Metallurgy

معادن 1

الفصل الاول

Metallurgy

Metallurgy is the science that studies the physical and chemical behavior of metallic elements, their inter-metallic compounds, and their mixtures, which are called alloys

علم المعادن : هو العلم الذي يدرس سلوك العناصر المعدنية الفيزيائية والكيميائية. حيث ان المركبات المعدنية والخلائط تدعى السبائك.

Elementary substance is made up of exceedingly small particles called atoms Two or more atoms, either of the same kind or of different kinds, are, in the case of most elements, capable of uniting with one another to form a higher order of distinct particles called molecules.

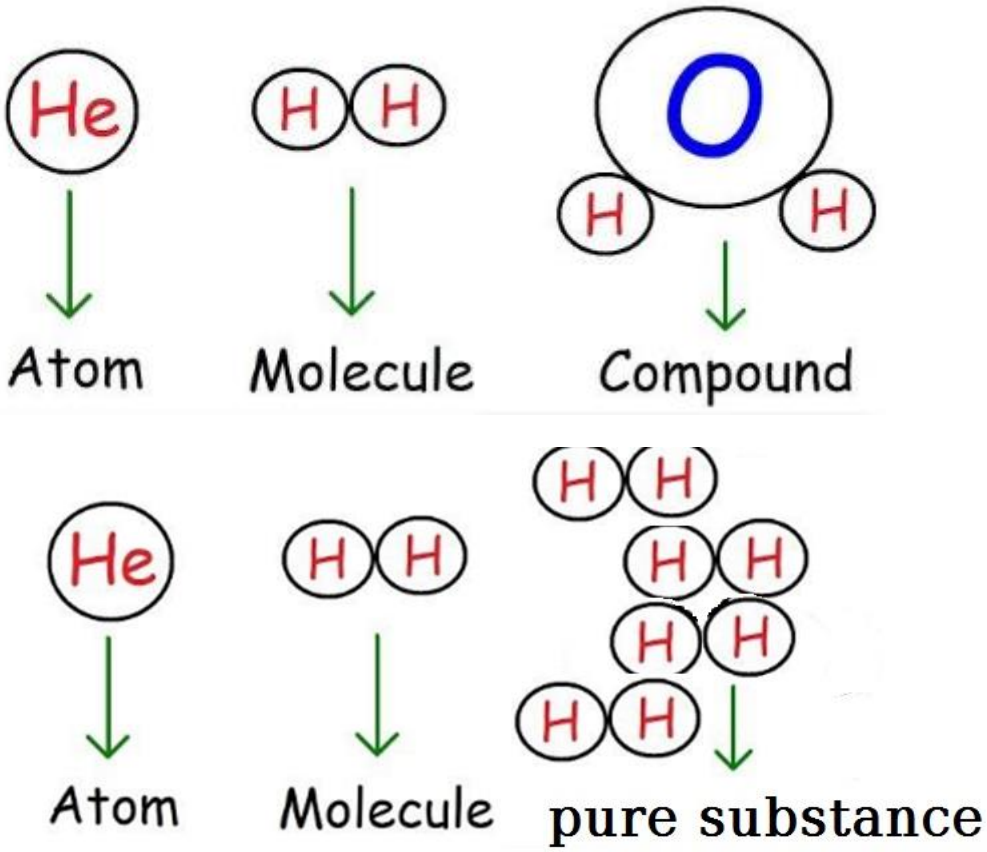
المادة الاساسية: تتكون المادة من جسيمات صغيرة تدعى بالذرات. حيث ان كل ذرتين او اكثر سواء من نفس النوع او من نوع مختلف تتحد وتتركب مع بعضها البعض مكون ما يسمى بالجزئيات.

Metallurgy

If the molecules or atoms of which any given material is composed are all exactly alike, the material is a **pure substance**. If they are not all alike, the material is a **mixture (compound) .**

اذا كانت الجزيئات التي تكون المادة من نفس النوع (متشابهة) فأن المادة تسمى « مادة نقية» واذا كانت مختلفة فتسمى المادة « مادة مركبة»

Metallurgy

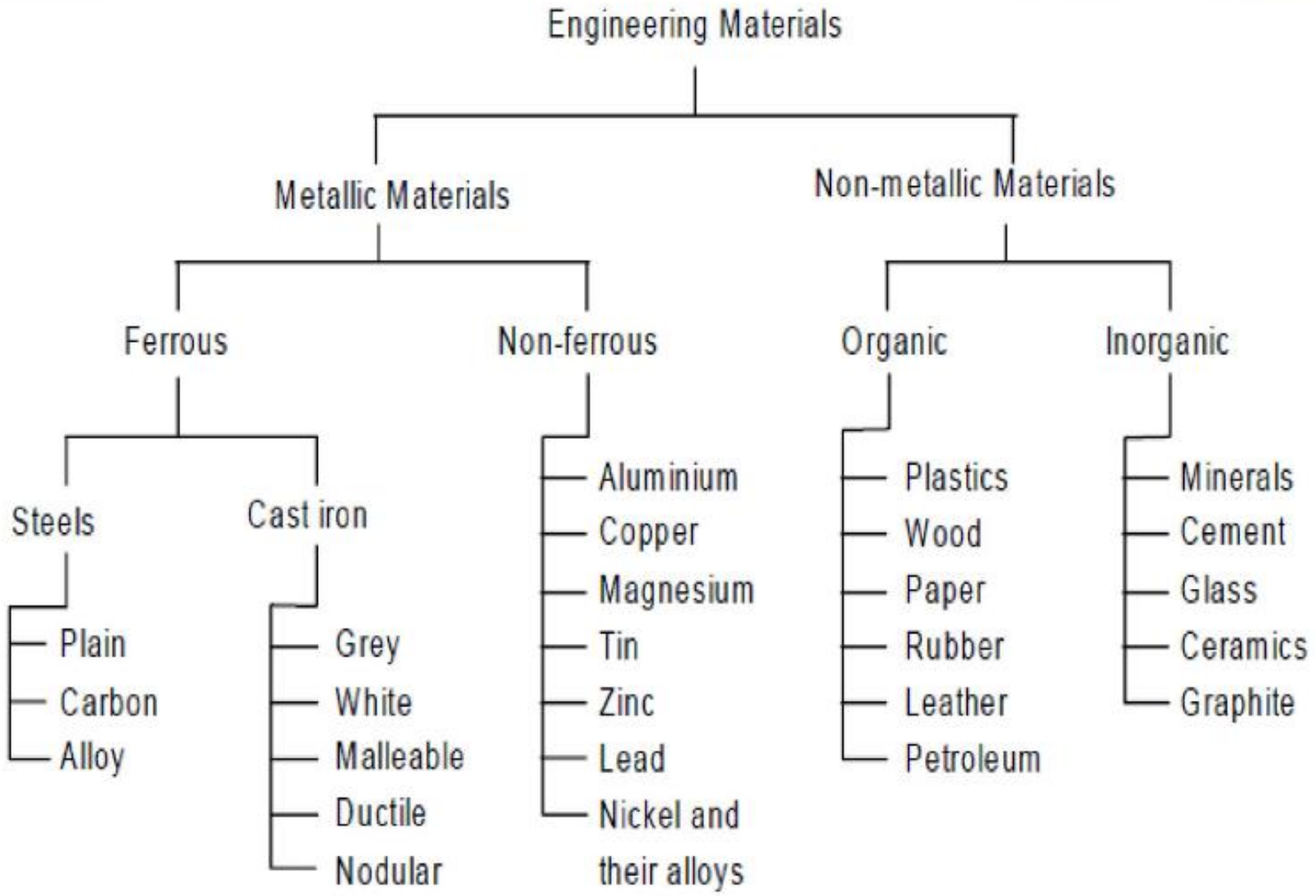


States of Substance حالات المادة

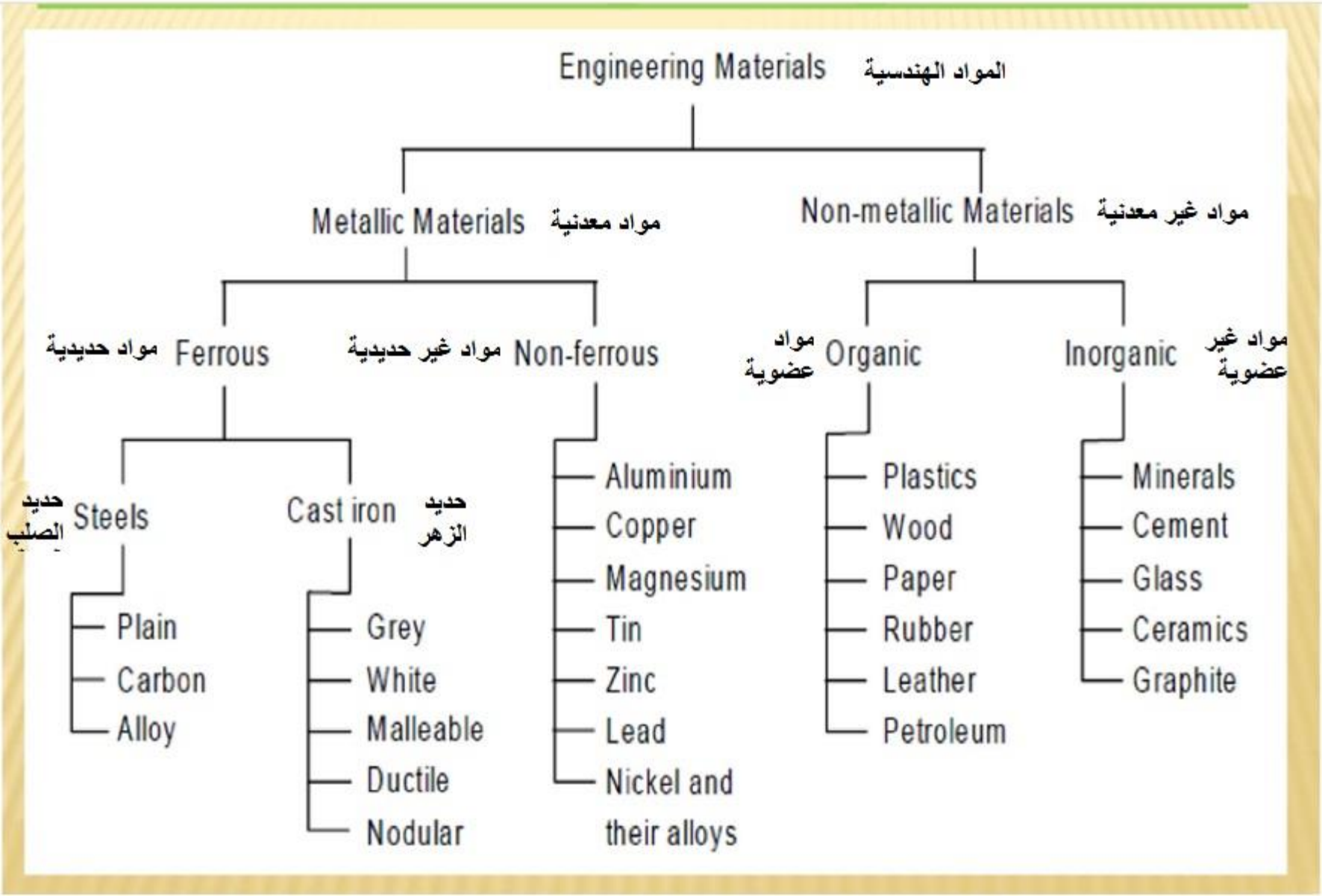
There are three states of substance يوجد ثلاث حالات من المادة

Solid صلب **Liquid سائل** **Gas غاز**

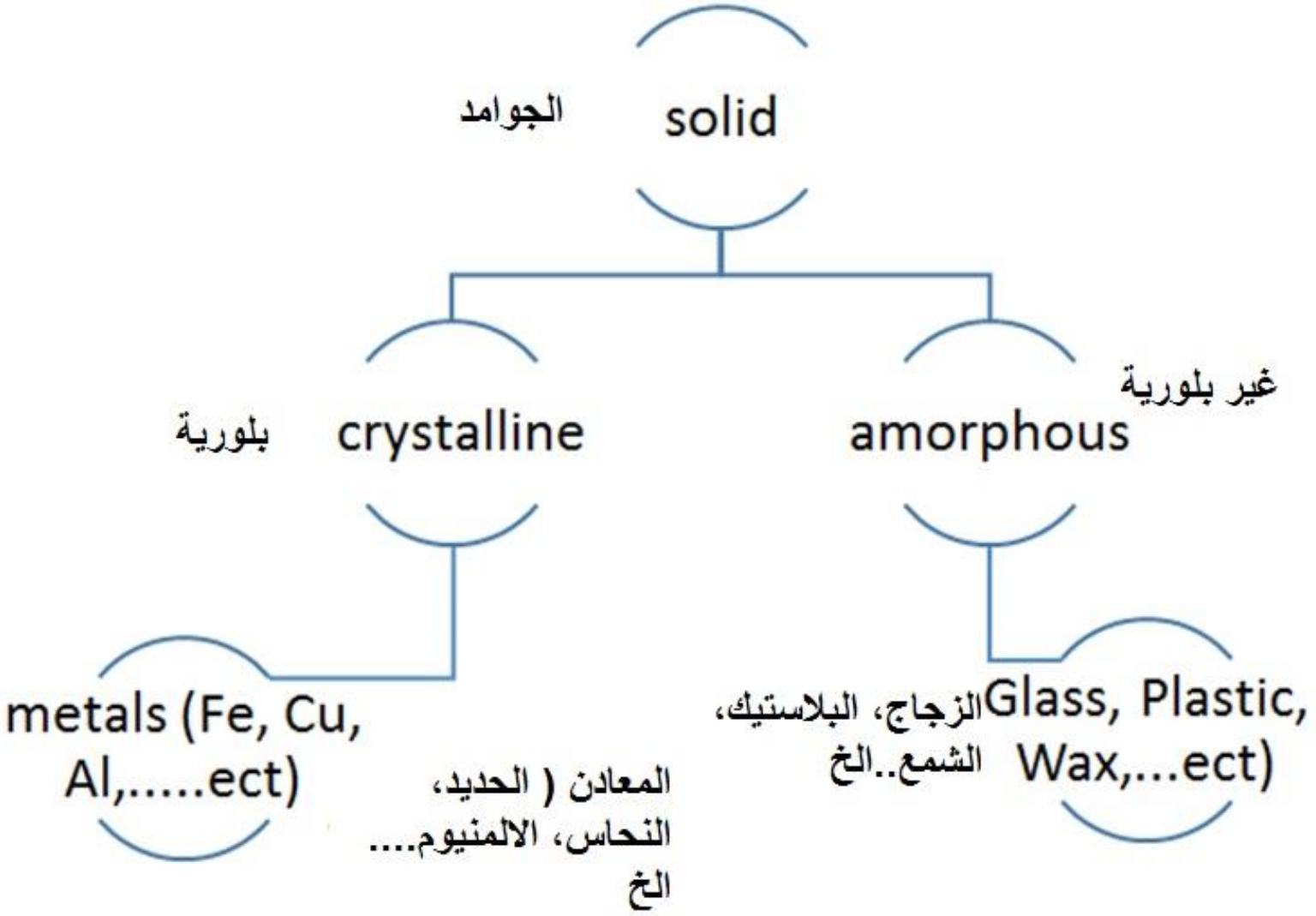
Metallurgy


Engineering Materials
Metallic Materials
Non-metallic Materials
Ferrous
Non-ferrous
Organic
Inorganic
Steels
Cast iron
Plain
Carbon
Alloy
Grey
White
Malleable
Ductile
Nodular
Aluminium
Copper
Magnesium
Tin
Zinc
Lead
Nickel and their alloys
Plastics
Wood
Paper
Rubber
Leather
Petroleum
Minerals
Cement
Glass
Ceramics
Graphite

Metallurgy


Engineering Materials
المواد الهندسية
Metallic Materials
مواد معدنية
Non-metallic Materials
مواد غير معدنية
Ferrous
مواد حديدية
Non-ferrous
مواد غير حديدية
Organic
مواد عضوية
Inorganic
مواد غير عضوية
Steels
حديد الصلب
Cast iron
حديد الزهر
Plain
Carbon
Alloy
Grey
White
Malleable
Ductile
Nodular
Aluminium
Copper
Magnesium
Tin
Zinc
Lead
Nickel and their alloys
Plastics
Wood
Paper
Rubber
Leather
Petroleum
Minerals
Cement
Glass
Ceramics
Graphite

Metallurgy


الجوامد
solid
بلورية
crystalline
غير بلورية
amorphous
metals (Fe, Cu, Al,.....ect)
المعادن (الحديد، النحاس، الالمنيوم.... الخ
الزجاج، البلاستيك، الشمع..الخ
Glass, Plastic, Wax,...ect)

Metallurgy

Crystal structure: التركيب البلوري

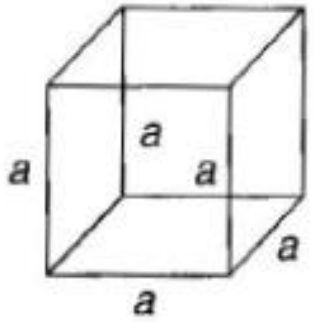
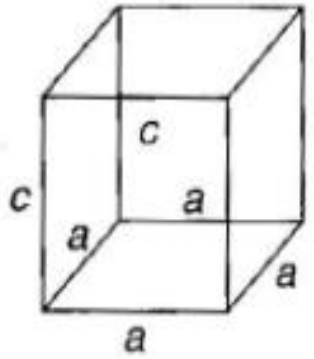
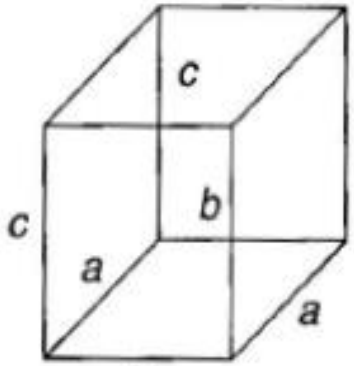
Solid materials may be classified according to the regularity with which atoms or ions are arranged with respect to one another. Some of the properties of crystalline solids depend on the **crystal structure** of the material.

المواد الصلبة ممكن ان تصنف حسب ترتيب وانتظام الذرات بالنسبة لبعضها البعض. حيث ان بعض الخواص لهذه المواد الصلبة البلورية تعتمد على تركيبها البلوري.

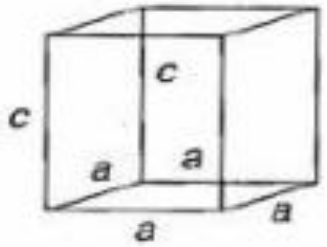
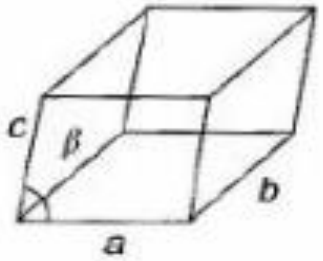
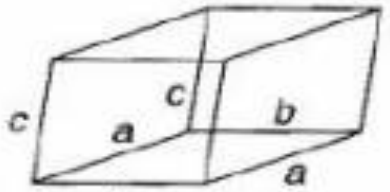
There are 7 group of crystal system

يوجد سبعة اصناف من الانظمة البلورية

Metallurgy

System	Lattice constants and angles	Unit cell geometry
Cubic	$a = b = c, \alpha = \beta = \gamma = 90°$	
Tetragonal	$a = b \neq c, \alpha = \beta = \gamma = 90°$	
Orthorhombic	$a \neq b \neq c, \alpha = \beta = \gamma = 90°$	

Metallurgy

System	Axial lengths and angles	Unit cell geometry
Rhombohedral	$a = b = c$, $\alpha = \beta = \gamma \neq 90°$	
Hexagonal	$a = b \neq c$, $\alpha = \beta = 90°$, $\gamma = 120°$	
Monoclinic	$a \neq b \neq c$, $\alpha = \gamma = 90°$, $\neq \beta$	
Triclinic	$a \neq b \neq c$, $\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90°$	

Metallurgy

Many metals have a main types of crystal structure

معظم المعادن تمتلك ثلاثة انواع رئيسية من الشبكة البلورية وهي:

Face centered cubic FCC مكعب متمركز الوجه

body centered cubic BCC مكعب متمركز الجسم

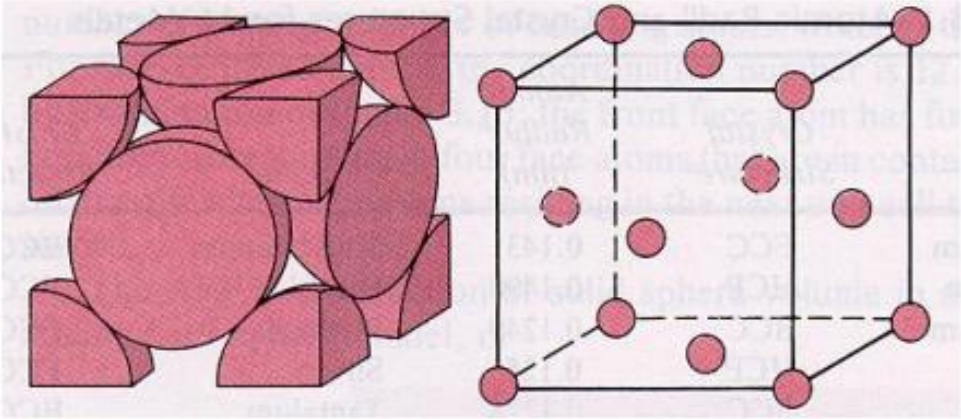
hexagonal close-packed HCP سداسي مكتظ

Metallurgy

Metallic Crystal Structures

Resource Cent
ILLINOIS INSTITUTE OF TECHNO

FCC (face centered cubic): Atoms are arranged at the corners and center of each cube face of the cell.

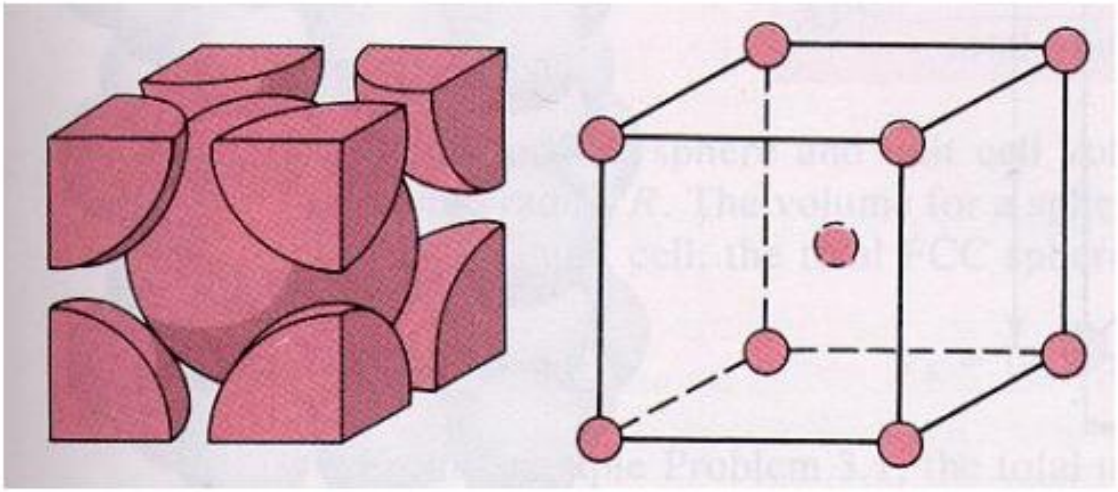


FCC (مكعب متمركز الوجه) : الذرات تترتب عند زوايا المكعب وعند مركز كل وجه

Metallurgy

BCC: Body Centered Cubic

Atoms are arranged at the corners of the cube with another atom at the cube center.

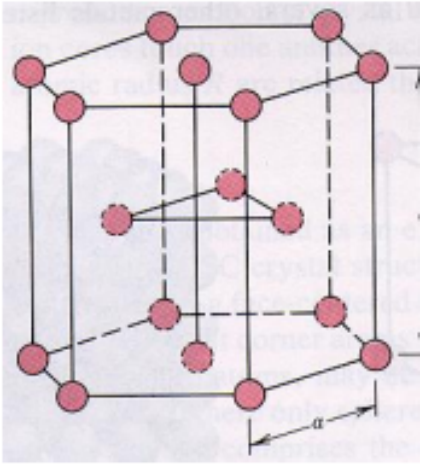


BCC (مكعب متمركز الجسم) : الذرات تترتب عند زوايا المكعب بالإضافة إلى ذرة في مركز المكعب

Metallurgy

Hexagonal Close Packed (HCP)

- Cell of an HCP lattice is visualized as a top and bottom plane of 7 atoms, forming a regular hexagon around a central atom. In between these planes is a half-hexagon of 3 atoms.
- There are two lattice parameters in HCP, *a* and *c*, representing the basal and height parameters respectively.



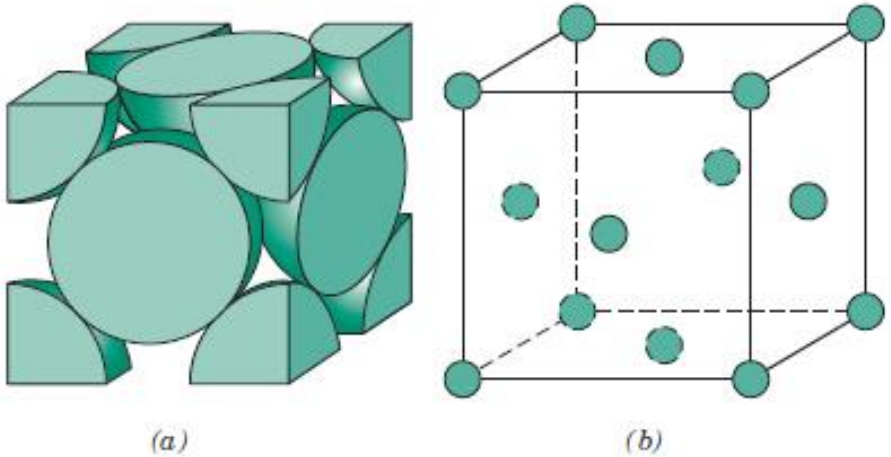
Volume $\frac{3\sqrt{3}\,a^2c}{2}$

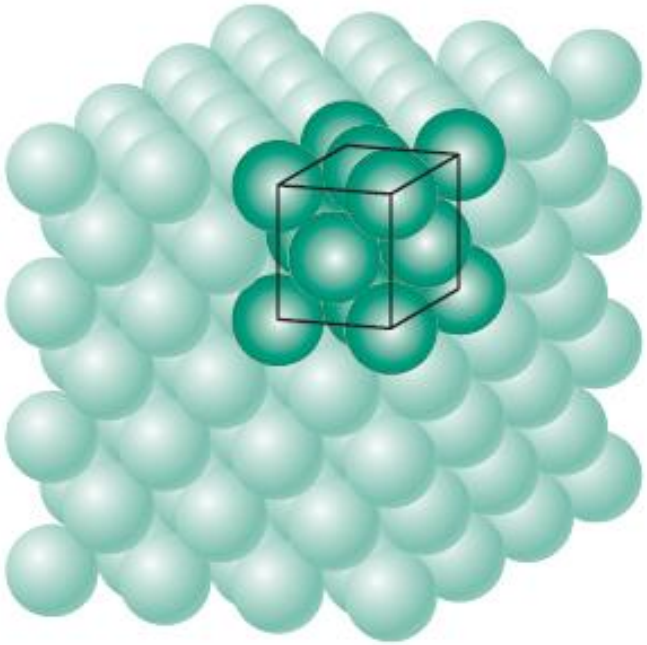
6 atoms per unit cell

HCP (السداسي المكتظ) : في هذا النظام تتوزع سبعة ذرات في كل من القاعدتين العلوية والسفلية بالاضافة الى ثلاث ذرات في مركز السداسي

Metallurgy

Unit cell





Metallurgy

Some metals have different crystal structure

امثلة على بعض المعادن مختلفة التركيب البلوري

FCC	BCC	HCP
Cu	Cr	Mg
Al	V	Zn
γ-Fe	α-Fe	Ti
Pb	δ-Fe	Cd

Metallurgy

Crystallization التبلور

Dendrite phenomenon and dendritic growth

ظاهرة التشجير والنمو الشجيري

Dendrites formation in the course of crystallization presents very general phenomenon, which is analyzed in details via the example of ice crystals growth in deionized water.

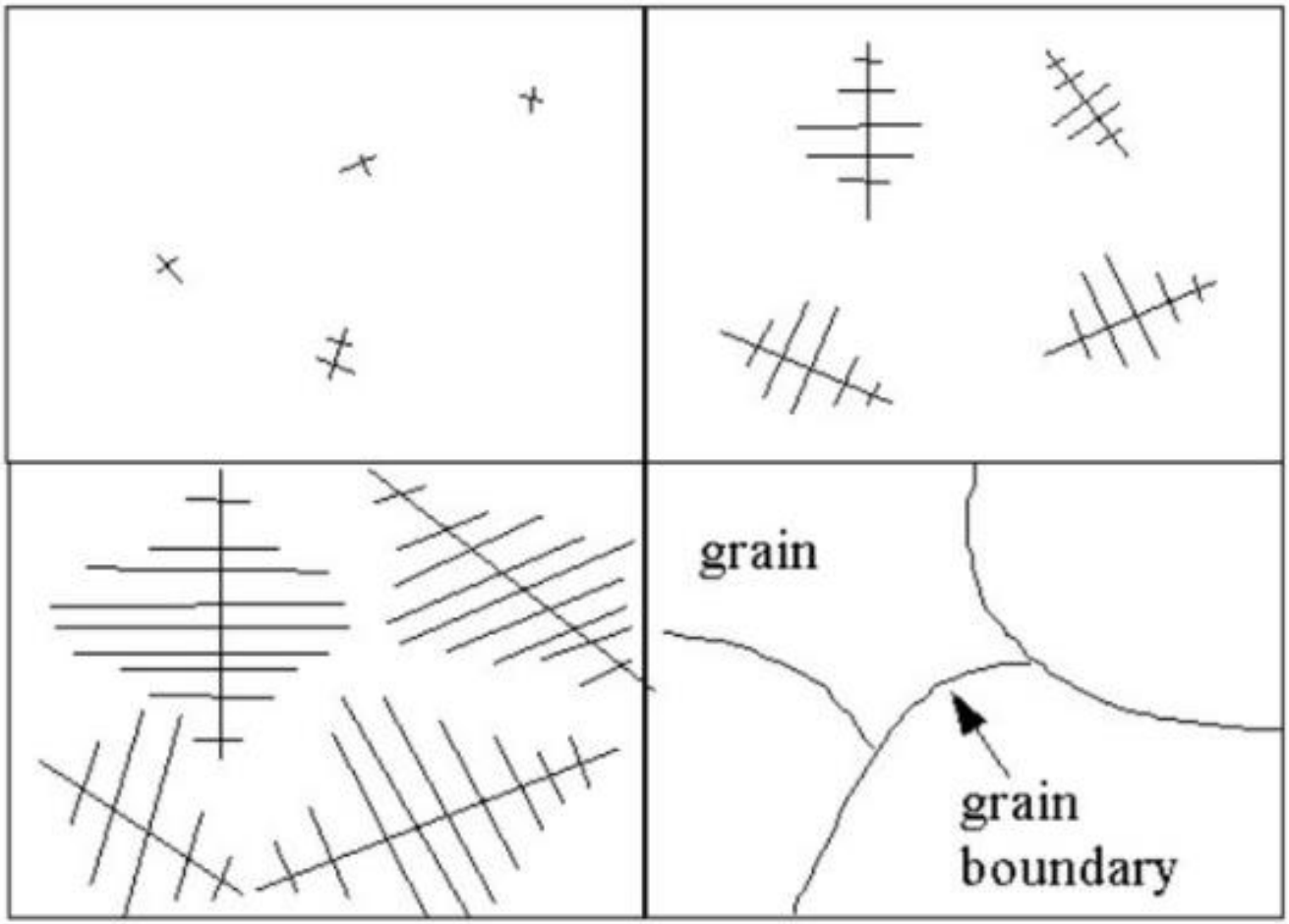
ان ظاهرة التشجير تظهر في تبلور المواد وهي ظاهرة عامة، حيث تعطى تفاصيلها كما في حالة انجماد الماء وتكوين الجليد

Stages of crystallization process during the solidification

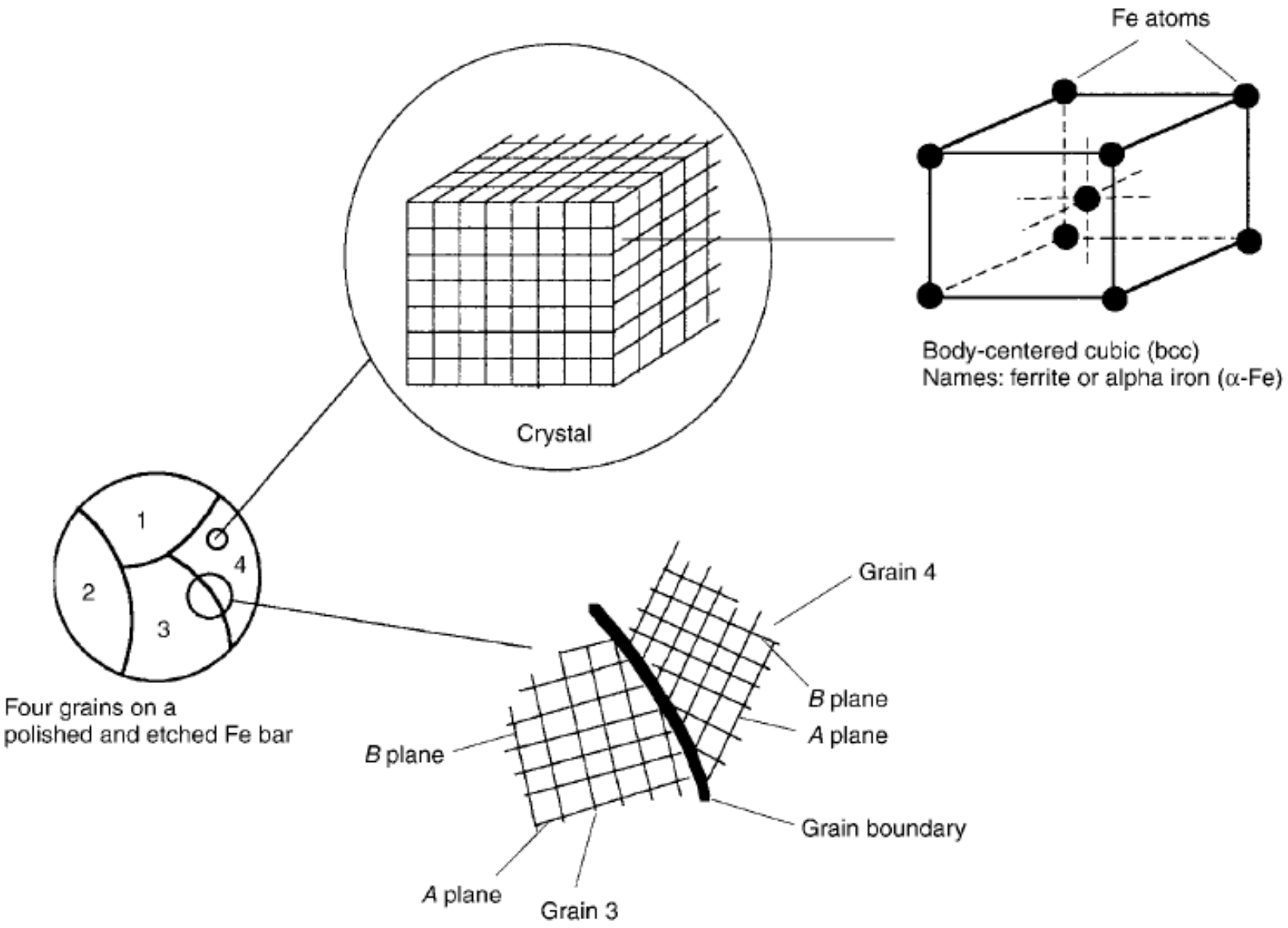
مراحل عملية التبلور في الجوامد

- Nucleus formation تكوين النويات
- Arms formation from each nucleus تكوين الاذرع الخارجة من النويات
- Arms meet التقاء الاذرع
- Grain boundary formation تكوين حدود الحبيبات (البلورات)

Metallurgy



Metallurgy


Fe atoms
Crystal
Body-centered cubic (bcc)
Names: ferrite or alpha iron (α-Fe)
1
2
3
4
Four grains on a
polished and etched Fe bar
Grain 4
B plane
A plane
B plane
Grain boundary
A plane
Grain 3

Metallurgy

Allotropy phenomenon ظاهرة التأصل

Many of the metallic elements (even some compounds such as SiO2, quartz) exist in more than one crystal structure form depending on the external conditions of temperature and pressure, A crystal structure may transform into another by the phenomenon of phase transformation if, say, temperature is changed with the evolution/absorption of heat, called latent heat of transformation.

ان بعض العناصر المعدنية (حتى بعض المركبات مثل الكوارتز واوكسيد السليكون) توجد باكثر من شبكة بلورية بالاعتماد على درجة الحرارة والضغط، وان التركيب البلوري ممكن ان يتحول ويتغير من شبكة الى اخرى عن طريق تحول طور المادة بتحول وتغيير درجات الحرارة والتي تسمى الحرارة الكامنة للطور.

Metallurgy

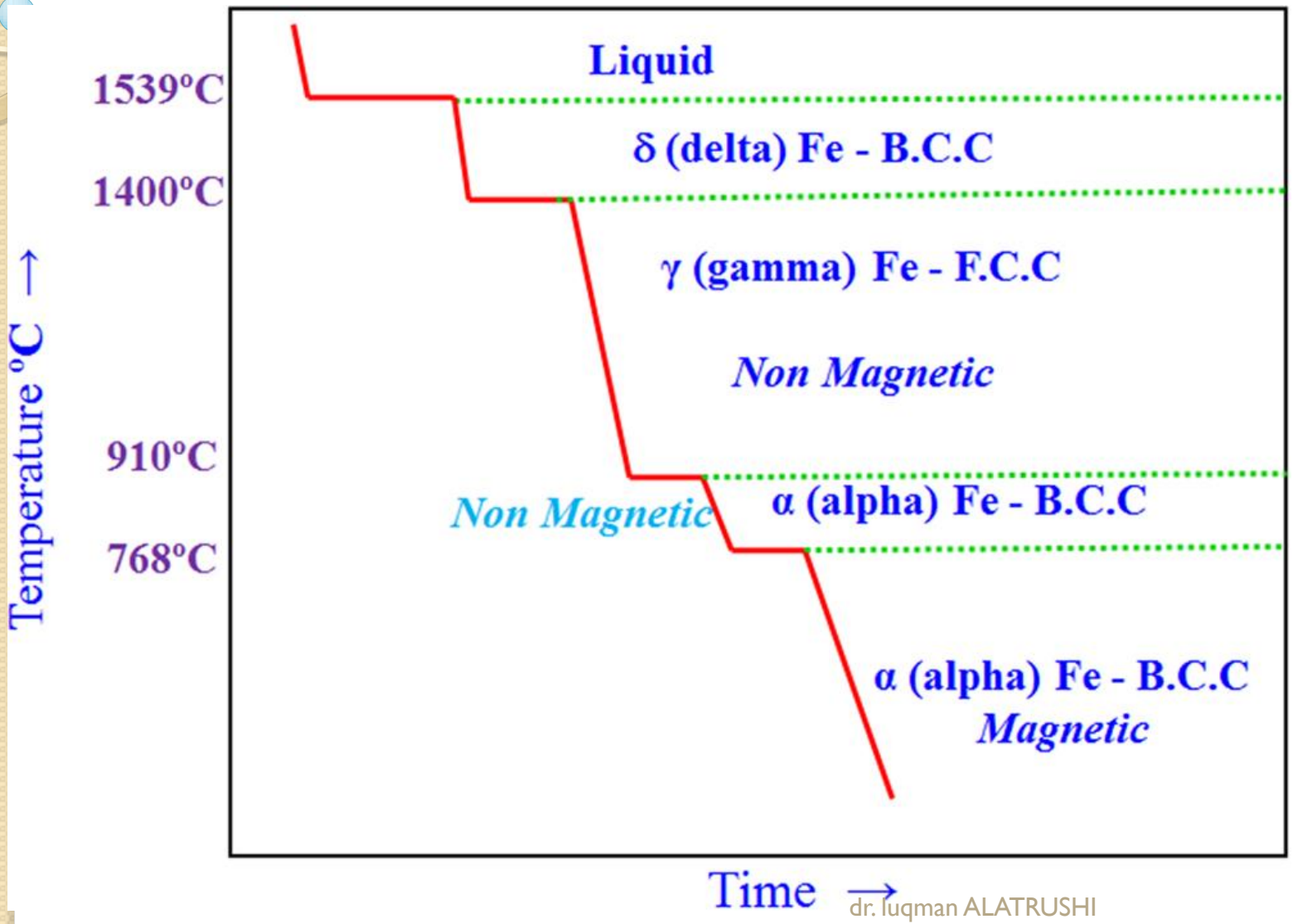
Allotropy phenomenon

The best known example of allotropy is exhibited by iron is BCC at temperatures below 910°C and above 1394°C, but FCC between 910°C and 1394°C

واقرب مثال على التأصل هو الحديد ، حيث انه يوجد بشبكلة بلورية من نوع BBC عند درجة حرارة تحت ال910°C وفوق ال 1394°C ، ويوجد في نفس الوقت بشبكة بلورية من نوع FCC بين درجتي الحرارة 910°C و 1394°C

Metallurgy

Allotropy phenomenon in iron ظاهر التآصل في الحديد



Metallurgy

The casting المسبوكات

Starting work material is either a liquid or is in a highly plastic condition, and a part is created through solidification of the material.

ان حالة المادة قبل الانجماد هي اما تكون في حالة صلبة او في حالة عجينية (لدنة)

Process in which molten metal flows by gravity or other force into a mold where it solidifies in the shape of the mold cavity.

ان عملية تكوين المسبوك هي صب المنصهر في قوالب اما باستخدام قوة خارجية او عن طريق الجاذبية الارضية ليأخذ شكل القالب.

The term ***casting*** also applies to the part made in the process (ingots) ان مصطلح السباكة يطلق على عملية تكوين المسبوك

Steps in casting seem simple: هناك ثلاث مراحل لتكوين المسبوك

1. Melt the metal صهر المعدن
2. Pour it into a mold صب المعدن في القالب
3. The solidification process عملية انجماد المعدن

Metallurgy

Some parameters which affect the grain size in casting (ingot)

بعض العوامل التي توثر على حجم البلورات (الحبيبات) في المسبوكات

- Thickness of ingot. سمك المسبوك
- A mount of super cooling. فرط التبريد
- The rate of cooling. معدل التبريد
- Chemical composition of alloy. التركيب الكيميائي للسبيكة

Metallurgy

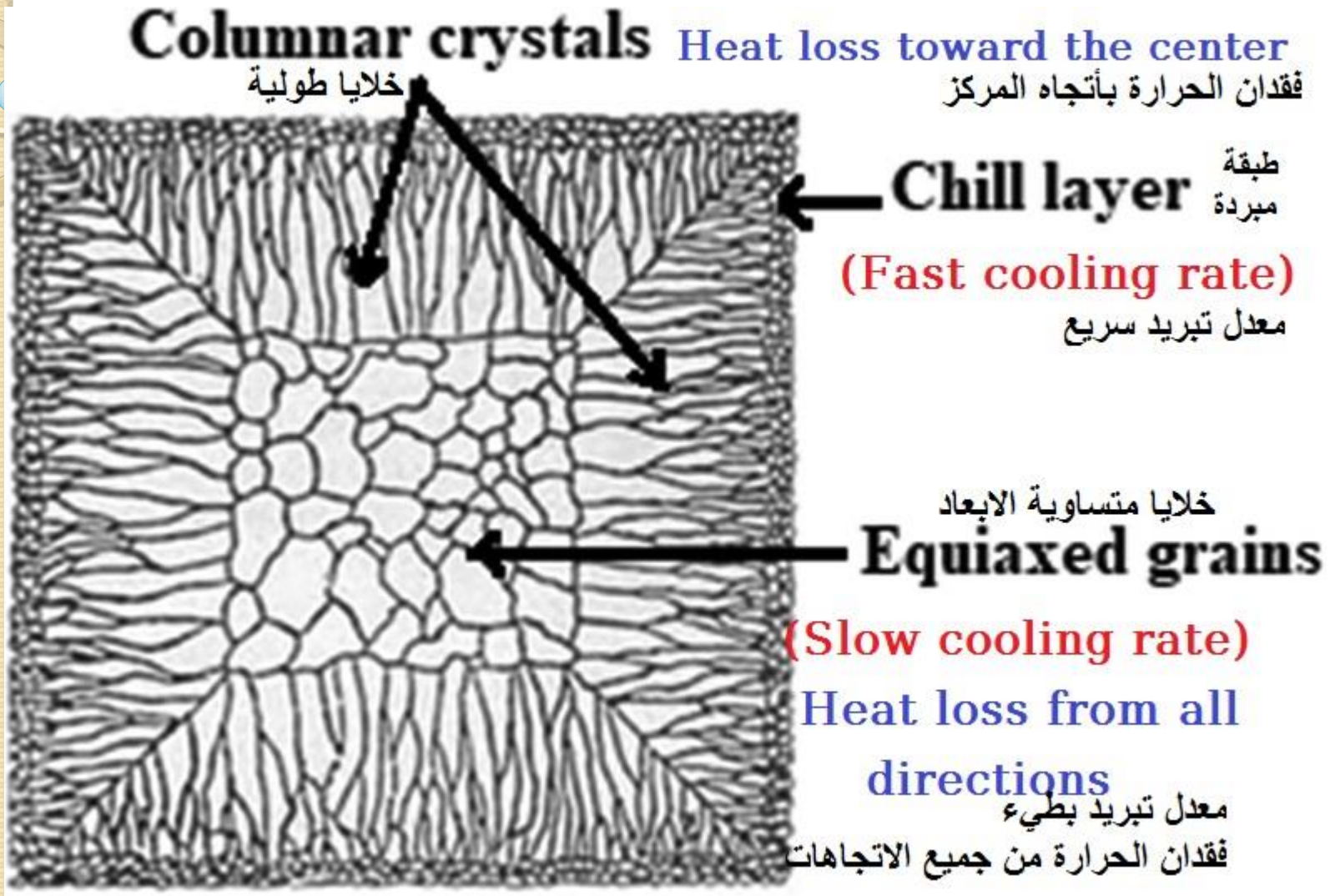
Effect of cooling rate on molten metal
تأثير معدل التبريد على المنصهر

The cooling rate affects directly grain sizes, the dropping in temperature under solidification temperature of the metal is called (super cooling), where's the increase in super cooling leads to a decrease in grain size of metal. The following figure clears the effect of cooling rate on grains size in casting.

تتأثر حجم البلورات مباشرة بمعدل التبريد. ان انخفاض درجة الحرارة تحت درجة حرارة انجماد المعدن ، تدعى « فرط التبريد»، حيث ان زيادة فرط التبريد يؤدي الى تقليل حجم الخلايا (البلورات) للمعدن.

يوضح الشكل التالي تاثير معدل التبريد على حجم الخلايا في المسبوكات.

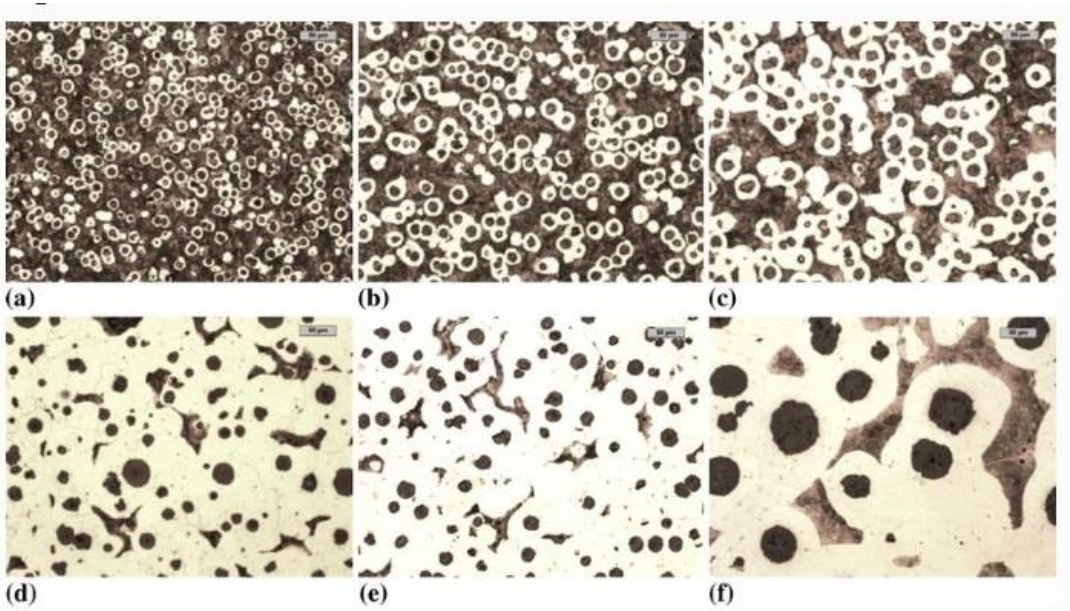
Metallurgy


Columnar crystals
خلايا طولية
Heat loss toward the center
فقدان الحرارة بأتجاه المركز
Chill layer
طبقة مبردة
(Fast cooling rate)
معدل تبريد سريع
خلايا متساوية الابعاد
Equiaxed grains
(Slow cooling rate)
Heat loss from all directions
معدل تبريد بطيء
فقدان الحرارة من جميع الاتجاهات

Metallurgy

Example of effect the ingot thickness on grains size in casting

تأثير سمك المسبوك على حجم الخلايا



Microstructure of ductile iron in castings with different wall thicknesses: (a) 2 mm (SMS mold), (b) 3 mm (SMS mold), (c) 5 mm (SMS mold) (d) 13 mm (SMS mold), (e) 2 mm (LDASC mold), and (f) 13 mm (LDASC mold). Nital etched samples

In the above figure, it is clear when casting thickness increases, the grain size increases (be coarse) also.

في الشكل اعلاه من الواضح ان سمك المسبوك كلما يزداد، فأن الخلايا تزداد حجمها ايضا

Metallurgy

Supercooling: فرط التبريد

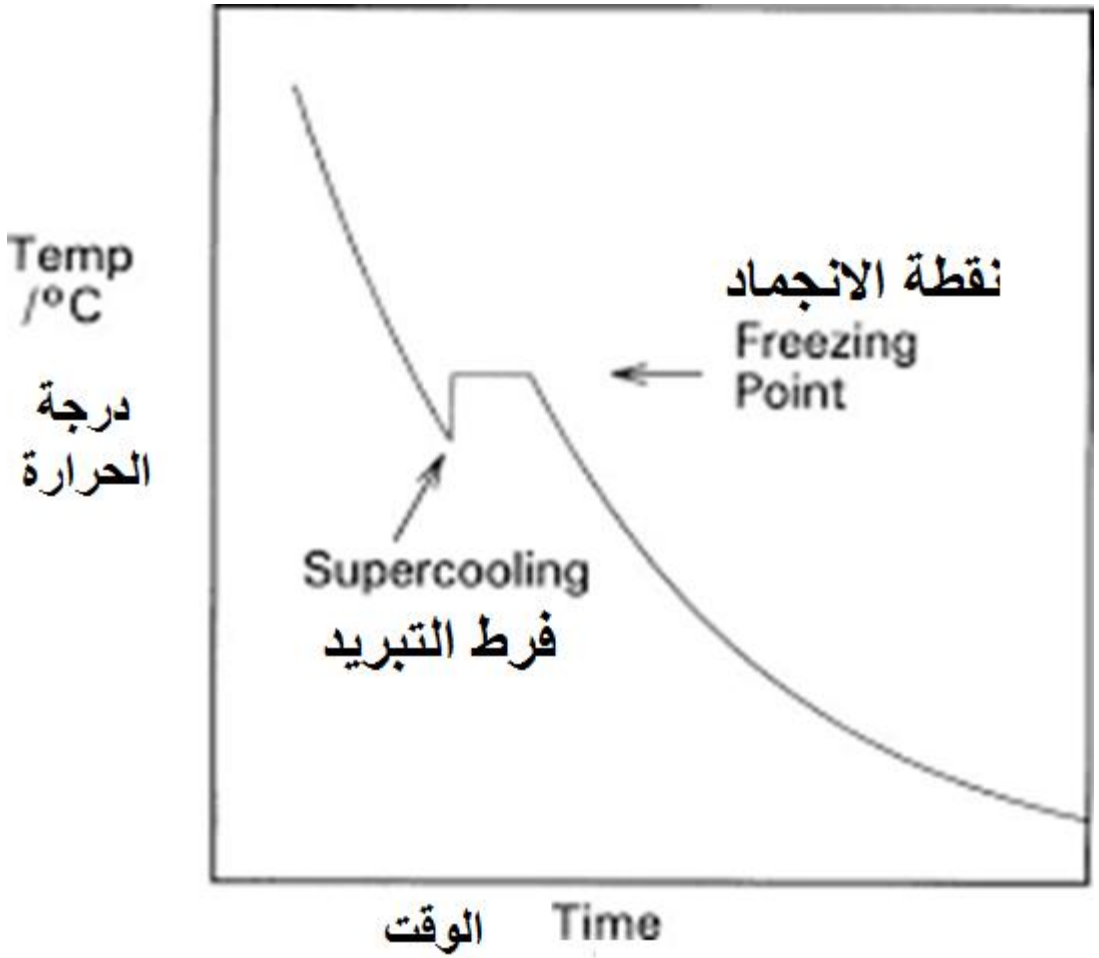
The speed of cooling affects the grain's size directly, where the dropping of temperature below the solidification temperature through a certain time is called "supercooling'.

ان سرعة التبريد اثناء انجماد المعدن تؤثر على حجم الخلايا، حيث ان انخفاض درجة الحرارة تحت درجة حرارة انجماد المعدن اثناء عملية الانجماد في وقت محدد تدعى « فرط التبريد»

The increase of supercooling leads to get on the fine grain size of metal. So, the fine grains have better mechanical properties from coarse grain size.

ان زيادة فرط التبريد تؤدي الى صغر حجم الخلايا للمعدن، حيث ان الخلايا الصغيرة الحجم يكون لها خصائص ميكانيكية افضل من الخلايا كبيرة الحجم. وكما موضح في الشكل ادناه

Metallurgy



شكل يوضح عملية فرط التبريد

Metallurgy

Mechanical properties الخواص الميكانيكية

The **mechanical properties of materials** define the behaviour of materials under the action of external forces called loads.

الخواص الميكانيكية للمواد هي كيفية تصرف المواد تحت تاثير القوة الخارجية (الاحمال)

Mechanical properties are also useful for help to specify and identify the metals. And the most common properties considered are strength, hardness, ductility, brittleness, toughness, stiffness and impact resistance.

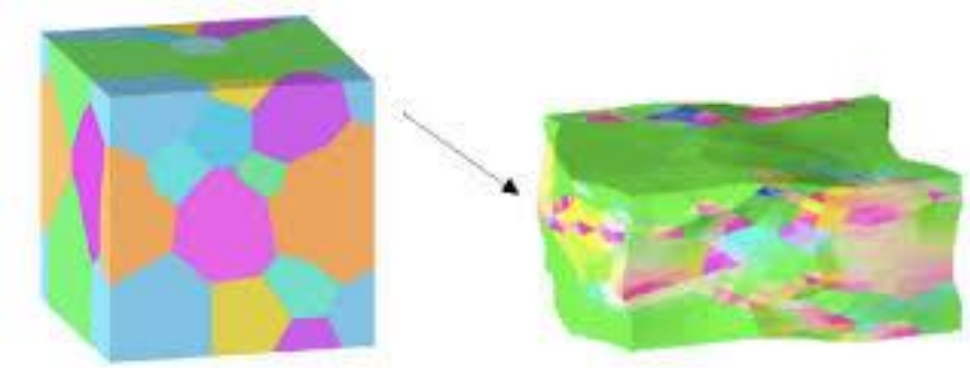
Metallurgy

Strength

Strength is the mechanical property that enables a metal to resist deformation load.

The strength of a material is its capacity to withstand destruction under the action of external loads.

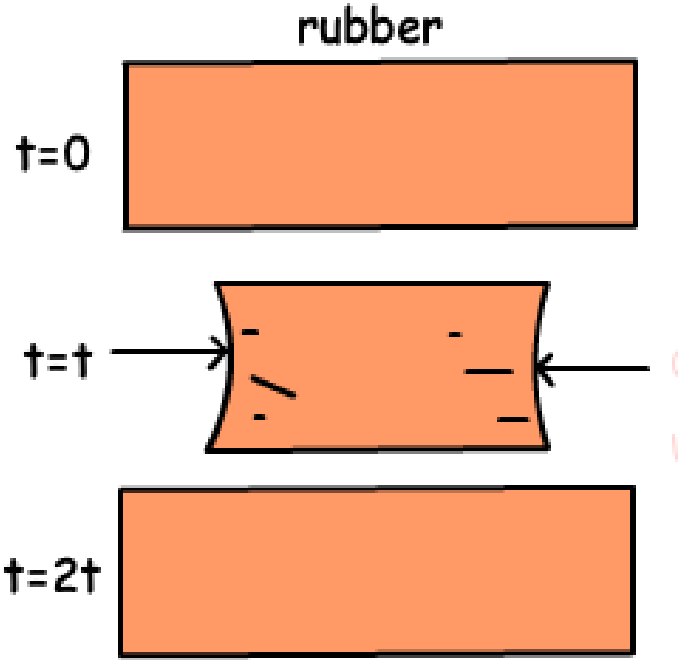
- The stronger the materials the greater the load it can withstand.



Metallurgy

Elasticity

- The elasticity of a material is its power of coming back to its original position after deformation when the stress or load is released.



Metallurgy

Plasticity

The plasticity of a material is its ability to undergo some permanent deformation without rupture (brittle).

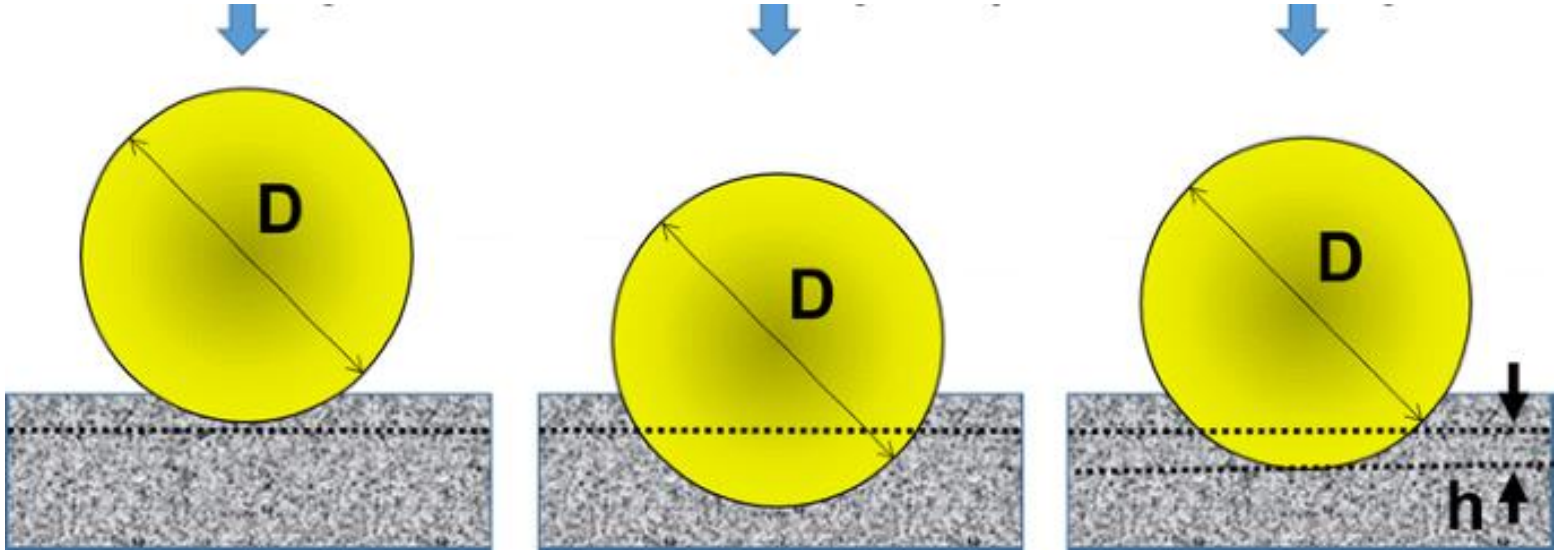
Plastic deformation will take place only after the elastic range has been exceeded.

Metallurgy

Hardness

The hardness is the ability of a material to resist scratching, abrasion, cutting or penetration.

The resistance of a material to force penetration is hardness.



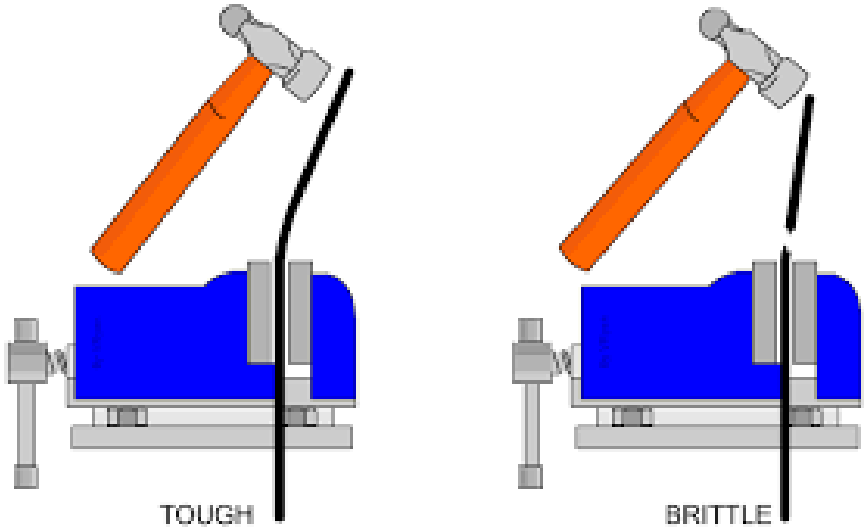
Metallurgy

Toughness

Toughness is a fundamental material property measuring the ability of a material to absorb energy and withstand shock up to fracture.

Or the ability of materials to absorb energy under impact load.

- Toughness is the opposite condition of brittleness



Metallurgy

Brittleness

Brittleness describes the property of a material that fractures when subjected to stress but has a little tendency to deform before rupture.

*A material that experiences very little or no plastic deformation upon fracture is termed brittle

Generally, the brittle metals have high compressive strength but low in tensile strength.

Brittle Fracture

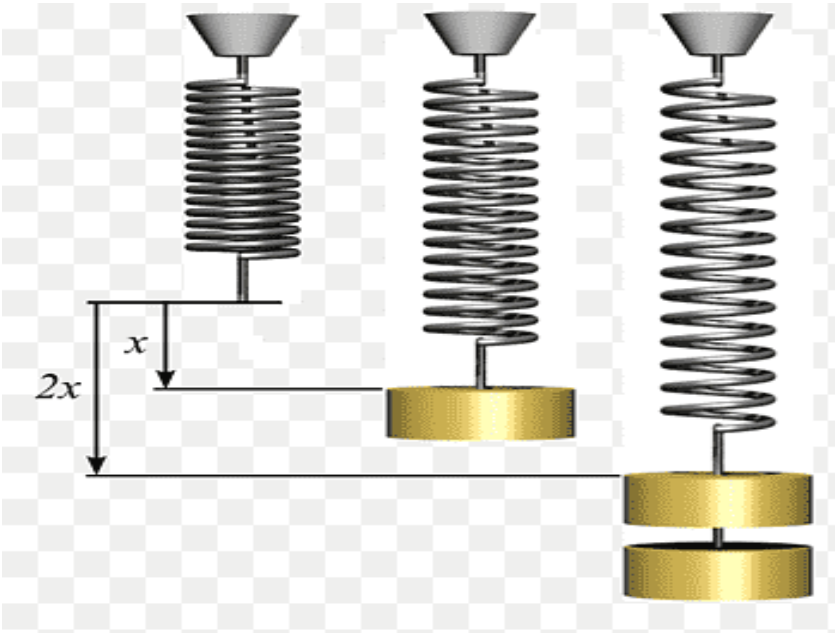
Ductile Fracture

Metallurgy

Stiffness

The stiffness is the resistance of a metal to elastic deformation or deflection.

