

# البنية البلورية للمادة

طبيعة المادة (Nature of Matter)

المحاضرة الأولى:

**الأهداف:** أن يكون الطالب قادراً على:

- فهم خواص المادة والتغيرات التي تطرأ عليها.
- الإلمام بالتركيب الأساسي للمادة (الذرة).
- تطبيق التوزيع الإلكتروني.

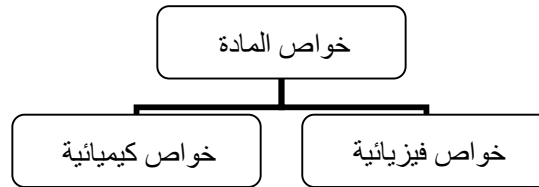
لدراسة علم المواد لا بد من التعرف عن قرب على المادة وخواصها وأشكالها والتغيرات التي تطرأ عليها ، وطرق فصل المواد عن بعضها.

**ما هي المادة؟**

كل شيء يشغل حيزاً من الفراغ وله ثقل. مثل: المادة والهواء والحديد والورق والتراب ..... الخ

**خواص المادة (Properties of Matter):**

يمكن تصنيف خواص المادة كما يلي:



**الخواص الفيزيائية (الطبيعية):**

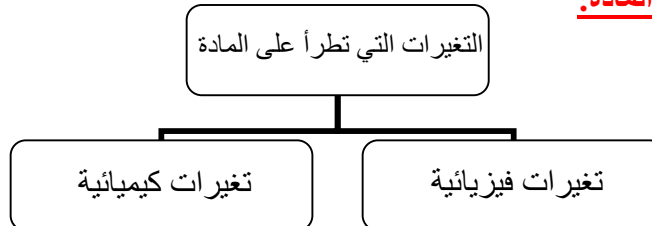
هي الخواص التي يمكن ملاحظتها بالحواس أو قياسها باستخدام الأجهزة المختلفة مثل اللون والطعم والرائحة، درجة الغليان، درجة التجمد، الكثافة، التوصيل الكهربائي، التمدد الحراري وانعكاس الضوء.

**الخواص الكيميائية:**

هي الخواص التي تؤدي إلى التغير في التركيب الكيميائي للمادة عند مزجها تحت ظروف معينة مع مادة أخرى أو عند تعرضها لمؤثر ما كالسخين مثلاً. وتعتبر من الخواص المهمة للمواد وخاصة تلك المستخدمة في ظروف أكالة أو درجات حرارة عالية.

ومن أمثلة الخواص الكيميائية في المواد الفلزية: التآكل أو الصدأ والأكسدة

**التغيرات التي تطرأ على المادة:**



**التغيرات الفيزيائية:**

تغيرات فقط في الشكل الظاهري للمادة دون التغير في التركيب الأساسي.

**التغيرات الكيميائية:**

تغير التركيب الكيميائي للمادة بحيث تنتج مادة مختلفة وبصفات وخواص جديدة.

## أشكال المادة (Types of Matter):

توجد المادة في الطبيعة على شكل عناصر أو مركبات أو مخاليط.

### ١- العناصر (Elements)

العنصر: هو مادة أولية لا يمكن تحليلها إلى مواد أبسط منها لا بالطرق الفيزيائية أو الكيميائية. مثل:

الأكسجين (O) والحديد (Fe). وتتألف العناصر من دقائق صغيرة جدا تسمى **الذرات**

**الذرة:** هي أصغر جزء من العنصر يمكن أن يدخل في التفاعلات الكيميائية دون أن ينقسم.

### ٢- المركبات (Component)

مواد ناتجة من اتحاد عنصرين أو أكثر اتحادا كيميائيا مثل: الماء والسكر وملح الطعام وتتألف المركبات من وحدات تسمى الجزيئات (molecular).

**الجزيء:** أصغر جزء من المادة يتكون من ذرتين أو أكثر يمكن أن يوجد في حالة انفراد وتتضح فيه خواص المادة.

### ٣- المخاليط (Mixtures)

المخلوط: عبارة عن مادتين أو أكثر مجتمعة مع بعضها البعض دون حدوث اتحاد كيميائي. مثل: كوب الشاي الذي يتكون من خليط من الماء والسكر والشاي.

## المفهوم الحديث للذرة:

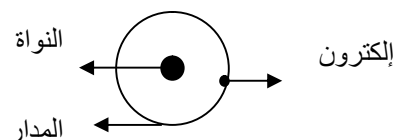
تتكون الذرة من نواة موجبة الشحنة تحتوي على البروتونات والنيوترونات محاطة بالإلكترونات تختلف في طاقتها، نتيجة لوجودها في مستويات مختلفة من الطاقة، وهناك فراغ هائل يفصل بين الإلكترونات ولكنه يعتبر جزءا من حجم الذرة.

### الدقائق المكونة للذرة:

الإلكترونات: جسيمات سالبة الشحنة كتلة كل منها  $9,11 \times 10^{-31}$  جرام  
البروتونات: جسيمات موجبة الشحنة كتلتها أكبر من كتلة الإلكترون  $1,67 \times 10^{-24}$  جرام  
النيوترونات: جسيمات غير مشحونة كهربيا (متعادلة الشحنة) لها كتلة = كتلة البروتونات تقريبا

عدد الإلكترونات = عدد البروتونات

**قاعدة:**



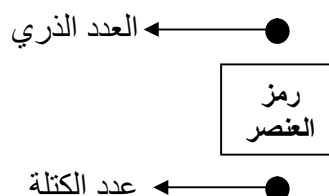
- توجد البروتونات والنيوترونات داخل النواة
- تشكل كتلة النواة أكثر من 99,9 % من كتلة الذرة

العدد الذري = عدد البروتونات = عدد الإلكترونات

عدد الكتلة = عدد البروتونات + عدد النيوترونات

**قاعدة:**

طريقة كتابة العدد الذري وعدد الكتلة في الجدول الدوري للعناصر:



**مثال/** يرمز لعنصر الكلور بالرمز Cl ويكتب في الجدول الدوري بالصورة التالية:



**النظائر:** هي ذرات عنصر واحد تختلف في عدد النيوترونات وبالتالي تختلف في عدد الكتلة ومن ثم تختلف في كتلتها.

**مثال/** ١- الكلور (Cl)

حيث يوجد نوع به (١٧ بروتون و ١٧ إلكترون و ٢٠ نيوترون) ويكتب بالصورة التالية:



ونوع آخر به (١٧ بروتون و ١٧ إلكترون و ١٨ نيوترون) ويكتب بالصورة التالية :



٢- الكربون (C)



**مثال/**

**المجال الإلكتروني:** منطقة أو حيز من الفراغ يحيط بالنواة يكون احتمال وجود الإلكترون فيه كبيرا، وتختلف هذه المنطقة حدودا وشكلا بحسب اختلاف الطاقة التي يمتلكها الإلكترون.



ويتم تمثيل المجال الإلكتروني بحسب عدد الإلكترونات بالشكل التالي:

ويكون دوران الإلكترونات إما مع عقارب الساعة أو عكس عقارب الساعة، ونتيجة لهذا الدوران ينتج حقل مغناطيسي يعتمد اتجاهه على اتجاه دوران الإلكترون.

**طاقة الإلكترون وتوزيعها:** لكل إلكترون مقدار من الطاقة يختلف باختلاف المستوى الرئيسي أو الفرعي الذي

ينتمي إليه، ويتم توزيع الإلكترونات في سبع مستويات رئيسية ويرمز للمستوى بالرمز (n) وهناك أيضا

مستويات فرعية داخل المستويات الرئيسية يرمز لها بالرمز s, p, d, f.

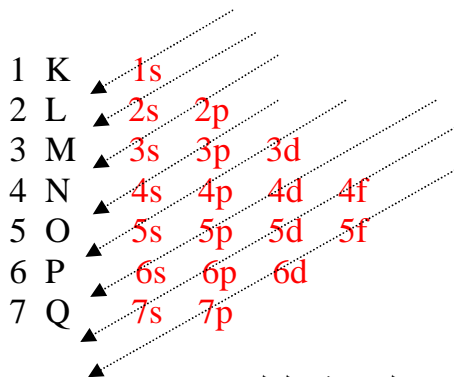
**زيادة طاقة الإلكترون**



n = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7

أو n = K, L, M, N, O, P, Q

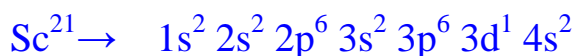
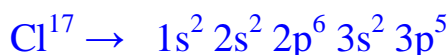
ويتم توزيع الإلكترونات في مستوياتها الرئيسية والفرعية بالطريقة التالية مع مراعاة أن الإلكترونات تحاول شغل المستويات أقل طاقة.



وتوزع الإلكترونات على المجالات الفرعية كالتالي:

- s** يشبع بعدد ٢ إلكترون
- p** يشبع بعدد ٦ إلكترونات
- d** يشبع بعدد ١٠ إلكترونات
- f** يشبع بعدد ١٤ إلكترون

**مثال/** اكتب التوزيع الإلكتروني للعناصر التالية:  $Cl^{17}$ ,  $Ca^{20}$ ,  $Sc^{21}$



ويتم حساب العدد الأقصى للإلكترونات (ع) الذي يمكن استيعابه في احد المستويات بالقانون التالي:

$$ع = ٢ن^٢$$

**قاعدة**

وذلك بحد أقصى ٣٢ إلكترون للمستوى الرابع وما بعده

**قاعدة هند:** في تساوي جميع الاختيارات، تعتمد الإلكترونات في ملئها المجالات إلى جعل حركة دورانها حول نفسها في نفس الاتجاه.

**الكتلة الذرية:** معدل كتلة ذرات العنصر بالنسبة لكتلة ذرة الكربون  $^{12}_6C$  والتي تساوي ١٢ وحدة كتلة ذرية (و ك ذ).

**معدل كتلة ذرات العنصر:** معدل كتلة مخلوط النظائر التي يتألف منها العنصر محسوبة على أساس نسبة وجود كل نظير ويستخدم لقياس النسب جهاز مطياف الكتلة.

**مثال/** احسب معدل كتلة ذرات عنصر الكلور (Cl) اذا علمت أن  $Cl^{35}$  موجود بنسبة ٧٥,٤ % و  $Cl^{37}$  موجود بنسبة ٢٤,٦ %؟

**الحل/** معدل كتلة ذرات عنصر الكلور =  $35.45 = \frac{24.6}{100} \times 37 + \frac{75.4}{100} \times 35$

# البنية البلورية للمادة

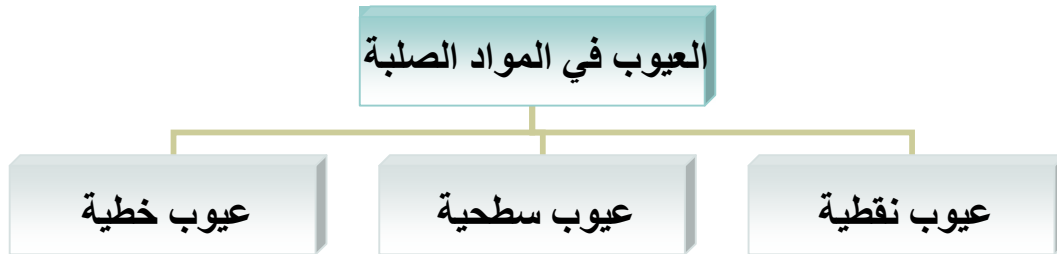
## العيوب في المواد الصلبة

:

**الأهداف:** أن يكون الطالب قادراً على:





- التعرف على العيوب النقطية.
- فهم ظاهرة الانتشار وعلاقتها بالعيوب النقطية.
- التعرف على العيوب السطحية.
- فهم عملية التبلور.

يمكن تقسيم العيوب في المواد الصلبة على النحو التالي:



### ١- العيوب النقطية:

تنقسم هذه العيوب الى عدة اقسام رئيسية موضحة في الجدول التالي:

شكل توضيحي	وصفها	العيوب النقطية
	اماكن لا يوجد بها ذرات.	الفراغات
	ذرات من نفس العنصر لا توجد في اماكنها الصحيحة بل في اماكن بينية.	ذرات مقحمة ذاتية
	ذرات من عناصر اخرى توجد في اماكن بينية.	ذرات مقحمة غريبة (شوائب)
	ذرات من عناصر اخرى تأخذ مكان ذرات العنصر الأساسي وفق الشروط التالية: ١- أن يكون الفرق بين اقطار الذرات صغير لا يتعدى ١٥ %. ٢- أن يكون التركيب البلوري من النوع نفسه (خلية الوحدة). ٣- نفس عدد إلكترونات التكافؤ.	ذرات ابدالية

## ظاهرة الانتشار (Diffusion):

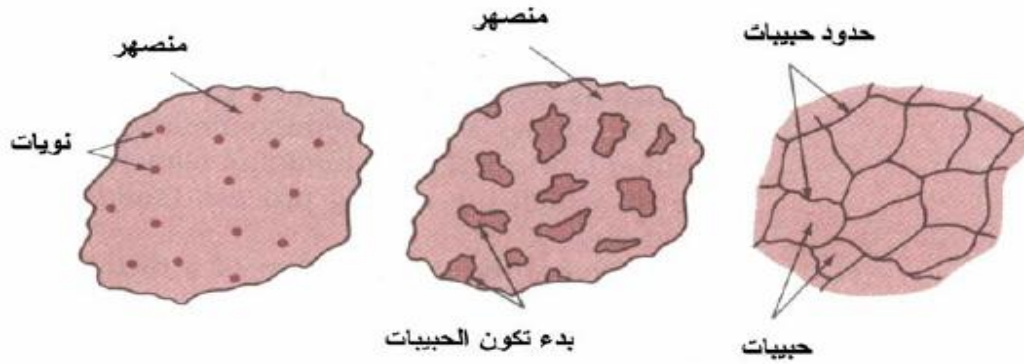
هي عملية انتقال المواد خلال مواد أخرى في الحالة الغازية والحالة السائلة والحالة الجامدة حتى تصل المادة إلى حالة تجانس وانتظام في التركيز، وكذلك هي حركة الذرات والجزيئات الدائمة والمتزامنة إلى مواقع ومراكز بعضها البعض داخل المادة نفسها. و يساعد على زيادة معدل الانتشار زيادة درجة الحرارة والاختلاف الكبير في التركيز.

هناك آليتان للانتشار في المواد البلورية:

- ١ - آلية الفراغات والذرات الابدالية.
- ٢ - آلية الانتشار الاقحامي وفيها تنتقل الذرة من مكان بيني إلى مكان بيني آخر.

## ٢ - العيوب السطحية:

الشكل (٤-١) يوضح تكون النويات اثناء عملية التبريد للمعدن المنصهر والتي يبدأ منها تكوين الحبيبات بحسب التركيب البلوري للمادة، وكلما زادت سرعة التبريد زاد عدد النويات. واثناء تكوين هذه الحبيبات يحدث تصادم بين الحبيبات المجاورة ينتج عنه تشوه في التنظيم (حدود الحبيبات)، وهذه المناطق ضعيفة وبالتالي تتآكل سريعا بفعل الاحماض وتسمى العيوب السطحية.



شكل (٤-١) عملية التبلور

## البنية البلورية للمادة

### العيوب في المواد الصلبة

:

**الأهداف:** أن يكون الطالب قادراً على:

- التعرف على العيوب الخطية (الانخلاعات).
- فهم العلاقة بين عملية التشكيل وحركة الانخلاعات.
- التعرف على بعض العوامل التي تؤثر في حركة الانخلاعات.

### ٣- العيوب الخطية (الانخلاعات) ([http://en.wikipedia.org/wiki/Dislocation:\(Dislocations\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Dislocation:(Dislocations)))

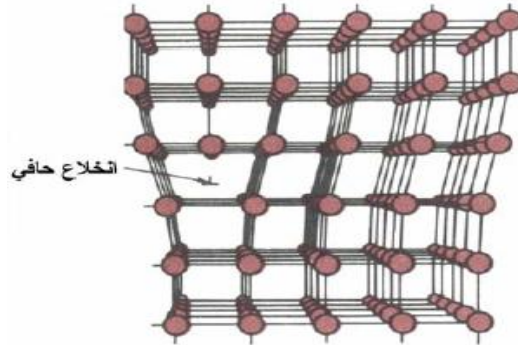
تعتبر حركة الانخلاعات السبب الرئيسي لعمليات تشكيل المعادن كما يعتبر أيضاً من العوامل المؤثرة على خاصية الزحف وهي الخاصية الميكانيكية التي يتم على أساسها اختيار المادة الصالحة والمناسبة للاستخدام عند درجات الحرارة العالية. وكلما زادت سهولة حركة الانخلاعات زادت قابلية المادة للتشكيل أو ما يسمى بخاصية اللدونة وهي إحدى الخواص الميكانيكية للمادة.

