وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
كلية الرافدين الجامعة
قسم هندسة التكييف والتبريد

قسم هندسة التكييف والتبريد
المرحلة الاولى
مواد هندسية
الجزء الثالث
البناء البلوري والشبكات "
"البلورية للمعادن

اعداد
د. ماهر فارس

الفصل الثاني

البناء البلوري والشبكات البلورية للمعادن

2.1 تتكون جميع الاجسام من ذرات فالاجسام ذات وضع ذري منتظم وبالتالي بلوري منتظم وتسمى حينئذ مواد بلورية مثل المعادن.والمواد التي يكون فيها وضع الذرات عشوائيا ودون نظام معين وبالتالي نظام بلوري غير متظم تسمى حينئذ بالمواد اللابلورية مثل الزجاج والشمع والسيراميك حيث ان جميع خواصها الطبيعية في جميع الاتجاهات واحدة.

وتتصف المعادن (المواد البلورية) بأنها انعكاس للبناء البلوري او الذري وتتحدد هذه الصفات بخواص العناصر الداخلة بها وبأشكال تجمع الذرات بها .

ان للبناء الذري للمعادن مهما كانت طريقة استخلاصها او تشكيلها ذات بناء بلوري ثابت المعالم وبما ان ذرات الاجسام البلورية عامة (ذرات المعادن على وجه الخصوص) توجد في مستويات و اوضاع فراغية مضبوطة (منتظمة) تماما لذا فأن هذه الذرات تكون فيما بينها ما يعرف بالشبكة البلورية الفراغية.

وتتكون الذرة عادة من :

أ. النواة (Nucleus) : وهي ذات موقع مركزي وذات شحنة موجبة وتعرف بعددها الذري وهي المسؤلة عن معظم كتلة الذرة.

ب. الالكترونات (Electrons): حيث تحمل شحنات سالبة تكون عدد الالكترونات مساوية لعدد الشحنات الموجبة الكلية الموجودة في النواة لتكون الذرة متعادلة ولكن عندما يقل عدد الالكترونات لأي سبب كان فأن الذرة تكون ذات شحنة موجبة لتلغي عدد الشحنات الموجبة على عدد الشحنات السالبة (الالكترونات) وبالعكس فعند اكتساب الذرة الكترونات اخرى يكون عدد الالكترونات (الشحنات السالبة) اكثر من عدد الشحنات الموجبة وبذلك تكون الذرة ذات شحنة سالبة

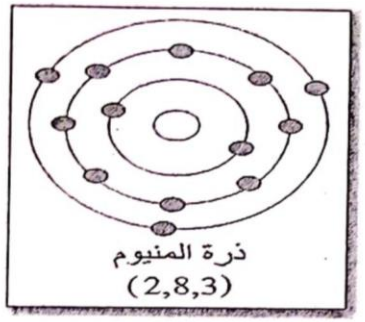
مثال :

ذرة الالمينيوم تحتوي على (13) الكترون موزع على مدارات ثلاثة حول النواة حيث

(2) الكترون في المدار الاول

(8) الكترون في المدار الثاني

(3) الكترون في المدار الثالث



وتكون هذه الذرة متعادلة لأحتوائها (13) الكترون و (13) شحنة موجبة ذاخل النواة وتسمى الالكترونات في المدار الخارجي بالكترونات التكافؤ.

وكما ذكرنا فأن الذرة تفقد او تكتسب الكترونات فعند فقدانها الكترون او اكثر تكون الشحنة للذرة موجبة وعند اكتسابها تكون شحنة الذرة سالبة ويتم ذلك من خلال التفاعلات الكيميائية. وعموما فأن:

الفلزات تميل الى فقدان اللاكترونات مكونة ايونات موجبة بينما.

اللافلزات تميل الى كسب الكترونات مكونة ايونات سالبة .

فمثلا ذرة الصوديم ذات البنية الالكترونية (2,8,1) تستطيع فقدان الكترونات تكافؤها لتكوين ايون الصوديوم الموجب (Na^+) اما ذرة الكلور ذات البنية الالكترونية (2,8,7) فأنها تستطيع استيعاب الكترون واحد في مدارها الخارجي لتكوين ايون الكلور السالب (CL^-) ذو شحنة كلية سالبة واحدة.