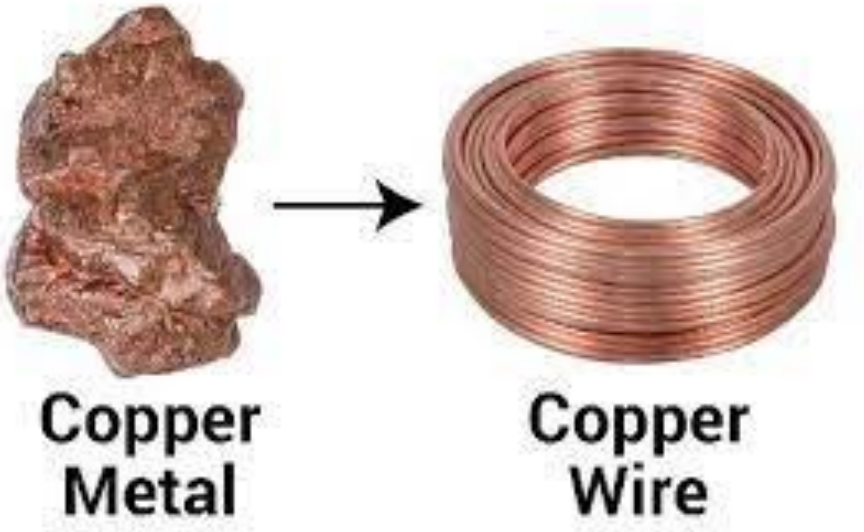
In stiffness, a material which suffers light deformation under load has a high degree of stiffness.



Metallurgy

Ductility

Ductility is the ability of a material to be drawn out longitudinally to a reduced section without fracture under the action of a tensile force. In general, all metals are ductile at elevated temperatures.



Metallurgy

Impact Strength

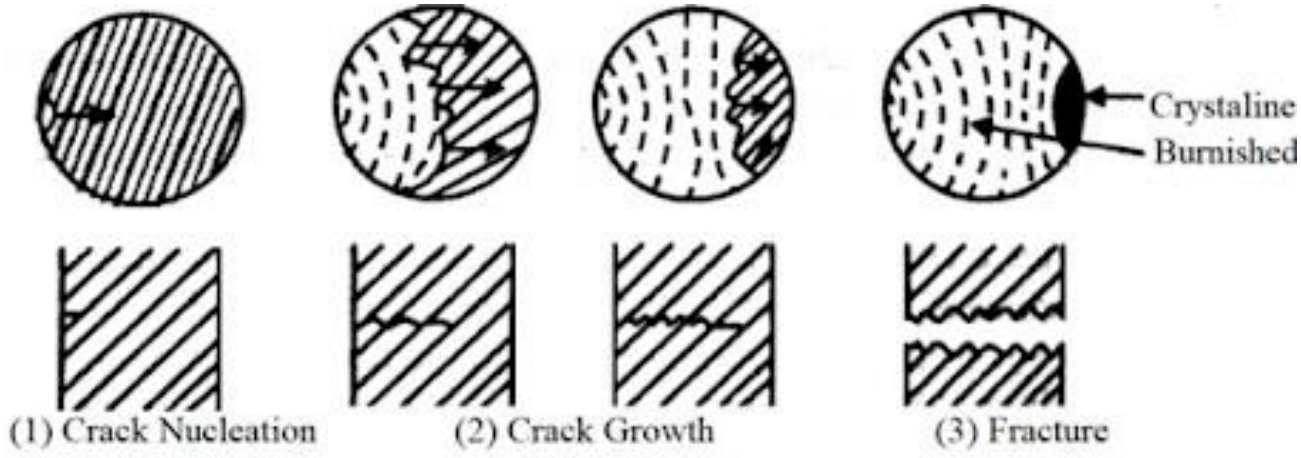
The impact strength is the ability of a metal to resist suddenly applied loads.

Metallurgy

Fatigue

- Fatigue is the initiation and propagation of cracks in a material due to cyclic loading. Once a fatigue crack has initiated, it grows a small amount with each loading cycle.

Or it is the ability of metals to resistance the failure under repeated loads.



Metallurgy

Creep

- The creep is a slow and progressive deformation of a material with time at a constant force.

The force for a specified rate of strain at constant temperature is called creep strength.

Metallurgy

Defects in crystals

The arrangement of the atoms in all materials contains imperfections which have profound effect on the behavior of the materials.

العيوب في البلورات
ان ترتيب الذرات في كل المواد تحتوي على العيوب والتي تؤثر بشدة على سلوك المواد.

By “crystalline defect” is meant a lattice irregularity having one or more of its dimensions on the order of an atomic diameter. Classification of crystalline imperfections is frequently made according to geometry or dimensionality of the defect.

يقصد بعبارة "عيب بلوري" عدم انتظام الشبكة البلورية التي فيها اختلاف في واحد أو أكثر من أبعادها بترتيب القطر الذري. غالبًا ما يتم تصنيف العيوب البلورية وفقًا لهندسة أو أبعاد العيب.

Metallurgy

The importance of defects اهمية العيوب

There are a lot of properties that are controlled or affected by defects, for example:

هناك الكثير من الخواص التي تدار او تتأثر بالعيوب، مثلا:

- Electric and thermal conductivity in metals (strongly reduced by point defects).

  قابلية التوصيل الحراري والكهربائي في المعادن (تقل بشكل كبير بوجود العيوب)

- Electronic conductivity in semi-conductors (controlled by substitution defects).

- قابلية التوصيل الالكتروني في اشباه الموصلات (تتأثر بواسطة العيوب النقطية الابدالية)

- Diffusion (controlled by vacancies).

- ظاهرة الانتشار (تتأثر بواسطة الفراغات)

Metallurgy

The importance of defects اهمية العيوب

- Ionic conductivity (controlled by vacancies).
قابلية التوصيل الايوني (تتاثر بواسطة الفراغات)

- Plastic deformation in crystalline materials (controlled by dislocation).
التشوه اللدن في المواد البلورية (تتأثر بواسطة الانخلاعات)

- Colors (affected by defects). الالوان (تتاثر بواسطة العيوب)

- Mechanical strength (strongly depended on defects).
- المقاومة الميكانيكية (تتأثر بشدة بالاعتماد على العيوب)

Metallurgy

Lattice defects can be classified into four types:

ممكن تصنيف العيوب في الشبكات البلورية نحو اربع انواع:

1. Point defects: العيوب النقطية
   - Vacancies الفراغات
   - interstitial defects العيوب البينية
   - substitution defects العيوب الابدالية
2. Line defect: العيوب الخطية
   - screw dislocation الانخلاعات اللولبية
   - edge dislocation الانخلاعات الحافية
3. Surface defects: العيوب السطحية
   - material surface سطح المواد
   - grain boundaries (البلورة) حدود الخلايا
4. Bulk or volume defects العيوب الحجمية
   - Porosity المسامات
   - Inclusions الشوائب
   - Cracks الشقوق

Metallurgy

Point defects العيوب النقطية

Vacancy – An atom missing from regular lattice position.

- Vacancies are present invariably in all materials
- الفراغات: عبارة عن فراغ تتركه الذرة نتيجة فقدانها من موقعها في الشبكة البلورية.

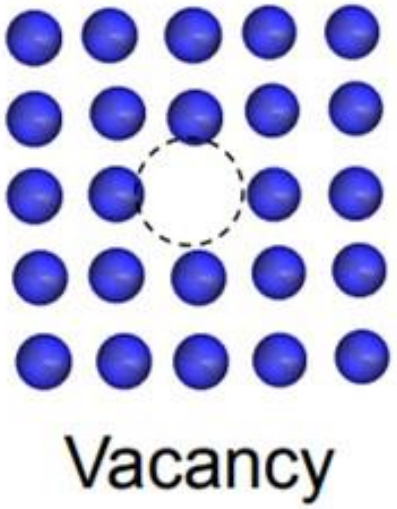
Interstitial defect: An atom trapped in the interstitial point (a point intermediate between regular lattice points) is called an interstitial defect.

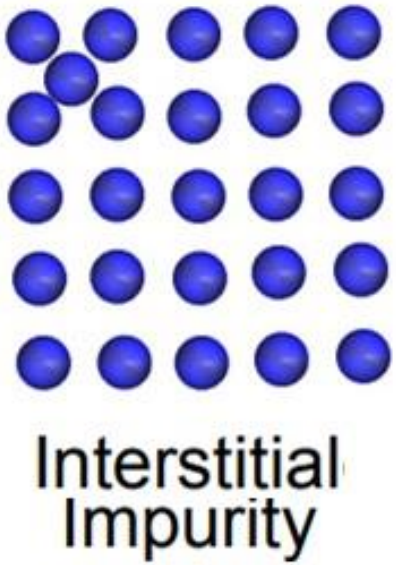
العيوب البينية: تحتل الذرة مكانة بينية في الشبكة البلورية (النقطة البينية هي نقطة بين نقاط الشبكة البلورية المنتظمة) وتدعى العيب البلوري.

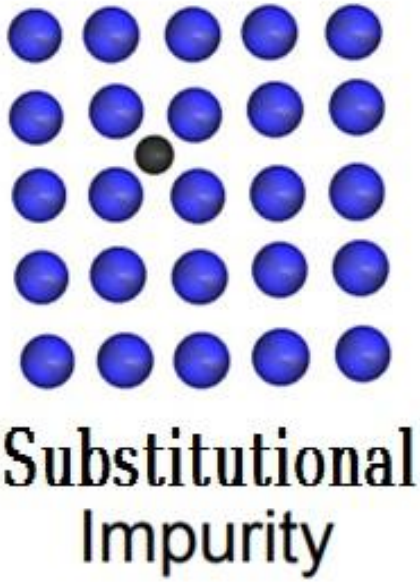
Substitutional impurity: An atom at the regular or interstitial position in the lattice is another type of point defect.

العيب الابدالي: تحتل الذرة مكانة بدلا من ذرة اخرى في الشبكة البلورية والتي تدعى العيب الابدالي.

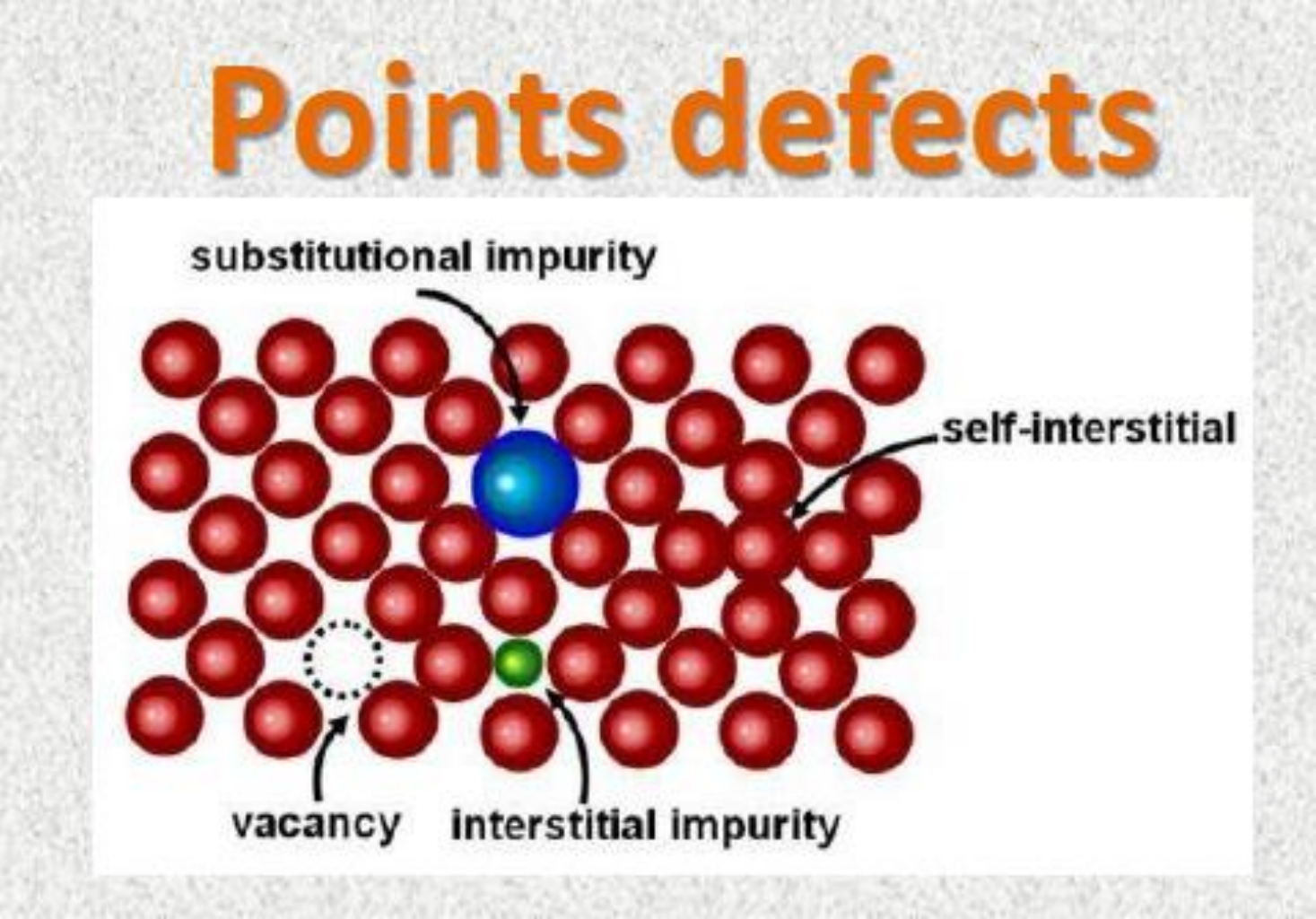
Metallurgy







Metallurgy


Points defects
substitutional impurity
self-interstitial
vacancy
interstitial impurity

Metallurgy

Line defect: العيب الخطي

- Edge dislocation الانخلاع الحافي
- Screw dislocation الانخلاع اللولبي

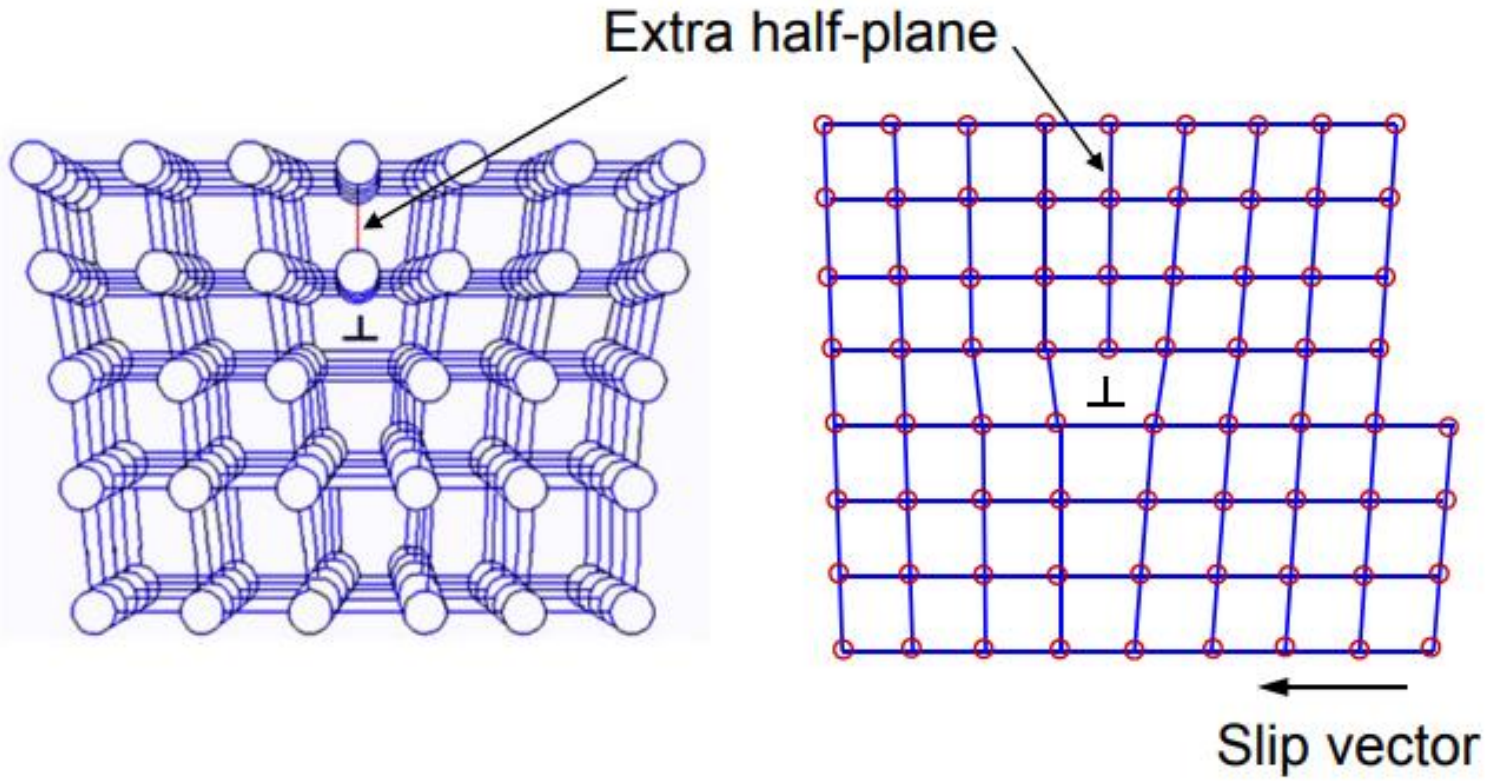
A *dislocation* is a linear or one-dimensional defect around which some of the atoms are misaligned.

الانخلاع هو عيب خطي تكون فيه الذرات مفقودة على طول الخط

Metallurgy

Line defect:

- edge dislocation



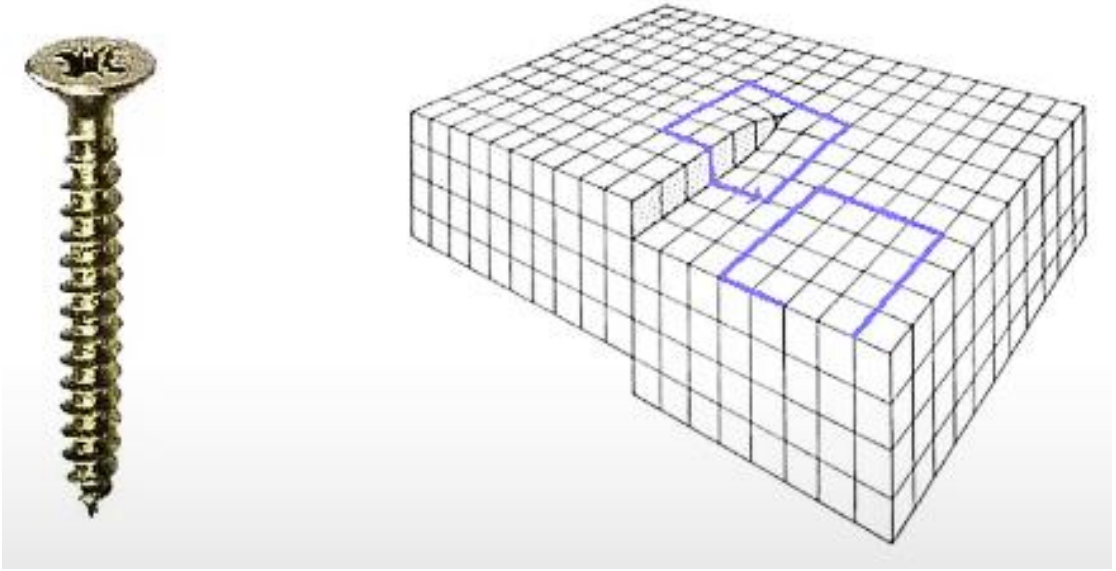
Metallurgy

Line defect:

- Screw dislocation الانخلاع اللولبي

a dislocation in the lattice structure of a crystal in which the atoms are arranged in a helical pattern that is normal to the direction of the stress.

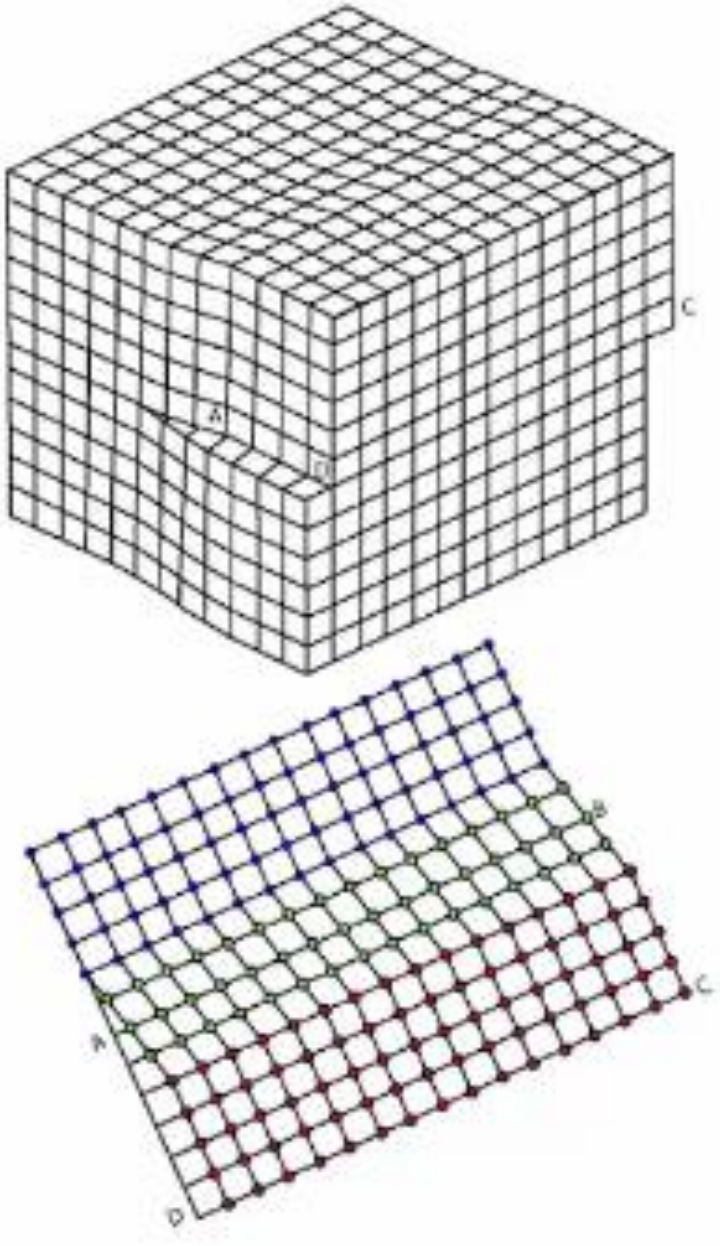
الانخلاع اللولبي في الشبكة البلورية (التركيب البلوري) للبلورة عبارة عن نقص مستوى من الذرات بحيث تترتب بشكل حلزوني وعمودي على القوة .



Metallurgy

Line defect:

- screw dislocation



Metallurgy

Surface defects: العيوب السطحية

- Material surface سطح المادة
- Grain boundaries حدود البلورات

Material surface: The defects of material surface can be divided into two types of imperfections, internal defects (near from surface) such as,: cracks, and porosity, and external defects such as: inclusion and oxides.

ان العيوب السطحية ممكن ان تقسم الى نوعين، عيوب سطحية داخلية (قريبة من السطح) مثل الشقوق والمسامات، وعيوب سطحية خارجية مثل الشوائب والاكسدة.

Metallurgy

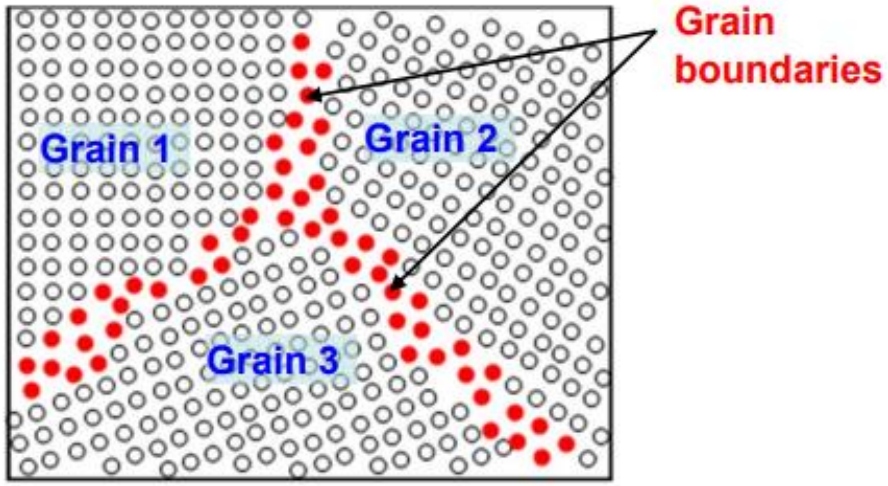
Surface defects: العيوب السطحية

- Material surface سطح المادة
- Grain boundaries حدود البلورات

Material surface

Most crystalline solids are an aggregate of several crystals. Such materials are called polycrystalline. Each crystal is known as a grain. The boundary between the grains is the grain boundary

معظم الجوامد البلورية تتكون من مجموعة متراكمة من البلورات والتي تدعى جوامد متعددة البلورات، وكل بلورة تدعى خلية والحدود التي بين الخلايا تدعى حدود الخلية (حدود البلورة)



Metal forming

Metal forming can be defined as a process in which the desired size and shape are obtained through the deformation of metals plastically under the action of externally applied forces.

يمكن تعريف عملية تشكيل المعادن بأنها عميلة الحصول على الشكل والحجم المطلوب من خلال تأثير القوى الخارجية على المواد المشكلة بصورة لدنة.

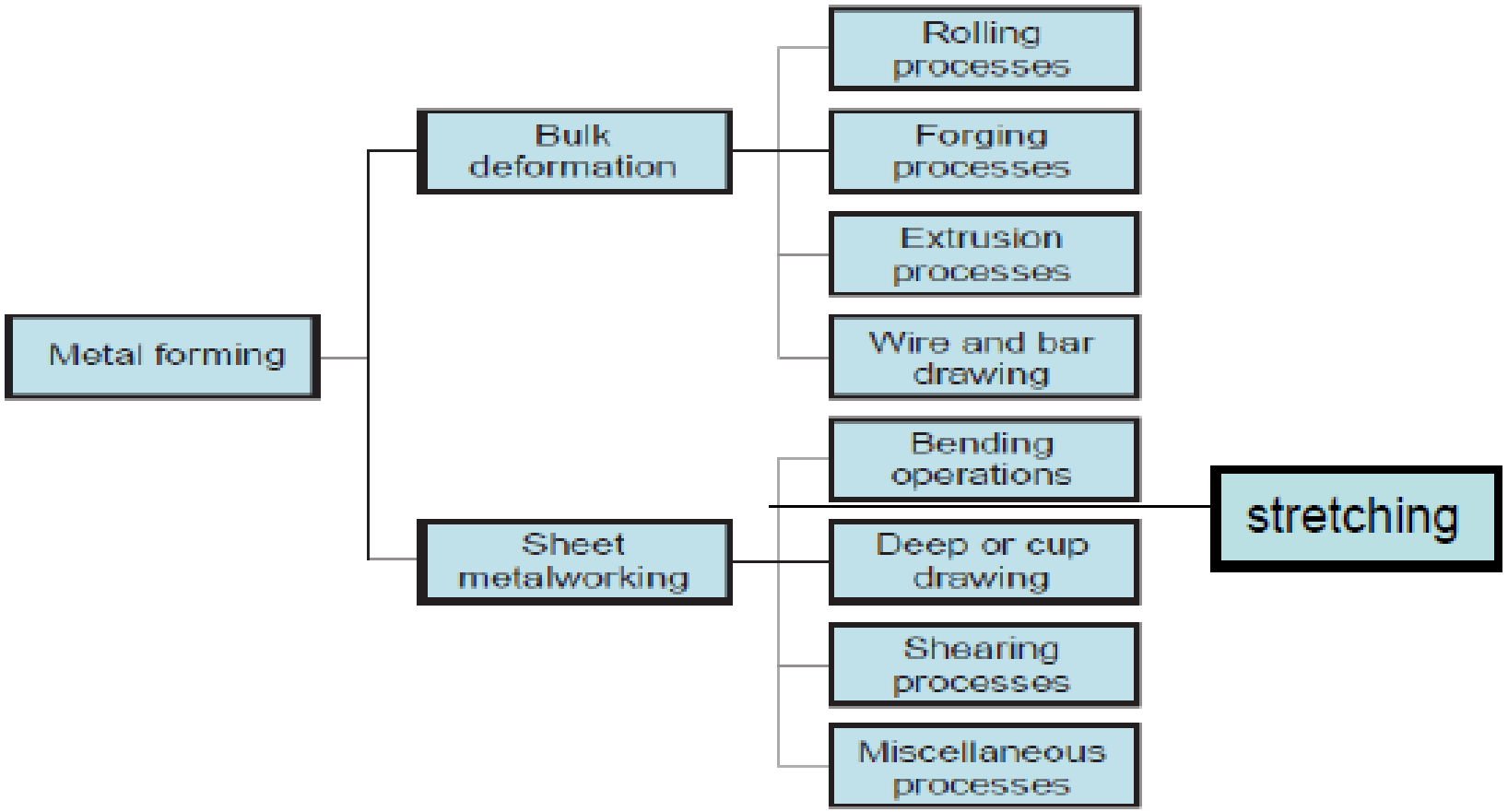
Metal forming processes like rolling, forging, drawing extrusion …etc. are gaining ground lately. It is due to the fact that metal forming is the wasteless process which is highly economical.

ان عمليات تشكيل المعادن مثل الدرفلة، الحدادة، السحب والبثق...الخ، حققت مكاسب كبيرة في الاونة الاخيرة. حيث انها من العمليات الاقتصادية الكبيرة بسبب عدم وجود خسارة (فقدان) في المعدن اثناء التشكيل.

Metal forming processes give high dimensional accuracy, easy formability for complex shapes and good surface finish with desired metallurgical properties.

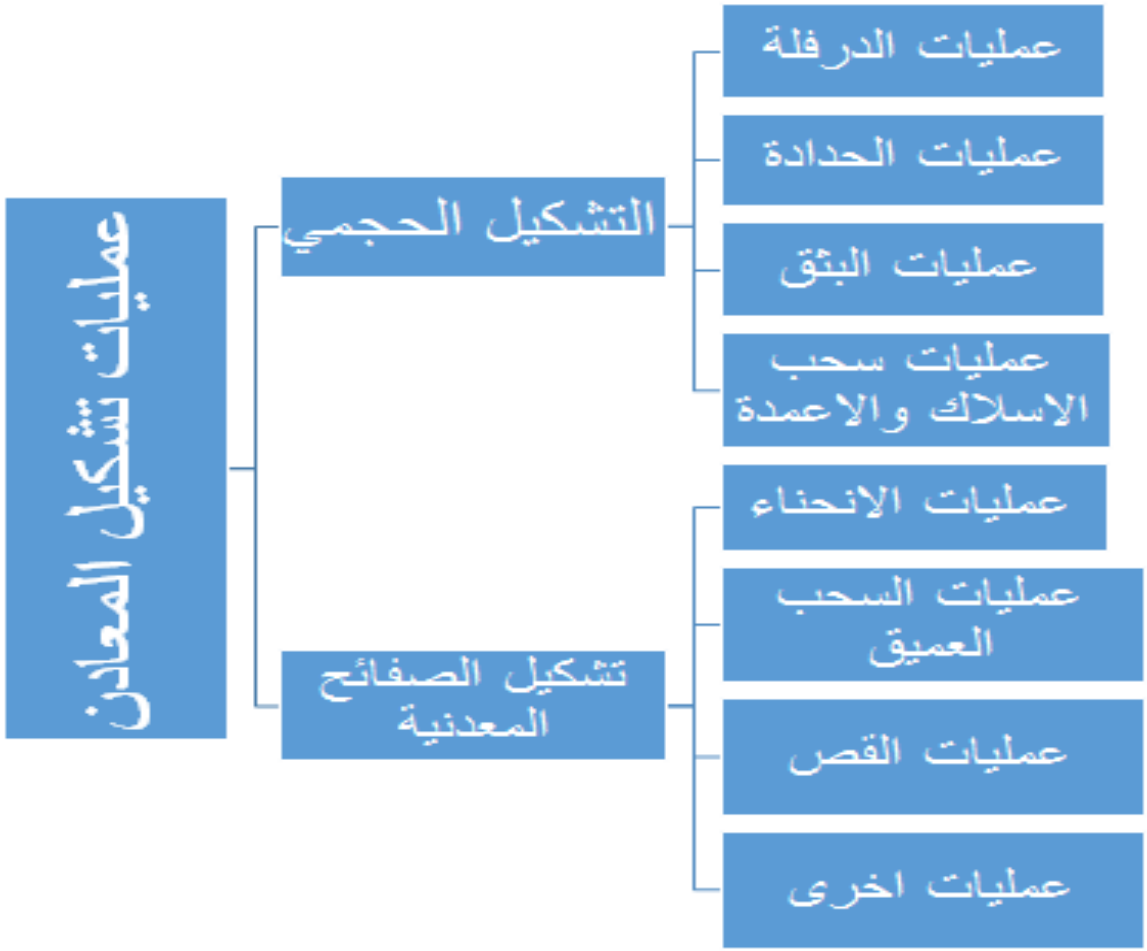
ان عمليات تشكيل المعادن تمتاز بدقة عالية في الابعاد، سهولة تشكيل الاشكال المعقدة، والحصول على اسطح ذات خواص ميكانيكية جدية.

Metal forming



General classification of metal forming processes

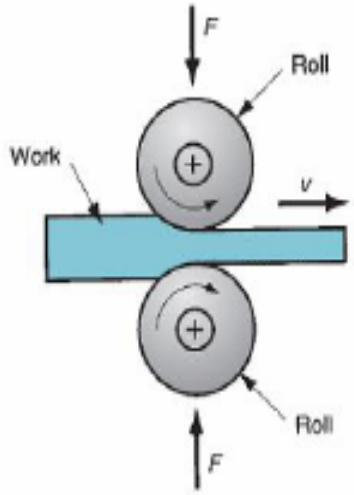
Metal forming



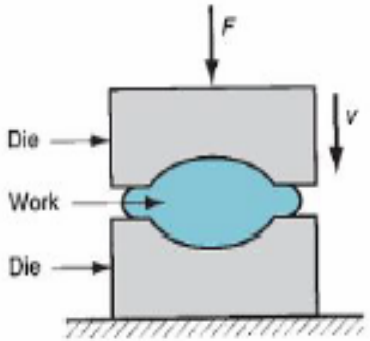
التصنيف العام لعمليات تشكيل المعادن

Metal forming

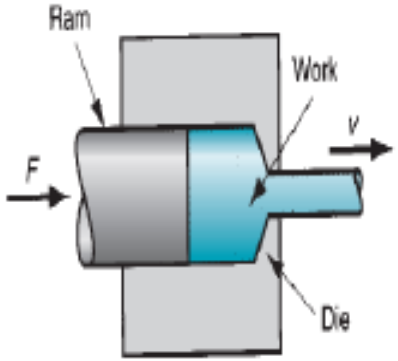
Classification of basic bulk forming processes



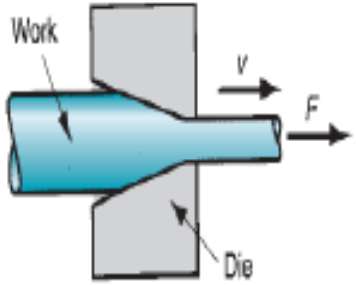
Rolling



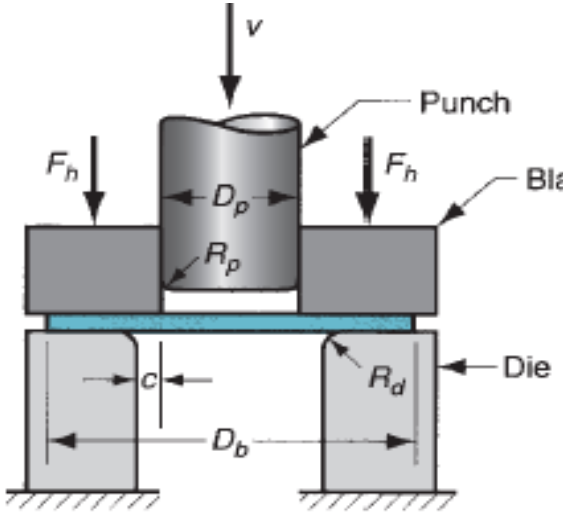
Forging

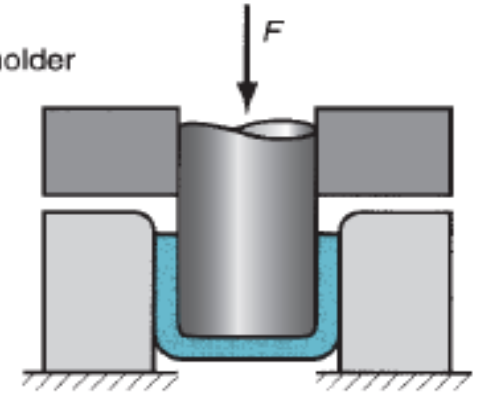


Extrusion

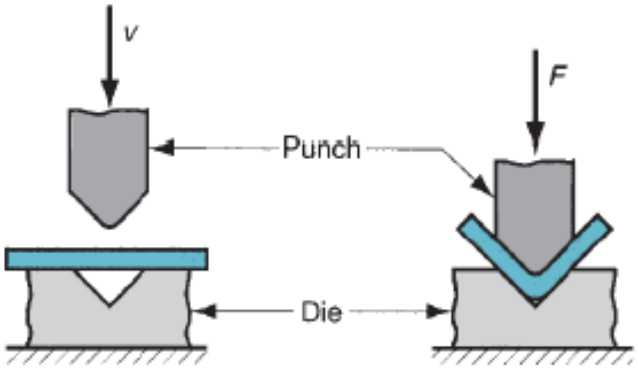


Wire drawing

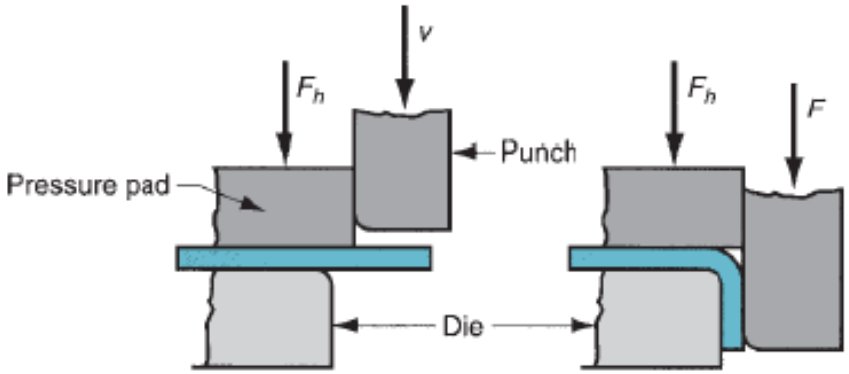




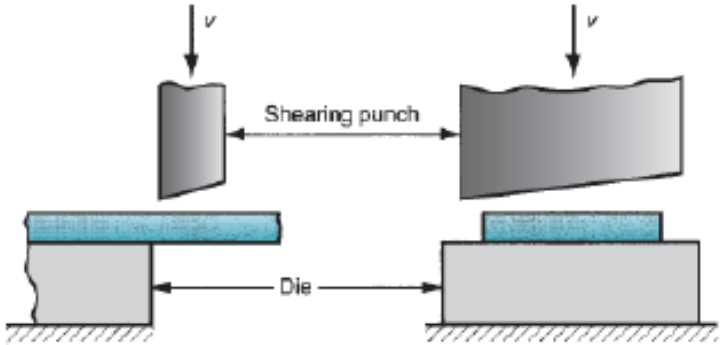
Metal forming



V-bending



Edge bending



shearing

Metal forming

ELASTIC AND PLASTIC DEFORMATIONS

التشكيل المرن واللدن

Deformation is the change in dimensions or form under the action of applied load. Deformation is caused either by mechanical action of external load or by various physical and physicochemical processes. The process of deformation comprises the following consecutive stages

ان عملية التشكيل هي عميلة تغيير في ابعاد وشكل المعدن تحت تاثير الحمل المؤثر. تحصل عملية التشكيل اما ميكانيكيا تحت تأثير القوة الخارجية او من خلال مختلف العمليات الفيزيائية والكيميائية الفيزيائية. وتشمل عمليات التشكيل المراحل الاتية:

(a) Elastic deformation التشكيل المرن
(b) Plastic deformation التشكيل اللدن
(c) Fracture الفشل

Metal forming

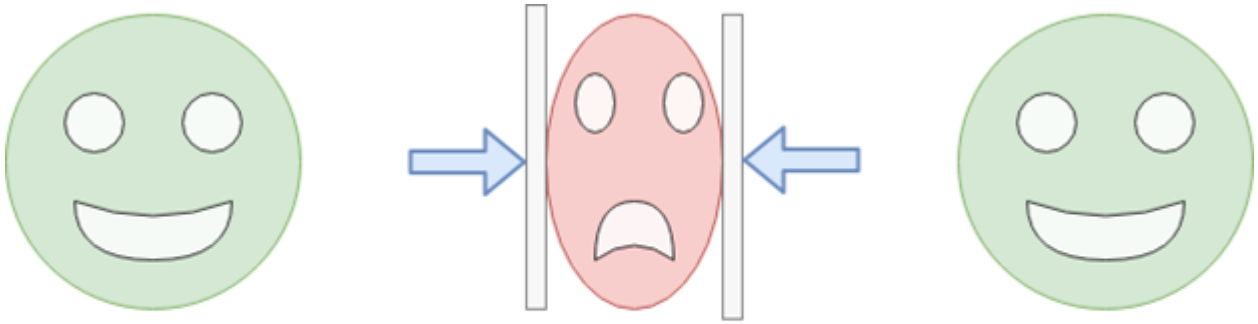
Elastic deformation of a material is its power of coming back to its original position after deformation when the stress or load is removed i.e., deformation completely disappears after removal of load.

ان عمليات التشكيل المرن للمواد عبارة عن طاقة تعمل على اعادة المادة الى شكلها الاصلي بعد زوال الاجهاد او الحمل الخارجي، يعني ان اثار التشكيل تختفي تماما بعد زوال الحمل.

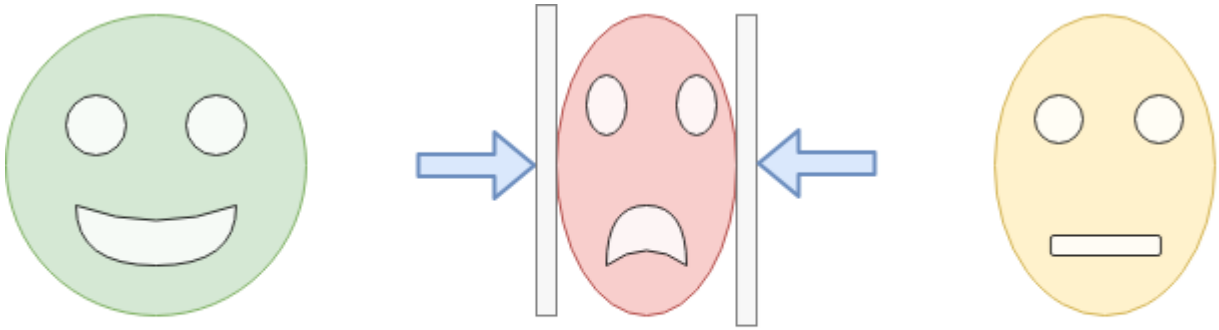
The plastic deformation means that the material undergoes some degree of permanent deformation without failure on application of load. Plastic deformation will take place only after the elastic range has been exceeded. Plastic deformation is important in case of forming, shaping,

ان عمليات التشكيل اللدن تعني ان المواد تخضع الى تشوه دائم بدون فشل تحت تاثير الحمل.
عملية التشكيل اللدن تحدث بعد تجاوز المادة حد التشكيل المرن.
التشكيل اللدن له اهمية للحصول على الشكل المطلوب.

Metal forming

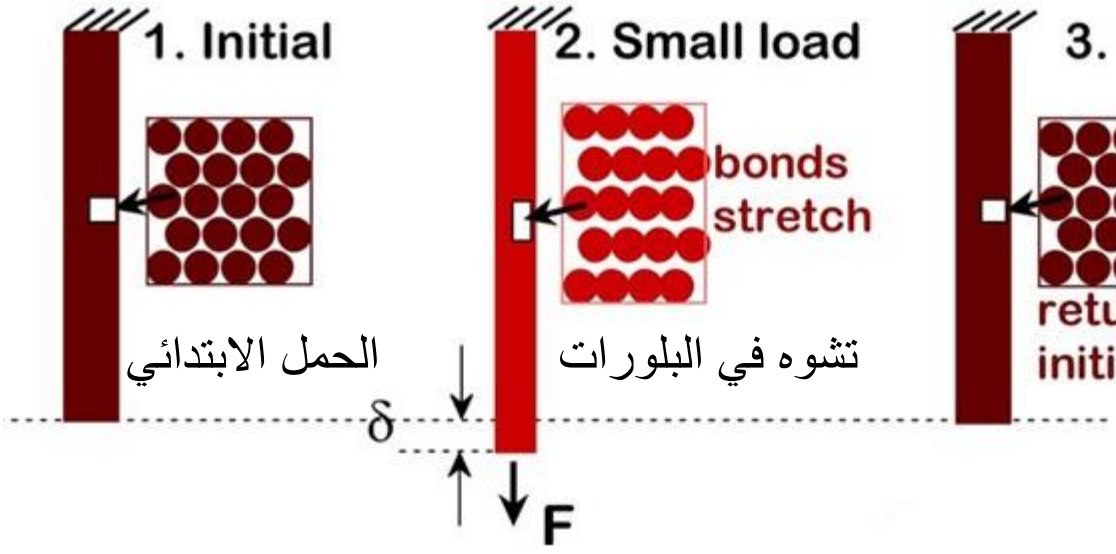


Elastic

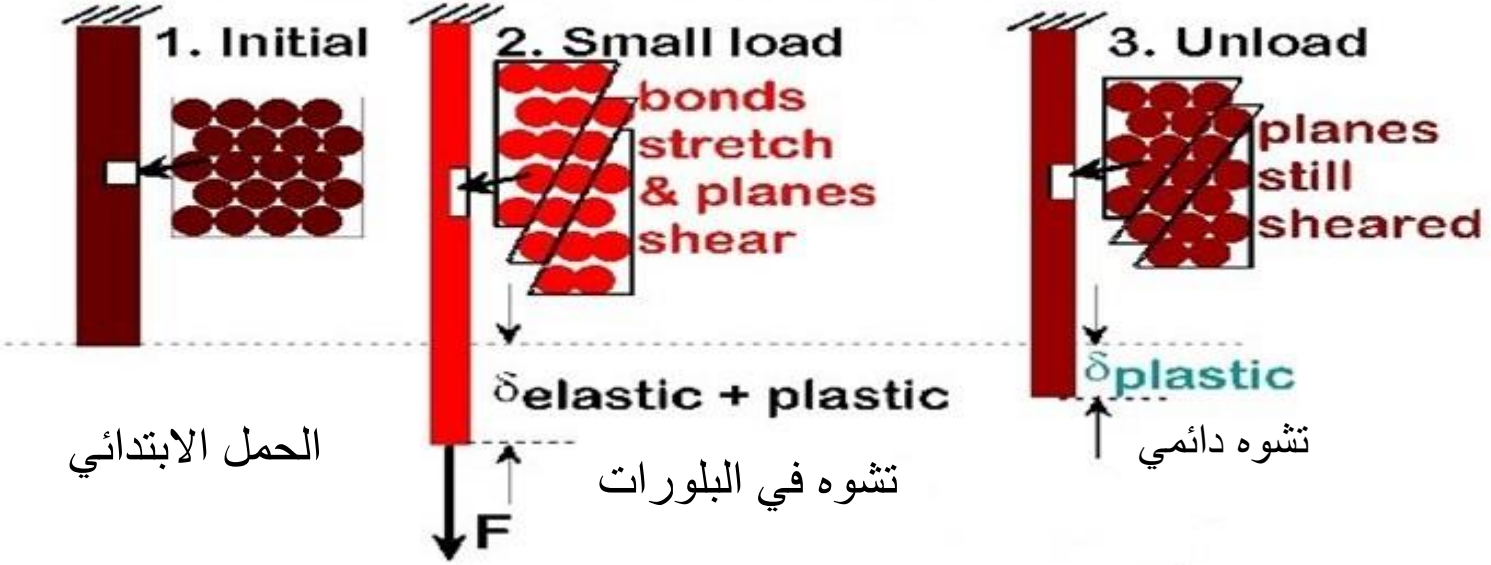


Plastic

ELASTIC DEFORMATION التشوه المرن



PLASTIC DEFORMATION



Metal forming

The plastic deformation of metals may occur in the following ways

ان آليات التشكيل تحدث بالطرق التالية:

(1) By slip بواسطة الانزلاق
(2) By formation of twins بواسطة التوأمة

Metal forming

•The process by which plastic deformation is produced by dislocation motion is called slip (movement of dislocations).

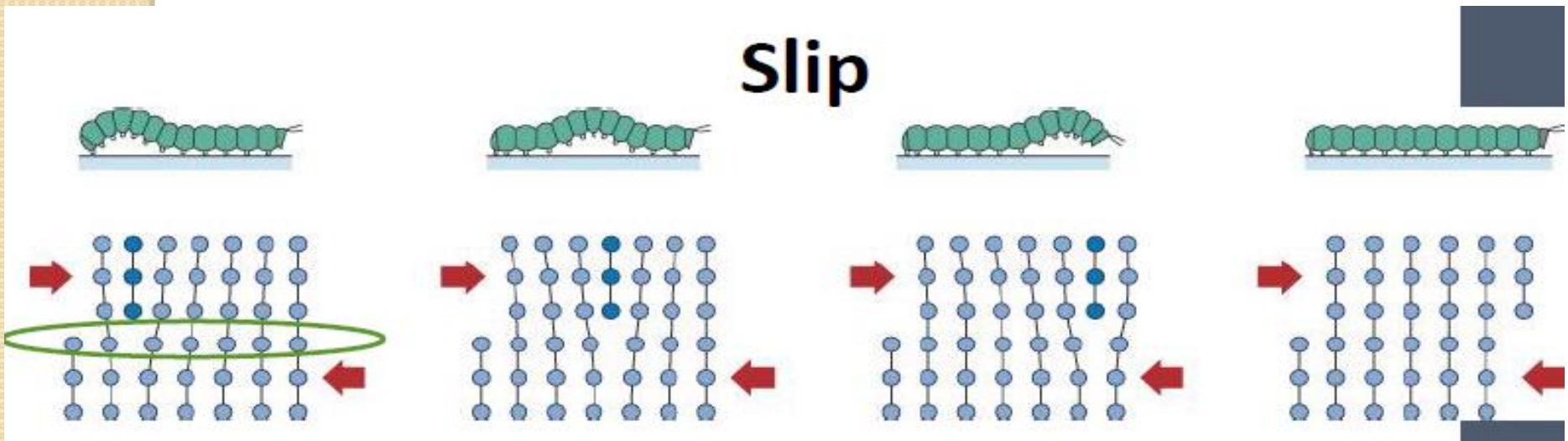
ان عملية التشكيل اللدن التي تحدث بواسطة الانخلاعات تدعى الانزلاق (حركة الانخلاعات)

•The extra 1/2-plane moves along the slip plane.

يتحرك النصف المستوي العلوي على طول الانزلاق.

•Dislocation movement is similar to the way a caterpillar moves. The caterpillar hump is representative of the extra ½-plane of atoms

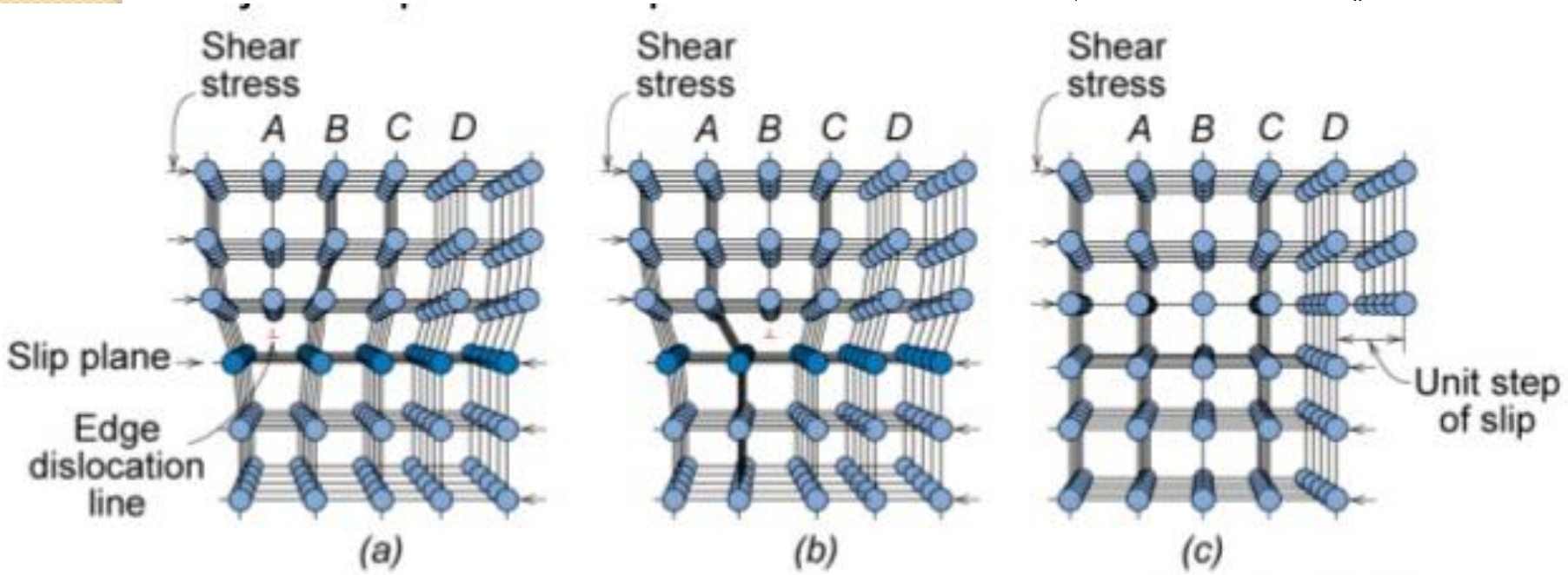
ان عملية حركة الانخلاعات تشبه حركة الدودة حيث ان ظهر الدودة المرتفع يمثل المستوي العلوي من حركة الذرات.



Metal forming

Plastic deformation occurs by slip – an edge dislocation (extra half – plane of atoms) slides over adjacent plane half-planes of atoms

ان عملية التشكيل التي تحدث بواسطة الانزلاق – تصاحب انزلاق الانخلاع الحافي للذرات في النصف المستوي القريب.



- If dislocations can't move, plastic deformation doesn't occur!

Adapted from Fig. 7.1, *Callister & Rethwisch 8e.*

Metal forming

Twining : التوأمة

- Portion of crystal takes up an orientation that is related to the orientation of the rest of the untwined lattice in a definite, symmetrical way.

تحدث التوأمة بحركة جزء من البلورة (مجموعة من الذرات) بطريقة تناظرية مع الجزء الاخر الثابت من البلورة.

- The twinned portion of the crystal is a mirror image of the parent crystal. الجزء المتحرك من البلورة يمثل صورة مرآة للجزء الاخر

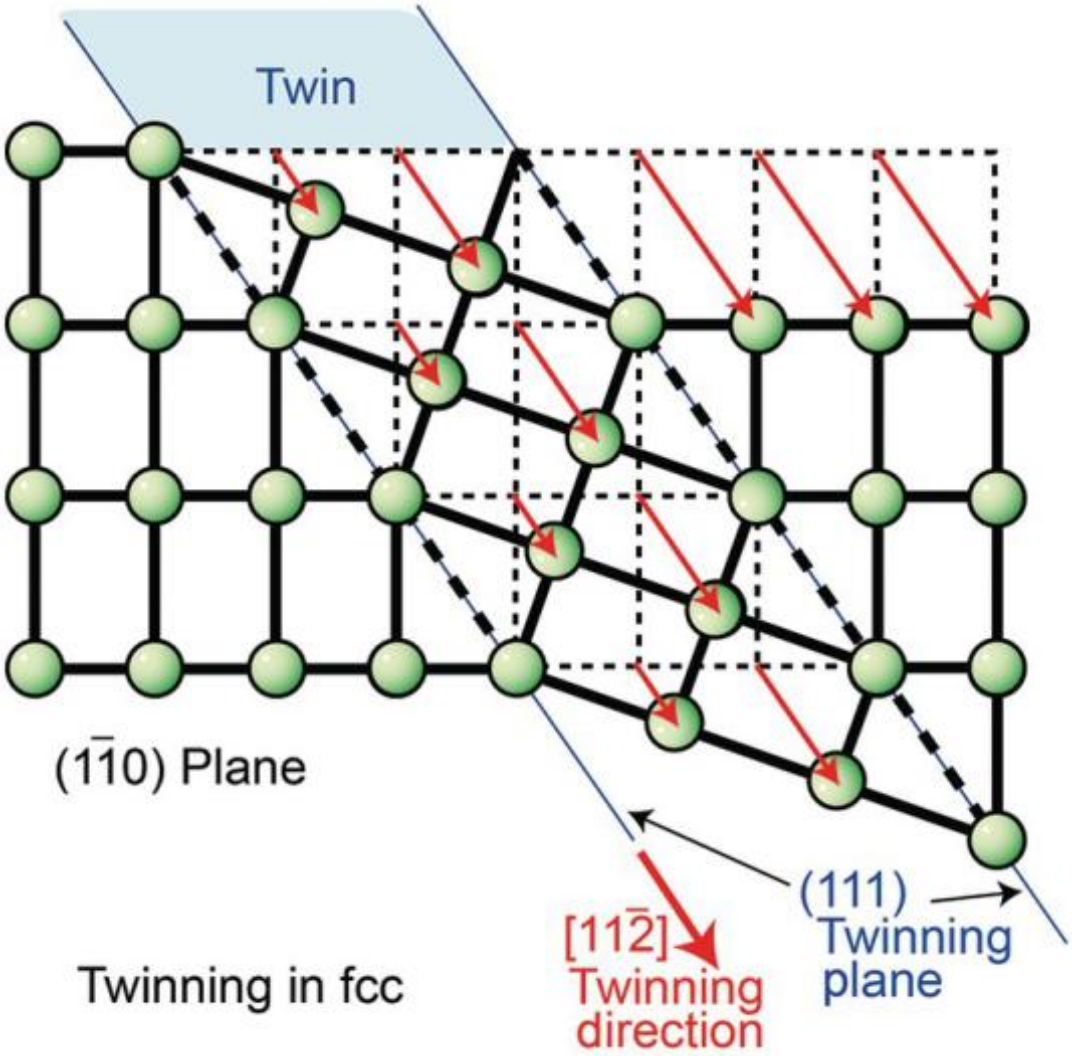
- The plane of symmetry is called twinning plane.

مستوى التناظر يدعى بمستوي التوأمة

- The important role of twinning in plastic deformation is that it causes changes in plane orientation so that further slip can occur.

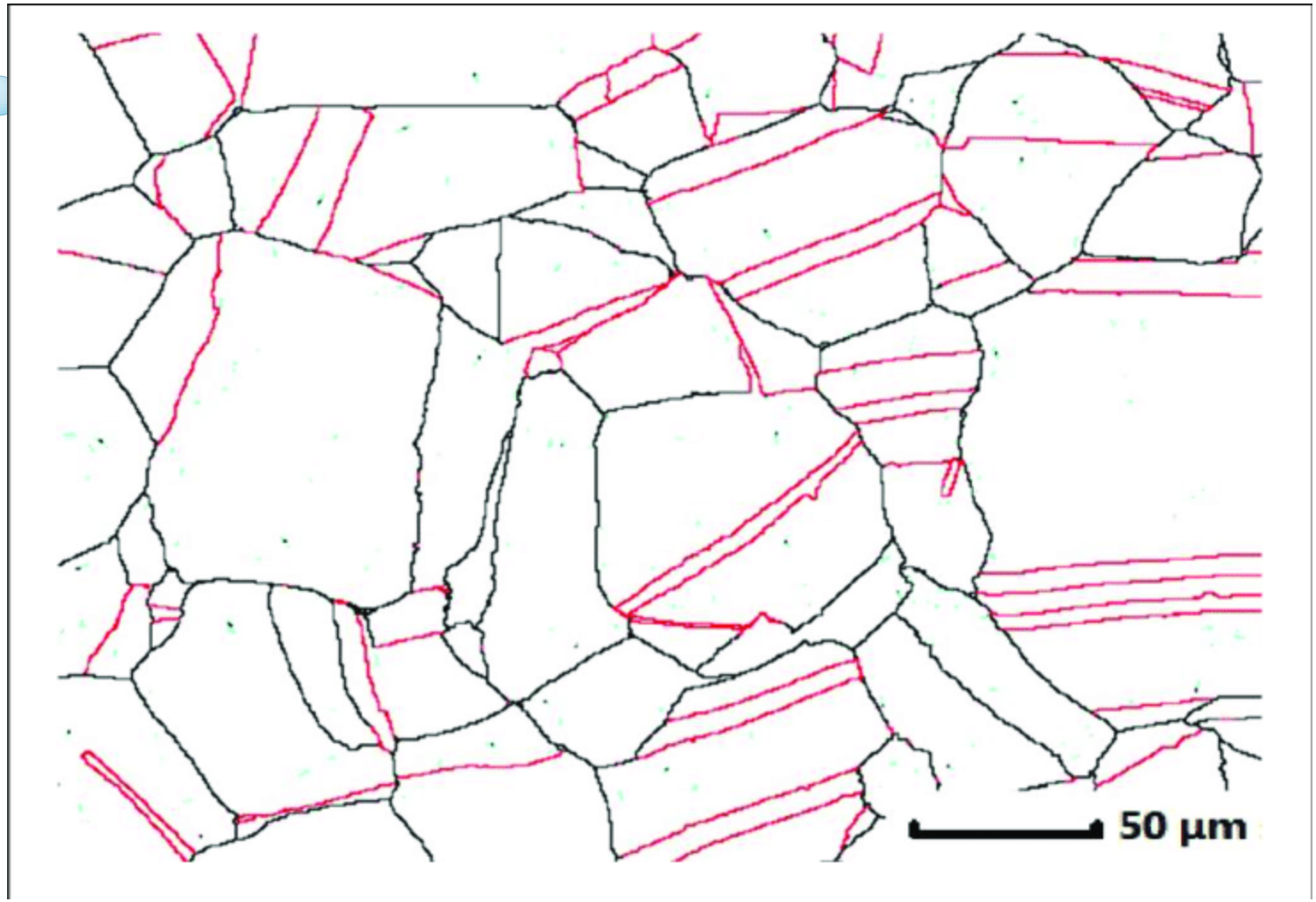
يتمثل الدور المهم للتوأمة في التشوه اللدن في أنها تسبب تغيرات في اتجاه المستوى بحيث يمكن حدوث المزيد من الانزلاق.

Metal forming

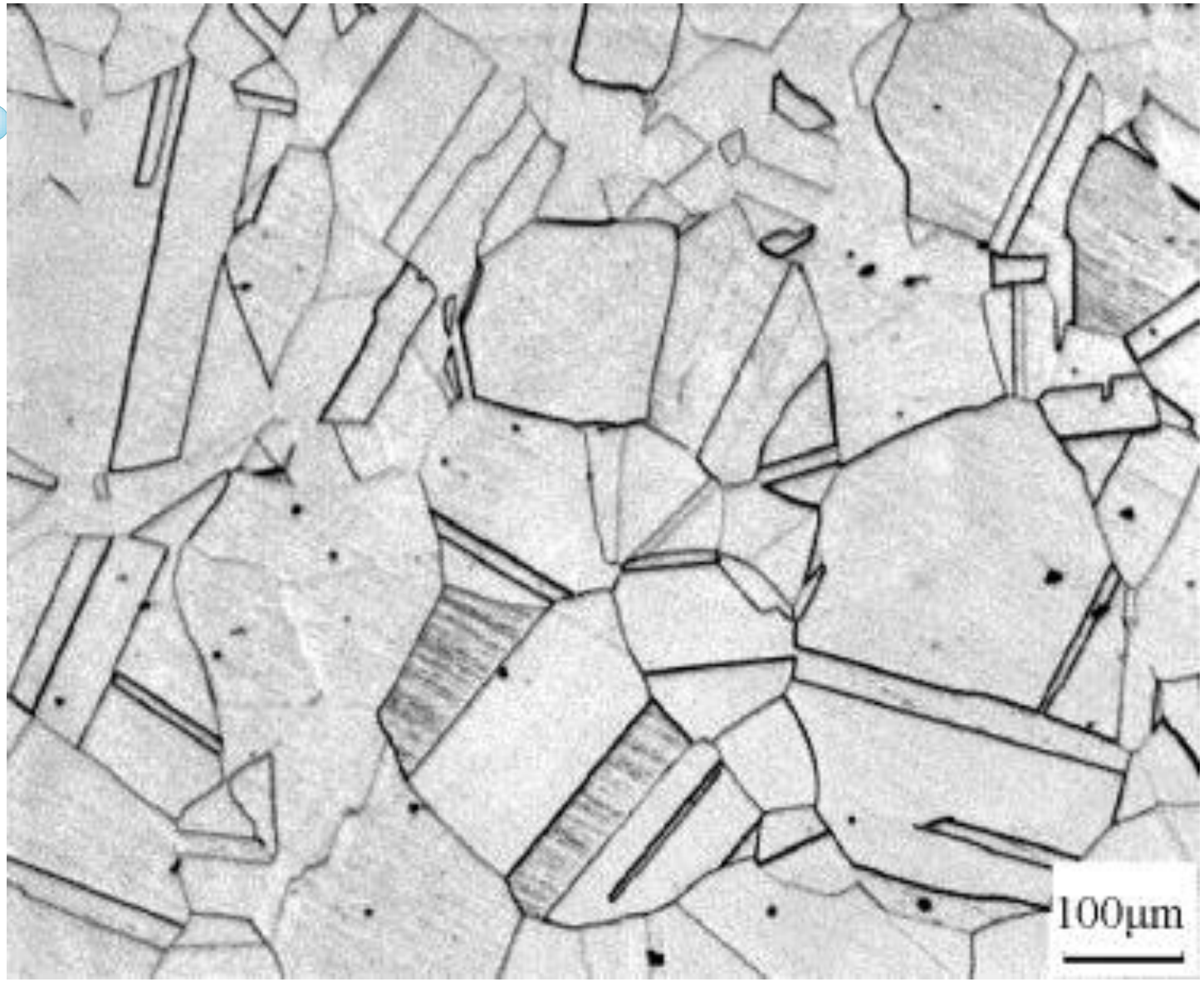


Twinning in fcc

Metal forming



Metal forming



Metal forming

Difference between slip and twinning deformation

Slip	Twinning
1. All atoms in one block move over the same distance	1. Different planes of atoms moves fractional distances depending on their distance from the twinning plane.
2. Under microscope, slip appears as thin line.	2, It appears as broad lines (or) bands.
3. There is very little change in lattice orientation.	3. Lattice orientation changes in the twinned regions.
4. It requires lower shear stress.	4. It requires higher shear stress.
5. Occurs in metals having more number of slip systems.	5. Occurs in metals having less number of slip systems.

