المحاضرة لثانية : العيوب في المواد الصلبة

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.

2-1 العيوب النقطية

هذه العيوب تنقسم عادة إلى

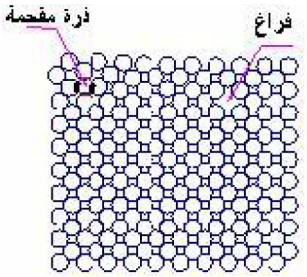
الفراغات.

الذرات المقحمة.

ج) الذرات الغريبة.

2-1-1 الفراغات

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



شكل (2-1) 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 (2-1) أيضاً هذه الذرات.

2-1-3 الذرات الغريبة

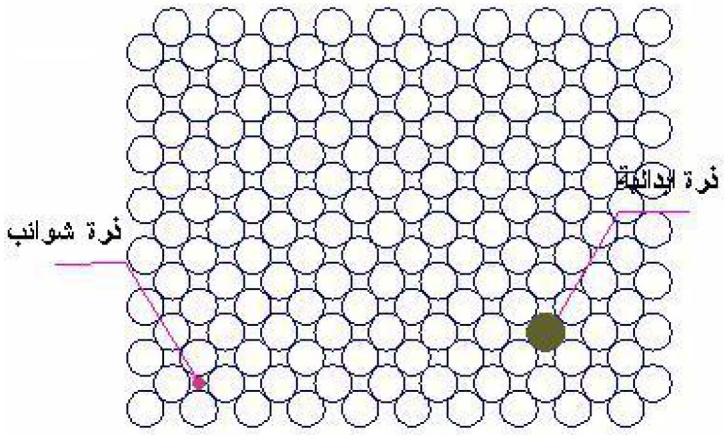
وهى ذرات من عناصر أخرى قد تأخذ أماكن ذرات العنصر الأساسي و تسمى في هذه الحالة ذرات إبدالية. لكي تأخذ ذرات إبدالية أماكن ذرات من العنصر الأساسي لابد من توافر بعض من الشروط التالية:

أ) أن يكون الفرق بين أقطار الذرات في العنصر الأساسي والذرات الغريبة قليل و لا تتعدى 15%.

ب) أن يكون التكافؤ (عدد إلكترونات التكافؤ) متساوياً.

ج) أن يكون للذرات نفس نوع الخلية الوحدية.

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 الشوئب

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 فأن 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.

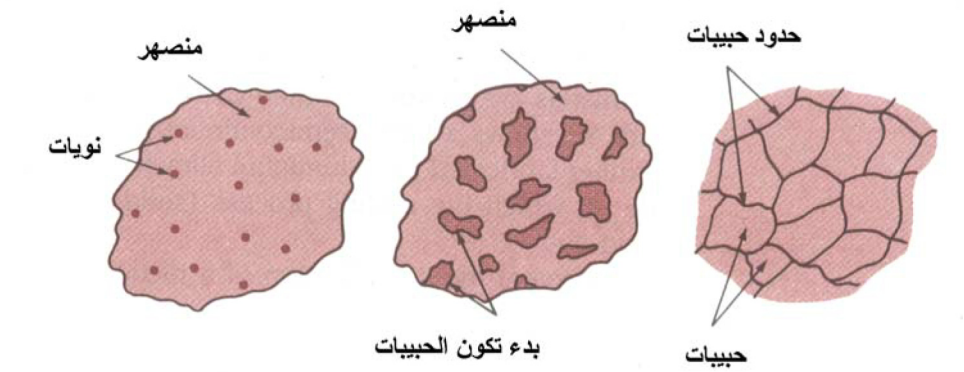
ج) الزمن: تحت نفس الظروف من التركيز و درجة الحرارة يزداد الانتشار مع زيادة الزمن و لكن تأثيره أقل من الحرارة بكثير.

1-2-2 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 $920C^{O}$) 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 قصفاً. 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.

