madarju.com

MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING

2022

Dr. Yousef Mubarak

By. Yara Alasmar

Madar
ask :: believe & recieve

Yara Ali

Chapter 1
Introduction

The University of Jordan
Chemical Engineering Department
First Semester 2021
Prof. Yousef Mubarak

Outlines

- What is materials science?
- Structure, Processing, & Properties
- Types of Materials
- The Materials Selection Process
- Materials Properties

Madar
ask ;; believe & recieve
Scanned with CamScanner

Materials Science

What is materials science?

> محلل متعدد التخصصات

- Materials science or materials engineering is an interdisciplinary field involving the properties of matter and its applications to various areas of science and engineering.
- This science investigates the relationship between the structure of materials at atomic or molecular scales and their macroscopic properties.

Materials drive our society → تحركها

- Stone Age - Bronze Age - Iron Age
- Now? Silicon Age? Polymer Age?

حولنا للبلاستيك عشان !؟
1. وفرة البلاستيك بعد ما تم اكتشافه
2. رخص ثمنه
3. كثافته منخفضة جداً
4. سهل التشكيل
5. يحتاج لدرجات حرارة منخفضة

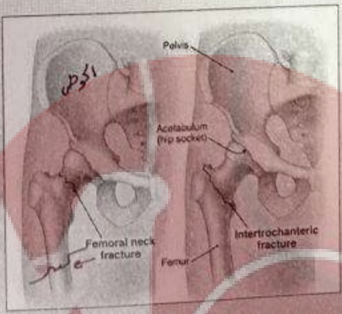
ال raw material للبلاستيك هو البترول crude oil لما يخلص في أي ما راح يكون في بلاستيك

* عند كبار العمر العظم بصير فيه (pores) لأنه الكالسيوم عندهم تكوينه صار قليل بالتالي بصير عندهم هشاشة عظام

Example - Hip Implant → زراعة الورك

الحوض

- With age or certain illnesses joints deteriorate. → مع التقدم بالعمر او بعض الأمراض قد تتضرر المفاصل
- Particularly those with large loads (such as hip). → خاصة الدي لديهم حركات خاصة



كل ما قلت كثافة العظم ← يعني انه صار pores اكثر بالتالي احتمالية الكسر اسهل

Madar ask believe & recieve

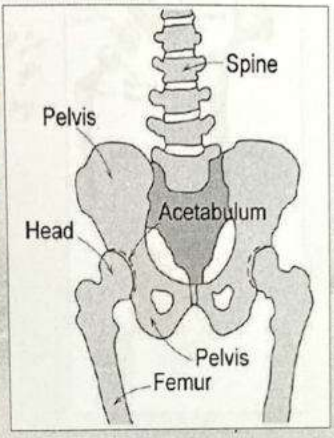
Scanned with CamScanner

هل الجسم راح يتقبل اللي انا راح احطه؟ بدنا نسأل اسئلة

Requirements

مد هاي الأسئلة:

- Mechanical strength (many cycles) ← لازم تكون نفس القوة على الأمد
  (لدي الشوف وش لبة عدم المريض ← ما راح بدك تلف رجلك)
- Good lubricity → المادة الي تمنع الاحتكاك
- Biocompatibility → الجسم ما يرفض العضو الذي تمت زراعته
- Light weight → مهم يكون الوزن للعضو الصناعي قريب ع الوزن للعضو الاصلي
- Machinability ← كيف بدنا نصنع هاي الاعضاء الصناعية؟

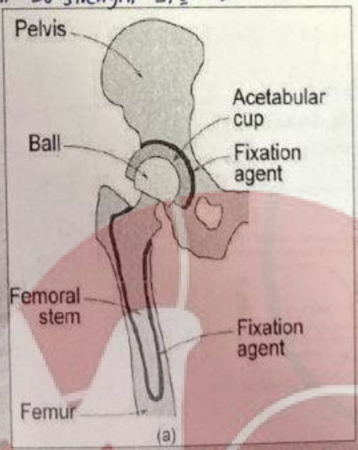


كيف راح اصنعها؟ عن طريق ال casting ولا ال welding ولا بال CNC؟
تعتمد ع ال material اللي راح اختارها

← هل ال material of construction راح تكون ال strength تاعها تضاهي ال strength لل ball الاصلية؟

هاد اللي بدنا نضيفه

كمان نفكر كيف بدنا نثبته بالعظم؟ ← نثبته ب super glue؟ ولا ببراغي ولا بمرابط؟ هاي كلها اشياء لازم نفكر فيها



← هل الوزن راح يكون نفسه ولا لا؟

← راح تدوم سنة ولا سنتين؟ ولا راح تدوم لوقت طويل

Madar ask believe & recieve
Scanned with CamScanner

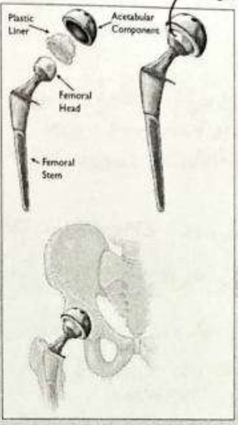
الاشياء اللي ممكن تأدي الى مشاكل

المشاكل اللي بدنا نتخطاها

Key problems to overcome

- Fixation agent to hold acetabular cup. → شو طبيعة الـ fix.ag اللي بدي استخدمه؟ super glue - غراء - ague
- Cup lubrication material. →
- Femoral stem – fixing agent ("glue"). →
- Must avoid any debris in cup. → ممكن يصير في debris للـ metal نتيجة الاحتكاك ، هاي الـ debris ممكن اذا تراكمت بمكان معين تؤدي الى الالام لا تطاق

هون بهاد الجزء اللي بتورد بيصير فيه الـ Lubrication



Yousef Mubarak   Materials Science

اذا بدهم يحفظوا خلايا وكروموسومات

* بغطسوهم بـ Liquid Nitrogen ← درجة حرارته بتكون (-200°C)

alloys ← ع الاقل عندي 2 element ← هي المعادن والسبائك اللي حياتنا كلها عبارة عن خليط مواد وما في pure material احنا لنستخدمها

لتقسم الـ course الى ٣ اجزاء ← الجزء الاول internal structure

الجزء الثاني ← mechanical properties

الجزء الثالث ← phase diagram

* احنا ما بنستخدم pure metal بحياتنا اكل اللي بنستخدمه عبارة عن سبائك

Structure, Processing, & Properties

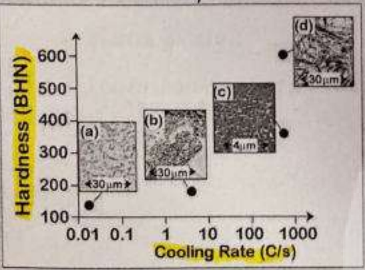
- Properties depend on structure.
  ex: hardness vs structure of steel
- Processing can change structure.
  ex: structure vs cooling rate of steel

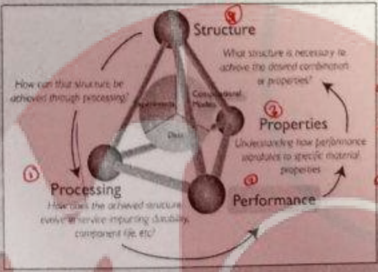
كم الحول للمادة من حرارة ← لمادة solid

يدمج الكربون بالحديد عن طريق الصهر عشان احصل على steel cast iron

ليش الـ properties بختلفوا ليه المواد؟

عشان نجاوب ع هاد السؤال بدنا نحط الـ structure اللي احنا نظهر نتيجة certine process ونعطيني properties





← الفرق الجوهري بين الـ steel والـ cast iron (الاثنين من انواع الحديد) ← نسبة الكربون

Yousef Mubarak   Materials Science

المعادن ← اذا الـ internal structure جيدة راح نتوقع انو الـ properties تاعته ممتازة

ع العكس اذا الـ internal str. كان عشوائي وغير منتظم وفيه فوضى كثيرة ← نتوقع انو الـ propertirs تاعت هاد الـ structures راح تكون ضعيفة

Scanned with CamScanner

جبنا قطعة حديد وعملنالها hardness test
عنا ٤ قطع من الحديد a, b, c, d
الفرق بينهم بال cooling rate يعني a, b, c, d
الهم نفس ال structure ونفس
ال composition مثلاً (98% → iron
2% → carbon)
صهرناها جديد بردناها، تأثير ال cooling rate

①

عند النقطة الأولى ← very slow cooling rate
(a)
نضل نغير ال process (سرعة ال cooling)
ال final structure ما راح يكون نفس الشي
لانو التبريد البطيء غير عن السريع
غير عن المعتدل

②

شو تأثير تغير ال structure
على ال properties !؟
مثال انغراس الدبوس بالمعدن، كل ما انغرس
الدبوس بالمعدن يعني ال hardness
طاير المادة قليل
تغير ال technique قاعد
تغير بال hardness number
← علاقة ال cooling rate بال hardness بالـ
طردية

Madar
ask believe & recieve

Scanned with CamScanner

Types of Materials

1. Metals

- Strong, ductile ← بقدر اجرّها او نشنيها
- High thermal & electrical conductivity → الكابلات اللي بيمرو فيها التيار الكهربائي مصنوعة من الالمنيوم او الكابر بسبب alloy لانو الـ thermal conductivity الها عالية
- Opaque, reflective. ← مش شفافة يعني ما بقدر اشوف منه خلاله

2. Polymers/plastics → المبلمرات

- Covalent bonding ← لانه بتحكي عن hydrocarbons
- Soft, ductile, low strength, low density — هاد عيبه مو ميزة — بقدر اشكلها ← هاي الاشياء اللي بتشجع ع استخدام
- Thermal & electrical insulators ← بستخدموهم بالعوازل
- Optically translucent or transparent. ← معظم المبلمرات في الاصل هي عبارة عن مواد شفافة

* شو الفرق بين الـ polymers والـ plastics ؟!
الـ polymers هي الـ raw materials للـ plastics يعني الـ end product اسمه plastics والـ raw material تاعته هي الـ polymers

* كل المبلمرات عبارة عن "hydro carbons" والعلاقة بين روابط الـ hyd. car. بتكون covalent
الاتنين عبارة عن (C & H) ← non-metal

* كل ما كانت المادة المبلمرة crystline اكثر كل ما كانت الـ transparancy تاعتها اقل

تختلف السيراميك عن البلاستيك وعن المعدن بخاصية بتميزه عنهم بانه very Brittle
يعني ما بنطعج ولا بنثني، هي بالاصل عبارة عن compenation بين metal
و non-metal والروابط اللي فيها هي روابط ايونية

3. Ceramics

- Ionic bonding (refractory)
- Compounds of metallic & non-metallic elements (oxides, carbides, nitrides, sulfides)
- Brittle, glassy
- Elastic non-conducting (insulators)

← لا نعمل عليهم tension test ما راح يتمددوا ابدا

Madar ask :: believe & recieve

Scanned with CamScanner

عملية اختيار المواد

The Materials Selection Process

1. Pick application → اختيار بتطبيقات
   - Determine required Properties.
   - Properties: mechanical, electrical, thermal, magnetic, optical, and deteriorative.
2. Properties
   - Identify candidate materials
   - Material: structure, composition
3. Material
   - Identify required Processing
   - Processing: changes structure and overall shape

هل ال process راح تأثر على ال structure؟

Ex. casting, sintering, vapor deposition, doping, forming, joining, and annealing.

We change the properties by? → Addition / → process

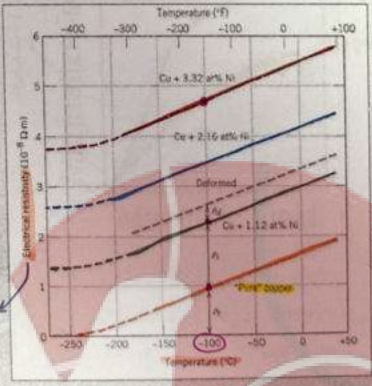
ال resistivity لل copper زادت تقريباً ٤ او ٥ اضعاف عند نفس درجة الحرارة بالاضافة نسبة من Ni

امثلة كيف تتغير ال properties of the materials by the process or by addition or by diff. procedure

① ELECTRICAL

Electrical Resistivity of Copper:

- ✓ Adding "impurity" atoms to Cu increases resistivity.
- ✓ Deforming Cu increases resistivity.



المقاومة للتيار الكهربائي

هنا pure copper وبعدين زدنا عليه كمية Ni وكل مرة بنزيد كمية اعلى من Ni

← لما استعمل ال copper بأسلاك الكهرباء بهمني انو ال resistivity تكون قليلة جدا
← اذا بدي اياه ما يكون موصل جيد للتيار ← بدي ازيد ال resistivity تاعته

ask :: believe & recieve

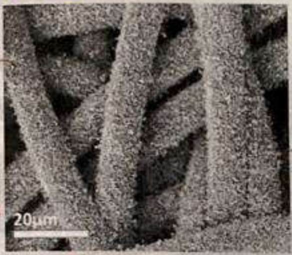
Scanned with CamScanner

هون عنا copper وبدنا نضيف عليه Zinc
بنلاحظ انو في حال ال pure copper ال thermal conductive بكون عالي شي
وكل ما نضيف ال Zinc ال thermal cond. راح تقل

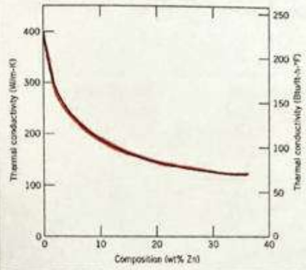
② THERMAL

Shuttle Tiles:

- *Silica fiber insulation offers low heat conduction.*



عادةً بستخدموا هاي ال Fiber عشان يقللوا ال losses او عشان يقللوا ال Temp مثل ما هي



تقريباً 75% من ال cond. of the pure copper lost by the addition of Zinc

Thermal Conductivity of Copper:

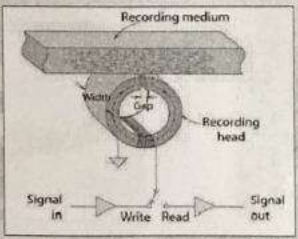
- *It decreases when you add zinc.*

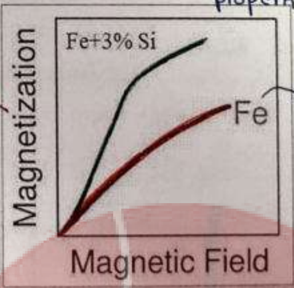
ال Magnetization لل iron بترتفع لما نضيف عليه Si ، اللي صار انو تغير ال internal structure بالتالي بدها تتغير هاي ال properties

③ MAGNETIC

Magnetic Storage:

- *Recording medium is magnetized by recording head.* ← يتم التحكم به عن طريقه





المغنطة ← Magnetization
Fe → pure iron

Magnetic Permeability → النفاذية المغناطيسية

- *Adding 3 % Si makes Fe a better recording medium*

Madar ask :: believe & recieve
Scanned with CamScanner

معروف انو ال Aluminum oxide لما نضغطها تعطينا Clear material ← يعني بقدر اشوف من خلالها مثل الزجاج

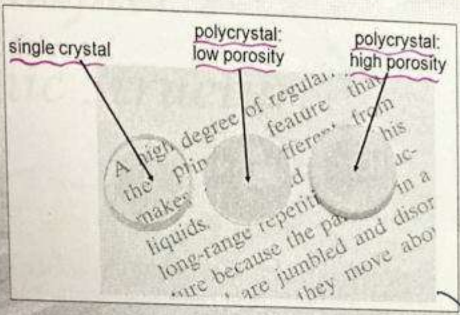
اذا بدي اغير الشفافية الها بضيف Nucleating agent

④ OPTICAL

Transmittance:

- Aluminum oxide may be transparent, translucent, or opaque depending on the material structure.

عكسه يكون شفافة او غير شفافة بناءً على ال structure



زدنا ال No. of crystals in structure ← by addition Nucleating agent وعملنا Compression

بعديه بصير عنا ملايين الكريستال فكان الكرستالة الوحدة الي كنت اشوف من خلالها

هون غيرنا ال property للمادة by process

⑤ DETERIORATIVE

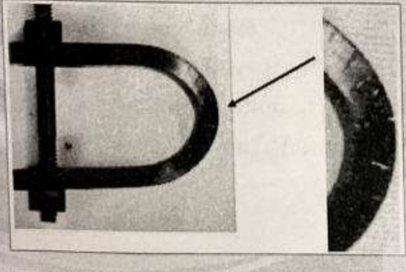
Stress & Saltwater:

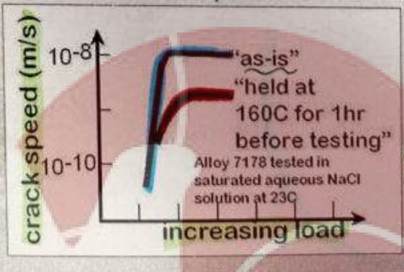
- causes cracks

Heat treatment:

- slows crack speed in salt water.

كان عنا الحديد as-is نلاحظ انو ال crack speed عالية جداً، رحنا عملناله) يعني جبنا قطعة الحديد وحطيناها بفرن على درجة حرارة 160 لمدة ساعة وبعديه حطينا ال crack speed لقينا انو نزلت.





الي صار recrystallization او reorganization لل internal structure

adar ask :: believe & recieve
Scanned with CamScanner

Chapter 2

Atomic Structure

The University of Jordan
Chemical Engineering Department
First Semester 2021
Prof. Yousef Mubarak

كيف ال building block بتشكل ?! وليش بتشكل ؟ وليش فيها هالقد عدد ذرات

Atom :- the smallest part of any object in our Life

Outline

كل خصائص المادة نوعاً ما تعتمد على البروتونات او النيوترونات او الالكترونات

1- Review of Atomic Structure → بدنا نشوف البنية التركيبية لل atom
- Electrons, Protons, Neutrons.
- Atomic Bonding in Solids. → بدنا نتعرف على طبيعة المواد ليش بتتشكل
- Periodic Table.
- Primary Interatomic Bonds .
- Secondary Bonding (Van der Waals).

2- Molecules and Molecular Solids

Madar ask :: believe & recieve

Scanned with CamScanner

Review of Atomic Structure

كل شيء في الحياة هو عبارة عن atoms

What are atoms?

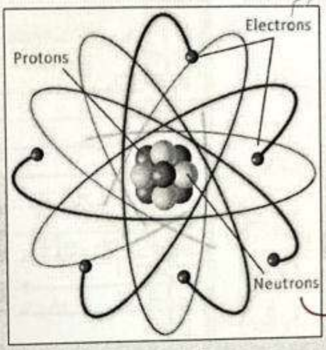
- Atoms are the basic building blocks of matter that make up everyday objects.
- Atoms are made out of three basic particles:

① Protons - carry a positive charge

② Neutrons - carry no charge

✓ Protons and Neutrons join together to form the Nucleus - the central part of the atom (له في حواليها مدارات) (له مركز الذرة)

③ Electrons - carry a negative charge and circle the nucleus



كتلته صغيرة تهمل

النواة

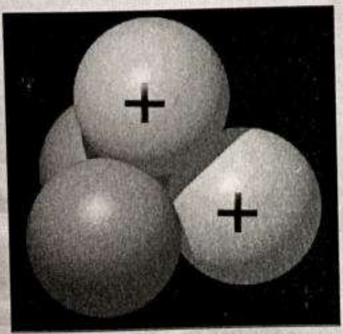
البروتونات والنيوترونات تقريبا نفس الوزن والالكترون أخف منهم

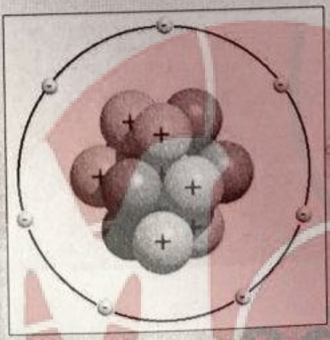
Nucleus ← تحتوي على البروتونات والنيوترونات وفي حواليها مدارات

orbits ← تحتوي خطط على الالكترونات

كانوا يعتقدوا انو اصغر جزئ في الذرة هو ال Nucleus بس بعد عدة سنوات اكتشفوا انو في smaller particles جوا ال Nucleus

- The nucleus is the massive center of the atom. It was discovered in 1911, but it took scientists another 21 years of experimenting to identify its parts.





