الفصل 3

العيوب الخطية (الانخلاعات)

1. تعريف العيوب الخطية

يعتبر الإنخلاع أكثر العيوب الخطية شيوعا .والانخلاع هو عبارة عن خط منتظم من الذرات التي غابت عن مكانها فى الشبيكة البلورية .غالبا، يمتد هذا الخط مسافة كبيرة نسبيا داخل الشبيكة .يمكن تقسيم الإنخلاعات إلى إنخلاع الحافة والإنخلاع اللولبي.

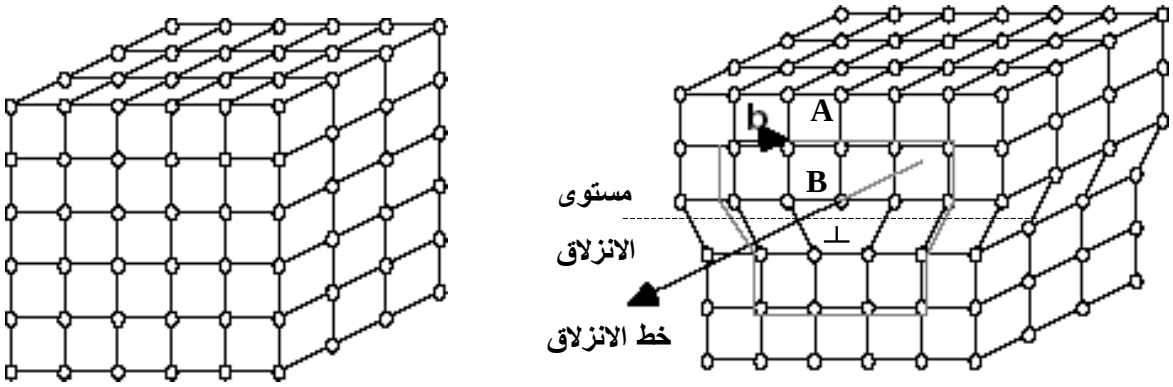
عند التأثير بقوة خارجية على بلورة فإنها تتعرض لإجهاد يحدث تشوها من الممكن أن يكون هذا التشوه مرنا أو غير مرن .في حالة التشوه المرن تعود البلورة إلى شكلها الأصلي بعد إزالة القوة المؤثرة .ولكن عند تعريض البلورة لإجهاد أكبر فإنه يحدث للبلورة تشوها غير مرن (دائم)عن طريق الانزلاق .يؤدى الإجهاد إلى حدوث انفعال في الشبيكة البلورية ينتج عنه إزاحة للذرات عن مواضع اتزانها الأصلية وعندما يكون الإجهاد كبيرا فإن الانفعال يكون على صورة زحفا ملموسا لعدد كبير من الذرات مكونا تشوها غير مرن يسمى بالإنخلاع.

عادة تتكون الفراغات الناتجة عن الإنخلاع بالقرب من الأسطح الحرة وبالقرب من حدود الحبيبات وأيضا بالقرب من الإنخلاعات.

