Phase Diagrams and Phase Transformations

مخططات الأطوار وتحولات الطور في علم المواد

- **Phase Diagrams مخططات الأطوار**

A phase diagram is a graphical representation of the phases present in a material system under different conditions of temperature, pressure, and composition. They help in understanding phase stability, microstructural evolution, and material properties.

مخطط الطور هو تمثيل بياني يوضح الأطوار الموجودة في نظام مادي تحت ظروف مختلفة من درجة الحرارة والضغط والتكوين.

تساعد هذه المخططات في فهم استقرار الأطوار، وتطور البنية المجهرية، وخصائص المواد

- **Binary Phase Diagrams مخططات الطور الثنائية**

Binary phase diagrams are graphical representations that illustrate the relationship between temperature and alloy composition for two different materials during heating and cooling. These diagrams help understand how phases change within alloys at different temperatures.

مخططات الطور الثنائية هي تمثيلات بيانية توضح العلاقة بين درجة الحرارة وتكوين السبيكة لمادتين مختلفتين أثناء التبريد والتسخين.

تساعد هذه المخططات في فهم كيفية تغير الأطوار داخل السبائك عند درجات حرارة مختلفة

- **Importance of Binary Phase Diagrams::أهمية مخططات الطور الثنائية**

Determine stable phases at any given temperature and composition.

تحديد الأطوار المستقرة عند أي درجة حرارة وتكوين معين.

Understand interactions between elements when mixed in alloys.

فهم التفاعلات بين العناصر عند خلطها في سبائك.

Identify temperature ranges where melting and solidification occur.

تحديد نطاقات درجات الحرارة التي تحدث فيها الانصهار والتصلب.

Analyze the effects of heating and cooling on the microstructure of alloys.

تحليل تأثير التبريد والتسخين على البنية المجهرية للسبائك.

- **The key features of binary phase diagrams include**:

تشمل الميزات الرئيسية لمخططات الطور الثنائية ما يلي:

Liquidus Line: The boundary above which the material is completely liquid.

خط السائل :الحد الفاصل الذي يكون فوقه النظام في حالة سائلة بالكامل.

Solidus Line: The boundary below which the material is completely solid.

خط الصلب :الحد الفاصل الذي يكون تحته النظام في حالة صلبة بالكامل.

Two-phase Region: Between the liquidus and solidus, where liquid and solid coexist.

منطقة الطورين :المنطقة بين خط السائل وخط الصلب، حيث يتعايش الطوران السائل والصلب.

Solvus Line: Defines the solubility limit of one phase in another.

خط الذوبان :يحدد حد الذوبانية لطور واحد داخل الآخر.

Tie Lines and Lever Rule: Used to determine phase fractions and compositions.

خطوط الربط وقاعدة الرافعة :تُستخدم لتحديد نسب الأطوار وتراكيبها.

- **Eutectic Systems الأنظمة اليوتكتية**

A Eutectic system is a type of binary phase diagram that contains a eutectic point (Eutectic Point), which is the temperature at which the liquid transforms directly into a mixture of two solid phases upon cooling. This transformation occurs without passing through a partially solid phase.

النظام اليوتكتي هو نوع من مخططات الطور الثنائية حيث يحتوي على نقطة يوتكتيّة، وهي درجة الحرارة التي يتحول فيها السائل مباشرة إلى خليط من طورين صلبين عند تبريد السبيكة. يحدث هذا التحول دون المرور بمرحلة انتقالية بين الطور السائل والصلب الجزيئي.

A Eutectic system is a special type of binary phase diagram where a eutectic reaction occurs:

النظام اليوتِكتي هو نوع خاص من مخططات الطور الثنائية حيث يحدث تفاعل يوتِكتي (يقصد به التحول من طور سائل مباشرة الى طورين صلبين مختلفين عند التبريد مثل القصدير – الرصاص في لحام الالكترونيات)) وفق المعادلة التالية:

(الطور السائل) $L \longrightarrow \alpha + \beta$ (اطوار صلبه مختلفه)

Primary Phases: Phases that form before reaching the eutectic temperature.

