وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

الجامعة التقنية الجنوبية

المعهد التقني العمارة

قسم التقنيات الميكانيكية

الحقيبة التدريسية لمادة

المعادن

المرحلة الثانية

اعداد المهندس الدكتور

اسعد كاظم عكال

الفصل الدراسي الاول

2025

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

الجامعة التقنية الجنوبية

التخصصات / التكنولوجية

القسم / الميكانيك الفرع / الإنتاج (مستمر)

اسم المادة	السنة الدراسية	الساعات الأسبوعية		
		نظري	عملي	المجموع
المعادن	الثانية	2	2	4

المفردات النظرية	
الأسبوع	تفاصيل المفردات
الأول	تعريف بعلم المعادن ، التبلور ، التبلور الشيجيري ، تأثير معدل التبريد على بنية المعادن .
الثاني	تركيب الكتل المعدنية (تجميد الصبات) العيوب الشائعة في الصبات .
الثالث	معامل الاكتظاظ الذري ، الاتجاهات البلورية ، المستويات البلورية ، ظاهرة التأصل .
الرابع	عيوب الشبكة البلورية ، النقطية ، الخطية.
الخامس	التشكيل المرن والتشكيل اللدن (الانزلاق ، التوأمية)
السادس	الاصلاد الانفعالي ، التشكيل على البارد ، التشكيل على الساخن .
السابع	الاستعادة ، أعادة التبلور ، النمو البلوري .
الثامن	منحنيات الإجهاد ، الانفعال في الحني ، المد ، الكسر ، أنواع الكسر ، التحول من الكسر المطيلي الى الهش .
التاسع	الكلال ، آلية حدوث الكلال ، العوامل المؤثرة على حد الكلال ، المواد المقاومة للكلال .
العاشر	الزحف ، آلية حدوث الزحف ، المواد المقاومة للزحف .

الحادي عشر	المركب ، الطور ، المحلول الجامد ، النظام ، الاتزان ، تكوين السبائك ، الخليط الميكانيكي ، الايوتكتيك .
الثاني عشر	مخطط الاتزان الحراري لنظام ثنائي تام الإذابة في الحالة السائلة والصلبة ، مخطط الاتزان الحراري لنظام ثنائي تام الإذابة في الحالة السائلة وعديم الإذابة في الحالة الصلبة (الايوتيكتيك) .
الثالث عشر	مخطط الاتزان الحراري لنظام ثنائي تام الإذابة في الحالة السائلة ومحدود الإذابة في الحالة الصلبة .
الرابع عشر	مخطط الاتزان الحراري لنظام ثنائي تام الإذابة في الحالة السائلة ويكون مركب كيمياوي عند الانجماد .
الخامس عشر	الحديد ، ذوبان الكربون في الحديد ، مخطط الاتزان الحراري لنظام حديد / الكربون ، أهم التفاعلات التي يتضمنها المخطط .

المفردات العملية

الأسبوع	تفاصيل المفردات
الأول	تعريف بمختبر المعادن (مختبر المقاومة ، مختبر المعالجات الحرارية ، مختبر الفحص المجهري وتحضير العينات ، مختبر التصوير)
الثاني	تجربة الشد البسيط ، منحني الاستطالة ، منحني الاجهاد والانفعال ، التشكيل المرن واللدن ، معامل المرونة ، اقصى مقاومة شد (U.T.S) الاستطالة النسبية ، النقصان في مساحة المقطع .
الثالث	تجربة الضغط ، منحني الحمل ، الاستطالة ، منحني الاجهاد ، الانفعال ، علاقة الطول بمساحة المقطع ، العوامل المؤثرة على تجربة الضغط .
الرابع	اختبار الصلادة ، طريقة برنيل .
الخامس	اختبار الصلادة ، طريقة فيكرز .
السادس	اختبار الصلادة ، طريقة روكويل - B -.
السابع	اختبار الصلادة ، طريقة روكويل - C - .
الثامن	اختبار الكلال .

التاسع	اختبار الزحف .
العاشر	اختبار الصدمات (أيزود – شاربي).
الحادي عشر	تحضير العينات للفحص المجهري (التنعيم ، الصقل ، الأظهار ، الفحص تحت المجهر)
الثاني عشر	أنشاء منحني التسابك (الاتزان الحراري)لسبيكة ثنائية تامة الاذابة في الحالة الصلبة والحالة السائلة .
الثالث عشر	أنشاء منحني الاتزان لسبيكة ثنائية تامة الإذابة في الحالة السائلة وعديمة الإذابة في الحالة الصلبة .
الرابع عشر	أنشاء منحني الاتزان لسبيكة تامة الإذابة في الحالة السائلة ومحدودة الإذابة في الحالة الصلبة .
الخامس عشر	أنشاء منحني الاتزان لسبيكة تامة الإذابة في الحالة السائلة وتكون مركب كيميائي عند الانجماد .

الهدف من دراسة مادة :

تهدف مادة المعادن بتعريف الطلبة بخواص المعادن الأساسية، وأنظمتها البلورية، وعلاقاتها بالتطبيقات الهندسية والميكانيكية، إلى جانب دراسة الظواهر المؤثرة كالتشوه، التبلور، التآكل، الزحف، والكلال، مما يعزز قدراتهم في فهم وتوظيف المواد المعدنية ضمن مجالات التصميم والتصنيع.

الفئة المستهدفة:

طلبة الصف الثاني / قسم التقنيات الميكانيكية

التقنيات التربوية المستخدمة:

1. سبورة واقلام
2. السبورة التفاعلية
3. عارض البيانات Data Show
4. جهاز حاسوب محمول Laptop

الاسبوع الاول

الهدف التعليمي

- **الموضوع النظري** :تعريف الطالب بعلم المعادن، التبلور، التبلور الشجيري، تأثير معدل التبريد على البنية
- **النشاط العملي** :مشاهدة عينات معدنية – تجريب التبريد السريع والبطيء
- **سؤال الأسبوع** :ما الفرق بين التبلور والتبلور الشجيري؟
- **الواجب البيتي** :ارسم أشكالاً توضيحية للبنية البلورية عند معدلات تبريد مختلفة.
- **مدة المحاضرة:** ساعتين نظري وساعتين عملي

علم المعادن Mineralogy

هو علم يختص بدراسة الخواص الكيميائية ، الفيزيائية ، الضوئية والبنية البلورية للمعادن.هناك فروع متخصصة في علم المعادن تضم البحث في أنظمة تبلور المعادن ومراحل تشكل بنيتها و تصنيفها، توزيعها الجغرافي، بالإضافة إلى طرق استخدامه.

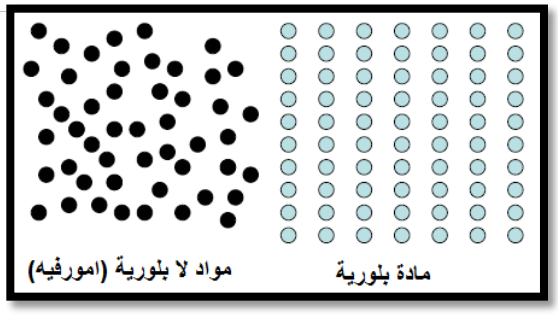
المعادن Metal

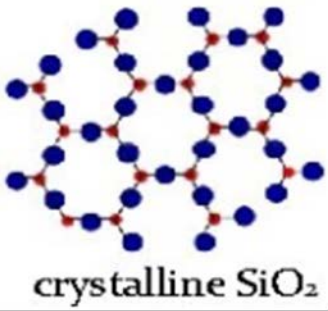
المعادن هي مواد بلورية تتوزع فيها الذرات او الايونات توزيعا منتظما وتحتوي على عدد كبير من البلورات الصغيرة التي تتباين اتجاهاتها وتختلف من بلورة الى اخرى ولها كثافة تراص Packing كبيرة ولها موصلية عالية للحرارة والكهرباء وتكون غير شفافة ولها بريق معدني وتكون ذراتها مكونة من وحدة بسيطة او نمط معين يسمى بالخلية الاساسية

بلورية المعادن

تترتب الذرات بنمط هندسي متكرر وبالاتجاهات الثلاثة ومرتبطة بعضها مع بعض بترتيب يسمى التبلور Crystalline ويكون هذا الترتيب المنتظم على شكل شبكة تسمى الشبكة الفضائية Space Lattice مثل النحاس والحديد والسيراميك والبوليمرات وغيرها.

اما المواد اللابلورية Amorphous فانها تحتفظ بالترتيب العشوائي نفسه الذي كان موجودا قبل التجمد مثل الزجاج والشمع والبلاستك والحراريات.

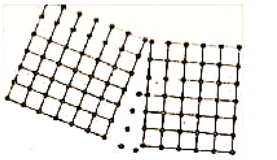




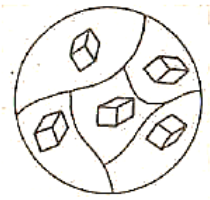
الحبيبات والحدود الحبيبية Grains and Grain Boundaries

ان المعادن النقية تتالف من عدد كبير من البلورات المنفصلة التي تكون غير منتظمة الشكل الا نها تتشابك فيما بينها بثلاث ابعاد . فالحبيبة او البلورة تتالف من الالف الخلايا الاساسية المرتبة او المنتظمة التي يختلف اتجاه محورها من حبيبة الى اخرى وتستخدم لوصف البنى المعدنية.

اما الحدود الحبيبية او البلورية فهي تجمع غير منتظم للذرات التي لا تتطابق مع الذرات الموجودة في الحبيبات المجاورة.



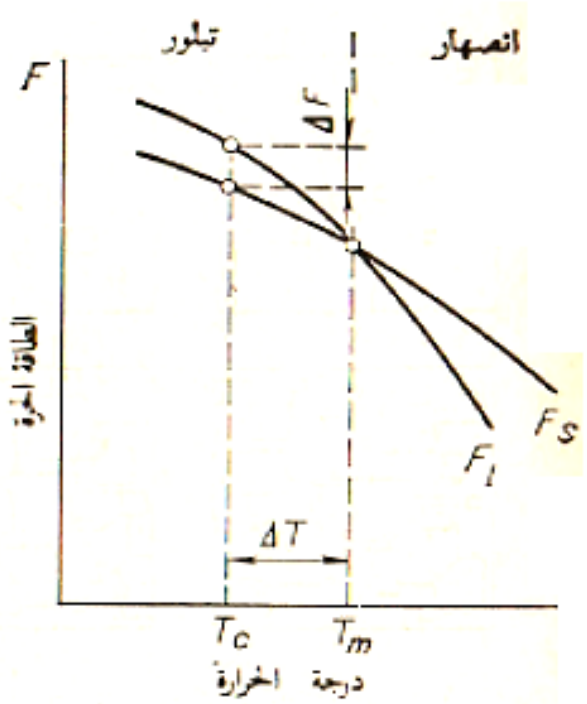
عدم التطابق الذري عند الحد الحبيبي



التغير في اتجاه الذرات لكل حبيبة

التبلور

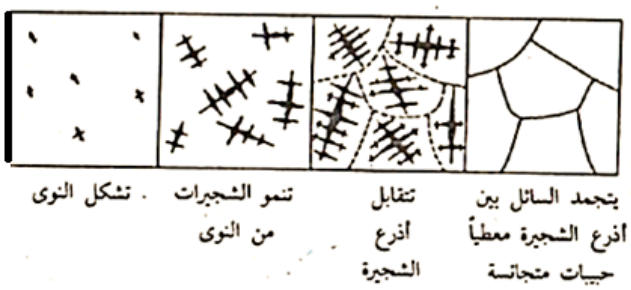
تسمى عملية انتقال المعدن من الحالة المنصهرة الى الحالة الجامدة بالتبلور ويحدث التبلور نتيجة انتقال المعدن الى حالة اكثر اتزانا من وجهة نظر الديناميكا . تختلف اشكال البلورات التي تتكون اثناء تجمد المعادن حسب سرعة التبريد وطبيعة وكمية الشوائب الموجودة بهذه المعادن .

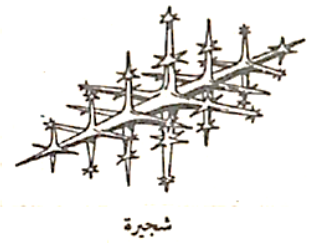


- عملية التجمد تتميز بمقدار اقل من الطاقة الحرة.
- عند درجة حرارة Tm تتساوى الطاقة الحرة للمعدن في الحالة السائلة والمنصهرة وهي تناظر درجة حرارة الاتزان وبذلك يمكن ان يتواجد الطورين الصلب والسائل في ان واحد كما في المخطط ادناه.
- اما في درجة الحرارة الاعلى من Tm فان المعدن المنصهر يكون اكثر استقرارا.
- بينما يصبح المعدن المتجمد اكثر استقرارا عند طاقة حرة اقل من Tm.
- وتستمر عملية التجمد طالما هنالك فرق بالطاقة الحرة.

التنوية والنمو الشجري Nucleation and Dendritic Growth

عندما تنخفض درجة حرارة المعدن النقي المنصهر الى نقطة انجمادة فسوف يبدا بالانجماد وتسمى هذه العملية بالتنوية .فتبدا العملية بتكوين دقائق صلبة صغيرة جدا في المنصهر تسمى النوى .




شجيرة

فبعد عملية تكوين النوى تبدا بالنمو ويكبر حجمها وتتفرع بشكل يشبه الشجيرات تسمى بمرحلة النمو الشجيري فبعد توقف النمو تعمل تماسا وتلاقي مع الشجيرات المجاورة التي نمت بطريقة مشابهة فاذرع الشجيرات المتواجدة يزداد سمكها حتى تملا الفضائات البينية او تستهلك كل ما تبقى من السائل فيتجمد السائل بين اذرع الشجيرة معطيا حبيبات متجانسة محاطة بحدود بلورية .

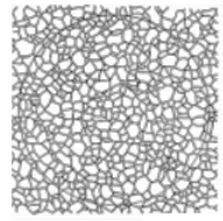
مقارنة بين التبلور والتبلور الشجيري:

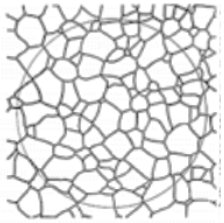
ت	التبلور العادي(Crystallization)	التبلور الشجيري(Dendritic)
.1	بلورات منتظمة أو شبه كروية	نمو متشعب كالأغصان
.2	تبريد بطيء أو متوازن	تبريد أسرع أو تدرج حراري عالي
.3	أكثر تجانسًا	غير منتظمة وتتضمن فراغات وتركيزات
.4	مفضل لخصائص ميكانيكية متزنة	قد يؤدي لضعف موضعي وتفاوت في الخواص
.5	طبيعي في السبائك المتزنة	مؤشر على اضطرابات في التجمد أو السرعة

العوامل التي تؤثر على بنية المعادن

1- تأثير معدل التبريد على بنية المعادن

ان معدل التبريد الذي يبرد به المنصهر عندما يصل الى درجة تجمده له تاثير كبير على حجم البلورات التي تتكون فالانخفاض المتدرج في درجة الحرارة يؤدي الى تكوين نوى قليله بحيث تنمو الى حجم كبير دون اعاقة . اما معدل التبريد السريع يؤدي الى تكوين عدد كبير من النوى و بذلك تكون البلورات الناتجة صغيرة الحجم .


بلورات ناعمة (معدل تبريد عالي)


بلورات خشنة (معدل تبريد واطي)

2- تاثير نوع قالب الصب :- ان مادة القالب لها تاثير كبير وواضح على البنية المعدنية فاذا كان

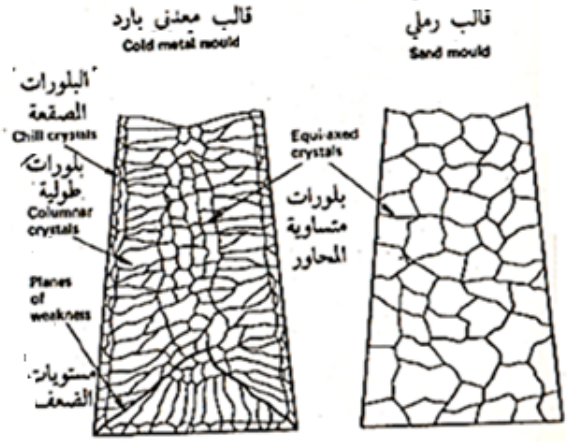
❖ **تبريد سريع (قالب معدني) :**

بلورات صغيرة الحجم ← **بنية دقيقة** خصائص ميكانيكية محسّنة (مثل مقاومة الشد والتعب) .

إمكانية تقليل العيوب مثل المسامية.

- **تبريد بطيء (قالب رملي):**

بلورات كبيرة ← **بنية خشنة** ضعف نسبي في الخواص الميكانيكية. ظهور فرز (Segregation) أكثر وضوحًا بسبب تباين التبريد.



تاثير نوع قالب الصب

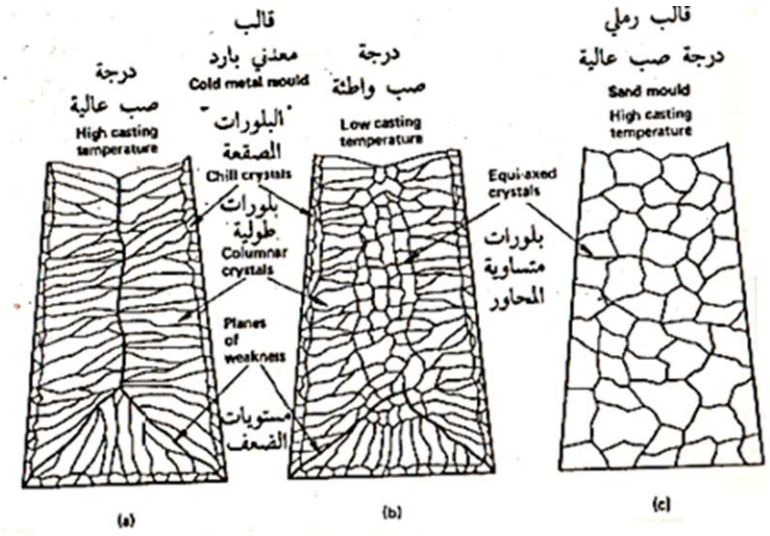
3- درجة حرارة الصب

عند الصب بدرجة عالية:

يبقى المعدن سائلًا لفترة أطول ← تبريد بطيء ← حبيبات كبيرة ← بنية خشنة وضعف ميكانيكي.

عند الصب بدرجة منخفضة جدًا:

يحدث تجمد مفاجئ ← لا يوجد وقت كافٍ لتكوين نوى كثيرة ← احتمال تكوين بنية غير متجانسة أو ظهور عيوب تجمد.



بنيات الصبات

نشاط طلابي:-

❖ **قسم الطلبة الى مجاميع واطلب منهم**

- جلب قطع حقيقية من المعادن ويصنفونها بلورية ولا بلورية.

اسئلة :-

- ما الفرق بين المواد البلورية واللابلورية؟
- ما هو دور الطاقة الحرة في تجمد المعادن؟
- اشرح مع الرسم الفرق بين النمو الاعتيادي والنمو الشجيري؟
- ما هي العوامل التي تؤثر على بنية المعادن؟
- كم عدد البلورات التي تظهر عند التبريد بقالب معني مع الرسم والتسميات للبلورات؟

واجب بيتي:-

❖ قسم الطلاب الى مجاميع وكل مجموعة تكتب تقريرا عن

- علم المعادن
- المواد البلورية واللابلورية
- الطاقة الحرة

الاسبوع الثاني

الهدف التعليمي

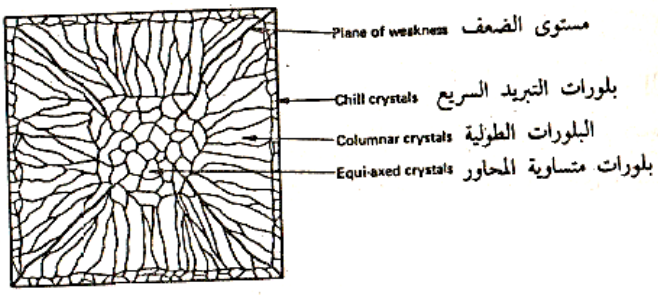
- ❖ **الموضوع النظري** :تركيب الكتل المعدنية (تجميد الصبات)، العيوب الشائعة في الصب (عيوب الصبات) .
- ❖ **النشاط العملي** :تحليل نموذج صبة – اكتشاف العيوب باستخدام المكبر والمجهر
- ❖ **سؤال الأسبوع :**ما أسباب المسامية والانكماش في الصبات المعدنية؟
- ❖ **الواجب البيتي** :اذكر ثلاثة عيوب شائعة في الصب، مع طرق معالجتها.
- ❖ **مدة المحاضرة:** ساعتين نظري وساعتين عملي

تجمد الصبات

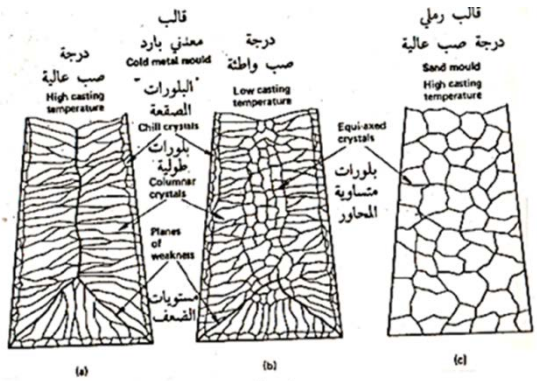
عندما تتجمد كتلة كبيرة من المعدن صبة ingot مثلا فان معدل التبريد يتغير ابتداء من السطح الخارجي الى المركز خلال عملية التبلور . لذلك سوف تكون هنالك ثلاث مناطق وكل منطقة نوع من البلورات

- ❖ في المنطقة الاولى : عندما يلامس المعدن جدار القالب البارد لاول مرة فان هذا التلامس يؤدي الى حصول تبريد مفاجئ الامر الذي يؤدي الى تكوين بلورات صغيرة جدا تعرف ببلورات التبريد المفاجئ (chill crystal) .
- ❖ وفي المنطقة الثانية : تكون الحرارة في قلب الصبة ساخن وعليه فان التبريد المفاجئ سيصبح اقل شدة . وهذا ما يعزز نمو البلورات الطولية او العمودية (columnar crystal) نحو الداخل وشكلها هذا ناشئ عن النمو التفضيلي الحاصل بالاتجاه المعاكس لاتجاه فقدان الحرارة .
- ❖ واخيرا فالمعدن المنصهر المتخلف عند المركز يبرد بشكل بطيء بحيث تتكون نوى قليلة جدا وتكون كبيرة نسبيا وذات محاور متساوية وتسمى بالبلورات المتساوية المحاور (equi-axed crystal).

مع ملاحظة ان هذه الانواع الثلاثة من البلورات او المناطق ممكن ان تقسم الى منطقتين او منطقة واحدة حسب معدل التبريد ونوع القالب



شكل البنية البلورية في مقطع عرضي لصبة كبيرة.



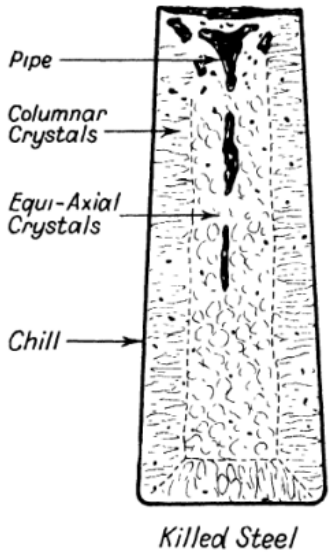
بنيات الصبات

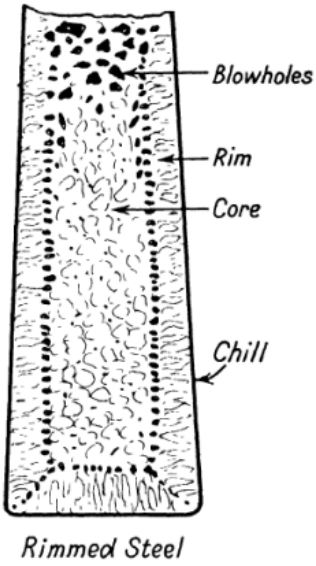
العيوب في المعادن المصبوبة Defects of Cast Metals

يمكن ان تكون المعادن المصبوبة عرضة الى عدد من العيوب وهي كما يلي

1- الفجوات الانبوبية Piping

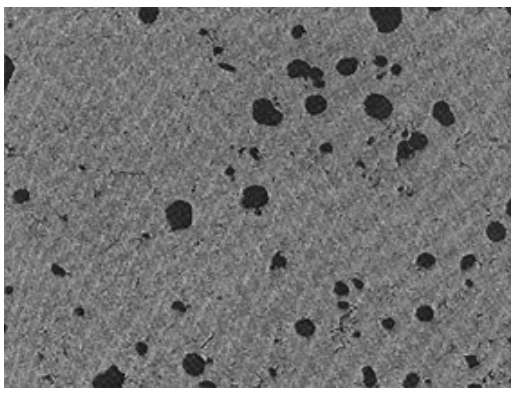
يتقلص حجم اغلب المعادن عندما يتم تبريدها من الحالة السائلة الى الحالة الصلبة وهذا التقلص يساوي تقريبا (2%) الى (5%) من الحجم وهذا الانكماش يؤدي الى تكوين الفجوات الانبوبية في الصبات المسبوكة .

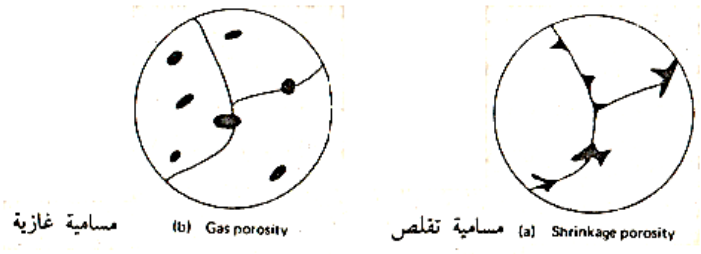




2- المسامية Porosity

يمكن ان يعزى مصدر المسامية في المعادن المصبوبة الى سببين اساسيين فغالبا ما يكون المعدن المنصهر غير قادر على ان يغذي الفسح او الفجوات المتكونه بين الشجيرات بسبب الانجماد وقد تنشأ المسامية بسبب انحصار الغاز في المصبوبة .





المسامية في المعادن المصبوبة .

3- الفرز Segregation

وهو ينشأ لان الشوائب تصبح متمركزة في السائل المتبقي وبناء على لك فمناطق الحدود البلورية تكون غنية بالشوائب نسبة الى مركز الحبيبة ومع ذلك فاذا كانت الفروق في التكوين على مسافات بحدود الابعاد الحبيبية يدعى الفرز عندئذ بالفرز الدقيق واذا كانت الفروق بمسافات كبيرة مثلا من داخل الى خارج المسبوكة يدعى بالفرز العياني.

نشاط طلابي:-

❖ **قسم الطلبة الى مجاميع واطلب منهم**

- جلب صور حقيقية من عيوب المعادن ويصنفونها.

اسئلة :-

- ما هي عيوب الصبات مع الرسم؟
- ما هي اسباب ظهور المسامية وطرق علاجها؟
- وضع كيف يتم تجمد الصبات؟
- هل يؤثر نوع القالب على عدد البلورات التي تظهر بالتجمد؟
- ما هي انواع البلورات التي تظهر عند تجمد الصبات؟

واجب بيتي:-

❖ قسم الطلاب الى مجاميع وكل مجموعة تكتب تقريرا عن

- تجمد الصبات
- عيوب الصبات

الاسبوع الثالث

الهدف التعليمي

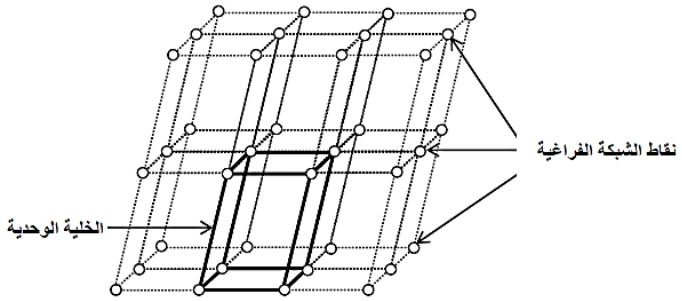
- **الموضوع النظري :** الشبكات البلورية ، عدد التنسيق ، حسابات العدد الكلي والفعلي لكل نوع من الشبكات.
- **النشاط العملي** :رسم الاتجاهات والمستويات باستخدام المكعب ؟
- **سؤال الأسبوع** :ما أهمية معرفة عدد التنسيق في التصميم؟
- **الواجب البيتي** :احسب العدد الكلي والفعلي للذرات لشبكة FCC و BCC باستخدام المعادلات.
- **مدة المحاضرة:** ساعتين نظري وساعتين عملي.

الشبكة البلورية للمعادن (النسق البلوري) crystal lattice

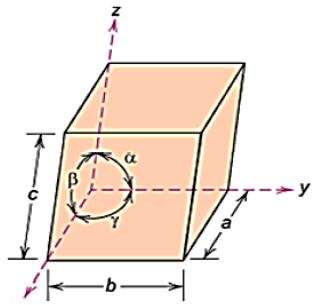
ان الذرات او الايونات الموجودة فعلا في البلورة توجد او توزيع في مستويات (نسق) واوضاع فراغية مضبوطة تماما يطلق عليها البنية او الشبكة الذرية البلورية. ويتكون النسق البلوري من مستويات وخطوط تخيلية تمر بنقاط تواجد الذرات في الفضاء في الاتجاهات المتعامدة الثلاثة .

وحدة الخلية Unit cell و هي اصغر مكعب الذي يتكرر بالاتجاهات.

الذرات الاساسية Basic atoms وهي الذرات المكونه لوحدة الخلية تسمى الذرات الاساسية basic atoms والمسافات التي تفصل بين المستويات المختلفة التي تكون اطوال وحدة الخلية تسمى **الثوابت البلورية (a,b,c)** والتي تختلف من معدن الى اخر وكذلك تفصل بينها زوايا الفا وبيتا وكاما.



مفهوم الشبكة الفراغية



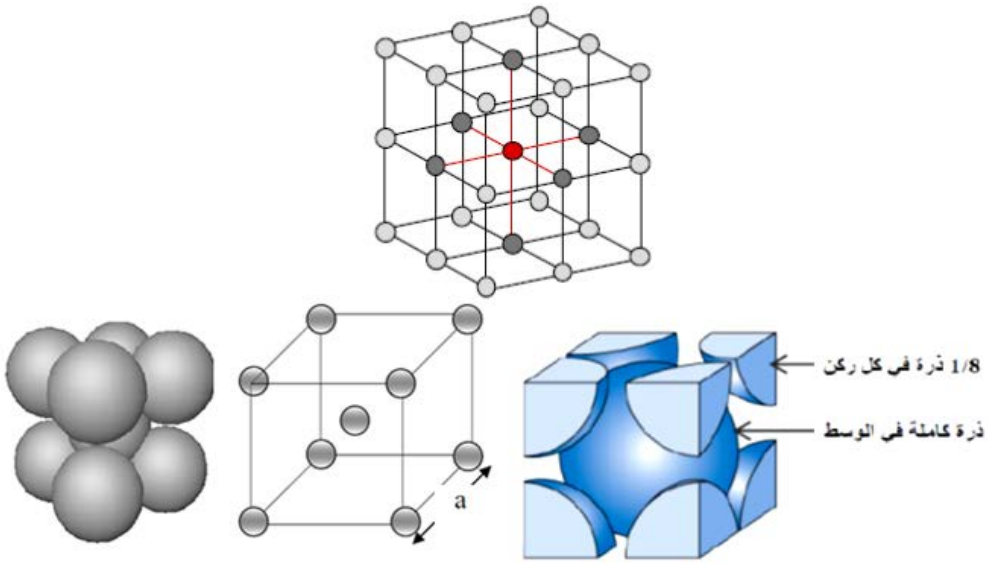
الخلية الوحدية وخصائصها الهندسية

فالمعادن البلورية تكون لها ثلاث انواع من البنى البلورية Crystal Structure :

1- مكعب متمركز الجسم Body Centered Cubic (BCC) مثل المولبيدينوم والفناديوم
2- مكعب متمركز الوجه Face Centered Cubic (FCC) النحاس والالمنيوم والرصاص والنيكل
3- سداسي متراص Close Packed Hexagonal (CPH) الخارصين والمغنسيوم والكادميوم والبريليوم .

1- نظام مكعب متمركز الجسم Body –Centre Cubic (BCC)

وهو من اكثر الشبكات البلورية انتشارا في المعادن ويحتوي على تسع ذرات ، ثمانية بالاركان وواحدة



نموذج الخلية الوحدية في النظام المكعبي مركزي الجسم

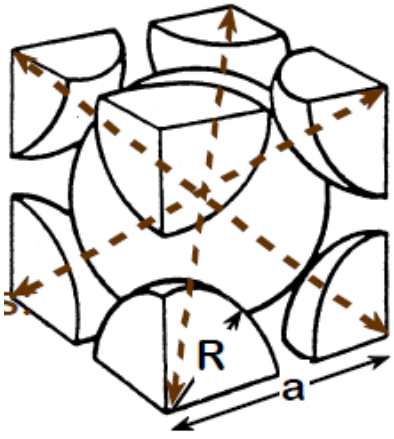
بالمركز.ومن امثلة هذا النظام هو الصوديوم والبوتاسيوم والتنجستن.

القانون العام لحساب عدد الذرات الفعلي الموجودة في وحدة الخلية

$$B.c.c = \frac{\text{عدد الذرات في الخلية}}{8} + \frac{\text{عدد الذرات في الاوجه}}{2} + \text{عدد الذرات الداخلية}$$

$$= \frac{8}{8} + \frac{0}{2} + 1 = 2 \text{ atoms}$$

ويكون تلامس الذرات في هذا النوع من الشبكات البلورية (BCC) قطريا على طول المكعب مع الذرة الوسط ويسمى عدد الذرات التي تمس الذرة الوسط بعدد التنسيق ويكون في هذا النوع يساوي(8).

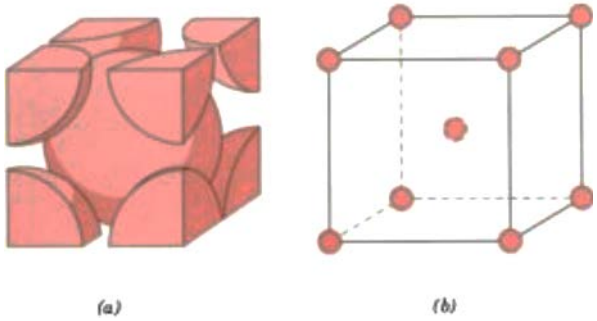


مثال

معدن من التنكستن حدد نوع الشبكة البلورية الخاصة به واحسب عدد الذرات الاسمية والفعلية وعدد التنسيق؟

الحل

- التنكستن من شبكة BCC
- عدد الذرات لكلية او الاسمية تسع ذرات (ثمانية بالاركان وواحدة بالمركز).



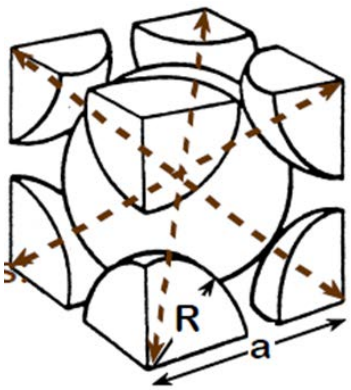
(a) (b)

القانون العام لحساب عدد الذرات الفعلي الموجودة في وحدة الخلية

$$B.c.c = \frac{\text{عدد الذرات في الخلية}}{8} + \frac{\text{عدد الذرات في الاوجه}}{2} + \text{عدد الذرات الداخلية}$$

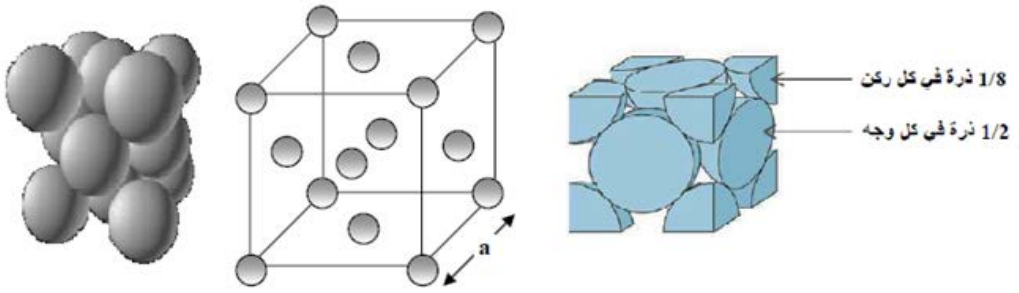
$$= \frac{8}{8} + \frac{6}{2} + 1 = 2 \text{ atoms}$$

تلامس الذرات في هذا النوع من الشبكات البلورية (BCC) قطريا على طول المكعب مع الذرة الوسط ويسمى عدد الذرات التي تمس الذرة الوسط بعدد التنسيق ويكون في هذا النوع يساوي(8).



2- **نظام مكعب متمركز الوجه** Face –Centre Cubic(FCC)

تحتل المعادن نسق المكعب متمركز الوجه جميع اركان المكعب بالاضافة الى مركز كل وجه من الاوجه.ومن المعادن التي لها هذا النسق هي الالومنيوم ، الكالسيوم ، النحاس ، الفضة ، الذهب والرصاص.

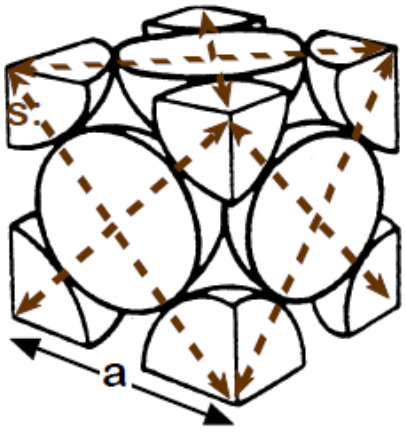


القانون العام لحساب عدد الذرات الفعلي الموجودة في وحدة الخلية

$$F.c.c = \frac{\text{عدد الذرات في الخلية}}{8} + \frac{\text{عدد الذرات في الاوجه}}{2} + \text{عدد الذرات الداخلية}$$

$$= \frac{8}{8} + \frac{6}{2} + o = 4 \text{ atoms}$$

ويكون تلامس الذرات في هذا النوع من الشبكات البلورية (FCC) قطريا على طول جوانب او اوجه المكعب مع الذرات في وسط وجه المكعب فيكون عدد التنسيق يساوي(12).