وجد العلماء انو جوا النواة أجزاء أصغر منها

Madar ask believe & recieve

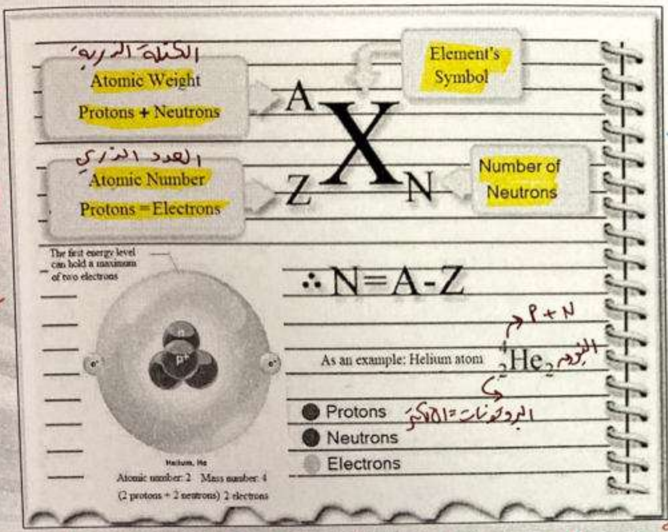
Scanned with CamScanner

في كل الذرات ← عدد البروتونات = عدد الالكترونات

في معظم الذرات ← عدد البروتونات = عدد النيوترونات

مش كل العناصر لانو بالتالي عدد البروتونات بختلف عن عدد النيوترونات

لهذا السبب المواد بتكون مشعة ← لانو الانوية اللي فيها بتكون غير مستقرة



$${}^{A}_{Z}X_{N}$$

$$\therefore N = A - Z$$

As an example: Helium atom ${}^{4}_{2}He_{2}$ (P + N; النيوترونات; البروتونات = الالكترونات)

- Protons
- Neutrons
- Electrons

بتمتاز هاي المواد radio active materials تعطي اشعاع radiation

بصدر الـ radiation لانو عدد البروتونات والنيوترونات مختلف بالتالي لدها توصل للاستقرار ← بتوصل للاستقرار عن طريق خسران طاقة الموجودة بالنواة على شكل اشعاعات

mass number = atomic weight

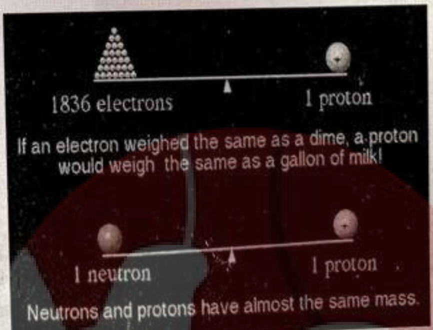
الهيدروجين فيها واحد proton وواحد electron وما فيها Neutron

Charges:

- Electron's and Proton's charges are of the same magnitude, 1.602×10^{-19} Coulombs. (نفس الشحنة بس بعكس الاشارة)

Masses:

- Protons and Neutrons have the same mass, 1.67×10^{-27} kg.
- Mass of an electron is much smaller, 9.11×10^{-31} kg and can be neglected in calculation of atomic mass.

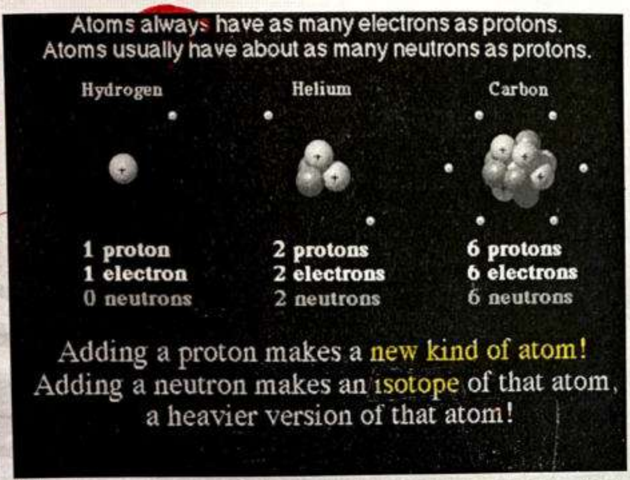


Madar ask ; believe & recieve

Scanned with CamScanner

شو راح يصير لو حطينا او اخذنا one proton او one Neutron من النواة ؟! راح تتغير المادة
راح يصير فيها other element مش راح يضل نفس ال element

النظائر يكون فيها عدد ال Neutrons اكبر من عدد ال protons



ال molecular weight للبلمرات بكون بالآلاف ممكن تتعدى 30,000 و 40,000
بهاي الحالة البلمرات بتشذ عن هاي القاعدة واضافة او نزع proton او electron ما راح يغير ال structure

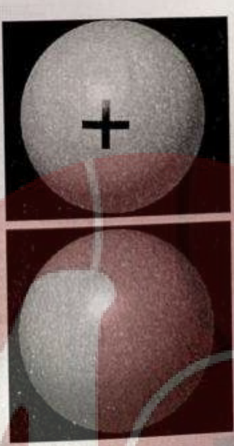
لانو بالبلمرات نحنا ما نغير جوا ذرة الهيدروجين او الكربون ، نحنا نغير بطول ال Molecule يعني بدل ما ال molecule كان بس فيها H و C صرنا نربط molecule مع other molecule لنحصل على السلسلة الطويلة.

* اذا حطينا electron ما راح تتغير المادة والدليل الروابط الكيميائية الموجودة بين العناصر هي ما تصير بالنواة تتصير بالالكترونات تصير اما تشارك او انتقال

الأشعاعات الطبيعية ← مصدر الأشعاعات الطبيعية من النواة (النواة هي المسؤولة عن الأشعاعات)
الفا بيتا جاما

الأشعاعات الصناعية ← UV ، الليزر
ومصدرها الالكترونات

- Scientists thought there was nothing smaller than the proton in the nucleus of the atom.
- Scientists discovered the neutron in 1932. They thought that there was nothing smaller in the atom's nucleus?



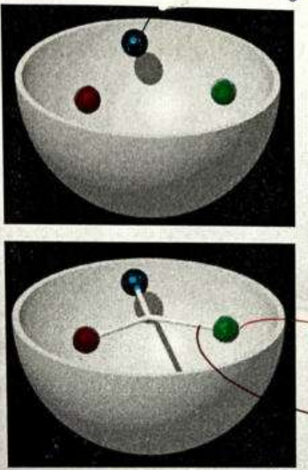
ممكن فصل الالكترون بسهولة من الذرة ولكن لا يمكن نأخذ البروتون او النيوترون بسهولة

الأشعاعات الطبيعية نوعاً ما ما النا مقدرة انو نتحكم فيها ، نقدر نحجبها او نمنعها بس لكن ما نقدر نخلي مادة غير مشعة تشع

ask ;; believe & recieve
Scanned with CamScanner

لغاية الآن ال quarks هي اصغر شيء بالذرة

- In 1968, scientists discovered new particles inside the proton. They called these particles quarks.
- There are three quarks in each proton. The quarks are held to each other by other particles called gluons.



gluons ← موجودة داخل النواة وهي الي بتعمل Balance للنواة

quarks

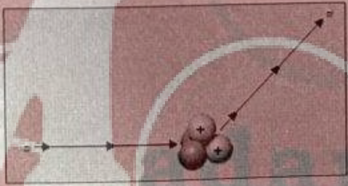
glouns الروابط بين ال quarks

اذن اصغر جزء بتركيبه لذرة لحد الان معروف هو ال glouns

هاي الحلقة الثلاثية تلف جوا البروتون عشان تعمل Balance

الهم كتلة بس مقارنة مع كتلة البروتون والنيوترون بتجاهلها

- Electrons are extremely small and very light.
- It is easy to strip off electrons of atoms and use them for electrical power and in devices like television sets.
- Electrons can be used to probe inside of atoms. Higher energy electrons can detect smaller features inside of atoms. Scientists learn about the inside of atoms by watching how electrons bounce off the atom, and by how the atom changes as a result of being hit by an electron.



ask believe & recieve

Scanned with CamScanner

شو ال unit اللي بنقيس فيها
اقطار الذرات ؟! ← 10^{-9} = Angstrom

* Eech element has diff. atomic radius

Number of Atoms

- The **number of atoms** per cm³, **n**, for material of **density d** (g/cm³) and **atomic mass M** (g/mol) is:

$$n = \frac{N_{av} d}{M}$$

(avogadro's → N_{av}; density → d; atomic mass → M)

معرفة عدد ال atoms في الحجم محدد

كم atoms بتوقع في ال 1 cm³ من ال material ؟ رقم كبير ما نقدر نتخيله

where N_{av} is Avogadro's number = 6.022 × 10²³ atms/mol

- Mean distance between atoms

$$\ell = \left(\frac{1}{n}\right)^{1/3}$$

(n → number of atoms (atoms/cm³))

المسافة بين هاي الذرات

Example:

Diamond (carbon): d = 3.5 g/cm³, M = 12 g/mol (pure carbon)

n = 6 ×10²³ atoms/mol × 3.5 g/cm³/12 g/mol

= 17.5 × 10²² atoms/cm³

$\ell = (1/(17.5 \times 10^{22}))^{1/3}$ = 0.179 nm

0.179 angstrom

Yousef Mubarak — Materials Science

مثال بلورة الملح NaCl :-
البلورة ← عبارة عن عدد كبير جداً من ال molecules ، صار في روابط بين ذرات ال Na وال Cl عشان تشكل molecules(NaCl) هاي ال molecules تعتبر Bulding block معينه وهاد هو اللي بعمل ال crystal

* يتم توزيع الالكترونات بال orbits بناءً على energy معينة
* المدارات حوالين النواة بتكون مستويات (مستوى اول ← مستوى خامس)
* في كل مستوى في diff levels

Electrons in Atoms

- The electrons form a cloud around the nucleus, of radius of 0.05 – 2 nm. (→ angstrom)
- This "Bohr" picture looks like a mini planetary system. But quantum mechanics tells us that this analogy is not Correct.
- Electrons move not in circular orbits, as in popular drawings, but in 'fuzzy' orbits.

* عشان يدخل الالكترون ع shell لازم يعرف energy
* لما نأخذ ال e من ال shell هنا اللي بدنا نصرف energy

* الاسهل على الالكترون انه يدخل بال اول shell كل ما كان ال shell اقرب للنواة - بحتاج طاقة اقل من الالكترون
* اول shell مخصص لس لالكترونين
* اللي بعده بوسع 8 وهكذا...
* لما انزع الالكترون كل ما اقترب ال shell على النواة صار النزع اصعب بسبب قوة التجاذب بين الالكترونات والبروتونات اللي بالنواة

Yousef Mubarak — Materials Science

Scanned with CamScanner

المسافة بين ال electron والنواة دائماً ثابتة
نحن ما نقدر احددها بالربط بمسار
مثل كرة والالكترون ليسبح على هاي
الكرة (على سطح الكرة) زي صيده ، بس
المسافة تاعت هاد السطح عن ال core
ثابتة ما بتتغير

Madar
ask ;; believe & recieve

Scanned with CamScanner

عشان اشيل الالكترون ← بروح ع الابعد shell اسهل

ال shell الاخير هو اللي بحدد ال property تاعت المادة

ليش المدارات اللي آخر او ابعد شي هي اللي بتحدد خصائص المادة؟!

لانو هي فقط المسؤولة عن الروابط مش غيرها

الالكترون يروح ع الاقرب وبنا نروح ع الابعد

- One cannot tell how it moves, but only say what is the probability of finding it at some distance from the nucleus.
- Valence electrons determine all of the following properties: → الالكترونات بالمدار الاخير
  - ✓ Chemical.
  - ✓ Electrical.
  - ✓ Thermal.
  - ✓ Optical.

  من الخصائص التي عليه تحديدها
- Each orbital at discrete energy level determined by quantum numbers.

* ابعد مدارات هي اللي بتحدد خصائص المادة

* ال subshell وصنفهم حسب ال energy ← كديش ال e لازم يحط energy عشان يدخل ع هاد ال shell

* اسهل شي على الالكترون انه يروح على "S" بعدين "P" بعدين "d" بعدين "f"

* كل state بوخذ زوجين من الالكترونات

- The number of available electron states in some of the electron shells and subshells

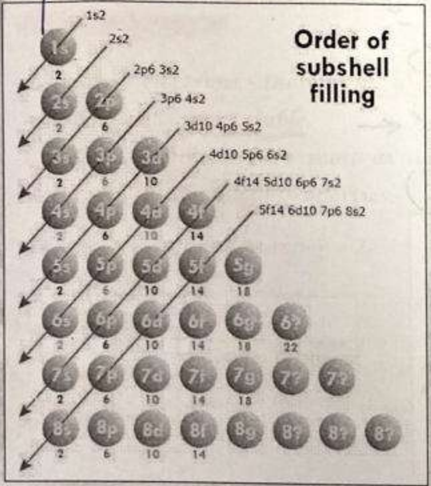
Principal Quantum number n (المدارات)	Shell designation	Subshells	Number of States	Electrons per Subshell	Electrons per Shell
1 الاول	K	S	1	2	2
2 الثاني	L	S	1	2	8
		P	3	6	
3 الثالث	M	S	1	2	18
		P	3	6	
		D	5	10	
4 الرابع	N	S	1	2	32
		P	3	6	
		D	5	10	
		F	7	14	

اعداد فردية (Number of States)

Madar ask & recieve

Scanned with CamScanner

افل energy ممكن تحتاجها ال e عشان تدخل
هاد ال shell



Subshells by energy:

1s,2s,2p,3s,3p,4s,3d,4p,5s,4d,5p,6s,4f,...

رح نعباه الأول لأن طاقته أقل من 3d

ال energy اللي تحتاجها لل 4s اقل من ال energy اللي تحتاجها ل 3d عشان هيك ال e بتدخل بال 4s وبطلعوا من ال shell قبل ما يكتمل وبعدين برجعوا على ال 3d

بنحكي عن الالكترونات بآخر مدار = octal Number or Valency or latest shell

* ترتيب العناصر في الجدول الدوري في المجموعات يعتمد على عدد الالكترونات في المدار الأخير

- *Most elements: Electron configuration not stable.*

Element	Atomic #	Electron configuration	
Hydrogen	1	$1s^1$	
Helium	2	$1s^2$	(stable)
Lithium	3	$1s^22s^1$	
Beryllium	4	$1s^22s^2$	
Boron	5	$1s^22s^22p^1$	
Carbon	6	$1s^22s^22p^2$	
...		...	
Neon	10	$1s^22s^22p^6$	(stable)
Sodium	11	$1s^22s^22p^63s^1$	
Magnesium	12	$1s^22s^22p^63s^2$	
Aluminum	13	$1s^22s^22p^63s^23p^1$	
...		...	
Argon	18	$1s^22s^22p^63s^23p^6$	(stable)
...	...	...	
Krypton	36	$1s^22s^22p^63s^23p^63d^{10}4s^24p^6$	(stable)

العناصر بالنسبة آخر مدار فيهم مكتمل بنسميهم خاملة لأنهم ما بتفاعلوا لا بياخذ ولا بيعطي

بتكون ال atom كله stable لما يكون المدار الاخير فيه 8 الكترونات

ask ;; believe & recieve
Scanned with CamScanner

لما يكون عندي molecules عبارة عن 2 Atoms من العناصر الخاملة، كيف ارتبطوا مع بعض؟! عن طريق secondary bonding forces

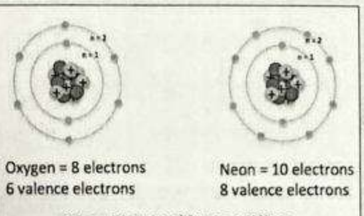
Valence Electron

- Valence electrons – those in unfilled shells. → تطلع الـ shells مش الـ subshells
- Filled shells more stable.
- Valence electrons are most available for bonding and tend to control the chemical properties.

Example: O (atomic number = 8)

$1s^2$ $2s^2 2p^4$ → Valence electron ← الكترونات المدار الأخير

يعني المدار الأخير فيه 6 الكترونات



Valence Electrons of Oxygen and Neon

فاهي جزئ هيك الحالة بدون روابط بين الـ atom والـ atom وما يكونوا stable ← زي العناصر النبيلة

هدول الـ atom تكون عنا Van der Waals Bonds (موجودة بكل العناصر الخاملة)

البرونز = نحاس + قصدير

Yousef Mubarak

- تصنيف الجدول الدوري بناءً على عدد الالكترونات في المدار الأخير (المدار الغير مستقر)
- كل المركبات في الطبيعة فيها روابط ثانوية خصوصاً بين الـ molecules
- الروابط بتكون أضعف لما نتجه لليسار وتحت

عناصر المجموعة الأولى ← very active

The Periodic Table

- Electrons that occupy the outermost filled shell (the valence electrons) they are responsible for bonding. → الكترونات المدار الأخير هي المسؤولة عن الروابط
- Electrons fill quantum levels in order of increasing energy (due to electron penetration).
- Example: Iron, Fe = 26: $1s^22s^22p^63s^23p^63d^64s^2$. Elements in the same column (Elemental Group) share similar properties.
- Group number indicates the number of electrons available for bonding.
  - ✓ 0: Inert gases (He, Ne, Ar...) have filled subshells: chemically inactive. (ما تتفاعلوا مع بعض)
  - ✓ IA: Alkali metals (Li, Na, K...) have one electron in outermost occupied s subshell - eager to give up electron – chemically active. (من المجموعة 1)
  - ✓ VIIA: Halogens (F, Br, Cl...) missing one electron in outermost occupied p shell - want to gain electron - chemically active.