الأطوار الأولية :الأطوار التي تتشكل قبل الوصول إلى درجة الحرارة اليوتِكتي.

Eutectic Structure: A fine mixture of two solid phases ($\alpha + \beta$).

البنية اليوتِكتية (Eutectic Structure): خليط دقيق من الطورين الصلبين.($\alpha + \beta$)

- **Characteristics of Eutectic Systems:خصائص الأنظمة اليوتكتيّة**

1. Eutectic Point: نقطة اليوتكتي

Represents the lowest temperature at which the liquid can exist in equilibrium with solid phases.

تمثل أقل درجة حرارة يمكن عندها أن يوجد السائل في التوازن مع الأطوار الصلبة

At this point, the liquid completely transforms into a fine mixture of two solid phases.

عند هذه النقطة، يتحول السائل بالكامل إلى خليط دقيق من طورين صلبين

2. Rapid Solidification:التصلب السريع

Due to the direct reaction between the liquid and the two solid phases, a fine and homogeneous microstructure is formed.

بسبب التفاعل المباشر بين الطور السائل والطورين الصلبين، ينتج بنية دقيقة ومتجانسة.

3. Easy Casting and Forming: سهولة الصب والتشكيل

Since eutectic alloys have a low melting point at the eutectic composition, they are easy to cast and exhibit good machinability.

نظرًا لانخفاض درجة الانصهار عند نقطة اليوتكتي، فإن سبائك اليوتكتي غالبًا ما تكون سهلة الصب وتتميز بخواص تشغيلية جيدة

- **Phase Transformations: Solidification, Nucleation, and Growth**

تحولات الطور: التصلب، التبرعم، والنمو

Phase transformation is the process in which a material changes from one phase to another due to variations in temperature, pressure, or composition. This transformation alters the material's microstructure, which affects its mechanical, thermal, and electrical properties.

تحول الطور هو العملية التي يتغير فيها طور المادة من شكل إلى آخر بسبب تغيرات في درجة الحرارة، الضغط، أو التركيب الكيميائي.
هذا التحول يؤدي إلى تغييرات في البنية المجهرية، مما يؤثر على الخواص الميكانيكية والحرارية والكهربائية للمادة.

Types of Phase Transformations: أنواع تحولات الطور

1. *Solid-Solid Transformation*:تحول الطور الصلب-الصلب

Occurs when a solid phase changes into another solid phase.

يحدث عندما يتحول الطور الصلب إلى طور آخر صلب دون المرور بالحالة السائلة. (مثال تحول الجرافيت الى الماس)

2. *Solid-Liquid Transformation (Melting & Solidification*): . :تحول الصلب-السائل (الانصهار والتصلب)

Occurs when a solid melts into a liquid or liquid solidifies into a solid.

يحدث عندما يتحول المادة الصلبة إلى سائل (الانصهار مثل ذوبان الجليد إلى ماء) أو السائل إلى صلب (التصلب مثل تصلب المعادن المنصهرة أثناء عمليات الصب).

3. *Liquid-Gas Transformation (Evaporation & Condensation*):(التبخر والتكثيف) تحول السائل-الغاز

Occurs when a liquid changes into a gas (boiling/evaporation) or gas turns into a liquid (condensation).

يحدث عندما يتحول السائل إلى غاز (الغليان/التبخر) أو الغاز إلى سائل (التكثيف مثل تكثف بخار الماء وتحوله إلى قطرات ماء)

4. *Solid-Gas Transformation (Sublimation & Deposition*):(التسامي والترسيب) تحول الصلب-الغاز

Direct transformation between solid and gas phases without passing through a liquid phase.