2.2 الترابطات في المعادن

يمكن تصنيف انواع الترابطات في المعادن في المواد الهندسية على النحو التالي :

أ. الترابط الايوني (Ionic Bond):

ترتبط البلورات مع بعضها بواسطة قوى التجاذب الالكتروستاتيكي بين الايونات الموجبة والسالبة وتكون هذه الترابطات قوية جدا والبلورات من هذا النوع تكون قوية وذات درجة انصهار عالية

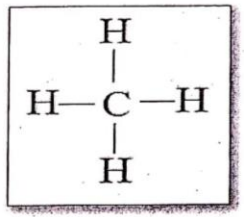
مثال :

بلورات كلوريد الصوديوم (NaCL) يكون الترابط بين ايونات الصوديوم الموجبة وايونات الكلور السالبة

$$Na^{+} + CL^{-} \longrightarrow Na^{+}CL^{-}$$

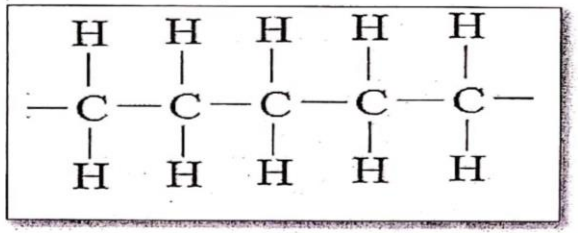
ب. الترابط المشترك (Covalent Bond):

يتكون من زوج من الالكترونات المشتركة بين الذرات المتجاورة فمثلا ذرة الكاربون تحتوي على اربعة الكترونات تكافؤ وذرة الهيدروجين تحتوي على الكترون تكافؤ واحد فأن ذرة الكاربون تتحد مع اربع ذرات من الهيدروجين لتكون ما مجموعه ثمانية الكترونات تكافؤ يحدث هذا عند تكون مركب الميثان (CH_4) وكما يلي :

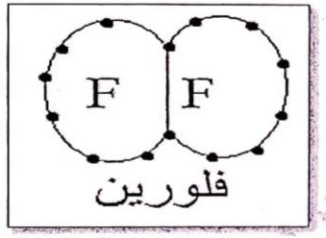


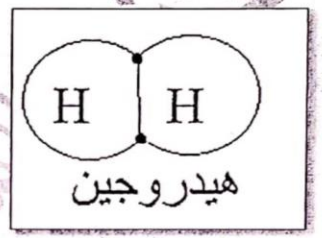
حيث تمثل كل اصرة من الاواصر زوجا من الالكترونات المشتركة اي الكترون من الكاربون واخر من الهيدروجين

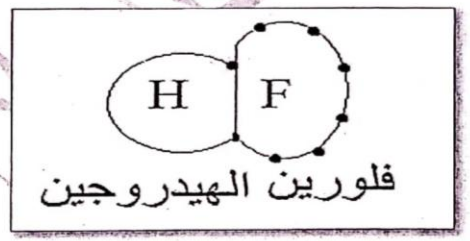
ان الترابطات المشتركة تربط الذرات مع بعضها في جزيئات البوليمرات الطويلة السلسلة (Long Chain Polymer's) مثل البولي اثيلين $(CH_2)_n$ وكما يلي :



امثلة اخرى :





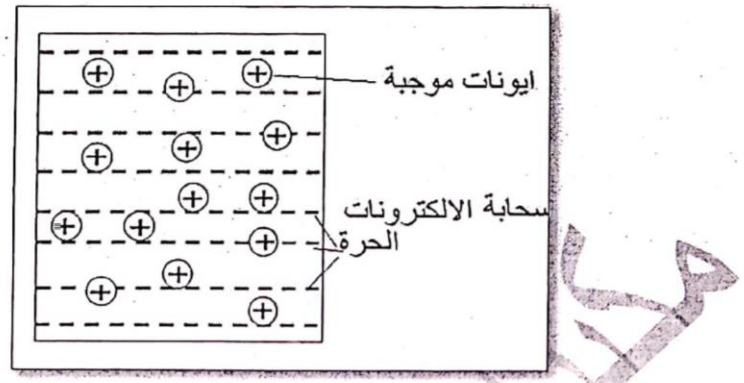


ج. قوى فان درفال (Van der Waals Forces):

هذه القوى سطحية وضعيفة وتوجد عادة بين جزيئات البوليمرات الطويلة السلسلة وقوى التجاذب تنتج (بين الجزيئات) من تقاربها مع بعضها وليس منن ترابط كيمياني ولذلك بالامكان انزلاق الجزيئات فوق بعضها البعض بسهولة كما هو الحال في المواد اللدنة (المطاط مثلا)

د. الترابط المعدني (Metallic Bond):

تتكون البلورات المعدنية من ايونات موجبة موزعة بأنتظام على شكل بنية شبكية مغمورة في سحابة من الالكترونات الحرة كما مبين بالشكل التالي :



ان هذه الاكترونات غير مرتبطة بأي ايون معين من ايونات المعدن ولكنها تتحرك بسرعة خلال المعدن بطريقة تحافظ على كثافة متجانسة تقريبا .

