مادة: تقنية مواد الفرقة الثانية
(تبريد – انتاج – محركات)

اعداد

أم.د/ معتز بالله حسن عطا

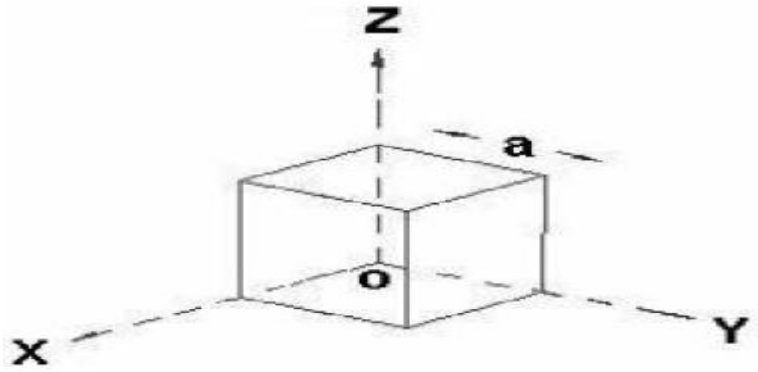
المحاضرة الأولى عن بعد

سنكمل ما تم شرحه من قبل فى حيث تم شرح الجزء الخاص ب (بنية المادة)

١-٧-١ المتجهات البللورية فى النظام المكعبى :

يمثل المتجه فى النظام المكعبى بثلاثة أرقام صحيحة بين قوسين مربعين ويعبر عن الأرقام السالبة الصحيحة بخط على أعلى الرقم مثال لذلك المتجه **[121]** والمتجه **[O1$\bar{1}$]** فى المتجه الأخير $\bar{1}$ معناه :

لقراءة أو رسم المتجه لا بد من تعيين نقطة أصل ورسم ثلاثة محاور منها فى اتجاه X, Y, Z كماه موضح بالشكل (١-١٤). تكون داشما الإتجاهات الموجبة للمحاور كما هو موضح بالشكل.



شكل (١-١٤)

١-١-٧-١ قراءة المتجهات من خلية :

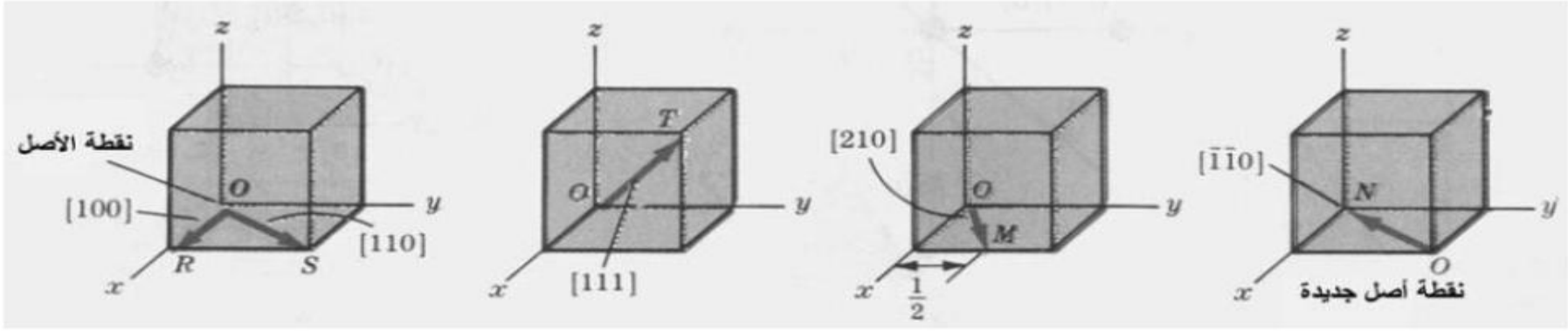
نتبع الخطوات التالية لقراءة متجه من خلية:

أ- يتم اختيار نقطة الأصل من أركان المكعب بحيث يمر بها المتجه مع الإحتفاظ باتجاهات المحاور كما بالشكل (١-١٤).

ب- نوجد اسقاط المتجه على ثلاثة محاور بدلالة طول ضلع الخلية (a).

ج- تضرب هذه الأرقام أو تقسم بمعامل مشترك لإختزالها لأصغر ثلاثة أرقام صحيحة.

د- توضع هذه الأرقام الصحيحة بين أقواس مربعة والشكل (١-١٥) يوضح بعض الأمثلة لذلك.