2. أنواع الانخلاع

1.2 إنخلاع الحافة (طرفي)EDGE DISLOCATION

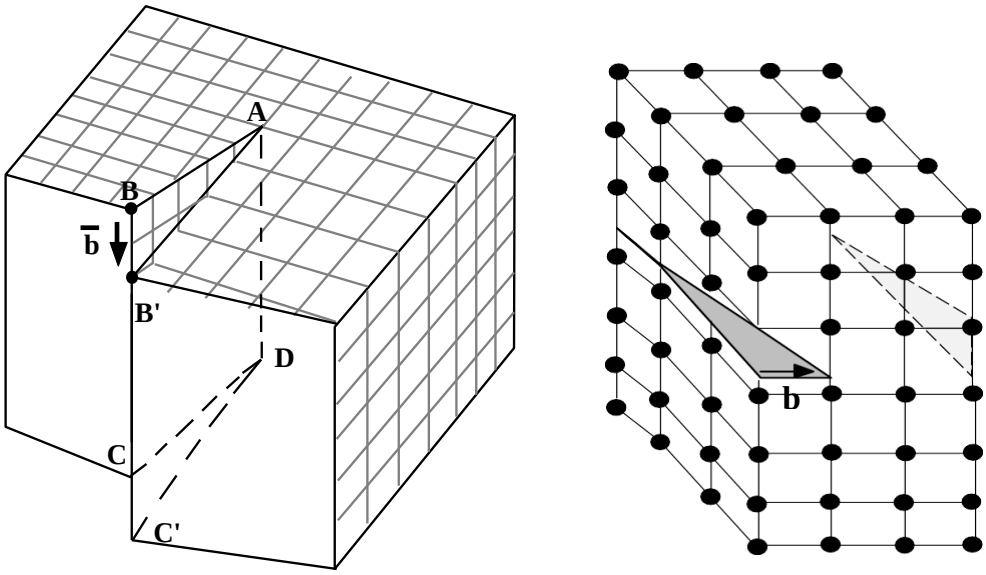
يمكن تفسير إنخلاع الحافة على أساس أن هناك جزء من مستوى زائد محشور داخل البلورة. ينتج عن هذا الجزء تولد إجهاد ضغط على بعض مناطق الجوار وإجهاد شد على المناطق الأخرى وهذا يؤدى إلى زيادة طاقة الوضع على امتداد خط الإنخلاع .يلاحظ أن جزء البلورة الذي يوجد فيه جزء المستوى الزائد يحدث له ضغط، أي تكون ذراته مضغوطة بعضها مع بعض ، بينما يحدث للجزء السفلى تمدد بسبب غياب جزء من المستوى .يرمز لإنخلاع الحافة بالرمز ⊥ ليعبر عن انخلَّاع موجب(مستوى جزئي إضافي) و الرمز Tليعبر عن انخلَّاع سالب(مستوى جزئي مفقود.)



الشكل1 إنخلاع الحافة داخل الشبيكة البلورية.

2.2.الانخلاع اللولبيSCREW DISLOCATION

وهو عبارة عن انتقال متعاقب لمستويات الذرات بشكل لولبي أو حلزوني حول خط الانخلاع نتيجة لتطبيق قوة شد أو انضغاط. في الإنخلاع اللولبي تكون فيه إزاحة الذرات أثناء حركتها على امتداد خط الإنخلاع ويكون متجه الانزلاق موازيا لخط الإنخلاع على عكس ما هو الحال عليه في إنخلاع الحافة و تكون الطاقة الناتجة من هذا الإنخلاع أكبر منها في حالة الإنخلاع الطرفي. يمكن تخيل الإنخلاع اللولبي على أنه حدث قطع في البلورة في المستوى ABCDوأن الجانب الأيسر من البلورة انزلق أعلى الجانب الأيمن .يكون الخط AD هو الإنخلاع الذي تنتهي عنده الخطوة BAB' والتي تكونت من الانزلاق .وجاءت تسمية هذا الإنخلاع باللولبي من أنه إذا تحركنا من المستوى الذرى حول الإنخلاع فإننا نجد أن المستوى يكون حلزوني .ينشأ الإنخلاع اللولبي نتيجة تطبيق إجهاد قصي جزئي ويكون خط الإنخلاع موازيا لمتجه الخطوة.



أ- انخلاع لولبي

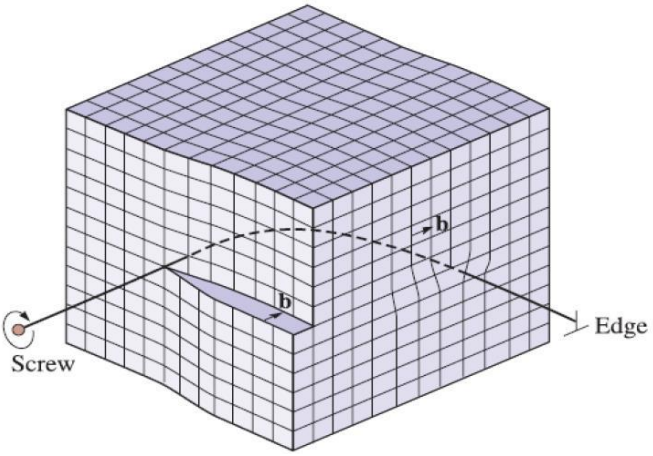
ب- حركة الانخلاع

الشكل 2 الإنخلاع اللولبي.