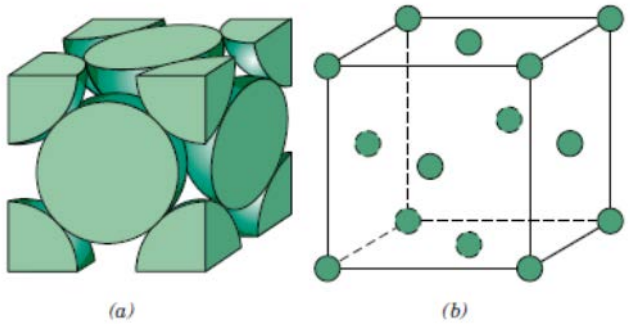


مثال

معدن من الذهب حدد نوع الشبكة البلورية الخاصة به واحسب عدد الذرات الاسمية والفعلية وعدد التنسيق؟

الحل

- الذهب من شبكة FCC
- عدد الذرات لكلية او الاسمية اربعة عشر ذرة (ثمانية بالاركان وستة بالاوجه).

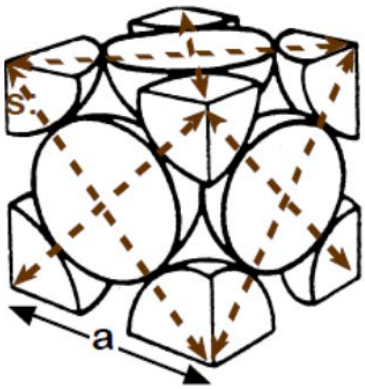


القانون العام لحساب عدد الذرات الفعلي الموجودة في وحدة الخلية

$$F.c.c = \frac{\text{عدد الذرات في الخلية}}{8} + \frac{\text{عدد الذرات في الاوجه}}{2} + \text{عدد الذرات الداخلية}$$

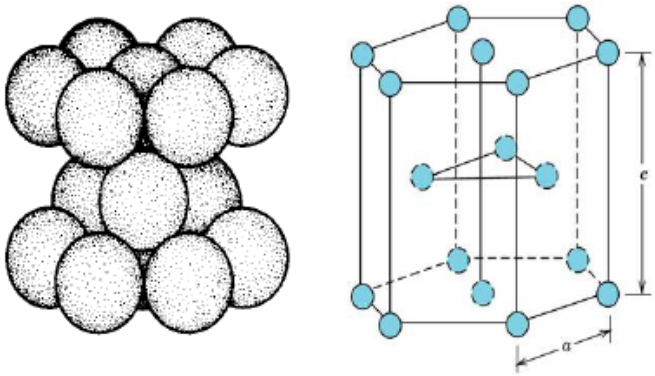
$$= \frac{8}{8} + \frac{6}{2} + o = 4 \text{ atoms}$$

ويكون تلامس الذرات في هذا النوع من الشبكات البلورية (FCC) قطريا على طول جوانب او اوجه المكعب مع الذرات في وسط وجه المكعب فيكون عدد التنسيق يساوي(12).



3- سداسي متراص Hexagonal Close Packed(HCP)

وهو عبارة عن منشور سداسي طول ضلع قاعدته (a) وارتفاعه (c) توجد ذرة واحدة في كل ركن من اركانه وذرة واحدة في مركز كل قاعدة من قاعدتيه الاثنين وثلاث ذرات على السطح المركزي الموجود داخل الخلية .اذن يحتوي على (17) ذرة سبعة منها على السطح العلوي وسبعة على السطح السفلي وثلاثة في السطح المركزي ومن المعادن المرتبة في هذا النظام مثل الخارصين والكوبلت والتيتانيوم والمغنيسيوم .



القانون العام لحساب عدد الذرات الفعلي الموجودة في وحدة الخلية

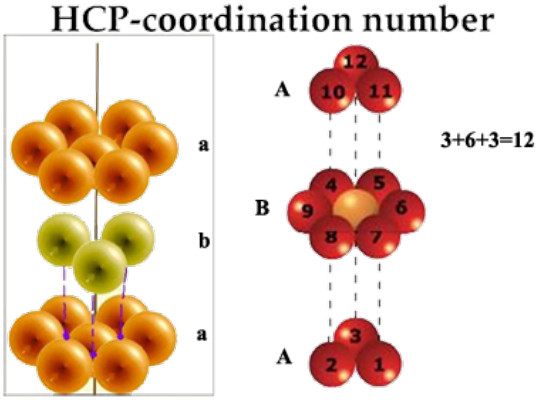
$$c.p.h = \frac{\text{عدد الذرات في الخلية}}{6} + \frac{\text{عدد الذرات في الاوجه}}{2} + \text{عدد الذرات الداخلية}$$

$$= \left(12 \times \frac{1}{6}\right) + \left(2 \times \frac{1}{2}\right) + 3 = 2 + 1 + 3 = 6 \text{ atoms}$$

نجد ان عدد الذرات الاقرب للذرة التي توجد في مركز القاعدة العلوية للمنشور هي كما يلي

- الذرات الثلاثة الموجودة في منتصف المنشور .
- الذرات الستة المحيطة بها بنفس القاعدة .
- ثلاث ذرات في وسط المنشور المحاور لهذا المنشور من الاعلى .

وبالتالي فان العدد التنسيقي في هذا النظام يساوي اثنا عشر .

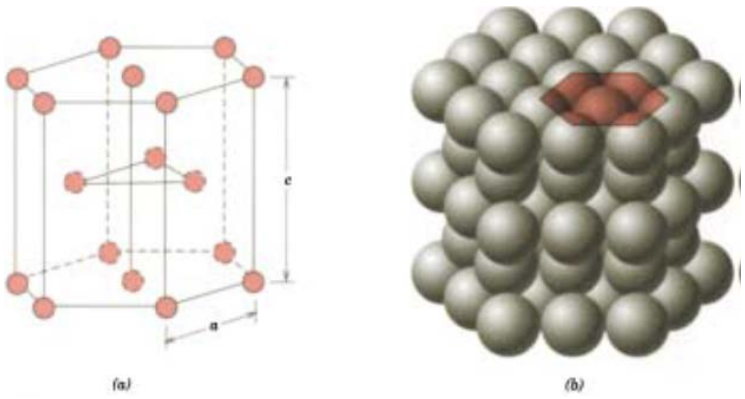


مثال

معدن من المغنيسيوم حدد نوع الشبكة البلورية الخاصة به واحسب عدد الذرات الاسمية والفعلية وعدد التنسيق؟

الحل

- المغنيسيوم من شبكة HCP
- عدد الذرات لكلية او الاسمية سبعة عشر ذرة (اثنا عشر ذرة للقاعدة والسفلية و والعلوية واثنان بالاوجه العلوية والسفلية وثلاثة بالمركز).



القانون العام لحساب عدد الذرات الفعلي الموجودة في وحدة الخلية

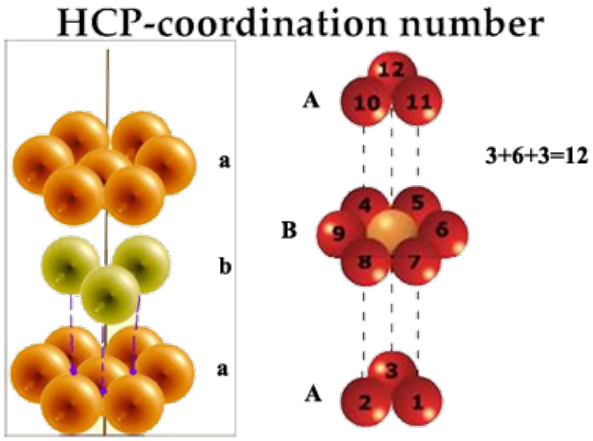
$$c.p.h = \frac{\text{عدد الذرات في الخلية}}{6} + \frac{\text{عدد الذرات في الاوجه}}{2} + \text{عدد الذرات الداخلية}$$

$$= \left(12 \times \frac{1}{6}\right) + \left(2 \times \frac{1}{2}\right) + 3 = 2 + 1 + 3 = 6 \text{ atoms}$$

نجد ان عدد الذرات الاقرب للذرة التي توجد في مركز القاعدة العلوية للمنشور هي كما يلي

- الذرات الثلاثة الموجودة في منتصف المنشور .
- الذرات الستة المحيطة بها بنفس القاعدة .
- ثلاث ذرات في وسط المنشور المحاور لهذا المنشور من الاعلى .

وبالتالي فان العدد التنسيقي في هذا النظام يساوي اثنا عشر .



نشاط طلابي:-

❖ **قسم الطلبة الى مجاميع واطلب منهم**

- جلب صور حقيقية من الشبكات البلورية ويصنفونها.

اسئلة :-

- ما هي انواع الشبكات البلورية مع الرسم؟
- ما هو عدد التنسيق وكيف يتم حسابه لكل نوع من الشبكات؟
- اشتق عدد الذرات الفعلية والاسمية لشبكة FCC؟
- معدن من الذهب حدد نوع الشبكة البلورية الخاصة به واحسب عدد الذرات الاسمية والفعلية وعدد التنسيق؟
- معدن من المغنيسيوم حدد نوع الشبكة البلورية الخاصة به واحسب عدد الذرات الاسمية والفعلية وعدد التنسيق؟

واجب بيتي:-

❖ قسم الطلاب الى مجاميع وكل مجموعة تكتب تقريرا عن

- الشبكات البلورية مع ذكر مثال لكل نوع.
- عدد التنسيق لكل نوع من الشبكات.

الاسبوع الرابع

الهدف التعليمي

- **الموضوع النظري :** معامل التراص او الاكتظاظ APF.
- **النشاط العملي** :رسم الاتجاهات والمستويات باستخدام المكعب ؟
- **سؤال الأسبوع** :ما أهمية معرفة معامل الاكتظاظ في التصميم؟
- **الواجب البيتي** :احسب معامل الاكتظاظ لشبكة FCC و BCC باستخدام المعادلات.
- **مدة المحاضرة:** ساعتين نظري وساعتين عملي

معامل التراص (الاكتظاظ) Atomic Packing Factor(APF)

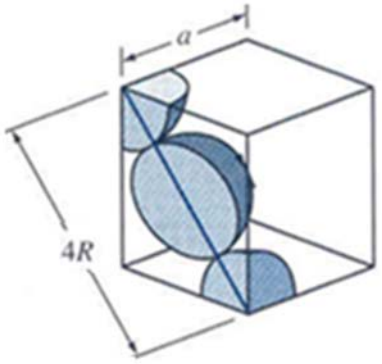
يعرف معامل الاكتظاظ الذري بانه النسبة بين مجموع الذرات المكونه للوحدة البلورية الى حجم الوحدة البلورية ويعتبر من الخواص المهمة للخلية الوحدوية للمعادن اي كلما ارتفع معامل الاكتظاظ كلما كانت الخلية الاساسية اكثر اكتظاظا بالذرات .

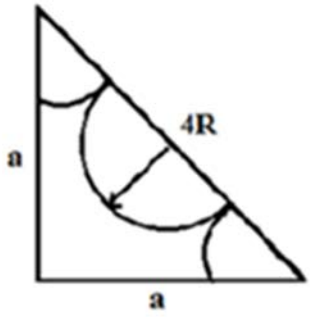
$$\text{معامل الاكتظاظ} \quad APF = \frac{\text{حجم الذرة} \times \text{العدد الفعلي للذرات في الخلية}}{\text{حجم الخلية الوحدية}}$$

لغرض حساب معامل الاكتظاظ لكل نوع من الشبكات يجب

اولا - معرفة علاقة طول ضلع الخلية (a) مع نصف قطر الذرة (R)

حساب علاقة طول ضلع الخلية مع نصف قطر الخلية لشبكة FCC





حسب نظرية فيثاغورس

$$(4R)^2 = a^2 + a^2$$
$$(4R)^2 = 2a^2$$
$$4R = \sqrt{2}\ a$$
$$a = \frac{4R}{\sqrt{2}}$$

ثانيا – نقوم بحساب حجم الذر ة وهو حجم الكرة

- العدد الشغلي للذرات FCC = 4
- حجم الذرة يساوي الكروي $\frac{4}{3}\pi \times R^3$ =

ثالثا ــ نقوم بحساب حجم المكعب

حجم المكعب $V = a^3 = 16\sqrt{2}r^3$

رابعا- نقوم بحساب معامل الاكتظاظ

$$APF \text{ (معامل الاكتظاظ)} = \frac{\text{حجم الذرة x العدد الشغلي للذرات في الخلية}}{\text{حجم الخلية المكعبة الوحدية}}$$

$$APF = \frac{4 \times \frac{4}{3} \times \pi \times R^3}{\left(\frac{4}{\sqrt{2}} \times R\right)^3} = \frac{\pi \times \sqrt{2}}{6} = 0.74$$

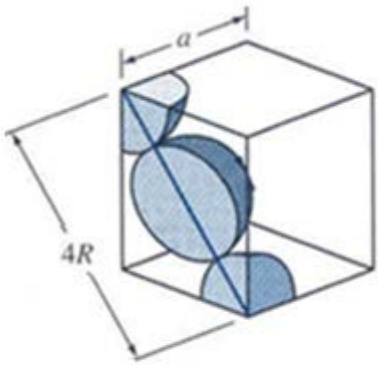
وبيين العدد 0.74 ان 74% من حجم الخلية تملؤه الذرات والباقي عبارة عن فراغات ومسام

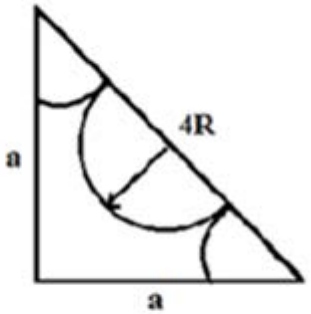
مثال

معدن من الفضة حدد نوع الشبكة البلورية الخاصة به واحسب حجم الذرة وحجم المكعب ومعامل الاكتظاظ؟

الحل

اولا- حساب علاقة طول ضلع الخلية مع نصف قطر الخلية لشبكة FCC





حسب نظرية فيثاغورس

$(4R)^2 = a^2 + a^2$

$(4R)^2 = 2a^2$

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

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

ثانيا – نقوم بحساب حجم الذر ة وهو حجم الكرة

- العدد الفعلي للذرات FCC = 4
- حجم الذرة يساوي الكروي $\frac{4}{3}\pi \times R^3$ =

ثالثا – نقوم بحساب حجم المكعب

$$\text{حجم المكعب} = V = a^3 = 16\sqrt{2}r^3$$

رابعا- نقوم بحساب معامل الاكتظاظ

$$\text{(معامل الاكتظاظ) APF} = \frac{\text{حجم الذرة x العدد الفعلي للذرات في الخلية}}{\text{حجم الخلية المكعبة الوحدية}}$$

$$APF = \frac{4 \times \frac{4}{3} \times \pi \times R^3}{\left(\frac{4}{\sqrt{2}} \times R\right)^3} = \frac{\pi \times \sqrt{2}}{6} = 0.74$$

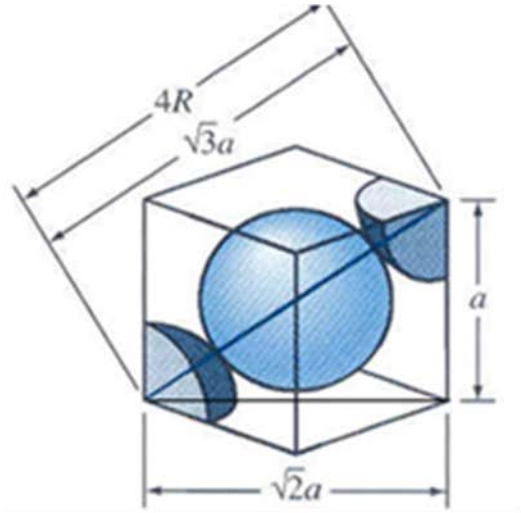
وبيبن العدد 0.74 ان 74% من حجم الخلية تملؤه الذرات والباقي عبارة عن فراغات ومسام

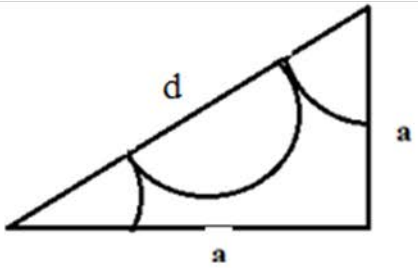
مثال

معدن من البوتاسيوم حدد نوع الشبكة البلورية الخاصة به واحسب حجم الذرة وحجم المكعب ومعامل الاكتظاظ؟

الحل

اولا- حساب علاقة طول ضلع الخلية مع نصف قطر الخلية لشبكة BCC

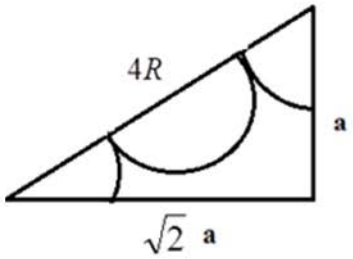




$$d^2 = a^2 + a^2$$

$$d^2 = 2\,a^2$$

$$d = \sqrt{2}\ a$$



$$4R^2 = \left(\sqrt{2}\ a\right)^2 + a^2$$

$$4R^2 = 3\,a^2$$

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

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

ثانيا- نقوم بحساب حجم الذر ة وهو حجم الكرة

- العدد الفعلي للذرات FCC = 2
- حجم الذرة يساوي الكروي $= \frac{4}{3}\pi \times R^3$

ثالثا- نقوم بحساب حجم المكعب

$$\text{حجم المكعب} = V = a^3 = \left(\frac{4R}{\sqrt{3}}\right)^3$$

رابعا- نحسب معامل الاكتظاظ

$$\mathrm{APF} = \frac{2 \cdot \frac{4}{3}\pi r^3}{\left(\frac{4r}{\sqrt{3}}\right)^3}$$

$$= \frac{\pi\sqrt{3}}{8} \approx 0.68$$

- وبنفس الطريقة نجد معامل الاكتظاظ للشبكة من نوع BCC الذي يساوي = 0.68
- وبنفس الطريقة نجد معامل الاكتظاظ للشبكة من نوع HCP الذي يساوي = 0.74

نوع الشبكة	عدد الذرات الاسمية	عدد الذرات الفعلية	معامل الاكتظاظ	مثال
BCC	**9**	**2**	**0.68**	**Fe**
FCC	**14**	**4**	**0.74**	**Cu**
HCP	**17**	**6**	**0.74**	**Zn**

نشاط طلابي:-

❖ **قسم الطلبة الى مجاميع واطلب منهم**

- جلب صور حقيقية من الشبكات البلورية وحساب معامل الاكتظاظ لها.

اسئلة :-

- ما هو معامل الاكتظاظ وماهو دوره في التصميم؟
- اشتق معامل الاكتظاظ لشبكة FCC؟
- معدن من البوتاسيوم حدد نوع الشبكة البلورية الخاصة به واحسب حجم الذرة وحجم المكعب ومعامل الاكتظاظ؟
- كون جدول يبين عدد التنسيق وعدد الذرات الكلية والفعلية ومعامل الاكتظاظ لكل نوع من الشبكات البلورية؟

واجب بيتي:-

❖ قسم الطلاب الى مجاميع وكل مجموعة تكتب تقريرا عن

- معامل الاكتظاظ لكل الشبكات البلورية .
- فائدة معامل الاكتظاظ في التصميم.

الاسبوع الخامس

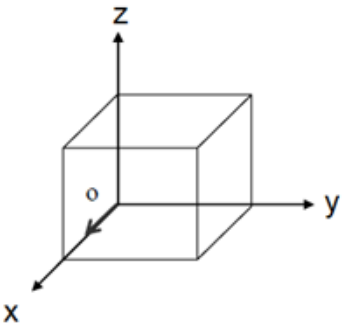
الهدف التعليمي

- **الموضوع النظري :** الاتجاهات البلورية، المستويات البلورية ، ظاهرة التأصل.
- **النشاط العملي** :رسم الاتجاهات والمستويات البلورية باستخدام المكعب والسداسي المكتظ ؟
- **سؤال الأسبوع** :ما أهمية معرفة الاتجاهات والمستويات البلورية في التصميم؟
- **الواجب البيتي** :ارسم. الاتجاهات والمستويات البلورية (111) ، (121)، (100)، [110]،[100]،[011]
- **مدة المحاضرة:** ساعتين نظري وساعتين عملي

الاتجاهات البلورية

يمكن اعتبار المتجه البلوري شعاع معرف بنقطة بدايته واتجاهه واحداثياته في المحاور الثلاثة في الفراغ بحيث يمثل المتجه البلوري في النظام المكعبي بثلاث ارقام صحيحة تكتب بين قوسين مربعين مثل [101] باتباع الخطوات التالية

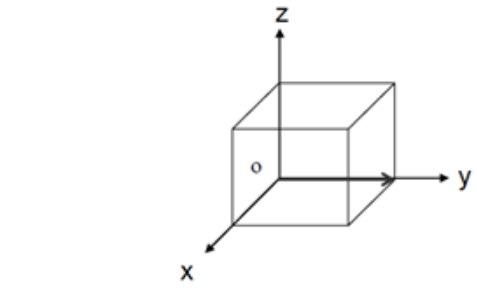
1- تحديد نقطة الاصل
2- ايجاد الاسقاطات على المحاور الثلاثة بدلالة طول ضلع المكعب (a)
3- تضرب هذه الارقام او تقسم بمعامل مشترك لاختزالها لاصغر ارقام صحيحة
4- توضع هذه الارقام الصحيحة بين قوسين مربعين حسب الصيغة التالية [UVW]



الخطوة الأولى: إحداثيات الشعاع : (a/2 0 0)

الخطوة الثانية: قسمة على a/2 ، نحصل على (1 0 0)

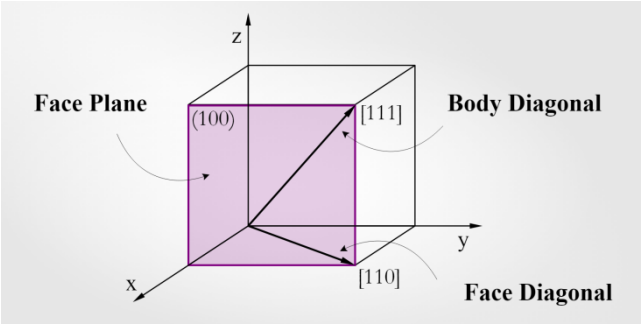
الخطوة الثالثة: كتابة صيغة المتجه: [100]

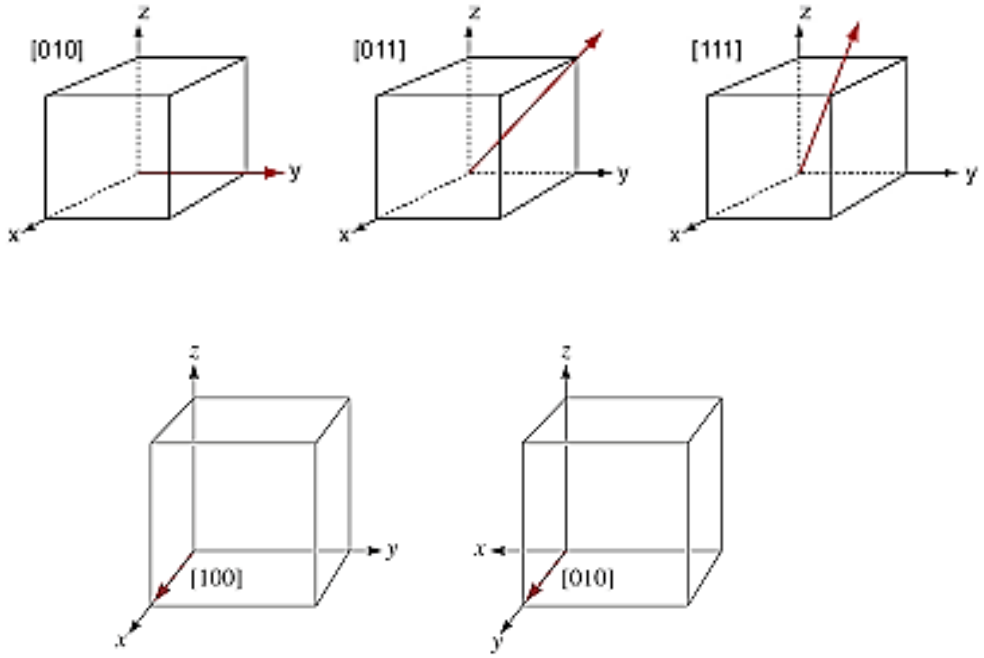


الخطوة الأولى: إحداثيات الشعاع : (0 a 0)

الخطوة الثانية: قسمة على a نحصل على: (0 1 0)

الخطوة الثالثة: كتابة صيغة المتجه: [010]




[010]
[011]
[111]
[100]
[010]
A
B
(0,0,0)
(1,1,0)
(0,0,0)
(1,1,0)

المستويات البلورية

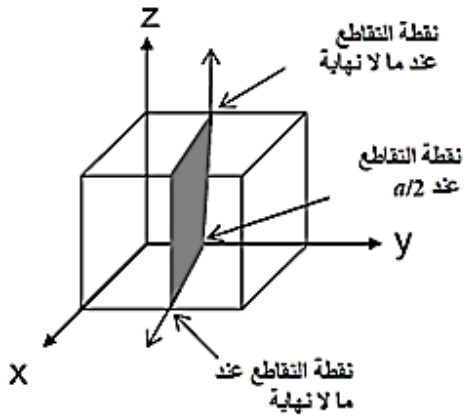
نمثل المستويات البلورية في النظام المكعبي بثلاث ارقام صحيحة بين قوسين مثل (111) والمستوي البلوري (101) وتسمى الاعداد الصحيحة بين قوسين باحداثيات ميلر ، و لقراءة او رسم مستوي بلوري نستعمل طريقة ميلر التي تنص على تعيين نقطة اصل ورسم ثلاث محاور ، ونقطة الاصل تكون اختيارية ثم نتبع الخطوات التالية :-

1- نجد نقاط تقاطع المستوي البلوري مع المحاور الثلاثة وملاحظة اذا كان المستوي موازيا لمحور ما فان نقطة التقاطع تكون ما لا نهاية(∞)
2- نقسم ارقام التقاطع على عامل مشترك للحصول على اصغر اعداد صحيحة .
3- ناخذ مقلوب الارقام المتحصل في اعلاه ثم نضع بين قوسين ( ) مع ملاحظة ان مقلوب (∞) هو صفر كما مبين بالشكل ادناه .

الخطوة الأولى: إيجاد تقاطع المستوى مع المحاور: ∞ a /2 ∞

الخطوة الثانية: نقسم على a/2 نحصل على: ∞ 1 ∞

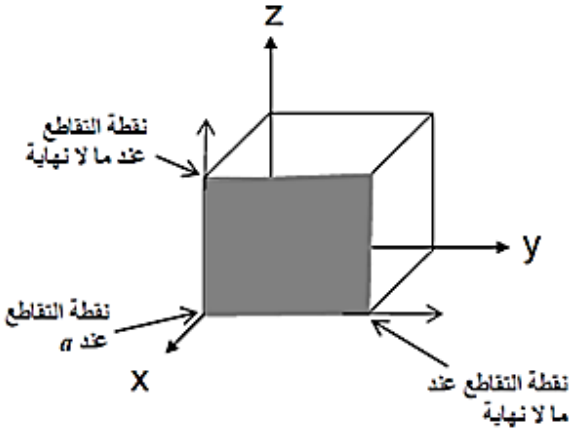
الخطوة الثالثة: نأخذ مقلوب نقاط التقاطع و نحصل على المستوى البلورى: (010)



الخطوة الأولى: أوجد تقاطع المستوى مع المحاور:
a ∞ ∞

الخطوة الثانية: نقسم على a نحصل على :
1 ∞ ∞

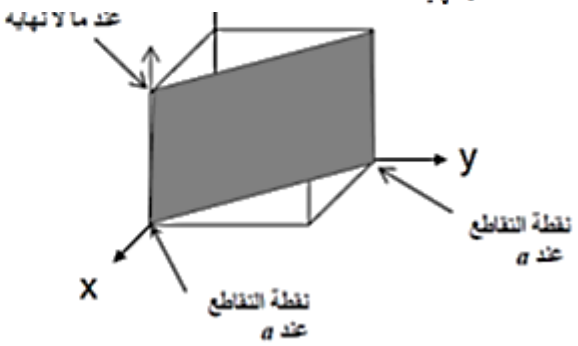
الخطوة الثالثة: نأخذ مقلوب نقاط التقاطع، نحصل على المستوى البلورى: (100)

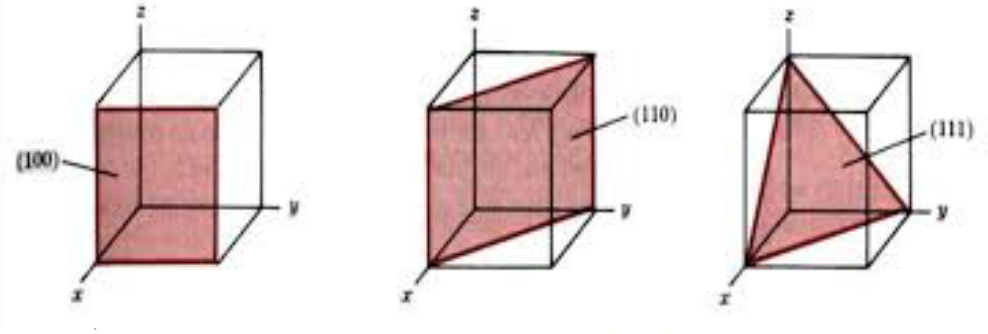


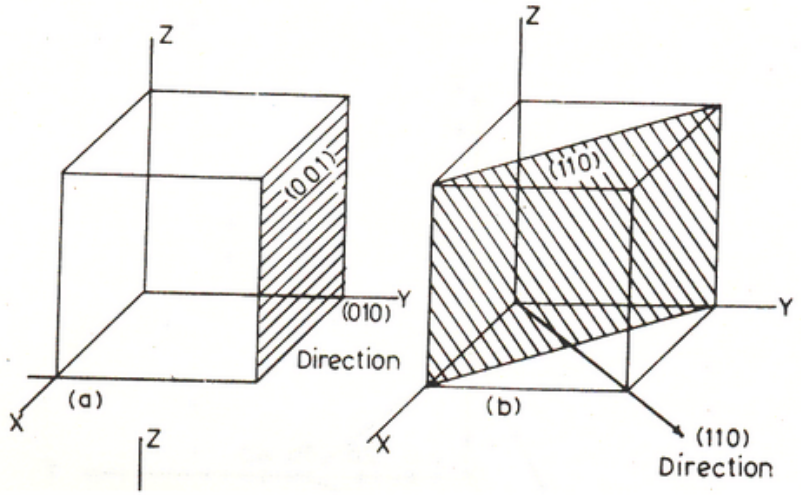
الخطوة الأولى: أوجد تقاطع المستوى مع المحاور:
a a ∞

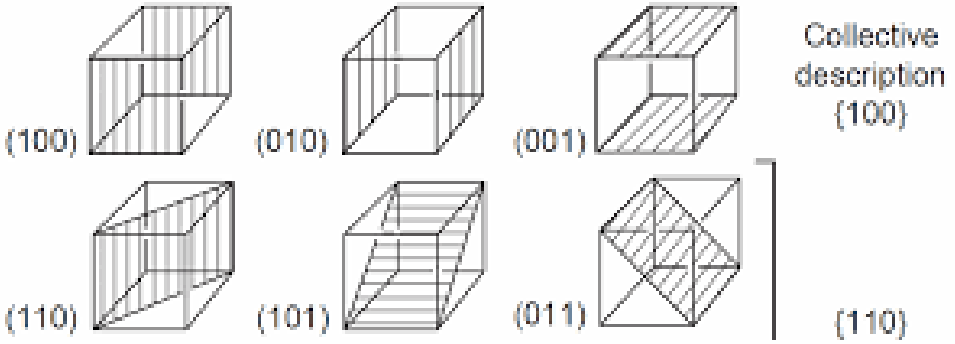
الخطوة الثانية: نقسم على a نحصل على:
1 1 ∞

الخطوة الثالثة: نأخذ مقلوب نقاط التقاطع، نحصل على المستوى البلورى: (110)



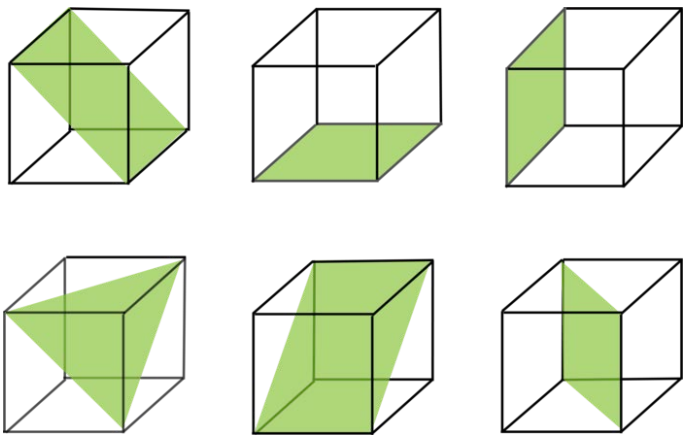






مثال

حدد المستويات البلورية للاشكال التالية:-



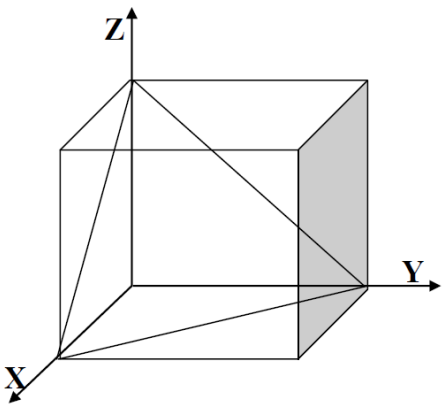
مستويات الانزلاق

عباره عن المستويات التي تحدث خلالها عملية التشوية اللدن وذلك لان المسافة بين اي مستويي انزلاق اكبر من المسافة بين اي مستويين اخرين مما يعني ان قوة الترابط بينهما تكون اقل من قوة الترابط بين اي مستويين اخرين في الشبكة البلورية لذا فعند تسليط قوة خارجية على المعدن فان هذه القوة المسلطة في البداية سوف تتغلب على القوة الصغيرة المقدار والتي تكون بين مستويات الانزلاق الامر الذي يجعل المعدن ينزلق على هذه المستويات وليس في المستويات الاخرى . وتكون مستويات الانزلاق دائما اكثر ازدحاما بالذرات (اي ان المستويات التي تحتوي على اكبر عدد من الذرات) وتختلف هذه المستويات باختلاف الشبكة البلورية وكما يلي :

الشبكة البلورية نوع متمركز الوجه(F.C.C)

- ان المستويات الاكثر ازدحاما بالذرات هي مستويات (111) وكما موضح بالشكل ادناه وعددها اربع
- عدد اتجاهات الانزلاق تمثل اقطار اوجه المكعب وعددها (3)
- فان امكانية الانزلاق تكون 12 = 4X3

لذا فان المعادن التي تتبلور على هيئة (F.C.C) مثل النحاس والالمنيوم والرصاص والفضة والبلاتين وحديد كاما تكون سهلة التشكيل لذا يطلق عليها معادن لدنة.

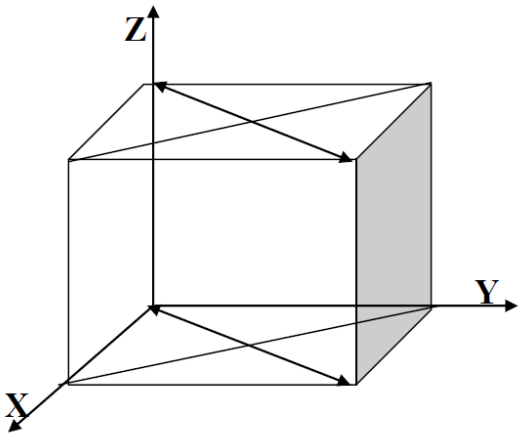


الشبكة البلورية نوع متمركز الجسم (B.C.C)

- ان المستويات الاكثر ازدحاما بالذرات هي مستويات (110) وكما موضح بالشكل ادناه وعددها ستة
- عدد اتجاهات الانزلاق تمثل اقطار اوجه المكعب وعددها (2)
- فان امكانية الانزلاق تكون 12 = 6X2

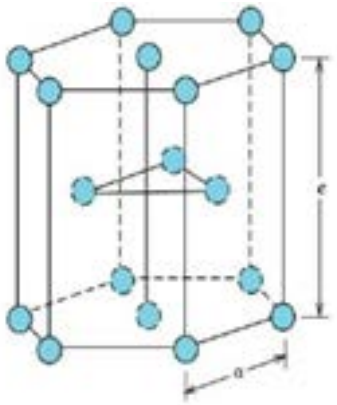
لذا فان المعادن التي تتبلور على هيئة (B.C.C) مثل المولبدينيوم والفناديوم وحديد الفا تمتاز كذلك بسهولة تشكيلها

تشكيلا لدنا نسبة الى المعادن التي تتبلور على هيئة سداسي متراص (C.P.H) ولكن ليس افضل من تلك التي تتبلور على هيئة (F.C.C) وذلك لان اتجاهات الانزلاق اثنان فقط



الشبكة البلورية نوع سداسي متراص (C.P.H)

- ان المستويات الاكثر ازدحاما بالذرات هي مستويات قاعدة الشكل السداسي (0001) وكما موضح بالشكل ادناه وعددها واحد فقط
- عدد اتجاهات الانزلاق هي الاتجاهات الرئيسية الثلاثة وعددها (3)
- لذا فان امكانية الانزلاق 3 = 3X1
- لذا فان المعادن التي تتبلور على هيئة سداسي متراص **(C.P.H)** مثل الزنك والمغنيسيوم والبريليوم تكون صعبة جدا في التشكيل اللدن نسبة الى المعادن الاخرى بسبب قلة امكانية الانزلاق

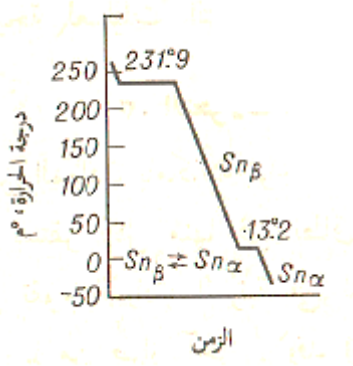


التحولات التأصلية(الطورية)

تتميز بعض المعادن بامكانية تواجدها في عدة صور تأصلية للنسق البلوري ويستقر كل منها في نطاق معين من درجات الحرارة.ففي التحول التأصلي تقوم الذرات المرتبة في نسق بلوري معين بتغيير ترتيبها بحيث تكون نسقا بلوريا من طراز اخر.مثال على ذلك

$$Fe_\alpha \rightleftarrows Fe_\gamma,\ Co_\alpha \rightleftarrows Co_\beta,\ Ti_\alpha \rightleftarrows Ti_\beta$$

يجري التحول التأصلي كنتيجة لانتقال المادة البلورية الى حالة جديدة تتميز بقدر اقل من الطاقة الحرة ويتم التحول عن طريق تكوين الاجنة ونموها اللاحق نتبجة لانتقال الذرات من الصورة القديمه الى الجديدة.