شكل (١-١٥)

١-٧-١-٢ رسم متجهات :

تتبع الخطوات التالية فى رسم المتجه:

أ- نرسم الخلية ونقطة الأصل والمحاور كما بالشكل (١-١٤) مع الأخذ فى الإعتبار أن الإتجاهات الموجبة للمحاور هى اتجاهات الأسهم مع تثبيت نقطة الأصل.

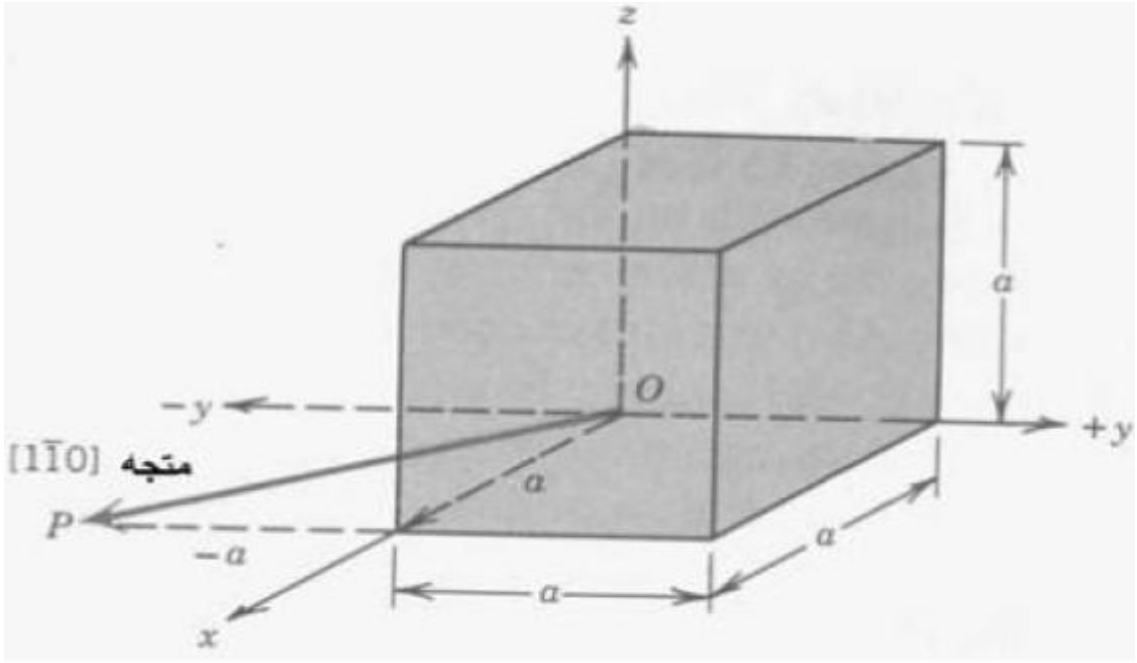
ب- إذا كان المتجه هو **[UVW]** ، نبدأ المسار من نقطة الأصل على محور X مسافة قدرها U من الوحدات (الوحدة هى a) فى اتجاه محور X إذا كانت U موجبة ، وفى عكس اتجاه محور X إذا كانت U سالبة. من النقطة الجديدة نبدأ التحرك مسافة **V** موازياً لمحور Y إذا كانت **V** موجبة وعكس اتجاه محور Y إذا

كانت **V** سالبة. من آخر نقطة نبدأ التحرك موازياً لمحور Z مسافة W إذا كانت W موجبة وفى عكس اتجاه محور Z إذا كانت W سالبة.

ج- نصل نقطة الأصل بآخر نقطة ويكون ذلك هو المتجه **[UVW]**.

د- قد يكون هذا المتجه خارج الخلية أى فى الخلية المجاورة وهو يعطى نفس المعنى لأن الخلايا هنا متماثلة.

ه- ومثال لذلك الشكل (١-١٦) الذى يوضح كيفية رسم متجه.



