

## ميكانيكا إنتاج

علم مواد

١١٤ ميك



الحمد لله وحده، والصلاة والسلام على من لا نبي بعده، محمد وعلى آله وصحبه، وبعد :

تسعى المؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني لتأهيل الكوادر الوطنية المدربة القادرة على شغل الوظائف التقنية والفنية والمهنية المتوفرة في سوق العمل، ويأتي هذا الاهتمام نتيجة للتوجهات السديدة من لدن قادة هذا الوطن التي تصب في مجملها نحو إيجاد وطن متكامل يعتمد ذاتياً على موارده وعلى قوة شبابه المسلح بالعلم والإيمان من أجل الاستمرار قدماً في دفع عجلة التقدم التتموي: لتصل بعون الله تعالى لمصاف الدول المتقدمة صناعياً.

وقد خطت الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج خطوة إيجابية تتفق مع التجارب الدولية المتقدمة في بناء البرامج التدريبية، وفق أساليب علمية حديثة تحاكي متطلبات سوق العمل بكافة تخصصاته لتلبي متطلباته، وقد تمثلت هذه الخطوة في مشروع إعداد المعايير المهنية الوطنية الذي يمثل الركيزة الأساسية في بناء البرامج التدريبية، إذ تعتمد المعايير في بنائها على تشكيل لجان تخصصية تمثل سوق العمل والمؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني بحيث تتوافق الرؤية العلمية مع الواقع العملي الذي تفرضه متطلبات سوق العمل، لتخرج هذه اللجان في النهاية بنظرة متكاملة لبرنامج تدريبي أكثر التصاقاً بسوق العمل، وأكثر واقعية في تحقيق متطلباته الأساسية.

وتتناول هذه الحقيبة التدريبية " علم المواد " لتدربي قسم " ميكانيكا إنتاج " للكلديات التقنية موضوعات حيوية تتناول كيفية اكتساب المهارات اللازمة لهذا التخصص.

والإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج وهي تضع بين يديك هذه الحقيبة التدريبية تأمل من الله عز وجل أن تسهم بشكل مباشر في تأصيل المهارات الضرورية اللازمة، بأسلوب مبسط يخلو من التعقيد، وبلاستعانة بالتطبيقات والأشكال التي تدعم عملية اكتساب هذه المهارات.

والله نسأل أن يوفق القائمين على إعدادها والمستفيدين منها لما يحبه ويرضاه: إنه سميع مجيب الدعاء.

الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج

أدى التقدم المستمر والثورة التقنية الحديثة إلى زيادة الطلب على المواد الخام والحاجة المستمرة لاستخدام مواد جديدة . حتى نفي بمتطلبات العصر هذه فإنه لا بد من معرفة خواص المواد المختلفة والعوامل المؤثرة فيها والتي تغير من هذه الخواص . العلم الذي يقود إلى معرفة وفهم المواد المختلفة هو علم المواد حيث يدرس هذا العلم العلاقة بين بنية المادة وخواصها .

هذه الحقيقة هي عبارة عن مقدمة في أساسيات علم المواد للمتدربين وقد راعينا فيها تقديم المعلومات بشكل مبسط وتوضيحي عن طريق الأشكال والمخططات والمنحنيات والجداول لتوصيل الفكرة بطريقة مباشرة وفعالة .

تبدأ هذه الحقيقة بأساسيات البنية الداخلية للمواد عموماً ثم يتم التركيز على المواد المعدنية والعلاقة بين بنية المعادن وخواصها .

تقسم هذه الحقيقة إلى ست وحدات ، الخمس وحدات الأولى تحتوي على المنهج النظري والوحدة السادسة تحتوي على كراسة المتدرب للمادة العملية .

الوحدة الأولى: تشمل تعاريف وأساسيات الذرة وروابط الذرات في المواد الهندسية المختلفة ثم تعريف الخلية الوحيدة ودراستها ، كذلك دراسة المستويات والمتجهات الذرية .

الوحدة الثانية: تشمل دراسة العيوب في بنية المواد الصلبة وعلاقتها بخواص المادة .

الوحدة الثالثة تشمل السبائك المعدنية وتعريفها ودراسة مخططات الاتزان الحراري مع التركيز على مخطط الاتزان الحراري للحديد والكربون .

الوحدة الرابعة : تشمل المعالجات الحرارية المختلفة مع التركيز على الصلب كمثال هام . في هذه الوحدة يتعرف المتدرب على تأثير عمليات التسخين والتبريد المختلفة على بنية المادة وبالتالي خواصها . في نهاية الوحدة يتم التعرف على سبائك النحاس والألومنيوم وبعض المعالجات الحرارية الهامة فيها .

في الوحدة الخامسة ، يتعرف المتدرب على التآكل الكهروكيميائي وخطورته وحساباته البسيطة كذلك طرق تجنبه .

الوحدة السادسة: تشمل تطبيقات عملية من أهمها الفحص المجهرى ورسم مخططات الاتزان الحراري والمعالجات الحرارية وقياس معدلات التآكل .



المملكة العربية السعودية  
المؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني  
الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج

## علم المواد

### البنية البلورية

البنية البلورية

**الأهداف**

بعد دراسة هذه الوحدة يصبح المتدرب قادراً على:

- الإلمام بأساسيات الذرة.
- فهم الروابط بين الذرات وعلاقتها بالتوزيع الإلكتروني للذرة.
- التمييز بين المواد الهندسية ومعرفة خصائصها.
- معرفة معنى الخلايا الوحيدة وفهم خصائصها.
- إدراك أهمية المستويات والمتجهات البلورية والتعامل معها.

**الوقت المتوقع للتدريب**

7 ساعات

**المتطلبات السابقة**

مبادئ الكيمياء والفيزياء والرياضيات (المساحات والحجوم ونظرية فيثاغورس)

## مقدمة

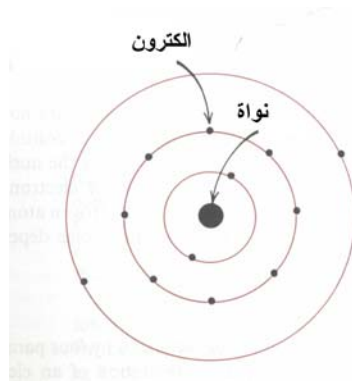
الذرة هي أصغر وحدة في المادة . في المواد الصلبة تترايب الذرات ببعضها تربطاً وثيقاً ويعتمد نوع هذا الترابط وقوته، وبالتالي خواص المادة، على خصائص ذرة العنصر أو ذرات العناصر المكونة للمادة. في كثير من الأحيان، خصوصاً في المعادن، يكون الترابط وبالتالي وضع الذرات مرتباً في منظومة ثلاثية الأبعاد. يمكن دراسة هذه المنظومة ومعرفة الكثير عنها، وبالتالي الكثير عن خواص المادة، عن طريق وحدة صغيرة منها تحتوي على عدد محدود من الذرات وتسمى الخلية الوحيدة. في هذه الوحدة سوف ندرس خصائص الذرة وأنواع الترابط بين الذرات وكذلك الخلية الوحيدة وخصائصها. في هذه الحقبة سوف تتناوب كثيراً كلمتا معدن و فلز وهما يعنيان نفس الشيء.

## 1-1 الذرة

تتكون الذرة من نواة صغيرة جداً يدور حولها جسيمات سالبة الشحنة تسمى إلكترونات في مدارات، كما هو موضح بشكل (1-1). تتكون النواة من جسيمات موجبة الشحنة تسمى بروتونات وجسيمات متعادلة (أي ليس عليها أي شحنة) تسمى نيوترونات. الذرة متعادلة كهربياً أي أن عدد الشحنات الموجبة (البروتونات) يساوي عدد الشحنات السالبة (الإلكترونات). كتلة البروتون تساوي تقريباً كتلة النيوترون وهي حوالي  $1.67 \times 10^{-27}$  كجم أما كتلة الإلكترون فهي أقل بكثير من ذلك وهي حوالي  $9.11 \times 10^{-31}$  كجم وبالتالي فإن معظم كتلة الذرة مركزة في النواة. تترايب أجزاء النواة لوجود قوى خاصة تسمى القوة النووية. فعندما تتقارب الجسيمات لدرجة كبيرة تصبح قوى الجذب كبيرة جداً وأكبر بكثير من قوى التنافر بين البروتونات.

## 1-1-1 العدد الذري

يعرف العدد الذري للذرة بأنه عدد البروتونات أو عدد الإلكترونات.



شكل (1-1) الذرة

### 1-1-2 الوزن الذري

يعرف الوزن الذري للذرة بأنه عدد البروتونات + عدد النيوترونات و يستخدم في قياسه ما يسمى بوحدة الكتلة الذرية (amu).

### 1-1-3 النظائر

هي الذرات التي لها نفس العدد الذري (عدد البروتونات) ولكنها تختلف في وزنها الذري (أي تختلف في عدد النيوترونات). مثال لذلك الكربون فهناك كربون به 6 بروتونات و 6 نيوترونات أي أن وزنه الذري 12 وهناك كربون نظير به 6 بروتونات و 8 نيوترونات أي أنه وزنه الذري 14. عموماً فإن الوزن الذري لعنصر ما يكون متوسط الأوزان الذرية لنظائره وبالتالي فهو عادة لا يكون عدداً صحيحاً، أما العدد الذري فيكون عدداً صحيحاً دائماً. عادة ما تعرف وحدة الكتل الذرية بأنها  $1/12$  نظير الكربون الذي وزنه الذري 12.

### 1-1-4 المدارات

كما أشرنا من قبل فإن الإلكترونات تدور حول الذرة في مدارات و تتوزع الإلكترونات في هذه المدارات طبقاً لقواعد معينة يمكن تلخيصها و تبسيطها فيما يلي:

(أ) يرمز للمدارات بحروف  $k, l, m, n, \dots$  أو بأرقام  $n = 1, 2, 3, 4, \dots$ . بحيث يكون أقرب مدار للنواة هو 1 (أو k) والذي يليه هو 2 (أو n) ... وهكذا.

(ب) سعة المدار (أو أكبر عدد إلكترونات يمكن استيعابها في المدار) يمكن حسابه من العلاقة  $2n^2$  أي أن سعة المدار 1 (أو k) هي 2 وسعة المدار 2 (أو l) هي 8 وسعة المدار 3 (أو m) هي 18 ... الخ.

(ج) تنقسم هذه المدارات إلى مدارات داخلية تسمى  $f, d, p, s$ . سعة المدار s هي 2 إلكترون، سعة المدار p هي 6 إلكترونات، سعة المدار d هي 10 إلكترونات و سعة المدار f هي 14 إلكترونات.

(د) المدار  $n=1$  لا يوجد به غير s والمدار  $n=2$  يوجد به s و p والمدار  $n=3$  يوجد به s, p, d ... وهكذا. (هـ) تتوزع الإلكترونات بين المدارات المختلفة حسب قواعد خاصة بطاقة الإلكترونات.

مثال: باستخدام جدول (1-1) وضح التوزيع الإلكتروني لعنصر الماغنسيوم (Mg)

الحل: من الجدول فإن العدد الذري (عدد الإلكترونات) في الماغنسيوم هو 12 وهي موزعة كالآتي

$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2$  و معنى ذلك أن المدار الأول به 2 إلكترون في s ( $1s^2$ ) والمدار الثاني به 2

إلكترون في s و 6 إلكترونات في p ( $2s^2 2p^6$ ) و المدار الثالث به 2 إلكترون في s ( $3s^2$ ).

## 5-1-1 إلكترونات التكافؤ

تعرف إلكترونات التكافؤ بأنها عدد الإلكترونات في المدار الأخير.

مثال: من جدول (1-1) أوجد إلكترونات التكافؤ لكل من الخارصين (Zn) والجرمانيوم (Ge).

## جدول (1-1)

## التوزيع الإلكتروني لبعض العناصر الهامة

العنصر	الرمز	العدد الذري	التوزيع الإلكتروني
Hydrogen	H	1	$1s^1$
Helium	He	2	$1s^2$
Lithium	Li	3	$1s^2 2s^1$
Beryllium	Be	4	$1s^2 2s^2$
Boron	B	5	$1s^2 2s^2 2p^1$
Carbon	C	6	$1s^2 2s^2 2p^2$
Nitrogen	N	7	$1s^2 2s^2 2p^3$
Oxygen	O	8	$1s^2 2s^2 2p^4$
Fluorine	F	9	$1s^2 2s^2 2p^5$
Neon	Ne	10	$1s^2 2s^2 2p^6$
Sodium	Na	11	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^1$
Magnesium	Mg	12	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2$
Aluminum	Al	13	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^1$
Silicon	Si	14	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^2$
Phosphorus	P	15	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^3$
Sulfur	S	16	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^4$
Chlorine	Cl	17	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^5$
Argon	Ar	18	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6$
Potassium	K	19	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^1$
Calcium	Ca	20	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2$
Scandium	Sc	21	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^1 4s^2$
Titanium	Ti	22	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^2 4s^2$
Vanadium	V	23	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^3 4s^2$
Chromium	Cr	24	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^5 4s^1$
Manganese	Mn	25	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^5 4s^2$
Iron	Fe	26	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^6 4s^2$
Cobalt	Co	27	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^7 4s^2$
Nickel	Ni	28	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^8 4s^2$
Copper	Cu	29	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^1$
Zinc	Zn	30	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2$
Gallium	Ga	31	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2 4p^1$
Germanium	Ge	32	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2 4p^2$
Arsenic	As	33	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2 4p^3$
Selenium	Se	34	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2 4p^4$
Bromine	Br	35	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2 4p^5$
Krypton	Kr	36	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2 4p^6$



الحل: من جدول (1-1) نجد أن توزيع الإلكترونات في الخارصين هو  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6$  أي أن عدد الالكترونات في المدار الأخير (إلكترونات التكافؤ) هو 2. توزيع الإلكترونات في الجرمانيوم  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2 4p^2$  أي أنه عدد إلكترونات التكافؤ هو 4.

تعتبر إلكترونات التكافؤ هامة جداً لسببين:

- أ) تعتمد كثير من الخواص الكيميائية والفيزيائية على إلكترونات التكافؤ.  
ب) مسؤوليتها المباشرة عن طرق الترابط بين الذرات كما سوف نرى.

### 6-1-1 قاعدة الثمانية

إذا أمعنا النظر في جدول (1-1) نجد أنه لا يوجد في المدار الأخير سوى  $s$  أو  $p$ . هناك قاعدة هامة وهي باستثناء الهيدروجين والهيليوم، فإن وجود ثمانية إلكترونات في المدار الخارجي (أي امتلاء  $p$  و  $s$ ) يعطي الذرة مقداراً كبيراً من الثبات والاستقرار كما أن اتجاه الذرات للوصول إلى هذا التركيب يمثل القوة الدافعة للروابط بين الذرات. الغازات الخاملة مثل الأرجون والنيون ( $Ne, Ar$ ) لا تتفاعل لأن لها ثمانية إلكترونات في المدار الأخير. أما بالنسبة للهيليوم فهي الحالة الوحيدة التي تكتفي بإلكترونين وذلك لوجود مدار واحد فقط. العناصر الأخرى التي ليس لها هذا العدد منه إلكترونات التكافؤ تسعى لتحقيقه بإحدى السبل الآتية:

- أ) فقد الإلكترونات.  
ب) اكتساب الإلكترونات.  
ج) المشاركة مع ذرات أخرى في المدارات الأخيرة.

### 7-1-1 الأيون

عندما تفقد الذرة إلكترونًا أو أكثر فإنها تصبح موجبة الشحنة وفي هذه الحالة تسمى أيوناً موجباً أو كاتيوناً، أما إذا اكتسبت الذرة إلكترونًا أو أكثر فإنها تصبح سالبة الشحنة وتسمى أيوناً سالباً أو أنيوناً.

## 2-1 الروابط الذرية في المواد الصلبة

هناك نوعان من الروابط تربط بين الذرات في المواد الصلبة. روابط أساسية وهي تعتمد على إلكترونات التكافؤ في الذرات و تنقسم هذه إلى:

أ ) الرابطة الأيونية.

ب) الرابطة التساهمية.

ج ) الرابطة المعدنية.

هناك روابط ثانوية وهي لا تعتمد على إلكترونات التكافؤ وهي عادة أقل قوة بكثير من الروابط الأساسية.

### 1-2-1 الرابطة الأيونية

تتم عادة بين الفلزات (المعادن) واللافلزات (اللا معادن). تتميز الفلزات بأن عدد إلكترونات التكافؤ لا يتعدى ثلاثة وبالتالي فإنه من الأسهل لها فقد إلكترونات التكافؤ للوصول لحالة استقرار عن اكتساب عدد كبير من الإلكترونات. بالنسبة سلافلذات فإن عدد إلكترونات التكافؤ كبير وبالتالي سهل اكتساب إلكترونات للوصول للعدد ثمانية (أو هو عدد الاستقرار). مثال لهذه الرابطة كلوريد الصوديوم. الصوديوم (Na) فلز به إلكترون واحد في المدار الأخير والكلور (Cl) لا فلز به سبعة إلكترونات في المدار الأخير.

يفقد الصوديوم الإلكترون ليتحول إلى أيون موجب و يكتسب الكلور هذا الإلكترون ليتحول إلى أيون سالب. تتجاذب هذه الأيونات وتحدث الرابطة الأيونية.

شكل (2-1 أ) وشكل (2-1 ب) يوضحان الرابطة الأيونية.

### 2-2-1 الرابطة التساهمية

في هذه الرابطة تصل حالة الاستقرار عندما تتشارك الذرات في الإلكترونات. عندما تترايب ذرتان رابطة

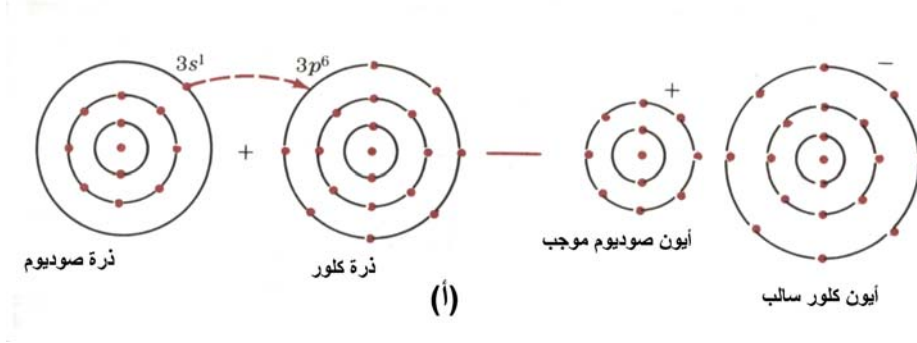
تساهمية فإن كل ذرة تشارك بإلكترون واحد على الأقل في هذه الرابطة و يمكن اعتبار هذه

الإلكترونات تخص كلاً من الذرتين. شكل (3-1) يوضح الرابطة التساهمية للميثان ( $CH_4$ ). من

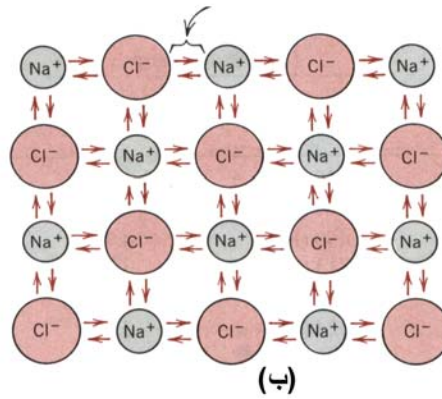
الشكل يتضح أن الذرات تتقارب إلى حد كبير و يؤدي ذلك إلى تجاذب قوى شديد بين الذرات الأمر

الذي يحتاج إلى طاقة كبيرة لفصل الرابطة. مثال لهذه الرابطة مادة الماس التي ترتبط جميع ذرات

الكربون

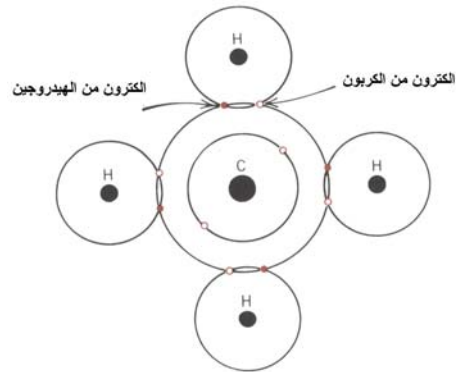


الرابطة الأيونية



شكل (2-1) الرابطة الأيونية

المكونة لها بروابط تساهمية وبالتالي نجد أنه الألماس أكثر المواد صلادة ولا ينصهر إلا عند درجة حرارة تقارب 3000 درجة مئوية.



شكل (3-1) الرابطة التساهمية

## 1-2-2-1 الجزيء

هو عبارة عن مجموعة ذرات مترابطة مع بعضها برابطة تساهمية و يمكن تعريف الوزن الجزيء بأنه مجموع الأوزان الذرية للذرات المكونة له.

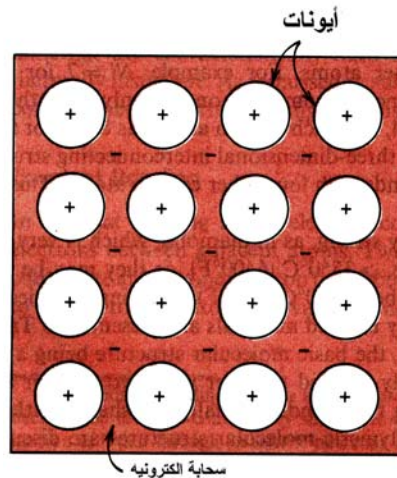
مثال: إذا كان الوزن الذري لذرة الهيدروجين هو  $1.008 \text{ amu}$  والوزن الذري لذرة الكربون هو  $12.011 \text{ amu}$  أوجد الوزن الذري للجزيء الميثان.

الحل: من شكل (1-3) نجد أنه جزيء الميثان يحتوي على أربع ذرات من الهيدروجين وذرة كربون وبالتالي فالوزن الجزيء للميثان هو  $4xH + C$

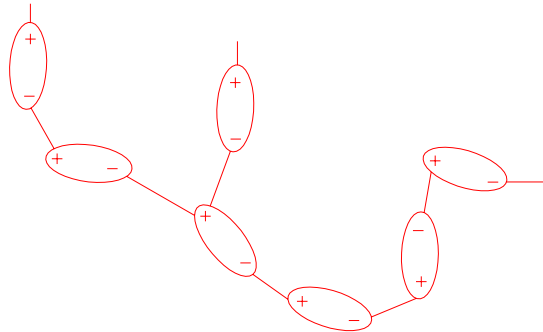
$$4x1.008 + 12.011 = \\ 16.043 \text{ amu} =$$

## 3-2-1 الرابطة الفلزية (المعدنية)

هي خاصة بالفلزات ( المعادن). تتميز الفلزات بأن عدد إلكترونات التكافؤ بذراتها لا تزيد عن ثلاثة. تعتمد هذه الرابطة على إطلاق ذرات الفلزات لإلكترونات التكافؤ لتصبح حرة الحركة بين الذرات وتصبح بقية الذرات أيونات موجبة. تكون هذه الإلكترونات ما يسمى بالسحابة الالكترونية التي تعمل على ربط الأيونات الموجبة ببعضها . شكل (1-4) يمثل الرابطة المعدنية. هذه الرابطة قد تكون ضعيفة كما في حالة الزئبق حيث تبلغ درجة انصهاره  $39^{\circ}\text{C}$  أو قد تكون قوية جداً كما في حالة التتجستن حيث تبلغ درجة انصهاره  $3410^{\circ}\text{C}$ .



شكل (1-4) الرابطة المعدنية



شكل (5-1) ترابط الجزيئات ثنائية القطبية.

#### 4-2-1 الروابط الثانوية

من المعروف أن الذرات والجزيئات متعادلة كهربياً ولكن التوزيع المتجانس للإلكترونات في الذرة أو الجزيء قد يخلت بمعنى أن جزءاً من الذرة أو الجزيء يصبح سالباً والجزء الآخر موجباً و تترايط الذرات أو الجزيئات بحيث إن الجزء السالب في ذرة أو جزيء يتجاذب مع الجزء الموجب من ذرة أو جزيء آخر وتسمى هذه الذرات أو الجزيئات ثنائية القطبية. شكل (5-1) يوضح ترابط جزيئات ثنائية القطبية. وتكون ثنائية القطبية هذه إما:

أ) مؤقتة أي لحظية الوجود ولا يتعدى عمرها بضع ثوان و لكنها متجددة بمعنى أنه كلما تلاشى جزيء ثنائي القطبية ظهر جزيء غيره فتبقى الجزيئات مرتبطة ببعضها.

ب) دائمة أي لا تتغير مع الوقت وهي أكثر استقراراً وبالتالي فإن ثنائية القطبية الدائمة أقوى بكثير من ثنائية القطبية المؤقتة . في العموم فإن الروابط الثانوية أقل قوة من الروابط الأساسية.

#### 3-1 المواد الهندسية

يمكن تعريف المواد الهندسية بأنها المواد ذات الأهمية الهندسية و يمكن تقسيمها لثلاثة أنواع وهي الفلزات و البوليمرات و الخزفيات و معظم الاختلافات الأساسية في الخواص بينها سببها التركيب الإلكتروني لذراتها وبالتالي أنواع الروابط.

### 1-3-1 الفلزات

تتميز الفلزات عموماً بأن عدد إلكترونات التكافؤ لا يزيد عن ثلاثة مما يؤدي إلى حرية حركة الإلكترونات كما ذكرنا من قبل. للفلزات خواص مميزة نذكر منها ما يلي:

( أ ) التوصيل الجيد للكهرباء والحرارة.

(ب) لها بريق و لمعان عندما تصقل.

(ج) غير منفذة للضوء.

( د ) لها قابلية كبيرة للتشكيل.

(هـ) لها كثافة عالية (أكثر من الماء).

### 1-3-2 البوليمرات

هي عبارة عن سلاسل طويلة (جزيئات عملاقة) من ذرات الكربون المرتبطة بالهيدروجين و قد تشمل بعض العناصر الأخرى و لكن الأساس هو الكربون والهيدروجين و أغلبها له الخواص التالية:

( أ ) سيئة التوصيل للكهرباء والحرارة.

( ب ) عاكسة سيئة للضوء وبالتالي فإنها تكون شفافة أو شبه شفافة عندما تكون على شكل شرائح رقيقة.

( ج ) بعضها يمكن تشكيه بسهولة ولذلك فإنه في كثير من الأحيان يطلق الناس أسم اللدائن عند الإشارة إلى البوليمرات و لكنه في الواقع فأن اللدائن جزء من البوليمرات.

### 1-3-3 الخزفيات

و هي عادة ما تتكون من فلزات ولا فلزات و تكون الرابطة الذرية إما أيونية بالكامل أو الجزء الأغلب فيها أيوني. من أهم خصائص الخزفيات أنها:

( أ ) شديدة الصلادة (صعبة التشكيل) .

(ب) قصفة (سهلة الكسر) .

(ج) عازلة للكهرباء والحرارة.

كل المعادن و كثير من الخزفيات تسمى مواد بلورية أو بمعنى آخر ذو بنية بلورية. في هذه المواد ، ترتب الذرات في أشكال هندسية ثلاثية الأبعاد بطريقة منتظمة و متكررة ولمسافات ذرية كبيرة ، كما تترابط الذرة في هذا النظام مع أقرب جيرانها من الذرات. يمكن تمثيل الذرات هنا على أنها كرات

مصمتة و تتلامس كل ذرة مع أقرب جيرانها من الذرات. في بعض الأحيان تمثل فقط مواقع الذرات بنقاط عند مركز الكرات في منظومة ثلاثية الأبعاد و تسمى هذه المنظومة بالبنية التشابكية.

#### 4-1 الخلية الوحيدة

في المواد المتبلورة يمكن تمثيل البنية البلورية عن طريق مجموعة صغيرة من الذرات تتكرر في الأبعاد الثلاثة. تسمى مجموعة الذرات المتكررة هذه الخلية الوحيدة و يمكن تشبيه هذه العملية بالجدار المبني من الطوب. فالجدار يشبه البنية البلورية ككل والطوب، و هي الوحدة المتكررة، تشبه الخلية الوحيدة. تعتبر دراسة الخلية الوحيدة مفيدة جداً لسببين:

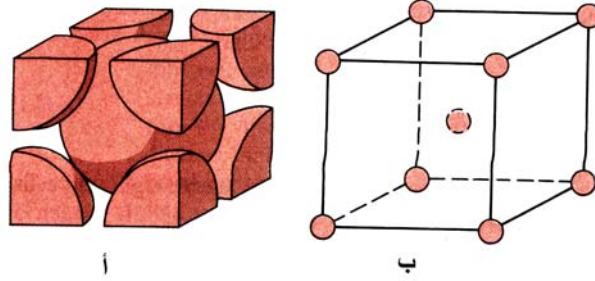
- (أ) احتوائها على عدد صغير من الذرات و بالتالي يسهل دراستها .  
 (ب) يمكن استخلاص معلومات هامة عن البنية البلورية ككل للمادة من دراسة الخلايا الوحيدة .

هناك أنواع كثيرة من الخلايا الوحيدة ولكن أهمها بالنسبة للمعادن النظام المكعبي والنظام السداسي للخلايا. معظم المعادن (أكثر من 90%) تحتوي على إحد هذين النظامين. النظام المكعبي في المعادن يحتوي عادة على إحدى هذين الخليتين:

- (أ) النظام المكعبي مركزي الجسم (BCC) .  
 (ب) النظام المكعبي مركزي الوجه (FCC) .

أما النظام السداسي فهو عبارة عن منشور سداسي محكم التعبئة ويسمى النظام السداسي المزدحم (HCP).

## 1-4-1 النظام المكعب مركزي الجسم ( BCC )



شكل (1-6) أ - الشكل الحقيقي لتوزيع الذرات بنظرية الكرات المصمتة في ال BCC.

ب - الشكل المبسط لتوزيع الذرات في ال BCC.

الرمز BCC لهذا النظام يأتي من الإنجليزية (Body Centered Cubic). شكل هذه الخلية عبارة عن مكعب به ذرة في مركزه وذرة في كل ركن من أركانه. يوضح شكل (1-6) أ الشكل الحقيقي لتوزيع الذرات بنظرية الكرة المصمتة كما يوضح الشكل (1-6) ب الشكل المبسط لتوزيع الذرات في ال BCC.

هناك عدة معادن لها هذا النوع من الخلايا الوحيدة مثل الحديد والكروم والبوتاسيوم والصوديوم والتنجستن. هناك أربع معلومات هامة يمكن استخلاصها من الخلية وهي:

أ) العدد التنسيقي.

ب) العدد الفعلي للذرات في الخلية.

ج) العلاقة بين أبعاد الخلية و نصف قطر الذرة.

د) نسبة الازدحام الذرية.



### 1-1-4-1 العدد التنسيقي

يعرف العدد التنسيقي بأنه أقرب ذرات للذرة. و بنموذج الكرة المصمتة فإنه عدد الذرات التي تلامس الذرة. في الواقع فإن جميع الذرات في النظام البلوري متماثلة بمعنى أنه إذا أوجدنا العدد التنسيقي لذرة فإن جميع الذرات يكون لها نفس العدد التنسيقي. من شكل (1-16) نجد أن ثمانية الذرات في الأركان تلمس الذرة التي في المركز وعلى هذا الأساس فإن العدد التنسيقي هنا هو ثمانية.

### 2-1-4-1 العدد الفعلي للذرات في الخلية

العدد الفعلي للذرات في الخلية هو عدد الذرات داخل الخلية. من شكل (1-16) نجد أن ذرة المركز بكاملها داخل الخلية، وذرات الأركان نصيب كل خلية منها  $1/8$ .

$$\text{العدد الفعلي للذرات في ال BCC} = 1 + 8 \times 1/8 = 2$$

$$= 2$$

### 3-1-4-1 العلاقة بين أبعاد الخلية و نصف قطر الذرة

يقصد هنا بأبعاد الخلية طول ضلع المكعب و تسمى في بعض الأحيان بثابت الشبكية ( **Lattice Constant** ) شكل (1-7) يوضح هذه العلاقة. إذا فرضنا أن طول ضلع المكعب (a) و نصف قطر الذرة **r**:

$$\sqrt{3} a = 4 R$$

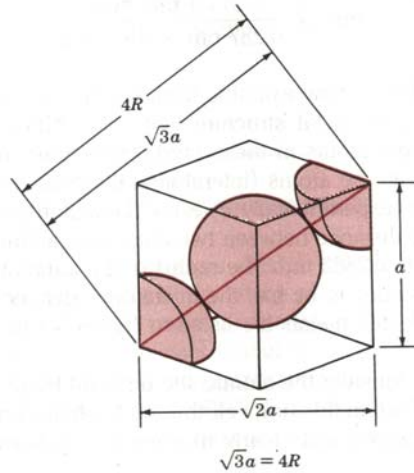
$$a = 4/\sqrt{3} R$$

مثال: إذا كان نصف قطر ذرة الحديد **0.124** نانو متر (nm) أوجد ثابت شبكية ذرة الحديد.

$$\text{الحل: } a = 4/\sqrt{3} \times 0.124 = 0.2864 \text{ nm}$$

## 4-1-4-1 معامل الازدحام الذري (APF)

هو نسبة الحجم من الخلية الذي تحتله الذرات و يعرف باللغة الإنجليزية **Atomic Packing Factor** واختصارها (APF).



شكل (7-1) العلاقة بين أبعاد الخلية ونصف قطر الذرة في ال BCC

نسبة الازدحام الذري = العدد الفعلي للذرات بالخلية  $\times$  حجم الذرة  
حجم الخلية

مثال : احسب معامل الازدحام الذري في ال BCC

$$\text{الحل: } \text{APF} = 2 \times \frac{4}{3} \pi R^3$$

$$(4/\sqrt{3}R)^3$$

$$\frac{4}{3} \pi R^3 = \text{حيث أن حجم الذرة}$$

$$(4/\sqrt{3}R)^3 = \text{حجم الخلية}$$

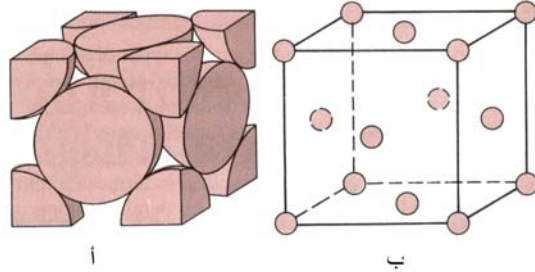
$$\text{APF} = 0.68$$

## 2-4-1 النظام المكعب مركزي الوجه FCC

الرمز FCC لهذا النظام يأتي من الإنجليزية (Face Centered Cubic) شكل هذه الخلية عبارة عن

مكعب به ذرة في مركز كل وجه من أوجهه وذرة في كل ركن من أركانه. يوضح شكل (8-1 أ)

الشكل الحقيقي لتوزيع الذرات بنظرية الكرة المصمتة كما يوضح شكل (8-1 ب) الشكل المبسط لتوزيع الذرات في ال FCC.



شكل (8-1) أ - الشكل الحقيقي لتوزيع الذرات بنظرية الكرات المصمتة في ال FCC.  
ب - الشكل المبسط لتوزيع الذرات في ال FCC.

هناك عدة معادن لها هذا النوع من الخلايا الوحيدة مثل الألمنيوم والنحاس والرصاص والذهب والفضة والبلاتين. إذا فحصنا الشكل (8-1) من الوجه الأمامي فإن الذرة في مركز هذا الوجه تتلامس مع:

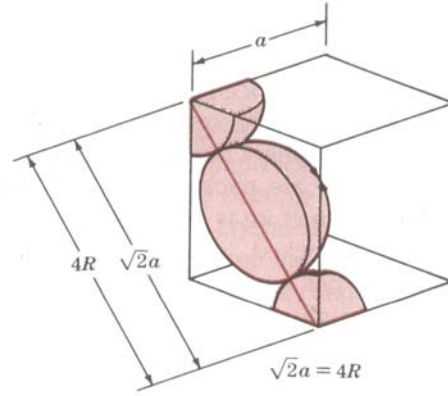
- (أ) أربع ذرات في الأركان الأمامية.  
(ب) أربع ذرات في مراكز الأوجه الخلفية في نفس الخلية.  
(ج) أربع ذرات في مراكز الأوجه الأمامية أي في الخلية التي أمامها.  
بالتالي فإن العدد التنسيقي هو اثنا عشر. من شكل (8-1) أ نجد أن ذرات الأركان نصيب كل خلية منها  $1/8$  وذرات مراكز الأوجه نصيب كل خلية منها  $1/2$ .

$$\text{العدد الفعلي للذرات} = 8 \times 1/8 + 6 \times 1/2 = 4$$

من شكل (9-1) نجد أن العلاقة بين نصف قطر الذرة و ثابت الشبكية (أبعاد الخلية):

$$\sqrt{2} a = 4 R$$

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



شكل (9-1) العلاقة بين أبعاد الخلية ونصف قطر الذرة في ال FCC

مثال: أوجد معامل الازدحام للخلية الوحيدة FCC.

الحل: العدد الفعلي للذرات = 4

حجم الخلية =  $(4/\sqrt{2} R)^3$

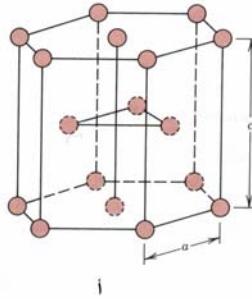
حجم الذرة =  $4/3 \pi R^3$

$$\text{APF} = \frac{4/3 \pi R^3}{(4/\sqrt{2} R)^3} = 0.74$$

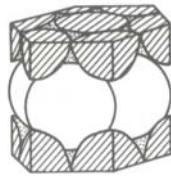
### 3-4-1 النظام السداسي المزدحم (HCP)

الرمز (HCP) لهذا النظام يأتي من الإنجليزية (Hexagonal Close-Packed) شكل هذه الخلية عبارة عن منشور سداسي توجد ذرة في كل ركن من أركانه، و ثلاث ذرات في داخله، وذرة في مركز كل من قاعدتيه.

شكل (10-1 أ) يوضح الشكل المبسط لتوزيع الذرات. شكل (10-1 ب) يوضح شكل الكرات المصمتة لتوزيع الذرات.



i



ب

شكل (10-1) أ- الشكل المبسط لتوزيع الذرات في ال HCP.

ب- الشكل الحقيقي لتوزيع الذرات بنظرية الكرات المصمتة في ال HCP

هناك عدة معادن تتبع هذا النوع من الخلايا الوحدية أو قريبة منه مثل الزنك (الخارصين) والماغنسيوم والكوبالت والزيركونيوم والتيتانيوم والبريليوم.

مثال: احسب حجم المنشور المزدحم في الحالة المثالية.

الحل : كما في شكل (10-1) أ هناك بعدان للخلية وهما طول ضلع القاعدة (a) و الارتفاع (C). في الحالة المثالية، تكون الذرة في مركز القاعدة مع ثلاث الذرات في الوسط هرمياً ثلاثياً منتظماً طول ضلعه (a). يكون ارتفاع هذا الهرم نصف ارتفاع المنشور (C/2). من المعروف رياضياً أن ارتفاع الهرم الثلاثي المنتظم الذي طول ضلعه a هو  $0.8165a$  و منه :

$$C/2 = 0.8165a$$

$$C = 1.633a$$

من المعروف رياضياً أيضاً أن مساحة الشكل السداسي المنتظم الذي طول ضلعه a هي تقريباً  $2.6 a^2$  ومنه نستطيع أن نحسب حجم المنشور.

$$\begin{aligned} \text{حجم المنشور} &= \text{مساحة القاعدة} \times \text{الارتفاع} \\ &= 2.6a^2 \times 1.633a \\ &= 4.24 a^3 \end{aligned}$$

إذا فحصنا شكل (10-1ب) فإن أقرب الذرات للذرة التي في مركز القاعدة العلوية للمنشور هي كالتالي:

(أ) ثلاث الذرات في منتصف المنشور.

(ب) ست الذرات المحيطة بها بنفس القاعدة.

(ج) ثلاث الذرات في وسط المنشور المجاور لهذا المنشور من أعلى و بالتالي فإن العدد التنسيقي هو إثنا عشر.

فيها ستة منشورات و بالتالي فإن نصيب المنشور منها  $1/6$  والذرات في مراكز القاعدتين يشارك في نفس الشكل (10-1ب) نجد أن الثلاث ذرات في الوسط يقعن داخل المنشور وذرات الأركان يشارك في كل منهما منشورين و بالتالي فنصيب المنشور منها  $1/2$  و بالتالي فإن:

$$\begin{aligned} \text{العدد الفعلي للذرات} &= 3 + 12 \times 1/6 + 2 \times 1/2 \\ &= 6 \end{aligned}$$

من الشكل (10-1ب) نستطيع أن نستنتج بسهولة أن :

$$a = 2R$$

مثال: احسب معامل الازدحام الذري للـ HCP في الحالة المثالية.

$$\text{الحل : حجم الخلية في الحالة المثالية} = 4.24a^3$$

$$\text{العدد الفعلي للذرات في الخلية} = 6$$

$$\text{APF} = \frac{6 \times 4/3 \pi R^3}{4.24 \times (2R)^3}$$

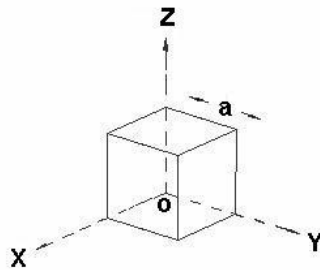
$$= 0.74$$

### 5-1 المستويات والمتجهات البلورية

تعتمد في كثير من الأحيان خواص المواد البلورية على الكثافة الذرية سواءً الخطية (لوحة الأطوال) أو المستوية (لوحة المساحات). بناءً على ذلك فإنه عند التعامل مع هذه المواد فإنه من المفيد تحديد متجهات و مستويات بلورية معينة. أكثر الطرق فاعلية و سهوله لدراسة المستويات والمتجهات البلورية يكون من خلال الخلية الوحيدة و سوف نوضح ذلك من خلال دراسة المتجهات والمستويات البلورية في النظام المكعبي.

### 1-5-1 المتجهات البلورية في النظام المكعب

يمثل المتجه في النظام المكعب بثلاثة أرقام صحيحة بين قوسين مربعين و يعبر عن الأرقام السالبة الصحيحة بخط في أعلى الرقم مثال لذلك المتجه [121] والمتجه  $[0\bar{1}\bar{1}]$ . في المتجه الأخير  $\bar{1}$  معناه 1 - . لقراءة أو رسم المتجه لابد من تعيين نقطة أصل ورسم ثلاثة محاور منها في اتجاه  $Z, Y, X$  كما هو موضح بشكل (11-1). تكون دائماً الاتجاهات الموجبة للمحاور كما هو موضح بالشكل أما نقطة الأصل فتكون اختيارية من بين ثمانية الأركان في للمكعب.