نشاط طلابي:-

❖ **قسم الطلبة الى مجاميع واطلب منهم**

- رسم اشكال من الشبكات البلورية وحساب الاتجاهات والمستويات البلورية.

اسئلة :-

- ما هي الاتجاهات البلورية وما هي فائدتها؟
- ما هي المستويات البلورية وما هي فائدتها؟
- ارسم الاتجاهات والمستويات البلورية للرموز التالية (111) ، (101)، (100)، [110] ,[111],[101].
- ما هو ظاهرة التحول التاصلي وفي اي معادن يظهر؟

واجب بيتي:-

❖ قسم الطلاب الى مجاميع وكل مجموعة تكتب تقريرا عن

- الاتجاهات والمستويات البلورية .
- ظهرة التحول التاصلي.

الاسبوع السادس

الهدف التعليمي

- **الموضوع النظري :** عيوب الشبكة البلورية، النقطية ، الخطية.
- **النشاط العملي** :عرض نماذج ثلاثية للعيوب النقطية والانخلاعات .
- **سؤال الأسبوع** :كيف تؤثر العيوب على خواص المعدن؟ ما الفرق بين عيوب الصبات وعيوب الشبكة البلورية؟
- **الواجب البيتي** :ما هي عيوب الشبكة البلورية بورق بياني؟
- **مدة المحاضرة:** ساعتين نظري وساعتين عملي

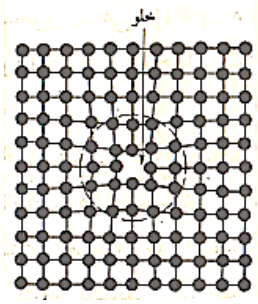
عيوب الشبكة البلورية Crystal Defects

لا تتصف البنية البلورية بالانتظام التام بدرجة الكمال لابد من وجود خلل في النسق البلوري وهذا العيب في النسق البلوري يسمى عيوب الشبكة البلورية .و تؤثر هذه العيوب على بعض الخواص الفيزياوية مثل التوصيل الكهربائي والخواص المغناطيسية .حيث تنقسم هذه العيوب الى عيوب نقطية وخطية وسطحية.

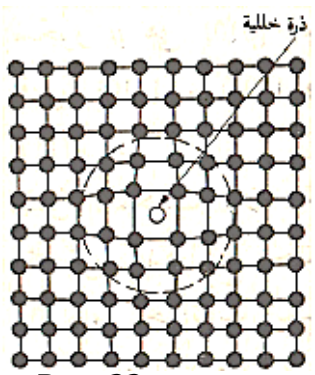
1- العيوب النقطية point defects

وهي عيوب صغيرة لا يتعدى نطاق تاثيرها الا بعض اقطار ذرية في الاتجاهات الثلاثة وتسبب تشوهات موضعية في النسق البلوري وتظهر هذه العيوب ايضا نتيجة لانتقال الذرات من مواضعها او لتاثير ذرات الشوائب التي توجد في اكثر المعادن نقاوة من امثلتها هي

أ - الخلوات (عيوب شوتكي) وهي عبارة عن عقد في النسق البلوري تكونت نتيجة لانتقال الذرات من اماكنها في النسق الى سطح البلورة او تتكون نتيجة لمغادرة الذرات اماكنها في عقد النسق الى اماكن بينية بين العقد.

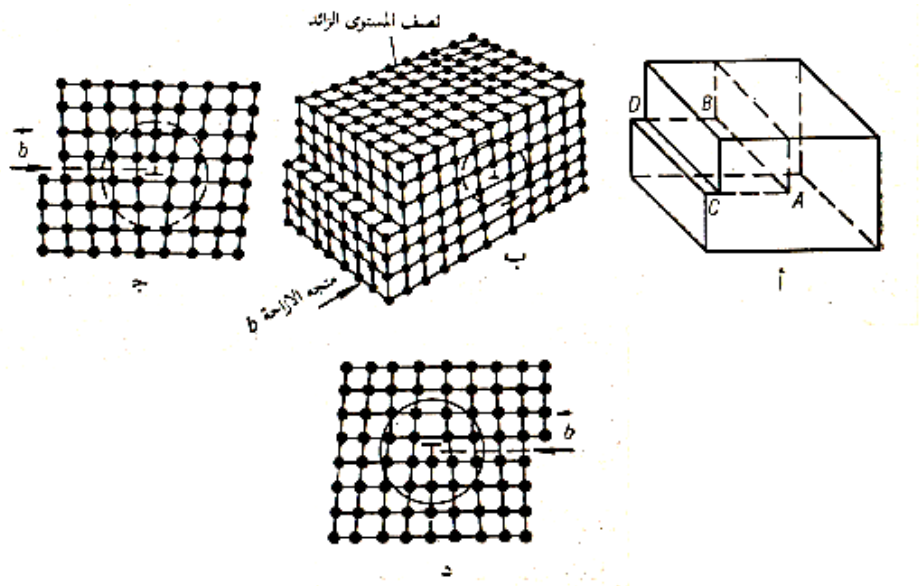


ب- الذرات البينية (عيوب فرنكل) وهي عبارة عن عيوب تكونت نتيجة لانتقال الذرات من عقد النسق البلوري الى الخلل الموجود بين عقد النسق.



2 - العيوب الخطية Line Defects

هي عبارة عن عيوب في النسق البلوري ويطلق عليها اسم الانخلاعات Dislocations وسميت خطية لانها تتحرك بمسار خطي على طول امتداد النسق او البنية البلوري وتكون عبارة عن تشوهات موضعية ناتجة عن وجود نصف مستو زائد من الذرات ولهذه العيوب بعدان صغيران والبعد الثالث كبير بقدرا كافي.

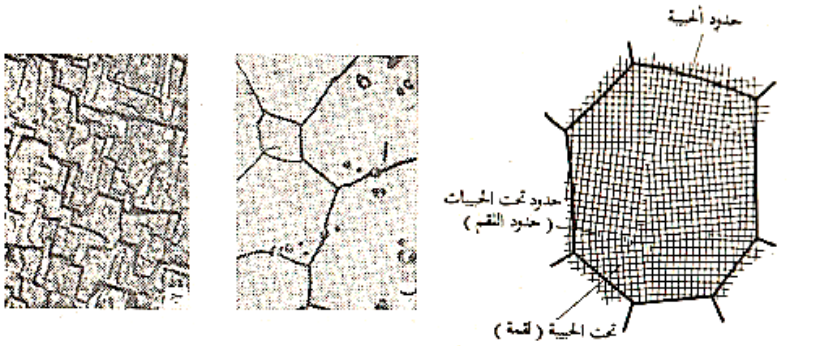


شكل ٧ . الانخلاعات الطرفية :
آ – الازاحة المؤدية الى تكون الانخلاع الطرفي ، ب – مخطط فراغي للانخلاع الطرفي ، ج ، د – مخطط توزيع مواقع الذرات عند الانخلاع ، ج – الموجب ، د – السالب

تتكون الانخلاعات اثناء عمليات تبلور المعادن نتيجة لتداخل وتلاحم الحبيبات المتجاورة و تجمعات الفراغات وكذلك اثناء عمليات التشكيل اللدن والتحولات الطورية .

3. العيوب السطحية Surface Defects

وهي عيوب بلورية متناهية في الصغر تظهر في اسطح الانفصال بين الحبيبات المتجاورة (الحدود البلورية) او تكون داخل الحبيبة



رسم تخطيطي لبنية حبيبة المعدن البنية الحبيبية للمعدن البنية النقمية للمعادن (تحت احبيبات)

نشاط طلابي:-

❖ **قسم الطلبة الى مجاميع واطلب منهم**

- رسم اشكال من عيوب الشبكة البلورية.

اسئلة :-

- ما هي عيوب الشبكة البلورية ؟
- ما هي انواع العيوب الخطية ؟
- كيف تحدث العيوب الخطية ؟
- هل العيوب الخطية تحدث في شبكة FCC؟

واجب بيتي:-

❖ قسم الطلاب الى مجاميع وكل مجموعة تكتب تقريرا عن

- عيوب الشبكة البلورية .
- العيوب الخطية الانخلاعات.

الاسبوع السابع

الهدف التعليمي

- **الموضوع النظري :** التشكيل المرن واللدن ، اليات التشكيل ، النزلاق والتوامة.
- **النشاط العملي** :اختبار عينة من صفيحة معدنية قبل وبعد التشوه.
- **سؤال الأسبوع :**متى يحدث الانزلاق في البنية البلورية؟ ومتى تحدث التوامة؟
- **الواجب البيتي** :صف الفروقات في التشوه بين المواد المطيلية والهشة من ناحية الانزلاق والتوامة ؟

التشكيل (التشوه) المرن و اللدن Plastic And Elastic Deformation

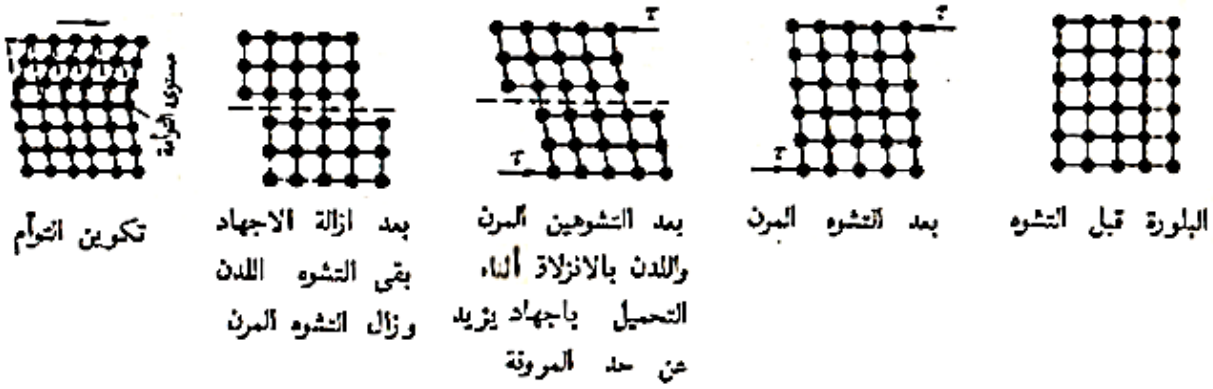
التشوه (التشكيل) هو التغيير الذي يحدث على شكل او ابعاد الجسم تحت تاثير القوى الخارجية. وممكن ان يحدث نتيجة لعمليات فيزياوية وميكانيكية تحدث في داخل الجسم مثل التغيرات التي تحدث في حجم البلورات نتيجة للتحولات الطورية او لاختلاف درجات الحرارة .

التشوه المرن Plastic Deformation

وهو التشوه الذي يزول تاثيره على شكل وبنية وخواص الجسم تماما بعد زوال تاثير القوى الخارجية .فلا ينشا اي تغييرات دائمية في خواص المعدن ويلاحظ ذلك عند اجراء اختبار الشد على العينات ذات البلورة المفردة فعند الشد تتزايد المسافات بين الذرات وتتناقص عند الضغط ويحدث نتيجة لازاحة الذرات من اوضاعها الاتزانية قوى تجاذب وتنافر فيعود الجسم الى حالته الاصلية بعد زوال المؤثر.

التشوه اللدن Elastic Deformation

وهو التشوه الذي الذي يبقى تاثيرة ولا يزول بعد زوال القوة الخارجية المؤثره عليه وذلك بسبب ان قيمة الاجهادات (القاصة) المؤثر قد وصلت الى حد المرونه .ويحدث التشوه اللدن في البلورات باحدى الطريقتين اما الانزلاق او التوأمه كما مبين بالشكل التالي



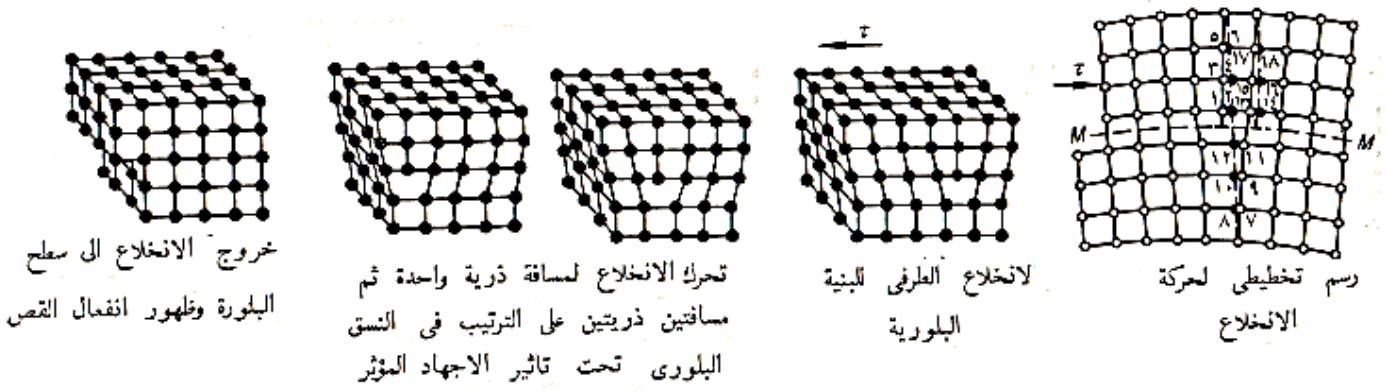
1- الانزلاق

يحدث في الشبكة البلورية على طول المستويات ذات الكثافة العالية من الذرات او في الاتجاه ذي الكثافة الاعلى من الكتديس بالذرات وذلك لكون مقاومة الانزلاق اقل ما يمكن لان المسافة بين المستويات الذرية تكون كبيرة .

الية حدوث الانزلاق

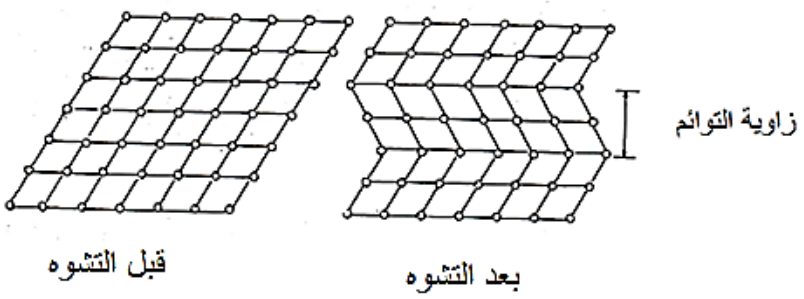
- حيث يحدث الانزلاق في المعادن ذات الشبكة التكعيبية المتمركزة الوجه مثل حديد كاما والالمنيوم والنحاس في اتجاه قطر وجه [110]. اما في المعادن ذات الشبكة البلورية التكعيبية المتمركزة الجسم مثل حديد الفا والفناديوم فان اكثر المستويات سهولة في الانزلاق هي [110] والاكثر يسرا هو الاتجاه [111]. وكلما زاد عدد مستويات الانزلاق المحتملة في المعدن كلما زادت قابليته للتشوه .فالمعادن التي تتبلور في شبكة بلورية تكعيبية تتميز بلدونه فائقة ومطيلية عالية لان الانزلاق يحدث بها في اتجاهات متعددة .اما المعادن ذات الشبكية السداسية فتكون اقل لدونه (هشة) لذا فان قابليتها للتشكيل بالطرق او الدرفلة تكون اقل .

- ويحدث الانزلاق ايضا عن نتيجة لحركة الانخلاعات في البلورة تحت تأثير اجهادات القص في مستويات الانزلاق حيث يتحرك صف من الذرات داخل الشبكة البلورية بمسافات ذرية متعددة لا تحدث على شكل خطوة واحدة وانما على شكل خطوات . واثناء عملية التشوه ينشأ قدر كبير من الانخلاعات وتبلغ كثافة الانخلاعات بعد الوصول الى درجة حرارة مرتفعة من التشوه (10^{12}-10^{11}) مقارنتا مع (10^{8}-10^{6}) قبل التشوه.



2- التوائم

يحدث التشوه اللدن في المعادن القليلة المطيلية او الهشة وذلك عن طريق حزم تظهر في بلورات المعادن على شكل شريط توائم ذي مستويات تختلف عن اتجاه المستويات في بقية اجزاء الشبكة الفراغية (HCP) بصورة رئيسية وذلك لأن الانزلاق في بنيتها البلورية (مثل HCP أو بعض BCC) يكون صعبًا بسبب قلة مستويات الانزلاق أو ضعف قابلية الذرات للحركة.



نشاط طلابي:-

❖ **قسم الطلبة الى مجاميع واطلب منهم**

- رسم اشكال عن اليات التشوه او التشكيل اللدن.

اسئلة :-

- ما هي اليات التشكيل اللدن ؟
- ما هو التشكيل المرن واللدن وما الفرق بينهما؟
- كيف تحدث التوأمة ؟
- ما نوع الية التشكيل الذي في FCC؟

واجب بيتي:-

❖ قسم الطلاب الى مجاميع وكل مجموعة تكتب تقريرا عن

- اليات التشكيل
- التشكيل المرن والتشكيل اللدن .

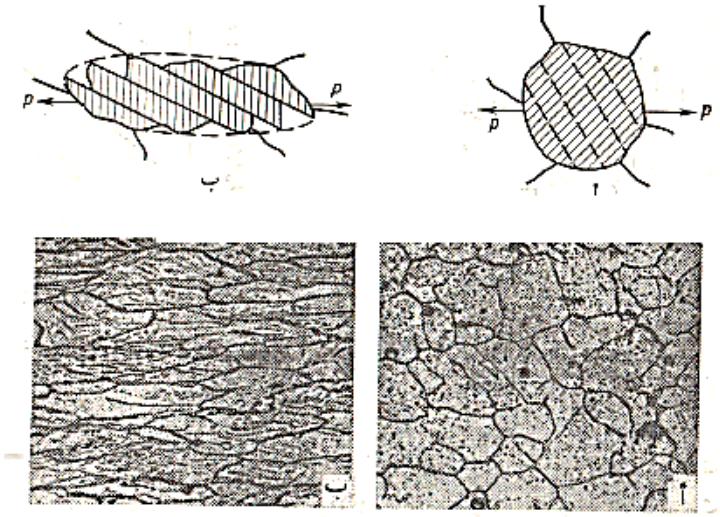
الاسبوع الثامن

الهدف التعليمي

- **الموضوع النظري :** بنية المعادن اثناء التشوه اللدن ، الاصلاد الانفعالي ، التشكيل على البارد وعلى الساخن.
- **النشاط العملي** :تنفيذ تجربة درفلة أو سحب – تسجيل أثر التشوه.
- **سؤال الأسبوع** :لماذا تزداد الصلادة في التشكيل على البارد؟
- **الواجب البيتي** :أنشئ جدول مقارنة بين التشكيل البارد والساخن.
- **مدة المحاضرة:** ساعتين نظري وساعتين عملي

تغير بنية المعادن اثناء التشوه اللدن

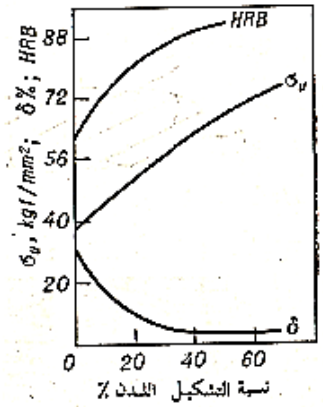
يتماثل التشوه اللدن في المعادن متعددة الحبيبات مع عملية التشويه للمعادن ذات البلورة المفردة بكونهما يحدثان اما باسلوب الانزلاق او التوأمة.فعند بلوغ التشوه درجات عالية فان الحبيبات تغير شكلها نتيجة العمليات الانزلاق فاذا كان شكل الحبيبات كرويا قبل التشكيل فانها تستطيل بعد التشكيل نتيجة للازاحات في مستويات الانزلاق وكما مبين بالشكل التالي



تغير شكل حبيبات المعدن النقي نتيجة للانزلاق
أ – قبل التشكيل ، ب – بعد التشكيل

الاصلاد الانفعالي Work Hardening

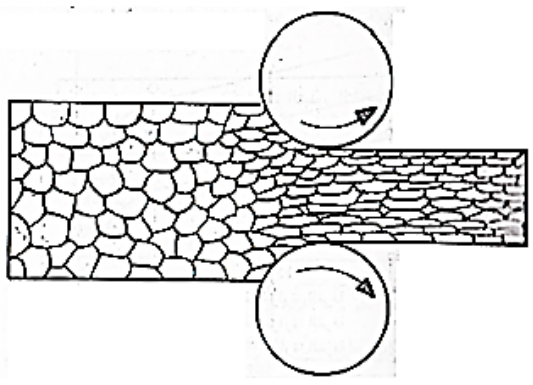
او يسمى الاصلاد بالتشكيل على البارد فعند ارتفاع نسبة التشكيل على البارد ترتفع الخواص الميكانيكية للمعدن مثل مقاومة الشد والمقاومة الخضوع والصلادة وتنخفض قابلية المعدن للتشوه وتقل المطيلية ويعود سبب الاصلاد الى تحطم البنية البلورية بسبب التشوه وزيادة عيوبها مثل الانحلاعات والخلوات والذرات المنغرسة فتعمل هذه العيوب على عرقلة حركة الانخلاعات مسببتا زيادة في صلادة المعدن.



تأثير درجة (نسبة) التشكيل البارد على الخواص الميكانيكية للصلب ذى نسبة الكربون المنخفضة

التشكيل على البارد Cold Working

وهو عملية التشكيل التي تجرى على المعدن بدرجة حرارة اقل من درجة حرارة اعادة التبلور ويصاحب هذه العملية زيادة صلادة المعدن ويتحول معظم الشغل المبذول على تشوه المعدن تشوها لدنا (حوالي 95 % من الشغل المبذول) الى طاقة حرارية فترتفع درجة حرارة المعدن اما الجز المتبقي فيخزن في المعدن على شكل ارتفاع في طاقة وضع الذرات المزاحة من اوضاع اتزانها.وتتضمن عمليات التشكيل على البارد الدرفلة (Rolling) والسحب (Drawing) والكبس (Pressing) وتكون عمليات نهائية في مراحل الانتاج.



التشكيل على البارد (الدرفلة)

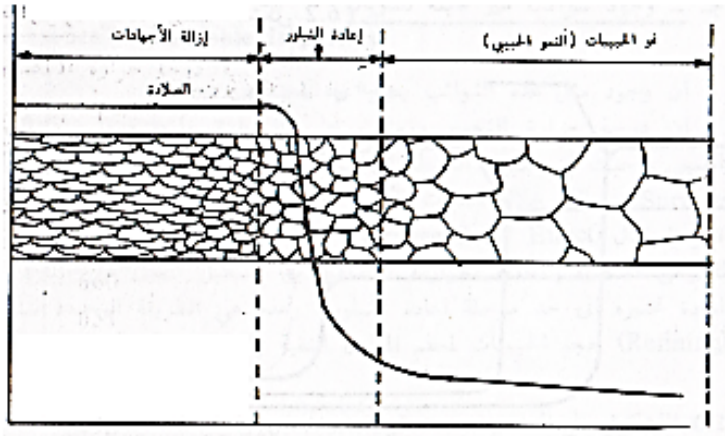
ومن مزايا التشكيل على البارد هي

1- سيطرة اكثر دقة على الابعاد
2- يكون الناتج اكثر بريقا ولمعانا
3- تتحسن نقطة الخضوع والصلادة وقابلية التشغيل .

تليين المعادن المشكلة على البارد

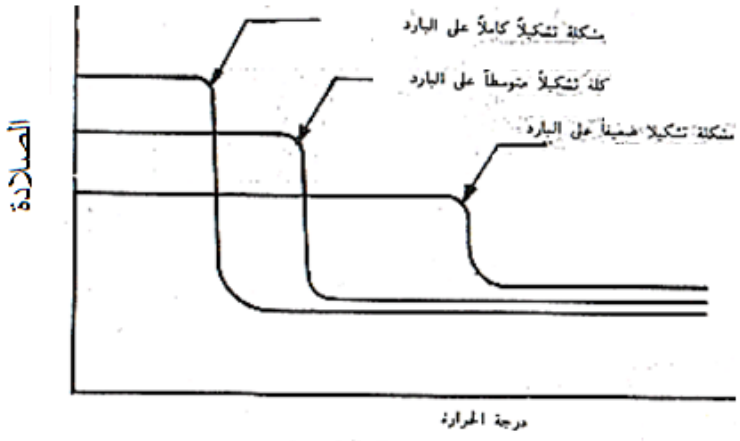
قبل الاستمرار في عمليات التشكيل مثل الكبس والسحب العميق للمعادن المشكلة على البارد يصبح عملية تليين المعادن ضروريا ويتم بواسطة تخمير (Annealing) وذلك باعادة تسخين المعدن حيث تحدث التغيرات التالية :-

1- ازالة الاجهادات العالية (الاستعادة).
2- اعادة التبلور
3- نمو الحبيبات



تأثير درجة حرارة التخمير على بنية وصلادة المعادن المشكلة على البارد

1- ازالة الاجهادات العالية (الاستعادة) ويعتبر ضروريا لازالة الجهود الداخلية وتقليل التشققات اثناء العمل وذلك بتسخين المعدن بدرجة حرارية منخفظة نسبيا (0.2-0.3 Tm) حيث يتم استعادة الخواص عن طريق تناقص كثافة العيوب في الشبكة البلورية حيث تعيد الانخلاعات ترتيب نفسها وتكوين حدود جديدة للحبيبات.
2- اعادة التبلور عند بلوغ درجة حرارة معينة تحل الحبيبات المظلعة محل الحبيبات المشوهة وتعرف هذه الظاهرة باعادة التبلور وتعتمد درجة تليين اي معدن او سبيكة على العوامل التالية :-
أ- درجة التشكيل على البارد المسبقة حيث كلما زادت كمية التشكيل كلما تقل درجة حرارة اعدة التبلور



تأثير التشكيل على البارد على درجة حرارة التخمير

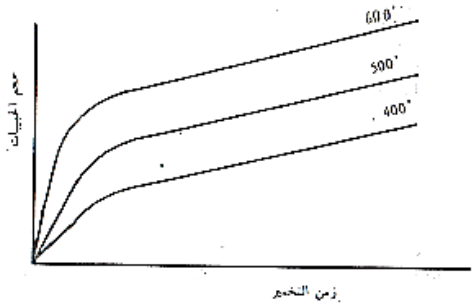
ب- اضافة عناصر اخرى حيث ترفع العناصر المضافة درجة حرارة اعادة التبلور مثلا النحاس النقي يعيد التبلور في درجة حرارة ($200\ C^0$) بينما يؤدي اضافة (0.25%) من القصدير الى رفع درجة حرارة اعادة التبلور الى ما فوق ($375\ C^0$).

ج - زمن التخمير ان زيادة زمن التخمير يزيح درجة اعادة التبلور الى درجة حرارة اوطأ

3- نمو الحبيبات

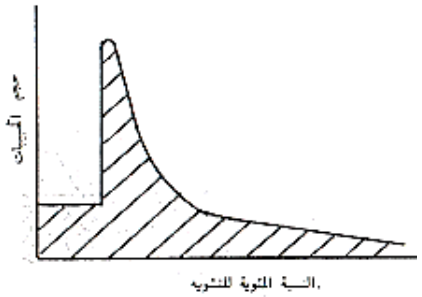
يؤدي استمرار التسخين بعد انتهاء عملية اعادة التبلور الى نمو بعض الحبيبات الجديدة على حساب البعض الاخر ويعود السبب الرئيسي لنمو الحبيبات الى ميل المعدن الى انقاص مقدار الطاقة السطحية لحدود الحبيبات عن طريق انقاص المساحة السطحية لهذه الحدود اثناء نمو الحبيبات .ان العوامل التي تتحكم بنمو الحبيبات هي :-

أ- **درجة حرارة وزمن التخمير** :- كلما ارتفعت درجة حرارة التخمير زادة زمنه وكبر حجم الحبيبات



تأثير درجة الحرارة وزمن التصعير على حجم الحبيبات

ب- **درجة التشكيل على البارد المسبقة** :- كلما ازدادت كمية التشكيل على البارد كلما صغر حجم الحبيبات بعد الاعادة الكاملة للتبلور.

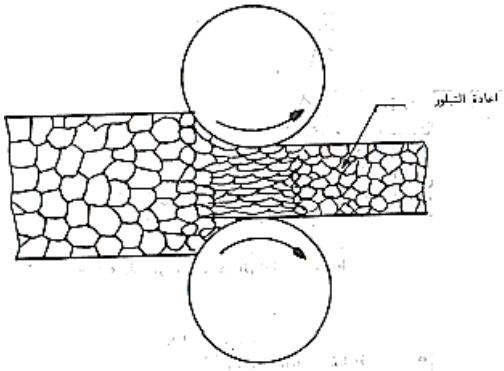


تأثير درجة التشكيل على البارد المسبقة على حجم الحبيبات

ج- **وجود الشوائب غير القابلة للذوبان:-** حيث تعيق نمو الحبيبات

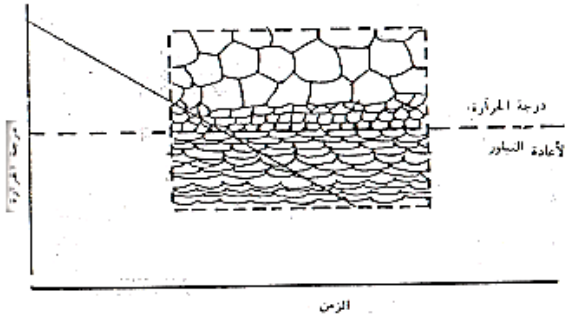
التشكيل على الساخن Hot Working

يتميز التشكيل على الساخن بانه يحدث في درجة حرارة اعلى من درجة حرارة اعادة التبلور وفي هذه العملية يحدث التشويه اللدن واعادة التبلور في ان واحد بحيث ان معدل التليين اكبر من الاصلاد الانفعالي



تغيرات البنيه الحاصلة خلال التشكيل على الساخن

ان العامل المهم في التشكيل على الساخن هو درجة الحرارة التي ينجز بها التشكيل التي يجب ان تكون اعلى من درجة حرارة اعادة التبلور لكي نحصل على حبيبات صغيرة اما اذا كانت درجة الانجاز اعلى بكثير من درجة حرارة اعادة التبلور فان نموا سوف يحصل في الحبيبات اما اذا كانت درجة الانجاز اقل من درجة حرارة اعادة التبلور فان هذا يؤدي الى حصول الاصلاد الانفعالي.



تأثير درجة حرارة الأنجاز على بنية المعادن المشكلة على الحار

مميزات التشكيل على الساخن

1- ازالة بنية المسبوكات الاولية الى ببلورات طولية كبيرة
2- تنعيم الحبيبات اذا كانت درجة الانجاز صحيحة
3- الشوائب اللامعدنية تستطيل على شكل الياف مؤشرة بذلك انسياب المعدن
4- التحام الفجوات الغازية الداخلية
5- تتحسن قيم المقاومة والمطيلية والمتانه .

نشاط طلابي:-

❖ **قسم الطلبة الى مجاميع واطلب منهم**

- رسم اشكال عن تشوه بنية المعادن اثناء التشكيل.
- رسم اشكال عن ازالة الاجهادات والتبلور والنمو الحبيبي اثناء التشكيل.

اسئلة :-

- ما الفرق بين التشكيل على البارد وعلى الساخن ؟
- وضح ما هي التغيرات التي تحدث ببنية المعادن اثناء التشكيل على البارد؟
- وضح ما هو الاصلاد الانفعالي وما هو تاثيره على خواص المعدن ؟
- ما هي مزايا التشكيل على البارد وعلى الساخن؟
- وضح لماذا لايحتاج التشكيل على الساخن الى عمليات اضافية بعد التشكيل؟

واجب بيتي:-

❖ قسم الطلاب الى مجاميع وكل مجموعة تكتب تقريرا عن

- التشكيل على البارد وعلى الساخن والفرق بينهما
- عملية تليين المعدن بعد التشكيل.

الاسبوع التاسع

الهدف التعليمي

- **الموضوع النظري :** الخواص الميكانيكية للمعادن، اختبار الشد ، الكسر الهش والكسر المطيلي.
- **النشاط العملي** :اختبار شد لعينة فولاذية – تحديد نقاط الخضوع والكسر.
- **سؤال الأسبوع** :ما الذي يميز الكسر المطيل عن الهش؟
- **الواجب البيتي** :ارسم منحنى الشد لعينة وعلّم عليه نقاط الخضوع والكسر.
- **مدة المحاضرة:** ساعتين نظري وساعتين عملي

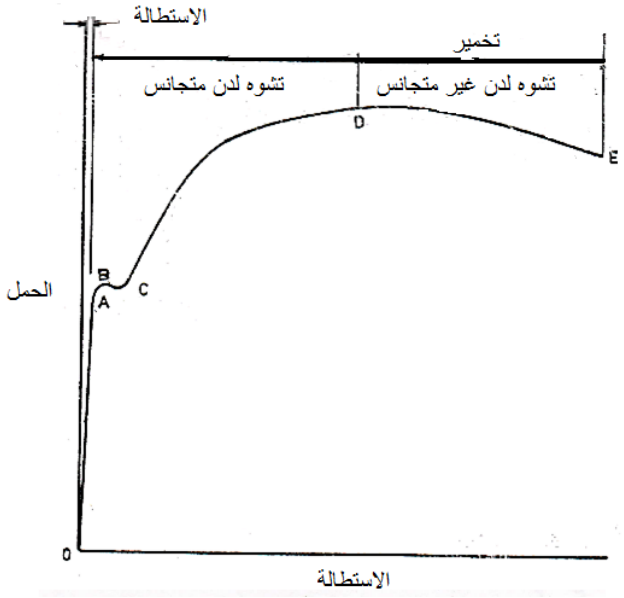
الخواص الميكانيكية للمعادن والسبائك

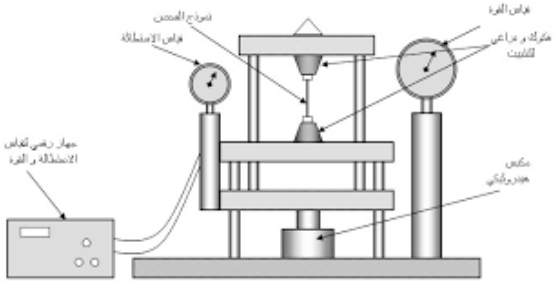
اختبار الشد Tensile Test

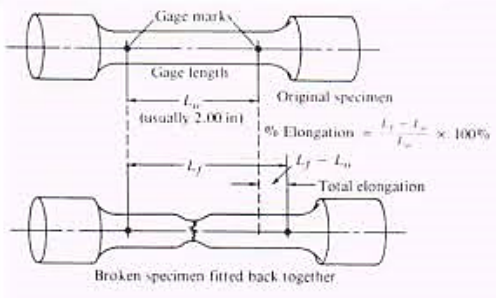
وهو احد الاختبارات المهمة والذي يتم من خلاله معرفة قرائات معينة هي مقياس لخواص الشد ونقطة الخضوع والاستطالة المئوية والنسبة المئوية لنقصان المساحة ومعامل المرونة ونسبة التشوه المرن واللدن والمتانة . ويستخدم في اختبار الشد عينات قياسية لان خواص الشد تعتمد على حجم وشكل عينة الاختبار.

مخطط الحمل – والاستطالة للصلب الطري

عند اجراء اختبار الشد على عينة قياسية من الصلب الطري في جهاز اختبار الشد فان المخطط البياني الذي يظهر بين الحمل والاستطالة مبين بالشكل التالي







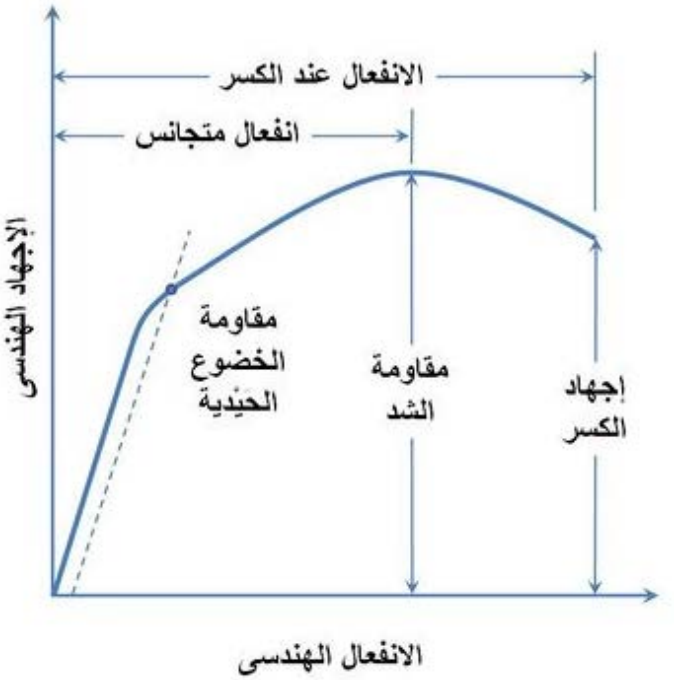
- الخط من O الى A نلاحظ ان العلاقة بين الحمل والاستطالة علاقة خطية وطردية وتسمى النقطة A بحد التناسب Proportional Limit حيث عندها بنحرف الخط عن الاستقامة وعمليا تتطابق هذه النقطة مع حد ا

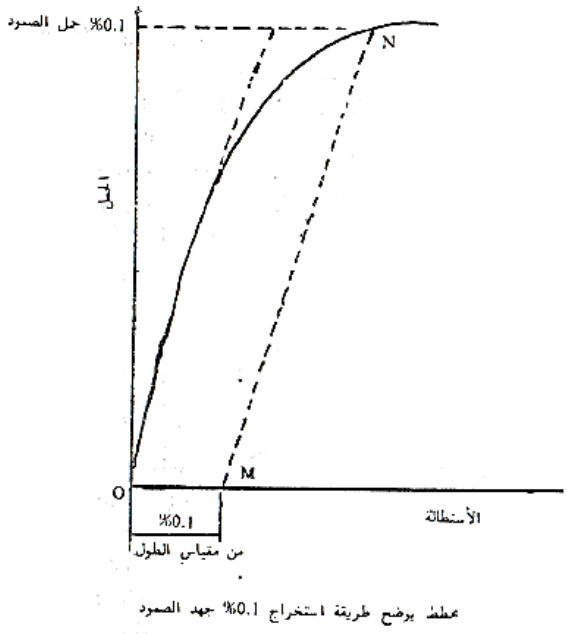
لمرونه Elastic Limit وهي اخر نقطة تكون فيها المادة متصفة بالمرونه التامة اذ ان المادة ترجع الى ابعادها الاصلية بعد زوال الحمل اذ ان المادة ترجع الى ابعادها الاصلية بعد زوال الحمل .