الالكترونات هي اللي تتحكم بخصائص المادة من ناحية chemical, thermal, optical لأنه هاي الالكترونات خارج النواة

كل الأعمدة اللي بالجدول الدوري هي عناصر غير مستقرة "مداراتها لا تحتوي على العدد الكامل من الالكترونات" باستثناء العامود 18 اللي فيه العناصر الخاملة

Yousef Mubarak
ask :: believe & recieve
Scanned with CamScanner

← في روابط تتكون جوا ال Molecules

زي الروابط بين Na و CL عشان يتشكل NaCL

primary bonds

← في روابط بين ال Molecules عشان تعطيني ال particle

اللي تحتوي على many of molecules

عندي الـ secondary bond الضعيفه

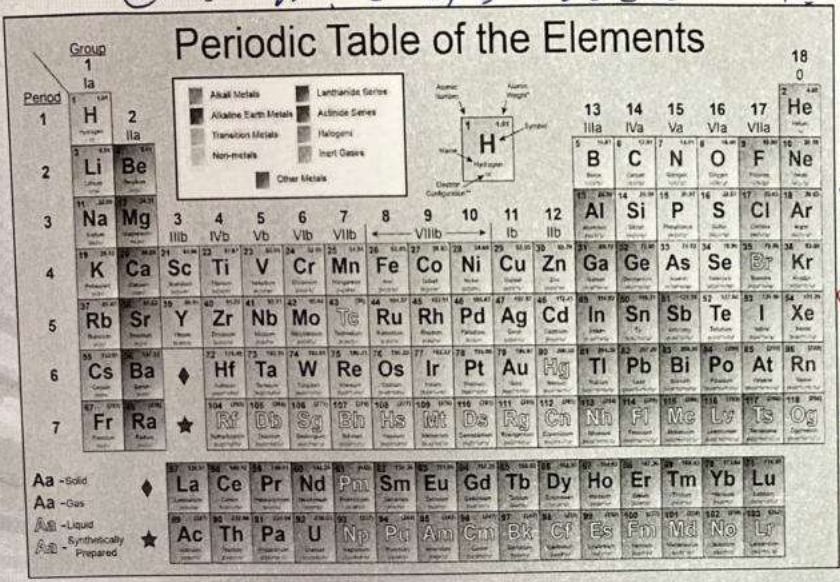
لانه ما في primary bonds بين

ال molecules

Madar
ask :: believe & recieve

Scanned with CamScanner

كل ما نزلنا بالعامود لتحت ← نحتاج طاقة أقل للاستخلاص
والعكس كل ما طلعنا لفوق نحتاج طاقة أعلى
بالتالي الألمنيوم تأخر كثير لأنه ما كان في طاقة اللي نحتاجها لعملية النزع



ال Copper أسهل واحد فيهم للاستخلاص

مشكلة الهالوجينات؟ أثروا على نصب الأوزون

ليش تأخر اكتشاف الألمنيوم؟ لأنه كان بده energy عالية جداً
مقارنة مع ال energy اللي يحتاجها ال iron وال copper

Electropositivity ← عكس ال electronegativity
← تتزايد من اليمين لليسار
* العناصر اللي الها low electronegativity ← معدل العناصر بيعطوا الالكترونات

The Electronegativity Values

→ قديش عندها قدرة إنها تاخذ e وتضيفه للمدار الأخير الغير مكتمل
← يتزايد من اليسار لليمين

- Electronegativity - a measure of how willing atoms are to accept electrons.
  - Subshells with one electron - low electronegativity → high electropositivity يكون بده يعطي
  - Subshells with one missing electron - high electronegativity. ← مثل اللافلزات
  - Electronegativity increases from left to right in the periodic table.
  - Metals are electropositive - they can give up their few valence electrons to become positively charged ions. (بيعطوا e)
  - Electronegativity ranges from 0.7 to 4.0

بالتالي ال electro. للعناصر الخاملة = 0 لأنها لا بتاخذ ولا تعطي

← اللافلزات بيدها high electronegativity

ال electroneg. للعناصر بالعامود الأول منخفضة ← لأنها ما بتاخذ (بتعطي)

إذا ال electronegativity قليلة معناها ال electropositivity الها عالية جداً
وعناصر الفلزات الها electronegativity low

ask :: believe & recieve

Scanned with CamScanner

العناصر في مجموعة اللافلزات او اللي الها 5 الكترونات
او اكثر في مدارها الاخير ← هدول ما بيعطوا اشي بياخدوا
او بيشاركوا
(بيكون الهم high electronegativity)

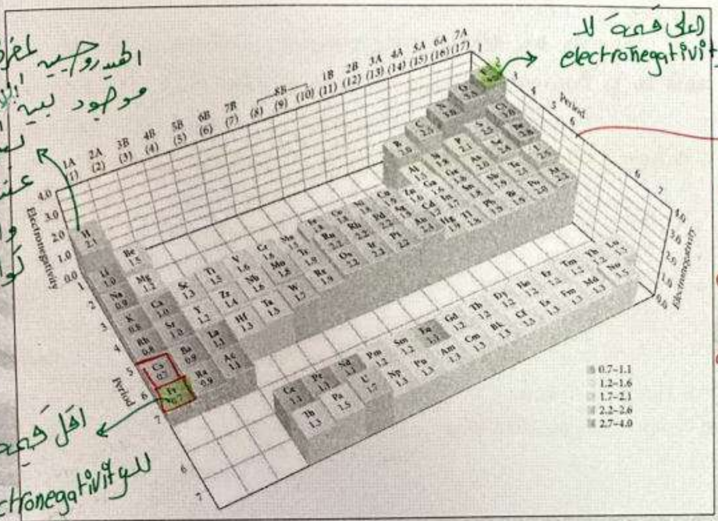
ask believe & recieve

Scanned with CamScanner

يزداد الـ electronegativity كل ما اتجهنا من اليسار لليمين
ومن الاسفل للاعلى

الهيدروجين المفروض يكون موجود بين اللافلزات بس لانو عنده الكترون واحد تواجد هون

اعلى قيمة لل electronegativity



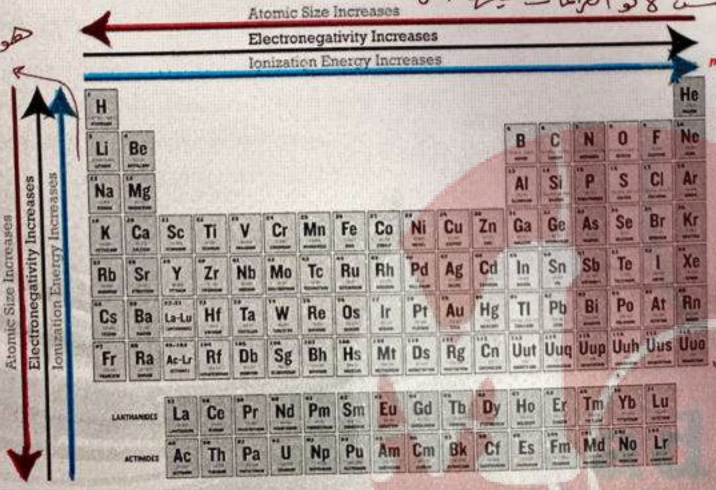
العناصر الخاملة مش موجودة هون لانو مالها دور بال electronegativity او ال electropositivity

اقل قيمة لل electronegativity

هل Cs و Fr الهم نفس ال electronegativity؟ الجواب لا،
بس لانو هون عملوا لها rounding one digit وصاروا زي بعض
بس لو اخذنا ال electronegativity لـ 3 digits راح نلاحظ اختلاف بسيط

كل ما كان ال size لل atom اكبر بتكون عمليات ال packing اضعف
← زي الغرفة لو بدي احط فيها كرات سلة او تنس بتكون ال packing efficiency اعلى للكرات التنس لانو الفراغات بينها اقل

هون اعلى اقطار للذرات



ما عنا بال metal packing efficiency بتوصل لل 90 ← maximum ممكن توصل ال packing efficiency فقط 75%

هون اقل اقطار للذرات

ask ... recieve
Scanned with CamScanner

اذا بدي اعرف حديش في possibility لعمل رابطة بين 2 diff. element
* بروح بحسب الـ electronegativity difference
* كل ما كان الـ difference بين الـ electronegativity أعلى كل ما كان تشكيل الرابطة أقوى والـ possibility أعلى

- To calculate Pauling electronegativity for an element, it is necessary to have data on the dissociation energies of at least two types of covalent bond formed by that element.
- The difference in electronegativity between atoms A and B is given by:

$$\chi_A - \chi_B = eV^{-1/2}\sqrt{E_d(AB) - \frac{[E_d(AA) + E_d(BB)]}{2}}$$

(handwritten notes: "other element"; "اذا بدي الشكل compound"; "one of the element"; "من جداول"; "# اذا بدي اعرف exactly حديش لفرق بال electronegativity"; "اللي تحت الجذر بناخدهم لوحدة الـ eV")

where:

The dissociation energies, (E_d) of the A-B, A-A and B-B bonds are expressed in electron volts, the factor $(eV)^{-1/2}$ being included to ensure a dimensionless result.

البسط تحت الجذر في المعادلة عبارة عن Averge to the semellar atoms
الـ diff. atoms

ما نتنسى لبين ناخذ قيم الـ energy من الجدول انو نحول الوحدات

$eV = 1.602 * 10^{-19}$ اللي لقتها نشبة الـ e^{-}

Example:

Calculate the difference in Pauling electronegativity between hydrogen and bromine if the dissociation energies: H-Br, 3.79 eV; H-H, 4.52 eV; Br-Br 2.00 eV.

Solution:

Note that 1 kcal/mol = 4.3363×10^{-2} eV

(handwritten: عكس ما المربع والجذر وبعطي نفس الناتج 1.602×10^{-19})

$$\chi_A - \chi_B = (1.602\times10^{-19})^{-1/2}\sqrt{\left(3.79 - \left[\frac{4.52 + 2.00}{2}\right]\right)\times 1.602\times10^{-19}}$$

$\chi_A - \chi_B = 0.728$ → أكثر دقة

Standard Bond Energies

Single Bonds	ΔH°*	Single Bonds	ΔH°*	Multiple Bonds	ΔH°*
H-H	104.2	B-F	150	C=C	146
C-C	83	B-O	125	N=N	109
N-N	38.4	C-N	73	O=O	119
O-O	35	N-CO	86	C=N	147
F-F	36.6	C-O	85.5	C=O (CO2)	192
Si-Si	52	O-CO	110	C=O (aldehyde)	177
P-P	50	C-S	65	C=O (ketone)	178
S-S	54	C-F	116	C=O (ester)	179
Cl-Cl	58	C-Cl	81	C=O (amide)	179
Br-Br	46	C-Br	68	C=O (halide)	177
I-I	36	C-I	51	C=S (CS2)	138
H-C	99	C-B	90	N=O (HONO)	143
H-N	93	C-Si	76	P=O (POCl3)	110
H-O	111	C-P	70	P=S (PSCl3)	70
H-F	135	N-O	55	S=O (SO2)	128
H-Cl	103	S-O	87	S=O (DMSO)	93
H-Br	87.5	Si-F	135	P=P	84
H-I	71	Si-Cl	90	P≡P	117
H-B	90	Si-O	110	C≡O	258
H-S	81	P-Cl	79	C≡C	200
H-Si	75	P-Br	65	N≡N	226
H-P	77	P-O	90	C≡N	213

* Average Bond Dissociation Enthalpies in kcal per mole
(There can be considerable variability in some of these values.)

(handwritten: energy → ΔH°)

بنضرب القيم اللي من الجدول في 4.3363×10^{-2} عشان احول الوحدة

ask ;; believe & recieve

Scanned with CamScanner

لما يكون في رابطة اساسية
نتجاهل الرابطة الثانوية

Types of Bonding

Primary ← الاساسية

- **Ionic** ← الأيونية — metal + non metal
  - + → cation
  - − → anion
- **Covalent** ← التشاركية — non metal + non metal
- **Metallic** — metal + metal — موصل جيد للتيار

Secondary ← الثانوية ← موجودة بكل المركبات بين الـ molecules

- Fluctuating induced dipole
- Permanent dipole bond
- Polar molecule-induced dipole

الـ strength تاع الرابطة الأساسية
اقوى بكثير من الرابطة الثانوية

Madar
ask ; believe & recieve

Scanned with CamScanner

واحد يكون high electronegative والثاني low electronegative ← شروط تشكل الرابطة الأيونية
(high → non-metal) (low → metal)

Ionic Bonding — metal + non metal

high boiling and melting point
* forms as Crystals

Formation of ionic bond:

1- Mutual ionization occurs by electron transfer (remember electronegativity table)
- ✓ Ion = charged atom
- ✓ Anion = negatively charged atom
- ✓ Cation = positively charged atom

* Conduct electricity if dissolved in water and Exist as ions
* brittle and easily broken down into Small pieces

2- Ions are attracted by strong columbic interaction → الروابط الأيونية تعتبر قوية جداً
- ✓ Oppositely charged atoms attract
- ✓ An ionic bond is non-directional (ions may be attracted to one another in any direction

ما بوصلوا للتيار بحالة ال Solid بس لما ذوبناهم بمحلول (ماء سائلة) ← بصير موصل جيد لانو كول ال cation و anion وبصيروا هم مسؤولين عن عملية انتقال الشحنة

← ال cation وال anion لتشكلوا ال molecule

← الأملاح المتبلورة بتحتوي على روابط أيونية زي NaCL ← بالتالي الرابطة فيها قوية نوعاً ما، بالتالي ما بنصهروا على درجات حرارة منخفضة

← ال NaCL بده درجة حرارة فوق ال 900 عشان ينصهر لانو رابطة قوية (نحكي عن انصهار مش ذوبان)

Yusef Mubarak — Materials Science

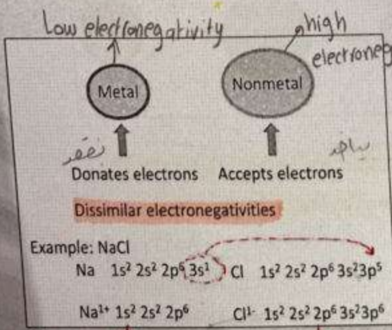
اللي بفقد ← حجمها بقل (بنكمش) لانها فقدت مدار زي ذرة الصوديوم

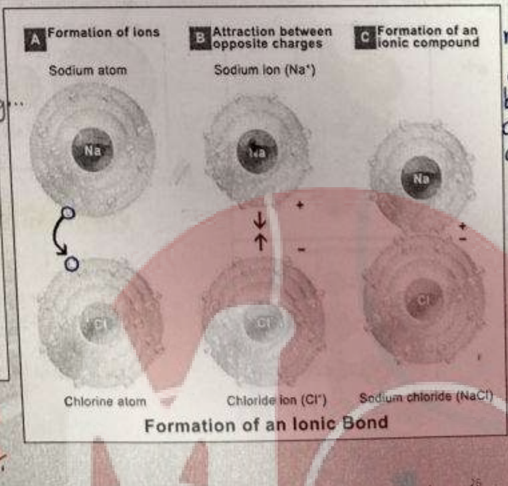
اللي بكسب ← حجمها بزيد زي ذرة الكلور

أقل مسافة بينهم ← نصف قطر الاول + نصف قطر الثاني

كل ما كانت قوة التنافر اقوى تكون المسافة ابعد

Ionic Bonding





Formation of an Ionic Bond

شو ال min. distance between center to center? هو عبارة عن ال radius لل Na + radius CL

ال CL اجاه Shell زيادة، ال Shell موجود اساساً بس زاد عدد الالكترونات فيه واحد

Yusef Mubarak — Materials Science
ask believe & recieve
Scanned with CamScanner

اذا طبقت قوة ع بلورة الملح راح تتفتت لانها ← brittle يعني هشة

تتكسر الروابط الثانوية وممكن تتكسر البلورة نفسها، انا لما اكسر ما بكسر الرابطة بين Na و Cl (الأساسية) احنا نكسر الروابط الثانوية لكن الاساسية ما زالت موجودة

في حال NaCl في هناك attraction force؟

واحد شحنته صارت +ve والثاني -ve يعني راح يكون في تجاذب، بس في عنا كمان +ve charge هوا النواة، كلاهما عنده شحنة موجبة بالنواة يعني ال Cl صارت شحنته ال total ← -ve بس نواته لساتها +ve

اذا: عندي repultion مش absolute attractive

قوة التنافر تكون بين الأنوية

لو ما في تنافر كان تصادمت هاي الذرات و بدمروا بعض ← هاد الحكي ما بصير لسبب الشحنة الموجبة الموجودة في النواة

لو تغلبت ال attractive راح يصير تصادم

ولو تغلبت ال repulsive راح ينفصلوا

بالتالي يكون في equilibrium

في equilibrium بين ال attractive وال repultion بحيث يخليهم ع مسافة from center to center ويضلوا عند هاي المسافة

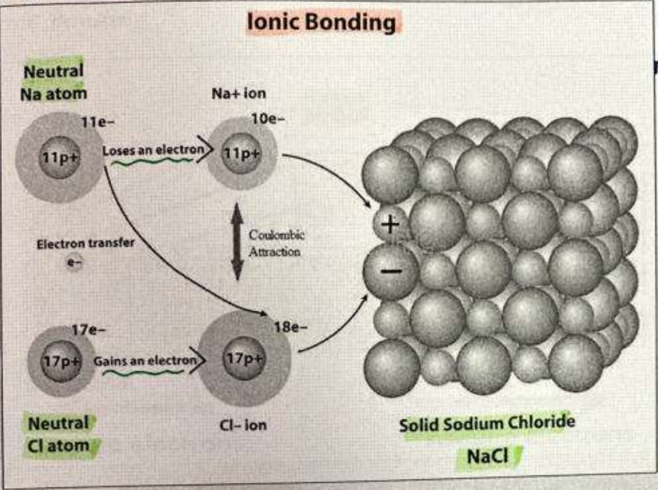
Madar
ask :: believe & recieve

Scanned with CamScanner

ماأنا ما بلاقي molecule
هيك لحاله قاعد لوحده
ما نقدر نشوف one molecule

الرابطة بين الذرات ← ايونية
الرابطة بين الـ molecules ← ثانوية
نحنا نكسر روابط الثانوية وليس الأساسية

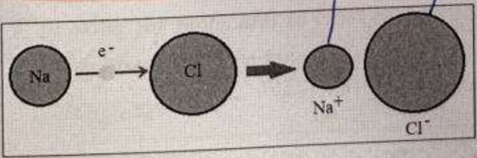
هاد الـ molecule
رح يتجمع مع other molecules

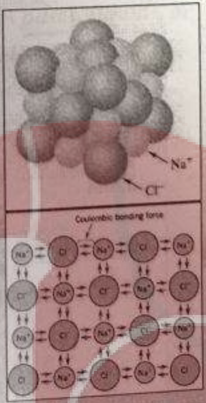


* احنا نحاول نوصل للـ minimum energy
* الـ molecule عادةً عشان تكون مستقرة، بتحاول تخفف. اقل طاقة
* هاي الـ min. energy تكون على اصغر مسافة بين centers to center

الكلور كبر
الصوديوم صغر

Ionic Bonding





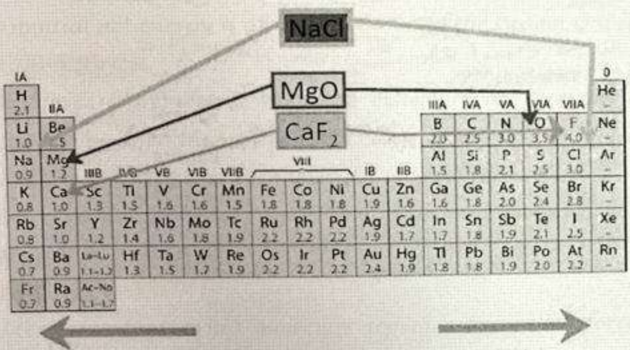
- ✓ *Electron transfer reduces the energy of the system of atoms, that is, electron transfer is energetically favorable.*
- ✓ *Note:- relative sizes of ions: Na shrinks and Cl expands*

Net Energy = Σ attraction + repulsive

ask believe & recieve
Scanned with CamScanner

هاي بالامثلة
امكانية تكوين الروابط بسهولة

Ionic Bonding



Low electronegativity — High electronegativity

هاي المواد NaCl, MgO, CaF2 عبارة عن املاح (مواد متبلورة)

ال Net Energy هي جمع ER و EA مع اشاراتهم

عشان نكسب min. Energy

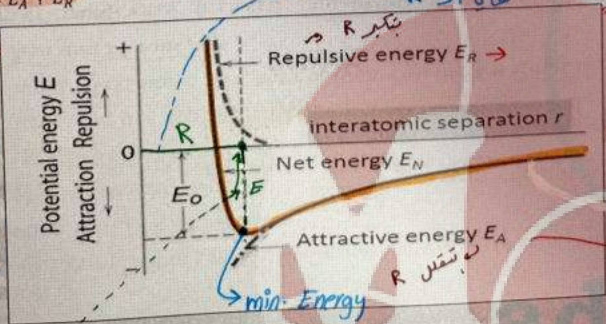
Potential Energy

- In order for molecules to exist in aggregates in gases, liquids, or solids, there must be forces that attract the molecules together.