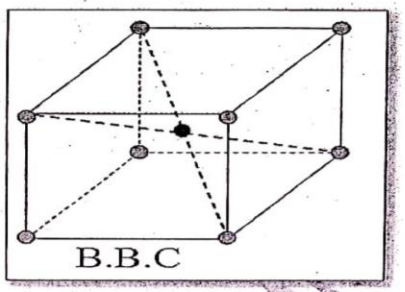
ان الارتباط في البلورة المعدنية هو نتيجة قوى التجاذب الالكتروستاتيكي بين السحابة الالكترونية والايونات الموجبة . ان كثير من خواص المعادن تعزى الى الحركة الحرة للاكترونات خلال الشبكة ومن هذه الخواص مثلا :

جودة التوصيل للحرارة والكهربائية ، خاصية التشوه اللدن (Plastic deformation) والتي تتميز بها المعادن اي في حال انكسار اي ارتباط بين ايونين يتشكل حالا ارتباط اخر وهذا يبرر، خواص المطيلية (Ductility)، وقابلية الانضغاط في المعادن ، ونظرا لكون الالكترونات الحرة في المعادن تمتص الطاقة الضوئية فأن جميع المعادن تمنع نفاذ الضوء من خلالها.

2.3 انواع الشبكات البلورية

2.3.1 مكعب مركزي الجسم (Body Central Cubic (B.C.C)):

وهو عبارة عن مكعب عدد ذراته (9) ، ثمانية منها تقع في اركان المكعب وذرة واحدة في المركز (تقاطع قطري المكعب) والمعادن التي لها شبكة بلورية من هذا النوع هي :



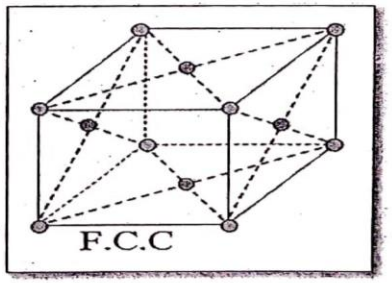
الليثيوم ، الصوديوم ، البوتاسيوم ، الفاناديوم ، النيونيوم ، المولبديوم . حيث تكون اطوال ضلع المكعب مختلف من معدن الى اخر وهذا يعطي اختلاف في الخواص فمنها ذات ضلع قصير (تكون بلورة قوية) ومنها ذات ضلع طويل (تكون بلورة ضعيفة) وبالتالي معدن اقوى من معدن اخر استنادا لهذا السبب.

2.3.2مكعب مركزي الاوجه (Face Central Cubic (F.C.C))

وتمثل على شكل مكعب عدد ذرات الاركان (8) ذرات و (6) في مراكز الاوجه الستة بحيث يكون المجموع (14) ذرة والمعادن التي لها شبكات بلورية من هذا النوع هي :

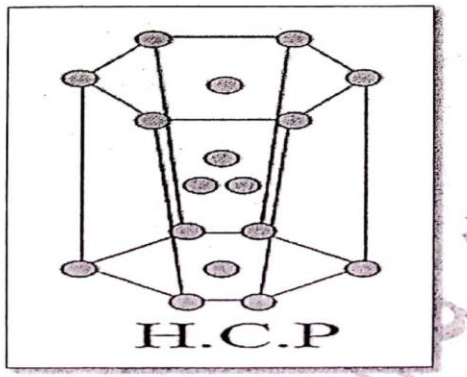
الالمينيوم، الكالسيوم، الحديد، النيكل، النحاس، البلاديوم، الفضة، البلاتين، الذهب ، الرصاص

وتختلف فيما بينها بطول اضلاعها وهذا يميز بعضها عن بعض في الخواص



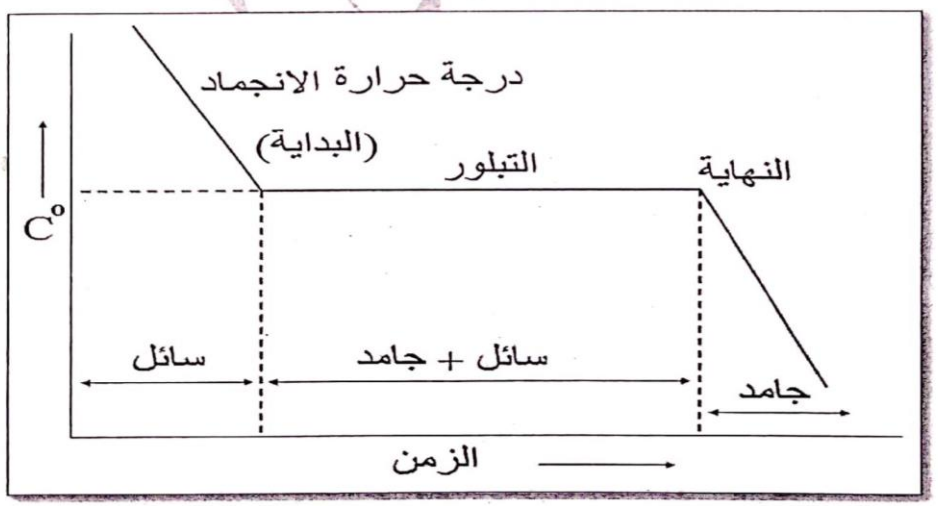
2.3.3 شبكة بلورية سداسية متراصة (Hexagonal Closed Packed (H.C.P))