- النقطة B الى C حيث تحدث في هذه المنطقة استطالة مفاجئة دائمية بدون زيادة في الحمل واحيانا ينخفض في هذه النقطة مما يؤدي الى ظهور نقطتي خضوع هما نقطة خضوع عليا Upper Yield Point ونقطة خضوع سفلى Lower Yield Point.
- عندما تتعدى قيمة الحمل القيمة القصوى عند النقطة D فان مساحة مقطع العينة يبدا بالنقصان بصورة كبيرة في نقطة معينة مشكلة ما يسمى بالتخصر وحدوث هذا التخصر يؤدي الى امكانية جعل العينة تستمر بالاستطالة ولكن بتسليط حمل قليل حتى وصول الكسر عند نقطة E لذا فان قيمة الحمل اللازمة لحصول الكسر في النقطة Eتكون اقل مما عليه في النقطة D .

اجهاد الصمود Proof Stress

ان منحنيات الحمل – الاستطالة لبعض المعادن والسبائك وخصوصا المعادن اللاحديدة والصلب المصلد والتي تفتقر الى نقطة خضوع واضحة فيعاض عن جهد الخضوع بجهد اخر يسمى جهد الصمود وهو الجهد اللازم للحصول على استطالة دائمية قيمتها تعادل نسبة مئوية من طول مقياس الطول فتكون اما (0.1%) او (0.2%) . ان قيمة جهد الصمود يمكن الحصول عليها من منحني الحمل – الاستطالة وذلك بتحديد نقطة على محور الاستطالة تمثل مقدار قيمة (0.1%) ثم اقامة خط مستقيم موازي الى خط التناسب من هذه النقطة حتى يلتقي بمنحني الاستطالة عند النقطة (N) وعندها نحسب قيمة الاجهاد في هذه النقطة (N) وبقسمتها على مساحة المقطع العرضي الاصلي نحصل على (0.1%) من جهد الصمود وكما مبين بالشكل .





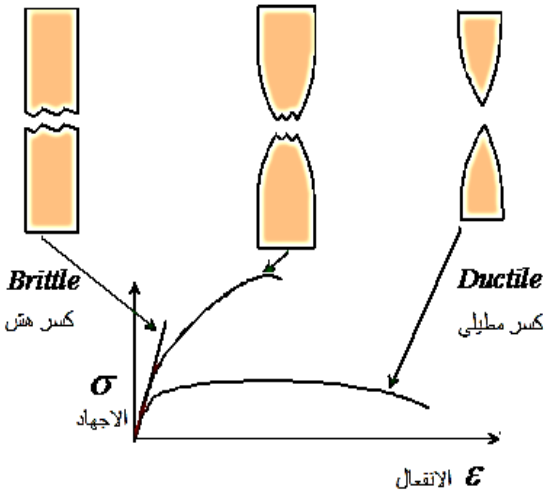
مخطط يوضح طريقة استخراج 0.1% جهد الصمود

الكسر المطيلي والكسر الهش Ductile And Brittle Fracture

اثناء اختبار الشد يحص نوعان من الكسر هما

- الكسر الهش Brittle Fracture :- يحدث في المعادن التي يكون منحني الحمل – الاستطالة لا يحتوي على قمة او نقطة خضوع فلا يسبق هذا النوع من الكسر اي تشوه لدن اي لا زيادة في الطول ولا نقصان في مساحة المقطع العرضي لعينة الاختبار. وهناك حالات من الكسر الهش يحدث بها تشوه متجانس ضئيل اي زيادة ضئيلة بالطول ونقصان ضئيل بمساحة المقطع العرضي قبل الكسر لذلك فكثير ما يقال عن الانكسار الهش او القصف بانه انكسار مفاجئ حيث تنتشر الشقوق فية بسرعة تقارب سرعة الصوت والشغل اللازم لانتشار الشقوق تقارب الصفر ويكون شكل المكسر بلوري لامع.
- الكسر المطيلي Ductile Fracture :- يحدث في المعادن التي يكون منحني الاجهاد – الاستطالة يحتوي على قمة او نقطة خضوع وكذلك يسبق هذا النوع من الكسر حصول تشوه لدن وزيادة في طول العينة ونقصان في مساحة المقطع العرضي للعينة او النموذج وتكون سرعة انتشار الشقوق في هذا النوع من الانكسار بسرعة قليلة ويكون الشغل اللازم لانتشار الشقوق بقدر كبير ويكون شكل المكسر ليفي غير لامع.و

كما مبين بالشكل التالي :-



الية حدوث الكسر

يحدث الكسر في نوعي الكسر الهش او المطيلي حسب بنية السطح الناتج او مقطع المكسر اما الكسر عبر البلورة او الكسر عبر الحدود البلوري (البيني):-

- الكسر عبر البلورة يحدث عن طريق انتشار الشقوق خلال جسم الحبيبة ويكون اما كسرا هشا او كسرا مطيليا .

الكسر خلال الحبيبات
(Transcrystalline)

الكسر على حدود الحبيبات
(Intercrystalline)

- اما الكسر عبر الحدود البلورية يحدث عن طريق انتشار الشقوق عبر الحدود البلورية دون ان تقطع جسم البلورة ولا يكون هذا النوع من الكسر الا هشا فقط .

نشاط طلابي:-

❖ **قسم الطلبة الى مجاميع واطلب منهم**

- ارسم منحني الاجهاد الانفعال لمعدن مطيلي ولمعدن هش.
- ارسم الكسر المطيلي والكسر الهش.

اسئلة :-

- ما فائدة اختبار الشد ؟
- في اي المواد يظهر اجهاد الخضوع وفي اي مواد يظهر اجهاد الصمود؟
- ما الفرق بين الكسر المطيلي والكسر الهش (المفاجئ) ؟
- ما هي اليات الكسر وما الفرق بينهما ؟

واجب بيتي:-

❖ قسم الطلاب الى مجاميع وكل مجموعة تكتب تقريرا عن

- اختبار الشد لمعدن مطيلي .
- انواع الكسر الذي يحدث في المعادن وما هي الياته.

الاسبوع العاشر

الهدف التعليمي

- **الموضوع النظري :** الكلال – آلية حدوثه – العوامل المؤثرة .
- **النشاط العملي** :تجربة كلال – تحميل دوراني لنموذج معدني.
- **سؤال الأسبوع** :ما هو حد الكلال؟ وكيف نحافظ عليه مرتفعًا؟
- **الواجب البيتي** :اذكر حالة هندسية مشهورة تعرضت لفشل بالكلال.
- **مدة المحاضرة:** ساعتين نظري وساعتين عملي

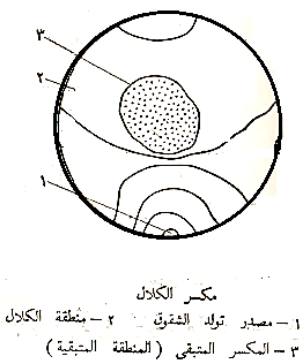
الكلال Fatigue

الكلال هو انهيار المعادن تحت تأثير الاجهادات الدورية والمترددة حيث يشكل هذا النوع من الانهيارات حوالي(95 %) من الانهيارات التي تحدث في اجزاء المكائن التي تتعرض الى اجهادات متكررة. وهناك امثلة على الاجهادات المتكررة في العديد من اجزاء المكائن مأخوذة من مواصفة التقييس البريطانية (BS)ومنها :-

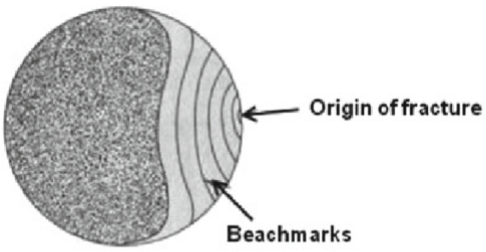
1- الاجهادات المباشرة Direct stress ومثال ذلك الحمل المسلط على عمود المكبس .
2- الانحناء المستوي Plane Bending ومثال ذلك الحمل المسلط على النوابظ الورقية Leaf Spring
3- الانحناء الدوار Rotating Bending ومثال ذلك الحمل المسلط على المحور الدوار في عربات النقل .
4- الالتواء Torsion ومثال ذلك قضيب التعليق الالتوائي في وسائل النقل .
5- الجهود المركبة او المجمعة مثال ذلك الحمل المسلط على مرتكز عمود المرفق فيكون الجهد مكونا من جهد التواء وجهد انحناء.

عند الانهيار الكلالي للمعادن فانه الكسر يتكون من منطقتين هما :-

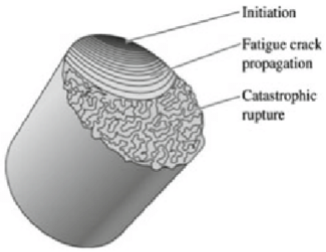
- **المنطقة الاولى :-** تتميز هذه المنطقة من سطح املس كما لو كان قد سوية بالمبرد ويطلق عليها منطقة الكلال وتتكون هذه المنطقة وتنمو بصورة تدريجية فتتكون المنطقة الاولى فيها من شق كلالي مجهري ثم ينمو يتحول الى شق يمكن رؤيته بالعين المجردة بسبب الاحمال المترددة على العينة المعدنية .وعندما يشغل الشق الكلالي معظم مساحة مقطع العينة يحصل انهيار الجزء الثاني من المقطع .
- **المنطقة الثانية:-** تتميز هذه المنطقة ببنية غليظة الحبيبات في حالة المعادن القصفة (الهشة) وببنية ليفية في حالة المعادن المطيلية .



مكسر الكلال
١ – مصدر تولد الشقوق ٢ – منطقة الكلال
٣ – المكسر المتبقي (المنطقة المتبقية)

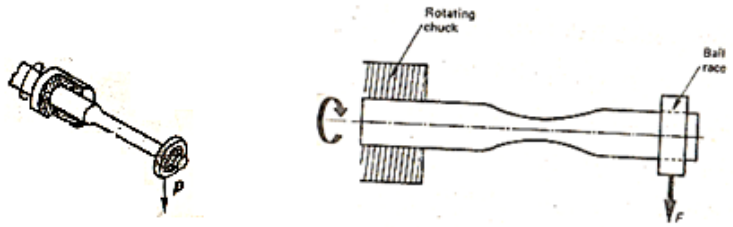


(a) Fatigue fracture with benchmark

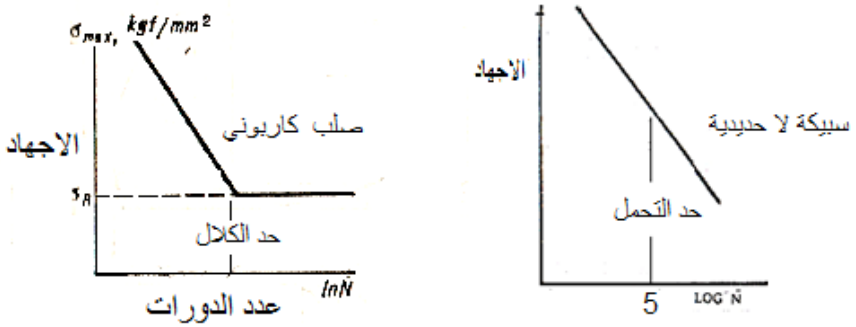


(b) Fatigue crack initiation and propagation

يجري الاختبار على مجموعة من النماذج وتعريضها الى جهود مختلفة ثم تحسب عدد الدورات اللازمة لكسر النموذج عند تسليط هذه القيم من الجهود.ان قيمة الجهد الازم لكسر النموذج تتناقص تدريجيا مع بازدياد عدد الدورات حتى نصل الى قيمة معينة لا يحدث عندها الكسر خلال عدد كبير من الدورات حتى حوالي (10^8 -10^5) دورة او اكثر ومن رسم منحني الاجهاد – عدد الدورات لذلك المعدن نلاحظ ان الكسر لا يحدث عند قيم جهد اقل من قيمة معينة من الجهد حتى لو تكررت بعدد ما لا نهاية من المرات ويسمى اكبر قيمة لهذا الجهد الذي لو سلط بما لا نهاية من المرات بدون حصول الكسر بحد الكلال الذي يمكن الحصول عليه في الصلب بعد تسليط مقدار من الجهد تقريبا (106) دورة متعاكسة . اما في المعادن اللاحديدية والصلب الاوستنايتي فليس هناك قيمة لحد الكلال الذي يظهر من الاختبار فيستعاض عن حد الكلال بقيمة اخرى تسمى حد التحمل وهي قيمة الجهد اللازمة لكسر النموذج عند تعرضة الى عدد معين من الدورات.

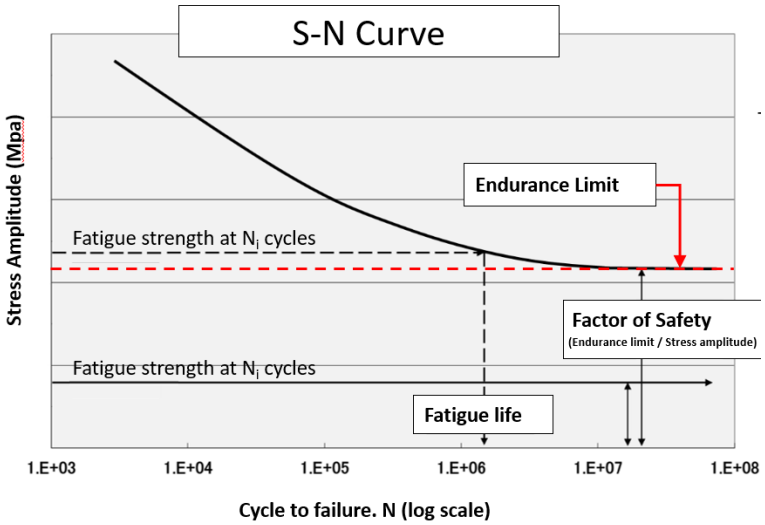


تثبيت العينة ووضع تاثير القوى اثناء الاختبار



منحنيات الكلال

رسم تخطيطي لاختبار الكلال



العوامل المؤثرة على حد الكلال

1- متوسط الجهد :-

عند زيادة متوسط الجهد يؤدي الى نقصان سعة الجهد الذي يمكن تسليطة بصورة مكررة وبامان حتى تصل قيمته الى الصفر عندما يكون متوسط الاجهاد مساويا الى مقاومة الشد بينما يؤدي زيادة قيمة متوسط الجهد الى نقصان قيمة الجهد ايضا حتى يساوي الصفر عندما تصبح قيمة متوسط الاجهاد مساوية الى مقاومة الخضوع .

2- التصميم وانجاز السطوح

عند تصميم جزء معرض الى اجهادات الكلال لابد من تجنب حدوث زوايا حادة في سطح المعدن وجعله املس لانه وجود مثل هذه الحزوز يقلل من حد الكلال .

3- معاملة السطوح

ان كسر الكلال يبدا عادة من نقطة معينة في سطح المعدن لذا فان معاملة السطح تعتبر ضرورية لان من هذه المعاملة من شانها زيادة صلادة السطح وتكوين اجهادات داخلية ذات فائدة كبيرة لزيادة قيمة حد الكلال .

4- وجود الشوائب

وجود الشوائب في سطح المعدن او تلك التي تكون قريبة من هذا السطح تعمل عمل نقاط تتمركز فيها الاجهادات وبالتالي تقل قيمة حد الكلال في المعدن .

5- درجة الحرارة

اوضحت التجارب بان قيمة حد الكلال تزداد بانخفاض درجة الحرارة وذلك في نطاق الدرجات الحرارية التي هي اقل من درجة حرارة الغرفة ولا توجد قيمة واضحة لحد الكلال عند درجات حرارية عالية .

نشاط طلابي:-

❖ **قسم الطلبة الى مجاميع واطلب منهم**

- تقسيم الطلبة إلى مجموعات لتحليل عينات تعرضت لفشل بسبب الكلال، واستنتاج السبب من نمط الكسر.
- عرض فيديو قصير يوضح آلية الانهيار بالتكرار.

اسئلة :-

- ما هو الكلال واين يحدث ؟
- ما هي العوامل المؤثرة على حد الكلال ؟
- ما هو حد الكلال؟
- ما هي أشهر الأمثلة على فشل الكلال في الميكانيك؟
- كيف نحافظ على حد الكلال مرتفعًا في تصميم الأجزاء؟
- ما الفرق بين الانهيار المفاجئ والانهيار التدريجي بسبب الكلال؟

واجب بيتي:-

❖ قسم الطلاب الى مجاميع وكل مجموعة تكتب تقريرا عن

- البحث عن حالة انهيار هندسية مشهورة (مثل محور دوران أو شفرة مروحة) تعرّضت للكلال، مع شرح الأسباب وكيف تم تفاديها لاحقًا.

الاسبوع الحادي عشر

الهدف التعليمي

- **الموضوع النظري :** الزحف – آليته – المواد المقاومة.
- **النشاط العملي** :تسخين نموذج معدني تحت حمل ثابت – تسجيل تغير الطول
- **سؤال الأسبوع :**ما الفرق بين مراحل الزحف الثلاث؟
- **الواجب البيتي** :ارسم منحنى الزحف ووضح مراحله الثلاث.
- **مدة المحاضرة:** ساعتين نظري وساعتين عملي

الزحف creep

يستخدم مصطلح الزحف لوصف التشوه اللدن الذي يحصل في المعادن ببطئ بسبب تاثير احمال خارجية والفترات زمنية طويلة عند درجات الحرارة العالية حيث تنفعل الاجزاء المعدنية المحملة باجهادات ضعيفة وتتغير ابعادها تدريجيا لذا يجب اخذ هذه الظاهرة بعين الاعتبار عند تصميم اجزاء المكائن والاجهزة لان الاستطالة التدريجية للمعدن تؤدي الى نقصان مقطعه وقد ينتهي بالانكسار.وظاهرة الزحف ذات اهمية كبيرة وذلك في :-

- تصميم التوربينات الغازية .
- تصنيع الطائرات والصواريخ وذلك لان المواد التي تصنع منها تعمل في درجات حرارية مرتفعة عند طيرانها في سرعات عالية .
- المواد التي تستعمل في تكرير الزيت وتوليد الطاقة الكهربائية والمصانع الكيمياوية .
- ويمكن ملاحظة ظاهرة الزحف في درجة حرارة الغرفة وذلك في الانابيب والصفائح الرصاصية وفي معادن المحامل .

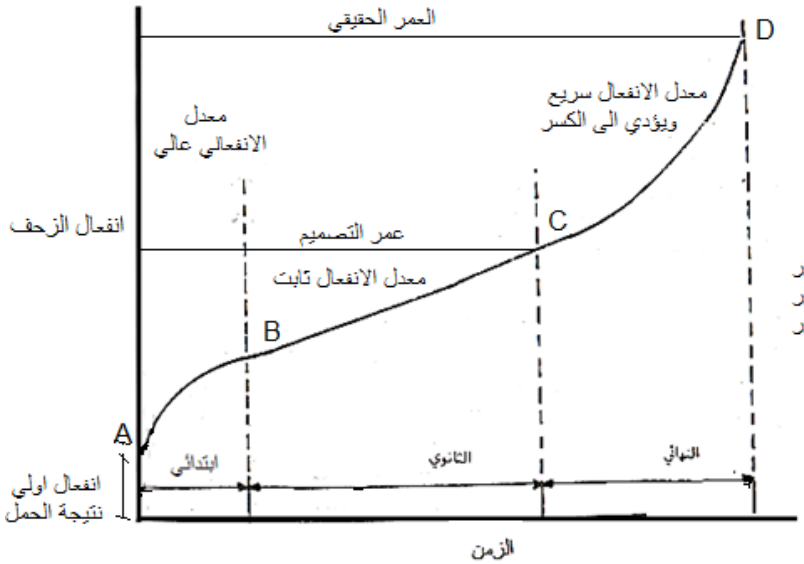
الية حدوث الزحف

ظاهرة الزحف يمكن دراستها وذلك بتأثير احمال ثابتة على نماذج متعددة في افران بدرجة حرارة ثابتة وتقاس الاستطالة الحاصلة بعد مرور فترات زمنية معينة ومن ذلك نرسم علاقة بين انفعال الزحف Creep Strain والزمن ويسمى بمنحني الزحف الذي يتكون من ثلاث مناطق هي :

المرحلة الاولى :- يمثلها المنحني (AB) ويحصل في هذه المرحلة تصليد انفعالي (Strain Hardening) ويكون معدل زيادة الانفعال عاليا في بداية هذه المرحلة وينخفض بعد ذلك بمرور الزمن .

المرحلة الثانية :- ويمثلها المنحني (BC) وتتميز هذه المرحلة بمعدل ثابت في زيادة الانفعال ويكون لهذه المرحلة قيمة اقل مقارنة بالمراحل الاخرى. ان هذه المرحلة تمثل الجزء الاهم في منحني الزحف حيث ان اي قطعة معدنية معرضة الى ظاهرة الزحف لا يتجاوز عمرها نهاية هذه المرحلة .

المرحلة النهائية :- ويمثلها المنحني (CD) وفي هذه المرحلة يتعجل ازدياد معدل الانفعال بصورة كبيرة حتى وصول الكسر.



منحني الزحف النموذجي

المواد المقاومة للزحف

ان المواد او السبائك المقاومة للزحف هي تلك المواد التي تحتوي في بنيتها على معيقات لحركة الانخلاعات مثل الدقائق الصغيرة المبعثرة والتي يمكن غرسها في المعدن بواسطة التصليد بالترسيب. ومن الملاحظ ان المعدن المتكون من حبيبات غليظة اعلى مقاومة للزحف من المعدن الحبيبات الدقيقة وذلك لان انسياب حدود الحبيبات للمعادن ذات الحبيبات الدقيقة في درجات الحرارة العالية اعلى مما هو علية في الحبيبات الغليظة.

وتستخدم السبائك المقاومة للزحف في وحدات توليد الطاقة البخارية وتكون هذه السبائك من نوع الصلب السبائكي الواطئ الذي يحتوي على (0.5%) موليبدنوم وبعض العانصر الاخرى التي لها القابلية على تكوين كاربيدات مستقرة.اما في درجات الحرارة الاعلى فنستخدم سبائك مقاومة للتاكسد والتقشر اضافة الى الزحف مثل السبائك التي تستخدم في صناعة التوربينات الغازية والتي هي من نوع سبائك النيمونيك.

نشاط طلابي:-

- تقسيم الطلبة إلى مجموعات لبحث أمثلة تطبيقية (مثل أنابيب الغلايات، شفرات التوربينات) وشرح كيف يؤثر الزحف على تصميمها.

اسئلة :-

- ما هي شروط حدوث الزحف؟
- اشرح المراحل الثلاث لمنحني الزحف.
- ما الفرق بين الزحف والكلال؟
- كيف يمكن تصميم معدن ليكون مقاومًا للزحف؟
- ما العلاقة بين درجة الحرارة وسرعة الزحف؟

واجب بيتي:-

❖ قسم الطلاب الى مجاميع وكل مجموعة تكتب تقريرا عن

- كتابة تقرير قصير عن حالة فشل صناعي بسبب الزحف (مثل أنبوب في وحدة بخار)، مع شرح الآلية والحل الوقائي المُعتمد.
- ارسم منحني الزحف وأشر عليه المراحل الثلاث.

الاسبوع الثاني عشر

الهدف التعليمي

- **الموضوع النظري :** السبائك المعدنية، الطور، النظام، المحلول الجامد، الخليط الميكانيكي . منحنيات التبريد.
- **النشاط العملي** :مزج معدنين – تبريد تدريجي – فحص المجهر.
- **سؤال الأسبوع :**ما الفرق بين المحلول الجامد والخليط الميكانيكي والمركب الكيمياوي؟
- **الواجب البيتي** :اختر سبيكة صناعية ووضح نوع البنية(طور واحد أم متعددة الأطوار).
- **مدة المحاضرة:** ساعتين نظري وساعتين عملي

السبائك المعدنية

لما كانت الخواص الطبيعية للمعادن النقية لا تكفي في بعض الاحيان لما يتطلبه التطبيق العملي لهذ الفلزات كان من الضروري استخدام هذه الفلزات او المعادن على شكل سبائك او خلائط بقصد التعديل في خواصها او الحصول على خواص جديدة لا يتميز بها اي معدن لوحده من المعادن المكونه للسبيكة اذن السبائك هي خليط او مركب من معدنين او اكثر وتسمى العناصر التي تدخل في تكوين السبيكة بمكونات السبيكة او المركبات. ويمكن للسبيكة ان تتكون من مركبين او اكثر وتسمى سبائك ثنائية او ثلاثية وغيرها .

اما مصطلح الطور فيطلق على كل جزء متجانس فيزيائيا وكيميائيا لكل من المعدن او السبيكة والذي يتسم بتركيب مماثل وله نفس الحالة من حالات المادة ويفصلة عن الاجزاء الاخرى سطح انفصال. على سبيل المثال المعدن المصهور يشكل طورا واحدا بينما الوجود المشترك بين مصهور معدني وبلورات في ان واحد يشكل طورين وايضا خليط نوعين مختلفين بالتركيب والبنية من البلورات يفصلهما سطح انفصال تشكل مجموعة مكونه طورين .

اما النظام System فهو كتلة من المادة سواء كانت صلبة ام سائلة ام غازية ام خليط من هذه الحالات يتالف من طور Phases واحد او اكثر .

توضيح مفهوم الأطوار

ويمكن للسبائك بعد ان تتجمد ان توجد بالحلات التالية :-

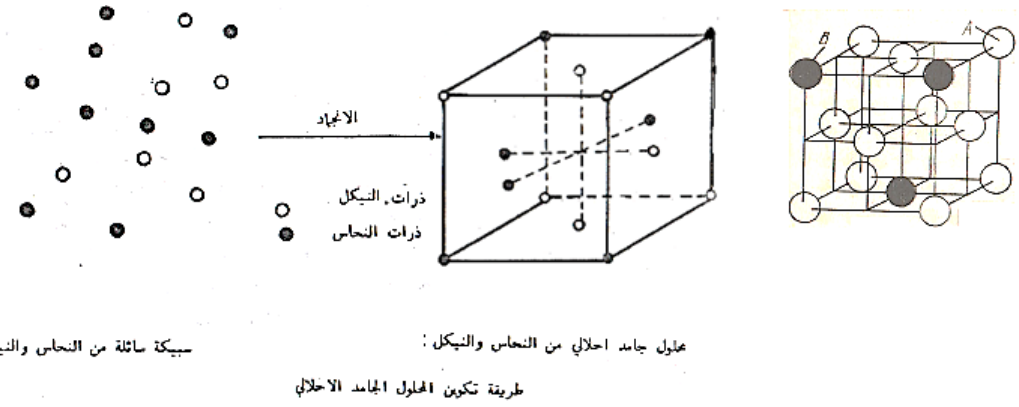
- محلول جامد
- خليط ميكانيكي
- مركب كيميائي

1- المحاليل الجامدة الصلبة

يطلق مصطلح المحاليل الجامدة على الاطوار التي تحتفظ بشبكيتها البلورية اي لها شبكة بلورية وحيدة والعناصر الداخلة في السبيكة تكون ذات ذوبانية تامة في الحالتين الصلبة والسائلة مثل سبائك النحاس والنيكل وهناك نوعان من المحاليل الجامدة هي

أ- محاليل جامدة احلالية Substitution Solid Solution

وفيه ان ذرات العنصر المذيب تحل محل ذرة من العنصر المذاب او قسم من ذراته في الشبكة البلورية

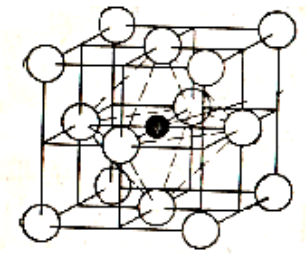


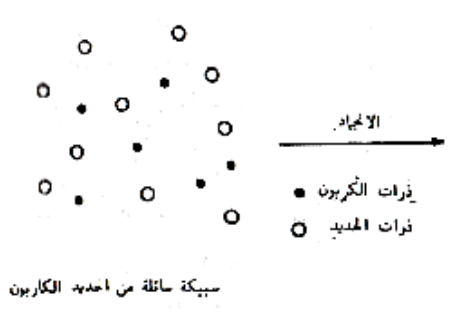
الشروط اللازمة للحصول على المحلول الجامد الاحلالى هي:-

- اذا كان المذاب والمذيب من نفس الشبكة البلورية تزداد قابلية الذوبان.
- اذا كان قطري ذرتي المذاب والمذيب متقاربتين تزداد قابلية الذوبان .
- اذا كان المذاب في نفس مستوى الطاقة من المذيب بالجدول الدوري.

ب-المحلول الجامد البيني او التغلغلي Interstitial Solid Solution

ان ذرات المعدن المذاب في هذه الحالة تشغل الفراغات بين ذرات المعدن الاساس وهذا النوع من الذوبان هو الاقل شيوعا ولا يحصل الا عندما تكون ذرات العنصر المذاب اصغر من ذرات المعدن الاساس. والمثال الشائع على هذا النوع من الذوبان هو ذوبان الكاربون في الحديد لتكوين محاليل جامدة المختلفة في الصلب





محلول جامد تخلخلي من الكاربون في حديد ـ الفا

الشروط للازمة للحصول على المحلول الجامد التغلغلي هي:-

- مختلفة الشبكة البلورية
- ذرة المذاب اصغر من ذرة المذيب
- لا يتم بينهما تفاعل كيميائي

2- الخليط الميكانيكي

هو عبارة عن خليط من البلورات (اطوار منفصلة) من العناصر المكونه للسبيكة التي لا تتذاوب في الحالة الصلبة ومن امثلة هذه السبائك هي (الرصاص – القصدير) و (القصدير – الزنك) و (الالمنيوم – السليكون) .

3- المركبات الكيميائية

و تقسيم المركبات السبائكية الى نوعين:وهي

أ- **مركبات معدنية** Intermetallic Compounds

تتبع قانون التكافؤ العادي ولها تركيب معين و نقطة انصهار محددة وتخضع لقانون التكافؤ المعتاد مثل Mg_2Sn , .

ب- **مركبات إلكترونية** Electronic Compounds

وهي مركبات معدنية لاتخضع الى قانون التكافؤ تعتمد على النسبة بين مجموع إلكترونات التكافؤ في المدار الخارجي الى عدد الذرات الكلي في الجزيئات المكونة للمركب ويسمى النوع β ويسمى النوع الثاني بصنف g .

خواص المركبات الكيمياوية

1- يحتفظ المركب الكيمياوي بنسبة ثابتة للمكونات
2- للمركبات الكيمياوية شبكات معقدة جدا وتختلف عن شبكات المكونات
3- تختلف خواص المركبات الكيمياوية عن خواص المكونات
4- ينصهر ويتجمد المركب الكيمياوي بدرجة حرارة ثابتة

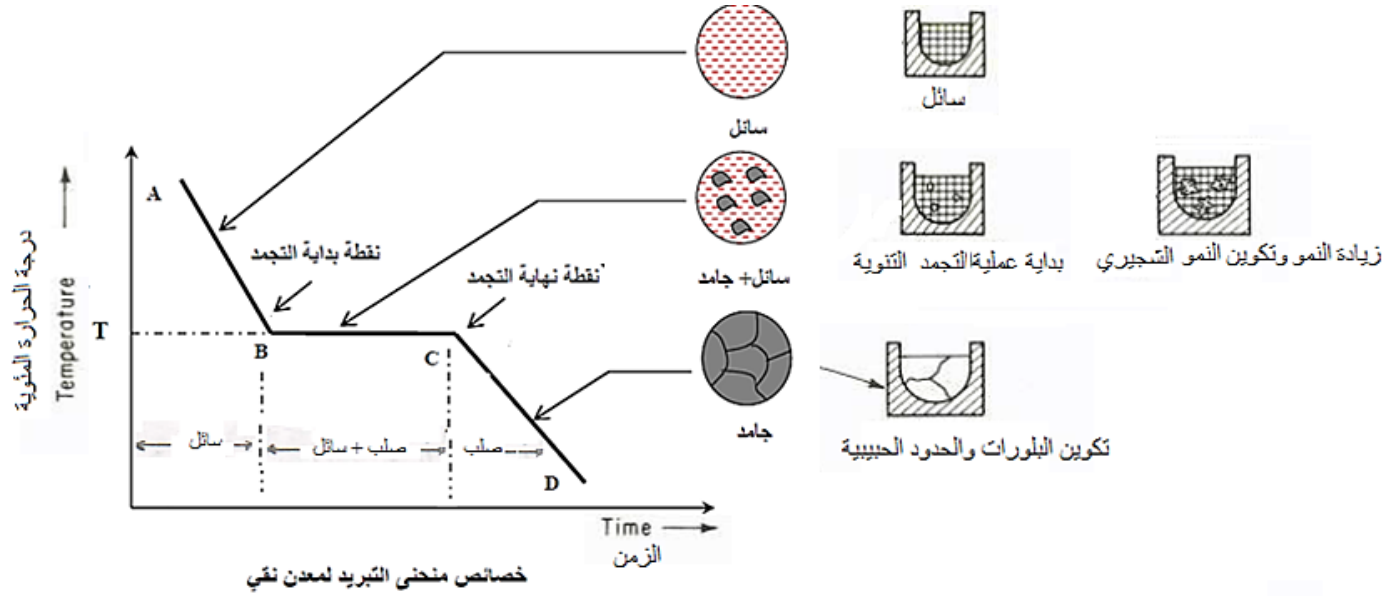
تحولات الاطوار الصلبة

1- منحنيات التبريد

منحني التبريد هو عبارة عن رسم بياني يوضح العلاقة بين التغير في درجة الحرارة من جهة والزمن من جهة اخرى .حيث يتم صهر الفلز النقي او السبيكة المكونة من اكثر من معدن واحد ومتابعة سلوك انخفاض درجة الحرارة مع مرور الزمن من الحالة المنصهرة الى الحالة الجامدة وهناك حالات منها للمعدن النقي والاخر للسبيكة وغيرها هي كالتالي :-

أ- منحني التبريد لمعدن نقي

- من A الى النقطة B تنخفض درجة الحرارة من المعدن مع مرور الزمن .
- من B الى النقطة C درجة الحرارة ثابتة خلال هذة الفترة الزمنية وتسمى درجة حرارة تجمد الفلز ونرمز لها ب T .
- من النقطة C الى النقطة D نلاحظ استمرار انخفاض درجة حرارة الفلز وهو في حالة جامدة .



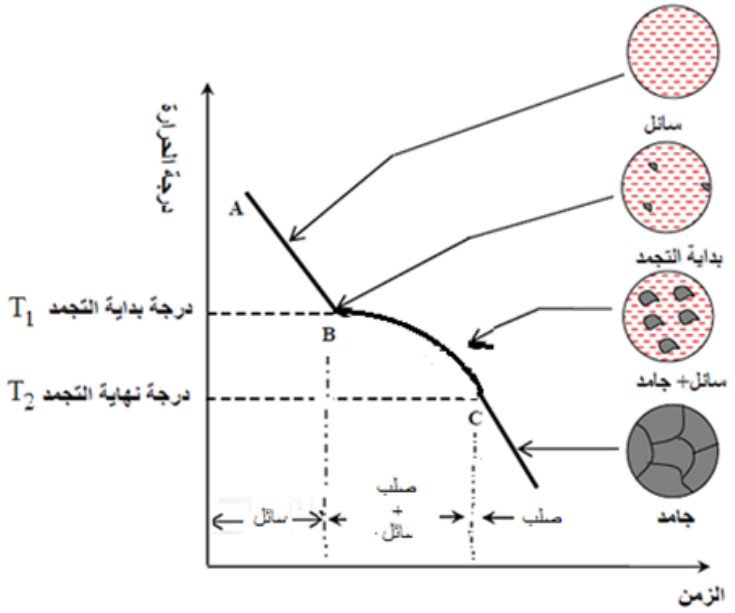
خصائص منحنى التبريد لمعدن نقي

ب- منحني التبريد لسبيكة معدنية

- من A الى النقطة B تنخفض درجة الحرارة من السبيكة مع مرور الزمن .

- عند النقطة B اي عند درجة حرارة T_1 تبدأ عملية التجمد . ويكتمل هذا التجمد نهائيا عند النقطة C اي عند درجة الحرارة T_2 حيث يصبح كامل الخليط او السبيكة جامدا .