$E_N = E_A + E_R$

E_A → Attractive
E_R → Repulsive
E_N → min. Energy net

المنحنى البرتقالي عبارة عن ال Net Energy



ال center بعيد عن ال center هاي ال R
بتكبر R
R بتقل
min. Energy

ال x-axis تكون ال radius وال y-axis عبارة عن ال energy
From small R to large R

وهاي ال energy بنظر عند هاي ال R

ask :: believe & recieve
Scanned with CamScanner

ال net Energy عادةً ما تكون zero ← لأنو ع zero تكون
ال surface على ال surface وهاد ما تكون موجود

Potential Energy

- When the repulsive and attractive forces are equal the potential net energy is at a minimum and the system is stable.

تكون لما الذرات بتلامسوا بعض بسبب بالغالب ما تكون موجودة
لا ما يكون في difference تقريباً

Repulsive Forces

- The force is repulsive when the molecules are brought close enough together that the outer charge clouds of the molecules touch, and this causes the molecules to repel each other.
- The repulsive forces are necessary so that the molecules do not destroy each other

Attractive Forces

- The forces that bring molecules together are called forces of attraction.

لأنو صار عنا anion و cation

Yousef Mubarak — Materials Science — 33

Repulsive → برا النواة
attractive → من جوا النواة

Fluctuate charge — 16/3/2022

لأنهم عندهم اكترونات في بداية الأمر ... حسب ... عشان هيك بتشاركوا مشاركة بالالكترونات
الإلكترونات في روابط التشاركية مش مستقرة دائماً (في transfer بس لحظي)
كل مرة تكون عند وحدة من ال atom

الي الالكترونات تكون عندها تكون -ve والتانية +ve

Covalent Bonding →

→ not transfer

- A covalent bond is formed when electrons are shared between atoms.
- Covalent bonds are between non-metals and non-metals or hydrogen and non-metals.

الجزء الأبعد من الجدول الدوري

- They share electrons so that both of them can have a stable octet.

لحظي وليس دائم

- Covalent bonds are HIGHLY directional bonds.
- There are two types of covalent bonds:
  1. Non-polar: result when two exact non-metals equally share electrons. H_2, O_2, Cl_2
  2. Polar: result when two different non-metals share electrons. → HCl → H_2O

* الالكترونات تكون تلف بعلاقة زي رقم 8 حوالين ال Neucleus مرة تكون كلها عند ال atom الأولى ومرة تكون عند ال atom التانية حتى يوصلوا للاستقرار

* يعني فعلياً كل حركة سالبة وموجبة ليس مؤقتة ليست دائمة

Yousef Mubarak — Materials Science

ask :: believe & recieve

Scanned with CamScanner

Covalent bonding:-

1. mostly liq and gases
2. low melting and boiling points

ask, believe & recieve

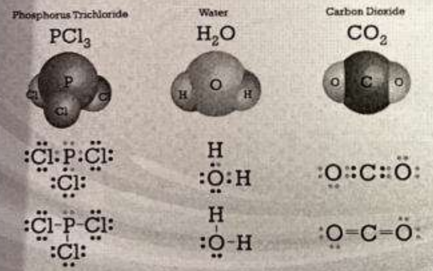
Scanned with CamScanner

* الإشارة السالبة والموجبة ع الatoms هي بتتغير (مش دائمة)

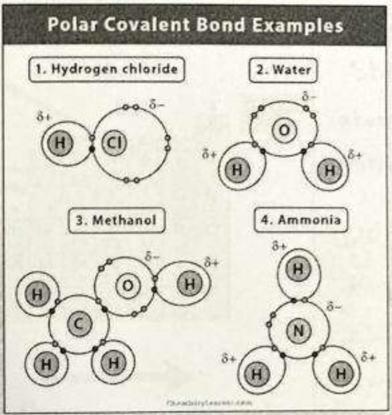
* لما كل الالكترونات تكون حوالين P راح يصير هو المستقر و Cl تظل مستقرة لأنها خسرت e
بس هالحكي تتغير بعد شوي وال P يصير هو ال ve+ وال Cl هي ال ve-

Covalent Bonding

all polar



كل ذرة هتقدر بتشارك مع ٣ ذرات Cl

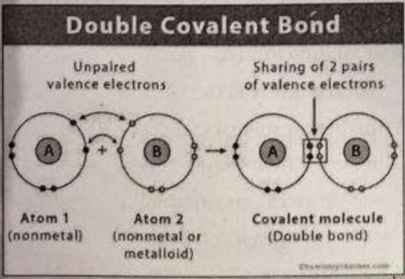


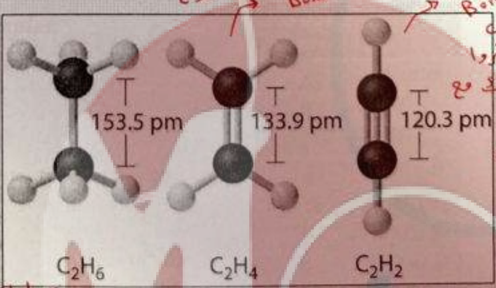
* اللي تكون الالكترونات حواليها تكون ← stable

* الالكترونات تكون تلف بحلقات حوالين الatoms عشان يعملوا stability لكن ليست دائمة

Covalent Bonding

→ single Bond
→ douple Bond
→ Triple Bond





douple Bond بين C و C

Triple Bond بين C و C هون وقفوا تشارك مع الذرات المختلفة

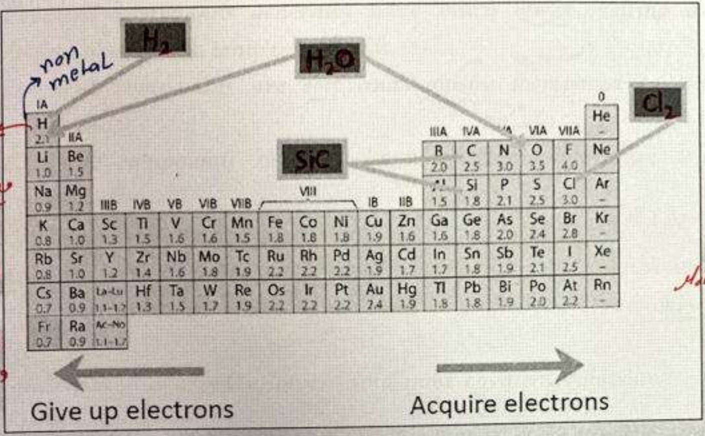
single رابطة بين C و C

ال C بده اربع روابط عشان يوصل للاستقرار

Scanned with CamScanner

كل الغازات الي موجودة بالحياة موجودة على شكل جزيء ← Molecles

Examples of Covalent Bonding



ال molecule هو ال Stable اما الذرة atom هي unstable

حتى العناصر الخاملة موجودة Molecle لأنها مستقرة مع ذلك لا توجد ع شكل Atom انما على شكل Molecules

وجود H هون لانو يشابه مع عناصر المجموعة الاولى انو عنده الكترون واحد بمداره الاخير

Naming Covalent Compounds

تسمية علمية / تسمية تجارية → Common Names

- Covalent compounds are much easier to name than ionic compounds; Examples:
  - ✓ P_2O_5 - diphosphorus pentoxide (مثال ع التجارية)
  - ✓ CO - carbon monoxide
  - ✓ CF_4 - carbon tetrafluoride
- Some important exceptions to this naming scheme occur, examples:
  - ✓ H_2O is "water"
  - ✓ NH_3 is "ammonia"
  - ✓ CH_4 is "methane"

  (مثال على الاسماء التجارية)

No of atoms	Prefix
1	Mono-
2	Di-
3	Tri-
4	Tetra-
5	Penta-
6	Hexa-
7	Hepta-

Madar ask believe & recieve

Scanned with CamScanner

State of most ionic bond → Solid

State of most Covelent Compounds → Liq, gas

عكسه يكون لمادة solid مثل الألماس او SiC ← هدول اقوى من الرابطة الايونية

What are the properties of covalent compounds

- Covalent compounds generally have much lower melting and boiling points than ionic compounds.
- Covalent compounds are soft and squishy (compared to ionic compounds). الإسفنجية غازية او سائلة
- Covalent compounds tend to be more flammable than ionic compounds. سريعة الإشتعال
- Covalent compounds don't conduct electricity in water. → ما بتوصل التيار لما احطها بالماء
- Like dissolves like. This means that compounds tend to dissolve in other compounds that have similar properties (particularly polarity).
- Since water is a polar solvent and most covalent compounds are fairly nonpolar.

ال covelent bond بالحالة الغازية Solid اقوى من ال Ionic bond

← صعبة يذوب عشان ال polarity تبعه مختلفة

← ما هي component pure نستخدمه بحياتنا

← بنستخدم alloys ← يعني مخلوطة فيها اكثر من element

* الالكترونات هي اللي بتنقل الشحنة والحرارة.

← موضوع المادة

Metallic Bonds

- Metallic bonding occurs in metallic substances. الذرة غير وحيدة
- Atoms of metals are held together in this structure by the sharing effect of the electrons amongst all of the atoms. non directional
- This forms a "sea" or a "cloud" of free electrons that floats around the surface of metals. لانه كل وحدة خسرت الالكترونات اللي عندها
- The crystal lattice of metals consists of ions NOT atoms surrounded by a 'sea of electrons' forming another type of giant lattice.

الروابط المعدنية تنقلوا الحرارة بسهولة لانه في الكترونات حرة تتسبح بال structure

كيف الرابطة المعدنية بدها تصير بين Na, Na ؟!

مجموعة من الذرات قريبات من بعض كل ذرة بيتسبح للالكترونات بالمدار الأخير انه يتحرك، ومش لازم الالكترون تبع الذرة يكون قريب منها ← عشان توصل الذرة لحالة ال stable ← راح ساهم على لحظة معينة عدد كافي من الالكترونات من بحر الالكترونات، ومش لازم يكون مصدر هدف الالكترونات معروف

ask believe & recieve

Scanned with CamScanner

Metalic Bonds :-

- good Conductor of electricity
- ductility
- thermal and electrical resistivity

ask believe & recieve

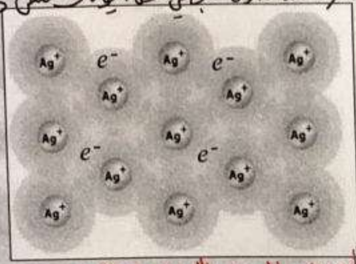
Scanned with CamScanner

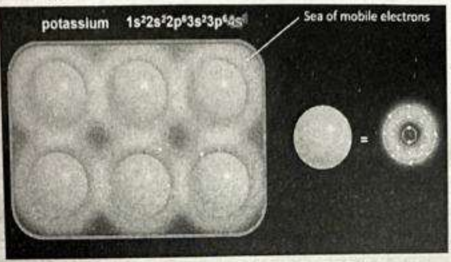
ال structure نوعاً ما عبارة عن ionic structure بس بعضين بالآخر
ال metallic structure
كل واحد عنصر الالكترونات اللي عنده وحطهم بال sea اذن كلها بتتحول لايونات

Metallic Bonds

- A metallic bond is non-directional (bonds form in any direction) → atoms pack closely

لما هدول كلهم خسروا الالكترونات بيصيروا +ve ions، احنا هون بنحكي عن ايونات مش ذرات





عند اي لحظة كل وحدة من هدول الذرات ممكن تكون stable يعني يصير حواليها 8 الكترونات
بس هاد الحكي مش دائم لانو الالكترونات بتسبح يعني اللي كانت stable بعد شوي تصير not stable
. هون قاعدين نحكي عن ايونات مش ذرات

اي تفقد ال e اللي عنده ويطرحها بال cloud اللي حواليه
كل الذرات اللي هون عاملة روابط تشاركية مع بعض بس مش directional Bond

ليش ال melting point عالية لل Metal؟ بسبب قوة الرابطة المعدنية التي تعتبر اقوى بكثير من الروابط التشاركية او الايونية

Properties of Metallic Bonds

- The strong bonding generally results in dense, strong materials with high melting and boiling points. مش سهل اعمل ال melting و boiling للعناصر
- Metals are good conductors of electricity because these 'free' electrons carry the charge of an electric current when a potential difference (voltage) is applied across a piece of metal.
- Metals are also good conductors of heat. This is also due to the free moving electrons.
- Typical metals also have a silvery surface, but remember this may be easily tarnished by corrosive oxidation in air and water. → (بتشعوا) بلمعوا اذا حكيتهم بعد شوي بتلف لانو بصير تفاعل مع البيئة
- Unlike ionic solids, metals are very malleable, they can be readily bent, pressed or hammered into shape. The layers of atoms can slide over each other without fracturing the structure. The reason for this is the mobility of the electrons

بتشوه بسهولة
non-directional bond

عملية التشكيل في المعادن سهلة جداً، بقدر اطرقها بالمطرقة وما تتكسر بسبب الالكترونات الحرة الموجودة في السحابة

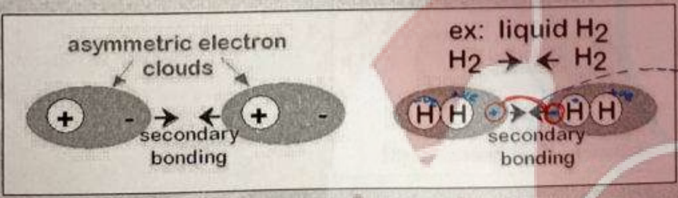
Yousef Mubarak
ask :: believe & recieve
Scanned with CamScanner

Secondary bonding - Intermolecular Forces

- Secondary, Van der Waals, or physical bonds are weak in comparison to the primary bonds.
- Secondary bonding exists between virtually all atoms or molecules, but its presence may be obscured if any of the three primary bonding types is present.
- Secondary bonding forces arise from atomic or molecular dipoles.
- An electric dipole exists whenever there is some separation of positive and negative portions of an atom or molecule.
- The bonding results from the Coulombic attraction between the positive end of one dipole and the negative region of an adjacent one
- Dipole interactions occur between:
  1. Fluctuated induced dipoles.
  2. Permanent dipole bond.
  3. Polar molecule-induced dipole

① Fluctuating induced dipoles

- Very weak electric dipole bonding can take place among atoms due to an instantaneous asymmetrical distribution of electron densities around their nuclei.
- This type of bonding is termed fluctuation since the electron density is continuously changing.



Similar molecule → polar + polar

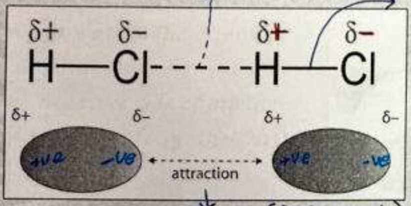
عشان يصير عنا partial charge دائمة لازم يكون عنا

② **Permanent dipoles** → diff. atom in Molecule

- *Coulombic forces also exist between adjacent polar molecules.*
- *Weak intermolecular bonds are formed between molecules which possess permanent dipoles.*
- *A dipole exists in a molecule if there is asymmetry in its electron density distribution.*

هاي الرابطة ما بتتذبذب

permanent dipoles



dipole (permenent)

رابطة تشاركية بين ال atom نفسها

هاي ال dipole دائمة لأنو دائماً ال cl راح اعتبره -ve وال H راح نعتبره +ve بالـ Molecule

لـ تحول من state الى state ← overcome the secondary bond

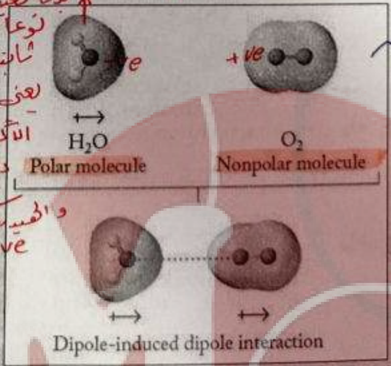
عشان احول HCL من liq الى gas اي حرارة لازم اتغلب عليها؟! ال secondary or bond

عنا 2 Molecule واحد يكون polar والثاني non-polar

③ **Polar molecules - induced dipole**

- *Polar molecules (with asymmetric arrangement of positively and negatively charged regions) can induce dipoles in adjacent nonpolar molecules*

ال partial charges اللي موجودة بدنا نعتبرها نوعاً ما ثابتة يعني الاكسجين دائماً سالب والهيدروجين دائماً +ve



الشحنة اللي عليه متذبذبة مرة +ve ومرة -ve

واحد الشارجة +ve والثاني سالب

adar ask, believe & recieve
Scanned with CamScanner

مثل الماء ، H_2O ← في رابطة تشاركية

اساسية بين H, O والرابطة بين جزيئات

H_2O مع H_2O هي رابطة ثانوية.

لما نعمل boiling الماء على درجة حرارة

100 ← بتحول الماء لغاز

هاد البخار اللي بطلع الـ structure

تاعه هو H_2O ، لو بدي اكسر

جزيء الماء ← بدي افكه

بالحرارة العالية جداً :

دليل انو الرابطة لثانوية

ضعيفة عشان هيك صارله

boiling و evaporation

بينما لو بدي اكسر واعمل فصل لـ H و O

داخل الجزيء نفسه هون بدي حرارة

اعلى بكثير

Madar
ask ;; believe & recieve

Scanned with CamScanner

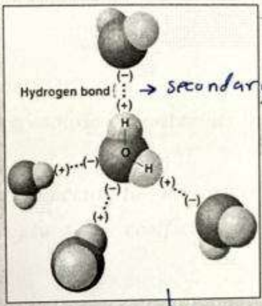
special type of secandry bonding.

↑

بسبب وجود الهيدروجين فيها صنفوها على أنها hydrogen bonding

Hydrogen bonding

- Hydrogen bonding, a special type of secondary bonding, is found to exist between some molecules that have hydrogen as one of the constituents. → HCL, H_2O
- An intermolecular attraction between a partially positively charged hydrogen in one molecule and a partially negatively charged oxygen, nitrogen, or fluorine in a nearby molecule



→ secondary bond

↓ $H_2O + H_2O$

Example:

Hydrogen bond in water. The H end of the molecule is positively charged and can bond to the negative side of another H2O molecule (the O side of the H2O dipole)

Yousef Mubarak   Materials Science

تعتبر من ضمن ال 3 ما بدنا نغطيها لوحدها section

هاي الرابطة موجودة عادةً في الماء

الرابطة اللي موجودة بالزئبق ضعيفة ← لأنه يتبخر بسرعة

المشكلة بخار الزئبق وليس الزئبق نفسه ، بخار الزئبق سام جداً وعلى حرارة 15 يكون تركيز بخار الزئبق في الجو أكثر من 70% من الوضع الطبيعي

Type	Bond Energy	Comments
Ionic	Large	Nondirectional (ceramics)
Covalent	Variable Large-Diamond Small-Bismuth	Directional (semiconductors, ceramics, polymer chains)
Metallic	Variable Large-Tungsten Small-Mercury	Nondirectional (metals)
Secondary	Smallest weak	Directional Inter-chain (polymer) Inter-molecular

→ لازم هاي الـ atom مع هاي الـ atom

لانه بعض المعادن تكون بالحالة السائلة زي الزئبق على الظروف العادية

يستخدم الـ diamond والـ tangsten carbide لـ hardness test ↓ مع أنهم ليسوا معادن

Yousef Mubarak   Materials Science

Madar ask & believe & recieve

Scanned with CamScanner

Bonding and materials properties

- Materials with large bonding energies usually have high melting temperatures.
- There is a correlation between the magnitude of the bonding energy and the state of materials
  - ✓ Solids have large bonding energies
  - ✓ Liquids tend to have relatively lower energies
- The expansion/contraction during heating/cooling of materials is related to the shape of its E(r) curve.
- A deep and narrow 'trough,' which typically occurs for materials having large bonding energies, usually imply a low coefficient of thermal expansion.