شكل (١-١٦)

١-٢-٧-١ قراءة المستويات من خلية:

تتبع الخطوات التالية لقراءة مستوى من خلية:

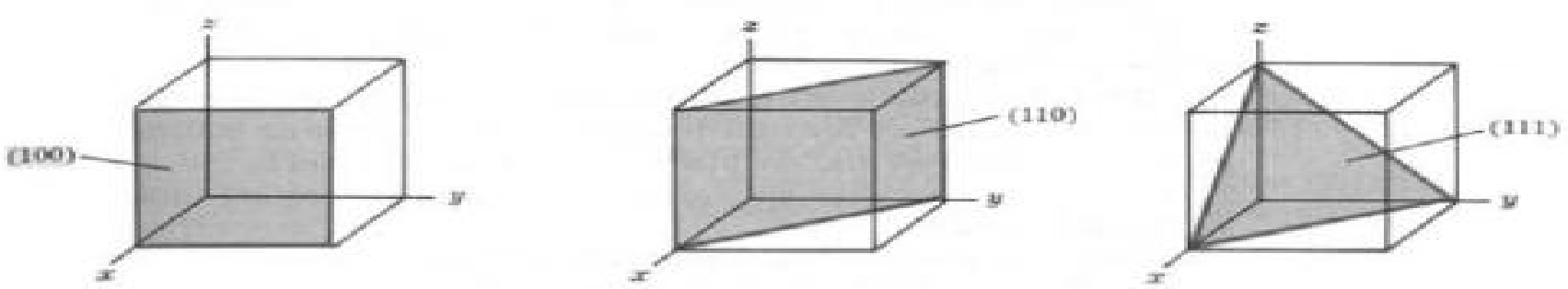
أ- إذا كان المستوى يمر بنقطة الأصل نختار نقطة أصل أخرى مع الإحتفاظ باتجاه المحاور.

ب- نوجد نقط التقاطع مع المحاور مع الأخذ فى الإعتبار:

- الإتجاهات السالبة والموجبة.
- التوازى بمعنى أنه إذا كان المحور موازياً للمستوى فإن نقطة التقاطع تكون فى مالا نهاية.

ج- نوجد مقلوب نقاط التقاطع مع معرفة أى مقلوب مالا نهاية هو الصفر.

د- نضع الأعداد الصحيحة فى قوسين دائريين (hkl) حيث h هو العدد المقابل للمحور X ، k هو العدد المقابل لمحور Y ، l هو العدد المقابل للمحور Z وأمثلة لكيفية تمثيل المستويات موضحة بالشكل (١-١٧).



شكل (١-١٧)

١-٧-٢-٣ رسم مستوى:

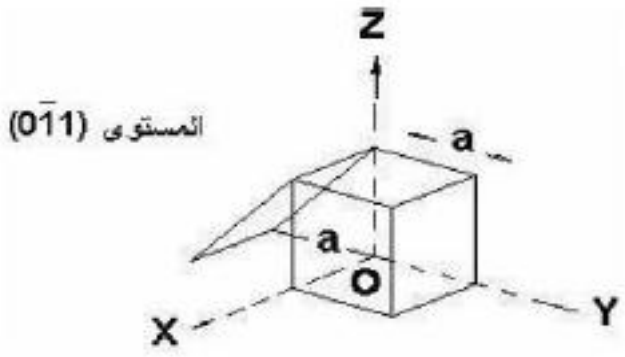
الخطوات التتبعة لرسم مستوى كالآتى:

أ- نرسم الخلية ونحدد نقطة الأصل والمحاور كما بالشكل (١-١٤) مع الأخذ فى الإعتبار أن الإتجاهات الموجبة للمحاور هى اتجاهات الأسهم مع تثبيت نقطة الأصل.

ب- إذا كان المستوى (hkl) نوجد مقلوب هذه الأرقام ثم نحدد النقاط على المحاور. نقطة على محور X تبعد عن نقطة الأصل بمقدار 1/h من الوحدات (a) وتكون فى اتجاه محور X إذا كانت القيمة موجبة ، وتكون عكس اتجاه حور X إذا كانت القيمة سالبة. بنفس الطريقة نحدد النقاط على محور Y والتى تبعد 1/k من الوحدات (a) عن نقطة الأصل على محور Z والتى تبعد 1/l من الوحدات (a) عن نقطة الأصل. ثم نصل الثلاث نقاط لنحصل على المستوى (hkl).

ج- إذا كان إحدى احداثيات ميلر يساوى صفراً ، نحدد النقطتين الأخريين ونصل بينهما ونرسم منهما موازيات للمحور المقابل للصفر.

د- إذا كان هناك احداثيتان يساوى كلاً منهما صفر نحدد النقطة الباقية ونرسم منها خطان يوازيان المحاور المقابلة للأصفار. والشكل (١-١٨) يوضح مثال لرسم المستوى.