شكل (11-1) نقطة الأصل والمحاور في النظام المكعب

### 1-1-5-1 قراءة المتجهات من خلية

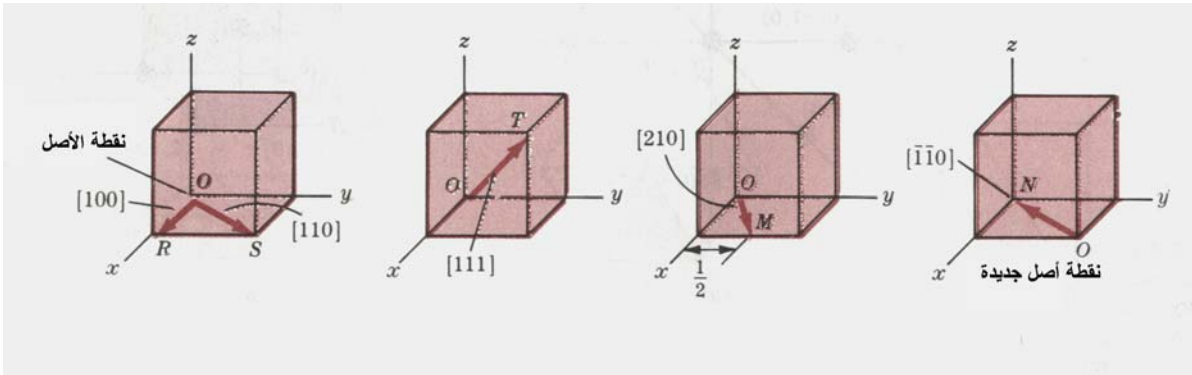
نتبع الخطوات التالية لقراءة متجه من خلية:

(أ) يتم اختيار نقطة الأصل من أركان المكعب بحيث يمر بها المتجه مع الاحتفاظ باتجاهات المحاور كما في شكل (11-1).

(ب) نوجد إسقاط المتجه على ثلاثة المحاور بدلالة طول ضلع الخلية (a).

(ج) تضرب هذه الأرقام (ثلاثة الإسقاطات) أو تقسم بعامل مشترك لاختزالها لأصغر ثلاثة أرقام صحيحة.

(د) توضع هذه الأرقام الصحيحة بين أقواس مربعة  $[UVW]$  حيث  $U$  هو العدد الصحيح للإسقاط على محور  $X, Y, V$  هو العدد الصحيح للإسقاط على محور  $W, Y$  هو العدد الصحيح للإسقاط على محور  $Z$  يوضح شكل (12-1) بعض الأمثلة.



شكل (12-1) أمثلة للمتجهات

## 2-1-5-1 رسم متجه

عادة ما نتبع الخطوات التالية في رسم المتجه:

(أ) نرسم الخلية و نقطة الأصل والمحاور كما في شكل (11-1) مع الأخذ في الاعتبار أن

الاتجاهات الموجبة للمحاور هي اتجاهات الأسهم مع تثبيت نقطة الأصل.

(ب) إذا كان المتجه هو  $[UVW]$  ، نبدأ المسار من نقطة الأصل على محور  $X$  مسافة قدرها  $U$  من

الوحدات ( الوحدة هي  $a$  ) في اتجاه محور  $X$  إذا كانت  $U$  موجبة و في عكس اتجاه محور  $X$

إذا كانت  $U$  سالبة. من النقطة الجديدة نبدأ التحرك مسافة  $V$  موازياً لمحور  $Y$  إذا كانت  $V$

موجبه وعكس اتجاه محور  $Y$  إذا كانت  $V$  سالبة. من آخر نقطة نبدأ التحرك موازياً لمحور  $Z$

مسافة  $W$  في اتجاه محور  $Z$  إذا كانت  $W$  موجبة وفي عكس اتجاه محور  $Z$  إذا كانت

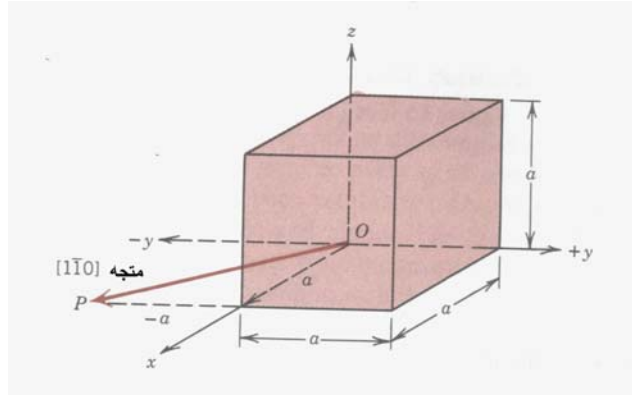
$W$  سالبة.

(ج) نصل نقطة الأصل بآخر نقطة و يكون ذلك هو المتجه  $[UVW]$  .

(د) قد يكون هذا المتجه خارج الخلية أي في الخلية المجاورة وهو يعطي نفس المعنى لأن الخلايا هنا متماثلة.

(هـ) مثال لذلك في شكل (13-1).





شكل (13-1) مثال لرسم متجه

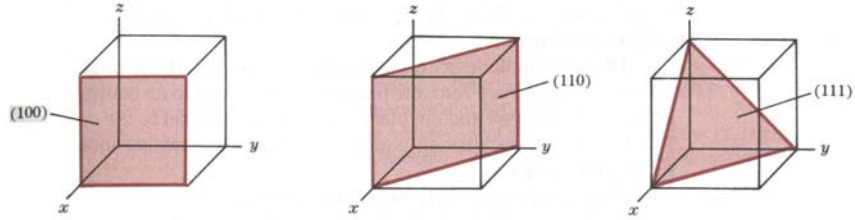
### 1-5-2 المستويات البلورية في النظام المكعب

يمثل المستوى في النظام المكعب بثلاثة أرقام صحيحة بين قوسين دائريين ويعبر عن الأرقام السالبة الصحيحة بخط أعلى الرقم مثال لذلك  $(111)$ ،  $(1\bar{0})$ . في المستويات، تسمى هذه الأعداد الصحيحة بإحداثيات ميلر. لقراءة أو رسم مستوى لا بد من تعيين نقطة أصل ورسم ثلاثة محاور في اتجاه  $X, Y, Z$  كما هو موضح بشكل (11-1) وتكون دائماً الاتجاهات الموجبة للمحاور كما هو موضح بنفس الشكل. أما نقطة الأصل فتكون اختيارية من بين ثمانية الأركان للمكعب.

### 1-2-5-1 قراءة المستويات من خلية

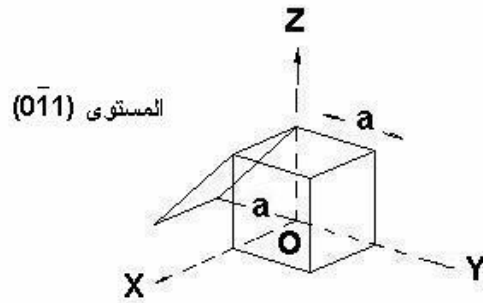
تتبع الخطوات التالية لقراءة مستوى من خلية:

- إذا كان المستوى يمر بنقطة الأصل نختار نقطة أصل أخرى مع الاحتفاظ باتجاه المحاور.
  - نوجد نقط التقاطع مع المحاور مع الأخذ في الاعتبار:
    - الاتجاهات السالبة والموجبة.
    - التوازي بمعنى أنه إذا كان المحور موازياً للمستوى فإن نقطة التقاطع تكون في ما لا نهاية.
  - نوجد مقلوب نقاط التقاطع مع معرفة أن مقلوب ما لا نهاية هو صفر.
  - إذا كان ضرورياً نضرب الأرقام المقلوبة في عامل مشترك للحصول على أصغر أعداد صحيحة.
- هـ) نضع الأعداد الصحيحة في قوسين دائريين  $(hkl)$  حيث  $h$  هو العدد المقابل لمحور  $X$  و  $k$  هو العدد المقابل لمحور  $Y$ ،  $l$  هو العدد المقابل لمحور  $Z$ . أمثلة لذلك في شكل (14-1).



شكل (14-1) أمثلة للمستويات

## 1-5-2-2 رسم مستوى



شكل (15-1) مثال لرسم مستوى

عادة ما نتبع الخطوات التالية في رسم المستوى :

(أ) نرسم الخلية و نقطة الأصل والمحاور كما في شكل (11-1) مع الأخذ في الاعتبار أن الاتجاهات الموجبة للمحاور هي اتجاهات الأسهم مع تثبيت نقطة الأصل.

(ب) إذا كان المستوى  $(hkl)$  نوجد مقلوب هذه الأرقام ثم نحدد نقاط على المحاور. نقطة على محور

$X$  تبعد عن نقطة الأصل بمقدار  $1/h$  من الوحدات ( $a$ ) وتكون في اتجاه محور  $X$  إذا كانت

القيمة موجبة و تكون عكس اتجاه محور  $X$  إذا كانت القيمة سالبة. بنفس الطريقة نحدد

النقاط على محور  $Y$  والتي تبعد  $1/k$  من الوحدات ( $a$ ) عن نقطة الأصل و على محور  $Z$  والتي

تبعد  $1/l$  من الوحدات ( $a$ ) عن نقطة الأصل. نصل ثلاث النقاط لنحصل على المستوى  $(hkl)$ .

(ج) إذا كان إحدى إحداثيات ميللر يساوي صفراً ، نحدد النقطتين الآخرين و نصل بينهما و نرسم منهما موازيات للمحور المقابل للصفر.

(د) إذا كان هناك إحداثيتان يساوي كل منهما صفراً نحدد النقطة الباقية و نرسم منها خطان يوازيان

المحاور المقابلة للأصفار. مثال لرسم مستوى في شكل (15-1).

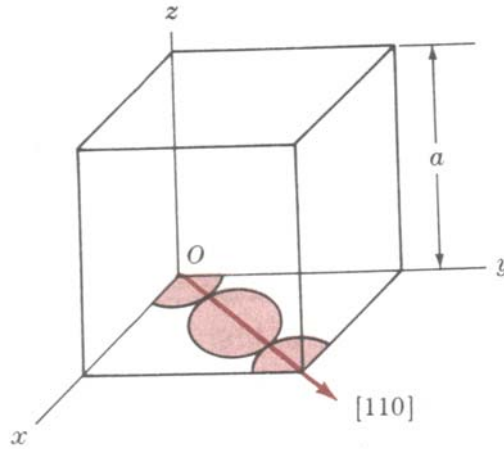
## 6-1 الكثافة الذرية للمتجهات والمستويات

## 1-6-1 الكثافة الذرية للمتجهات

هي ببساطة عدد الذرات في وحدة الأطوال من المتجه و يمكن تعريفها كالآتي:

كثافة المتجه = عدد أقطار الذرات التي تتقاطع مع طول مختار من المتجه  
الطول المختار للمتجه

مثال: احسب كثافة المتجه  $[110]$  للذهب إذا علمت أن ثابت الشبكية  $(a) = 0.408 \text{ nm}$   
(نانو متر = nm) هذا مع العلم بأن خلية الذهب من نوع FCC.  
الحل: شكل (16-1) يوضح المتجه  $[110]$  في ال FCC .



شكل (16-1) المتجه  $[110]$  في ال FCC

الطول المختار للمتجه هو وتر الوجه =  $\sqrt{2} a$

عدد أقطار الذرات التي تتقاطع مع هذا الطول =  $1/2 + 1 + 1/2$

= 2

كثافة المتجه =  $2/\sqrt{2}a$

=  $2/\sqrt{2} \times 0.408$  ذرة / NM

=  $2/\sqrt{2} \times 0.408 \times 10^6$  ذرة / مم

=  $3.466 \times 10^6$  ذرة لكل مليمتري

## 2-6-1 الكثافة الذرية للمستويات

هي ببساطة عدد الذرات في وحدة المساحات من المستوى و يمكن تعريفها كالآتي:

كثا

عدد الذرات التي تتواجد مراكزها على مساحة مختارة من المستوى

فة

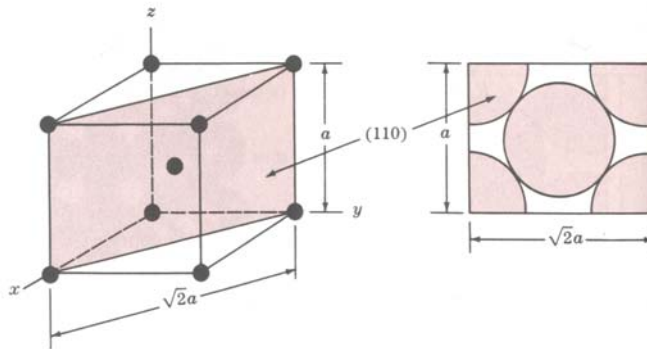
المساحة المختارة من المستوى

= المستوى

مثال: احسب الكثافة الذرية للمستوى (110) للتعجستن إذا علمت أن ثابت الشبكية (a) 0.304 nm

وأنه خلية التعجستن هي من نوع الـ BCC.

الحل: شكل (17-1) يوضح المستوى (110) في خلية الـ BCC.



شكل (17-1) المستوى (110) في الـ BCC

المساحة المختارة للمستوى هي مستطيل طوله  $\sqrt{2} a$  و عرضه  $a$  كما هو موضح بالشكل.

$$\frac{\sqrt{2} a \times a}{\sqrt{2} a^2} = \text{المساحة المختارة}$$

$$4 \times \frac{1}{4} + 1 = \text{عدد الذرات في هذه المساحة}$$

$$2 =$$

$$\frac{2}{(\sqrt{2} a^2)} = \text{كثافة المستوى}$$

$$= \frac{2}{(\sqrt{2} 0.304)^2} \text{ ذرة / nm}^2$$

$$= 10^{12} \times \frac{2}{(\sqrt{2} (0.304)^2)} \text{ مـم}^2 / \text{ذرة}$$

$$= 1.53 \times 10^{13} \text{ ذرة لكل مليمتر مربع .}$$

### 7-1 عائلة المتجهات والمستويات في النظام المكعبى

#### 1-7-1 عائلة المتجهات

عائلة المتجهات عموماً هي المتجهات المتساوية في كثافتها الذرية و في النظام المكعبى هي المتجهات التي لها نفس الإحداثيات بغض النظر عن الترتيب والإشارة فمثلاً المتجهات  $[100]$ ،  $[\bar{1}00]$ ،  $[010]$ ،  $[0\bar{1}0]$ ،  $[001]$ ،  $[00\bar{1}]$  ...

لها نفس الكثافة الذرية و بالتالي فهي من نفس العائلة. يرمز للعائلة بأقواس زوايا أي أن كل المتجهات السابقة من العائلة  $\langle 100 \rangle$ .

#### 2-7-1 عائلة المستويات

عائلة المستويات عموماً هي المستويات المتساوية في كثافتها الذرية و في النظام المكعبى هي المستويات التي لها نفس الإحداثيات بغض النظر عن الترتيب والإشارة فمثلاً المستويات  $(210)$ ،  $(\bar{1}0\bar{2})$ ،  $(\bar{1}02)$  ...

لها نفس الكثافة الذرية و بالتالي فهي من نفس العائلة ورمز العائلة هنا هو  $\{120\}$ .

### ملخص الوحدة الأولى

تناولنا في هذه الوحدة أساسيات الذرة من إلكترونات و بروتونات و نيوترونات و عدد ذري ووزن ذري و مدارات. ثم ركزنا على توزيع الإلكترونات في مدارات الذرة وأهمية الإلكترونات في المدار الأخير (إلكترونات التكافؤ).

تناولنا بعد ذلك العلاقة بين الروابط بين الذرات و التوزيع الإلكتروني ثم تناولنا الروابط الأساسية بين الذرات من رابطة أيونية و رابطة تساهمية و رابطة فلزية (معدنية) كذلك درسنا باختصار الروابط الثانوية. كان ذلك مدخلاً هاماً لتعريف المواد الهندسية و تقسيمها إلى مواد خزفية و مواد بوليمرية و مواد معدنية و تناولنا باختصار الخصائص الهامة لكل منها. تناولنا بعد ذلك الخلايا الوحيدة و عرفناها بأنها مجموعة من الذرات تتكرر في ثلاثة الأبعاد الفراغية لتكون المادة ثم درسنا أهمها وهي الـ **HCP**, **BCC**, **FCC** وأوضحنا أهم خصائصها مثل العدد التنسيقي، العدد الفعلي للذرات في الخلية، العلاقة بين نصف قطر الذرة و أبعاد الخلية و معامل الازدحام .

تناولنا أخيراً المستويات و المتجهات البلورية و كيفية قراءتها من الخلية و كيفية رسمها في الخلية و معرفة الكثافة الذرية للمتجهات و المستويات ثم تعريف عائلات المستويات و المتجهات.

## اختبر معلوماتك

## (1) العدد الذري هو:

- (أ) عدد الإلكترونات + عدد البروتونات في الذرة.  
 (ب) عدد النيوترونات في الذرة.  
 (ج) عدد البروتونات في الذرة.  
 (د) عدد التكافؤ.

## (2) إلكترونات التكافؤ هي:

- (أ) عدد الإلكترونات المكافئة للنيوترونات.  
 (ب) العدد الذري.  
 (ج) عدد الإلكترونات في المدار الأخير للذرة.  
 (د) الإلكترونات الداخلية في الذرة.

## (3) الأيون هو:

- (أ) ذرة فقدت أو اكتسبت بروتونات.  
 (ب) ذرة بها نيوترونات أكثر من بروتونات.  
 (ج) ذرة فقدت أو اكتسبت إلكترونات.  
 (د) جزيء عملاق.

## (4) أي من الجمل الآتية ينطبق على الرابطة الأيونية.

- (أ) هي رابطة بين فلزات ولا فلزات عادة.  
 (ب) هي رابطة تتلاحم فيها المدارات الأخيرة للذرات.  
 (ج) هي رابطة ثانوية.  
 (د) هي أساس الرابطة المعدنية.

## (5) أي من الجمل الآتية تنطبق على الرابطة التساهمية:

- (أ) هي رابطة الجزيء.  
 (ب) هي أساس الرابطة الفلزية.  
 (ج) هي رابطة ثانوية لحظية.  
 (د) هي رابطة ثانوية دائمة.

(6) أي من الجمل الآتية تنطبق على الرابطة الفلزية:

- أ ( ) هي رابطة ثنائية
- ب ( ) هي أساس الروابط في المواد الخزفية
- ج ( ) هي عبارة عن جزيئات عملاقة.
- د ( ) هي التي تطلق الإلكترونات في المدارات الأخيرة لتصبح حرة الحركة بين ذراتها.

(7) الخزفيات هي مواد:

- أ ( ) عازلة الحرارة .
- ب ( ) عازلة الكهرباء .
- ج ( ) معظمها تترايط روابط أيونية.
- د ( ) كل الذي ذكر.

(8) البوليمرات هي عبارة عن:

- أ ( ) ذرات تترايط برابطة أيونية .
- ب ( ) جزيئات عملاقة.
- ج ( ) موصلات جيدة للحرارة .
- د ( ) مواد براقية.

(9) الفلزات هي:

- أ ( ) المعادن و هي موصلة جيدة للكهرباء .
- ب ( ) مواد سائلة عند درجات الحرارة المنخفضة.
- ج ( ) مواد شفافة.
- د ( ) كل الذي ذكر.

(10) أقل الخلايا الوحيدة ازدحاماً هي:

- أ ( ) BCC .
- ب ( ) HCP .
- ج ( ) FCC .
- د ( ) (ب) ، (ج) .



11) أكثر الخلايا الوحيدة ازدحاماً هي:

أ) HCP .

ب) BCC .

ج) FCC .

د) (أ) ، (ج).

12) العدد التنسيقي هو:

أ) العدد الفعلي للذرات في الخلية.

ب) عدد أقرب جيران للذرة والتي تتلامس معها.

ج) عدد الإلكترونات .

د) عدد الذرات المجاورة للخلية.

13) أي مما يلي يمثل مستوى:

أ)  $(1\ 1\ 2.5)$ .

ب)  $[121]$ .

ج)  $(\bar{1}01)$ .

د)  $(1,2,3)$ .

14) أي مما يلي يمثل متجه:

أ)  $(011)$ .

ب)  $(2,1,1)$ .

ج)  $\{311\}$ .

د)  $[101]$ .

15) أي مما يلي يمثل عائلة متجهات.

أ)  $(012)$ .

ب)  $\{000\}$ .

ج)  $\langle 103 \rangle$ .

د)  $\{112\}$ .



المملكة العربية السعودية  
المؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني  
الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج

## علم مواد

### العيوب في المواد الصلبة

العيوب في المواد الصلبة

٢

## الأهداف

بعد دراسة هذه الوحدة يصبح المتدرب قادراً على:

- التعرف على العيوب النقطية.
- فهم ظاهرة الانتشار و علاقتها بالعيوب النقطية.
- التعرف على العيوب السطحية.
- فهم آلية عملية التجمد و تكون الحبيبات.
- التعرف على العيوب الخطية (الانخلاعات).
- فهم العلاقة بين عمليات التشكيل و حركة الانخلاعات.
- التعرف على بعض العوامل التي تؤثر في حركة الانخلاعات و بالتالي عمليات التشكيل.

## الوقت المتوقع للتدريب

5 ساعات

## المتطلبات السابقة

مبادئ الكيمياء والفيزياء

## مقدمة

ذكرنا فيما سبق أن البنية البلورية في كثير من المواد الصلبة (خصوصاً المعادن) تتكون من ذرات موزعة في الفراغ في ترتيبات منتظمة و لكنه في الواقع فإن هناك عيوباً، أو عدم انتظام، في هذا التوزيع. وجود هذه العيوب يكون هاماً جداً في بعض الأحيان. تنقسم هذه العيوب إلى:

أ) عيوب نقطية.

ب) عيوب سطحية.

ج) عيوب خطية.

### 1-2 العيوب النقطية

هذه العيوب تنقسم عادة إلى

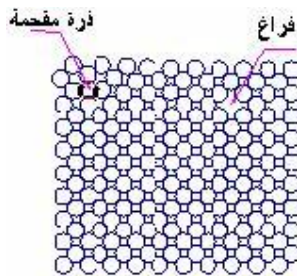
الفراغات.

الذرات المقحمة.

ج) الذرات الغريبة.

### 1-1-2 الفراغات

هي ببساطة عبارة عن أماكن كان يجب أن يكون فيها ذرات ولكنها فارغة لا يوجد بها ذرات. يوضح شكل (1-2) الفراغ.



### شكل (1-2) الفراغات و الذرات المقحمة

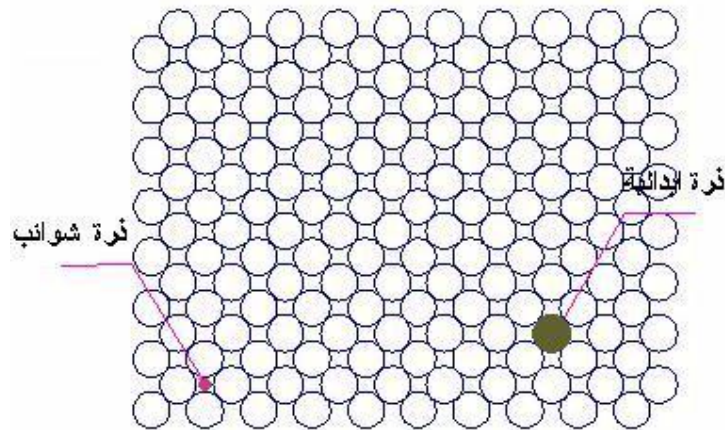
### 2-1-2 الذرات المقحمة الذاتية

هي ذرات من نفس العنصر ولكنها لا توجد في أماكنها الطبيعية بل توجد في أماكن بينية. يوضح شكل (1-2) أيضاً هذه الذرات.

## 3-1-2 الذرات الغريبة

وهي ذرات من عناصر أخرى قد تأخذ أماكن ذرات العنصر الأساسي وتسمى في هذه الحالة ذرات إبدالية. لكي تأخذ ذرات إبدالية أماكن ذرات من العنصر الأساسي لابد من توافر بعض من الشروط التالية:

- (أ) أن يكون الفرق بين أقطار الذرات في العنصر الأساسي والذرات الغريبة قليل ولا تتعدى 15%.
- (ب) أن يكون التكافؤ (عدد إلكترونات التكافؤ) متساوياً.
- (ج) أن يكون للذرات نفس نوع الخلية الوحيدة.
- هناك أيضاً الذرات المقحمة الغريبة وهي ذرات من عناصر أخرى توجد في أماكن بينية بين الذرات وتسمى هذه الذرات في كثير من الأحيان الشوائب. شكل (2-2) يوضح الشوائب و الذرات الإبدالية.



شكل 2-2 الذرات الإبدالية و ذرات الشوائب

## 2-2 ظاهرة الانتشار

يمكن تعريف ظاهرة الانتشار بأنها آلية انتقال مواد خلال مواد أخرى . أسهل أنواع الانتشار يكون في الحالة الغازية مثل انتقال الروائح في الغرفة و يزداد الانتشار صعوبة و لكنه ما يزال سهلاً نسبياً في السوائل مثال لذلك إذا وضعت سائلاً ذا لون في ماء ولاحظت حركية. في الحالة الصلبة تكون حركة

الذرات مقيدة نتيجة للروابط الذرية ولكن تذبذب الذرات حول مواقعها يسمح لبعض الذرات من الحركة. هناك آليتان للانتشار في المواد البلورية:

(أ) آلية الفراغات و الذرات الإبدالية حيث تتبادل الفراغات والذرات الإبدالية أماكنها.

(ب) آلية الانتشار الإقحامي و فيها تنتقل الذرة من مكان بيني إلى مكان بيني مجاور.

تحتاج الذرات إلى طاقة لكي تتحرك من مكان إلى مكان في المادة الصلبة والطاقة هنا ببساطة هي الحرارة وبالتالي فإن حركة الذرات تزيد بازدياد درجة حرارة المادة. عموماً فإن آلية الانتشار في المواد الصلبة تعتمد على العيوب النقطية و هناك ثلاثة عوامل تؤثر فيها وهي :

(أ) درجة الحرارة : وهو تأثير هام جداً حيث إن الانتشار حساس جداً لدرجة الحرارة وكلما زادت درجة الحرارة زاد الانتشار بدرجة كبيرة.

(ب) التركيز: عادة ما تنتقل المادة من التركيز الأعلى إلى التركيز الأقل و كلما زاد فرق التركيز زادت سرعة الانتشار.

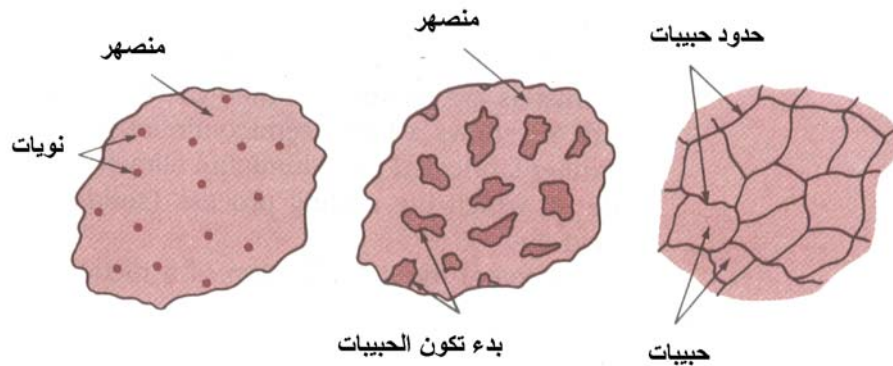
(ج) الزمن: تحت نفس الظروف من التركيز و درجة الحرارة يزداد الانتشار مع زيادة الزمن و لكن تأثيره أقل من الحرارة بكثير.

## 2-2-1 تطبيق عملي على ظاهرة الانتشار

أحد التطبيقات العملية على ظاهرة الانتشار هي التروس المصنوعة من الصلب فمتطلبات الصناعة تحتم أن يكون سطح الترس ذا صلادة عالية حتى يقاوم الاحتكاك في حين يكون الترس مجملاً ذو متانة عالية حتى يقاوم الكسر. للتغلب على هذه المشكلة، يصنع الترس من صلب ذي متانة عالية يم تجرى له عملية تصليد مغلف. تتم هذه العملية بعدة طرق أشهرها الكربنة الغازية. في هذه العملية توضع التروس في أفران تحتوي على غازات هيدروكربونية في درجات حرارة مرتفعة (فوق  $920^{\circ}\text{C}$ ) لفترة زمنية فينتشر الكربون من على سطح الترس و يتوغل داخله و يكون طبقة خارجية عالية الصلادة حيث إنه من المعروف أن زيادة نسبة الكربون في الصلب تزيد من درجة صلادته و لكنها قد تجعله قسفاً. يكون نتيجة ذلك طبقة سطحية عالية الصلادة مدعمة بطبقة داخلية عالية المتانة. هناك ملاحظة هامة هنا وهي أن استعمال الترس عند درجات حرارة أقل بكثير من درجة الكربنة يجعل الانتشار بعد ذلك بطيئاً جداً وغير محسوس في زمن العمر الافتراضي للترس.

## 3-2 العيوب السطحية

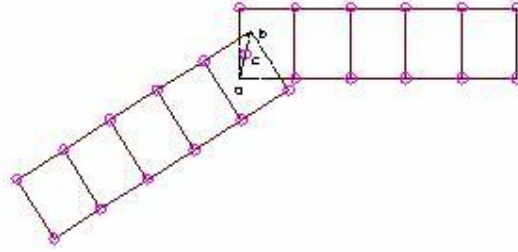
تتكون الكثير من المواد الصلبة ( خصوصاً المعادن ) من حبيبات (بلورات) و كل حبيبة تتكون من ذرات مرتبة في اتجاه معين. يتم ذلك أثناء ما يعرف بعملية التبلور. عند وجود معدن منصهر وعند بدء تبريده فإن ذرات المعدن تبدأ في التبلور بمعنى أنها تبدأ في التجمع على شكل نويات كل منها تحتوي على ذرات مرتبة بطريقة منتظمة تتفق مع نوع المادة بمعنى أن الترتيب ينتج عنه وحدات خلية FCC إذا كانت المادة FCC مثلاً. يزداد عدد النويات إذا كان التبريد سريعاً و يقل عندما يكون التبريد بطيئاً. تنمو النويات لتكون حبيبات. شكل (3-2) يوضح عملية التبلور.



شكل (3-2) عملية التبلور

من هنا نستنتج أن التبريد السريع ينتج حبيبات صغيرة والتبريد البطيء ينتج حبيبات كبيرة. من الصحيح أن نفس الترتيب واحد و لكن اتجاه الترتيب مختلف من حبيبة إلى أخرى. عندما تتلاقى الحبيبات فإن الذرات التي على الحدود بينها تأخذ مكاناً متوسطاً و تصبح غير مستقرة و ضعيفة و مشوهة في تنظيمها وهي أضعف الأماكن مقاومة لعوامل التعرية و فعل الأحماض و تسمى العيوب السطحية. شكل (4-2) يوضح وضع الذرات على الحدود فهي في مكان متوسط (c) ليس مع الحبيبة الأولى (a) ولا الثانية (b). يستفاد من هذه الظاهرة في تحديد حدود الحبيبات في الفلزات. عند وضع الأحماض (المظهرات) على سطح المعدن المثقل، تكون أكثر الأماكن تآكلاً هي حدود الحبيبات و بالتالي فإنه يمكن تمييزها عند وضع العينات تحت المجهر.





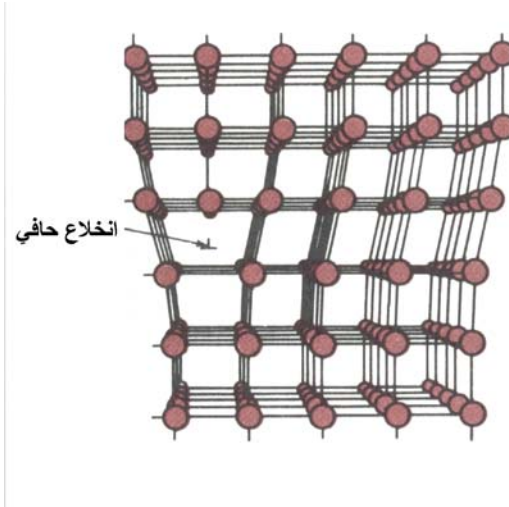
شكل (2-4) وضع الذرات على حدود الحبيبات

### 2-3-1 الخواص في الاتجاهات المختلفة

كما ذكرنا في الوحدة السابقة اختلاف الكثافة الذرية في الاتجاهات المختلفة للبلورة الواحدة و بالتالي تباين خواص البلورة في الاتجاهات المختلفة و لكنه في كثير من المواد تتكون المادة من الكثير من الحبيبات (البلورات) عشوائية الاتجاهات مما ينتج عنه أن متوسط الخواص في جميع الاتجاهات يكون تقريباً متساوياً.

### 2-4 العيوب الخطية

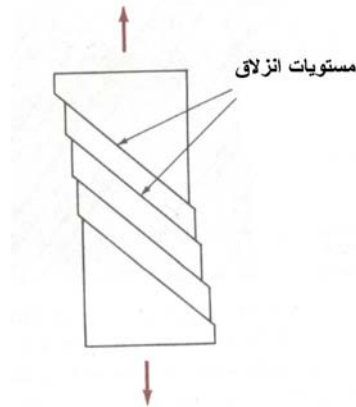
تسمى عادة بالانخلاعات وهي هامة جداً و تعتبر من أهم العيوب تأثيراً على المعادن و تشكيلها. لو لم تكن هذه العيوب، لكان من الصعب جداً تشكيل المعادن و من ثم ما كانت هناك كثيراً من الصناعات. يعرف الانخلاع عموماً على أنه عيب بلوري حيث يحدث تشوه لمواقع الذرات حول خط في البلورة. تنقسم الانخلاعات إلى الانخلاع الحاي في والانخلاع اللولبي وقد يكون هناك خليط من الانخلاعين. سوف نقتصر هنا على تمثيل الانخلاع الحاي في كما هو موضح بشكل (2-5) و هو عبارة عن مستوى من الذرات مقحم في مكان بيني و بالتالي فهو يعمل على إزاحة الذرات المجاورة. يرمز للانخلاع الحاي بالرمز  $\perp$  إذا كان المستوى المقحم إلى أعلى و بالرمز  $\top$  إذا كان المستوى المقحم إلى أسفل.



شكل (5-2) الانخلاع الحافي

#### 1-4-2 اللدونة و حركة الانخلاعات

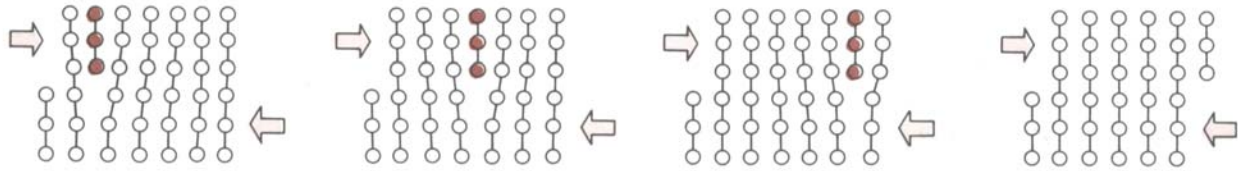
اللدونة هي قابلية المواد للتشكيل نتيجة لتأثير القوة. أي أن المادة تأخذ شكلاً جديداً حتى بعد إزالة القوة. بدأ العلماء دراسة ظاهرة اللدونة بعمل قطع معدنية من بلورة واحدة كبيرة وهذا ممكن تحت ظروف معينة. عند إجراء اختبار الشد وجد أن العينة بعد التشكيل حدث بها انزلاقات على مستويات معينة (لأنها بلورة واحدة و المستويات فيها ثابتة). شكل (6-2) يوضح انزلاق المستويات.



شكل (6-2) انزلاق المستويات

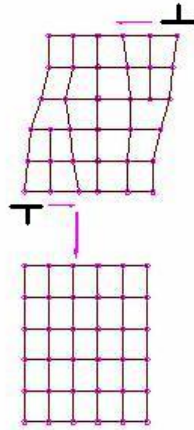
أراد العلماء حساب قوة الشد التي تسبب انزلاق المستويات و مقارنتها بالنتائج العملية. وجد أن الحسابات النظرية تزيد ما يقرب من عشرة أضعاف عن النتائج العملية. أتى العلماء بعد ذلك بنظرية جديدة وهي نظرية تحرك الانخلاعات و نبسطها و نلخصها فيما يلي:

(أ) السبب الأساسي لعمليات التشكيل في معظم المواد (خصوصاً المعادن) هو حركة الانخلاعات. شكل (7-2) يوضح كيفية حركة الانخلاع.



شكل (7-2) حركة الانخلاعات

- (ب) كما هو موضح بالرسم فإنه تحت تأثير القوى يتحرك الانخلاع لكي يستقر على الأطراف وبالتالي فإنه كلما كانت حركة الانخلاعات أسهل كلما زادت قابلية المادة للتشكيل.
- (ت) تزداد حركة الانخلاعات سهولة بزيادة درجة حرارة المادة وبالتالي تكون المادة أكثر لدونة عند درجات الحرارة العالية.
- (ج) تأثير القوى على المادة يولد انخلاعات.
- (د) عندما تزيد كثافة الانخلاعات فهي تكون عائقاً لحركة بعضها البعض.
- (هـ) قد يفني انخلاع آخر كما هو موضح بشكل (8-2). عندما يتقابل الانخلاعات



شكل (8-2) الإفناء

الموضحان بالشكل، فإنهما يكونان مستوى كاملاً ويلغى كل منهما.

## 2-4-2 بعض العوامل التي تؤثر في حركة الانخلاعات

عندما تعاق حركة الانخلاعات فهذا معناه أن المادة تكون أقل قابلية للتشكيل أو بمعنى آخر أكثر صلادة. من العوامل الهامة التي تؤثر في حركة الانخلاعات:

(أ) حجم الحبيبات.

(ب) التشكيل على البارد.

(ج) إضافة ذرات غريبة.

(د) عمليات التخمير.

## 1-2-4-2 حجم الحبيبات

تعتبر الحدود بين الحبيبات عائقاً في مسار الانخلاعات ولذلك فكلما قل حجم الحبيبات، زادت حدود الحبيبات وأصبحت حركة الانخلاعات أصعب و تكون المادة أكثر مقاومة للتشكيل أو أكثر صلادة.

## 2-2-4-2 التشكيل على البارد

كلما زادت عملية التشكيل على البارد تولدت انخلاعات أكثر وكلما سببت عوائق لحركة بعضها البعض وبالتالي فإنه مع زيادة التشكيل على البارد تزيد مقاومة المادة للتشكيل و تزداد صلادتها.

## 3-2-4-2 إضافة ذرات غريبة

عند إضافة ذرات غريبة إلى المادة فإنها تعيق حركة الانخلاعات وبالتالي مقاومة المادة للتشكيل وهذا هو السبب أن المعادن النقية سهلة التشكيل إلى حد كبير.

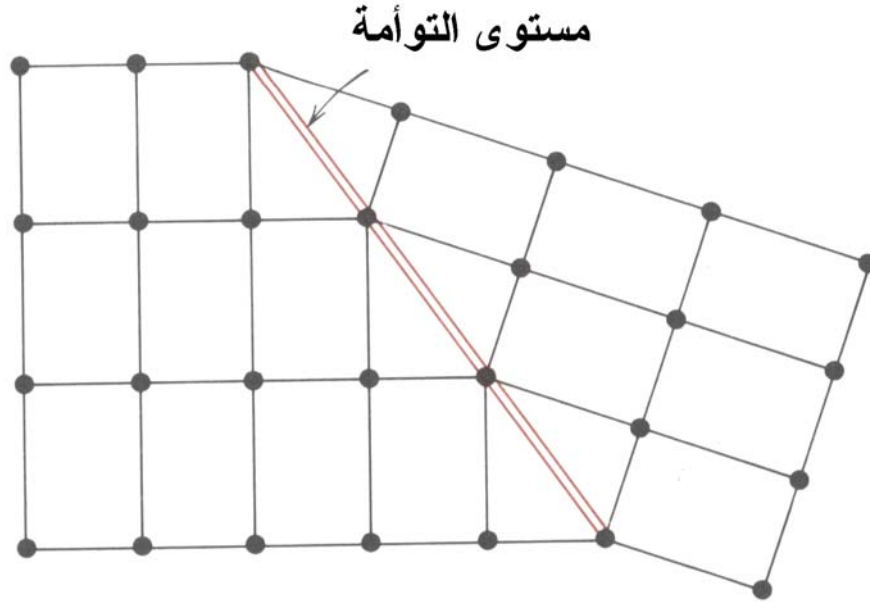
## 4-2-4-2 عمليات التخمير

عمليات التخمير هي عادة عبارة عن وضع المادة تحت درجة حرارة مرتفعة نسبياً لفترة من الوقت وفي أحيان كثيرة يكون التبريد بطيئاً. إذا كانت المادة مثلاً مشكلة على البارد فمعنى ذلك، كما ذكرنا من قبل، زيادة كثافة الانخلاعات الأمر الذي يقلل من لدونة المادة. عند التخمير عند درجات حرارة معينة (تختلف من مادة إلى أخرى). تقل كثافة الانخلاعات و بالتالي تزيد لدونة المادة. أحد الأسباب الرئيسية في تقليل كثافة الانخلاعات بعد التخمير هو أنه عند درجات الحرارة العالية يزداد نشاط الانخلاعات وتتحرك أكثر الأمر الذي يؤدي إلى زيادة احتمالات الإفناء. عند زيادة درجة حرارة التخمير إلى حد معين (يختلف من مادة لأخرى) تكبر الحبيبات و بالتالي تقل حدود الحبيبات و تسهل حركة الانخلاعات أكثر. و بالتالي فإن التخمير يزيد لدونة الانخلاعات عن طريقة تقليل كثافتها و زيادة حجم الحبيبات. تتحرك الانخلاعات عادة في أكثر المستويات الذرية كثافة وفي أكثر الاتجاهات الذرية كثافة.

في ال FCC  $\{111\}$  ،  $\langle 110 \rangle$  هي أكثر المستويات و المتجهات كثافة.  
في ال BCC  $\{110\}$  ،  $\langle 111 \rangle$  هي أكثر المستويات و المتجهات كثافة.

## 5-2 التوأمة

بالإضافة إلى التشكيل عن طريق حركة الانخلاعات فإن التشكيل في بعض المعادن يتم عن طريق ما يسمى بالتوأمة. يمكن تعريف التوأمة بأنها جزء من الحبيبة (البلورة) يغير اتجاهه عن بقية الحبيبة بحيث تكون اتجاهات هذا الجزء كصورة مرآة من الاتجاه الأصلي كما هو موضح بشكل (9-2).



شكل (9-2) التوأمة

### ملخص الوحدة الثانية

تناولنا في هذه الوحدة العيوب المختلفة في المواد الصلبة حيث إن منها ما هو على مستوى الذرة وتسمى عيوباً نقطية ومن أهمها الفراغات والذرات المقحمة والذرات الغريبة ثم أبرزنا علاقة هذه العيوب بظاهرة الانتشار الهامة وأبرزنا مثالاً عملياً لظاهرة الانتشار. إنتقلنا بعد ذلك لعيوب على مستوى البلورة وتسمى العيوب السطحية و هي حدود الحبيبات وألقينا الضوء على عملية التجمد و تكون الحبيبات (البلورات) وعلاقة هذا بخواص المادة في الاتجاهات المختلفة. انتقلنا بعد ذلك للعيوب الخطية و هي الانخلاعات وأنواعها من حافٍ ولولبي و العلاقة بين عمليات التشكيل في المادة و حركة الانخلاعات. وتناولنا بعض العوامل الهامة التي تؤثر على حركة الانخلاعات. أخيراً ألقينا بعض الضوء على نوع آخر من آليات التشكيل يحدث في بعض المعادن و هي عملية التوأمة.

### اختبر معلوماتك

#### 1) الفراغ هو:

- أ) مكان منعزل في البلورة.
- ب) فجوة في المادة.
- ج) مكان في الترتيب الذري كان يجب أن يكون به ذرة و لكنه فارغ .
- د) ذرة بينية.

#### 2) الذرة الإبدالية هي:

- أ) ذرة تبادلت موقعها مع ذرة أخرى.
- ب) ذرة من عنصر آخر أخذت مكان ذرة أساسية.
- ج) ذرة بينية.
- د) لا شيء مما ذكر.

#### 3) لكي تأخذ ذرة إبدالية مكان ذرة من العنصر الأساسي فإنه لا بد:

- أ) أن تكون الأقطار متقاربة.
- ب) أن يكون التكافؤ متساوياً أو قريباً.
- ج) أن تكون درجة الحرارة مرتفعة للمادة.
- د) أ و ب.