تتكون الإنخلاعات، بشكل عام، في الشبيكة البلورية أثناء تجمد مصهور المادة وتكون النظام البلوري .فعندما يحدث اختلال بسيط في اتجاه نمو صفوف الذرات المجاورة نجد أن جزء زائد من الصفوف أو جزء ناقص يفرض نفسه داخل البلورة و يكون إنخلاعاً.

3.2. الانخلاع المختلط

هو تراكب الانخلاع الحدي و اللولبي و ذلك مع وجود منطقة انتقالية.

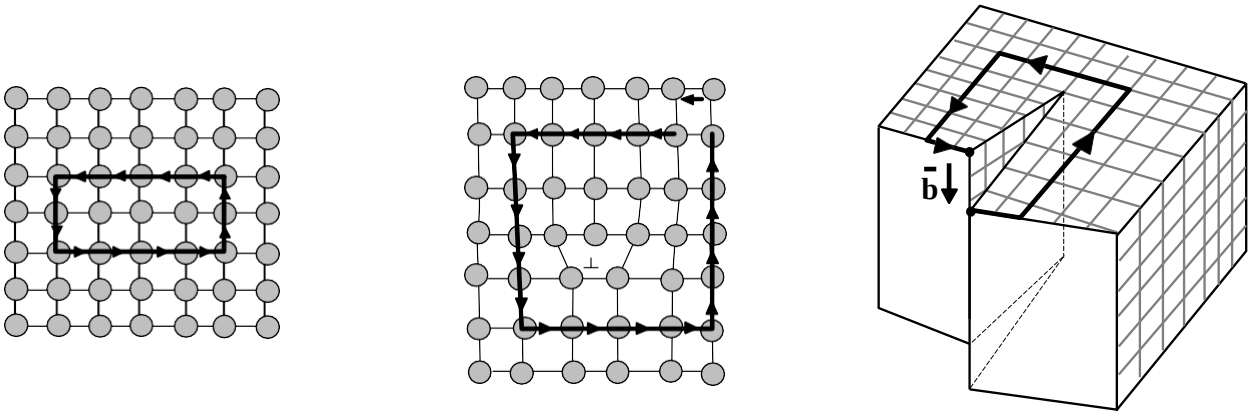


الشكل 3 : انخلاع مختلط

3. متجه ودائرة بيرجر BURGERS VECTOR AND CIRCUIT

يمكن وصف الإنخلاع سواء كان إنخلاع حافة أو إنخلاع لولبي بواسطة متجه إزاحة يسمى متجه بيرجر وهذا المتجه يغلق المسار الذي يحيط بخط الإنخلاع والذي يسمى دائرة بيرجر(Burger circuit). وتتكون دائرة بيرجر عن طريق الانتقال خلال المنطقة ذات الترتيب المنتظم حول الإنخلاع بخطوات عبارة عن مضاعفات صحيحة لمتجهات انتقال الشبيكة في الاتجاهات الأربعة.

في البلورة المثالية فإن دائرة بيرجر تغلق نفسها - كما هو موضح في الشكل4 ولا يتواجد متجه بيرجر .أما في حالة البلورة غير المثالية والتي يوجد بها عيوب فإن دائرة بيرجر تكون مفتوحة ويكون متجه بيرجر هو المتجه الذي يغلق الدائرة .يكون متجه بيرجر عموديا على خط إنخلاع الحافة ويقع في مستوى الانزلاق ويكون موازيا لخط الانخلاع في حالة الانخلاع اللولبي. تكون قيمته محددة وتتوقف على طبيعة دورية الشبيكة البلورية وتعتمد أيضا على ميكانيكية الانزلاق .تكون قيمة متجه بيرجر لوحدة الإنخلاع مساوية لثابت الخلية.