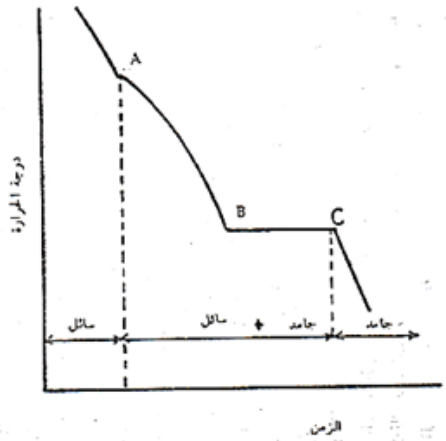
- من النقطة C الى النقطة D نلاحظ استمرار انخفاض درجة حرارة السبيكة وهو في حالة جامدة .



خصائص منحنى التبريد لسبيكة مكونة من معدنين

ج- منحني تبريد لسبيكة يوتكتك

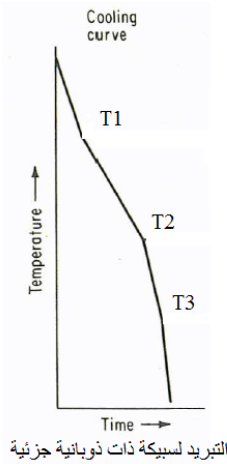
ان منحني التبريد لليوتكتك يشبة منحني تبريد المعدن النقي . اما ما بعد او قبل اليوتكتك فيكون الشكل التالي



منحني تبريد لسبيكة من نوع اليوتكتك (بعد او قبل اليوتكتك)

د- منحني تبريد لسبيكة يذوب فيها احد العنصرين بنسبة محدودة مع العنصر الاخر

حيث يمثل منحني تبريد يجمع بين النوعين الاخرين



منحني التبريد لسبيكة ذات ذوبانية جزئية

نشاط طلابي:-

- قسم الطلبة إلى مجاميع، واطلب من كل مجموعة تحديد نقطة اليوتيكتيك لعدة أنظمة (مثال: Sn-Pb، Ag-Cu).
- تحليل منحني الاتزان واستنتاج الأطوار الناتجة عند نسب مختلفة.

اسئلة :-

- ما معنى مصطلح "نقطة اليوتيكتيك"؟
- ما الفرق بين المخطط تام الذوبان وعديم الذوبان في الصلب؟
- ما هو الفرق بين المحلول الجامد والمخلوط الميكانيكي؟
- ارسم العلاقة بين منحني التبريد لمعدن نقي واخر لسبيكة؟
- ما الخصائص الصناعية التي تميز السبائك اليوتيكتية؟

واجب بيتي:-

❖ قسم الطلاب الى مجاميع وكل مجموعة تكتب تقريرا عن

- اكتب تقريرًا موجزًا عن الفرق بين سبائك قبل اليوتيكتيك، بعد اليوتيكتيك، واليوتيكتيكية، واذكر مثال لكل منها.
- اكتب تقرير عن السبائك المعدنية.

الاسبوع الثالث عشر

الهدف التعليمي

- **الموضوع النظري :** التوازن ، انواع مخططات التجمد من حيث الذوبانية التامة والجزئي والعديم.
- **النشاط العملي** :تحليل مخطط توازن لنظام تام الإذابة والجزئي والعديم.
- **سؤال الأسبوع :**ماذا نستنتج من المخطط الثنائي ذو الذوبان التام ؟
- **الواجب البيتي** :ارسم مخطط التوازن الحراري لسبيكة تامة الذوبان مع ذكر مثال؟
- **مدة المحاضرة:** ساعتين نظري وساعتين عملي

مخطط التوازن الحراري Thermal Equilibrium Diagrams

وتعرف هذه المخططات بإنها رسوم توضح العلاقة بين التركيب ودرجة حرارة السبائك في حالة الاتزان و يقصد بالتوازن عند الاعداد للمخطط ان تبريد او تسخين المعدن او السبيكة يتم ببطئ شديد بحيث يسمح لكل التغيرات الممكنة في مديات من درجات الحرارة ان تتم حتى الاستكمال النهائي مع العلم ان هذه الحالة نادرة الحدوث لكنها مفيدة لدراسة السبائك اي يجب ان تكون في حالة توازن حقيقي واذا لم تكن متوازنه يطلق عليه بالمخطط الطوري . وبواسطة هذه الرسومات يمكن الحصول على المعلومات الآتية :

1- العلاقة بين درجة الحرارة وتركيب المادة مع بيان الأطوار المختلفة.

2- تحديد توازن ذائبية المواد في بعضها.

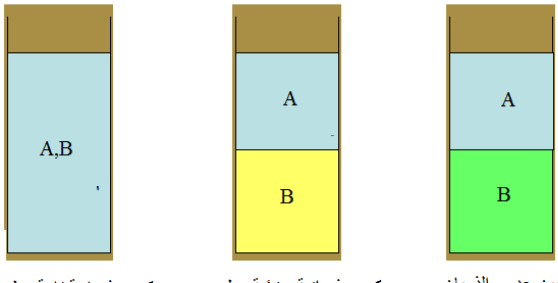
3-التعرف على التركيب الكيميائي والأطوار المكونة للسبيكة عند درجة حرارة معينة.

4- تحديد إمكانية إجراء المعالجة الحرارية على سبيكة ما

5- تحديد درجة حرارة تحول المادة إلى حالة الإنصهار والعكس.

ويشار الى السبيكة التي تحتوي على عنصرين بانها سبيكة ثنائية Binary Alloy و المخطط العائد لها يسمى بمخطط التوازن الثنائي .ان السبائك القابلة للذوبان في الحالة السائلة هي من اكثر السبائك شيوعا لذا فانها بعد التجمد فانها تتخذ احدى الحالات التالية :-

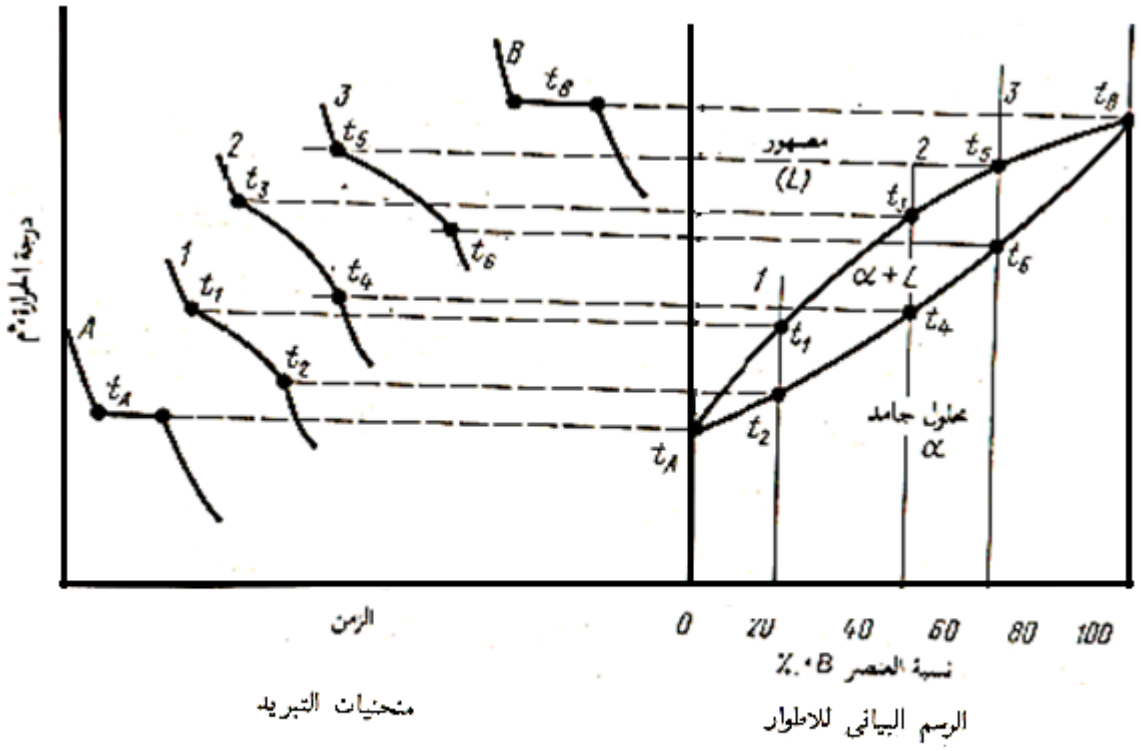
1- مركبات تامة الذوبان في الحالة السائلة والجامدة (الصلبة)
2- مركبات تامة الذوبان في الحالة السائلة وعديمة الذوبان في الحالة الجامدة .
3- مركبات تامة الذوبان في الحالة السائلة ومحدودة الذوبان في الحالة الجامدة .
4- مركبات تامة الذوبان في الحالة السائلة وتكون مركب كيميائي عند الانجماد.



مركبين بذوبانية تامة وطور واحد مركبين بذوبانية جزئية وطورين مركبين عدمي الذوبان ويكونان طورين منفصلين

1- مركبات تامة الذوبان في الحالة السائلة والجامدة (الصلبة)

لغرض رسم مخطط الاتزان الحراري لهذا النوع من المركبات نستخدم طريقة التحليل الحراري وهي الطريقة الاكثر شيوعا وذلك برسم منحني التبريد للعنصرين (A,B) ومن منحنيات التبريد يتبين انه عند تبريد العنصر (A) تبدأ درجة حرارته بالانخفاض بصورة منتظمة حتى تصل الى(t_A) التي يبدأ عندها وينتهي التجمد اي انه يتجمد بدرجة حرارة ثابتة لان المعدن نقي .اما عند تبريد السبيكة (1) فان درجة حرارتها تنخفض تدريجيا حتى تصل الى درجة حرارة (t_1) التي يبدأ عندها تجمد او التبلور للبلورات الاولى من المحلول الجامد وعندما تنخفض درجة



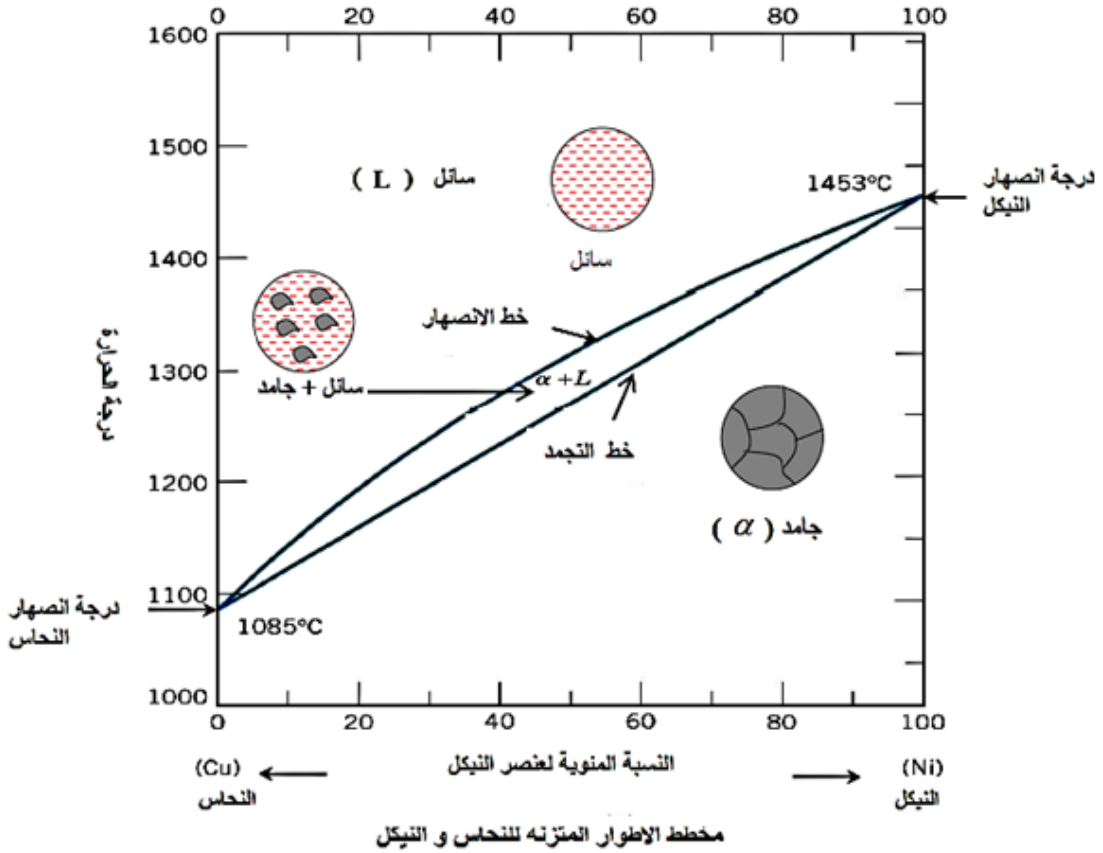
الرسم البياني للاتزان الطوري في حالة التذاوب التام (غير المحدود) للمركبتين A و B في الحالتين السائلة والجامدة :

الحرارة اقل من (t_1) فان السبيكة تتكون من طورين (مصهور و بلورات α) اي ثنائية الطور وهي السمة المميزة لهذا النوع من السبائك حتى ينتهي التجمد عند درجة حرارة (t_2) حيث يتكون المحلول الجامد (α) وهكذا تتجمد بقية السبائك من هذا النوع. بعد ايصال هذه النقاط على مخطط التوازن الحراري ومثال على هذا النوع سبيكة النحاس - نيكل .

مخطط الاطوار المتزنة الثنائية لسبيكة النحاس والنيكل

تعتبر هذا المخطط الموضح في الشكل ادناه مثالا شائعا للسبيائك الثنائية متجانسة التبلور ولدراسة هذا المخطط نلاحظ انه يتكون من المساحات التالية :-

- مساحة عليا فوق خط الانصهار او السيولة حيث يوجد بها طور واحد وهو طور السائل وموكون من مادتين هما النيكل والنحاس .
- مساحة سفلى تحت خط التجمد حيث يوجد بها طور واحد وهو الطو الجامد او الصلب ويسمى (α|) وهو محلول جامد اي لا يمكن التفريق بين معدن النحاس او النيكل .
- مساحة محصورة بين خط التجمد وخط الانصهار ويوجد بها طوران احدهما سائل والثاني جامد (L+α).



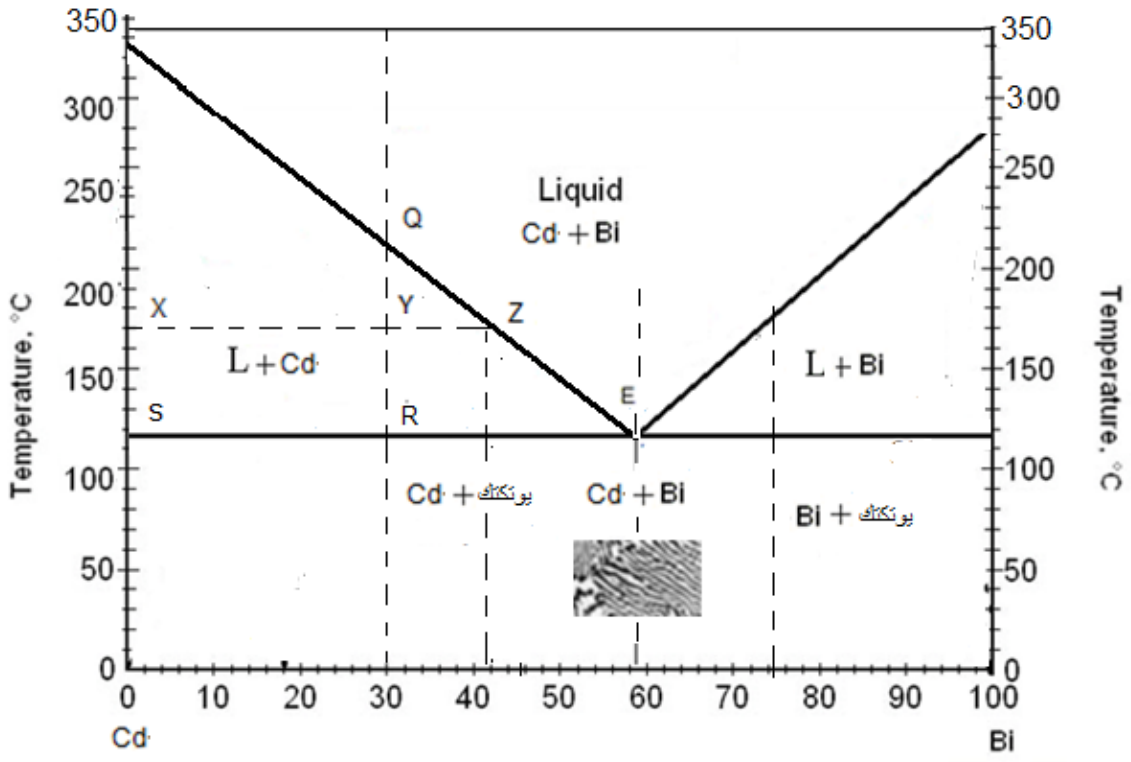
مخطط الاطوار المتزنه للنحاس و النيكل

2- مركبات تامة الذوبان في الحالة السائلة وعديمة الذوبان في الحالة الجامدة

من امثلة هذا النوع من السبائك هي سبيكة القصدي – خارصين وسبيكة بزموث -كادميوم وسبيكة الرصاص والانتيمون فاذ كان هناك عدم ذوبانية بالحالة الصلبة او الجامدة فهناك طريقة واحدة يتجمد بها المعدنان وهي بالتفاعل اليوتكتيكي (Eutectic Reaction) اذن فاليوتكتك يتكون من طورين صلبين عند التجمد وبدرجة حرارة ثابتة وهي اوطأ نقطة تجمد في النظام يكون فيها كلا الطورين الصلبين بحالة توازن مع النظام وكذلك فان خليط اليوتكتك ممكن ان يحتوي على طورين او اكثر وهذه الاطوار ممكن ان تكون معدن نقي او محليل جامدة او مركب كيمائي وتمتاز سبيكة اليوتكتك بالمميزات التالية :-

1- تحتفظ سبيكة اليوتكتك بنسبة ثابتة للمكونين
2- تنصهر وتتجمد بدرجة حرارة ثابتة
3- تمتاز سبيكة اليوتكتك باقل بدرجة انصهار ضمن نظام سبائكي

ان السبيكة تحتوي على يوتكتك بشكل كامل عند تركيز (60% بزموث و 40% كادميوم) اما قبل هذه المنطقة وتسمى منطقة قبل اليوتكتك تحتوي على يوتكتك ومحلول غني بالكادميوم والمنطقة الاخرى وهي ما بعد **اليوتكتك** تحتوي على يوتكتك ومحلول غني بالبزموث وكما مبين بالشكل.



مخطط توازن لكادميوم/ بزموث

نشاط طلابي:-

- قسم الطلاب الى مجاميع واطلب من كل مجموعة رسم مسار التبريد لنسب مختلفة:
- واحدة داخل منطقة α فقط.
- أخرى داخل.α + β
- ثالثة داخل β فقط.
- تحليل تركيبة الأطوار في كل حالة.

اسئلة :-

- ما هو مخطط التوازن الحراري ؟ ولماذا يسمى مخطط التوازن؟
- ارسم منحني التوازن الحراري لسبيكة تامة الذوبان بالحالة السائلة والجامدة؟

واجب بيتي:-

❖ قسم الطلاب الى مجاميع وكل مجموعة تكتب تقريرا عن
- اختر نظامًا معدنيًا محدود الذوبان في الحالة الصلبة (مثل Cu-Zn) وارسم مخطط الاتزان له.
- اشرح ماذا يحدث عند تبريد سبيكة بنسبة 40% Zn.

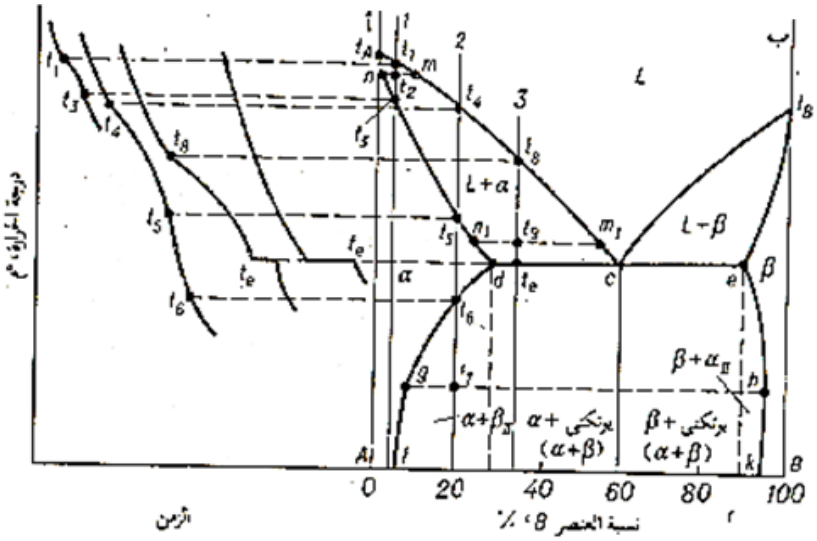
الاسبوع الرابع عشر

الهدف التعليمي

- **الموضوع النظري :** انواع مخططات التجمد الجزئية الذوبان والمخططات ذات المركبات الكيمياوية .
- **النشاط العملي** :تحليل مخطط توازن لنظام الجزئية الذوبان والمخططات ذات المركبات الكيمياوية .
- **سؤال الأسبوع** :ماذا نستنتج من المخطط الثنائي ذو الذوبان الجزئية ؟
- **الواجب البيتي** :ارسم مخطط التوازن الحراري لسبيكة جزئي الذوبان بالورق البياني؟
- **مدة المحاضرة:** ساعتين نظري وساعتين عملي

3- مركبات تامة الذوبان في الحالة السائلة ومحدودة الذوبان في الحالة الجامدة .

ان سبائك الرصاص- قصدير وسبائك النحاس فضة هي امثلة لهذا النوع من المركبات ومخطط التوازن لهذا النوع من الانظمة هو في الحقيقة مركب من النوعين السابقين وهو من الانواع الاكثر شيوعا في السبائك المعدنية



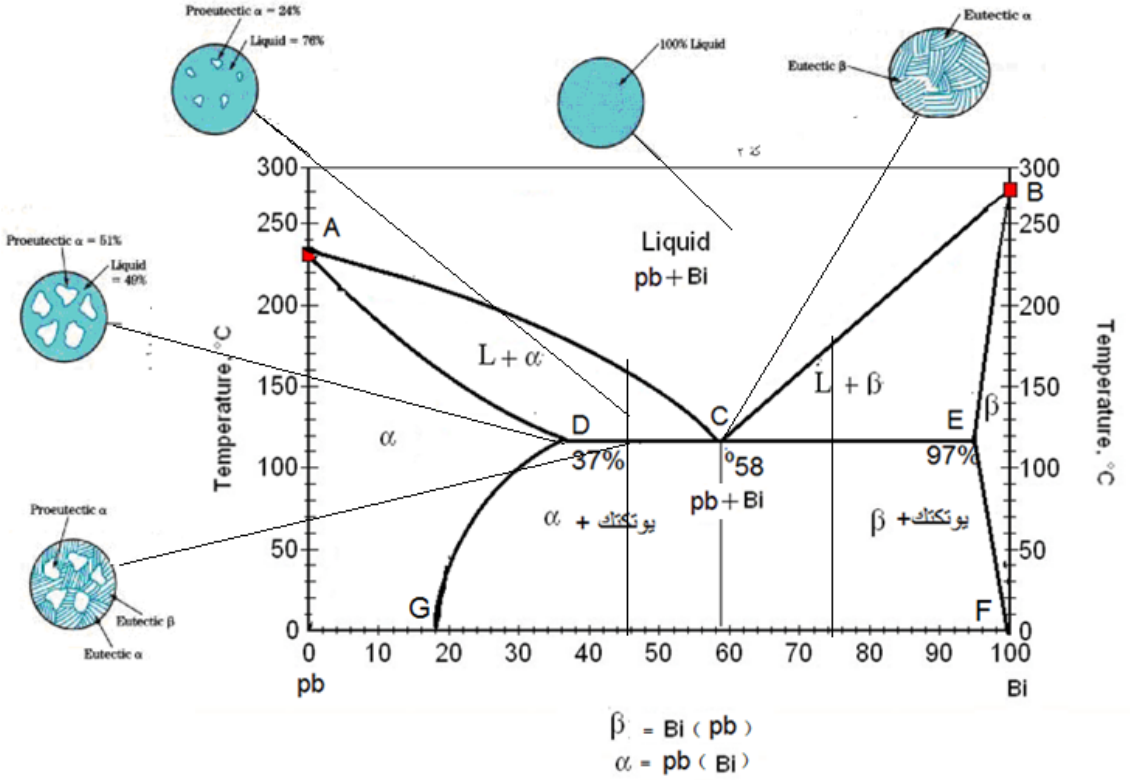
الرسم البياني للاتزان الطوري للسبائك التي تكون محاليل جامدة محدودة التركيز
أ – منحنيات التبريد ، ب – الرسم البياني للاتزان الطوري

نلاحظ في مخطط التوازن الحراري لسبيكة الرصاص Pb بزموث Bi ان الخط (ADG) يمثل خط الاذابة او قابلية ذوبان البزموث في الرصاص واقصى نسبة للبزموث يمكن اذابتها في الرصاص هي (37%) تركيز للبزموث التي هي عند النقطة (D) والخط (BEF) يمثل حدود ذوبان الرصاص بالبزموث واقصى نسبة للرصاص يمكن اذابتها في البزموث هي (97%) تركيز للبزموث او (3%) تركيز للرصاص عند النقطة (E) اذن اعلى نسبة اذابة سواء للرصاص او البزموث تكن في اقصاها عند الخط (DCF).

هناك ثلاث مناطق تحتوي على طورين وهي المساحة (ADC) وتحتوي على الطور السائل والطور الجامد (α) اما المساحة الثانية هي (BCE) حيث تحتوي على الطور السائل والطور الجامد (β) والمساحة الاخيرة (GDCEF) فتحتوي على الطورين الجامدين (β -α)

وهناك النقطة (C) التي تمثل نقطة اليوتكتك وهي منطقة تلاقي ثلاث اطوار وهي الطور السائل والطور الجامد

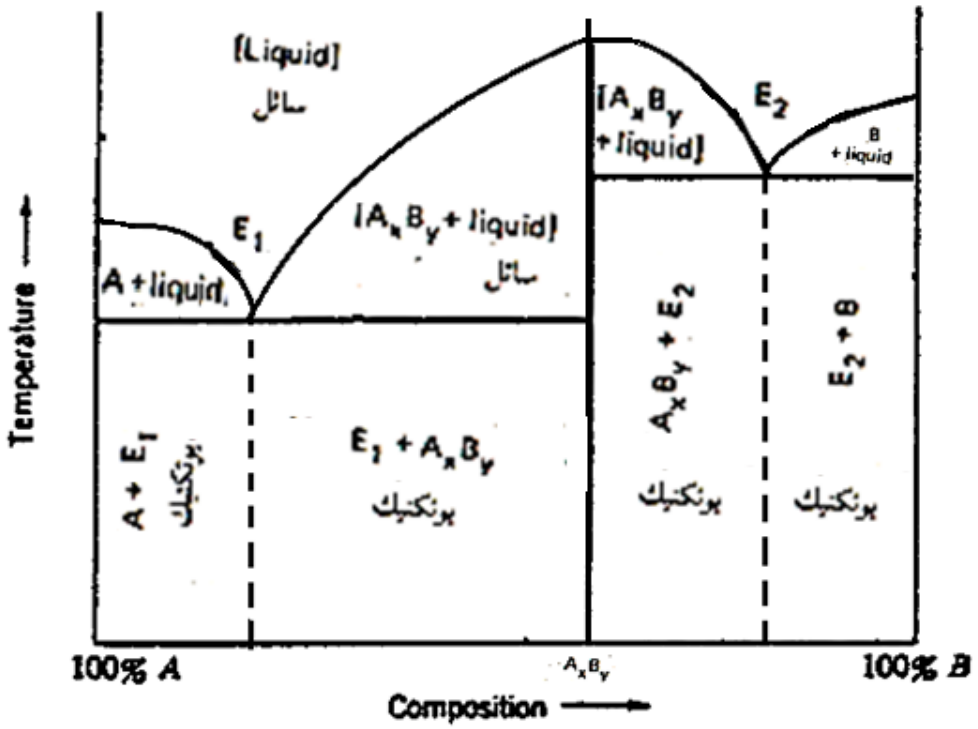
(α) والطور الجامد (β) ودرجة الحرارة عندها تمثل ادنى درجة انصهار للسبيكة وتساوي (125^0) .



4- مركبات تامة الذوبان في الحالة السائلة وتكون مركب كيميائي عند الانجماد.

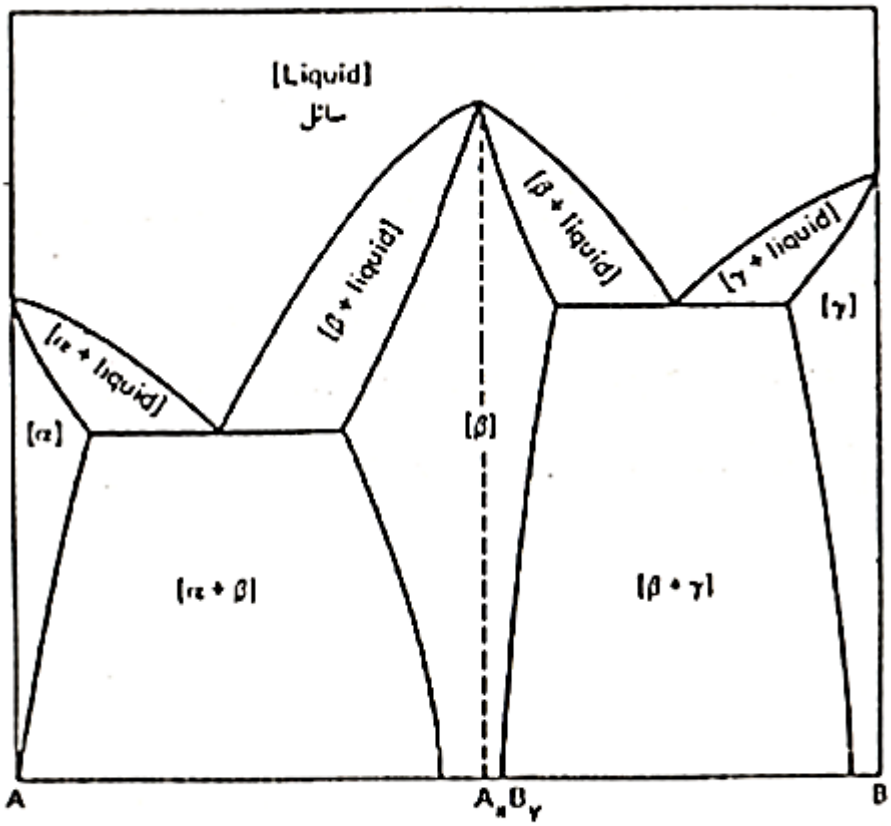
يتحد المعدان في بعض الانظمة السبائك الثنائية ليشكل ما يسمى بالاطوار الوسطية التي تكون اما محاليل جامدة مثل الطور الذي يظهر في نظام نحاس – خارصين او تكون مركبات كيميائية ومعدنية (Cu_2Sb ، Mg_2Sn ، Cu_3Sn ، $CuAl_2$ ، Cu_3P، Fe_3C) وتتكون هذه المركبات الكيمياوية عادة من عندما يكون لاحد العناصر (Mg) مثلا خواص كيميائية معدنية قوية (موجب الكهربائية) ولاخر (Sn) خواص كيميائية معدنية ضعيفة .

ان وجود المركبات الكيميائية غالبا ما يظهر بشكل بعدم استمرارية على منحني السيولة او بشكل قمة كما في حالة المركب وتكون له نقطة انجماد اعلى من المركبات المكونه له مثلا نقطة انجماد (Mg2Sn) هي (o789) في حين ان نقطة انجماد (Mg) هي (o649)ونقطة انجماد (Sn) هي (o232). ان الاطوار الوسطية تكون عادة صلدة وهشة وتكون زوايا حادة في البنية الدقيقة



شكل يبين مركبات كيمياوية معدنية عديمة الاذابة في الحالة الصلبة

الشكل اعلاه يبين مخطط التوازن الحراري لمعدنية (A,B) الذان يكونان مركبا كيمياويا معدنيا وسطيا هو (A_xB_y) حيث ان (x) ذرات من معدن (A) متحدة مع (y) من ذرات المعدن (B) ولا توجد ذوبانية في الحالة الصلبة . والمركب (A_xB_y) ممكن ان يكون مركبا معدنيا نقيا حسب تفسير المخطط حيث ان هذا المركب يشكل يوتكتكا بسيطان مع المعدن (A) عند النقطة (E_1) ويكون نفس المركب يوتكتكا اخر مع المعدن (B) عند النقطة (E_2) لذلك يظهر المخطط على شكل مخططين بسيطين متصلين مع بعضهما .



شكل يبين مركبات كيمياوية معدنية بذوبانية جزئية بالحالة الصلبة

اما الشكل اعلاه فيبين ان الاطوار الوسطية تكون بذوبانية جزئية في الحالة الصلبة لذلك يتكون المخطط من مخططي ذوبانية جزئية في الحالة الصلبة يكون احدهما بجانب الاخر يتكون اليوتكتك الاول من الطورين (α,β) والثاني من الطورين (,Yβ)

النشاط الطلابي:-

- رسم مخطط الاتزان فيه مركب كيميائي واضح (مثل Al_3Ni):أو.(Cu_3Sn)
- على كل مجموعة تحليل: النسبة التي يظهر عندها المركب.

الاسئلة

- ارسم مخطط التوازن الحراري لمخطط تام جزئي الذوبان؟

الواجب البيتي

- ارسم مخطط الاتزان لنظام يحتوي على مركب كيميائي، وبيّن:
- النسب التي يتكوّن عندها المركب. ودرجات الحرارة الحرجة.

الاسبوع الخامس عشر

الهدف التعليمي

- **الموضوع النظري :** قاعدة العتلة العكسية لحساب نسبة الاطوار .
- **النشاط العملي** :رسم بالورق البياني لمخطط التوازن الحراري ونحسب منها نسب الاطوار .
- **سؤال الأسبوع** :كيف نرسم مخطط التوازن بالورق البياني ؟
- **الواجب البيتي** :ارسم مخطط التوازن الحراري لسبيكة جزئي الذوبان بالورق البياني؟
- **مدة المحاضرة:** ساعتين نظري وساعتين عملي

قاعدة العتلة العكسية او الاجزاء المقطوعة Lever Rule

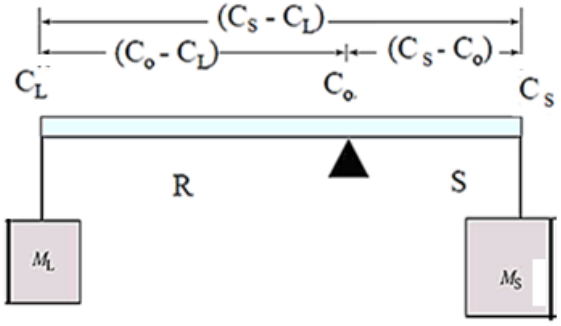
الخطوات الضرورية لحساب كمية الاطوار بواسطة قاعدة العتلة :-

- يجب تحديد تركيز العنصر ودرجة الحرارة المئوية
- في المنطقة الحاوية على طورين نرسم خط افقي يربط بين الطورين ونحسب تركيز نقاط تقاطع هذا الخط مع خط بداية التجمد وخط نهاية التجمد

بواسطة قاعدة العتلة العكسية يمكن ان نحسب النسب التالية :-

- يمكن حساب كمية الطور السائل وكمية الطور الجامد ونسبهما المئوية

ويحسب القانون على اساس الجزء على الكل وفق العتلة ادناه



$$\text{كمية الطور السائل} = W_L = \frac{(C_S - C_o)}{(C_S - C_L)}$$

$$\text{كمية الطور الصلب} = W_S = \frac{(C_o - C_L)}{(C_S - C_L)}$$

C_S = نقطة تقاطع خط السبيكة مع خط نهاية التجمد (خط التجمد)

C_L = نقطة تقاطع خط السبيكة مع خط بداية التجمد (خط السيولة)

C_o = النسبة المئوية للسبيكة او تركيز السبيكة

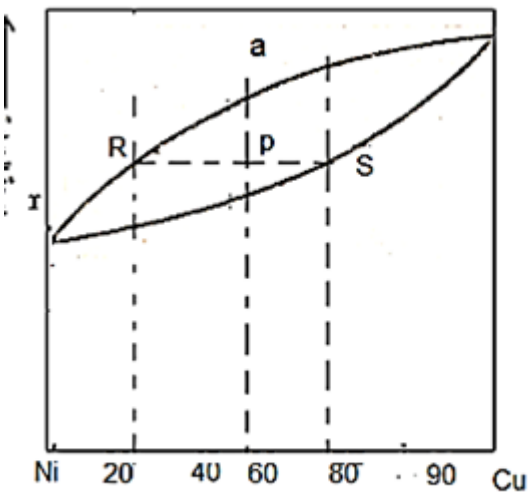
W_L = نسبة او كمية الطور السائل

W_S = نسبة او كمية الطور الجامد

- **النسبة المئوية للاطوار وفق المعادلة التالية**

النسبة المئوية للطور السائل W_L % = W_L x 100%

النسبة المئوية للطور الجامد W_S % = W_S x 100%



قاعدة الخط الأفقي لسبيكة Ni –Cu

كتلة السائل R x المسافة RP = كتلة الصلب S x المسافة PS

$$\frac{\text{كتلة السائل}}{\text{كتلة الصلب}} = \frac{PS}{RP}$$

$$\frac{\text{كتلة السائل}}{\text{كتلة الصلب}} = \frac{60 - 80}{20 - 60}$$

$$= \frac{20}{40} = \frac{1}{2}$$

$$\frac{\text{كتلة السائل}}{\text{كتلة الصلب}} = \frac{(C_s - C_o)}{(C_o - C_L)}$$

مثال (1)

سبيكة مكونة من معدني النيكل والنحاس لهما قابلية ذوبان تامة الذوبان في الحالة السائلة والصلبة اذا علمت ان درجة النيكل (1453) مئوي انصهار النحاس (1085) مئوي.وسجلت درجات حرارة بداية ونهاية التجمد لسبائك مختلفة التركيز كما مبين بالجدول ادناه :

تركيز سبيكة النيكل %	10	20	30	40	50	60	70	80	90
درجة حرارة بداية التجمد C^o	1160	1230	1290	1340	1380	1410	1430	1445	1450
درجة حرارة نهاية التجمد C^o	1130	1180	1230	1280	1320	1360	1390	1410	1430

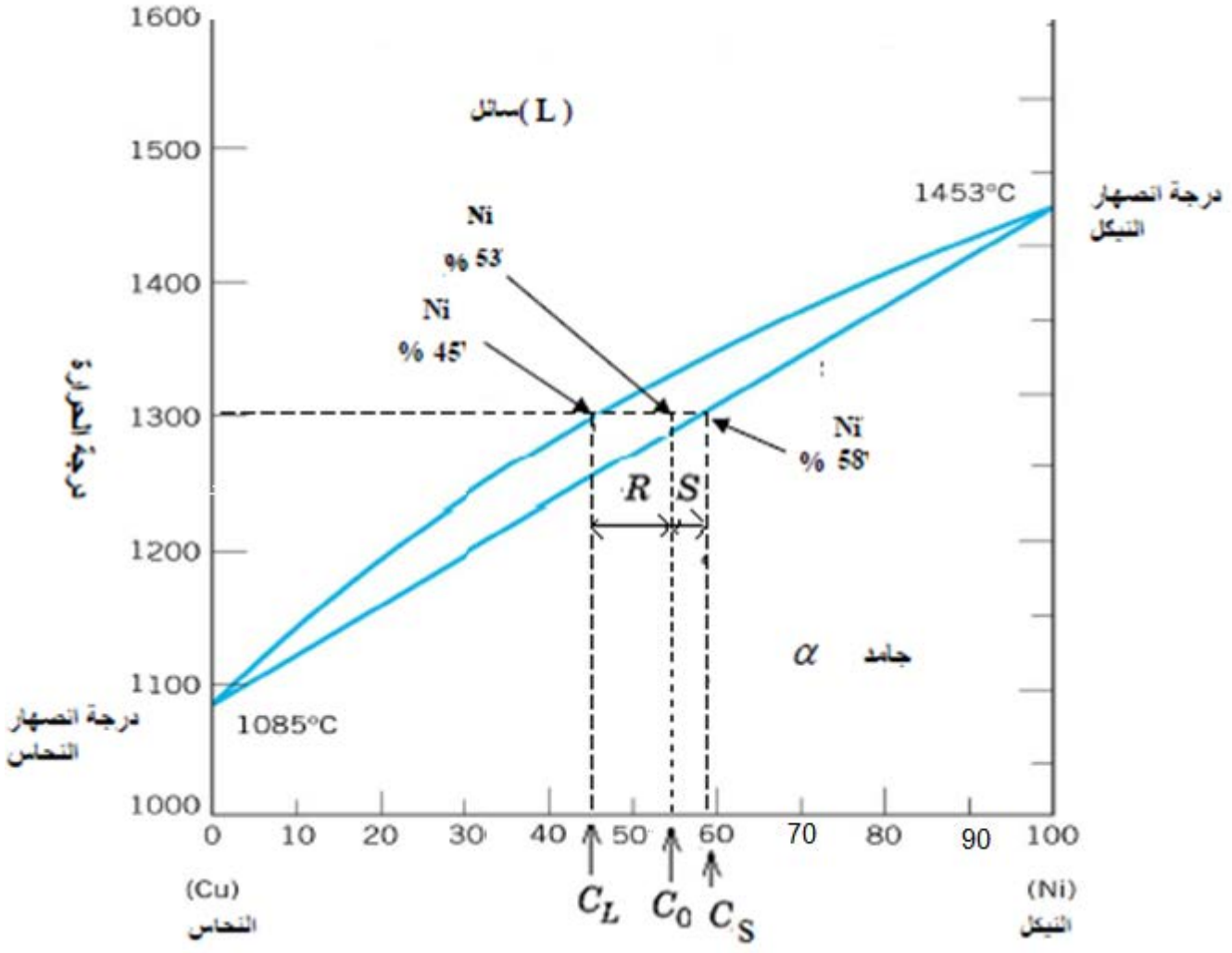
أ- ارسم مخطط التوازن الحراري للنظام السبائكي (نيكل –نحاس) مؤشرا عليه كافة المعلومات المطلوبة .