#### 4) العوامل التي تؤثر على عملية الانتشار:

- أ) درجة الحرارة.
- ب) التركيز.
- ج) الوقت.
- د) كل ما ذكر.

5) العيوب السطحية هي:

- أ) سطح المادة.
- ب) الذرات الغريبة في المادة
- ج) الذرات عند حدود الحبيبات.
- د) الذرات البينية.

6) يزداد عدد النويات عند تجميد المنصهر:

- أ) بزيادة سرعة التبريد في المنصهر.
- ب) بتقليل سرعة التبريد في المنصهر.
- ج) إضافة أجسام غريبة.
- د) لا شيء مما ذكر.

7) كلما زادت سهولة حركة الانخلاعات كانت المادة:

- أ) أكثر صلادة.
- ب) أكثر متانة.
- ج) أكثر لدونة .
- د) أ و ب و ج.

8) من العوامل التي تسهل حركة الانخلاعات:

- أ) درجة حرارة المادة.
- ب) حدود الحبيبات.
- ج) قلة كثافة الانخلاعات
- د) أ و ج .





المملكة العربية السعودية  
المؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني  
الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج

## علم مواد

### السبائك المعدنية ومخططات الاتزان الحراري

السبائك المعدنية ومخططات الاتزان الحراري

٤

## الأهداف

بعد دراسة هذه الوحدة يصبح المتدرب قادراً على:

- فهم عملية الذوبان.
- فهم معنى الطور.
- معرفة كيفية رسم مخططات الاتزان الحراري.
- تحليل مخططات الاتزان الحراري البسيطة.
- تحليل مخطط الاتزان الحراري للحديد والكربون.
- التعرف على الأطوار والبنية الدقيقة للسبائك الثنائية.

## الوقت المتوقع للتدريب

8 ساعات

## المتطلبات السابقة

مبادئ الكيمياء والفيزياء

## مقدمة

لأن الخواص الطبيعية للمعادن النقية غير مناسبة في أغلب الأحيان للتطبيق العملي، فإن التركيبة من خليط من معادن مختلفة أو خليطاً من معادن وعناصر لا معدنية، تسمى سبيكة معدنية، تستخدم لتفي بالأغراض العملية. تصمم السبيكة عادة لتفي بأغراض هندسية معينة مثل المتانة والصلادة ومقاومة التآكل وزيادة درجة حرارة الانصهار ... الخ. قد تكون السبيكة خليطاً من عنصرين فتسمى سبيكة ثنائية وقد تكون خليطاً من ثلاثة عناصر فتسمى سبيكة ثلاثية... الخ. في السبائك المعدنية عموماً يكون العنصر الأساسي معدناً والعناصر الأخرى تكون معادن أو لا معادن.

### 3-1 الذوبان

يحدث الذوبان في العناصر المكونة للسبيكة بمعنى تداخل ذراتها واختلاط بعضها ببعض بصورة متجانسة في الحالة المنصهرة وقد يمتد هذا الاختلاط بصورة تامة أو محدودة في الحالة المتجمدة. عادة فإن الفلزات في الحالة المتجمدة تقبل الذوبان في بعضها بصورة تامة إذا حققنا واحداً أو أكثر من هذه الشروط :

(أ) تقارب حجم الذرات.

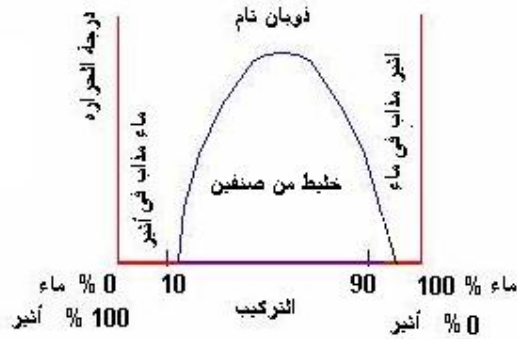
(ب) تساوي التكافؤ.

(ج) تشابه نوع الخلية.

إذا اختلفت هذه الشروط فإن الذوبان يحدث جزئياً. عموماً فإن الذوبان يعتمد على درجة الحرارة. لتوضح هذه الفكرة سنأخذ مثلاً من الأثير والماء. إذا حاولنا إذابة الأثير في الماء في درجة قريبة من الصفر المئوي فإن الماء لا يذوب أكثر من 4% من الأثير وإذا حاولنا عند نفس درجة الحرارة إذابة الماء في الأثير فإننا لا نستطيع إذابة أكثر من 13% وبارتفاع درجة الحرارة، تزداد نسبة الذوبان. يوضح الشكل (3-1) منحنى الذوبان وهو خط يفصل بين الذوبان التام والذوبان الجزئي. في المساحة تحت المنحنى نجد مخلوطين وهما أثير مذاب في ماء وماء مذاب في أثير فمثلاً إذا خلطنا 50% ماء و 50% أثير قرب الصفر المئوي فإن الماء والأثير يقسمان نفسيهما بحيث:

( أ ) جزء صغير من الماء يذوب في جزء كبير من الأثير بنسبة 13% .

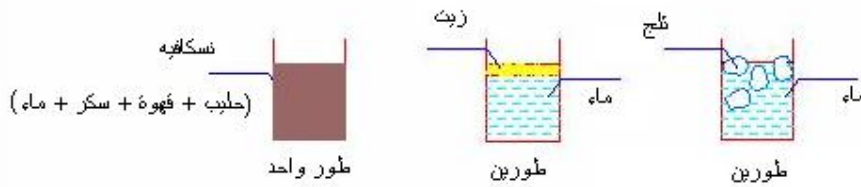
( ب ) جزء صغير من الأثير يذوب في جزء كبير من الماء بنسبة 4% و النهاية نجد خليطين



شكل (1-3) منحني ذوبان الماء والأثير

### 2-3-2 الطور

يعرف الطور بأنه جزء من المادة متجانس له خواصه الفيزيائية والكيميائية والميكانيكية المميزة. مثال لذلك الثلج في الماء هما طوران لأنه يمكننا تمييز الماء عن الثلج رغم أن لهما نفس التركيب الكيميائي. الزيت و الماء عند خلطهما و الانتظار لفترة يطفو الزيت فوق الماء و يمكن تمييزهما و لذلك فهما طوران. المثال الثالث هو النسكافيه (القهوة بالحليب) فهي طور واحد رغم احتوائها على عدة عناصر (قهوة-سكر-حليب-ماء) إلا أنها امتزجت مع بعضها بحيث لا يمكن تمييز هذه العناصر و أصبحت طوراً اسمه نسكافيه. شكل (2-3) يوضح هذه الأمثلة.



شكل (2-3) أمثلة توضح مفهوم الأطوار

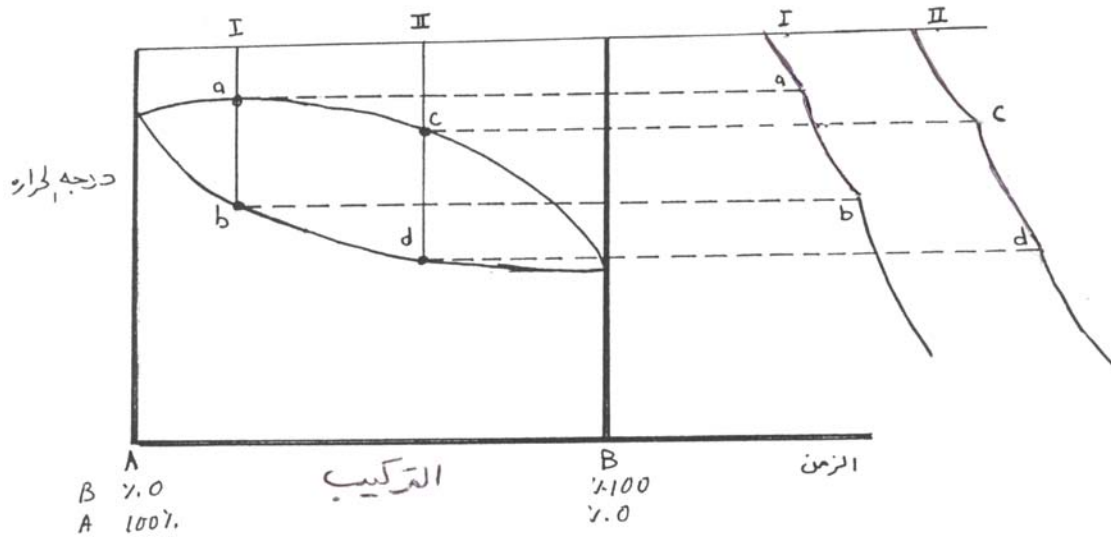
### 3-3 مخططات الاتزان الحراري

لدراسة السبائك دراسة علمية سليمة، لا بد من دراسة ما يسمى بمخططات الاتزان الحراري و سوف نقتصر هنا على مخططات الاتزان الحراري للسبائك الثنائية.

يمكن تعريف مخطط الاتزان الحراري بأنه تمثيل تخطيطي للأطوار المستقرة عند درجات الحرارة المختلفة و التركيبات المختلفة للسبيكة. في أحيان قليلة يؤخذ الضغط في الاعتبار و لكنه في معظم الأحيان يهمل وفي دراستنا هنا سوف نهمل تأثير الضغط.

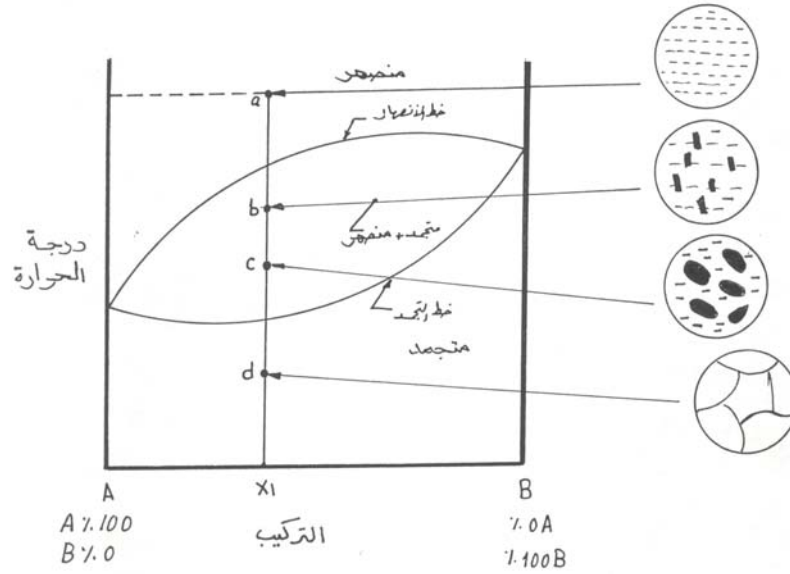
### 1-3-3 منحنيات التبريد و مخطط الاتزان الحراري

لرسم مخطط الاتزان الحراري لسبيكة ما فإنه لا بد من إيجاد منحنيات التبريد للسبيكة وهي ببساطة عمليات صهر للسبيكة بتركيبات مختلفة من عناصرها ثم تركها تبرد ببطء و نرسم منحنيات تغير الحرارة مع الزمن (منحنيات التبريد) للتركيبات المختلفة. عند وجود تغير في حالة السبيكة (أطوارها) يظهر ذلك على شكل تغير فجائي في معدل التبريد. تسجل درجات الحرارة التي حدث عندها التغيرات مع تركيب السبيكة و توضع هذه النقاط على محورين. المحور الأفقي هو تركيب السبيكة و المحور الرأسي هو درجة الحرارة و يواصل هذه النقاط يمكن رسم مخطط الاتزان الحراري. شكل (3-3) يوضح طريقة رسم مخطط الاتزان الحراري.



شكل (3-3) مثال لطريقة رسم مخطط الاتزان الحراري من منحنيات التبريد

كلمة اتزان هنا تعني أن المادة تصل إلى حالة الإتزان عند درجة حرارة معينة أي أنه تحدث كل التغيرات الواجب حدوثها وهذا يعلل عملية التبريد ببطء. بالإضافة إلى شكل مخطط التوازن الحراري، فإنه يجب فحص عينات للبنية الدقيقة للأطوار المختلفة لكي تبقى دراسة السبائك متكاملة.

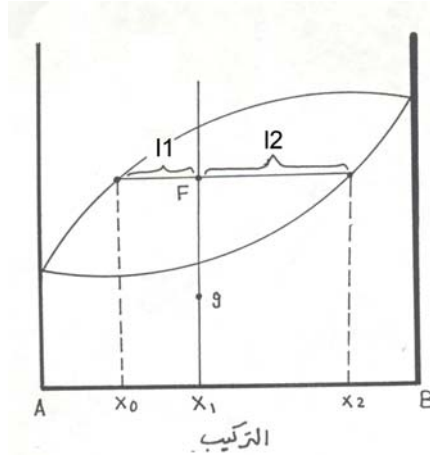


شكل (3-4) مخطط الاتزان الحراري لمادتين تامتين الذوبان

يمثل شكل (3-4) مخطط للاتزان الحراري لمادتين تامتين الذوبان كالنيكل والنحاس مثلاً. هناك ما يسمى بخط الانصهار وهو الخط الذي أعلاه لا يوجد غير منصهر و خط التجمد وهو الخط الذي أسفله لا يوجد غير متجمد وما بينهما يكون خليط من منصهر و متجمد. عند النقطة (a) تكون السبيكة كلها منصهر وعند النقطة (b) يكون هناك بعض المتجمد والباقي منصهر. عند النقطة (c) تزيد نسبة المتجمد إلى المنصهر. عند النقطة (d) تكون كل السبيكة متجمد.

### 2-3-3 قاعدة الخط الأفقي

في شكل (3-4) هناك طور واحد عند النقطة a, d وهناك طوران عند النقاط b, c. عند وجود طور واحد فإن نسبة الأطوار تكون 100% و التركيب للطور هو نفس تركيب السبيكة. عند وجود أكثر من طور فإن هناك نسبة من كل طور كما أن كل طور له تركيبه الخاص الذي يختلف عن تركيب السبيكة ولإيجاد ذلك نتبع قاعدة الخط الأفقي كما هو موضح بشكل (3-5).



شكل (5-3) قاعدة الخط الأفقي

في هذا الشكل السبيكة مكونة من عنصرين A, B. عند الطرف الأيسر من المحور الأفقي يكون تركيب السبيكة 100% A أي 0% B وبالتالي يكتب الحرف A وفي الطرف الأيمن يكون التركيب 100% B أي 0% A وبالتالي يكتب الحرف B. ما بينهما هو خليط من الاثنين (x). عند النقطة F (تركيب  $x_1$ ) هناك طوران هما سائل ومتجمد. لإيجاد نسبة الأطوار و تركيب الأطوار، نرسم من نقطة F خطاً أفقياً ليتقاطع مع خط المنصهر وخط المتجمد ويكون تركيب السائل هو  $x_0$  و تركيب المتجمد هو  $x_2$  والنسبة بينهما هي:

$$\frac{x_1 - x_0}{x_2 - x_0} = \frac{l_1}{l} = \text{نسبة المتجمد}$$

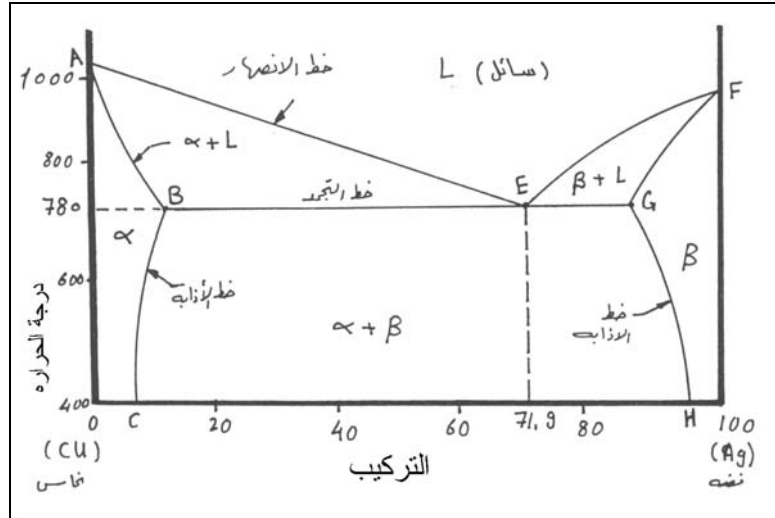
$$\frac{x_2 - x_1}{x_2 - x_0} = \frac{l_2}{l} = \text{نسبة السائل}$$

حيث إن  $l$  هي المسافة بين نقطتي تقاطع الخط الأفقي مع خط المنصهر وخط المتجمد ( $l=l_1+l_2$ ). تقسم هذه المسافة عند تركيب  $x_1$  إلى مسافتين  $l_1$  المسافة القريبة من المتجمد و  $l_2$  المسافة القريبة من السائل أي أن نسبة السائل والمتجمد تحسب بالمسافات العكسية وهذه قاعدة عامة .

## 3-3-3 مخطط اتزان حراري لمادتين تامتي الذوبان في الحالة السائلة و محدودي الذوبان في الحالة

المتجمدة

المثال هنا كما هو موضح بشكل (6-3) و هو شكل تقريبي لمخطط الاتزان الحراري للنحاس والفضة.



شكل (6-3) شكل تقريبي لمخطط الاتزان الحراري للنحاس والفضة

ويعرف هذا المخطط بالمخطط الثنائي اليوتيكتيكي للاتزان الحراري. أما كلمة ثنائي فلأنه يتكون من مركبين (الفضة والنحاس) و كلمة يوتيكتيكي هذه لما يحدث عند النقطة E وهي ما تسمى بنقطة اليوتيكتيك وهذا ما سنتناوله بالشرح لاحقاً. هناك عدة سمات لهذا المخطط وهي:

( أ ) هناك ثلاثة أطوار موجودة في المخطط و هي السائل و  $\alpha$  و  $\beta$ . الطور  $\alpha$  هو محلول متجمد غني بالنحاس وهو يحتوي على نسبة من الفضة كمذاب في هذا المحول. الطور  $\beta$  و هو غني بالفضة والنحاس مذاب فيه.

( ب ) يمثل الخط CBA حدود إذابة الفضة في النحاس كما يمثل الخط HGF حدود إذابة النحاس في الفضة.

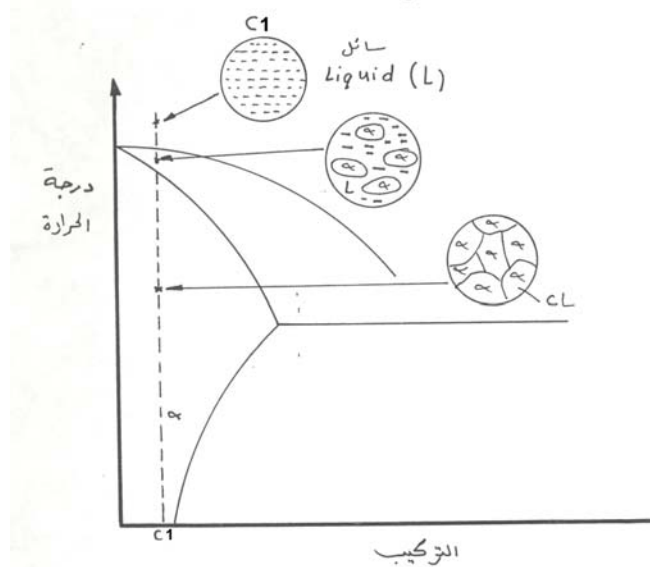
( ج ) تكون نسبة الإذابة (سواء فضة في نحاس أو نحاس في فضة) أقصاها على الخط الأفقي BEG.

( د ) تكون أقل درجة إنصهار (على نفس الخط BEG) عند نقطة E. وهذا الخط الأفقي هو جزء من خط التجمد.



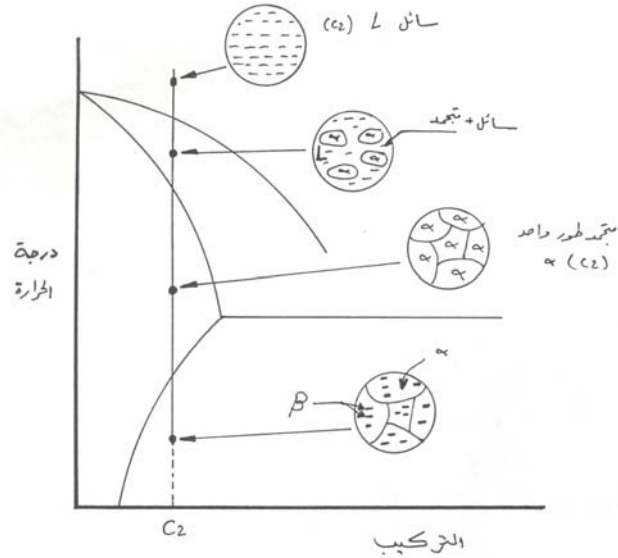
هـ) هناك ثلاث مناطق حيث يوجد طوران فالمنطقة AEB بها  $\alpha+L$  والمنطقة EGF بها  $\beta+L$  والمنطقة تحت الخط CBEGH بها  $\alpha + \beta$  ويتم تعيين كمية كل طور و تكوينه بنفس قاعدة الخط الأفقي السابقة.

و) النقطة E يلتقي عندها ثلاثة أطوار  $\alpha, L, \beta$  ويكون عندها أقل درجة انصهار وتسمى نقطة اليوتيكتيك وفي هذه الحالة ( أي في هذا المخطط) فإن هذه النقطة تحدث عند درجة حرارة  $780^{\circ}\text{C}$  وتركيب  $71.9\%$  فضة وإذا لاحظنا فإن هناك ثلاثة أطوار تتجمع عند هذه النقطة. يوضح شكل (7-3) البنية الدقيقة عند تركيب C1 (الذي ينتهي بطور واحد  $\alpha$ ) عند درجات الحرارة المختلفة.

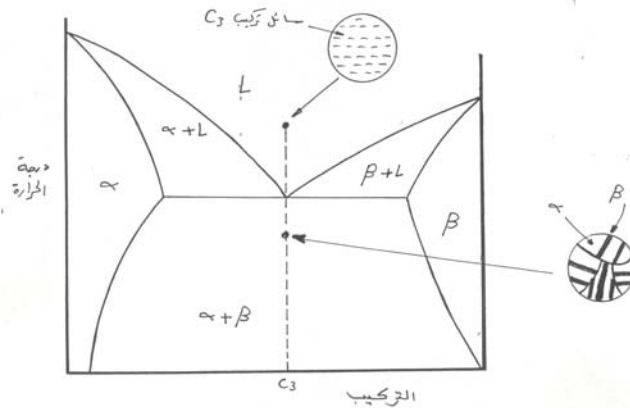


شكل (7-3) البنية الدقيقة عند تركيب C1 الذي ينتهي بطور واحد

يوضح شكل (8-3) البنية الدقيقة عند تركيب C2 (الذي ينتهي بطورين  $\beta, \alpha$ ) عند درجات الحرارة المختلفة كما يوضح شكل (9-3) البنية الدقيقة عند التركيب اليوتيكتيكي. عند درجات الحرارة المختلفة. عند درجات حرارة أقل من اليوتيكتيك نجد أن البنية الدقيقة مميزة الشكل فهي على شكل مخطط وتسمى لاملاي (LAMELLAE).

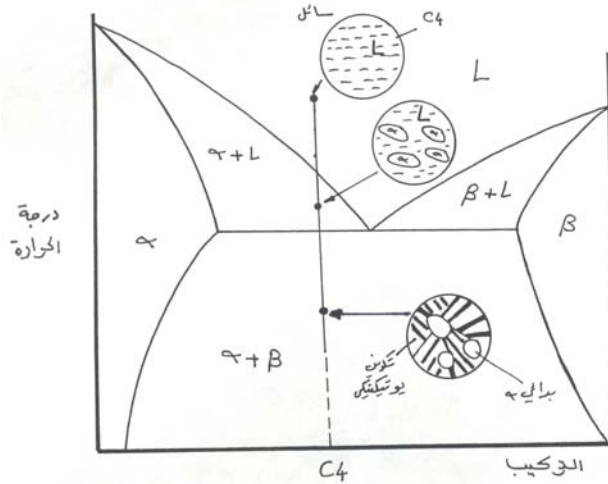


شكل (8-3) البنية الدقيقة عند تركيب C2 الذي ينتهي بطورين



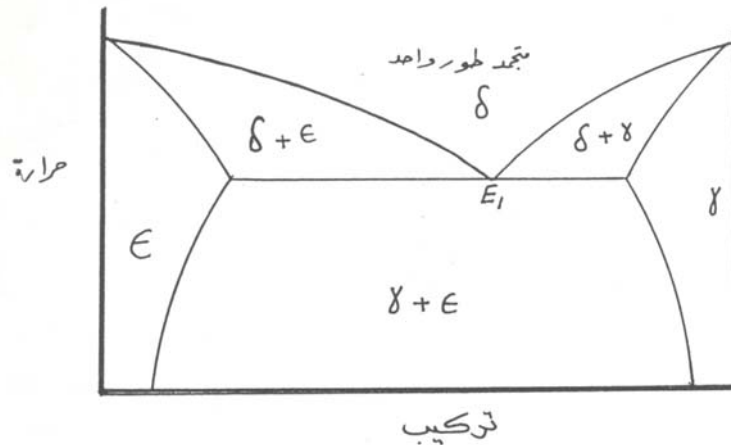
شكل (9-3) البنية الدقيقة عند التركيب اليوتيكتيكي

يوضح شكل (10-3) البنية الدقيقة عند تركيب C4 (الذي ينتهي بطورين  $\alpha$ ,  $\beta$  و لا يمر بالطور  $\alpha$ )، عند درجات الحرارة المختلفة. عند درجات حرارة أقل من اليوتيكتك نجد أن اللاملاي (LAMELLAE) موجودة بالإضافة إلى  $\alpha$  ابتدائي. يمكن استنتاج البنية الدقيقة لباقي الخطط مع الأخذ في الاعتبار سيادة الطور  $\beta$  بدلاً من  $\alpha$ .



شكل (10-3) البنية الدقيقة عند تركيب  $C_4$  الذي ينتهي بطورين ولا يمر بالطور  $\alpha$

كما أنه يوجد تركيب يوتيكتيكي (نقطة بها ثلاثة أطوار). هناك مخططات اتزان حرارية ثنائية أخرى فيها نقاط ذات ثلاثة أطوار مثل:  
أ) التركيب اليوتيكتويدي:



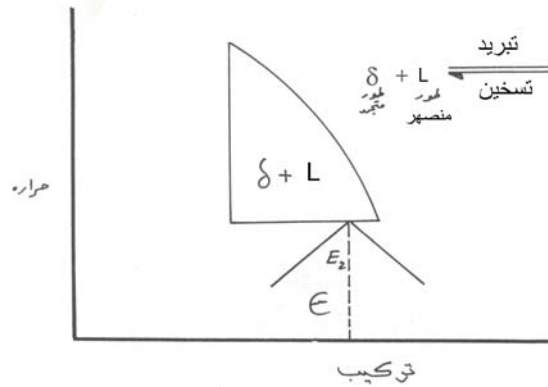
شكل (11-3) التركيب اليوتيكتويدي

كما هو موضح بشكل (11-3) والفرق عن التركيب اليوتيكتيكي هو أن جميع أطواره متجمدة. فالتركيب اليوتيكتيكي يكون سائلاً فوق حرارة اليوتيكتيك و يكون طورين

متجمدين تحت حرارة اليوتيكتيك. أما التركيب اليوتيكتيدي فيكون طوراً واحداً متجمد فوق حرارة اليوتيكتيك و يتحول إلى طورين متجمدين تحت اليوتيكتيك.

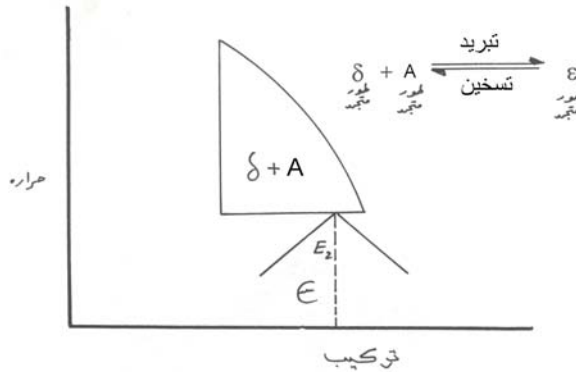
ب) التركيب البريتكتيكي:

كما هو موضح بشكل (3-12) فهو عبارة عن طورين أحدهما سائل فوق درجة حرارة البريتكتيكي و طور واحد متجمد تحت درجة حرارة البريتكتيكي.



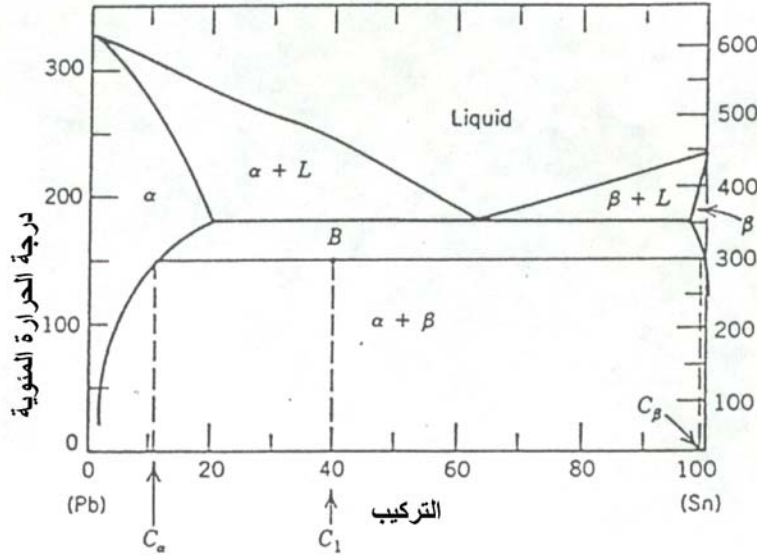
شكل (3-12) التركيب البريتكتيكي

ج) التركيب البريتكتويدي:



شكل (3-13) التركيب البريتكتويدي

كما هو موضح بشكل (3-13) فهو عبارة عن طورين متجمدين في درجة حرارة فوق البريتكتويدي و طور واحد في درجة حرارة أقل من البريتكتويدي.



شكل (3-14) مخطط الاتزان الحراري للرصاص والقصدير

مثال: في منحني الرصاص Pb والقصدير Sn المبين بشكل (3-14) عند تركيب 40% Sn ودرجة حرارة 150 درجة مئوية أوجد:

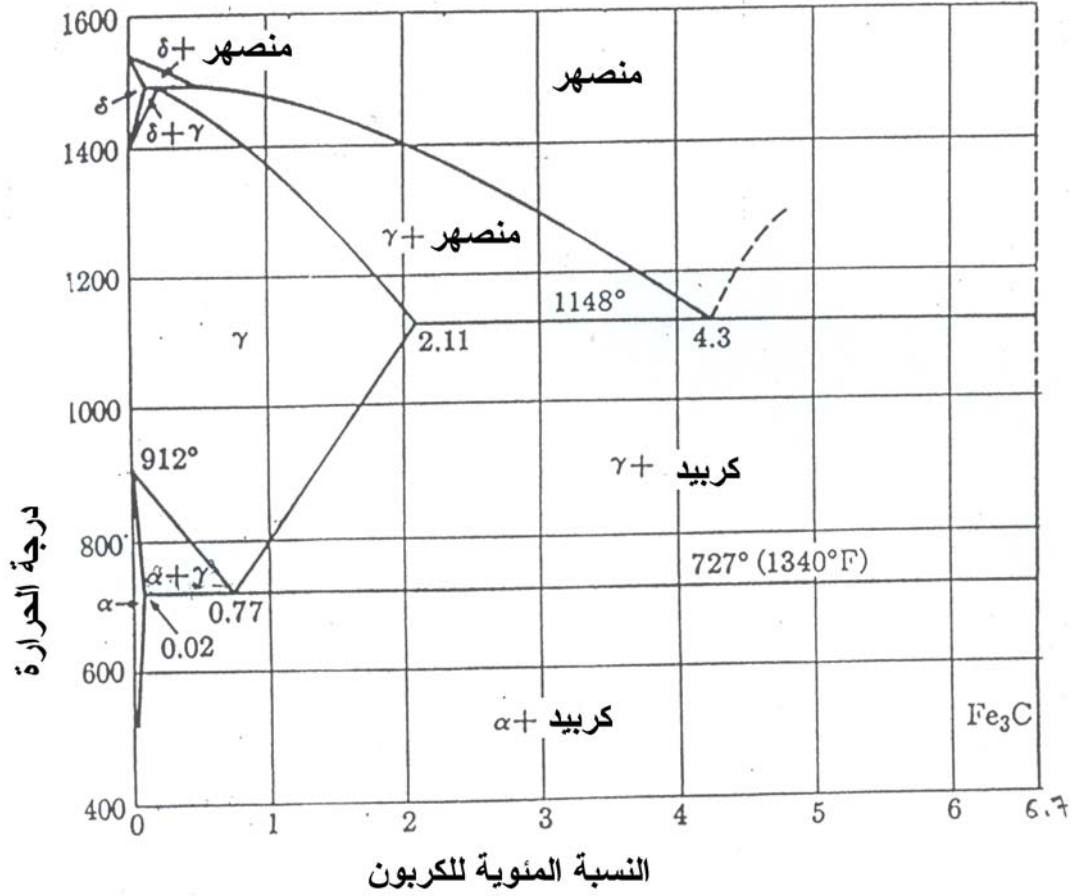
(أ). تركيب كل من الطورين  $\alpha$ ,  $\beta$ .

(ب). نسبة أوزان كل طور.

الحل: كما هو موضح بالشكل وبتطبيق قاعدة الخط الأفقي المذكورة سابقاً إذا:

11% Sn	89% Pb		$\alpha$	تركيب
99% Sn	1% Pb		$\beta$	تركيب
	99 - 40	=	$\alpha$	نسبة الطور
	99 - 11			
	0.67	=		
	40 - 11	=	$\beta$	نسبة الطور
	99 - 11			
	0.33	=		

### 4-3 مخطط الاتزان الحراري للحديد والكربون



شكل (3-15) مخطط الاتزان الحراري للحديد والكربون

يبين شكل (3-15) مخطط الاتزان الحراري للحديد والكربون ونلاحظ في هذا الشكل ما يلي:

- عند درجة حرارة الغرفة هناك طوران هما  $\alpha$  ويسمى فريت (ferrite) أما الطور الآخر فهو  $Fe_3C$  وهو غني بالكربون ويسمى سيمنتيت (Cementite) أو في بعض الأحيان يسمى كبريتيد (carbide) ونسبة الكربون فيه 6.7% وهي أقصى نسبة كربون يمكن إذابتها في الحديد.

- طور الفريت به نسبة قليلة جداً من الكربون وتركيبية البلوري (الخلية الوحيدة له) هو BCC وعند تسخينه يحدث له تغير إلى الطور  $\gamma$  ويسمى الأوستنيت (Austenite). وإذا اعتبرنا

الحديد النقي، فإن هذا التغيير يحدث عند درجة حرارة 912 درجة مئوية وهذا الطور  $\gamma$  له تركيب بلوري FCC.

- يتحول الحديد النقي مرة ثانية من  $\gamma$  إلى طور يسمى  $\delta$  فريت عند درجة حرارة 1394 درجة مئوية و يعود هذا الطور مرة أخرى إلى التركيب البلوري BCC. تسمى هذه العملية بالبولي مورفيسم (Polymorphism). يعرف البولوي مورفيسم بأنه قابلية المادة بالتواجد بأكثر من تركيب بلوري.
- الكربون يعتبر كمذاب في الحديد و هو يكون كذرة غريبة مقحمة (شوائب). الأماكن التي تجدها ذرات الكربون كذرات مقحمة في ال FCC أكثر من ال BCC (رغم أن معامل الازدحام في ال FCC أكثر من ال BCC) وهذا يعلل أن نسبة الكربون في  $\gamma$  الأوستيت (FCC) أكبر من نسبة الكربون في  $\alpha$  أو  $\delta$  فريت (BCC).
- لأن الطور  $\delta$  فريت هو طور مستقر عند درجات حرارة عالية جداً لذلك فإنه ليست له قيمة عملية.
- من ناحية الخواص الميكانيكية فليسيمنتيت (كربيد) صلب جداً و قصيف جداً و تتحسن خواص الصلب بإضافة نسب منه.
- في شكل (3-15) نلاحظ أن هناك ثلاث نقاط ثلاثية الأطوار:
  - أ) نقطة يوتيكتيك عند تركيب 4.3% كربون و درجة حرارة 1148 درجة مئوية.
  - ب) نقطة يوتيكتويد عند تركيب 0.77% و درجة حرارة 727 درجة مئوية.
  - ج) نقطة بريكتيك عند تركيب 0.2% درجة حرارة 1538 درجة مئوية.

### 3-5 سبائك الحديد والكربون

هناك ثلاثة تسميات لسبائك لحديد والكربون:

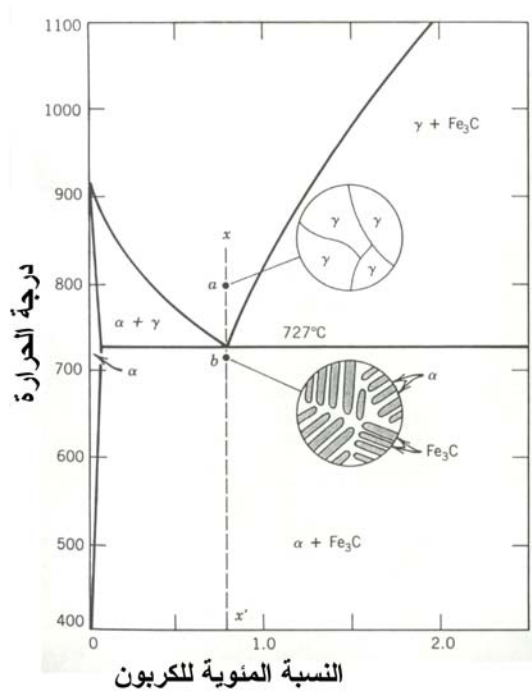
- (أ) حديد (Iron) وهو الذي يحتوى على نسبة كربون أقل من 0.008%.
- (ب) الصلب (steel) وهو الذي يحتوى على نسبة كربون بين 0.008% - 2.11% وعادة في الحياة العملية فإنه قليلاً ما تجد صلباً تزيد فيه نسبة الكربون عن 1%.
- (ج) الحديد الزهر (cast iron) وهو الذي تتراوح نسبة الكربون فيه من 2.11% - 6.7% وعادة ما تكون نسبة الكربون في الحديد الزهر حوالي 4.5%.
- في الواقع فإن الصلب هو أهم سبائك الحديد والكربون وأكثرهما استخداماً وفي كثير من الأحيان يضاف عناصر أخرى للصلب. بالنسبة للصلب أقل من 1% من الوزن كربون، وهو الأكثر شيوعاً، فإن معهد الحديد والصلب الأمريكي (AISI) American Iron and Steel Institute والجمعية الأمريكية للاختبار والمواد: (ASTM) American Society for Testing and Materials قد وضعوا أعداداً نمطية متعارفاً عليها لكي نستطيع التعرف على السبائك وبالتالي التعرف على خواصها. هذه الأعداد تتكون من أربعة أرقام صحيحة أول رقمين من اليسار إلى اليمين يشيران إلى العناصر الأخرى في السبيكة بالإضافة للحديد والكربون والرقمان الآخران يشيران إلى نسبة الكربون. مثلاً صلب 1040 آخر رقمان هما 40 ومعنى ذلك أن نسبة الكربون 0.4% أما أول رقمين (وهما 10) يعنى أنه لا يوجد أي عنصر آخر سوى الكربون والحديد. صلب 9280 نسبة الكربون 0.8% ومن جداول خاصة فإن السبيكة تحتوي على سيليكون (2.2% - 1.8%). صلب 4025 يحتوي على نسبة كربون 0.25% والسبيكة تحتوي على موليبدنوم (Mo) بنسبة (0.3% - 0.2%). عموماً إذا كان أول رقمين من اليسار 10 فهذا يعنى أنه لا يوجد أي عنصر إضافي وأي أرقام أخرى معناها عناصر إضافية يمكن الحصول عليها من جداول خاصة. الرقمان الآخران يشيران إلى النسبة المئوية للكربون وتوضع علامة عشرية قبلهما.

### 3-6 البنية الدقيقة للصلب

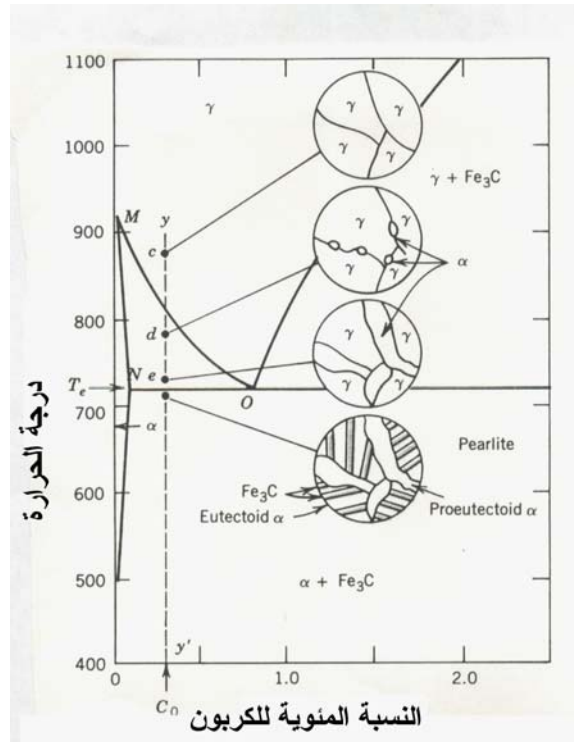
#### 3-6-1 التركيب اليوتيكتويدي

يوضح شكل (3-16) البنية الدقيقة للتركيب اليوتيكتويدي عند المرور من الطور  $\gamma$  (الاورستيت) عند نقطة a إلى  $\alpha$  (فريت)  $Fe_3C+$  (سيمنتيت) عند نقطة b. تسمى البنية الدقيقة عند نقطة b بالبرليت (Pearlite).





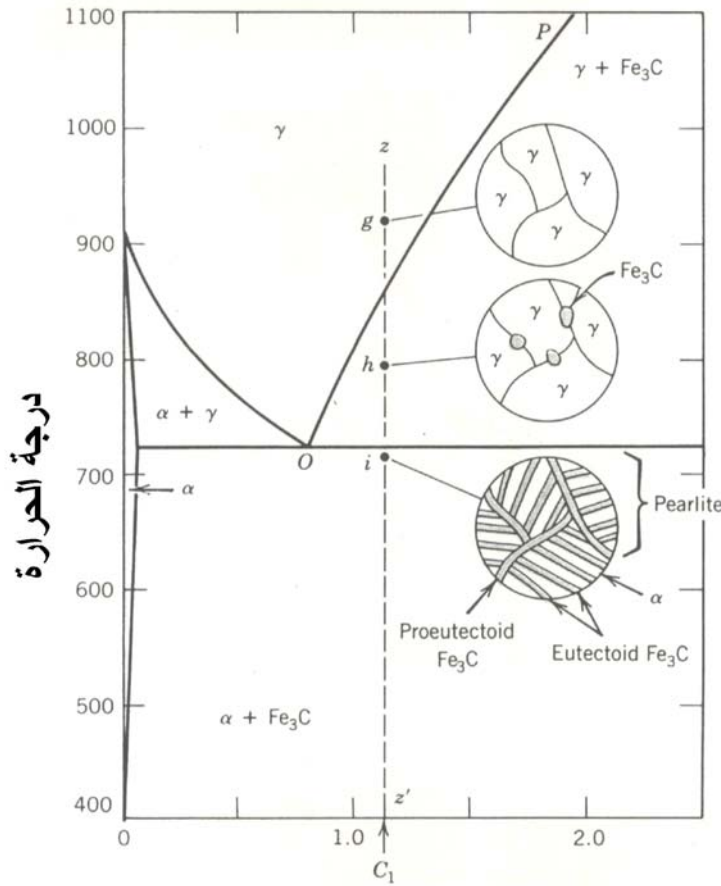
شكل (16-3) البنية الدقيقة للصلب للتركيب اليوتيكودي



شكل (17-3) البنية الدقيقة للصلب للتركيب تحت اليوتيكودي

## 2-6-3 التركيب تحت اليوتيكويدي

يوضح شكل (17-3) البنية الدقيقة للصلب عندما تكون نسبة الكربون أقل من التركيب اليوتيكويدي (0.77% من الوزن كربون). كما هو موضح بالشكل، عند نقطة c يكون هناك طور واحد وهو  $\gamma$  وعند النقاط d, e يبدأ الطور  $\alpha$  في التكون عند حدود الحبيبات وعند درجة حرارة أقل من 727 درجة مئوية يكون التركيب من  $\alpha$  (فريت) + برليت ( $\alpha$  + سيمنتيت).