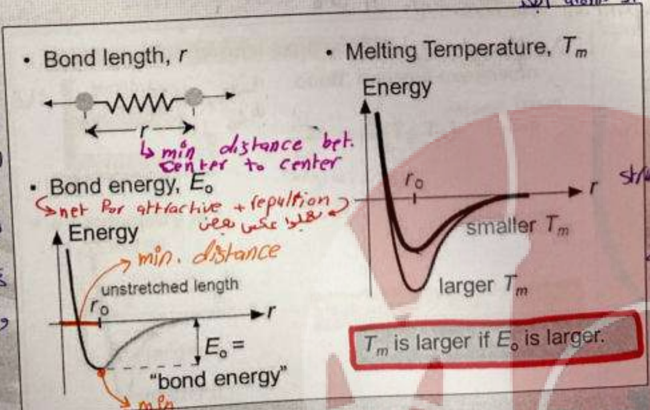
* اذا نزيد ال distance بين ال atom كسرها بصير اسهل وال Tm الها اقل

← شو تأثير ال melting temp. على بعض ال prop. هاي المواد؟

كل ما كانت ال bond length الطول
كل ما كانت ال Tm اقل، لانو صون تصير ال attractive force نوعاً ما اقل كل ما صارت المسافه بين ال atoms ابعد

هاي الخصائص اللي الها صلة مباشرة بال bonding Energy

Properties From Bonding: T_m



* كل ما كانت ال bond Energy اعلى، كل ما كانت ال Tm اعلى لانو لازم نتغلب ع هاي ال energy ونكسرها

شو هي ال Tm؟ هي ال temp اللي بنهار فيها ال structure

← كل ما كان طول الرابطة اطول، كل ما احتاج لـ Energy اقل ونلاحظ انو المواد بكون الها Tm اقل

ro ← عادة الاقل لدها بكون ال radius لل atoms

* كل ما كان ال curve اعمق معناها ال min. Ene. اكبر بالتالي Tm الها اكبر

Scanned with CamScanner

* هاد الجدول فيه مقارنة بين الـ Bonding Energy والـ Melting temp. لمواد مختلفة بناءً على نوع الرابطة.

* الـ Tm تعطيني انطباع قديش الـ bonding Energy قوية

Properties From Bonding: Tm

Bonding Energies and Melting Temperatures for Various Substances

Bonding Type	Substance	Bonding Energy kJ/mol	Bonding Energy eV/Atom, Ion, Molecule	Melting Temperature (°C)
Ionic	NaCl	640	3.3	801
	MgO	1000	5.2	2800
Covalent	Si	450	4.7	1410
	C (diamond)	713	7.4	>3550
Metallic	Hg	68	0.7	−39
	Al	324	3.4	660
	Fe	406	4.2	1538
	W	849	8.8	3410
van der Waals	Ar	7.7	0.08	−189
	Cl_2	31	0.32	−101
Hydrogen	NH_3	35	0.36	−78
	H_2O	51	0.52	0

(ملح / أملاح — NaCl, MgO)

هون بحكي عن جوهر مش تذويب (→ Melting Temperature)

* الـ Hg مع انه مادة معدنية بس الـ Tm اله قليلة جداً وهو اصلاً موجود بالحالة السائلة في درجة حرارة الغرفة.

الـ bonding Energy فيهم اقل ما يمكن (← van der Waals)

Yousef Mubarak — Materials Science

diamond ← اقسى شي بالمركبات الـ Carbon وهو اقوى شيء بالمركبات التشاركية

← كل ما كانت الـ bonding Energy اعلى كل ما كانت Tm اعلى

← كل ما كانت الرابطة اقوى نحتاج حرارة اعلى حتى نوصل لـ Tm

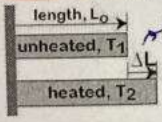
كل مادة الها α مختلف عن الاخرى

* المعادن بشكل عام ← بتتمدد لما نعرضهم لدرجة حرارة اعلى وبتقلصوا لما نعرضهم لدرجة حرارة اقل
* هاد الشي بعمل ← unstability بالمواد

Properties From Bonding: α

خاصية التمدد او التقلص للمواد مع تغير درجة الحرارة (رفع او تخفيض)

* **Coefficient of thermal expansion, α**



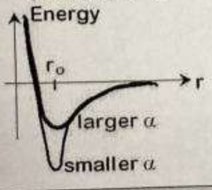
الطول الجديد $= \Delta L + L_o$; التغير بالطول (ΔL)

coeff. thermal expansion

$$\frac{\Delta L}{L_o} = \alpha (T_2 - T_1)$$

(L_o → origenal Length; T_1 → Loest / room temp; T_2 → high)

* α ~ symmetry at r_o



α is larger if E_o is smaller.

* علاقة α مع الـ bonding Energy: علاقة عكسية
* العلاقة بين α والمسافة بين الـ center to center: علاقة طردية

← ΔL بتناسب طردي مع α

← L_o و ΔT ← constant

← المواد اللي عادةً ما يكون فيها expantion كبير نعرف انو هاي المواد الـ bonding Energy فيها اقل من غيرها

Yousef Mubarak — Materials Science

Scanned with CamScanner

لو حطينا ٣ شرائح معدنية (المنيوم - copper - stell
كانوا على نفس الطول بالبداية وعرضناهم لحرارة ورفعنا
حرارة ال ٣ شرائح على نفس درجة الحرارة ، شو الطول
الجديد لهاي الشرائح ؟! الطول راح يزيد عشان ال
بس ما راح يكونوا كلهم نفس الطول بعد التمدد
لانو ال thermal expantion coefficient
تبعه ليس المواد

Madar
ask :: believe & recieve
Scanned with CamScanner

$E_A = \frac{Constant}{r}$

$E_R = \frac{Constant}{r^n}$

* المواد ثانية عادةً اللي عليهم تحديد
هم اللي بتغيروا

Example

For a K^+ - Cl^- ion pair, attractive and repulsive energies EA and ER, respectively, depend on the distance between the ions r, according to

$E_N = E_A + E_R$

$$E_A = -\frac{1.436}{r} \text{ and } E_R = \frac{5.8 \times 10^{-6}}{r^9}$$

For these expressions, energies are expressed in electron volts per K+ - Cl- pair, and r is the distance in nanometers. The net energy EN is just the sum of the two expressions above. Determine:

(i) The equilibrium spacing ro between the K+ and Cl- ions.

(ii) The magnitude of the bonding energy Eo between the two ions.

ال Net هو عبارة عن الجمع as values بغض النظر اذا كانوا +ve او -ve we add them together والـ +ve مع الـ -ve لصيروا يعملوا حذف.

(c) Mathematically determine the r_0 and E_0 Values using the Solution to the above question and Compare these with the graphical result.

* هنا ما بنشتق E_R ولا E_A هنا بنشتق E_N بس

r nm	EA	ER	EN
0.1	-14.36	5800	5785.64
0.15	-9.57333333	150.8713103	141.298
0.2	-7.18	11.328125	4.148125
0.25	-5.744	1.5204352	-4.22356
0.3	-4.78666667	0.294670528	-4.492
0.35	-4.10285714	0.073589456	-4.02927
0.4	-3.59	0.022125244	-3.56787
0.45	-3.19111111	0.007665057	-3.18345
0.5	-2.872	0.0029696	-2.86903
0.55	-2.61090909	0.0012594	-2.60965
0.6	-2.39333333	0.000575528	-2.39276
0.65	-2.20923077	0.000280032	-2.20895
0.7	-2.05142857	0.000143729	-2.05128
0.75	-1.91466667	7.72461E-05	-1.91459
0.8	-1.795	4.32134E-05	-1.79496
0.85	-1.68941176	2.50413E-05	-1.68939
0.9	-1.59555556	1.49708E-05	-1.59554
0.95	-1.51157895	9.20271E-06	-1.51157
[illegible]	[illegible]	[illegible]	-1.43599

Scanned with CamScanner

© Mathematically

$$E_N = E_A + E_R$$

$$E_n = \frac{1.436}{r} + \frac{5.8\times10^{-6}}{r^9}$$

$$\frac{dE_N}{dr} = 0 \text{ , at max and min}$$

بالمشتقة عند ال min و ال max
= 0

* بدي اشتقه بدلالة r واساوي المشتقة بصفر

* بعد ما اشتقه واساوي بال Zero تضل r هي ال unknown الوحيد

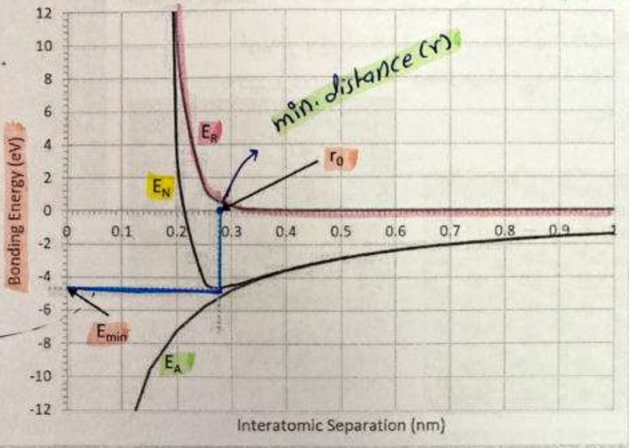
* قيمة r اللي بطلعها هي عبارة عن min. (r)

* برجع باخد r وبعوضها بالمعادلة عشان يعطيني EN

Madar
ask ;; believe & recieve

Scanned with CamScanner

* عشان نطلع ال r ← .min وال Energy min من الرسمة
بناخذهم من E_N بس، مش من E_A ولا E_R
هدول ال min اللي طلعناهم ← بالمشتقة عندهم صفر



هون عنا F
ال min. Energy

المحاضرة انقسمت الى جزئين

الجزء الأول: عدد ال crystalline structure والـ building block units

الجزء الثاني: الوصف هوا هاد

Chapter 3
The Structure of Crystalline Solids
Part A

The University of Jordan
Chemical Engineering Department
First Semester 2021
Prof. Yousef Mubarak

Scanned with CamScanner

← بهاد الجزء راح نحكي بس عن الـ crystalline structure وكيف الكريستال تتشكل جوا هاي المواد ؟!

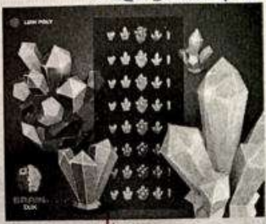
- almost all metals they have crystalline structure.

وهاد الـ cry. str. مش هو عبارة عن single cry. bolycrystalline

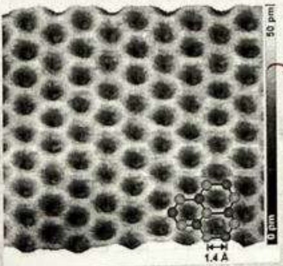
عادةً: معظم المواد في الطبيعة فيها ← boly crystalline

يعني لما اطلع عليها تحت المجهر بشوف عدد ضخم من الكريستال حجمهم صغير وعددهم كبير

single crystals



single crystals



→ boly crystals

* في مواد تتشكل single crystalline structure مثل الملح او الالماس (بلورة وحدة) عشان هيك ما في احجام كبيرة من بلورات الالماس

* كل ما كانت الـ structure بشكل عام مرتبة اكثر كل ما كانت الكريستال اوضح وشكلها مرتب اكثر

* المواد بطبيعتها بتحاول ترتيب حالها جوا الـ structure بس الفرق بين الـ crys. str والـ Amorphous str. هو مقدار الترتيب جوا الـ structure.

Outline

- How do atoms arrange themselves to form solids? → البنية الأساسية تركيبة البلورات او المواد بشكل عام
- Types of solids
  1. Single crystal
  2. Polycrystalline ← معظم المعادن
  3. Amorphous → البلورة ما بتطلع وما بتعطينا شكل البلورات (الترتيب اللي فيه ما بعطيني structure كريستال)
- Fundamental concepts
- Unit cells
- Crystal structures ← هون راح نحكي بس عن المعادن
  1. Simple cubic
  2. Face-centered cubic
  3. Body-centered cubic
  4. Hexagonal close-packed

  } cry. str. ← هدول الـ ٤ اشكال هم اللي بميزوا المعادن من ناحية بنية تركيبية
  ← هل كلهم بعتبروا بالاخير cry. str. ؟ الجواب نعم، لانه لا يعتمد على الـ building block
- Close packed crystal structures ← 2-D planner density (عشان اطلع area)
- Density computations ← 1-D linear density (عشان اطلع length) ، 3-D volumetric density (عشان اطلع volume)
  الفرق انو انا بغير الـ dimentions

ask ;; believe & recieve

Scanned with CamScanner

* راح ناخذ الـ polycrystalline materials لانو معظم المواد تتشكلها
* مواد محدودة على الاصابع اللي بتشكل ← single crystal

Types of solids

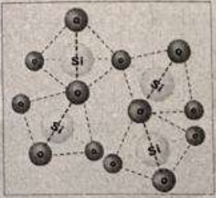
> **Crystalline material**: atoms self-organize in a periodic array: → بترتبوا بشكل منتظم

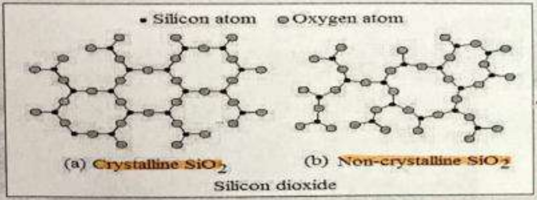
(→ most of metals) (هم الي بترتبوا حالهم →) (راح نركز ع هاد ←)

1. Single crystal: atoms are in a repeating or periodic array over the entire extent of the material → Like diamond
2. Polycrystalline material: comprised of many small crystals or grains → حجم البلورات كثير صغير

(عكسه بتكبر وبصير حجمها ملحوظ)

> Amorphous: lacks a systematic atomic arrangement





Silicon dioxide

الـ structure → مرتب بالـ crystalline وبالـ non-cry. فيه عشوائية وتغير بالشكل تاع الـ building block

انا ما بقدر ادخل ع الـ structure وبصير ارتب الذرات عشان اعمل building block

* هاد الشي بصير طبيعياً
* طبيعة المادة بتكون crystalline او Amorphous يعني احنا ما بنقدر نحكي الـ Amorphous زي الـ crystalline بس بنقدر نحكي الـ crystalline بصير زي الـ Amorphous عن طريق اني ازيد عدد البلورات عشان ما يكبر حجمهم ويعطيني cryst. structure

* الـ building block الواحد ما بعمل كرستال لازم يكون مجموعة كبيرة واصطفوا بطريقة معينة عشان يعطونا الـ crist

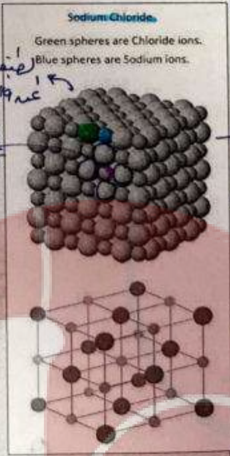
Crystal Structure

> To discuss crystalline structures it is useful to consider atoms as being hard spheres with well-defined radii. (→ بنعبر عن الذرات عبارة عن spheres)

> In this hard-sphere model, the shortest distance between two like atoms is one diameter. (نصف قطر من كل atom)

> We can also consider crystalline structure as a lattice of points at atom/sphere centers.

(اللي فوق عبارة عن طبقة lamella) (هاد الـ str. قاعد بتكرر)



في ترتيب معين للـ Na و CL داخل البلورة

→ these are hyge No. of building block جنب بعض

* الـ building block هي اصغر بنية تكيبية بالـ cry. str.

* تشوا اصغر بنية تكيبية بالكتاب هي الحرف
الحروف بتعمل ← كلمات ← سطر ← فقرة ← الكتاب
بالنسبة للكرستال عنا atoms ارتبطوا اعطونا building block كررنا مع بعض ← Chens

* في ال Amorphous بكون في عشوائية
بال repetition تاعت ال Lattice
ع اساس انها ما تظهر بشكل بلورة.

ال anatomy تاع ال crystals

atoms —(ارتبطوا مع بعض واعطونا)→ building block —(ترابطوا مع بعض اعطونا)→ chains

chains —(تضغطوا مع بعض عشان يعطونا)→ Lamella (Lattice)

Lamella (Lattice) —(اجو فوق بعض عشان يعطونا)→ crystalline structure

* في بعض المواد عندها القدرة انها تعمل هاد ال cry. str.
وفي بعض المواد ما عندها القدرة

* في ال building block مش دائماً في one diameter ال distance
لانو مش دائماً يكون simple cubic

Madar
ask :: believe & recieve
Scanned with CamScanner

total Number of atom in this building block = 4

١٤ الي مشاركين بال stur. بس كل وحدة بتشارك بجزء

*كل مادة في الها building block بتختلف عن المواد الأخرى، يعني في مجموعة من المواد ممكن يكون الهم نفس تقريباً الـ building block لـ simple cubic بس طبعاً كل وحدة فيها diff. density و size of atom لانو بالمسافة بين الـ atoms بتختلف بالتالي الها properties مختلفة.

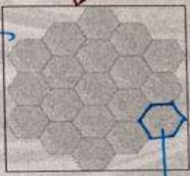
Unit Cell

- The unit cell is the smallest structural unit or building block that can describe the crystal structure.

عملية الـ crystallization هي الـ repetition لـ build. bl. بطريقة منتظمة ←

- Repetition of the unit cell generates the entire crystal.
- Example: 2D honeycomb net can be represented by translation of two adjacent atoms that form a unit cell for this 2D crystalline structure.

لما رتبت هدول الـ bu. bl. جنب بعض ممكن يعطي crystalline structure



Example of 3D crystalline structure:

قديش عدد الـ building block اللي بتشاركوا بنفس الـ atom اللي ع الحواف؟ الجواب 8

كل واحد راح يشارك بـ $\frac{1}{8}$ الـ atom

مش كل الـ atom اللي موجودة ع الحواف مشاركة بالـ building block بتكون مشاركة بأكثر من building block جنب بعض

*الجزء اللي ع الـ atom ما بعرف ما الحوية

* اللي ع الـ face راح يكون $\frac{1}{2}$ الكرة

اذا حطينا بكل الاوجه نصاص بصير عنا $\frac{1}{2}$ 6 عنا 6 وجوه كل وجه فيه نص

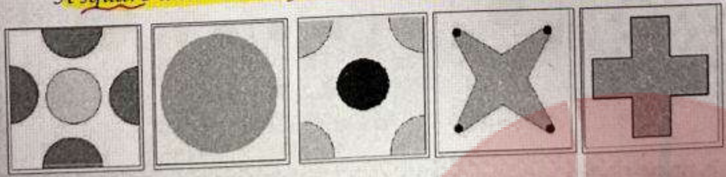
متى بتكون الـ atom مشاركة كلها بالـ building block ؟ لما تكونوا المكعب مش ع الحواف و ع الاوجه (مثل الثريا)

* body centerd cubic → يعني في atom بالوسط

* face centerd cubic → لانو في atom بالـ face

- Different choices of unit cells are possible, for example: A square unit cell may contain any of the following object patterns.

#بشو هم الـ diff. اللي ممكن نتواجدوا؟ building block في عنا مواد مختلفة مش بس المعادن



* simple cubic → ما في لا بالحواف ولا بالاوجه عشان هيك اسمو simple.