Metal forming

Difference between slip and twinning deformation

مقارنة بين التشكيل بالانزلاق والتشكيل بواسطة التوأمة

Slip الانزلاق	Twinning التوأمة
1. All atoms in one block move over the same distance جميع الذرات تتحرك كتلة واحدة وبنفس المسافة	1. Different planes of atoms moves fractional distances depending on their distance from the twinning plane. جزء من مستوى من الذرات يتحرك بمسافة معينة بالاعتماد على مستوي التوأمة
2. Under microscope, slip appears as thin line. يظهر الانزلاق كخط رفيع تحت المجهر الالكتروني	2, It appears as broad lines (or) bands. تظهر خطوط التوأمة مزدوجة تحت المجهر الالكتروني
3. There is very little change in lattice orientation. يحدث تغيير بسيط جدا في اتجاه الشبكة البلورية	3. Lattice orientation changes in the twinned regions. يحدث انحراف واضح (كالتوأمة) في اتجاه الشبكة البلورية
4. It requires lower shear stress. تتطلب اجهاد قص قليل	4. It requires higher shear stress. تتطلب اجهاد قص عالي
5. Occurs in metals having more number of slip systems. يحدث في المواد التي تمتلك انظمة كبيرة من الانزلاقات	5. Occurs in metals having less number of slip systems. يحدث في المواد التي تمتلك انظمة قليلة من الانزلاقات

Cold and hot working

Strain hardening

Strain hardening (also called work-hardening) is the process of making a metal harder and stronger through plastic deformation that occurs by mechanism of slip and twinning.

التصليد الانفعالي والذي يدعى كذلك تصليد التشكيل هو عملية جعل المعدن اقوى واصلد من خلال التشوه اللدن والذي يحصل عن طريقة آلية الانزلاق والتوأمة.

Due the increasing of plastic deformation, the formability of metals decreases, so, it needs more stress to cause a movement of dislocation.

بسبب الزيادة في التشوه اللدن تقل قابلية التشكيل للمعادن، حينئذ تحتاج الى اجهادات وقوى اكبر لتحريك الانخلاعات.

During the strain hardening the hardness and strength increase but the ductility decrease. After the strength reaches a maximum point, the metal may be failure.

خلال التصليد الانفعالي تزداد كل من المقاومة والصلادة وتقل المطيلية، وعند الوصول الى اعلى نقطة للمقاومة بعدها يبدأ المعدن بالفشل

Cold and hot working

Hall-Petch equation معادلة هول بج

$$\sigma_y = \sigma_i + \frac{k}{\sqrt{d}}$$

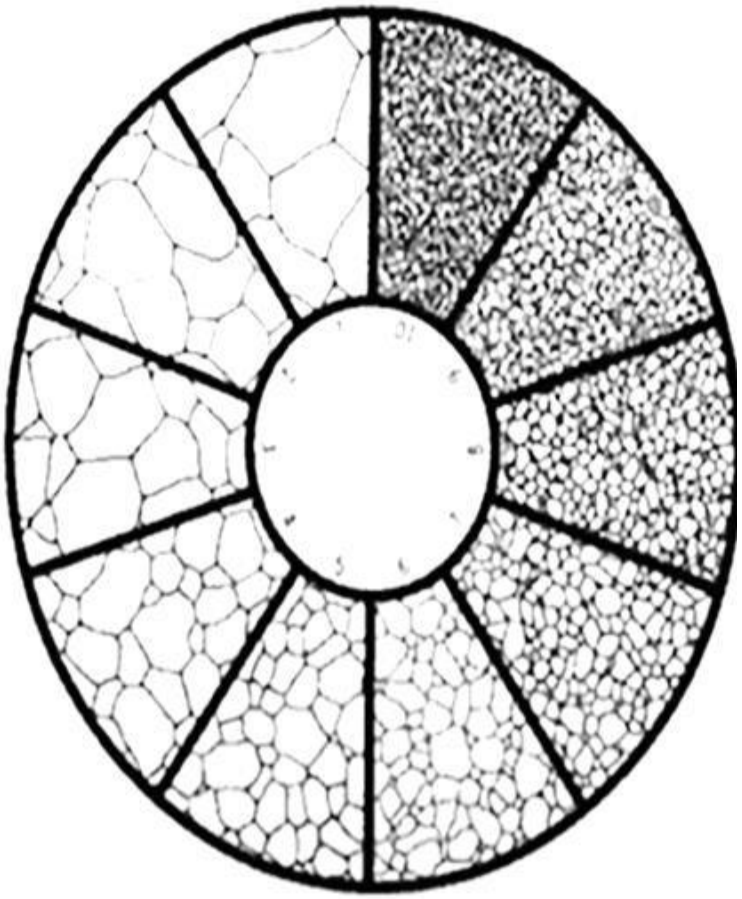
d = Average grain size

σ_i = Constant

k = Constant

معدل حجم الخلية (البلورة)

ثابت



Cold and hot working

Introduction:

Cold working of a metal it means the deformation process of metals that carried out below its recrystallisation temperature (The recrystallization temperature is that temperature at which the crystal lattice structure of the metal becomes reoriented. Consequently, the metal becomes more workable and ductile.).

Cold working achieves normally at room temperatures of various types of steel.

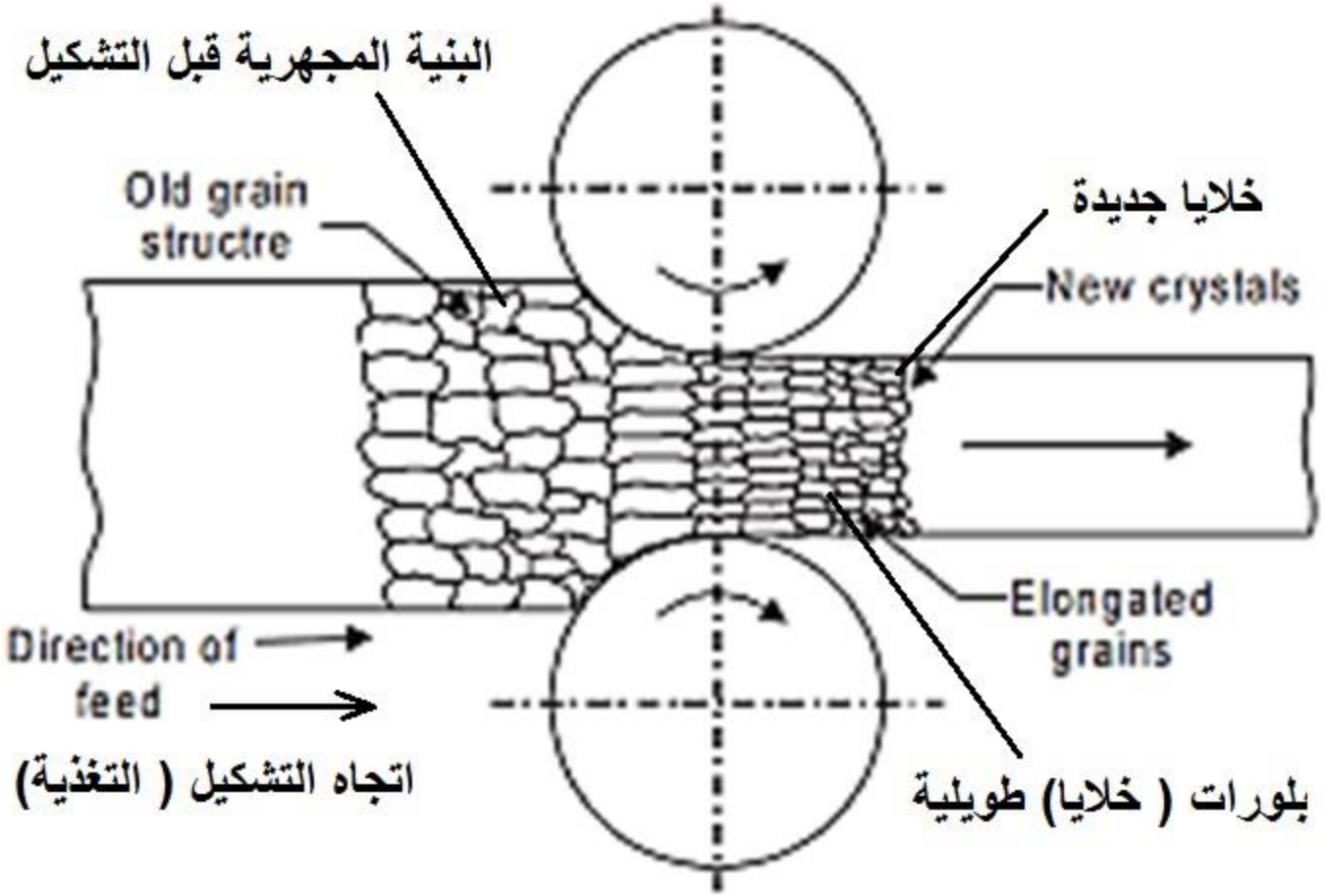
ان عمليات التشكيل على البارد تتم تحت درجة حرارة إعادة التبلور(هي درجة الحرارة التي يتم فيها إعادة توجيه بنية الشبكية البلورية للمعدن، وبالنتيجة يصبح المعدن اكثر قابلية للتشغيل ويكتسب المطيلية). ان اكثر انواع الصلب الكاربوني يتم تشكيله على البارد عند درجة حرارة الغرفة.

The common cold working processes are:

Rolling, forging, wire drawing, extrusion and sheet metal processes (bending, cutting, punching….etc..)

ان من عمليات التشكيل على البارد الشائعة هي الدرفلة، الحدادة، البثق، تشكيل الصفائح المعدنية (الثني، القطع، التشكيل بالقالب ... الخ)

Cold and hot working



Difference in grain size by plastic deformation

شكل يوضح حجم الخلايا قبل واثناء وبعد التشكيل

Cold and hot working

The main characteristics of cold working are given as under.

ادناه اهم الخصائص المرافقة لعمليات التشكيل على البارد

- Cold working involves plastic deformation of a metal, which results in strain hardening.
- عمليات التشكيل على البارد تشمل التشوه اللدن الدائم والتي عندها يحصل تصليد انفعالي

- It usually involves working at ordinary (room) temperatures, but, for high melting point metals, e.g., tungsten, the cold working may be carried out at a red heat.
- تتم عادة عند درجة حرارة الغرفة، لكن للمعادن ذات درجات الانصهار العالية مثل التنكستن، تتم عملية التشكيل على البارد عند درجة حرارة الاحمرار.

- The stress required for deformation increases rapidly with the amount of deformation.
- يزداد الاجهاد المطلوب للتشكيل سريعا بزيادة كمية التشوه.

- Cold rolling process generally distorts grain structure.
- عملية التشكيل على البارد بشكل عام تعمل على تحطيم البنية المجهرية.

Cold and hot working

- Good surface finish is obtained in cold rolling.
- يتم الحصول على سطح نهائي جيد في عملية التشكيل على البارد

- The upper temperature limit for cold working is the maximum temperature at which strain hardening is retained.
- اعلى درجة حرارة يتم عندها التشكيل على البارد (درجة اعادة التبلور) تمثل اعلى حد للتصليد الانفعالي.

- Excessive cold working gives rise to the formation and propagation of cracks in the metal.
- الافراط في عملية التشكيل على البارد تؤدي الى تكوين الشقوق في المعدن.

- The loss of ductility during cold working has a useful side effect in machining.
- عملية فقدان المطيلية في التشكيل على البارد تعتبر مفيدة لعمليات القطع والتشغيل.
- Spring back is a common phenomenon present in cold-working processes.
- ظاهرة (الاسترجاع المرن) موجودة في التشكيل على البارد.

Cold and hot working

Effect of cold working process on mechanical properties
تأثير عملية التشكيل على البارد على الخواص الميكانيكية

- **Cold working process increases the: التشكيل على البارد يزيد كل من**

Ultimate tensile strength اعلى اجهاد الشد

Yield strength اجهاد الخضوع

Hardness الصلادة

Fatigue strength مقاومة الكلل

Residual stresses (المتبقية) الاجهادات المتخلفة

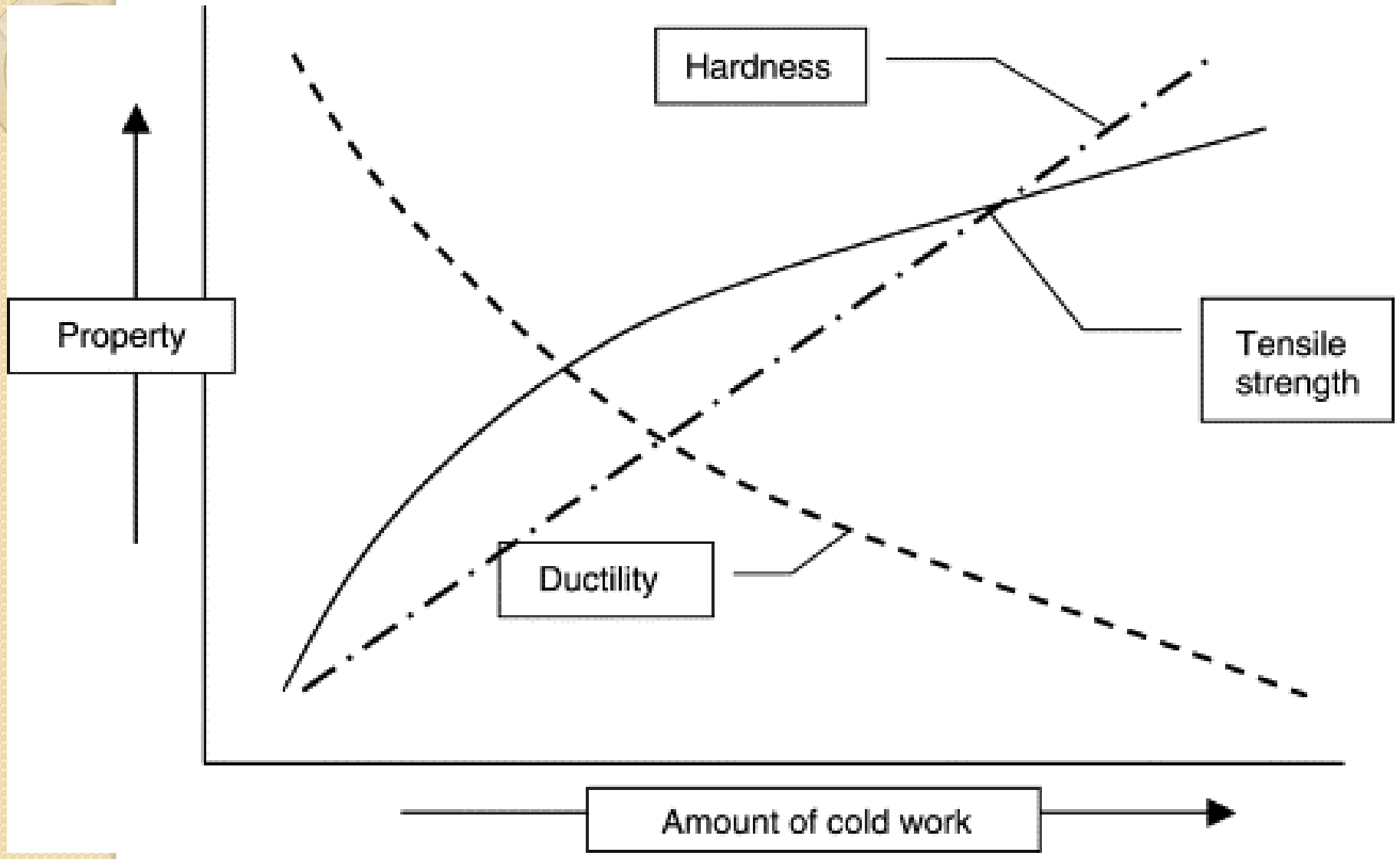
- **Cold working processes decreases the: التشكيل على البارد يقلل كل من**

Impact strength مقاومة الصدم

Resistance to corrosion مقاومة التأكل

Ductility المطيلية

Cold and hot working



Cold and hot working

Advantages of Cold Working الخواص الايجابية للتشكيل على البارد

- In cold working processes, smooth surface finish can be easily produced.
  - يمكن الحصول على سطح ناعم في عملية التشكيل على البارد.
- Accurate dimensions of parts can be maintained.
  - يمكن الحصول على ابعاد دقيقة للمنتوجات.
- Strength and hardness of the metal are increased but ductility decreased
  - تزداد المقاومة والصلادة في التشكيل على البارد لكن المطيلية تقل.
- There is no oxide would form on the surface.
  - لا يوجد تكوين اكسدة على الاسطح.

Cold and hot working

Disadvantages of Cold Working الخواص السلبية لعملية التشكيل على البارد

- Some materials, which are brittle, cannot be cold worked easily.
- لا يمكن تشكيل المعادن الهشة على البارد

- some materials, which has higher yield strength, cannot be cold worked easily.
- صعوبة تشكيل المعادن التي تمتلك مقاومة خضوع كبيرة على البارد.

- distortion of the grain structure is created.
- يتم تحطيم البنية البلورية للمعدن.

- Internal stresses are set up which remain in the metal unless they are removed by proper heat-treatment.
- تكوين الاجهادات الداخلية بعد عملية التشكيل على البارد والتي تزال بواسطة المعالجة الحرارية.

Cold and hot working

Hot working التشكيل على الحار

Hot working is plastically deforming of the metallic material at a temperature above the recrystallization temperature. The common cold working processes are hot rolling, hot forging, and hot extrusion….ect.

تتم عملية التشكيل اللدن على الحار فوق درجة حرارة اعادة التبلور، ومن هذه العمليات (الدرفلة على الحار، الحدادة على الحار، البثق على الحار... الخ.

Some characteristics of hot working process بعض خواص عمليات التشكل على الحار

- No Strain Hardening occurs during hot working. لا يوجد تصليد انفعالي
- Usually performed at elevated temperatures. تتم عادة عند درجات حرارة عالية
- Lead and Tin are exceptions (low melting point).
- معدن الرصاص والخارصين مستثنيان (لان درجة الانصهار لهما واطئة).
- Lower limit of the hot working temperature: 60% of the melting temperature.
- عادة درجة الحرارة المستخدمة تمثل 60% من درجة الانصهار
- Metal remains soft and ductile during process.
- يبقى المعدن لينا خلال التشكل على الحار

Cold and hot working

Recrystallization Temperature درجة حرارة اعادة التبلور

The temperature at which atomic mobility can repair the damage caused by the working process.

هي درجة الحرارة التي عندها تبدأ الذرات بالحركة ويتم التخلص من العيوب التي سببتها عمليات التشكل على البارد

Table: Recrystallization Temperatures of Some Metals *

Metal	Recrystallization Temperature [°C]
Lead, tin	10 °C (below room temperature)
Zinc	25
Magnesium, aluminium	150
Gold, copper and silver	200
Iron, low-alloy steels	450
Tungsten	1400

Cold and hot working

Advantages of hot working process
الخواص الايجابية لعلميات التشكيل على الحار

- Decrease in yield strength, therefore it is easier to work and uses less energy or force.
- لا تحتاج الى قوة للتشكيل وذلك لانخفاض قيمة اجهاد الخضوع

- Increase in ductility. تزيد من خاصية المطيلية

- Elevated temperatures increase diffusion which can remove or reduce chemical inhomogeneities.
- درجة الحرارة العالية تعمل على زيادة انتشار الذرات والتي تعمل على تقليل عدم التجانس الكيميائي

- Pores may reduce in size or close completely during deformation.
- يتم تقليص المسامات وتقاربها خلال عملية التشكيل على الحار

Cold and hot working

Disadvantages of hot working process الخواص السلبية للتشكيل على الحار

Undesirable reactions between the metal and the surrounding atmosphere (scaling or rapid oxidation of the workpiece).
التفاعل الغير المرغوب فيه بين المعدن والمحيط في التشكيل على الحار (اكسدة المنتوجات).

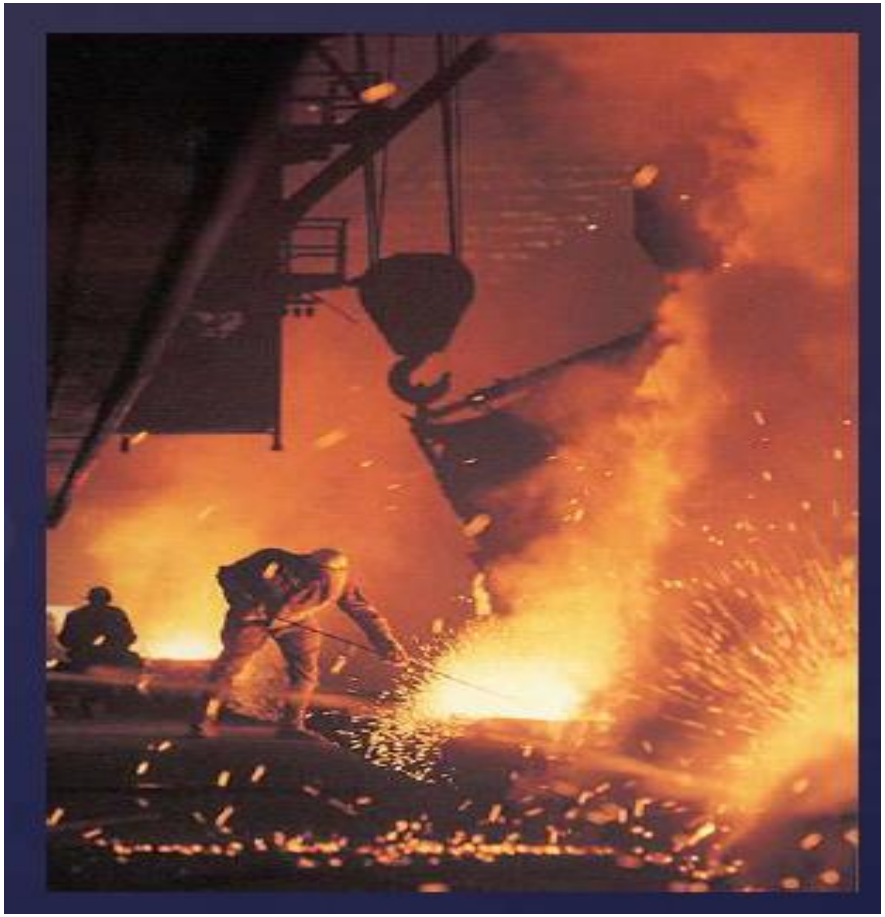
Less precise tolerances due to thermal contraction and warping from uneven cooling.
دقة قليلة في السماحات بسبب الانكماش الحراري والتشوهات الناتجة من عمليات التبريد الغير متكافئة.

Grain structure may vary throughout the metal for various reasons.
البنية المجهرية متفاوتة في الشكل والحجم لاسباب متعددة..

Requires a heating unit of some kind such as a gas or diesel furnace or an induction heater, which can be very expensive.
تكون باهضة الثمن بسبب مصادر الحرارة المستخدمة مثل الغاز والديزل والافران الحثية.

Cold and hot working

Aluminum is hot rolled into a coil of desired thickness.*



Home work

ما هي اهم الفروقات بين عمليات التشكيل على الحار وعمليات التشكيل على البارد

Cold and hot working

Strain hardening

Strain hardening (also called work-hardening) is the process of making a metal harder and stronger through plastic deformation that occurs by mechanism of slip and twinning.

التصليد الانفعالي والذي يدعى كذلك تصليد التشكيل هو عملية جعل المعدن اقوى واصلد من خلال التشوه اللدن والذي يحصل عن طريقة آلية الانزلاق والتوأمة.

Due the increasing of plastic deformation, the formability of metals decreases, so, it needs more stress to cause a movement of dislocation.

بسبب الزيادة في التشوه اللدن تقل قابلية التشكيل للمعادن، حينئذ تحتاج الى اجهادات وقوى اكبر لتحريك الانخلاعات.

During the strain hardening the hardness and strength increase but the ductility decrease. After the strength reaches a maximum point, the metal may be failure.

خلال التصليد الانفعالي تزداد كل من المقاومة والصلادة وتقل المطيلية، وعند الوصول الى اعلى نقطة للمقاومة بعدها يبدأ المعدن بالفشل

Cold and hot working

Hall-Petch equation معادلة هول بج

$$\sigma_y = \sigma_i + \frac{k}{\sqrt{d}}$$

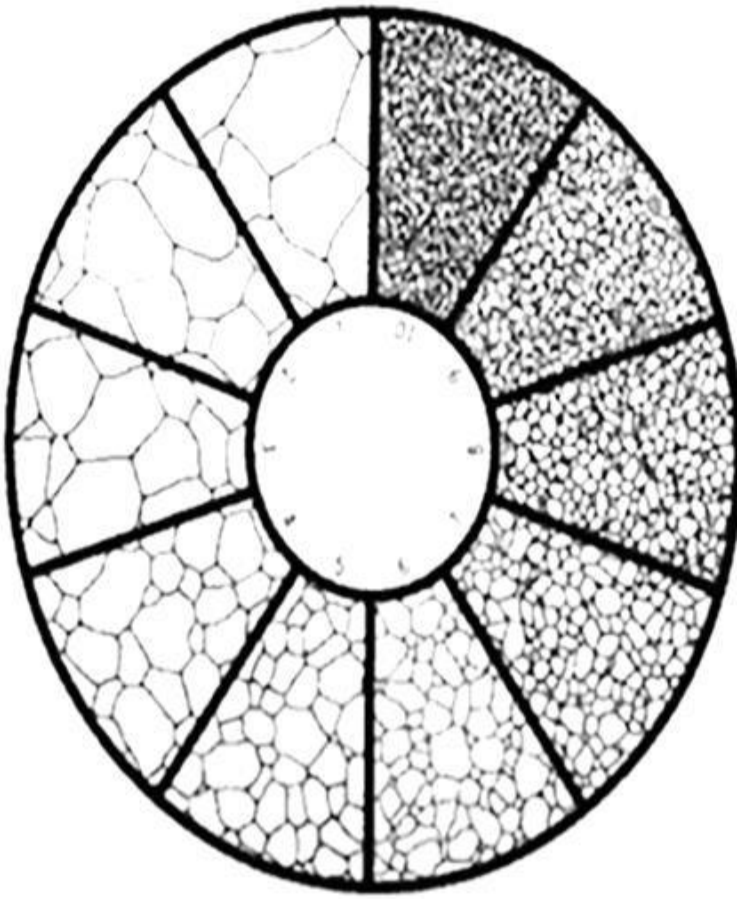
d = Average grain size

σ_i = Constant

k = Constant

معدل حجم الخلية (البلورة)

ثابت



Cold and hot working

Introduction:

Cold working of a metal it means the deformation process of metals that carried out below its recrystallisation temperature (The recrystallization temperature is that temperature at which the crystal lattice structure of the metal becomes reoriented. Consequently, the metal becomes more workable and ductile.).

Cold working achieves normally at room temperatures of various types of steel.

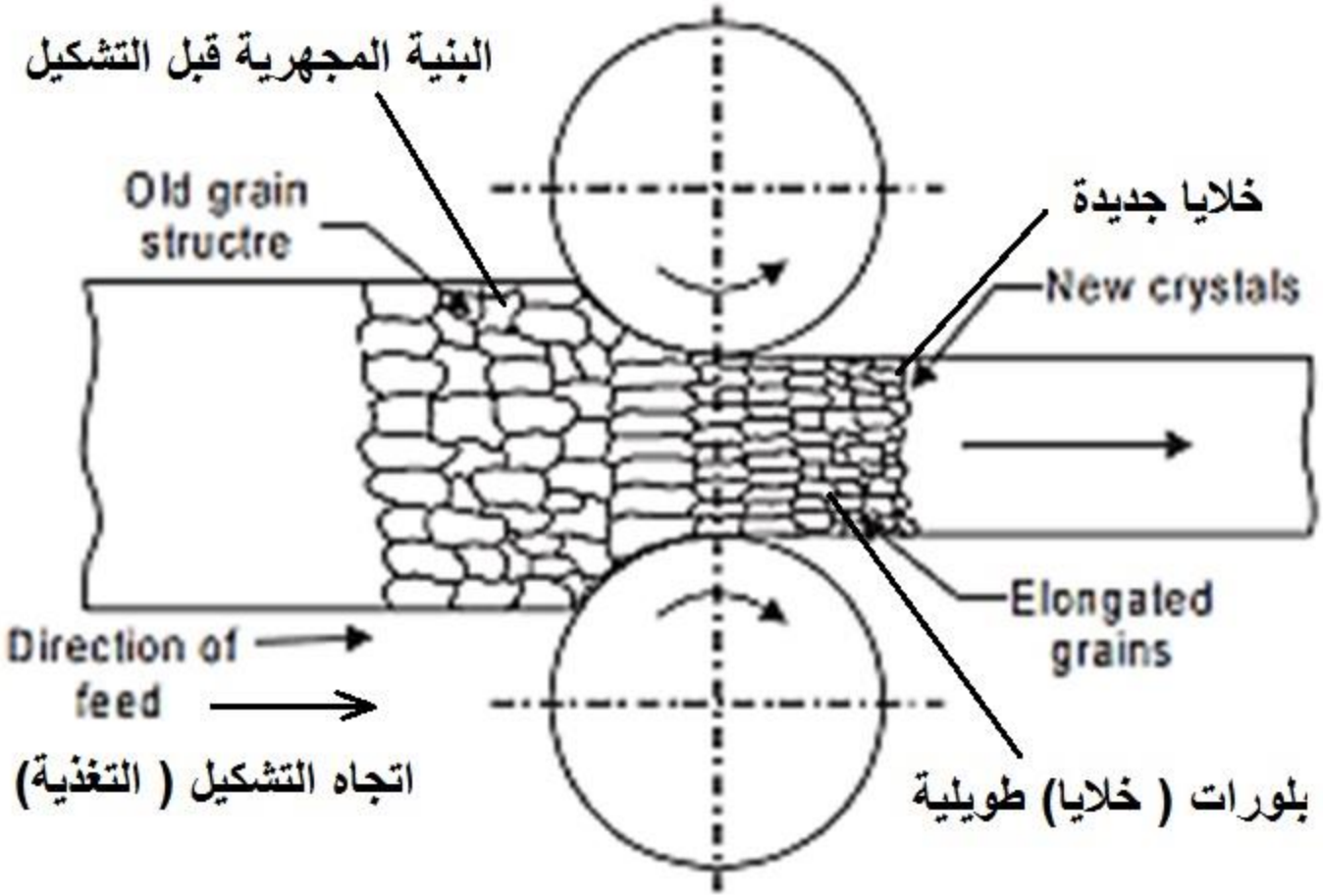
ان عمليات التشكيل على البارد تتم تحت درجة حرارة إعادة التبلور(هي درجة الحرارة التي يتم فيها إعادة توجيه بنية الشبكية البلورية للمعدن، وبالنتيجة يصبح المعدن اكثر قابلية للتشغيل ويكتسب المطيلية). ان اكثر انواع الصلب الكاربوني يتم تشكيله على البارد عند درجة حرارة الغرفة.

The common cold working processes are:

Rolling, forging, wire drawing, extrusion and sheet metal processes (bending, cutting, punching….etc..)

ان من عمليات التشكيل على البارد الشائعة هي الدرفلة، الحدادة، البثق، تشكيل الصفائح المعدنية (الثني، القطع، التشكيل بالقالب ... الخ)

Cold and hot working



Cold and hot working

The main characteristics of cold working are given as under.

ادناه اهم الخصائص المرافقة لعمليات التشكيل على البارد

- Cold working involves plastic deformation of a metal, which results in strain hardening.
- عمليات التشكيل على البارد تشمل التشوه اللدن الدائم والتي عندها يحصل تصليد انفعالي

- It usually involves working at ordinary (room) temperatures, but, for high melting point metals, e.g., tungsten, the cold working may be carried out at a red heat.
- تتم عادة عند درجة حرارة الغرفة، لكن للمعادن ذات درجات الانصهار العالية مثل التنكستن، تتم عملية التشكيل على البارد عند درجة حرارة الاحمرار.

- The stress required for deformation increases rapidly with the amount of deformation.
- يزداد الاجهاد المطلوب للتشكيل سريعا بزيادة كمية التشوه.

- Cold rolling process generally distorts grain structure.
- عملية التشكيل على البارد بشكل عام تعمل على تحطيم البنية المجهرية.

Cold and hot working

- Good surface finish is obtained in cold rolling.
- يتم الحصول على سطح نهائي جيد في عملية التشكيل على البارد

- The upper temperature limit for cold working is the maximum temperature at which strain hardening is retained.
- اعلى درجة حرارة يتم عندها التشكيل على البارد (درجة اعادة التبلور) تمثل اعلى حد للتصليد الانفعالي.

- Excessive cold working gives rise to the formation and propagation of cracks in the metal.
- الافراط في عملية التشكيل على البارد تؤدي الى تكوين الشقوق في المعدن.

- The loss of ductility during cold working has a useful side effect in machining.
- عملية فقدان المطيلية في التشكيل على البارد تعتبر مفيدة لعمليات القطع والتشغيل.
- Spring back is a common phenomenon present in cold-working processes.
- ظاهرة (الاسترجاع المرن) موجودة في التشكيل على البارد.

Cold and hot working

Effect of cold working process on mechanical properties
تأثير عملية التشكيل على البارد على الخواص الميكانيكية

- **Cold working process increases the: التشكيل على البارد يزيد كل من**

Ultimate tensile strength اعلى اجهاد الشد

Yield strength اجهاد الخضوع

Hardness الصلادة

Fatigue strength مقاومة الكلل

Residual stresses (المتبقية) الاجهادات المتخلفة

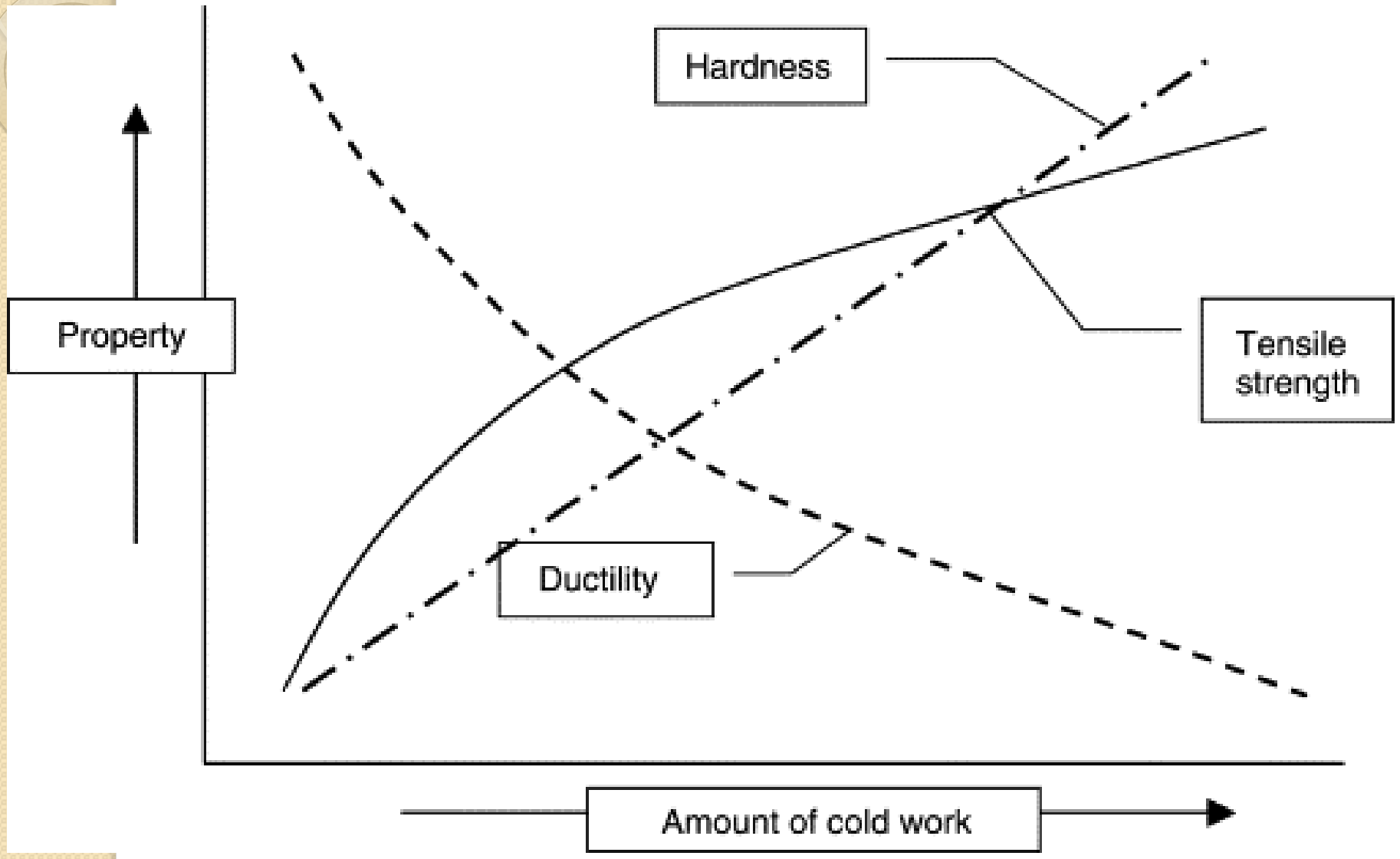
- **Cold working processes decreases the: التشكيل على البارد يقلل كل من**

Impact strength مقاومة الصدم

Resistance to corrosion مقاومة التأكل

Ductility المطيلية

Cold and hot working



Cold and hot working

Advantages of Cold Working الخواص الايجابية للتشكيل على البارد

- In cold working processes, smooth surface finish can be easily produced.
  - يمكن الحصول على سطح ناعم في عملية التشكيل على البارد.
- Accurate dimensions of parts can be maintained.
  - يمكن الحصول على ابعاد دقيقة للمنتوجات.
- Strength and hardness of the metal are increased but ductility decreased
  - تزداد المقاومة والصلادة في التشكيل على البارد لكن المطيلية تقل.
- There is no oxide would form on the surface.
  - لا يوجد تكوين اكسدة على الاسطح.

Cold and hot working

Disadvantages of Cold Working الخواص السلبية لعملية التشكيل على البارد

- Some materials, which are brittle, cannot be cold worked easily.
- لا يمكن تشكيل المعادن الهشة على البارد

- some materials, which has higher yield strength, cannot be cold worked easily.
- صعوبة تشكيل المعادن التي تمتلك مقاومة خضوع كبيرة على البارد.

- distortion of the grain structure is created.
- يتم تحطيم البنية البلورية للمعدن.

- Internal stresses are set up which remain in the metal unless they are removed by proper heat-treatment.
- تكوين الاجهادات الداخلية بعد عملية التشكيل على البارد والتي تزال بواسطة المعالجة الحرارية.

Cold and hot working

Hot working التشكيل على الحار

Hot working is plastically deforming of the metallic material at a temperature above the recrystallization temperature. The common cold working processes are hot rolling, hot forging, and hot extrusion….ect.

تتم عملية التشكيل اللدن على الحار فوق درجة حرارة اعادة التبلور، ومن هذه العمليات (الدرفلة على الحار، الحدادة على الحار، البثق على الحار... الخ.

Some characteristics of hot working process بعض خواص عمليات التشكل على الحار

- No Strain Hardening occurs during hot working. لا يوجد تصليد انفعالي
- Usually performed at elevated temperatures. تتم عادة عند درجات حرارة عالية
- Lead and Tin are exceptions (low melting point).
- معدن الرصاص والخارصين مستثنيان (لان درجة الانصهار لهما واطئة).
- Lower limit of the hot working temperature: 60% of the melting temperature.
- عادة درجة الحرارة المستخدمة تمثل 60% من درجة الانصهار
- Metal remains soft and ductile during process.
- يبقى المعدن لينا خلال التشكل على الحار

Cold and hot working

Recrystallization Temperature درجة حرارة اعادة التبلور

The temperature at which atomic mobility can repair the damage caused by the working process.

هي درجة الحرارة التي عندها تبدأ الذرات بالحركة ويتم التخلص من العيوب التي سببتها عمليات التشكل على البارد

Table: Recrystallization Temperatures of Some Metals *

Metal	Recrystallization Temperature [°C]
Lead, tin	10 °C (below room temperature)
Zinc	25
Magnesium, aluminium	150
Gold, copper and silver	200
Iron, low-alloy steels	450
Tungsten	1400

Cold and hot working

Advantages of hot working process
الخواص الايجابية لعلميات التشكيل على الحار

- Decrease in yield strength, therefore it is easier to work and uses less energy or force.
- لا تحتاج الى قوة للتشكيل وذلك لانخفاض قيمة اجهاد الخضوع

- Increase in ductility. تزيد من خاصية المطيلية

- Elevated temperatures increase diffusion which can remove or reduce chemical inhomogeneities.
- درجة الحرارة العالية تعمل على زيادة انتشار الذرات والتي تعمل على تقليل عدم التجانس الكيميائي

- Pores may reduce in size or close completely during deformation.
- يتم تقليص المسامات وتقاربها خلال عملية التشكيل على الحار

Cold and hot working

Disadvantages of hot working process الخواص السلبية للتشكيل على الحار

Undesirable reactions between the metal and the surrounding atmosphere (scaling or rapid oxidation of the workpiece).
التفاعل الغير المرغوب فيه بين المعدن والمحيط في التشكيل على الحار (اكسدة المنتوجات).

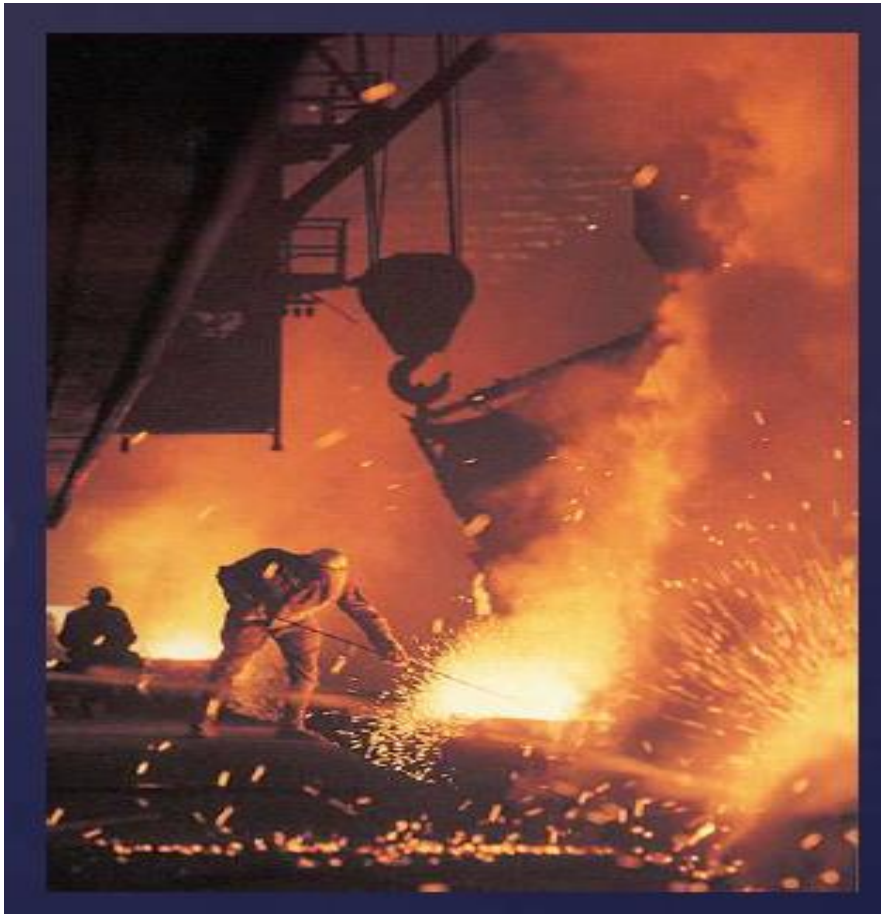
Less precise tolerances due to thermal contraction and warping from uneven cooling.
دقة قليلة في السماحات بسبب الانكماش الحراري والتشوهات الناتجة من عمليات التبريد الغير متكافئة.

Grain structure may vary throughout the metal for various reasons.
البنية المجهرية متفاوتة في الشكل والحجم لاسباب متعددة..

Requires a heating unit of some kind such as a gas or diesel furnace or an induction heater, which can be very expensive.
تكون باهضة الثمن بسبب مصادر الحرارة المستخدمة مثل الغاز والديزل والافران الحثية.

Cold and hot working

Aluminum is hot rolled into a coil of desired thickness.*



Home work

what are the differences between the cold working and hot working process?

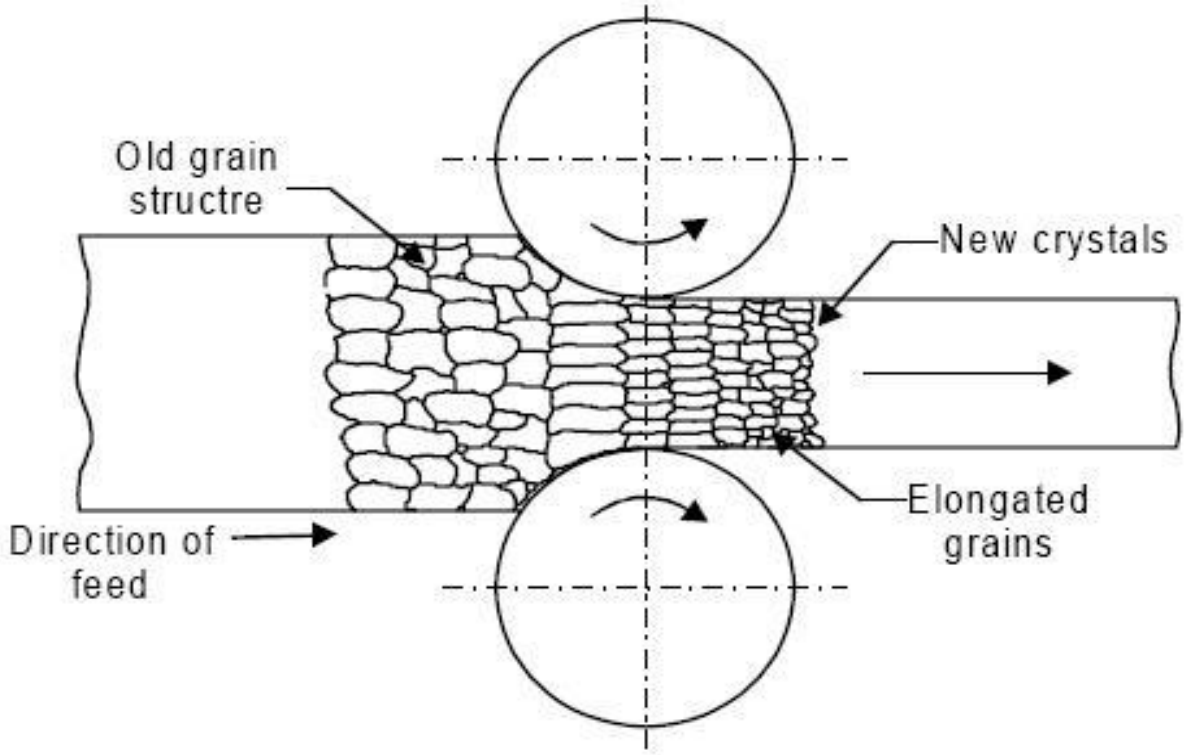
Recovery, Recrystallization, and Grain Growth
الاستعادة، اعادة التبلور و النمو البلوري

Strain hardening (Review) التصليد الانفعالي (مراجعة)

Strain hardening is the phenomenon whereby a ductile metal becomes harder and stronger as it is plastically deformed. Sometimes it is also called work hardening, or, because the temperature at which deformation takes place is "cold" relative to the absolute melting temperature of the metal, cold working. Most metals strain harden at room temperature.

التصليد الانفعالي هي عملية زيادة مقاومة وصلادة المعدن المطيلي اثناء التشكيل اللدن. وتدعى في بعض الاحيان عملية التصلب ، وفي بعض الاحيان وبسبب تشكيل المعدن عند درجة حرارة الغرفة تدعى العملية التصليد بالتشكيل على البارد.

Recovery, Recrystallization, and Grain Growth

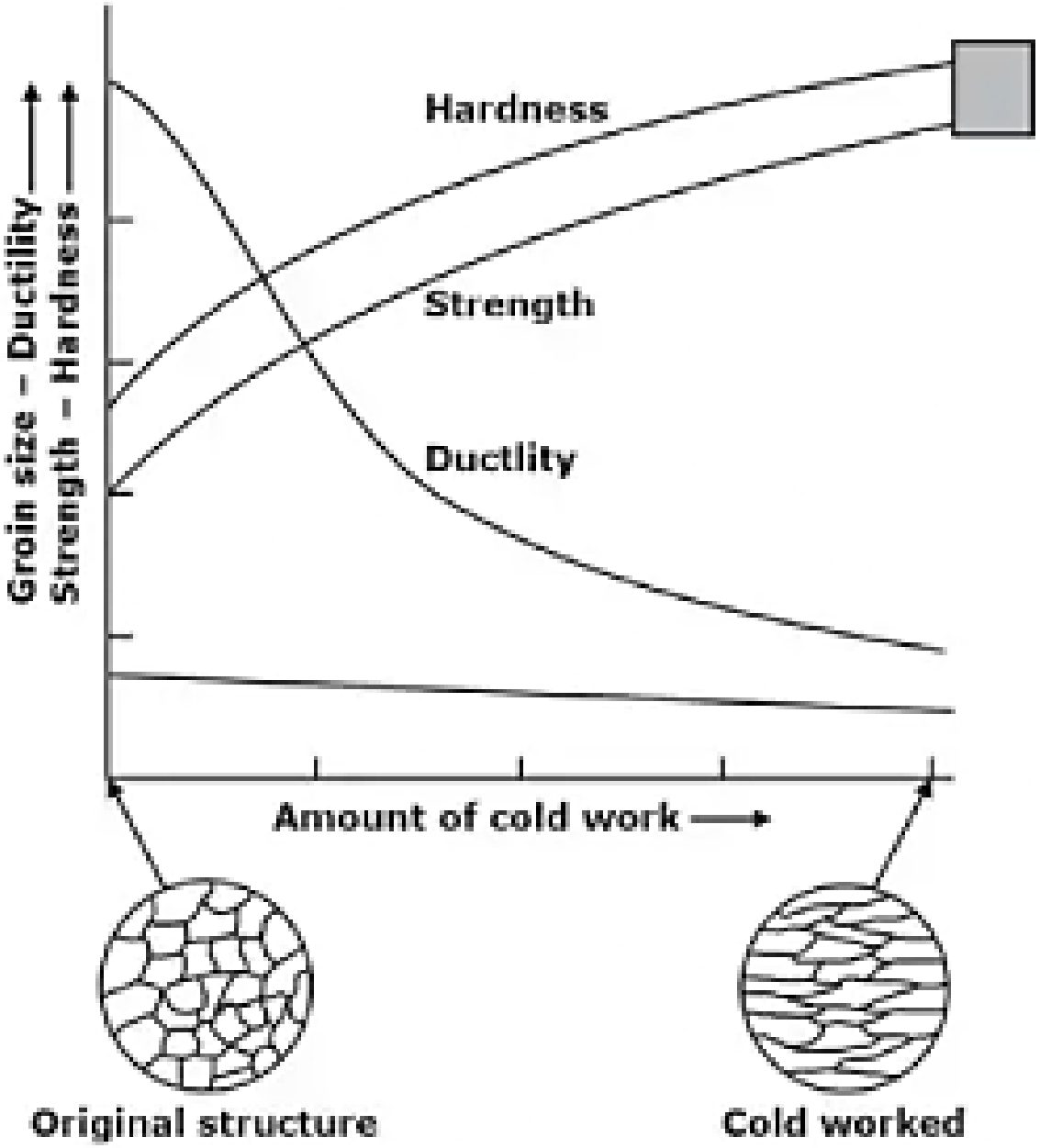


Cold work causes an increase in: عملية التشكيل على البارد تزيد كل من

- **Point defects العيبوب النقطية**
- **Dislocation density كثافة الانخلاعات**
- **Change in grain shape (الخلايا) التغير في شكل البلورات**
- **Strain energy طاقة الانفعال**
- **Strength and hardness المقاومة والصلادة**

But it causes decrease in ductility لكن تقلل من المطيلية

Recovery, Recrystallization, and Grain Growth



Recovery, Recrystallization, and Grain Growth

These properties and structures may revert back to the precold-worked states by appropriate heat treatment (sometimes termed an annealing treatment).

The annealing process comprises in three different stages that occur at elevated temperatures:

recovery and recrystallization, which may be followed by grain growth.

ان الخواص الميكانيكية (التي تم الحصول عليها في التشكيل على البارد) بالامكان ان تعاد الى ما كانت عليه قبل التشكيل على البارد عن طريق المعالجة الحرارية (وتدعى عملية التلدين).

ان عملية التلدين تشمل ثلاث مراحل: وهي الاستعادة واعادة التبلور والنمو البلوري

Recovery, Recrystallization, and Grain Growth

Recovery الاستعادة

During recovery, some of the stored internal strain energy is relieved by dislocation motion (in the absence of an externally applied stress), as a result of enhanced atomic diffusion at the elevated temperature. There is some reduction in the number of dislocations, and dislocation configurations

خلال عملية الاستعادة يتم التخلص من بعض الطاقة المخزونة (التي تكونت بسبب التشكيل) عن طريق حركة الانخلاعات (بدون تدخل اي قوة خارجية)، وبالنتيجة يتم تعزيز الذرات على الانتشار عن درجات الحرارة العالية. فيتم التقليل من الانخلاعات واعادة ترتيبها.

Recovery, Recrystallization, and Grain Growth

Recovery involves the reduction of strain fields in work hardened samples by the annihilation of dislocations.

Dislocations on the same slip plane but of opposite signs can annihilate each other when they collide. Dislocations on different slip planes need to change planes before annihilation can occur.

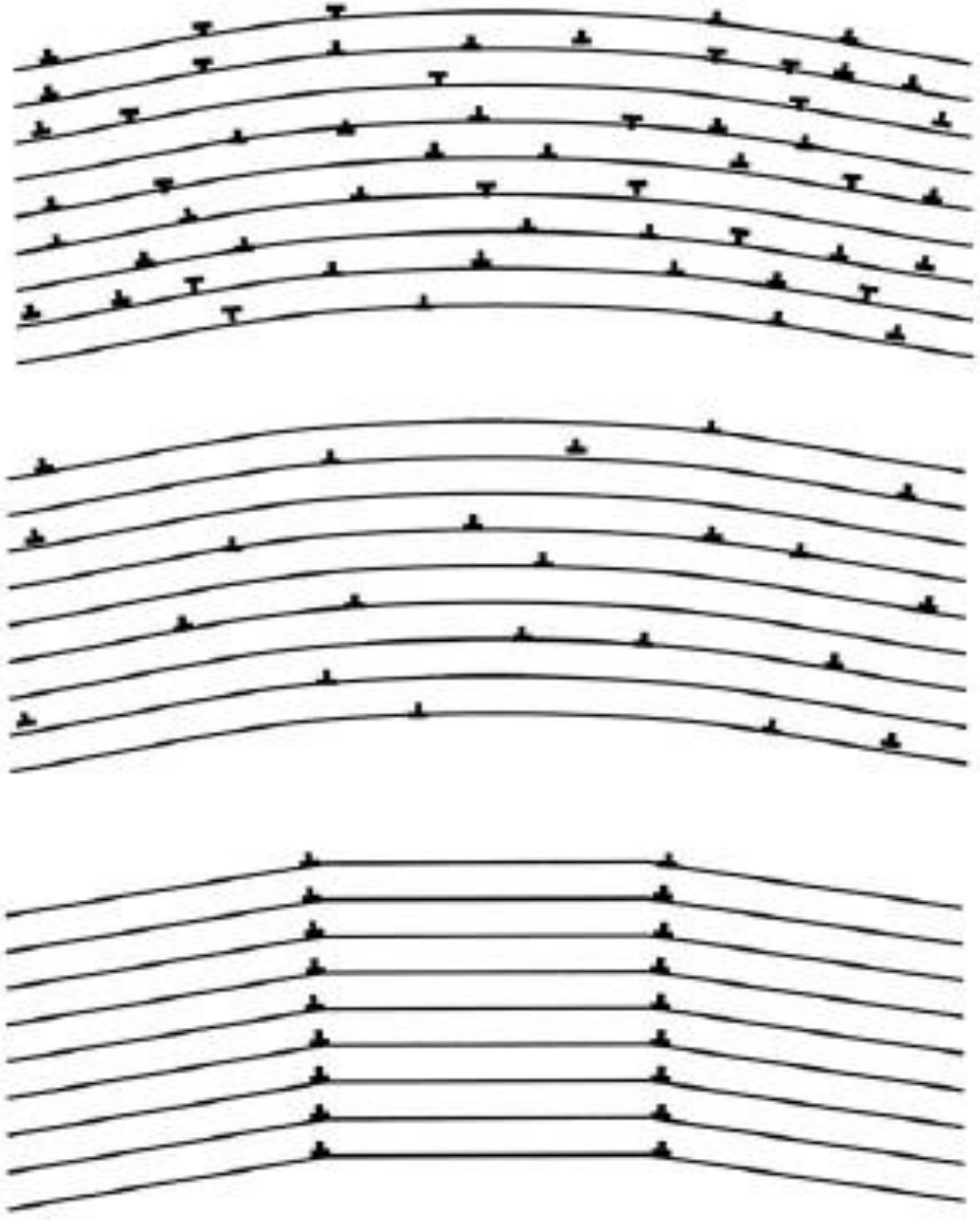
تشمل مرحلة الاستعادة التخلص من الطاقة الانفعالية (المخزونة) عن طريق تقليص كثافة الانخلاعات وذلك بألغاء احدهما للأخر.

ان الانخلاعات ذات الاشارات المعكوسة والتي تقع على نفس المستوى من الانزلاق تلغي احدهما الاخر عند التصادم. اما التي تقع في مستويات مختلفة فتحتاج الى تغيير المستوى لتتم عملية الغاء احدهما الاخر.

Dislocations of the same sign can be reorganized to form a tilt or twist boundary and leave large volumes of the crystal dislocation free. These recovery reactions are illustrated in the following figures.

اما الانخلاعات ذات الاشارات المتساوية فتترتب بشكل عمودي مائل او تشكل حدود االانحراف فتترك فراغا كبيرا في البلورة خالي من الانخلاعات. والشكل التالي يوضح ذلك.

Recovery, Recrystallization, and Grain Growth

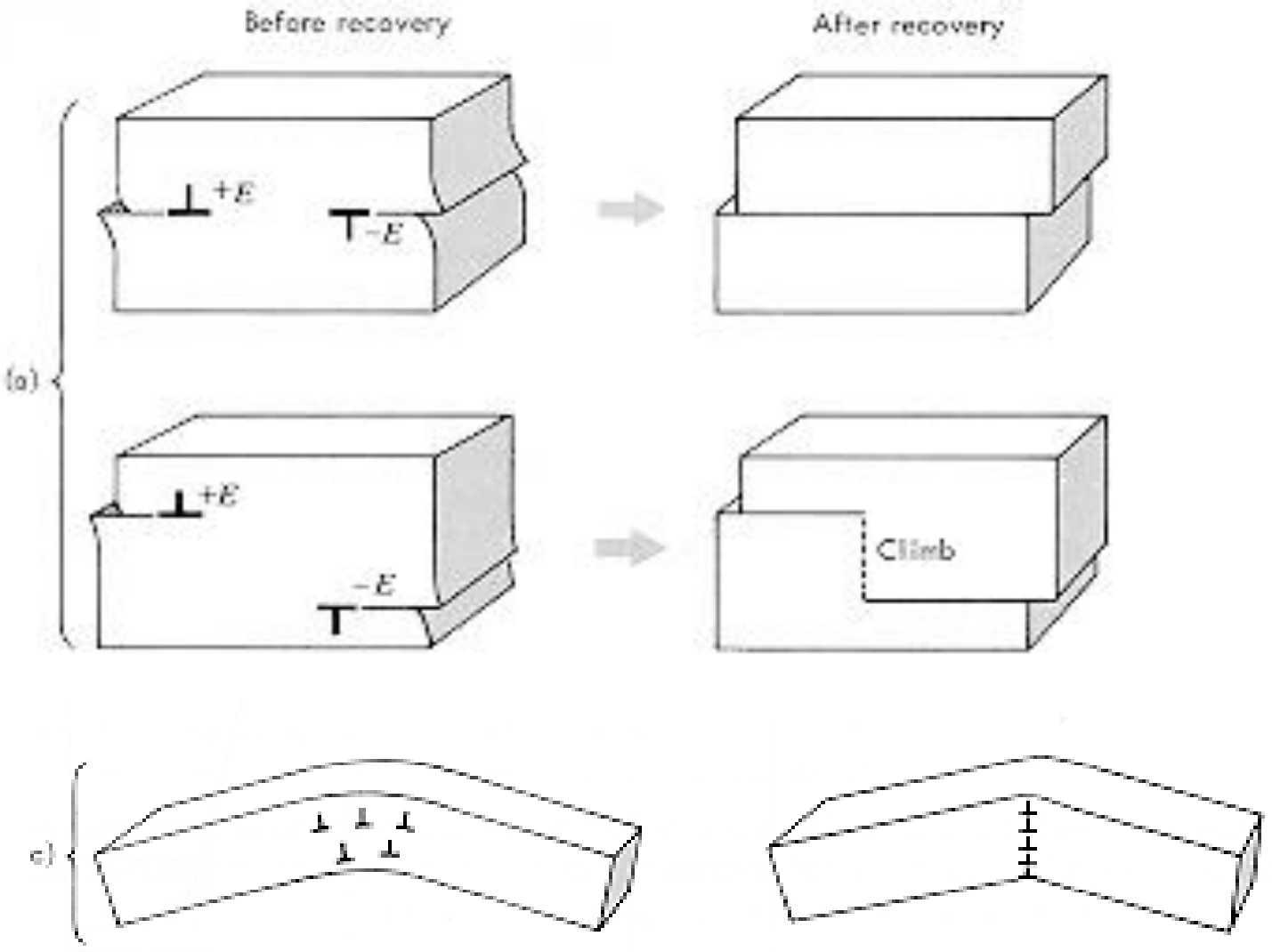


(a) As deformed
بعد التشكيل

(b) After dislocation annihilation
بعد عملية الغاء الانخلاع للاخر

(c) Formation of tilt boundaries
تكوين عمود مائل (حدود التؤأمة)

Recovery, Recrystallization, and Grain Growth



Recovery, Recrystallization, and Grain Growth

Recrystallization اعادة التبلور

Even after recovery is complete, the grains are still in a relatively high strain energy state. **Recrystallization** is the formation of a new set of strain-free and equiaxed grains (i.e., having approximately equal dimensions in all directions) that have low dislocation densities and are characteristic of the precold-worked condition.
In recrystallization process the grains grow out of parent grain and the mechanical properties restored to pre-cold worked value. So, the recrystallization process increases with time and temperature.

بالرغم من عملية الاستعادة، الا انه لا زال هناك طاقة انفعال مخزونة. ان عملية اعادة التبلور هي سلسلة من تكوين خلايا جديدة في المعدن وتكون متساوية الاقطار تقريبا (لديها نفس الابعاد) وبالتالي يتم التخلص من كثافة الانخلاعات وتعود البلورات الى حالة ما قبل التشكيل.

في عملية اعادة التبلور يتم نمو بلورات خارج البلورات الاصلية وتعود الخواص الميكانيكية للمعدن الى حالة ما قبل التشكيل. ان عملية اعادة التبلور تزداد بالوقت ودرجة الحرارة.