النسبة المئوية للكربون

شكل (18-3) البنية الدقيقة للصلب للتركيب فوق اليوتيكويدي

### 3-6-3 التركيب فوق اليوتيكويدي

يوضح شكل (3-18) البنية الدقيقة للصلب عندما تكون نسبة الكربون أكبر من التركيب اليوتيكويدي. كما هو موضح بالشكل، عند نقطة g هناك طور واحد هو  $\gamma$ . عند نقطة h يبدأ السيمنتيت في التكون عند حدود الحبيبات و عند نقطة i (أقل من 727 درجة مئوية) يكون التركيب هو سيمنتيت + برليت (سيمنتيت + فريت)

مثال: من مخطط الاتزان الحراري للحديد و الكربون، إذا كان هناك صلب تركيبية %99.65 حديد و %0.35 كربون. في درجة حرارة أقل قليلا من اليوتيكويد ، أوجد نسبة الفريت و السيمنتيت و تركيب كل منها .

الحل: من مخطط الحديد والكربون نجد أن:

تركيب الفريت %0.022 كربون والباقي حديد أو %99.98 حديد.

تركيب السيمنتيت %6.7 كربون و %93.3 حديد بتطبيق قاعدة الخط الأفقي للنسب نجد أن :

$$\begin{aligned} \text{نسبة الطور } \alpha &= \frac{6.7 - 0.35}{6.7 - 0.022} \\ &= 0.95 \\ \text{نسبة السيمنتيت} &= \frac{0.35 - 0.022}{6.7 - 0.022} \\ &= 0.05 \end{aligned}$$

مثال للطالب للتمرين:

أوجد كمية كل من  $\gamma$  و  $\alpha$  في 3 كيلوجرام من حديد يحتوي على نسبة كربون %0.4 عند درجات الحرارة التالية 850 و 728 و 726 درجة مئوية.

الحل:

$$\begin{aligned} \text{عند درجة 850} &: 3 \text{ كيلوجرام } \gamma \text{ و لا يوجد } \alpha \\ \text{عند درجة 728} &: 1.46 \text{ كيلوجرام } \gamma \text{ و } 1.54 \text{ كيلو } \alpha \\ \text{عند درجة 726} &: \text{لا يوجد } \gamma \text{ و } 2.83 \text{ كيلو } \alpha \end{aligned}$$

وعلى المدرب أن يتحقق من هذه النتائج.

### ملخص الوحدة الثالثة

بدأنا هذه الوحدة بدراسة عملية الذوبان ثم الأطوار و كيفية التعرف عليها. تناولنا بعد ذلك مخططات الاتزان الحراري للسبائك الثنائية و كيفية رسمها عن طريق منحنيات التبريد ثم تحليل الأطوار فيها كذلك دراسة البنية الدقيقة لمختلف الأطوار وكان ذلك لعنصرين تامي الذوبان في الحالة المتجمدة ثم عنصرين غير تامي الذوبان في الحالة المتجمدة وتعرفنا على النقاط ثلاثية الأطوار وهي اليوتيكتيك واليوتيكتويد و البريتكتيك و البريتكتويد. تناولنا بعد ذلك مخططاً هاماً وهو مخطط الاتزان الحراري للحديد والكربون وأوضحنا الأطوار المختلفة ثم ميزنا بين الحديد والصلب والحديد الزهر. أخيراً تناولنا البنية الدقيقة للصلب مع بعض التحليلات للأطوار المختلفة فيه .

## اختبر معلوماتك

## 1) السبيكة المعدنية:

- أ) قد لا تحتوي على معادن.  
 ب) كل مركباتها من معادن.  
 ج) تحتوي على عنصر أساسي قد يكون معدنياً أو لا معدنياً.  
 د) تحتوي على عنصر أساسي معدني و عناصر أخرى قد تكون معادن أو لا معادن.

## 2) تقبل الفلزات الذوبان في بعضها في الصورة المتجمدة إذا كان:

- أ) الذرات متقاربة الحجم .  
 ب) تساوى تكافؤ الذرات .  
 ج) أن تكون درجة الحرارة منخفضة إلى حد ما.  
 د) أ و ب.

## 3) الطور هو:

- أ) جزء متجانس من المادة له خواصه المميزة.  
 ب) جزء من المادة موجود في مكان بين الذرات.  
 ج) جزء متجانس من المادة يذوب جزئياً فيها.  
 د) لا شيء مما ذكر.

## 4) لرسم مخططات الاتزان الحراري لسبيكة فإنه يلزم:

- أ) تسخين السبيكة وتبريدها بمعدلات مختلفة.  
 ب) معرفة منحنيات التبريد للسبيكة عند تركيبات مختلفة.  
 ج) وضع عناصر محفزة مع السبيكة.  
 د) لا شيء مما ذكر.

5) لكي تبقى دراسة السبائك متكاملة فإنه لابد أن:

- أ) نعيد رسم مخططات الاتزان الحراري عدة مرات.
- ب) معرفة قاعدة الخط الأفقي.
- ج) دراسة البنية الدقيقة للأطوار المختلفة لمخططات الاتزان الحراري.
- د) أ و ب.

6) نقطة اليوتيكتيك هي:

- أ) نقطة على مخطط الاتزان الحراري يوجد عندها ثلاثة أطوار.
- ب) أعلى نقطة انصهار في مخطط الاتزان الحراري للسبيكة.
- ج) نقطة التجمد.
- د) لا شيء مما ذكر.

7) الفريت هو:

- أ) أحد الأطوار في مخطط الاتزان الحراري للحديد والكربون.
- ب) هو الحديد النقي.
- ج) هو الصلب عالي الكربون.
- د) لا شيء مما ذكر.

8) يحتوي البرليت على:

- أ) طور واحد.
- ب) طورين متجمدين.
- ج) طورين واحد متجمد والثاني سائل.
- د) طورين سائلين.

**(9) السيمنتيت هو:**

- أ ( طور يحتوي على نسبة كربون متوسطة في مخطط الحديد والكربون.  
ب ( طور يحتوي على أعلى نسبة كربون يمكن إذابتها في مخطط الحديد والكربون.  
ج ( عبارة عن طورين متجمدين.  
د ( لا شيء مما ذكر.

**(10) الأوستيت هو:**

- أ ( طور في مخطط الحديد والكربون تركيبية البلوري FCC.  
ب ( الصلب الذي يحتوي على نيكل.  
ج ( طور في مخطط الحديد والكربون تركيبية البلوري BCC.  
د ( لا شيء مما ذكر.

**(11) صلب 1040 معناه:**

- أ ( صلب يحتوي على نسبة كربون % 0.4 ولا يحتوي على شيء آخر.  
ب ( صلب يحتوي على نسبة كربون % 4 ولا يحتوي على شيء آخر.  
ج ( صلب يحتوي على نسبة كربون % 40 ولا يحتوي على شيء آخر.  
د ( صلب يحتوي على نيكل.



المملكة العربية السعودية  
المؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني  
الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج

## علم مواد

### المعالجات الحرارية

المعالجات الحرارية

٤



## الأهداف

بعد دراسة هذه الوحدة يصبح المتدرب قادراً عليّ:

- تعريف المعالجات الحرارية.
- فهم التحول في الأطوار.
- فهم مخطط ال TTT و خطوط التبريد وإستنتاج الأطوار.
- فهم عملية التحكم في الخواص الميكانيكية على طريق المعالجات الحرارية.
- معرفة مزايا و عيوب السبائك الحديدية.
- الإلمام بسبائك النحاس و الألومنيوم و عمليات التخمير فيهما.

## الوقت المتوقع للتدريب

4 ساعات

## المتطلبات السابقة

مبادئ الكيمياء والفيزياء

## مقدمة

من أحد أسباب استخدام المعادن بكثرة هو المدى الواسع الذي يتم الاختيار منه للخواص الميكانيكية . يكمن ذلك في سببين هما :

أ ) تعدد أنواع المعادن .

ب ) تعدد الطرق التي يمكن بها التحكم في خواص المعادن الميكانيكية.

بالنسبة للسبب الثاني فقد أوضحنا عدة طرق في الوحدة الثانية و الثالثة . في الوحدة الثانية أوضحنا كيف أن حجم الحبيبات و إضافة ذرات من عناصر أخرى والتشكيل على البارد والتخمير يؤثر في الخواص الميكانيكية كذلك ظاهرة الانتشار و كيفية استخدامها في جعل خواص المعدن السطحية مختلفة عن داخله. في الوحدة الثالثة أسهنا في دراسة إضافة الذرات الغريبة أو عناصر أخرى لعنصر أساسي بما يعرف باسم السبيكة وأوضحنا أن تركيب السبائك يؤثر في نوع وتركيب الأطوار الذي يؤثر بدوره على الخواص الميكانيكية. في هذه الوحدة، سوف ندرس طرق أخرى يتم بها التحكم في الخواص الميكانيكية و هي المعالجات الحرارية. المعالجات الحرارية ببساطة هي عمليات تبريد و تسخين تتحكم في متغيرين و هما :

أ ) درجة الحرارة.

ب ) الزمن.

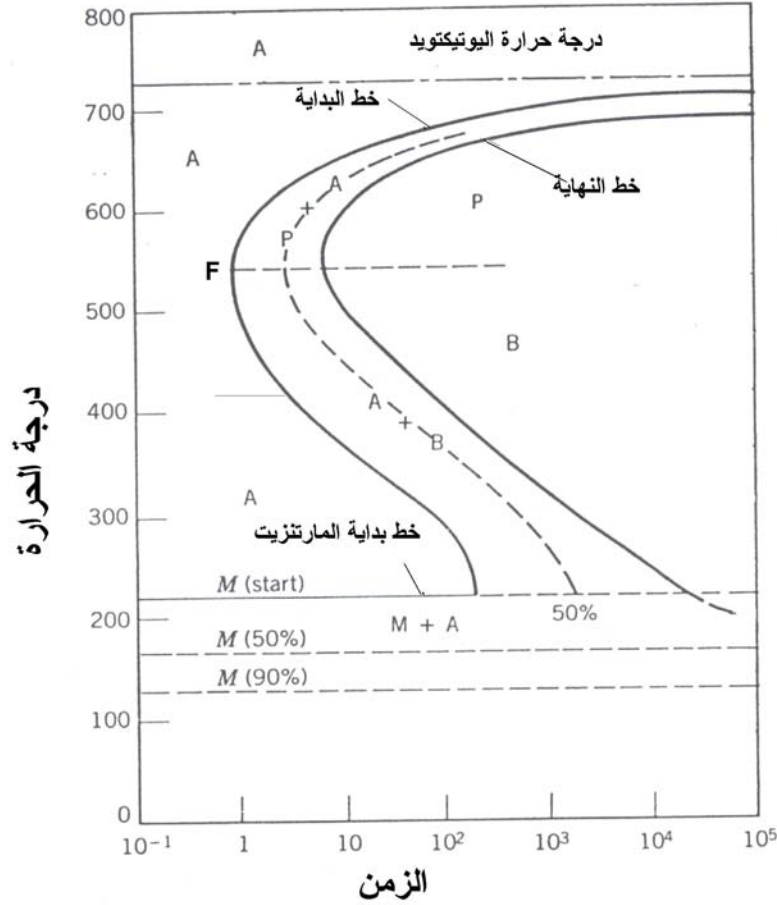
عن طريق هذين المتغيرين يمكن التحكم إلى حد كبير في الخواص الميكانيكية.

درسنا باختصار في الوحدة الثانية إحدى هذه الطرق وهي التخمير. في هذه الوحدة، سوف ندرس بشيء من التفصيل المعالجات الحرارية و سوف نستخدم الصلب هنا كمثال توضيحي.

### 1-4 تحول الأطوار

إذا نظرنا إلى مخطط الاتزان الحراري للحديد والكربون شكل (3-15) نجد أن الصلب الأليوتيكوتيدي (نسبة الكربون 0.77% ) يكون طوراً واحداً عند درجة حرارة أعلى من درجة حرارة الأليوتيكوتيد (727 درجة مئوية). هذا الطور يسمى أوستنيت أو  $\gamma$  . في درجة حرارة أقل من الأليوتيكوتيد يتحول هذا الطور إلى طورين و هما سيمنتيت و  $\alpha$  فريت فيما يعرف باسم البرليت. لكي يحدث هذا التحول لابد وأن يكون التبريد بطيئاً بدرجة كافية. إذا كان التبريد غير بطيء بدرجة كافية، فإن الأوستنيت لا يتحول إلى برليت بل يتحول إلى أشكال أخرى قد تكون مختلفة تماماً في خواصها عن البرليت. الذي يحدد ذلك هو مخطط التحول بالوقت و درجة الحرارة أو:

(Time-Temperature-Transformation diagram) ويطلق عليه في كثير من الأحيان مخطط ال TTT شكل (1-4) يوضح مخطط ال TTT للتركيب اليوتيكتويدي حيث إن لكل تركيب من الحديد والكربون مخططة الخاص.



شكل (1-4) مخطط ال TTT للتركيب اليوتيكتويدي للصلب

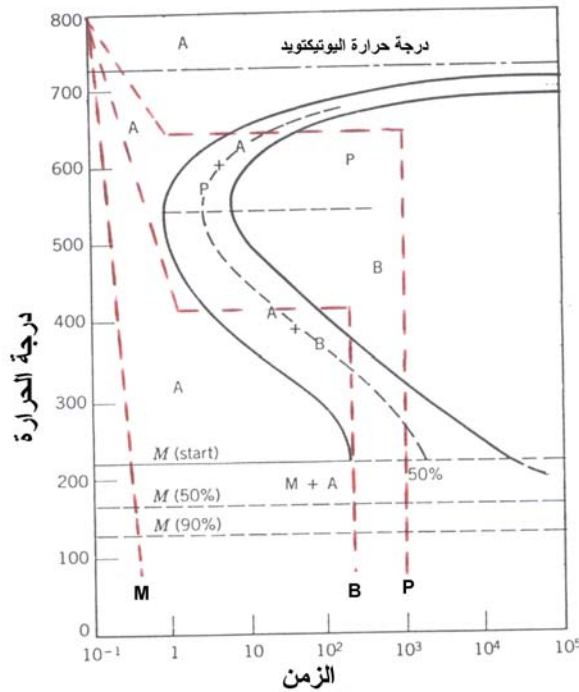
هذا المخطط يوضح تغير الأطوار مع الوقت و درجة الحرارة حيث إن الوقت على مقياس لوغاريتمي ودرجة الحرارة على مقياس خطي ويمكن ملاحظة التالي:

أ) عند درجة حرارة أعلى من اليوتيكتويد يوجد طور واحد و هو الأوستيت (يرمز له هنا بالرمز  $\gamma$ )

ب) تحت درجة حرارة اليوتيكتويد لا يكون الأوستيت مستقراً و يبدأ في التحول مع الزمن. ولذلك فإن هناك خط بداية تحول وخط نهاية تحول.

(ج) يكون التغير مع الوقت إلى برليت (يرمز له هنا بالرمز P) عند درجات الحرارة المرتفعة ويكون التغير إلى بنيت (Bainite) (يرمز له هنا بالرمز B) عند درجات حرارة منخفضة نسبياً. (د) النقطة F تسمى الأنف (nose) والخط الأفقي المار بها يفصل ما بين البرليت (P) والبنيت (B).

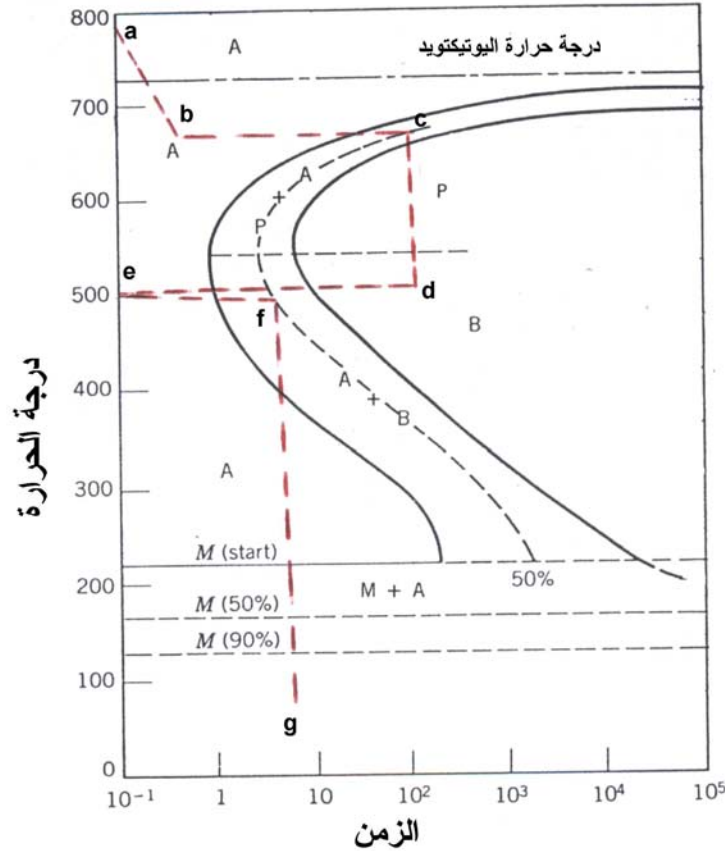
(هـ) إذا كان التبريد سريعاً بحيث أننا نصل إلى درجات حرارة منخفضة دون المرور ببداية التحول فإن هناك تحولاً آخر يتم لا يعتمد على الزمن بل يعتمد على درجة الحرارة فقط، هذا التحول يسمى المارتنزيت (Martensite) ويرمز له هنا بالرمز M.



شكل (2-4) مسارات التبريد المختلفة للحصول على البرليت والبنيت والمارتنزيت

شكل (2-4) يوضح مسارات التبريد المختلفة للحصول على البرليت (P) والبنيت (B) والمارتنزيت (M). من الشكل نستخلص الآتي:

- أ) لكي يكون التحول كاملاً لا بد أن يمر خط التبريد بخط نهاية التحول.  
 ب) الذي يتحول هو الأوستنيت فقط بمعنى أنه إذا تحول الأوستنيت مثلاً إلى البرليت فإن البرليت لا يتحول إلى بنيت أو مارتنزيت.



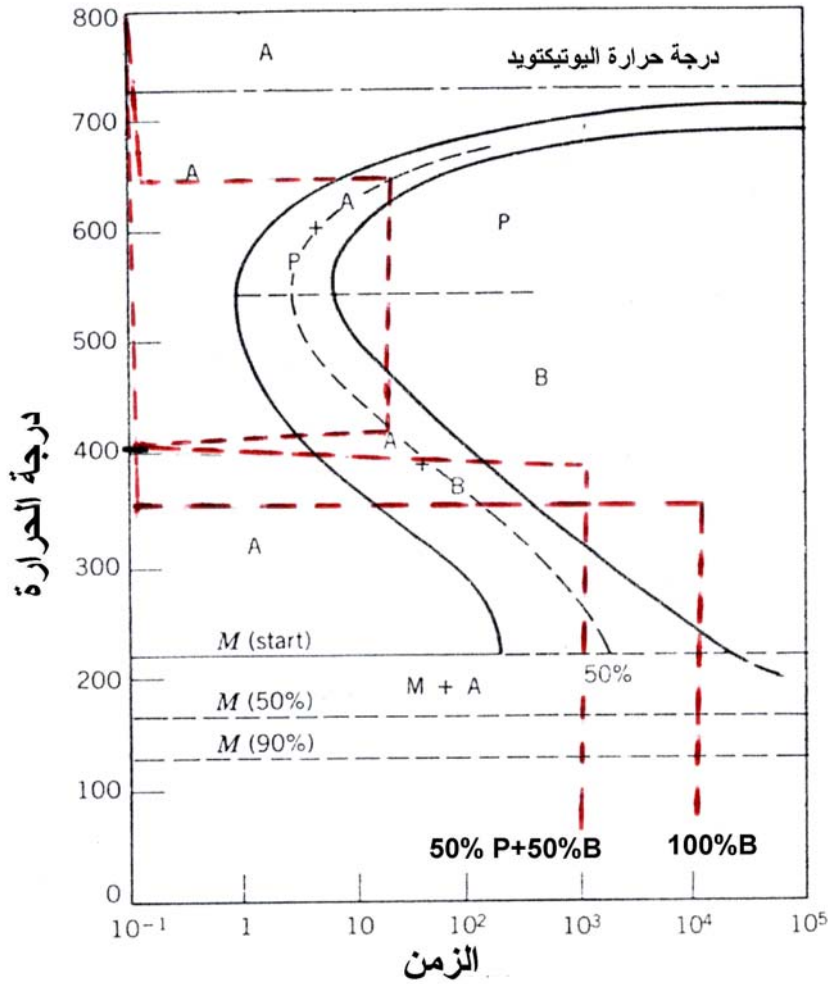
شكل (3-4) خط تبريد للحصول على خليط من الأطوار

السؤال الآن هو هل يمكننا الحصول على خليط من أي من الثلاثة؟ بمعنى خليط من المارتنزيت والبيرلايت مثلاً أو خليط من البانيت و المارتنزيت أو خليط من البانيت و المارتنزيت و البيرليت؟ الإجابة هي نعم. شكل (3-4) يوضح ذلك في هذا الشكل هناك خط التبريد abcdefg فإذا فرضنا أنه لدينا 1 كجم من الأوستنيت فإننا نجد التالي:

- أ) عند النقطة b ما يزال هناك 1 كجم من الأوستنيت ولكنه غير مستقر.
- ب) عند النقطة c تحول 0.5 كجم إلى البيرليت وهناك 0.5 كجم من الأوستنيت غير المستقر.
- ج) حدث تبريد مفاجئ لنقطة d. يبدأ الأوستنيت المتبقي في التحول و شروط التحول هنا كالآتي:
  - يعتبر الأوستنيت المتبقي كأنه برد فجائياً من درجة حرارة فوق اليوتيكويد إلى النقطة e.
  - يبدأ في التحول من بداية الزمن عند النقطة e.

د) عند النقطة f يتحول نصف الأوستنيت المتبقي (0.5 كجم) إلى بنيت و يبقى 0.25 كجم من الأوستنيت غير مستقر.

هـ) عند النقطة g يتحول بقية الأوستنيت إلى مارتنزيت. في النهاية يكون لدينا 0.5 كجم برليت و 0.25 كجم بنيت و 0.25 كجم مارتنزيت.



شكل (4-4) خطوط التبريد للمثال العددي

**مثال عددي:**

إذا كان هناك صلب ذو تركيب يوتيكتويدي و مخطط TTT كما هو موضح بشكل (4-1) وإذا بدأ هذا الصلب في التبريد من درجة حرارة 800 درجة مئوية عندما كان في طور الأوستنيت. أوجد التركيب النهائي له إذا تعرض للتبريد كالاتي:

أ) تبريد فجائي إلى درجة 350 درجة مئوية والمكوث عند هذه الدرجة  $10^4$  ثانية ثم تبريد فجائي لدرجة حرارة الغرفة.

ب) تبريد فجائي لدرجة 650 درجة مئوية ثم المكوث عند هذه الدرجة مدة عشرين ثانية ثم التبريد الفجائي لدرجة 400 درجة مئوية والمكوث عند هذه الدرجة لمدة  $10^3$  ثانية ثم التبريد الفجائي لدرجة حرارة الغرفة.

الحل : شكل (4-4) يوضح خطوط التبريد أ ، ب و منها نجد أنه:

- في الحالة (أ) يتحول الأوستنيت إلى 100% بنيت.
  - في الحالة (ب) يتحول الأوستنيت إلى 50% بنيت و 50% برليت.
- سوف ندرس الآن باختصار خواص كل من البيرلايت و البانيت و المارتنزيت.

**2-4 البرليت**

كما أوضحنا في الوحدة السابقة أن البيرلايت يتكون من طبقات متعاقبة من طورين و هما الفريت والسيمنتيت. تكون هذه الطبقات سميكة إذا تحول الأوستنيت إلى البرليت عند درجة حرارة قريبة من اليوتيكتويد ويسمى برليت غليظ (coarse pearlite) و تكون هذه الطبقات رقيقة إذا تحول الأوستنيت إلى برليت عند درجات حرارة قريبة من 540 درجة مئوية، وهي نهاية طور البرليت، ويسمى في هذه الحالة برليت دقيق (fine pearlite). عموماً كلما أصبح البرليت دقيقاً:

- زادت صلادته و قوته.
- قلت الممتولية. (الممتولية هي مقياس لقابلية المادة للتشكيل).

**3-4 البنيت**

يتكون البنيت من طورين أيضاً وهما السيمنتيت والفريت وهو أدق في تركيبه من البرليت فالسيمنتيت ينتشر على شكل صفائح أو شكل إبري في الفريت. عموماً فإن البنيت أكثر قوة من البيرلايت و لكنه يتمتع أيضاً بقابليته للتشكيل (ممتولية).

#### 4-4 المارتنزيت

هو عبارة عن طور واحد ولا يحتاج لزمن للتحويل بل فقط درجة حرارة. وهو الأكثر صلادة وقوة وقصافة (أي أنه غير قابل للتشكيل) على الإطلاق.

نستطيع الآن أن نستنتج أنه بتسخين الصلب لكي يتحول إلى أوستنيت ثم باتباع عمليات تبريد (مسارات تبريد) مدروسة يمكن التحكم في الخواص الميكانيكية للصلب.

دعنا الآن نتفحص بعض المعالجات الحرارية الهامة في الصلب وهي التخمير والمعادلة والتصليد والمراجعة ولكن قبل ذلك يجب تعريف درجتى حرارة هامتين وهما درجة الحرارة السفلى ودرجة الحرارة الحرجة العليا .

درجة الحرارة الحرجة السفلى هي درجة حرارة اليوتيكتويد (727 درجة مئوية) وهي ثابتة ولا تتغير مع تغير نسبة الكربون .

درجة الحرارة الحرجة العليا هي التي فوقها مباشرة يتحول الصلب كله إلى أوستنيت ، وهي متغيرة مع تغير نسبة الكربون .

#### 5-4 التخمير

يتم التخمير عادة بتسخين المادة لدرجات حرارة مرتفعة نسبياً و هناك نوعان من التخمير في الصلب:

أ ( تخمير تحت الحرج.

ب ( تخمير تام .

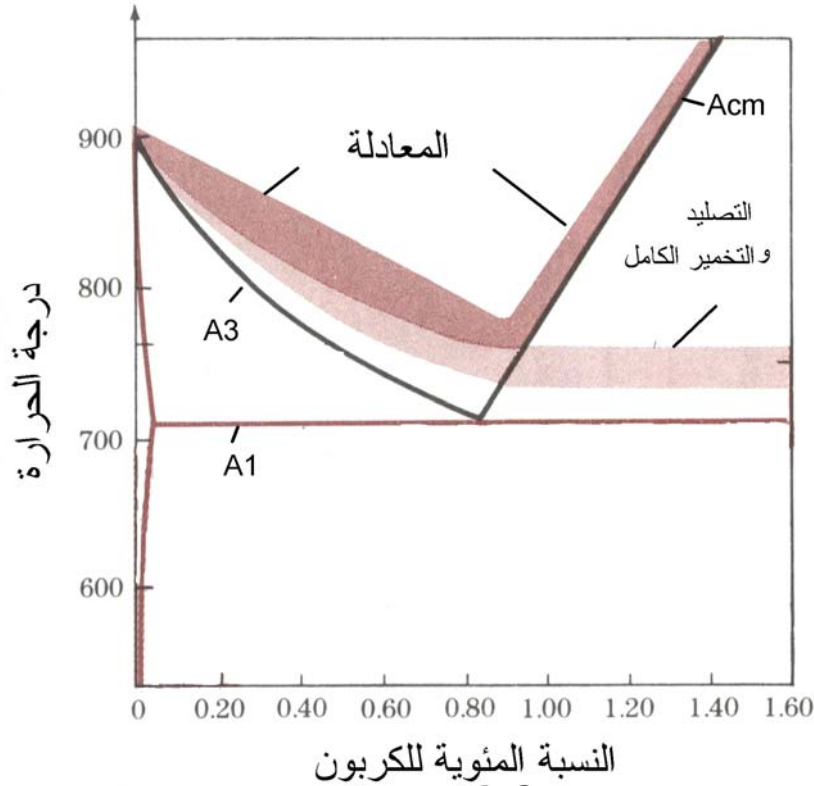
#### 1-5-4 التخمير تحت الحرج

فيه يتم تسخين الصلب تحت درجة الحرارة الحرجة السفلى وهي درجة حرارة اليوتيكتويد أو A1 كما هو موضح بشكل (5-4) والفرض الأساسي من هذا النوع من التخمير عادة هو إزالة الإجهادات الداخلية الناتجة عن عمليات التشكيل على البارد و عمليات تبريد سابقة أو عمليات تشغيل.

#### 2-5-4 التخمير التام

فيه يتم تسخين الصلب في الفرن لدرجة حرارة أعلى من درجة الحرارة الحرجة العليا A3 إذا كان تركيب الصلب تحت اليوتيكتويد (نسبة الكربون أقل من 0.77%) أو بين درجة الحرارة الحرجة السفلى والعليا Acm إذا كان تركيب الصلب فوق اليوتيكتويد كما في شكل (5-4) . بعد فترة من الوقت ، يتم التبريد ببطء في الفرن. العرض من هذه العملية هو إكساب الصلب لدونة.





شكل (5-4) درجات الحرارة للمعالجات الحرارية الهامة للصلب

#### 6-4 المعادلة

عندما يشكل الصلب على البارد بعمليات مثل عمليات الدرفلة مثلاً فإن الحبيبات تتعرض لاختلاف في أشكالها و أحجامها و تكون مستطيلة مشوهة. في هذه الحالة تجرى لها عملية معادلة والغرض منها تصغير حجم الحبيبات و إعادة انتظام أشكالها. تتم هذه العملية بتسخين الصلب لدرجة حرارة فوق الدرجة الحرجة العليا ثم يبرد الصلب في الهواء. شكل (5-4) يوضح درجات حرارة المعادلة في نسب الكربون المختلفة.

#### 7-4 التصليد

إذا كان تركيب الصلب تحت اليوتيكتويد ، يسخن الصلب ليتحول إلى أوستنيت ويتم بعد ذلك التبريد السريع لكي يتحول الأوستنيت إلى مارتنزيت. إذا كان تركيب الصلب فوق اليوتيكتويد ، يتم تسخينه فوق الدرجة الحرجة السفلى كما في (5-4). معدلات التبريد هنا حرجة بمعنى أنه كلما احتجنا لمعدلات تبريد سريعة ليتم التحول المطلوب ، كلما كان من الأصعب التحكم في عمليات التحول. زيادة

نسبة الكربون و بعض العناصر الأخرى تقلل من سرعة التبريد المطلوبة ليتم التحول وبالتالي فإنه يكون من الأسهل التحكم في العملية. الأوساط المستخدمة في عمليات التبريد السريع هذه عادة ما تكون الماء أو الزيت وفي بعض الأحيان تيار الهواء.

#### 8-4 المراجعة

- تتم هذه العملية عادة بعد عملية التصليد والغرض منها:
- التخلص من الإجهادات الداخلية الناتجة من عمليات التصليد.
  - إكساب الصلب المصلد ممتولية و متانة (مقاومة للكسر).
- تتم هذه العملية بتسخين الصلب تحت درجة الحرارة الحرجة السفلى A1 .

#### 9-4 السبائك اللاحديدية

في المعادن، تنقسم السبائك إلى سبائك حديدية و يكون عنصرها الأساسي هو الحديد و سبائك غير حديدية و يكون عناصرها الأساسية معادن غير الحديد. هناك عدة مزايا و عيوب للسبائك الحديدية من أهم مزاياها:

- تعدد الخواص الميكانيكية على مدى واسع يمكن الاختيار منه.
  - سهولة تصنيعها للأغراض المختلفة.
  - اقتصادية التكلفة في إنتاجها.
- ومن أهم عيوب السبائك الحديدية:
- ثقل وزنها (أو كثافتها العالية).
  - الانخفاض النسبي لتوصيلها للكهرباء (بالنسبة لبعض السبائك المعدنية الأخرى).
  - تعرضها للتآكل بسهولة.
- من أهم السبائك اللاحديدية سبائك النحاس و سبائك الألومنيوم.  
دعنا الآن نلقي بعض الضوء على هذه السبائك.

#### 1-9-4 سبائك النحاس

النحاس عموماً من المعادن ذات التوصيل الجيد جداً للكهرباء ذات مقاومة عالية للتآكل. من أشهر سبائكه النحاس الأصفر (Brass) و هي سبيكة من النحاس و الخارصين ولها استخدامات كثيرة مثل العملات المعدنية. البرونز (Bronze) هو أحد السبائك الشهيرة الأخرى و يحتوي البرونز، بالإضافة إلى

النحاس، على القصدير والألومنيوم و السيليكون والنيكل. البرونز أقوى من النحاس الأصفر ويحتفظ بخاصية مقاومة التآكل.

هناك سبائك حديثة من النحاس أشهرها سبائك النحاس والبريليوم و هي تتميز بقوة عالية جداً وتوصيل ممتاز للكهرباء وخواص ممتازة كذلك لمقاومة التآكل.

#### 1-1-9-4 التخمير لسبائك النحاس

أحد الطرق الرئيسية لإكساب سبائك النحاس الصلادة هي عملية التشكيل على البارد (مثل عملية الدرفلة). تزداد هنا قوة السبائك النحاسية ولكنه في نفس الوقت تزداد قساقتها. يمكن إرجاع بعض من ممتولية المادة عن طريق التخمير. تتم عمليات التخمير عادة عند درجة حرارة 760-980 درجة مئوية وبعد ذلك يبرد النحاس سريعاً في الماء. عند إجراء عمليات التخمير في النحاس يجب الحذر عند التسخين من ظاهرة القصفة الحرارية (hot-shortness) وهي عبارة عن درجات حرارة تزداد عندها قصفة النحاس بشكل كبير ويصبح عرضة للكسر .

#### 2-9-4 سبائك الألومنيوم

يتميز الألومنيوم وسبائكه بخفة الوزن (بالمقارنة بالصلب مثلاً) كذلك التوصيل العالي للكهرباء والحرارة وسهولة التشكيل. العيب الأساسي هو انخفاض درجة الانصهار (660 درجة مئوية). يمكن تحسين الخواص الميكانيكية بإضافة عناصر أخرى (السبائك) أو بعمليات التشكيل على البارد ولكنه في كلتا الحالتين يفقد الألومنيوم جزءاً من مقاومته للتآكل. العناصر الأساسية لسبائك الألومنيوم هي النحاس والمنجنيز والسيليكون و الماغنسيوم و الزنك (الخارصين) .

زاد الاهتمام بسبائك الألومنيوم حديثاً لاستخدامها كمواد هندسية. من أكثر التطبيقات إثارة للاهتمام هو الاستخدام في الموصلات وذلك نظراً لقلّة وزن هذه السبائك الأمر الذي يعطيها ميزة توفير الوقود.

#### 2-9-1-4 التخمير لسبائك الألومنيوم

يتشابه الألومنيوم مع النحاس في عدة جوانب فالتشكيل على البارد هو أحد الطرق الرئيسية لإكساب الألومنيوم الصلادة ولكن ذلك يكون على حساب ممتولية. يتم التخمير لاسترجاع بعض من الممتولية. لابد من مراعاة القصفة الحرارية هنا أيضاً أثناء عمليات التخمير. درجات حرارة التخمير للألومنيوم وسبائكه تتراوح ما بين 343-413 درجة مئوية.

### ملخص الوحدة الرابعة

في هذه الوحدة تم تعريف المعالجات الحرارية عموماً ثم قارنا بما يحدث في مخطط التوازن الحراري وما قد يحدث فعلياً. أخذنا مثلاً من الصلب ذي التركيب اليوتيكتويدي ودرسنا مخطط الTTT وتعرفنا على التحولات المختلفة من برليت إلى بنيت إلى مارتنزيت وأبرزنا كيفية التحكم في هذه التحولات بواسطة مسارات التبريد. أوضحنا بعد ذلك الخواص الميكانيكية المختلفة لهذه التحولات ثم استنتجنا كيفية التحكم في الخواص الميكانيكية عن طريق مسارات التبريد. انتقلنا بعد ذلك لأهم المعالجات الحرارية في الصلب وهي التخمير والمعادلة والتصليد والمراجعة. أخيراً انتقلنا إلى السبائك اللاحديدية وأبرزنا أولاً أهم المميزات والعيوب للسبائك الحديدية ثم ألقينا الضوء على أهم السبائك اللا حديدية وهي سبائك النحاس وسبائك الألومنيوم وعمليات التخمير في كل منها.

### اختبر معلوماتك

- 1) أحد أسباب استخدام المعادن بكثرة هو:
- أ) تعدد الطرق التي يمكن التحكم في خواص المعادن الميكانيكية.  
ب) لها بريق ولمعان.  
ج) إلكترونات التكافؤ بها أقل من أربعة.  
د) ب وج.
- 2) من العوامل التي تؤثر على الخواص الميكانيكية للمعادن:
- أ) حجم الحبيبات.  
ب) ثقل وزنها.  
ج) التشكيل على البارد.  
د) أ و ج.
- 3) في مخطط الاتزان الحراري للحديد والكربون، يتحول الأوستنيت بالتبريد إلى:
- أ) بنيت.  
ب) مارتنزيت.  
ج) برليت.  
د) لا شيء مما ذكر.
- 4) في مخطط ال TTT أي من العبارات الآتية صحيح:
- أ) هو مخطط اتزان حراري لتركيب واحد.  
ب) هو مخطط التحول بالوقت و درجة الحرارة و يوجد مخطط لكل تركيب.  
ج) هو مخطط التركيب اليوتيكويدي المتوازن.  
د) لا شيء مما ذكر.

## (5) المارتزيت هو:

- أ ( طوران من السيمنتيت والفريت.  
 ب ( طور واحد قصف جداً و صلد جداً.  
 ج ( هو عبارة عن أوستنيت غير مستقر.  
 د ( لا شيء مما ذكر.

## (6) إذا مر خط التبريد ببداية التحول ونهاية التحول عند البرليت ثم كان التبريد فجائياً لدرجة حرارة الغرفة فإنه يكون:

- أ ( برليت.  
 ب ( برليت + بنيت + مارتزيت.  
 ج ( برليت + أوستنيت.  
 د ( برليت + بنيت.

## (7) المعادلة هي:

- أ ( عملية تخمير لإزالة الإجهادات.  
 ب ( تسخين الصلب ليصبح أوستنيت ثم تبريده في الهواء.  
 ج ( التخمر الكامل.  
 د ( التخمير بعد التصليد.

## (8) الدرجة الحرجة العليا هي:

- أ ( اليوتيكويد.  
 ب ( درجة حرارة انصهار الصلب السفلى.  
 ج ( درجة حرارة تحول الصلب إلى أوستنيت.  
 د ( لا شيء مما ذكر.

9) من عيوب السبائك الحديدية:

- أ) ثقل الوزن.
- ب) التعرض للتآكل بسهولة.
- ج) قلة القوة.
- د) أ و ب.

10) البرونز هو نوع من:

- أ) سبائك الألومنيوم.
- ب) سبائك النحاس والألمنيوم و القصدير و السليكون و النيكل.
- ج) سبائك النحاس والحديد.
- د) سبائك النحاس والخارصين.

11) النحاس الأصفر هو:

- أ) نحاس نقي.
- ب) سبائك نحاس و الخارصين.
- ج) سبائك النحاس و الألمنيوم.
- د) سبائك النحاس والسليكون.

12) من مميزات سبائك الألومنيوم:

- أ) قلة درجة الانصهار.
- ب) خفة الوزن.
- ج) البريق واللمعان.
- د) لا شيء مما ذكر.



علم مواد

التآكل

التآكل

٥



**الأهداف**

بعد دراسة هذه الوحدة يصبح المتدرب قادراً على :

- تعريف التآكل .
- معرفة مشاكل التآكل .
- معرفة صور التآكل .
- فهم الجهد القطبي والخلايا الجلفانية .
- فهم القوة الدافعة المعيارية .
- معرفة كيفية ترتيب المعادن من حيث نشاطها التآكلي .
- حساب معدل التآكل.
- الإلمام بوسائل تجنب التآكل .

**الوقت المتوقع للتدريب**

4 ساعات

**المتطلبات السابقة**

مبادئ الكيمياء والفيزياء

## مقدمة

يمكن تعريف التآكل بأنه تدهور أو إتلاف المادة نتيجة لتفاعلها مع الجو المحيط. المواد المعدنية قد تتفاعل مع الأوكسجين أو الأحماض والمواد السيراميكية قد تتفاعل مع الأملاح المنصهرة عند درجات الحرارة العالية والمواد البوليمرية قد تتفاعل مع المذيبات. أهم أنواع التآكل هو التآكل الذي يصيب المعادن والسبائك المعدنية ويسمى التآكل الكهروكيميائي وهو الذي سوف نتناوله بالدراسة هنا. تستخدم المعادن في الحضارة الحديثة لتصنيع العديد من الأشياء التي تتباين تبايناً شديداً من حيث أحجامها وأشكالها وفي جميع الحالات فإن الخواص التآكلية للمعادن لها أهمية قصوى، جنباً إلى جنب مع خواصها الميكانيكية كالمتانة والصلادة، في تحديد مجال استخداماتها الهندسية. أيّاً كان مجال خدمة المنشأ المعدني سواء في الجو أو في باطن الأرض أو حتى تحت مياه البحار فإن المنشأ يستطيع القيام بعمله بأمان طالما أنه لا يتفاعل مع الجو المحيط به .

هناك العديد من مشاكل التآكل الكهروكيميائي والتي تؤثر بشكل مباشر وغير مباشر على توقف خطوط الإنتاج في العمليات الصناعية، من أهم هذه المشاكل :

(ا) ضرورة استبدال الوحدات والمعدات المتآكلة بأخرى سليمة وما يصاحب ذلك من فقد العديد من ساعات الإنتاج إضافة إلى تكاليف الاستبدال .

(ب) ضرورة تطبيق الصيانة الدورية كالطلاء بالبيويات وهذه تكاليف مستمرة .

(ج) تداخل نواتج عملية التآكل مع المنتج الرئيسي مما يؤدي إلى نقص في قيمة المنتج النهائي .

(د) فقد المنتجات القيمة نتيجة لتسربها خلال ثقب الخزانات المتآكل .

(هـ) تعرض الوحدات المجاورة للدمار نتيجة انهيار الوحدات المتآكلة .

(و) الاحتياج إلى مزيد من الطاقة لضخ الموائع داخل الأنابيب نتيجة زيادة مقاومة الاحتكاك بفعل الزيادة في درجة خشونة سطح الانابيب الداخلي بفعل التآكل.