يكون عدد الذرات في الاركان (12) ذرة و (2) ذرة في القاعدتين العليا والسفلى و (3) في مركز الشبكة مثل الخارصين والمغنيسيوم



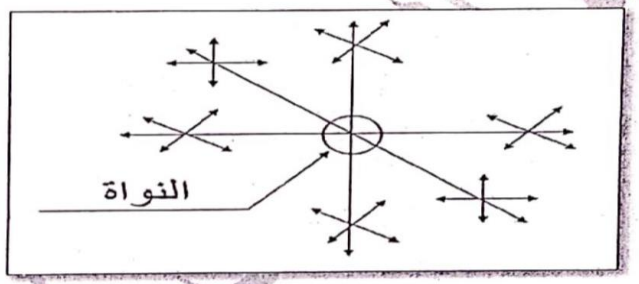
2.4 تبلور المعادن

عند صهر معدن نقي واسقاط درجات الحرارة خلال فترات زمنية مختلفة اثناء التبريد نحصل على منحني التبريد لهذا المعدن . ان الجزء الافقي من هذا المنحني هو نتيجة لتحرر الحرارة الكامنة عند درجة الانجماد وامتصاصها من قبل المعدن



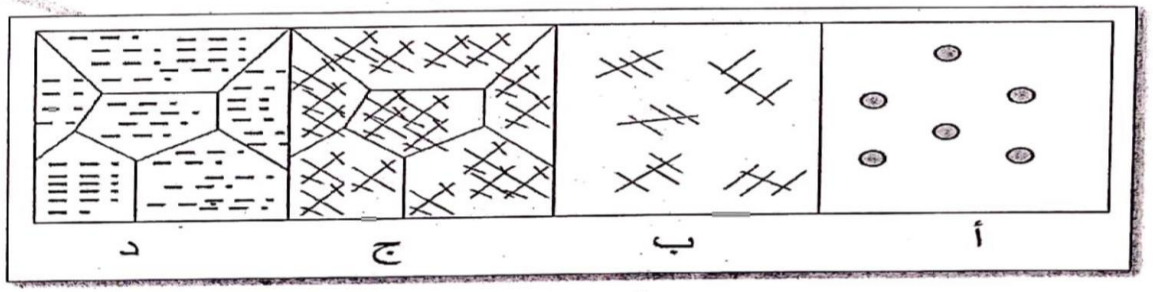
اي ان فقدان الحرارة بالتبريد تعوضه الحرارة الكامنة للتبلور . يحدث التبلور عند درجة حرارة اقل من درجة حرارة الانصهار وهذا الفرق في درجات الحرارة يعرف بدرجة التبريد المتجاوز ، وتسمى ظاهرة التبريد المتجاوز للمعدن وان درجة الحرارة الكامنة للتجميد تظهر فجأة من المعدن عند البدء بالتبلور مما ينتج ارتفاع فجائي لدرجة حرارة المعدن . وتعتمد درجة تجاوز التبريد على سرعة التبريد فكلما كان التبريد اسرع كلما كان التجاوز كبير.

ان عملية الانجماد او التبلور(Solidification or Crystallization) تبدأ بتكوين نويات (Nucleus) صغيرة تنتشر بصورة عشوائية في السائل المبرد وتتكون هذه النويات من عدد قليل من الذرات تترتب بصورة منتظمة تأخذ شكل هندسي معين مثل بنية وحدة المكعب ثم تبدأ بالنمو في الاتجاهات الثلاثة كما مبين بالشكل ادناه ومن ثم يبدأ النمو الثانوي من الاذرع الرئيسية للبلورة حتى يتشكل هيكل البلورة والذي يعرف بالدندرايت (Dendrite) اي البلورة الشجيرية.