Recovery, Recrystallization, and Grain Growth

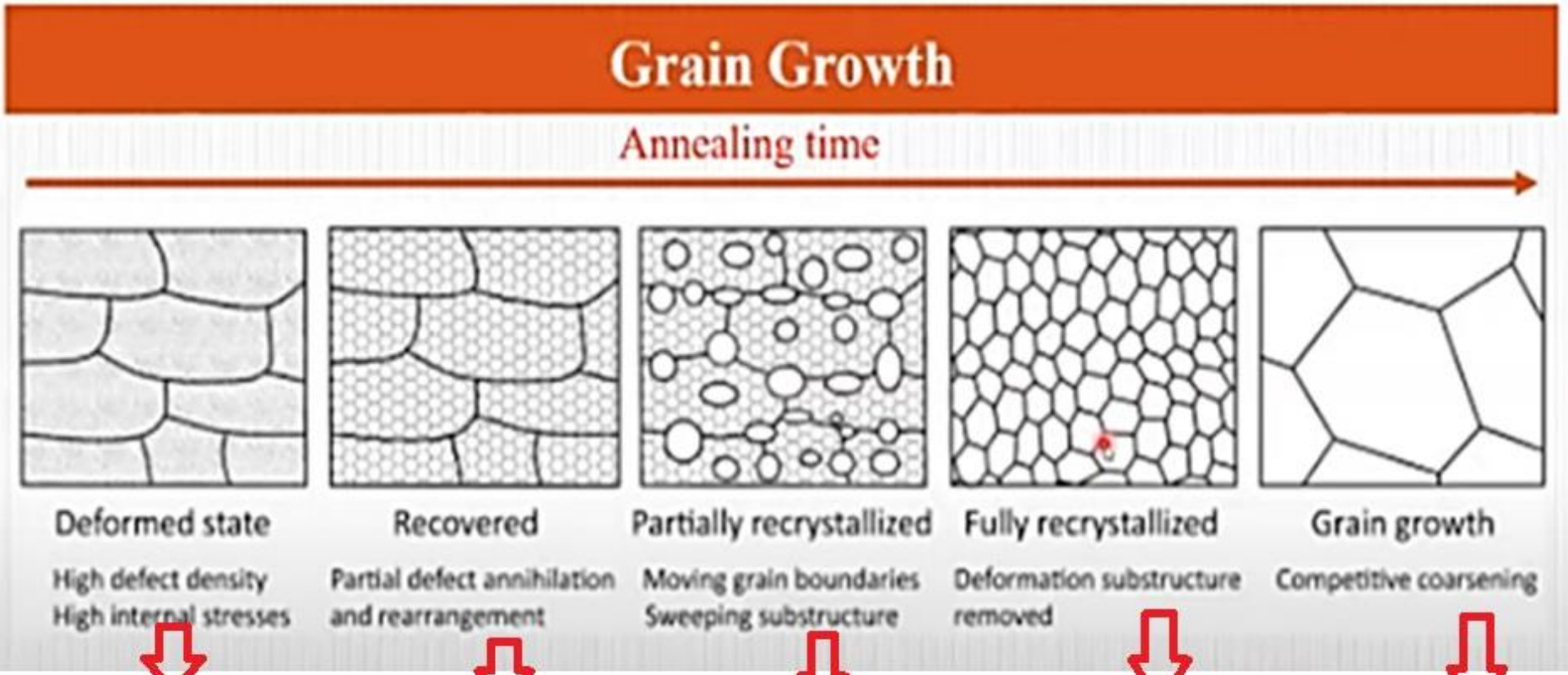
Grain growth النمو البلوري

After recrystallization is complete, the strain-free grains will continue to grow if the metal specimen is left at the elevated temperature. Grain growth associated with increase of grain size.
Grain growth occurs by the migration of grain boundaries. Obviously, not all grains can enlarge, but large ones grow at the expense of small ones that shrink.

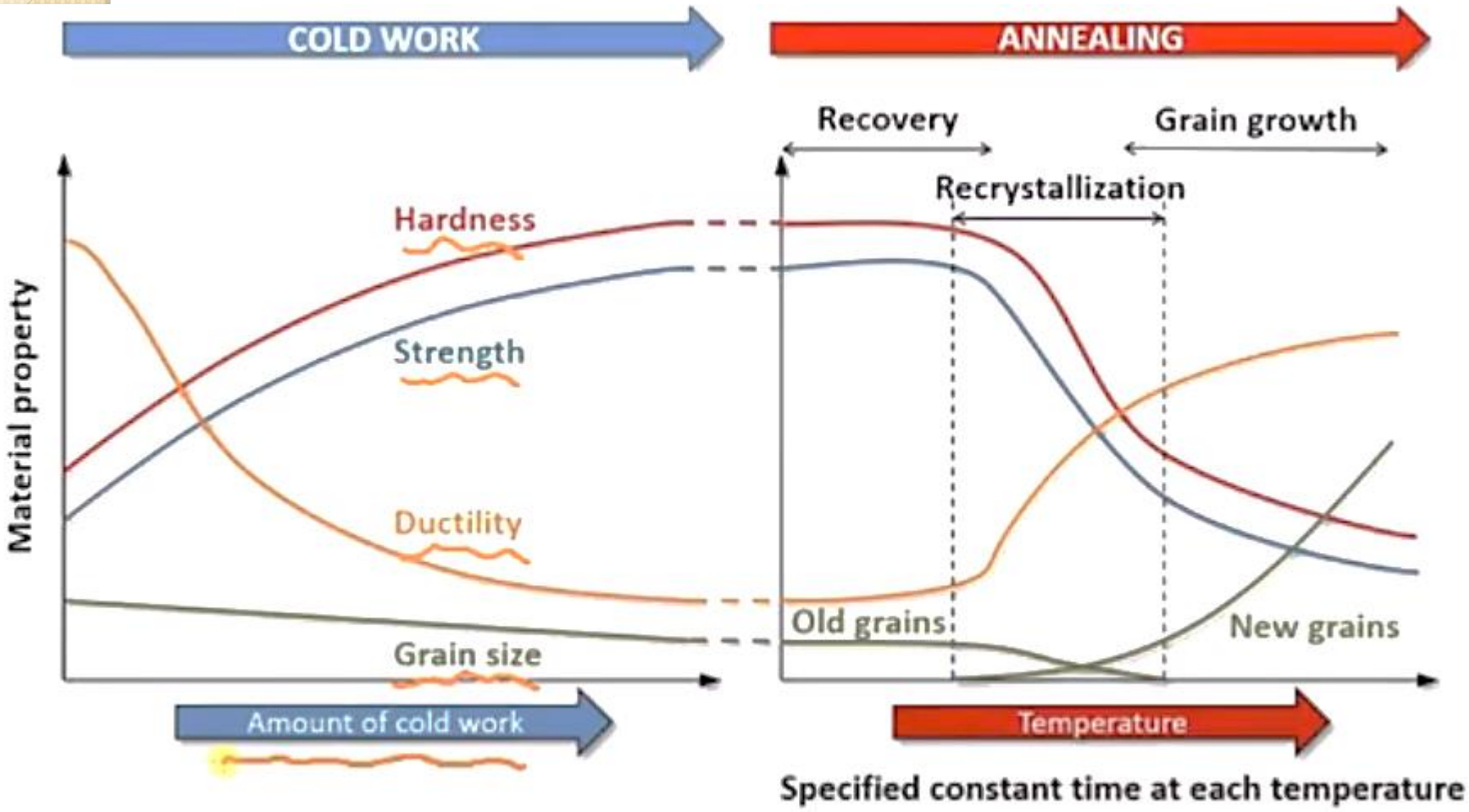
بعد اتمام عملية اعادة التبلور، يتم نمو الخلايا (البلورات) الخالية من طاقة الانفعال وتستمر عملية النمو هذه بعد ترك العينة عند درجات حرارة مرتفعة. ان عملية النمو البلوري مرتبطة فقط بزيادة حجم البلورات.

ان عملية النمو البلوري تحدث عن طريق هجرة (انهيار) حدود الحبوب. من الواضح أنه لا يمكن أن تتضخم جميع الحبوب ، لكن الحبوب الكبيرة تنمو على حساب الحبوب الصغيرة التي تتقلص.

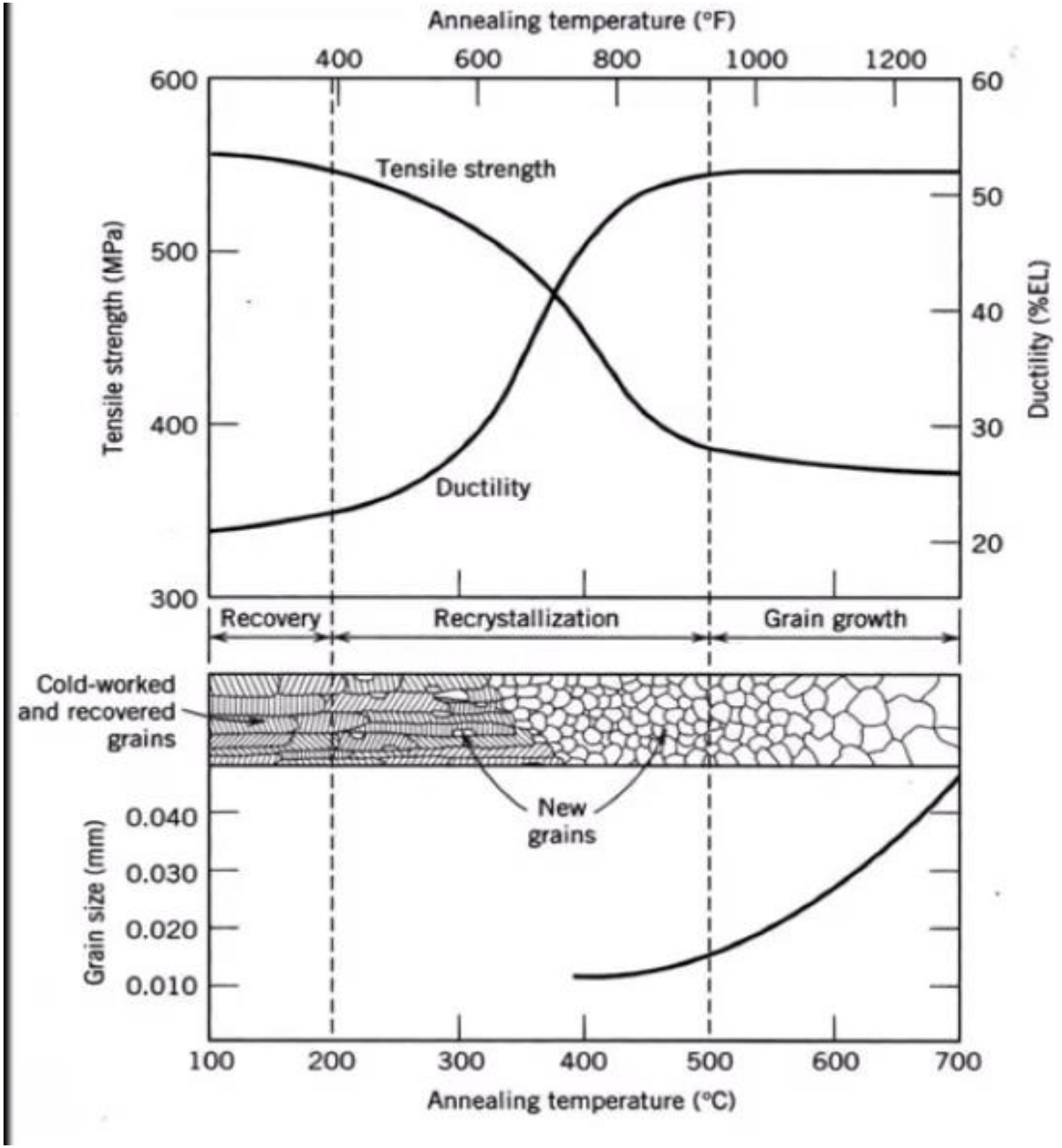
Recovery, Recrystallization, and Grain Growth



Recovery, Recrystallization, and Grain Growth



Recovery, Recrystallization, and Grain Growth



Stress – strain diagram

Stress-strain curves are an extremely important graphical measure of a material's mechanical properties, and all students of Mechanics of Materials will encounter them often

يعد منحني الاجهاد-الانفعال من اهم منحنيات قياس الخواص الميكانيكية، والذي يستفاد منه ويواجهه جميع الطلبة.

Mechanical testing plays an important role in evaluating fundamental properties of engineering materials as well as in developing new materials and in controlling the quality of materials for use in design and construction

ان الخواص الميكانيكية تلعب دورا مهما في المواد الهندسية بالاضافة الى المواد الحديثة والتي تسيطر على جودتها وتستخدم في التصميم والانتاج.

Classifying Loads on Materials انواع الاحمال في المواد

Normal Load (Axial load): Load is perpendicular to the supporting material.

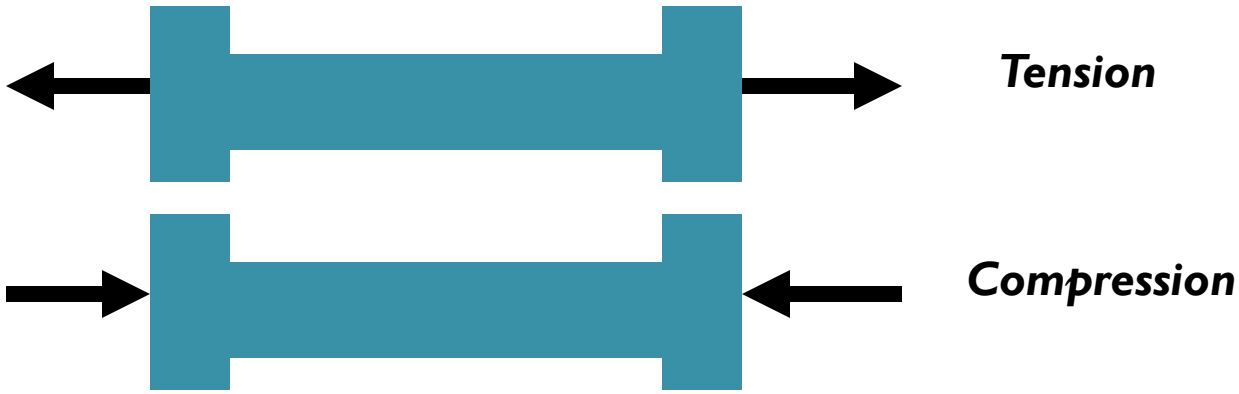
الحمل العمودي : هو الحمل المسلط بشكل عمود على القطعة

Tension Load: As the ends of material are pulled apart to make the material longer, the load is called a tension load.

حمل الشد: هو الحمل المسلط على نهايتي القطعة وبشكل طولي ومن النهايتين.

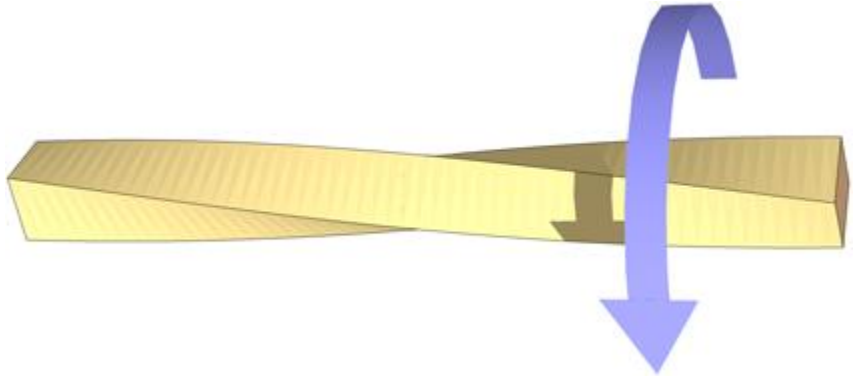
Compression Load: As the ends of material are pushed in to make the material smaller, the load is called a compression load.

حمل الضغط: هو الحمل المسلط على نهايتي القطعة وبشكل يدفع القطعة من النهايتين.



•**Torsion Loads: Angular distortion on a component, such as a shaft, when a moment is applied. (Twisting)**

حمل الالتواء: وهو الحمل الذي يسلط على القطعة بصورة دورانية وبزاوية معينة، مثل الحمل الذي يسلط على عمود الدوارن عندما يكون في حالة العزم

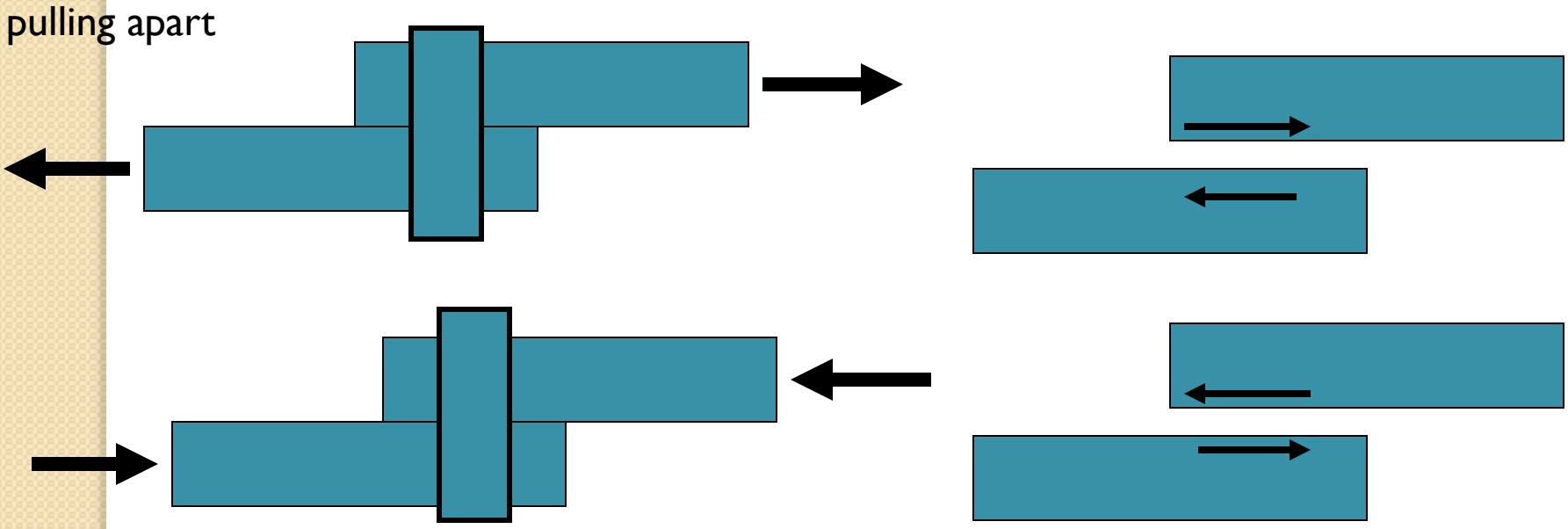


•**Thermal Loads: Distortion caused be heating or cooling a material. A normal load is created when the material is constrained in any direction in the plane that is constrained.**

•**الحمل الحراري: هو الحمل الناتج بسبب التسخين او التبريد. ويتم تسليطه على القطعة عندما تكون مقيدة في اتجاه او اتجاهات معينة.**

- **Shear Load :Tangential load (حمل القص (الحمل المماسي**

وهو الحمل الذي يكون موازي بتأثيره للشغلة المسلط عليها



Stress and Strain

In order to compare materials, we must have measures. One of them is a stress.

لكي يمكننا المقارنة بين المواد فلا بد من وجود مقياس، واحد هذه المقاييس هو الاجهاد

- **Stress : load per unit area** الاجهاد هو الحمل المسلط على وحدة المساحة

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

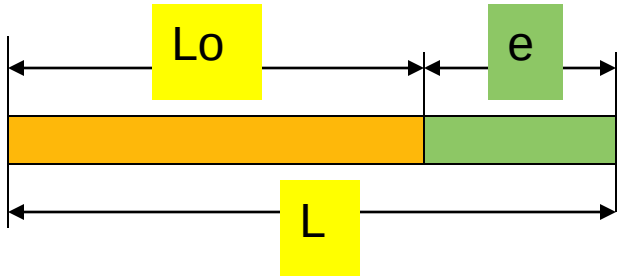
F : load applied in pounds
A : cross sectional area in in²
σ : stress in psi

Stress and Strain

- **Strain: الانفعال**
  - Ratio of elongation of a material to the original length
  - unit deformation

الانفعال هو نسبة التغير في الطول على الطول الاصلي ويكون بدون وحدة

$$\varepsilon = \frac{e}{L_o}$$



e : elongation (الاستطالة)(وحدات طول)

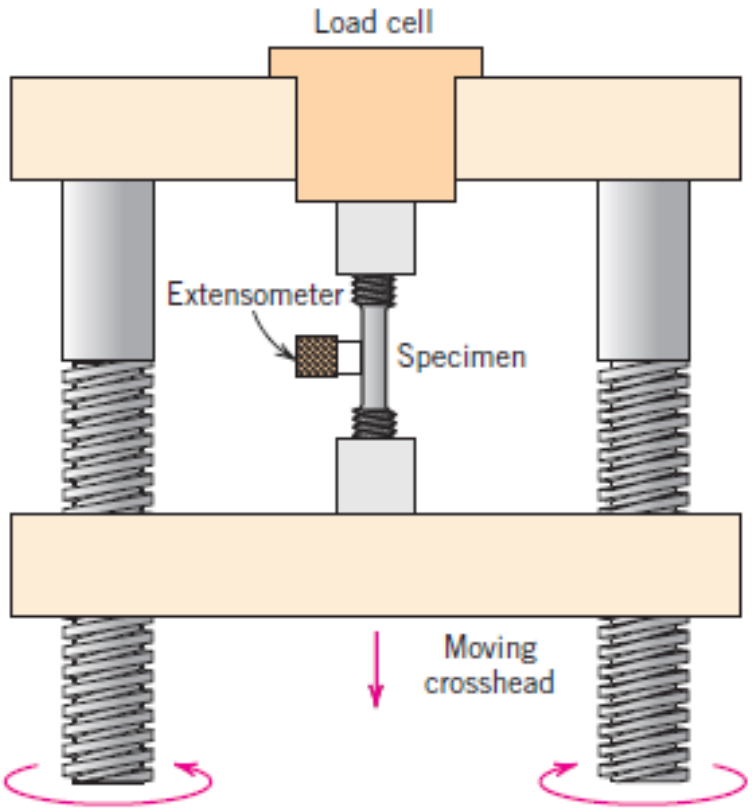
Lo : unloaded(original) length of a material

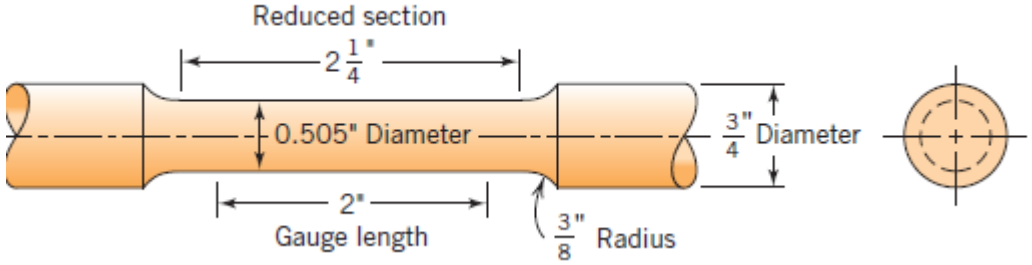
ε : strain (unit less) بدون وحدات

Elongation: الاستطالة

$$e = L - L_o$$

Hydraulic Machine for Tension & Compression test جهاز السحب والضغط الهيدروليكي





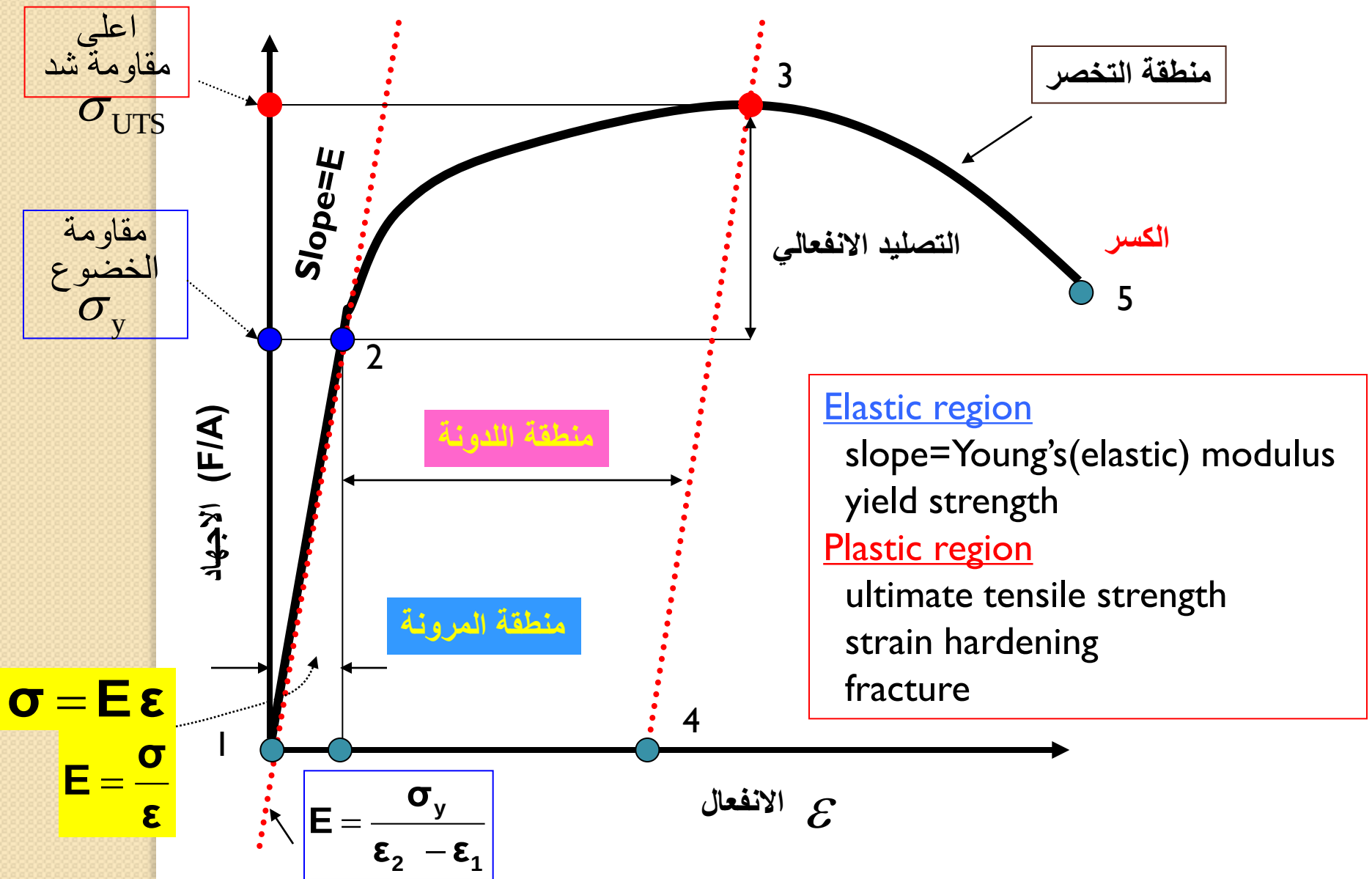
Stress-Strain Diagram

- It will study the following topics through stress – strain diagram
- سيتم دراسة العناوين التالية من خلال منحني الاجهاد الانفعال
- **A plot of Strain vs. Stress. مخطط الاجهاد – الانفعال**
- **The diagram gives us the behavior of the material and material properties.**

  دراسة سلوكيات المواد والخواص الميكانيكية من خلال منحني الاجهاد-الانفعال
- **Each material produces a different stress-strain diagram.**

  ان لكل مادة او معدن منحني اجهاد-انفعال خاص به.

Stress-Strain Diagram



Elastic region

slope=Young's(elastic) modulus

yield strength

Plastic region

ultimate tensile strength

strain hardening

fracture

Stress-Strain Diagram

- **Elastic Region (Point I –2) منطقة المرونة**
- **The material will return to its original shape after the material is unloaded(like a rubber band).**
  - **المادة سوف تعود الى شكلها الاصلي بعد زوال القوة المؤثرة (مثل المطاط)**

- **The stress is linearly proportional to the strain in this region.**
  - **الاجهاد يتناسب بشكل خطي مع الانفعال في هذه المنطقة.**

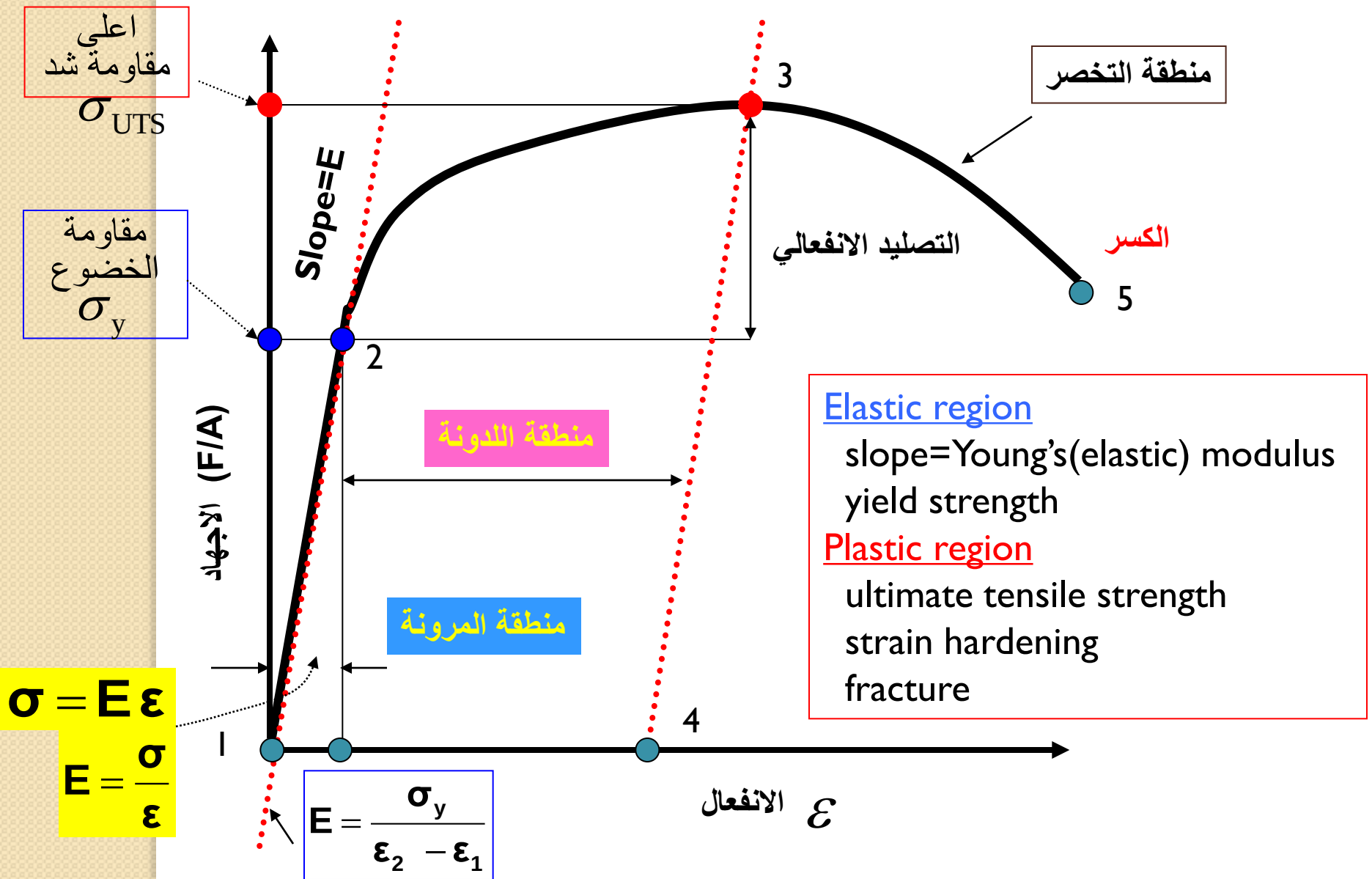
$$\sigma = E\,\varepsilon \quad \text{or} \quad E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

σ : Stress (N/m^2)(Pa)
E : Elastic modulus (Young's Modulus) (Pa)
ε : Strain

- Point 2 : Yield Strength : a point at which permanent deformation occurs. (If it is passed, the material will no longer return to its original length.)

-النقطة 2 مقاومة الخضوع: هنا يكون التشكيل لدنا، عند تجاوز المادة هذه النقطة فلن تستطيع الرجوع الى شكلها الاصلي.

Stress-Strain Diagram



Elastic region

slope=Young's(elastic) modulus

yield strength

Plastic region

ultimate tensile strength

strain hardening

fracture

Stress-Strain Diagram

The ELASTIC Range Means: منطقة المرونة تعني

- The strain, or elongation over a unit length, will behave linearly (as in y=mx +b) and thus predictable.
- الانفعال او التغيير بالطول على الطول الاصلي سوف يكون خطيا.

-The material will return to its original shape (Point 1) once an applied load is removed.

-ستعود المادة الى النقطة رقم 1 عند زوال الحمل المؤثر عليها.

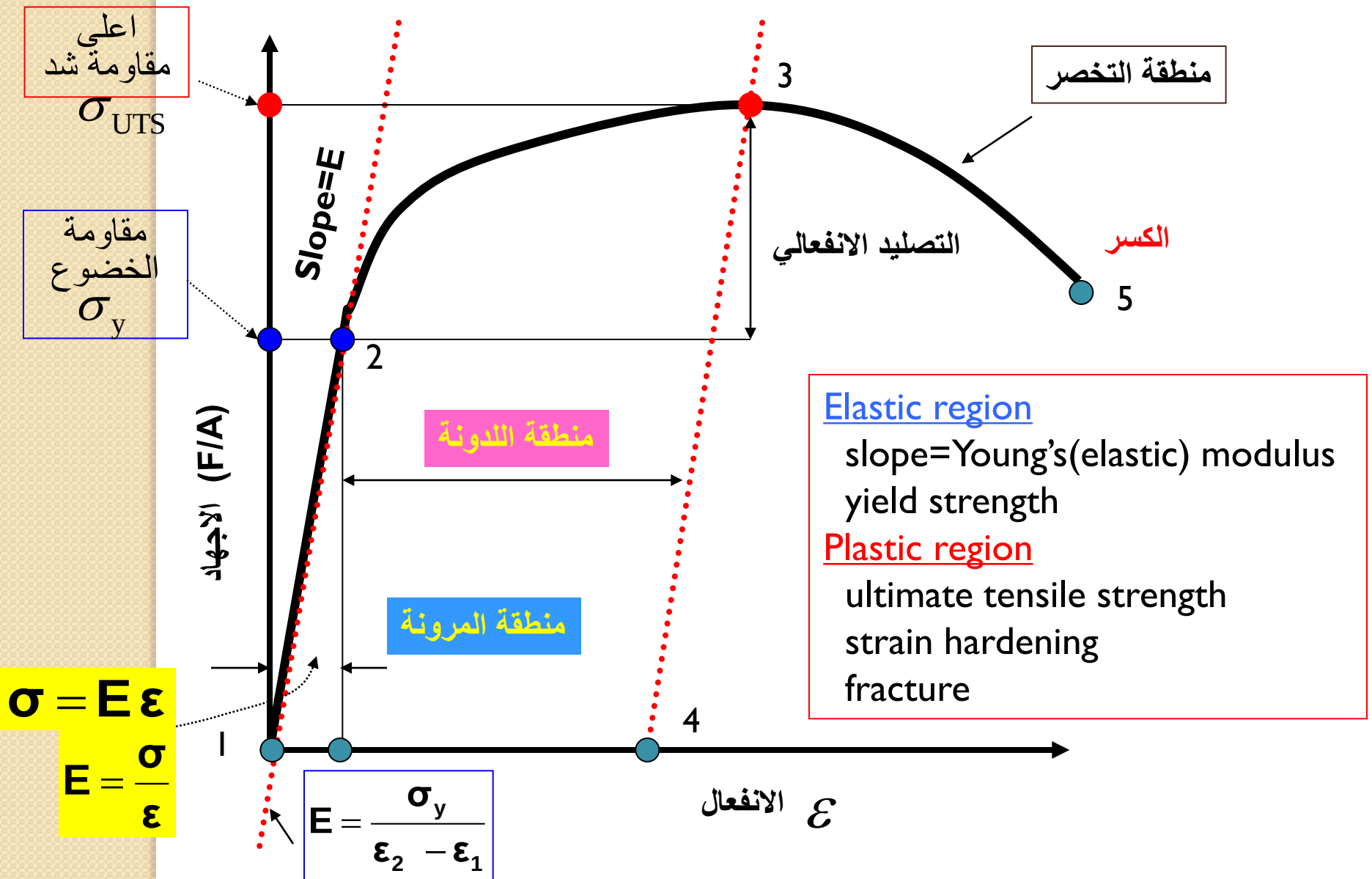
- The stress within the material is less than what is required to create a plastic behavior (deform or stretch significantly without increasing stress).
- الاجهاد المرافق للمادة يكون اقل من المطلوب للتشكيل اللدن لهذه المادة.

Stress-Strain Diagram

Plastic Region (Point 2 –3) منطقة اللدونة

- If the material is loaded beyond the yield strength, the material will not return to its original shape after unloading.
- عند تجاوز الحمل هذه النقطة فلن تستطيع المادة الرجوع الى وضعها الاصلي.
- It will have some permanent deformation.
- يكون التشوه في هذه النقطة دائمي
- If the material is unloaded at Point 3, the curve will proceed from Point 3 to Point 4. The slope will be the as the slope between Point 1 and 2.
- اذا تم زوال القوة في النقطة 3 فيتم رسم خط بين النقطة 3 و 4 ، ويكون موازي للخط بين النقطة 1 و 2 .
- The distance between Point 1 and 4 indicates the amount of permanent deformation.
- المسافة بين النقطة 1 والنقطة 4 تمثل قيمة التشوه الدائمي

Stress-Strain Diagram



Elastic region

slope=Young's(elastic) modulus

yield strength

Plastic region

ultimate tensile strength

strain hardening

fracture

Stress-Strain Diagram

Strain Hardening

- **If the material is loaded again from Point 4, the curve will follow back to Point 3 with the same Elastic Modulus(slope).**

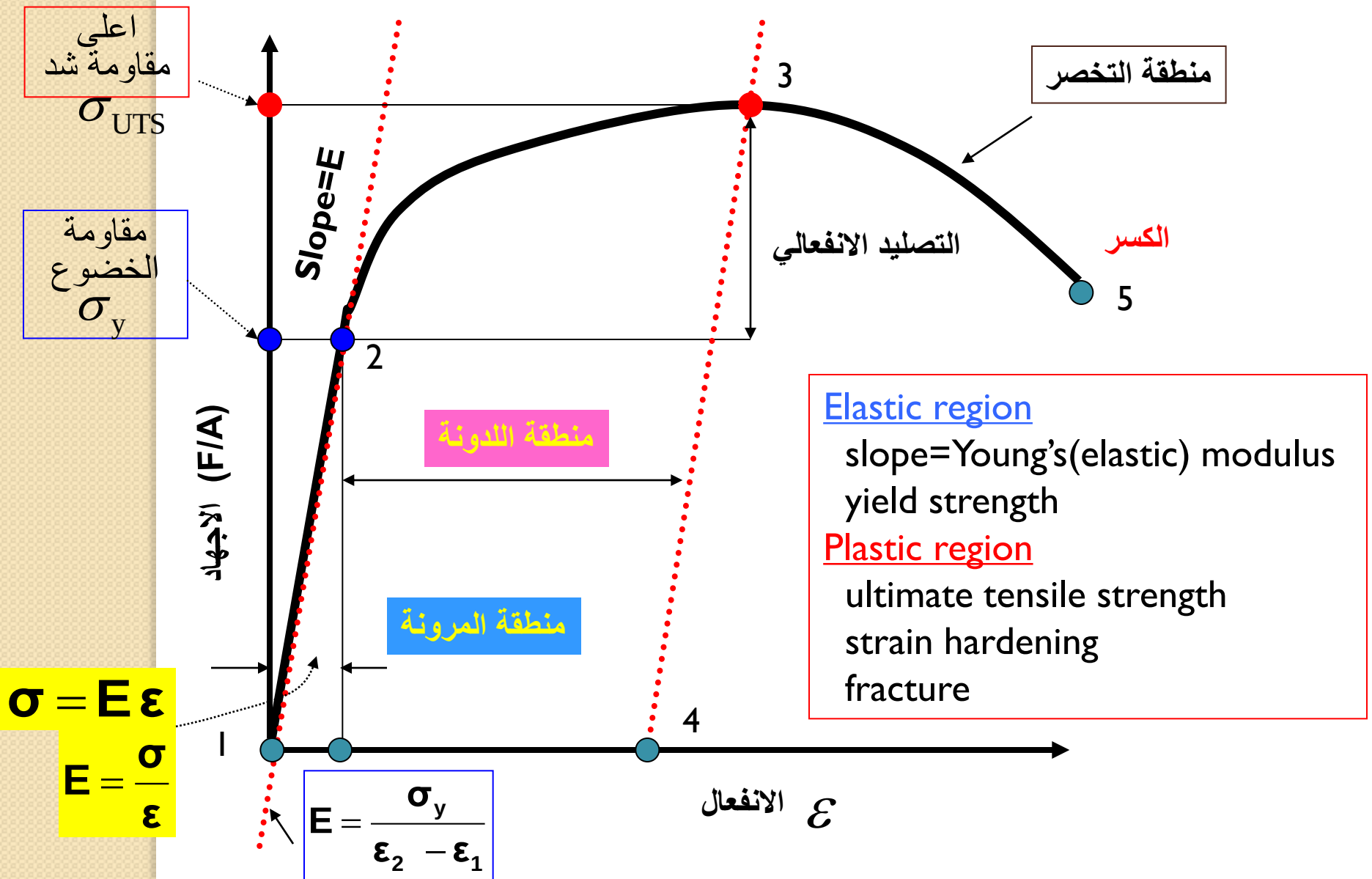
اذا تم سحب العينة مرة اخرى من النقطة 4 فان المنحني سيعود الى النقطة 3 مرة اخرى وبنفس ميل معامل المرونة

- **The material now has a higher yield strength of Point 4.**

المادة ستكون لها قيمة مقاومة خضوع اكبر من النقطة 4

- **Raising the yield strength by permanently strain in the material is called Strain Hardening.**
- **الزيادة في مقاومة الخضوع عن طريق التشوه الدائمي للمادة يدعى « التصليد الانفعالي»**

Stress-Strain Diagram



Elastic region

slope=Young's(elastic) modulus

yield strength

Plastic region

ultimate tensile strength

strain hardening

fracture

Stress-Strain Diagram

Tensile Strength (Point 3)

The largest value of stress on the diagram is called Tensile Strength(TS) or Ultimate Tensile Strength (UTS).

ان اعلى قيمة للاجهاد في المخطط تدعى اجهاد الشد او اقصى اجهاد الشد

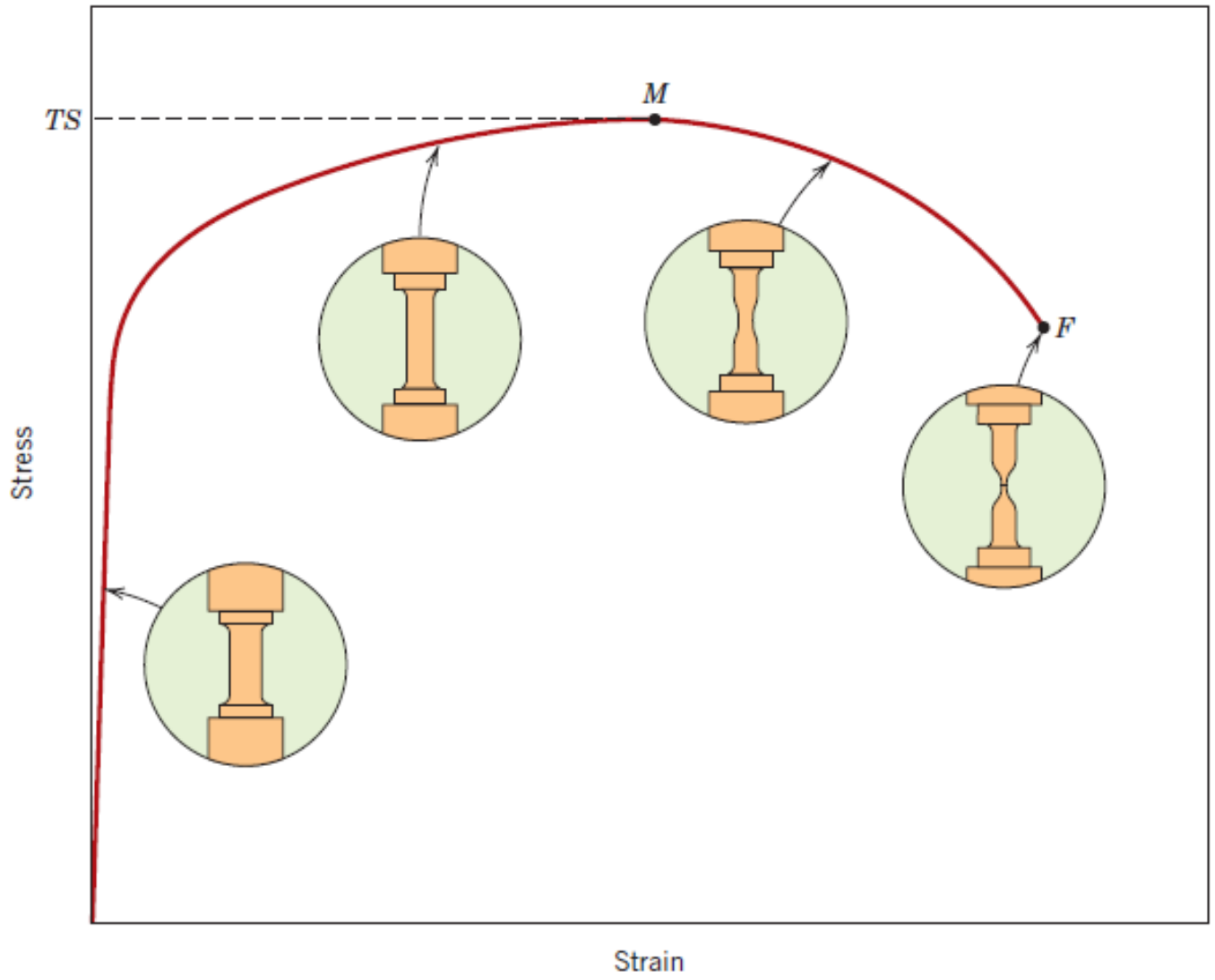
- It is the maximum stress which the material can support without breaking.
- وهو اعلى اجهاد يتحمله المعدن او المادة بدون ان ينكسر او يفشل

Fracture (Point 5)

- If the material is stretched beyond Point 3, the stress decreases as necking and non-uniform deformation occur.
- اذا المعدن او المادة بدأت بالمط (السحب) بعد النقطة 3 ، فان الاجهاد يقل وتبدأ العينة بالتخصر، ويكون التشوه غير منتظم.
- Fracture will finally occur at Point 5. (5) واخير يحدث الكسر عند النقطة

Stress-Strain Diagram

Stress-Strain Diagram



Stress – strain diagram

Summery: الخلاصة

- Engineering Stress is obtained by dividing the load by the original area of the cross section of the specimen.

Stress $\sigma = P/A_o$ (Load/Initial cross-sectional area)

Strain = $e = \Delta l/l_o$ (Elongation/Initial gage length)

الاجهاد الهندسي هو حاصل قسمة القوة المسلطة على مساحة مقطع العينة.

الاجهاد : $\sigma = P/A_o$

الانفعال : $e = \Delta l/l_o$

حيث ان : P يمثل القوة المسلطة

A_o يمثل مساحة مقطع العينة الاصلي

l_o يمثل طول العينة الاصلي

Δl التغير في طول العينة

Stress – strain diagram

Elastic deformation is recoverable. In the elastic region, stress and strain are related to each other linearly.

ان التشكيل المرن هو التشكيل القابل لرجوع العينة الى شكلها الاصلي، وفي هذه المنطقة تكون العلاقة بين الاجهاد والانفعال علاقة خطية.

Hooke's Law: $\sigma = Ee$

Stress – strain diagram

- ***Plastic Region:*** The part of the stress-strain diagram after the yielding point.

منطقة اللدونة: هي الجزء الذي يمثل فوق نقطة الخضوع في منحني الاجهاد الانفعال.

At the yielding point, the plastic deformation starts. Plastic deformation is permanent. At the maximum point of the stress-strain diagram (σuts), necking starts.

يبدأ التشكيل اللدن عن نقطة الخضوع عندها لا يمكن للعينة الرجوع الى شكلها الاصلي. ويستمر التشكيل الى ان تصل القوة الى اعلى مايمكن، وتمثل النقطة اعلى اجهاد (σ_{uts}) في منحني الاجهاد الانفعال وبعدها تبدأ العينة بالتخصر.

Stress – strain diagram

Tensile Strength is the maximum stress that the material can support.

$\sigma uts = Pmax/Ao$

Because after this strength, material will start to failure.

مقاومة الشد: هي اعلى مقاومة يبديها المعدن وصيغتها:

$$\sigma_{uts} = P_{max}/A_o$$

وبعد هذه القيمة تبدأ العينة بالتخصر أي الفشل.

Stress – strain diagram

Proof stress

The proof stress of a material is defined as the amount of stress it can endure until it undergoes a relatively small amount of plastic deformation. Specifically, proof stress is the point at which the material exhibits 0.2% of plastic deformation. As seen in the following figure.

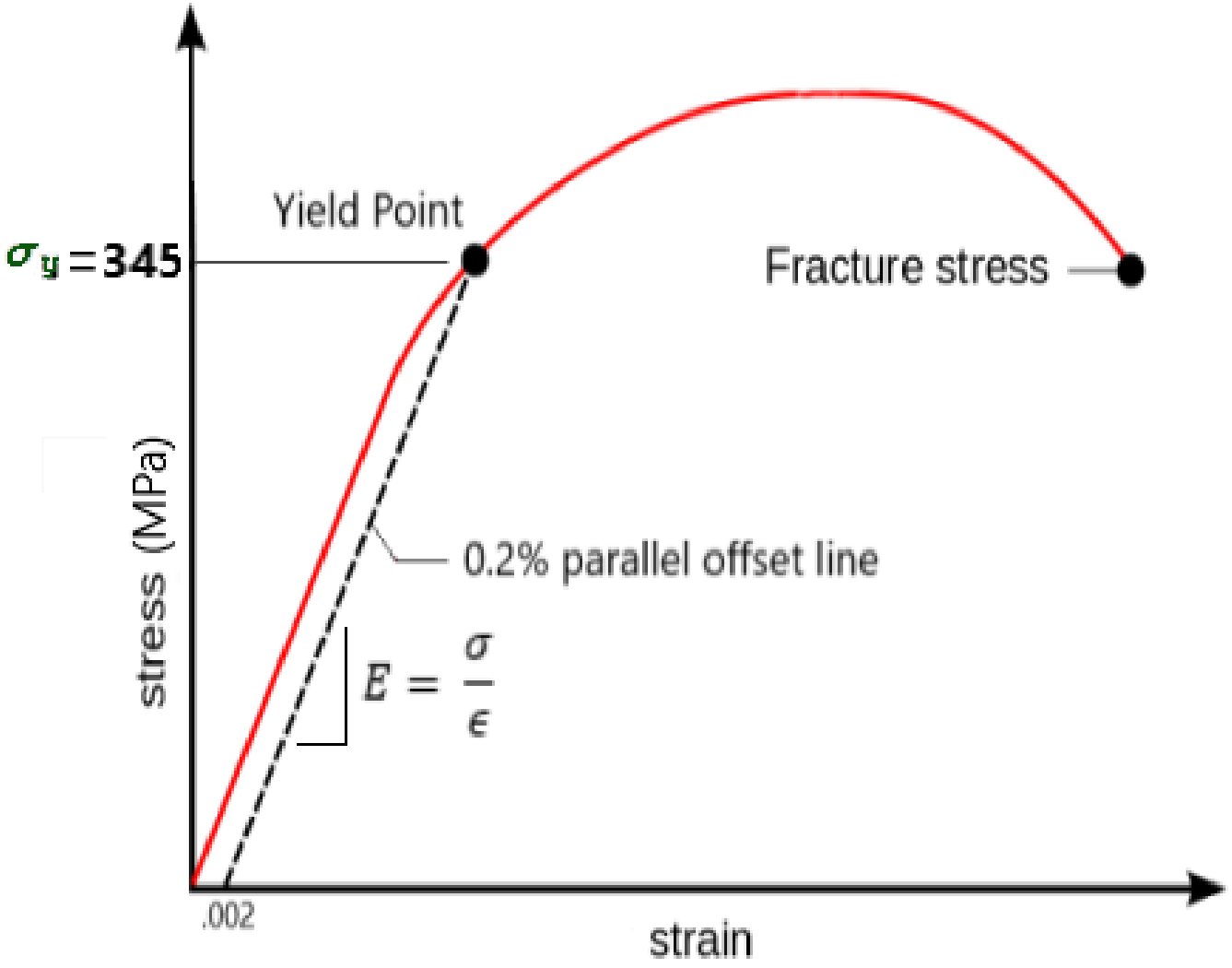
الاجهاد المبرهن:

ان الاجهاد المبرهن هو قيمة معينة من الاجهاد لبعض المعادن وخاصة (القصيفة) التي لا تظهر فيها نقطة الخضوع اثناء التشكيل اللدن.

وتكون قيمته 0.2% من التشكيل اللدن.

وكما موضح في الشكل ادناه.

Stress – strain diagram

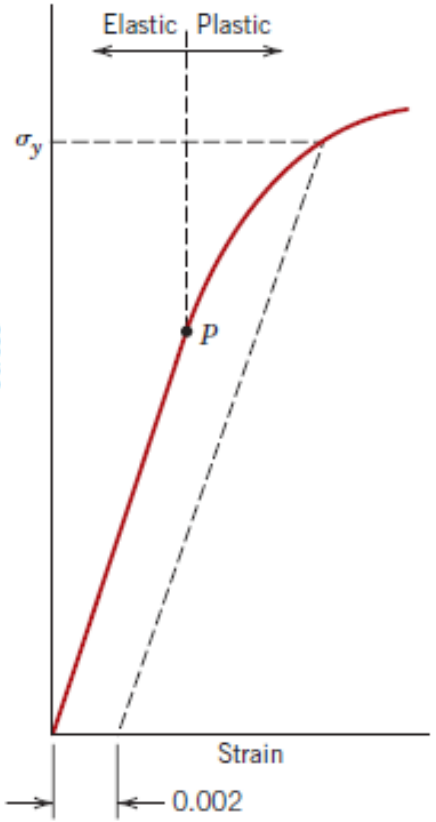


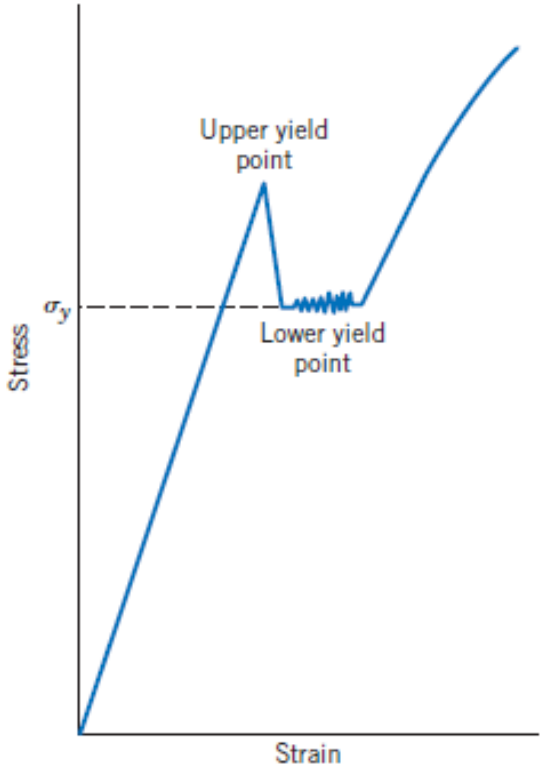
Stress – strain diagram

Ductility is the degree of plastic deformation that a material can withstand before fracture. A material that experiences very little or no plastic deformation upon fracture is termed *brittle*.

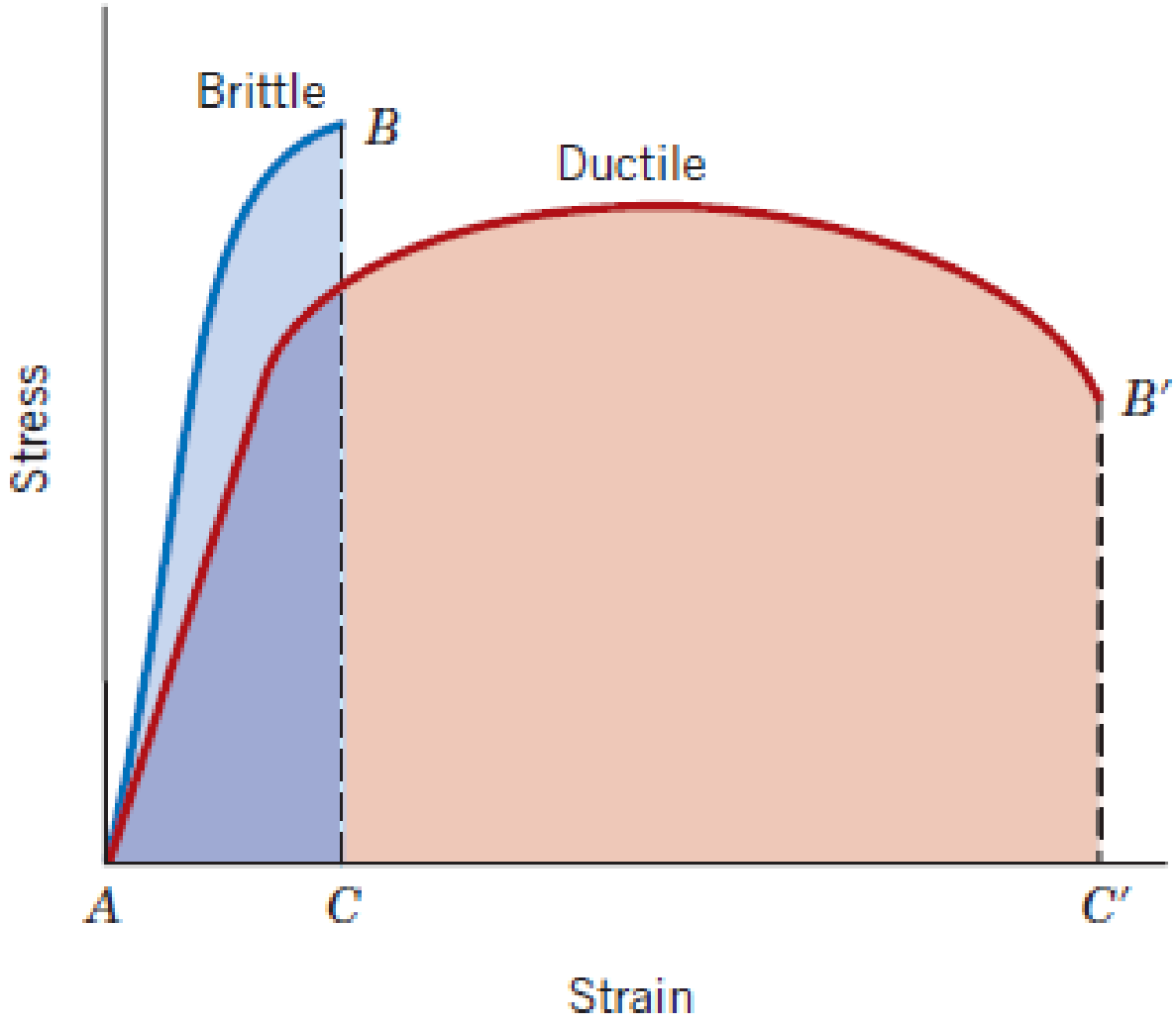
المطيلية:

هي قابلية المعدن على التشكيل اللدن قبل الفشل (الكسر). والمعادن التي تمتلك قابلية تشكيل قليلة او لا تمتلك اصلا تسمى بالمعادن القصيفة.





Stress – strain diagram



Stress – strain diagram

- **Ductility** may be expressed quantitatively as either ***percent elongation or percent reduction in area***. The percent elongation %EL is the percentage of plastic strain at fracture, or

ممكن التعبير عن المطيلية بكمية « نسبة الاستطالة المئوية %EL» او « نسبة تقلص مساحة المقطع المئويةRA% »

$$\%\mathrm{EL} = \left(\frac{l_f - l_0}{l_0}\right) \times 100$$

where is the Lf fracture length Lo and is the original gauge length as above.

حيث ان Lf تمثل الطول النهائي للعينة بعد الكسر، و
Lo تمثل الطول الاصلي للعينة.

Stress – strain diagram

Percent reduction in area %RA is defined as:

اما النسبة المئوية لتقلص مساحة المقطع %RA فتكون صيغتها:

$$\%\mathrm{RA} = \left(\frac{A_0 - A_f}{A_0}\right) \times 100$$

where is the Af cross section area after fracture, Ao and is the original cross section of specemin as above.

حيث ان Af تمثل مساحة المقطع النهائي للعينة بعد الكسر، و
Ao تمثل مساحة المقطع الاصلي للعينة.

Stress – strain diagram

DUCTILE FRACTURE الكسر المطيلي

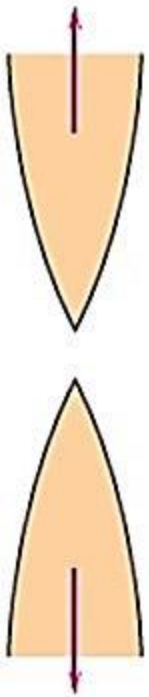
- Ductile fracture surfaces will have their own distinctive features on both macroscopic and microscopic levels. The following Figure shows schematic representations for two characteristic macroscopic fracture profiles.

يتصف الكسر المطيلي بسمات معينة ممكن الكشف عنها عينيا او مجهريا. والشكل التالي يوضح نوعين من الكسر المطيلي بالاضافة الى الكسر الهش.

Ductile materials typically exhibit substantial plastic deformation with high energy absorption before fracture. On the other hand, there is normally little or no plastic deformation with low energy absorption accompanying a brittle fracture.

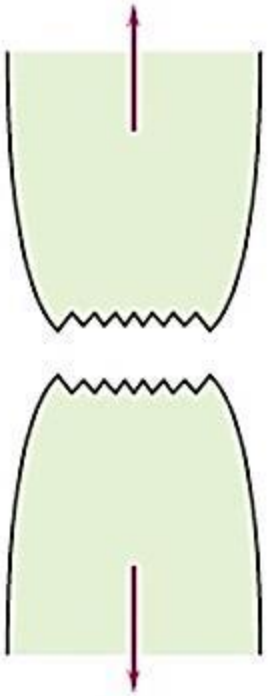
عادةً ما تظهر المواد المطيلية تشوهًا لدنا كبيرا مع امتصاص عالي للطاقة قبل الكسر.من ناحية أخرى ، هناك تشوه لدن بسيط أو معدوم مع امتصاص منخفض للطاقة مصاحب للكسر الهش

Stress – strain diagram



(a)

* تشوه لدنا عالي
* امتصاص عالي لطاقة الصدمة
* تخصر كبير في المعدن



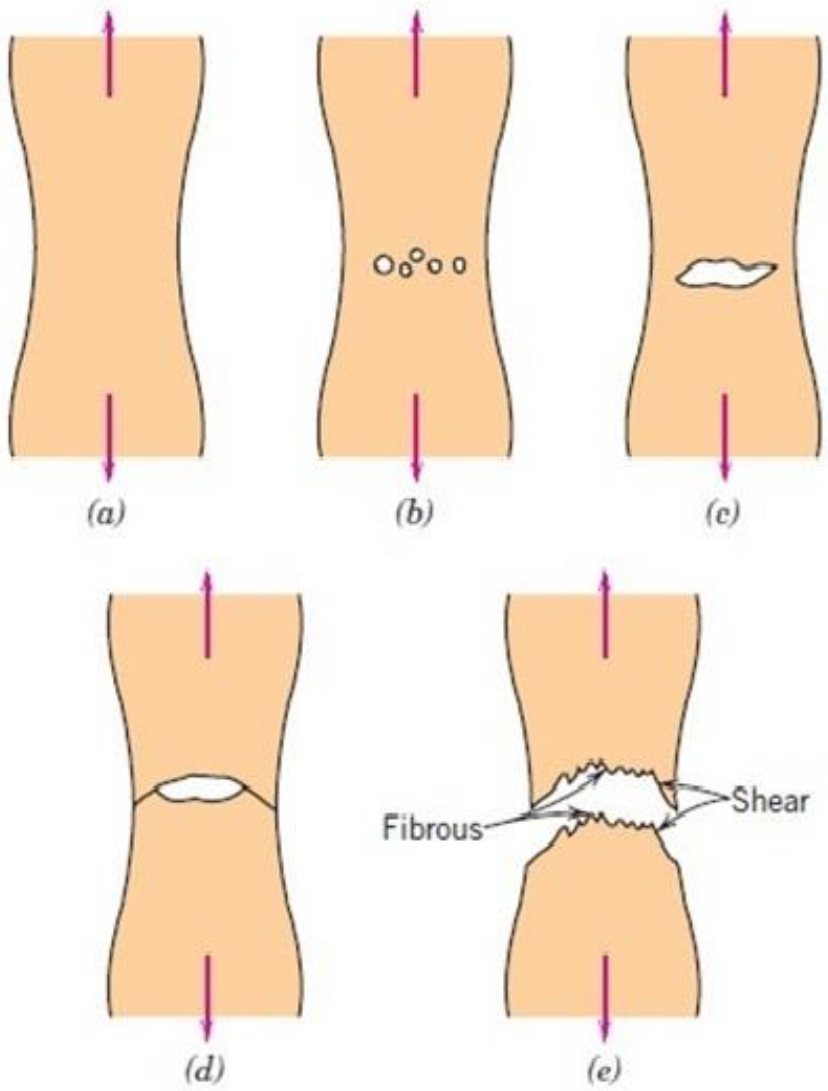
(b)

* تشوه لدن متوسط
* امتصاص متوسط لطاقة الصدمة
* مطيلية متوسطة

(c)

* لا يوجد اي مظهر للتشوه اللدن
* لايوجد امتصاص لطاقة الصدمة
* كسر هش (قصيف)

Stress – strain diagram



Stages in the cup-and-cone fracture. (*a*) Initial necking. (*b*) Small cavity formation. (*c*) Coalescence of cavities to form a crack. (*d*) Crack propagation. (*e*) Final shear fracture at a 45° angle relative to the tensile direction.