يحدث عندما يتحول الصلب إلى غاز مباشرة (التسامي مثل تحول الثلج الجاف (ثاني أكسيد الكربون الصلب) إلى غاز مباشرة) أو الغاز إلى صلب مباشرة (الترسيب مثل تكوين الصقيع عندما يتحول بخار الماء إلى جليد) دون المرور بالحالة السائلة

5. *Eutectic and Eutectoid Transformations*:التحولات اليوتكتيّة واليوتكتيودية

Eutectic transformation: A liquid transforms into two solid phases simultaneously at a specific temperature and composition.

تحول : يتحول السائل إلى طورين صلبين في نفس الوقت عند درجة حرارة وتكوين محددين. (مثال: السبائك المستخدمة في اللحام)

Eutectoid transformation: A solid phase transforms into two new solid phases.

تحول يوتكتيودي :يتحول طور صلب واحد إلى طورين صلبين آخرين. (يشبه التحول اليوتكتي لكنه يحدث بالكامل في الحاله الصلبه)(مثال: يتحكم هذا التحول في بنية الفولاذ والذي يتكون من مزيج من طبقات الفريت والسمنتيت)

Importance of Phase Transformations: أهمية تحولات الطور

Control material properties such as hardness, strength, and ductility.

تعديل خواص المواد مثل الصلابة، القوة، والليونة.

Essential in heat treatment processes (annealing, quenching, tempering).

أساس عمليات المعالجة الحرارية مثل التلدين، التقسية، والمراجعة.

Used in manufacturing and metallurgy for producing strong and durable materials.

ضرورية في التصنيع والصناعات المعدنية لإنتاج مواد قوية ومتينة.

1. Solidification التصلب

Solidification is the transformation of a material from the liquid state to the solid state upon cooling. This process plays a crucial role in the manufacturing of metals and alloys, as it affects the microstructure and mechanical properties of materials. Solidification occurs in two main stages:

التصلب هو تحول المادة من الحالة السائلة إلى الحالة الصلبة عند التبريد. هذه العملية تلعب دورًا مهمًا في تصنيع المعادن والسبائك، حيث تؤثر على البنية المجهرية والخواص الميكانيكية للمواد. ينقسم التصلب إلى مرحلتين رئيسيتين:

1. *Nucleation* – The formation of solid nuclei within the liquid.

التبرعم :تكوين نوى صلبة داخل السائل.

2. *Growth* – The expansion of these nuclei to form the final solid structure.

النمو : نمو هذه النوى لتشكيل البنية الصلبة النهائية.

2. Nucleation التبرعم

Nucleation is the initial formation of new phases within an existing material. It can be homogeneous nucleation, occurring spontaneously within the liquid, or heterogeneous nucleation, occurring on surfaces, impurities, or mold boundaries.

التبرعم هو بداية تشكل الأطوار الجديدة داخل مادة موجودة. يمكن أن يكون تبرعم متجانس (Homogeneous Nucleation) عندما يحدث داخل السائل نفسه، أو تبرعم غير متجانس (Heterogeneous Nucleation) عندما يحدث على سطح شوائب أو حواف القالب.

- **Factors Affecting Nucleation :عوامل تؤثر على التبرعم**

Surface Free Energy: Each nucleus requires energy to grow, and high surface energy reduces the likelihood of nucleation.

الطاقة الحرة السطحية :كل نواة تحتاج طاقة لتنمو، وتقل احتمالية التبرعم عند ارتفاع الطاقة السطحية.

Under Cooling: The greater the undercooling, the higher the probability of nucleation, as the energy difference between the liquid and solid phases increases.

درجة التبريد :كلما زادت درجة التبريد، زادت احتمالية التبرعم لأن فرق الطاقة بين الطورين السائل والصلب يصبح أكبر.