- One hexagonal unit cell might look like any of the following.

← هاد اللي درسنا

هدول ما الهم وجود بالمواد المعدنية

دائماً نتعامل بمركز الـ sphere بالـ corner يعني مركز الكرة بالحافة لهاد السبب بتطلع الـ sphere لبرا!

Yousef Mubarak

Madar ask believe & recieve

Scanned with CamScanner

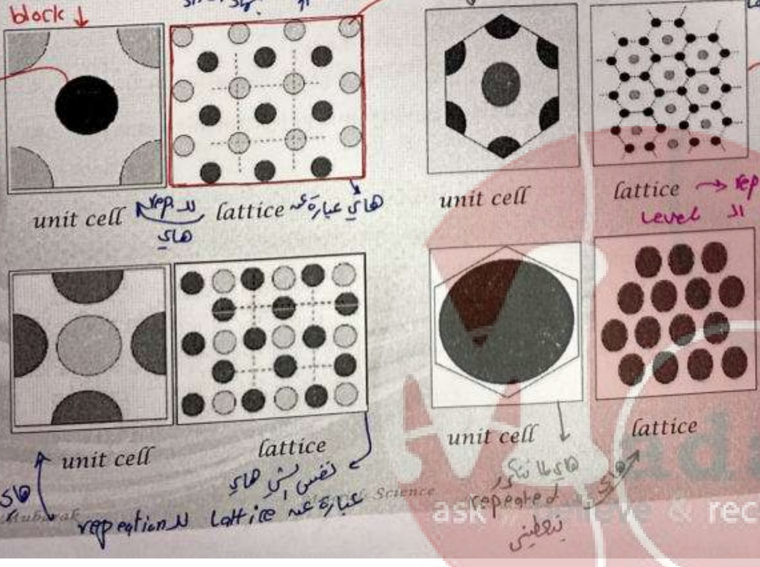
* repeated → building block unit
* pattern → شو شكل الـ Lattice؟ كيف بدك تركب هاي الـ building block بنفس الـ Level

Crystalline Lattices

- A crystal is a repeating array. In describing this structure we must distinguish between the pattern of repetition (the lattice type) and what is repeated (the unit cell).
- The most fundamental property of a crystal lattice is its symmetry. If we initially limit ourselves to 2 dimensions for simplicity, three types are present:

1. Squares
2. Rectangles
3. Hexagons

Yousef Mubarak Materials Science



Yousef Mubarak Materials Science

Madar ask & recieve

Scanned with CamScanner

* the atoms in metals tends to be highly packed → لانو حجمهم صغير بالتالي عددهم عالي وحاولوا يخلوا min. distance بين ال atom

لما نقطع على كتلة $1 cm^3$ من معدن راح نلاقيه اثقل من $1 cm^3$ من خشب لانو كثافة المادة اواد packing eff للمادة اختلفوا

اللي راح ندرسه

Metallic Crystal Structures

* صعب انو نحصل single crystal بالمعادن.
* الروابط اللي تتكون بالمعادن تكون قوية جداً بسبب ال Net Energy → $(E_R + E_A)$

- Metals tend to be densely packed.
- Reasons for dense packing:
  - Typically, only one element is present, so all atomic radii are the same. Same diameter.

المعادن صغيرة بالتالي تركيبها جوا ال building block unit يستخدم معظم الحجم لل bui.bl. بحيث ال packing eff تكون عالية جداً

- Metals tend to be densely packed.
  - Metallic bonding is not directional.
  - Nearest neighbor distances tend to be small in order to lower bond energy.
- Have the simplest crystal structures. → هو تبع المعادن crystalline structure السبب

Yousef Mubarak Materials Science 10

← لو بدنا نحط بغرفة كرات سلة او تنس مين ال packing eff بتكون اعلى ؟ التنس
← لو خلطنا كرات سلة مع كرات تنس ؟ ال packing eff راح تكون اقل من التنس واعلى من السلة
← كل ما كان ال diameter للمادة اصغر ، كل ما كان النوع كله موحد اكثر ، كل ما كانت الـ packing eff للمادة اعلى.

* ال Voidage بتراوح من 25% (min.) الى 50% (max.)
* مستحيل يكون في 100% ← packing eff في ال sphere بسبب وجود الفراغات بين الكرات وهاي الفراغات تتشكل جزء معين من الحجم

- Metals are usually (poly)crystalline. → not single
- Although formation of amorphous metals is possible by rapid cooling.
- The atomic bonding in metals is non-directional ⇒ no restriction on numbers or positions of nearest-neighbor atoms ⇒ large number of nearest neighbors and dense atomic packing.
- Atom (hard sphere) radius, R, defined by ion core radius - typically 0.1 - 0.2 nm → صغير جداً ، نتوقع عدد كبير من ال atom packing eff high

* راح نعتبر انو ال spheresty = 1
* اعلى paking eff لل Metal تقريباً بنوصل 75% ← ربع الحجم space فاضية ما فيه atom
* كل ما صغر حجم الذرة ←

Yousef Mubarak Materials Science

ask ; believe & recieve

Scanned with CamScanner

densely packed. المواد المعدنية تكون

لانو حجم الذرات في المواد المعدنية

تكون صغيرة مقارنة مع الذرات الأخرى

بالتالي بحاول يـ unit cell معينة كحجم

معينه يكون عنا عدد كبير من الذرات

وهاي الذرات بترتيط بأقل طاقة واقل

مسافة من المركز للمركز بالذرات

Madar
ask ;; believe & recieve

Scanned with CamScanner

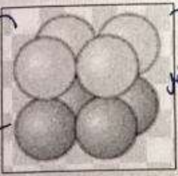
23/3/2022

* معظم المعادن الها واحد من هدول الـ building blocke structre

The most common types of unit cells are:

① The simple cubic (SC)

total equ. atom = 1



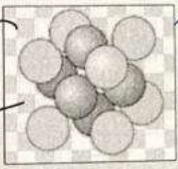
عبارة عن ٤ ذرات في الاعلى والأسفل مع بعضها تقلعت ربع اشوف ٤ ذرات

ما في بالوسط

② The faced centered cubic (FCC).

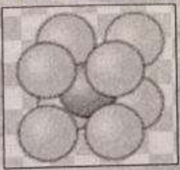
حطينا ذرات ع الـ faces

٦ وجوه كل واحد حطينا فيه atom



صار عدد الذرات هون ٤
عنا ٦ كل وحدة الها نص
و ٨ كل وحدة الها $\frac{1}{8}$

③ The body-centered cubic (BCC)



لسه لشوف ٤ ذرات وفي وحدة بالوسط

كلها موجودة + $8 \times \frac{1}{8}$ = ذرتين

Yousef Mubarak — Materials Science

④ The hexagonal close-packed (HCP) → اصعب واحد

هاي $\frac{1}{2}$

هدول $\frac{1}{6}$

عنا ٣ طبقات بالأسفل والاعلى متطابقات

3 complete atoms

total atom = 6

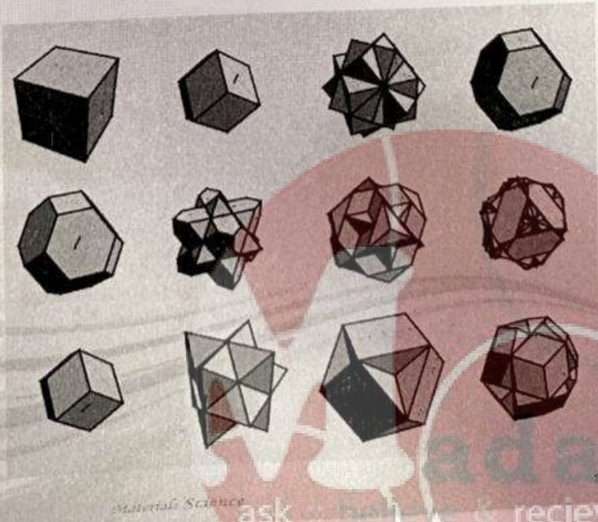
* ٦ ذرات ع الحواف وذرة بالوسط كل وحدة من الذرات اللي ع الحواف بتشارك بـ $\frac{1}{6}$ واللي بتهم بتشارك بـ $\frac{1}{2}$ ← الطبقة اللي بالاعلى والاسفل

* بالوسط عنا ٣ ذرات كاملات بدعموا الطبقة اللي فوق واللي تحت

Simple cubic

Faced centered cubic

Body-centered cubic



Yousef Mubarak — Materials Science

Scanned with CamScanner

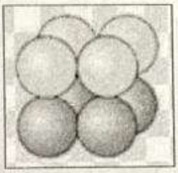
* يمكن معدن واحد بس اللي اله ال simple Cubic structure

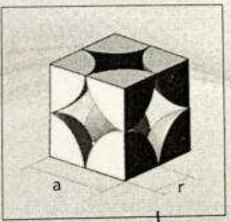
عنده ذرات بس ع الجوانب

هاد ال structure نادر جداً لانو ال packing efficiency تاعو اقل شي

① Simple Cubic Metal

- *Rare due to low packing density.*
  - *Only Po has this structure.*
  - *Close-packed directions are cube edges.*
- *In a metal the atoms are all identical, and most are spherical (the bonding does not depend on direction).*
- *Metals thus tend to adopt relatively simple structures. The simplest is simple cubic.*





مجموعهم بطلعوا one atom

* كل الذرات الها نفس الاقطار، ما في عنا اختلاف بال diameter تاعي ال atom وإلا ما بقدر احسب ال P.E

* الاملاح في الها اشكال معقدة اكثر من المعادن

* one building block

repeated unit

* هاد جزء من crystalline str. او جزء من Lattice

repetation of

Madar
ask ,, believe & recieve

Scanned with CamScanner

* الذرات اللي ع الحواف بتلامس، بس اللي ع ال diagonal ما بتلامس
* في حالة ال simple اي particle في جوارها ذرات ثانية (فوق - تحت - يمين - يسار - امام - خلف)
* الفكرة انو بدنا نشوف كيف وقتا هدول ال cry str. بتصير عملية ترتيبهم، تغيير وازاحة بال layers
لما ذكرنا ال repeated وال patren of rep. هون هنا بنحكي عن ال patren لما نعمل ازاحة
في ال atom نعمل تغير بال patren وبناءً ع هاد التغير تتغير ال cry. structure لهاي المواد

* ال Coord. Number هو عدد الذرات ال max اللي بتلمس ال single atom بشكل مباشر

- Coordination number = 6 atoms (وهو الحكم)
- Number of atoms per unit cell:
  - = 8 corners x 1/8
  - = 1 atoms → to determine the packing eff
- In 3-D the packing efficiency is given by :
  - ✓ P.E. = (Volume of spheres) / (volume of cell)
  - ✓ For a simple cubic lattice, this is:

$$\text{Volume of spheres} = \underbrace{\frac{1}{8}\times 8}_{\text{عدد الذرات}} \times \underbrace{\frac{4}{3}\times\frac{22}{7}\times(0.5a)^3}_{\text{حجم الكرة}}$$

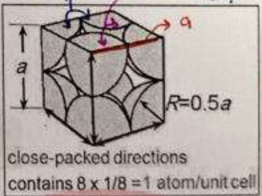
(حجم ال atom اللي موجودين بالحجم الكلي لل cell)

$$\text{Volume of cell} = (a)^3$$

(a → diameter / a → الضلع ، الحجم الكلي)

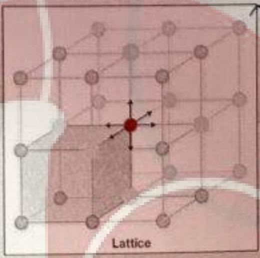
$$\therefore P.E. = \frac{88}{168} = 0.523$$

(P.E. → packing eff ؛ 0.523 → ترتيب مع بعض / فراغ)



هدول بلمسوا بعض — هدول ما بلمسوا بعض

a = 2R
R = 0.5a



هون عنا 8 building block

عشان هيك هاد نادر

كل اللي بالوسط عبارة عن فراغ

* لو بدي اوجد حجم ال cell بدلالة R
الضلع ← $(2R)^3$

ask believe & recieve

Scanned with CamScanner

$\frac{4}{3} \pi R^3$ ← حجم الكرة #

هاي ال R^3 ممكن اربطها بال edge

وممكن اخليها R

* اذا كنت بعرف ال element :بكتبها R^3

لأني بعرف قديش نصف قطر ال atom

Madar
ask ;; believe & recieve

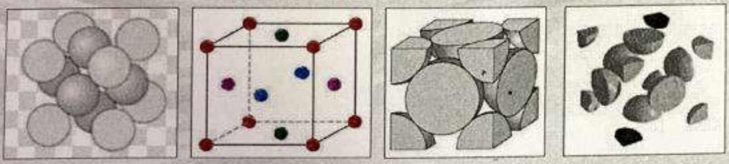
Scanned with CamScanner

موجود لمعادن اكثر من الـ simple.

* كل واحد من الـ faces صار عليه atom بالإضافة لل corner

(2) Face Centered Cubic (FCC) or Cubic Close Packed (CCP)

- Think of this cell as being made by inserting another atom into each face of the simple cubic lattice - hence the "face centered cubic" name.
- The reason for the various colors is to help point out how the cells stack in the solid.

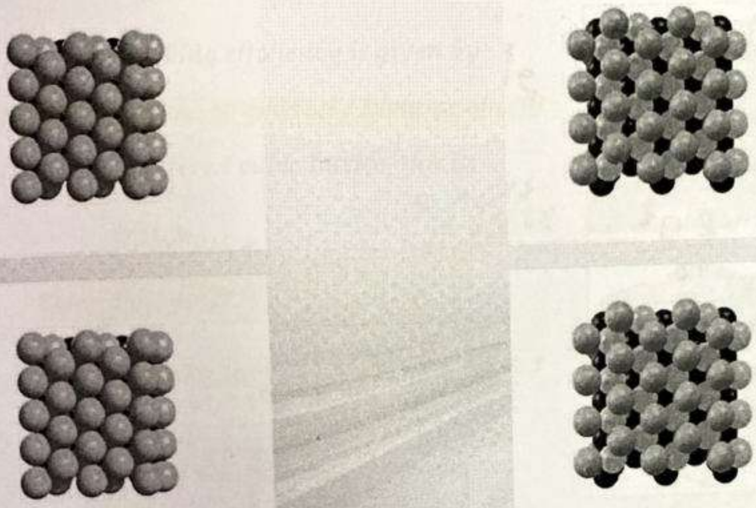


* total Number of atoms = 4 atoms

* the corner particles don't touch each other, but each corner does touch the particle in the face.

Madar
ask ;; believe & recieve
Scanned with CamScanner

ال eff. packing هون اعلى
من ال simple cubic

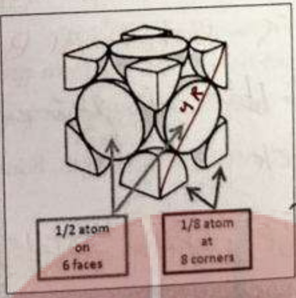


* ال atoms اللي ع الحواف انفصلوا وبطلوا ملامسات بعض

* max. CN in metal is 12

* اعلى ← cor. no ممكن احصل عليه هو 12 اللي موجود بهاد ال structure

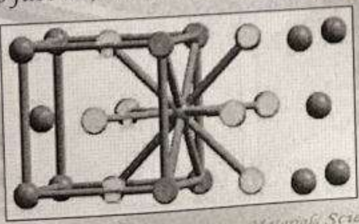
- Atoms touch each other along face diagonals.
  - ✓ Note: All atoms are identical.
- Example: →
  - ✓ Al, Cu, Au, Pb, Ni, Pt, Ag ↗ المعادن الي الها هاد ال structure
- Coordination number = 12 atoms
- Number of atoms per unit cell:
  - = 6 face x 1/2 + 8 corners x 1/8 = 4

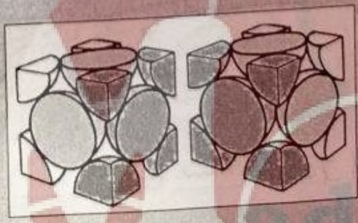


* شو العلاقة بين a و R ؟

$a = \sqrt{8}\,R$

* في بهاي ال building block 8 ذرات عاملات direct contact وال 4 ذرات الباقيات بعيوا من other building block





Madar
ask ;; believe & recieve
Scanned with CamScanner

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

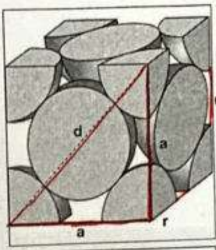
$2a^2 = (4R)^2$

$2a^2 = 16R^2$

$a^2 = 8R^2 \rightarrow a = \sqrt{8}\,R \rightarrow$ هلأ بعوض بدلالة R او a

* شو علاقة a مع R هون؟!

$d = 4R$ هلأ نطبق فيثاغورس ←



* الذرات اللي ع الحواف انفصلوا عشان هيك طلت لانو a=2R صار بينهم مسافة

- In 3-D the packing efficiency is given by :

  ✓ P.E. = (Volume of spheres) / (volume of cell)

- For a face centered cubic lattice, this is:

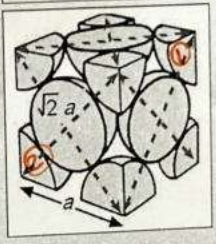
$$\text{Volume of spheres} = 4 \times \frac{4}{3} \times \frac{22}{7} \times \left(\frac{a\sqrt{2}}{4}\right)^3$$

(عدد الذرات ← 4 ، حجم الكرة ، عوضنا ال R بدلالة a)

$$\text{Volume of cell} = (a)^3$$

$$\therefore P.E. = \frac{995.6}{1344} = 0.7405$$

نفس ال P.E لل hexa. لانو بكون فاتي الكل من هاي ال P.E



* الذرات بتتلامس بال Face diagonal مش بال main diagonal

* ال body diagonal لما امد خط من ① الى ② وبخترق ال building. بالداخل

* الكريستال هاد ال str. صارت اثقل ← لانو الذرات فيها packing اكثر بال building block

* الحوافة particles اللي ع الحواف ما تتلامس مع بعض

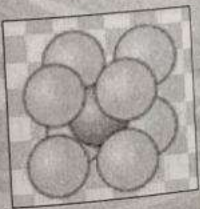
* كل وحدة من اللي ع الحواف تتلامس اللي بالنص

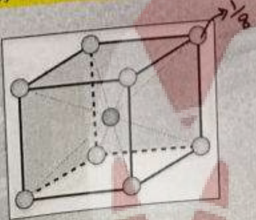
* ال iron الها هاد النوع من ال str. ع الحرارة تاعت الغرفة

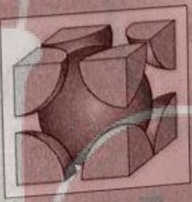
* تتحول ل faced. عند حرارة $912°C$ ←

③ Body Centered Cubic Structure (BCC)

- Think of this unit cell as made by stuffing another atom into the center of the simple cubic lattice, slightly spreading the corners.
- The corner spheres no longer quite touch one another, but do touch the center.
- Examples: Cr, W, Fe (α), Tantalum, Molybdenum







Yousef Mubarak Materials Science

Madar ask :: believe & recieve

Scanned with CamScanner

هون حكت اجي انو

① $R = \frac{a}{\sqrt{8}} \rightarrow \frac{a}{2\sqrt{2}}$

أو

$2a^2 = 16R^2$

$R^2 = \frac{2a^2}{16}$

② $R = \frac{\sqrt{2}\,a}{4} \rightarrow \frac{\sqrt{2}\,a}{2\times 2} \rightarrow \frac{\sqrt{2}\,a}{\sqrt{2}\sqrt{2}\times 2}$

$= \frac{a}{2\sqrt{2}}$ ← صارت زي الي فوق

لو رتبناها راح ترجع نفس ①

نقدر استخدم اللي بدي اياها

كيف بتحول ال iron - تلقائياً عند حرارة 912 من Faced... الى Body... ؟

الذرات بترجع بتركب حالها في another building block

تلقائياً لوحدهم عند حرارة 912

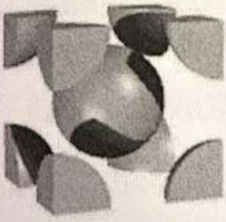
بضلوا ع هاد ال str من 912 الى 1400

وبعدين برجع ال building block unit of iron

بتحول من body... الى faced...