طريقة تبلور المعادن حول النواة

من خلال الفحص المجهري لمعدن نقي يظهر لنا بنية حبيبية (Grains) مضلعة وتكون هذه الحبيبات من النواة يتم النمو الشجيري كما موضح في الشكل التالي :



تشكل الحبيبات بواسطة النمو الشجيري

(أ) : تكوين النواة في السائل المبرد

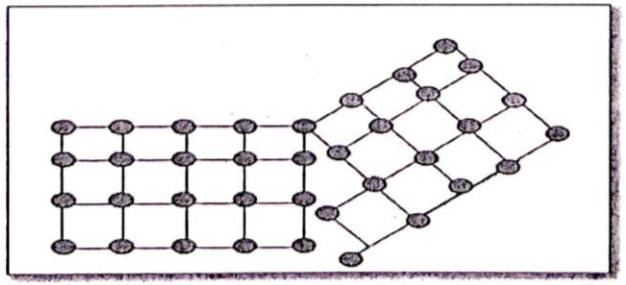
(ب) : البلورات الشجيرية تنمو منطلقة من النواة

(ج) : تلاقي اذرع البلورات الشجيرية وتوقف النمو نحو الخارج . اسطح التماس تكون حدود الحبيبات

(د) : يتجمد السائل المتبقي بين اذرع البلورات الشجيرية مكونا حبيبات متجانسة لا اثر فيها للنمو الشجيري كل واحدة من هذه الحبيبات او البلورات (Crystals) تتكون من الاف من وحدات المكعبات وفي كل حبيبة تتجه محاور جميع المكعبات بنفس الاتجاه الا ان هذا الاتجاه يختلف من بلورة الى اخرى كما في الشكل ادناه وتعرف هذه الظاهرة بأتجاه الذرات

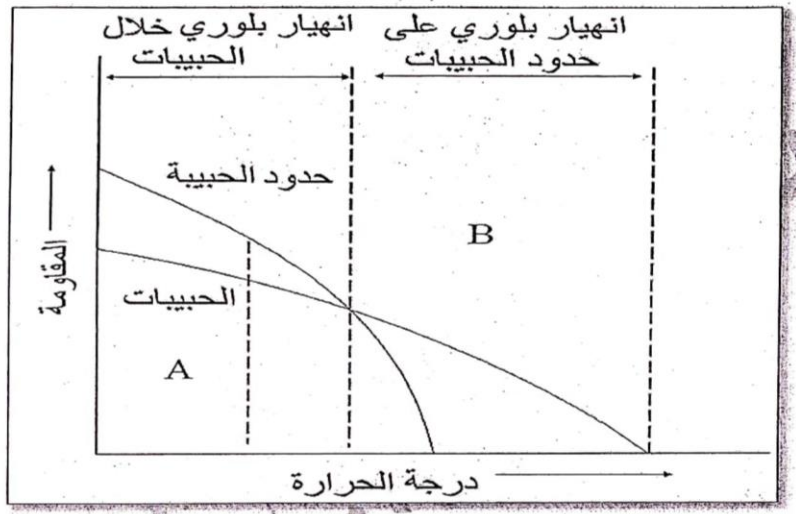
2.5 حدود الحبيبات

نتيجة لاختلاف اتجاه الذرات بين حبيبة واخرى فأن ذرات المعدن عند حدود الحبيبات لا تنتظم على شكل شبكة فراغية منتظمة كما مبين بالشكل ادناه. ويعتقد بوجود شبكة انتقالية على حدود الحبيبات تربط الشبكة المكعبة لحبيبة مع حبيبة اخرى ونظرا لاختلاف بنية حدود الحبيبات عن بنية الحبيبات نفسها فأن الخواص سوف تكون متباينة ايضا.



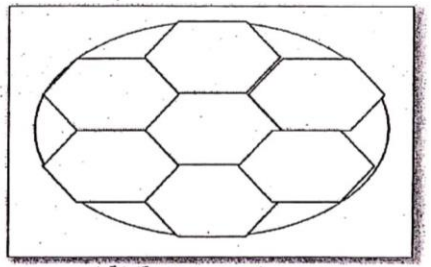
مخطط يبين التوزيع المنتظم للذرات في حبيبتين متجاورتين واختلاف التوزيع في مناطق حدود الحبيبات

والشكل ادناه يبين لنا بأن عند زيادة الحرارة الواطئة نسبيا تكون حدود الحبيبات اقوى من الحبيبات بينما تكون العكس عند درجات الحرارة المرتفعة حيث تكون حدود الحبيبات اضعف . وبناءا على هذا فأن البنية ذات الحبيبات الصغيرة تعطي مقاومة وصلادة اعلى في درجة حرارة الغرفة على عكس البنية ذات الحبيبات الكبيرة حيث تنفصل الاخيرة في درجات الحرارة العالية

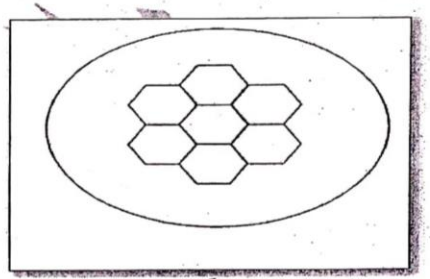


(A): الحرارة الواطئة تكون فيها حدود الحبيبات اقوى من الحبيبات.