يبدأ الكسر المطيلي بالتخصر اولا ثم يتبعه تكوين فراغات صغيرة في منطقة التخصر وبعدها تلتقي هذه الفراغات مع بعضها البعض مكونة شق صغير ويبدأ هذا الشق بالانتشار الى ان تحصل عملية فصل القطعة (الكسر)

Stress – strain diagram

(a) (b)

(*a*) Cup-and-cone fracture in aluminum. (*b*) Brittle fracture in a mild steel.

Stress – strain diagram

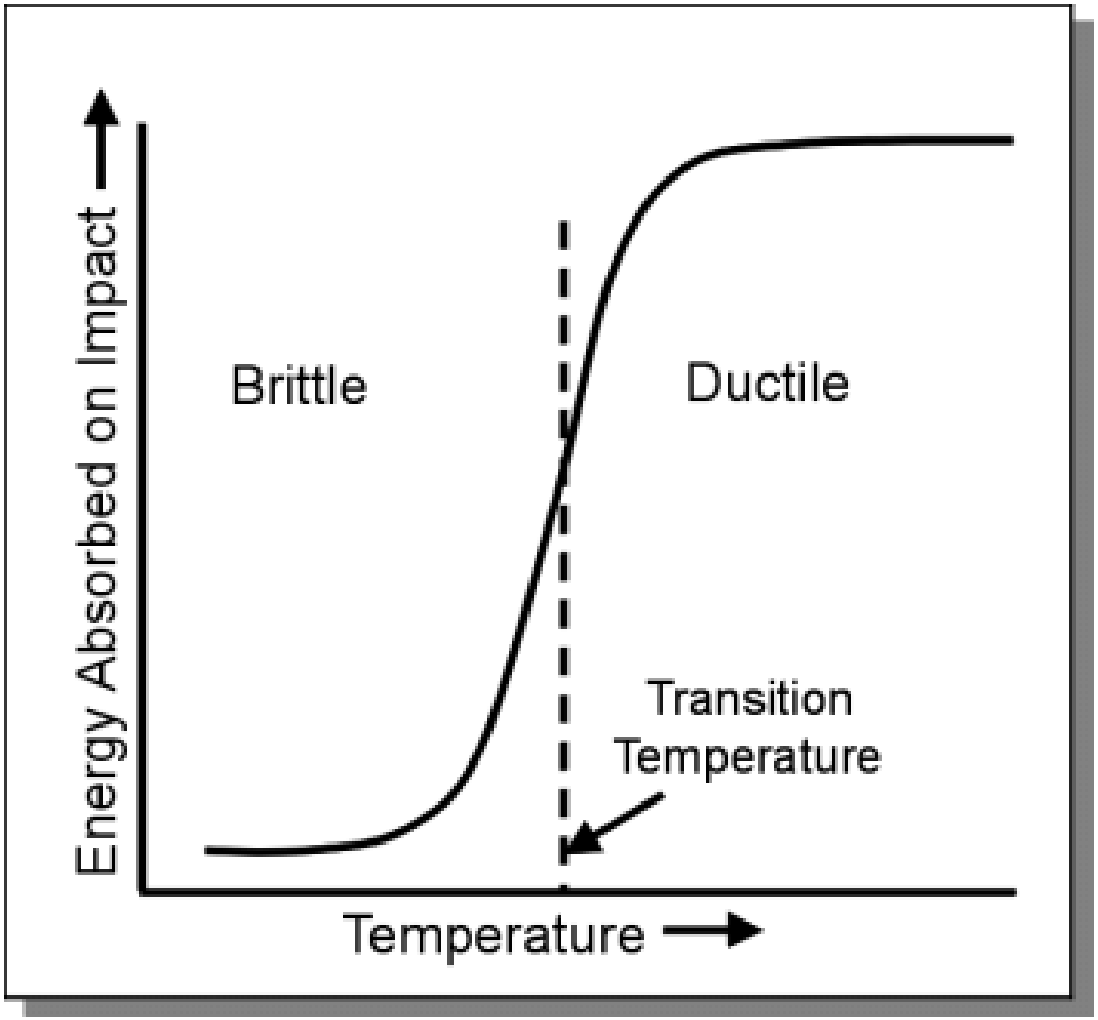
Ductile–brittle Transition Temperature

Many steels exhibit ductile fracture at elevated temperatures and **brittle fracture at low temperatures**. The temperature above which a material is ductile and below which it is brittle is known as the **ductile–brittle transition temperature** (DBTT), nil ductility temperature (NDT), or nil ductility transition temperature.

درجة حرارة تحول خاصية الهشاشة الى المطيلية:
معظم المعادن تتعرض الكسر المطيلي عند درجات الحرارة المرتفعة وتتعرض الى الكسر الهش عند درجات الحرارة المنخفضة. ان درجة الحرارة التي يكون فوقها المعدن مطيلية وتحتها هشا تدعى ب (DBTT) درجة حرارة تحول الهشاشة الى المطيلية. كما موضح في الشكل ادناه.

Stress – strain diagram

Ductile–brittle Transition Temperature



Stress – strain diagram

Elongation (Elastic) Computation

A piece of copper originally 305 mm (12 in.) long is pulled in tension with a stress of 276 MPa (40,000 psi). If the deformation is entirely elastic, what will be the resultant elongation?

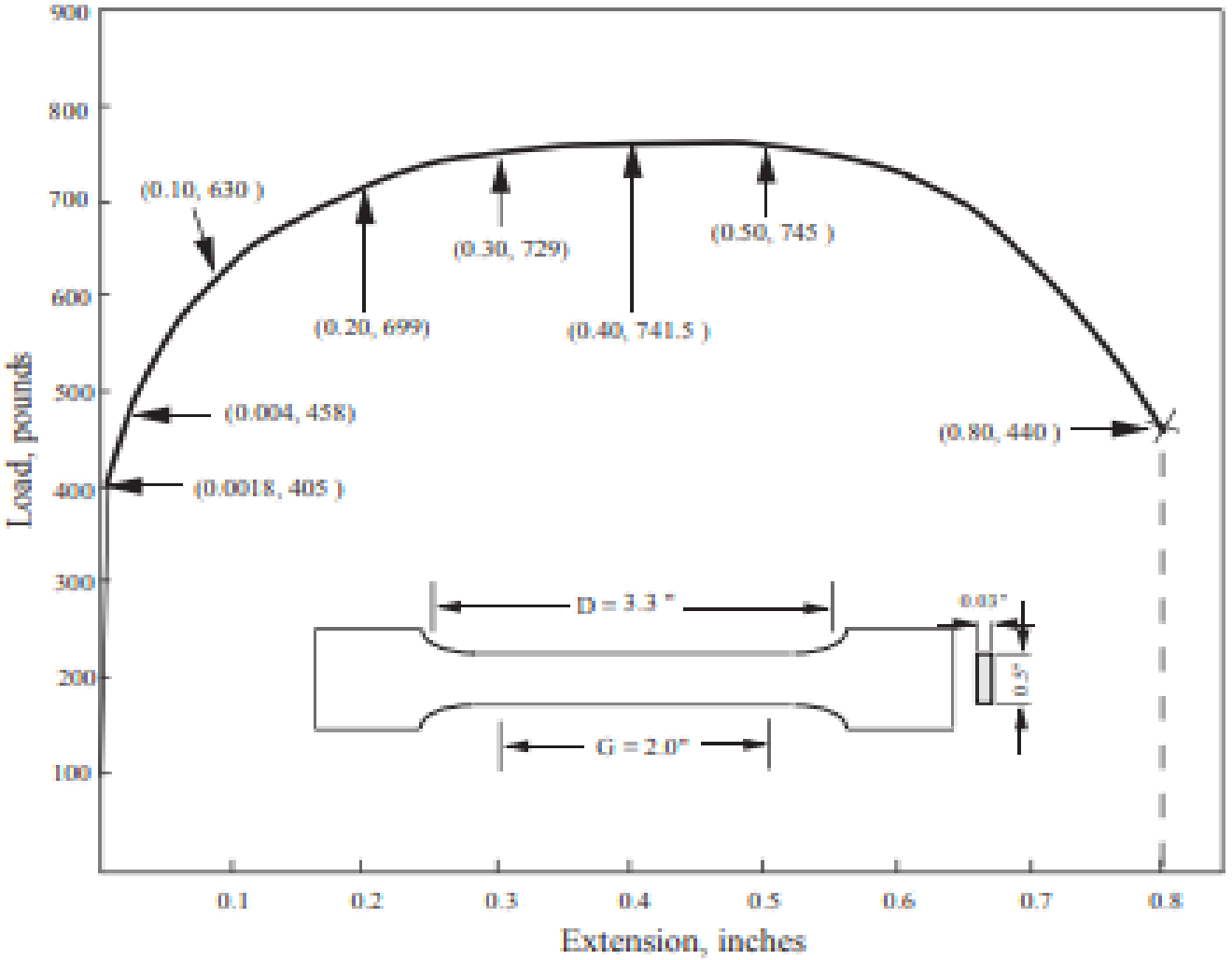
$$\sigma = \epsilon E = \left(\frac{\Delta l}{l_0}\right) E$$

$$\Delta l = \frac{\sigma l_0}{E}$$

The values of σ and l_0 are given as 276 MPa and 305 mm, respectively, and the magnitude of E for copper from Table 6.1 is 110 GPa (16×10^6 psi). Elongation is obtained by substitution into the expression above as

$$\Delta l = \frac{(276\ \text{MPa})(305\ \text{mm})}{110 \times 10^3\ \text{MPa}} = 0.77\ \text{mm}\ (0.03\ \text{in.})$$

Home Work



a. *Determine the following quantities. Do not neglect to include proper units in your answer.*

Yield stress
Ultimate tensile strength
Uniform elongation
Young's Modulus
Total elongation
Post-uniform elongation

Fatigue الكلل

Fatigue is a form of failure that occurs in structures subjected to dynamic and fluctuating stresses (e.g., bridges, aircraft, and machine components). Under these circumstances it is possible for failure to occur at a stress level considerably lower than the tensile or yield strength for a static load. The term "fatigue" is used because this type of failure normally occurs after a lengthy period of repeated stress or strain cycling.

الكلل هو شكل من اشكال الفشل الذي يحصل في المنشآت والتي تتعرض الى اجهادات متكررة او داينميكية (مثل الجسور، الطائرات و القطع المعدنية). وتحت هذه الظروف فأن الفشل في الكلل ممكن ان يحدث تحت تأثير الاجهادات التي هي اقل من اجهاد الشد او اجهاد الانفعال التي تتعرض لها القطع المعدنية تحت تاثير الاجهادات الثابتة. ان مصطلح «الكلل» جاء استخدامه نتيجة تعرض القطعة المعدنية للفشل تحت تأثير اجهاد متكرر وفي فترة زمنية محددة او عدد من دورات الانفعال.

Fatigue

Fatigue is important in as much as it is the single largest cause of failure in metals, estimated to comprise approximately 90% of all metallic failures. polymers and ceramics (except for glasses) are also susceptible to this type of failure.

Fatigue is occurring very suddenly and without warning.

ان الكلل مهم جدا لأنه يعتبر احد اكبر انواع الفشل التي تحدث في المعادن. ومن المقدر ان يشمل 90% من انواع الفشل الاخرى. ان المطاط والسيراميك كذلك يتعرض الى مثل هذا النوع من الفشل ماعد الزجاج.

ان الكلل يحدث بصورة مفاجئة وبدون أي علامات تحذيرية.

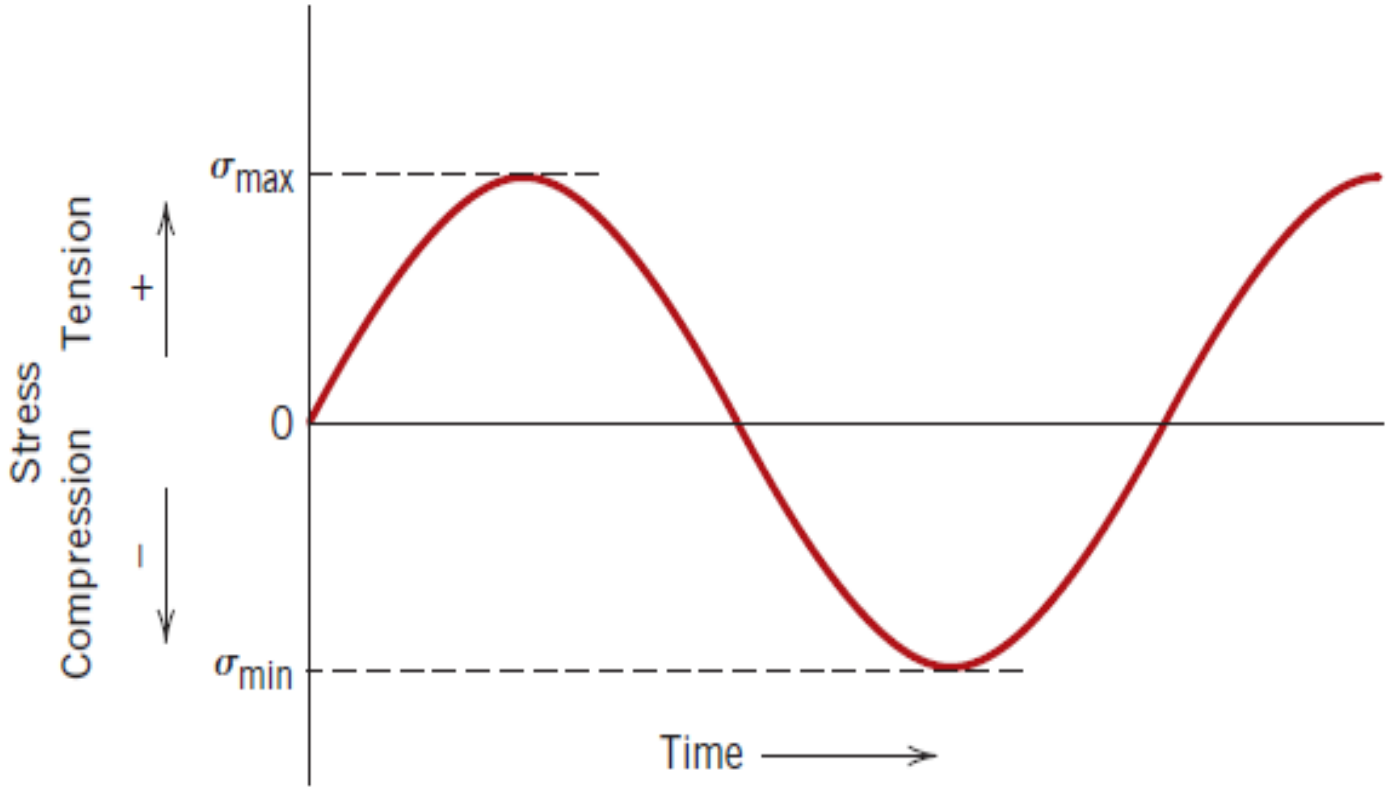
CYCLIC STRESSES الاجهادات الدورية

The applied stress may be axial (tension-compression), flexural (bending), or torsional (twisting) in nature. In general, three different fluctuating stress–time modes are possible.

ان الاجهادات المطبقة (التي تتعرض لها القطع المعدنية) ممكن ان تكون اجهادات شد او ضغط، او اجهاد انحناء او اجهادات التواء. وبصورة عامة هناك ثلاث انواع من الاجهادات المتكررة مع الزمن.

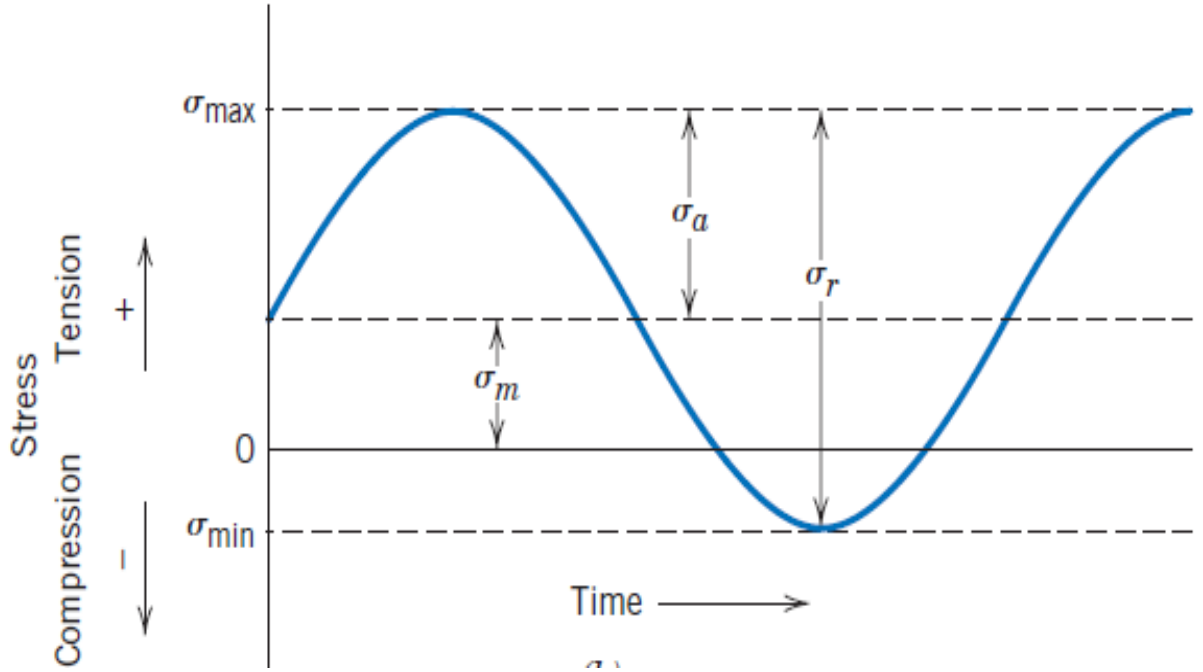
1. ***reversed stress cycle***: The maximum tensile stress to a minimum compressive stress of equal magnitude showing in this type.

ا. الاجهاد الدوري المتعاكس: في هذا النوع من الاجهاد ، يكون اعلى قيمة واقل قيمة للاجهاد متساوي. وكما موضح في الشكل ادناه.



2. *Repeated stress cycle* the maximum and minimum stresses are asymmetrical relative to the zero stress level.

2. الاجهاد الدوري المتكرر: في هذا النوع يكون اعلى قيمة للاجهاد واقل قيمة له غير متناظر نسبة الى خط مستوى الاجهاد عند نقطة الصفر. وكما ملاحظ في الشكل ادناه.



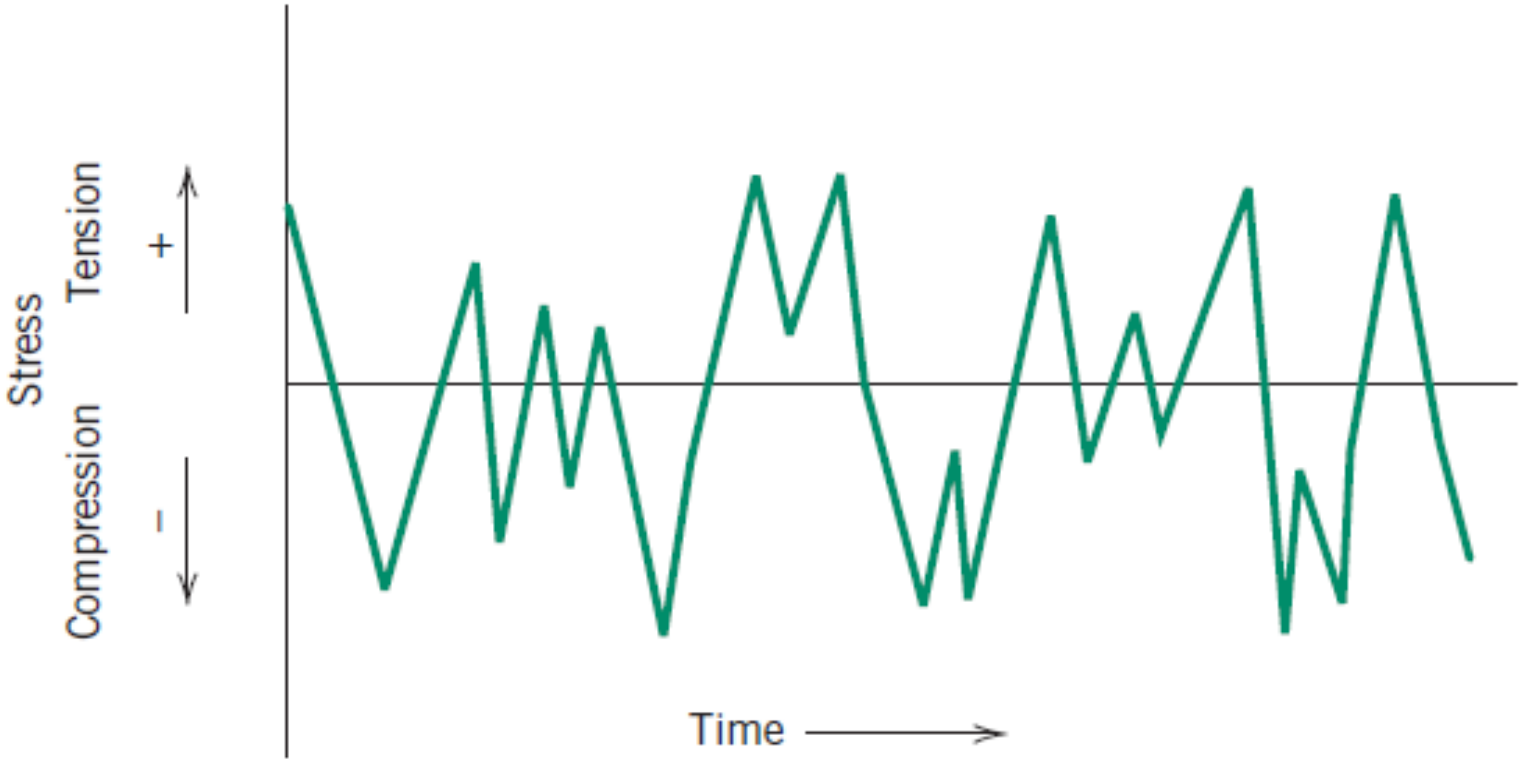
$$\sigma_m = \frac{\sigma_{\max} + \sigma_{\min}}{2}$$

$$\sigma_r = \sigma_{\max} - \sigma_{\min}$$

$$\sigma_a = \frac{\sigma_r}{2} = \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2}$$

3.Random stress cycle: The stress level may vary randomly in amplitude and frequency,

3. الاجهاد الدوري العشوائي: في هذا النوع تكون قيمة الاجهاد عشوائية والمتمثلة في سعة الموجة وترددها.

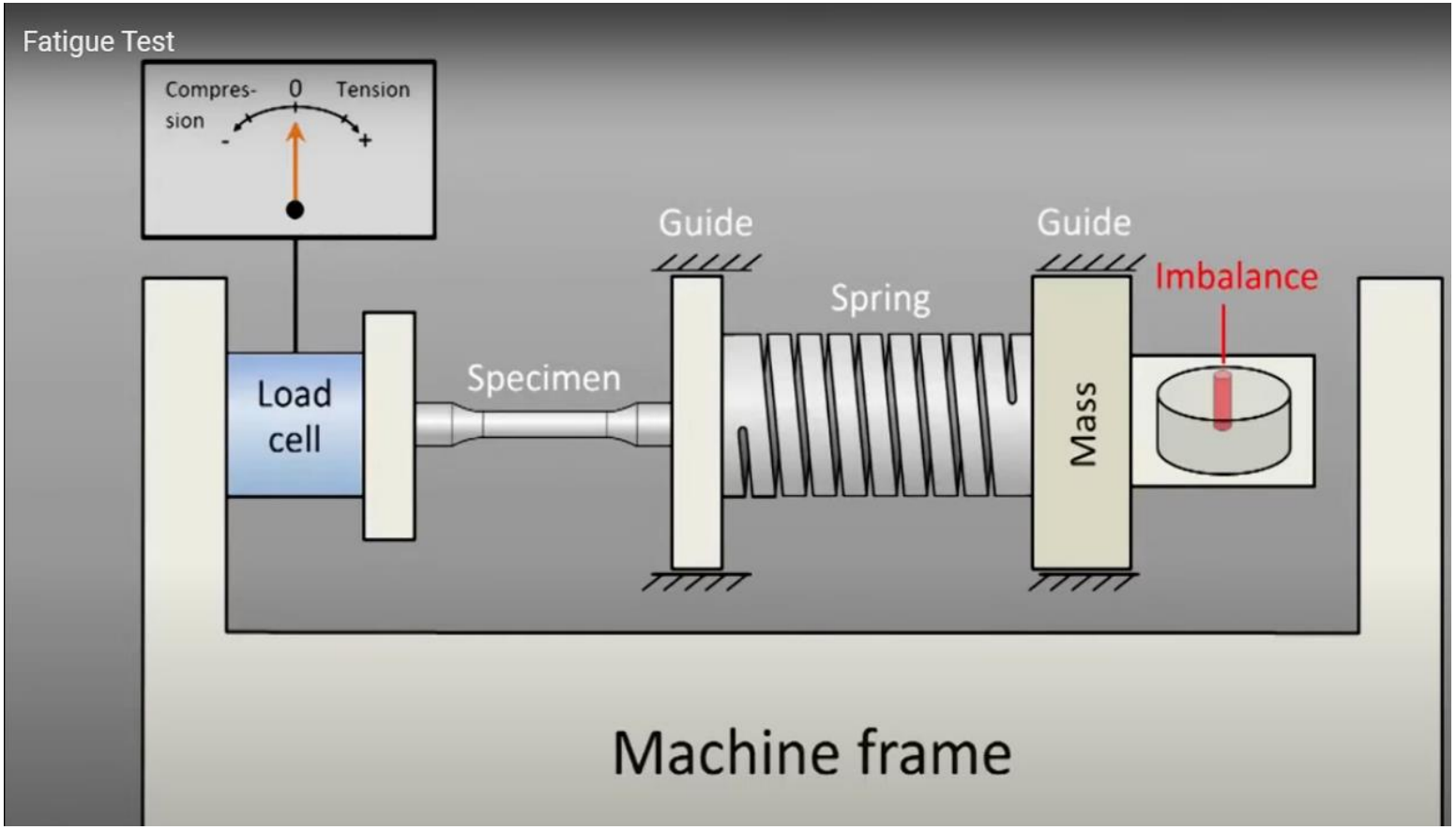


THE *S–N* CURVE منحني الاجهاد المطبق مع عدد مرات التكرار

As with other mechanical characteristics, the fatigue properties of materials can be determined from laboratory simulation tests

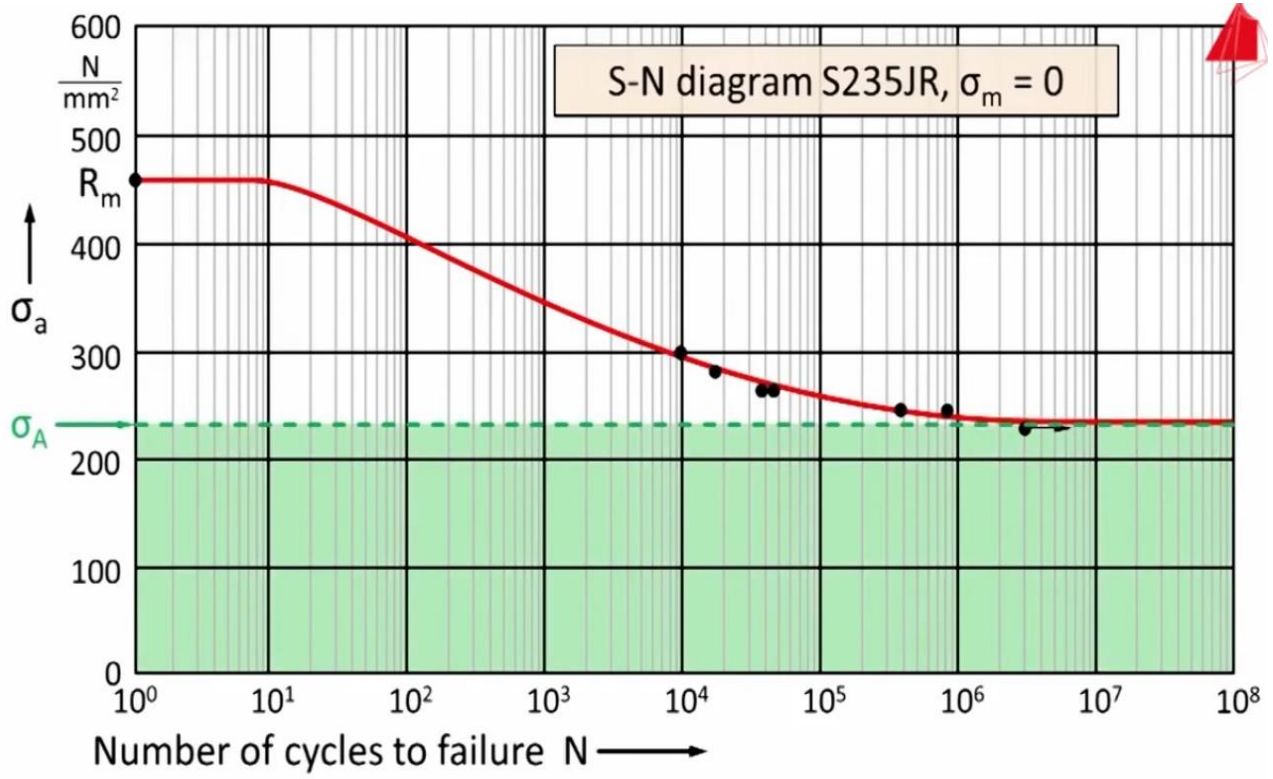
ان خواص الكلل للمواد وكغيرها من الخواص الميكانيكية، يمكن ايجادها مختبريا عن طريق فحص الكلل. وكما موضح في الشكل ادناه.

يوضح الشكل فكرة عن جهاز فحص الكلل، حيث توضع العينة القياسية بين فكي الجهاز ويتم تحديد القوة المسلطة عن طريق تغيير في الكتلة، ويتم تحديد نوع الاجهاد المسلط، وعند تشغيل الجهاز فسوف يتم تسليط اجهادات متكررة على العينة بين الشد والضغط. ويتم قراءة عدد مرات تكرار الاجهادات المطبقة عند فشل العينة.



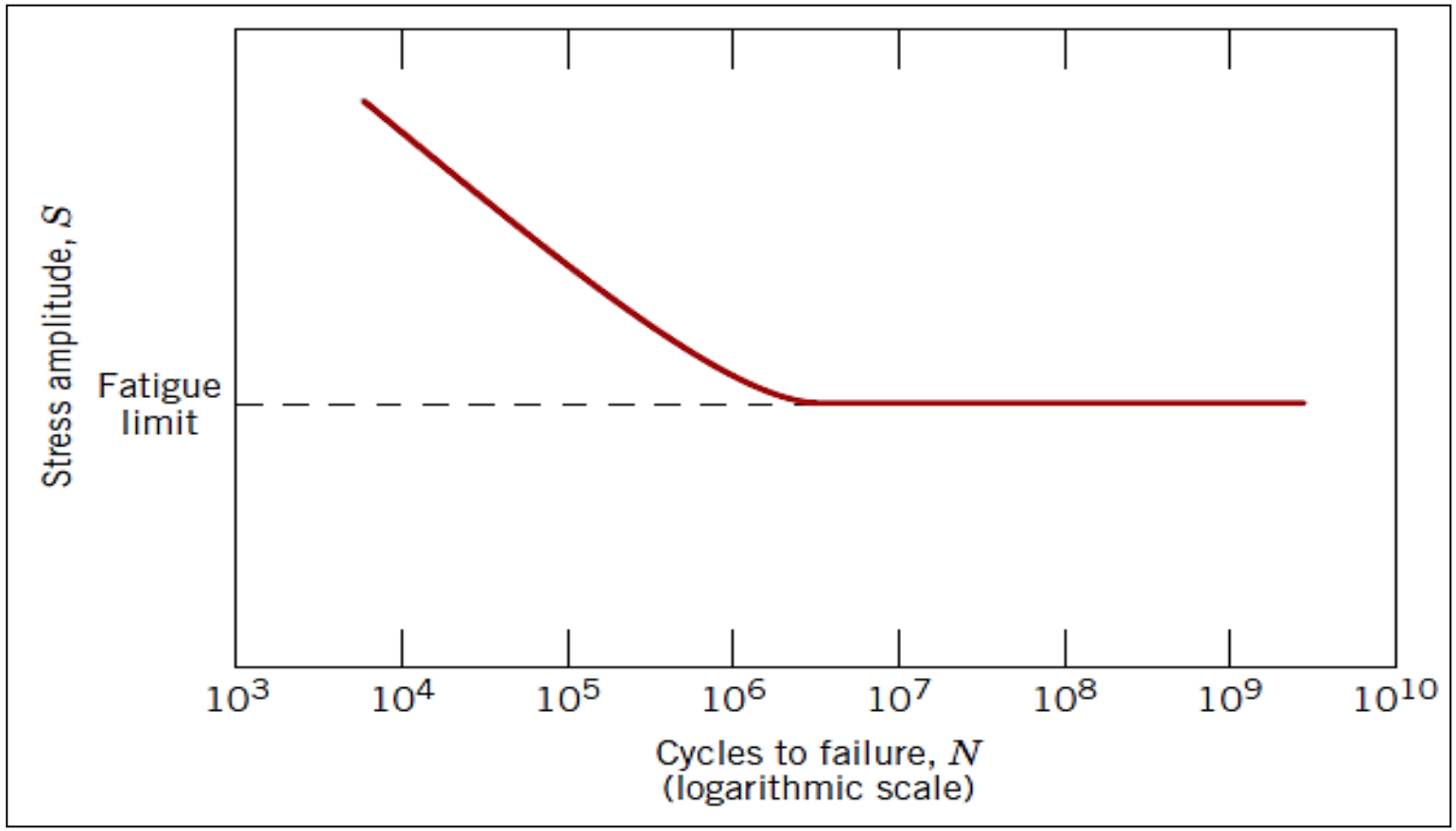
Data are plotted as stress *S* versus the logarithm of the number *N* of cycles to failure for each of the specimens. The values of *S* are normally taken as stress amplitudes on occasion, or values may be used.

تؤخذ البيانات من تجربة فحص الكلل، ويتم رسم المنحني عن طريق النقاط التي تم الحصول عليها، بحيث يمثل المحور العمودي اجهاد السعة ، والمحور الافقي عدد الدورات التي فشلت فيها العينة لوغاريتميا.



Two distinct types of *S*–*N* behavior are observed, As these plots indicate, the higher the magnitude of the stress, the smaller the number of cycles the material is capable of sustaining before failure. For some ferrous (iron base) and titanium alloys, the *S*–*N* curve becomes horizontal at higher *N* values; or there is a limiting stress level, called the **fatigue limit** (also sometimes the *endurance limit*), below which fatigue failure will not occur.

هناك نوعين مميزين لمنحني الاجهاد – التكرار للكلل. حيث عند قيم الاجهادات العالية يكون عدد التكرارات قليل عند الفشل. وفي المعادن الحديدية والتيتانيوم يتم ملاحظة ظهور خط مستقيم عند قيمة اجهاد قليلة وعدد تكرارات كبيرة. حيث يمثل الاجهاد عند تلك النقطة « اجهاد حد الكلل» او « اجهاد حد التحمل» ، حيث عند قيمة الاجهاد تحت اجهاد حد الكلل لا يحصل الفشل نهائيا. وكما موضح في الشكل ادناه.


Stress amplitude, S
Fatigue limit
10^3
10^4
10^5
10^6
10^7
10^8
10^9
10^{10}
Cycles to failure, N
(logarithmic scale)

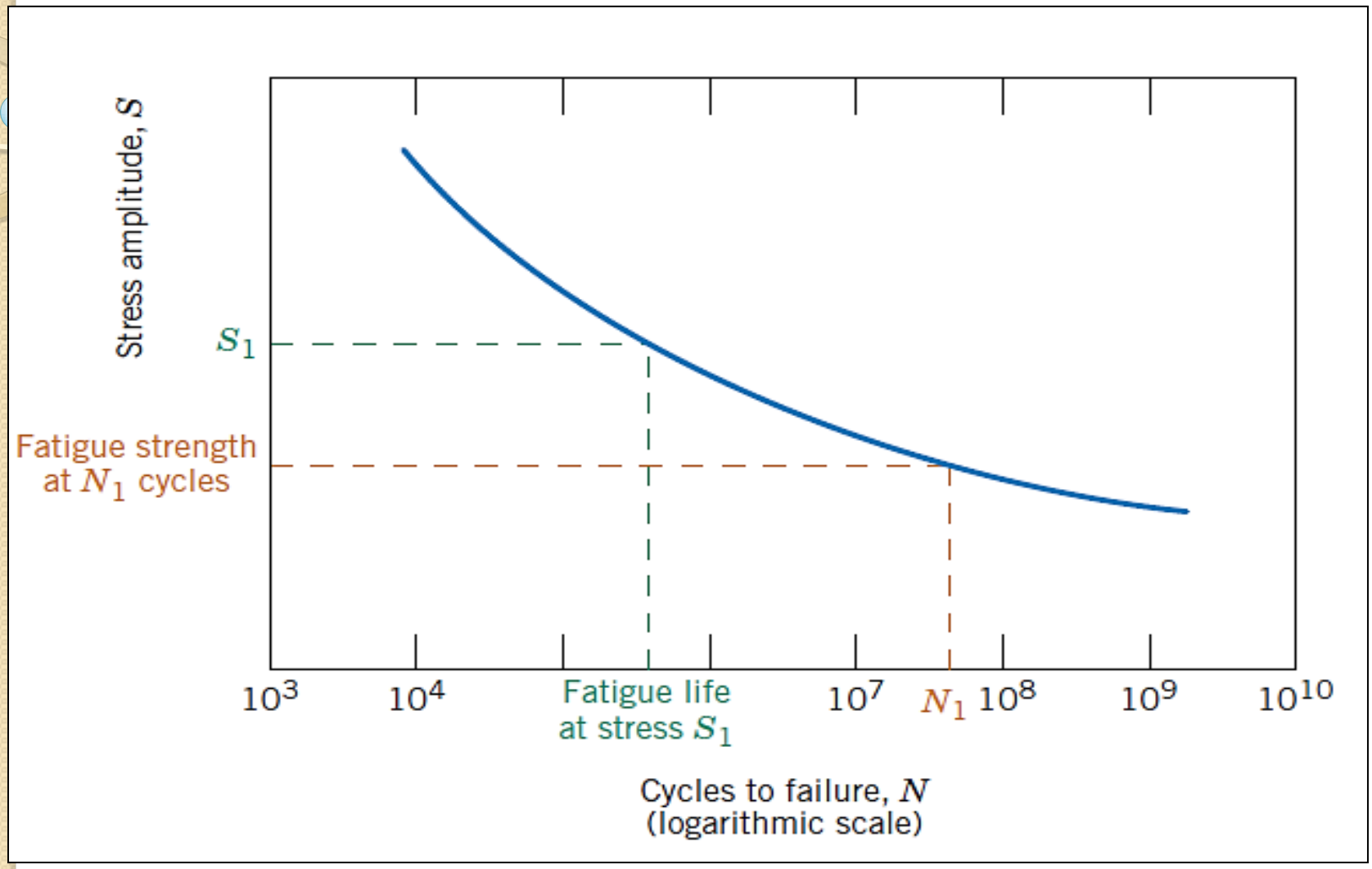
The second type of the *S*–*N* curve continues its downward trend at increasingly greater *N* values. Most nonferrous alloys (e.g., aluminum, copper, magnesium) do not have a fatigue limit, Thus, fatigue will ultimately occur regardless of the magnitude of the stress. For these materials, the fatigue response is specified as **fatigue strength,** which is defined as the stress level at which failure will occur for some specified number of cycles.

ان النوع الثاني من منحني الاجهاد – عدد التكرارات للكلل يكون اتجاه المنحني متناقص بشكل مستمر، وهذا يمثل لمعظم المعادن الغير الحديدية (مثل الالمنيوم، النحاس، المغنيسيوم...الخ)، حيث ان هذه المعادن لا تملك حد للكلل، وان الكلل يحدث في مستوى مختلف للاجهادات عند عدد دورات محددة، ويسمى حينها **مقاومة الكلل**.

Another important parameter that characterizes a material's fatigue behavior is **fatigue life** It is the number of cycles to cause failure at a specified stress level, as taken from the *S*–*N* plot.

هناك مصطلح اخر يصف سلوك كلل المعادن ويدعى « عمر الكلل»، والذي يمثل عدد الدورات او التكرارات التي حصل عندها الفشل عند قيمة اجهاد معينة ويثبت ذلك من منحني الكلل.

وكما موضح في الشكل ادناه.


Stress amplitude, S
S_1
Fatigue strength at N_1 cycles
10^3
10^4
Fatigue life at stress S_1
10^7
N_1 10^8
10^9
10^{10}
Cycles to failure, N (logarithmic scale)

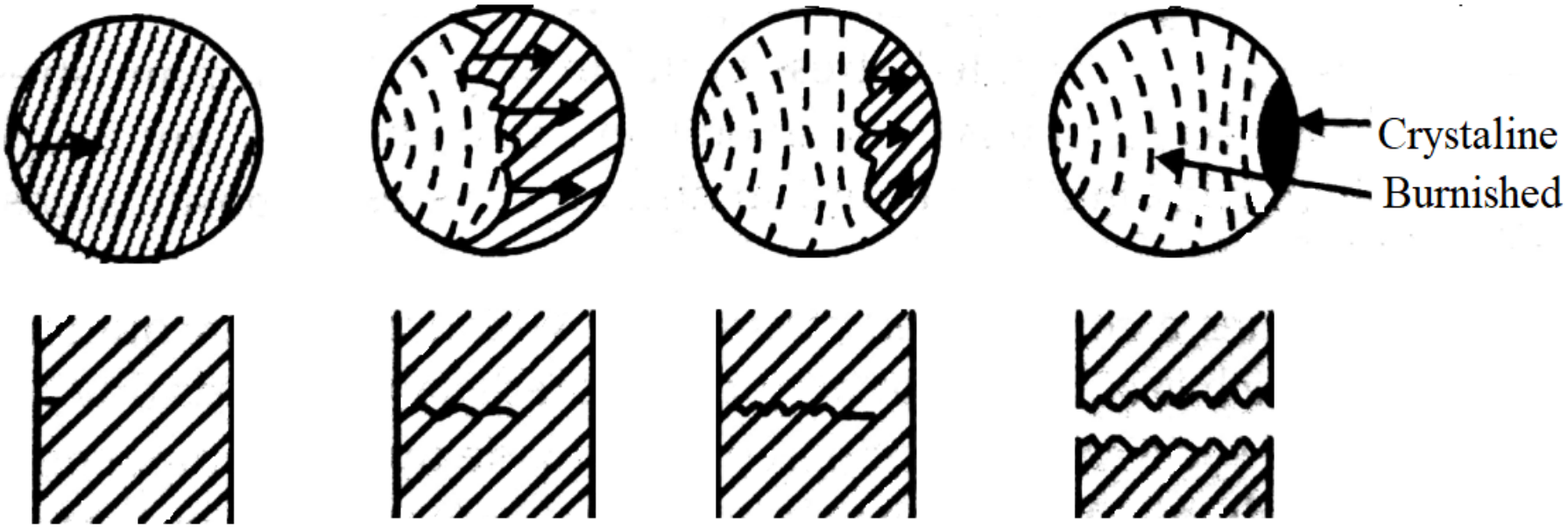
Crack initiation and propagation بدء واتشار الفشل في الكلل

The process of fatigue failure is characterized by three distinct steps: (1) crack initiation, wherein a small crack forms at some point of high stress concentration; (2) crack propagation, during which this crack advances incrementally with each stress cycle; and (3) final failure, which occurs very rapidly once the advancing crack has reached a critical size.

ان عملية الفشل التي تحدث في الكلل تتميز بثلاث مراحل:

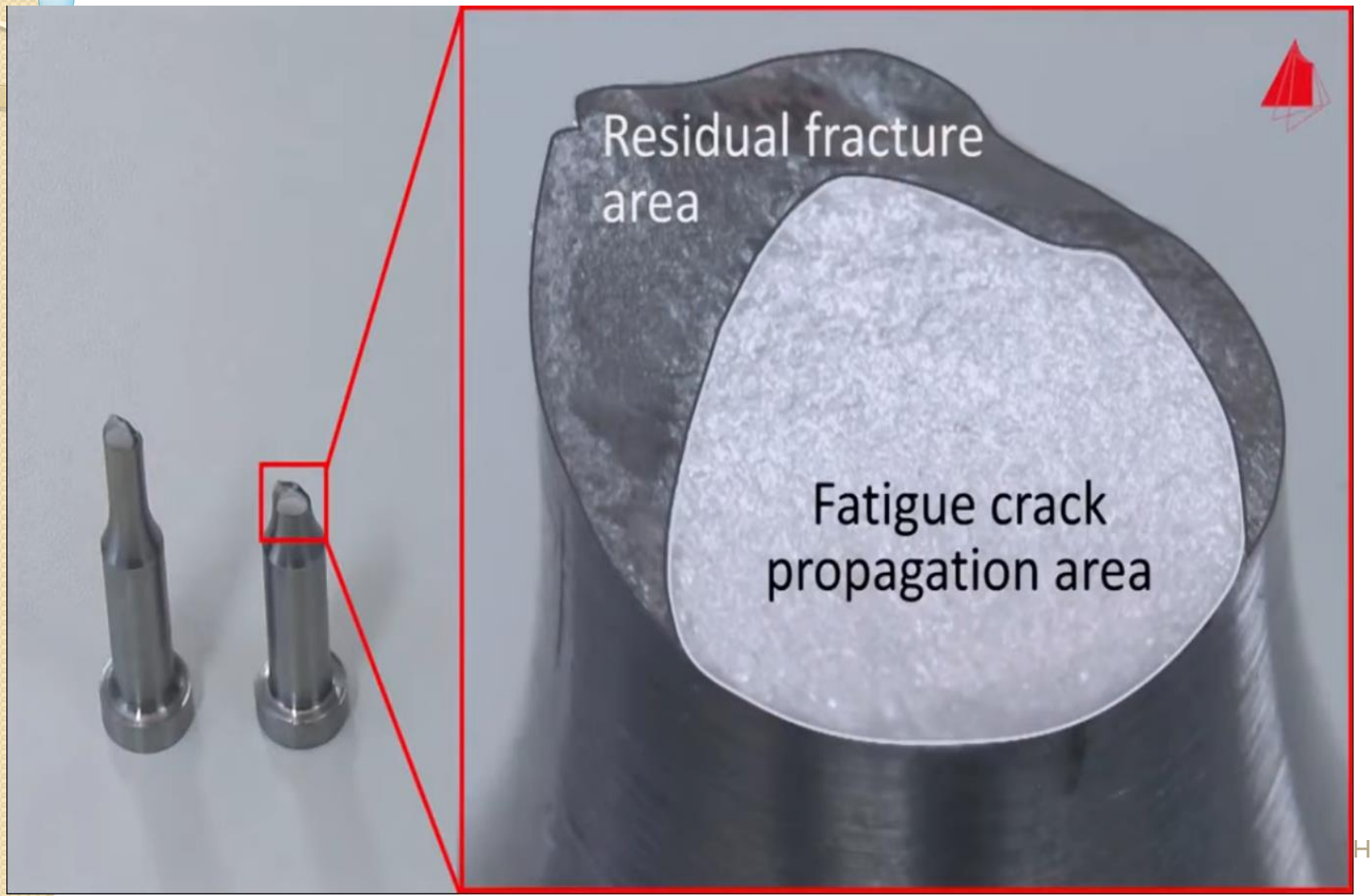
(1) بدء الفشل، حيث ان في هذه المرحلة يبدأ الفشل بكسر بسيط عند نقطة معينة تكون في تركيز الاجهادات عالي. (2) انتشار الكسر، حيث ان الكسر في هذه المرحلة يبدأ بالتزايد والانتشار عند كل دورة من دورات الاجهاد واخيرا (3) مرحلة الفشل الكامل، حيث يحدث الفشل هنا سريعا بعد وصوله الى النقطة الحرجة.

والشكل التالي يوضح مراحل الفشل في الكلل.



(1) Crack Nucleation (2) Crack Growth (3) Fracture

الشكل ادناه يوضح مقطع الكسر في عينة فحص الكلل، حيث تبدو المنطقة باللون الفاتح منطقة انتشار الفشل، والمنطقة باللون الغامق هي منطقة الكسر المتبقية.

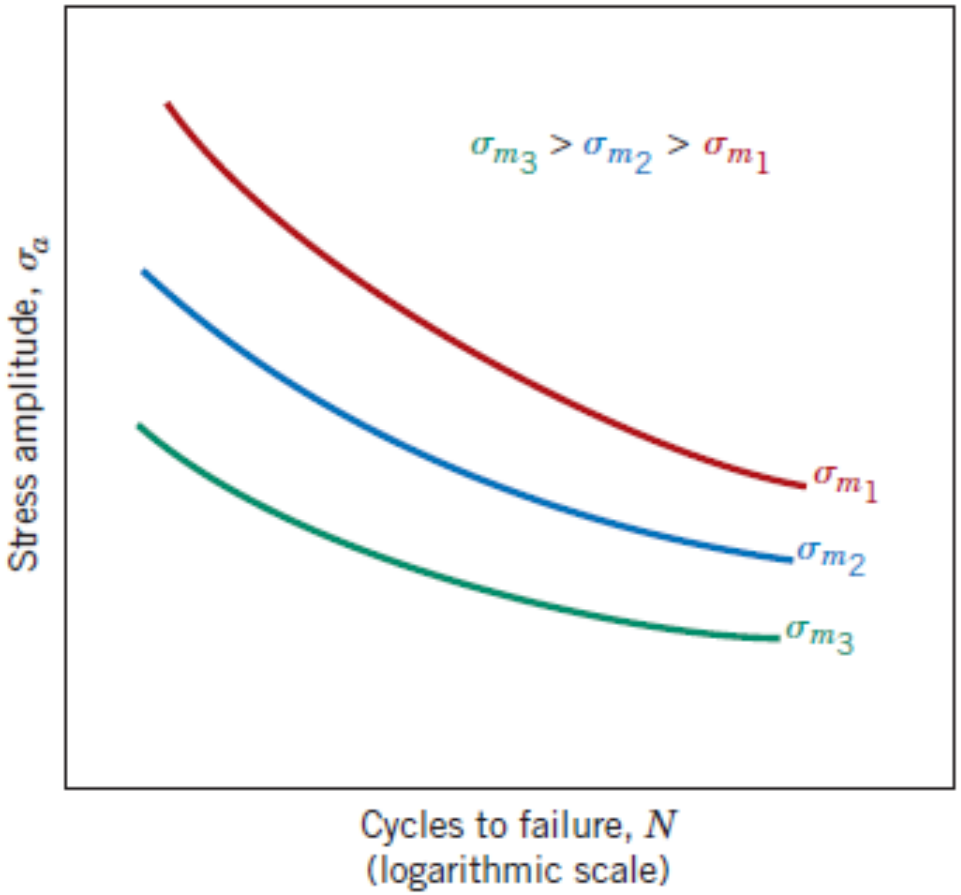


Factors That Affect Fatigue Life العوامل المؤثرة على عمر الكلل

Mean Stress متوسط الاجهاد

The increasing of the mean stress level leads to a decrease in fatigue life.

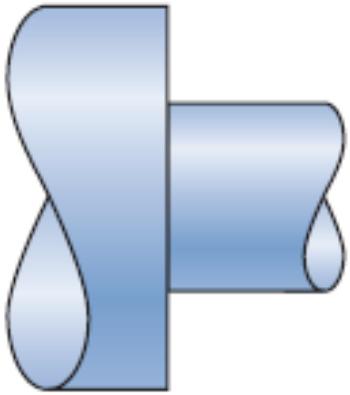
كلما زاد متوسط الاجهاد ، قل عمر الكلل (أي عمر مقاومة الفشل فى الكلل)

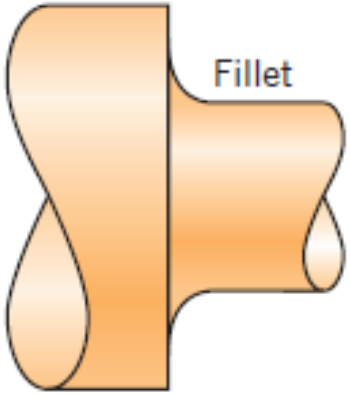


Design Factors معاملات التصميم

The design of a component can have a significant influence on its fatigue characteristics. Any notch or geometrical discontinuity can act as a stress raiser and fatigue crack initiation site; these design features include grooves, holes, keyways, threads, and so on.

ان تصميم القطع الميكانيكية لها تاثير كبير على خواص الكلل. حيث ان الشقوق او الحزات في القطع الميكانيكية تعمل على زيادة تركيز الاجهادات في تلك النقاط، وتصبح مواقع لبداية فشل الكلل، ومن هذه النقاط مثلا الاخاديد، الفتحات، الاسنان .... الخ.





Surface Treatments المعالجة السطحية

During machining operations, small scratches and grooves are invariably introduced into the workpiece surface by cutting tool action. These surface markings can limit the fatigue life. It has been observed that improving the surface finish by polishing will enhance fatigue life significantly.

من خلال عمليات تشغيل وقطع المعادن، فأن بعض الاخاديد والحفر تتكون عند اسطح القطع المشغولة بتأثير اقلام القطع. وهذه الاشياء التي تتواجد في الاسطح تعمل على تقليل عمر مقاومة الكلل. وقد لوحظ بأن عمليات التشطيب والتنعيم التي لأسطح العينات المشغولة تدعم وتحسن من عمر مقاومة الكلل.

Environmental effects تأثيرات البيئة

Creep الزحف

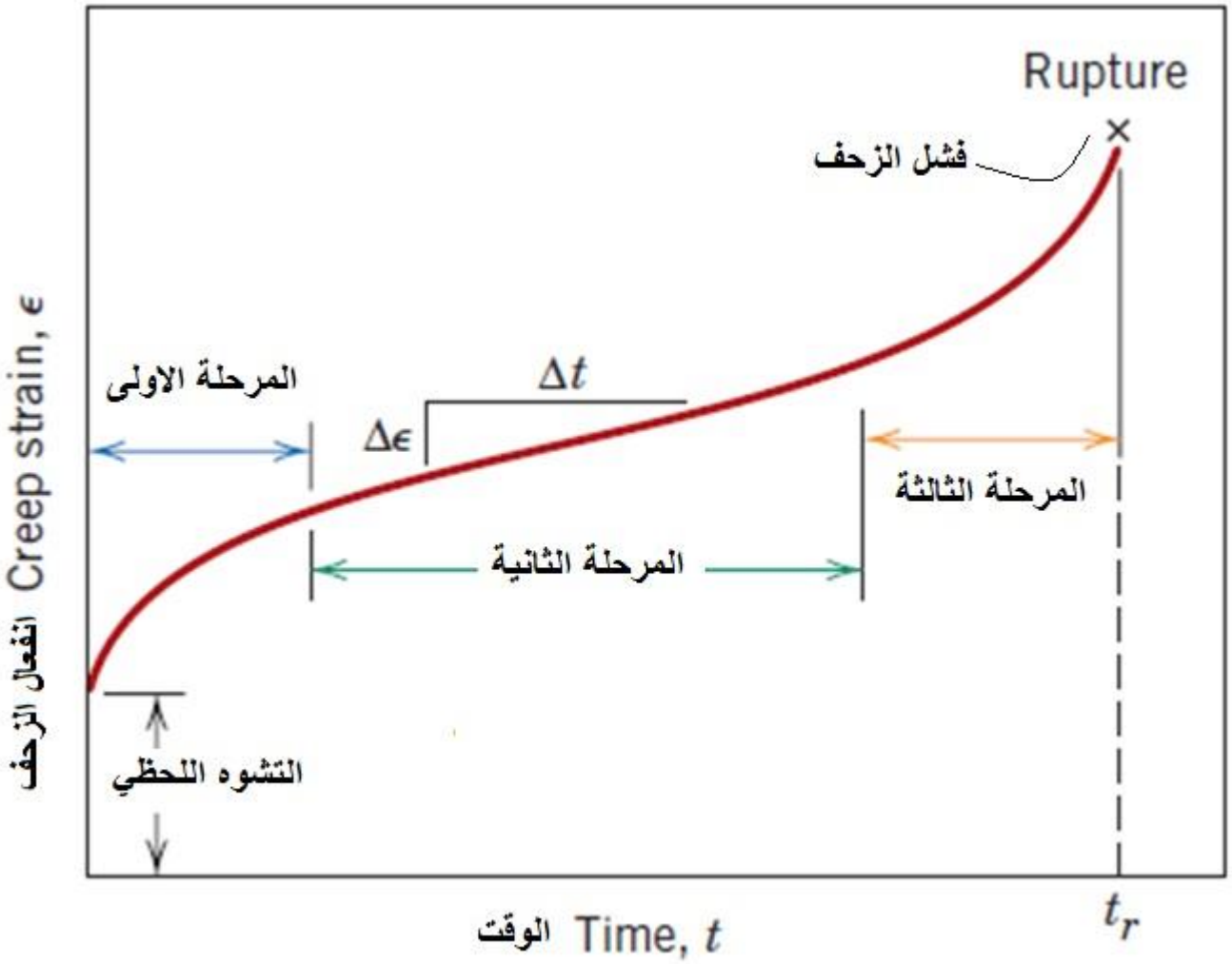
Creep is time-dependent plastic deformation, which is usually significant only at high temperatures. Deformation under such circumstances is termed creep.

الزحف هو التشوه اللدن خلال الزمن، وهو مهم ومتميز فقط عند درجات الحرارة العالية.

فالتشوه تحت هذه الظروف يدعى « الزحف»

The typical creep behavior as shown in the following figure includes three different stages.

ان سلوك الزحف المثالي يشمل ثلاث مراحل وكما مبين في الشكل التالي:



شكل يوضح المراحل الرئيسية لمنحني الزحف

Creep

As soon as the load is applied, there is an instantaneous elastic response, followed by a period of transient creep (Stage I) (primary). Initially the rate is high, but it gradually decreases to a steady state (Stage II) (secondary). Finally the strain rate may increase again (Stage III) (tertiary), accelerating until failure occurs, as shown in the previous figure.

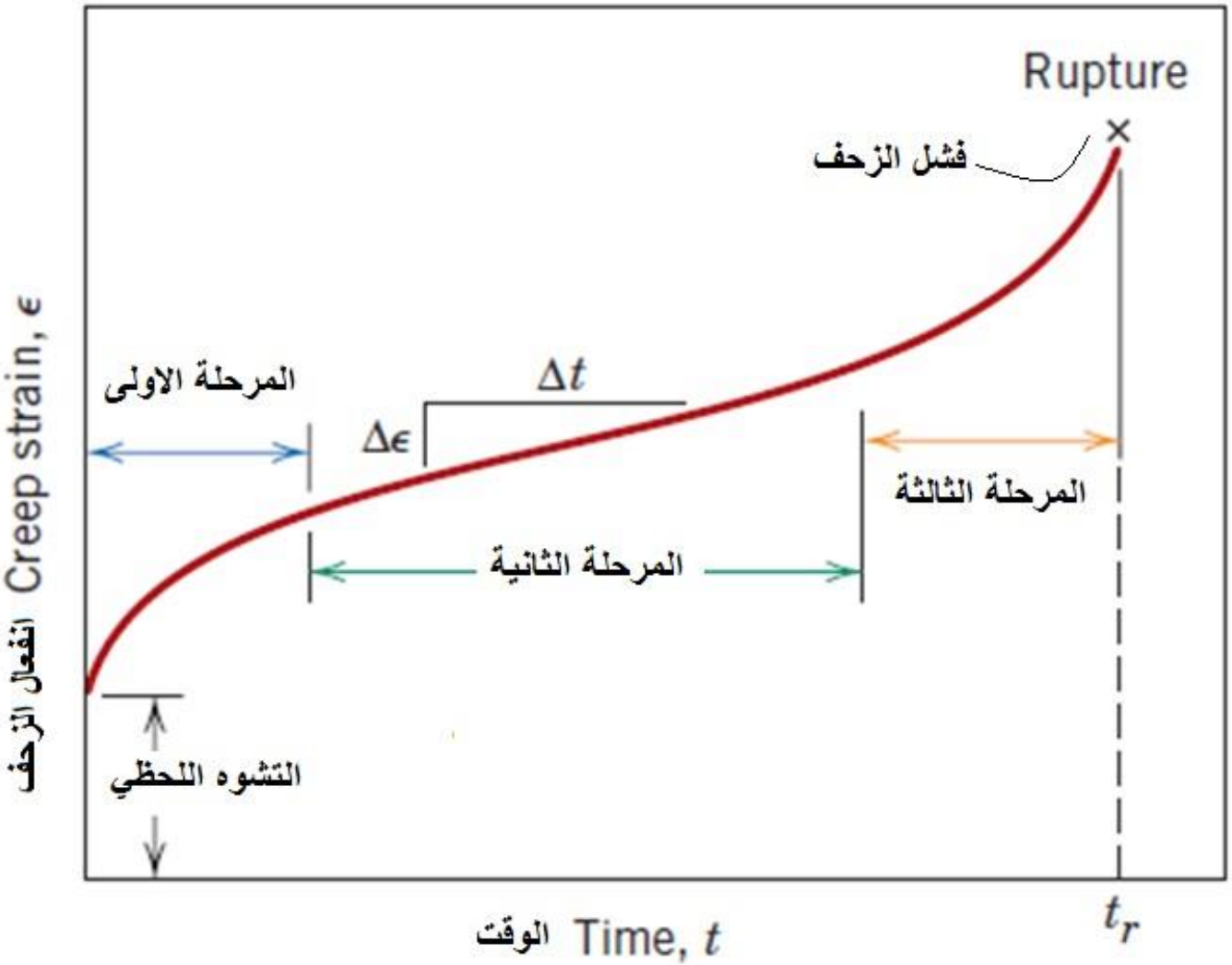
عند بداية تسليط القوة على المعدن ، يحصل تشوه لدن لحظي يتبعه تشوه لدن عالي خلال وقت قصير وهذه تمثل (المرحلة الاولى)، وبعدها يقل التشوه اللدن تدريجيا ويكون التغير ثابت تقريبا وهذه تمثل (المرحلة الثانية)، واخيرا يزداد معدل التشوه مرة اخرى في (المرحلة الثالثة) الى ان يحصل الفشل، وكما موضح في الشكل السابق.

Creep

The most important parameter from a creep test is the slope of the secondary portion of the creep curve $\Delta\epsilon/\Delta t$ (as shown as below); this is often called the minimum or steady-state creep rate It is the engineering design parameter that is considered for long-life applications, such as a nuclear power plant component that is scheduled to operate for several decades, and when failure or too much strain are not options.

آن اهم معامل ممكن الحصول عليه من اختبار الزحف ، هو ميل الخط في المرحلة الثانية والذي يتمثل بـ $\Delta\epsilon/\Delta t$ (كما موضح في ادناه)، وهذا يدعى « اقل معدل انفعال الزحف»، حيث يمثل معامل التصميم الهندسي والذي يعتبر طول عمر الشغلة في التطبيقات الهندسية، مثل اجزاء محطات الطاقة النووية التي تعمل بجدول زمني لعقود طويلة، والتي لا يكون فيها الفشل او معدل الانفعال الطويل هو احد الخيارات.