شكل (١-١٨)

الباب الثانى

العيوب فى المواد الصلبة

علمنا مما سبق أن الفلزات تتبلور فى صورة خلايا بترتيب هندسى لمواقع الذرات وتكون الشبكة البللورية إلا أنه يندر عملياً أن توجد البللورات فى الحالة المثالية أى توجد ذرات الخلايا فى مواقعها المحددة لها بالتمام والكمال (البلورات المثالية) ودون اختلال فى أطوال أضلاع الخلايا (الشبكة البللورية).

وهذه الإختلالات تصيب عادة الشكل والأبعاد الهندسية للشبكة البللورية ، وتوجد الإختلالات فى الأحوال الآتية :

١ـ فى موقع أو نقطة (عيوب نقطية).

٢ـ على طول خط فى الشبكة (عيوب خطية).

٣ـ على مستوى أو مستويات فيها (عيوب سطحية).

٢-٢ العيوب النقطية:

هذه العيوب تنقسم إلى :

أـ الفراغات.

بـ الذرات المقحمة.

جـ الذرات الغريبة.

٢-٢-١ الفراغات Vacancies:

هى ببساطة عبارة عن أماكن كان يجب أن يكون فيها ذرات ولكنها فارغة لا يوجد بها ذرات كما يتضح من الشكل (٢-١). وتحدث هذه الفراغات فى المادة أثناء عملية تجميدها من المنصهر كنتيجة للإضطراب الموضعى أثناء نمو البللورات ، أو قد تنشأ الفراغات أثناء تحرك الذرات فى محاولة لإعادة تنظيم أوضاعها. وعادة لا تتجاوز كثافة هذه الفراغات فى الشبكة البللورية واحداً لكل عشرة آلاف ذرة. كما يمكن أن تنشا هذه

الفراغات أثناء التشكيل اللدن للفلزات (Plastic Deformation) أو بالتبريد السريع من درجات حرارة مرتفعة فتحبس هذه الفراغات فى مواقعها ، أو عند قذف المادة بجسيمات عالية الطاقة.

٢-٢-٢ الذرات المقحمة الذاتية Self-Interstitial :

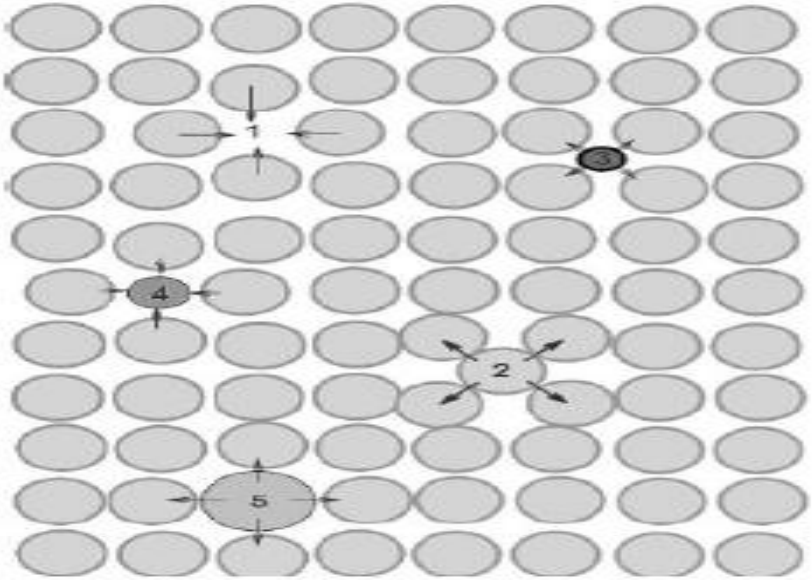
هى ذرات من نفس العنصر ولكنها لا توجد فى أماكنها الطبيعية بل توجد فى أماكن بينية غير نظامية كما يتضح من الشكل (٢-١).

٢-٢-٣ الشوائب المقحمة البينية Interstitial :

فى هذه الحالة تحتل شوائب أى ذرات من عناصر أخرى مواقع بينية للشبكة البللورية وتسمى عندئذ الشوائب البينية كما يتضح من الشكل (٢-١).

٢-٢-٤ الشوائب الإستبدالية Substitutional :

يمكن أن تحل الشوائب أيضاً محل أحد المواقع الشبكية للذرات الأساسية المكونة للمادة المضيفة كما يتضح من الشكل (٢-١).



شكل (٢-١) تمثيل العيوب النقطية المختلفة

١- فراغ.
٢- ذرة ذاتية.
٣- شائبة بينية.
٤- شائبة استبدالية.