(B): الحرارة المرتفعة تكون فيها حدود الحبيبات اضعف من الحبيبات.



حبيبات كبيرة . مساحات قليلة لحدود الحبيبات . مقاومة اقل

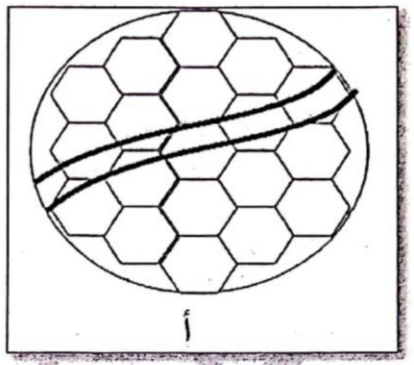


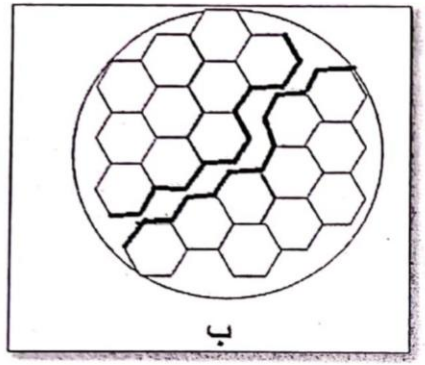
حبيبات صغيرة. مساحة كبيرة لحدود الحبيبات. مقاومة وصلادة اعلى في درجة حرارة الغرفة

مخطط

يوضح تغير مقاومة الحبيبات وحدود الحبيبات بتغير درجة الحرارة

لذلك فأن خواص المواد (المعادن) تتحدد الى حد كبير بكمية حدود الحبيبات. اي بحجم الحبيبات فلذلك من الضروري السيطرة على حجم الحبيبات عند اجراء عمليات التشكيل والمعاملات الحرارية للمعادن وسبائكها .





(أ): الكسر خلال الحبيبات

(ب): الكسر على حدود الحبيبات .

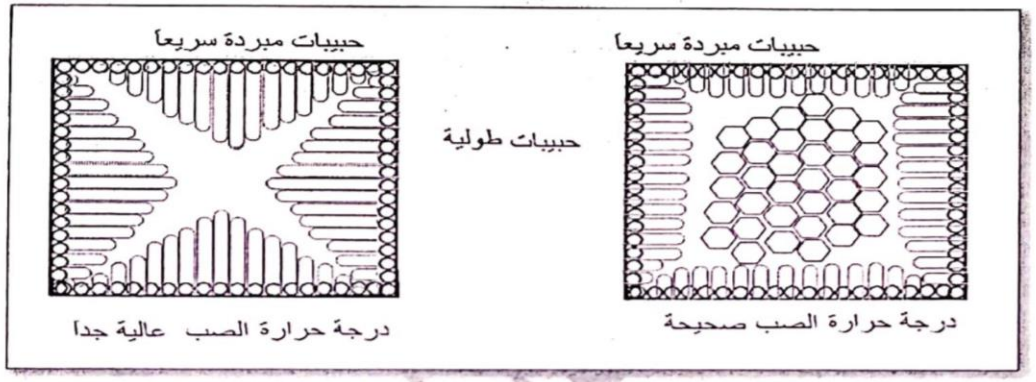
2.6 البنية البلورية للمسبوكات الاولية او الصبات

من المعتاد ان يصب المعدن المنصهر اما في قالب معدني (Metal Mold) او في قالب رملي (Sand Mold) ويكون معدل التبريد (Rate of Cooling) في القالب المعدني اعلى مما هو عليه في القالب الرملي فأن ذلك يزيد من عدد النويات المتكونة ونظرا لان كل نواة تكون حبيبة فنحصل في هذه الحالة على حجم حبيبي اصغر من ما هو موجود في القالب الرملي.

والعوامل التالية مهمة جدا في تحديد الحجم الحبيبي للمعادن المسبوكة :

أ. درجة حرارة الصب (Casting Temperature):

عندما يتلامس المعدن المنصهر السائل مع سطح القالب المعدني البارد سوف تتكون طبقة رقيقة من البلورات الدقيقة تدعى البلورات المبردة سريعا (Chill Crystals) ثم بعد ذلك يبدأ نمو حبيبات طولية في اتجاه مركز الصبة من كافة جوانبها وعندما تكون درجة حرارة الصب عالية جدا فأن هذه البلورات الطولية تلتقي مشكلة مستويات ضعيفة . اما اذا كانت درجات حرارة الصب صحيحة فأن السائل في مركز الصبة يتصلب مكونا حبيبات متساوية المحاور(Equal-axial crystals) قبل ان تلتقي الحبيبات الطولية.