ب- اوجد تركيب السبيكة المكونة من (53%) نيكل و (47%) نحاس بدرجة حرارة (1300) مئوي وما هو النسبة المئوية لكل طور.

جـ- احسب نسبة الصلب الى السائل

الحل :-

أ-



ب-

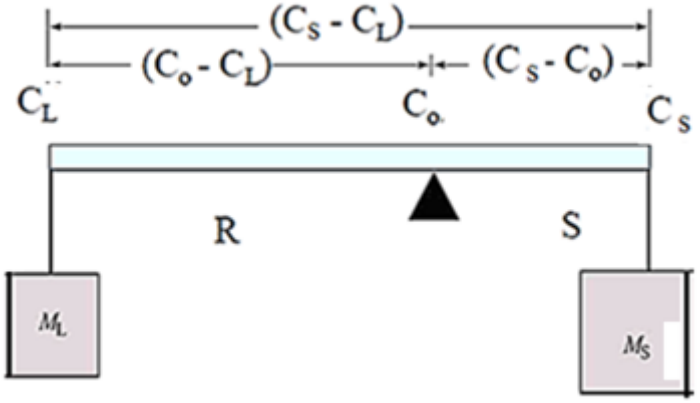
نرسم مخطط التوازن الحراري للسبيكة

نلاحظ من هذه السبيكة انها تتكون من طورين طور سائل وطور صلب عند درجة حرارة 1300 مئوي

C_0 = نسبة السبيكة او تركيزها = Ni % 53

C_S =نسبة المحلول الجامد (الصلب) = Ni %58

C_L= نسبة السائل = Ni %45



$$\text{كمية الطور السائل } W_L = \frac{(C_S - C_o)}{(C_S - C_L)} = \frac{(58 - 53)}{(58 - 45)} = 0.385$$

$$\text{كمية الطور الصلب } W_S = \frac{(C_o - C_L)}{(C_S - C_L)} = \frac{(53 - 45)}{(58 - 45)} = 0.615$$

$$\text{النسبة المئوية للطور السائل } W_L\ \% = W_L = 100\% \times 0.385 = 38.5\ \%$$

$$\text{النسبة المئوية للطور الجامد } W_S\ \% = W_S = 100\% \times 0.615 = 61.5\%$$

د-

$$\frac{\text{كتلة السائل}}{\text{كتلة الصلب}} = \frac{(C_S - C_o)}{(C_o - C_L)} = \frac{(58 - 53)}{(53 - 45)} = \frac{5}{8}$$

مثال (2)

سبيكة مكونه من الكادميوم البزموث (Bi) و (Cd)ولهما ذوبانية تامة في الحالة السائلة وعديمة الذوبان في الحالة الصلبة ويكونان يوتكتك عند النسبة (60 %) بزموث و (40 %) كادميوم عند درجة حرارة قدرها (120) مئوي اذا علمت ان درجة انصهار البزموث (272.50) مئوية ودرجة انصهار الكادميوم (321.50) مئوية.

أ- ارسم مخطط التوازن الحراري للنظام السبائكي اعلاه مؤشرا عليه كافة المعلومات .

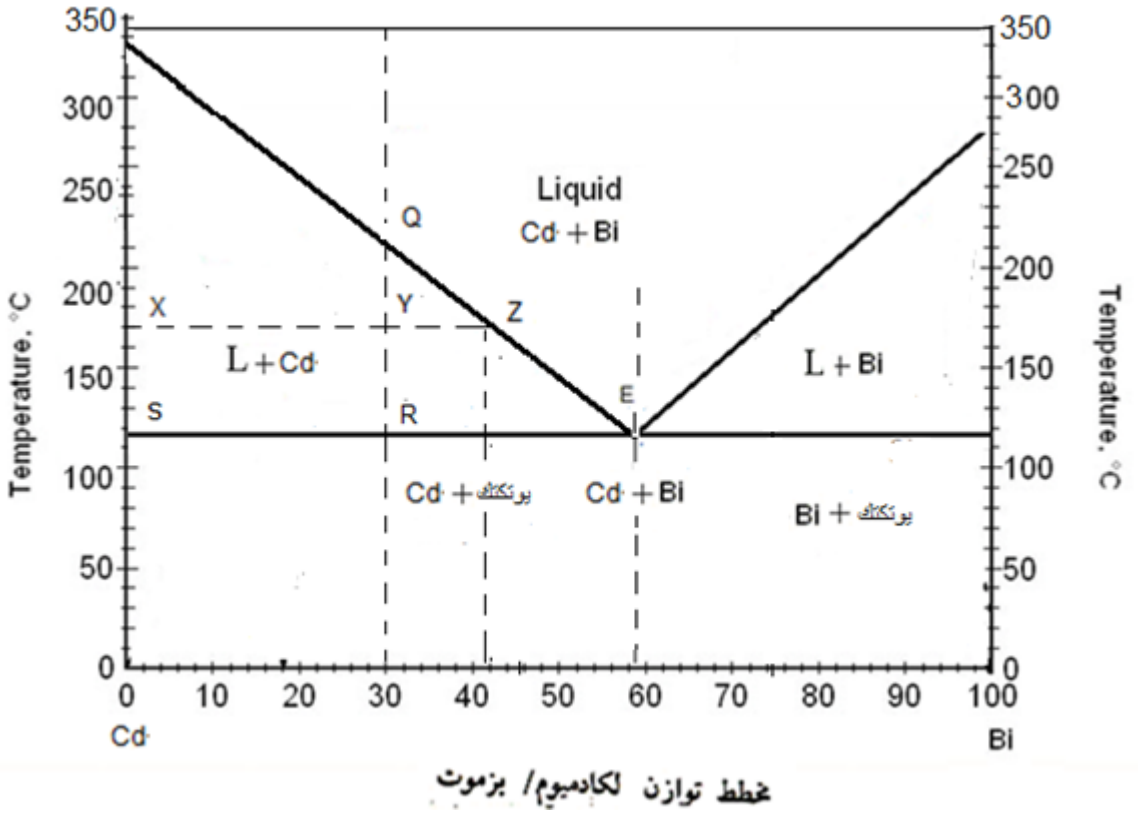
ب- اوجد مكونات السبيكة المكونه من (30%) بزموث و (70%) كادميوم ونسبة الاطوار فيها عند درجة حرارة (100، 200، 350) مئوي.

جـ- احسب كمية الاطوار الموجودة في السبيكة اعلاه عند درجة حرارة 175 مئوي والنسبة المئوية لها .

د. جد النسبة بين الطورين الصلب والسائل.

الحل :-

أ- نرسم مخطط التوازن الحراري لسبيكة البزموث- كادميوم



مخطط توازن لكادميوم/ بزموث

ب-

1- في درجة حرارة 100 مئوي تتكون السبيكة من طورين اليوتكتك والكادميوم الصلب .

2- في درجة حرارة 200 مئوي تتكون السبيكة من طورين السائل والكادميوم الصلب.

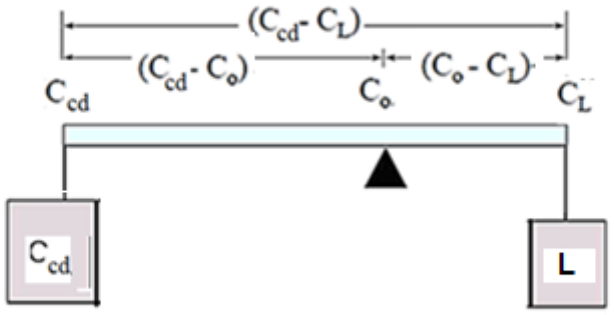
3- في درجة حرارة 200 مئوي تتكون السبيكة من السائل للمكونين البزموث والكادميوم.

أ- جـ- نلاحظ ان هذه السبيكة تتكون من طورين هما السائل والكاديوم ونستنتج النسب التالية

C_0 = نسبة السبيكة او تركيزها = 70 % Cd

C_{cd} = نسبة الصلب = 100 % Cd

C_L = نسبة السائل =60 % Cd



$$\text{كمية الطور السائل} = \frac{(C_o - C_{cd})}{(C_L - C_{cd})} = \frac{(70 - 100)}{(60 - 100)} = \frac{30}{40} = 0.75$$

$$\text{كمية الطور الصلب} = \frac{(C_L - C_o)}{(C_L - C_{cd})} = \frac{(60 - 70)}{(60 - 100)} = \frac{10}{40} = 0.25$$

النسبة المئوية للطور السائل W_L = 0.75 x 100% = 75 %

النسبة المئوية للطور الجامد W_S = 0.25 x 100% = 25%

د-

$$\frac{\text{كتلة السائل}}{\text{كتلة الصلب}} = \frac{(C_o - C_{cd})}{(C_L - C_o)} = \frac{(70 - 100)}{(60 - 70)} = \frac{30}{10}$$

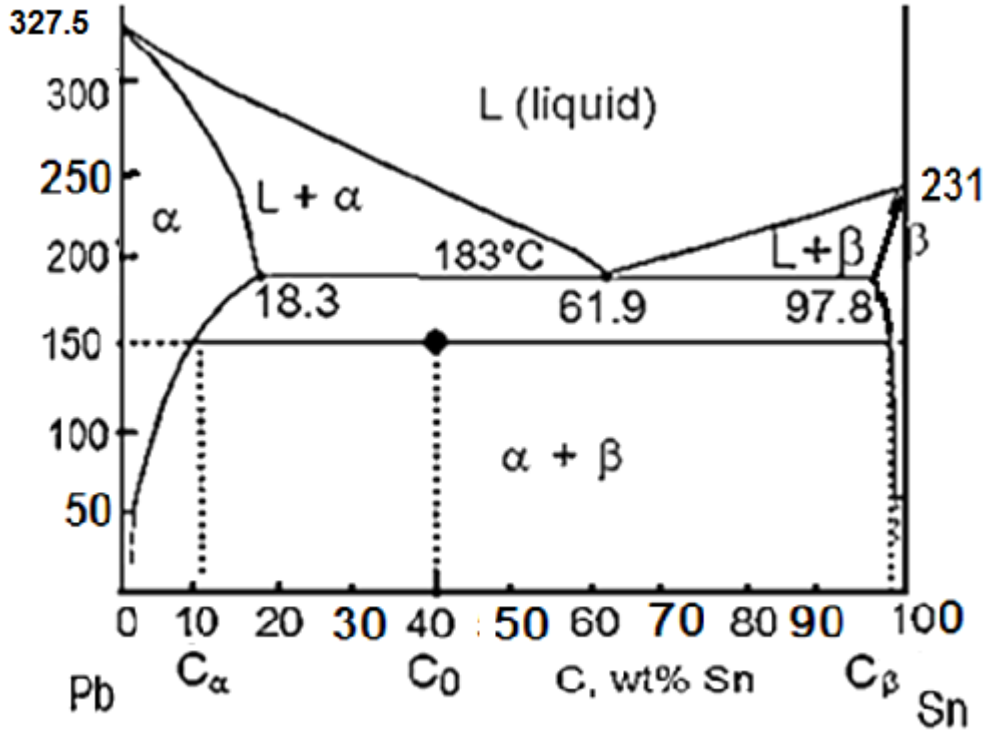
مثال (3)

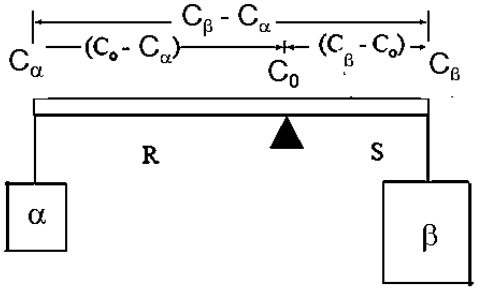
سبيكة معدنية مكونة من (الرصاص Pb – قصدير Sn) تامة الذوبان بالحالة السائلة و ذات قابلية محدودة الذوبان في الحالة الصلبة ويكونان يوتكتك عند درجة حرارة (190) مئوي وبتركيز (61.9 %) قصدير .معدن القصدير ينصهر بدرجة حرارة (231) مئوي بينما معدن الرصاص ينصهر بدرجة حرارة (327.5) مئوي. فاذا كانت قابلية ذوبان القصدير في الرصاص تساوي (18.3%) قصدير عند درجة حرارة اليوتكتك (1%) قصديرعند درجة حرارة الصفر المئوي، بينما قابلية ذوبان الرصاص في القصدير تساوي (97.8%) قصدير بدرجة حرارة اليوتكتك و (99%) قصديربدرجة حرارة الصفر المئوي .

أ- ارسم مخطط التوازن الحراري للنظام السبائكي اعلاه مؤشرا عليه كافة المعلومات .
ب- للسبيكة (60 Sn او 40 Pb) % احسب كمية الاطوار الموجودة فيها بدرجة حرارة ($150\ C^{o}$) .

الحل

أ-





$C_\alpha = 11$ wt% Sn
$C_\beta = 99$ wt% Sn
$C_0 = 40$ wt% Sn

$$W_\alpha = \frac{C_\beta - C_0}{C_\beta - C_\alpha} = \frac{99 - 40}{99 - 11} = \frac{59}{88} = 0.67$$

$$W_\beta = \frac{C_0 - C_\alpha}{C_\beta - C_\alpha} = \frac{40 - 11}{99 - 11} = \frac{29}{88} = 0.33$$

النشاط الطلابي

وزّع الطلبة على مجموعات، وكل مجموعة تختار:

- نسبة كربون معينة (مثلاً 0.2%، 0.8%، 1.5%)
- ثم تقوم بتحديد المسار الحراري عند التبريد.
- رسم الأطوار المتكونة وتفسير الخواص الناتجة.

الاسئلة

- حل مثال رقم 2 مع تغيير بعض القيم؟
- ما هي درجة حرارة التفاعل اليوتيكتويدي؟
- ما هو الفرق بين الفيريت والأوستنايت؟
- ما هي الأطوار التي تتكون عند 1.2% كربون بعد التبريد البطيء؟
- ما هو السمنتيت؟ وما تأثيره على الخواص الميكانيكية للفولاذ؟
- لماذا يكون الفولاذ عند 0.8 C %صلبًا لكنه غير هش؟ بسبب وجود السمنتايت (صلد) والفيرلايت (مطيلي) ويمسة البيرلايت.

الواجب البيتي

- شرح ماذا يحدث لقطعة فولاذ بنسبة كربون 0.8% إذا تم تبريدها ببطء من 900 C°إلى درجة الغرفة.

المصادر

1- كتاب المعادن بنيتها وخواصها .. حسين باقر رحمة الله
2- كتاب هندسة المعادن والمواد للموالف بيلي وترجمة حسين باقر رحمة الله
3- كتاب علم المعادن للموالف عماد محمد ابراهيم جامعة الزقازيق

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

الجامعة التقنية الجنوبية

المعهد التقني العمارة

قسم التقنيات الميكانيكية

الحقيبة التدريسية لمادة

المعادن

المرحلة الثانية

اعداد المهندس الدكتور

اسعد كاظم عكال

الفصل الدراسي الثاني

2025

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

الجامعة التقنية الجنوبية

التخصصات / التكنولوجية

القسم / الميكانيك الفرع / الإنتاج (مستمر)

اسم المادة	السنة الدراسية	الساعات الأسبوعية		
		نظري	عملي	المجموع
المعادن	الثانية	2	2	4

المفردات النظرية	
الأسبوع	تفاصيل المفردات
الأول	تكملة مخطط الاتزان الحراري لنظام حديد / الكربون .
الثاني	تكوين الاوستنايت ، آلية تحويل البرلايت الى اوستنايت .
الثالث	تحولات الاوستنايت بثبوت درجة والتحولات بالتبريد المستمر .
الرابع	المعاملات الحرارية (التلدين ، المعادلة ، التقيسية)
الخامس	تكملة المعاملات الحرارية (التقيسية والمراجعة) المعاملات الحرارية دون الصفرية ، التعتيق .
السادس	التقسية السطحية (الكربنة بأنواعها والمعاملات الحرارية التي تتبعها) التذوة ، السنيدة .
السابع	الصلب السبائكي ، تأثير عناصر السبك على خواص الصلب .
الثامن	الصلب المقاوم للصدأ ، صلب العدد .
التاسع	إنتاج حديد الزهر ومعاملاته الحرارية .
العاشر	تكملة إنتاج حديد الزهر واهم أنواعه .
الحادي عشر	تعريف التآكل ، التكاليف الاقتصادية المباشرة وغير المباشرة للتآكل ، مظاهر التآكل ،

	آلية حدوث التآكل .
الثاني عشر	السلبية ، قانون فارداي التآكل العام ، التآكل الكلفاني ، التآكل الكهفي .
الثالث عشر	التآكل المصاحب للتربة ، التآكل الاختياري ،التآكل مابين البلورات ، التآكل المصاحب للإجهاد .
الرابع عشر	الاختيار الأمثل للمادة ، تلطيف المحيط ، التصميم والتشغيل .
الخامس عشر	طرق الوقاية من التآكل .

الأسبوع	تفاصيل المفردات
الأول	فحص أنواع مختلفة من السبائك ، المحاليل الجامدة ، الخليط الميكانيكي ، المركب الكيميائي تحت المجهر .
الثاني	فحص عينات من الصلب الكربورني غير معامل حراريا تحت المجهر وحساب نسبة الكربون .
الثالث	فحص عينات من حديد الزهر لمختلف التراكب (الأبيض ، الرمادي ، الكروي) .
الرابع	أجراء عملية الاستعادة وإعادة التبلور وفحصها مجهريا ومقارنة ذلك مع الفحص قبل عملية الاستعادة وإعادة التبلور .
الخامس	تقسية الصلب الكربوني ومقارنة التركيب والخواص قبل التقسية .
السادس	مراجعة الصلب الكربوني وقياس الصلادة قبل وبعد المراجعة .
السابع	أجراء عملية التقسية في أوساط تبريد مختلفة ومقارنة الصلادة والخواص المجهرية للعينات المختلفة .
الثامن	أجراء اختبار جومني لقياس قابلية التصليد .
التاسع	أجراء التقسية السطحية باستخدام الكربنة الصلبة .
العاشر	فحص عينات مختلفة من الصلب السبائكي الصلب المقاوم للصدأ تحت المجهر .
الحادي عشر	فحص عينات مختلفة من النحاس والبراص تحت المجهر .

الثاني عشر	الفحص المجهري لعينات مختلفة من الألمنيوم .
الثالث عشر	أجراء تجربة التآكل الكيمياوي ، أنشاء خلية تآكل بسيطة .
الرابع عشر	أجراء تجربة الحماية من التآكل بطريقة الحماية الكاثودية .
الخامس عشر	أجراء تجربة الحماية من التآكل بطريقة الحماية الانودية .

الهدف من دراسة مادة :

تهدف مادة المعادن بتعريف الطلبة بخواص المعادن الأساسية، وأنظمتها البلورية، وعلاقاتها بالتطبيقات الهندسية والميكانيكية، إلى جانب دراسة الظواهر المؤثرة كالتشوه، التبلور، التآكل، الزحف، والكلال، مما يعزز قدراتهم في فهم وتوظيف المواد المعدنية ضمن مجالات التصميم والتصنيع.

الفئة المستهدفة:

طلبة الصف الثاني / قسم التقنيات الميكانيكية

التقنيات التربوية المستخدمة:

5. سبورة واقلام
6. السبورة التفاعلية
7. عارض البيانات Data Show
8. جهاز حاسوب محمول Laptop

الاسبوع الاول

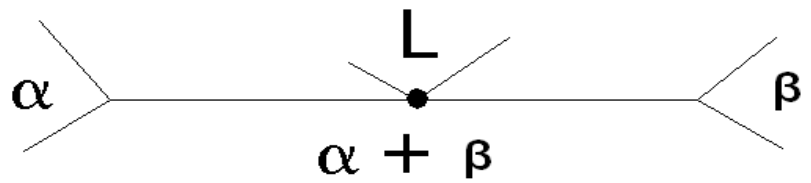
الهدف التعليمي

- **الموضوع النظري :** مخططات اتزان فيها ثلاث نقاط ومسمياتها، الحديد .
- **النشاط العملي** :رسم بالورق البياني لمخطط التوازن الحراري فيها ثلاث نقاط.
- **سؤال الأسبوع :**كيف نرسم مخطط التوازن بالورق البياني ؟
- **الواجب البيتي** :ارسم مخطط التوازن الحراري لسبيكة بثلاث نقاط بالورق البياني؟
- **مدة المحاضرة:** ساعتين نظري وساعتين عملي

هناك مخططات إتزان حرارية ثنائية فيها نقاط ذات ثلاثة أطوار مثل :

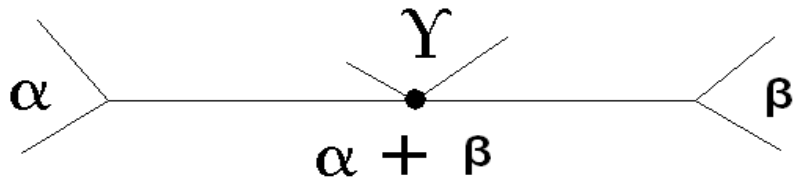
1) التركيب اليوتكتيكى :

فى التركيب اليوتكتيكى يكون سائل فوق درجة حرارة اليوتكتيك ويتحول الى طورين متجمدين تحت درجة حرارة اليوتكتيك



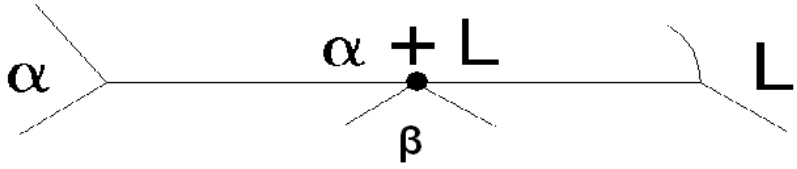
2)التركيب اليوتكتويدى :

فهو يتكون من طور واحد متجمد فوق درجة حرارة اليوتكتويدى ويتحول الى طورين متجمدين تحت اليوتكتويدى لذلك فجميع أطواره متجمدة



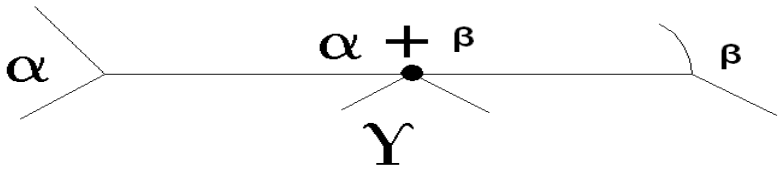
3) التركيب البريتكتيكى :

فهو عبارة عن طورين صلب مع سائل فوق درجة حرارة البريتكتيك والأخر متجمد تحت درجة حرارة البريتكتيك



4) التركيب البريتكتويدى :

فهو عبارة عن طورين متجمدين فوق درجة حرارة البريتكتويد وطور واحد تحت درجة حرارة البريتكتويد



الحديد Iron

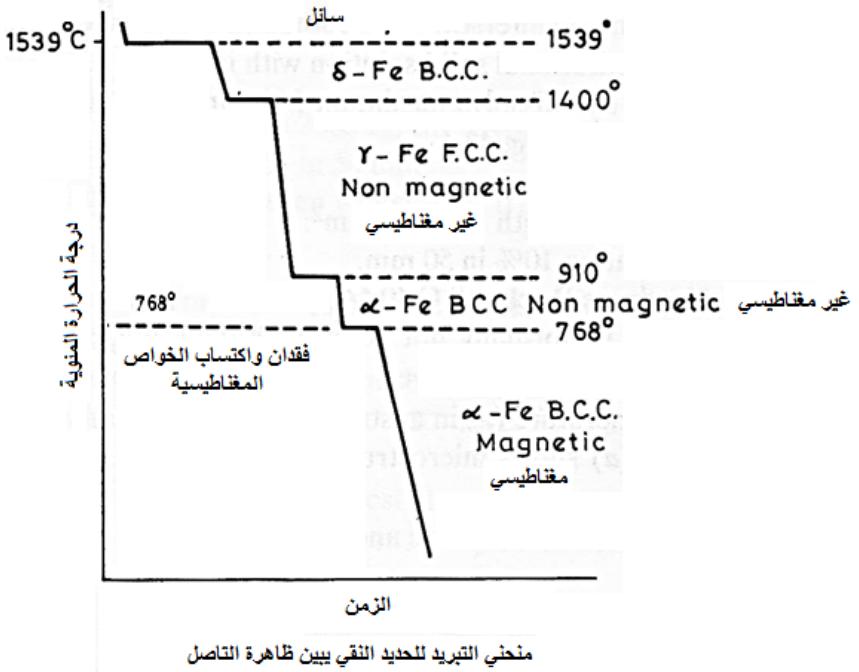
الحديد النقي هو عنصر كيميائي و معدني ذو لون فضي إلا أنه يتأكسد في الهواء.، وهو فلز قابل للطرق والسحب و يرمز له بالرمز (Fe) اذ تبلغ درجة انصهاره (1539^0) وتبلغ نقاوته (99.999) % ويكون في حالته النقية أكثر ليونة من الألومنيوم، وتزداد صلادته بإضافة بعض العناصر السبائكية كالكربون بنسب معينة فتتكون سبيكة هي أقوى ألف مرة من الحديد النقي ، وغالباً ما يتواجد في الطبيعة في صورة أكاسيد

ويعد الحديد تأصلي Allotropic وهو تغير بالشبكة البلورية للحديد اذ يوجد باكثر من شكل فيزياوي والنسق البلوري له هو المكعب المتمركز الجسم (B.C.C) عند درجة حرارة الغرفة فيكون تحوله كالتالي:-

حديد (B.C.C) مستقر عند درجة حرارة اعلى من (1390^0) ويسمى حديد دلتا (ð - Fe).

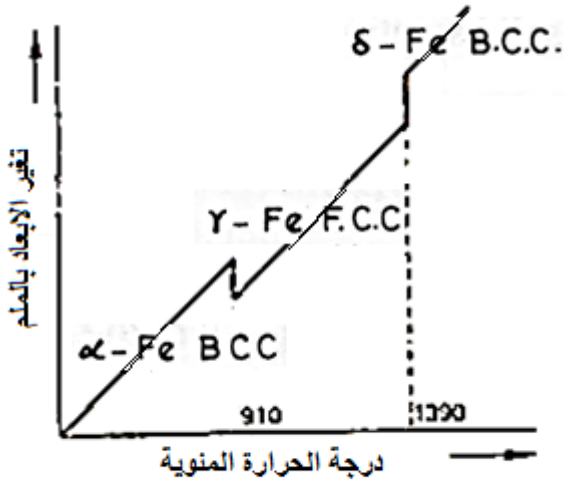
حديد (F.C.C) مستقر عند درجة حرارة (910^0 - 1390^0) ويسمى حديد كاما (Y- Fe)

حديد (B.C.C) مستقر عند درجة حرارة اقل من (910^0) ويسمى حديد الفا (α - Fe). يحدث بالحديد اثناء التسخين عند درجة حرارة اقل (910^0) من هو فقدان المغناطيسية عند درجة حرارة (769^0) وتعرف بنقطة كوري وغالبا لا يكون لها تاثير عند المعاملة الحرارية



منحني التبريد للحديد النقي يبين ظاهرة التاصل

ونلاحظ حدوث تقلصا بالحجم يحدث عند التحول من حديد الفا (α) الى حديد كاما (Y) اثناء التسخين وكذلك يحدث تمدد بالحجم عند التحول من حديد كاما (Y) الى حديد دلتا (ð) وكما مبين بالشكل التالي



التغير في ابعاد الحديد النقي مع درجة الحرارة

النشاط الطلابي:

- يُقسّم الطلبة إلى 3 مجموعات، كل مجموعة تتولى دراسة نقطة واحدة (Eutectic) أو(Eutectoid أو) (Peritectic) وتُجيب على:

  - ما التفاعل الحاصل؟
  - عند أي نسبة كربون؟
  - ما درجة الحرارة؟
  - ما الأطوار الناتجة؟

الاسئلة

- عرف التفاعل البريتكتيكي؟
- ماهو تاصل الحديد؟
- ارسم مخطط التاصل للحديد؟

الواجب البيتي

- اكتب تقريرا عن الحديد وما هي خواصه؟
- اكتب تقرير عن سبيكة الحديد كاربون؟

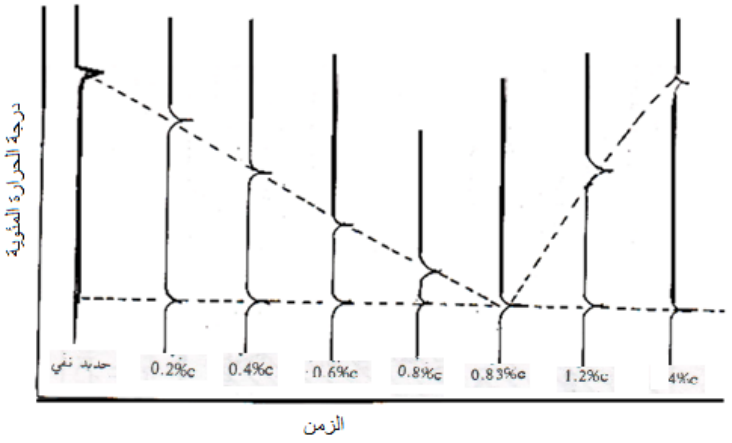
الاسبوع الثاني والثالث

الهدف التعليمي

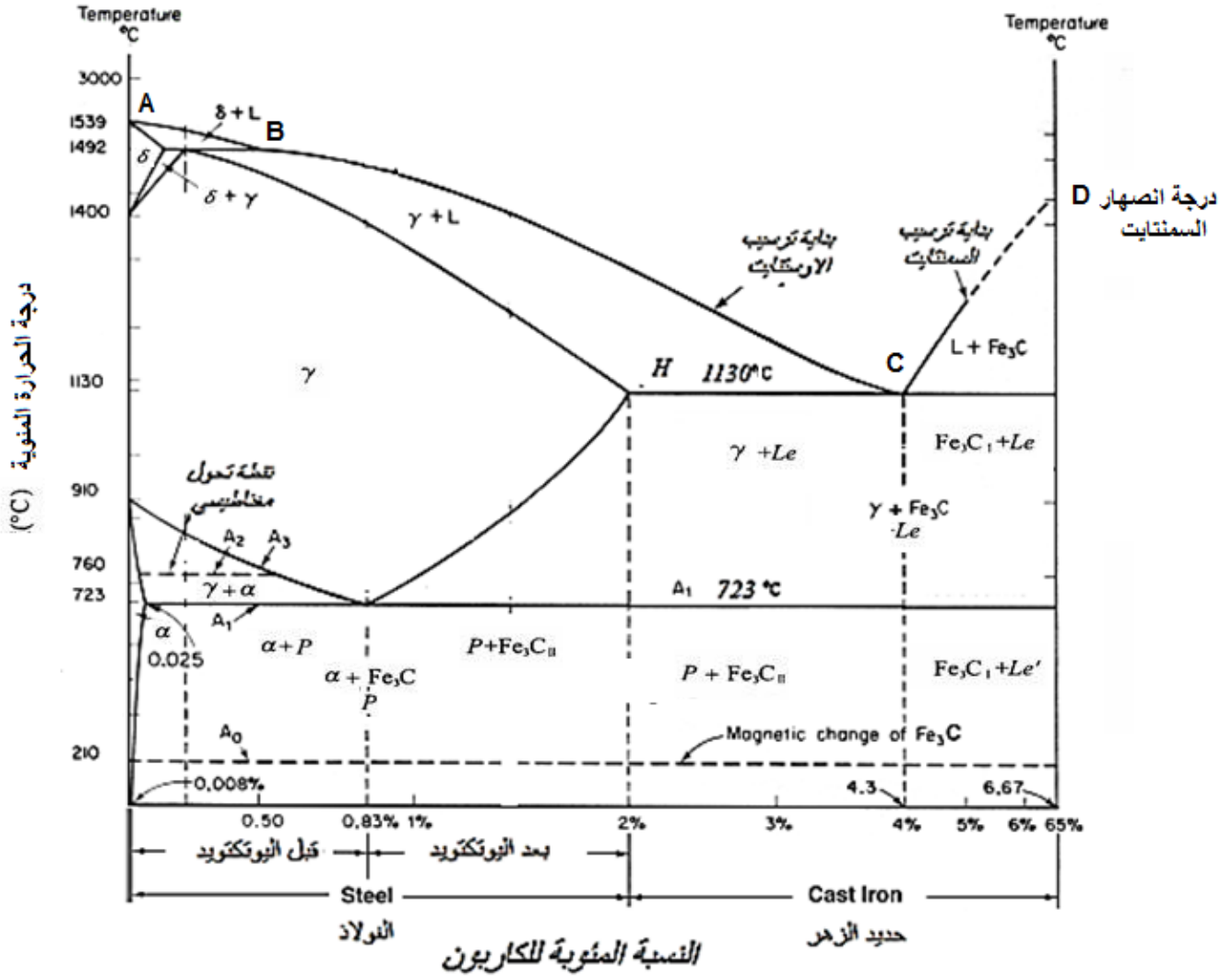
- **الموضوع النظري :** مخططات اتزان سبيكة حديد - كاربون .
- **النشاط العملي** :رسم بالورق البياني لمخطط التوازن الحراري لسبيكة حديد كاربون بالورق البياني.
- **سؤال الأسبوع :**كيف نرسم مخطط التوازن لسبيكة حديد كاربون بالورق البياني ؟
- **الواجب البيتي** :ارسم مخطط التوازن الحراري لسبيكة لسبيكة حديد كاربون بالورق البياني ؟
- **مدة المحاضرة:** ساعتين نظري وساعتين عملي

مخطط الاتزان الحراري حديد - كربون

تعتبر سبيكة حديد كربون من اهم السبائك المستخدمة بكثرة في الصناعات الهندسية ومن مميزاتها امكانية تغيير بنيتها البلورية وبالتالي تغيير صفاتها وخواصها وذلك بمعاملاتها حراريا (تسخينها وتبريدها).وتكون مكونات السبيكة الرئيسية هي الحديد والكربون .ويمكن رسم مخطط الحديد – كربون عن طريق رسم منحنيات التبريد لنسب مختلفة من الكربون وكما مبين بالشكل التالي



منحنيات التبريد لنسب مختلفة من سبيكة حديد - كاربون



δ = حديد كاما

γ =الاوستنايت

Fe_3C = السمنتايت

Fe_3C_I = السمنتايت الاولي

Fe_3C_{II} = السمنتايت الثانوي

$\gamma + Fe_3C$ (Le) = الليبديورايت

$\alpha + Fe_3C$ (P) = البيرلايت

α = الفيرلايت

ينقسم مخطط التوازن الحراري لسبيكة حديد كربون الى جزئين رئيسيين الجزء الاول وهو الذي يحتوي على نسبة كربون اقل من(2 %) و يسمى الفولاذ (Steel) والجزء الاخر الذي يحتوي على نسبة كربون اعلى من (2 %) ويسمى حديد الزهر (Cast Iron) وللجزئين اهمية كبيرة في الصناعة لما تمتاز به من خواص ميكانيكية جيدة ونلاحظ من المخطط وجود الاطوار التالية:-

١ - طور السائل (L) : و هو سائل مكون من الحديد و الكربون.