تتضمن معظم الجوامد الطبيعية بما فيها المعادن النقية شوائب. تتكون هذه الشوائب بشكل طبيعى أو يكون زرعها مقصود لتغيير خواص فيزيائية معينة. الأمثلة على ذلك تضاف ذرات الكربون بكميات دقيقة إلى بللورات الحديد لجعله صلداً ومقاوماً للشد.
كما يضاف الفسفور أو البورون إلى بللورة السيليكون النقى لتغيير خواصها الكهربية.
كما تشهد أشباه الموصلات حالات ديناميكية تنتقل خلالها الذرات أو الأيونات من مواقعها النظامية داخل لاشبكة إلى مواقع أخرى فتترك ورائها فراغات تعرف بفراغات (شوتكى) كما بالشكل (٢-٢).
وهناك حالات أخرى تنتقل الذرات فيها من مواقعها الشبكية الطبيعية إلى مواقع بينية فى حيز ما بين الذرات فكلا الموقعين الفراغي والبينى يكونان عيباً واحداً يسمى عيب (فرنكل) كما بالشكل (٢-٢).

شكل (٢-٢)

عيب فرنكل فى شبيكة كلوريد الفضة
Frankel Defect

عيب شوتكى فى شبيكة كلوريد الصوديوم
Schottky Defect

٢-٢-٥ أهمية الإختلالات النقطية (العيوب النقطية) :

تؤدى هذه الإختلالات إلى تشويه انتظام باقى الذرات ، ومن ثم تشويه الشبكة مما يؤدى إلى انخلاع ما (Dislocation) سيأتى ذكره لاحقاً وها يجعل الشبكة غير متزنة. هذا الإضطراب فى أوضاع الذرات يحتم بالضرورة استخدام جهد مرتفع لدفع الانخلاع أمامه لعبور موقع الاختلال ، وهذا يعنى ارتفاع مقاومة المادة للإجهادات الميكانيكية.

٢-٣ العيوب الخطية (الإنخلاعات) Dislocations :

هذا العيب هام جداً حيث يعتبر من أهم العيوب تأثيراً على المعادن وتشكيلها. ولو لم توجد هذه العيوب لكان من الصعب جداً تشكيل المعادن ولترتب على ذلك عدم وجود كثيراً من الصناعات.

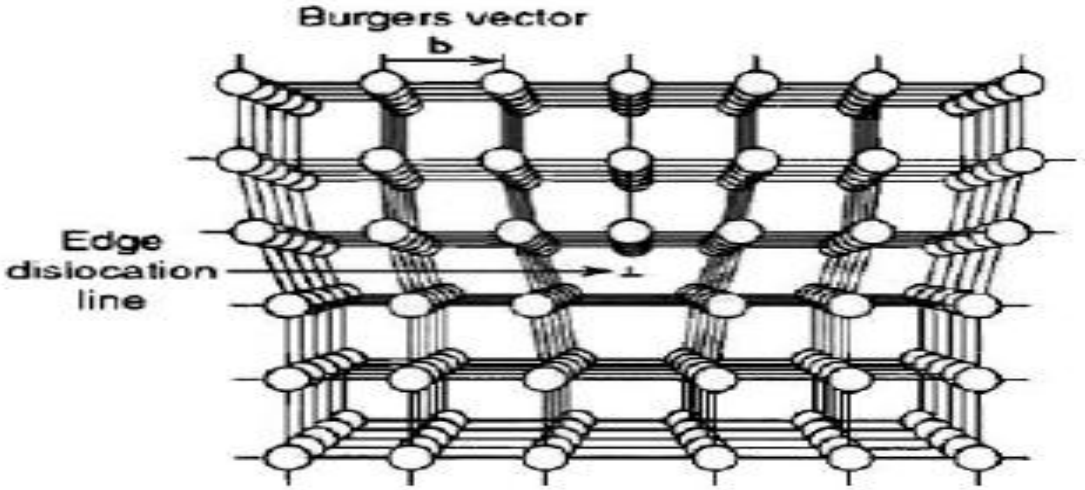
يعرف الإنخلاع بأنه عيب بللورى ينتج عنه تشوه لمواقع الذرات حول خط ى البللورة. وتنقسم الإنخلاعات إلى إنخلاع حافى وإنخلاع لولبى وقد يتواجد خليط من الإنخلاعين.