3. Growth النمو

Once a nucleus forms, crystals begin to grow. The growth process is influenced by factors such as cooling rate, atomic diffusion, and the presence of impurities. Growth can occur in different forms:

بعد تشكل النواة، تبدأ البلورات في النمو. تتأثر عملية النمو بعوامل مثل معدل التبريد، انتشار الذرات، ووجود الشوائب. يمكن أن يكون النمو على شكل:

Dendritic Growth: When cooling is rapid, a branched structure known as dendrites forms.

نمو حراري :عندما يكون التبريد سريعًا، مما يؤدي إلى تكوين بنية متفرعة تُعرف باسم التفرع الشجري.(Dendrites)

Uniform Growth: Where the solid phase develops uniformly without distinct directional growth.

نمو متجانس: حيث يتشكل الطور الصلب بطريقة موحدة دون وجود اتجاهات واضحة.

- **Importance of Phase Transformations اهمية تحولات الطور**

Phase transformations control the microstructure, which directly affects the mechanical properties of materials.

تتحكم تحولات الطور في البنية المجهرية، والتي تؤثر بشكل مباشر على الخواص الميكانيكية للمواد.

These processes are used in applications such as casting, powder metallurgy, and heat treatment.

تستخدم هذه العمليات في تطبيقات مثل السباكة(Casting) ، والتصنيع بالمساحيق(Powder Metallurgy) ، والمعالجات الحرارية

- **Lever Rule: Determining Phase Composition قاعدة الرافعة: تحديد تركيبة الطور**

The Lever Rule is a mathematical tool used in phase diagrams to determine the proportion of different phases present in a two-phase region. It is especially useful in binary phase diagrams to find the relative amounts of solid and liquid phases at a given temperature and composition.

قاعدة الرافعة هي أداة رياضية تُستخدم في مخططات الطور لتحديد نسبة الأطوار المختلفة الموجودة في منطقة الطورين. تُستخدم بشكل خاص في مخططات الطور الثنائية (طورين متعايشين، مثل الطور السائل والصلب أو طورين صلبين مختلفين) لتحديد الكميات النسبية للطورين الصلب والسائل عند درجة حرارة وتركيب معينين.

- **Concept of the Lever Rule المفهوم والمعادلة**

The level rule applies when a system is in equilibrium and consists of two coexisting phases, such as liquid and solid or two different solid phases. It is given by:

تُطبق قاعدة المستوى عندما يكون النظام في حالة توازن ويتكون من طورين متعايشين. يتم حساب نسبة كل طور باستخدام العلاقة

Fraction of phase A = distance to phase B / total tie-line length

نسبة الطور A = المسافة إلى الطور B / طول خط التوازن الكلي

Fraction of phase B = distance to phase A / total tie-line length

نسبة الطور B = المسافة إلى الطور A / طول خط التوازن الكلي

- ***Mathematically, for a binary phase diagram:***

رياضيًا، يمكن التعبير عنها بالمعادلات التالية في مخطط الطور الثنائي

Fraction of Phase$_1$ = $C_B - C_0 / C_B - C_A$

Fraction of Phase$_2$ = $C_0 - C_A / C_B - C_A$

where:

C_0 : is the overall composition of the alloy, هو التركيب الكلي للسبيكة

CA and C_B: are the compositions of the two coexisting phases, هما تراكيز الطورين المتعايشين

The denominator represents the length of the tie-line in the two-phase region.

المقام يمثل طول خط التوازن في منطقة الطورين

***Application* التطبيقات**

The level rule is commonly used in: تُستخدم قاعدة المستوى في

1. *Binary phase diagrams* (e.g., Cu-Ni, Fe-C systems) to determine phase fractions.

مخططات الطور الثنائية : مثل أنظمة (Cu-Ni) و (Fe-C) لحساب نسبة الطورين.

2. *Eutectic and peritectic reactions* to analyze phase compositions during cooling or heating.

التفاعلات اليوتكتية والبيريتكتية لفهم كيفية تغير الأطوار أثناء التسخين أو التبريد.

3. *Metallurgical processes* such as alloy solidification and heat treatment.