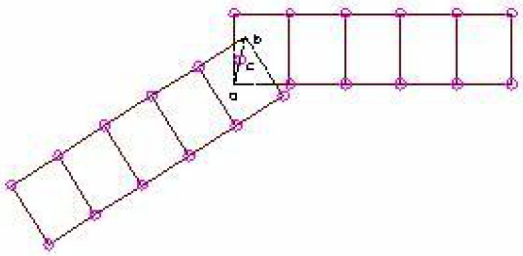
3-2 العيوب السطحية

تتكون الكثير من المواد الصلبة (خصوصاً المعادن) من حبيبات (بلورات) و كل حبيبة تتكون من ذرات مرتبه 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 **(2-3)** يوضح عملية التبلور.



شكل (2-3) 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 التى 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 **(2-4)** 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 و ضع الأحماض (المظهرات) على سطح المعدن المثقل، تكون أكثر الأماكن تآكلا هي حدود الحبيبات و بالتالي فإنه يمكن تمييزها عند و ضع العينات تحت المجهر.



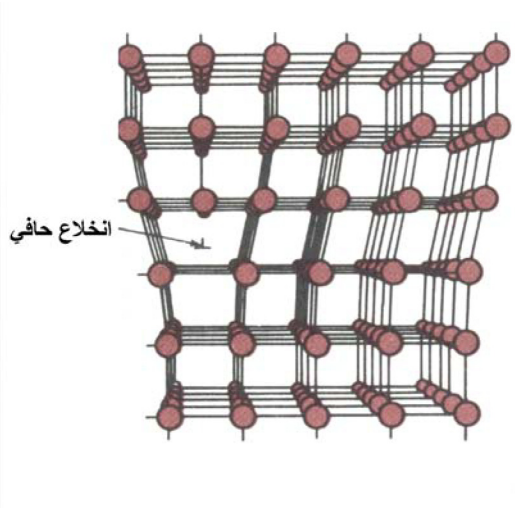
شكل (2-4) وضع الذرات على حدود الحبيبات

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 (البللورات) عشوائية الاتجاهات مما ينتج عنه أن متوسط الخواص في جميع الاتجاهات يكون تقريباً متساوياً.

2-4 العيوب الخطية

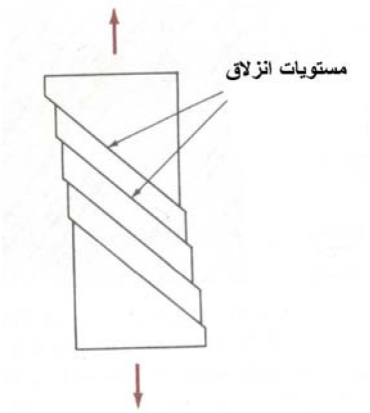
تسمى عادة بالانخلاعات وهي هامة جداً و تعتبر من أهم العيوب تأثيراً على المعادن و تشكيلها. لو لم تكن هذه العيوب، لكان من الصعب جداً تشكيل المعادن ومن ثم ما كانت هناك كثيراً من الصناعات. يعرف الانخلاع عموماً على أنه عيب بلوري حيث يحدث تشوه لمواقع الذرات حول خط في البلورة. تنقسم الانخلاعات إلى الانخلاع الحافي والانخلاع اللولبي وقد يكون هناك خليط من الانخلاعين. سوف نقتصر هنا على تمثيل الانخلاع الحافي 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 الحافي بالرمز ⊥ إذا كان المستوى المقحم إلى أعلى و بالرمز ⊤ إذا كان المستوى المقحم إلى أسفل.



شكل (2-5) الانخلاع الحافي

2-4-1 اللدونة و حركة الانخلاعات

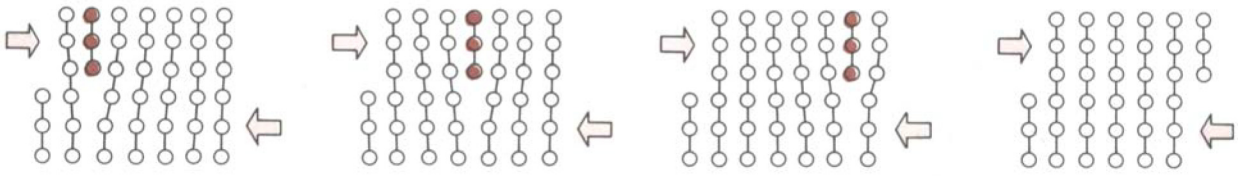
اللدونة هي قابليه المواد للتشكيل نتيجة لتأثير القوة. أي أن المادة تأخذ شكلاً جديداً حتى بعد إزالة القوة. بدأ العلماء دراسة ظاهرة اللدونة بعمل قطع معدنية من بلورة واحدة كبيرة وهذا ممكن تحت ظروف معينة. عند إجراء اختبار الشد وجد أن العينة بعد التشكيل حدث بها انزلاقات على مستويات معينة (لأنها بللورة واحدة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