أجريت دراسة في منتصف الثمانينيات أكدت أن 5% من دخل الدول الصناعية الكبرى ينفق على التآكل سواء في محاولة تقليله أو الصيانة أو استبدال المنتجات التي تعرضت للتآكل لدرجة أدت إلى عدم المقدرة على استعمالها.

هناك عدة صور للتآكل وتقسم كالتالي:

أ - حسب طبيعة وسط التآكل : على هذا الأساس يمكن تقسيم التآكل إلى مبتل وجاف وحسب التسمية فإنه في التآكل المبتل يكون من الضروري تواجد سوائل أو رطوبة لكي يحدث هذا

النوع بينما لا يستوجب التآكل الجاف ذلك. عادة ما يحدث التآكل الجاف عند درجات حرارة مرتفعة بين فلزات وغازات كما يحدث في المداخن .

ب - حسب ميكانيكية التآكل :أي حسب المسلك الذي تسلكه عملية التآكل وبهذا الخصوص ينقسم إلى تآكل كيميائي وآخر كهروكيميائي .

ج - حسب المظهر للفلز المتآكل : في هذه الحالة يتم تقسيم التآكل إلى تآكل متجانس يحدث عند السطح الفلزي ككل ، وتآكل موضعي أو مركز وفي هذه الحالة يتركز في مساحات محددة . بعد أن عرفنا التآكل ومشاكله وصوره سوف نتناول بالدراسة أشهر الأنواع وأكثرها شيوعاً ، وهو التآكل الكهروكيميائي للمعادن أو الفلزات .

لكي نتفهم هذا التآكل لابد من معرفة بعض الأساسيات التي ذكرنا بعضها في الوحدة الأولى مثل الذرة والجزيء وإلكترونات التكافؤ والمعادن والأيون وسوف نذكر البقية من هذه الأساسيات الآن .

### 1-5 الاختزال والأكسدة

كما ذكرنا من قبل فإن الذرة تسمى الأيون الموجب عندما تفقد إلكترونات وتسمى الأيون السالب عندما تكتسب إلكترونات. تسمى عملية اكتساب الإلكترونات بالاختزال وعملية فقد الإلكترونات بالأكسدة .

### 2-5 المول

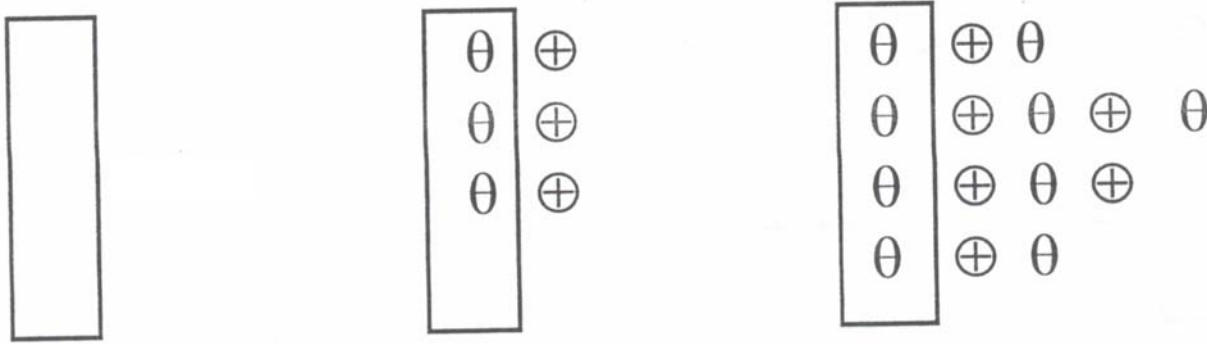
هي كمية المادة التي يوجد بها كمية من الذرات أو الجزيئات مقدارها  $6.023 \times 10^{23}$  ذرة أو جزيء ويكون ذلك حسب طبيعة تواجد المادة فبعض المواد توجد على هيئة ذرات وبعض المواد توجد على هيئة جزيئات ويسمى هذا العدد بعدد أفوجادرو .

يعرف المول (ويسمى بالجرام الجزيئي أو الذري حسب طبيعة تواجد المادة ) بأنه الوزن الجزيئي أو الذري مقدرا بالجرامات . الماء مثلاً أو  $H_2O$  يحتوي على وزن جزيئي مقداره 18 (وهو عدد البروتونات و النيوترونات الكلي في الجزيء ) وبالتالي فإن الجرام الجزيئي للماء هو 18 جرام ومعنى ذلك أنه إذا كان لدينا 18 جرام من الماء فإنها تحتوي على  $6.023 \times 10^{23}$  جزيء من الماء .

### 3-5 المحلول الإلكتروليتي

يعرف المحلول الإلكتروليتي بأنه المحلول الذي يوصل الكهرباء عن طريق حركة الأيونات، فمثلاً الماء المقطر لا يوصل الكهرباء بسهولة ولكن إذا أضفنا له ملح مثل كلوريد الصوديوم (الذي يتحول إلى أيونات موجبة وسالبة عند إذابته في الماء ) فإن توصيل الكهرباء يزداد بدرجة كبيرة .

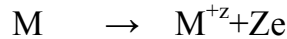
## 4-5 الجهد القطبي



شكل (1-5) الطبقتان الكهربيتان

إذا غمرت ساق فلزية في محلول إلكتروليتي نجد أن بعض ذرات الفلز المتواجدة على سطحه، وفي حالة تلامس مع المحلول، تميل للذوبان في المحلول الإلكتروني. هي بطبيعة الحال لا تستطيع الذوبان وهي على صورة ذرات فلزية متعادلة، لذلك فهي تتحول إلى أيونات موجبة التكهرب تاركة الإلكترونات على سطح الفلز. نتيجة لذلك ينشأ فرق جهد عبر السطح الفاصل بين الفلز والمحلول. يمكن إرجاع ميل الذرات الفلزية للذوبان في المحلول الإلكتروني على صورة أيونات إلى ارتفاع محتوى الطاقة في الذرة الفلزية عن الأيون الفلزي وسعيها للوصول إلى مرحلة الاستقرار أي المرحلة التي تملك فيها أدنى مستوى من الطاقة ممكن فمن المعروف أن كافة التغيرات التلقائية تسري في الاتجاه الذي يؤدي إلى تناقص المحتوى الطاقى للذرات.

يمكن تمثيل عملية ذوبان الذرات الفلزية عند السطح الفاصل بين الفلز والالكتروليت بالآتي:



$M$  = الذرة المتعادلة كهربياً قبل الذوبان

$M^{+z}$  = الأيون الفلزي بعد الذوبان بحمل عدد مقداره ( $Z$ ) من الشحنات الكهربائية الموجبة.

$Z$  = تكافؤ الفلز أو عدد الإلكترونات التي يجب أن تفقدها الذرة الفلزية كي تتحول إلى أيون

موجب.

$e$  = الإلكترون.

تمثل المعادلة السابقة التفاعل الكهروكيميائي الحادث عند السطح الفاصل بين الفلز والإلكتروليت. الأيون الموجب يذهب إلى المحلول لأن الأخير له القدرة على إذابته أما الإلكترونات فإنها تبقى على الساق الفلزية. مع الوقت، يكتسب الفلز شحنة سالبة والإلكتروليت شحنة موجبة ويزيد فرق الجهد بينهما

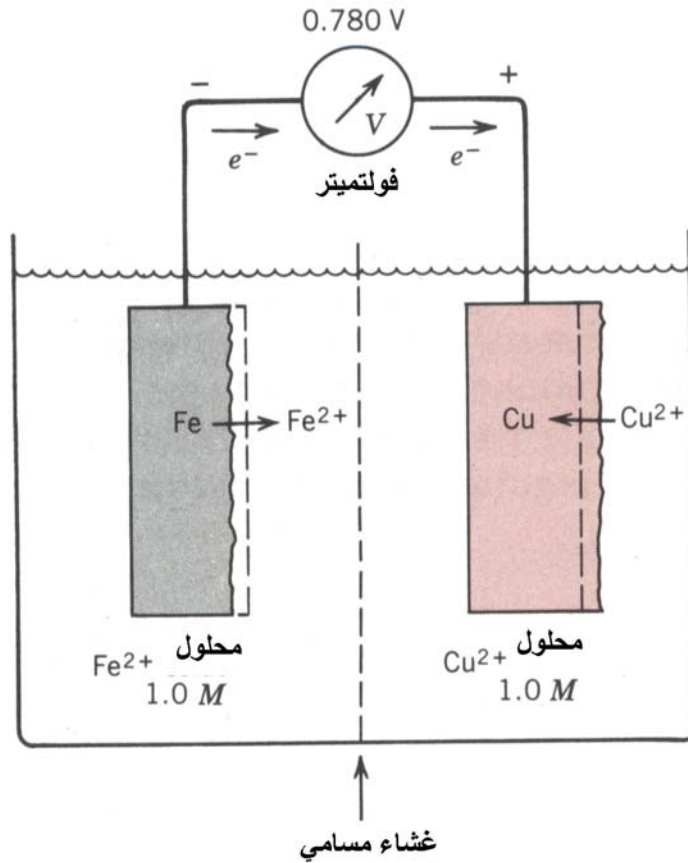
ويزداد التجاذب الإلكتروستاتيكي بين الأيونات الفلزية موجبة التكهرب والسطح الفلزي سالب التكهرب لذلك نجد أن الأيونات الفلزية تتراكم عند السطح لتشكل طبقة من الأيونات الموجبة، تتناظر مع الأيونات الموجبة في المحلول الإلكتروليتي فتدفعها بعيداً وتتجاذب مع الأيونات السالبة ويحدث ما يسمى اسم الطبقتين الكهربيتين كما هو موضح بشكل (5-1). بزيادة تركيز الأيونات الموجبة على السطح الفاصل تنتقل الأيونات الموجبة في المحلول بظاهرة الانتشار (التي ذكرناها من قبل في الوحدة الثانية والتي تنتقل بها المادة من التركيز الأعلى إلى التركيز الأدنى) وتزداد تبعاً لذلك الشحنة الكهربائية السالبة في الساق الفلزية.

تحول ذرات الفلز إلى أيونات موجبة وانفصالها يكون سهلاً في البداية وتزداد العملية صعوبة مع تراكم الشحنة السالبة على الفلز حتى تأتي اللحظة التي لا تستطيع ذرات الفلز ترك الفلز. يبقى بعد ذلك مقدار فرق الجهد بين الساق الفلزية والمحلول الإلكتروليتي ثابتاً ويسمى جهد التوازن أو الجهد القطبي وهو يعتمد على طبيعة الفلز والمحلول الإلكتروليتي.

نستطيع أن نستنتج هنا أنه كلما زاد الجهد القطبي كان ذلك دلالة على فقدان ذرات أكثر من الفلز أو بمعنى آخر زيادة التآكل.

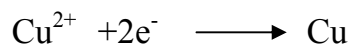
### 5-5 الخلايا الجلفانية

ليست كل المعادن لها نفس الاستعداد للتأكسد (أو فقد ذراتها للإلكترونات). لتوضيح ذلك نجد أنه في شكل (5-2) في الجهة اليسرى حديد نقي (Fe) مغمور في محلول تركيزه 1 مول / لتر ومعنى ذلك أن هناك محلولاً ملحياً مذاباً في الماء عبارة عن 1 جرام جزيئي من أحد أملاح الحديد مذاب في لتر من الماء. من المعروف أنه عند إذابة ملح في الماء فإنه يتحول إلى أيونات موجبة وأيونات سالبة. في الطرف الأيمن نحاس نقي (Cu) يحتوي على تركيز 1 مول / لتر من أحد أملاح النحاس المذابة في الماء. يفصل بين النحاس ومحلوله والحديد ومحلوله غشاء مسامي والغرض من هذا الغشاء هو الحد من اختلاط المحاليل وفي نفس الوقت تكملة الدائرة الكهربائية. إذا أوصلنا النحاس والحديد كهربياً فإن الإلكترونات سوف تنتقل من الحديد إلى النحاس وذلك لأن الحديد له ميل أكثر لفقد الإلكترونات (أو أنه ذو جهد قطبي



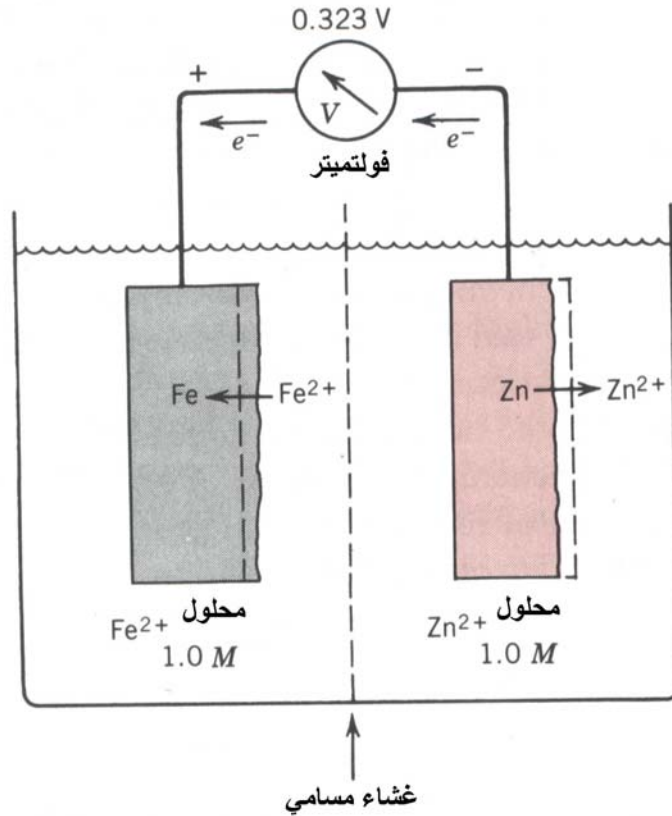
شكل (2-5) الخلية الجلفانية للحديد والنحاس

أعلى من النحاس) وبالتالي فإن الحديد يتآكل في الجهة اليسرى والنحاس يزداد (بترسيب أيونات النحاس بعد إتحادها بالإلكترونات على سطحه):ويمكن تمثيل ذلك بالمعادلات الآتية:



يسمى الشكل (2-5) بالخلية الكهروكيميائية أوالخلية الجلفانية حيث يتصل معدنان مختلفان وهما في محلول إلكتروليتي. يسمى الطرف المتآكل بالأنود(وهو في هذه الحالة الحديد Fe) ويسمى الطرف الآخر بالكاثود (وهو في هذه الحالة النحاس). بما أن هناك انتقالاً للإلكترونات فمعنى ذلك أن هناك فرقاً جهداً بين نصفي الخلية يمكن قياسه بجهاز الفولتميتر. شكل (2-5)

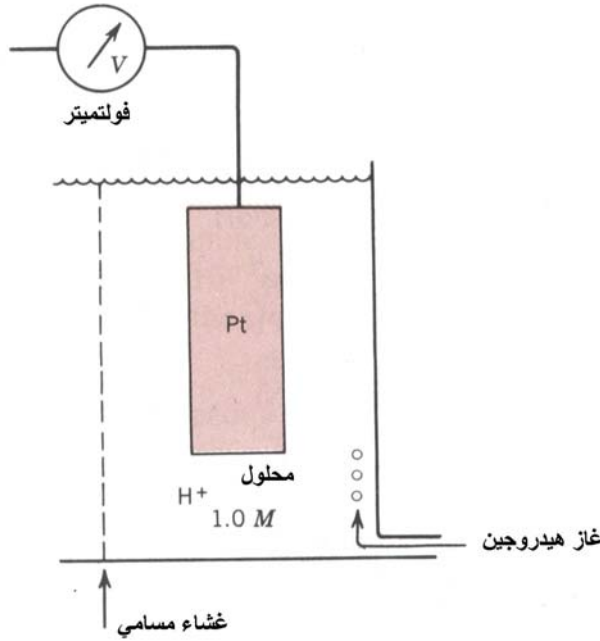
يوضح ثلاث نظريات فيما يحدث في الحديد (Fe) هو تآكل كهروكيميائي وما يحدث في النحاس (Cu) هو عملية طلاء كهربائي ومرور التيار الكهربائي نفسه هو عملية تحويل الطاقة الكيميائية إلى طاقة كهربائية وهي نظرية البطارية.



شكل (3-5) الخلية الجلفانية للحديد و الخارصين

شكل (3-5) يوضح خلية كهروكيميائية أخرى بين الخارصين (Zn) والحديد (Fe) وفيها نجد أن الخارصين يتآكل (أنود) والطرف الأخر أي الحديد هو الكاثود. ويكون فرق الجهد عكسياً كما هو موضح بالشكل. هكذا نجد أن فرق الجهد في الخلايا الجلفانية يختلف حسب أنواع المعادن ويسمى فرق الجهد هذا بالقوة الدافعة الكهربائية .

## 6-5 القوة الدافعة الكهربائية المعيارية



شكل (4-5) نصف الخلية المعيارية

تستخدم هذه القوة الدافعة للمقارنة بين المعادن المختلفة من حيث قابليتها للأكسدة (أوفقد ذراتها للإلكترونات) وتتم هذه العملية عن طريقة خلية جلفانية نصفها من قطب مصنوع من البلاتين وهو معدن خامل وبه محلول إلكتروليتي ذو تركيز 1 مول/لتر من أيونات الهيدروجين H<sup>+</sup> (حمض هيدروكلوريك مخفف مثلاً) مع مرور غاز الهيدروجين تحت ضغط جوي حيث ينتشر غاز الهيدروجين على سطح معدن البلاتين الذي يعمل كعامل حفزي لفقد الهيدروجين للإلكترونات كما هو موضح بشكل (4-5). الجزء الثاني من الخلية يكون من المعدن المراد قياس جهده بالنسبة للهيدروجين ويكون في محلول إلكتروليتي تركيزه 1 مول/لتر من الأيونات الموجبة له. يوضح جدول (1-5) فرق الجهد بين المعادن المختلفة والقطب الهيدروجيني (القوة الدافعة المعيارية) وتبدأ بالذهب Au والذي يكون أقل المعادن رغبة في فقد الإلكترونات والتآكل. تسمى المعادن في الجزء العلوي من الجدول (كالفضة Ag والذهب Au والبلاتين Pt) بالمعادن النبيلة. كلما ذهبنا أسفل الجدول كانت المعادن أكثر ميلاً للأكسدة (أي بمعنى آخر فقد الإلكترونات) كالمنجنيز Mg والصوديوم Na والبوتاسيوم K.



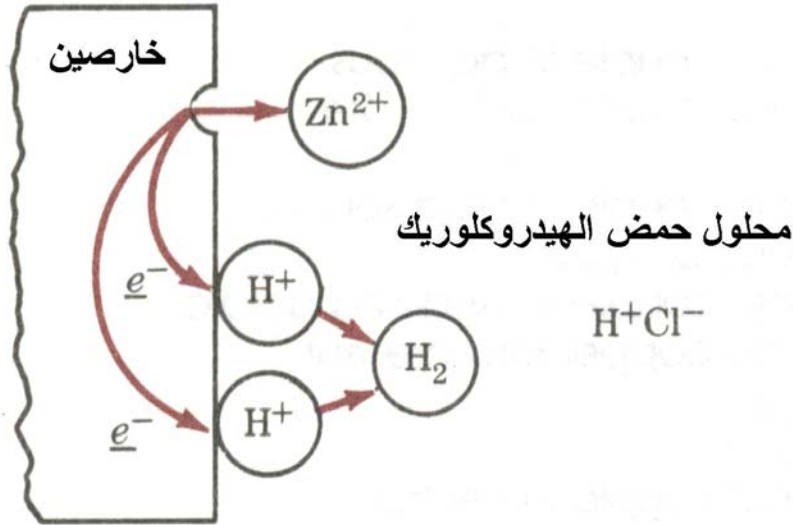
جدول (1-5)

	المعدن	الجهد المعياري
	$\text{Au}^{3+} + 3\text{e}^- \longrightarrow \text{Au}$	+ 1.420
	$\text{Pt}^{2+} + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{Pt}$	~ + 1.2
	$\text{Ag}^+ + \text{e}^- \longrightarrow \text{Ag}$	+ 0.800
↑ أكثر خمولا (كاثود)	$\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{Cu}$	+ 0.340
	$\text{Pb}^{2+} + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{Pb}$	- 0.126
	$\text{Sn}^{2+} + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{Sn}$	- 0.136
	$\text{Ni}^{2+} + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{Ni}$	- 0.250
	$\text{Co}^{2+} + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{Co}$	- 0.277
	$\text{Cd}^{2+} + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{Cd}$	- 0.403
↓ أكثر فاعلية (أنود)	$\text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{Fe}$	- 0.440
	$\text{Cr}^{3+} + 3\text{e}^- \longrightarrow \text{Cr}$	- 0.744
	$\text{Zn}^{2+} + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{Zn}$	- 0.763
	$\text{Al}^{3+} + 3\text{e}^- \longrightarrow \text{Al}$	- 1.662
	$\text{Mg}^{2+} + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{Mg}$	- 2.363
	$\text{Na}^+ + \text{e}^- \longrightarrow \text{Na}$	- 2.714
	$\text{K}^+ + \text{e}^- \longrightarrow \text{K}$	- 2.924

نلاحظ من شكل (2-5) و (3-5) وجدول (1-5) أنه إذا تلامس معدنان كهربياً (عن طريق تلامس مباشر أو عن طريق أسلاك موصلة) أن المعدن الأكثر خمولا (الكاثود) لا يحدث به تآكل ويكون ذلك على حساب تآكل أكثر للمعدن الأكثر نشاطا (الأنود) وبالتالي فإنه عند تصميم منشأة معدنية مثلا يجب مراعاة اختيار المعادن وطرق تلامسها هذا بالإضافة إلى طرق حمايتها من التآكل والتي سوف نذكرها لاحقا.

هناك عدد من الملاحظات الهامة الأخرى في عملية التآكل الكهروكيميائي للمعادن يمكن سردها كالآتي:

- أ) قد يحدث التآكل عن طريق معدنين مختلفين في سائلين إلكتروليين مختلفين أو في سائل إلكتروليتي واحد وليس به أيونات المعدن.
- ب) قد تتم عملية التآكل لتركيبات مختلفة من نفس المعدن تحت نفس الإلكتروليت .
- ج) قد يتم التآكل لنفس المعدن تحت نفس الإلكتروليت مثل الخارصين في حمض كما هو موضح بشكل (5-5).



شكل (5-5) تآكل موضعي للمعدن في وجود الإلكتروليت

### 7-5 حساب معدل التآكل

يعتبر معدل التآكل من المعلومات الهامة التي يجب معرفتها. هناك عدة طرق لحساب معدل التآكل . إحدى الطرق الشائعة هي حساب معدل اختراق التآكل وتسمى (Corrosion Penetration Rate) CPR حيث:

$$CPR = \frac{KW}{\rho At}$$

$w$  = الوزن المفقود من المادة المتآكلة.

$t =$  الزمن المقاس فيه الوزن المفقود.

$\rho =$  كثافة المادة.

$A =$  المساحة السطحية من المادة المعرضة للتآكل.

$K =$  مقدار ثابت يعتمد على الوحدات المستخدمة.

إذا حسبنا  $W$  بالمليجرام والكثافة بالجرام لكل سنتيمتر مكعب والمساحة بالسنتيمتر المربع والزمن

بالساعات، تكون  $K=87.6$  لتعطي معدل اختراق التآكل بالمليمتري لكل سنة.

مثال: مكعب من الحديد طول ضلعه  $1$  سم وضع على إحدى قواعده في محلول إلكتروليتي لمدة

$200$  ساعة. إذا كانت كثافة الحديد هي  $7.87$  جرام لكل سنتيمتر مكعب وإذا كان الفاقد من الوزن

في هذه الفترة هو  $0.2$  جرام. احسب معدل اختراق التآكل.

الحل: باستخدام المعادلة :

$$CPR = \frac{KW}{\rho At}$$

$$87.6 = K$$

$$200 = W \text{ مليجرام}$$

$$7.87 = \rho \text{ جرام لكل سنتيمتر مكعب}$$

$$200 = t \text{ ساعة}$$

أما عن المساحة المعرضة للتآكل ، فالمكعب له ستة أوجه إحدها القاعدة التي وضع عليها وبالتالي

فالمساحة المعرضة تكون على خمسة أوجه. الوجه على هيئة مربع طول ضلعه  $1$  سم وعلى ذلك :

$$A = 1 \times 5 = 5 \text{ سنتيمتر مربع}$$

$$\begin{aligned} CPR &= \frac{87.6 \times 200}{7.87 \times 5 \times 200} \\ &= 2.22 \end{aligned}$$

وبالتالي فإن معدل اختراق التآكل هو  $2.22$  مليمتري لكل سنة.

## 8-5 طرق تجنب التآكل للمعادن

هناك عدة وسائل تستخدم لتجنب التآكل من أكثرها شيوعاً الطلاء والحماية الكاثودية.

### 1-8-5 الطلاء

الغرض من هذه الوسيلة هو عزل المعدن عن الوسط الخارجي بطبقة لا تسمح لأيونات المعدن بالذوبان فيها. هناك ثلاثة أنواع من الطلاء وهي الطلاء المعدني والطلاء اللاعضوي اللامعدني والطلاء العضوي .

#### 1-1-8-5 الطلاء المعدني

هو عادة ما يكون طلاء كهربيًا وقد أوضحنا فكرة الطلاء الكهربي في الخلية الجلفانية. عموماً فإن المعدن، المراد طلاؤه بمعدن آخر، يوضع في محلول إلكتروليتي يحتوي على أحد أملاح معدن الطلاء ثم يمرر تيار كهربائي إلى المعدن الأصلي ( إلكترونيات) حيث تتحد الإلكترونات مع أيونات معدن الطلاء لتكون طبقة سطحية. قد يكون معدن الطلاء من مادة أكثر نشاطاً فيتآكل بدلاً من المعدن الأصلي مثال لذلك طلاء الحديد (Fe) بالخارصين أو يكون الطلاء نفسه له خاصية الطلاء الذاتي فنحن نلاحظ مثلاً أن الألومنيوم (Al) أنشط من الحديد (Fe) (أنظر جدول 1-5) ولكنه لا يتآكل بسهولة والسبب في ذلك هو وجود طبقة أكسيد الألومنيوم على السطح التي تحمي بقية المعدن.

#### 2-1-8-5 الطلاء اللامعدني اللاعضوي

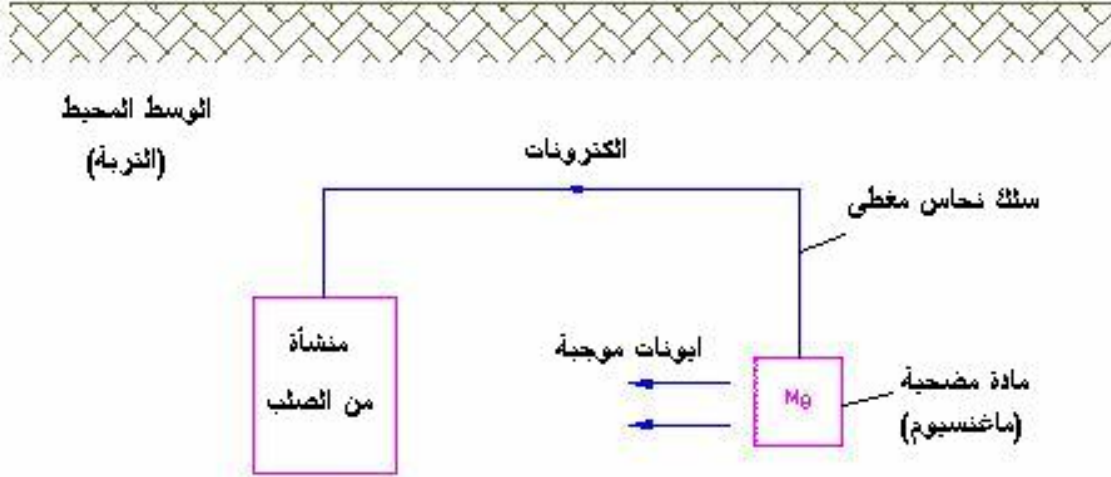
يكون عادة من مادة خزفية حيث إن المواد الخزفية تقاوم التآكل جيداً. مثال لذلك طلاء الصلب بالبورسلين.

#### 3-1-8-5 الطلاء العضوي

يكون عادة بمواد بوليمرية وهي تعطي طبقة رقيقة وممتينة وهي أكثر الطرق شيوعاً.

#### 2-8-5 الحماية الكاثودية

الغرض من هذه الوسيلة هو تزويد المعدن بالإلكترونات لدرجة لا تسمح لذرات المعدن للتحويل إلى أيونات موجبة والذوبان في الوسط المحيط . يكون مصدر الإلكترونات إما مصدراً كهربياً أو معدناً أكثر نشاطاً متصلاً كهربياً مع المعدن المراد حمايته. يسمى المعدن الأكثر نشاطاً عادة بالمادة المضحية. شكل (5-6) يوضح حماية كاثودية بمادة مضحية. حيث تتصل منشأة معدنية من الصلب مدفونة تحت التربة بمادة أكثر نشاطاً وهي الماغنسيوم. يضح الماغنسيوم إلكترونات للمنشأة ويفقد أيونات موجبة للوسط المحيط. يتآكل الماغنسيوم وتبقى المنشأة سليمة.



شكل (5-6) الحماية الكاثودية عن طريق المادة المضحية

### ملخص الوحدة الخامسة

تعرفنا في هذه الوحدة على التآكل عموماً ومشاكله وأهم أنواع التآكل وهو التآكل الكهروكيميائي للمعادن. تم دراسة التآكل الكهروكيميائي عن طريق دراسة الجهد القطبي والخلية الجلفانية وأوضحنا كيف أن هذه الخلية تمثل نظرية الطلاء الكهربي والبطارية الكهربائية والتآكل الكهروكيميائي. تناولنا بعد ذلك الخلية الجلفانية المعيارية وكيفية ترتيب المعادن من حيث نشاطها وأوضحنا أن المعادن النبيلة مثل الذهب والبلاتين هي أكثر المعادن خمولاً من ناحية التآكل. تناولنا بعد ذلك حساب معدل التآكل ثم أخيراً طرق تجنب التآكل وأوضحنا الطريقتين الرئيسيتين وهما الطلاء والحماية الكاثودية.

**اختبر معلوماتك****1) التآكل هو:**

- أ) انهيار المادة نتيجة لتعرضها لعوامل داخلية وخارجية.  
ب) تدهور أو إتلاف المادة نتيجة لتفاعلها مع الجو المحيط.  
ج) هو صدأ يصيب الفلزات.  
د) لا شيء مما ذكر.

**2) من مشاكل التآكل:**

- أ) فقد المنتجات القيمة نتيجة تسربها خلال ثقب الخزانات المتآكلة .  
ب) فقد ساعات الإنتاج نتيجة لاستبدال الوحدات المتآكلة.  
ج) زيادة أوزان بعض الفلزات مما يجعلها تنهار.  
د) أ و ب .

**3) الوسط الذي يحدث فيه التآكل:**

- أ) لا بد أن يكون جافاً.  
ب) لا بد أن يكون مبتلاً.  
ج) قد يكون جافاً وقد يكون مبتلاً .  
د) إذا كان جافاً فلا بد وأن يكون عن درجات حرارة منخفضة .

**4) الاختزال هو:**

- أ) عملية فقد الذرة لإلكترونات .  
ب) عملية اكتساب الذرة لإلكترونات .  
ج) اختصار الإلكترونات لمسارها .  
د) لا شيء مما ذكر.

**(5) المول هو:**

- (أ) الوزن الذري أو الجزيئي مقدراً بالجرامات .  
 (ب) كمية المادة التي يوجد بها كمية من الذرات أو الجزيئات مقدارها  $6.023 \times 10^{23}$  ذرة أو جزيء .  
 (ج) أ و ب .  
 (د) هو التكافؤ الذري.

**(6) المحلول الإلكتروليتي هو:**

- (أ) المحلول يوصل الكهرباء عن طريق حركة الأيونات.  
 (ب) محلول يوجد به إلكترونات كثيرة .  
 (ج) محلول مقطر للتآكل.  
 (د) لاشيء مما ذكر .

**(7) كلما زاد الجهد القطبي:**

- (أ) قلت الأيونات في المحلول .  
 (ب) فقدت ذرات أكثر من الفلز .  
 (ج) زادت الإلكترونات في الفلز .  
 (د) ب و ج .

**(8) المعادن الخاملة هي:**

- (أ) معادن معرضه للتآكل أكثر .  
 (ب) عدد الإلكترونات في مدارها الأخير أكثر من أربعة .  
 (ج) معادن أقل عرضة للتآكل .  
 (د) لا شيء مما ذكر .



9) الألومنيوم لا يتآكل بسهولة لأنه:

- أ) معدن خامل.
- ب) معدن نشط.
- ج) معدن نشط ولكن عليه طبقة طبيعية تحميه من أكسيد الألومنيوم.
- د) لديه أربعة إلكترونات في المدار الأخير.

10) المادة المضحية هي:

- أ) مادة خاملة لا تتفاعل مع الوسط المحيط.
- ب) معدن نقي.
- ج) معدن نشط يتصل كهربياً بمعدن أقل نشاطاً فيحميه من التآكل.
- د) لاشيء مما ذكر.

11) الحماية ضد التآكل بالطلاء هي:

- أ) وسيلة لعزل المعدن عن الوسط المحيط.
- ب) وسيلة لتزويد المعدن بالإلكترونات.
- ج) تغليف المعدن بمادة أقوى مقاومة للتآكل.
- د) أ و ج.

## الخلاصة

يعرف علم المواد بأنه العلم الذي يهتم بدراسة العلاقة بين بنية المادة وخواصها. تتدرج مقاييس بنية المادة من الذرة إلى العيوب في بنية المادة إلى الأطوار والحببيات .

بنية الذرة هامة جداً في تحديد خواص المادة خصوصاً التوزيع الإلكتروني وبالتحديد إلكترونات المدار الأخير والتي تعرف باسم إلكترونات التكافؤ. هذه الإلكترونات تحدد نوعية الترابط بين الذرة أو الذرات المكونة للمادة وبالتالي الكثير من الخواص فالمواد أساساً تصنف على أساس طريقة الترابط وقد أوضحنا ذلك في الوحدة الأولى.

عيوب البنية للمادة تتمثل في عيوب على مستوى مقياس الذرة وهي العيوب النقطية وعيوب على مقياس أكبر من ذلك وهي العيوب الخطية والسطحية. يمكن استخدام هذه العيوب في التحكم في خواص المواد ، خصوصاً الخواص الميكانيكية ، عن طريق الآتي :

- 1) استغلال ظاهرة الانتشار ، الناجمة عن العيوب النقطية ، للتحكم في تدرج الخواص للمادة.
- 2) التحكم في الخواص الميكانيكية عن طريق التحكم في العيوب الخطية (الانخلاعات) من ناحية سهولة حركتها وكثافتها.
- 3) التحكم في الخواص عن طريق التحكم في العيوب السطحية ويأتي ذلك عن طريق التحكم في حجم الحبيبات. أوضحنا ذلك في الوحدة الثانية من هذه الحقيبة.

الخليط من ذرات عناصر مختلفة وبكميات متفاوتة ، بما يعرف باسم السبائك ، ينشأ عنه أطوار مختلفة تؤثر على خواص المادة تأثيراً كبيراً وبالتالي فإنه يمكن التحكم في خواص المادة عن طريق التحكم في عناصر الخلط والنسبة الكمية لهذه العناصر. وقد أوضحنا ذلك في الوحدة الثالثة.

عمليات التبريد والتسخين هي أحد العوامل الهامة التي تؤثر في عيوب بنية المادة وأطوار السبائك وبالتالي على خواص المادة. تعتمد هذه العمليات على درجة حرارة التسخين ومعدلات التبريد وتسمى المعالجات الحرارية وقد أوضحنا هذه العمليات في الوحدة الرابعة.

تتعرض المواد لتفاعلات مع الأجواء المحيطة بها مما يعرضها لأضرار. من أخطر هذه الأضرار التآكل الكهروكيميائي الذي يحدث للمعادن. تعتمد خطورة هذا التآكل على نشاط المعدن الذي يعتمد على توزيع الإلكترونات في الذرة ونوع الوسط المحيط وبعض العوامل الأخرى. فهم آلية هذا التآكل وأضراره وطرق الوقاية منه هو من الموضوعات الهامة في علم المواد وقد أوضحنا ذلك في الوحدة الخامسة.



المملكة العربية السعودية  
المؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني  
الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج

## علم المواد

### التدريب العملي

التدريب العملي

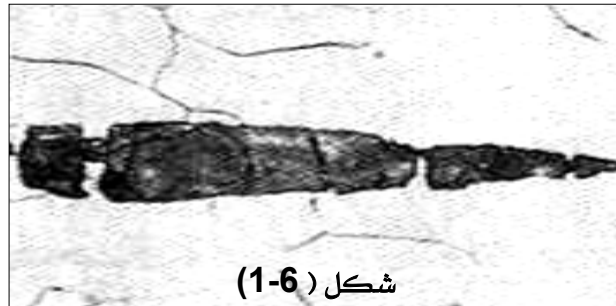
**الهدف من التجربة :**

تحضير عينة بغرض فحصها مجهرياً والتمكن من رؤية أشكال الحبيبات وحدود هذه الحبيبات المكونة للمعدن .

**لماذا تفحص المعادن مجهرياً ؟**

لا يمكن تخيل تطور المواد المعدنية وضبط جودة إنتاجها وتصنيعها دون الفحص المجهرى حيث نحصل من خلاله على مجموعة من المعلومات الهامة من أهمها :

١ - التعرف على عيوب الإنتاج .



شكل ( 1-6 )

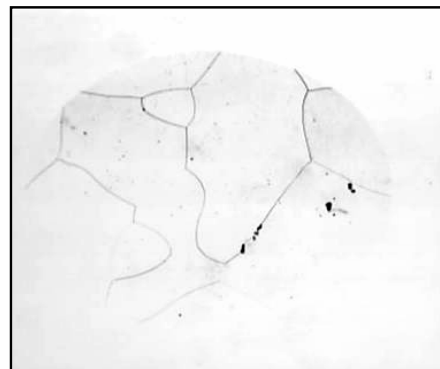
صورة لعينة من الحديد النقي تحتوي على شوائب

٢ - التعرف على ما إذا كان المعدن نقياً أو سبيكة .



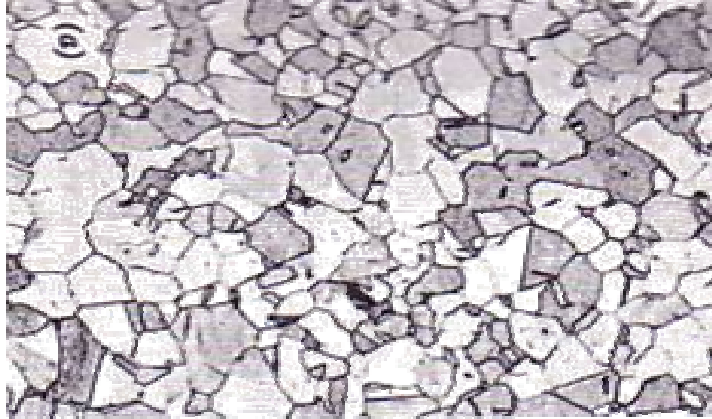
شكل (3-6)

صورة لعينة من الصلب الكربوني

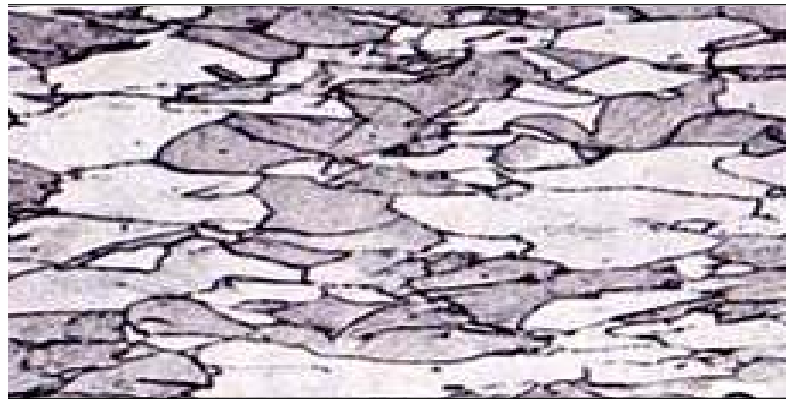


شكل (6-2) مجهرية توضح التركيب الدقيق للحديد النقي

- ٣ - التعرف على الأطوار المختلفة المكونة لبنية المعدن . باختلاف نسب العناصر في السبائك تتكون أطوار مختلفة ومن خلال الفحص المجهرى يمكن دراسة هذه الأطوار و تحديدها.
- ٤ - التعرف على المعالجات الحرارية أو الميكانيكية التي تم إجرائها على المعدن .



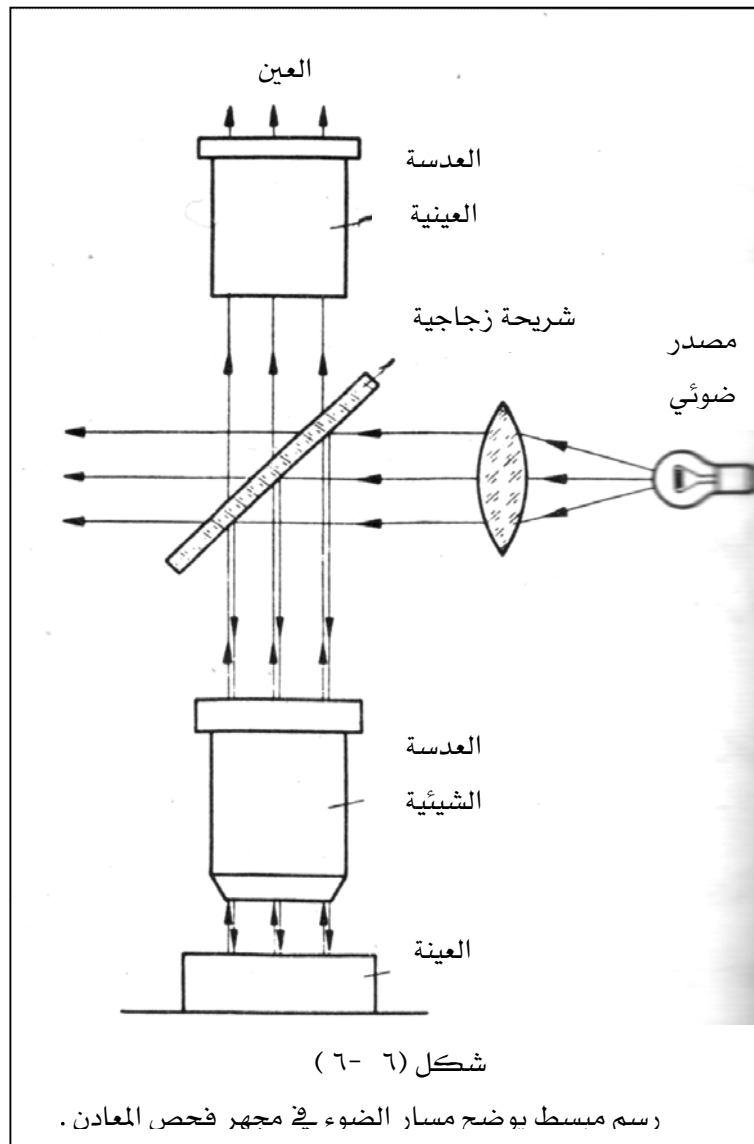
شكل (6-4) عينة من النحاس الأحمر ويلاحظ شكل الحبيبات منتظم



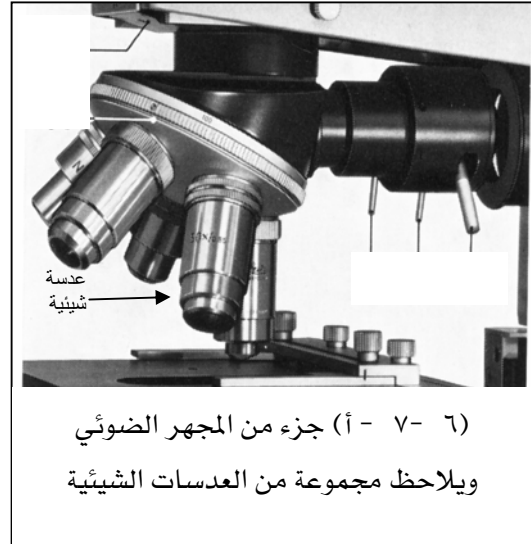
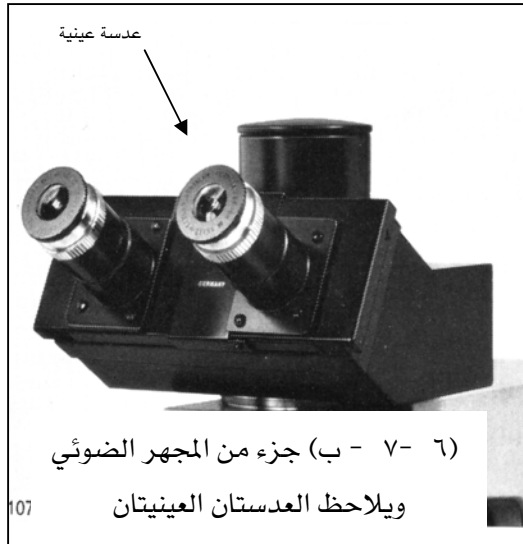
شكل (6-5) عينة من نفس المعدن بعد إجراء تشكيل على البارد (درفلة على البارد) ويلاحظ الحبيبات المستطيلة

## مجهر فحص المعادن :

قبل الدخول في تفاصيل التجربة من الضروري التعرف على كيفية عمل المجاهر المستخدمة في فحص المعادن . العينات المعدنية عموماً غير شفافة ولذلك فالمجاهر المستخدمة في مجال فحص المعادن تستخدم الضوء الساقط على العينة وتكون مصممة بحيث يسقط الضوء رأسياً على العينة أولاً ثم يلاحظ التركيب الداخلي ( البنية الدقيقة ) للمعدن عن طريق الضوء المنعكس من العينة وشكل ( ٦ - ٦ ) يوضح بتبسيط شديد أهم أجزاء مجهر فحص المعادن وكيفية عمله .