وهناك نوعين من الانخلاعات:

١ - انخلاع حافي  $\perp$

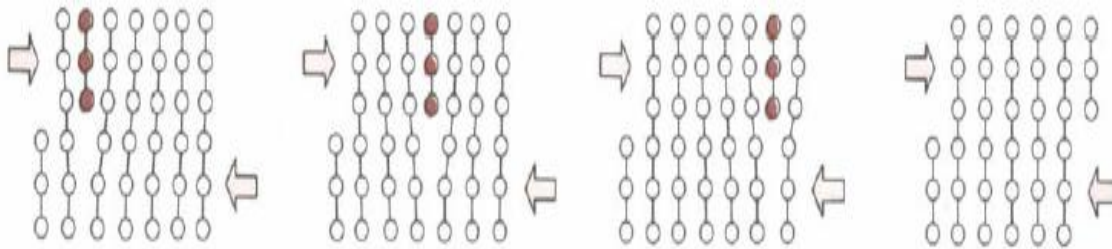
٢ - انخلاع لولبي

والانخلاع الحافي كما هو موضح بالشكل (١-٥) عبارة عن وجود مستوى من الذرات المقحمة ذاتياً يعمل على إزاحة الذرات المجاورة.



شكل (١-٥)

وهناك حركة للانخلاع الحافي أو انتقال من مكان إلى آخر حتى ينتهي إلى الحافة أو يفنى نتيجة لتعرض المادة لقوى أو تأثيرات خارجية مثل الشد والضغط أو درجة الحرارة.



شكل (٢-٥)



## العوامل المؤثرة على حركة الانخلاعات:

هناك عدة عوامل تؤثر على حركة الانخلاعات وبالتالي تؤثر على قابلية المادة للتشكيل ونذكر منها:

### ١ - حجم الحبيبات (grain size):

كلما قل حجم الحبيبات زادت حدود الحبيبات التي تعيق تحرك الانخلاعات وبالتالي تصبح المادة مقاومة للتشكيل (أقل لدونة) ومقاومة للاحتكاك (أكثر صلادة).

### ٢ - درجة الحرارة (Temperature):

كلما زادت درجة الحرارة زادت حركة الانخلاعات وبالتالي تصبح المادة أكثر قابلية للتشكيل.

### ٣ - التشكيل على البارد (Cold Forming):

أو بمعنى آخر تأثير القوة على المادة والتي تساعد على تولد الانخلاعات وإعاقة حركة بعضها البعض وتصبح المادة مقاومة للتشكيل.

### ٤ - وجود الشوائب:

إن وجود الشوائب ( الذرات الغريبة) بين ذرات المادة الأصلية يعيق حركة الانخلاعات ويقلل من قابلية المادة للتشكيل.

### ٥ - عملية التخمير (Annealing):

هي إحدى عمليات المعالجة الحرارية التي تتم على المعادن وفيها يتم تسخين المعدن لدرجة حرارة معينة ثم التبريد البطيء وتسمى أيضا عملية التلدين وينتج عن هذه العملية:

- أ- تقل كثافة الانخلاعات عن طريق فناء الانخلاعات.
- ب- يزداد حجم الحبيبات وبالتالي يقل حجم حدود الحبيبات مما يسهل حركة الانخلاعات.

### ٦ - فناء الانخلاعات:

ويحدث الفناء عندما يتقابل انخلاع حافي علوي  $\perp$  مع انخلاع آخر سفلي  $\neg$  وتتحد مع بعضها.

# البنية البلورية للمادة

خلية الوحدة والمستويات والمتجهات البلورية

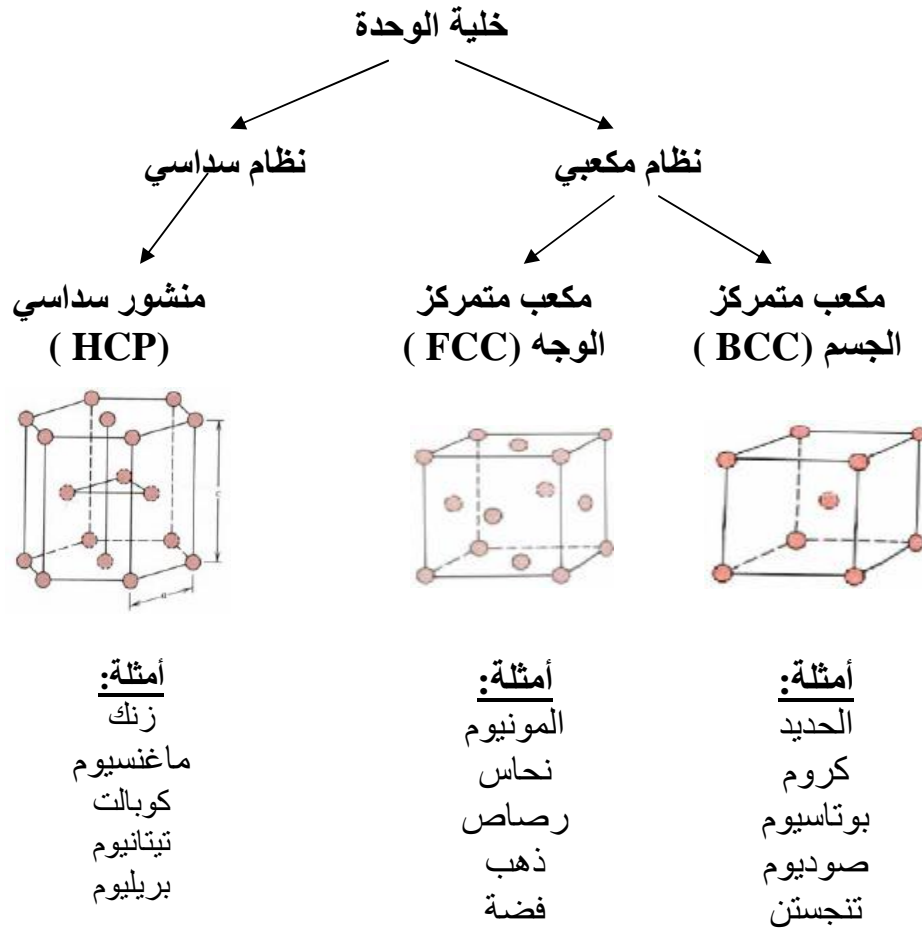
:

**الأهداف:** أن يكون الطالب قادرا على:

- معرفة معنى الخلايا الوحيدة وفهم خصائصها.
- ادراك اهمية المستويات والمتجهات البلورية والتعامل معها.

## البنية البلورية للمعادن:

تتكون جميع المعادن من شبكات او بنى بلورية تتحدد على اساسها خواص المعادن وكيفية التعامل معها سواء في تغيير خواصها او صنع سبائك من معادن مختلفة. ونناقش في هذا الدرس اكثر انواع الشبكات البلورية انتشارا في المعادن .



هناك اربع معلومات مهمة تستخلص من الخلية وهي:

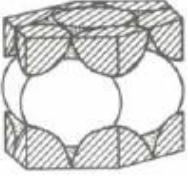
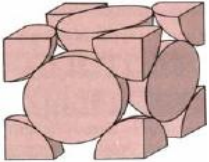


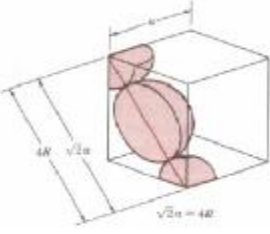
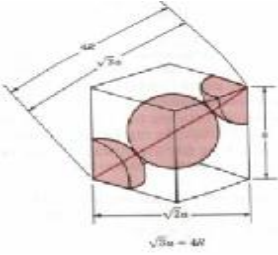
١ - العدد التنسيقي: هو عدد اقرب ذرات لكل ذرة.

٢ - العدد الفعلي للذرات في الخلية: هو عدد الذرات داخل خلية الوحدة.

٣ - العلاقة بين ابعاد الخلية ونصف قطر الذرة.

٤ - معامل الازدحام الذري ( APF ) =  $\frac{\text{العدد الفعلي للذرات في الخلية} \times \text{حجم الذرة}}{\text{حجم الخلية}}$

الجدول التالي يوضح طريقة حساب معامل الإزدحام الذري لمجموعة من الخلايا الوحيدة:

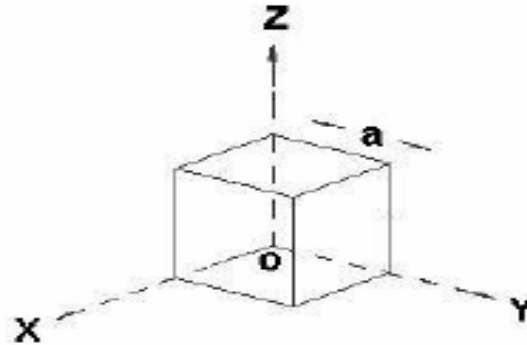
HCP	FCC	BCC	
12 	12 	8 	العدد التنسيقي
$3 + 12 \times \frac{1}{6} + 2 \times \frac{1}{2} = 6$	$8 \times \frac{1}{8} + 6 \times \frac{1}{2} = 4$	$8 \times \frac{1}{8} + 1 = 2$	العدد الفعلي
$a = 2R$ 	$\sqrt{2} a = 4R$ 	$\sqrt{3} a = 4R$ 	العلاقة بين a و R
$\frac{4}{3} \pi R^3$	$\frac{4}{3} \pi R^3$	$\frac{4}{3} \pi R^3$	حجم الذرة
$4.24 a^3$	$a^3$	$a^3$	حجم الخلية
<b>0.74</b>	<b>0.74</b>	<b>0.68</b>	<b>APF</b>

## المتجهات البلورية في النظام المكعبي:

يمثل المتجه بثلاثة ارقام صحيحة بين قوسين مربعين [123] ويعبر عن الارقام السالبة بخط على اعلى الرقم [123].

لرسم وقراءة اي متجه لا بد من معرفة الآتي:

١- رسم مكعب ثلاثي الابعاد طول ضلعه  $a$  (خلية الوحدة)، وتحدد الاتجاهات الموجبة والسالبة بناء على نقطة الاصل  $O$ .

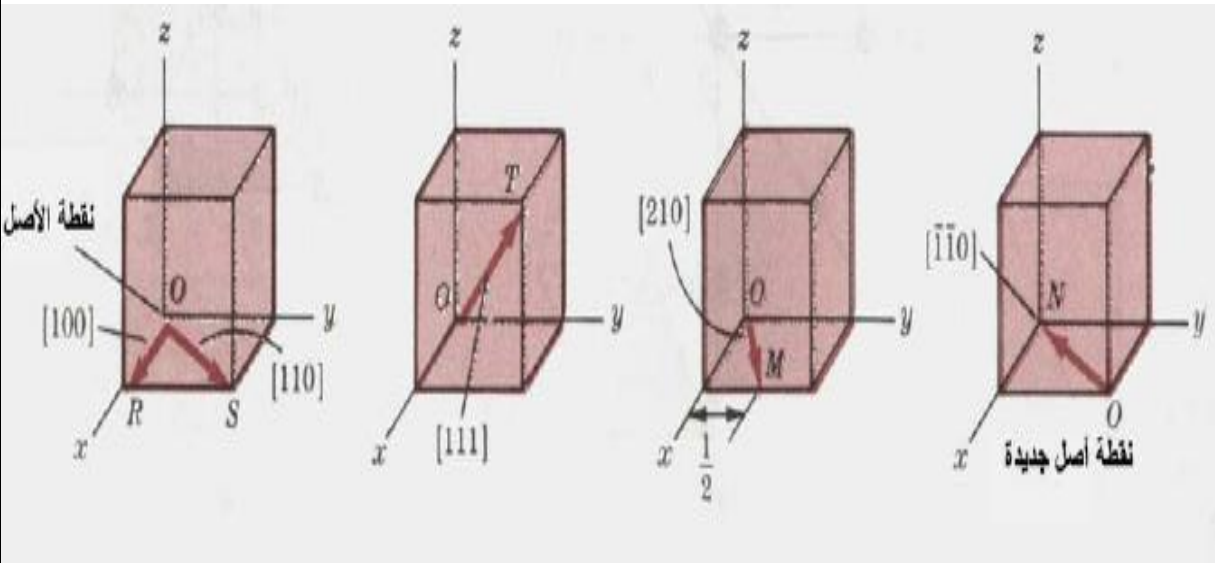


شكل (١-٣) خلية الوحدة

٢- تحدد نقطة اصل المتجه على أي ركن من اركان المكعب.

٣- نحدد اسقاطات رأس المتجه على المحاور الثلاثة  $[X Y Z]$  وتكتب الارقام بصورة صحيحة.

**امثلة:**



شكل (٢-٣) امثلة على المتجهات

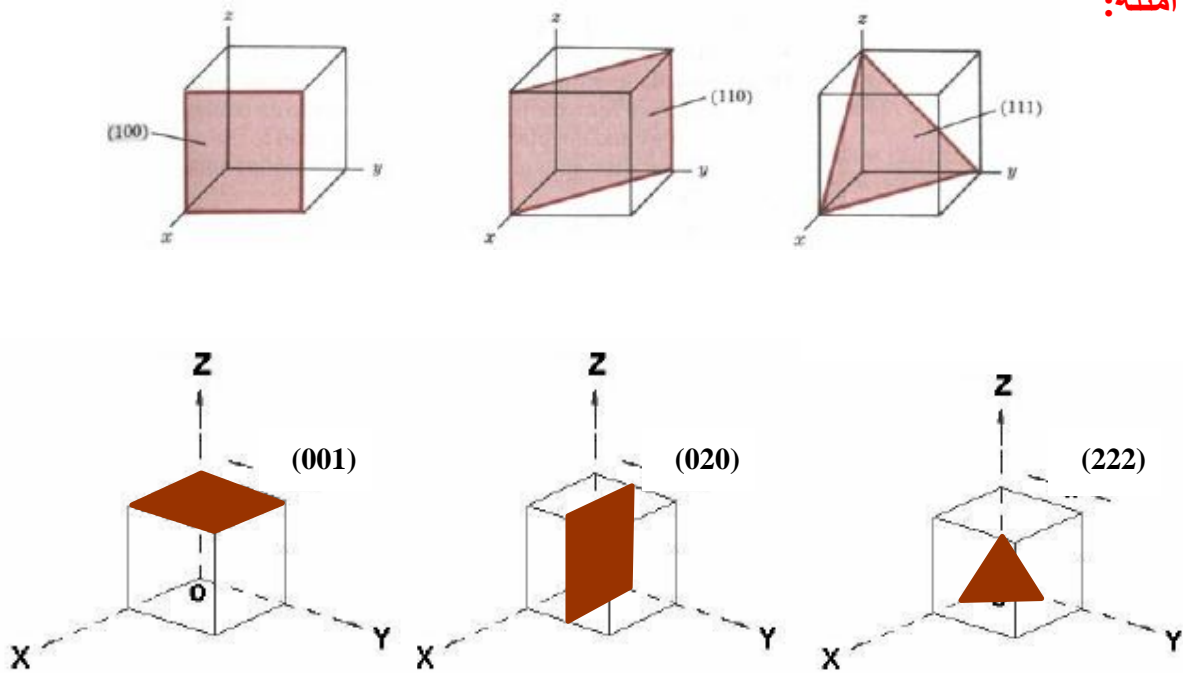
## المستويات البلورية في النظام المكعب:

يمثل المستوى بثلاثة ارقام صحيحة بين قوسين دائريين (123) ويعبر عن الارقام السالبة بخط على اعلى الرقم (123).

لرسم وقراءة اي مستوى نتبع الخطوات الاولى والثانية في رسم المتجهات ثم :

- ١- اذا كان المستوى يمر بنقطة الاصل نختار نقطة اخرى مع الاحتفاظ باتجاه المحور.
- ٢- نحدد نقاط التقاطع مع المحاور مع الأخذ بالاعتبار الاتجاهات الموجبة والسالبة.
- ٣- اذا كان المحر موازى للمستوى فإن التقطع يكون عند ما لا نهاية ، وبالتالي نأخذ المقلوب وتكون القيمة الصحيحة (صفر).
- ٤- تكتب الارقام في اقل صورة صحيحة بمعنى اننا نقوم بالقسمة او الضرب في عامل مشترك.
- ٥- تكتب الارقام بين قوسين بالترتيب التالي (X Y Z).