٢ - طور دلتا (δ)

هو الطور المستقر فوق درجة الحرارة 1392^0C ، بناؤه البلوري مكعبي مركزي الوجه (FCC) ونسبة ذوبان الكربون فيه أقل من نسبة ذوبانه في الحديد (γ) .

٣ - طور الاوستنايت (Austenite): γ

وهو محلول جامد بيني او تغلغلي من الكربون داخل الشبكة الفراغية (FCC) للاوستنايت ومن مميزاته انه طري وغير مغناطيسي يكون مستقرا بين درجتي الحرارة 910^oC و 1392^oC وبناؤه البلوري مكعبي مركزي الوجه (FCC). هذا الطور يمكن أن يذيب كميات أكبر من الكربون حيث أن خلايا هذا النظام تحتوي على فراغ في وسط الخلية يسمح بقبول ذرات الكربون،

٤ - طور السمنتايت (Cementite) : Fe_3C

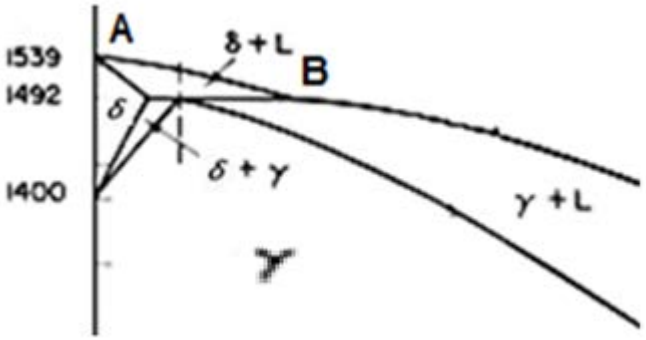
هو مركب كيميائي صيغته Fe_3C ويسمى في بعض الأحيان الكربيد. هو طور غني بالكربون. نسبة الكربون فيه تساوي 6.7%. هذه النسبة هي أقصى نسبة كربون يمكن إذابتها في الحديد. يتميز هذا الطور بصلادة وقصافة عاليتين.

٥ - طور الفريت (Ferrite): α

نرمز له بالحرف ألفا (α). هذا الطور هو المعتاد عند درجات الحرارة الأقل من 910^0C ، طري نسبياً وبناؤه البلوري مكعبي مركزي الجسم (BCC) وقابلية ذوبان الكربون في هذا الطور محدودة نظراً لأن ذرة الكربون أكبر من أن تذوب بالانتشار في الأماكن البينية وكذلك أصغر من أن تؤهل لشغل أماكن ذرات الحديد بالإبدال. أعلى نسبة للكربون يمكن إذابتها في الحديد تساوي 0.02% عند درجة الحرارة 723^0C.

وحسب التفاعلات يقسم المخطط الى التفاعلات التالية :-

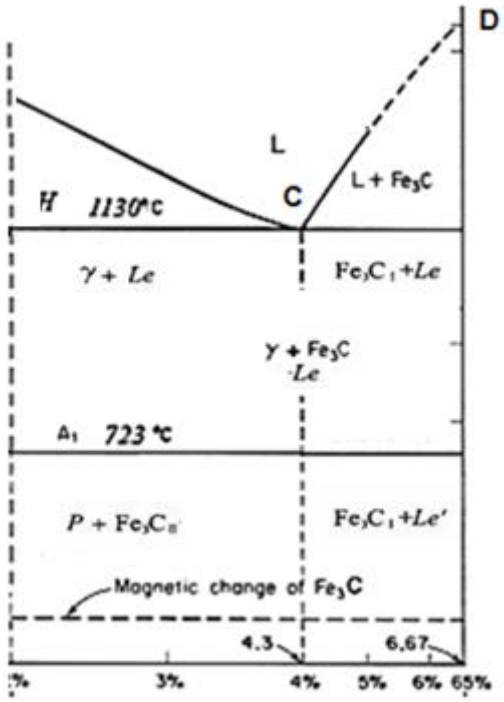
1- التفاعل البريتكتيكي Peritectic Reaction



وهو التفاعل الذي يحدث في درجة حرارة (1492) مئوي بين المحلول الجامد دلتا الذي يحتوي على نسبة كاربون (0.05 %) كاربون والسائل الذي يحتوي على (0.55 %) حيث يتكون محلول جامد اخر وهو الاوستنايت

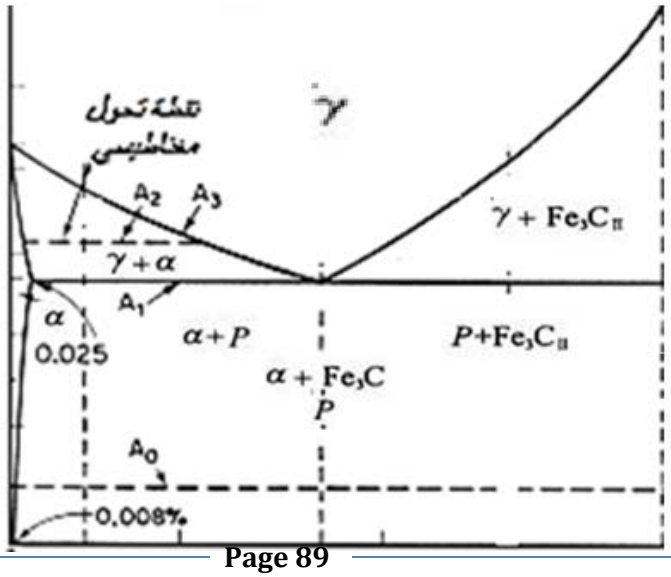
2- الجزء اليوتكتيكي Eutectic Portion

وهو التفاعل الذي يحدث عند درجة حرارة (1130) مئوي و بنسبة كاربون (4.3 %) ينجمد مكونا يوتكتك من الاوستنايت والسمنتايت.بالنسبة للسبائك قبل اليوتكتك بتركيز كاربون (3 %) يتكون من (50%)من المحلول الصلب الاوستنايت و (50%) من الليبديورايت اما سبائك بعد اليوتكتك فتتكون من الليبديورايت مع السمنتايت الاولي (هو السمنتايت الذي ينفصل من المصهور) .



3- الجزء اليوتكتويدي Eutectoid Portion

ان الاوستنايت الذي يحتوي على (0.83 %) كربون يتحول عند درجة حرارة (723) مئوي الى يوتكتويد يعرف بالبرلايت حيث يتكون هذا الخليط من انفصال دقائق كل من الفرايت والسمنتايت وهذا الجزء يسمى التفاعل اليوتكتويدي وبالنسبة للسبائك قبل اليوتكتويد فتتكون من الفيرلايت والبيرلايت اما السبائك بعد اليوتكتويد فتتكون من البيرلايت و السمنتايت الثانوي (وهو السمنتايت الذي ينفصل من الاوستنايت).



البنية الداخلية لسبيكة حديد كاربون

تكون حبيبات الفيرلايت فاتحة اللون تحت المجهر بينما تكون حبيبات البيرلايت داكنة اما السمنتايت فيشكل مساحات فاتحة اللون على طول حبيبات البيرلايت.وكما مبين بالشكل التالي :-

فيرلايت

نسبة الكاربون اقل من 0.008%

فيرلايت +بيرلايت

الكاربون اكبر من 0.008% واصغر من 0.83%

بيرلايت

نسبة الكاربون تساوي 0.83%

بيرلايت + سمنتايت

نسبة الكاربون اصغر من 2% واكبر من 0.83%

النشاط الطلابي:

- توزيع مخططات فارغة ومطالبة الطلبة بتحديد مواقع الأطوار ودرجات التحول.

الاسئلة

- ما اسم الطور الذي يوجد بين 727 °C و1390°C؟
- عند أي درجة حرارة يحدث التفاعل اليوتيكتويدي؟
- ما الفرق بين الفيرايت والأوستنايت من حيث البنية؟
- ما هي البنية الداخلية لسبيكة الحديد- كاربون وضحها مع الرسم؟
- ارسم التفاعل البريتكتيكي للفولاذ؟

الواجب البيتي

- اكتب تقريرا عن دور السمنتايت في خواص الفولاذ ؟
- اكتب تقرير عن اهمية الفرايت في الفولاذ؟

الاسبوع الرابع والخامس

الهدف التعليمي

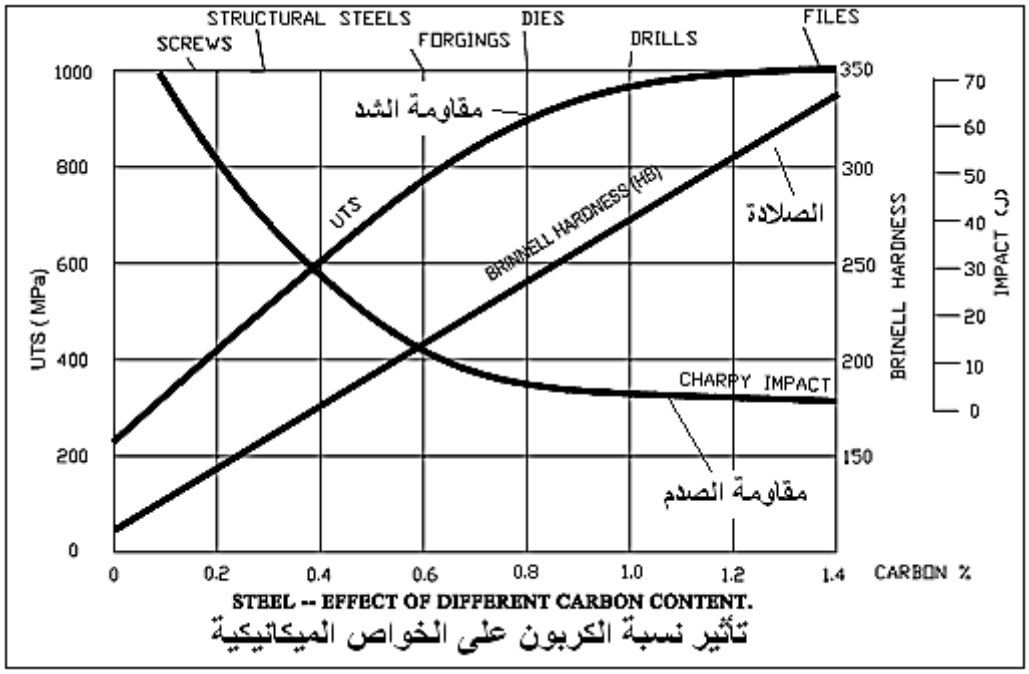
- **الموضوع النظري :** الفولاذ وانواعه واستخداماته ، والصلب السبائكي .
- **النشاط العملي** :تصنيف انواع الفولاذ واستخداماته على شكل جدول.
- **سؤال الأسبوع :**ما هي انواع واستخدامات الفولاذ؟
- **الواجب البيتي** :هات نوع من انواع الفولاذ المستخدم في السيارة وصنفه من اي نوع ؟
- **مدة المحاضرة:** ساعتين نظري وساعتين عملي

الصلب (الفولاذ) Steel

يمكن تقسيم الصلب بأنواعه إلى قسمين رئيسيين هما الصلب الكربوني والصلب السبائكى

1- الصلب الكربوني واستخداماته

الصلب الكربوني هو سبيكة من الحديد والكربون لاتتعدى نسبة الكربون فيها عمليا عن (1,7%) مع وجود بعض العناصر الأخرى مثل المنجنيز والسليكون والفسفور والكبريت والتى تعتبر كشوائب وحيث أن خواص الصلب الكربوني تتأثر كثيرا بنسبة الكربون الموجودة فيه مما يغير مجالات استخدامه وفقا لذلك (لاحظ شكل ادناه) فبالامكان تقسيم الصلب الكربوني إلى ما يلى:



أ – صلب منخفض الكربون:

وهو الصلب الذى لاتزيد نسبة الكربون فيه عن (0,25 %) ويتميز بمتانته وكونه سهل التشكيل والتشغيل ، أما استخداماته فهو يستخدم بتصنيع الصفائح ، الأسلاك ، الأسلاك الشائكة ،

المسامير ، البراغى التى تستخدم لربط الأجزاء الخشبية ، وكل الأجزاء التى تشكل على البارد والتي لا لا تحتاج إلى متانة عالية. وعلى الرغم من أن الصلب منخفض الكربون لايتمتع بصلادة عالية إلا أنه من الممكن زيادة صلادته السطحية بطرق التصليد السطحى مثل عملية الكربنـة.

ب – صلب متوسط الكربون :

وفيه تتراوح نسبة الكربون من (0,25 %) إلى (0,5 %) ويتميز بكونه ذو متانة عالية وقابلية للتصلد أكثر من الصلب المنخفض الكربون وذلك نتيجة لارتفاع نسبة الكربون فيه وبناء على ذلك فهو نسبيا يعتبر صعب التشكيل على البارد ، يستخدم الصلب متوسط الكربون فى تصنيع الأجزاء التى تتطلب متانة عالية نسبيا ، مثل الأعمدة والمحاور والتروس وغيرها من الأجزاء التى تتعرض لحمل أو اصطدام مفاجىء

ج – صلب عالى الكربون :

وهو الصلب الذى تكون نسبة الكربون فيه(0.55% - 1.5%) ويستخدم فى تصنيع المعدات التى تتطلب متانة عالية مثل النوابض والمطارق ومفاتيح الربط. أما العدد التى تتطلب صلادة عالية جدا مثل المناشير الحديدية فتصنع من صلب نسبة الكربون فيه (1.5 %) .

2- الصلب السبانكى

هو صلب كربوني يحتوي علي بعض العناصر التسابكية الأخرى مثل النيكل ، الموليبديوم ، الكروم ، الفناديوم ، التنجستن ، الكوبلت ، التتانيوم ويعتبر المنجنيز وكذلك السليكون من ضمن العناصر التسابكية إذا تعدت نسبتـــه عن (0,5 %). والغرض من اضافة هذه العناصر الي الصلب هو زيادة مقاومتة ومتانتة ومقاومته للصدمات والتآكل ومقاومتة عند درجات الحرارة العالية وان عناصر التسابك فى الصلب من المحتمل أن يكون لها أكثر من تأثير مما يلى:

1- تكون مع الحديد محلولا صلبـا.
2- تكون كاربيدات إلى جانب كاربيد الحديد (السمنتايت Fe_3C).
3- تكون مركبات وسطية مع الحديد مثل (FeCr) أو (Fe_3W_2).
4- تؤثر على مراحل التحول الحرجة.

تأثير عناصر السبك المختلفة فى الصلب

1- المنجنيـز:

ان الصلب التجارى يحوى على نسبة تتراوح (3.0 % -0. 8 %) من المنجنيز وذلك لتقليل الأكاسيد ، وكذلك ليعادل التأثير الضار لكبريتيد الحديد (FeS) حيث يكون مع الحديد يوتكتك سهل الانصهار اذ ينصهر عند درجة (985 م) ويؤدى ذلك إلى انكسار الصلب عند تسخينه تمهيدا لتشكيله على الساخن . أما اذا زادت نسبة المنجنيز عن ذلك فانه سوف يتحلل فى الحديد ليولد (Mn3C) بجانب السمنتايت (Fe3C) . ان المنجنيز يؤدى إلى التقليل من (Ar3) و(Ar1) فيزيد من استقرار الاوستنايت ويزيد قليلا من قابلية الصلب للتقسية .

2- الكبريـت :

لمنع تكون (FeS) المشار اليه أعلاه ، تضاف إلى الصلب نسبة مرتفعة من المنجنيز الذى يتحد مع الكبريت مكونا (MnS) ولايسمح فى أنواع الصلب المتداولة بزيادة نسبة الكبريت عن (0,05 %) وفى الأنواع الجيده منه عن (0.03 %) .

3- النيكـل :

ان سلوك النيكل مشابه لسلوك المنجنيز ، فالاثنان يخفضان من درجة حرارة التحول اليوتكتويدى ، فعلى سبيل المثال الصلب الحاوى على نسبة (12%) نيكل لايحدث فيه التحول اليوتكتويدى الا عند درجات حرارة أقل من (300 م) أثناء التبريد ، أما أثناء اعادة التسخين فان الأمر يختلف ، عند ذلك لايتم التحول المعاكس الا عند درجة حرارة (650 م).

4- الكـروم :

من الممكن أن يذوب فى حديد الفا (α) أو حديد جاما (¥) و بوجود الكربون فانه يولد كاربيد سمنتايت [$(FeCr_3)C$] وهو يضاف للصلب المقاوم للصدأ أو الأكسدة .

5- النيكل والكروم :

ان سبائك الصلب – نيكل تمتاز بمقاومة عالية للشد ومطولية ومتانة بينما سبائك الصلب – الكروم تتصف بكونها ذات صلادة عالية ومقاومة عالية للتآكل أما الجمع بين النيكل والكروم فى الصلب فيعطى صلبا سبائكيـا (صلب ، نيكل ، كروم) له كل هذه المميزات .

6- المولبيديوم :

من الممكن أن يذوب المولبيديوم فى حديد الفا (α) وحديد (Y) وبوجود الكربون فانه يولد كاربيدات معقدة ، مثل $[Fe_{21}Mo_2C_6]$ و $[Mo_2C]$

7- الفناديـوم :

الفناديوم يعمل على ازالة الأكاسيد ، وهو يولد كاربيد (V_4C_3) ويؤثر بصورة ايجابية على الخواص الميكانيكية للصلب المعالج حراريا وخاصة وجود عناصر سبك أخرى .

8- التنجستـن:

التنجستن يذوب فى حديد (α) وحديـد (Y) وبوجود الكربون فانه يولد كاربيدات (WC) ، (W_2O) وبوجود الحديد فانه يولد (Fe_3W_3C) او (Fe_4W_2C)

9- السليكـون:

السليكـون يذوب فى الفرايـت ويزيـد من صلادتـــه .

10- النحـــاس:

النحاس بذوب فى الفرايت ولكن قابليـة دوبانـــه محـــدودة .

11 - الكوبلـت :

له قابليـة ذوبان عاليه فى حديد (α) وحديـد (Y) ولكنه ضعيف فى ميله لتكوين الكاربيـدات .

النشاط الطلابي:

- جدول يصنف أنواع الفولاذ حسب الكربون، مع صور لاستخداماته.
- مناقشة: "ما النوع الأنسب لصناعة الهيكل الخارجي للسيارة؟ ولماذا؟"

الاسئلة

- الفرق بين الفولاذ منخفض وعالي الكربون؟
- لماذا لا يستخدم الفولاذ العالي الكربون في اللحام؟
- كيف تؤثر نسبة الكربون على الصلادة؟
- ما نوع الفولاذ الأنسب لصنع نوابض؟ ولماذا؟
- ما الفرق الأساسي بين الفولاذ والحديد الزهر؟

الواجب البيتي

- رسم جدول يقارن بين الأنواع الثلاثة للفولاذ (كربون – خواص – تطبيقات).
- اختر منتج معدني من حياتك اليومية، واذكر نوع الفولاذ المصنوع منه وسبب اختياره

الاسبوع السادس والسابع

الهدف التعليمي

- **الموضوع النظري :** انواع الصلب السبائكي واستخداماته .
- **النشاط العملي** :تصنيف انواع الفولاذ السبائكي واستخداماته على شكل جدول.
- **سؤال الأسبوع :**ما هي انواع واستخدامات الفولاذ السبائكي وانواعه؟
- **الواجب البيتي** :هات نوع من انواع الفولاذ السبائكي المستخدم في السيارة وصنفه من اي نوع ؟
- **مدة المحاضرة:** ساعتين نظري وساعتين عملي

أنواع الصلب السبائكى حسب مجالات استخدامها

1- صلب الانشاءات

وهناك بعض أنواع صلب الانشاءات الخاصة لتصنيع أجزاء معينة مثل :

أ- الصلب المستخدم فى تصنيع النوابض ويحوى عادة على (1.5%) كروم + (0.2 %) فناديوم أو (2%) سليكون + (1%) منجنيز والباقى حديد .

ب- صلب معامل تمدده الحرارى مرتفع أو منخفض حيث بعض الأجزاء المصنعة من الصلب تحتاج لمعامل حرارى مرتفع وذلك ليتوافق معاملها مع أجزاء أخرى مرتبطة بها مصنوعة من سبائك معامل تمددها مرتفع كما فى مسامير ربط رؤوس الاسطوانات المصنوعة من سبائك الألومنيوم المستخدمة فى محركات الطائرات مثال على هذا النوع هو الصلب الاوستنيتى الذى يحوى على (0.59 %) كربون ، (12 %) نيكل ، (5.1 %) منجنيز ، (3.4 %) كروم والباقى حديد وعلى عكس ذلك فقد تحتاج بعض الأجزاء المصنعة من الصلب إلى أن يكون معامل تمددها منخفضا جدا مثل أجهزة القياس .

ج- صلب كراسى المحاور وتركيبه (1%) كربون ، (0.5%) منجنيز ، (1.36%) كروم والباقى حديد .

د- الصلب المقاوم للزحف وان هذا النوع من الصلب يقاوم الزحف عند درجات حرارة تصل إلى (550 م) ولذلك فهو يستخدم فى تصنيع مواسير نقل البخار وهو يحتوى على (0.10% - 0.2%) كربون ، (0.5%) مولبيدنوم ، (0.25%) فناديوم والباقى حديد .

2- صلب العدد والقوالـب:

وينقسم إلى عدة أنواع منها :

أ- صلب عدد الانهاء السطحى: وتركيبه (0.3%) فناديوم ، (1.1-1.4%) كربون ، (4%) تنجستين (0.7- 1.5%) كروم والباقى حديد .

ب- صلب القوالب المستخدمة فى التشكيل البارد: وتركيبه (1%) كربون ، (1.0%) منجنيز ،

(0.3 – 1.6%) تنجستين ، (5%) كروم ،والباقى حديد.

ج- صلب القوالب المستخدمة فى التشكيل الساخن وتركيبه (0.3%) كربون ، (0.3%) منجنيز ، (10%) تنجستين ، (3%) كروم ، (0.3%) فناديوم ، (0.3%) مولبيدنوم والباقى حديد .

د- الصلب المستخدم فى مطارق الحدادة: وهناك أربعة أنواع منه تختلف حسب تركيبها :

هـ - صلب السرعات العالية: وهو الصلب المستخدم فى تصنيع عدد القطع التى تعمل بسرعات قطع عاليه ومن أهم عناصر التسابك المضاف فى صلب السرعات العالية عنصرا التنجستن والكروم حيث تكون نسبة التنجستن (14%) أو (18%) أما الكروم فتتراوح نسبته من (3-5%) ونسبة الكربون حوالى (0.6%) وهناك بعض الأنواع الحديثة من صلب السرعات العالية التى تدخل فى تركيبه عناصر تسابكية مولبيدنوم ، كوبلت وغيرها .

3- لصلب المغناطيسى:

وينقسم إلى نوعين

أ- صلب مغناطيسى مؤقت: ويحتوى على نسب معينة من المنجنيز والزنك بالاضافة للحديد والكربون .

ب- صلب مغناطيسى دائم: ويحتوى على نسب معينة من الكروم والتنجستين والكوبلت وغيرها بالاضافة للحديد والكربون .

4- الصلب الذى لايصدأ أو الصلب الذى يقاوم فعل درجات الحرارة المرتفعة

ان مقاومة الصدأ العالية التى يمتلكها الصلب الذى لايصدأ تعود بالدرجة الأولى إلى وجود الكروم فيه وهو يقسم بدوره إلى نوعين ، يمكن معالجة الأول حراريا ويدخل فى تركيبه الكروم فى الدرجة الأولى حيث تتراوح نسبته بين (12-14%) مع نسبة ضئيلة من الكربون تتراوح بين (0.1-0.4%) والنوع الثانى لايمكن معالجته حراريا .

النشاط الطلابي:

- جدول يصنف أنواع الفولاذ حسب السبائكي، مع صور لاستخداماته.
- مناقشة: "ما النوع الأنسب لصناعة المغانط وانواعها؟ ولماذا؟"

الاسئلة

- الفرق بين الفولاذ الانشاءات والفولاذ اللامصدأ؟
- ما هي استخدامات فولاذ العدة؟ ما هي انواعه؟
- ما نوع الفولاذ الأنسب قوالب التشكيل على البارد والساخن؟

الواجب البيتي

- ختر أحد أنواع الفولاذ السبائكي وقدم تقريرًا قصيرًا يشرح:
- التركيب الكيميائي،
- أهم الخواص،
- المجالات الصناعية التي يستخدم فيها.

الاسبوع الثامن

الهدف التعليمي

- **الموضوع النظري :** حديد الزهر وانواعه .
- **النشاط العملي** :تصنيف انواع حديد الزهر واستخداماته على شكل جدول.
- **سؤال الأسبوع :**ما الفرق بين حديد الزهر الابيض والرمادي؟
- **الواجب البيتي** :هات نوع من انواع حديد الزهر المستخدم في الماكنة وصنفه من اي نوع ؟
- **مدة المحاضرة:** ساعتين نظري وساعتين عملي

حديد الزهر وأهميته

تسمى سبائك الحديد والكربون التى تحتوى على نسبة كربون تزيد عن (2%) بالحديد الزهر، وهذا هو وجه الاختلاف الأساسى بين الصلب والحديد الزهر . اذ يعتبر الحديد الزهر العادى سبيكة معقدة تحتوى على نسب قد تصل إلى 10% من عناصر الكربون والسليكون والمنجنيز والكبريت والفسفور.و يوجد الكربون فيه على شكلين هما

1- على شكل سمنتايت (كاربون متحد)
2- كرافيت (كاربون حر او منفصل) حيث ينفصل من السمنتايت كما في المعادلة التالية

$$Fe_3C = Fe + C$$

سمنتايت فيرلايت كرافيت

تنقسم أنواع الحديد الزهر الى أربعة أنواع رئيسية حسب شكل وجود الكربون :

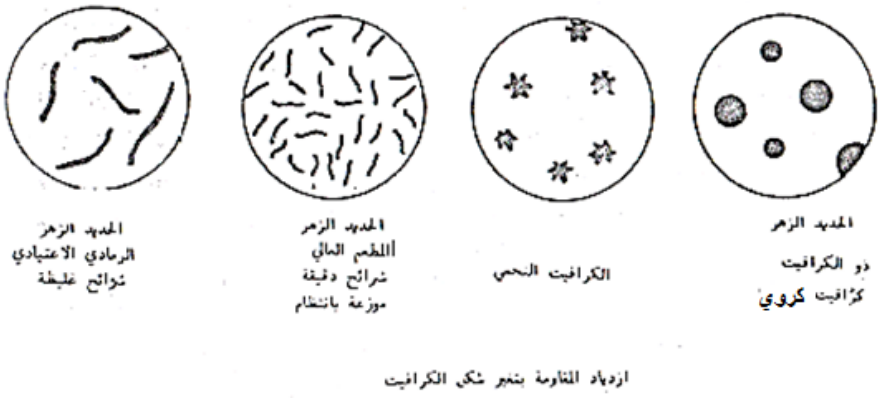
1- الحديد الزهر الأبيض

ويتم إنتاجه بالتبريد السريع الذى يؤدى الى الى استقرارية السمنتايت وبالتالي يكون الكاربون فية متحد بشكل سمنتايت ويتصف بالصلادة العالية ويعتبر مادة قصيفة منخفضة المتانة وعند فحص سطح الكسر يظهر سطح الكسر باللون الأبيض اللامع نظراً لعدم وجود جرافيت بالبنية المجهرية ولذلك يسمى الحديد الزهر الأبيض وهو غير شائع فى التطبيقات الهندسية المختلفة نتيجة للقصافة المرتفعة وإنخفاض القابلية للتشغيل بالقطع على ماكينات التشغيل المختلفة كالخراطة والتفريز والثقب والمحاريث الزراعية والدرافيل المصلدة والكرات والقوالب والصفائح المقاومة للبلى .

2- الحديد الزهر الرمادى

ويتم إنتاجه بإضافة عنصر السليكون للتركيب الكيميائى والتحكم فى معدلات التبريد الأمر الذى يؤدى الى إنفصال الكربون نتيجة تفكك كربيد الحديد (السمنتايت) ويظهر الكربون المنفصل فى صورة قشور جرافيتية فى البنية المجهرية للحديد الزهر وعند تعرضه للكسر فإن فحص أسطح الكسر تظهر باللون الرمادى نظرا لوجود الجرافيت المنفصل فى البنية المجهرية ولذلك يسمى الحديد الزهر الرمادى ويعتبر من أكثر أنواع الزهر شيوعا فى التطبيقات الهندسية المختلفة نظراً لخواصه الميكانيكية المتميزة وتكلفة إنتاجه المنخفضة وقابليته للتشغيل جيدة يستعمل في قوالب الصبات

واسطوانات المكابس وانابيب الماء الرئيسية وسائل النقل ومصبوبات المكائن. ويمكن تغيير شكل الكرافيت الغليظ في حديد الزهر الرمادي وذلك لزيادة مقاومته الى الاشكال التالية



ازدياد المقاومة بتغير شكل الكرافيت

3- الحديد الزهر المرن (ذو الجرافيت المتكور)

ويتم إنتاجه بإضافة نسبة ضئيلة من عنصر الماغنسيوم للتركيب الكيميائى للحديد الزهر الرمادى قبل الصب والتحكم فى معدلات التبريد الأمر الذى يؤدى الى تكور القشور الجرافيتية او كرات صغيرة اثناء عملية التبلور وينتج عن ذلك إرتفاع فى نسبة الممطولية والمرونة ، ويستخدم فى العديد من التطبيقات الهندسية مثل العدد اليدوية والاعمدة المرفقية والادوات الزراعية وانابيب المياه والغاز والمكائن الثقيلة .

4- الحديد الزهر القابل للطرق

ويتم إنتاجه بالمعالجة الحرارية للحديد الزهر الأبيض بالتسخين فى أفران خاصة لمدة زمنية طويلة بغرض تفكيك كربيد الحديد (السمنتايت) وترسيب تجمعات من الجرافيت فى البنية المجهرية بهدف تحسين الخواص الميكانيكية ويستخدم فى العديد من التطبيقات الهندسية الخاصة مثل عجلات اللوريات وحلقات النوابظ الورقية وطبلات المكابح وتوصيلات الانابيب وادوات السمكرة .

وتعود كثرة الاستخدامات الصناعية لحديد الزهر الرمادى لعدة أسباب منها :

- رخص ثمنه وسهولة تشغيلـه .
- درجة حرارة انصهاره المنخفضة والتى تتراوح بين (1140-1200)م.
- سيولته العالية مما يسهل انتاج مسبوكات معقدة الشكل منه.
- مقاومتــه للبلى .
- قدرته العالية لامتصاص الصدمات .
- بعض أنواعه (ذات التركيب الكيماوى المناسب) تتمتع بمتانة شد جيدة

النشاط الطلابي:

- رسم البنية المجهرية لكل نوع (رقائق، كرات، شبكية).
- تصنيف تطبيقات صناعية واقعية بحسب نوع الحديد الزهر المستخدم.

الاسئلة

- لماذا يكون الحديد الرمادي هشًا رغم سهولة تشغيله؟
- ما الفرق بين الحديد الأبيض والرمادي من حيث البنية والخواص؟
- لماذا يُفضل الحديد المرن في أنابيب الضغط؟
لانه يمكنه التمدد دون ان ينكسر بسبب الكرافيت الكروي وتحمله للاهتزازات
- كيف يتم الحصول على الحديد القابل للطرق؟
- ما التطبيقات التي تناسب الحديد الزهر الأبيض؟
- ما هي اسباب كثرة استخدام حديد الزهر الرمادي؟

الواجب البيتي

- أنشئ جدول يقارن بين الأنواع الأربعة لحديد الزهر من حيث:
- الشكل المجهري للكربون
- الخواص الميكانيكية
- الاستخدامات
- اكتب فقرة قصيرة تشرح فيها لماذا لا يُستخدم الحديد الزهر لصناعة نوابض أو أجزاء تتحمل صدمات شديدة.

النوع	شكل الكربون	الخواص المميزة	الاستخدامات
الرمادي (Gray) ينتج بإضافة السيليكون	رقائق جرافيت **كاربون منفصل (كرافيت)**	يمتص الاهتزاز – سهل التشغيل – هش	قواعد المكائن، الكتل المعدنية
الأبيض (White) ينتج بالتبريد السريع	كربيد حديد (سمنتيت) **كاربون متحد**	صلب جدًا – مقاوم للتآكل – هش جدًا	بطانات الطحن، التآكل العالي
المرن (Ductile) ينتج بإضافة المغنيسيوم	كرات جرافيت كروية **كاربون منفصل**	متين – مطيلي – مقاوم للصدمات	أنابيب الضغط، مكونات السيارات
القابل للطرق(Malleable) ينتج بالمعاملة الحرارية لحديد الزهر الابيض	جرافيت تكتلي (بعد معاملة حرارية)	مرن نسبيًا – أفضل من الأبيض	التروس، القطع الصغيرة المعقدة

الاسبوع التاسع

الهدف التعليمي

- **الموضوع النظري :** حديد الزهرالسبائكي وانواعه .
- **النشاط العملي** :تصنيف انواع حديد الزهرالسبائكي واستخداماته على شكل جدول.
- **سؤال الأسبوع :**ما هي انواع واستخدامات حديد الزهرالسبائكي؟
- **الواجب البيتي** :هات نوع من انواع حديد الزهرالسبائكي المستخدم في الماكنة وصنفه من اي نوع ؟
- **مدة المحاضرة:** ساعتين نظري وساعتين عملي

حديد الزهر السبائكي

اهم العناصر السبائكية التي تدخل في تركيب حديد الزهر هي النيكل والكروم والنحاس والمولبدينيوم ولها تاثير كبير على البنية المجهرية بهدف تحسين خواصه مثل:

- مقاومة الحرارة
- مقاومة التآكل
- مقاومة التآكل الكيمياوي
- القوة تحت الضغط أو الشد

لعناصر السبيكية وتأثيرها:

العنصر	التأثير على الخواص
الكروم (Cr)	زيادة مقاومة التآكل والأكسدة، يقاوم التآكل في درجات الحرارة العالية.
النيكل (Ni)	تحسين المطيلية والمتانة، خاصة في درجات الحرارة المنخفضة.
الموليبدنوم (Mo)	مقاومة الزحف وارتفاع الصلادة في درجات الحرارة العالية.
النحاس (Cu)	زيادة مقاومة التآكل والرطوبة.
السيليكون (Si)	تحسين القدرة على الصب ومقاومة الأكسدة.

أنواع حديد الزهر السبائكي حسب الاستخدام:

- مقاوم للتآكل: يُستخدم في البطانات، المضخات، صناديق التروس.
- مقاوم للحرارة: للأفران، العوادم، قطع محركات الديزل.
- مقاوم للأحماض: للأنابيب الناقلة للسوائل الكيميائية.

وحسب البنية تصف كما يلي

1- حديد الزهر البيرلايتي :- وهو اكثر انواع حديد الزهر النيكلي استعمالا حيث يحتوي على (2%) نيكل ويستعمل في المسبوكات الثقيلة ذات المقاطع المختلفة .
2- حديد الزهر المارتنزايتي :- وهو حديد صلد ذا مقاومة عالية للبلى
3- حديد الزهر الاوستنايتي :- يكون هذا النوع غير مغناطيسي وله مقاومة جيدة للحرارة والتاكل وله معامل تمدد حراري وكهربائي جيدتان.

مقارنة بين الحديد الزهر العادي والسبائكي:

الخاصية	حديد الزهر العادي	حديد الزهر السبائكي
مقاومة التآكل	منخفضة	مرتفعة جدًا
مقاومة الحرارة	محدودة	ممتازة
التكلفة	منخفضة	أعلى نسبيًا
الاستخدامات	عامة	متخصصة (بيئات قاسية)

النشاط الطلابي:

- كل مجموعة تختار عنصرًا سبيكيًا وتشرح كيف يؤثر على خواص الحديد الزهر.
- دراسة تطبيق عملي: اختيار نوع مناسب من الحديد الزهر السبائكي لمضخة ماء ساخن + تبرير الاختيار.

الاسئلة

- ما الفرق بين الحديد الزهر العادي والسبائكي؟
- كيف يؤثر الكروم على مقاومة التآكل؟
- ما سبب إضافة الموليبدنوم في قطع الأفران؟
- هل يمكن أن يكون الحديد المرن سبائكًيا؟ أعطِ مثالًا.

الواجب البيتي

- اختر تطبيقًا صناعيًا معينًا (مثل: مضخة، أنبوب، فرن) وحدد نوع حديد الزهر السبائكي المناسب له وسبب الاختيار.
- ارسم جدولًا يقارن بين أربعة عناصر سبيكية وتأثير كل منها على الخواص الميكانيكية.