- أ - يمر الضوء المنبعث من مصدر ضوئي خلال عدسة و يوجه على شريحة زجاجية تميل على الضوء الساقط بزاوية  $45^\circ$  .
- ب - ينفذ جزء من الضوء خلال الشريحة الزجاجية بينما يوجه الباقي رأسياً إلى أسفل ويسقط من خلال العدسة الشيئية على سطح العينة اللامع .
- ت - يعكس سطح العينة اللامع الضوء خلال العدسة الشيئية وشريحة الزجاج إلى العدسة العينية التي ترى منها العينة . باستخدام عدد يمكن تغييره من العدسات الشيئية والعينية يمكن أن يصل التكبير في مجهر فحص المعادن الضوئي ما بين 10 - 2000 مرة . الشكلان (6- 7- i) و (6- 7- b) التاليان يوضحان العدسات العينية والشيئية .



### ملاحظة هامة :

ينبغي التعرف على التكبير عند القيام بعمليات الفحص المجهرية لأهميته في الاستفادة من نتائج الفحص المجهرية ، وكما ذكرنا أنه باستخدام عدد يمكن تغييره من العدسات الشيئية والعينية يمكن أن نحصل على قيم مختلفة للتكبير حيث يكون التكبير النهائي في معظم المجاهر الضوئية حاصل ضرب تكبير العدسة العينية في تكبير العدسة الشيئية و الجدول التالي مرفق مع الكتيب الفني لمجهر ضوئي خاص بفحص المعادن ماركة LEITZ METALLUX 2 يوضح كمثال نسب التكبير الممكن الحصول عليها من خلال استخدام مجموعة من العدسات العينية والشيئية : -

تكبير العدسة الشيئية	تكبير العدسة العينية					
	6.3	8	10	12.5	16	25
	التكبير النهائي					
5	32	40	50	63	80	125
10	63	80	100	125	160	250
20	125	160	200	250	320	500
50	320	400	500	630	800	1250
100	630	800	1000	1250	1600	2500

### الأدوات والأجهزة المستخدمة

- ١ - ماكينة لقطع العينات تحتوي على مضخة لسائل التبريد أو ( منشار يدوي للمعادن الطرية ) .
- ٢ - العينة المراد فحصها ( عينة من الصلب أسطوانية أو مكعبة سهلة المسك ) .
- ٣ - مبرد ناعم .
- ٤ - جهاز صنفرة يدوي .
- ٥ - جهاز صقل كهربائي ذو قرص دائري .
- ٦ - محلول إظهار .
- ٧ - زجاجة ساعة .
- ٨ - ماء مقطر .
- ٩ - جهاز تجفيف .
- ١٠ - مجهر ضوئي خاص بفحص المعادن .

### خطوات العمل

#### ١ - اختيار العينة

يجب اختيار العينة المراد فحصها من مكان مناسب يحقق الهدف من الفحص فمثلاً عندما يراد فحص جزء مكسور من ماكينة يجب أن تؤخذ العينة من مكان الكسر . بالنسبة للأجزاء المدرفلة يجب أن تؤخذ عينتان أحدهما تمثل التركيب الدقيق باتجاه الدرفلة والأخرى تمثل التركيب الدقيق باتجاه عمودي على اتجاه الدرفلة .

#### ٢ - قطع العينة

- تقطع العينة على شكل مكعب أبعاده ١٠×١٠×١٠ مم أو أسطوانة قطرها يتراوح بين (١٠ - ١٥) مم وأيضا ارتفاعها (١٠ - ١٥) مم .



- تقطع المعادن المنخفضة الصلادة بمنشار يدوي .

- تقطع المعادن ذات الصلادة العالية آلياً مع وجود استخدام سائل تبريد وذلك لتجنب الحرارة التي تؤثر على التركيب الدقيق للمعدن وعلى خواصه الميكانيكية .

### ٣ - عملية الصنفرة

تتفد هذه الخطوة على أربعة مراحل حسب درجة نعومة حبيبات الصنفرة المصنوعة من كربيد السيلكون ، وترتيب المراحل كالتالي :

أ - نضغط على العينة بخفة على ورق الصنفرة ذي درجة نعومة (١٨٠) وتحرك باتجاه واحد وتستمر هذه المرحلة حتى نتخلص من آثار عملية القطع .

ب - تغسل العينة جيداً وتدار بمقدار (٩٠°) على الاتجاه السابق ثم نبدأ بتحريكها على النوع الثاني من ورق الصنفرة ذي درجة نعومة (٢٤٠) حتى تزول آثار الخطوة السابقة تماماً .

ج - تكرر المرحلة السابقة على ورق الصنفرة ذي درجة نعومة (٤٠٠) .

د - ننتقل للمرحلة الأخيرة والتي تكون فيها درجة نعومة ورق الصنفرة (٦٠٠) .

**ملاحظة :** يجب أن يتدفق تيار من الماء على ورق الصنفرة في جميع المراحل .

### ٤ - الصقل

تتفد عملية الصقل على ثلاث مراحل :

أ - يشغل جهاز الصقل وتوضع العينة على القرص الدوار مع ملاحظة وجود وسيط أكسيد الألمنيوم معلق بماء مقطر ذي مقاس ١ ميكرون .

ب - تغسل العينة جيداً وتكرر المرحلة السابقة ولكن مع وسيط الصقل ذي مقاس ٠,٣ ميكرون.

ج - تكرر المرحلة السابقة ولكن مع وسيط الصقل ذي مقاس ٠,٠٥ ميكرون حتى يصبح السطح لامعاً كالمرآة.

## ٥ - عملية التنظيف والتجفيف

تغسل العينة جيداً بالماء ثم بالماء المقطر أو الكحول ثم تجفف مباشرة بالمجفف الخاص ومن الممكن أن تمسح بقطعة نظيفة وجافة من القطن .

## ٦ - عملية الإظهار

- يتم اختيار محلول الإظهار المناسب حسب نوع العينة حيث إنه لكل معدن محلول إظهار مناسب والجدول التالي يبين أهم محاليل الإظهار المستخدمة في عمليات الفحص المجهرية للمعادن :

المعادن المناسبة	التركيب الكيميائي للمحلول	محلول الإظهار
عينات الصلب وحديد الزهر	٢٪ حمض النيتريك + ٩٨٪ كحول	النيتال
النحاس وسبائكها	٥ جرام كلوريد الحديد وزنا ٢ مل حمض اليدروكلوريك ٩٥ مل كحول	كلوريد الحديد الكحولي
الألمنيوم وسبائكها	١٥٪ حمض هيدروفلوريك ١٠٪ حمض هيدروكلوريك ٢٥٪ حمض النيتريك مركز ٥٠٪ ماء	أحماض مخلوطة

- توضع كمية من محلول الإظهار في زجاجة ساعة .

- تمسك العينة ويغمس السطح المعد للفحص في محلول الإظهار على أن تكون العينة غير ملامسة لقاع زجاجة الساعة .

- تراعى المدة اللازمة للإظهار فمثلا المدة المناسبة لإظهار عينة من الصلب المنخفض الكربون في محلول النيتال ٢٠ ثانية - ٣٠ ثانية .

## ٧ - عملية الغسيل والتجفيف

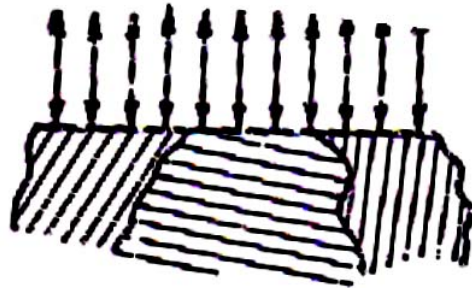
بعد انتهاء المدة الزمنية المناسبة للإظهار تغسل العينة مباشرة بالماء المقطر وتجفف بالمجفف .

## ٨ - الفحص المجهرية

توضع العينة تحت المجهر ويتم اختيار التكبير المناسب ومن ثم يتم ضبط البعد البؤري للحصول على أوضح صورة .

## أهمية الإظهار

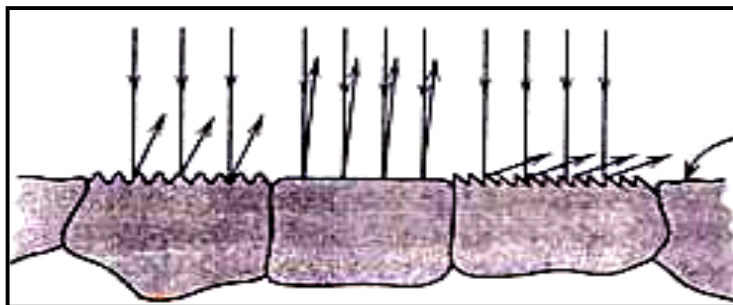
يبدو السطح المعدني بعد صقله مباشرة تحت المجهر مضيئاً كالمرآة وذلك لأن الأشعة الضوئية الساقطة عليه رأسياً تنعكس مارة بنفس مسارها إلى العين فيبدو السطح مضيئاً إضاءة متجانسة كما هو موضح بشكل (٦ - ٨) التالي :



انعكاس الأشعة الساقطة على السطح المصقول قبل الإظهار

شكل (٦ - ٨)

بعد تعريض السطح لمحلول الإظهار لمدة زمنية محددة يبدأ محلول الإظهار بمهاجمة السطح فتتآكل حدود الحبيبات بصورة أسرع من الحبيبات فتتميز الحبيبات عن بعضها البعض فيمكن بعد الإظهار رؤية الحبيبات وحدود الحبيبات نتيجة لاختلاف زوايا انعكاس الأشعة الضوئية كما هو موضح بشكل (٦ - ٩) .



شكل (٦-٩) تتحرف انعكاسات الأشعة الساقطة من المجهر بعد الإظهار بسبب وقوعها على حدود الحبيبات أو لوجود معدلات تآكل مختلفة على السطح بسبب اختلاف التركيب (وجد طورين أو أكثر)

## النتائج

ملاحظات	صورة أو رسم للتركيب الدقيق للعيينة	التكبير	نوع العينة

## التجربة الثانية

### إسناد عينات الفحص المجهرية

#### الهدف من التجربة

إسناد العينات غير المنتظمة الشكل أو الصغيرة الحجم والتي يصعب مسكها باليد .

#### طرق إسناد العينات

هناك طريقتان شائعتان لإسناد العينات وهما:

- ١ - الإسناد على البارد .
- ٢ - الإسناد بالضغط والحرارة ثم التبريد .

#### أولا الإسناد على البارد

#### المواد والأدوات المستخدمة :

- ١ - مسحوق بلاستيكي خاص .
- ٢ - المادة المصلدة .
- ٣ - قالب بلاستيكي .
- ٤ - العينة المراد فحصها .
- ٥ - كأس مع أعواد خشبية للخلط .
- ٦ - قفازات .
- ٧ - كمادات .

#### خطوات العمل

- ١ - تدهن جدران وقاع القالب بطبقة بسيطة جدا من الشحم .
- ٢ - توضع العينة على السطح المراد فحصه في مركز قاع القالب .
- ٣ - يخلط مسحوق البلاستيك مع المادة المصلدة داخل كأس الخلط بنسبة (١:٢) ويقلب الخليط جيدا لفترة زمنية تتراوح بين (٣٠ - ٦٠) ثانية ثم يصب الخليط داخل القالب ويترك الخليط في درجة حرارة الغرفة لفترة زمنية تتراوح بين (٦٠ - ٩٠) دقيقة ثم يتم إخراج العينة .

## ملاحظات

- ١ - قد تتغير نسب الخلط والفترات الزمنية حسب المواد المستخدمة وطرق تصنيعها .
- ٢ - يجب على الطلبة ارتداء القفازات و استعمال الكمامات وذلك لتجنب الغازات الضارة الناتجة من التفاعل أو ملامسة الخليط للجلد .

## ثانياً الإسناد بالضغط والحرارة ثم التبريد

## الأدوات والأجهزة المستخدمة

- ١ - مكبس هيدروليكي .
- ٢ - مسحوق بلاستيك .
- ٣ - مسخن كهربائي .
- ٤ - وحدة تبريد ( عن طريق الماء أو عن طريق الهواء) .
- ٥ - العينة المراد فحصها .
- ٦ - ترمومتر لقياس درجة الحرارة .

## خطوات العمل

- ١ - يتم وزن الكمية المناسبة من المسحوق البلاستيكي وتحدد الكمية حسب قطر أسطوانة المكبس.
- ٢ - توضع العينة داخل الأسطوانة فوق المكبس بحيث يلامس سطح العينة المراد فحصه سطح المكبس مع ملاحظة أن تكون العينة في المركز .
- ٣ - يتم وضع الكمية المناسبة من المسحوق البلاستيكي داخل الأسطوانة ( حول العينة ) ومن ثم يتم قفل الأسطوانة من أعلى جيداً .
- ٤ - يرفع الضغط داخل الأسطوانة بواسطة العتلة اليدوية مع مراقبة المؤشر ويتم التوقف عند الوصول للقيمة الموصى بها وتحدد قيمة الضغط حسب قطر أسطوانة المكبس و نوع مادة المسحوق البلاستيكي ( راجع الجدول الخاص بالمكبس ) .
- ٥ - توضع وحدة التسخين حول الأسطوانة ويتم مراقبة ارتفاع درجة الحرارة بواسطة الترمومتر وتحدد درجة الحرارة المناسبة حسب نوع مادة المسحوق البلاستيكي ( راجع الجدول الخاص بالمكبس ) عند وصول درجة الحرارة المناسبة يتم الانتظار لفترة زمنية محددة حسب قطر أسطوانة المكبس و نوع مادة المسحوق البلاستيكي ( راجع الجدول الخاص بالمكبس ) يتم بعدها إزالة وحدة التسخين و وضع وحدة التبريد .

٦ - مدة التبريد ٣٠ دقيقة إذا كان التبريد بالهواء و٢٠ دقيقة إذا كان التبريد بالماء بعدها تزال وحدة التبريد ويتم فتح الصمام للتخلص من الضغط .

٧ - فتح غطاء الأسطوانة وإخراج العينة .

الجدول التالي مرفق مع المكبس الهيدروليكي ماركة LECI PR-10 MOUNTING PRESS

MOUNTING MATERIAL	TEMPERATURE °F ( ° C)	PRES SUR E PSI ( <sup>3</sup> ) KG / (CM	TIME ( MINUTES)						
			1.00 MOLD		1.25 MOLD		1.5 MOLD		
			PO WD ER	PRE FOR M	PO WD ER	PRE FOR M	PO WD ER	PRE FOR M	
THER MOSET TING	BAKE LITE	4200 ( 286 )	4	3	5	4	7	6	
	EPOX Y	285 – 300 (140 – 150 )	4		5		7		
	DIAL LYL PHTH ALAT E	1000 -2000 (68 - 135 )	7		9		12		
THER MOPLA STEIC	LUCI TE	HEAT 285 – 300 ( 140 – 150 )  COOL TO 100 ( 38 )	100 (6.8 )  4200 (286 )	30  30 ( AIR COOL ) 20 ( WATER COOL )					

مثال :

يراد إسناد عينة صغيرة من الصلب باستخدام مكبس هيدروليكي علما بأن مادة الإسناد مسحوق

**BAKELITE** وقطر أسطوانة المكبس المراد استخدامها 1.00 بوصة .

من الجدول تتضح البيانات التالية :

- قيمة الضغط الموصى بها 4200 PSI .
- درجة الحرارة المناسبة ° F 285-300 .
- مدة الانتظار 4 min .
- مدة التبريد 30 دقيقة إذا كان التبريد بالهواء و 20 دقيقة إذا كان التبريد بالماء .

#### ملاحظة هامة :

طريقة الإسناد بالضغط والحرارة ثم التبريد غير صالحة للمعادن التي تكون درجة حرارة إعادة التبلور فيها منخفضة وذلك لأن الحرارة المستخدمة لصهر البلاستيك تؤدي إلى تغيير التركيب الدقيق للعينة والذي يصحبه تغيير في الخواص الميكانيكية ودرجة حرارة إعادة التبلور تختلف من معدن لآخر وبصورة عامة فهي تساوي تقريبا (ما بين ثلث إلى نصف درجة الحرارة المطلقة لانصهار المعدن أو السبيكة ) كما أنها تتأثر بعدة عوامل منها كمية التشكيل على البارد التي تعرض لها المعدن ودرجة نقاوة المعدن . الجدول التالي يبين درجة حرارة الانصهار لبعض المعادن الشائعة الاستخدام :

درجة حرارة الانصهار		المعدن
° C	° F	
٣٢٧	٦٢٠	الرصاص Lead
٢٣٢	٤٥٠	القصدير Tin
٤٢٠	٧٨٨	الزنك Zinc
٦٦٠	١٢٢٠	الألمنيوم النقي Aluminum
١٠٨٥	١٩٨٥	النحاس الأحمر النقي Copper
٩٠٠	١٦٥٢	النحاس الأصفر Brass
١٤٥٥	٢٦٥١	النيكل Nickel
١٥٣٨	٢٨٠٠	الحديد Iron



### التجربة الثالثة

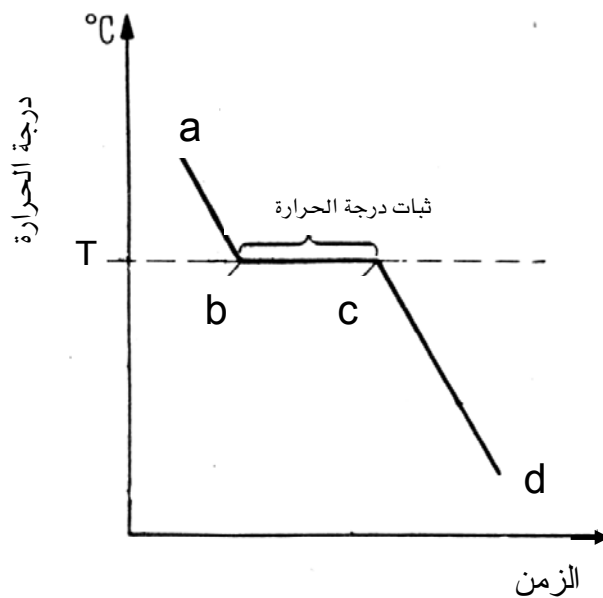
#### رسم منحنى التبريد لمعدن نقي

#### الهدف من التجربة

إنشاء منحنى التبريد لمعدن نقي عن طريق رسم العلاقة بين الزمن ودرجات الحرارة عند متابعة تحول المعدن من الحالة السائلة ( الانصهار ) إلى الحالة الصلبة ( التجمد ) مما يمكننا من دراسة التغيرات الحادثة أثناء عملية التصلب للمعادن النقية .

#### مقدمة نظرية

عندما نضع مقياس الحرارة داخل معدن نقي منصهر ثم نقوم بقراءة درجات الحرارة على فترات قصيرة منتظمة أثناء تبريده ببطء ، وتوقيع نقاط القراءة المزدوجة للزمن ودرجة الحرارة على رسم بياني ينتج الشكل التالي :



ش شكل (٦ - ١٠) يوضح منحنى تبريد لمعدن نقي .

من شكل (٦ - ١٠) يتضح ما يلي :

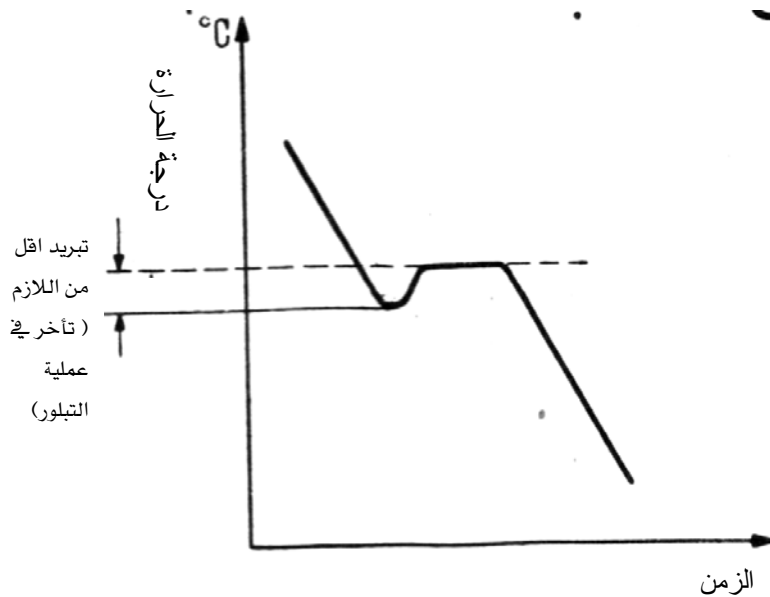
- ١ - من 'a' إلى 'b' تنخفض درجة حرارة الفلز مع تقدم الزمن .
- ٢ - من النقطة 'b' نقطة التجمد ( Freezing Point ) حتى النقطة 'c' نقطة الانصهار ( Melting Point ) تثبت درجة الحرارة مع تقدم الزمن وذلك لابتداء تكون البلورات الأولى حيث تفقد

ذراتها حرارة التجمد إلى ما حولها مما يجعل درجة الحرارة تبدأ بالثبات ، وتعادل درجة حرارة التجمد كمية الحرارة التي تفقدها البوتقة إلى ما حولها .

٣ - بعد إتمام عملية التجمد وتكون البلورات ، تبدأ درجة الحرارة من c إلى d بالانخفاض مع تقدم الزمن .

### ملاحظة

يحدث أحيانا عند دراسة بعض الفلزات النقية ، وخاصة عند اختبار كميات مصهورة صغيرة وسريعة التبريد أن لا ينتج الشكل المثالي السابق ، وذلك بسبب تأخر عملية التبلور فتتخفف درجة الحرارة إلى أقل من درجة حرارة التجمد ثم يحدث فجأة أن تبدأ عملية التبلور ، فترتفع درجة الحرارة إلى درجة حرارة التجمد ثانية وشكل ( ٦ - ١١ ) التالي يوضح المنحنى المتوقع عند حدوث هذه الحالة:



شكل ( ٦ - ١١ ) يوضح تأخر في عملية التبلور عند تجمد معدن نقي

### الأدوات والأجهزة المستخدمة

- ١ - قطعة مناسبة من الرصاص النقي أو كمية مناسبة من مسحوق الرصاص النقي Pure Lead .
- ٢ - قطعة مناسبة من القصدير النقي أو كمية مناسبة من مسحوق القصدير النقي Tin Pure .
- ٣ - فرن ذو بوتقة خاص بصهر المعادن .
- ٤ - ترمومتر بمزدوج حراري ذو مجس Thermocouple thermometer .
- ٥ - ساعة إيقاف Stopwatch .
- ٦ - حامل خاص لبوتقة الصهر.

### خطوات العمل

- ١ - توضع كمية مناسبة من الرصاص النقي في بوتقة الصهر .
- ٢ - توضع البوتقة داخل الفرن ويشغل الفرن و تضبط درجة الحرارة المطلوبة بحيث تكون أعلى من درجة حرارة انصهار الرصاص بحوالي 50 درجة مئوية (  $327+50=377$  درجة مئوية ) وذلك لضمان انصهار كامل الكمية.
- ٣ - عند وصول درجة حرارة البوتقة والمصهور إلى الدرجة المطلوبة يتم إطفاء الفرن ومن ثم يوضع مجس مقياس الحرارة داخل المعدن المصهور مع التأكد من انغماسه .
- ٤ - تترك العينة تبرد ببطء مع الاستعداد ومراقبة نزول درجات الحرارة .
- ٥ - عند وصول درجة الحرارة إلى 10 درجات مئوية أعلى من درجة حرارة التجمد تشغل ساعة الإيقاف ونبدأ القياس والتدوين ( توقيع قيم درجات الحرارة كل خمسة ثواني ) .
- ٦ - نستمر في عملية التسجيل في الجدول الخاص حتى وصول درجة الحرارة إلى أقل من درجة حرارة التجمد بحوالي 10 درجات مئوية .
- ٧ - ترسم العلاقة بين الزمن ودرجات الحرارة على ورق رسم بياني وبمقياس رسم مناسب .
- ٨ - تكرر الخطوات السابقة مع كمية مناسبة من القصدير النقي مع ملاحظة أن درجة حرارة انصهار ( أو تجمد القصدير ) = 232 درجة مئوية .

الحسابات والنتائج

الزمن ثانية	درجة الحرارة °م

الزمن ثانية	درجة الحرارة °م

الزمن ثانية	درجة الحرارة °م

الزمن ثانية	درجة الحرارة °م

الزمن ثانية	درجة الحرارة °م

الزمن ثانية	درجة الحرارة °م

الزمن ثانية	درجة الحرارة °م

الزمن ثانية	درجة الحرارة °م

## التجربة الرابعة

### رسم منحنيات التبريد لمجموعة من سبائك الرصاص والقصدير

#### الهدف من التجربة

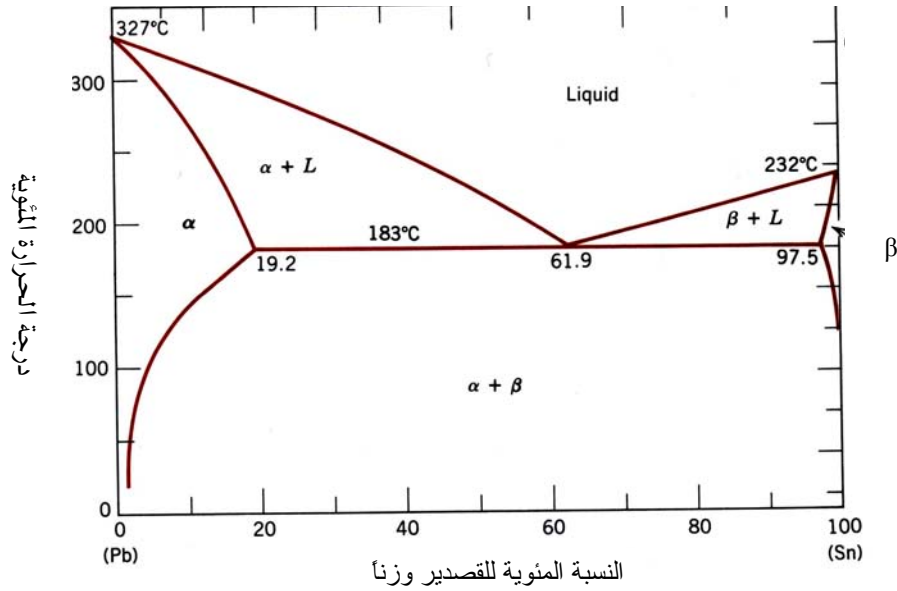
رسم منحنيات التبريد لسبائك الرصاص والقصدير بنسب تركيب مختلفة .

#### مقدمة نظرية

الفلزات النقية عادة لينة وضعيفة ولا تصلح للعديد من الاستعمالات التجارية ، كما أنها في كثير من الحالات تكون ذات مقاومة ضعيفة للتآكل . ونتيجة لقصور المعادن النقية المنفردة يتم خلطها مع فلزات (معادن) أخرى أو لا فلزات لتكوين السبائك . تستعمل السبائك بشكل أوسع نظراً لما تتميز به من تحسن في خواصها مقارنة مع المعادن النقية ومن أهم أهداف تكوين وتصنيع السبائك :

- ١ - تحسين خاصية مقاومة التآكل فمثلاً عند إضافة الكروم أو النيكل للحديد ترتفع مقاومة الحديد كثيراً ضد التآكل .
- ٢ - تحسين الخواص الميكانيكية ( رفع الصلادة - زيادة مقاومة الشد - الخ... ) .
- ٣ - زيادة القابلية للمعالجات الحرارية للمعادن .
- ٤ - زيادة درجة حرارة الانصهار .

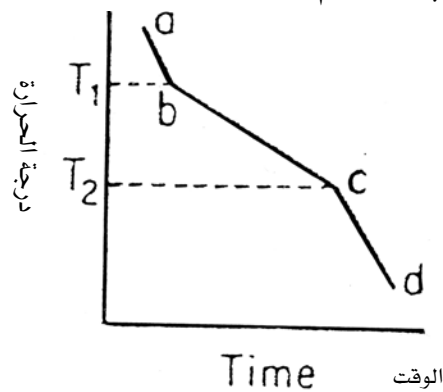
ولفهم النظام السبائكي جيداً والتعرف على التغيرات التي تحدث أثناء تبريد السبيكة من درجة حرارة الانصهار إلى درجة الحرارة العادية ودراسة التغيرات الحادثة على أحسن وجه ينبغي الاستعانة بما يسمى بمخطط الاتزان الحراري . المحور الرأسي للمخطط يمثل درجات الحرارة إما تركيب السبيكة أو النسب المكونة لسلسلة السبائك فيعبر عنها بنسب مئوية وزنية كمحور أفقي وشكل ( ٦ - ١٢ ) يوضح مثلاً لأحد مخططات الاتزان الحراري ( مخطط الاتزان الحراري للرصاص والقصدير ) .



شكل ( ٦ - ١٢ ) مخطط الاتزان الحراري للقصدير والرصاص والقصدير

### بناء مخططات الاتزان الحراري

يتم الحصول على المعلومات الأساسية لتخطيط وتكوين مخطط الاتزان الحراري من خلال إجراء تجارب معملية بعدة طرق مختلفة أهمها أسلوب منحنيات التبريد وتقوم هذه الطريقة على الاستفادة من منحنيات التبريد لعدة سبائك ثنائية في نظام سبائكي محدد حيث تكون كل سبيكة محتوية على نسبة مختلفة من العنصرين المكونين لهذا النظام .

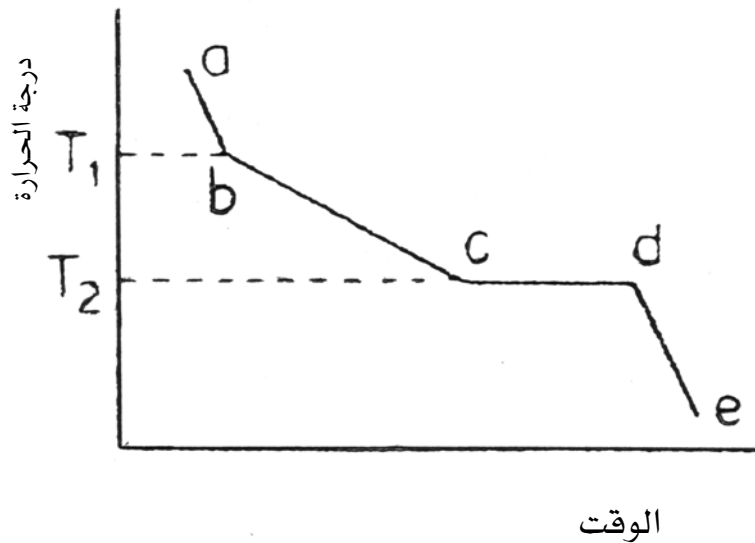


شكل ( ٦ - ١٣ ) منحنى التبريد لسبيكة مكونة من معدنين .

يبين الشكل (٦ - ١٣) منحنى التبريد لمعدنين سخنا إلى النقطة a حيث كلا المعدنين في الحالة السائلة وممزوجين مع بعضيهما البعض . عند إبعاد المصدر الحراري وبداية التبريد البطيء يظل المعدنان سائلين حتى تصل درجة الحرارة إلى T1 حيث تبدأ عملية التجمد . عند درجة الحرارة T2 تكتمل عملية التجمد ويكون كامل الخليط محلولاً جامداً . من النقطة c إلى النقطة d تستمر درجة حرارة المحلول الجامد في الانخفاض. النقطة b هي النقطة التي عندها تبدأ عملية التجمد وتعرف بنقطة السيولة . النقطة c هي النقطة التي اكتملت عندها عملية التجمد وتعرف بنقطة التجمد .

نوع آخر من منحنيات التبريد والموضح بالشكل التالي (٦ - ١٤) وهو الذي ينشأ من السبائك المكونة من عنصرين يذوبان في بعضيهما ذوباناً تاماً في الحالة السائلة، ولكن عند التجمد تكون ذرات كل نوع بلوراتها الخاصة وفي الحالة الصلبة يوجد خليط من البلورات تحتوي كل منها على أحد عنصري السبيكة فقط .

وعند النظر لمنحنى تبريد إحدى هذه السبائك والموضح في شكل (٦ - ١٤) التالي: -

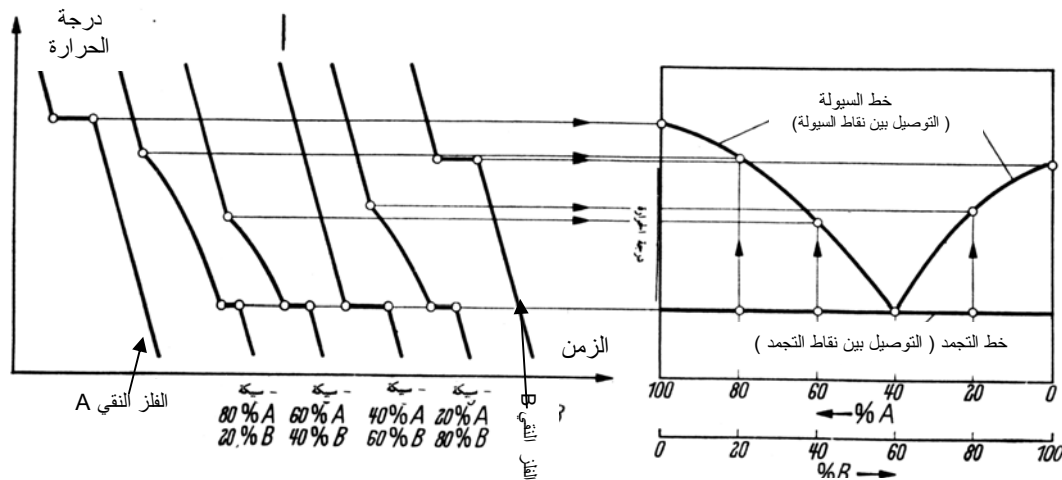


شكل (٦ - ١٤) يوضح منحنى التبريد لسبيكة مكونة من عنصرين تامتا الذوبان في الحالة السائلة وعديمتا الذوبان في الحالة الصلبة



نلاحظ في الشكل أن درجة الحرارة تبدأ في الانخفاض من النقطة a وتستمر في الانخفاض حتى تظهر حنية ( النقطة b ) والتي تسمى نقطة السيولة وباستمرار انخفاض درجات الحرارة يستمر الميل حتى تظهر نقطة توقف يتوقف عندها انخفاض درجات الحرارة وتتجمد بقية السبيكة المنصهرة عند درجة حرارة ثابتة كأنها فلز نقي ويسمى الجزء من منحنى التبريد الواقع من b إلى c مجال التجمد أما النقطة c فتسمى نقطة التجمد .

بعد رسم منحنيات التبريد توقع جميع نقاط السيولة ونقاط التجمد في شكل بياني ، حيث يمثل الإحداثي الرأسي درجة الحرارة و الإحداثي الأفقي النسب المئوية للعناصر المكونة للسبائك . الشكل ( ٦ - ١٥ ) يوضح مثلاً على كيفية الاستفادة من منحنيات التبريد في رسم مخطط الاتزان الحراري .



شكل ( ٦ - ١٥ ) يوضح استخدام منحنيات التبريد لسبائك ثنائية ذات نسب

مختلفة في بناء مخطط اتزان حراري .

## الأدوات والأجهزة المستخدمة

- ١ - كمية مناسبة من مسحوق الرصاص النقي Pure Lead .
- ٢ - كمية مناسبة من مسحوق القصدير النقي Pure Tin .
- ٣ - فرن ذو بوتقة خاص بصهر المعادن .
- ٤ - ترمومتر بمزدوج حراري ذو مجس Thermocouple thermometer .
- ٥ - ساعة إيقاف Stopwatch .
- ٦ - حامل خاص لبوتقة الصهر.
- ٧ - ميزان .

## خطوات العمل

- ١ - يتم تحضير النسب المئوية وزناً لتكوين عينات من سبائك الرصاص والقصدير حسب الجدول التالي:

ملاحظات	النسبة المئوية للرصاص	النسبة المئوية للقصدير	رقم العينة
تم الانتهاء من رسم منحنى التبريد للعينة في التجربة السابقة .	100 %	0	1
	70 %	30 %	2
	38 %	62 %	3
	15 %	85 %	4
تم الانتهاء من رسم منحنى التبريد للعينة في التجربة السابقة .	0	100 %	5

- ٢ - توضع النسب المئوية لتركيب العينة رقم 2 في بوتقة الصهر .
- ٣ - توضع البوتقة داخل الفرن ويشغل الفرن و تضبط درجة الحرارة المطلوبة 377 درجة مئوية وذلك لضمان حدوث الانصهار الكامل .

- ٤ - عند وصول درجة حرارة البوتقة و المصهور 377 درجة مئوية يتم إطفاء الفرن ومن ثم يوضع مجس مقياس الحرارة داخل المصهور مع التأكد من انغماسه .
- ٥ - تترك العينة تبرد ببطء مع الاستعداد ومراقبة نزول درجات الحرارة .
- ٦ - عند وصول درجة الحرارة إلى حوالي 360 درجة مئوية تشغل ساعة الإيقاف وتبدأ القياس والتدوين ( توقيع قيم درجات الحرارة كل خمس ثوان ) .
- ٧ - نستمر في عملية التسجيل في الجدول الخاص حتى وصول درجة الحرارة إلى 100 درجة مئوية .
- ٨ - ترسم العلاقة بين الزمن ودرجات الحرارة على ورق رسم بياني وبمقياس رسم مناسب .
- ٩ - تكرر الخطوات السابقة مع النسب المئوية لتركيبة العينة رقم 4 و 3 .



الزمن ثانية	درجة الحرارة °م

الزمن ثانية	درجة الحرارة °م

الزمن ثانية	درجة الحرارة °م

الزمن ثانية	درجة الحرارة °م

الزمن ثانية	درجة الحرارة °م

الزمن ثانية	درجة الحرارة °م

الزمن ثانية	درجة الحرارة °م

الزمن ثانية	درجة الحرارة °م

درجة الحرارة °م	الزمن ثانية

درجة الحرارة °م	الزمن ثانية

درجة الحرارة °م	الزمن ثانية

درجة الحرارة °م	الزمن ثانية

## التجربة الخامسة

### التعرف على أنواع ومكونات بنية الصلب الكربوني عن طريق الفحص المجهرى

#### الهدف من التجربة

التعرف على مخطط الاتزان الحراري للحديد والكربون والتعرف على أقسام الصلب (ال فولاذ) الكربوني ودراسة تأثير نسبة الكربون على مكونات بنية الفولاذ الدقيقة .

#### مقدمة نظرية عن التجربة

##### تعريف سبائك الحديد

إن فلز الحديد هو المركب الأساسي لأكبر عدد من السبائك التجارية المعروفة والمنتشرة بكثرة في كثير من التطبيقات الهندسية ومعظم مجالات الحياة العملية ، والحديد النقي هو معدن ذو خاصية مغناطيسية لونه فضي أبيض وهو لين وقابل للطرق و السحب والثني ولا ينتج الحديد بصورته النقية بكميات كبيرة بل بكميات صغيرة لغرض الدراسات والأبحاث . يتحد الحديد النقي مع الكربون فتتكون أهم السبائك – فولاذ كربوني – كما يتحد الحديد مع عدد آخر من العناصر مكونا الكثير من السبائك الفلزية الهندسية .