**امثلة:**



شكل (٣-٣) امثلة على المستويات

# البنية البلورية للمادة

## إلكترونات التكافؤ والروابط الذرية

\_\_\_\_\_:

**الأهداف:** أن يكون الطالب قادرا على:

- فهم المقصود بإلكترونات التكافؤ وعلاقتها بالروابط الذرية.
- فهم الروابط بين الذرات وعلاقتها بالتوزيع الإلكتروني .
- التمييز بين المواد الهندسية ومعرفة خصائصها.

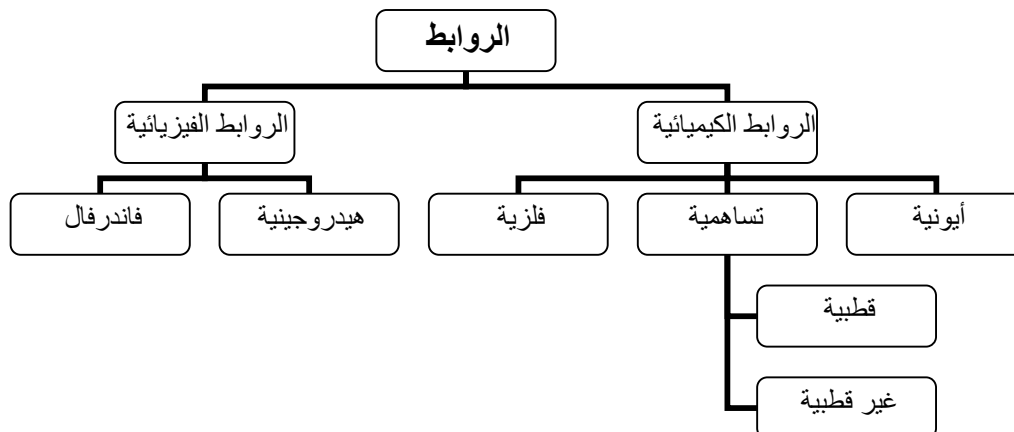
**إلكترونات التكافؤ:** تعتمد كثير من الخواص الكيميائية والفيزيائية على إلكترونات التكافؤ لمسئوليتها المباشرة عن طرق الترابط بين الذرات وتوجد هذه الإلكترونات في المدار الأخير للذرة.

**قاعدة الثمانية:** تطبق على جميع العناصر ما عدا الهيدروجين (يحتوي إلكترون واحد) والهيليوم (إلكترونين)، حيث وجد أن وجود ثمانية إلكترونات في المدار الخارجي للذرة يعطيها مقدارا كبيرا من الثبات والاستقرار فمثلا الغازات الخاملة مثل الأرجون (Ar) والنيون (Ne) لا تتفاعل لأنها تحتوي على ثمانية إلكترونات في المدار الأخير.

وترتكز هذه القاعدة على ثلاث حالات:

- ١- فقد الإلكترون: وعندها تصبح الذرة موجبة الشحنة أو أيون موجب (كاتيون). وتعتمد الذرة إلى فقد الإلكترونات إذا كان عدد الإلكترونات في المدار الخارجي أقل من أربعة.
- ٢- اكتساب الإلكترون: تصبح الذرة سالبة الشحنة أو أيون سالب (أنيون). وتعتمد الذرة إلى اكتساب الإلكترونات إذا كان عدد الإلكترونات في المدار الأخير أكثر من أربعة.
- ٣- المشاركة مع ذرات أخرى.

## الروابط الذرية:



## ١- الروابط الكيميائية: هي القوى التي تربط ذرات العناصر مع بعضها البعض في

(أ) الرابطة الأيونية (Ionic Bond) : تتم عادة بين الفلزات واللافلزات وقبل ان نعطي مثال لذلك يجب معرفة الفرق بين الفلزات واللافلزات. وللتعرف على هذه الرابطة لابد اولاً من معرفة خواص الفلزات واللافلزات.

### خواص الفلزات:

١- عدد الكترولونات التكافؤ لا يزيد عن ثلاثة وبالتالي فإنها تعتمد إلى فقد الالكترولونات.

٢- التوصيل الجيد للكهرباء والحرارة.

٣- وجودها في صورة جامدة.

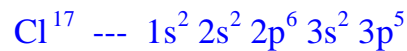
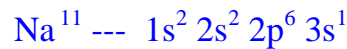
٤- معتمه لا تنفذ الضوء.

٥- لها بريق ولمعان.

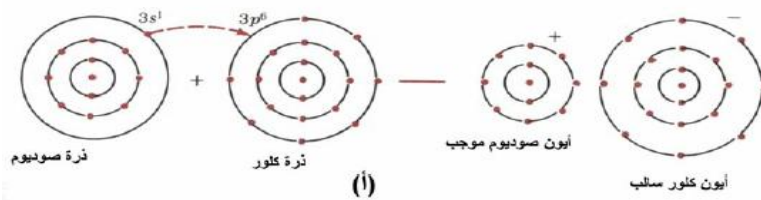
٦- لها قابلية التشكيل بالطرق والثني.

اما اللافلزات فإن عدد الكترولونات التكافؤ كبير فهي تعتمد الى اكتساب الالكترولونات.

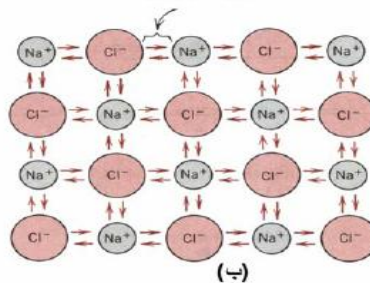
**مثال علمي الرابطة الأيونية/** الرابطة في كلوريد الصوديوم بين الصوديوم ( $\text{Na}^+$  ، فلز) والكلور ( $\text{Cl}^-$  ، لا فلز) هي رابطة ايونية.



من الملاحظ أن الصوديوم يمتلك الكترولون واحد في المدار الاخير والكلور لديه ٧ الكترولونات فلذلك يعتمد الصوديوم الى فقد الالكترولون ويصبح المدار الخارجي له وللكلور مشبع بثمان الكترولونات.



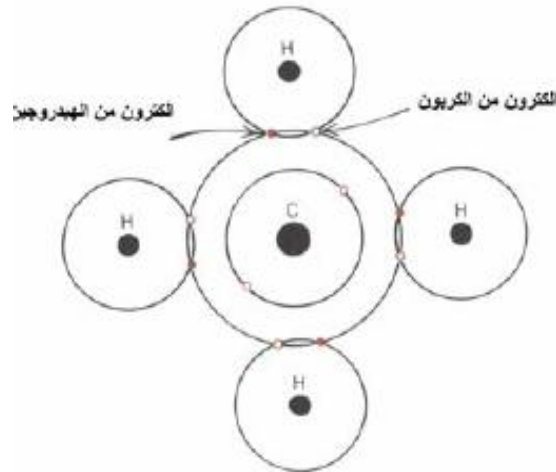
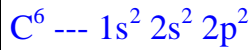
### الرابطة الأيونية



شكل ( ١ - ١ ) الرابطة الأيونية

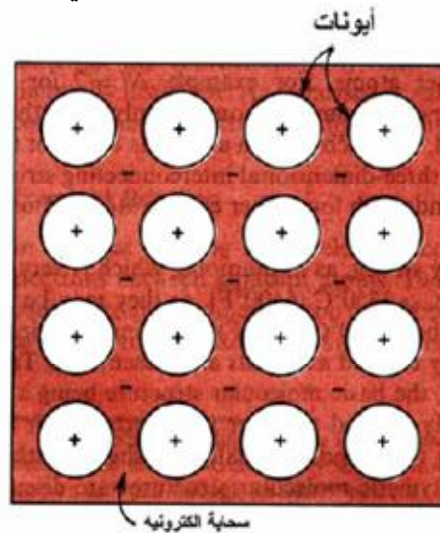
ب) الرابطة التساهمية (Covalent Bond): وفيها تتشارك الذرات في الإلكترونات ، كل ذرة تساهم بإلكترون واحد على الأقل ولا يتم الفقد الكلي كما رأينا في الرابطة الأيونية.

**مثال/** الرابطة في جزئ الميثان  $CH_4$  هي رابطة تساهمية فنجد أن الكربون (C) لديه اربعة غلكترونات في المدار الخارجي والهيدروجين (H) لديه إلكترون واحد وعند ترابط أربع ذرات هيدروجين مع ذرة كربون برابطة تساهمية يصبح المدار الخارجي لكلا العنصرين مشبع.



شكل (٢-١) الرابطة التساهمية

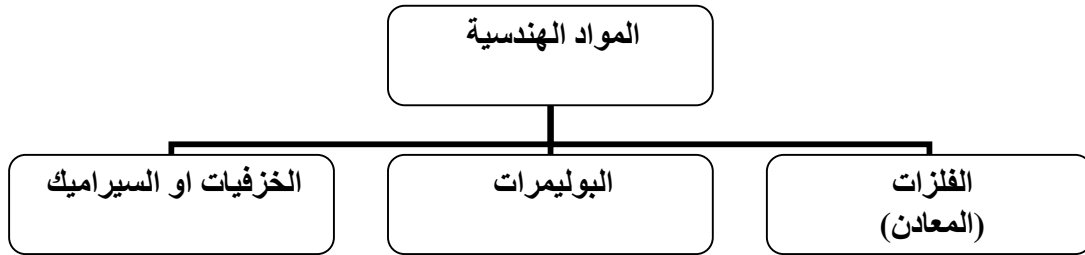
ج) الرابطة الفلزية (Metalic Bond) : هي الرابطة التي تشد الذرات مع بعضها البعض داخل الفلز أو المعدن و تعتمد هذه الرابطة على إطلاق ذرات الفلزات لإلكترونات التكافؤ فتصبح هذه الذرات ايونات موجبة، وتكون الإلكترونات سحابة إلكترونية تعمل على ربط اليونات الموجبة ببعضها. وقد تكون هذه الاربطة ضعيفة كما في الزئبق وبالتالي فإن درجة إنصهاره منخفضة ( $-39^\circ C$ ) اما في التنجستن الذي درجة إنصهاره عالية ( $3410^\circ C$ ) فالرابطة قوية.



شكل (٣-١) الرابطة الفلزية (المعدنية)



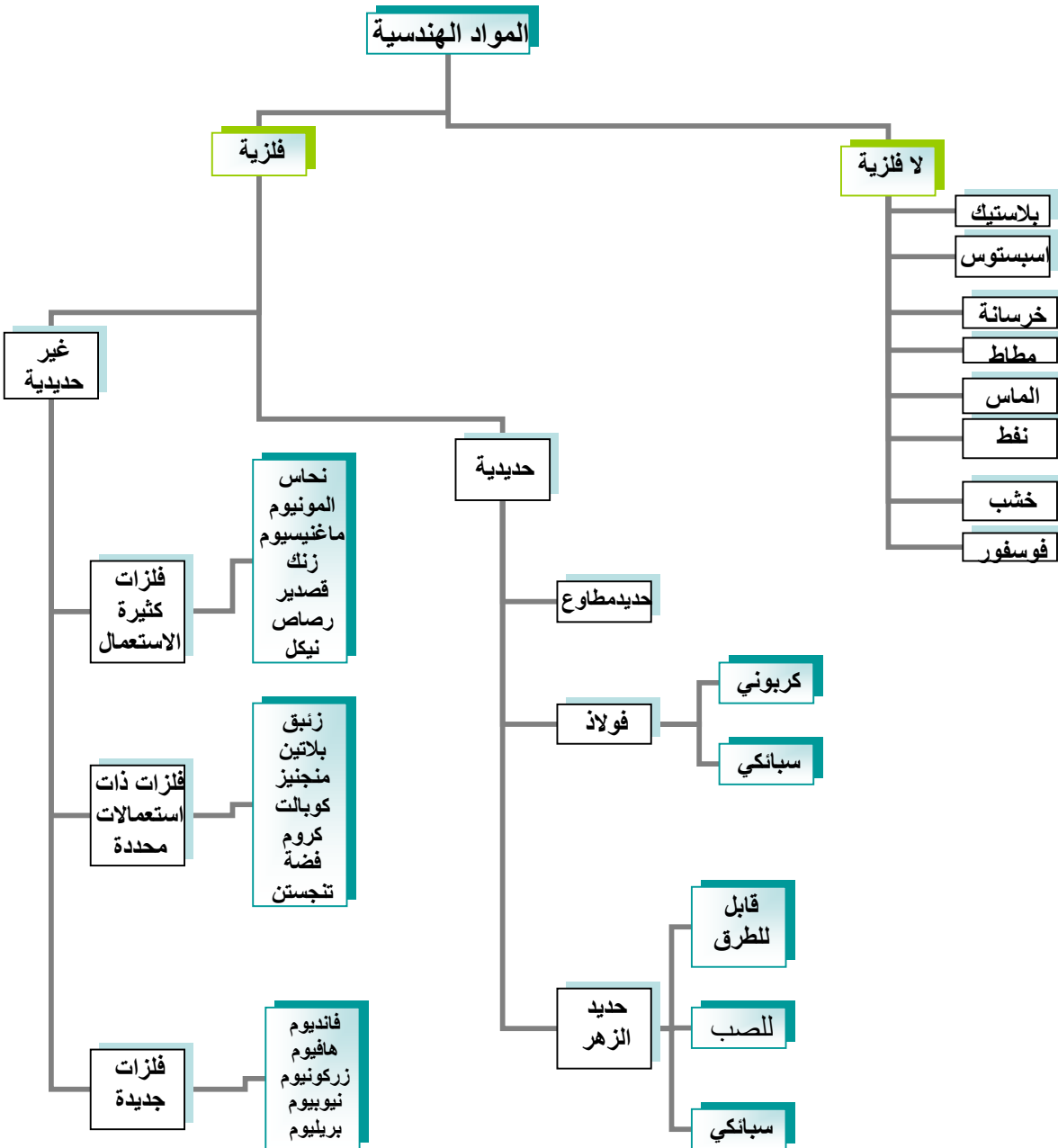
المواد الهندسية: يمكن تقسيم المواد الهندسية الى ثلاثة اقسام رئيسية لكل منها خواصة المميزة .



والجدول التالي يوضح الخواص المميزة لكل نوع:

الفلزات (المعادن)	البوليمرات	الخزفيات او السيراميك
§ عدد الالكترونات التكافؤ لا يزيد عن ثلاثة.	§ سيئة التوصيل للحرارة والكهرباء.	§ صعوبة التشكيل.
§ التوصيل الجيد للحرارة والكهرباء.	§ عاكسة سيئة للضوء.	§ سهولة الكسر(قصفة)
§ لها بريق ولمعان بعد الصقل.	§ بعضها يمكن تشكيله بسهولة.	§ عازلة للكهرباء والحرارة.
§ غير منفذة للضوء.		
§ لها قابلية التشكيل.		
§ لها كثافة عالية مقارنة بكثافة الماء.		

والمخطط التالي يوضح طريقة اخرى اكثر تفصيلا لتقسيم المواد الهندسية :



## السبائك المعدنية ومخططات الاتزان الحراري

:

**الأهداف:** أن يكون الطالب قادرا على:

- فهم المقصود بالسبيكة والمحاليل الجامة.
- فهم معنى الطور.
- معرفة كيفية رسم مخططات الاتزان الحراري.
- تحليل مخططات الاتزان الحراري البسيطة.

### السبائك المعدنية:

السبيكة لفظ استخدم قديما عندما يتم خلط فلز ثمين مع فلز آخر أقل قيمة، وذلك في بدايات صناعة الذهب والفضة، ويعتبر لفظ سبيكة ذهب هو الشائع في كثير من التعاملات، ولكن لماذا تسمى سبيكة ذهب؟ الجواب هو إن صلادة الذهب ومقاومته منخفضة جدا ولذلك يعتبر عرضة للبلل والبري وتتم إضافة عنصر النحاس إليه مما يؤدي إلى رفع الصلادة وزيادة المقاومة وأيضا تسهيل عملية التشكيل.

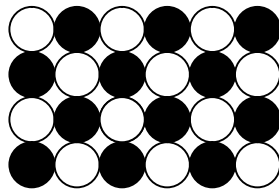
أما في الوقت الحالي فيستخدم هذا التعبير لأي خليط من الفلزات أو المعادن ويطلق عليها السبائك المعدنية. ويمكن القول إن جميع العناصر الفلزية في حالة سبائكية - ما عدا العناصر عالية النقاوة مع قليل من الشوائب الداخلة في تركيبها - وذلك لأنها تحتوي في تركيبها على عنصر أو عنصرين على الأقل بنسب قليلة إما مع الخام أو تدخل للفلز أثناء عملية التصنيع.