Madar ask ;; believe & recieve

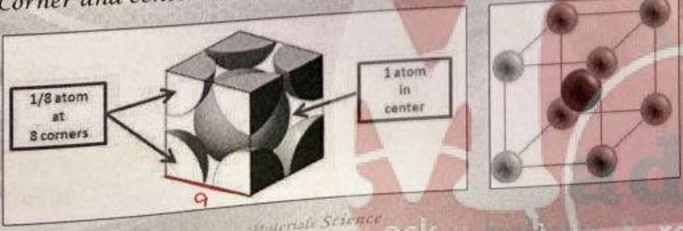
Scanned with CamScanner



* كل ذرة في ٤ فوقها و ٤ تحتها بلمسوها عشان هيك CN=8
* الـ atoms اللي على الـ faces اتصلوا والـ face diagonal بحكينا غير متصل

- *The hard spheres touch one another along cube diagonal*
- *The coordination number, CN = 8*
- *Number of atoms per unit cell, n = 2*
  - *1 center atom shared by no other cells: 1 x 1 = 1*
  - *8 corner atoms shared by eight cells: 8 x 1/8 = 1*
- *Corner and center atoms are equivalent*

* الـ direct contact هون موجود بالـ body diagonal



Aldar ask , believe & recieve
Scanned with CamScanner

كيف بدنا نطلع a ؟!

* هون ما نقدر اطلع الـ Volume بدلالة الـ R

* شو علاقة a مع R ؟!
$R = \frac{a\sqrt{3}}{4}$

⇒ *the cube edge length,* $a = 4R/\sqrt{3}$

$$\text{Volume of spheres} = 2 \times \frac{4}{3} \times \frac{22}{7} \times \left(\frac{a\sqrt{3}}{4}\right)^3$$

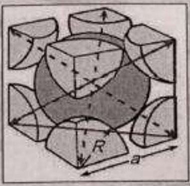
(عدد الذرات ← 2) (حجم الكرة)

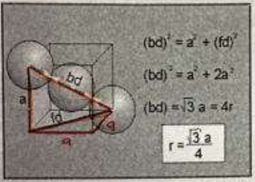
$$\text{Volume of cell} = (a)^3$$

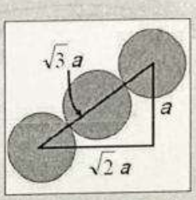
$$\therefore P.E. = \frac{914.5}{1344} = 0.6805$$

→ الـ faced اقل من الـ simple. بشوي واعلى من

- *The higher coordination number and packing efficiency mean that this lattice uses space more efficiently than simple cubic.*







Yousef Mubarak — Materials Science

bd = 4R

* نعمل فيثاغورس ع القاعدة عشان اطلع fd
ومرة فيثاغورس على المثلث التركاني عشان اطلع علاقة a مع R

* نلاحظ انو 1/3 المادة هو عبارة عن فراغ
و 2/3 عبارة عن atoms موجودة لهاد الـ Volume

---

* الارتفاع ⇐ C = 1.633 a

* كل الأوتار الموجودة بالـ face طولها 4R ← يعني لو كـ ضعف الـ edge
وكل الـ edges هي 2R

(4) Hexagonal Close- Packed Crystal Structure

→ شوية اصعب واحد فيهم ؟!

- *HCP is one more common structure of metallic crystals.*
- *Six atoms form regular hexagon, surrounding one atom in center.* الارتفاع (c)
- *Another plane is situated halfway up unit cell (c-axis), with 3 additional atoms situated at interstices of hexagonal (close-packed) planes.*
- *Example: Cd, Mg, Zn, Ti have this crystal structure.*

هاد لو كـ طوله 4R

2R = a
identical
Complete

هون عندي قاعدة وارتفاع لهاد الـ Hexagon.
hexagon مش square

Yousef Mubarak — Materials Science

Scanned with CamScanner

① فيثاغورس ع القاعدة

$$2a^2 = fd^2$$ ⟶ بنخليها مربعة

لأنو راح احتاجها

هيك بعد شوي

② فيثاغورس مرة ثانية بعد ما نعوض

مكان fd^2 بـ $2a^2$

$$a^2 + 2a^2 = (bd)^2$$

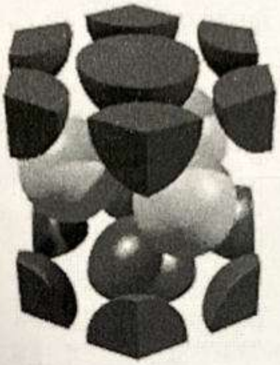
$$3a^2 = 16R^2$$

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

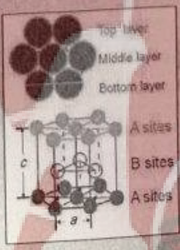
$$R = \frac{\sqrt{3}\,a}{4}$$

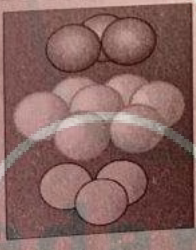
Madar
ask :: believe & recieve

Scanned with CamScanner



- The hexagonal close packed structure can be made by piling layers in the A - B - A - B - A - B . . . . . sequence.
- Unit cell has two lattice parameters a and c.
- Ratio c/a = 1.633 → اذا يعرف ال a بقدر اطلع قيمة ال c
- The coordination number, CN = 12
- Number of atoms per unit cell, n= 6.
  - ✓ 3 mid-plane atoms shared by no other cells: 3 x 1 = 3
  - ✓ 12 hexagonal corner atoms shared by 6 cells: 12 x 1/6 = 2
  - ✓ 2 top/bottom plane center atoms shared by 2 cells: 2 x 1/2 = 1





c = 1.633 a

ask believe & recieve

Scanned with CamScanner

➤ In 3-D the packing efficiency is given by :

✓ P.E. = (Volume of spheres) / (volume of cell)

عدد الذرات

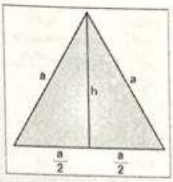
$$\text{Volume of spheres} = 6 \times \frac{4}{3} \times \frac{22}{7} \times (r)^3$$

حليناها بدلالة r^3

$$\text{Volume of spheres} = 25.1428(r)^3$$

$$\text{Volume of cell} = 24\sqrt{2}(r)^3$$

$$\therefore P.E. = 0.7405$$



$a^2 = h^2 + (a/2)^2$

$\Rightarrow h^2 = a^2 - a^2/4$

$\Rightarrow h^2 = (3a^2)/4$

Or, $h = ½(\sqrt{3}a)$

Area of Triangle = ½ × base × height

$\Rightarrow A = ½ \times a \times ½(\sqrt{3}a)$

الحجم = مساحة السطح x الارتفاع

28/3/2022

* بالكتب بكون حاطلي قيم الـ actual density لكل المواد.
* بدنا نعمل estimation للـ density بكون based ع الـ building block يعني على مستوى scale كتير صغير.

* كيف نعمل Estimation للـ density؟

Density Computations

➤ Since the entire crystal can be generated by the repetition of the unit cell, the density of a crystalline material,

$$\text{Density} = \rho = \frac{\text{Mass of Atoms in Unit Cell}}{\text{Total Volume of Unit Cell}}$$

$$\rho = \frac{nA}{V_C N_A}$$

theoretical density of the material

Where: n = number of atoms/unit cell

A = atomic weight

V_c = Volume of unit cell = a^3 for cubic

N_A = Avogadro's number = 6.023×10^{23} atoms/mol

* كيف راح نحدد الـ density بهاي الطريقة؟!
لما اعرف حجم الـ b.b عند طول الـ edge وبعرف كم عدد الـ atom جوا هاد الـ b.b (6/4/2/1) اذا بعرف عدد ووزن الـ atom الواحدة كم بقدر اعرف كديش وزن الـ building b. بقسمه على حجم الـ b.b ← بالمعروض بعطيني الـ density لهاي المادة.

* عشان اعرف عدد الـ atom شو اللي لازم يكون معروف عندي؟! بدي الـ structure، شو الـ b.b لهاي المادة، اذا كنت عارفة الـ b.b للمادة بقدر اعرف عدد الذرات فيها
* وعند الـ b.b اذا بعرف الـ atomic radius راح اكون قادر اني اعرف الـ edge ←
* عديته نشتغل ع مستوى b.b يعني بالثانية

Medar ask & believe

Scanned with CamScanner

في اكثر من طريقة عشان احسب PE هون

①

$$Volume = Area \times C$$

$$C = 3.266R$$

$$Area = \frac{1}{2} \times base \times height$$

$$= \frac{1}{2} \times R \times h$$

فيثاغورس عشان اطلعه

$$h^2 + R^2 = 4R^2$$

$$h = \sqrt{3}R$$

عدد المثلثات

$$= \frac{1}{2} \times R \times \sqrt{3}R \times 6$$

$$Area = 6\sqrt{3}R^2 \longrightarrow Volume = 6\sqrt{3}R^2 \times 3.266R$$

$$= 33.94R^3$$

②

$$Area = 2 \times \left(\frac{1}{2} \times (4R + 2R) \times h\right)$$

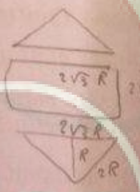
بجيبه فيثاغورس

$$= 2\left(\frac{1}{2}(6R) \times \sqrt{3}R\right)$$

$$= 6\sqrt{3}R^2$$

$$Volume = Area \times h = 33.94R^3$$

③



$$Area = 2 \times \left(\frac{1}{2} \times 2\sqrt{3}R \times R\right) + 2R \times 2\sqrt{3}R$$

$$= 6\sqrt{3}R$$

$$Volume = 33.94R^3$$

Madar
ask :: believe & recieve
Scanned with CamScanner

ال atomic r. راح يعطيش قديش قطر الذرة على اساس انو الذرات عندك homogeneous sphere يعني بدنا نعتبر ال sphericity الهم = 1 *

Characteristics of Selected Elements

(Atomic Weight → exp. density; Crystal Structure → building block نوع ال)

Element	Symbol	Atomic Number	Atomic Weight (amu)	Density of Solid, 20°C (g/cm³)	Crystal Structure, 20°C	Atomic Radius (nm)	Ionic Radius (nm)	Most Common Valence	Melting Point (°C)
Aluminum	Al	13	26.98	2.71	FCC	0.143	0.053	3+	660.4
Argon	Ar	18	39.95	—	—	—	—	Inert	−189.2
Barium	Ba	56	137.33	3.5	BCC	0.217	0.136	2+	725
Beryllium	Be	4	9.012	1.85	HCP	0.114	0.035	2+	1278
Boron	B	5	10.81	2.34	Rhomb.	—	0.023	3+	2300
Bromine	Br	35	79.90	—	—	—	0.196	1−	−7.2
Cadmium	Cd	48	112.41	8.65	HCP	0.149	0.095	2+	321
Calcium	Ca	20	40.08	1.55	FCC	0.197	0.100	2+	839
Carbon	C	6	12.011	2.25	Hex.	0.071	~0.016	4+	(sublimes at 3367)
Cesium	Cs	55	132.91	1.87	BCC	0.265	0.170	1+	28.4
Chlorine	Cl	17	35.45	—	—	—	0.181	1−	−101
Chromium	Cr	24	52.00	7.19	BCC	0.125	0.063	3+	1875
Cobalt	Co	27	58.93	8.9	HCP	0.125	0.072	2+	1495
Copper	Cu	29	63.55	8.94	FCC	0.128	0.096	1+	1085
Fluorine	F	9	19.00	—	—	—	0.133	1−	−220
Gallium	Ga	31	69.72	5.90	Ortho.	0.122	0.062	3+	29.8
Germanium	Ge	32	72.64	5.32	Dia. cubic	0.122	0.053	4+	937
Gold	Au	79	196.97	19.32	FCC	0.144	0.137	1+	1064
Helium	He	2	4.003	—	—	—	—	Inert	−272 (at 26 atm)
Hydrogen	H	1	1.008	—	—	—	0.154	1+	−259
Iodine	I	53	126.91	4.93	Ortho.	0.136	0.220	1−	114

ليش في اختلاف بين ال theo. وال exp. ؟ لانو انا لما حسبت ال ρ افترضت انو كل ال atoms اللي موجودين بال building block عبارة عن cr يعني انو pure بس بالطبيعة ما عنا pure material ، احنا بنستخدم مواد غير نقية حتى لو ما كانت alloy إلا ما يكون فيها نسبة من ال impurities .

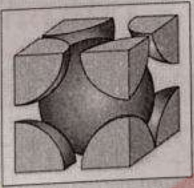
Theoretical Density, ρ

- Ex: Cr (BCC) → the cry. str.

Atomic weight ← $A = 52.00\ g/mol$

$R = 0.125 nm$

$n = 2$ (عدد ال atom)



$V = (a)^3$

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

$$a = \frac{4}{\sqrt{3}}(0.125) = 0.2887\ nm$$

* الكروم اللي بنستخدمه عبارة عن سبيكة فيها كروم بنسبة عالية جداً بس فيها ذرات ثانية، هاي الذرات الثانية ممكن تكون اثقل او اخف، ال ρ تاعتها ممكن تكون اقل او اعلى من ال cr بالتالي بتعمل هاد الاختلاف.

$$\rho = \frac{2 \times 52.0}{(0.2887 \times 10^{-9})^3 \times 6.023 \times 10^{23}} = 7175961.9\ \frac{g}{m^3}$$

(n, A; $V_C = (a)^3$; N_A)

$$\rho = 7175961.9\ \frac{g}{m^3}\frac{m^3}{(100\ cm)^3} = 7.176\ \frac{g}{cm^3} \quad \text{Theoretical}$$

The actual density is 7.19

* لشكل مختصر ← ال exp. بتكون لـ impure material

ال theo. بتكون لـ pure material

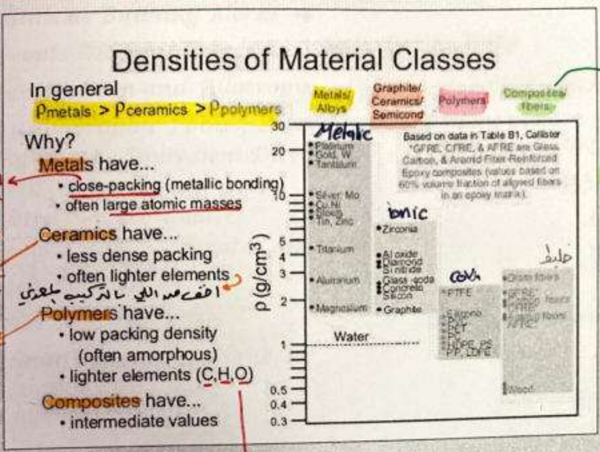
adar ask :: believe & recieve

Scanned with CamScanner

ملاحظ انو الـ م للمعادن اعلى شي ← بسبب الـ packing eff.

في مبلمرات كونها بنضافهن لمعادن

Densities of Materials Classes



اقل distance بين الـ r صغيرة والـ E تكون min

metal + non metal

اخف من اللي بالتركيب بلمعدني

اصغر او اقلهم

الـ composites ← خليط من مواد، ممكن يضاف عليها clay، ionic str، metalic str، بالإضافة لـ covalent str. اللي موجود، يعني ممكن تكون مبلمرات ويضاف عليها الاملاح (بشكل عام البلورات اللي تتكون من فلز + لا فلز)

عبارة عن دمج، ممكن تكون polymar او non polymar او ceramic او الـ metal

بالتالي الـ م تاعتهم بترجع زيد نسبة الـ additives اللي بنضاف

هدول اخف شي ممكن تكونوا بالـ element بالتالي الـ م تبعت هاي بلمبلمرات بتكون اقل

Chapter 3

The Structure of Crystalline Solids Part B

The University of Jordan
Chemical Engineering Department
First Semester 2021
Prof. Yousef Mubarak

ask believe & recieve
Scanned with CamScanner

Outline

- Crystals as Building Blocks → شو انواع الـ cry. وليه بتكون موجودة وكيف بتكون بالـ mat
- Isotropic OR Anisotropic → شو الفرق بينهم ؟
- Polymorphism and Allotropy → عبارة عن str. للمواد ، متى بتكون Allotropy ومتى poly..؟
- Crystallographic Points, Directions, and Planes → : بدنا نصير نقدر نوصف هوا الـ p.o.b لـ direction حتى لاحقاً نستخدم هاد الـ direction لحتى نحدد الـ Linear density و الـ planar density (ع.ع فيه كل)
  1. Symmetry Equivalent Directions
  2. POINT Coordinates
  3. Direction Coordinates
  4. How Do We Designate Lattice Planes?
- Linear Density → 1-D
- Planar Density → 2-D
- Designating Lattice Planes

* كنا نعرف الـ density الـ bulk او الـ p الـ Volumetric اللي فهمنا فيها ع الـ V وبتكون بالـ 3-D

\# single cry. is very strong

* مثال تصير ع حالة ما بنربط استخدم فيها الـ poly-- ولازم استخدم single cry. str. الـ cutting tools او المواد اللي بنستخدمها بالـ hardness test

* الـ cutting tools لازم تكون ع single cry. حتى تكون قوية جداً وما يصيرلها اشي وهي بتقطع المعدن

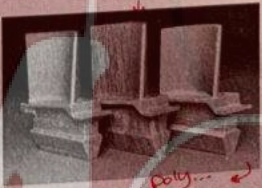
Crystals as Building Blocks

- Some engineering applications require single crystals → ما بنفع استخدم poly....

Diamond single crystals for abrasives

- Properties of crystalline materials often related to crystal structure.

Ex: Quartz fractures more easily along some crystal planes than others.



Turbine blades

poly...

\# بالـ poly.. عندي الـ grains boundary بين الكريستال هاي تكون مناطق ضعيفة ، البلورة قوية بس مجموعة بلورات بكون في بينها نقاط ضعف

\# لو كانت الـ poly- ممكن تصير تتكسر. لانه الـ poly- تصير تتكسر ع الـ ust planes الـ crystal تعيف وليه حي مع crystal هاد تسمية crystal grain boundary ← تصير تتكسر من عندها اسهل

\# بس هوا الـ cry. نفسها تتكون قوية جداً!

ask :: believe & recieve

Scanned with CamScanner

← لما تقول polycrystalline بدي اشوف

- شو طبيعة ال cry. str
- شو ال size لل cry.
- قديش ال grain boundary
- كيف عادة ال mechanism بصير بال str.

Madar
ask believe & recieve

Scanned with CamScanner

يعني عنا diff building block بدهم يعملولنا هاي البلورة

البلورة بتتشكل من chains

بعض ال str. يكون مطلوب انو يكون في عنا مقاومة في جميع الاتجاهات بالتالي ال orienation لازم يكون random orientation of chains in all direction

Polycrystalline Materials

- Most engineering materials are polycrystalline.
- In polycrystalline materials, grain orientations are random, so bulk material properties are isotropic.
- Some polycrystalline materials have grains with preferred orientations (texture), so properties are dominated by those relevant to the texture orientation.
- If grains are randomly oriented, overall component properties are not directional. case A

الاتجاه ما فرقلنا شي — زي الصورة الي فوق

بعض ال str. انا بدي اياه يقاوم باتجاه واحد، اذاً لازم اوجه ال orientation باتجاه واحد عشان تكون المقاومة اعلى بهاد الاتجاه وما يهمني الاتجاه الاخر.