٢-٣-١ الإنخلاع الحافى Edge Dislocations :

هو عبارة عن مستوى مقحم من الذرات فى مكان بينى يعمل على ازاحة الذرات المجاورة ويرمز للانخلاع الحافى بالرمز ⊥ إذا كان المستوى المقحم إلى أعلى وبالرمز ⊤ إذا كان المستوى المقحم إلى أسفل وذلك كما يتضح بالشكل (٢-٣). ويطلق على المتجه الذى يحدد مقدار الازاحة اللازم لفلق عروة متدرجة حول العيب اسم متجه بيرجر(Burger Vector).

ويحدث نتيجة لهذا الإنخلاع تشويه للشبكة فى المنطقة المحيطة بخط الانخلاع فتصبح المسافات الذرية فوق خط الانخلاع متضاغطة بانفعال سالب أى تحت اجهاد ضغط ، بينما تكون تلك التى تحته متباعدة بانفعال موجب أى تحت اجهاد شد ، وهذا يبدو فى التقوس الضئيل (الانحناء) فى الخطوط الرأسية على جانبى المستوى النصفى للذرات.

وينخفض مقدار هذا التشويه كلما ابتعدنا عن خط الانخلاع بحيث تعود الشبكة إلى وضعها الطبيعى الغير مشوه فى المواقع البعيدة عن خط الانخلاع.

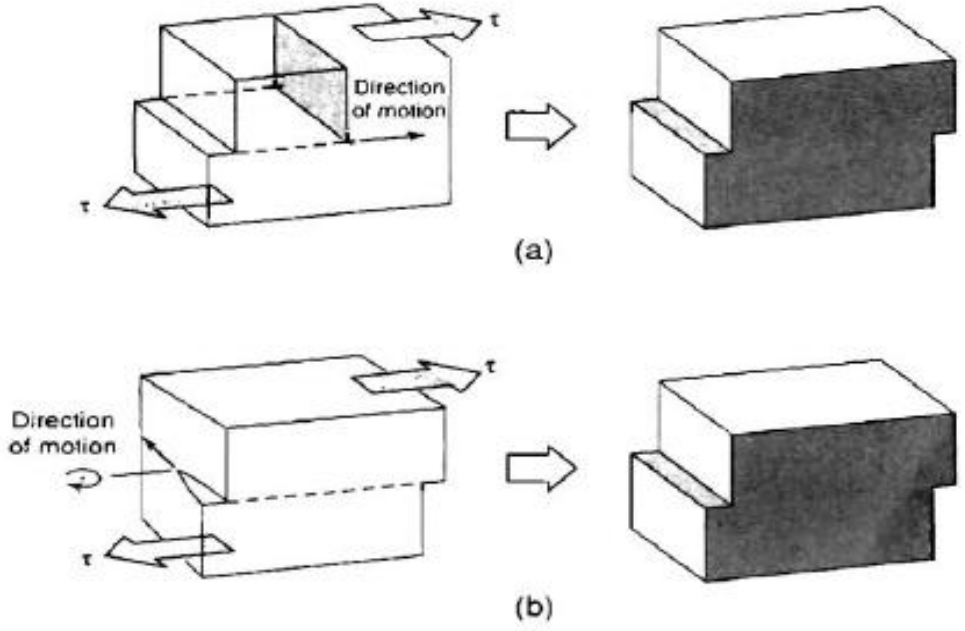


شكل (٢-٣)

٢-٣-٢ الإنخلاع اللولبى Screw Dislocations :

يشتق اسمه من السطح الذى تحدث فيه الازاحة ، إذ يتخذ شكلاً ملتوياً. تزاح شريحة من ذرات المستوى العلوى بالنسبة عن تلك الواقعة فى المستوى الأدنى بالابتعاد عن الحد الفاصل الذى يمثل محور الازاحة ، وهو صف من الذرات يتحرك بشكل مستمر على سطح لولبى. وعلى النقيض من انخلاع الحافة يمكنن للانخلاع اللولبى التحرك فى أى اتجاه بلورى ، لأن الانخلاع الحافى لا يمكنه التحرك إلا فى مستوى انزلاقه.