عمليات المعالجة المعدنية مثل تصلب السبائك والمعالجات الحرارية.

- **Heat Treatment in Material Science المعالجة الحرارية في علم المواد**

Heat treatment is a controlled process used to alter the physical and mechanical properties of metals and alloys by heating and cooling them in a specific manner. The three most common types of heat treatment are annealing, quenching, and tempering.

المعالجة الحرارية هي عملية يتم التحكم فيها لتغيير الخصائص الفيزيائية والميكانيكية للمعادن والسبائك عن طريق تسخينها وتبريدها بطريقة محددة. تشمل الأنواع الثلاثة الأكثر شيوعًا من المعالجة الحرارية: التلدين، التقسية، والمراجعة.

1. *Annealing* التلدين

Purpose:الهدف

To soften the material تليين المعدن

Improve ductility and toughness تحسين الليونة والمتانة

Relieve internal stresses تخفيف الإجهادات الداخلية

Refine grain structure تحسين البنية الحبيبية

Process: العملية

1. Heat the metal to a specific temperature (typically above the recrystallization temperature).

تسخين المعدن إلى درجة حرارة محددة (أعلى من درجة إعادة التبلور).

2. Hold it at that temperature for a period of time. الاحتفاظ به عند هذه الدرجة لفترة زمنية معينة

3. Slowly cool it down in the furnace to room temperature.

تبريده ببطء داخل الفرن حتى يصل إلى درجة حرارة الغرفة.

Applications:التطبيقات

Used for steel, copper, aluminum, and brass to improve machinability.

يُستخدم مع الصلب والنحاس والألمنيوم والنحاس الأصفر لتحسين قابليته للتشكيل.

Common in sheet metal and wire industries. شائع في صناعة الصفائح المعدنية والأسلاك.

2. *Quenching* التقسية

Purpose:**الهدف**

To increase hardness and strength زيادة الصلابة والقوة

Obtain a martensitic structure الحصول على بنية مارتينسيتية

Improve wear resistance تحسين مقاومة التآكل

Process:العملية

1. Heat the metal to its austenitizing temperature. تسخين المعدن إلى درجة حرارة الأوستنيت

2. Rapidly cool it in a quenching medium (water, oil, or air).

تبريده بسرعة في وسط تبريد (مثل الماء أو الزيت أو الهواء)

Effects: التأثيرات

Creates a hard and brittle structure. يؤدي إلى تكوين هيكل صلب وهش

Induces internal stresses, which may cause cracks if not tempered.

قد يسبب إجهادات داخلية يمكن أن تؤدي إلى تشققات إذا لم يتم إجراء المراجعة.

Applications: **التطبيقات**

Used for cutting tools, gears, and bearings. يُستخدم في أدوات القطع، التروس، والمحامل.

Common in high-carbon and alloy steels. شائع في الفولاذ عالي الكربون والسبائك الفولاذية

3. Tempering المراجعة

Purpose:الهدف

To reduce brittleness caused by quenching تقليل الهشاشة الناتجة عن عملية التقسية

Improve toughness and ductility تحسين المتانة والليونة

Adjust the hardness تعديل مستوى الصلابة

Process:العملية

1. Reheat the quenched metal to a lower temperature (150–700°C).

إعادة تسخين المعدن المقسى إلى درجة حرارة منخفضة (150-700 درجة مئوية).

2. Hold it for a specific time. الاحتفاظ به عند هذه الدرجة لفترة محددة

3. Cool it down slowly in air. تبريده ببطء في الهواء

Effects: التأثيرات

Reduces internal stresses. تقليل الإجهادات الداخلية

Balances hardness and toughness. تحقيق توازن بين الصلابة والمتانة

Applications:**التطبيقات**

Used for springs, knives, and automotive parts. يُستخدم في الزنبركات، السكاكين، وأجزاء السيارات

Ensures durability in tool steels. يضمن المتانة في الصلب المخصص للأدوات