شكل (2-6) 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 و هي نظرية تحرك الانخلاعات و نبسطها و نلخصها فيما يلي:

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



شكل (2-7) حركة الانخلاعات

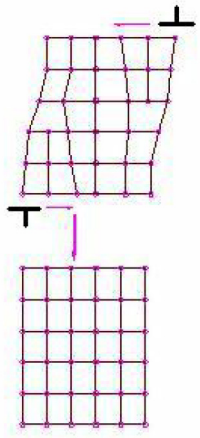
ب) كما هو موضح بالرسم فإنه تحت تأثير القوى يتحرك الانخلاع لكي يستقر على الأطراف وبالتالي فإنه كلما كانت حركة الانخلاعات أسهل كلما زادت قابلية المادة للتشكيل.

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 انخلاعا آخر كما هو موضح بشكل (2-8). عندما يتقابل الانخلاعان



شكل (2-8) الإفناء

الموضحان بالشكل، فإنهما يكونان مستوى كاملاً ويلغى كل منهما.

2-4-2 بعض العوامل التى 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 الإنخلاعات 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

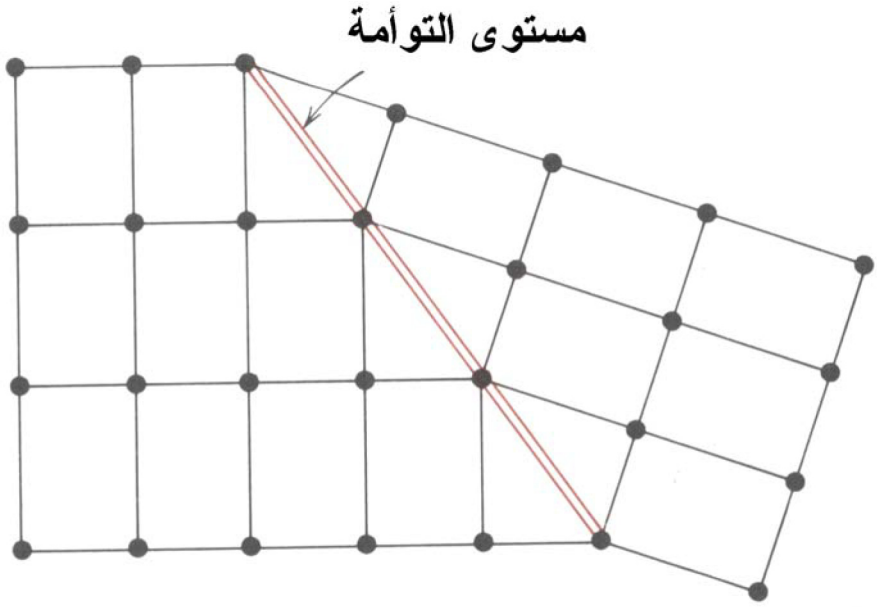
عمليات التخمير هي عادة عبارة عن وضع المادة تحت درجة حرارة مرتفعة نسبياً لفترة من الوقت وفى أحيان كثيرة يكون التبريد بطيئا. إذا كانت المادة مثلاً مشكلة على البارد فمعنى ذلك، كما ذكرنا من قبل، زيادة كثافة الانخلاعات الأمر الذي يقلل من لدونة المادة. عند التخمير عند درجات حرارة معينة (تختلف من مادة إلى أخرى).تقل 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 يؤدى 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} , <**110**> هي أكثر المستويات و المتجهات كثافة.

في ال BCC {110} , <**111**> هي أكثر المستويات والمتجهات كثافة.

2-5 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 (2-9).



شكل (2-9) 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 مثالا عملياً لظاهرة الانتشار . إنتقلنا بعد ذلك لعيوب على مستوى البلورة و تسمى 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. أخيرا 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 لابد:

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 وج .