تاثير درجة حرارة الصب على بنية الصبات

ب. سمك المقطع (Section Thickness)

تبرد المقاطع الرقيقة بسرعة اكبر مما يؤدي الى تكون حجم حبيبي صغير مقارنة مع المقاطع الاسمك من المسبوكات

ج. نقاوة المعدن (Purity of the metal)

كلما كان المعدن اكبر نقاوة كانت الحبيبات المتكونة اكبر .

ان بنية الصبات الحاوية على حبيبات نامية طوليا تكون ضعيفة نسبيا ولكن يمكن تصغيرها (Refining) وذلك بأجراء عمليات التشكيل عليها والتي تؤدي بدورها الى تحسين اكيد في الخواص الميكانيكية .

2.7 العيوب البلورية

هنالك عيوب مختلفة في التراتيب الذرية ولهذه العيوب اهمية كبيرة في تحديد خواص المواد وتشمل هذه العيوب

1. نقص في عدد الذرات (Missing Atoms) ضمن التركيب
2. ازاحة ذرات من محلها في الترتيب الذري للتركيب (Displaced Atoms)
3. وجود ذرات اضافية زائدة ضمن الشبكة المنتظمة

وهذه الانواع من العيوب تسمى بالخلل النقطي (Point Defects)

اما الخلل الخطي (Line Defects) فيكون على شكل حافة او عمود زائد من الذرات وكذلك ضمن الشبكة تكون الحدود البلورية (Boundaries) عيوبا وهذه تشمل :

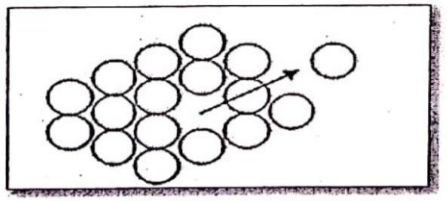
1. الحدود ما بين البلورات المتجاورة داخل المادة
2. الحدود الخارجية للبلورات

أ. الخلل النقطي (Point Defects)

ويشتمل على:

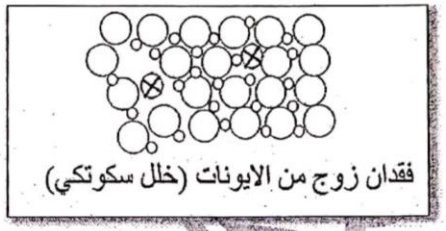
1. الخلوات (Vacancies):

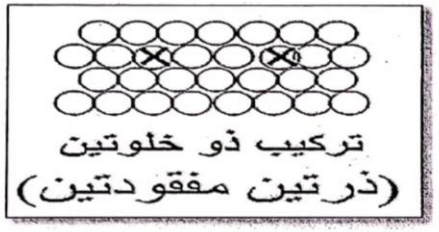
وهي ابسط انواع الخلل النقطي وهي عبارة عن ذرة مفقودة ضمن التركيب البلوري كما مبين بالشكل ويحدث هذا نتيجة خلل في الرص الذري اثناء عملية التبلور الاصلية للمادة او من جراء زيادة تذبذب الذرات في درجات الحرارة العالية الذي يزيد من احتمالية قفز الذرات من مواقعها ذات مستوى الطاقة الواطىء.



2. خلل سكوتكي (Defects of Schottky):

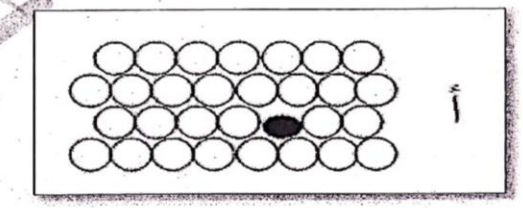
يشابه الخلوة ولكنه يظهر في المركبات التي يجب ان تحافظ على توازن الشحنات وتتكون من خلوات زوجية من ايونات مختلفة الشحنات

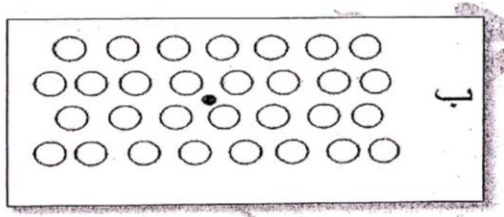




3. المواقع الافتحامية (Inter Stitialeies):

بعض الذرات قد تودع نفسها في مواقع الذرات الفراغية وخاصة في التراكيب ذات معامل الرص الواطىء وهذا الخلل يؤدي الى حدوث تشوه في التركيب الذري كما في الشكل (أ) ، الا اذا كانت الذرة المفتحمة اصغر من حجم الفراغ البيني بين الذرات في الشبكة البلورية كما في الشكل (ب)





4. خلل فرينكل (Freckle Defect):