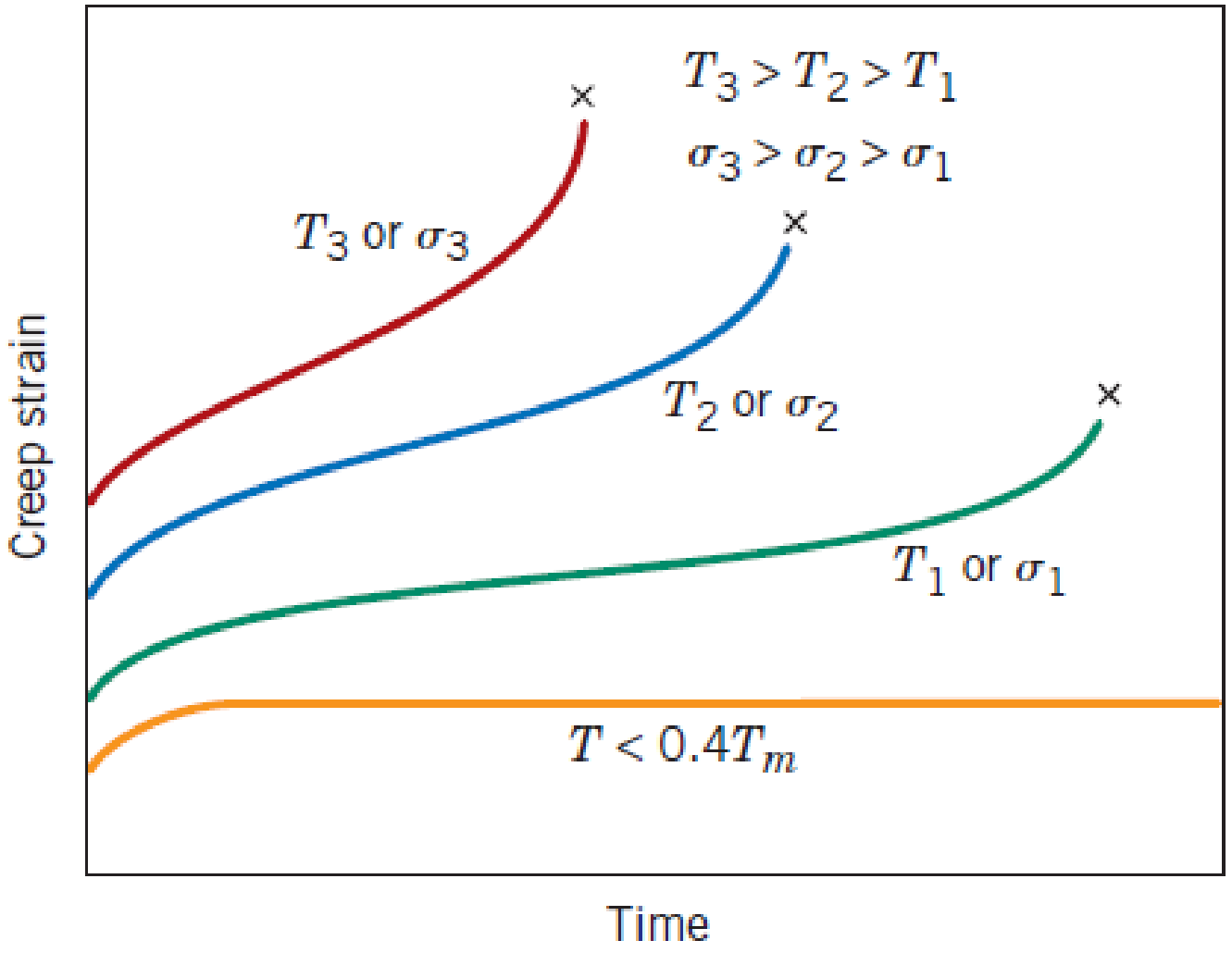
Creep


Rupture
فشل الزحف
المرحلة الاولى
Δt
$\Delta\epsilon$
المرحلة الثالثة
المرحلة الثانية
التشوه اللحظي
انفعال الزحف Creep strain, ϵ
الوقت Time, t
t_r

Creep

Creep rates increase with higher stresses and temperatures. With lower stresses and temperatures, creep rates decrease, but failure usually occurs at lower overall strains, as shown in the following figure.

ان معدل انفعال الزحف (معدل التشوه) يزداد بزيادة الاجهاد المسلط ودرجة الحرارة. حيث عند الاجهادات القليلة ودرجات الحرارة المنخفضة يقل معدل الانفعال، لكن بكل الاحوال يحدث الفشل عند الجميع. وكما موضح في الشكل التالي



شكل يوضح تأثير درجة الحرارة والاجهاد على معدل الانفعال في اختبار الزحف

Metallurgy

معادن2

الفصل الثاني

Phase diagrams مخططات الاطوار

Phase Equilibrium Diagrams:- Phase equilibrium diagram is a graphic relationship between temperature and weight ratios of elements and alloys contribute to the built of the diagram.

Phase diagrams provide information on the following :

مخططات الاطوار المتوازنة هي عبارة عن رسم يمثل العلاقة بين درجة الحرارة والنسب الوزنية للعناصر وتكوين السبائك التي تساهم في بناء هذه المخططات. ان مخططات الاطوار تعطي المعلومات التالية:

- ☐ Melting point. نقطة الانصهار
- ☐ Casting condition. ظروف التبريد (الصب)
- ☐ Crystallization condition. ظروف التبلور
- ☐ phase transformations (changes). تغيرات الاطوار

Phase diagrams مخططات الطور

Introduction: المقدمة

The understanding of phase diagrams for alloy systems is extremely important because there is a strong correlation between microstructure and mechanical properties, and the development of microstructure of an alloy is related to the characteristics of its phase diagram. In addition, phase diagrams provide valuable information about melting, casting, chemical composition ,recrystallization and other phenomena.

انه من الضروري فهم مخططات الطور للانظمة السبائكية بسبب وجود علاقة قوية بين التركيب المجهري (البنية المجهرية) للمعادن او السبائك وبين الخواص الميكانيكية لها، وان التطور والتغير لهذه البنية المجهرية ممكن تحديدها في مخططات الطور، بالاضافة ان مخططات الطور تقدم معلومات عن السبائك مثل درجات الانصهار والتبلور والتركيب الكيميائي وغيرها.

Phase diagram

Definitions and Basic Concepts تعاريف ومفاهيم اساسية

It is necessary to establish a foundation of definitions and basic concepts relating to alloys, phases, and equilibrium before delving into the interpretation and utilization of phase diagrams. The term **component** is frequently used in this discussion; components are **pure metals** and/or **compounds** of which an alloy is composed. For example, in a copper–zinc brass, the components are Cu and Zn

من الضروري معرفة بعض المفاهيم الاسياسية التي ترتبط بالسائك، الاطوار والتوازن قبل الخوض في توضيح وتفسير واستخدام مخططات الطور. ان مصطلح «المكوّن» يستخدم كثير في هذا الشأن، ويطلق على المعدن النقي او المركب (السبيكة) التي تتكون منها العناصر. فمثلا سبيكة البراص تتكون من عنصريي النحاس والخارصين.

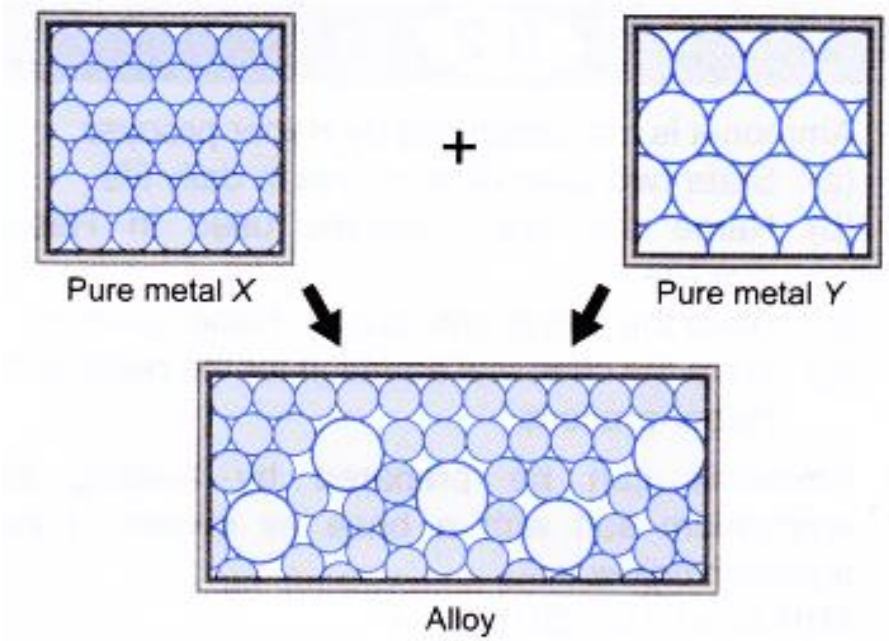


Figure *Making of alloy*

Another term used in this context is **system**, which means to the series of possible alloys consisting of the same components, but without regard to alloy composition (e.g., the iron–carbon system).

وهناك مصطلح اخر « النظام» والذي يعني الاداة التي تسيطر على سلسلة السبائك التي تتكون من نفس العناصر بغض النظر عن موقع السبيكة (مثل نظام الحديد – كاربون)

Phase diagram

The concept of a **solid solution**: it consists of atoms of at least two different types; the solute atoms occupy either substitqutional or interstitial positions in the solvent lattice, and the crystal structure of the solvent is maintained.

ان مفهوم « المحلول الجامد» هو المكون الذي يحتوي على ذرات مختلفة من عنصرين مختلفين على الاقل، وان هذه الذرات تذاب مع بعضها البعض اما بالتبادل او بالاحلال البينين

Intermetallic compound: that forms an ordered solid-state compound between two or more metallic elements. Intermetallic is generally hard and brittle,

المركب البيني: هو المركب الذي يتكون من مكونين او اكثر من العناصر المعدنية، والمركب البيني يكون عادة صلد وقصيف.

Phase is a uniform part of an alloy, and a homogeneous aggregation of mater having a certain chemical composition and structure, and uniform physical and mechanical properties. and which is separated from other alloy constituents by phase boundary. Every one notes that H2O can exit as a gas, a liquid and a solid. These are three different phases of water.

الطور: هو جزء منتظم (المادة) من السبيكة، ويكون هذا الجزء متجانس ويحمل خصائص فيزيائية وميكانيكية محددة وتركيب كيميائي معروف، ويفصل بين الاطوار في السبيكة الواحدة حدود البلورات. مثلا كل شخص يعرف ان الماء ممكن ان يتواجد بشكل غاز (بخار) وسائل وجامد، معناه ان الماء ممكن ان يمتلك ثلاث اطوار مختلفة.

Solvent: component of a solution present in the greatest amount in alloy .

المذيب: هو المكون او العنصر المتواجد في السبيكة والذي تكون كميته هي الاكبر

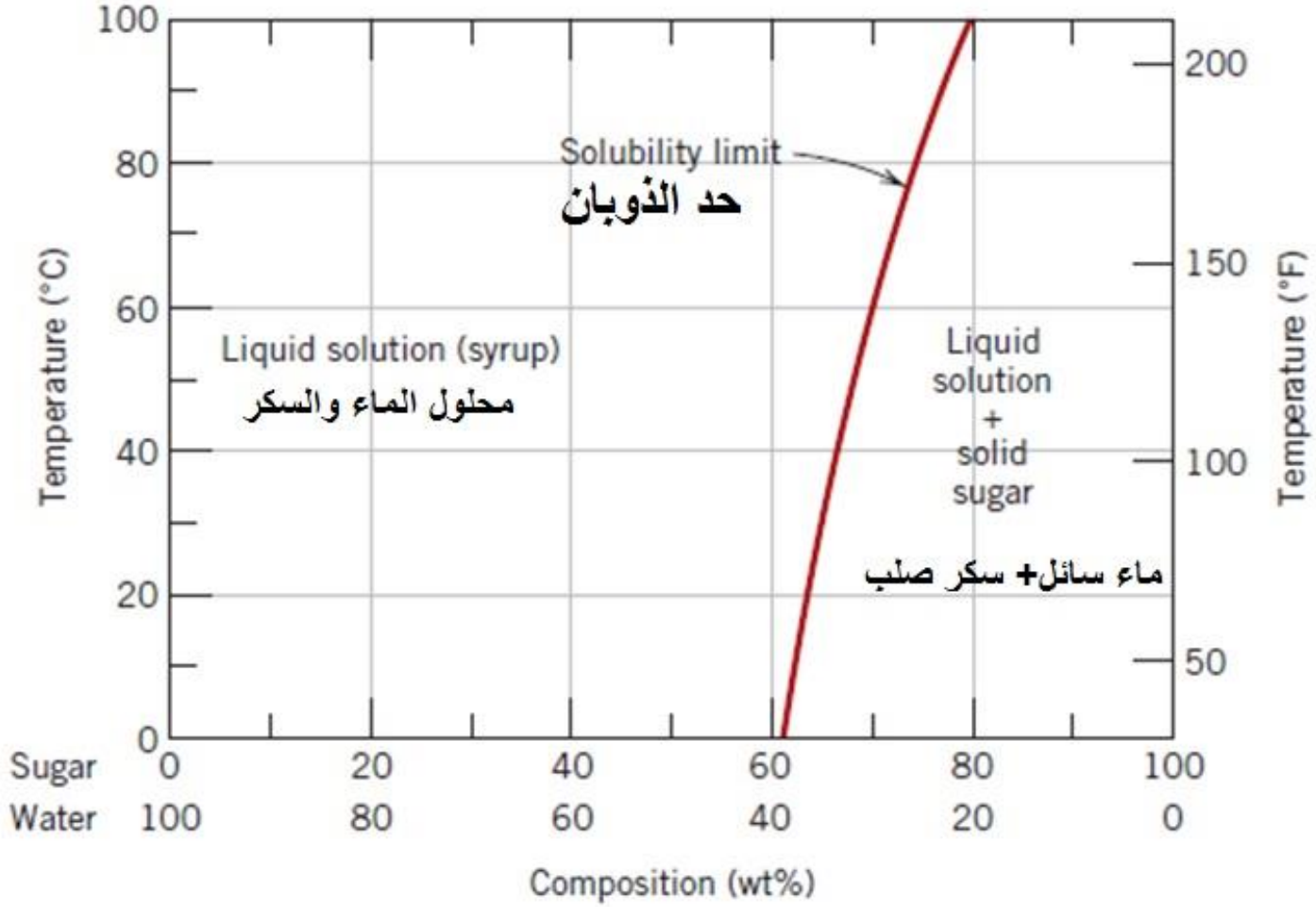
Solute: component or element of solution present in lowest concentration in alloy .

المذاب: هو العنصر المتواجد في المحلول بتركيز اقل من المذيب.

SOLUBILITY LIMIT حد الذوبان

For many alloy systems and at some specific temperature, there is a maximum concentration of solute atoms that may dissolve in the solvent to form a solid solution; this is called a **solubility limit.** To illustrate this concept, consider the sugar–water system.

في الكثير من السبائك وتحت درجة حرارة محددة يوجد اعلى تركيز لذرات المحلول والتي تذاب في العنصر لتكون المحلول الجامد، وهذا الحد من التركيز يدعى حد الذوبان. لتوضيح ذلك ممكن الاستعانة بمخطط ذوبان السكر والماء وكما موضح في ادناه:



The solubility of sugar in a water - water syrup

مخطط ذوبان السكر في الماء

مثال عن ما سبق من المصطلحات

Some examples:

System النظام	Components المكونات	Phases الأطوار
Water الماء	H_2O	Liquid السائل
Water + ice الماء + الثلج	H_2O	Liquid + solid سائل + صلب
Brine محلول ملحي	$NaCl + H_2O$	Liquid solution محلول سائل
Mild steel فولاذ منخفض الحديد	Fe, C	α , Fe_3C

Phase diagrams

There are many types of phase diagrams (alloying systems) which they are:

هناك انواع عديدة من مخططات الاطوار (النظام السبائكي) ومنها:

1. Unary system النظام الاحادي
2. Binary system النظام الثنائي
3. Ternary system النظام الثلاثي
4. Multi system النظام المتعدد

In this chapter it will be taken the binary system only.

في هذا الفصل سوف يتم التطرق على النظام السبائكي الثنائي فقط

Phase diagrams

Binary system النظام الثنائي

It means that alloying have two metals only, it extremely common phase diagram is one in which temperature and composition are variable parameters, and pressure is held constant—normally (1atm.)

في هذا النظام تكون السبائك مكونة من عنصرين (معدنيين) فقط. وهو من الانظمة الشائعة الاستخدام، وتمثل هذه المخططات علاقة بين درجات الحرارة ونسب التراكيب للمعدنين المكونين للسبائك، وبثبوت الضغط الجوي الذي هو (واحد ضغط جو)

Binary phase diagrams are helpful in predicting phase transformations and the resulting microstructures, which may have equilibrium or non-equilibrium character.

ان النظام الثنائي يساعد في التنبؤ عن التغييرات التي تحدث في الاطوار والبنية المجهرية، ويكون من نوع متوازن وغير متوازن.

Phase diagrams

Binary Alloy: when tow metals or a metal and a small amount of a nonmetal are mixed in their molten states and allowed to cool the result is a binary alloy.

السبيكة الثنائية: هي السبيكة الناتجة عن مزج معدن مع بعضهما البعض، وممكن ان يكون احد العنصرين معدن والاخر عنصر غير معدني وعند انجماد العنصرين من حالة الانصهار يتم تكوين السبيكة في الحالة الجامدة.

Phase diagrams

In general, ***binary alloy system*** can be classified into the following types.

بصوة عامة يصنف النظام السبائك الثنائي الى ثلاثة انواع:

1- ***Solid solution type*** ***نوع المحلول الصلب (الجامد)***

The two components are completely soluble in each other both in the ***liquid state and in the solid state***.

في هذا النوع يذوب المعدنان مع بعضما البعض ذوبانا تاما في الحالة السائلة وفي الحالة الجامدة.

2- ***Simple eutectic type*** ***نوع اليوتكتك البسيط***

The two components are soluble in each other in the ***liquid state*** but are completely insoluble in each other in the ***solid state***.

في هذا النوع يذوب المعدنان مع بعضهما البعض ذوبانا تاما في الحالة السائلة ، ولا يذوبان نهائيا في الحالة الجامدة.

3- Combination type ***النوع المركب***

The two components are completely soluble in the ***liquid state***, but are only ***partially soluble in each other in the solid state***

في هذا النوع يذوب المعدنان مع بعضمها البعض ذوبانا تاما في الحالة السائلة ، ويذوبان ذوبانا جزئيا في الحالة الجامدة.

Phase diagrams

1- *Solid solution type (الجامد) نوع المحلول الصلب*

In this type the two or more components are completely soluble in each other in liquid and solid states.
for example :- gold- silver alloy , cupper- nickel alloy.
Two types of solid solutions may be formed by substitution and interstitial atomic mechanisms for diffusion
في هذا النوع يذوب العنصران او المعدنان مع بعضهما البعض في الحالة السائلة وفي الحالة الجامدة.
ومثال على ذلك: سبيكة الذهب والفضة وسبيكة النحاس والنيكل.
حيث ان السبيكة المتكونة تكون بفعل الية انتشار الذرات اما بالطريقة الابدالية لانتشار الذرات او بالطريقة البينية.
والمخطط التالي يمثل تكوين السبائك من نوع المحلول الجامد

Phase diagrams

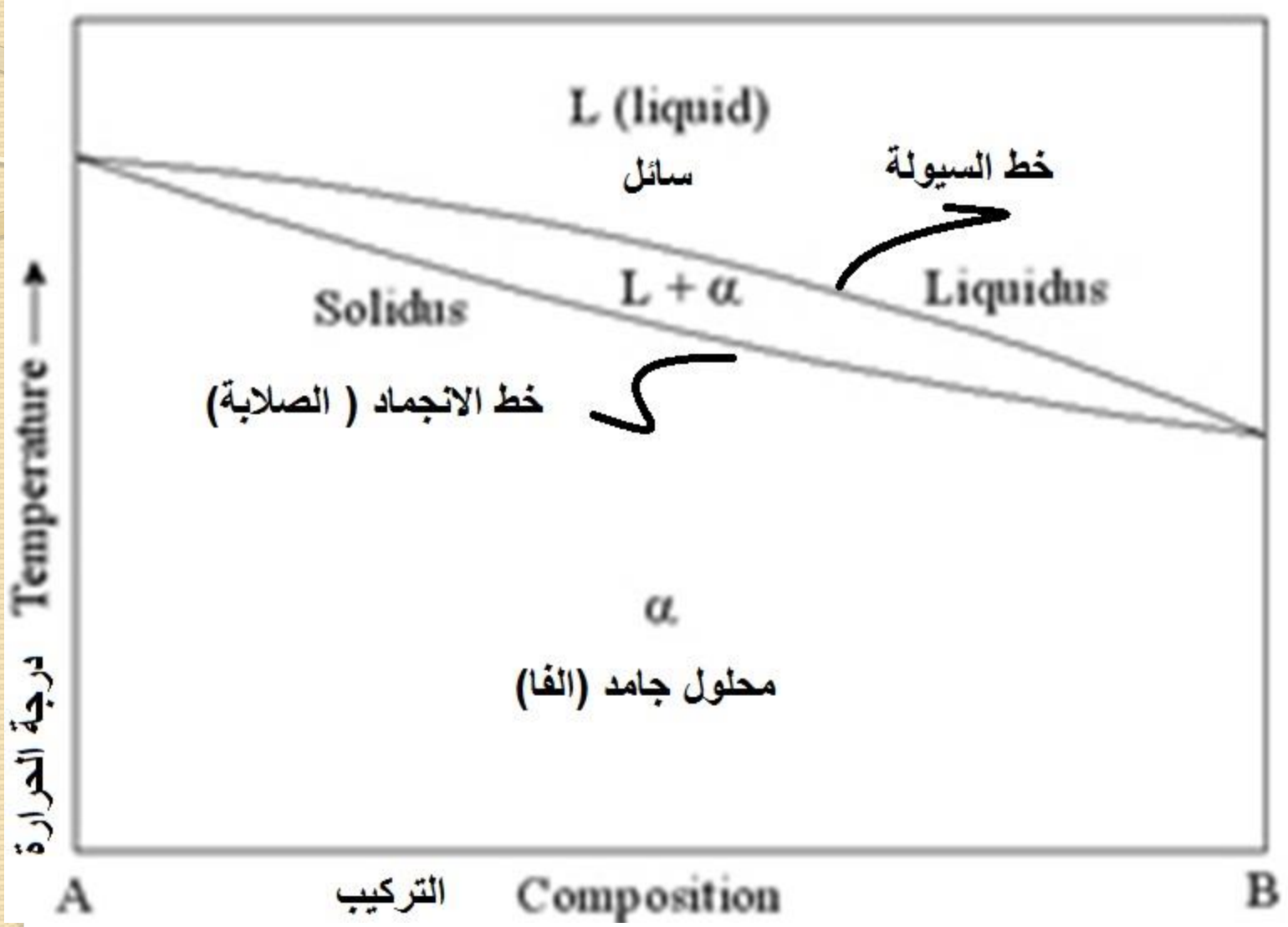


Figure illustrates a solid solution type

شكل يوضح المخطط السبائكي نوع المحلول الجامد

Phase diagrams

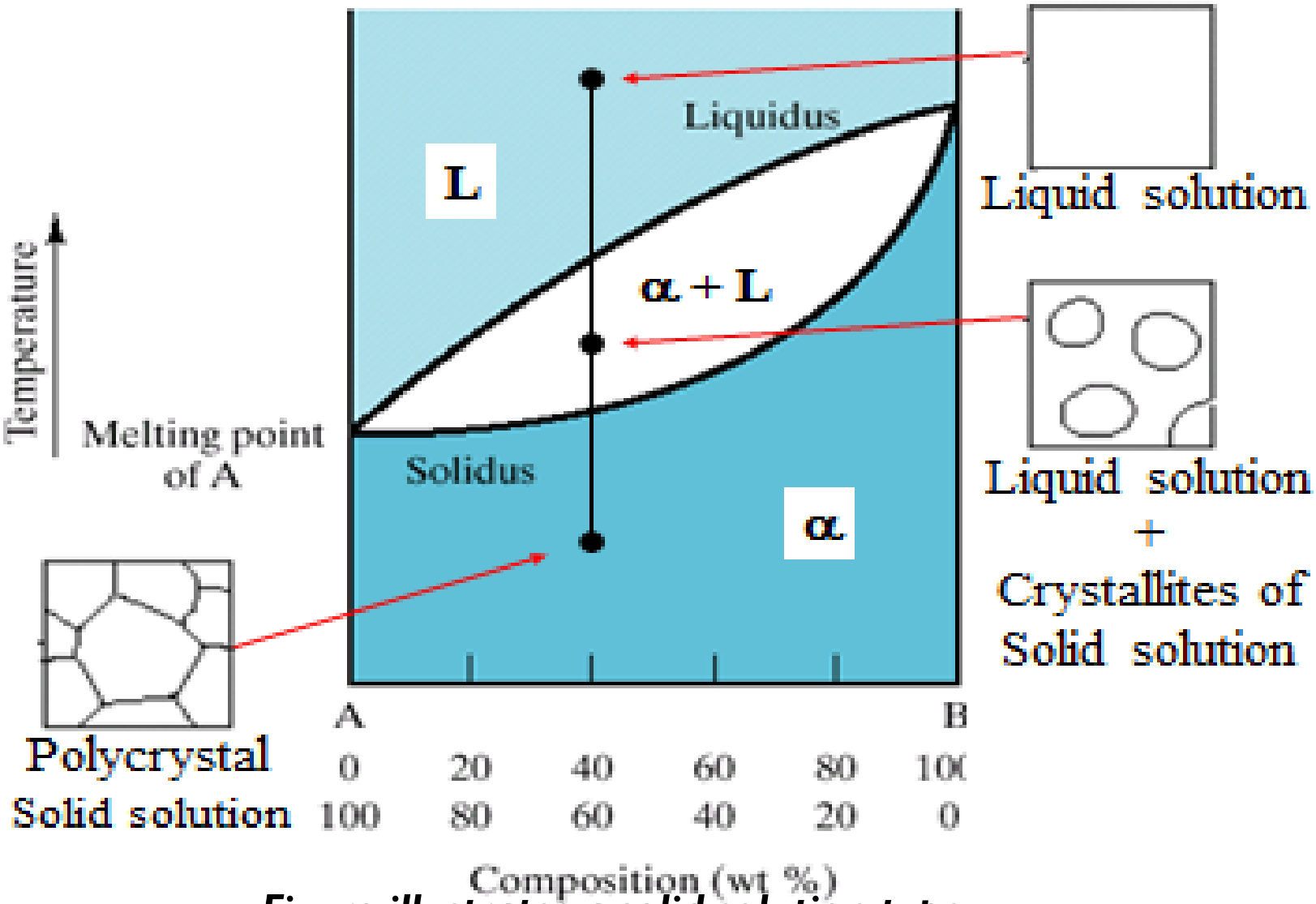


Figure illustrates a solid solution type

شكل يوضح المخطط السبائكي نوع المحلول الجامد

Solidification(cooling) curves مخطط التبريد

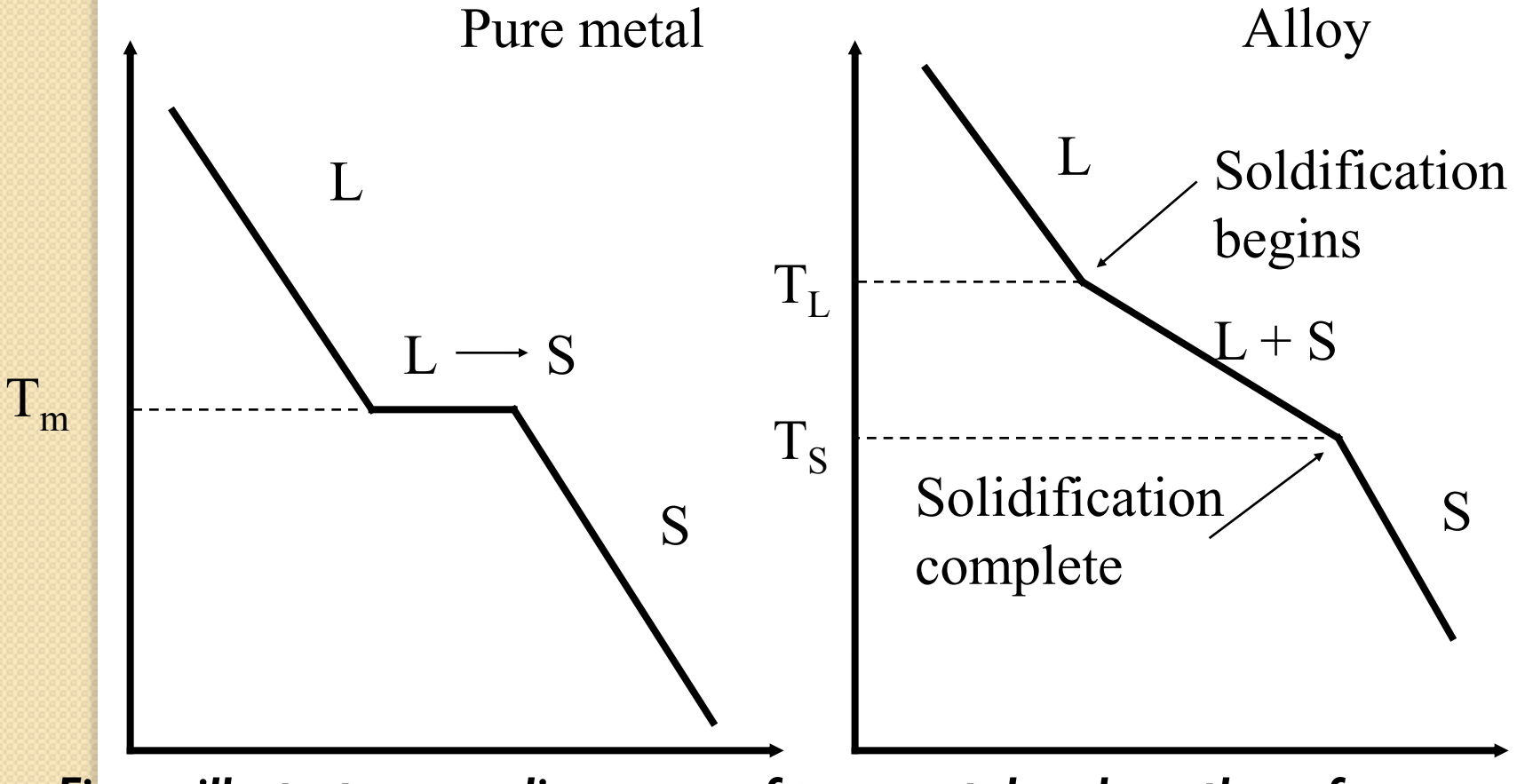
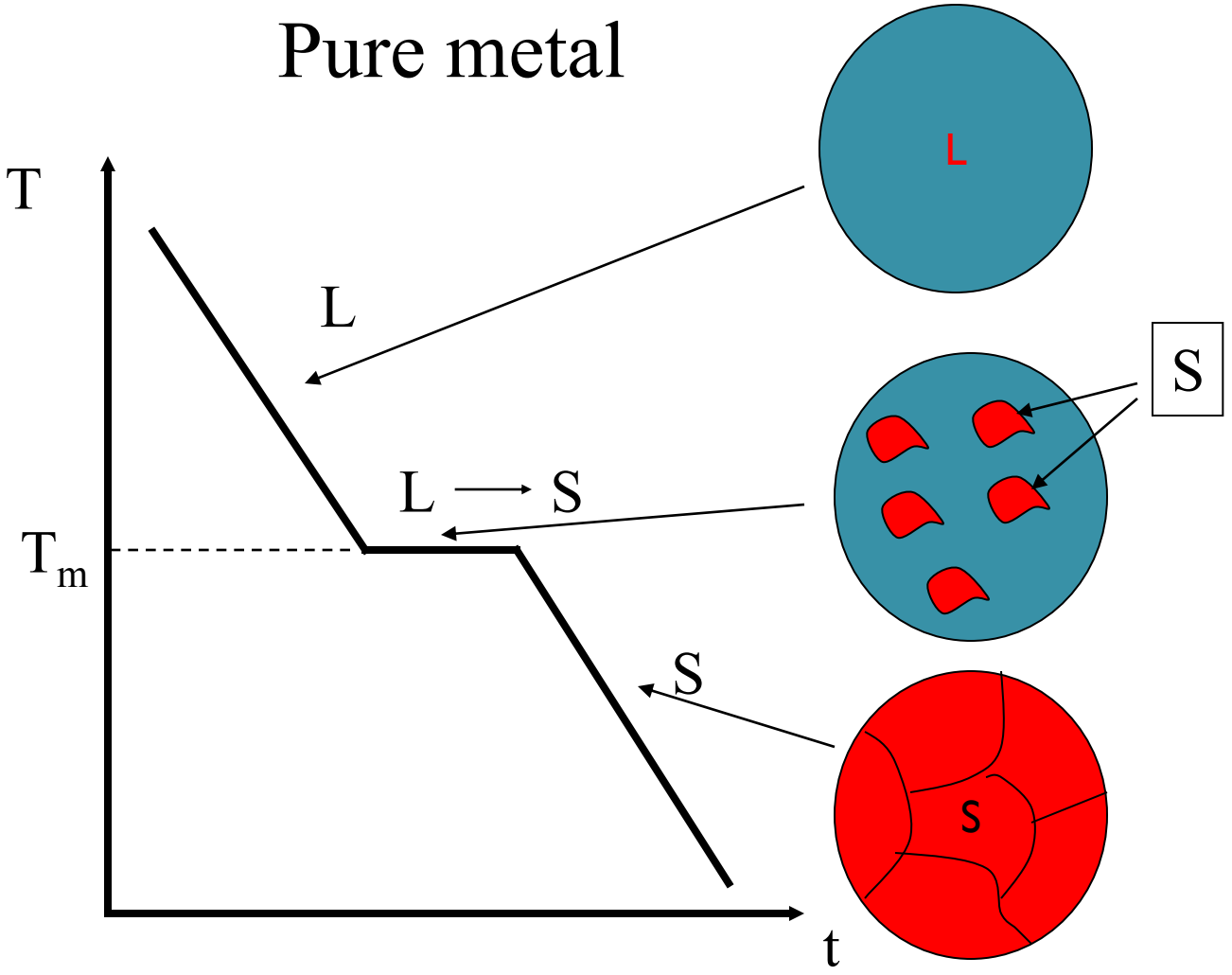


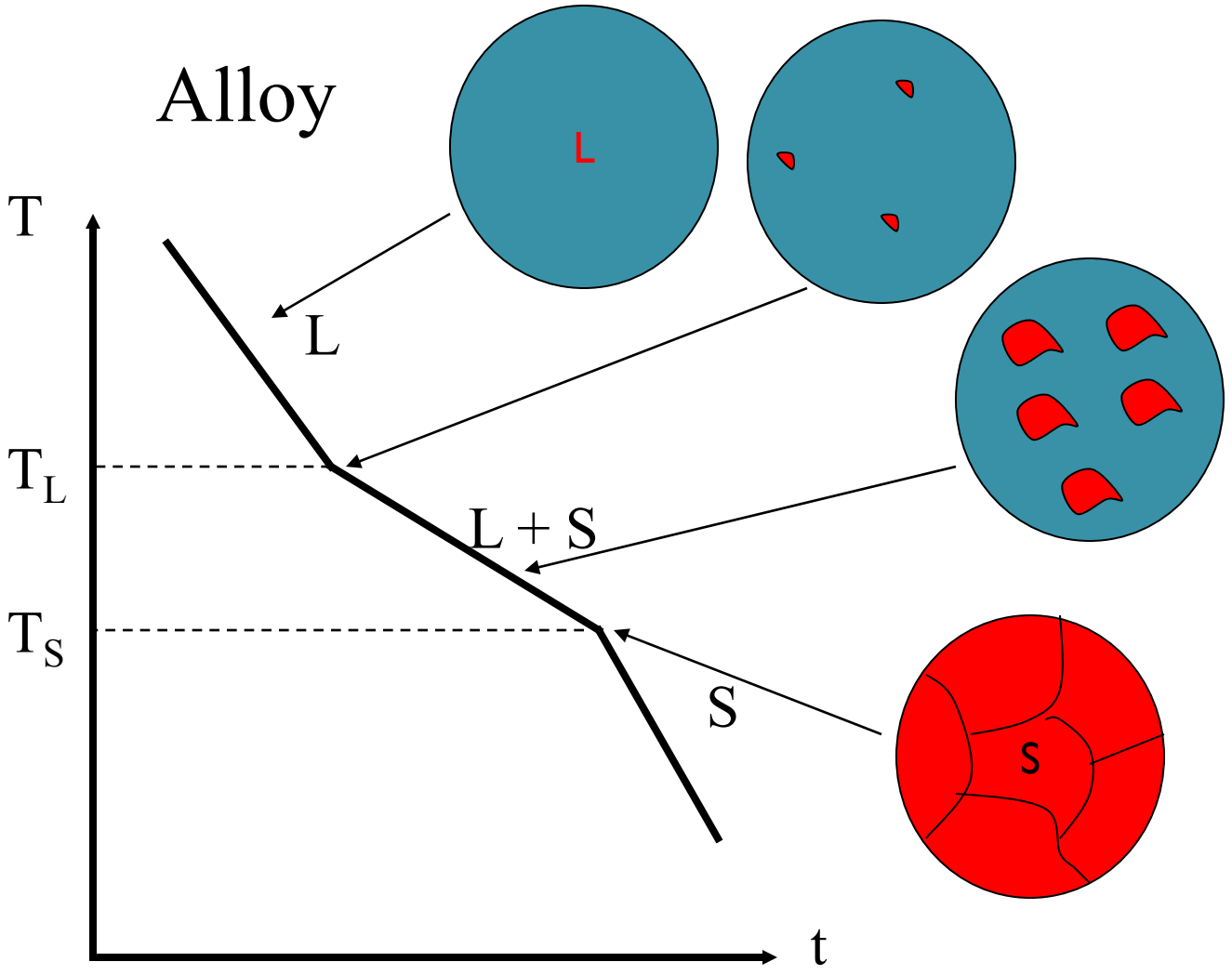
Figure illustrates a cooling curve of pure metal and another of homogeneous of solid solution type

شكل يوضح مخطط التبريد لمعدن نقي واخر لسبيكة ذات محلول جامد متجانس

Microstructural changes during solidification

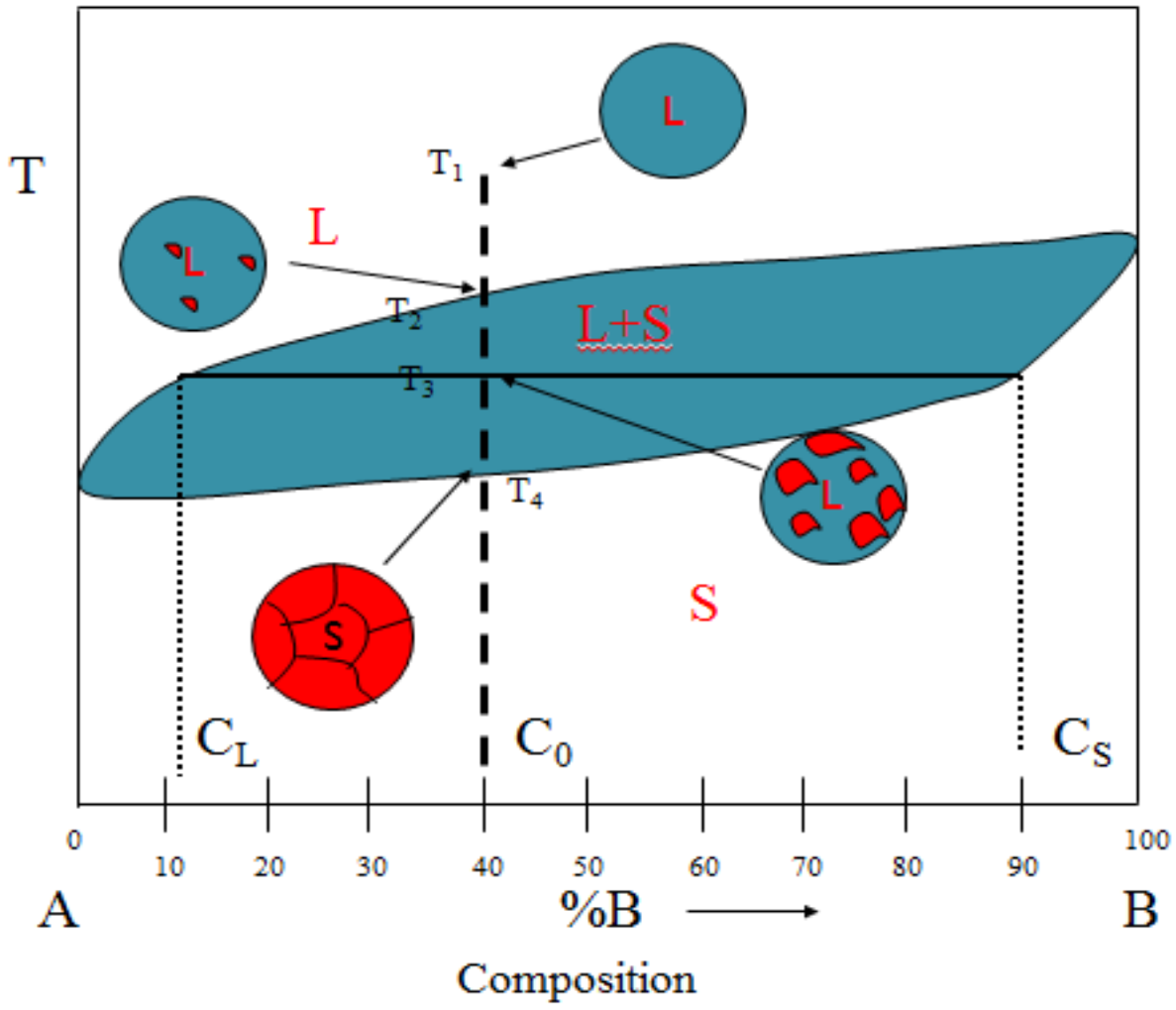


Microstructural changes during solidification



Lever rule is a formula used to determine the amount of each phase present by applying its to the phase diagram of each phase

قانون العتلة هو اداة يمكن من خلالها تحديد النسبة المئوية للطور في مخططات الاطوار، ويتم تطبيقه في حالة وجود طورين فقط.

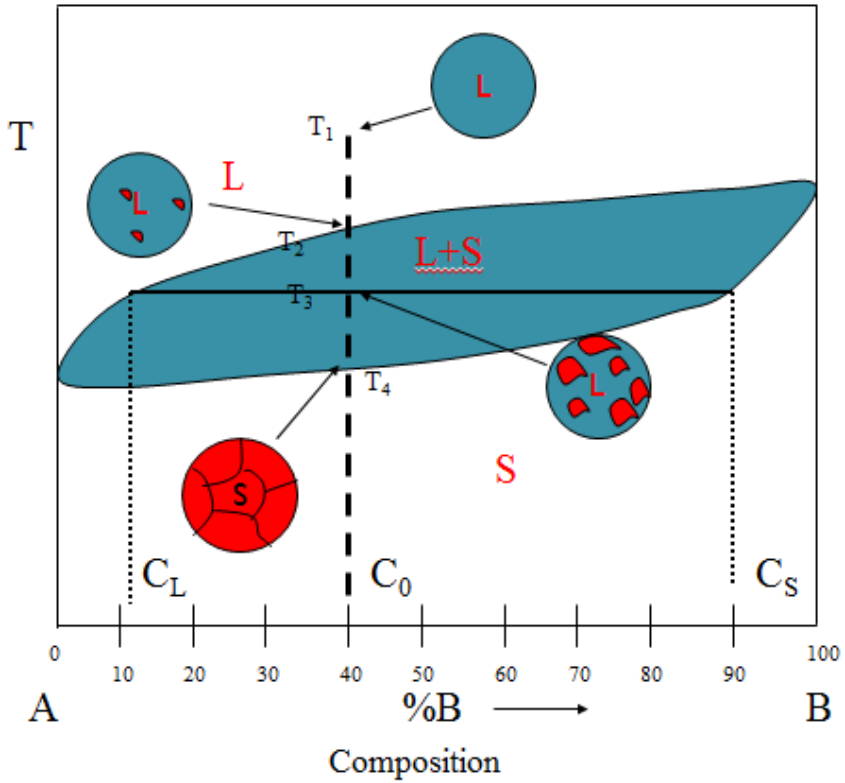


In this figure, the tie line CL-Cs represent the line of liver at temperature T_3 that passes into two phases (liquid and solid α), and it can be calculated the percentage of liquid and solid as shown in the following:

$$\%L = \frac{C_o C_s}{C_L C_s} = \frac{90-40}{90-11} = \frac{50}{79} = 0.633x100 = 63.3\%$$

$$\%S = 100 - 63.3 = 36.7\%$$

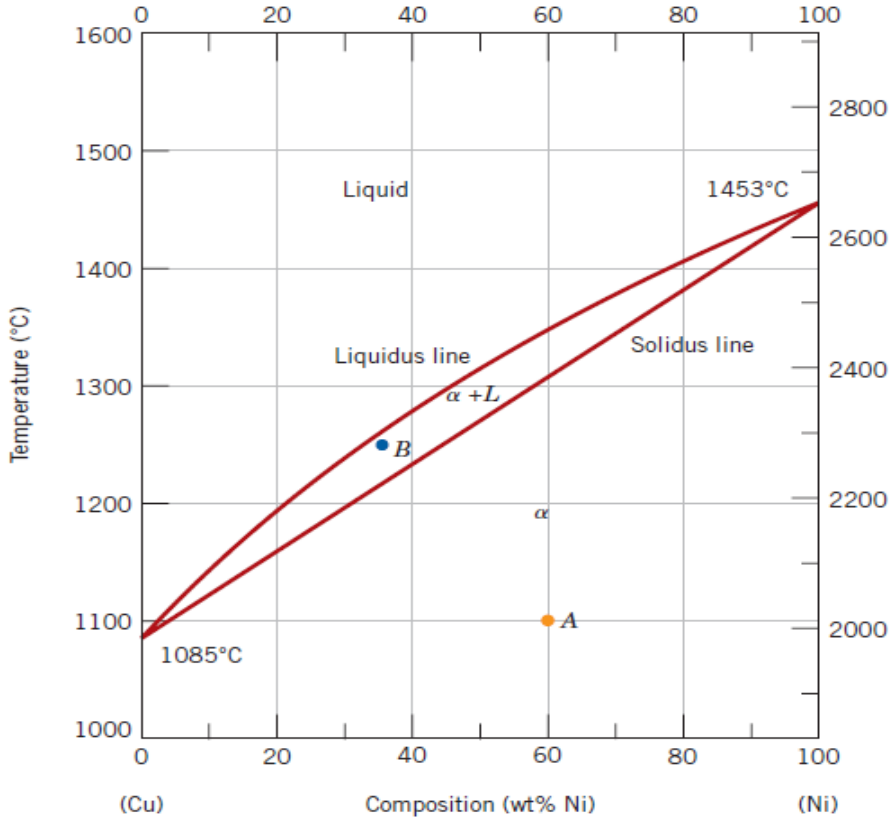
في هذا الشكل ، يمثل الخط CL-Cs خط التعادل او الحد الذي يمر بين الطورين الصلب والسائل عند درجة الحرارة T3 ، ويمكن حساب النسبة المئوية لكل من الطورين بتطبيق قانون العتلة وكما موضح في المعادلات اعلاه.



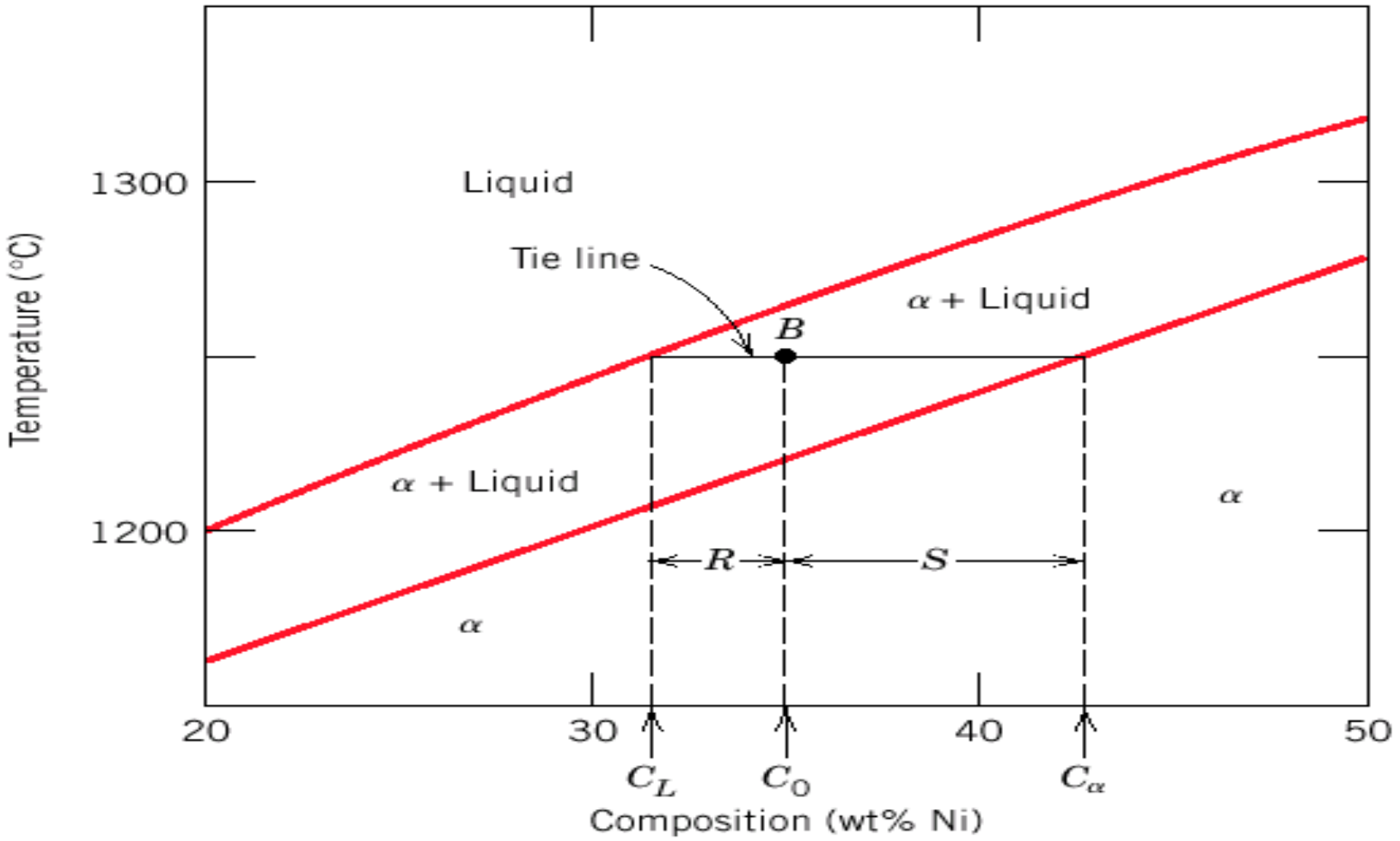
Possibly the easiest type of binary phase diagram to understand and interpret is the type that is characterized by the copper–nickel system as shown in the following figure.

لتوضيح مخطط الطور من نوع المحلول الجامد في النظام السبائكي الثنائي وفهمه فان اسهل مثال هو مخطط النحاس – النيكل وكما موضح في ادناه:

حيث يمكن رسم المخطط بتثبيت درجات الانصهار لكل من المعدنين على المحور العمودي الذي يمثل درجات الحرارة وكذلك بعد تقسيم المحور الافقي الذي يمثل نسبة التركيب للمعدنين.



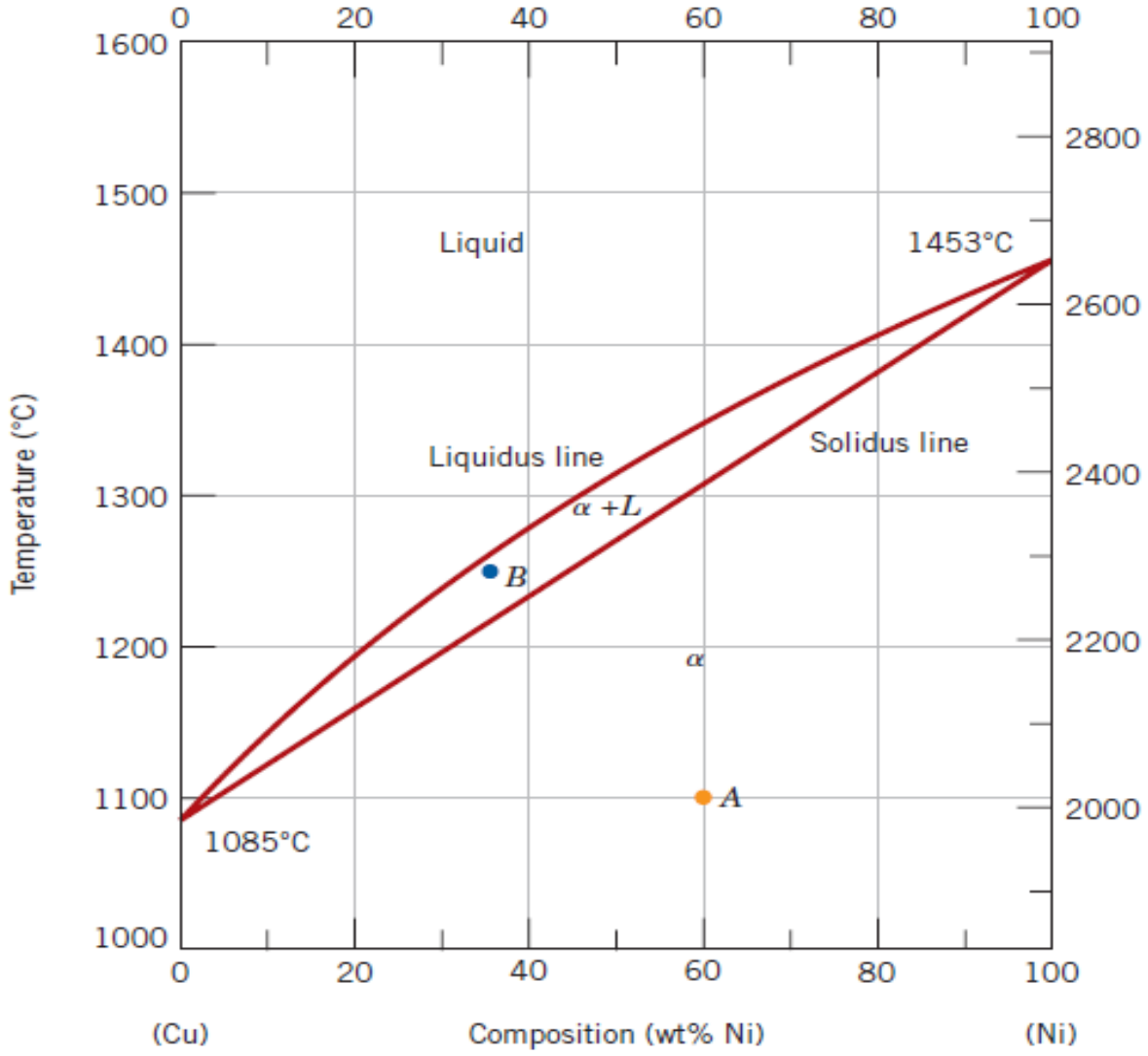
Phase compositions and amounts. An example
مثال: جد النسبة المئوية للسائل والصلب في النقطة B



C_o = 35 wt. %, C_L = 31.5 wt. %, C_α = 42.5 wt. %

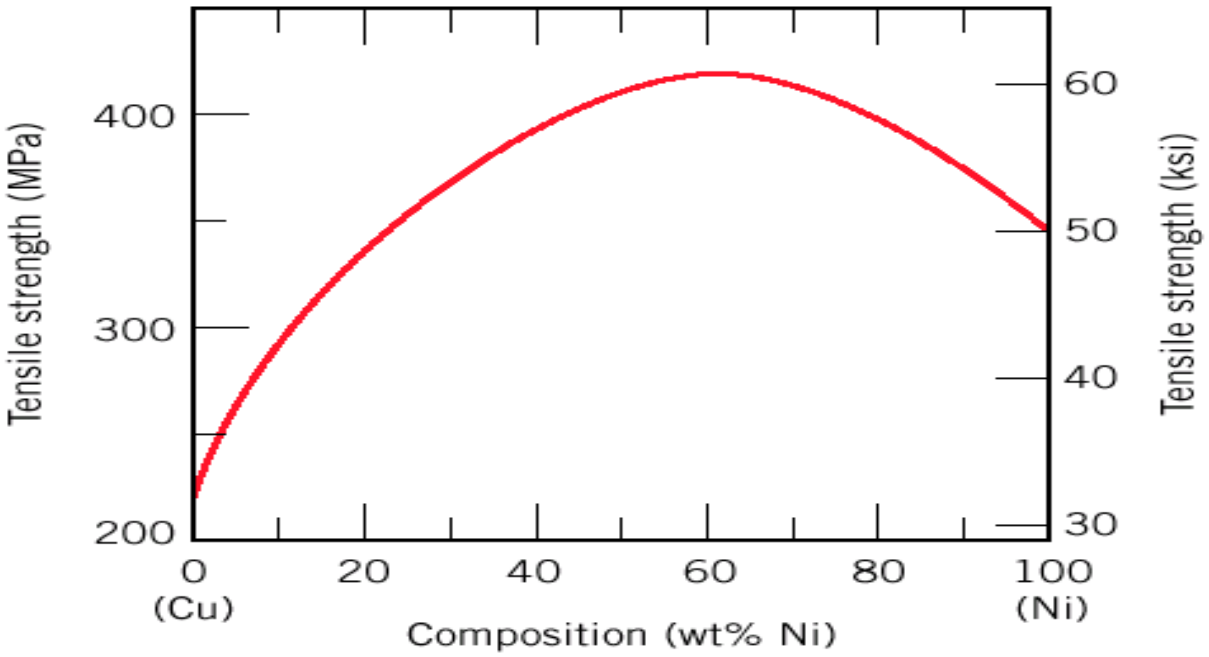
Mechanical properties of solid solution type alloys

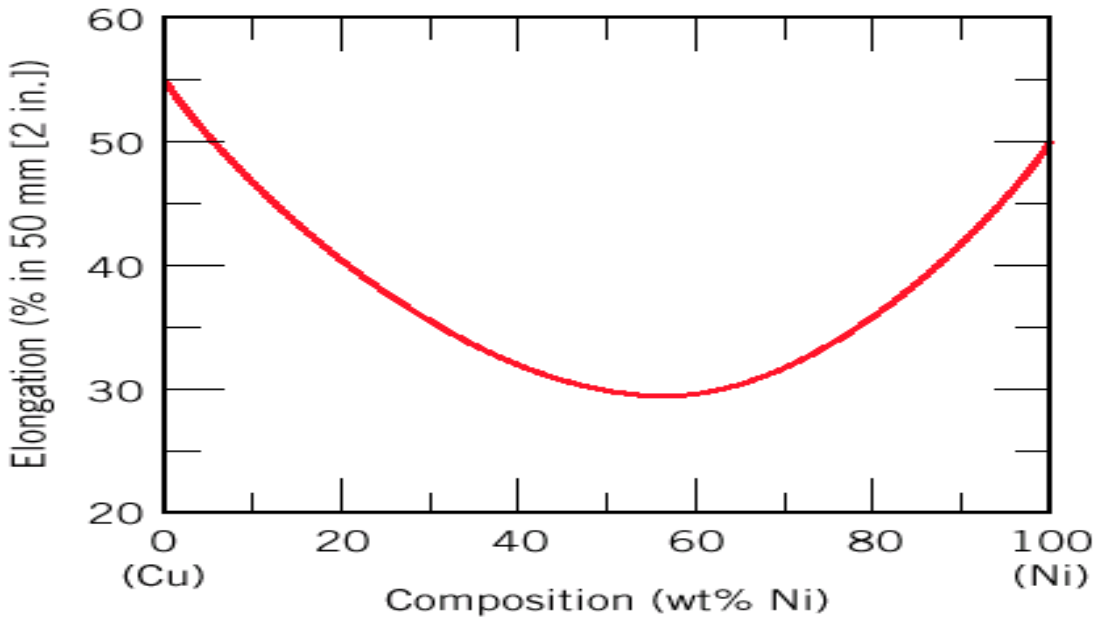
الخواص الميكانيكية لسبيكة α في مخطط المحلول الجامد للمعدنين النحاس-النيكل



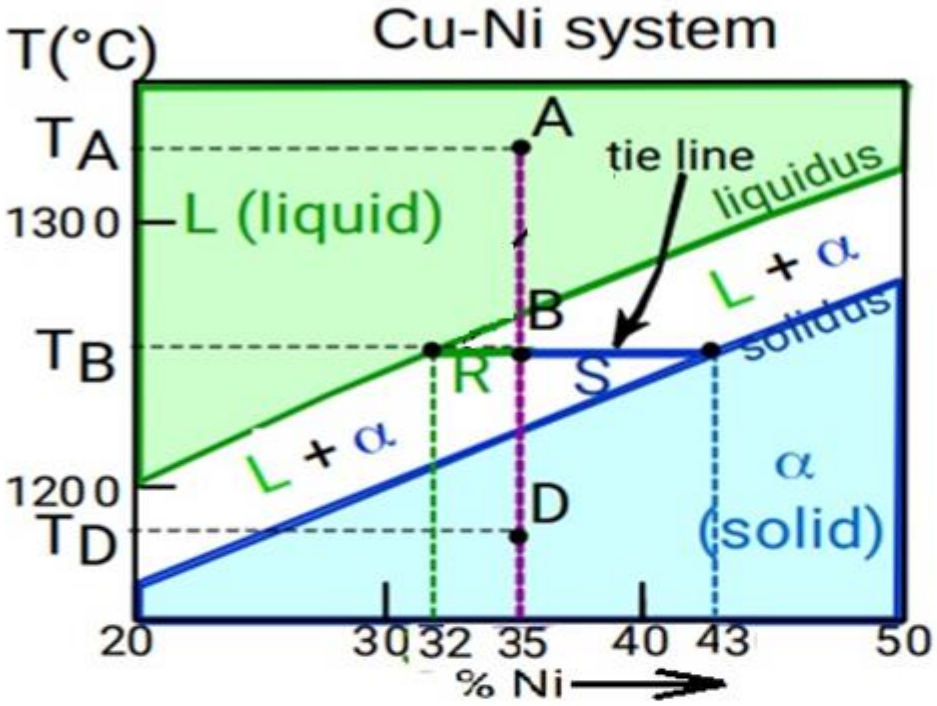
بصورة عامة في هذا النظام السبائكي نلاحظ ان كلما زادت درجة انصهار السبيكة كلما زادت المقاومة وقلت المطيلية، ويلاحظ ايضا ان السبائك ذات درجات الانصهار القليلة تستخدم في عمليات التشكيل.

Mechanical properties of solid solution type alloys





يبين من الشكلين في الجانب بأن كلما زادت نسبة النيكل في النحاس الى حد 60% نجد ان مقاومة الشد تزداد والمطيلية تقل.



في الشكل المجاور وعند التركيب النسبي لسبيكة النحاس – النيكل 35% نيكل جد:

1. النسبة المئوية للسائل عند درجة حرارة TA.
2. النسبة المئوية للصلب (الجامد) عند درجة حرارة TD.
3. النسبة المئوية للسائل والصلب عند درجة حرارة TB.

1. $\%L \text{ at } TA = 100\%$

2. $\%\alpha \text{ at } TD = 100\%$

3. $$\%\ L \text{ at } TB = \frac{S}{R+S} \times 100 = \frac{43-35}{43-32} \times 100 = 72.7\%$$

$$\therefore\ \%\alpha = 100 - 72.7 = 27.3\%$$

Quiz: 1. Determine the %L at T_A, 2. Determine the %S at T_D, 3. determine the % of liquid and solid at T_B?