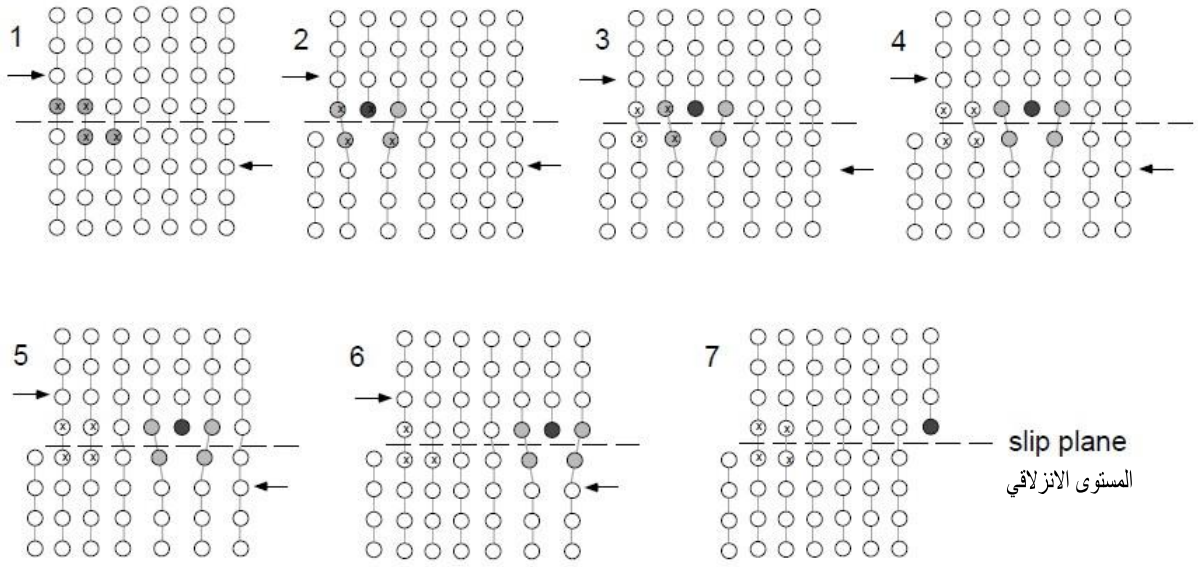
دائرة بيرجر فى شبيكة تحتوى على انخلاع حافة دائرة بيرجر فى شبيكة تحتوى على انخلاع لولبى دائرة بيرجر فى شبيكة مثالية

الشكل 4 خصائص دائرة ومتجه بيرجر في شبيكة بلورية.

4. حركة الانزلاقات

أهمية الإنخلَّاع تظهر بوضوح عند حدوث تغيير في شكل المواد البلُّوريَّة .المستوى الذي يتحرك عبره الإنخلَّاع عبر الشبكة بسمى مستوى الانزلاق .عند التعرض لإجهاد القص ، يتحرك الإنخلَّاع، صف من الذرات تلو صف من الذرات و يزاح جزء من البلُّورة نسبة للآخر .عند انتقال الإنخلَّاع خلَّال البلُّورة يتحرك الجزء فوق مستوى الانزلاق مسافة ذرة واحدة بالنسبة للجزء الذي يكون أسفل مستوى الانزلاق. أو بطريقة أخرى، فإن تحرك الإنخلَّاع يؤدي إلى تغيير في شكل البلُّورة ويتغير شكلها بصورة دائم (شكل 5).

نلاحظ أن الشبكة البلُّوريَّة على كلَّ جانبي الإنخلَّاع تكون مثاليَّة، ولكن على مقربة جدا من الإنخلَّاع تتشوه الشبكة كثيرا . في حالة الإنخلَّاع الموجب فإن وجود نصف مستوى زائد يجعل الذرات التي تعلو مستوى الانزلاق تحت ضغط، أما الذرات أسفل مستوى الانزلاق فإنها تكون في حالة شد. وهكذا فإن حافة الإنخلَّاع سيحيط به مجال ضغط والذي يكون على هيئة ضغط فوق مستوى الانزلاق وشد أسفل مستوى الانزلاق.