ويطلق على الفلز الأعلى نسبة في تركيب السبيكة اسم أساس السبيكة Base metal وقد تعرف السبيكة باسمه، وتعرف العناصر الأخرى بالعناصر السبائكية Alloying elements. وتتكون معظم السبائك من عنصرين فلزيين أو أكثر ما عدا سبائك الفولاذ التي تتكون من الحديد والكربون (فولاذ كربوني) أو حديد وكربون وعناصر أخرى (فولاذ سبائكي)، لأن الكربون هو العنصر المهم الذي يؤثر على خواص الحديد.

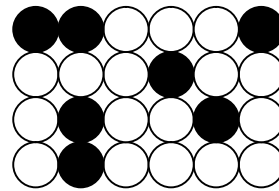
### المحاليل الجامة (Solid Solution):

المحلول الجامد هو وجه وحيد من المادة الجامة متجانس الخواص يحتوي على اثنين أو أكثر من العناصر المختلفة، وخواص المحلول الجامد الناتج تختلف عن خواص كل عنصر على حدة. ويتركب المحلول الجامد من جزئين هما المذيب Solvent والمذاب Solute.

والمحلول الجامد هو ببساطة محلول في حالة تجمد به ذرات عنصر ذائب وعنصر آخر مذيب، وتمت إذابة العناصر معا عند درجات حرارة أعلى من درجتي حرارة انصهار العنصرين، ثم تم التبريد لدرجة الحرارة العادية، حيث ظلت الذرات المذابة في بنية وشبكة Lattice ذرات المذيب. ويتكون المحلول الجامد إما بالإحلال Substitutional أو الفرجات Interstitial وقد يكون الإحلال منتظم أو غير منتظم (شكل (٦-١)).



إحلال منتظم



إحلال غير منتظم

شكل (٦-١)

ويكون ذوبان الفلزات معا على ثلاثة أشكال:

- ١ - ذوبان تام في الحالة السائلة وذوبان تام في الحالة الجامدة، مثل النيكل والنحاس.
  - ٢ - ذوبان تام في الحالة السائلة وانفصال في الحالة الجامدة، مثل الرصاص والحديد.
  - ٣ - ذوبان تام في الحالة السائلة وذوبان جزئي في الحالة الجامدة، مثل سبائك الحديد مع الكوبالت.
- كما تتوقف درجة ذوبان الفلزات في بعضها على أربعة عوامل:
- ١ - الاختلاف بين قطري ذرتي الذائب والمذيب: كلما قل الاختلاف زادت الذائبية.
  - ٢ - التركيب البلوري: تزيد الذائبية كلما كان الذائب والمذيب لهما نفس التركيب.
  - ٣ - التكافؤ: تزيد الذائبية في العناصر ذات التكافؤ المتماثل.
  - ٤ - السالبية الكهربائية.

## الطور:

هو جزء من المادة متجانس له خواصه الفيزيائية والميكانيكية المميزة. ويمكن أن تتكون المادة من طور واحد أو عدة أطوار، والفلزات النقية توجد في ثلاث حالات - حسب درجة الحرارة - هي الغازية، السائلة، والجامدة، ويطلق على كل حالة اسم (طور).

وتتكون الفلزات في حالتها الجامدة من حيث الأطوار من:

- ١ - فلز نقي
  - ٢ - فلز سبيك
  - ٣ - مركب
  - ٤ - محلول جامد
- إذا كانت السبيكة متجانسة ومكونة من طور واحد، يكون الفلز في حالة محلول جامد (Solid Solution)، أما إذا كانت غير متجانسة (خليط من عدة أطوار)، يكون الفلز في هذه الحالة أحد عناصر طور أو أكثر من السبيكة.

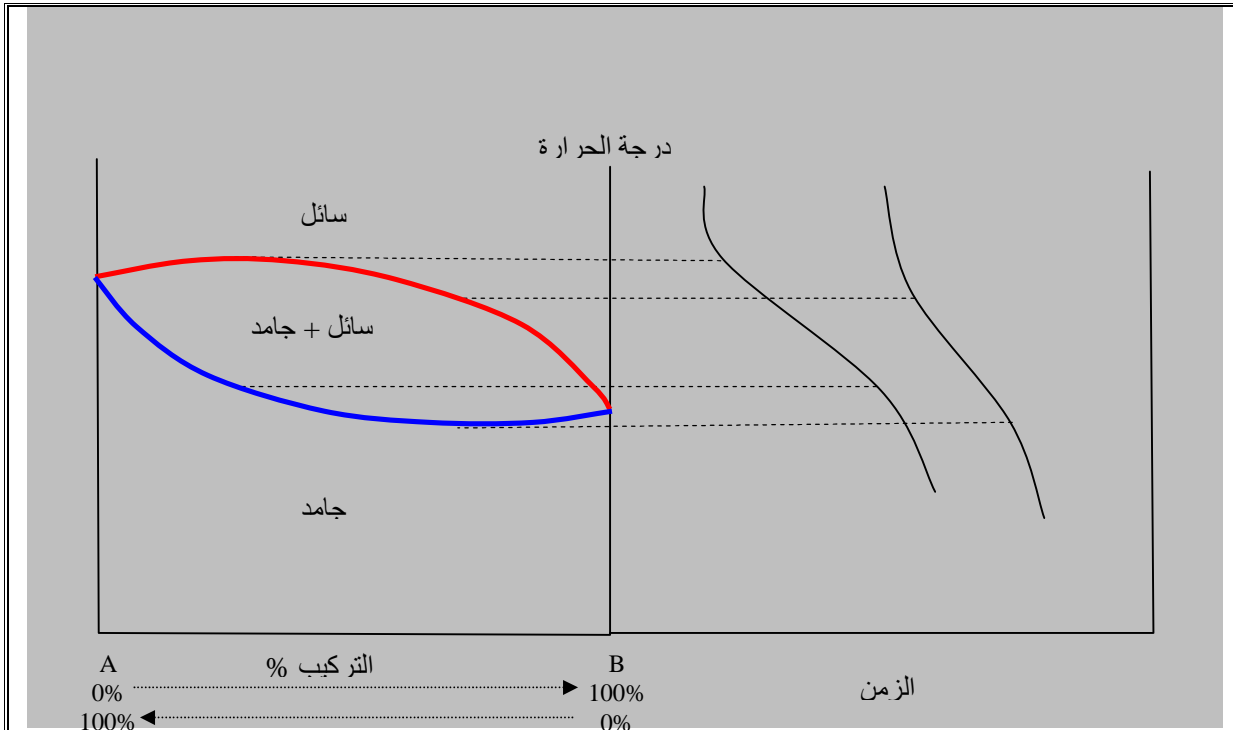
## مخططات الاتزان الحراري:

عبارة عن رسومات توضح أطوار مختلفة لتنظيم المواد عند اختلاف درجة الحرارة والتركيب، وبواسطة هذه الرسومات يمكن الحصول على المعلومات الآتية:

- ١ - العلاقة بين درجة الحرارة وتركيب المادة مع بيان الأطوار المختلفة.
- ٢ - تحديد توازن ذائبية المواد في بعضها.
- ٣ - التعرف على التركيب الكيميائي والأطوار المكونة للسبيكة عند حرارة معينة.
- ٤ - تحديد إمكانية إجراء المعالجة الحرارية على سبيكة ما من عدمه.
- ٥ - تحديد درجة حرارة تحول المادة إلى حالة الانصهار والعكس.

ولرسم مخططات الاتزان لابد من التعرف على طريقة رسم منحنيات التبريد والتي من خلالها يتم رسم مخطط الاتزان الحراري لأي سبيكة، ومنحنى التبريد ببساطة يوضح العلاقة بين درجة حرارة المادة والزمن بحيث يتم صهر المعدن أو السبيكة ومن ثم التبريد ببطء، وعند تكرار هذه العملية لتركيبات مختلفة من السبيكة يلاحظ في المنحنيات وجود تغير فجائي في معدل التبريد، ويتم تحديد هذه النقاط في رسم آخر يبين العلاقة بين تركيب السبيكة ودرجة الحرارة.

شكل (٦-١) يبين طريقة رسم مخططات الاتزان البسيطة مثل مخطط الاتزان الحراري لسبيكة من النحاس والنيكل.



شكل ( ٦-١ )

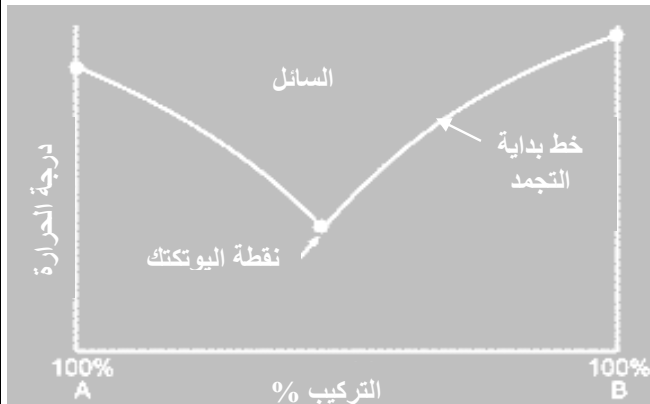
أما خطوات رسم المنحنيات الأخرى فهي كالتالي:



## الخطوة الأولى

- ١ - يتم تحديد نقط الانصهار لمكونات السبيكة الأساسية وذلك بالتسخين حتى الانصهار.
- ٢ - يحدد معدل التبريد للسبيكة عند تراكيب مختلفة.
- ٣ - في بعض الأحيان عند تركيب معين يكون هناك سلوك لمنحنى التبريد يشبه المعدن النقي ويكون عند نقطة تسمى اليوتكتك.

شكل ( ٦-٢ )



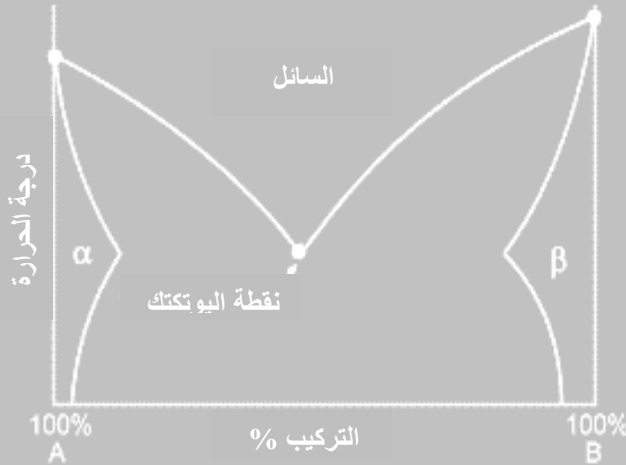
## الخطوة الثانية

- ١ - يتم تبريد السبائك من الطور السائل.
- ٢ - يتم تسجيل القراءات لمعدلات التبريد.
- ٣ - تؤخذ درجات الحرارة التي يبدأ عندها التجمد.
- ٤ - تمثل هذه القراءات على المخطط.

شكل ( ٦-٣ )

## الخطوة الثالثة

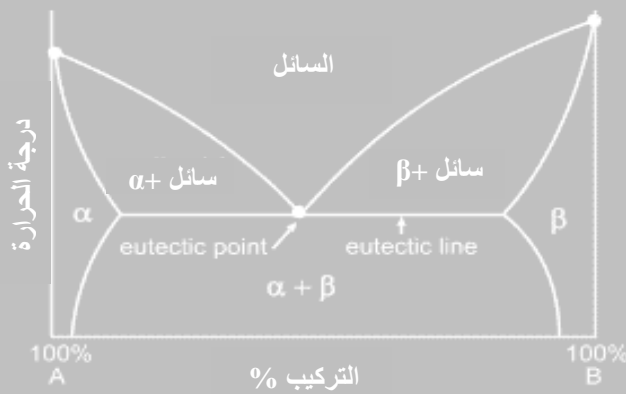
- ١- من المعروف أن هناك حدود لذائبية المواد في بعضها (Solid Solubility) وبعدها تبقى المواد في صورتها الجامدة أو ما يعرف بالمحلول الجامد (Solid Solution).
- ٢- تتغير هذه الحدود بتغير درجة الحرارة.
- ٣- المحلول الجامد نتيجة ذوبان B في A يسمى  $\alpha$  (alpha) والمحلول الجامد نتيجة ذوبان A في B يسمى  $\beta$  (beta).
- ٤- من المهم جدا ذكر أن هناك بعض السبائك ليس لها محاليل جامدة مثل سبيكة الألمونيوم - سيلكون (Al-Si) (Zero solid solubility).



شكل (٤-٦)

## الخطوة الرابعة

- ١- باستثناء أطوار المحاليل الجامدة التي تظهر في جانبي الرسم تكون السبيكة في الطور الجامد تماما تحت ما يسمى درجة حرارة اليوتكتك (eutectic Temperature).
- ٢- الأطوار التي تقع بين خط التجمد (Solidification line) وخط اليوتكتيك (eutectic line) وطور المحلول الجامد هي خليط من alpha و beta بصورتها الجامدة.



شكل (٥-٦)

وبالنسبة للأطوار التي فيها خليط من  $\alpha$  و  $\beta$  أو (سائل و  $\beta$ ) أو (سائل و  $\alpha$ ) فإنه يمكن حساب النسب التي تدخل في تركيب الخليط عند أي نقطة داخل ذلك الطور باستخدام قاعدة ليفر (The Lever Rule) أو في بعض الأحيان يطلق عليها قاعدة الخط الأفقي.

# مخططات الاتزان الحراري

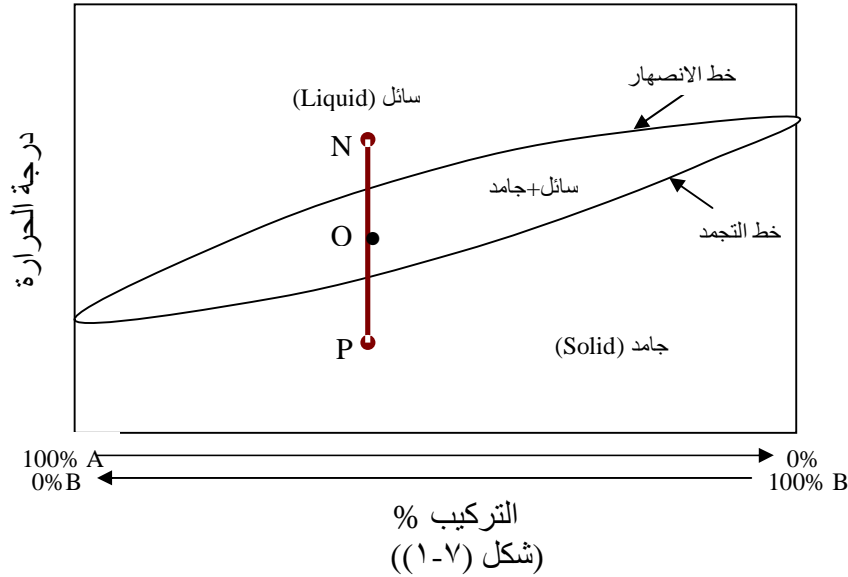
## المحاضرة السابعة:

**الأهداف:** أن يكون الطالب قادرا على:

- تطبيق قاعدة ليفر (lever rule) أو قاعدة الخط المستقيم.
- تحليل مخططات الاتزان الحراري للسبائك الثنائية.

### قاعدة ليفر (lever rule):

ذكرنا سابقا أنه بالإمكان حساب نسبة كل طور من أطوار السبيكة الثنائية وذلك باستخدام قاعدة ليفر، وهي قاعدة بسيطة جدا إذا تم فهمها وتطبيقها. ولتوضيح هذه القاعدة سوف نقوم باستخدام احد الأشكال البسيطة لمخططات الاتزان الحراري للسبائك الثنائية (شكل ٧-١).