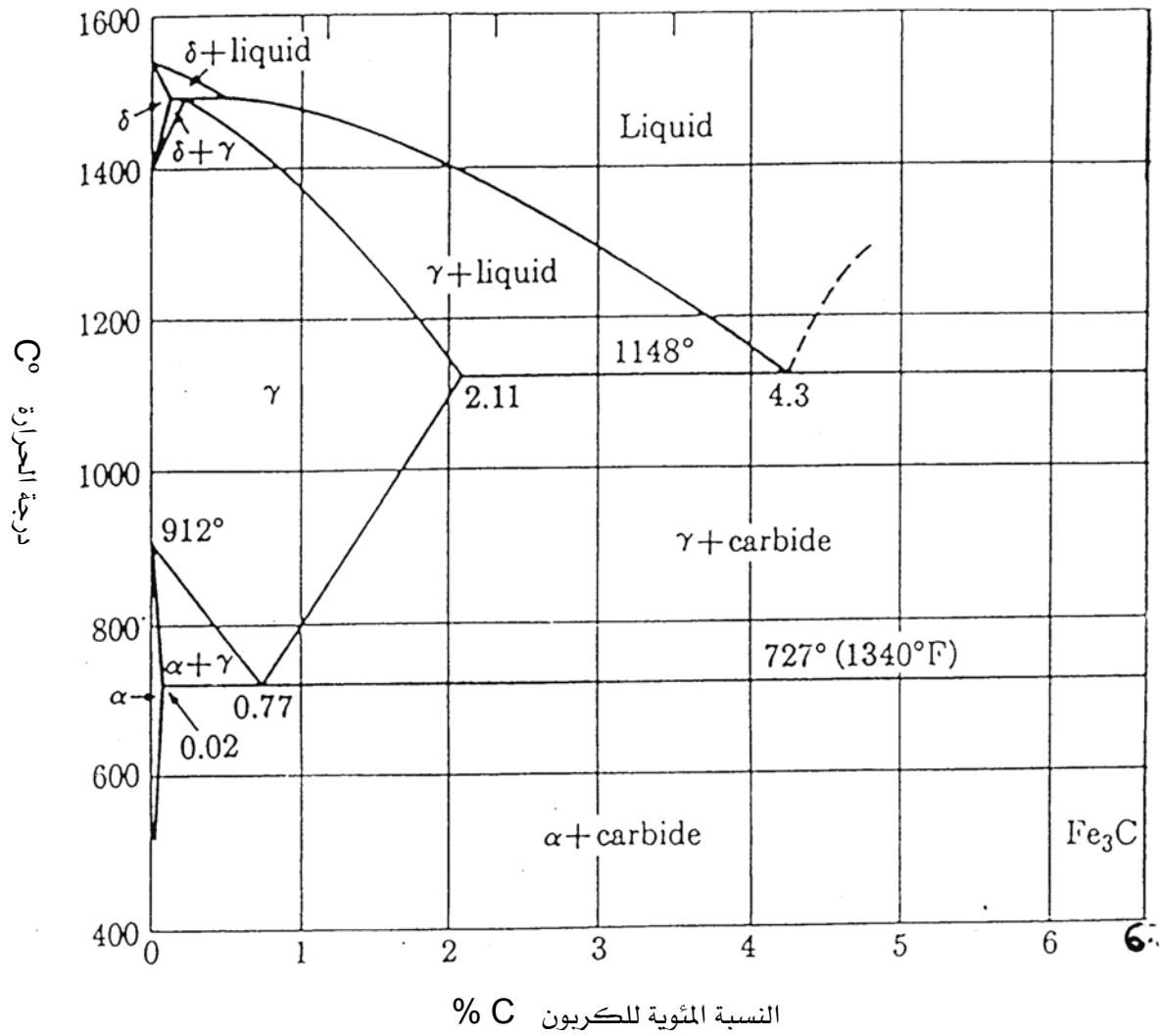
#### الفولاذ ( الصلب الكربوني ) Carbon steel :

جميع أنواع الفولاذ تحتوي على نسب مختلفة من الكربون ، ويقصد بالصلب الكربوني أنه الصلب الذي يلعب عنصر الكربون فيه الدور الأساسي و العامل الرئيسي المتحكم في الخواص الميكانيكية أكثر من أي عنصر آخر . وهناك من بين الأنواع الأخرى للصلب الصلب السبائكي والذي تضاف إليه بعض العناصر السبائكية بغرض تحسين بعض الخواص الميكانيكية والكيميائية وغيرها من الخواص، ومما سبق يمكن القول إن الصلب الكربوني هو :

- ١ - الصلب الذي تحدد خواصه وتقدر تبعاً لنسبة الكربون الذي تحتويه السبيكة .
- ٢ - لا يحتوي على كميات ملموسة من العناصر السبائكية وخاصة العناصر التالية ( الكروم – النيكل – الموليبدنوم ) .



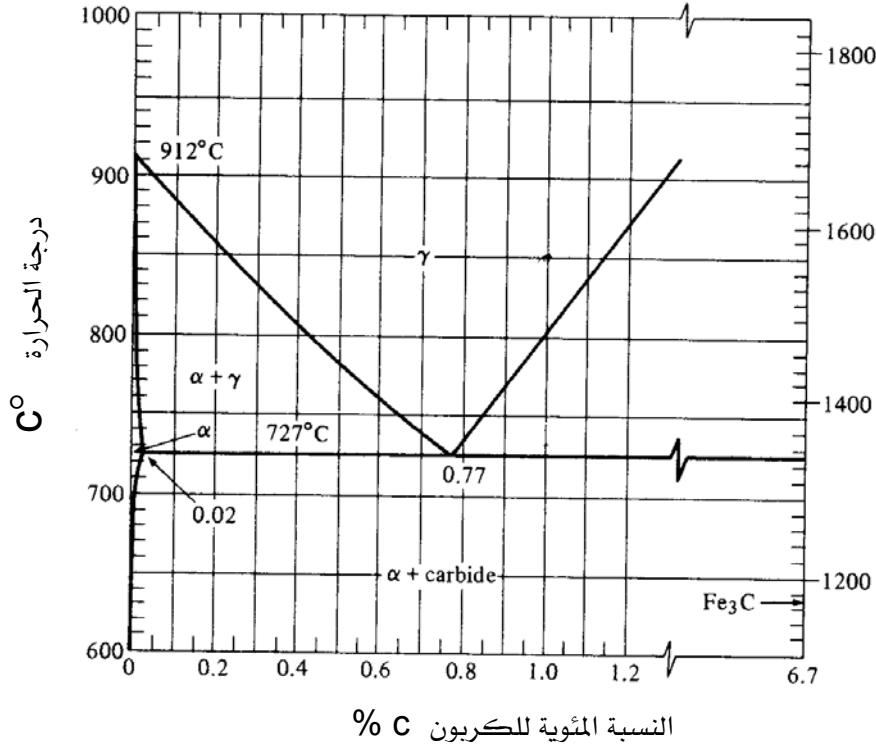
مخطط الاتزان الحراري للحديد والكربون :



شكل (٦-١٦) مخطط الاتزان الحراري للحديد والكربون

## نسبة الكربون في الصلب

تحتوي سبائك الصلب الكربوني على نسبة كربون تتراوح بين ٠,٠٠٨٪ إلى ٢,١١٪. لكن الفولاذ الذي يحتوي على نسبة كربون أعلى من ١,٤٪ يعتبر قسفاً وتقترب خواصه من حديد الزهر.



شكل (٦- ١٧) يوضح الجزء الخاص بالصلب من مخطط التوازن الحراري للحديد والكربون.

## أقسام الصلب الكربوني طبقاً لنسبة الكربون

## ١ - فولاذ منخفض الكربون Low - Carbon steel

وتتراوح نسبة الكربون فيه من ( ٠,٠٠٨٪ إلى ٠,٣٪ ) ومن أنواعه

أ - فولاذ طري خامد وتتراوح نسبة الكربون فيه ما بين ( ٠,٠٧٪ إلى ٠,١٥٪ ) .

ب - فولاذ طري وتتراوح نسبة الكربون فيه ما بين ( ٠,١٥٪ إلى ٠,٣٪ ) .

خواص الصلب منخفض نسبة الكربون : سهل التصنيع - قابلية جيدة للتشكيل - متانة عالية - استجابة ضئيلة جداً لعمليات التصليد والمراجعة ( .

## ٢ - فولاذ متوسط الكربون Medium - Carbon steel

تتراوح نسبة الكربون فيه من ( ٠,٣٪ إلى ٠,٦٪ ) .

خواصه : قابل للطرق واللحام والتشغيل على الماكينات - بعض أنواعه تقبل المعالجات الحرارية (تصليد - مراجعة) .

### ٣ - فولاذ عالي الكربون High – Carbon steel

تتراوح نسبة الكربون فيه من (٠,٦ ٪ إلى ٠,٨ ٪) .

خواصه : صلادة عالية - مقاوم للتآكل الاحتكاكي - قابل لجميع أنواع المعالجات الحرارية .

### ٤ - فولاذ العدة الكربوني Carbon Tool steel

تتراوح نسبة الكربون فيه من (٠,٨ ٪ إلى ١,٤ ٪) .

خواصه : صلادة عالية جدا - مقاوم للتآكل الاحتكاكي - تصنع من أدوات القطع - قابل لجميع أنواع المعالجات الحرارية .

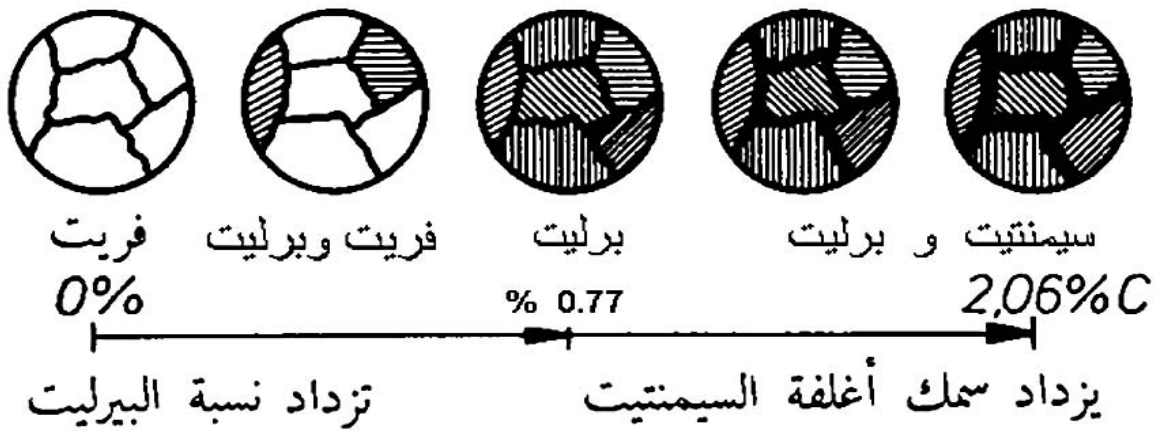
الجدول التالي يبين أنواع الصلب الكربوني السابقة الذكر وأهم استخداماتها :

الاستعمالات	النوع	كربون ٪
ي صنع منه : الشرائط المدلفنة strips على الساخن لغرض الكبس. والقضبان والأسلاك المستخدمة لتصنيع المسامير . ومسامير البرشام rivets والأنابيب المشكلة بالسحب .	الفولاذ الطري الخامد	٠,٠٨ - ٠,١٥
المراجل boilers وصفائح السفن. مقاطع الفولاذ المختلفة sections . التوصيلات والقضبان المخددة . قضبان الزاوية.	الفولاذ الطري	٠,١٥ - ٠,٣٠
للتطبيقات التي تحتاج للتشكيل بالحدادة للأغراض الهندسية المختلفة . القضبان الرابطة connecting rods . المحاور axes . الأعمدة المرفقية crankshafts .	الفولاذ المتوسط الكربون Medium – Carbon steel	٠,٢٠ - ٠,٦
يستخدم في صناعة قضبان السكك الحديدية . النوابض الرقائعية leafs . springs . الحبال السلكية wire ropes . المناشير الشريطية band saw . قوالب التشكيل بالحدادة forging dies الصغيرة . قوالب تشكيل الفولاذ المسبوك .	الفولاذ العالي الكربون High – Carbon steel	٠,٦٠ - ٠,٨٠
٠,٨٥ ٪ - ٠,٩٥ ٪ : أزاميل (أجنات) القطع على البارد الصغيرة . شفرات	فولاذ العدة steel	٠,٨٠ - ١,٤

القص shear blades . أدوات ( سنابك) التخريم punch . files . المناشير اليدوية . : ٠,٩٥ % - ١,١ % : أقلام الخراطة و القشط و بنط الثقب . : ١,١ % - ١,٤ %	Tool Carbon	
--	----------------	--

### تأثير نسبة الكربون على التركيب الدقيق للفولاذ (بنية الفولاذ)

يتأثر التركيب الدقيق للفولاذ (بنية الفولاذ) بنسبة الكربون حيث توجد مع زيادة نسبة الكربون في الفولاذ بلورات نقية وخليط من بلورات الفريت و السيمنتيت (البرليت) . وعندما تصل نسبة الكربون إلى ( 0.77 %) تكون جميع بلورات الفريت قد اختلطت ببلورات السيمنتيت ويطلق على هذه الحالة خليط يوتكتويدي ويظهر هذا الخليط على شكل بنية متجانسة دقيقة تسمى هذه البنية ببنية البرليت .

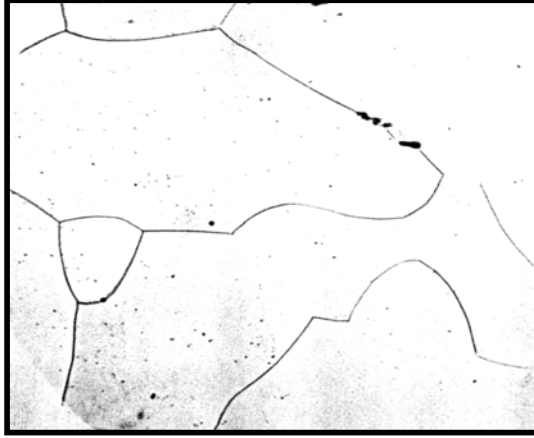


شكل (6-18) تأثير نسبة الكربون على التركيب الدقيق

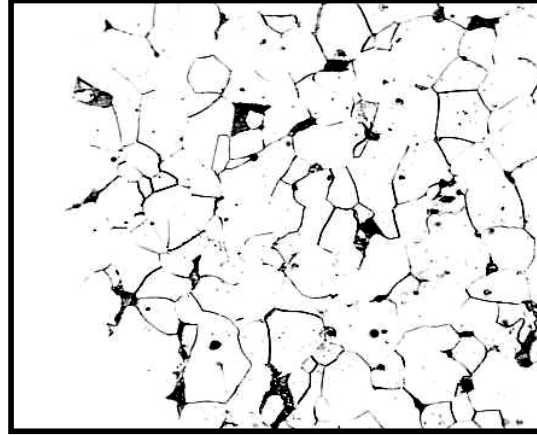
للفولاذ

(بنية الفولاذ)

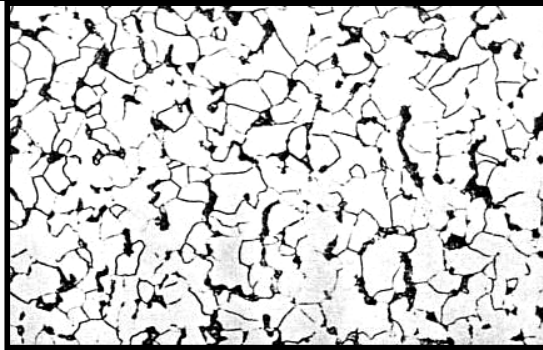
شكل (٦- ١٩) يوضح نماذج من البنية الدقيقة للصلب الكربوني : -



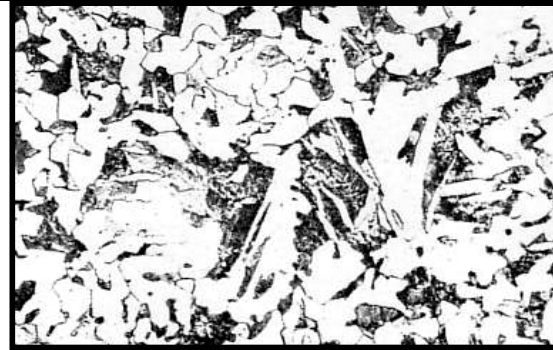
أ - صورة مجهرية للحديد النقي  
بنسبة 99.98 % عند -  
تكبير 1 : 250  
البنية فيريت



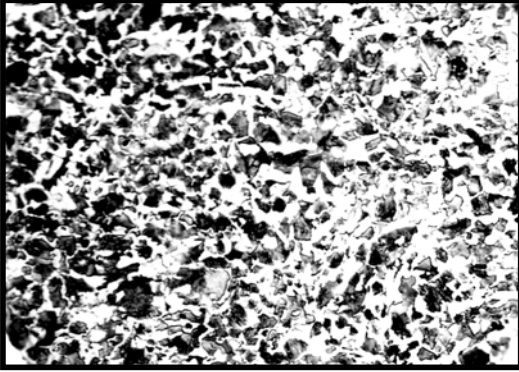
ب - صورة مجهرية لعينة من الصلب  
الكربوني  
نسبة الكربون 0.09 % C - البنية  
الدقيقة للصلب ( فيريت + برليت )  
التكبير 1 : 250



ج - صورة مجهرية لعينة من الصلب  
الكربوني  
نسبة الكربون 0.13 % C -  
البنية الدقيقة للصلب  
( فيريت + برليت ) التكبير 1 : 250

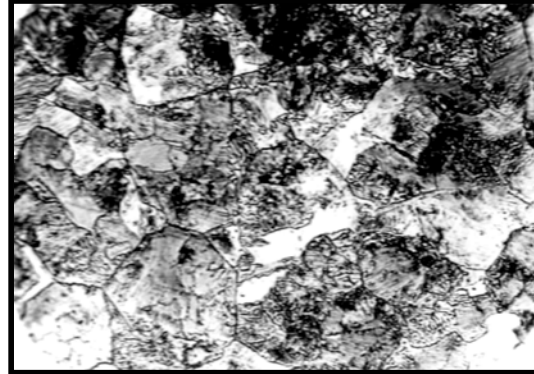


د - صورة مجهرية لعينة من الصلب  
الكربوني  
نسبة الكربون 0.36 % C - البنية  
الدقيقة للصلب ( فيريت + برليت )  
التكبير 1 : 200



تابع شكل ( ٦ - ١٩ )

ه - صورة مجهرية لعينة من الصلب  
الكربوني  
نسبة الكربون C % 0.45 - البنية  
الدقيقة للصلب ( فيريت + برليت )  
التكبير 1 : 100



تابع شكل ( ٦ - ١٩ )

و - صورة مجهرية لعينة من صلب العدة  
الكربوني  
نسبة الكربون C % 1.13 - البنية  
الدقيقة للصلب ( برليت + سمنتيت )  
التكبير 1 : 500

## تسمية خامات الصلب الكربوني

## أ - المواصفات الألمانية DIN

أمثلة الاستعمال	الصلادة برينل HB	أقصى انفعال عند الكسر $\delta$ %	أقصى إجهاد شد $\sigma_R$ N/mm <sup>2</sup>	نسبة الكربون %	نوع الصلب ورمزه في المواصفات الألمانية DIN
للأسلاك والصفائح الطرية والأسياخ الطرية	150 - 90	30 - 15	550 - 280	لغاية 0.05 %	صلب كربوني St 0 0
للأسلاك أو القطاعات المدفنة	135 - 100	25	450 - 370	0.2 - 0.1	صلب كربوني St 37
المنشآت المجهدة وأعمدة نقل الحركة وألواح الخزانات	160 - 140	22	600 - 500	0.35	صلب كربوني قابل للتقسية St 50
(مخمر) للأجزاء عالية الإجهاد	230 - 160	17	850 - 600	0.45	صلب كربوني قابل للتقسية St 60
( يقسى ويطبغ عند 450 ° C	250 - 180	12	900 - 700	0.6	صلب كربوني قابل للتقسية
لقضبان السكة الحديدية والاسطوانات	250 - 220	10	900 - 800	- 0.8 0.6	صلب قضبان
للعدد اليدوية	800 - 250	7 - 5	1100 - 900	- 0.6 0.8	صلب عدة
للعدد القاطعة في آلات التشغيل	400 - 300	5-4	1100 - 900	1.2 - 1	صلب عدة

كما تسمى خامات الصلب الكربوني على أساس الرمز الكيميائي C للكربون مع بيان النسبة المئوية لمتوسط نسبة الكربون مضروبا في مئة والجدول التالي يوضح بعض الأمثلة :

نسبة الكربون %	اسم الصلب
0.18 - 0.22	C22
0.32 - 0.39	C35
0.42 - 0.50	C45
0.42 - 0.60	C55
0.57 - 0.65	C60
1	C100

ب - حسب نظام الجمعية الأمريكية للحديد وال فولاذ (AISI), American Iron and Steel Institute وجمعية مهندسي السيارات (SAE) Society of Automotive Engineers .



نماذج من خامات الصلب الكربوني :

الفولاذ الكربوني					
رقم الفولاذ تقسيم SAE	التركيب الكيميائي %				رقم الفولاذ AISI
	كبريت	فسفور	منجنيز	كربون	
1010	0.05	0.04	0.6 – 0.3	0.13 – 0.08	C1010
1015	0.05	0.04	0.6 – 0.3	0.18 – 0.13	C1015
1020	0.05	0.04	0.6 – 0.3	0.23 – 0.18	C1020
1025	0.05	0.04	0.6 – 0.3	0.28 – 0.22	C1025
1030	0.05	0.04	0.9 – 0.6	0.34 – 0.28	C1030
1035	0.05	0.04	0.9 – 0.6	0.38 – 0.32	C1035
1040	0.05	0.04	0.9 – 0.6	0.44 – 0.37	C1040
1045	0.05	0.04	0.9 – 0.6	0.50 – 0.34	C1045
1050	0.05	0.04	0.9 – 0.6	0.55 – 0.48	C1050
1055	0.05	0.04	0.9 – 0.6	0.60 – 0.50	C1055
1060	0.05	0.04	0.9 – 0.6	0.65 – 0.55	C1060
1065	0.05	0.04	0.9 – 0.6	0.70 – 0.60	C1065
1070	0.05	0.04	0.9 – 0.6	0.75 – 0.65	C1070
1075	0.05	0.04	0.8 – 0.5	0.80 – 0.70	C1075
1080	0.05	0.04	0.9 – 0.6	0.88 – 0.75	C1080
1085	0.05	0.04	1.0 – 0.7	0.93 – 0.80	C1085
1090	0.05	0.04	0.5 – 0.3	0.98 – 0.85	C1090
1095	0.05	0.04	1.0 – 0.7	1.03 – 0.90	C1095

## مثال توضيحي

تعتبر طريقة AISI عن نوع الصلب بواسطة أربعة أرقام كرموز لها دلالات ثابتة كالتالي :  
يدل الرقمان الأوليان من جهة اليسار على عنصر السبائكية الأساسية كما هو مبين بالجدول التالي :

الرقم	العنصر
1	كربون
2	نيكل
3	نيكل - كروم
4	موليبدينوم
5	كروم
6	كروم - فاناديوم
7	تنجستن
8	نيكل - كروم - موليبدينوم

أما الرقمان الآخران فيدلان على القيمة الاسمية التقريبية لنسبة الكربون في السبيكة حيث تمثل النقطة الواحدة % 0.01 كربون ، فمثلا السبيكة ( AISI 1020 ) تشير إلى أن الفولاذ كربوني، ويحتوي على نسب كربون تساوي تقريبا % 0.20 . السبيكة (AISI 2340) تعني أن الفولاذ سبائكي وهو فولاذ يحتوي على نيكل بنسبة تساوي تقريبا % 0.30 ونسبة الكربون فيه تساوي تقريبا % 0.4 أما الحروف التي تسبق الأرقام فتدل على طريقة التصنيع التابعة في إنتاج الفولاذ كالتالي :

(A) فولاذ سبائكي مصنوع في فرن المجرمة المفتوحة.

(B) يدل على فولاذ كربوني مصنوع في محول بسمر.

(C) فولاذ كربوني مصنوع في المجرمة المفتوحة القاعدي.

(D) فولاذ كربوني مصنوع في المجرمة المفتوحة الحمضي.

(E) فولاذ مصنع في الفرن الكهربائي .

## الأدوات والأجهزة المستخدمة

- ١ - عينة من الصلب C15 أو عينة من St 37 .
- ٢ - عينة من الصلب C35 .
- ٣ - عينة من الصلب C45 .
- ٤ - عينة من صلب العدة الكربوني.
- ٥ - الأجهزة والمعدات اللازمة لإعداد عينة للفحص المجهرى ( راجع التجربة الأولى والثانية ).
- ٦ - مجموعة من الصور المجهرية المرجعية لعينات الصلب الكربوني .
- ٧ - محلول إظهار (نيتال).

## خطوات العمل

- ١ - تخلط العينات عشوائياً دون تمييز .
- ٢ - تجهز العينات للفحص المجهرى (راجع خطوات تجربة إعداد عينة للفحص المجهرى).
- ٣ - تفحص العينات تحت المجهر وتقارن بالصور الموجودة في ألبوم الصور القياسية أو بالصور الموجودة في شكل ( ٦ - ١٩ ) ثم محاولة التعرف على نوع بنية الصلب وتقدير نسبة الكربون .

## النتائج

رقم العينة	بنية الصلب	القيمة المتوقعة لنسبة الكربون	ملاحظات عامة

## تجارب المعالجات الحرارية للصلب

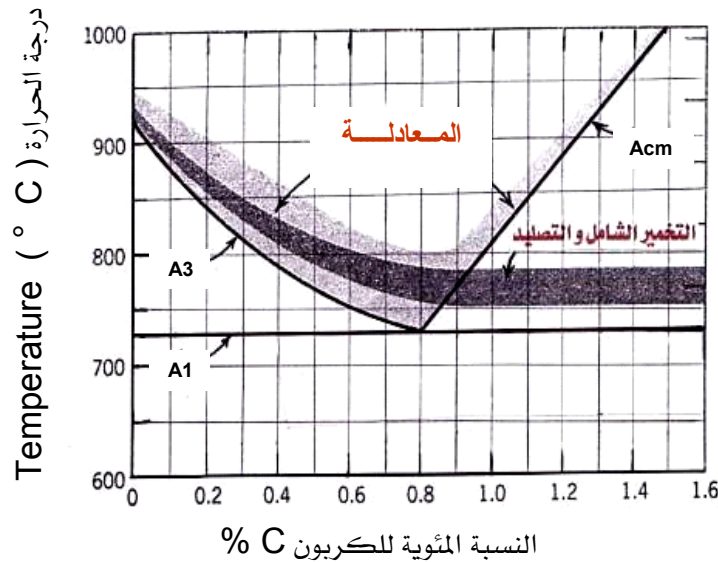
### مقدمة نظرية عامة عن المعالجات الحرارية :

المعالجة الحرارية هي تسخين المعدن إلى درجة حرارة معينة ثم الاحتفاظ بالمعدن عند تلك الدرجة لفترة زمنية كافية ثم التبريد بمعدل تبريد محدد ، وتعتبر عملية التبريد هي العملية الأساسية المحددة لخواص القطعة المعالجة .

### لماذا تجرى عمليات المعالجة الحرارية ؟

تجرى عمليات المعالجات الحرارية لتغير خواص المعدن ولتحقيق مجموعة من الأهداف أهمها :

- ١ - زيادة الصلادة ورفع المقاومة الميكانيكية .
- ٢ - زيادة المطيلية والمتانة .
- ٣ - زيادة قابلية المعدن لعمليات التشكيل أو التشغيل .
- ٤ - إزالة الإجهادات الداخلية الناتجة من عمليات التشغيل بالآلات و التخلص من آثارها .
- ٥ - إزالة تأثير عمليات التشكيل على البارد و إزالة الاستطالة في الحبيبات الناتجة من عمليات التشكيل على البارد ، وذلك للحصول على حجم وشكل حبيبي منتظم انظر شكل ( ٦ - ٤ ) و ( ٥ - ٦ ) . وتحدد درجات الحرارة اللازمة لإجراء المعالجات الحرارية للصلب الكربوني من مخطط التوازن الحراري للحديد والكربون والمبين في شكل ( ٦ - ٢٠ ) التالي :



شكل ( ٦ - ٢٠ ) الجزء الهام للمعالجات الحرارية للصلب الكربوني من مخطط التوازن الحراري للحديد

## أفران المعالجات الحرارية

تسخن المشغولات في عمليات المعالجات الحرارية المختلفة لدرجات حرارة مختلفة حيث يكون نطاق التسخين تقريباً من ١٥٠ إلى ١٣٥٠ درجة مئوية وتعدد أحجام وأنواع الأفران المستخدمة في المعالجات الحرارية لتغطية تطبيقات المعالجات الحرارية المطلوبة ، ويجب أن تتوفر بعض المتطلبات الهامة في أفران المعالجات الحرارية من أهمها :

- ١ - يجب أن يكون الفرن مأموناً عند التشغيل ( تتحقق فيه متطلبات السلامة ) .
- ٢ - يجب أن يكون الفرن اقتصادياً في تشغيله .
- ٣ - يجب الوصول إلى درجة الحرارة المطلوبة بسرعة وإتقان ، وأن يكون الفرن قابلاً للتحكم فيه بسهولة .
- ٤ - يجب أن تكون درجة الحرارة في كل حيز التسخين منتظمة .
- ٥ - يجب أن لا يتفاعل جو الفرن مع أسطح المشغولات .



شكل ( ٦ - ٢١ ) فرن كهربائي خاص  
بالمعالجات الحرارية

تتعدد أنواع الوقود وطرق التشغيل المستخدمة في أفران المعالجات الحرارية حيث منها ما يعمل بالوقود الغازي أو السائل ولكن الأفران التي تعتمد في تشغيلها على التيار الكهربائي ، تكون أكثر ملائمة عند استخدامها في التسخين . تتميز الأفران الكهربائية بقابليتها للتحكم في درجات الحرارة وتكون درجات الحرارة منتظمة في الفرن كذلك تتميز بنظافة التشغيل وإعطاء نوعية منتظمة من المشغولات المنتجة . شكل ( ٦ - ٢١ ) يوضح فرنًا كهربائيًا حديثاً خاصاً بالمعالجات الحرارية .

## التجربة السادسة

### عملية التصليد Hardening و عملية التطبيع Tempering

#### أهداف التجربة

- ١ - رفع صلادة الصلب الكربوني لزيادة مقاومته للخدوش و للتآكل الاحتكاكي وزيادة قابليته لقطع المعادن الأخرى ( التصليد ) مع دراسة تأثير أوساط التقسية المختلفة على قيم الصلادة .
- ٢ - خفض ( تقليل ) القصفة الموجودة في الصلب الناتجة عن عملية التصليد وزيادة متانة الصلب.

#### مقدمة نظرية

يتم رفع صلادة الصلب وزيادة مقاومته للخدوش و التآكل الاحتكاكي وزيادة قابليته لقطع المعادن الأخرى بواسطة إجراء عملية التصليد ( التقسية ) Hardening .

تتم عملية التصليد عن طريق تسخين قطع الصلب المراد معالجتها حرارياً حسب نسبة الكربون حيث يتم التسخين ( 50 - 30 ) درجة مئوية فوق خط A3 للصلب المحتوي على نسبة كربون أقل من C 0.77 % ( الصلب دون اليوتيكويدي ) ، أما الصلب المحتوي على نسبة كربون أعلى من C 0.77 % ( الصلب فوق اليوتيكويدي ) فإنه يتم تسخينه ( 50 - 30 ) درجة مئوية فوق خط A1 - راجع الجزء الهام من مخطط التوازن الحراري شكل ( ٦ - ٢٠ ) - والاحتفاظ عند تلك الدرجة لفترة زمنية مناسبة حسب سمك المقطع ثم تبريد العينة تبريداً سريعاً ومفاجئاً Quenching عن طريق أوساط تبريد مختلفة تحدد حسب نوع الصلب والهدف من عملية التصليد ، ومن أهم أوساط التبريد :

- ١ - الماء ( العادي والملحي ) .
- ٢ - زيوت التقسية .
- ٣ - تيارات من الهواء المضغوط والمسفوح .

ينتج من تبريد الصلب التبريد السريع والفجائي Quenching تكون بنية المارتنزيت Martensite حبيبات هذه البنية إبرية الشكل ولها صلادة عالية . شكل ( ٦ - ٢٢ ) يوضح صورة مجهرية (ميكروسكوبية ) للمارتنزيت في عينة من الصلب الكربوني تم تصليدها .



شكل ( ٦ - ٢٢ ) صورة مجهرية توضح التركيب الدقيق ( البنية الدقيقة للمارتنزيت ) عند تكبير 1:1220

ارتفاع قيمة الصلادة يصحبه دائما ارتفاع القسافة وانخفاض المتانة ولذلك تجرى غالبا عملية تطبيع (مراجعة ) Tempering بعد عملية التصليد وذلك بهدف خفض الهشاشة ورفع المتانة حيث تسخن قطع الصلب المراد تطبيعها تحت درجة الحرارة الحرجة السفلى ( تحت خط A1 ) للصلب دون اليوتيكويدي و الصلب فوق اليوتيكويدي ثم تترك فترة زمنية مناسبة ثم تبرد في أي معدل تبريد غالبا ( الزيت أو الهواء ) وتتخذ عملية التطبيع عادة بعد عملية التقسية .

## أ - عملية التصليد Hardening

### الأدوات والأجهزة المستخدمة

- ١ - فرن كهربائي خاص بالمعالجات الحرارية .
- ٢ - ترمومتر بمزدوج حراري ذي مجس Thermocouple thermometer .
- ٣ - عينات من الصلب الكربوني C 45 .
- ٤ - ملقط لمسك العينات .
- ٥ - قفازات .
- ٦ - أحواض تحتوي على أوساط التقسية التالية .
  - ماء ملحي .
  - ماء .
  - زيت .
- ٧ - جهاز ركويل لقياس الصلادة .
- ٨ - الأدوات والأجهزة اللازمة للفحص المجهرى .

**ملاحظة هامة :** يعتبر تأثير عملية التصليد في الصلب الكربوني المحتوي على أقل من

C 0.35 % غير ملموس نسبيا بالمقارنة بأنواع الصلب التي تزيد نسبتها عن C 0.35 % .

### خطوات العمل

- ١ - يتم تحديد درجة حرارة التصليد اللازمة للعينات حسب نسبة الكربون وذلك بزيادة حوالي ( 30 - 50°C ) فوق درجة الحرارة الحرجة العليا (خط A3 ) وذلك للتأكد من الدخول في طور الأوستيت .
- ٢ - ضبط درجة حرارة الفرن على درجة حرارة التسخين اللازمة ثم الانتظار حتى الوصول إلى درجة الحرارة واستقرارها .
- ٣ - تقاس صلادة العينات قبل المعالجة ( قبل دخولها للفرن ) وذلك بمقياس ركويل C ثم يتم تسجيل رقم HRC في جدول النتائج .
- ٤ - عند وصول درجة حرارة الفرن للدرجة المطلوبة واستقرارها، يجب التأكد منها بواسطة ترمومتر ذي مجس Thermocouple thermometer .



- ٥ - توضع العينات داخل الفرن بواسطة الملقط ومن ثم يغلق بسرعة لتجنب فقد الحرارة .
- ٦ - الانتظار حتى انتهاء فترة التسخين المناسبة وهي تتعلق بسمك القطع المعالجة وتوصي بعض كتب المعالجات الحرارية بأن تبقى العينة في الفرن 20 دقيقة لكل 25 mm وبصيغة أخرى :
- $$\text{فترة بقاء العينة في الفرن (بالدقيقة)} = \text{سمك العينة (مم)} \times \frac{20}{25} \text{ أو } = \text{سمك العينة (مم)} \times 0.8$$
- ٧ - بعد انتهاء فترة التسخين اللازمة ( فترة بقاء العينة في الفرن ) تخرج العينات من الفرن وتبرد تبريدا سريعا وفجائيا Quenching في أوساط التبريد السابقة الذكر ، مع ملاحظة النقاط التالية :
- I - يجب أن تكون أحواض أوساط التبريد قريبة جدا من الفرن لكي تتم عملية التبريد بسرعة عالية .
- II - يجب تحريك العينة عند عملية التبريد السريع حركات دورانية منتظمة والتي لها الدور الكبير في نجاح عملية التصليد حيث تؤدي هذه الحركات إلى وصول سائل بارد جديد إلى الأسطح الساخنة وإزالة فقاعات البخار الملتصقة .
- ٨ - يتم صنفرة سطح العينات صنفرة يدوية وذلك لإزالة الطبقة المؤكسدة الناتجة من التسخين .
- ٩ - يجرى للعينات اختبار ركويل C ومن ثم تسجيل رقم HRC في جدول النتائج .
- ١٠ - تعد العينات للفحص المجهرى وذلك لفحصها تحت المجهر ومحاولة رؤية بنية المارتزيت .

ملاحظات	قيمة الصلادة قبل العملية HRC	طريقة التبريد	فترة بقاء العينة في الفرن	درجة الحرارة اللازمة لتنفيذ العملية	قيمة الصلادة قبل العملية HRC	الهدف من المعالجة الحرارية	نوع المعالجة الحرارية المنقذة	وصف العينة

## ب - عملية التطبيع Tempering

### الأدوات والأجهزة المستخدمة

- ١ - فرن كهربائي خاص بالمعالجات الحرارية (يفضل الأفران التي تعتمد على الهواء الساخن في تسخين المشغولات).
- ٢ - ترمومتر بمزدوج حراري ذي مجس Thermocouple thermometer .
- ٣ - عينات من الصلب الكربوني C 45 (عينات مصلدة) .
- ٤ - ملقط لمسك العينات .
- ٥ - قفازات .
- ٦ - وسط تبريد (زيت) .
- ٧ - جهاز ركويل لقياس الصلادة .

### خطوات العمل

- ١ - ضبط درجة حرارة الفرن على درجة حرارة التسخين اللازمة ( 500 – 650 °C ) ثم الانتظار حتى الوصول إلى درجة الحرارة واستقرارها .
- ٢ - تقاس صلادة العينات قبل المعالجة ( قبل دخولها للفرن ) وذلك بمقياس ركويل C ثم يتم تسجيل رقم HRC في جدول النتائج.
- ٣ - عند وصول درجة حرارة الفرن للدرجة المطلوبة واستقرارها يتم التأكد منها بواسطة الترمومتر ذي المجس Thermocouple thermometer .
- ٤ - توضع العينات داخل الفرن بواسطة الملقط ومن ثم إغلاقه بسرعة لتجنب فقد الحرارة .
- ٥ - الانتظار حتى انتهاء فترة التسخين المناسبة وهي تتعلق بسمك القطع المعالجة ( كما ذكرنا مسبقاً ) .
- ٦ - بعد انتهاء فترة التسخين اللازمة تخرج العينات من الفرن وتبرد في حوض الزيت .
- ٧ - يجرى للعينات اختبار ركويل C ومن ثم يتم تسجيل رقم HRC في جدول النتائج .

## التجربة السابعة

### عملية التخمير (التلدين) و Normalizing عملية المعادلة

#### أهداف التجربة

- ١ - خفض صلادة الصلب الكربوني وزيادة الليونة و المطيلية ( بواسطة عملية التخمير ) .
- ٢ - تنظيم الشكل الحبيبي والحصول على حجم وشكل الحبيبي موحد للصلب الذي تعرض للتشكيل على البارد ( بواسطة عملية المعادلة ) .

#### مقدمة نظرية عامة عن التجربة

تتعدد أنواع عمليات التخمير بتعدد أهدافها فمنها ما يجري لخفض صلادة الصلب المصلد وذلك لتسهيل تشغيله بالآلات أو لخفض صلادة الصلب المشكل على البارد لزيادة الليونة والمطولية فيه وبالتالي تسهيل تشكيله مرة أخرى . ومن أهداف عملية التخمير أيضا إزالة الإجهادات الداخلية الناتجة من عمليات التشكيل أو التشغيل بالآلات . ومن أشهر عمليات التخمير عملية التخمير التام ( الشامل ) Full Annealing وتتم عن طريق تسخين قطع الصلب المراد تخميرها حسب نسبة الكربون حيث يتم التسخين  $^{\circ}\text{C}$  ( 30 - 50 ) فوق خط A3 للصلب المحتوي على نسبة كربون أقل من C % 0.77 ( الصلب دون اليوتيكتويدي ) ، أما الصلب المحتوي على نسبة كربون أعلى من C % 0.77 ( الصلب فوق اليوتيكتويدي ) يتم التسخين  $^{\circ}\text{C}$  ( 30 - 50 ) فوق خط A1 - راجع الجزء الهام من مخطط التوازن الحراري - والاحتفاظ عند تلك الدرجة لفترة زمنية مناسبة حسب سمك المقطع ثم تبريد العينة ببطء شديد حيث تترك العينة تبرد مع الفرن ( داخل الفرن ) مما يستغرق وقتاً طويلاً . والجدول التالي يوضح أهم عمليات التخمير و أهدافها .

التبريد	درجة حرارة التسخين	الهدف	نوع عملية التخمير ( التلدين )
تبريد بطيء في الفرن	يتم التسخين ( 50 - 30 °C ) فوق خط A3 للصلب المحتوي على نسبة كربون أقل من 0.77 % C ( الصلب دون اليوتيكويدي و اليوتيكويدي ) ، أما الصلب المحتوي على نسبة كربون أعلى من 0.77 % C ( الصلب فوق اليوتيكويدي ) يتم التسخين ( 50 - 30 ) °C فوق خط A1	تجرى على مسبوكات الفولاذ والفولاذ المشكل على الساخن لزيادة المطيلية وزيادة القابلية للتشغيل بالآلات.	التخمير التام <b>Full Annealing</b>
التبريد بطيء في الفرن	تسخن القطع المراد تخميرها عند درجة حرارة أقل من درجة الحرارة الحرجة السفلى تحت خط A1 وتكون تقريبا ( 700 - 550 ) °C .	يجرى عادة على أسلاك وصفائح الفولاذ ذات نسبة كربون منخفضة بعد تشكيلها على البارد بغرض إزالة الإجهادات الداخلية الناتجة عن التشكيل على البارد ( إزالة التصليد الانفعالي ) مما يسهل عمليات التشكيل على البارد اللاحقة و المتكررة .	تخمير التشكيل <b>Process Annealing</b>
التبريد بطيء في الفرن حتى الوصول إلى درجة 430 °C ثم تبرد القطعة في الهواء .	تسخن القطع المراد تخميرها عند درجة حرارة أقل من درجة الحرارة الحرجة السفلى تحت خط A1 أمثلة لبعض التطبيقات: - ١ - فولاذ كربوني مشكل على البارد معالج حرارياً ، درجة حرارة التسخين من - 650 °C لمدة ساعة واحدة . ٢ - فولاذ كربوني ملحوم ، درجة حرارة التسخين من - 650 °C لمدة ساعة واحدة .	يعد أسلوباً من أساليب عملية تخمير التشكيل السابقة الذكر .	تخمير إزالة الاجهادات <b>Stress-relief Annealing</b>

## أ - عملية التخمير Annealing

## الأدوات والأجهزة المستخدمة

- ١ - فرن كهربائي خاص بالمعالجات الحرارية.
- ٢ - ترمومتر بمزدوج حراري ذي مجس Thermocouple thermometer .
- ٣ - عينات من الصلب الكربوني C 45 (عينات مصلدة) .
- ٤ - ملقط لمسك العينات .
- ٥ - قفازات .
- ٦ - جهاز ركويل لقياس الصلادة .

## خطوات العمل

- ١ - يتم تحديد درجة الحرارة اللازمة لتخمير العينات حسب نسبة الكربون وذلك بزيادة حوالي ( 30 - 50 °C ) فوق درجة الحرارة الحرجة العليا (خط A3) وذلك للتأكد من الدخول في طور الأوستنيت .
- ٢ - ضبط درجة حرارة الفرن على درجة حرارة التسخين اللازمة ثم الانتظار حتى الوصول إلى درجة الحرارة واستقرارها .
- ٣ - تقاس صلادة العينات قبل المعالجة ( قبل دخولها للفرن ) وذلك بمقياس ركويل C ثم يتم تسجيل رقم HRC في جدول النتائج .
- ٤ - عند وصول درجة حرارة الفرن للدرجة المطلوبة واستقرارها ، يتم التأكد من ذلك بواسطة ترمومتر بمزدوج حراري ذي مجس Thermocouple thermometer .
- ٥ - توضع العينات داخل الفرن بواسطة الملقط ومن ثم إغلاقه بسرعة لتجنب فقد الحرارة .
- ٦ - الانتظار حتى انتهاء فترة التسخين المناسبة وهي تتعلق بسمك القطع المعالجة .
- ٧ - بعد انتهاء فترة التسخين اللازمة ( فترة بقاء العينة في الفرن ) يتم إطفاء الفرن وترك العينات تبرد بداخله .
- ٨ - تخرج العينات بعد أن تصل درجة حرارتها إلى درجة حرارة الغرفة .
- ٩ - تقاس صلادة العينات بعد المعالجة وذلك بمقياس ركويل C ثم يتم تسجيل رقم HRC في جدول النتائج .