2- *Simple eutectic type* *نوع اليوتكتك البسيط*

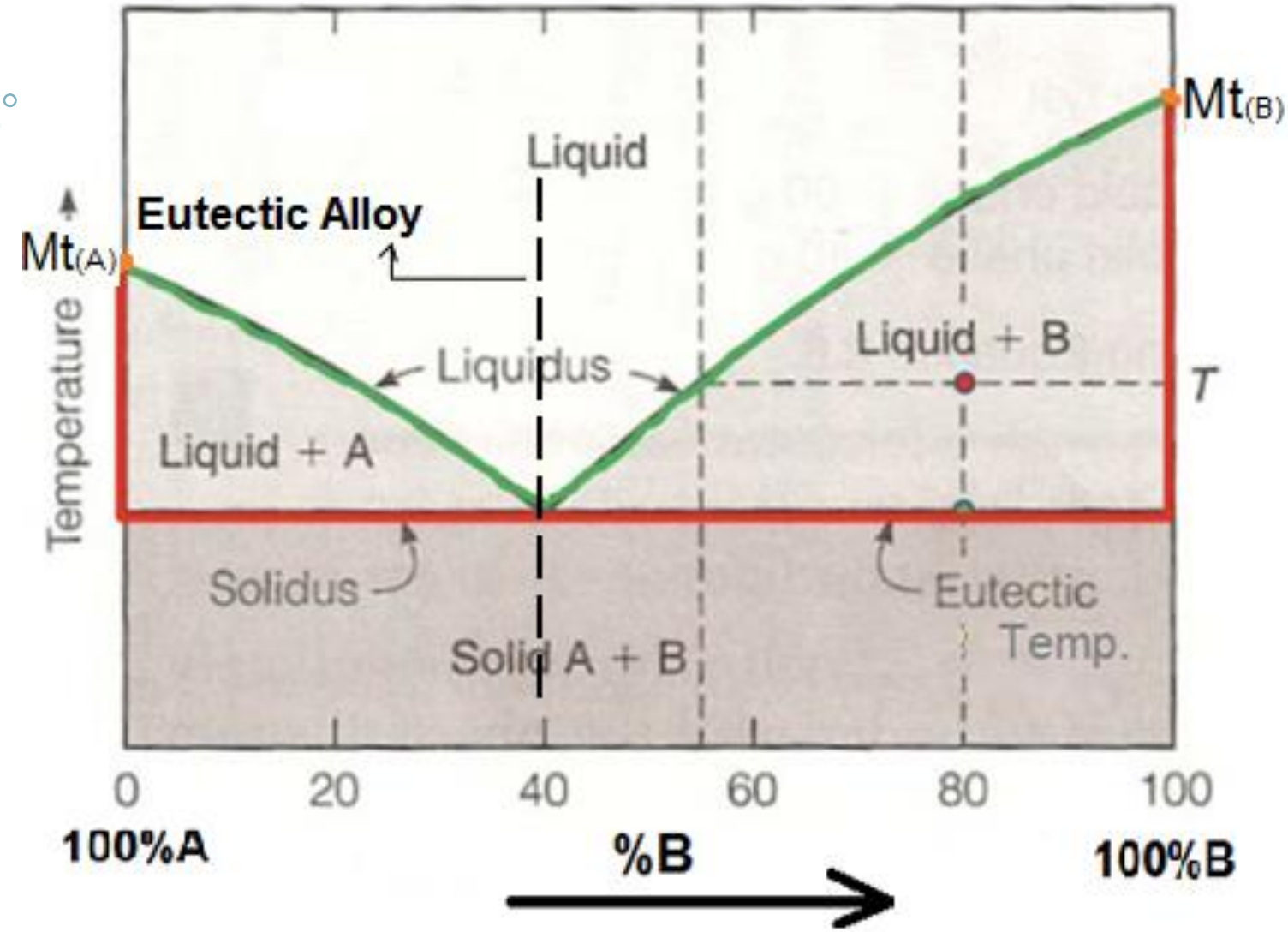
Two metals completely soluble in the liquid state but completely insoluble in the solid state

معدنان يذوبان تماما في الحالة السائلة ولا يذوبان نهائيا في الحالة الجامدة (نظام اليوتكتك البسيط)

In this type of phase diagram, it can be noted the two metals are completely insoluble in the solid state, i.e under the eutectic temperature, all alloys consist of insoluble two metals of A&B as shown in the figure. Also, it can be shown in this phase diagram that all alloys have two points of start and end of solidification except unique alloy which is similar to pure metal in terms of melting point, and has one point of solidification or melting, which is called " Eutectic alloy". The eutectic alloy has the lowest melting point and transforms from liquid to solid (two phases) directly. The microstructure of Eutectic alloy consists of two layers whic represents the two constituent metals.

في هذا النوع من مخطط الطور ، يمكن ملاحظة أن المعدنين غير قابلين للذوبان تمامًا في الحالة الصلبة ، أي تحت درجة حرارة الانصهار ، تتكون جميع السبائك من معدنين غير قابلين للذوبان من A & B كما هو موضح في الشكل. كذلك في المخطط يمكن ملاحظة أن جميع السبائك لها نقطتا بداية ونهاية للانجماد (او للانصهار) باستثناء سبيكة فريدة تشبه المعدن النقي من حيث نقطة الانصهار (او الانجماد) ، ولها نقطة تصلب واحدة تسمى "سبيكة اليوتكتك". ان سبيكة اليوتكتك لديها أدنى نقطة انصهار وتتحول من سائل إلى صلب (من طورين) مباشرة. بدون المرور بمرحلة (السائل والصلب). ان البنية المجهرية لسبيكة اليوتكتك تظهر بشكل طبقات متعاقبة، والتي تمثل المعدنين المكونين لها.

2- **Simple eutectic type** نوع اليوتكتك البسيط



Cd –Bi system alloy مثال على نظام اليوتك البسيط ،سبيكة الكاديميوم – بزموث

Example: two metals of Cadmium and Bismuth are completely soluble in liquid state and insoluble in solid state, from the following data:

Melting point of Cd: 321°C

Meting point of Bi: 271°C

Eutectic Temperature: 140_oC

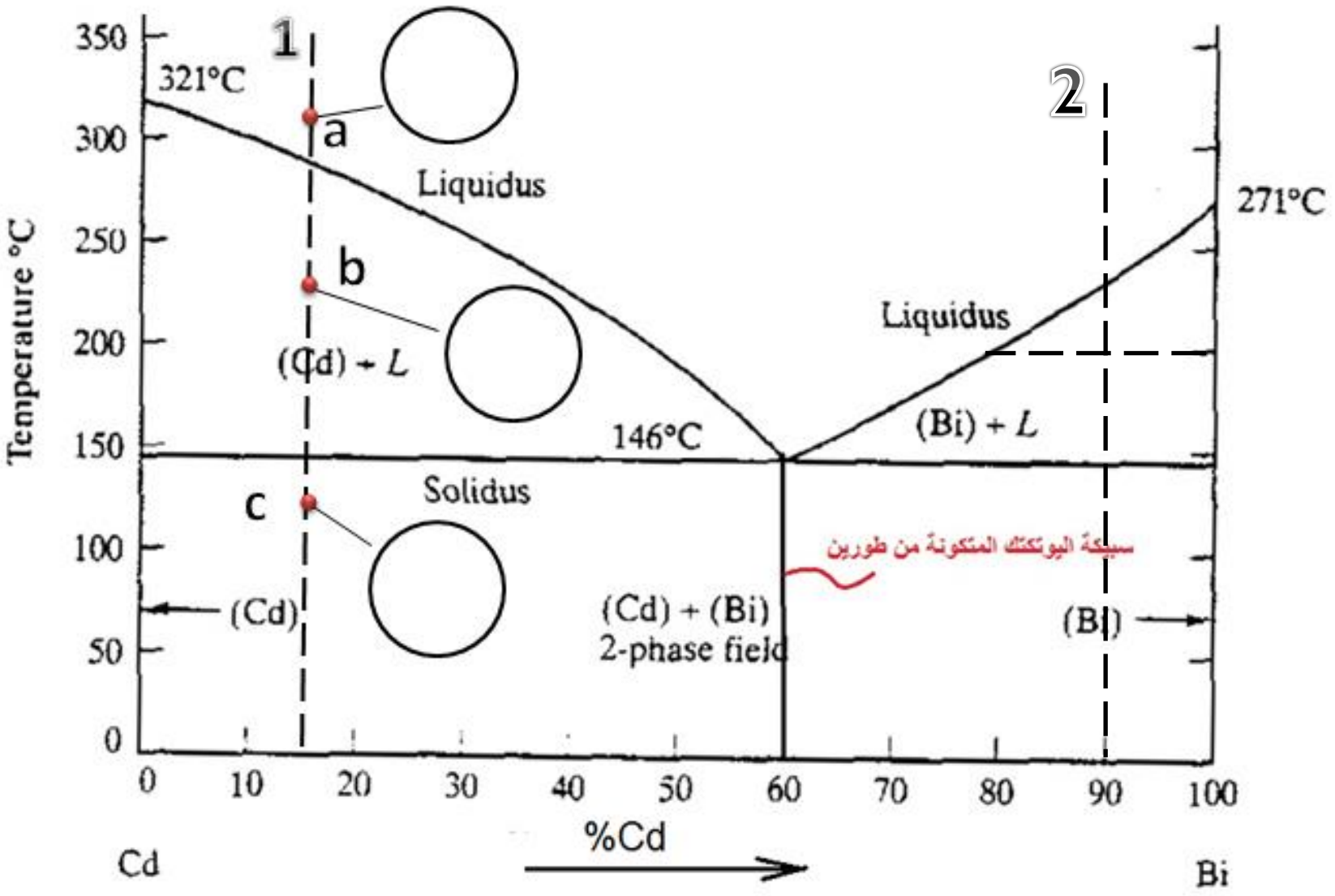
Eutectic composition: 60%Bi – 40%Cd

1. Draw the phase diagram

1. Determine the (composition, temperature and microstructure of alloy no. 1 at points a,b &c)

2. Determine the % of liquid and % of Bi of alloy no. 2 at 200°C

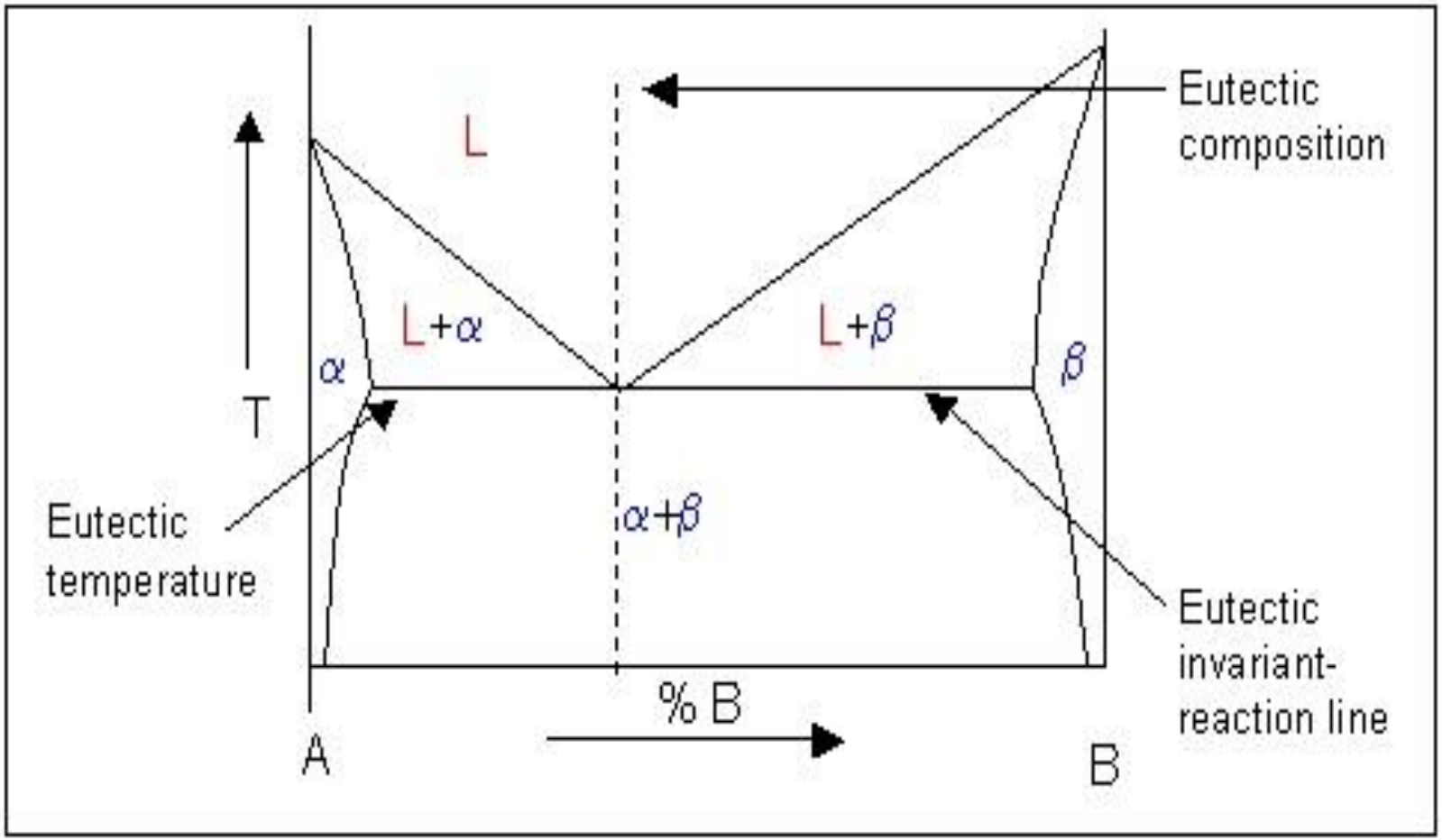
مثال على نظام اليوتك البسيط ،سبيكة الكاديميوم – بزموث Cd –Bi system alloy



3- Combination type النوع المركب

The two components are completely soluble in the ***liquid state***, but are only ***partially soluble in each other in the solid state***

في هذا النوع يذوب المعدنان مع بعضمها البعض ذوبانا تاما في الحالة السائلة ، ويذوبان ذوبانا جزئيا في الحالة الجامدة.



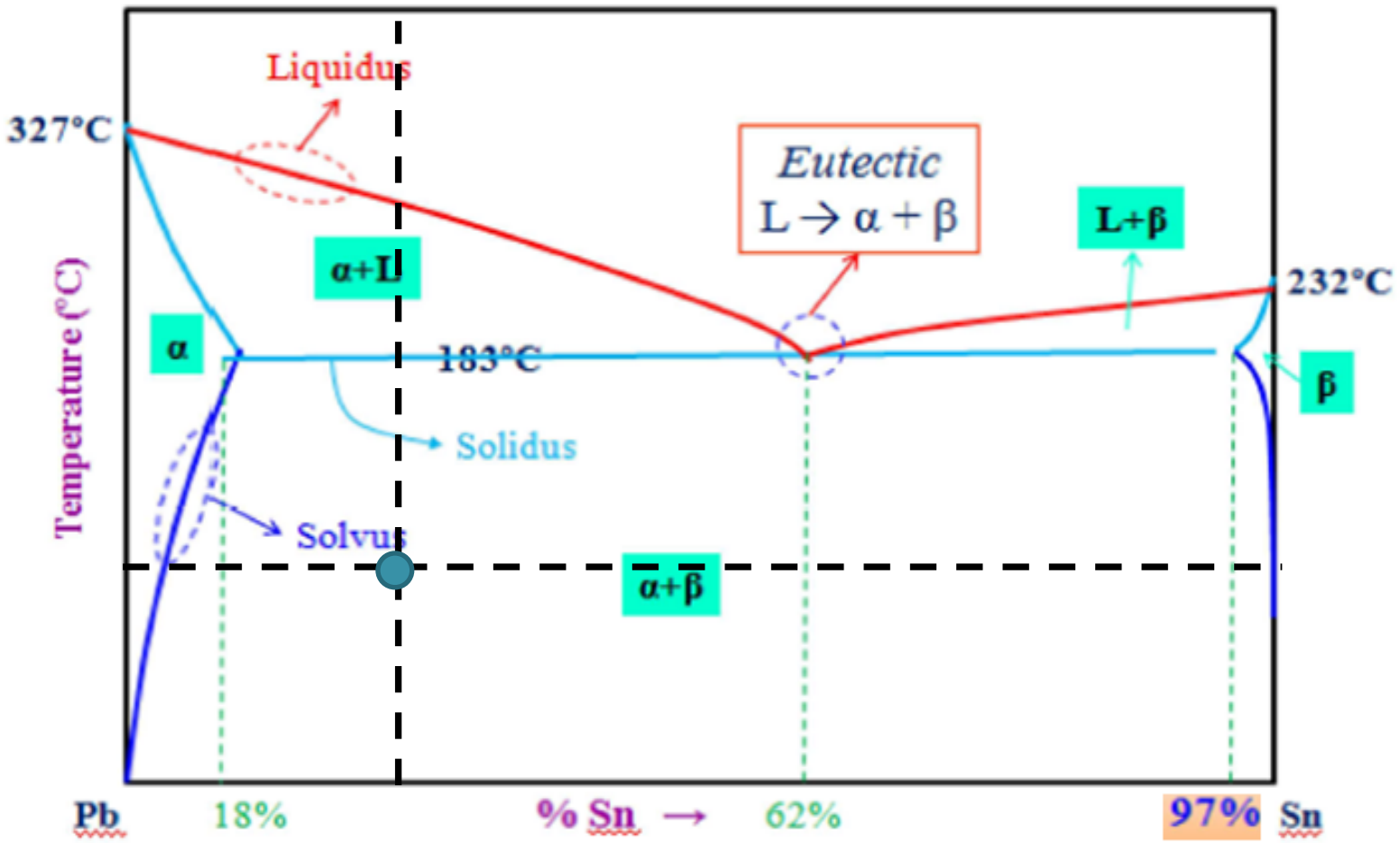
EX. The following data is for Pb-Sn alloy system : (Lead-Tin Solder) Melting point of lead (Pb) - 327ºC Melting point of Tin (Sn) - 232ºC Eutectic alloy is formed at 183ºC with 62% Sn –38% Pb Maximum solid solubility of tin in lead at 183ºC –19% Maximum solid solubility of lead in tin at 183ºC –3% Maximum solubility of tin and lead at room temperature is negligible. (1) Draw the phase diagram with the help of above data and label all the points, lines and regions on it.

(2) For 70%Pb – 30%Sn alloy composition, determine the amounts of eutectic and eutectic constituents at 100ºC.

مثال: البيانات ادناه للنظام السبائكي الثنائي المكون من عنصري الرصاص-الخارصين، حيث ان درجة انصهار الرصاص 327°C ودرجة انصهار الخارصين 232°C، تتكون في المخطط سبيكة اليوتكتك عند درجة حرارة 183°C وبتركيب 62% Sn -38% Pb ، وان اعلى حد لذوبان الخارصين في الرصاص عند درجة حرارة 183°C هو 19%، واعلى حد لذوبان الرصاص بالخارصين عند درجة حرارة 183°C هو 3%.

1. **ارسم مخطط الطور بمساعدة البيانات اعلاه موضحا جميع درجات الحرارة والتراكيب.**
2. **عند السبيكة 70%Pb-30%Sn جد النسبة المئوية لليوتكتك ثم جد النسبة المئوية لمكونات اليوتكتك (α and ß) عند درجة حرارة 100°C.**

Phase diagram of Pb–Sn diagram مخطط الطور لسبائك الرصاص – الخارصين



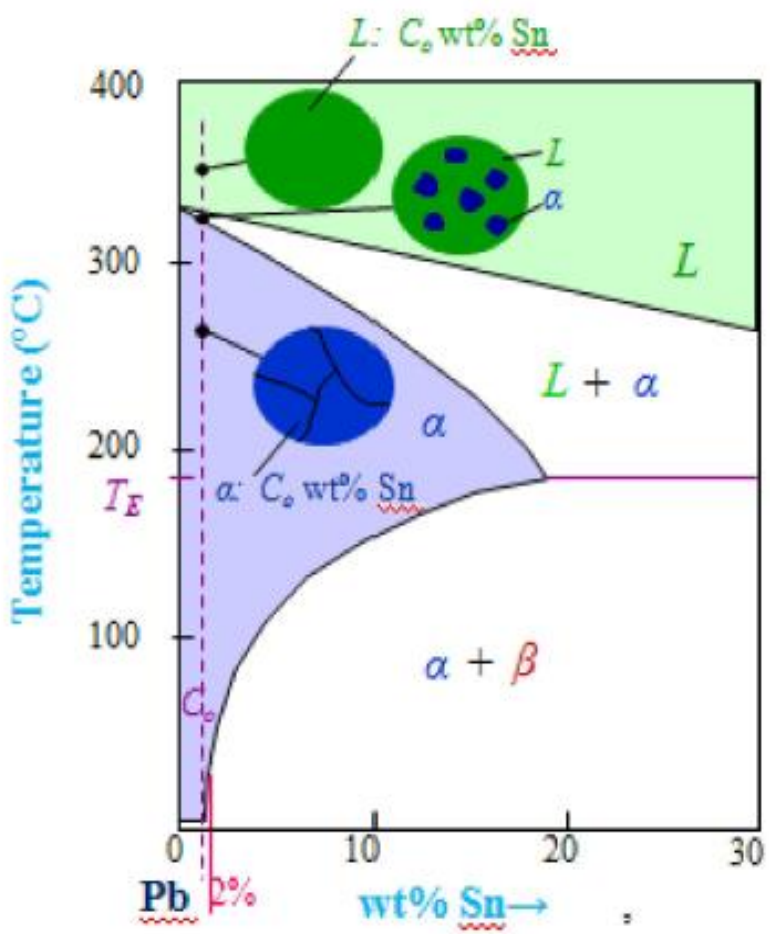
Eutectic reaction at 183°C

$$L \rightarrow \alpha + \beta$$

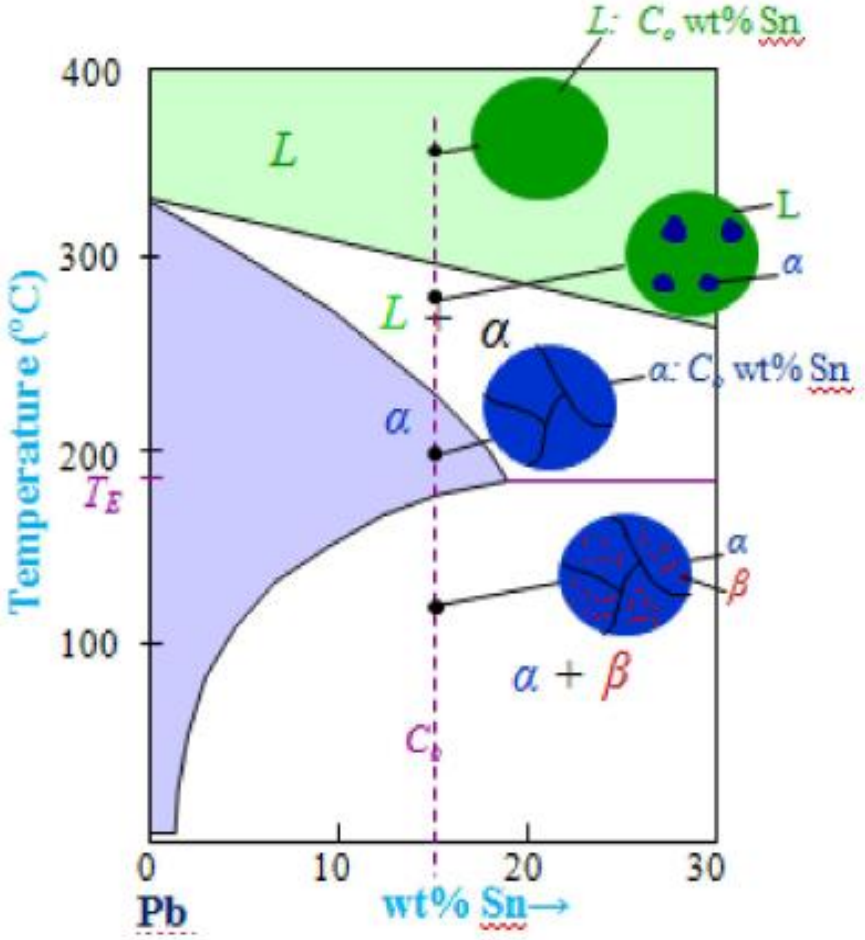
62%Sn → 18%Sn + 97%Sn

Microstructural Characteristics of Eutectic System

شكل البنيه المجهريه في النظام التنائي اليوتكتيكي للسبائك

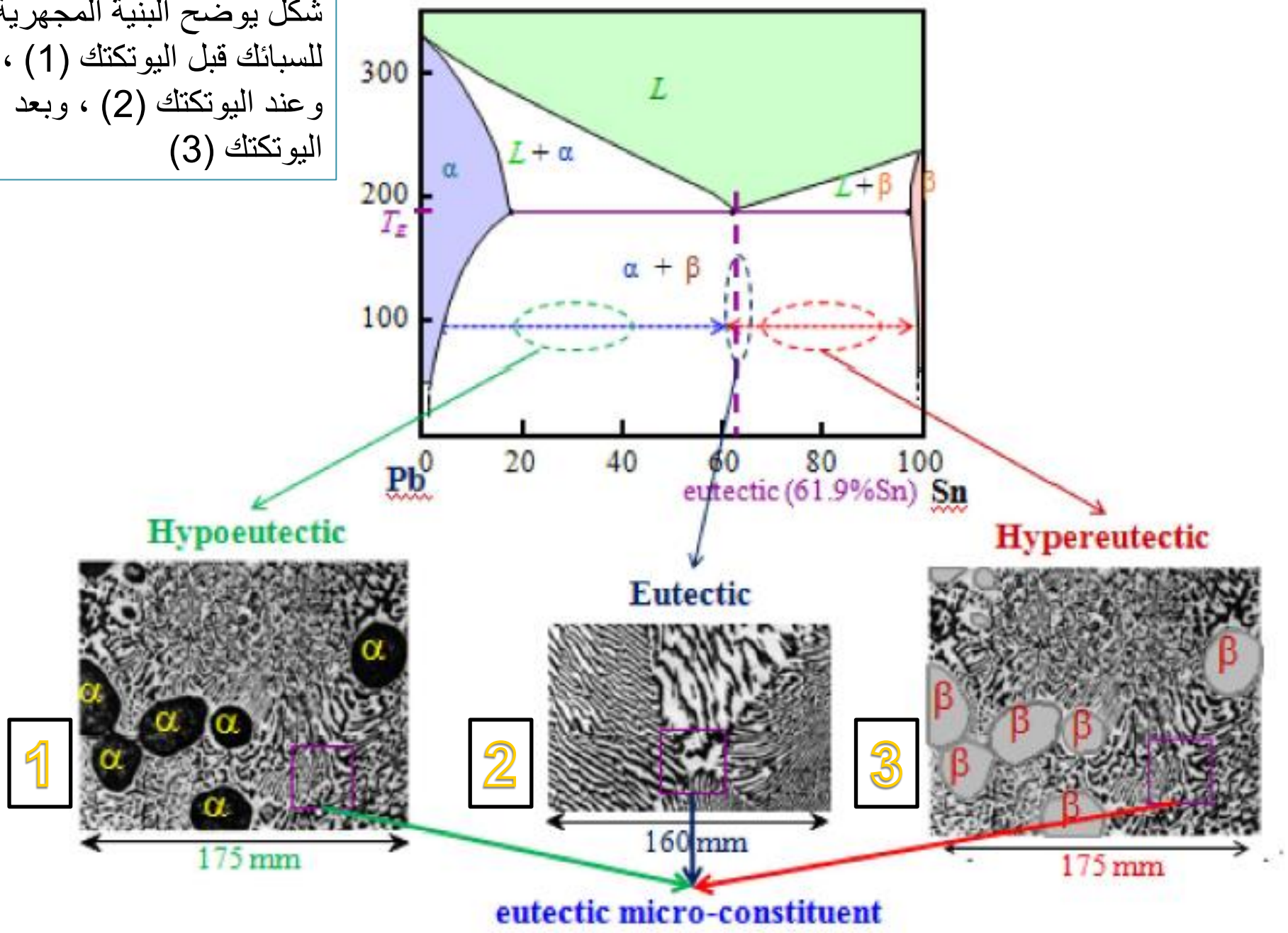


شكل يوضح مراحل البنية المجهرية
لسبيكة 2%خارصين اثناء الانجماد



شكل يوضح مراحل البنية المجهرية
لسبيكة 15%خارصين اثناء الانجماد

شكل يوضح البنية المجهرية للسبائك قبل اليوتكتك (1) ، وعند اليوتكتك (2) ، وبعد اليوتكتك (3)

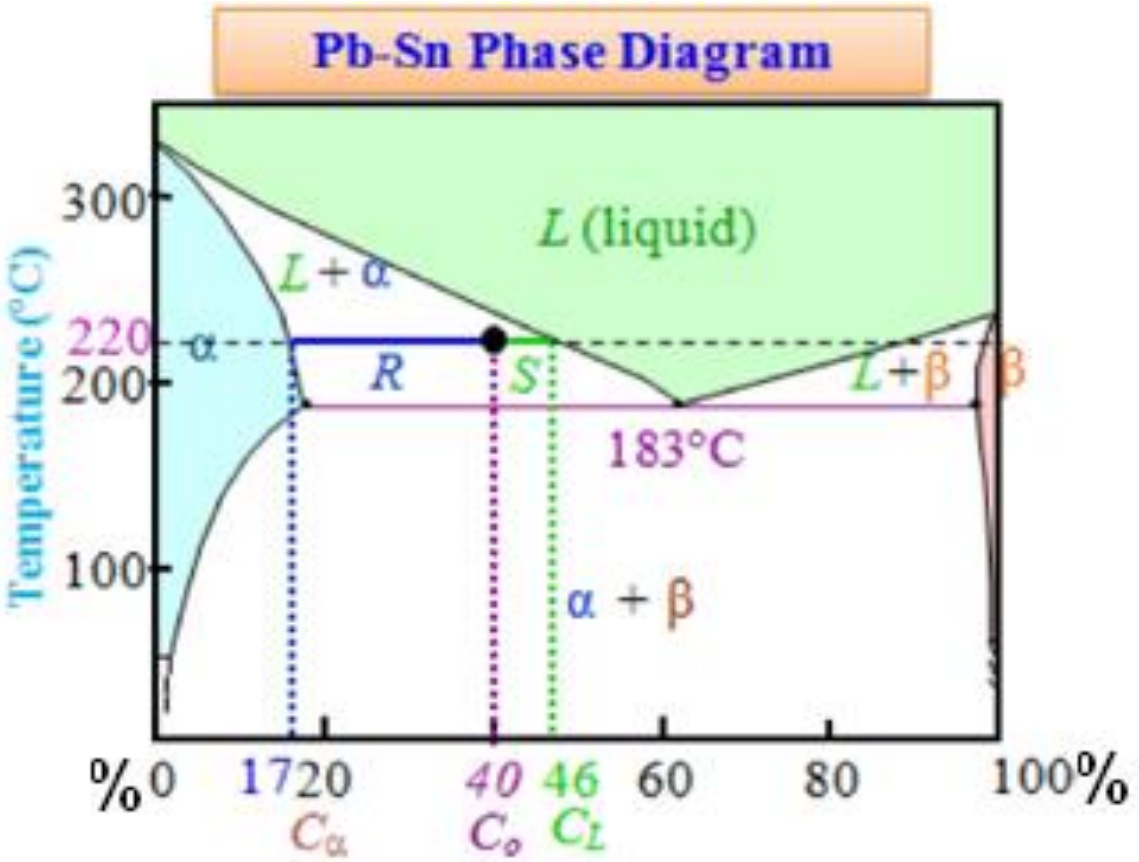


Example: For a 40%Sn – 60%Pb alloy at 220oC, find the percentage of phases α and liquid if the composition of phases are:

- C_0 =40%Sn
- C_L =46%Sn
- C_α =17%Sn

مثال: في السبيكة المكونة من 40% خارصين و60% رصاص وعند درجة حرارة 220°C، جد النسبة المئوية للمحلول الجامد α والسائل. اذا كان:

C_0 =40%Sn
C_L =46%Sn
C_α =17%Sn



Solution:

$$\% \alpha = \frac{S}{S+R} \times 100 = \frac{46-40}{46-17} \times 100 = 20.7\%$$

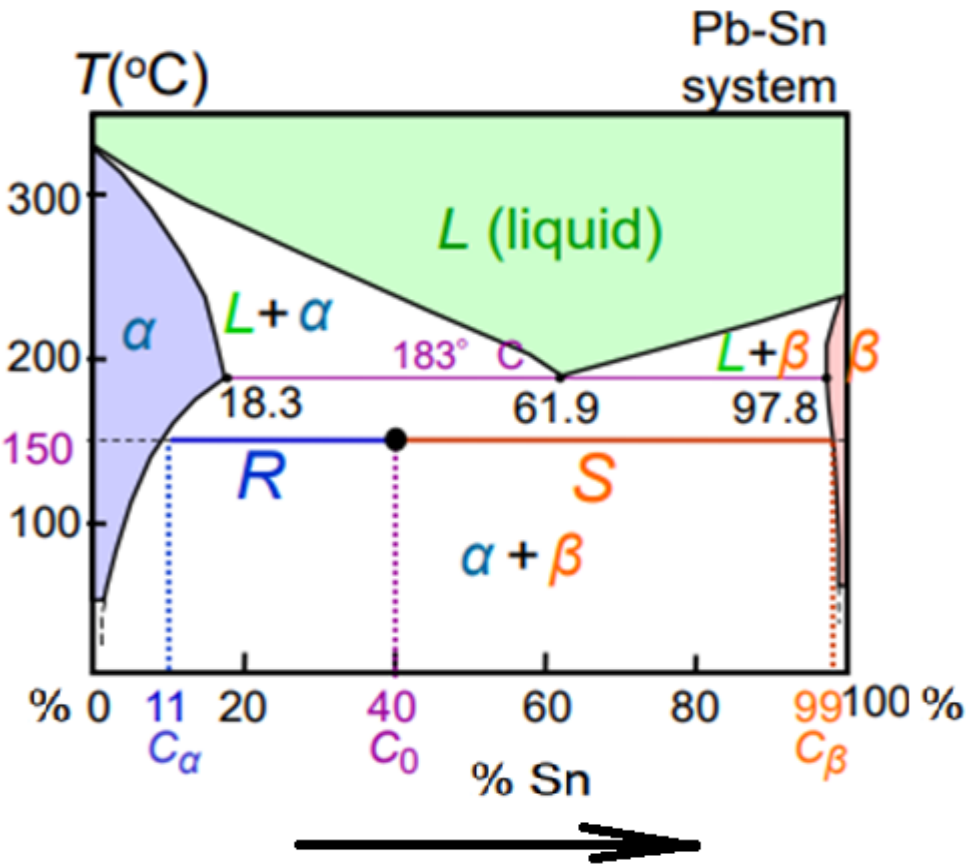
$$\therefore \%L = 100 - 20.7 = 79.3\%$$

Example: For a 40%Sn – 60%Pb alloy at 150oC, find the percentage of phases α and ß if the composition of phases are:

- C_0 =40%Sn
- C_α =11%Sn
- C_β =99%Sn

مثال: في السبيكة المكونة من 40% خارصين و60% رصاص وعند درجة حرارة 150°C، جد النسبة المئوية للمحلول الجامد α والمحلول الجامد β. اذا كان:

C_0 =40%Sn
$C\alpha$ =11%Sn
C_β =99%Sn



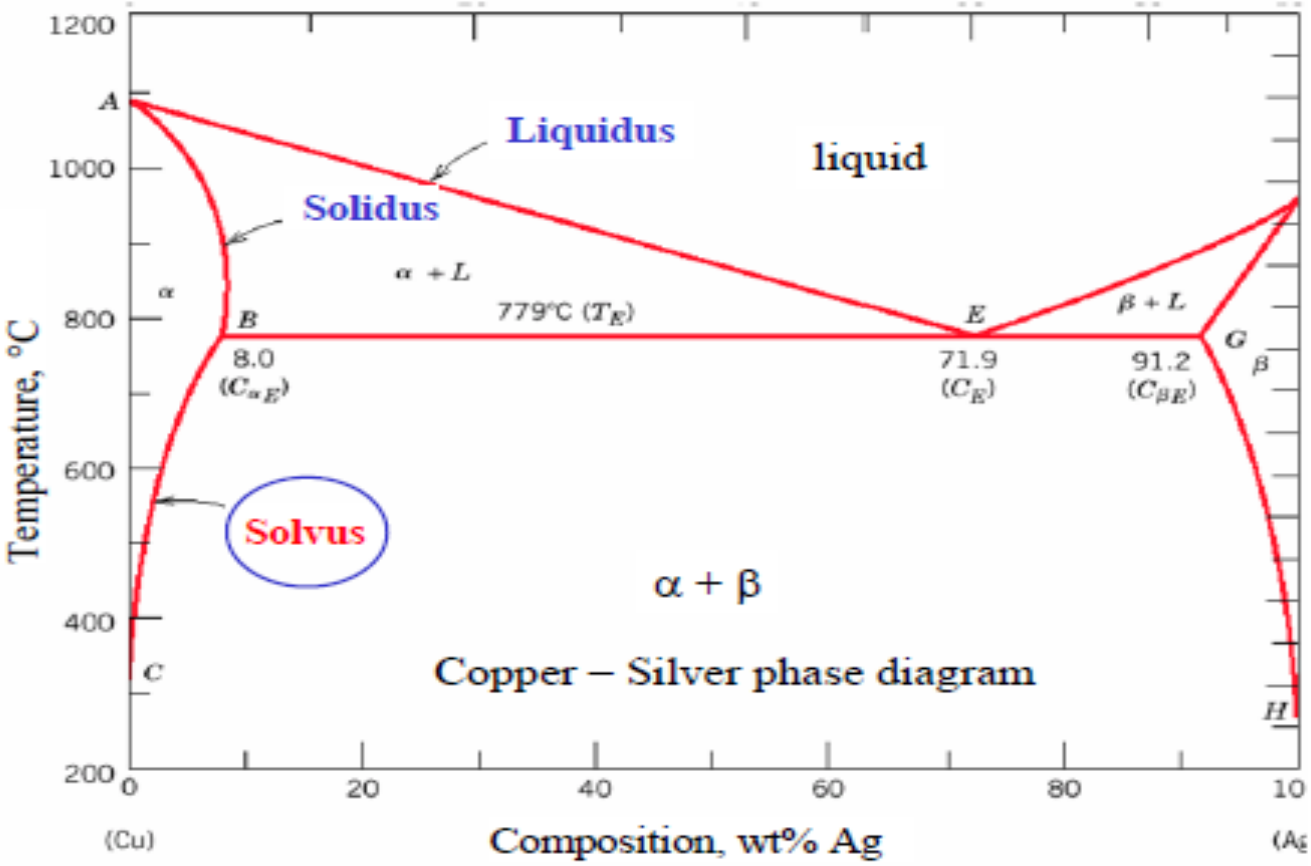
solution

$$\%\,\alpha = \frac{S}{S+R} \times 100 = \frac{99-40}{99-11} \times 100 = \frac{59}{88} \times 100 = 67\%$$

$$\therefore \%\,ß = 100 - 67 = 33\%$$

Another example of eutectic alloy, application of lever rule in eutectic phase

مثال اخر تطبيقي على مخطط الطور الثنائي المركب (اليوتكتك) وتطبيق قانون العتلة.



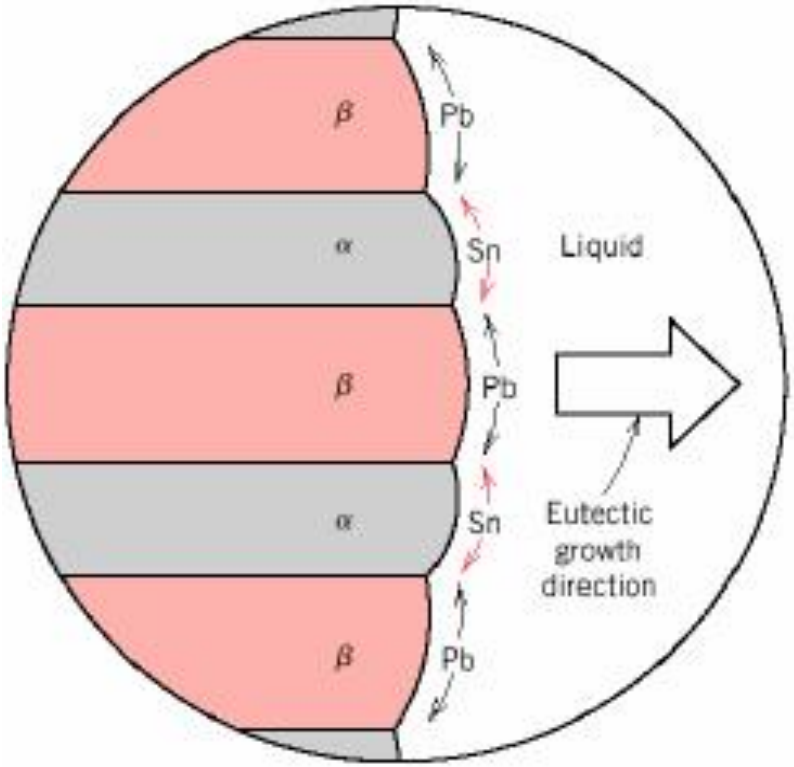
Three single phase regions (α - solid solution of Ag in Cu matrix, β = solid solution of Cu in Ag matrix, L - liquid)

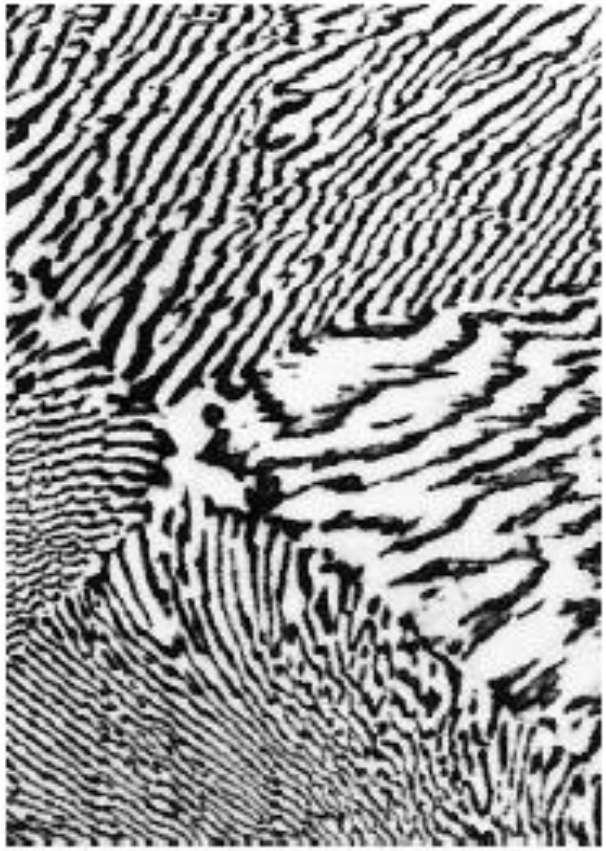
Three two-phase regions (α + L, β +L, α +β)

Solvus line separates one solid solution from a mixture of solid solutions. **Solvus line shows limit of solubility**

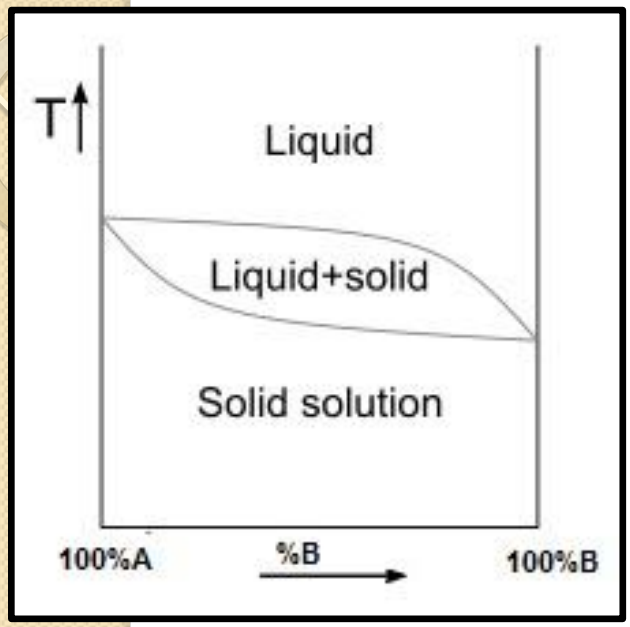
ابنية المجهرية لسبيكة اليوتكتك

في مخطط الرصاص- الخارصين السبائكي فأن البنية المجهرية لسبيكة اليوتكتك والمتكونة من المحلول الجامد α والمحلول الجامد β تظهر بشكل طبقات من α وطبقات من β حيث يتم انتشار ذرات الخارصين مع ذرات الرصاص بطريقة الانتشار الذري ويتكون ما يدعى اليوتكتك، حيث تظهر طبقات α باللون الغامق وطبقات β باللون الفاتح.

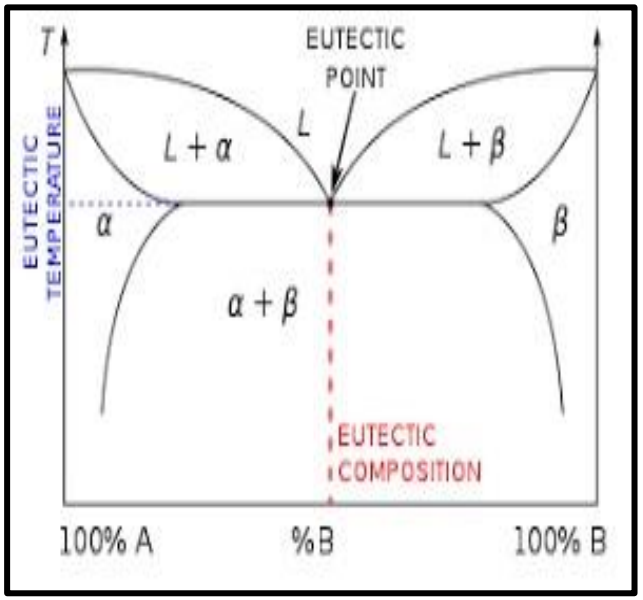




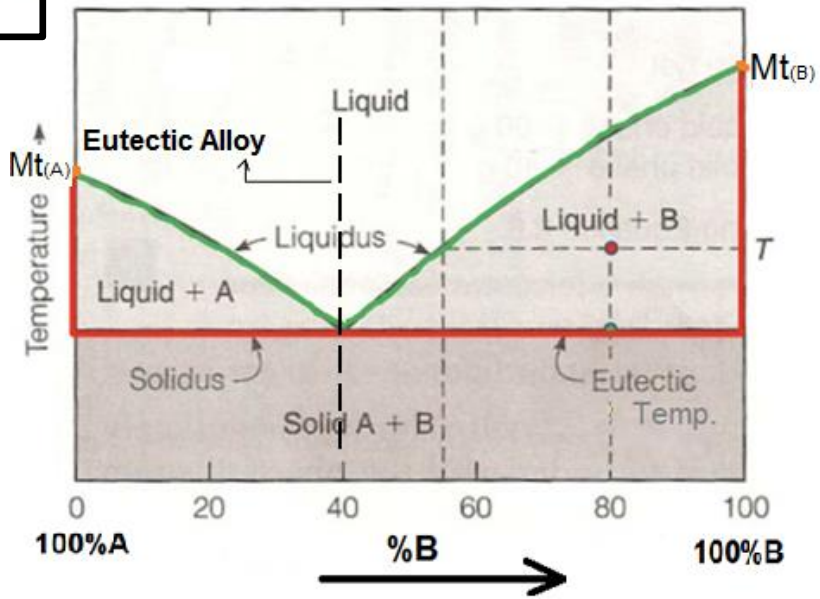
CLASSIFICATION OF EQUILIBRIUM DIAGRAMS
تصنيف مخططات التوازن الحراري



1



3



2

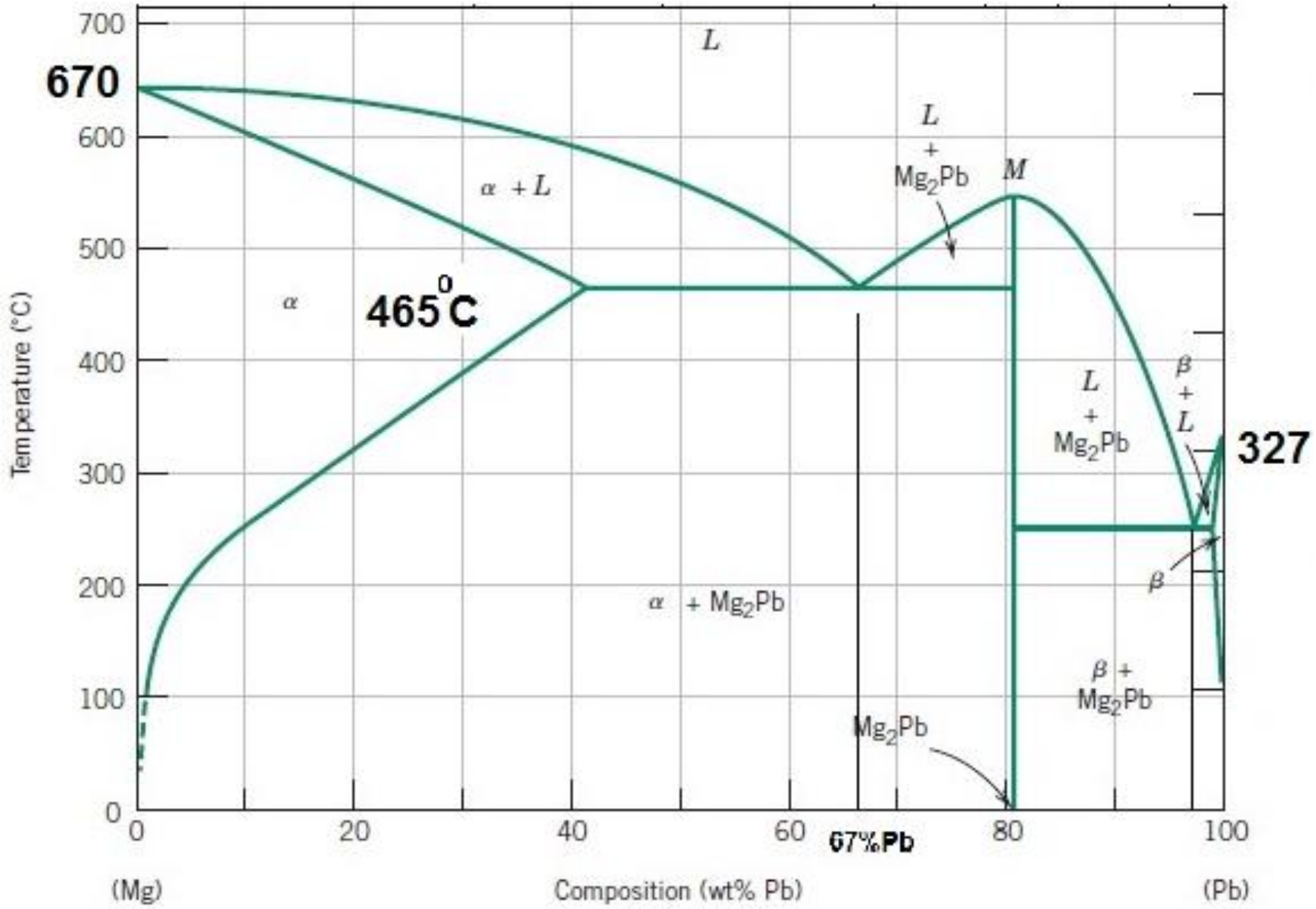
Intermetallic compound

For some systems, discrete intermediate compounds rather than solid solutions may be found on the phase diagram, and these compounds have distinct chemical formulas; for metal–metal systems, they are called **intermetallic compounds.** For example, consider the magnesium–lead system. The compound **Mg_2Pb** has a composition of 19% Mg–81% Pb, and is represented as a vertical line on the diagram, rather than as a phase region of finite width; hence, **Mg_2Pb** can exist by itself only at this precise composition. Several other characteristics are worth noting for this magnesium–lead system. First, the compound Mg_2Pb melts at approximately (550°C), as indicated by point *M* in Figure. Also, the solubility of lead in magnesium is rather extensive, as indicated by the relatively large composition span for the –phase field. On the other hand, the solubility of magnesium in lead is extremely limited. This is evident from the very narrow terminal solid-solution region on the right or lead-rich side of the diagram. Finally, this phase diagram may be thought
of as two simple eutectic diagrams joined back to back, one for the Mg–Mg_2Pb system and the other for Mg_2Pb–Pb; as such, the compound Mg_2Pb is really considered to be a component. interpretation.

Intermetallic compound المركب البيني

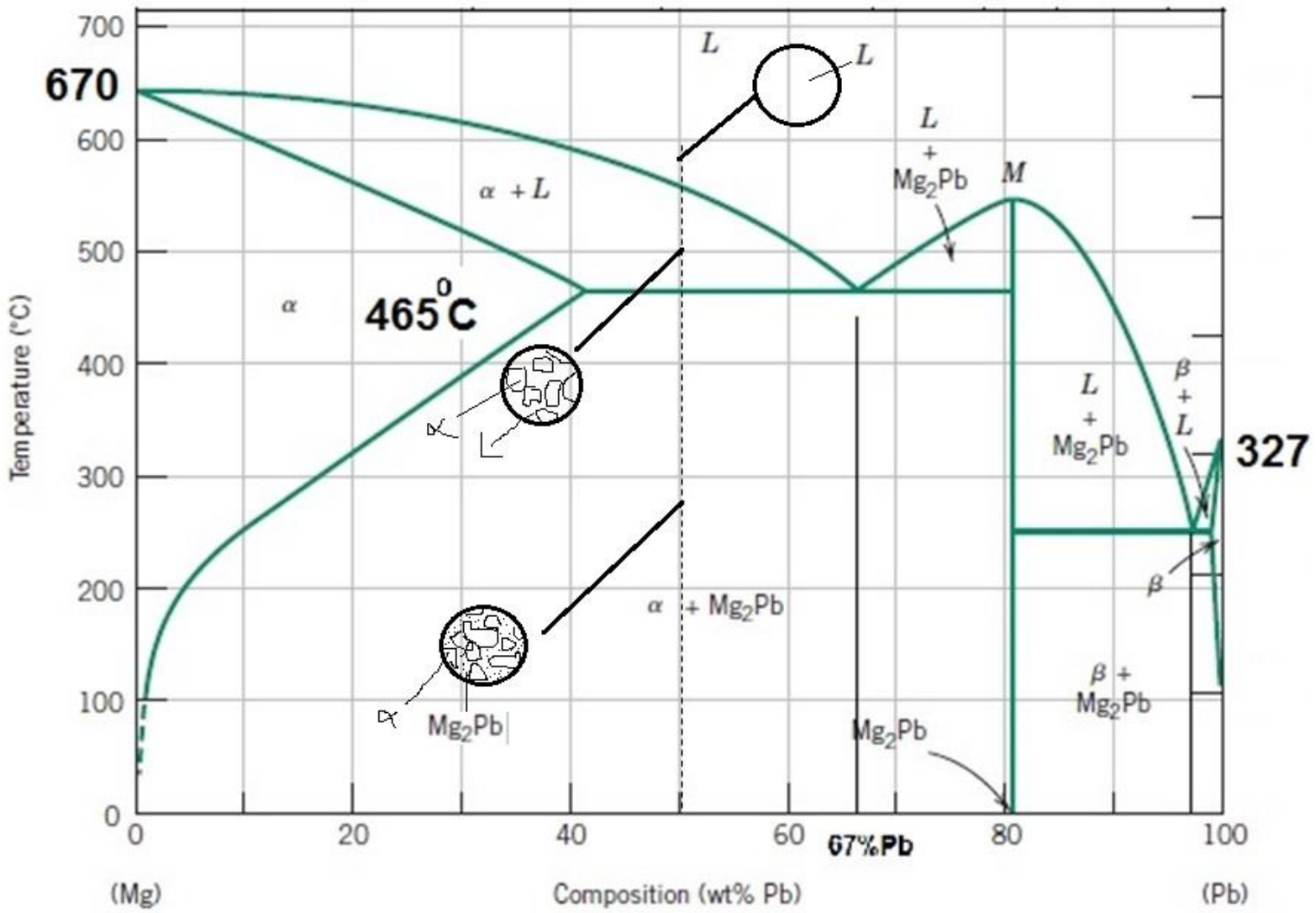
في بعض المخططات للانظمة السبائكية الثنائية يظهر مركب كيميائي بيني بدلا من الطور الجامد. ومثال ذلك في مخطط المغنيسيوم – الرصاص، حيث يظهر المركب الكيميائي البيني Mg_2Pb عند التركيب 19% Mg–81% Pb, ، ويتمثل بخط عمودي عريض في المخطط، ويظهر هذا المركب وحده عند التركيب المذكور اعلاه.

ويتم تكوين هذا المركب عند درجة حرارة (550°C). نلاحظ من المخطط ان ذوبان الرصاص في المغنيسيوم يكون واسع (الطرف الايسر من المخطط) بينما ذوبان المغنيسيوم في الرصاص يكون محدود (الطرف الايمن من المخطط) ، ويفصل بينهما خط المركب البيني Mg_2Pb، ويظهر المخطط وكانما مخططات بسيطان لسبيكة سهل الانصهار (اليوتكتك)، وكما موضح في الشكل ادناه:



The magnesium–lead phase diagram

مخطط التوازن الحراري لعنصري الرصاص-المغنيسيوم ، ويظهر البنية المجهرية لسبيكة مكون من 40% رصاص – 60% مغنيسيوم عند درجات الحرارة 600°C، 500°C ، 280°C على التوالي



Eutectoid Reactions تفاعل اليوتكتويد

Eutectoid (*eutectic-like* in Greek) reaction similar to eutectic reaction

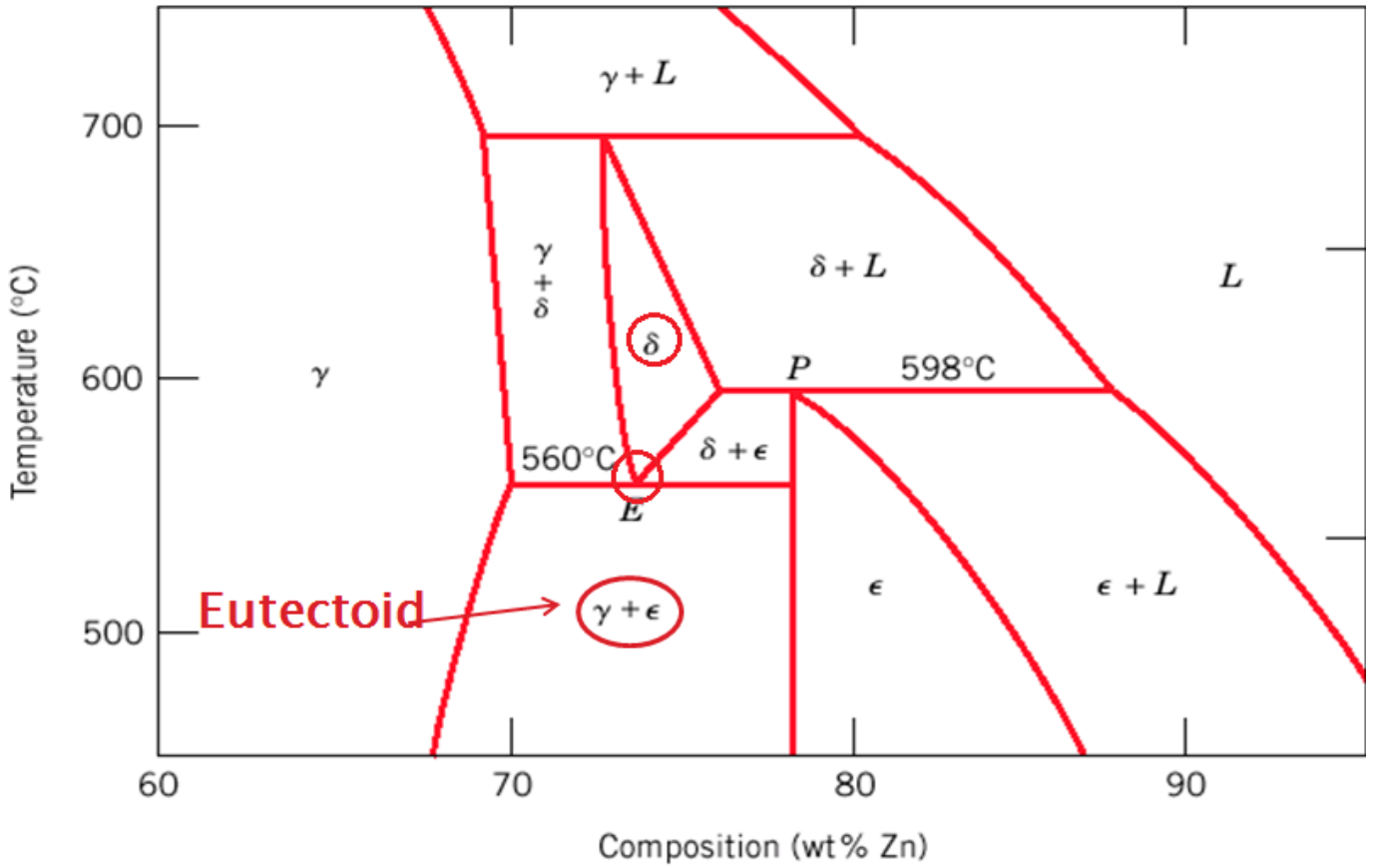
One solid phase to two new solid phases

اليوتكتويد هو تحول المحلول الجامد من طور احادي الى طورين مختلفين عن الطور الاول

Invariant point (the eutectoid) →Three solid phases in equilibrium

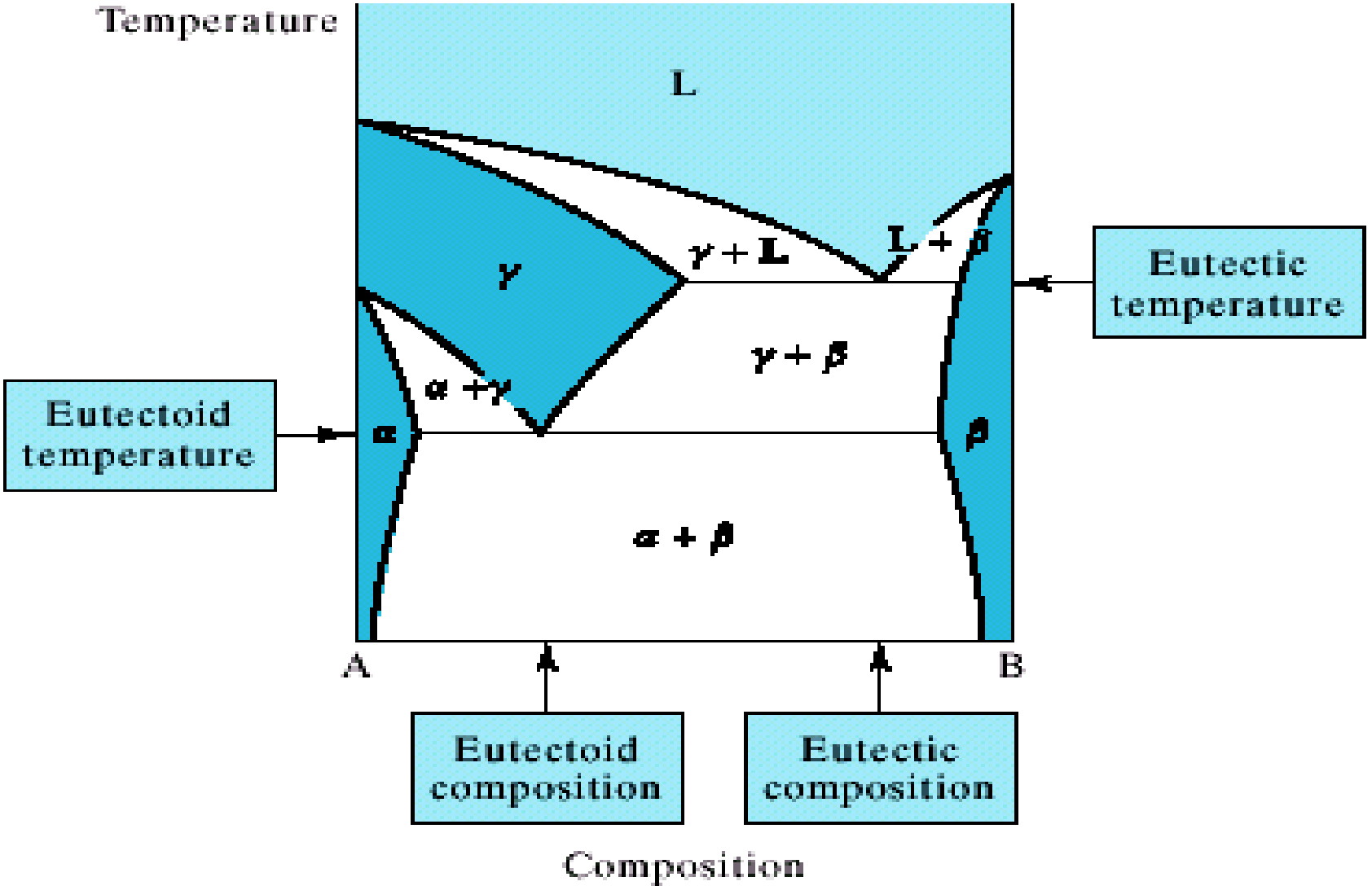
Upon cooling, a solid phase transforms into two other solid phases ($\delta \leftrightarrow \gamma + \varepsilon$ below)

عند نقطة التحول يكون هناك ثلاث اطوار ، حيث يتحول المحلول الجامد من طور الى طورين مختلفين



Cu-Zn

Eutectoid Reactions



شكل يوضح منطقتين للتحول اليوتكتك واليوتكتويد

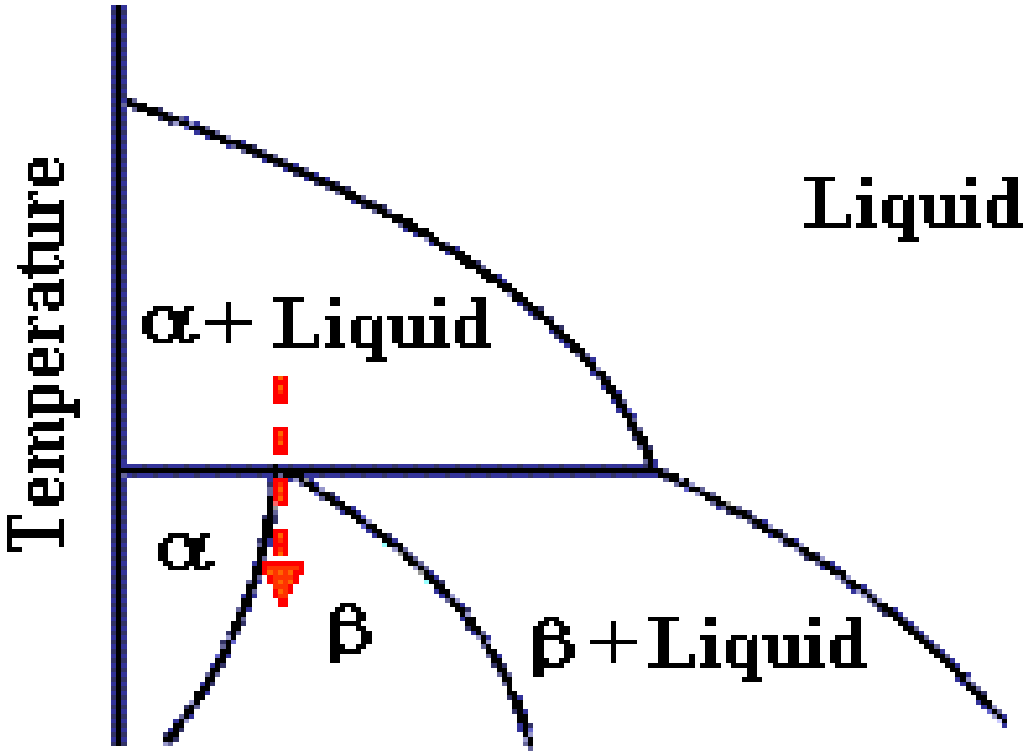
Peritectic Reactions التحول البيريتكتك

Peritectic → solid phase + liquid phase will together form a second solid phase at a particular temperature and composition upon cooling

$L + \alpha \leftrightarrow \beta$

Reactions are slow as product phase will form at boundary between two reacting phases separating them

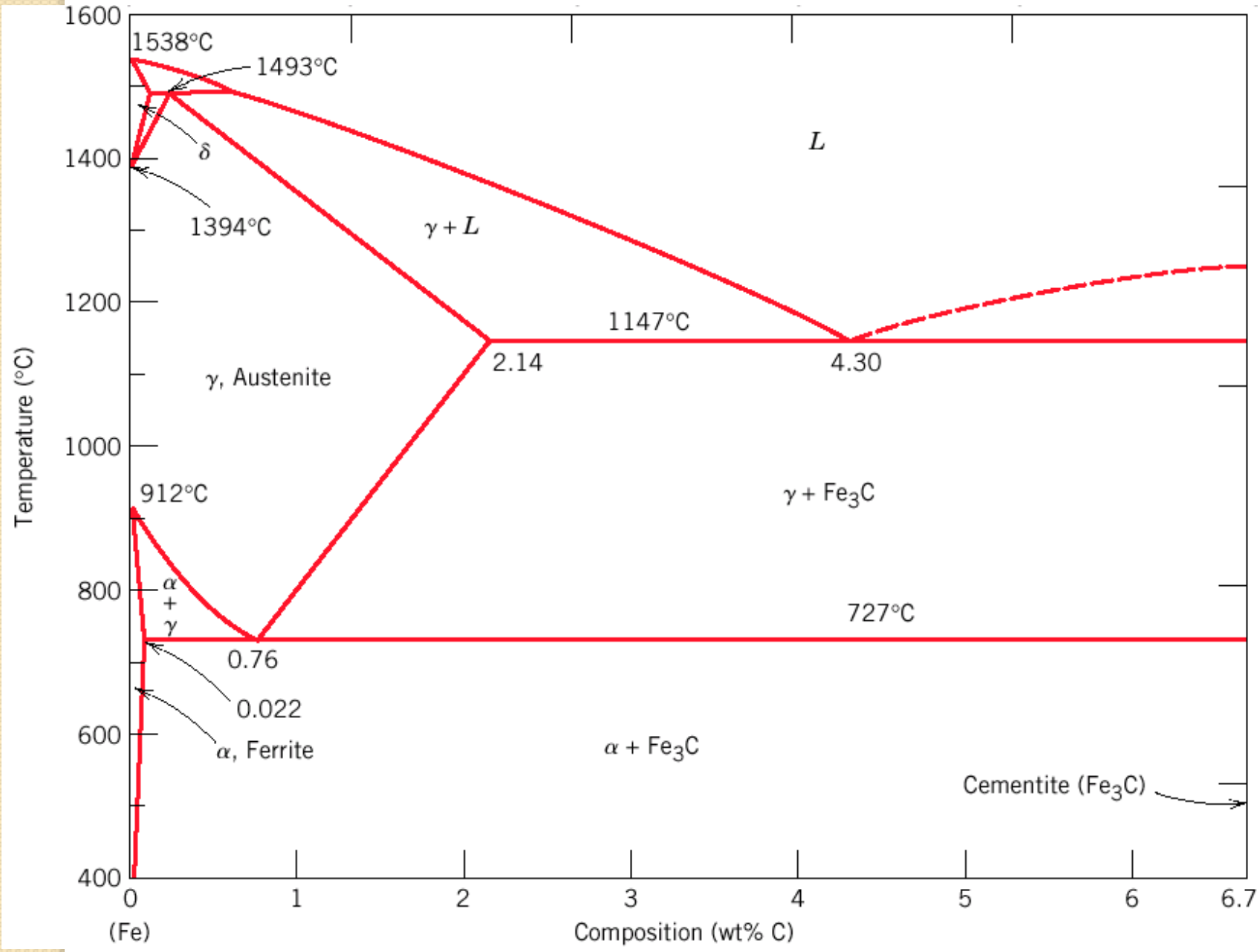
التحول البيرتيكتك هو التحول من طورين (محلول جامد + سائل) الى محلول جامد اخر (يختلف عن المحلول الجامد الاولي)



ملاحظة : التحول البيريتكتك ليس شائعا كما في التحول اليوتكتك واليوتكتويد

The Iron–Iron Carbide ($Fe–Fe_3C$) Phase Diagram
مخطط الحديد الكاربون (كاربيد الحديد)

ان مخطط الحديد – الكاربون يعتبر من اهم المخططات في علم المعادن ومن اوسعها استخداما، حيث تمثل سبائك الحديد- الكاربون 90% تقريبا من المنتجات المستعملة في محيطنا. ومن خلال المخطط تتم المعالجات الحرارية التي تستخدم بكثرة في سبيل ان مواجهة احتياجات السوق والمنشأت الصناعية. وهذا المخطط يشمل السبائكل الحديدية ذات نسبة كاربون اقل من 7%، لان بعد هذه النسبة يكون شكل المخطط معقد جدا ، وكما موضح في ادناه:


1600
1400
1200
1000
800
600
400
Temperature (°C)
1538°C
1493°C
δ
1394°C
L
γ + L
1147°C
2.14
4.30
γ, Austenite
912°C
γ + Fe3C
α + γ
727°C
0.76
0.022
α, Ferrite
α + Fe3C
Cementite (Fe3C)
0
(Fe)
1
2
3
4
5
6
6.7
Composition (wt% C)

الاطوار في مخطط الحديد - الكاربون Phases in Fe–Fe_3C Phase Diagram

- طور الفا فرايت (α)، يكون مستقرا عند درجة حرارة الغرفة ، واكبر نسبة كاربون تضاف الى الحديد لتكون هذا الطور هي 0.22%C عند درجة حرارة 723°C. ويتحول الى طور اوستنايت عند درجة حرارة 912°C.