- ١- هذا المخطط يحتوي على سبيكة مكونة من مادتين A, B ، المحور السيني يمثل تركيب السبيكة أو نسب الخلط والمحور الصادي يمثل درجة حرارة السبيكة.
- ٢- نسبة A على يسار الرسم هي ١٠٠ % وتقل كلما اتجهنا يمينا حتى تصل إلى ٠ %.
- ٣- نسبة B على يمين الرسم هي ١٠٠ % وتقل كلما اتجهنا يسارا حتى تصل إلى ٠ %.
- ٤- يوجد داخل الرسم طوران هما السائل والجامد.
- ٥- يسمى الخط العلوي بخط الانصهار وبعده تتحول السبيكة إلى الحالة السائلة، والخط السفلي يسمى خط التجمد.
- ٦- هناك ثلاث مناطق ممثلة داخل المخطط:
  - أ) منطقة بها الطور السائل
  - ب) منطقة بها الطور الجامد
  - ج) منطقة بها طورين هما السائل والجامد معا

٧- إذا أردنا حساب نسب الأطوار في المخطط ولنقل مثلاً عند النقاط **P, O, N** فهي كالتالي:

**عند النقطة P:**

هناك طور واحد فقط هو الطور الجامد وبالتالي فإن نسبة الجامد ١٠٠ %

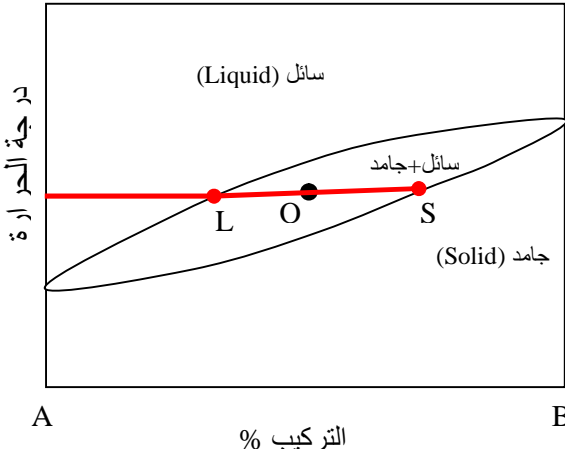
**عند النقطة N:**

هناك طور واحد فقط هو الطور السائل وبالتالي فإن نسبة السائل ١٠٠ %

**أما عند النقطة O:**

هناك طوران هما السائل والجامد وبالتالي لا يمكن معرفة النسب إلا باستخدام قاعدة ليفر. ومن هنا نستنتج أنه في حالة وجود طورين نلجأ إلى استخدام هذه القاعدة.

**خطوات تطبيق قاعدة ليفر عند النقطة O:**

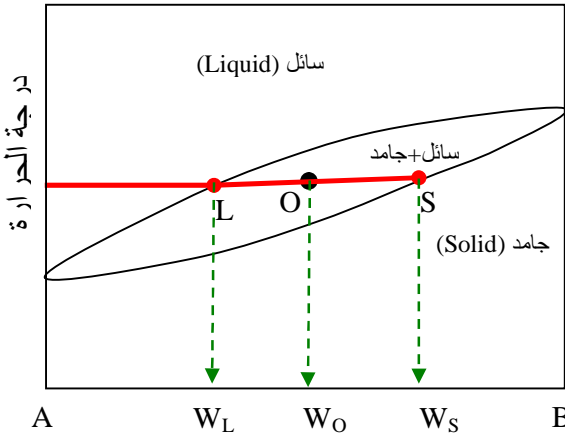


التركيب %

شكل (٢-٧)

**الخطوة الأولى:**

- ١- نرسم خط مستقيم يوازي المحور السيني ويمر في النقطة O.
- ٢- تقاطع الخط مع المحور الصادي يمثل درجة حرارة السبيكة عند هذه النقطة.
- ٣- نحدد نقاط تقاطع الخط المستقيم مع خط الانصهار (النقطة L) وخط التجمد (النقطة S).



التركيب %

شكل (٣-٧)

**الخطوة الثانية:**

- ١- نرسم خطوط إسقاط من النقاط الثلاث عمودية على المحور السيني.
- ٢- نحدد نقاط التقاطع مع المحور السيني ونأخذ النسب  $W_L, W_O, W_S$  لكل مادة.
- ٣- يجب عدم الخلط في أخذ القراءات بين نسب A و B

**الخطوة الثالثة:**

تطبيق قاعدة ليفر:

نسبة الطور الجامد (**قانون اليمين**)

$$X_S = \frac{W_O - W_L}{W_S - W_L} \times 100$$

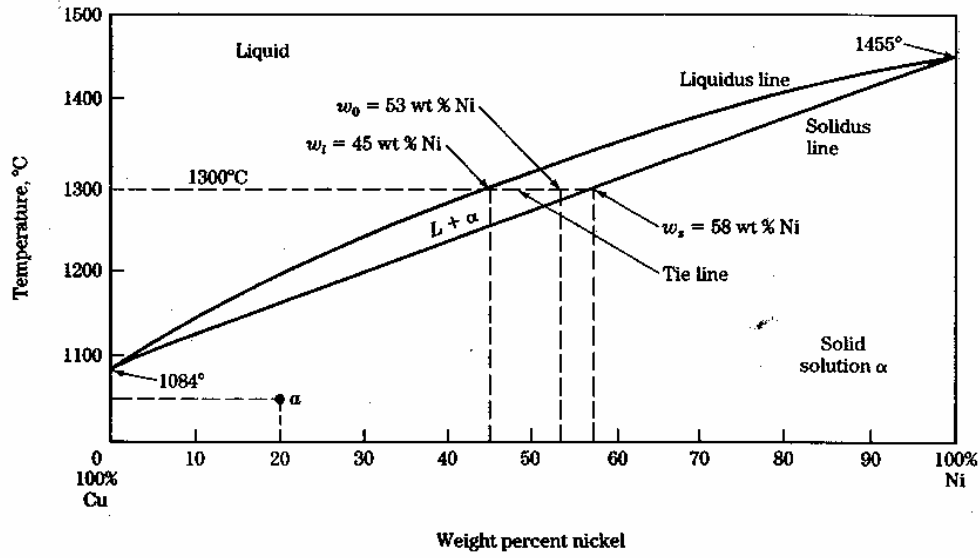
نسبة الطور السائل (**قانون اليسار**)

$$X_L = \frac{W_S - W_O}{W_S - W_L} \times 100$$

مع ملاحظة تسميتي لها قانون اليمين واليسار ليسهل تطبيقها على المخططات الأخرى



## تطبيقات



شكل (٧-٤) مخطط الاتزان الحراري لسبيكة النحاس والنيكل

- ١- سبيكة من النحاس والنيكل تحتوي على ٤٧ % كتلة للنحاس و ٥٣ % نيكل عند درجة حرارة ١٣٠٠°م ، باستخدام مخطط الاتزان الحراري لهذه السبيكة احسب:
- نسبة كتلة النيكل في الطور السائل والجامد؟
  - نسبة كتلة النحاس في الطور السائل والجامد؟
  - نسبة كتلة السائل ونسبة كتلة الجامد؟

الحل/

$$W_L = 45 \% , W_S = 58\%$$

$$W_L = 55\% , W_S = 42\%$$

ج) باستخدام قاعدة ليفر:

$$X_L = \frac{W_S - W_0}{W_S - W_L} \times 100 = \frac{58 - 53}{58 - 45} \times 100 = 38\%$$

$$X_S = \frac{W_0 - W_L}{W_S - W_L} \times 100 = \frac{53 - 45}{58 - 45} \times 100 = 62\%$$

$$X_S = 100 - X_L$$

أو بطريقة أخرى:

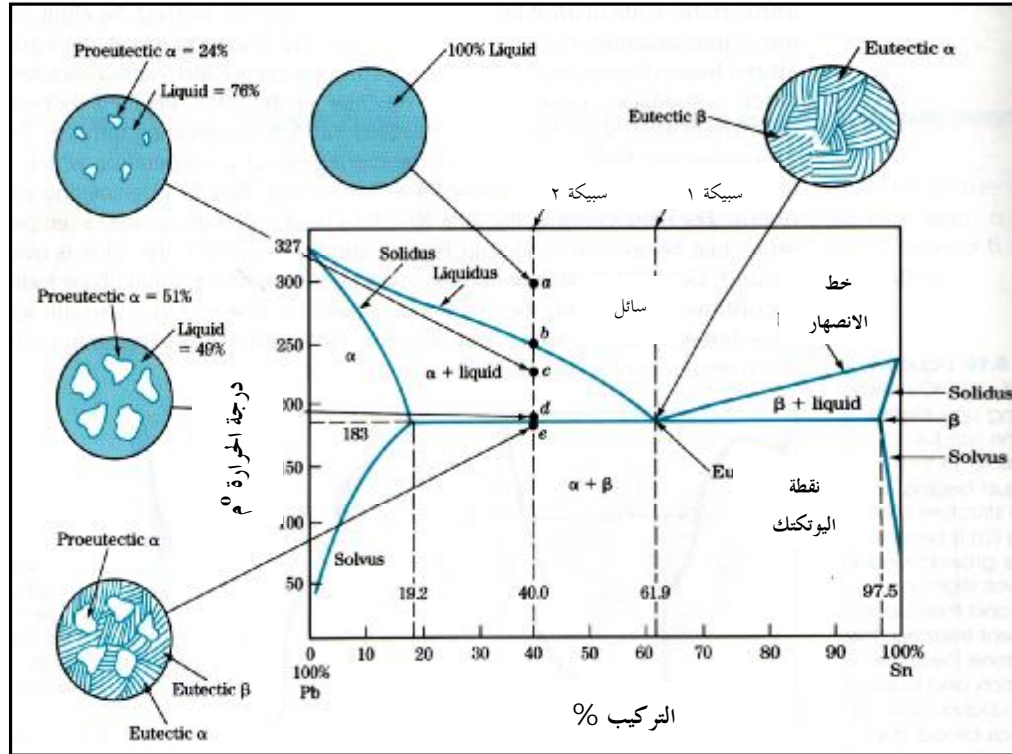
# مخططات الاتزان الحراري

## المحاضرة الثامنة:

**الأهداف:** أن يكون الطالب قادرا على:

- تحليل مخطط الاتزان الحراري لسبيكة رصاص - قصدير.
- تطبيق قاعدة ليفر (lever rule) على مخطط الاتزان الحراري لسبيكة رصاص - قصدير .
- تحليل مخطط الاتزان الحراري للحديد والكربون.
- تطبيق قاعدة ليفر (lever rule) على مخطط الاتزان الحراري للحديد والكربون.

## مخطط الاتزان الحراري لسبيكة رصاص - قصدير:



شكل (٨-١) مخطط الاتزان الحراري لسبيكة رصاص - قصدير

شكل (٨-١) يوضح مخطط الاتزان الحراري لسبيكة (رصاص - قصدير) أو (Pb - Sn) أو (lead - Tin) الذي يتكون من:

- ١- ستة مناطق بها ثلاثة أطوار هي  $\alpha$  ،  $\beta$  والسائل (Liquid).
- ٢- درجة انصهار الرصاص ٣٢٧ °م و القصدير ٢٣٢ °م.
- ٣- نقطة يوتكتك عند ٦١,٩ % قصدير.
- ٤- طور المحلول الجامد  $\alpha$  اكبر من طور المحلول الجامد  $\beta$ .

### التطبيق الأول:

قم بتحليل الأطوار لمخطط الاتزان الحراري لسبيكة رصاص - قصدير (شكل ٨-١) عند النقاط التالية:

- ١ - عند اليوتكتك، تحت درجة الحرارة ١٨٣ °م مباشرة.
- ٢ - النقطة (c) عند ٤٠ % قصدير ودرجة حرارة ٢٣٠ °م.
- ٣ - النقطة (d) عند ٤٠ % قصدير ودرجة حرارة ١٨٣ °م +  $\Delta T$ .
- ٤ - النقطة (e) عند ٤٠ % قصدير ودرجة حرارة ١٨٣ °م -  $\Delta T$ .

الحل: (تطبيق قاعدة ليفر)

1-  $W_\alpha=19.2\% \text{ Sn}$  ,  $W_\beta=97.5\% \text{ Sn}$

$$X_a = \frac{W_b - W_o}{W_b - W_a} \times 100 = \frac{97.5 - 61.9}{97.5 - 19.2} \times 100 = 45.5\%$$

$$X_b = \frac{W_o - W_a}{W_b - W_a} \times 100 = \frac{61.9 - 19.2}{97.5 - 19.2} \times 100 = 54.5\%$$

Or  $X_\beta = 100 - X_\alpha = 100 - 45.5 = 54.5\%$

2-  $W_\alpha=15\% \text{ Sn}$  ,  $W_L=48\% \text{ Sn}$

$$X_a = \frac{W_L - W_o}{W_L - W_a} \times 100 = \frac{48 - 40}{48 - 15} \times 100 = 24\%$$

$$X_L = 100 - X_\alpha = 100 - 24 = 76\%$$

3-  $W_\alpha=19.2\% \text{ Sn}$  ,  $W_L=61.9\% \text{ Sn}$

$$X_a = \frac{W_L - W_o}{W_L - W_a} \times 100 = \frac{61.9 - 40}{61.9 - 19.2} \times 100 = 51\%$$

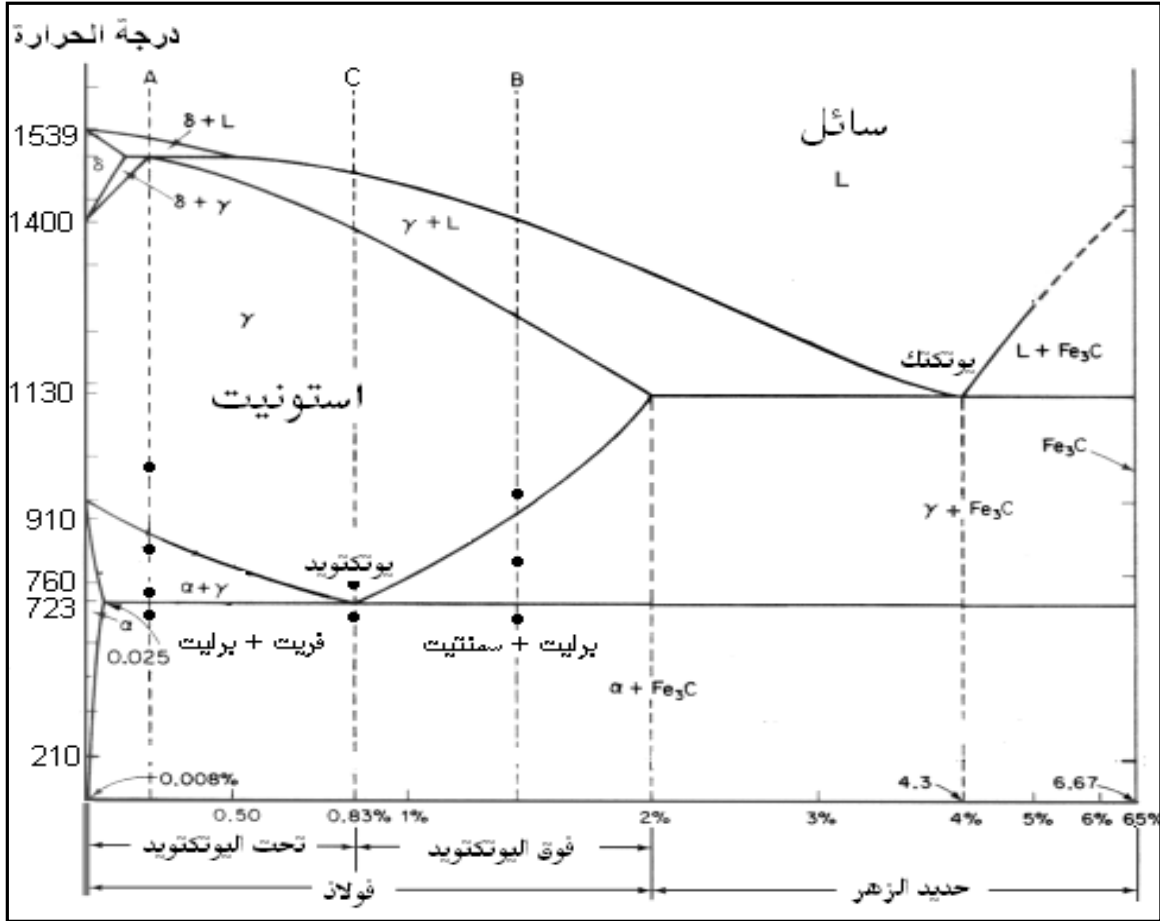
$$X_L = 100 - X_\alpha = 100 - 51 = 49\%$$

4-  $W_\alpha=19.2\% \text{ Sn}$  ,  $W_\beta=97.5\% \text{ Sn}$

$$X_a = \frac{W_b - W_o}{W_b - W_a} \times 100 = \frac{97.5 - 40}{97.5 - 19.2} \times 100 = 73\%$$

$$X_\beta = 100 - X_\alpha = 100 - 73 = 27\%$$

## مخطط الاتزان الحراري للحديد والكربون:



شكل (٨-٢) مخطط الاتزان الحراري للحديد والكربون

### الأنوار الموجودة في المخطط:

- ١- عند درجة حرارة الغرفة يوجد طوران هما:  
 + فريت (Ferrite) ويرمز له بالرمز  $\alpha$  وتركيبه البلوري Bcc  
 + سمنتيت (Cementite) ويرمز له بـ  $\text{Fe}_3\text{C}$  ويسمى أحيانا كريد (Carbide)  
 ٢- طور الاستونيت (Austenite) ويرمز له بالرمز  $\gamma$  وتركيبه البلوري Fcc  
 ٣- طور الفريت  $\delta$  وهو طور مستقر عند درجات الحرارة العالية  
 ٤- طور السائل

### النقاط المهمة على المخطط:

- ١- نقطة اليوتكتك عند التركيب ٤,٣ % كربون ودرجة حرارة ١١٣٠ °م.
- ٢- نقطة اليوتكتويد عند التركيب ٠,٨٣ % كربون ودرجة حرارة ٧٢٣ °م.

