والصلابة العالية من النيكل، ومقاومة التآكل وتحمل درجات الحرارة العالية من الكروم، وتستعمل هذه السبيكة كثيراً في صناعة أنابيب العادم في محركات الطائرات وتطبيقات درجات الحرارة العالية.

3- سبائك النيكل والمولبيدنيوم والكروم والحديد (Hastelloy):

معظم سبائك هذه المجموعة تتحمل درجات الحرارة العالية كما أنها مقاومة للأحماض، ولذا تستعمل في المنشآت الصناعية .

ومن هذه المجموعة هستالوى إكس (Hastelloy X) ويحتوى على 47 % نيكل و 9 % موليبدنيوم و 22 % كروم و 18 % حديد ولهذه السبيكة مقاومة عالية للتأكسد حتى درجة 1200 د م وتستعمل في تجهيز الأفران وبعض الأجزاء من الطائرة التي تتعرض إلى درجات الحرارة العالية مثل ريش التربينات وأنابيب العادم في المحرك النفاث .

4- سبائك النيكل والالومنيوم والكوبلت والحديد (Alnico)

تصنف هذه المجموعة ضمن سبائك النيكل رغم وجود كميات كبيرة من الحديد بها، وتتفاوت مكوناتها ما بين 8- 12 % الومنيوم و 14-28 % نيكل و5- 35 % مولبيدنيوم والباقي حديد. ولهذه المجموعة خواص مغناطيسية جيدة وتستعمل عادة في صناعة الأجزاء المغناطيسية الدائمة في المولدات الكهربية وأجهزة الاتصال وغيرها .

2.4.2.6 السبائك الممتازة (Super alloys)

لقد تم إستحداث مجموعة السبائك الممتازة بعد بحث طويل خلال الستينات من القرن الماضي لإيجاد سبائك مقاومة لدرجات الحرارة العالية والتي يمكن إستخدامها لتصنيع أجزاء التربينات الغازية وذلك لإتاحة عمل هذه التربينات عند درجات الحرارة العالية ما بين 815 و 1095 درجة مئوية.

وتستعمل هذه المجموعة عند درجات الحرارة العالية لسببين رئيسيين:-

1- مقاومة جيدة للتأكسد (Oxidation resistance).

2- مقاومة جيدة للتزحف (Creep resistance).

ويلاحظ أن ما عدا السبيكة (1818) HF التي تتكون معظمها من الحديد فإن السبائك الأخرى تحتوي على كمية كبيرة من النيكل بما يساوي 50-60 %، والكروم 15-20 %، والكوبلت 15- 20 %، بالإضافة إلى الالومنيوم 1- 4 %، والتيتانيوم 2- 4 %، ولهذه السبائك بنية مكعبة سطحية وتستمد قوتها ومقاومتها من النيكل الذي يكون على شكل أوستينيت (γ) والكروم المقاوم للتأكسد والكوبلت الذي يحل محل الحديد أو النيكل في بعض البلورات لتكوين محلول يزيد في قوة المعدن.

كما أن الالومنيوم والتيتانيوم لهما ذرات رفيعة تتفاعل مع النيكل لتكوين مركبات النيكل والآلومنيوم مثل Ni_3Al الذي يتم ترسيبه بين الذرات أو كإحلال فيزيد من قوة المعدن.

5.2.6 سبائك التيتانيوم:

يعتبر معدن التيتانيوم العنصر الأحدث من حيث الاستخدام، حيث أكتشف في سنة 1791 م ، ولم يستخدم صناعيا حتى الأربعينات من القرن الماضي، ورغم وجود التيتانيوم في الطبيعة بكميات كبيرة علي شكل أكسيد التيتانيوم إلا أن أستخراجه

وأستعماله كان بطيئا بسبب نشاطه ومقدرته على تكوين مركبات كثيرة ليس لها أهمية، وتكلفته العالية، مما يقلل من منافسته لسبائك العناصر الأخرى.

ويمتاز التيتانيوم النقي بدرجة انصهار عالية تقارب 1671 دم وكثافة تساوي 4.5 وقوة شد كبيرة (662 MP)، وبذلك يكون التيتانيوم من المعادن الخفيفة المنافسة للألومنيوم. ويتكون التيتانيوم من بلورات سداسية (α) عند درجة الحرارة العادية ، وعند تسخينه عند درجة حرارة أكبر من 882 دم يتحول إلى بلورات وسطية، وهذا يجعل سبائك التيتانيوم قابلة للتقسية بالمعالجة الحرارية.

تصنيف سبائك التيتانيوم:

رغم وجود تصنيف من الجمعية الأمريكية لإختبار المواد تحت رقم (B 265 Grade x)، إلا أن الصناعة كثيراً ما إعتمدت على استعمال العناصر والأرقام الدالة على السبيكة، فمثلا السبيكة (Ti-6Al-4V) تعني أن سبيكة التيتانيوم تحتوي على 6 % الومنيوم و 4 % فاناديوم، وهكذا بالنسبة للسبائك ألأخرى. ولعل هذه السبيكة تعتبر من أهم سبائك التيتانيوم، حيث تتصف بقوة شد عالية وسهولة التشكيل، وعند معالجة محلولها الجامد عند 953 دم تم تعتيقها صناعيا عند درجة حرارة 538 دم لعدة ساعات، يمكن الحصول على قوة شد تناهز 1173 ميجاباسكال.

أما سبيكة التيتانيوم المحتوية على 1 % ألومنيوم، 8 % فاناديوم، 5 % حديد، فإن معالجة محلولها الجامد ثم تعتيقها صناعيا، يزيد قوة الشد لها إلى 1448 ميجاباسكال، فإذا قسم هذا المقدار على الكثافة، فإن هذه السبيكة تعطي قوة نوعية (Specific Strength) أكبر من أي سبيكة صناعية أخرى.

ولذلك نرى أن سبائك التيتانيوم تستعمل لغرضين أساسين وهما:

1- قوة نوعية عالية. 2- مقاومة جيدة للتآكل.