- طور اوستنايت (γ)، يكون غير مستقر تحت درجة حرارة اليوتكتك (723°C)، واكبر نسبة كاربون تضاف الى الحديد لتكوين هذا الطور هي (2.14°C) عند درجة حرارة 1148°C.

- طور دلتا فرايت (δ)، وهذا الطور يشبه طور الفا فرايت من ناحية البنية المجهرية وهو طور مستقر فوق درجة حرارة 1394°C، وينصهر عند درجة حرارة 1538°C.

- المركب البيني كاربيد الحديد Fe_3C السمنتايت، وهذا المركب يبقى موجود كمركب بيني عند درجة حرارة الغرفة.
- طور المحلول السائل من الكاربون والحديد.

Comments on $Fe–Fe_3C$ system بعض الملاحظات حول مخطط الحديد – الكاربون

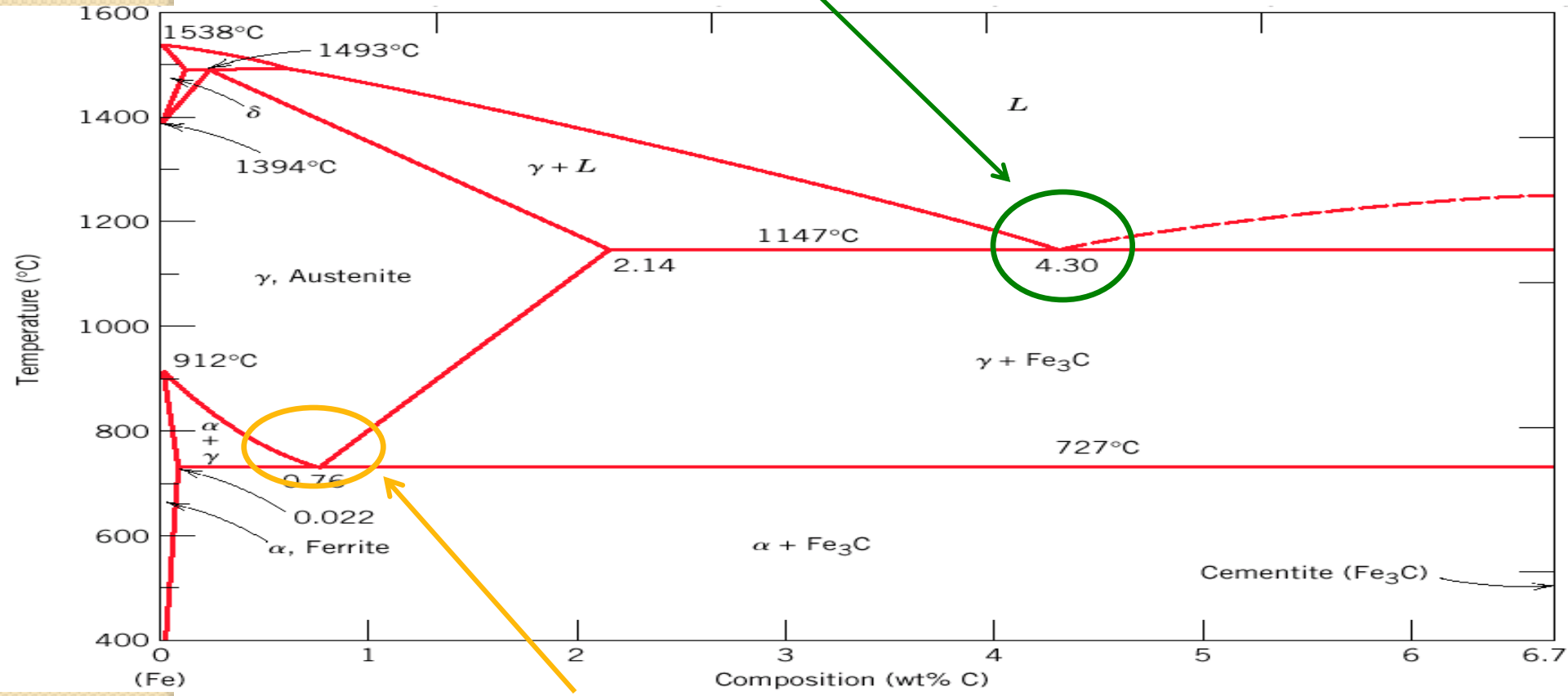
- الخواص الميكانيكية للسمنتايت: يكون صلد وقصيف وذات مقاومة عالية. وتعتمد الخواص الميكانيكية كذلك على البنية المجهرية في كيفية وجود الفرايت مع السمنتايت.
- الخواص الميكانيكية للفرايت: يكون ذات ميطيلية عالية ومقاومة شد واطئة.
- طور الفرايت يكون ممغنطا عند درجة حرارة اقل من 768°C بينما الاوستناتيت غير ممغنط.
- جزء الصلب الكاربون تكون فيه نسبة الكاربون بين 0.008-2 %C بينما جزء حديد الزهر تكون نسبة الكاربون فيه 2-6.7 %C.

Eutectic and eutectoid reactions in $Fe–Fe_3C$

تحولات اليوتكتك و اليوتكتويد في مخطط الحديد الكاربون

Eutectic: 4.30 % C, 1147 °C

$L \leftrightarrow \gamma + Fe_3C$



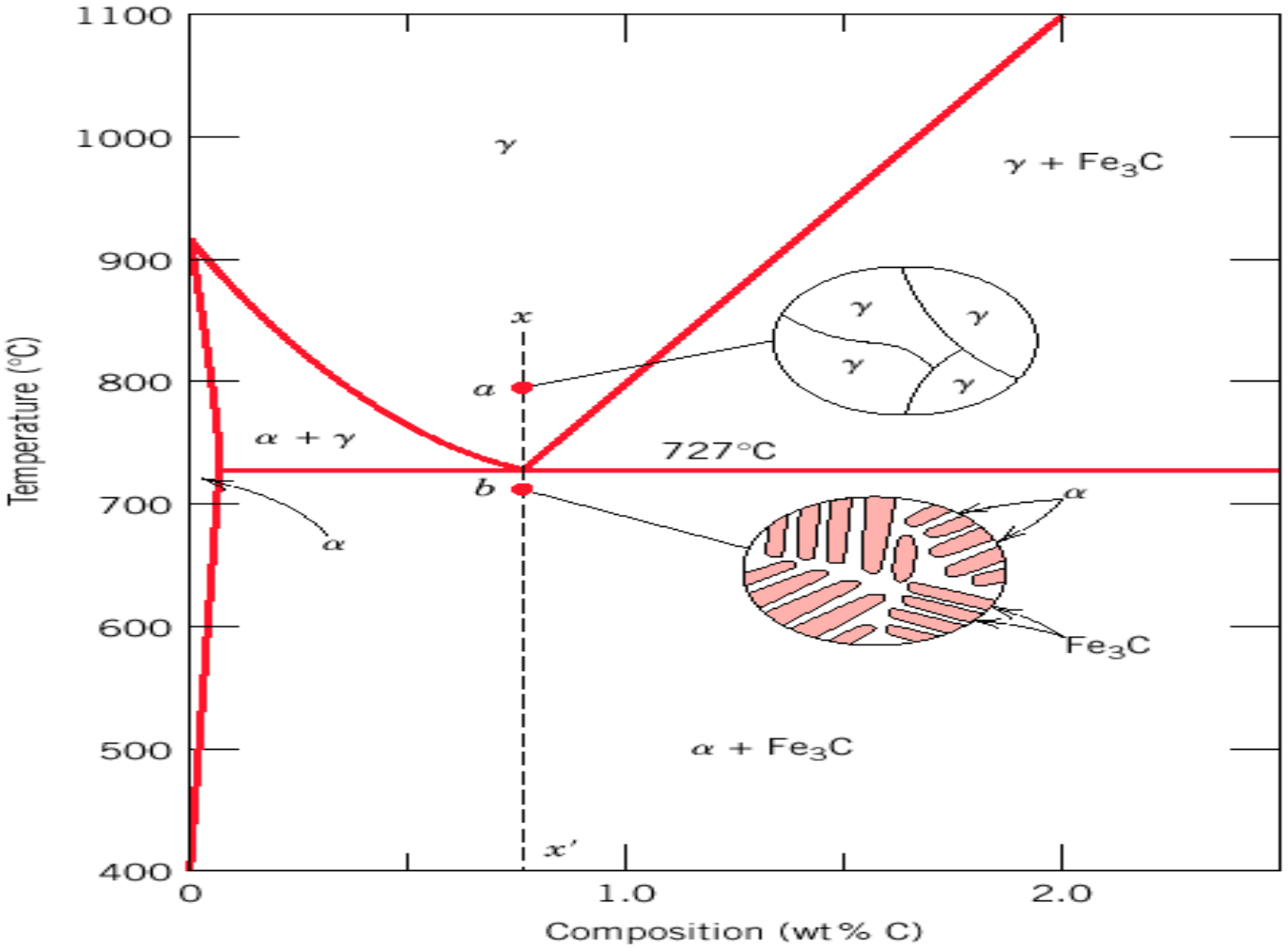
Eutectoid: 0.76 wt%C, 727 °C

γ(0.76 wt% C) $\leftrightarrow \alpha$ (0.022 wt% C) + Fe_3C

تحولات اليوتكتك واليوتكتويد لها اهمية كبيرة في المعاملات الحرارية

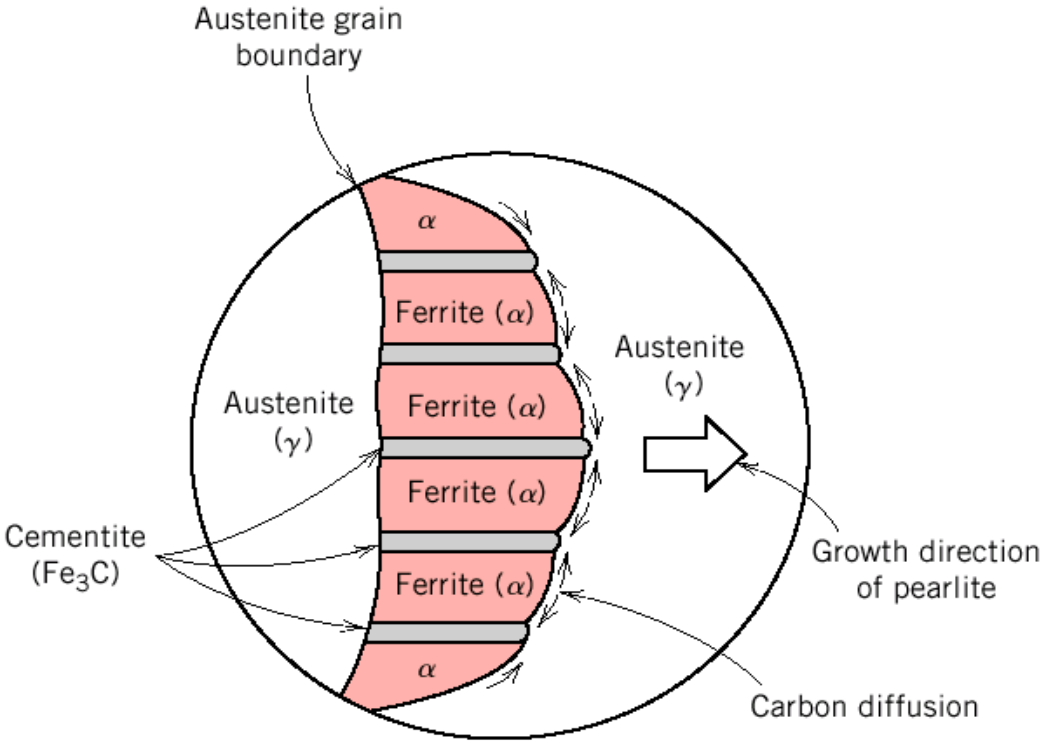
Microstructure in Iron - Carbon alloys

البنية المجهرية لسبائك الحديد – الكاربون تعتبر مهمة في تحديد الخواص الميكانيكية للسبيكة والتي تعتمد على نسبة الكاربون الموجودة في الحديد. والشكل ادناه يوضح البنية المجهرية في تحول اليوتكتويد.



Microstructure of eutectoid steel البنية المجهرية في تحول اليوتكتويد تكون على شكل بيرلات

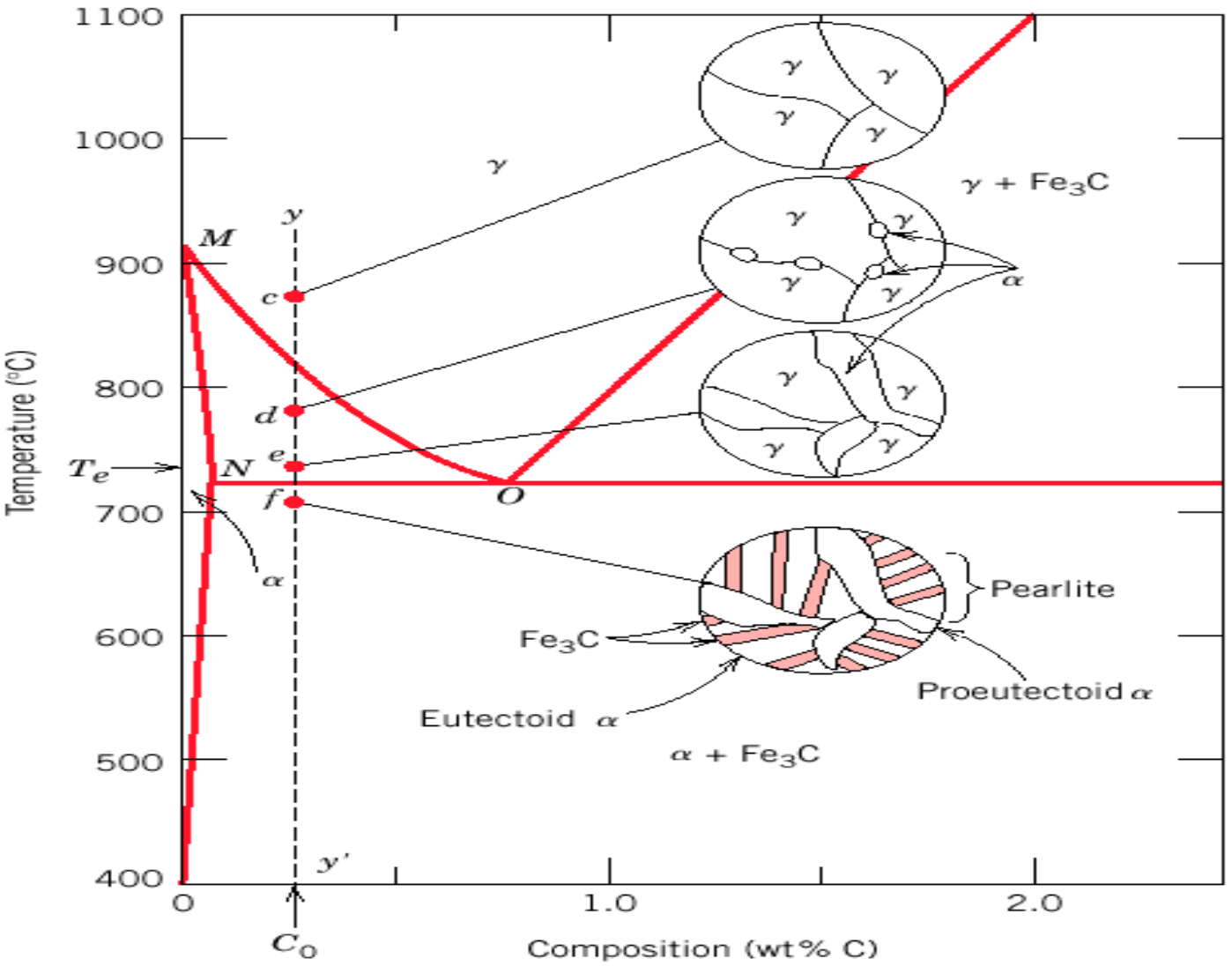
وعند نسبة الكاربون تقريبا 0.8 %C تكون البنية المجهرية 100% بيرلايت، والبيرلايت هو عبارة عن طبقات من السمنتايت والفرايت. ويتكون البيرلات بين 0.02-6.7 %C. وكما موضح في الشكل ادناه: حيث تظهر الطبقات باللون الفاتح والتي تمثل الفرايت بينما طبقات اللون الغامق تمثل السمنتايت.



Microstructure of hypoeutectoid steel

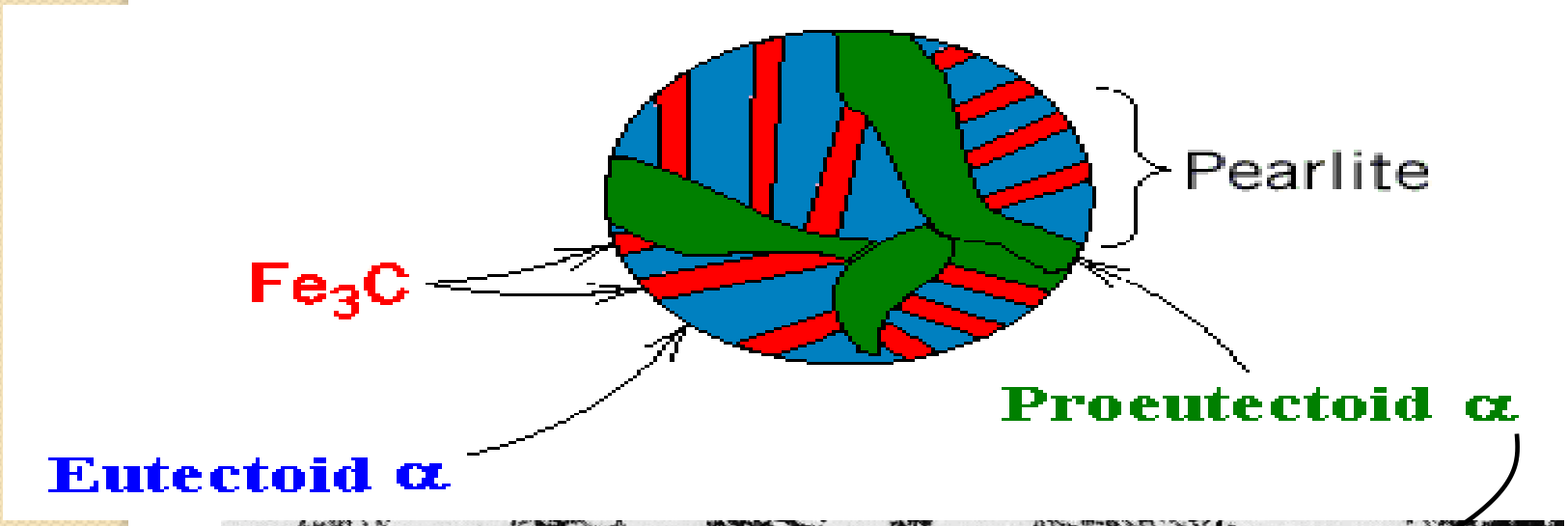
البنية المجهرية لما قبل اليوتكتويد **hypoeutectoid** والتي تشمل نسبة الكاربون من **0.002** الى اقل من **0.8 %C** وتكون البنية المجهرية عبارة عن فرايت + بيرلايت ،ويكون تحول الاطوار كما في ادناه:

$$\gamma \rightarrow \alpha + \gamma \rightarrow \alpha + Fe_3C$$



Microstructure of hypoeutectoid steel

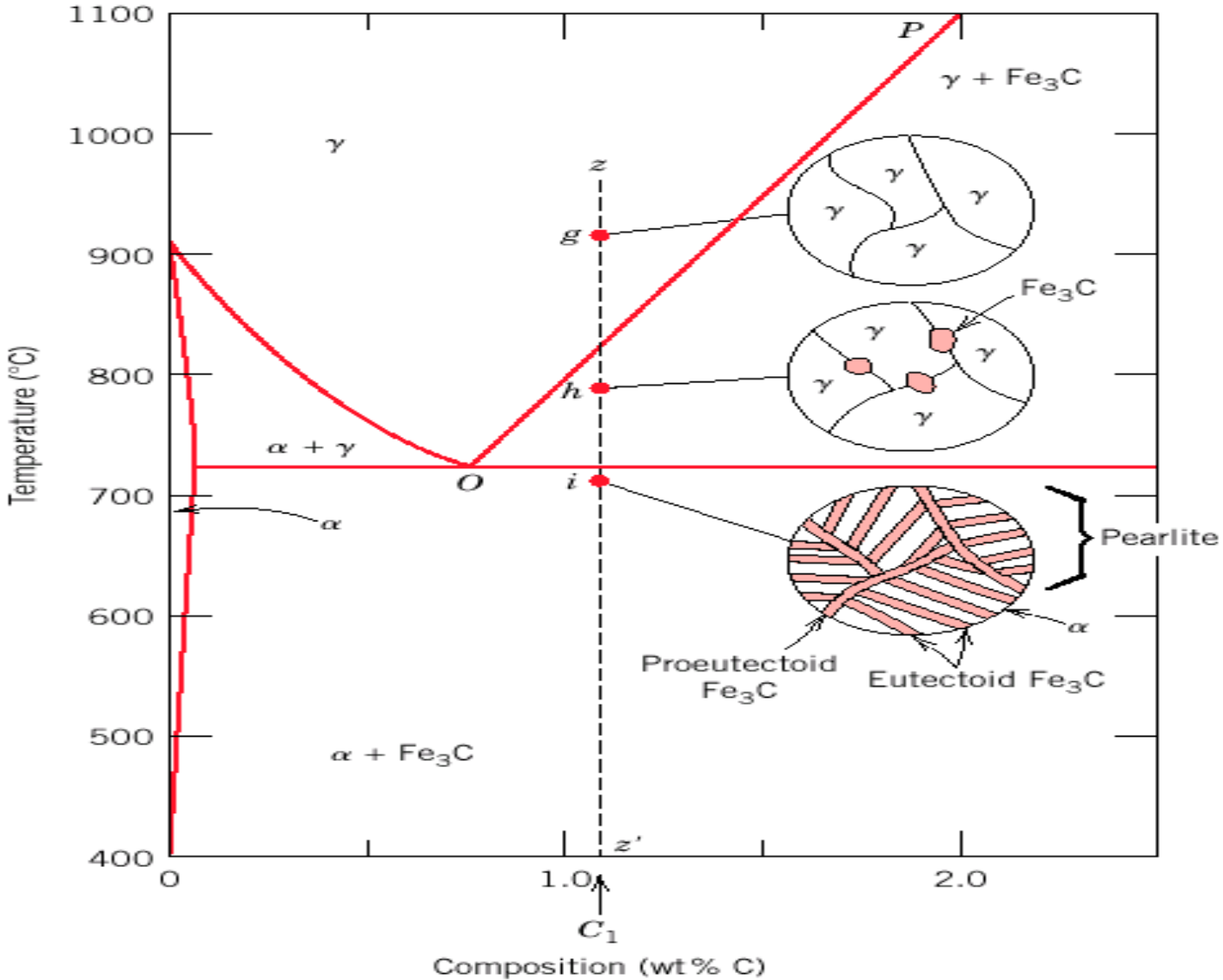
Hypoeutectoid contains proeutectoid ferrite formed above eutectoid temperature and eutectoid perlite that contains ferrite and cementite.



Microstructure of hypereutectoid steel

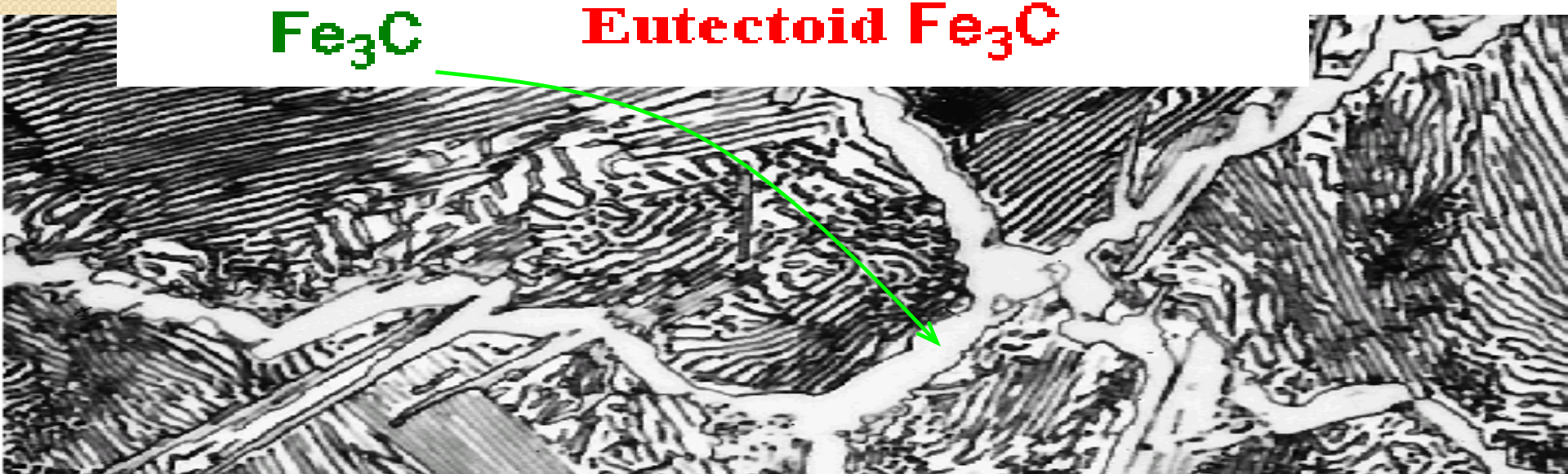
بينما البنية المجهرية لما بعد اليوتكتويد hypereutectoid والتي تشمل نسبة الكاربون أكبر من 0.8 %C الى 6.7%C. وتكون البنية المجهرية عبارة عن سيمنتاتيت + بيرلايت، ويكون تحول الاطوار كما في ادناه:

$$\gamma \rightarrow \gamma + Fe_3C \rightarrow \alpha + Fe_3C$$



Microstructure of hypereutectoid steel (II)

شكل يوضح البنية المجهرية لما بعد اليوتكتويد والذي يظهر فيه البيرلايت على شكل طبقات من الفرايت والسيمنتاتيت بالاضافة على شرائح السمنتايت.

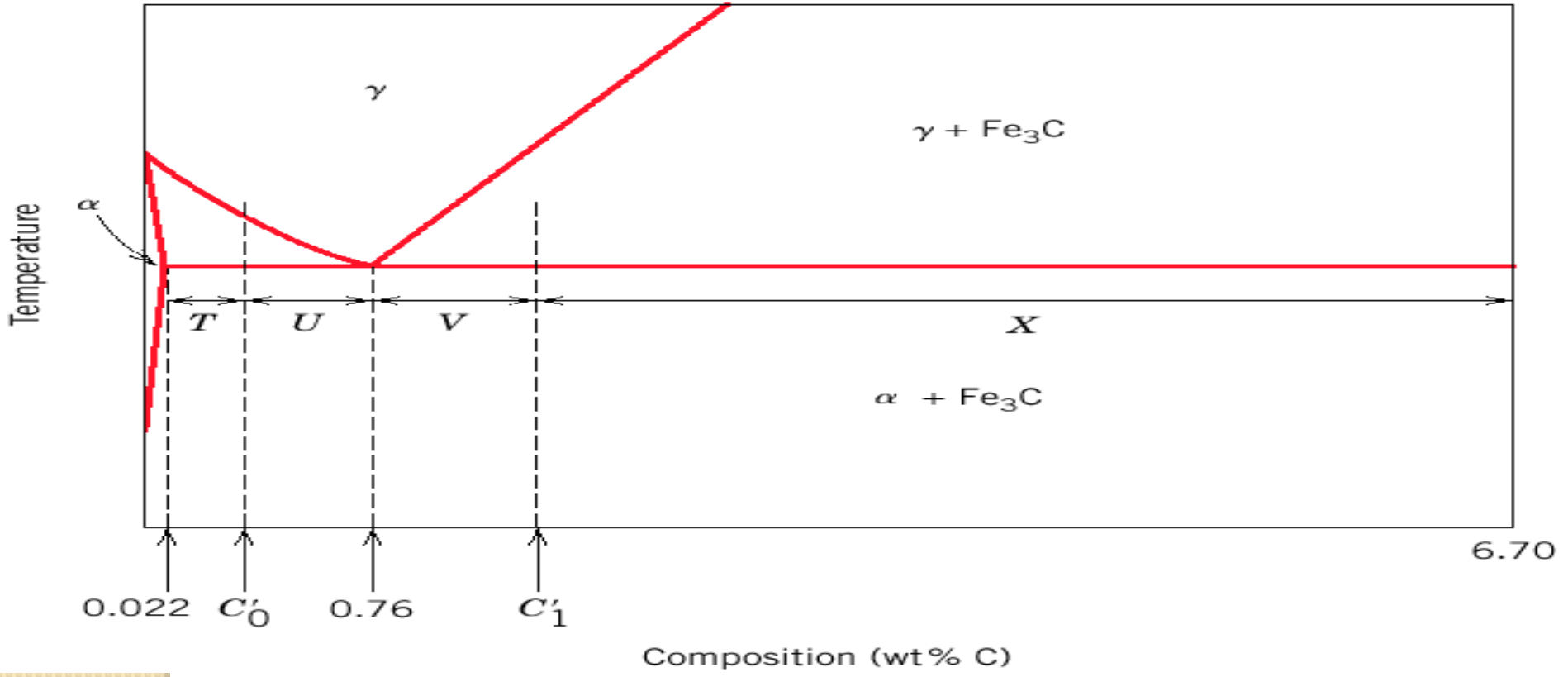


How to calculate the relative amounts of proeutectoid phase (α or Fe_3C) and pearlite?

يتم حساب نسبة الفرايت والبيرلايت والسمنتايت بتطبيق قانون العتلة، وفي الشكل ادناه يمثل كيفية حساب النسب المئوية من الاطوار المختلفة للسبيكة Co (ما قبل اليوتكتويد وللسبيكة C1 ما بعد اليوتكويد.

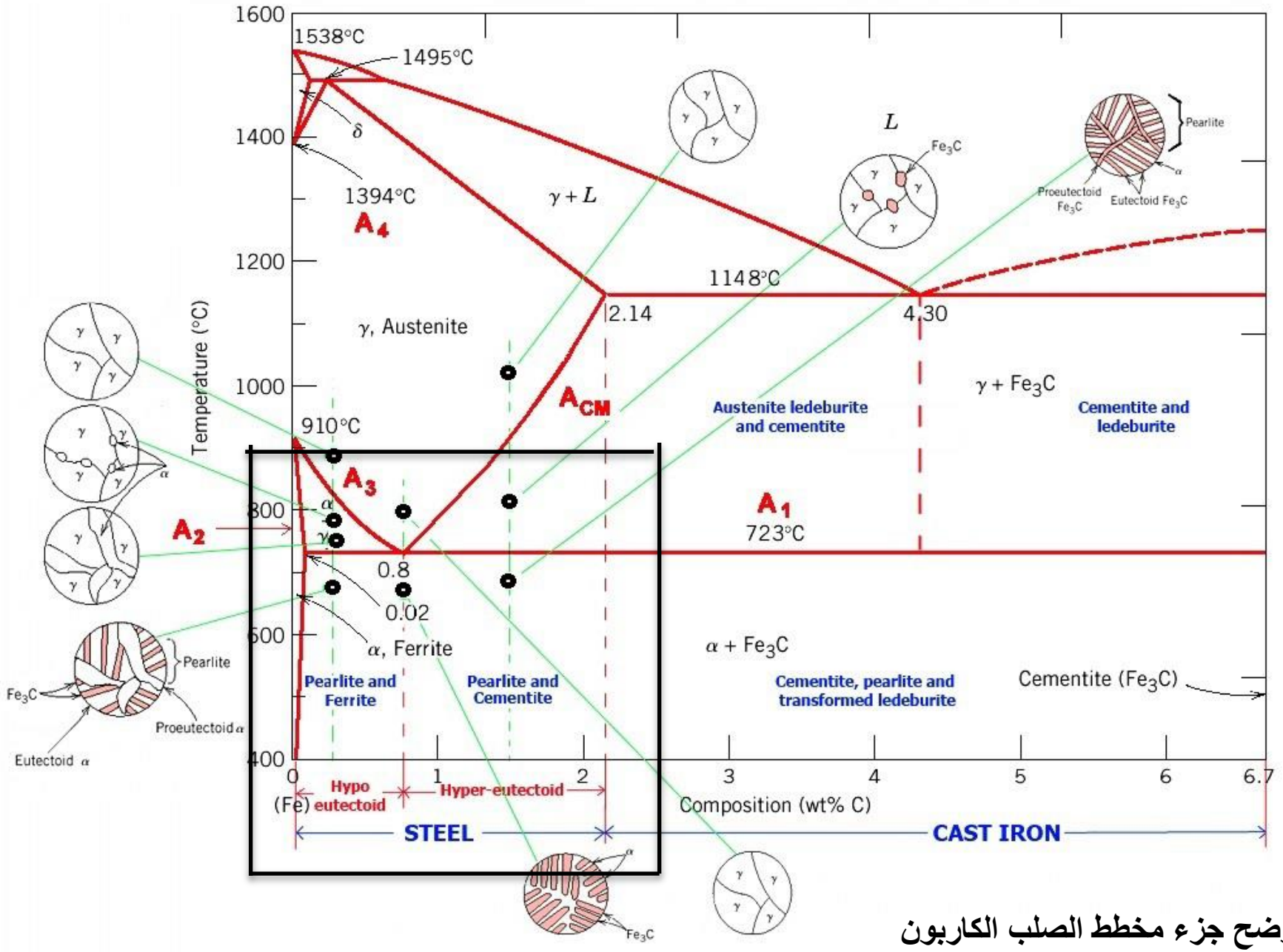
واجب: احسب نسبة الفرايت والبيرلايت للسبيكة Co اذا علمت ان نسبة الكاربون فيها 0.3 %C.

واحسب نسبة السمنتايت والبيرلايت للسبيكة C1 اذا علمت ان نسبة الكاربون فيها 1.2 %C

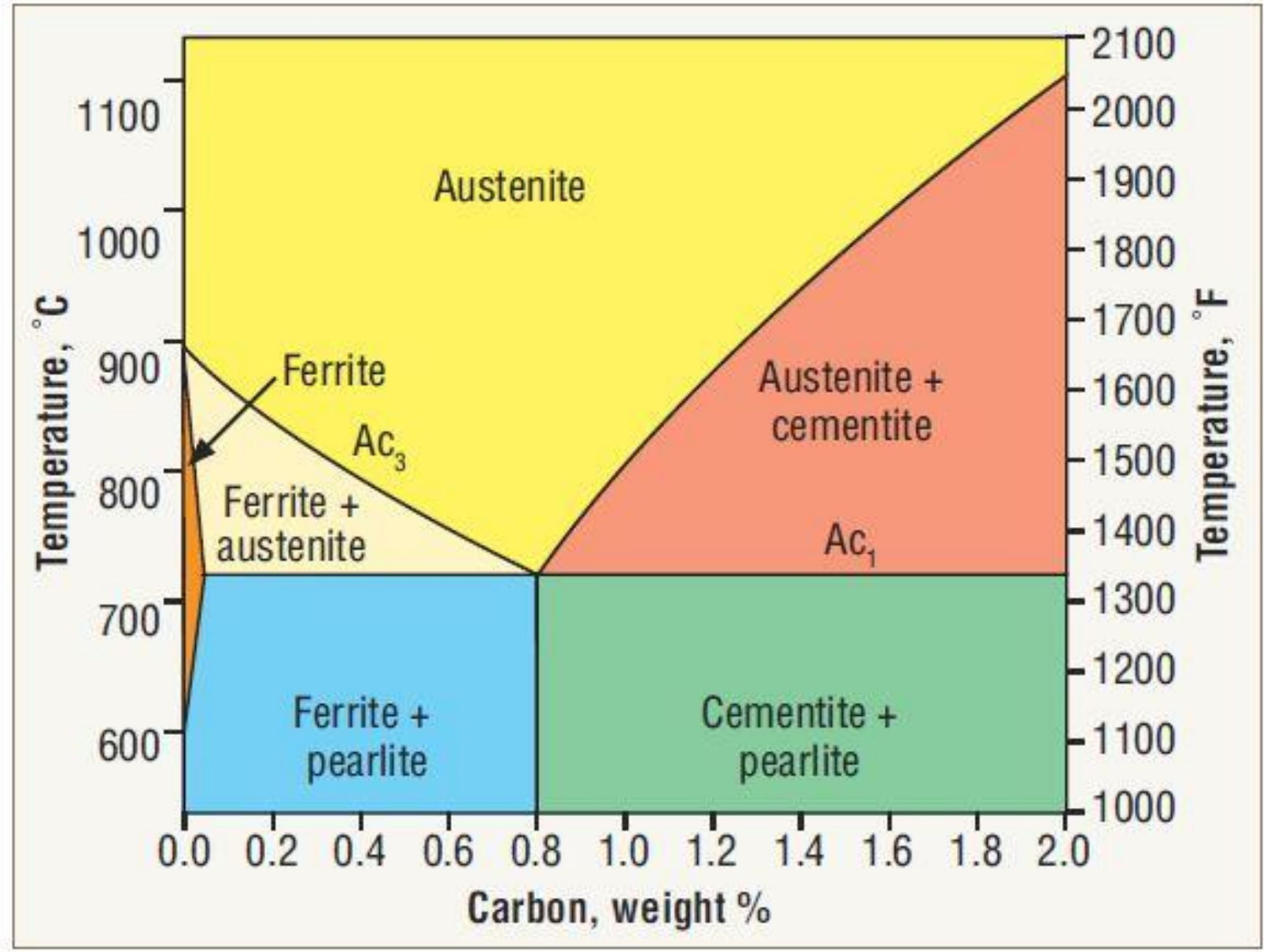


The Plain Carbon Steel

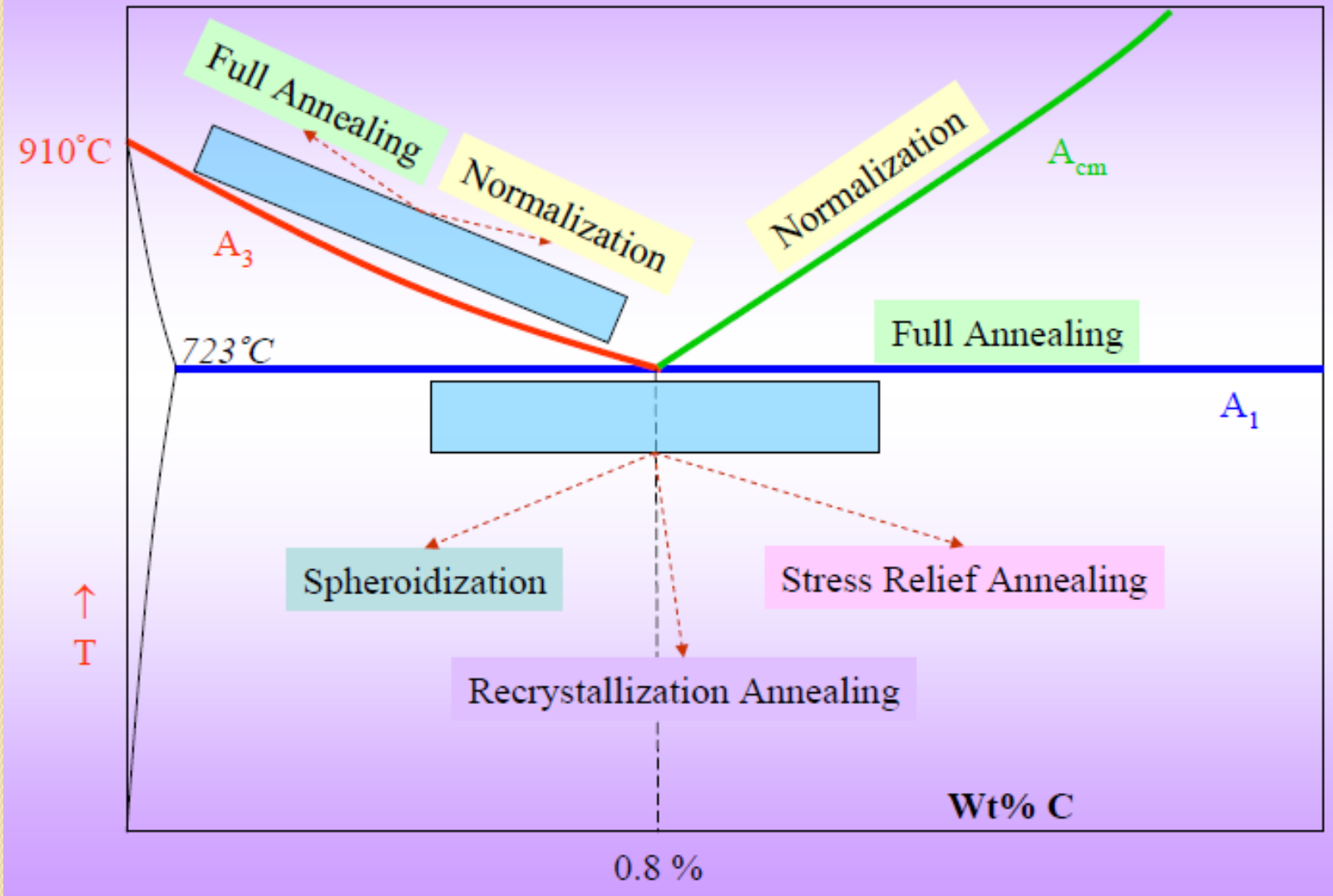
مصطلحات يجب فهمها



شكل يوضح جزء مخطط الصلب الكاربون


Austenite
Ferrite
Ac3
Austenite +
cementite
Ac1
Ferrite +
austenite
Ferrite +
pearlite
Cementite +
pearlite
Temperature, °C
1100
1000
900
800
700
600
Temperature, °F
2100
2000
1900
1800
1700
1600
1500
1400
1300
1200
1100
1000
0.0 0.2 0.4 0.6 0.8 1.0 1.2 1.4 1.6 1.8 2.0
Carbon, weight %

Ranges of temperature where Annealing, Normalizing and Spheroidization treatment are carried out for hypo- and hyper-eutectoid steels.



Alloy steel:

It may be defined as steel in which elements other then carbon are added in sufficient amounts to improve properties.

In general, alloy steel can give better strength, ductility and toughness than carbon steel.

It is ideal for structural components, automotive applications, chemical processing, pipes and power generating equipment.

The disadvantages, however, are that alloy steels usually have lower machinability, weldability and formability.

Stainless steel:

It is a family of iron-based alloys that contain a minimum of approximately 11% chromium, that prevents the iron from rusting & providing heat-resistant properties.

It is used to make common household items. It is also used in medical equipment as it's easily sterilized and resistant to corrosion, piping, cutting tools, and food processing equipment.

It is used to make containers for transportation of chemicals & liquids. It's high strength allows thinner containers, saving fuel costs while its corrosion resistance reduces cleaning & maintenance costs.

Tool steel:

Tool steels are a family of carbon and alloy steels having distinct characteristics such as hardness, wear resistance, toughness, and resistance to softening at elevated temperatures.

Tool steels comprise carbide-forming elements such as chromium, vanadium, molybdenum and tungsten in different combinations.

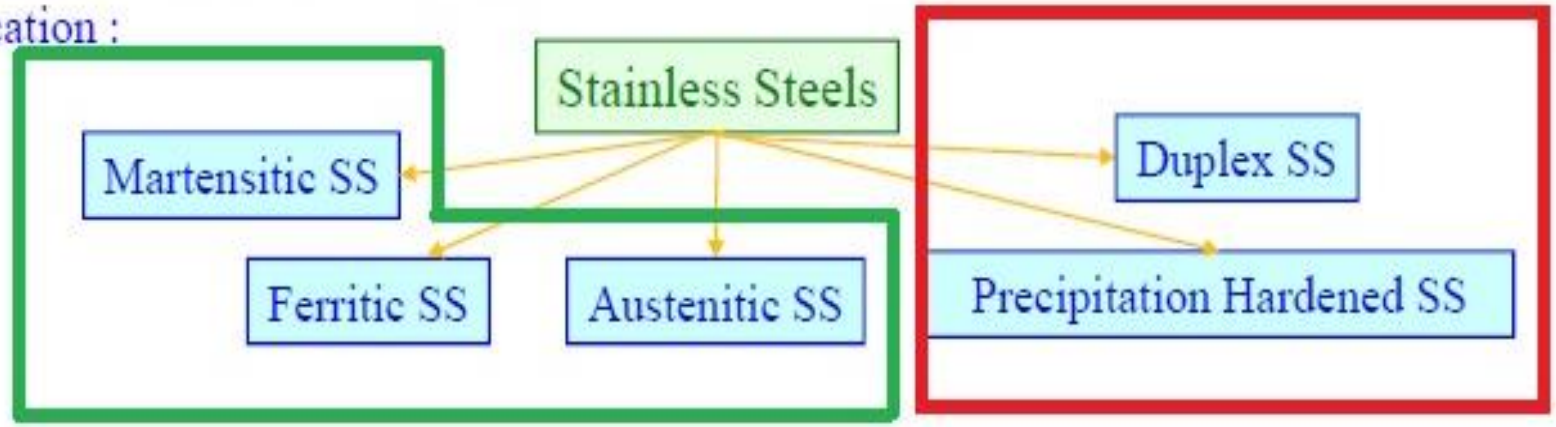
It is used to make excellent cutting and drilling equipment for increasing heat resistance and durability.

Stainless Steels are a large group of special alloys developed primarily to withstand corrosion. These steels contain chromium in excess of 12% by weight which imparts "stainless" characteristics to iron alloys.

Stainless steels are frequently classified according to their microstructure into three groups: **austenitic, ferritic, and martensitic stainless steels**

Chromium, which is the main alloying element in stainless steels

- Classification :



Martensitic Stainless Steels

- These are primarily straight chromium steels with 11.5 to 18% Cr, $<$ 1 % C , 1.25% Mn, and 1%Si.
- Used for turbine blades and corrosion resistant applications
- **Heat Treatment**
  - ✓ Process Annealing → 650 - 760°C, ↑ ductility and machinability
  - ✓ Austenitizing → 925 -1065°C followed by oil quenching or air cooling, ↑ corrosion resistance and strength

Austenitic Stainless Steels

- These are chrome-nickel (3xx type) or chrome -nickel- manganese(2xx type) alloys.
- Total content of Ni and Cr is at **8%Ni and !8%Cr**
- Difficult to machine but can be improved by addition of selenium of sulfur.
- Best high temperature strength and scaling resistance. Hence shows best corrosion resistance
- Used in chemical industry and for household and sanitary fittings.
- **Heat Treatment**
  - ✓ Cold working causes work hardening but hot working can easily be done.
  - ✓ Annealing at high temperatures → Recrystallization and carbide solution
  - ✓ Solution treatment → Dissolution of chromium carbides **950 ~ 1150 C°**

*** Non–Magnetic SS**

Ferritic Stainless Steels

- Ferritic stainless steel is actually defined as a straight chromium non-hardenable class of stainless alloys that have chromium contents ranging from 10.5% to 30% and a carbon content of less than 0.20%
- These steels can be cold formed easily and hence are used for deep drawn parts such as vessels for food and chemical industries and for architectural and automotive trim.
- **Heat Treatment**
- Can be cold or hot worked.
- Annealing → 760 - 966°C, Recrystallization of cold-worked structures → achieves maximum softness, ductility and corrosion resistance.

*** Magnetic SS**

الصلب السبائكي: يتم اضافة بعض العناصر السبائكية الى الصلب الكاربوني وذلك لتحسين الخواص الميكانيكية ، حينئذ يدعى الصلب الناتج بالصلب الكاربوني.

ويتم اللجوء الى الصلب السبائكي وذلك لوجود بعض المحددات للصلب الكاربوني مثل:

- عدم امكانية الحصول على مقاومة شد عالية مع الاحتفاظ بمتانة ومطيلية معينة.
- مقاومة السوفان والصدأ التي يتم الحصول عليها في الصلب الكاربوني تكون ضعيفة.
- عدم امكانية الاحتفاظ بالصلادة عند درجات الحرارة العالية (حيث يفقد الصلب الكربون صلادته عند درجة حرارة اكبر من 200°C تقريبا).

- عند استخدام الماء بالتبريد السريع يؤثر ذلك على ابعاد الشغلة ويحصل تشققات في بعض الاحيان.

ولهذا يتم اللجوء الى استخدام الصلب السبائكي الذي يمتلك خواص ميكانيكية افضل من الصلب الكاربوني من ناحية مقاومة الشد والمطيلية والمتانة. الا انه لا يمتلك قابلية على التشغيل واللحام والتشكيل مقارنة بالصلب الكاربوني.

الصلب المقاوم للصدأ Stainless Steel: وهو احد انواع الصلب السبائكي الذي يتم اضافة له عنصر الكروم بنسبة اكثر من 11%، ويتصف بعدم السماح للحديد بالاكسدة ومقاومته للتآكل عند درجات الحرارة العالية، حيث يتكون اوكسيد الكروم الذي يحمي الطبقات الداخلية للصلب ويصبح مقاوم للأكسدة والتاكل.

يستخدم الصلب مقاوم للصدأ في المعدات والاجهزة الطبية بسبب امتلاكه مقاومة عالية للتآكل، كذلك يستخدم في صنع الانابيب وادوات القطع وأواني المطبخ. ويستخدم كذلك في حاويات النقل حيث يمكن الحصول على مقاومة شد عالية بسمك قليل. وبالتالي تكون التكلفة اقتصادية مقارنة بالصلب الذي يصدأ ويحتاج الى اعمال صيانة وحماية.

انواع الصلب المقاوم للصدأ:

يتم تصنيف الصلب المقاوم للصدأ حسب البنية المجهرية ويتكون من:

1. الصلب المقاوم للصدأ المارتنسايتي: ويحتوي على 1% C و 16%Cr ، حيث يمكن معالجته حراريا وذلك بالتسخين الى 1000°C تقريبا ثم التبريد السريع بالزيت ، وبعدها يتم تطبيق عملية المراجعة العليا الى درجة حرارة 700°C. ويستخدم في ريش التوربينات، الادوات المنزلية وادوات الجراحة.

2. الصلب المقاوم للصدأ الاوستينايتي: ويحتوي على 0.1%C ، 12%Cr، 18%Ni

ان هذا النوع يصعب اجراء عملية اللحام عليه وذلك لترسيب كاربيدات الكروم في منطقة التأثير الحراري اثناء عملية اللحام، فينتج في المنطقة نقص في عنصر الكروم مما يقلل قابليتها على مقاومة الصدأ. يستخدم في معامل الالبان ، والصناعات الكيمياوية. وليس لديه القابلية على التمغنط.

3. الصلب المقاوم للصدأ الفيرايتي: يحتوي على اقل 0.1%C ، Cr(16%-30%). لديه القابلية على التشكيل، ويمكن زيادة مقاوم الشد وذلك عن طريق التشكيل على البارد، ويستخدم في صناعة الانابيب وملحقاتها وفي الديكورات.

صلب العدة Tool Steel :

يشمل صلب العدة جميع انواع الصلب الذي يستخدم في صناعة ادوات القطع ، حيث تتوفر فيه بعض الخصائص الميكانيكية الخاصة ، مثل عمق نفاذية التقسية، المتانة العالية، مقاومة السوفان، الصلادة العالية.

1. صلب العدة الكاربوني: يكون هذا النوع رخيص الثمن وممكن اجراء عملية التقسية السطحية عليه مع الاحتفاظ متانة عالية في القلب. ومن مساوئه هبوط صلادته عند درجات الحرارة العالية ولذلك لا يمكن استخدامه في سرعات القطع العالية. يستخدم في صناعة المطارق والكسارات، والمثاقب والشفرات.

- صلب العدة السبائكي: وهو صلب العدة الذي يحتوى على عناصر سبائكية مثل الكروم، النيكل، السليكون، التنكستن..... الخ. يمتاز بصلادة جيدة عند درجات الحرارة العالية وكذلك مقاومة للسوفان. يستخدم في صناعة عدة التشكيل والحفارات.

3. صلب عدة التشكيل على البارد: يحتوي على العناصر (المنغنيز – الكروم – التنكستن)، ويمتاز بمتانة عالية ومقاومة عالية للثني والانحناء، ومقاوم للسوفان. يستخدم في قوالب التشكيل والمثاقب ومن ضمنها مثاقب توسيع الاقطار.

3. صلب عدة التشكيل على الحار: يحتوي على العناصر (الكروم، المولبيدنيوم، التنكستن)، واهم ما يمتاز به هو الاحتفاظ بالصلادة عند درجات الحرارة العالية. يستخدم في قوالب التشكيل على الحار، وقوالب البثق والسباكة المعدنية.

4. صلب السرعات العالية: HSS High Speed Steel: وهو من اكثر انواع صلب العدة استخداما في اقلام القطع وعدد القطع، حيث يحتوي على نسبة عالية من العناصر السبائكية مثل التنكستن، المولبيدينيوم، الكروم، الفناديوم، الكوبالت...الخ. وتتراوح نسبة الكاربون فيه (0.7-1% C) ، ويمتاز هذا النوع بعدم تأثر صلادته عند درجات الحرارة العالية ومقاومته للصدمات.

التآكل في المعادن

تعريف التآكل :-

بأنه التلف (جزئى أويعرف التآكل كلى) الذى يحدث للفلز أو السبيكة من حيث المظهر أو الأداء بسبب التفاعل الذى يحدث بين الفلز أو السبيكة مع الأجواء المحيطة به سواء كانت غازية أو سائلة أو هو تلف المعدن نتيجة تدهور فى خواصه الطبيعية أثر التفاعلات التى تحدث له فى التربة المحيطة

يعتبر التآكل احدى المشاكل التى تتعرض لها و تعانى منها الكثير من المنشآت البترولية كخطوط البترول و الغاز و الخزانات و أبراج التقطير كما يحدث فى الكثير من القطاعات الأخرى الهامة كقطاعات الصناعة و النقل البحرى و المعدات و المنشآت العسكرية و يحدث التآكل تلف شديد فى المنشآت مما ينتج عنه تكاليف ضخمة تتمثل فى فواقد الانتاج و بالتالى قلة الكفاءة بالإضافة إلى تكاليف الإحلال و تطبيق أساليب مقاومة التآكل و هذه التكاليف تشمل تكاليف مباشرة و تكاليف غير مباشرة كالتالى :-

اولا: التكاليف المباشرة

- 1-انتهاء العمر الافتراضى للمعدة
  2-تكاليف عملية الحماية من التآكل

- ثانيا:تكاليف غير مباشرة وتشمل:

- 1-نقص في الانتتاج
- 2-تقليل الكفاءة
- 3-تلوث المنتوجات

ميكانيكية التآكل

- اولا:شروط التاكل
- لكى يحدث التآكل فهناك شروط يجب توافرها لتكوين خلية التآكل هذه الشروط هى :
- لابد من وجود قطبى التفاعل (الآنود - الكاثود) .
- لابد من وجود فرق جهد كهربى بين الكاثود و الآنود لا يقل عن 50 مللى فولت (هذا الفرق يتولد نتيجة لعدة أسباب مثل اختلاف التركيزات أو اختلاف المواد أو اختلاف نسب الأكسوجين ... الخ) .
- لابد من وجود اتصال معدنى أو مادى بين الآنود و الكاثود يساعد على مرور التيار الكهربى من خلاله .
- لابد من وجود وسط ينغمس به كلاً من الآنود و الكاثود و يجب أن تتوفر فى هذا الوسط الموصلية الكهربية .
- فى حالة توافر تلك الشروط مجتمعة تتكون خلية التآكل و يبدأ المعدن فى التآكل و بذلك تبنى نظريات منع التآكل على إحداث خلل فى أحد الشروط السابقة بغرض منع حدوث التآكل كلية .

ثانيا: حدوث التآكل: عند غمس قضيبين من الماغنسيوم و الصلب فى وسط موصل للكهرباء ELECTROLYTEو عند توصيل القضيبين خارجياً بسلك يصبح قضيب الماغنسيوم آنود ANODEبينما قضيب الصلب يصبح كاثود CATHODE .

حيث ينساب إلكترون e- سالب الشحنة خلال سلك التوصيل من قضيب الماغنسيوم إلى قضيب الصلب و للاحتفاظ بحالة التوازن ينساب أيون موجب الشحنةMg+ فى الوسط الإلكتروليتى من قضيب الماغنسيوم متجه إلى قضيب الصلب و هكذا يحدث تآكل فى قضيب الماغنسيوم و لا يحدث تآكل فى قضيب الصلب .

-

العوامل المؤثرة في اختلاف جهد المعدن:

اولا:عوامل تخص المعدن وهي :

طبيعة المعدن (موقعه فى السلسلة الكهروكيميائية) .

تشطيب السطح .

درجة حرارة المعدن .

ثانيا:عوامل ترجع إلى المحلول و هى :

درجة تركيز المحلول

درجة حرارة المحلول .

اختلاف التهوية

- **المواد المسببة للتآكل**
- **مواد أكالة بالزيت الخام .**
- **مواد أكالة تنتج أثناء عملية التصنيع أو مستخدمة أثناءه .**

أنواع التآكل المختلفة CORROSION

- - التآكل العام GENERAL CORROSION
- - التآكل الجلفانى GALVANIC CORROSION
- التاكل بين الفجوات
- التآكل بالنقر PITTING CORROSION
- التآكل الاختيارى SELECTIVE CORROSION

- - التآكل المصاحب بعامل ميكانيكى EROSION CORROSION
- التاكل تحت سطح الماء
- التاكل الناتج عن الرواسب
- التاكل بين الحبيبات

طرق الحماية من التآكل

- **اولا:اختيار التصميم المناسب :وتشتمل**
  - البساطة فى التصميم .
  - تجنب تكوين الخلايا الجلفانية .
  - تجنب الرطوبة .
- **ثانيا- تعديل نوعية المعدن:وتشتمل**
  - إزالة العناصر المضادة المسببة للتآكل .
  - إضافة العناصر المحسنة لمقاومة التآكل .
  - إتمام أعمال المعالجة لإزالة الاجهادات المتوافرة التى نتجت عن أعمال اللحام
- **ثالثا:تعديل و تغيير وسط التآكل :وتشتمل**
  - ازالة الاملاح
  - ازالة الاحماض
  - تقليل نسبة تواجد الاوكسجين
- **رابعا:التغطية**
  - التغطية بالتغليف
  - *لتغطية* بالدهانات
  - التغليف المعدني