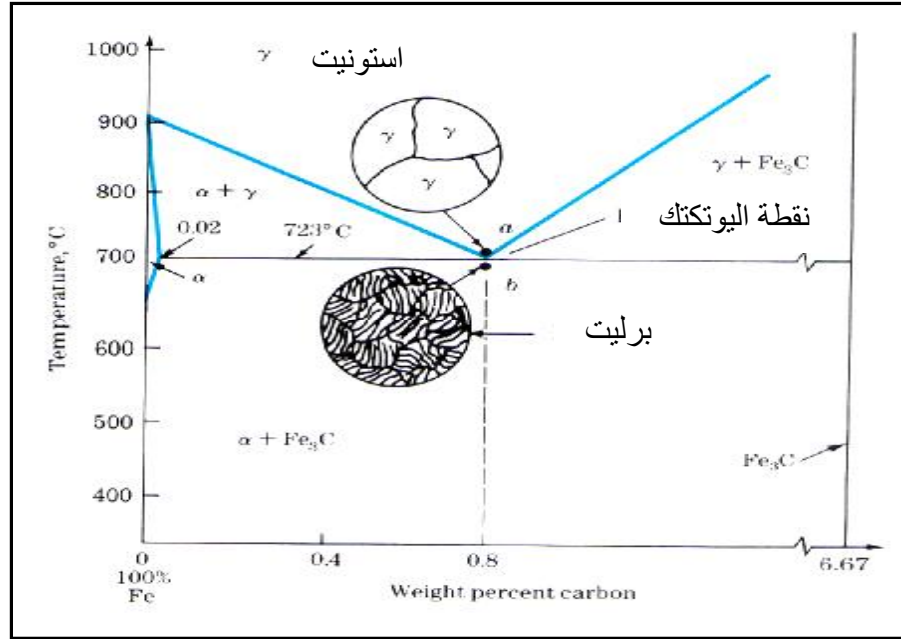
## أقسام الفولاذ الكربوني والسبائكي:

- ١- **حديد (Iron):** وهو الذي يحتوي على نسبة كربون أقل من ٠,٠٠٨ %
- ٢- **الصلب أو الفولاذ (Steel):** ويحتوي على نسبة كربون تتراوح ما بين ٠,٠٠٨ – ٢,١١ %
- ٣- **الحديد الزهر (Cast Iron):** وتتراوح نسبة الكربون فيه ما بين ٢,١١ – ٦,٧ %.
- ٤- **الفولاذ السبائكي:** هو الذي يحوي بالإضافة إلى الحديد والكربون عناصر سبائكية مثل النيكل والكروم وغيرها .
- ٥- **حديد الزهر السبائكي:** يحوي أيضا عناصر سبائكية مثل الكروم والنيكل وغيرها وتضاف هذه العناصر لحديد الزهر لتحسين خصائصه الميكانيكية.

## البنية الدقيقة للفولاذ الكربوني:

### ١- التركيب اليوتكتويدي:

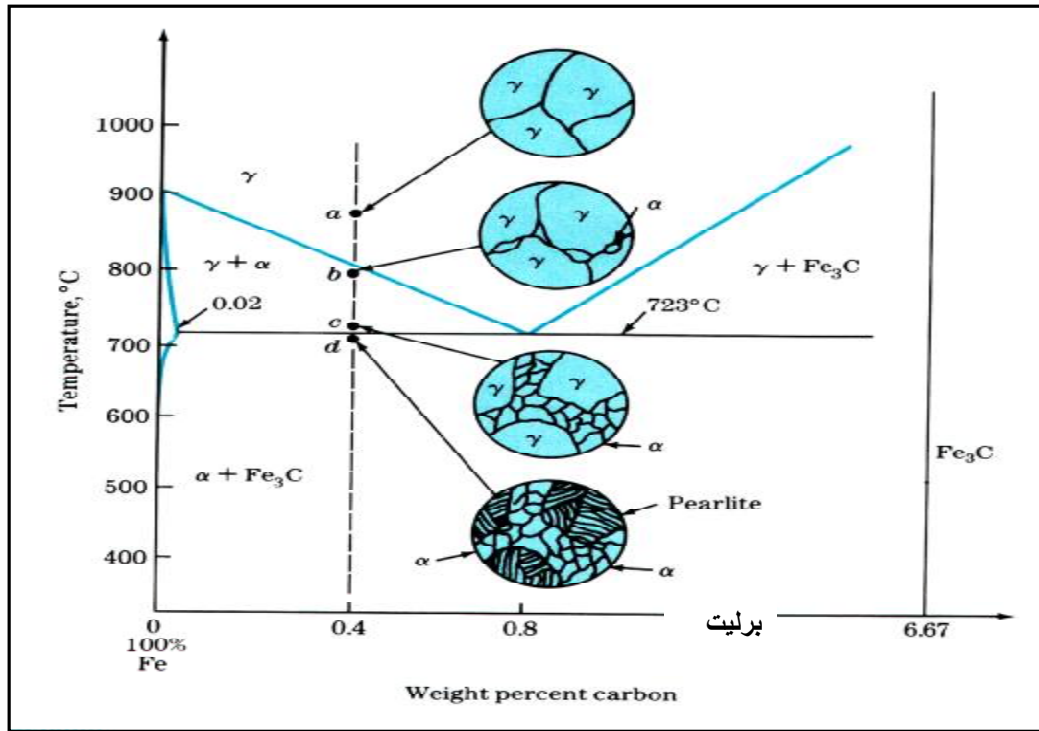
يبدأ من طور الاستونيت ثم ينتقل بالتبريد الى البرليت (سمنتيت + فريت).



شكل (٨-٣) التركيب اليوتكتويدي

### ٢- التركيب تحت اليوتكتويدي:

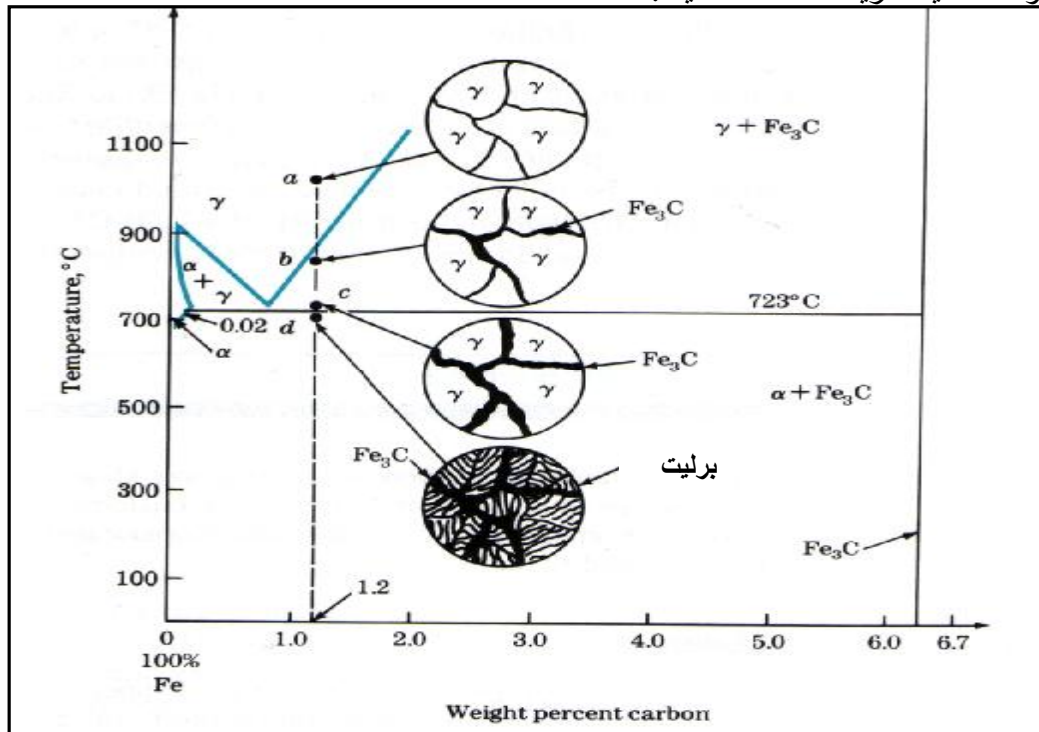
ينتج عندما تكون نسبة الكربون أقل من ٠,٨٣ % ويبدأ من طور الاستونيت ثم يتكون الفريت أثناء عملية التبريد إلى أن نحصل على الفريت + البرليت تحت درجة الحرارة ٧٢٣ م°.



شكل (٨-٤) التركيب تحت اليوتكتويدي

### ٣- التركيب فوق اليوتكتويدي:

ينتج عندما تكون نسبة الكربون أعلى من ٠,٨٣ % ويبدأ من طور الاستونيت ثم بالتبريد يتكون السمنتيت ويزداد تدريجياً حتى تصبح درجة الحرارة أقل من ٧٢٣°م ويتكون السمنتيت والبرليت ونلاحظ أيضاً زيادة أغلفة السمنتيت.



شكل (٨-٥) التركيب فوق اليوتكتويدي



# الفولاذ والحديد والزرهر

## المحاضرة العاشرة:

**الأهداف:** أن يكون الطالب قادرا على:

- معرفة أقسام الصلب الكربوني.
- فهم تأثير نسبة الكربون على البنية الدقيقة للفولاذ.
- معرفة أنواع الحديد الزهر.
- معرفة مزايا وعيوب السبائك الحديدية.
- الإلمام بسبائك النحاس والألمونيوم.

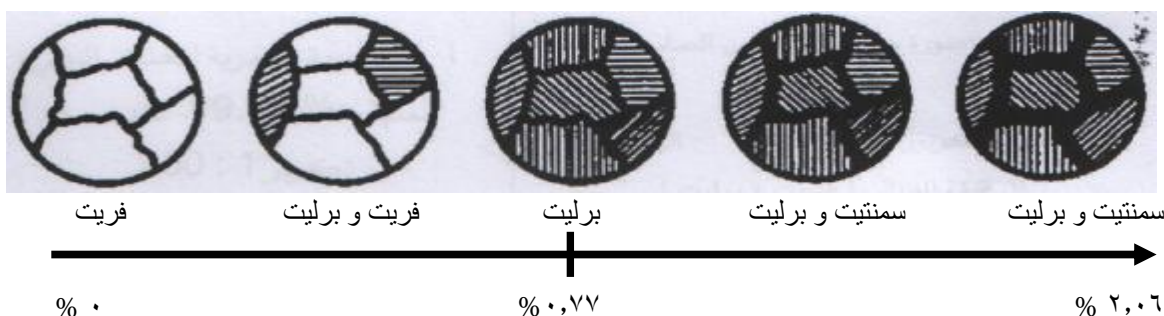
## أقسام الصلب الكربوني:

تحتوي سبائك الفولاذ على نسبة كربون تتراوح بين ٠,٠٠٨ - ٢,١١ % ، لكن الفولاذ الذي يحوي نسبة كربون أكثر من ١,٤ % يعتبر قصفا وتقترب خواصه من حديد الزهر.

نوع الفولاذ	نسبة الكربون	الخواص	الاستعمالات
منخفض الكربون وينقسم إلى: ١- طري خامد ٢- طري	٠,٠٠٨ - ٠,١٥ ٠,١٥ - ٠,٣	- سهل التصنيع. - قابلية التشكيل. - متانة عالية.	- مسامير البرشام - صفائح السفن
متوسط الكربون	٠,٣ - ٠,٦	- قابل للطرق والتشغيل - بعض أنواعه تقبل المعالجات الحرارية.	- القضبان الرابطة. - المحاور
عالي الكربون	٠,٦ - ٠,٨	- صلادة عالية. - مقاوم للتآكل الاحتكاكي. - قابل للمعالجة الحرارية.	- قضبان السكك الحديدية. - الحبال السلكية. - المناشير الشريطية.
فولاذ العدة	٠,٨ - ١,٤	- صلادة عالية جدا. - مقاوم للتآكل الاحتكاكي - قابل للمعالجة الحرارية.	- أزميل - مبارد - أقلام خراطة وقشط

جدول (١٠-١) أنواع الصلب الكربوني

## تأثير نسبة الكربون على التركيب الدقيق للفولاذ:



شكل (١٠-١)

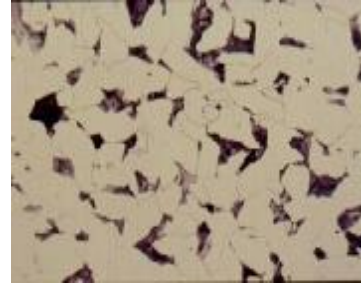


من الشكل السابق يتح لنا تأثير نسبة الكربون على البنية الدقيقة للفولاذ فنلاحظ أنه بزيادة نسبة الكربون على الفريت يتكون ما يسمى البرليت (خليط من الفريت و السمنتيت  $Fe_3C$  على شكل مصفوفة) ويطلق عليه أيضا التركيب تحت اليوتكتويدي، وعند نسبة كربون ٠,٧٧ % أو ما يسمى التركيب اليوتكتويدي يتكون البرليت، وبزيادة النسبة أو بمعنى آخر عند التركيب فوق يوتكتويدي نلاحظ تكون أغلفة السمنتيت وتزداد سماكتها بارتفاع نسبة الكربون حتى القيمة القصوى عند ٢,٠٦ %.

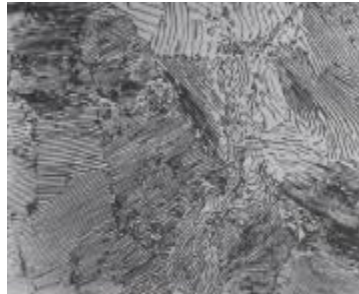
### صور مجهرية توضح تأثير الكربون على تركيب الفولاذ:



شكل (١٠-٢) فولاذ بنسبة كربون ٠,٣٦ % (درفلة على الساخن) ويظهر الفريت (اللون الفاتح) و البرليت (اللون الداكن).



شكل (١٠-١) فولاذ بنسبة كربون ٠,٢ % (درفلة على الساخن) ويظهر الفريت (اللون الفاتح) و البرليت (اللون الداكن).



شكل (١٠-٤) التركيب اليوتكتويدي أو البرليتي



شكل (١٠-٣) فولاذ بنسبة كربون ٠,٤ % ويظهر الفريت (اللون الفاتح) و البرليت (اللون الداكن).

## American Iron and Steel Institute(AISI)

## الجمعية الأمريكية للحديد والفولاذ:

هي جمعية علمية متخصصة في الحديد والفولاذ تهتم بمواصفات الحديد والفولاذ وتضم في عضويتها المهندسين والعلماء العاملين في هذا المجال. ولقد استخدمت هذه الجمعية أربعة أرقام لتسمية كل نوع من أنواع الفولاذ، ويدل الرقم الأولان من اليسار على عناصر السبيكة الأساسية والرقمان الآخران يدلان على القيمة الاسمية لنسبة الكربون في السبيكة جدول (١٠-٢). أما الأعداد التي تشير إلى نوع السبيكة فهي:

- ١ - كربون
- ٢ - نيكل
- ٣ - نيكل-كروم
- ٤ - موليبدينوم
- ٥ - كروم
- ٦ - كروم-فاناديوم
- ٧ - تنجستن
- ٨ - نيكل-كروم-موليبدينوم-سيلكون-منجنيز

وهذه طريقة سهلة للتعرف على سبائك الحديد

**أمثلة:**

### **AISI 1020**

يدل الرقم الأولان 10 على أن الفولاذ كربوني ولا يحوي عناصر أخرى  
يدل الرقم الآخران 20 على أن نسبة الكربون تتراوح بين ١٥ - ٢٥ %

### **AISI 2340**

يدل الرقمان 23 على أن الفولاذ سبائكي يحتوي على النيكل بنسبة تتراوح بين ٢,٧٥ - ٣,٢٥ %  
يدل الرقمان 40 على أن نسبة الكربون تتراوح بين ٠,٣٥ - ٠,٤٥ %  
ويبين الجدول (١٠-٢) أمثلة أخرى على سبائك الفولاذ القياسية.