الاسبوع الاسبوع العاشر

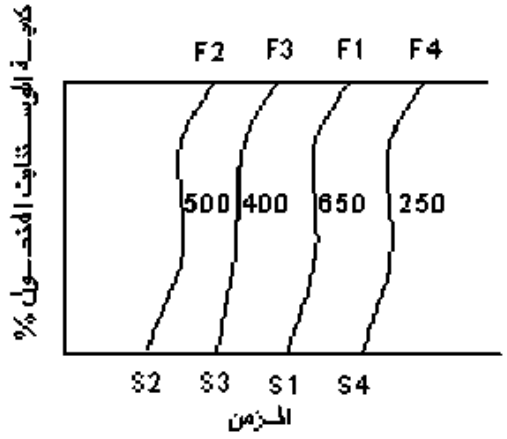
الهدف التعليمي

- **الموضوع النظري :** فهم مفهوم التحول الأوستنايتي وأهميته في المعالجات الحرارية. التعرف على الأطوار الناتجة عن تبريد الأوستنايت.
- دراسة تأثير سرعة التبريد على نوع البنية والخواص الميكانيكية.
- **النشاط العملي** :تسخن عينات صغيرة من الصلب إلى درجة حرارة واحدة أعلى من (723م).
- **سؤال الأسبوع :**كيف يحدث التحول الاوستنايتي؟
- **الواجب البيتي** :اعمل جدول يبين كمية تحول الاوستنايت مع الزمن ؟
- **مدة المحاضرة:** ساعتين نظري وساعتين عملي

تحول الأوستنايت عند درجات الحرارة الثابتة (التحول الايزوثرمي):

لدراسة التحولات التي تحدث للاوستنايت عند درجة حرارة ثابتة تسخن عينات صغيرة من الصلب إلى درجة حرارة واحدة أعلى من (723م) لتصبح بنيتها الداخلية من الاوستنايت المستقر ثم تبرد العينات بسرعة إلى درجات حرارة معينة مثل (650، 500 ،400 ، 250 م).

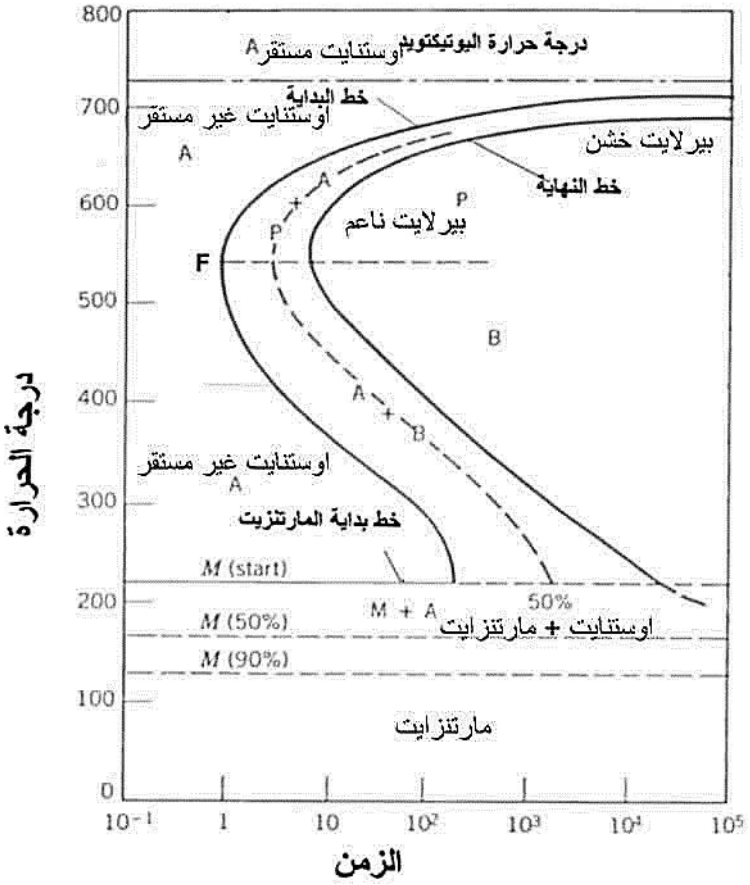
- فالعينة الاولى ستبقى في الحوض الملحي مدة خمس ثواني في درجة (650 م) ثم تخرج و تبرد فجائيا في محلول ملحي مثلج او ماء فلا نلاحظ في العينة الاولى أي اثر للبيرلايت وهذا يدل على ان الاوستنايت لم يبدأ بعد بالتحول الى بيرلايت في درجة 650 م
- ثم تؤخذ عينة ثانية بعد ست ثواني من الحوض الملحي وتبرد فجائيا ايضا في المحلول الثلجي فسيظهر فيها اثر ضئيل جدا من البيرلايت (1%) و الباقي عبارة عن (99%) مارتنسايت وهذا يعني ان الاوستنايت سيبدأ بالتحول الى بيرلايت .
- وتؤخذ العينة الثالثة بعد عشر ثواني وتبرد فجائيا ايضا وهكذا حيث ترسم العلاقة بين كمية الاوستنايت المتحول والزمن كما فى شكل ادناه



العلاقة بين كمية الوستنايت المتحول والزمن

من الشكل نلاحظ أنه فى كل درجة حرارة هناك فترة أولية لايبدأ أو لا يحدث فيها تحول الاوستنايت قبل مرورها (S_1, S_2, S_3, S_4) وتسمى هذه الفترة بفترة التريث أو الحضانة ، كما ونلاحظ أنه بعد قضاء التريث يبدأ الاوستنايت بالتفكك ويتزايد معدل تفككه مع مرور الزمن ثم يبدأ المعدل بالنقصان تدريجيا وبعد مرور فترة زمنية محددة (F_1, F_2, F_3, F_4) تكتمل عملية التفكك أو تتوقف .

ولكي نرسم منحنى Time Temperature Transformation (T.T.T)فإننا ننقل أطوال الفترات الزمنية لبداية التحول (S_1, S_2, S_3, S_4) ونهاية التحول (F_1, F_2, F_3, F_4)على الاحداثى السينى مقابل درجات الحرارة على الاحداثى الصادى شكل ادناه.



منحني .T.T.T لصلب يوتكتويدي

ثم نوصل بين نقاط بداية التحول مع بعضها البعض ونقاط نهاية التحول مع بعضها البعض ليكون لدينا الشكل اعلاه ومن هذا الشكل نلاحظ ما يلى :

1- المنحنى الأول يمثل بداية تحول الاوستنايت .

2- المنحنى الثانى يمثل نهاية تحول الاوستنايت .

3- المسافة بين هذين المنحنيين عند أى درجة حرارة تمثل الزمن اللازم لاتمام عمليـــة تحول الاوستنايت إلى بيرلايت
4- المنطقة الواقعة على يسار المنحنى الأول تمثل طول فترة التريث عند كل درجة حرارة.

5- طول فترة التريث وفترة التحول تمثل مدى استقرارية الاوستنايت فكلما طالت هذه الفترة دل هذا على أن الاستنايت أكثر استقرارا.

النشاط الطلابي:

- تحليل مسار التبريد لسبيكة فولاذية من C°850 باستخدام مخطط TTT.
- رسم مخطط يوضح مناطق تكون البيرليت، البينايت، المارتنسيت.

الاسئلة

- ما هو الطور الأوستنايتي؟ ولماذا هو مهم في المعالجة الحرارية؟
- ما الفرق بين البيرليت والمارتنسيت في الخواص؟
- ما تأثير سرعة التبريد على البنية المجهرية للفولاذ؟
- كيف نتحكم في نوع الطور الناتج عن الأوستنايت؟
- ما الطور الأكثر هشاشة؟ ولماذا؟

الواجب البيتي

- رسم مخطط TTT مبسّط يوضح مناطق التحول المختلفة.
- اختر إحدى البنيات الناتجة من الأوستنايت (بيرليت، مارتنسيت...)، واذكر:
- كيفية الحصول عليها،
- أهم خواصها،
- تطبيق صناعي تستخدم فيه.

الاسبوع الحادي والثاني عشر

الهدف التعليمي

- **الموضوع النظري :** تعريف الطالب بالمعاملات الحرارية للفولاذ.
- **النشاط العملي** :تسخن عينات صغيرة من الصلب ثم تبريدها باوساط مختلفة
- **سؤال الأسبوع :**ما هي انواع المعاملات الحرارية؟
- **الواجب البيتي** :ما الفرق بين التقسية والمعادلة ؟
- **مدة المحاضرة:** ساعتين نظري وساعتين عملي

المعاملات الحرارية Heat Treatment

المعالجة الحرارية هي عملية او عدة تعمليات تشمل على تسخين المعدن إلى درجة حرارة معينة لفترة زمنية محددة ثم يبرد بمعدلات تبريد مختلفة وذلك للحصول على خواص ميكانيكية جيدة للمعادن. مثل مقاومة الشد القصوى والمتانة والمطيلية بالإضافة إلى تحسين الصلادة ، وفيما يلي أهم الأنواع المتداولة للمعالجات الحرارية :

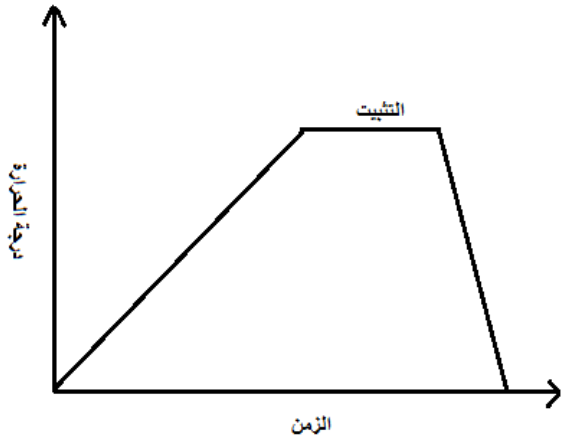
1- التلدين Annealing
2- المعادلة Normalizing
3- التقسية (التصليد) Harding
4- المراجعة Tempering

العوامل المؤثرة على المعاملات الحرارية

- رجة حرارة التسخين.
- زمن التثبيت.
- وسط التبريد (هواء، زيت، ماء... .)

1- التلدين (التخمير) Annealing

وتشمل هذه العملية على تسخين الصلب إلى درجة حرارة معينة ثم التثبيت عند هذه الدرجة لفترة زمنية محدودة ثم تبريده ببطء (داخل الفرن) بهدف تطريته أو تليينه .



ولكن هناك أهداف أخرى تتحقق مع التطرية أو التليين أهمها:

1- إزالة الاجهادات الناتجة من عمليات تشكيل سابقة سواء كانت قد أجريت بشكل ساخن مثل الحدادة أو بشكل بارد مثل السحب.
2- زيادة المطيلية أو المتانة أو المحافظة عليها .
3- التغلب على عدم التجانس فى البنية الداخلية أو للحصول على حبيبات صغيرة وتحسين خواص التشغيل

انواع التلدين (التخمير)

1- التلدين لغرض التشكيل :- وهو تلدين يتم بدرجة حرارة ما بين (550-650) مئوي وهي اقل من درجة الحرارة الحرجة السفلى للصلب الكاربوني الواطئ والمشكل على البارد لغرض ازالة الجهود الداخلية ويستخدم على الاسلاك والصفائح وهو احد الامثلة التي يحصل بها اعادة التبلور.
2- التلدين الشامل :- وهو تلدين يجري بدرجة حرارة (30-50) اعلى من درجة الحرارة الحرجة العليا ويستخدم هذا النوع على المسبوكات الكبيرة والمشكلة على الساخن للحصول على حبيبات ناعمة ذات مطيلية عالية وقابلية التشغيل عالية .
3- التلدين بالتكوير :- وهو تلدين يستخدم للصلب العالي الكاربون بتسخينه الى درجة حرارة (650-700) مئوي وهي اقل من درجة الحرارة الحرجة السفلى حيث يبدأ السمنتايت بالتكور في ارضية من الفرايت فيكون قابل للسحب على البارد وقابلية تشكيل عالية .

ملاحظات

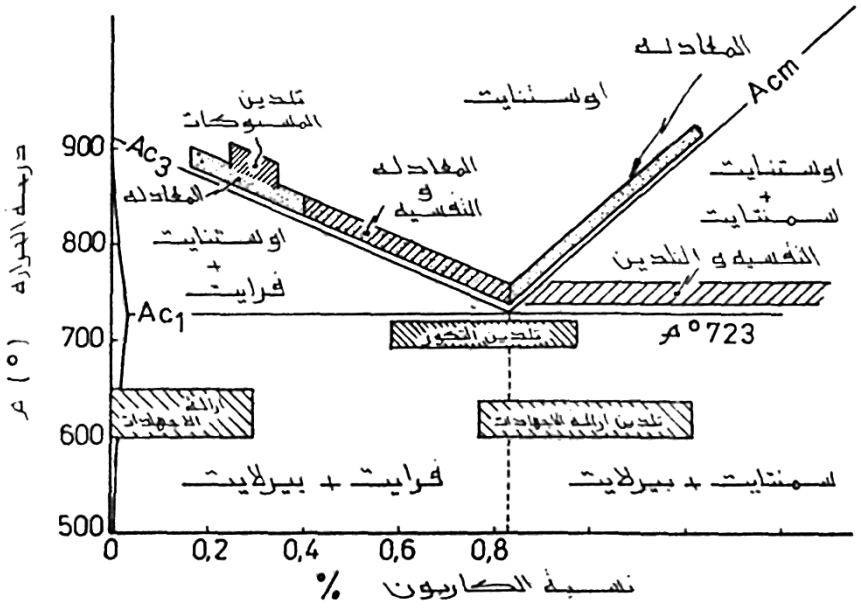
AC_1= ونعني بها درجة الحرارة الحرجة الدنيا وهي درجة تحول البيرلايت الى اوستنايت .

AC_2= تعني درجة الحرارة الحرجة التي يفقد عندها الفولاذ الخواص المغناطيسية .

AC_3= درجة الحرارة الحرجة العليا التي ينتهي عندها تحول الفيرايت الى الأوستنايت .

AC_m = درجة حرارة انتهاء ذوبان السمنتايت الثانوي في الأوستنايت .

AC_4= درجة الحرارة الحرجة التي عندها يتحول الأوستنايت الى حديد دلتا ويرمز الحرف



2- المعادلـة Normalizing

إن عملية معادلة الصلب تشبه عملية تلدينه من حيث درجة حرارة التسخين اذ يتم تسخين الصلب المراد معادلته إلى درجة حرارة أعلى من (Ac_3) (للصلب قبل اليوتكتويدى) و (Acm) (للصلب بعد اليوتكتويدى) بمقـدار (40-50) درجة مئوية لفترة زمنية محددة ثم يجرى تبريدها بواسطة الهواء وعلى هذا فان معدل التبريد في عملية المعادلة أسرع منه في عملية التلدين مما يجعل اليوتكتويد (خليط الفرايت والسمنتايت) أكثر دقة واصغر حجم للحبيبات مما يؤدي الى زيادة في متانة الشد القصوى للصلب والصلادة. والغرض من اجراء عملية المعادلة للصلب يمكن تحديدها بما يلى :

ا- التقليل من حجم الحبيبات الكبيرة .

ب- زيادة مقاومة الشد القصوى .

ج- تحسين قابلية الصلب للتشغيل .

د- التخلص من شبكة المنتايت المحيطة بالبيرلايت في الصلب فوق اليوتكتويدى .

هـ - تقليل الاجهادات الداخليـة .

3- التقسيـة (التصليد) Harding

تعتبر عملية التقسية احدى أنواع المعالجة الحرارية الغرض الأساسي منها زيادة صلادة المعدن ومقاومته للبليان بالاحتكاك وتتم بتسخين الصلب إلى درجة حرارة أعلى من درجة حرارة التحولات الطورية له. ويثبت الصلب عند هذه الدرجة لفترة زمنية معينه وتبريده بعدها بسرعة في أوساط تبريد مختلفة مثل (الماء، الزيت، الهواء، أو محلول ملحي ... الخ) حسب اختلاف معدل التبريد المطلوب. ان درجة حرارة التسخين للصلب المراد تقسيته تتوقف على نوعه فمثلا تكون درجة حرارة التقسية (30-50م) فوق (Ac_3) بالنسبة للصلب تحت اليوتكتويدى. بينما تكون (30-50م) فوق (Ac1) بالنسبة للصلب فوق اليوتكتويدى. أن معدل التبريد فى عملية التقسية يجب أن يكون سريعا نسبيا ولو أن هذا لا يمنع من تحول الاوستنايت إلى خليط من الفرايت والسمنتايت أو إلى مارتنزايت لذا فان الصلب الكربوني لو برد فجائيا من مجال الاوستنايت فلا يمكن الاحتفاظ بالاوستنايت حتى درجة حرارة الغرفة بل لابد وأن يتحول إلى أصناف أخرى قد تكون خليطا من الفرايت والسمنتايت (البيرلايت . السوربايت . التروستايت . البايناية) وهذا يعتمد على معدل التبريد.

4- المراجعـة Tempering

. ان عملية المراجعة هي عملية تتبع عملية التقسية لغرض التخلص من الاجهادات الداخلية والتخلص من القصافة العالية . عن طريق إعادة تسخين الصلب المقسى إلى درجة حرارة أقل من (Ac1) وتثبيته عند تلك الدرجة لفترة زمنية مناسبة ، وهذا ما يسمى بالمراجعة إن الصلب المقسى يحتوي في تركيبه على ماتنزايت وأوستنايت متخلف. إذ أن معدل التبريد السريع أثناء عملية التقسية يؤدى إلى وجود مناطق من الأوستنايت لا تجد الفرصة للتحول إلى مارتنزايت. فيبقى الاوستنايت بها دون تحول ويسمى بالأوستنايت المتخلف. إن عملية المراجعة تعطى الفرصة للأوستنايت المتخلف أن يتحول إلى مارتنزايت .

النشاط الطلابي:

- تمثيل كل عملية معالجة حرارية برسومات توضيحية.
- تحديد العملية المناسبة لتحسين صلادة عمود تدوير أو تليين زنبرك.

الاسئلة

- ما الفرق بين التقسية والتخمير؟
- لماذا تُجرى المراجعة بعد التقسية؟
- أي العمليات تؤدي إلى أكبر صلادة؟
- ما تأثير وسط التبريد على النتائج؟

الواجب البيتي:

- ارسم جدولًا يلخص العمليات الأربع (درجة الحرارة – زمن التثبيت – نوع التبريد – النتيجة).
- اختر منتجًا هندسيًا (سكين، زنبرك، تروس...) وحدد المعالجة الحرارية الأنسب له مع التبرير.

الاسبوع الثالث والرابع عشر

الهدف التعليمي

- **الموضوع النظري : تعريف الطالب على** التصليد السطحي وانواعه .
- **النشاط العملي** :حضر عينات صغيرة من الصلب واعمل لها تصليد سطحي.
- **سؤال الأسبوع** :كيف يحدث التصليد السطحي وما هي انواعه؟
- **الواجب البيتي** :ما الفرق بين التصليد السطحي باللهب وبالتيارات الدوامة ؟
- **مدة المحاضرة:** ساعتين نظري وساعتين عملي

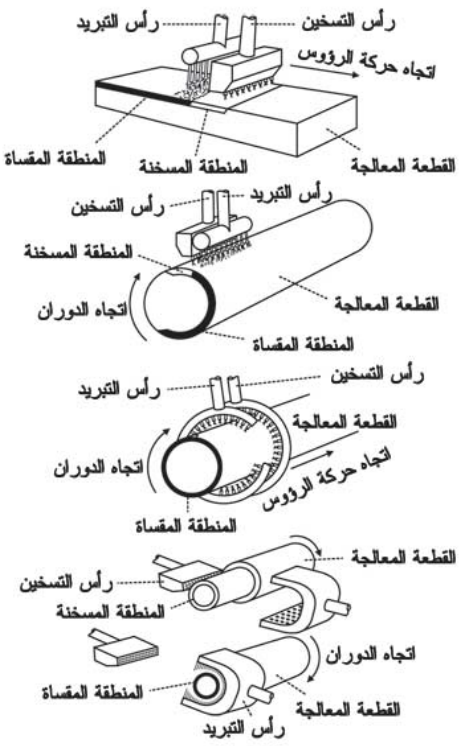
التصليد السطحي للصلب :

تتم في هذه العملية زيادة الصلادة السطحية للصلب مما يزيد من مقاومته لبلى نتيجة للاحتكاك في الوقت الذي يبقى فيه القلب محتفظا بمقاومته للصدمات . فمن المعروف أن الصلادة تتناسب عكسيا مع مقاومة المادة للصدمات ، ولكن هناك بعض الأجزاء في الماكينات وخاصة التي تنقل الحركة تتعرض إلى مختلف الاجهادات وإلى البلى نتيجة للاحتكاك مما يتطلب منها أن تتحمل الصدمات في الوقت الذي تتمتع به بصلادة سطحية عالية وهنا تظهر ضرورة إجراء عملية التصليد السطحي لمثل هذه الأجزاء. وهناك طرق مختلفة للتصليد السطحي أهمها :

1- التصليد السطحي باللهب .
2- التصليد السطحي بتأثير التيارات الحثية .
3- الكربنــة السطحيـة .
4- النتردة السطحيـــة .
5- السيندة

1- التصليد السطحي باللهب :

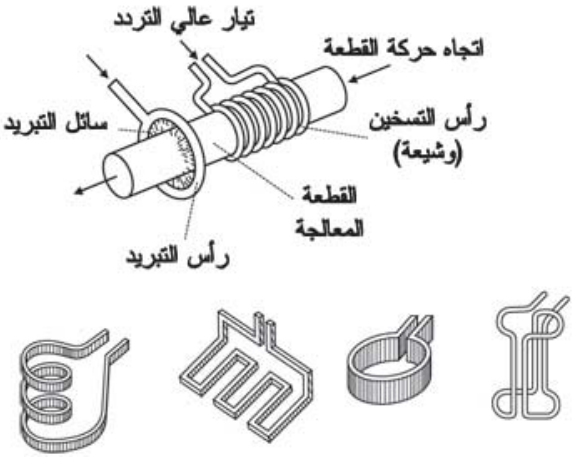
يستعمل عادة لهب الأوكسى استيلين لتسخين سطح المنتج بسرعة قبل أن ترتفع درجة حرارة القلب ، ثم العينة بالتبريد السريع وفى وسط تبريد معين . وتلحق عادة عملية التصليد السطحي هذه بعملية مراجعة لإزالة الاجهادات الحرارية المتكونة .ومن سلبيات هذه الطريقة هي عدم إمكانية ضبط عمق التقسية ، واحتمال حدوث إفراط في التسخين وهى على العموم طريقة مناسبة للصلب المتوسط الكربون ، ويبين شكل اناه عملية التصليد السطحى باللهب.



2 - التصليد بتأثير التيارات الحثية :

في هذه الطريقة يتم تسخين سطح المشغول بواسطة الحث الكهربائي حيث يثبت المنتج داخل ملف نحاسي يمر خلاله التيار. إن هذه الطريقة تعطى معدل تسخين عالي للطبقات السطحية . ولو أن مقدار التسخين يعتمد على عدد الذبذبات وعلى زمن التسخين .

وتتبع عملية التسخين هذه عملية تبريد سريع في وسط مناسب لتتم التقسية السطحية للمنتج ، ومن ثم تجرى عملية مراجعة كما هو الحال في التقسية باللهب كما يبين الشكل ادناه.



3 - الكربنـة السطحيـة :

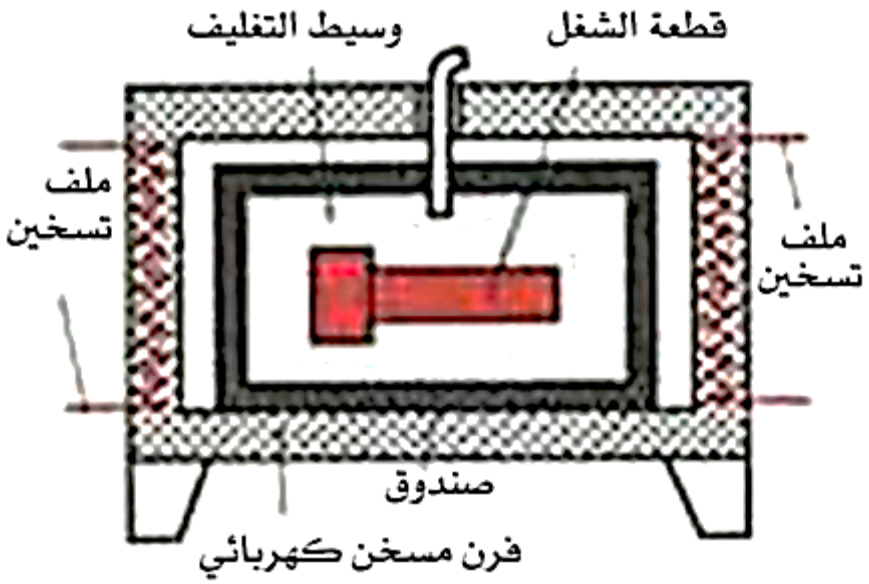
تعرف عملية الكربنة بأنها عملية تشبيع سطح الصلب بالكربون بهدف رفع نسبة (الكربون) على السطح لزيادة صلادته دون القلب . وتجرى عادة للصلب المنخفض الكربوني . ويتراوح عمق الطبقة المكربنة بين (0.5-2) ملم معتمدا على درجة الحرارة وزمن الكربنة. وتحتوى الطبقة المكربنة على التركيز اليوتكتويدى (0.8%) من الكربون أو أكثر . تتلخص عملية الكربنة بتسخين الصلب إلى درجة حرارة تعلو (Ac3) حيث تصبح البنية الداخلية للصلب من الأوستنايت مما يسهل ويزيد من سرعة انتشار ذرات الكربون في الصلب المراد كربنته وذلك لأن قابلية ذوبان الكربون فى الاوستنايت أعلى منها في حديد الفا (□) ثم يترك لفترة زمنية مناسبة ويبرد في وسط مناسب لتتم عملية التقسية . إن ارتفاع درجة حرارة الكربنة وزيادة أرض الكربنة يؤديان إلى زيادة عمق الطبقة المكربنة لأن هذا يساعد على انتشار الكربون .ومن الجدير بالذكر أن عناصر السبك والشوائب الموجودة في الصلب تؤثر على سير عملية الكربنة ، والعناصر المكونة للكاربيدات مثل (التيتانيوم ، الكروم ، التنجستون ، الفناديوم) تشجع عملية الكربنة بينما تعيق العناصر الأخرى غير المكونة للكاربيدات مثل (السليكون ، النيكل ، الألمنيوم ، الكوبلت ، النحاس ، الفسفور) عملية الكربنة .

أوساط الكربنـة :

من الممكن أن تجرى عملية الكربنة في وسط صلب أو سائل أو غازي. وفى كل الأحوال يتم تحرير الكربون الذرى من مواد صلبة أو سائلة أو غازية غنية به ، لينتشر إلى داخل المنتج عند درجات حرارة ملائمة بوجود عوامل منشطة . حيث يبقى المنتج لمدة معينة عند هذه الدرجة ثم يبرد.

أ- الكربنة في وسط صلب :

يتم وضع الصلب المطلوب كربنته في صناديق مغلقة محتوية على مواد صلبة غنية بالكربون كالفحم النباتى مع وسط منشط يساعد على الكربنة كما بالشكل (3- 19)، وعادة تستعمل كربونات الباريوم مع مراعاة المسافة بين قطع الصلب داخل الصندوق ، ثم يسخن الصندوق إلى حوالى (900-950م) ويحفظ عند هذه الدرجة لفترة زمنية معينة ، وتحدث الكربنة بعد تحرير الكربون الذرى عند تحلل أول أكسيد الكربون وينتشر داخل الصلب .



ب- الكربنة في وسط غازي :

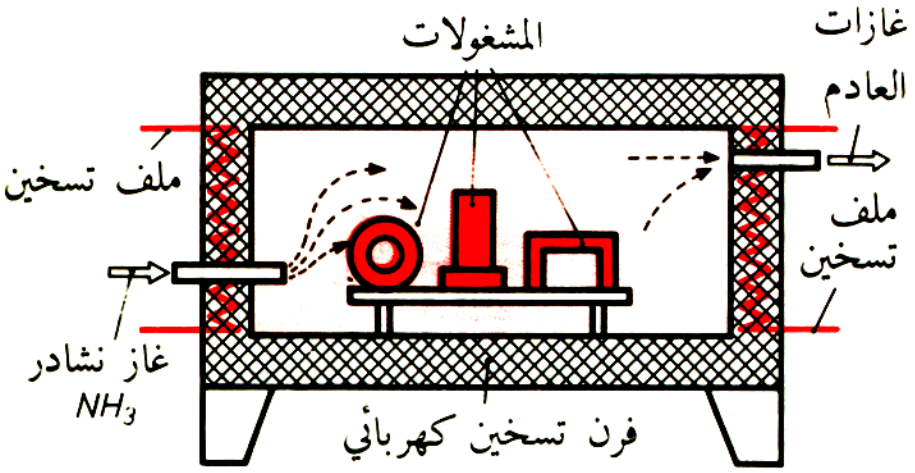
تجرى عملية الكربنة الغازية فى أفران خاصة عند درجات حرارة تتراوح بين (920م) و (950م) ويستعمل غاز الميثان والذي يحرر الكربون الذرى.

ج- الكربنة في وسط سائل :

تجرى الكربنة فى مواد سائلة متكونة من خليط يحتوى على (20-50) ساينيد الصوديوم مع حوالى (40%) كربونات الصوديوم مع كمية من كلوريد الصوديوم أو الباريوم ، وهذا الخليط يسخن إلى درجة حـرارة تتراوح بين (870م) – (950م) ويتحرر من هذا الخليط بعد التسخين الكربون الذرى .

النتــردة :

وهى عملية إشباع سطح الصلب بالنيتروجين ويتم ذلك بتغلغل النيتروجين السطحي داخل الصلب لتكوين نتريد على السطح حيث تجرى عملية النتردة في وسط من غاز الأمونيا عند درجة حرارة تتراوح بين (500-600م) ويحصل على النيتروجين الذرى من تفكك غاز الأمونيا ، وتتميز الطبقة التي تم نتردتها بصلادة عالية جدا ، يمكن أن تحتفظ بها في درجات الحرارة العالية التى تتراوح بين (500م) و (550م) ، شكل (3- 20). وكذلك بكونها ذات مقاومة عالية للبلى بالاحتكاك . كما وأن الأجزاء المنتردة لا تحتاج إلى إجراء معاملات حرارية إضافية لها . ولكن من سلبيات عملية النتردة هو الزمن الطويل التى تتطلبه حيث يتراوح زمن النتردة بين (20-60) ساعة .



التصليد بالنتردة

5- السيندة Cyaniding :

تتلخص عملية السيندة فى تشبيع سطح الصلب بالنيتروجين والكربون فى وقت واحد وتتم بتسخين الصلب فى مواد سائلة أو غازية محتوية على النيتروجين والكربون.، وتجرى السيندة السائلة فى أحواض بها مصهور الأملاح السيانيدية للصوديوم والباريوم NaCN و Ba(CN)2 وتحتوى الأحواض أيضاً على كربونات وكلوريدات المعادن القلوية والتى تساعد على زيادة درجة حرارة الحوض وتقليل تبخر المركبات السيانيدية.

ويستغرق إجراء عملية السيندة فى درجة حرارة (820 – 850 م°) حوالى 60 دقيقة وفى هذه الأحوال تؤدى السيندة فى حوض يحتوى على (20-25% سيانيد الصوديوم NaCN و 25-50% كلوريد الصوديوم NaCl و 25 – 50% كربونات الصوديوم Na2CO3) الى الحصول على طبقة يصل عمقها الى (0.2 – 0.25 مم) ومثل هذا التسخين الوجيز الزمن لا يؤدى الى نموالحبيبات ، ويؤدى إجراء السيندة الى زيادة الصلادة السطحية وقدرة الأدوات القاطعة على القطع بمقدار 1.5 الى 2 مرة.

نواع التصليد السطحي:

النوع	درجة الحرارة	الزمن	وسط المعالجة	التأثير	الاستخدامات
الكربنة	900–950°C	عدة ساعات	غاز كربوني أو وسط صلب	صلادة عالية للسطح	التروس، الأعمدة
النتردة	500–550°C	10–90 ساعة	غاز الأمونيا	صلادة ممتازة دون إطفاء	المكابس، أدوات التشغيل
التحريض الحراري	800–1000°C	ثوانٍ إلى دقائق	تيار كهربائي عالي التردد + تبريد سريع	تسخين السطح فقط ثم إطفاء سريع	أعمدة الكامات والكرانك
الليزر أو اللهب	أكثر من 1000°C محليًا	ثوانٍ	شعلة أو ليزر + تبريد مباشر	صلادة دقيقة، تحكم عالي	اجزاء دقيقة خاصة
السيندة	750–900°C	عدة ساعات	مزيج كربوني ونيتروجين محكم الغلق	صلادة متجانسة	أجزاء تحتاج تصلب سطحي معتدل وتجانس

النشاط الطلابي:

- رسم مقطع لجزء معدني يوضح الفرق بين الصلادة السطحية والداخلية.
- دراسة حالة: لماذا يُفضل التصليد السطحي للتروس بدلًا من تقسية كاملة؟

الأسئلة:

- لماذا نحتاج إلى صلادة سطحية دون التأثير على الداخل؟
- ما الفرق بين الكربنة والنتردة؟
- ما نوع التصليد الأنسب لأعمدة الكرنك؟ ولماذا؟
- ما الفرق بين التصليد السطحي والتقسية التقليدية؟
- ما المقصود بالسيندة؟
- ما الفرق بين انواع التصليد السطحي؟

الواجب البيتي:

❖ اختر جزءًا ميكانيكيًا (ترس، محور، أداة قطع...) وحدد:
- نوع التصليد المناسب، طريقة تطبيقه، الأسباب التقنية لاختياره.

❖ ارسم مخطط مقارنة بين الأنواع الأربعة للتصليد السطحي من حيث:
- درجة الحرارة ، وسط المعالجة ، المدى الزمني ، التطبيقات.

الاسبوع الخامس عشر

الهدف التعليمي

- **الموضوع النظري :** التاكل وانواعها .
- **النشاط العملي** :صنف التاكل حسب انواعه وذكر مثال لكل نوع.
- **سؤال الأسبوع :**كيف التاكل؟
- **الواجب البيتي** :ما هي الامور الواجب توفرها للوقاية من التاكل ؟
- **مدة المحاضرة:** ساعتين نظري وساعتين عملي

التآكل (Corrosion) :هو التفاعل الكيميائي أو الكهروكيميائي بين المادة وبيئتها، مما يؤدي إلى تدهور خواص المادة أو تلفها التدريجي، خاصة في الفلزات. و يحدث التآكل غالبًا بسبب وجود الماء، الأوكسجين، أو الأملاح، ويؤدي إلى فقدان المادة، تغير لونها، أو انخفاض مقاومتها.

أنواع التآكل الرئيسية

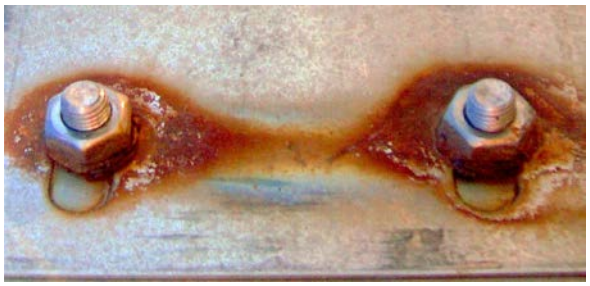
ت	النوع	الشرح	الأمثلة
	التآكل المنتظم (Uniform Corrosion)	يحدث على سطح المعدن بشكل متساوٍ تقريبًا، ويُعتبر الأقل خطورة.	صدأ الحديد المكشوف للهواء
2-	**التآكل الموضعي** (Localized Corrosion)	يحدث في نقاط محددة فقط على سطح المعدن، ويؤدي إلى خرق موضعي خطير.	تآكل موضعي في الأنابيب
3-	**التآكل النقطي** (Pitting Corrosion)	شكل شديد من التآكل الموضعي، يظهر على شكل حفر صغيرة وعميقة.	على الفولاذ المقاوم للصدأ
4-	**التآكل الشقي** (Crevice Corrosion)	يحدث داخل الشقوق أو تحت الحشوات حيث يقل التهوية وتزيد الرطوبة.	تحت المسامير أو الوصلات
5-	**التآكل الجلفاني** (Galvanic Corrosion)	يحدث بين معدنين مختلفين متصلين كهربائيًا في وجود إلكتروليت (مثل الماء.(	بين النحاس والألمنيوم
6-	**التآكل الإجهادي** (Stress Corrosion Cracking)	تشقق المادة تحت تأثير التآكل مع وجود إجهاد ميكانيكي.	في أنابيب الضغط
7-	**التآكل بين الحبيبات** (Intergranular Corrosion)	يحدث على طول حدود الحبيبات البلورية بعد عمليات حرارية غير مناسبة.	في الفولاذ الأوستنيتي
8-	**التآكل البُعدي أو التآكل النبضي** (Erosion-Corrosion)	نتيجة حركة سائلة سريعة تؤدي إلى إزالة الطبقة الواقية والتآكل المتسارع.	في التوربينات والمضخات

تاكل منتظم

تاكل موضعي

تاكل نقطي

تاكل شقي



تاكل كلفاني

تاكل اجهادي

تاكل بين الحبيبات

تاكل النبضي او البعدي

العوامل المؤثرة في التآكل

1- تركيب المعدن
2- درجة الحرارة
3- الرطوبة
4- وجود الأملاح أو الأحماض
5- الجهد الكهربائي بين المعادن (في حالة الجلفنة)

طرق الحماية من التآكل

1- الطلاءات الواقية (مثل الطلاء أو الجلفنة)
2- استخدام سبائك مقاومة للتآكل (Stainless Steel)
3- العزل بين المعادن المختلفة
4- استخدام الحماية الكاثودية
5- التصميم المناسب لتجنب الشقوق والمناطق المحصورة

نشاط طلابي داخل الصف:

قسم الطلاب إلى مجموعات، واطلب منهم:

- تحديد نوع التآكل الموجود في صور أو قطع حقيقية (أنابيب، وصلات، أدوات حديدية).
- تقديم تفسير لنوع التآكل وكيفية منعه.

- **سؤال ختامي:**

ما الفرق بين التآكل الجلفاني والتآكل الشقي؟ اذكر مثالًا لكل نوع.

- **الواجب البيتي:**

صمّم تقريرًا من صفحتين يحتوي على:

- نوع تآكل شهير في بيئة صناعية أو منزلية
- وصف آلية التآكل
- صور توضيحية (إن أمكن)
- اقتراح طرق الحماية والمعالجة

المصادر

4- كتاب المعادن بنيتها وخواصها .. حسين باقر رحمة الله
5- كتاب هندسة المعادن والمواد للموالف بيلي وترجمة حسين باقر رحمة الله
6- كتاب علم المعادن للموالف عماد محمد ابراهيم جامعة الزقازيق