وهذا يحدث عند انتقال احد الايونات من موقعه الاصلي الى موقع اخر

ملاحظة :

كلما كان التركيب البلوري ذو رص محكم يقل عدد الخلل المحتمل الوارد ذكره في الخلل النقطي

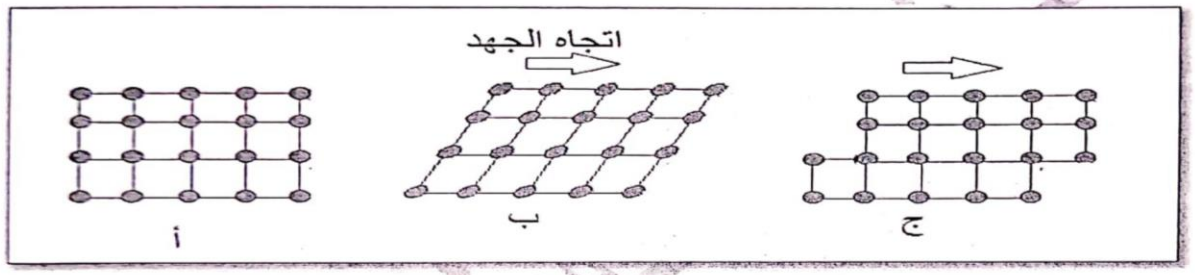
2.8 العيوب الخطية او الانخلاعات (Linear Defects or Dislocations)

الانخلاعات هي اهم العيوب في الشبكة البلورية التي تؤثر بصورة كبيرة على الخواص الميكانيكية للمادة حيث تضعف المقاومة تحت تأثير الاجهاد. وتشمل هذه العيوب على :

1. الانخلاعات الحدية (Edge Dislocations)
2. الانخلاعات اللولبية (Screw Dislocations)

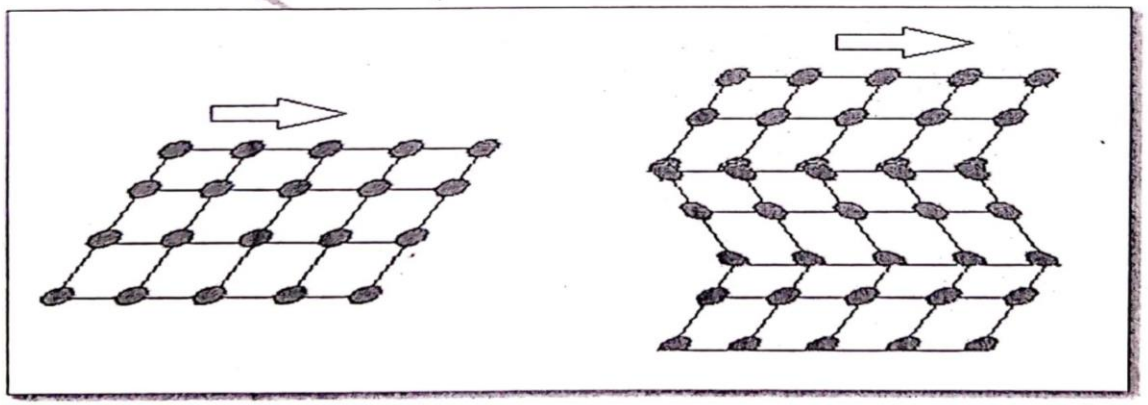
1. الانخلاعات الحدية

وهي تتكون عند تسليط قوة ما على تشكيل بلوري فينزلق مستوى من الذرات مسافة معينة (صغيرة جدا) ويمكن ان تكون مسافة ذرية واحدة



2. الانخلاعات اللولبية

وهي تحرك طبقات ذرية فوق بعضها البعض وتكون لها طاقة عالية ناتجة عن اجهاد القص



2.9 الحدود

وهي عيوب ذات اتجاهين (انخلاعات خطية ولولبية) وتمثل الحدود كل من سطح المادة الخارجي وحدود الحبيبات

1. السطوح

الذرات على السطح تكون لها ذرات مجاورة من جهة واحدة فقط لذا تكون لها طاقة اكبر من الذرات في داخل البلورة

2. حدود الحبيبات

تتكون الحبيبة من مجموعة من الذرات منسقة في اتجاه واحد الذي تمثله الخلية . وتكون الذرات على حدود الحبيبات غير متراصة (بين بلورتين) لذا تكون الذرات في هذه المناطق لها طاقة اكبر من الذرات التي في الداخل مما يتسبب في حركة الذرات داخل الجسم الصلب .

اسئلة الاسبوع:

ماهي انواع الترابطات في المعادن في المواد الهندسية؟ موضحا باختصار كل نوع مع الرسم.

ماهي انواع الشبكات البلورية؟ موضحا كل نوع مع الرسم.