كما أن هناك جمعية مهندسي السيارات Society of Automotive Engineers (S.A.E) التي تضم المهتمين بهندسة السيارات وتستخدم نفس التقسيم أو التصنيف للجمعية الأمريكية للحديد والفولاذ.

النوع	رقم السيكة SAE	التركيب الكيميائي %					رقم السيكة AISI	
		فانديوم	موليدنوم	كروم	نيكل	منجنيز		كربون
فولاذ منجنيزي	١٣٣٠	-	-	-	-	١,٩٠-١,٦٠	٠,٢٣-٠,٢٨	١٣٣٠
	١٣٤٠	-	-	-	-	١,٩٠-١,٦٠	٠,٤٣-٠,٣٨	١٣٤٠
فولاذ ٣% نيكل	٢٣١٥	-	-	-	٣,٧٥-٣,٢٥	٠,٦٠-٠,٤٠	٠,٢٠-٠,١٥	٢٣١٧
	٢٣٣٠	-	-	-	٣,٧٥-٣,٢٥	٠,٦٠-٠,٤٠	٠,٢٣-٠,٢٨	٢٣٣٠
فولاذ ٥% نيكل	-	-	-	-	٥,٢٥-٤,٧٥	٠,٦٠-٠,٤٥	٠,١٤-٠,٠٩	(١)E٢٥١٢
	٢٥١٥	-	-	-	٥,٢٥-٤,٧٥	-	٠,١٧-٠,١٢	٢٥١٥
فولاذ الكروم نيكل	٣١١٥	-	-	٠,٧٥-٠,٥٥	١,٤٠-١,١٠	٠,٦٠-٠,٤٠	٠,١٨-٠,١٣	٣١١٥
	٣١٣٠	-	-	٠,٧٥-٠,٥٥	١,٤٠-١,١٠	٠,٨٠-٠,٦٠	٠,٢٣-٠,٢٨	٣١٣٠
	٣١٤٠	-	-	٠,٧٥-٠,٥٥	١,٤٠-١,١٠	٠,٩٠-٠,٧٠	٠,٤٣-٠,٣٨	٣١٤٠
	٣٣١٠	-	-	١,٧٥-١,٤٠	٣,٧٥-٣,٦٥	٠,٦٠-٠,٤٥	٠,١٣-٠,٠٨	E٣٣١٠
فولاذ موليدنومي	٤٠٢٣	-	٠,٣٠-٠,٢٠	-	-	٠,٩٠-٠,٧٠	٠,٢٥-٠,٢٠	٤٠٢٣
	٤٠٣٧	-	٠,٣٠-٠,٢٠	-	-	٠,٩٠-٠,٧٠	٠,٤٠-٠,٣٥	٤٠٣٧
	٤٤١٩	-	٠,٦٠-٠,٤٥	-	-	٠,٦٥-٠,٤٥	٠,٢٣-٠,١٨	٤٤١٩
فولاذ الكروم موليدنوم	٤١٣٠	-	٠,١٥-٠,٠٨	٠,٦٠-٠,٤٠	-	٠,٩٠-٠,٧٠	٠,٢٣-٠,١٨	٤١١٨
	٤١٤٠	-	٠,٢٥-٠,١٥	١,١٠-٠,٨٠	-	١,٠٠-٠,٧٥	٠,٤٣-٠,٣٨	٤١٤٠
	٤١٥٠	-	٠,٢٥-٠,١٥	١,١٠-٠,٨٠	-	١,٠٠-٠,٧٥	٠,٥٣-٠,٤٨	٤١٥٠
فولاذ النيكل-كروم	٤٣٢٠	-	٠,٣٠-٠,٢٠	٠,٦٠-٠,٤٠	٢,٠٠-١,٦٥	٠,٦٠-٠,٤٥	٠,٢٢-٠,١٧٠	٤٣٢٠
موليدنوم	٤٣٤٠	-	٠,٣٠-٠,٢٠	٠,٩٠-٠,٧٠	٢,٠٠-١,٦٥	٠,٨٠-٠,٦٠	٠,٤٣-٠,٣٨	٤٣٤٠
فولاذ النيكل-موليدنوم	٤٧٢٠	-	٠,٢٥-٠,١٥	٠,٥٥-٠,٣٥	١,٢٠-٠,٩٠	٠,٧٠-٠,٥٠	٠,٢٢-٠,١٧	٤٧٢٠
	٤٦٢٠	-	٠,٣٠-٠,٢٠	-	٢,٠٠-١,٦٥	٠,٦٠-٠,٤٥	٠,٢٢-٠,١٧	٤٦٢٠
	٤٦٢٦	-	٠,٢٥-٠,١٥	-	١,٠٠-٠,٧٠	٠,٦٥-٠,٤٥	٠,٢٩-٠,٢٤	٤٦٢٦
	٤٨٢٠	-	٠,٣٠-٠,٢٠	-	٣,٧٥-٣,٢٥	٠,٧٠-٠,٥٠	٠,٢٣-٠,١٨	٤٨٢٠

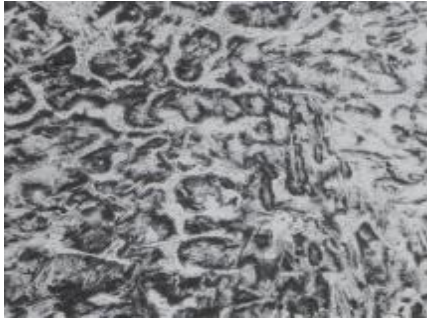
جدول (١٠-٢) بعض سبائك الفولاذ القياسية

## حديد الزهر (Cast Iron):

هي سبائك من الحديد والكربون تحتوي على نسبة كربون عالية تتراوح بين ٢,٤ - ٤ % كما تحتوي على السيلكون بنسبة ٣ % وأيضا المنجنيز والكبريت بنسب متفاوتة. وفي بعض الأحيان يحتوي حديد الزهر على عناصر سبائكية ويطلق عليه حديد الزهر السبائكي، وهناك أنواع من حديد الزهر تختلف في خواصها، وهذا الاختلاف يعتمد على طبيعة الكربون في الحديد ومن هذه الأنواع:

- ١ - حديد الزهر الرمادي Grey Cast Iron
- ٢ - حديد الزهر الأبيض White Cast Iron
- ٣ - حديد الزهر الطروق Malleable Cast Iron
- ٤ - حديد الزهر المطيل Ductile Cast Iron
- ٥ - حديد الزهر الابري Acicular Cast Iron

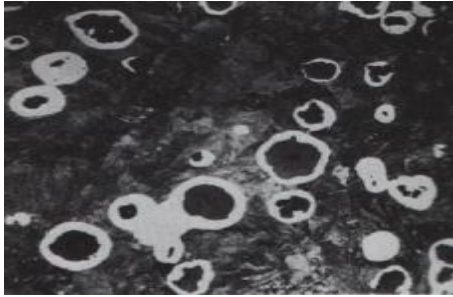
## صور مجهرية توضح أنواع حديد الزهر:



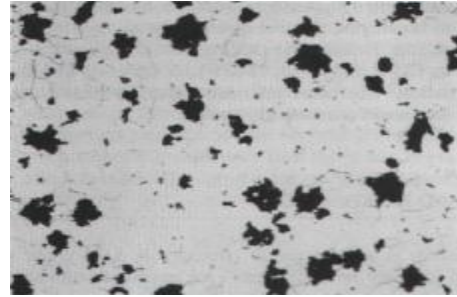
شكل (٦-١٠) حديد الزهر الأبيض



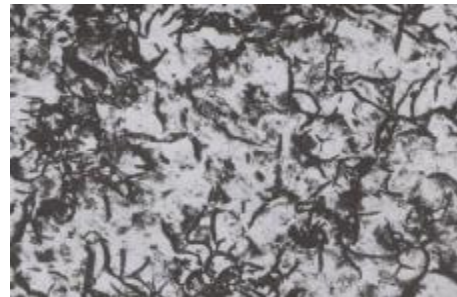
شكل (٥-١٠) حديد الزهر الرمادي



شكل (٨-١٠) حديد الزهر المطيل



شكل (٧-١٠) حديد الزهر الطروق



شكل (٩-١٠) حديد الزهر الابري

## السبائك الحديدية والغير حديدية:

السبائك الحديدية هي السبائك التي عنصرها الأساسي هو الحديد أما الغير حديدية فهي التي يكون عنصرها الأساسي غير الحديد ومن أهم الأمثلة سبائك النحاس وسبائك الألومنيوم.

### **مميزات السبائك الحديدية:**

- ١ - تعدد الخواص الميكانيكية وبالتالي سهولة الاختيار.
- ٢ - سهولة التصنيع.
- ٣ - اقتصادية.

### **عيوب السبائك الحديدية:**

- ١ - ثقل وزنها
- ٢ - الانخفاض النسبي لتوصيل الكهرباء
- ٣ - تعرضها للتآكل بسهولة.

## سبائك النحاس:

يعتبر النحاس موصل جيد للكهرباء وذو مقاومة عالية للتآكل ومن أشهر سبائكه:

### **النحاس الأصفر (Brass)**

هي سبيكة من النحاس والخرصين تستخدم كثيرا في العملات المعدنية.

### **البرونز (Bronze)**

سبيكة من النحاس والقصدير و الألومنيوم والسيلكون والنيكل ويعتبر أقوى من النحاس الأصفر ويتمتع بخاصية مقاومة التآكل.

## سبائك الألومنيوم:

يعتبر الألومنيوم وسبائكه من أهم المعادن وأكثرها استخداما في الوقت الحاضر وذلك لما يتمتع به من خواص أهمها:

- ١ - خفة الوزن
- ٢ - توصيل الحرارة والكهرباء
- ٣ - سهولة التشكيل
- ٤ - مقاومة التآكل

ومن أشهر العناصر في سبائك الألومنيوم: النحاس، المنجنيز، الماغنسيوم، الفضة و الزنك

# المعالجات الحرارية (Heat Treatment)

## المحاضرة الحادية عشر:

**الأهداف:** أن يكون الطالب قادراً على:

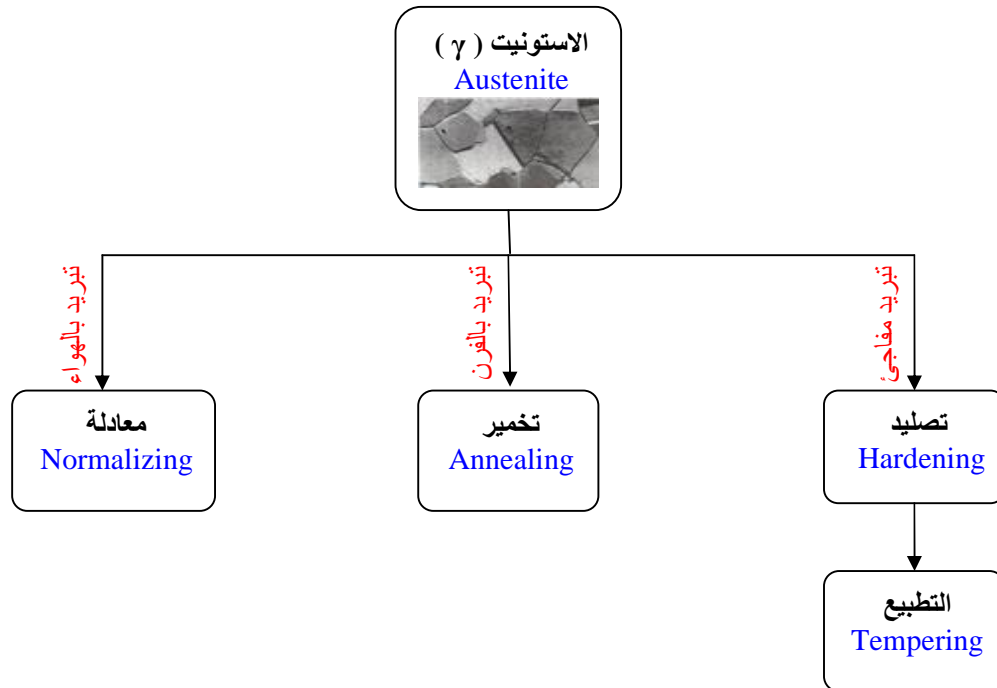
- معرفة أنواع المعالجات الحرارية وعلاقتها بالخواص الميكانيكية.
- فهم التحول في الأطوار.
- فهم مخطط TTT وتحليل عمليات التبريد عليه.

## المعالجات الحرارية:

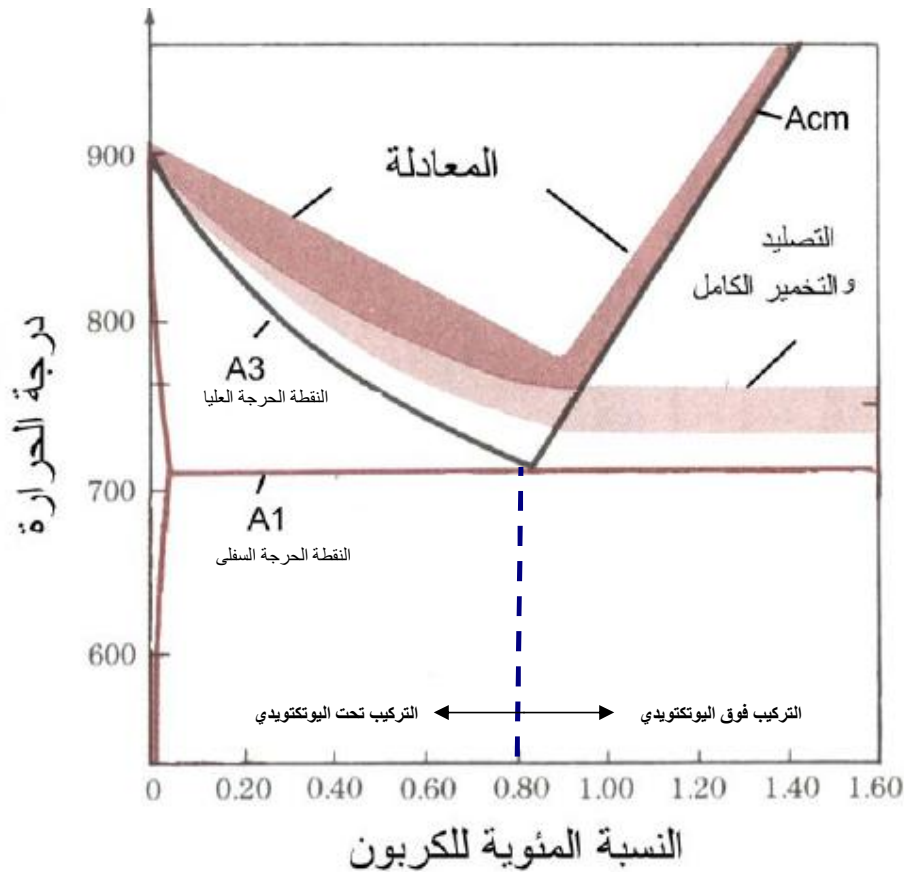
هي تسخين المعدن إلى درجة حرارة معينة ثم الاحتفاظ به عند تلك الدرجة لفترة من الزمن ثم التبريد بمعدل محدد.

وتجرى عمليات المعالجة الحرارية لتغيير خواص المعدن ومنها:

- ١- زيادة الصلادة.
  - ٢- زيادة المطيلية والمتانة.
  - ٣- زيادة قابلية المعدن لعمليات التشكيل والتشغيل.
  - ٤- إزالة الاجهادات الداخلية الناتجة عن عمليات التشغيل.
  - ٥- إزالة تأثيرات عمليات التشكيل على البارد.
- والمخطط التالي يوضح أنواع المعالجات الحرارية التي من خلالها تتغير الخواص الميكانيكية للفولاذ البونكتويدي.