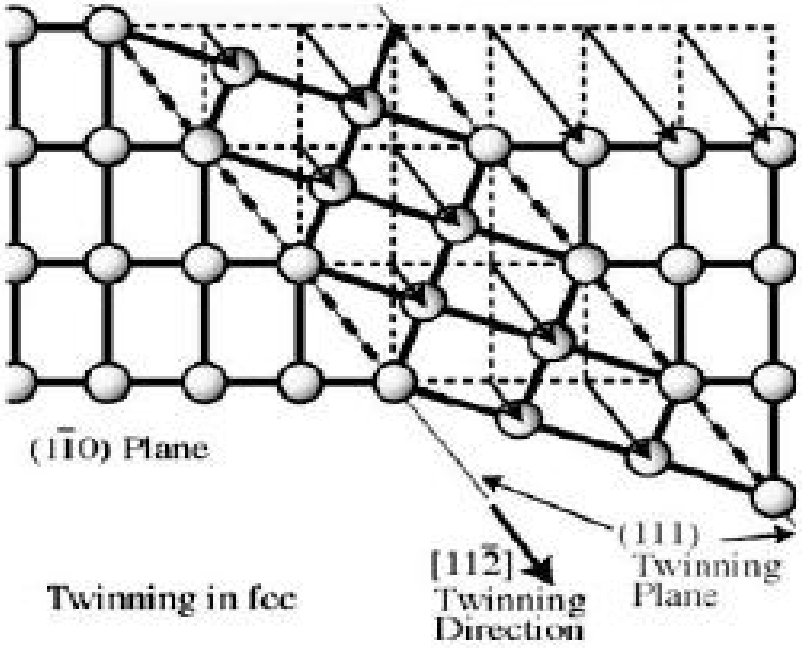
والشكل (٢-٤) يبين الفرق بين الانخلاع الخطى والانخلاع اللولبى.



شكل (٢-٤)

٢-٤ العيوب السطحية :

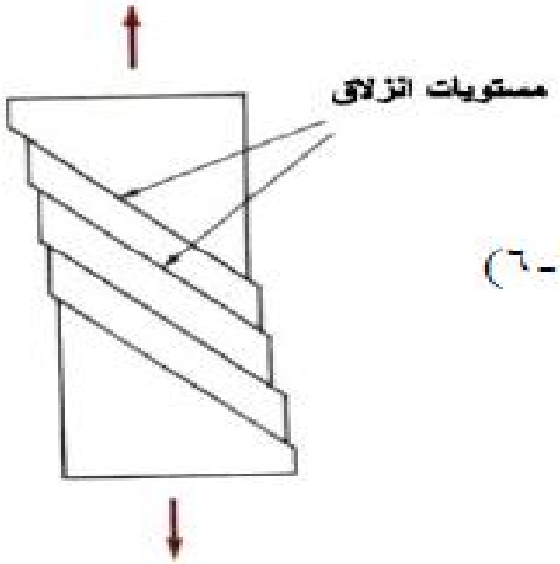
توجد انواع كثيرة من العيوب السطحية أهمها ما يسمى بـ (التوأمة). فى بعض المعادن يتم التشكيل عن طريق ما يسمى بالتوأمة ، ويمكن تعريف التأمة بأنها جزء من الحبيبة (البللورة) يغير اتجاهه عن بقية الحبيبة بحيث تكون اتجاهات هذا الجزء كصورة أو مرآه من الإتجاه الأصلى كما يتضح ذلك بالشكل (٢-٥).



شكل (٢-٥)

٢-٥ اللدونة وحركة الانخلاعات:

اللدونة هى قابلية المادة للتشكيل نتيجة تأثير قوة معينة. أى أن المادة تأخذ شكلاً جديداً حتى بعد إزالة القوة المؤثرة. بدأ العلماء دراسة هذه الظاهرة بعمل قطع معدنية من بللورة واحدة تحت ظروف معينة. وقاموا بإجراء اختبار الشد لتلك العينات وجد أن بعد التشكيل حدث بها انزلاقات على مستويات معينة كما يتضح بالشكل (٢-٦).



شكل (٢-٦)

أراد العلماء حساب قوة الشد التى تسبب انزلاق المستويات ومقارنتا بالنتائج العملية. وجد أن الحسابات النظرية تزيد ما يقرب من عشرة أضعاف عن النتائج العملية. أتى العلماء بعد ذلك بنظرية جديدة وهى نظرية تحرك الانخلاعات وملخصها الآتى :