الشكل -5 تشوه لدن لمادة صلبة بلُّوريَّة مصاحب لحركة الإنخلاعات الناتجة عن الاجهاد

5- نظام الانزلاق:

عندما تسحب بلُّورة تحت قوة شد فإنها تبدأ في التشوه(الاستطالة)بصورة بلَّاستيكية /لدنة عند مستوى صغير من قوة الشدّ ، وتنزلق كتل البلُّورات فوق بعضها بعض نتيجة لحركة الانخلَّاع وفي نفس الوقت تظهر ما يعرف بخطوط الانزلاقslip lines على سطحها. ولقد تم اكتشاف أن التشوه بالانزلاق يحدث بسهولة أكبر في المستويات التي بها كثافة ذرية عالية ومسافات كبيرة بين المستويات، بينما اتجاه الانزلاق يكون في كل الأحوال باتجاه أكبر تراص للذرات .في البلُّورات ذات نظام مكعب مركزي الوجهFCC نلَّاحظ أن نظام الانزلاق الرئيسي يكون بمستويات {111}بلاتجاه <110 > بينما في البلُّورات ذات نظام مكعب مركزي الجسمBCC الانزلاق الرئيسي بمستويات { 110 }باتجاه <111 >

- نظام الانزلاق= مستوي الانزلاق+ اتجاه الانزلاق

6- الخصائص المرونية للانزلاقات

الإنخلاع هو عيب خطى يوجد في البلورة ويتضمن عدد كبير من الذرات مرتبة حول خط .عند التأثير بقوة خارجية على بلورة فإنها تتعرض لإجهاد يحدث تشوها من الممكن أن يكون هذا التشوه مرنا أو غير مرن .في حالة التشوه المرن تعود البلورة إلى شكلها الأصلي بعد إزالة القوة المؤثرة .ولكن عند تعريض البلورة لإجهاد أكبر فإنه يحدث للبلورة تشوها غير مرن(دائم) عن طريق الانزلاق .يؤدى الإجهاد إلى حدوث انفعال في الشبيكة البلورية ينتج عنه إزاحة للذرات عن مواضع اتزانها الأصلية وعندما يكون الإجهاد كبيرا فإن الانفعال يكون على صورة زحفا ملموسا لعدد كبير من الذرات مكونا تشوها غير مرن يسمى بالإنخلاع.

7- تفاعلات الانخلاع:

قد ترجع السهولة النسبية لتحرُّك الانخلَّاعات خلَّال شبكة المادة الصلبة إلى الإزاحات الشديدة للذرات في قلب الانخلَّاع .إذا تم تقليل هذه الجهود المحلية فإن حركة الانخلَّاعات – وبالتالي سهولة الانزلاق– سوف تقل .وقد لوحظ أن وجود شوائب على مقربة من قلب الانخلَّاعات تؤدي إلى تقليل طاقة التشويه للَّانخلَّاع وبهذا فإنها تؤدي إلى

استقرار النظام ضد الانزلاق .في العديد من الأنظمة يتم عمدا إضافة الشوائب (مثل تصلد المحلول الصلب)لزيادة قوة المواد .وبالمثل الترسيب الدقيق يعيق حركة الانخلَّاع (مثل التصلد بالترسيب.)

5- طرق ملاحظة الانزلاقات

يوجد العديد من الشواهد العملية على وجود العيوب الخطية في المواد البلورية منها:

1-اختلاف الخصائص الميكانيكية للمواد الصلبة عما هو متوقع، حيث وجد أن قيم العديد من الخصائص الميكانيكية للمواد الصلبة أقل بآلاف المرات من القيم المتوقعة بالنسبة للبلورات المثالية.

2-في تجارب تشتت الأشعة السينية وجد أن شدة الحيود في البلورات الحقيقية يختلف كثيرا عن شدة الحيود المحسوبة على أساس افتراض أن التركيب البلوري مثالي أي لا يتضمن عيوب خطية.

3- وجد أن بعض المحاليل الكيميائية تؤثر على مناطق معينة من سطح البلورة(على صورة تآكل) أكثر من تأثيرها على المناطق الأخرى، حيث وجد أن المناطق التي تتأثر أكثر هي تلك التي تتجمع عندها العيوب الخطية.

4-وجد اختلافا كبيرا بين معدل نمو البلورة المقاس ومعدل النمو المحسوب على أساس افتراض وجود بلورة مثالية.

5-يمكن باستخدام الميكروسكوب الالكتروني رؤية العيوب الموجودة في العينة مباشرة حيث تظهر الإنخلاعات كخطوط معتمة على شاشة فلورسينية.