شكل (١-١١)

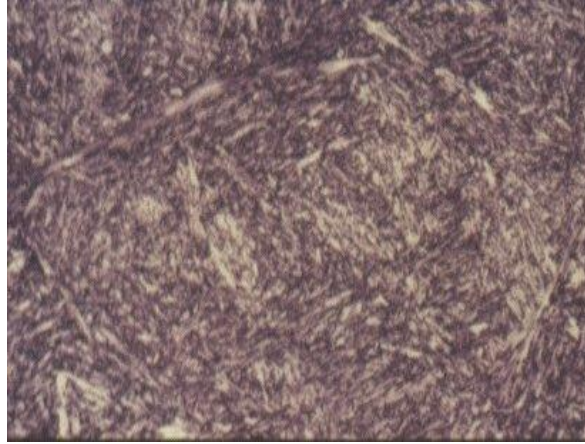


شكل (٢-١١) درجات الحرارة الهامة للمعالجات الحرارية للصلب

من الشكل (٢-١١) نستنتج أنه في حالة التركيب تحت اليوتكتويدي يتم تسخين الصلب إلى درجة حرارة فوق النقطة الحرجة العليا ( $A_3$ ) لجميع المعالجات الحرارية (تصليد - تخمير - معادلة)، أما التركيب تحت اليوتكتويدي فيكون التسخين فوق النقطة الحرجة العليا ( $A_{cm}$ ) بالنسبة لعملية المعادلة أما التصليد والتخمير فيكتفى بالتسخين فوق النقطة الحرجة السفلى ( $A_1$ ). ويمكن تلخيص ما ينتج عن هذه العمليات في الجدول التالي:

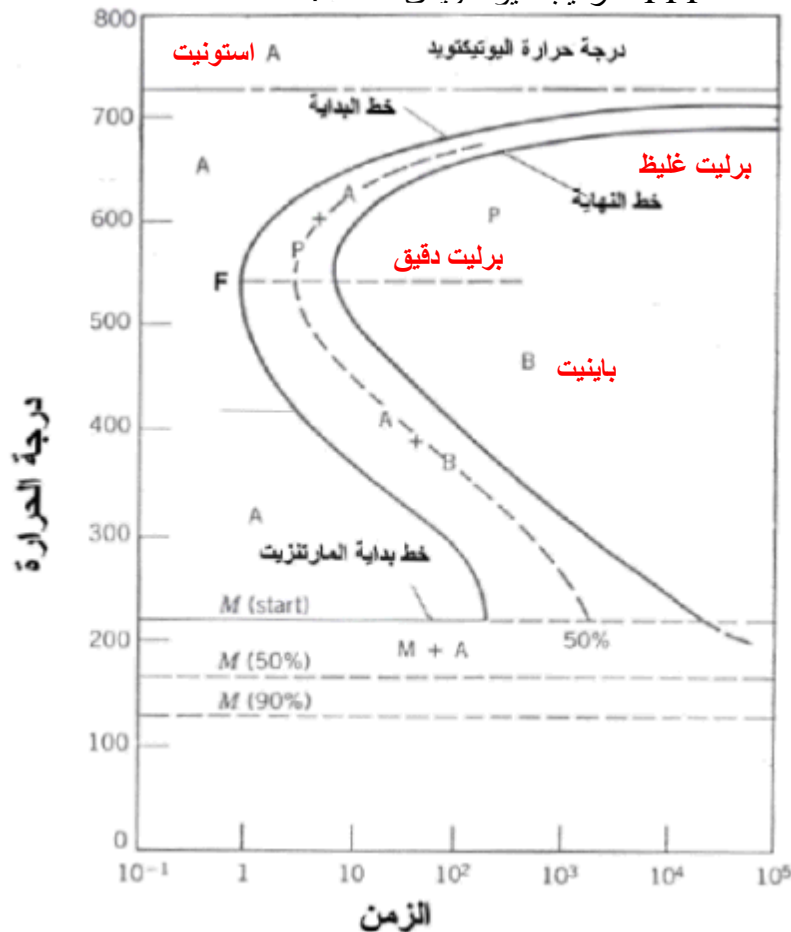
نوع المعالجة	طريقة التبريد	البنية البلورية	الاستعمالات
<b>تصليد</b>	سريع ومفاجئ باستخدام الماء أو الزيت	مارتنسيت (طور واحد قصف وصلد جدا) شكل (٣-١١)	رفع الصلادة
<b>تطبيع</b>	تسخين من ٢٠٠-٧٠٠ م ثم تبريد بطيء وتستخدم بعد التصليد	فريت و سمنتيت و مارتنسيت	خفض القسافة رفع اللدونة
<b>تخمير تام</b>	بطيء داخل الفرن	حسب نسبة الكربون برليت + فريت برليت + سمنتيت	خفض الصلادة رفع المطيلية إزالة الاجهادات
<b>تخمير تحت الحرج</b>	تسخين تحت $A_1$ ثم التبريد داخل الفرن	لا تتغير	إزالة الاجهادات الداخلية
<b>معادلة</b>	الهواء	باينيت (عبارة عن فريت به سمنتيت على شكل إبري) أو برليت دقيق ومارتنسيت	إزالة تأثير التشكيل على البارد تنظيم شكل الحبيبات





شكل (٣-١١) صورة مجهرية للمارتنيسيت

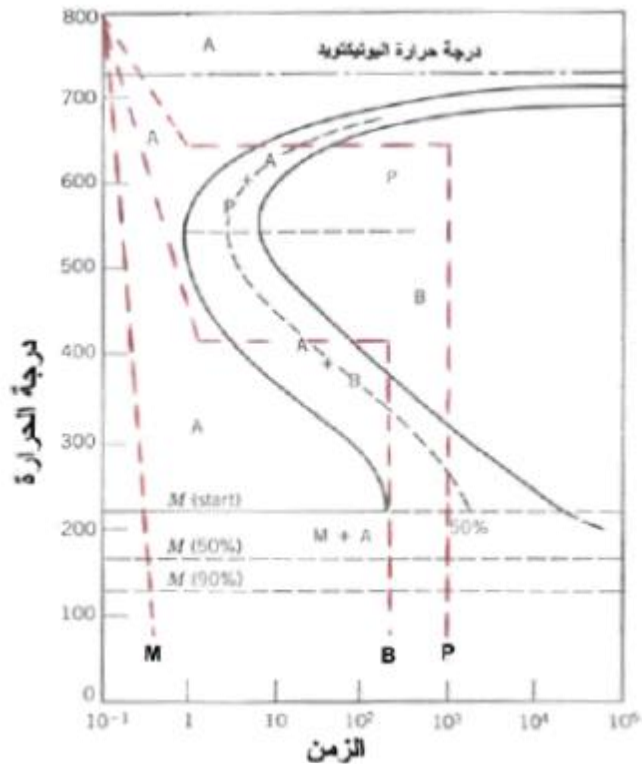
والآن بعد التعرف على عمليات التبريد المختلفة للصلب وما ينتج عنها من أطوار وخواص ميكانيكية مختلفة يمكن أن نسأل: هل يمكننا التحكم في الخواص الميكانيكية للصلب؟ أو بمعنى آخر هل نستطيع الوصول إلى خواص معينة و محدده باستخدام المعالجات الحرارية؟  
الجواب: نعم وذلك باستخدام مسارات تبريد محدده على مخطط التحول بالوقت ودرجة الحرارة (Time-Temperature-Transformation diagram) ويطلق عليه في كثير من الأحيان مخطط TTT. شكل (٤-١١) يوضح مخطط TTT للتركيب اليوتكتويدي للصلب.



شكل (٤-١١)



- هذا المخطط يوضح تغير الأطوار مع الوقت ودرجة الحرارة ويمكن ملاحظة التالي:
- ١- عند درجة حرارة أعلى من اليوتكتويد يوجد طور واحد مستقر هو الاستونيت.
  - ٢- يبدأ الاستونيت في التحول مع الزمن وانخفاض درجة الحرارة (خط بداية التحول) وحينها يكون الاستونيت غير مستقر و ينتهي التحول بتجاوز خط نهاية التحول.
  - ٣- عند درجات الحرارة العليا يكون التحول إلى برليت P وهو على نوعين إما برليت غليظ (Coarse pearlite) أو برليت دقيق (Fine pearlite) وكلما أصبح البرليت دقيقا زادت الصلادة وقلت اللدونة.
  - ٤- يكون التغير إلى باينيت (Bainite) B عند درجات حرارة أقل من درجة حرارة الأنف (Nose) F والتي تفصل بين البرليت والباينيت.
  - ٥- إذا كان التبريد سريعا نحصل على طور المارتنسيت (Martensite) M وهو صلد وقصف جدا.



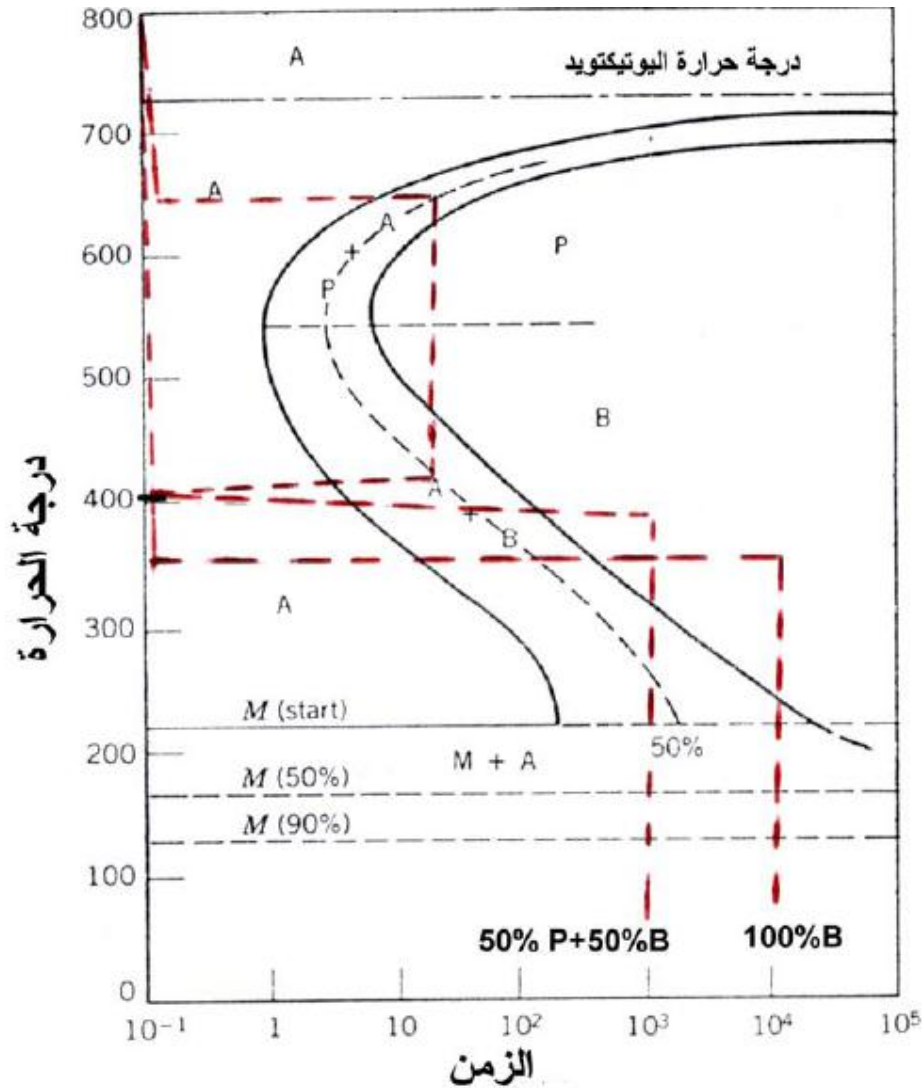
شكل (١١-٥) مسارات التبريد للحصول على البرليت والباينيت والمارتنسيت

### التطبيق الأول:

صلب ذو تركيب يوتكتويدي تم تبريده من طور الاستونيت عند  $800^{\circ}\text{C}$  ، اوجد التركيب النهائي له إذا كان مسار التبريد كالآتي:

- ١- تبريد فجائي إلى درجة حرارة  $350^{\circ}\text{C}$  والثبات  $10^4$  ثانية ثم تبريد فجائي لدرجة حرارة الغرفة.
- ٢- تبريد فجائي لدرجة  $650^{\circ}\text{C}$  والثبات  $20$  ثانية ثم التبريد الفجائي لدرجة  $400^{\circ}\text{C}$  والثبات  $10^4$  ثانية ثم التبريد الفجائي لدرجة حرارة الغرفة.

### الحل:



شكل (٦-١١) مسارات التبريد للتطبيق الأول

شكل (٦-١١) يوضح مسارات التبريد ونسنتج منها

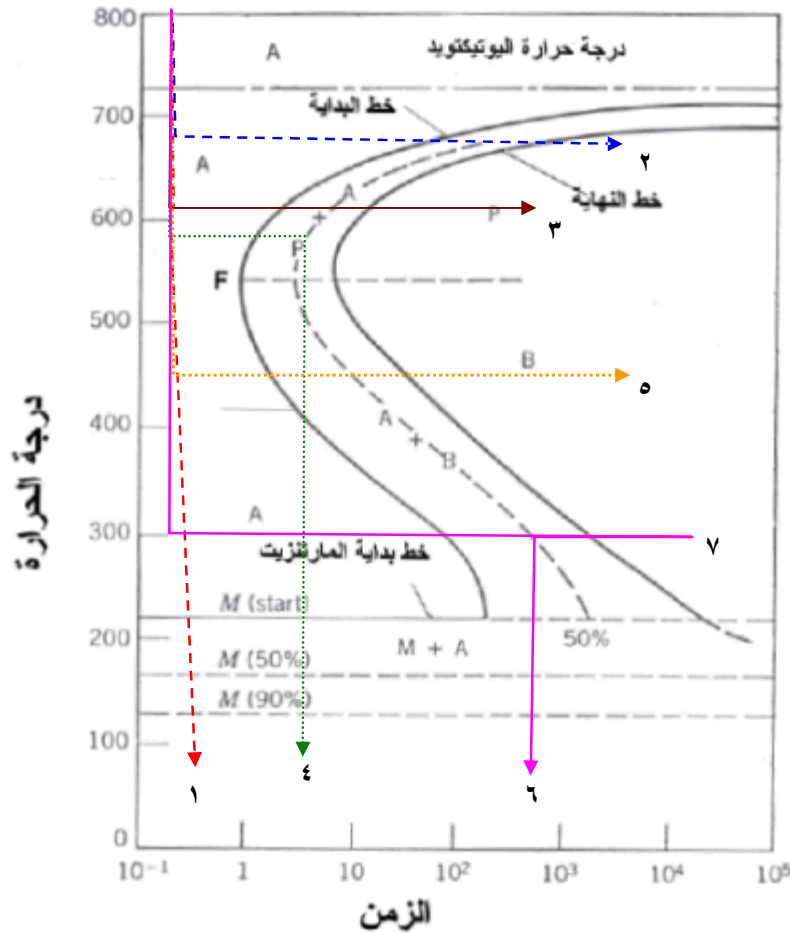
- ١- يتحول الاستونيت إلى  $100\%$  باينيت.
- ٢- يتحول الاستونيت إلى  $50\%$  باينيت و  $50\%$  برليت.

## التطبيق الثاني:

عينات من صلب ذو تركيب يوتكتويدي تم تسخينها إلى طور الاستونيت  $850^{\circ}\text{C}$  لمدة ساعة ثم كان التبريد وفق مسارات محددة كما هو موضح أسفل . اوجد التركيب النهائي لكل عينة مستخدما مخطط TTT؟

- ١- تبريد مفاجئ لدرجة حرارة الغرفة؟
- ٢- تبريد مفاجئ لدرجة  $690^{\circ}\text{C}$  والثبات ساعتين ثم التبريد المفاجئ لحرارة الغرفة؟
- ٣- تبريد مفاجئ لدرجة  $610^{\circ}\text{C}$  والثبات ٣ دقائق ثم التبريد المفاجئ لحرارة الغرفة؟
- ٤- تبريد مفاجئ لدرجة  $580^{\circ}\text{C}$  والثبات ثانيتين ثم التبريد المفاجئ لحرارة الغرفة؟
- ٥- تبريد مفاجئ لدرجة  $450^{\circ}\text{C}$  والثبات ساعة ثم التبريد المفاجئ لحرارة الغرفة؟
- ٦- تبريد مفاجئ لدرجة  $300^{\circ}\text{C}$  والثبات ٧ دقائق ثم التبريد المفاجئ لحرارة الغرفة؟
- ٧- تبريد مفاجئ لدرجة  $300^{\circ}\text{C}$  والثبات ٥ ساعات ثم التبريد المفاجئ لحرارة الغرفة؟

## الحل:



- ١- مارتنسيت
- ٢- برليت غليظ
- ٣- برليت دقيق
- ٤- ٥٠ % برليت و ٥٠ % مارتنسيت
- ٥- باينيت
- ٦- ٥٠ % باينيت و ٥٠ % مارتنسيت
- ٧- باينيت