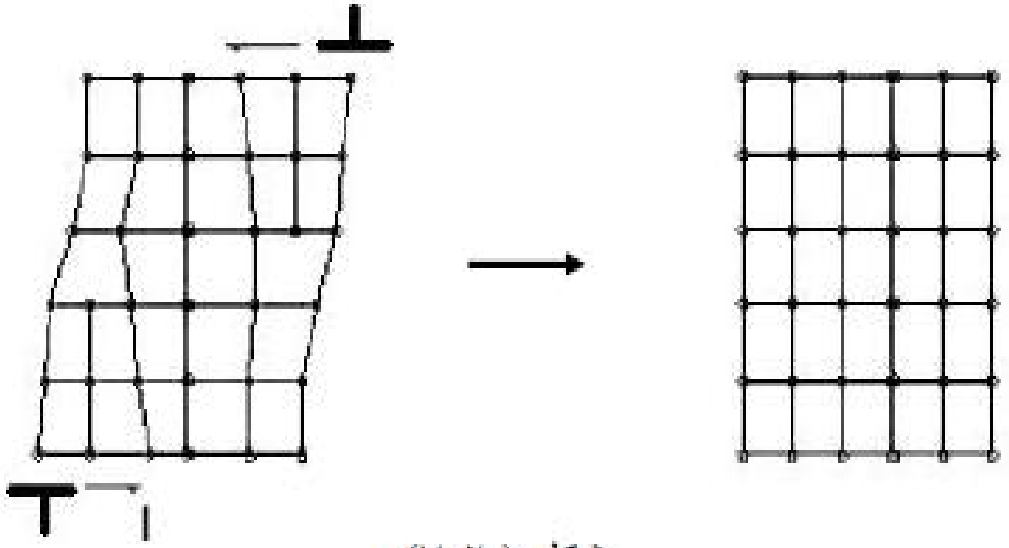
أ- السبب الرئيسى لعمليات التشكيل فى معظم المواد وخصوصاً المعادن هى حركة الانخلاعات كم تم توضيح من قبل بالرسومات.

ب- كلما كانت حركة الانخلاعات أسهل كلما زادت قابلية المادة للتشكيل.

ج- تسهل حركة الانخلاعات بزيادة درجة الحرارة للمادة وبالتالى تكون المادة أكثر لدونة عند درجات الحرارة العالية.

د- تأثير القوى على المادة يولد الانخلاعات.

ه- قد يفنى انخلاع انخلاعاً آخر كما يتضح بالشكل (٢-٧) عندما يتقابل الانخلاعان فإنهنا يكونان مستوى كامل وبلغى كلاً منهما الآخر وهو ما يسمى بـ (الإفناء).



شكل (٢-٧)

٢-٦ بعض العوامل المؤثرة فى حركة الانخلاعات:

عندما تعاق حركة الانخلاعات فهذا معناه أن المادة تكون أقل قابلية للتشكيل أو بمعنى آخر تكون أكثر صلادة ومن العوامل التى تؤثر فى حركة الانخلاعات :

أ- حجم الحبيبات.
ب- التشكيل على البارد.
ج- إضافة ذرات غريبة.
د- عمليات التخمير.

٢-٦-١حجم الحبيبات :

تعتبر الحدودى بين الحبيبات عائقاً فى مسار الانخلاعات ولذلك فكلما قل حجم الحبيبات زادت حدود الحبيبات وأصبحت حركة الانخلاعات أصعب ، وتكون المادة أكثر مقاومة للتشكيل أو أكثر صلادة.

٢-٦-٢ التشكيل على البارد :

كلما زادت عملية التشكيل على البارد تولدت اخلاعات أكثر وكلما سبب عوائق لحركة بعضها البعض وبالتالى فإنه مع زيادة التشكيل على البارد تزيد مقاومة المادة للتشكيل وتزداد صلادتها.

٢-٦-٣ إضافة ذرات غريبة :

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

٢-٦-٤ عمليات التخمير :

هى عبارة عن وضع المادة تحت درجة حرارة مرتفعة نسبياً لفترة من الوقت وفى أحيات كثيرة يكون التبريد بطيئاً. على سبيل المثال إذا كانت المادة مشكلة على البارد فكما ذكرنا من قبل تزداد كثافة الانخلاعات بها وهو ما يقلل من لدونتها ، ولكن بعد تخميرها عند درجات حرارة معينة (تختلف هذه الدرجة من مادة لأخرى) يؤدى ذلك إلى تقليل كثافة الانخلاعات وبالتالى تزداد لدونتها.

والسبب فى ذلك أنه بعد التخمير تقل كثافة الاخلاعات وذلك لأنه عند درجات الحرارة العالية يزداد نشاط الانخلاعات وتتحرك أكثر وهذا يؤدى إلى زيادة احتمالات الإفناء.

وأيضاً عند زيادة درجات الحرارة تكبر الحبيبات وبالتالى تقل حدود الحبيبات وتسهل حركة الانخلاعات أكثر. وبالتالى فإن التخمير يزيد من لدونة الانخلاعات عن طريق تقليل كثافتها وزيادة حجم الحبيبات.