## ب - عملية المعادلة Normalizing

عملية المعادلة هي عملية من عمليات المعالجات الحرارية التي تتم على الصلب الكربوني الذي تعرض لإحدى عمليات التشكيل على البارد بهدف تحسين خواصه وتوحيد الشكل والحجم الحبيبي . تتم عملية المعادلة برفع درجة الحرارة إلى أعلى من الدرجة الحرجة العليا ( 50 - 30 ) درجة مئوية للصلب دون اليوتيكويدي والصلب فوق اليوتيكويدي أي أعلى من خط A3 أو A1 ( 50 - 30 ) درجة مئوية حسب نسبة الكربون وبعد انتهاء فترة التسخين تخرج العينة وتترك في الهواء الساكن ويكون الصلب الناتج من المعادلة أعلى صلادة وأكبر مقاومة للشد من الصلب الناتج من عملية التخمير التام كذلك يكون الصلب ذا شكل و حجم حبيبي موحد .

### الأدوات والأجهزة المستخدمة

- ١ - فرن كهربائي خاص بالمعالجات الحرارية .
- ٢ - ترمومتر بمزدوج حراري ذي مجس Thermocouple thermometer .
- ٣ - عينات من الصلب الكربوني St 37 مدرفلة على البارد .
- ٤ - ملقط لمسك العينات .
- ٥ - قفازات .
- ٦ - جهاز ركويل لقياس الصلادة .

### خطوات العمل

- ١ - يتم تحديد درجة الحرارة اللازمة لعملية المعادلة حسب نسبة الكربون وذلك بزيادة حوالي ( 50 - 30 ) فوق درجة الحرارة الحرجة العليا وذلك للتأكد من الدخول في طور الأوستنيت .
- ٢ - ضبط درجة حرارة الفرن على درجة حرارة التسخين اللازمة ثم الانتظار حتى الوصول إلى درجة الحرارة واستقرارها .
- ٣ - تقاس صلادة العينات قبل المعالجة ( قبل دخولها للفرن ) وذلك بمقياس ركويل C ثم يتم تسجيل رقم HRC في جدول النتائج .
- ٤ - عند وصول درجة حرارة الفرن للدرجة المطلوبة واستقرارها يتم التأكد منها بواسطة ترمومتر بمزدوج حراري ذي مجس Thermocouple thermometer .
- ٥ - توضع العينات داخل الفرن بواسطة الملقط ومن ثم إغلاقه بسرعة لتجنب فقد الحرارة .

- ٦ - الانتظار حتى انتهاء فترة التسخين المناسبة وهي تتعلق بسمك القطع المعالجة.
- ٧ - بعد انتهاء فترة التسخين اللازمة ( فترة بقاء العينة في الفرن ) يتم إطفاء الفرن ويتم إخراج العينات من الفرن وتترك على حامل خاص يضمن لجميع أجزاء وأسطح القطعة أن تبرد بمعدل واحد.
- ٨ - تترك العينات بعد أن تصل درجة حرارتها إلى درجة حرارة الغرفة.
- ٩ - بعد أن تصل درجة حرارتها إلى درجة حرارة الغرفة تقاس صلابتها بمقياس ركويل C ثم يتم تسجيل رقم HRC في جدول النتائج .



## التجربة الثامنة

### اختبار جومني لتقدير قابلية التصليد في الصلب

#### الهدف من التجربة

دراسة تأثير نسبة الكربون والعناصر السبائكية في الصلب على قابلية التصليد لبعض أنواع الصلب بواسطة اختبار جومني .

#### مقدمة نظرية عن التجربة

يجب علينا قبل الدخول في تفاصيل التجربة التعرف على الفرق بين قابلية التصليد Hardenability والصلادة للصلب Hardness .

قابلية التصليد Hardenability هي قابلية الفولاذ للتصليد عند تبريده سريعا من درجات الحرارة العليا باستخدام وسط تبريد مناسب ، وتعتمد قابلية التصليد على عمق الصلادة وتوزيعها خلال المقطع . صلادة الصلب Hardness هي مقاومة الصلب للخدوش أو التآكل الاحتكاكي .

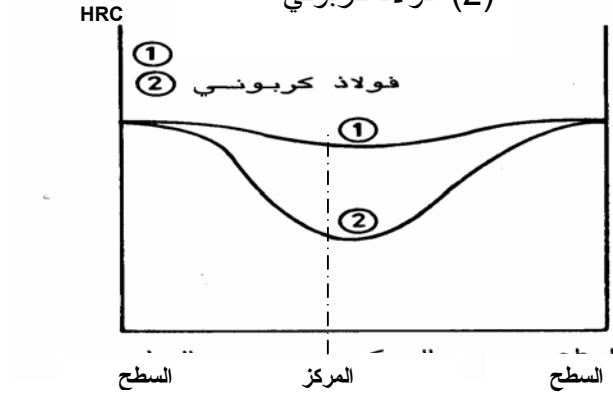
#### مثال توضيحي:

الفولاذ المحتوي على % 0.9 كربون تكون صلادته Hardness عند تصليده أعلى من صلادة الفولاذ السبائكي المحتوي على % 0.3 كربون + % 3 نيكل بعد إجراء عملية تصليد لكل منهما ، لكن قابلية التصليد Hardenability للفولاذ المحتوي على % 0.3 كربون + % 3 نيكل تكون أعلى من الأول بسبب إمكانية الحصول على مقطع أكبر في الفولاذ السبائكي مصلدا تصليدا كاملا أي يحتوي على بنية مارتنزيتية .

(1) فولاذ سبائكي

منخفض السبائكية

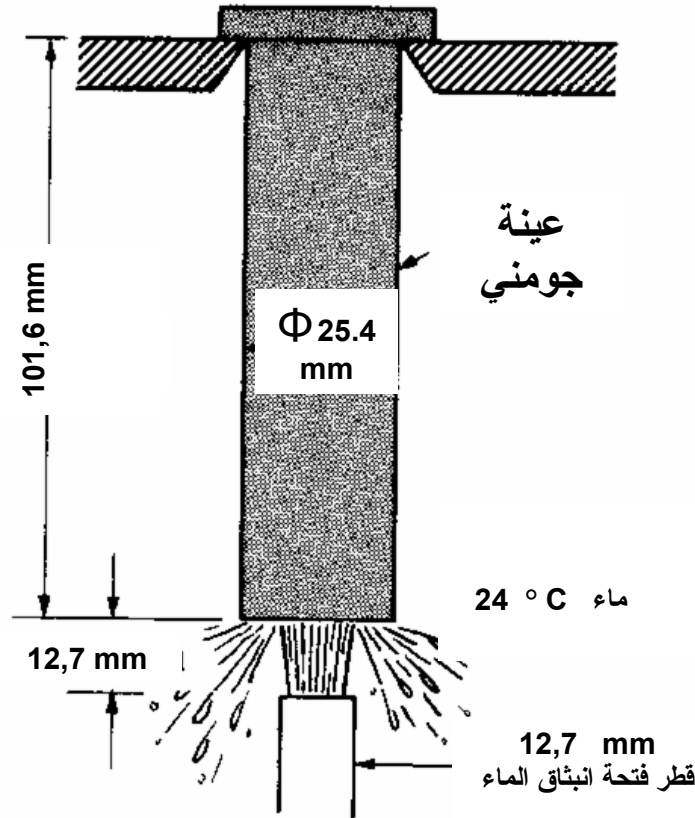
(2) فولاذ كربوني



شكل (٦ - ٢٣) قابلية التصليد لمقطع من الفولاذ الكربوني و مقطع من الفولاذ السبائكي منخفض السبائكية وتوضح القابلية العالية للتصليد في الفولاذ السبائكي

### اختبار جومني لتقييم قابلية التصليد

يعد اختبار جومني لتسقية الطرف Jominy End-Quenching Test اختباراً قياسياً أقرته كل من الجمعية الأمريكية للاختبارات والمواد (ASTM)، وجمعية مهندسي السيارات (SAE)، والجمعية الأمريكية للحديد والفولاذ (AISI). ينفذ هذا الاختبار عن طريق تسخين عينة قياسية مستديرة المقطع من الفولاذ قطرها (1" = 25.4mm) وطولها (4" = 101.6mm) حتى الوصول إلى طور الأوستنيت (أعلى من درجة الحرارة الحرجة العليا). وتترك لفترة 20 دقيقة تقريباً ثم تنقل بعد ذلك إلى حامل خاص ويعرض طرف العينة لتيار مائي متدفق علماً بأن كلاً من قطر فتحة انبثاق الماء وبعد طرف العينة عن فتحة انبثاق الماء ودرجة حرارة الماء تابعة لمواصفات محددة . شكل (٦ - ٢٤) يوضح شكل عينة جومني وأهم مواصفات الاختبار القياسية .



شكل (٦ - ٢٤) أهم مواصفات اختبار جومني القياسية

### الأدوات والأجهزة المستخدمة

- ١ - عينة جومني من الصلب الكربوني 1025 .
- ٢ - عينة جومني من الصلب الكربوني 1045 .
- ٣ - عينة جومني من الصلب السبائكي 4340 .
- ٤ - حامل خاص لاختبار جومني .
- ٥ - فرن كهربائي خاص للمعالجات الحرارية .
- ٦ - ملقط خاص للعينات الدائرية المقطع .
- ٧ - قفازات .
- ٨ - مقياس درجة الحرارة ذو مجس Thermocouple thermometer .
- ٩ - مسطرة صلب + فرجار علام .
- ١٠ - جهاز قياس الصلادة بطريقة ركويل C (HRC) .

### خطوات العمل

- ١ - تحدد درجة الحرارة المناسبة للتسخين لكل عينة وذلك بإضافة  $(30 - 50) ^\circ C$  فوق درجة الحرارة الحرجة العليا وذلك لضمان الوصول إلى طور الأوستنيت .
- ٢ - تشغيل الفرن وضبطه على درجة حرارة التسخين .
- ٣ - عند وصول درجة حرارة الفرن لدرجة حرارة التسخين اللازمة واستقرارها يتم التأكد منها بواسطة مقياس درجة الحرارة ذي المجس Thermocouple thermometer .
- ٤ - توضع العينة داخل الفرن بواسطة الملقط ويتم انتظار فترة التسخين اللازمة .
- ٥ - بعد انتهاء فترة التسخين تخرج العينة من الفرن بواسطة الملقط وتثبت بسرعة على حامل اختبار جومني مع مراعاة أن تتم هذه الخطوة بسرعة وحذر شديدين .
- ٦ - بعد تثبيت العينة على الحامل مباشرة يفتح تيار الماء .
- ٧ - بعد تمام عملية التبريد و وصول العينة إلى درجة حرارة الغرفة يتم تجليخ سطحين مستويين ومتوازيين بعمق 0.4 mm على طول العينة .
- ٨ - بواسطة أدوات العلام يتم وضع علامات بسيطة لأماكن قياس الصلادة لمسافة 50 mm من طرف التسقية كالتالي:

- أ - توضع علامات من بداية طرف التسقية حتى الوصول للمسافة 13 mm حيث توضع علامة كل 1.6 mm .
- ب - بعد الوصول للمسافة 13 mm توضع علامات كل 3.2 mm لمسافة 37 mm .
- ٩ - تؤخذ قراءات اختبار الصلادة بطريقة ركويل C على السطحين وتسجل القيم ثم تحسب القيمة المتوسطة لرقم الصلادة (HRC).
- ١٠ - ترسم العلاقة بين المسافة من طرف التسقية و متوسط رقم ركويل للصلادة (HRC) .

## الحسابات والنتائج:

رقم العينة : نوع الصلب :				رقم العينة : نوع الصلب :				رقم العينة : نوع الصلب :			
HRC	HRC <sub>2</sub>	HRC <sub>1</sub>	المسافة	HRC	HRC <sub>2</sub>	HRC <sub>1</sub>	المسافة	HRC	HRC <sub>2</sub>	HRC <sub>1</sub>	المسافة
			1.6				1.6				1.6
			3.2				3.2				3.2
			4.8				4.8				4.8
			6.4				6.4				6.4
			8				8				8
			9.6				9.6				9.6
			11.2				11.2				11.2
			12.8				12.8				12.8
			16				16				16
			19.2				19.2				19.2
			22.4				22.4				22.4
			25.6				25.6				25.6
			28.8				28.8				28.8
			32				32				32
			35.2				35.2				35.2
			38.4				38.4				38.4
			41.6				41.6				41.6
			44.8				44.8				44.8
			48				48				48
			51.2				51.2				51.2

## التجربة التاسعة

### التآكل

#### الهدف من التجربة

دراسة تأثير الكاثود والانود على معدل التآكل في المعادن .

#### مقدمة نظرية

التآكل الكيميائي Corrosion هو التلف الناشئ في المعادن بسبب المؤثرات الكيميائية أو الكهرو كيميائية . ويحدث التآكل الكهرو كيميائي عندما تتعرض بعض المواد المعدنية للإلكتروليت ( محلول كهربائي ) . والإلكتروليتات هي سوائل موصلة كهر بائية مثل رطوبة الهواء والماء المذيب لحمض أو ملح . تسلك المعادن سلوكاً مختلفاً عن بعضها البعض عند تعرضها للإلكتروليتات .

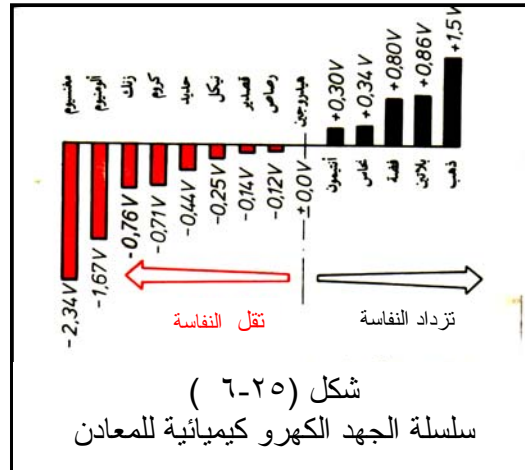
#### مثال ١ :

تتحلل صفيحة من الزنك عند غمسها في حامض الكبريتيك المخفف (إلكتروليت) ، وتخرج أيونات الزنك الموجبة إلى المحلول . و تسلك معادن أخرى مثل المغنسيوم والألمونيوم والحديد والرصاص سلوكاً مناظراً لسلوك الزنك .

#### مثال ٢ :

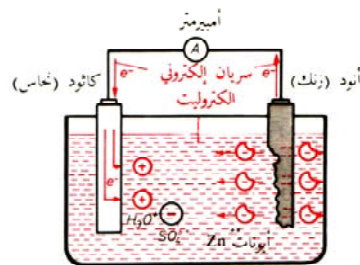
لا تظهر على النحاس عند وجوده في حامض الكبريتيك المخفف (الكتروليت) ظواهر تحلل . للفضة والبلاتين والذهب سلوك مناظر لسلوك النحاس ، السبب في اختلاف سلوك المعادن عند تعرضها للإلكتروليتات هو أنه لكل معدن موجود في الكتروليت ضغط استذابة معين يدفعه إلى إعطاء أيونات

المعدن وتعرف المعادن ذات ضغط الاستذابة المرتفع بأنها معادن غير نفيسة كهروكيميائياً (الزنك و المغنسيوم والألمونيوم والحديد) أما المعادن ذات ضغط الاستذابة المنخفض فتعرف بالمعادن النفيسة كهروكيميائياً مثل ( النحاس و البلاتين والذهب ) . شكل ( ٦ - ٢٥ ) يوضح سلسلة الجهد الكهرو كيميائية :



### الخلية الجلفانية

عند غمس صفيحتين من النحاس والزنك في حامض الكبريتيك المخفف ، يمر تيار كهربائي عند توصيل المعدنين من طرفيهما خارج المحلول بموصل . وتكون هذه الترتيبة مصدراً للجهد الكهربائي (خلية جلفانية) شكل (٦ - ٢٦) ، وفيها يتحلل الزنك لأنه أقل نفاسة من النحاس . يصبح المعدن الأكثر نفاسة القطب الموجب (الكاثود) ، والمعدن غير النفيس القطب السالب (الأنود) ، وتزداد قيمة الجهد الكهربائي الناتج كما يزداد معدل تحلل المعدن الأقل نفاسة كلما ازداد تباعد المعدنين في سلسلة الجهد الكهرو كيميائية .



شكل ( 6-26 ) الخلية الجلفانية

### قياس معدل التآكل

تعد طريقة النقص في الوزن من أكثر الطرق شيوعاً ( والتي سوف تستخدم في تجربتنا) حيث تتلخص هذه الطريقة في تنظيف شريحة من المادة المراد إجراء الاختبار عليها ثم وزنها قبل تعريضها للوسط الآكل ، ومن ثم وزنها بعد تعريضها للوسط الآكل لفترة زمنية معلومة أما الفرق في الوزن فهو عبارة عن مقدار المادة المتآكلة عبر المساحة السطحية للعينة خلال الفترة الزمنية المحددة . ويمكن تحديد معدل التآكل من المعادلة التالية :

$$R = K \frac{W}{ATD}$$

- حيث R معدل التآكل (معدل اختراق التآكل) مم لكل سنة .  
 T الزمن لأقرب جزء من المائة من الساعة .  
 W فاقد الوزن بالمليجرام .  
 A المساحة السطحية لأقرب واحد من المائة من السنتمتر المربع .  
 K مقدار ثابت = ٨٧,٦ .  
 D كثافة المادة بالجرام لكل سم مكعب.

### الأدوات والأجهزة المستخدمة

- ١ - عدد ٥ عينات أسطوانية الشكل من صلب st37 أبعادها  
 $\Phi 15 \times 8 \text{ mm}$  . عدد ٤ عينات أسطوانية الشكل من النحاس الأحمر أبعادها  
 $\Phi 55 \times 8 \text{ mm}$   
 $\Phi 45 \times 8 \text{ mm}$   
 $\Phi 25 \times 8 \text{ mm}$   
 $\Phi 15 \times 8 \text{ mm}$
- ٢ - مخبر مدرج ١٠٠٠ ml لتحديد كمية الماء .
- ٣ - ميزان حساس بحساسية ٠,٠٠١ gm .
- ٤ - ورق صنفرة بدرجات نعومة متفاوتة (١٨٠- ٢٨٠- ٤٠٠- ٦٠٠) لصنفرة أسطح التلامس .
- ٥ - خمس أوعية زجاجية تستخدم لحفظ قطع الاختبار في الوسط المراد وضع العينات داخله .
- ٦ - ماء + ملح (كلوريد الصوديوم) وذلك لتكوين نسبة ماء البحر .

### خطوات العمل

- ١ - وزن عينات الصلب St 37 وتدوين الأوزان في جدول الحسابات.
- ٢ - حساب المساحة السطحية للجزء المعرض للتآكل للعينات الصغيرة .
- ٣ - صنفرة أسطح عينات النحاس والحديد بالتدرج حسب مراحل الصنفرة .
- ٤ - خلط الماء مع الملح بالنسب التالية :  
 5 جرام ملح + ١٠٠٠ مل ماء .



- ٥ - توضع عينة من عينات الصلب St 37 في إناء لوحدها .
- ٦ - توضع عينات النحاس الأحمر في بقية الأوعية .
- ٧ - توضع بقية عينات الصلب فوق عينات النحاس الأحمر حيث تكون كل عينة صلب فوق عينة من عينات النحاس الأحمر مع مراعاة أن تكون في المنتصف .
- ٨ - يتم إضافة الماء المالح ( السائل الالكتروليتي ) إلى الأوعية الزجاجية مع مراعاة عدم تحريك العينات والتأكد من أن الماء قد غمر جميع القطع.
- ٩ - تغطى الأوعية و ترقم الأوعية ويتم تدوين الرقم في ورقة خارجية ووضع معلومات كل وعاء وتاريخ وضع الوعاء .
- ١٠ - تترك العينات لمدة ثلاثة أسابيع .
- ١١ - بعد انتهاء الفترة الزمنية المحددة توزن عينات الصلب ويحسب معدل التآكل .

## النتائج والحسابات

٥	٤	٣	٢	١	وصف العينة
عينة st37	عينة st37	عينة st37	عينة st37	عينة st37	
					الوزن قبل التعرض للأليكتروليت W1
					الوزن بعد ثلاثة أسابيع W2
					فاقد الوزن لعينة الصلب W= W1- W2
					النسبة المساحية $\frac{A1}{A2}$
					معدل التآكل = يحسب من العلاقة مم لكل سنة

$$\frac{A1}{A2} = \text{النسبة المساحية}$$

. حيث  $A1 =$  المساحة المعرضة للتآكل في عينة النحاس بوحدة  $\text{mm}^2$  .

.  $A2 =$  المساحة المعرضة للتآكل في عينة الصلب بوحدة  $\text{mm}^2$  .

$$\pi \times (D^2 - d^2) / 4 + \pi \times D \times L = A1$$

$$\pi \times d^2 / 4 + \pi \times d \times l = A2$$

حيث  $D =$  قطر عينة النحاس

$d =$  قطر عينة الصلب

$L =$  ارتفاع عينة النحاس

$l =$  ارتفاع عينة الصلب

ملاحظة : تستخدم هذه القوانين في وجود النحاس وعند عدم وجوده تحسب مساحة النحاس بصفر وعليه فإن النسبة المساحية في هذه الحالة تكون صفراً .

ترسم العلاقة بين النسبة المساحية كمحور س ومعدل التآكل كمحور ص على ورق رسم بياني .

## الخلاصة

يعرف علم المواد بأنه العلم الذي يهتم بدراسة العلاقة بين بنية المادة وخواصها. تتدرج مقاييس بنية المادة من الذرة إلى العيوب في بنية المادة إلى الأطوار والحببيات .

بنية الذرة هامة جداً في تحديد خواص المادة خصوصاً التوزيع الإلكتروني وبالتحديد إلكترونات المدار الأخير والتي تعرف باسم إلكترونات التكافؤ. هذه الإلكترونات تحدد نوعية الترابط بين الذرة أو الذرات المكونة للمادة وبالتالي الكثير من الخواص فالمواد أساساً تصنف على أساس طريقة الترابط وقد أوضحنا ذلك في الوحدة الأولى.

عيوب البنية للمادة تتمثل في عيوب على مستوى مقياس الذرة وهي العيوب النقطية وعيوب على مقياس أكبر من ذلك وهي العيوب الخطية والسطحية. يمكن استخدام هذه العيوب في التحكم في خواص المواد خصوصاً الخواص الميكانيكية ، عن طريق الآتي :

- 1) استغلال ظاهرة الانتشار ، الناجمة عن العيوب النقطية ، للتحكم في تدرج الخواص للمادة.
- 2) التحكم في الخواص الميكانيكية عن طريق التحكم في العيوب الخطية (الانخلاعات) من ناحية سهولة حركتها وكثافتها.
- 3) التحكم في الخواص عن طريق التحكم في العيوب السطحية ويأتي ذلك عن طريق التحكم في حجم الحبيبات. أوضحنا ذلك في الوحدة الثانية من هذه الحقيبة.

الخليط من ذرات عناصر مختلفة وبكميات متفاوتة ، بما يعرف باسم السبائك ، ينشأ عنه أطوار مختلفة تؤثر على خواص المادة تأثيراً كبيراً وبالتالي فإنه يمكن التحكم في خواص المادة عن طريق التحكم في عناصر الخلط والنسبة الكمية لهذه العناصر. وقد أوضحنا ذلك في الوحدة الثالثة.

عمليات التبريد والتسخين هي أحد العوامل الهامة التي تؤثر في عيوب بنية المادة وأطوار السبائك وبالتالي على خواص المادة. تعتمد هذه العمليات على درجة حرارة التسخين ومعدلات التبريد وتسمى المعالجات الحرارية وقد أوضحنا هذه العمليات في الوحدة الرابعة.

تتعرض المواد لتفاعلات مع الأجواء المحيطة بها مما يعرضها لأضرار. من أخطر هذه الأضرار التآكل الكهروكيميائي الذي يحدث للمعادن. تعتمد خطورة هذا التآكل على نشاط المعدن الذي يعتمد على توزيع الإلكترونات في الذرة ونوع الوسط المحيط وبعض العوامل الأخرى. فهم آلية هذا التآكل وأضراره وطرق الوقاية منه هو من الموضوعات الهامة في علم المواد وقد أوضحنا ذلك في الوحدة الخامسة.

ملحق 1

إجابات اختبار معلوماتك

الوحدة الأولى

(1) ج

(2) ج

(3) ج

(4) أ

(5) أ

(6) د

(7) د

(8) ب

(9) أ

(10) أ

(11) د

(12) ب

(13) ج

(14) د

(15) ج

الوحدة الثانية

(1) ج

(2) ب

(3) د

(4) د

(5) ج

(6) أ

(7) ج

(8) د

**الوحدة الثالثة**

(1) د

(2) د

(3) أ

(4) ب

(5) ج

(6) أ

(7) أ

(8) ب

(9) ب

(10) أ

(11) أ

**الوحدة الرابعة**

(1) أ

(2) د

(3) ج

(4) ب

(5) ب

(6) أ

(7) ب

(8) ج

(9) د

(10) ب

(11) ب

(12) ب

الوحدة الخامسة

(1) ب

(2) د

(3) ج

(4) ب

(5) ج

(6) أ

(7) د

(8) ج

(9) ج

(10) ج

(11) د

## ملحق (2)

## الكلمات والمصطلحات الهامة في الحقيبة

المعنى بالإنجليزية	الكلمة بالعربية
Thermal equilibrium	اتزان حراري
Internal stresses	إجهادات داخلية
Miller indices	إحداثيات ميلر
Jominy test	اختبار جومني
Reduction	اختزال
Mounting	إسناد
Oxidation	أكسدة
Electron	إلكترون
Valence electrons	إلكترونات التكافؤ
aluminum	ألومنيوم
Dislocation	انخلاع
Edge dislocation	انخلاع حاي في
Planes slipping	انزلاق المستويات
Melting	انصهار
Anode	أنود
Anion	أنيون
Quenching media	أوساط التقسية
Austenite	أوستنيت
ion	أيون
Pearlite	برليت
Proton	بروتون
Pretectoid	بريتكتويد
prectectic	بريتكتيك
Electric battery	بطارية كهربية



Crystals	بلورات
Bainite	بنيت
Steel microstructure	بنية الفولاذ الدقيقة
Crystalline structure	بنية بلورية
Lattice structure	بنية تشابكية
Microstructure	بنية دقيقة
Polymers	بوليمرات
Corrosion	تآكل
Electro-chemical corrosion	تآكل كهروكيميائي
Solidification	تجمد
Phase transformation	تحول الأطوار
Annealing	تخمير (تلدين)
Stress relief annealing	تخمير إزالة الإجهادات
Full annealing	تخمير تام
Gear	ترس
Thermocouple thermometer	ترمومتر بمزدوج حراري ذي مجس
Deformation	تشكيل
Cold working	تشكيل على البارد
Hot working	تشكيل على الساخن
Hardening	تصليد
Case hardening	تصليد مغلف
Tempering	تطبيع (مراجعة)
Quenching	تقسية (تبريد فجائي)
Magnification	تكبير
Twinning	توأمة
Molecule	جزيء
Polar potential	جهد قطبي

Grain	حببية
Grain size	حجم الحبيبات
Grain boundaries	حدود حبيبات
Iron	حديد
Cast iron	حديد زهر
Dislocation motion	حركة انخلاع
Cathodic protection	حماية كاثودية
Ceramics	خزفيات
Galvanic cells	خلايا جلفانية
Unit cell	خلية وحيدة
Mixture	خليط
Recrystallization temperature	درجة حرارة إعادة التبلور
Substitutional atoms	ذرات إبدالية
Foreign atoms	ذرات غريبة
Interstitial atoms	ذرات مقحمة
Atom	ذرة
Solubility	ذوبان
Ionic bond	رابطة أيونية
Covalent bond	رابطة تساهمية
Metallic bond	رابطة فلزية
Lead	رصاص
Atomic bonds	روابط الذرية
Secondary bonds	روابط ثانوية
Zinc	زنك (خارصين)
Stop watch	ساعة إيقاف
Ferrous alloys	سبائك حديدية
Nonferrous alloys	سبائك لا حديدية

Alloy	سبيكة
Ternary alloy	سبيكة ثلاثية
Binary alloy	سبيكة ثنائية
Impurities	شوائب
Hardness	صلادة
Steel	صلب
Hypo eutectoid steel	صلب دون اليوتيكتيدي
Hyper eutectoid steel	صلب فوق اليوتيكتيدي
Photo-micrograph	صورة مجهرية (ميكروسكوبية)
paint	طلاء
Organic paint	طلاء عضوي
electroplating	طلاء كهربائي
Nonmetallic non-organic paint	طلاء لامعدني لا عضوي
Phase	طور
Diffusion phenomena	ظاهرة الانتشار
Family of directions	عائلة المتجهات
Family of planes	عائلة المستويات
Coordination number	عدد تنسقي
Atomic number	عدد ذري
Actual number of atoms	عدد فعلي للذرات
Objective lens	عدسة شبيئية
Eyepiece	عدسة عينية
Machining processes	عمليات التشغيل
Forming processes	عمليات التشكيل
Crystallization process	عملية التبلور
Line defects	عيوب خطية
Surface defects	عيوب سطحية

Point defects	عيوب نقطية
Microscopic inspection	فحص مجهري
Vacancy	فراغ
Metals	فلزات
Tool steel	فولاذ العدة الكربوني
Mild steel	فولاذ طري
High carbon steel	فولاذ عالي الكربوني
Carbon steel	فولاذ كربوني
Medium carbon steel	فولاذ متوسط الكربون
Low carbon steel	فولاذ منخفض الكربون
hardenability	قابلية التصليد
Brittleness	قصافة
Hot shortness	قصافة حرارية
Tin	قصدير
Brittle	قصفة
Tension force	قوة الشد
Electromotive force	قوة دافعة كهربية
Standard electromotive force	قوة دافعة كهربية معيارية
Cation	كاتيون
Cathode	كاثود
Atomic density	كثافة ذرية
Atomic density for directions	كثافة ذرية للمتجهات
Atomic density for planes	كثافة ذرية للمستويات
Solid spheres	كرات مصمّمة
Gas carburizing	كربنة غازية
plasticity	لدونة
Sacrificial material	مادة مضحية

Martensite	مارتنزيت
Toughness	متانة
Crystalline directions	متجهات بلورية
Microscope	مجهر
Etching solution	محلول إظهار
Electrolyte	محلول إلكتروليتي
Diagram	مخطط
Phase diagram	مخطط تزان الحراري
orbital	مدار
Crystalline planes	مستويات بلورية
Ductile	مطيلة
Normalizing	معادلة
Heat treatment	معالجة حرارية
Atomic packing factor	معامل الازدحام الذري
Corrosion rate	معدل التآكل
Cooling rate	معدل تبريد
Cooling curves	منحنيات التبريد
Engineering materials	مواد هندسية
Mole	مول
Red copper	نحاس أحمر
Brass	نحاس أصفر
Atomic radius	نصف قطر الذرة
Crystalline system	نظام بلوري
Isotope	نظير
Melting point	نقطة الانصهار
Freezing point	نقطة التجمد
Pure	نقي

Nucleus	نواة
Nickel	نيكل
Atomic mass unit	وحدة الكتلة الذرية
Atomic weight	وزن ذري
Eutectoid	يوتيكرويد
Eutectic	يوتيكتيك

## ملحق (3)

## إرشادات للمدرب

هناك بعض الإرشادات الهامة والتي قد يكون لها التأثير في زيادة كفاءة تدريس هذه الحقيبة وهي

كالتالي:

أ) الوحدة الأولى تحتاج إلى بعض الرياضيات الأساسية وقد يكون من المفيد مراجعة هذه الأساسيات قبل بداية هذه الوحدة وهي بالتحديد كالتالي:

- مساحة المثلث عموماً ثم مساحة المثلث متساوي الأضلاع ومنه نستنتج مساحة الشكل السداسي المنتظم.
- نظرية فيثاغورس.
- مساحة المربع والمستطيل والدائرة.
- حجم الكرة والمنشور.
- دراسة المكعب من حيث حجمه وعدد رؤوسه وعدد أضلاعه وطول القطر ووتر الوجه بدلالة طول ضلعه .
- ارتفاع الهرم الثلاثي المنتظم بدلالة طول الضلع.
- ب) الوحدة الثانية مباشرة ولا يوجد عليها ملاحظات.
- ج) في الوحدة الثالثة ، يجب التركيز على مفهوم الطور ومخططات الاتزان الحراري مع إعطاء أمثلة في الفصل وأمثلة أخرى في المنزل كواجب.
- د) يجب التركيز في الوحدة الرابعة على مخطط ال TTT واستنتاج مفهوم التحكم في الخواص الميكانيكية عن طريق التحكم في مسارات التبريد مع التركيز على بعض الأمثلة لمخطط ال TTT للصلب الـيوتيكويدي. أما بالنسبة لعمليات المراجعة والتخمير والتصليد والمعادلة ، فإنه يمكن المرور عليها باختصار لأنها تدرس في المعمل بالتفصيل .
- هـ) يجب عند بداية الوحدة الخامسة المراجعة على بعض التعاريف من الوحدة الأولى التي تخص هذه الوحدة.
- و) يجب التنسيق بين مدرب النظري ومدرب العملي بحيث تكمل المعلومات النظرية والعملية بعضها البعض .

ز) تجربة النسبة المساحية للتآكل قد تبدأ قبل تدريسها نظرياً ولذلك فإنه يجب التنسيق بين مدرّب النظري ومدرّب العملي لإعطاء القدر الأدنى والفعال عن مفهوم التآكل الكهروكيميائي في الجزء العملي .

ح) هذه الحقيبة تحتوي على كثير من الأشكال والمخططات وبالتالي فإن استخدام الشفافيّات قد يكون مفيداً في كثير من الأحيان.



## المراجع العربية

- ١- د. الدهشان ، محمد عز . الحديد والفولاذ: المعالجات الحرارية . جامعة الملك سعود النشر العلمي والمطابع ، ١٤٢٠ ، ١٩٩٩ م.
- ٢- د. الدهشان ، محمد عز . الحديد والفولاذ: الاتزان الحراري والسيائك . جامعة الملك سعود النشر العلمي والمطابع ، ١٤٢٠ ، ١٩٩٩ م.
- ٣- د. الدهشان ، محمد عز . الحديد والفولاذ: السيائك الخاصة . جامعة الملك سعود النشر العلمي والمطابع ، ١٤٢٠ ، ١٩٩٩ م.
- ٤ - د. شريف عبد المنعم حسين . دراسة تأثير الإجهادات الداخلية و المعاملات الحرارية ومساحة الكاثود والانود على عملية التآكل . مشروع تخرج كمتطلب للحصول على درجة البكالوريوس. الكلية التقنية بالرياض ، ١٤١٧ - ١٤١٨ .
- ٥ - د. الصباغ ، أحمد سالم . المتالورجيا الفزيائية (الفلزات). عالم الكتب ، القاهرة .
- ٦ - س، إ ، بلكمان . التقسية تجهيز وتشغيل . دار شبرنجر فيرلاج للنشر، برلين، الطبعة العربية مؤسسة الأهرام القاهرة، ١٩٧٩ م.
- ٧ - إ، كاوتسور . الفلزات تحت المجهر : مقدمة في علم التركيب الميتالورجيا في . دار شبرنجر فيرلاج للنشر، برلين، الطبعة العربية مؤسسة الأهرام القاهرة، ١٩٧٩ م.

## المراجع الاجنبية

- 1) Al-Khtib, Ahmad Sh., “Scientific & Technical terms-English/Arabic”, libraire du Liban, 1993.
- 2) Althouse, Andrew D., Turnquist, Carl H., Bowditch, William A. and Bowditch, Kevin E., “Modern Welding”, The Good Heart-willcox company, 1997.
- 3) Callister, William D., “Materials Science and Engineering an introduction”, John Wiley& sons, 2000.
- 4) Keyser, Carl A., ”Materials Science in Engineering”, Charles E. Merrill Publishing Co., 1986.
- 5) Smith, William F., “Materials Science and Engineering”, Mc Graw-Hill, 1993.
- 6) Thornton, Peter A., Colangelo, Vito J., “ Fundamentals of Engineering Materials”, Prentice-Hall, 1995.

## الفهرس

١	الوحدة الأولى: البنية البلورية
١	الأهداف
١	الوقت المتوقع للتدريب
١	المتطلبات السابقة
٢	مقدمة
٢	1-1 الذرة
٢	1-1-1 العدد الذرى
٢	1-1-2 الوزن الذرى
٢	1-1-3 النظائر
٢	1-1-4 المدارات
٤	1-1-5 إلكترونات التكافؤ
٥	1-1-6 قاعدة الثمانية
٥	1-1-7 الأيون
٦	2-1 الروابط الذرية في المواد الصلبة
٦	1-2-1 الرابطة الأيونية
٦	2-2-1 الرابطة التساهمية
٨	1-2-2-1 الجزيء
٨	3-2-1 الرابطة الفلزية (المعدنية)
٩	4-2-1 الروابط الثانوية
٩	3-1 المواد الهندسية
١٠	1-3-1 الفلزات
١٠	2-3-1 البوليمرات
١٠	3-3-1 الخزفيات
١١	4-1 الخلية الوحيدة
١٢	1-4-1 النظام المكعبي مركزي الجسم BCC

١٣	1-1-4-1 العدد التنسيقي
١٣	2-1-4-1 العدد الفعلي للذرات في الخلية
١٣	3-1-4-1 العلاقة بين أبعاد الخلية و نصف قطر الذرة
١٤	4-1-4-1 معامل الازدحام الذري (APF)
١٥	2-4-1 النظام المكعبي مركزي الوجه FCC
١٦	3-4-1 النظام السداسي المزدحم HCP
١٨	5-1 المستويات والمتجهات البلورية
١٩	1-5-1 المتجهات البلورية في النظام المكعبي
١٩	1-1-5-1 قراءة المتجهات من خلية
٢٠	2-1-5-1 رسم متجه
٢١	2-5-1 المستويات البلورية في النظام المكعبي
٢١	1-2-5-1 قراءة المستويات من خلية
٢٢	2-2-5-1 رسم مستوى
٢٣	6-1 الكثافة الذرية للمتجهات و المستويات
٢٣	1-6-1 الكثافة الذرية للمتجهات
٢٤	2-6-1 الكثافة الذرية للمستويات
٢٥	7-1 عائلة المتجهات والمستويات في النظام المكعبي
٢٥	1-7-1 عائلة المتجهات
٢٥	2-7-1 عائلة المستويات
٢٦	ملخص الوحدة الأولى
٢٧	اختبر معلوماتك
٣١	الوحدة الثانية: العيوب في المواد الصلبة
٣١	الأهداف
٣١	الوقت المتوقع للتدريب
٣١	المتطلبات السابقة
٣٢	مقدمة
٣٢	1-2 العيوب النقطية

٣٢	1-1-2 الفراغات
٣٢	2-1-2 الذرات المقحمة الذاتية
٣٣	3-1-2 الذرات الغريبة
٣٣	2-2 ظاهرة الانتشار
٣٤	1-2-2 تطبيق عملي على ظاهرة الانتشار
٣٥	3-2 العيوب السطحية
٣٦	1-3-2 الخواص في الاتجاهات المختلفة
٣٦	4-2 العيوب الخطية
٣٧	1-4-2 اللدونة و حركة الانخلاعات
٣٩	2-4-2 بعض العوامل التي تؤثر في حركة الانخلاعات
٣٩	1-2-4-2 حجم الحبيبات
٣٩	2-2-4-2 التشكيل على البارد
٣٩	3-2-4-2 إضافة ذرات غريبة
٣٩	4-2-4-2 عمليات التخمير
٤٠	5-2 التوأمة
٤١	ملخص الوحدة الثانية
٤٢	اختبر معلوماتك
٤٤	الوحدة الثالثة: السبائك المعدنية ومخططات الاتزان الحراري
٤٤	الأهداف
٤٤	الوقت المتوقع للتدريب
٤٤	المتطلبات السابقة
٤٥	مقدمه
٤٥	1-3 الذوبان
٤٦	2-3 الطور
٤٦	3-3 مخططات الاتزان الحراري
٤٧	1-3-3 منحنيات التبريد و مخطط الاتزان الحراري
٤٨	2-3-3 قاعدة الخط الأفقي

٥٠	3-3-3 مخطط اتزان حراري لمادتين تامتي الذوبان في الحالة السائلة و محدودتي الذوبان في الحالة المتجمدة
٥٦	4-3 مخطط الاتزان الحراري للحديد والكربون
٥٨	5-3 سبائك الحديد والكربون
٥٨	6-3 البنية الدقيقة للصلب
٥٨	1-6-3 التركيب اليوتيكويدي
٦٠	2-6-3 التركيب تحت اليوتيكويدي
٦١	3-6-3 التركيب فوق اليوتيكويدي
٦٢	ملخص الوحدة الثالثة
٦٣	اختبر معلوماتك
٦٦	الوحدة الرابعة: المعالجات الحرارية
٦٦	الأهداف
٦٦	الوقت المتوقع للتدريب
٦٦	المتطلبات السابقة
٦٧	مقدمة
٦٧	1-4 تحول الأطوار
٧٢	2-4 البرليت
٧٢	3-4 البنيت
٧٣	4-4 المارتنزيت
٧٣	5-4 التخثير
٧٣	1-5-4 التخثير تحت الحرج
٧٣	2-5-4 التخثير التام
٧٤	6-4 المعادلة
٧٤	7-4 التصليد
٧٥	8-4 المراجعة
٧٥	9-4 السبائك اللاحديدية
٧٥	1-9-4 سبائك النحاس

٧٦	1-1-9-4 التخمير لسبائك النحاس
٧٦	2-9-4 سبائك الألومنيوم
٧٦	2-9-1-4 التخمير لسبائك الألومنيوم
٧٧	ملخص الوحدة الرابعة
٧٨	اختبر معلوماتك
٨١	الوحدة الخامسة:التآكل
٨١	الأهداف
٨١	الوقت المتوقع للتدريب
٨١	المتطلبات السابقة
٨٢	مقدمة
٨٣	1-5 الاختزال والأكسدة
٨٣	2-5 المول
٨٣	3-5 المحلول الإلكتروليتي
٨٤	4-5 الجهد القطبي
٨٥	5-5 الخلايا الجلفانية
٨٨	6-5 القوة الدافعة الكهربائية المعيارية
٩٠	7-5 حساب معدل التآكل
٩٢	8-5 طرق تجنب التآكل للمعادن
٩٢	1-8-5 الطلاء
٩٢	1-1-8-5 الطلاء المعدني
٩٢	2-1-8-5 الطلاء اللامعدني اللاعضوي
٩٢	3-1-8-5 الطلاء العضوي
٩٢	2-8-5 الحماية الكاثودية
٩٤	ملخص الوحدة الخامسة
٩٥	اختبر معلوماتك
٩٨	الخلاصة
٩٩	الوحدة السادسة التدريب العملي

٩٩	التجربة الأولى تجهيز عينة للفحص المجهرى
١٠٨	التجربة الثانية إسناد عينات الفحص المجهرى
١١٢	التجربة الثالثة رسم منحى التبريد لمعدن نقي
١١٧	التجربة الرابعة رسم منحيات التبريد لمجموعة من سبائك الرصاص والقصدير
١٢٧	التجربة الخامسة التعرف على أنواع و مكونات بنية الصلب الكربونى عن طريق الفحص المجهرى
١٣٩	تجارب المعالجات الحرارية للصلب
١٤١	التجربة السادسة عملية التصليد و عملية التطبيع
١٤٧	التجربة السابعة عملية التخمير (التلدين) و عملية المعادلة
١٥٢	التجربة الثامنة اختبار جومنى لتقدير قابلية التصليد فى الصلب
١٥٧	التجربة التاسعة التآكل
١٦٤	ملحق (1) إجابات اختبار معلوماتك
١٦٧	ملحق (2) الكلمات والمصطلحات الهامة فى الحقيقة
١٧٤	ملحق(3) إرشادات للمدرب
١٧٦	المراجع



تقدر المؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني الدعم

المالي المقدم من شركة بي آيه إي سيستمز (العمليات) المحدودة

GOTEVOT appreciates the financial support provided by BAE SYSTEMS

**BAE SYSTEMS**