المنظم اقوى من العشوائي

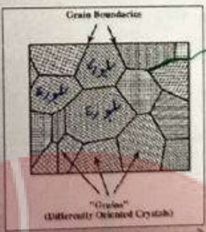
الشد اللي بالطول (تحت) عليه مقاومة اكبر من الشد اللي بالطول (فوق) لانو عدد ال chains اللي جاي بالطول تحت اعلى من عدد ال chains الطولية فوق

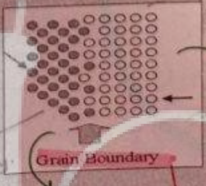
---

* اذا بوخذ ال building block itself ← Anisotropic (لوحدها)
* بنلاحظ انو ال orientation بكل cry. بختلف عن ال orientation بال cry. اللي جنبها
* as bulk لما يكون مجموعة بلورات ← isotropic

Single Crystals and Polycrystalline Materials

- Single crystal: atoms are in a repeating or periodic array over the entire extent of the material. (مواد نادرة، عددها قليل)
- Polycrystalline material: comprised of many small crystals or grains. The grains have different crystallographic orientation. (عنا عدد كبير من ال cry.)
- There exist atomic mismatch within the regions where grains meet. These regions are called grain boundaries. case A





هون ال growth of orientation (///) ← بهاد الاتجاه

يتحكم بال size of cry. عن طريق ال cooling rate، اذا قللنا ال cooling rate بنعطيه فرصة حجم ال cry. يزيد والعكس

Scanned with CamScanner

كونه عنا اكثر من .cry كل بلورة في الها orientation .. مختلف في ال Lamellas اللي جوا
يعني كل Lamlla تنمو باتجاه ← هاد شو بأثر ع ال str ؟

ال orienation عامل كثير مهم بال .str بالخصائص الميكانيكية للمادة

الصورة اللي فوق ← مواد غير معتمدة على ال direction
الصورة اللي تحت ← مواد معتمدة على ال direction

مواد حسب ال orientation اللي جوا ال .str راح يكونوا نوعين

① مواد ال prop تاعتها . مختلفة في diff. directions (الصورة الثانية)
لو بدي اعمل شد بلاقي الطولي اقوى ، العرضي اقل ، بعدين ال diagonal
⟵ Anisotropic material ⟵

② مواد ال .prop فيها تقريباً متقاربة في any direction (الصورة الاولى)
⟵ isotropic Material ⟵
لهاذا حاد عليها قوة بأي اتجاه راح
تقاوم تقريباً لنفس المقدار

ليش نحكي عن ال bulk انو isotropic ؟
لانو عنا عدد كبير من ال .cry بعدة all directions ال orientation
فيهم متوزع بكل الاتجاهات .

ال Falliar ما بصير جوا البلورة لما يكون عنا polycrystalline
بصير ع ال grain boundary ← الحدود الفاصلة بين البلورات

شو مشكلة هاي ال grain boundary ؟! فيها خلل بالنسبة ل .cry. str
ال material itself فيها impurities راح يكونوا موجودين بال grain boundary
وفيها كمان mis matches وفيها bulk volume والعديد من الاشياء
اللي تسبب خلل بال .str بالتالي هاد الحد الفاصل بين البلورات
ضعيف ما فيه روابط كافية تقاوم القوة اللي تطبقه عليه

ask :: believe & recieve
Scanned with CamScanner

عدد الـ cry. يعتمد على :-

① cooling rate

② other Nucleating agent

اذا في عنا Nu. ag. ممكن تكثر عدد البلورات

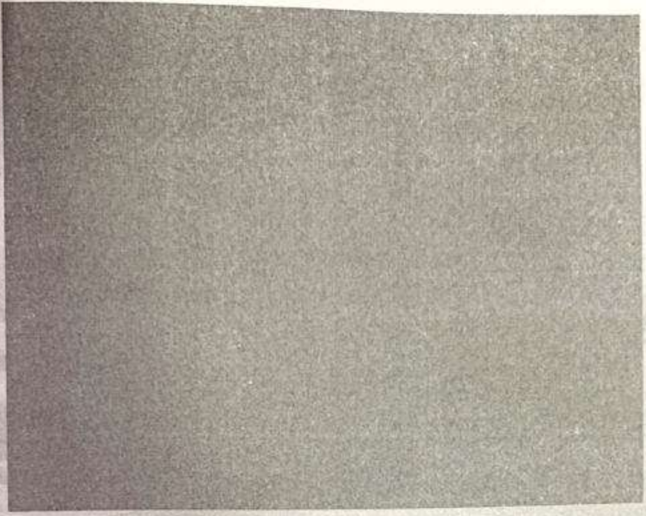
اذا ما في منا Nuc.ag ممكن تقلل عدد البلورات

بالتالي هاد راح يأثر على

- No. of cry.
- size of cry.
- grain boundary
- strength of the material

Madar
ask :: believe & recieve

Scanned with CamScanner



indegment point ← بصير contact بين two crystal

صار في تصادم بين البلورات وهاي بداية ال grain boundary
وهاي البلورات بعملوا block ع بعض وبطل في نمو بينهم

هاد ال Line اللي تتشكل بين البلورات تعتمد على :-
١- طبيعة البلورة
٢- growth rate of crystal
← اذا واحد منهم ال growth rate اعلى من الثاني ما رح نشوف خط مستقيم

هاد ال Line (اللي بين البلورات) مهم جداً بال prop. لانو ممكن يطلع اشكال عديدة (straight , curve , اشكال عديدة) ← تعتمد على :-
1- time of crystal
2- growth rate of each cry.

البلورة محاطة بـ grain boundary حواليها

الطول الـ grain boundary الـ total بزيد كل ما كانت عدد البلورات اكثر وحجمها اصغر

ask ;; believe & recieve

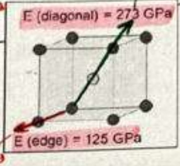
Scanned with CamScanner

(HCP , BCC , FCC , SC) يعني الـ

ليش الـ building block عبارة عن Anisotropic ؟ لانو بالـ b.b في عنا faces بـ contact و edges في contact و diagonals بـ contact تختلف عن بعض

Single Crystals

- Properties vary with direction: anisotropic.
- Example: the modulus of elasticity E in BCC iron.



(BCC) هاي القوة طبقناها ع الـ body diagonal.

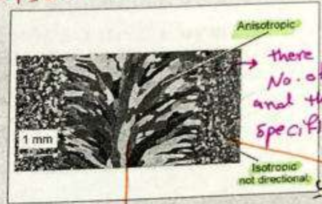
المقاومة بالـ diagonal تكون اقوى

وهاي القوة طبقناها ع الـ edge

في continuity بالـ body diagonal بالتالي لما اطبق قوة ع الـ b.b ما راح يكون عندي isotropic prop

Polycrystals

- Properties may/may not vary with direction.
- If grains are randomly oriented: isotropic. ($E_{poly\ iron}$ = 210 GPa)
- If grains are textured, anisotropic.



there are infinte No. of crystal, and they dont have specific orientation

هاد راح يعطي نفس الـ prop.

هون راح تكون الـ prop مختلفة (المقاومة بالطول راح تكون اعلى شي)

Yousef Mubarak

الـ 3 atoms اللي موجودين بالـ body diagonal ← متصلين مع بعض والـ distance بينهم min. بالتالي الـ Force اللي راح احطها راح تتقاوم من atoms continuous ، بينما الـ Force اللي على الـ edge راح تكون المقاومة عليها اقل لانو الـ atoms منفصلين على الـ edges

لو بدي احط الـ Force بين الـ atoms على الـ Face diagonal راح تكون E > 125 لانو الـ sepration راح يكون اعلى بالتالي المسافة بين الـ atoms اكبر

احنا تقيس ع الـ scale تبع الـ bulk مش ع الـ scale تبع الـ building

Isotropic OR Anisotropic

- Anisotropic exhibiting properties with different values when measured along axes in different directions. (تظهر) ← عبر الـ orie. تبع القوة وراح تتغير الخصائص

- Isotropic exhibiting properties with the same values when measured along axes in all directions. ← ما يهم الاتجاه

Madar ask believe & recieve

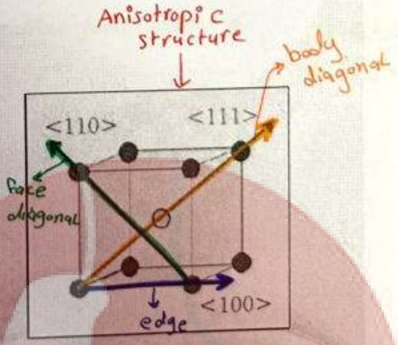
Scanned with CamScanner

Anisotropy

- Different directions in a crystal have different packing. → على مستوى ال building block
- For instance, atoms along the edge of FCC unit cell are more separated than along the face diagonal. → حكينا المسافة بين ال atom اللي ع ال edge اكبر من المسافة بين ال atom اللي بال Face diagonal
- This causes anisotropy in the properties of crystals, for instance, the deformation depends on the direction in which a stress is applied. → وبعد حطينا هاد ال stress ؟ ع ال Face او ال body dig. ولا ع ال edge
- In some polycrystalline materials, grain orientations are random, so bulk material properties are isotropic → بحكي عن ال bulk مش ال b.b.

ال bulk عكن احكي عنه isotropic لانو بلاقي المقاومة باكثر من اتجاه لانو عندي ملايين او مليارات من ال small crystals موجودين جوا هاد ال str. موزعة بشكل عشوائي

- Some polycrystalline materials have grains with preferred orientations (texture), so properties are dominated by those relevant to the texture orientation and the material exhibits anisotropic properties.
- Properties of crystals may be different along different directions, because atomic periodicities are different.
- E.g. in single crystal cubic system:



- <100> Cube edges
- <110> Face diagonals
- <111> Body diagonals

Madar ask ; believe & recieve
Scanned with CamScanner

شغلنا اوا carbon بعمل CB لكن الاشكال التي بتواجد عليها الـ C مختلفة وعتلف معها كل الـ other prop.

Polymorphism and Allotropy → something to discribe the cry. str. of the same material

- Some materials may exist in more than one crystal structure, this is called polymorphism.
- If the material is an elemental solid, it is called allotropy.
- Allotropy means the existence of a substance in two or more different forms in the same (phase) → state
- An example of allotropy is carbon, which can exist as ① diamond, ② graphite, and ③ amorphous carbon. → الـ cry. str. لهدول مختلف كلياً مع انهم كلهم من الكربون

diamond → very strong; graphite → very weak

in general الـ Allotropy بتندرج تحت الـ polymorphism

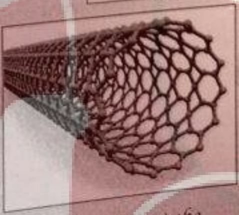
لما المادة ع نفس الـ State بتواجد بأكثر من cry. str. بنسميها ← Allotropy

المادة بشكل عام لما بتواجد بأكثر من شكل كـ crystals بغض النظر شو الـ state ← polymorphism

* في مواد الها Allotropy ع نفس الـ state وفي مواد الها diff. str. بالـ diff. states يعني ممكن يكون في الـ solid الها cryt. str وبالـ Liq. state الها another cry. str. هاد بنحكي عنه ← polymorphism مش Allotropy

- Pure, solid (↑ the state) carbon occurs in three crystalline forms-diamond, graphite; and large, hollow fullerenes. (كلهم عبارة عن solid state)
- Two kinds of fullerenes are shown here:
  1. buckminsterfullerene (Buckyball)
  2. carbon nanotube.

Buckyball



Carbon nanotube

Graphite

Diamond

Yousef Mubarak
Materials Science
adar ask :: believe & recieve
Scanned with CamScanner

* بشكل عام المادة لما يكون الها أكثر من Structure
بنسميها polymorphism

و حالة خاصة لما يكونوا هدول ال .Str في نفس
ال State بنسميها Allotropy ← مثل الكربون

Madar
ask ; believe & recieve

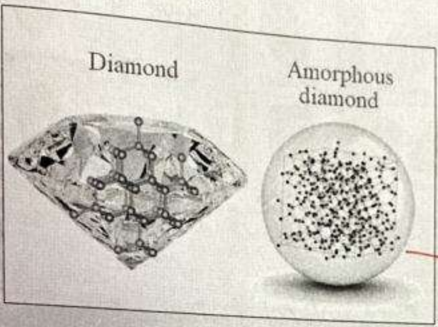
Scanned with CamScanner

Non-Crystalline (Amorphous) Solids

- In amorphous solids, there is no long-range order.
- But amorphous does not mean random, in many cases there is some form of short-range order.

في arrangement بس ما تطور لمرحلة البلورة وما نطلع لانو صار عندي

- Some mismatches
- irregularity
- repetition → بطل فنتظم ع ال bulk



ما يعني انو ضعيف لانو ما عمل بلورات

Amorphous material ↑

→ arrangement يصير شوية بعدين يصير عشوائية

Yousef Mubarak — Materials Science — 48

poly carbonate , Poly propylene ↳ polycrystalline

عند ال solid بنلاحظ انو ال poly carbonate ما في crystal فيه ال ~~Polypropylene~~ فيها crystal ، ليش؟ بسبب طبيعة المادة

30/3/2022

Miller indices ← من خلالها راح نعمل discribtion لل planes ومن خلالها ممكن اعرف التصور كيف راح يكون هوا ال building block unit

راح كل بناء على الشكل

Crystallographic Points, Directions, and Planes

بنكون نحكي عن ال atom هوا ال طول او باد str. ← from refrence point → تحديدنا لما نوجد ال Linear density بحتاج لل Length of edge or path

- How to define points, directions, planes, as well as linear, planar, and volume densities.

عشان اعرف ال Length of path لازم اعرف الراس والذيل للسهم عشان اعرف اعمل estimation واعرف الطول ومنها الحل

  - ✓ Points (atomic positions) → ويد موجودة هاي ال atom هوا ال building (جوانه ، ع الحواف ، ع احد الا وجه)
  - ✓ Vectors (defines a particular direction - plane normal)
  - ✓ Miller Indices (defines a particular plane) relation to diffraction — ال Linear density
  - ✓ 3-indices for cubic and 4-indices notation for HCP ↳ in hexagonal

we need the reference ↔ اللي راح يكون ذيل السهم

simple BCC FCC ↓ 3 point

we will use 3 point to discribe every thing.

بال HCP بحتاج 4 نقاط هدول النقاط راح يبيوا منه 3 coordinate على القاعدة و واحد بكون بال hight

بينا على ال SC في كتبه ...

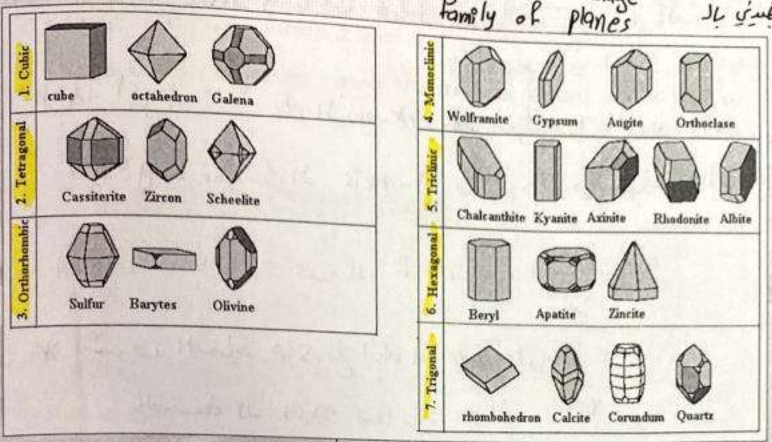
Yousef Mubarak — Materials Science — 49

ask :: believe :: recieve

Scanned with CamScanner

بأي اتجاه باخد الـ axis راح يطلع عندي symmetry
* كل هاي الأشكال فيها symmetry
* about certane axis ← راح يكون عنا mirror image
وهالشي راح يفيدني بال family of planes

Symmetry Equivalent Directions



* عشان هاي الأشكال انو في symmetry حوالين certine axis
* ليش يصير عنا family of plane ؟ لانو بكون في symmetry بالشكل

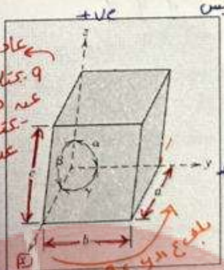
* اذا اشتغلنا باليسار بتختلف القاعدة كلها ما عدا z بتضل لفوق

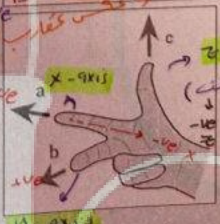
* مش بالضرورة كل الـ edge يكونوا متساويين
* الـ unit هي طول الـ edge بالـ axis ما بيعني قديش الطول
* مش بالضرورة الزوايا تكون قائمة بس الشكل فيه symmetry
* مش بالضرورة الـ edges للـ b.b يكونوا زي بعض

كيف نوجد الـ points حوا الـ building block unit؟ by right hand rule

← راح نتعامل اكتر مع b.b وحدة

- All periodic unit cells may be described via these vectors and angles, if and only if a, b, and c define axes of a 3D coordinate system.
- Coordinate system is Right-Handed.
- We can define points, directions and planes with a "triplet" of numbers in units of a, b, and c unit cell vectors. (بدي 3 احداثيات) To fraction, 1, 0.5
- For HCP we need a "quad" of numbers. (كم بعد ؟)





* كل الـ b.b اللي راح يكونوا جنبها لازم يكونوا مطابقات الها من ناحية الزوايا وطول الاضلاع (الشكل بتكرر)

a,b ← بدعي احطهم بزاوية قائمة على الاعتاب
(الـ x) a دايما تختلف ع b (الـ y)

ask ;; believe & recieve
Scanned with CamScanner

+ve "Z" ← ↑

-ve "Z" ← ↓

+ve "x" ← ↙

-ve "x" ← ↗

+ve "y" ← →

-ve "y" ← ←

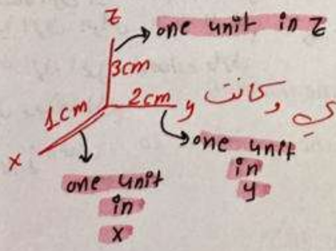
الأيد الشمال تلف ← clockwise

الأيد اليمين تلف ← * Counterclockwise

ال edges
* لما يكونوا متساويين يكون ← SC
بس عادي ممكن يكونوا غير متساويين وصار عبارة عن متوازي.

الملخص ← عادي الزوايا والأضلاع تختلف بال bob لوحدة
المهم لما احط other bob جنبها تكون مطابقة الها

طول الضلع نعبر عنه ب one unit بغض النظر عن القيمة سواء 1 ولا 100
اسمها راح يكون one unit



* الأطول ممكن يختلفوا عن بعض مثلاً لو اخذنا متوازي وكانت
كلهم عبارة عن one unit لل axis تاعهم
ما بهمني كديش الطول

* هيك لما نعمل discribtion ← - we don't care about Length

ask believe & recieve

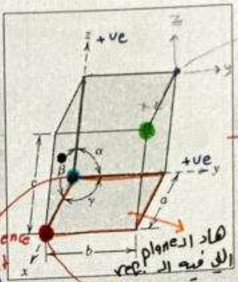
* لا نقل discribtion لأي atom جوا ال b.b
we need 3 points ← ال cube تشكل عام
قديش بعدها عن ال ref بال x وال y وال z

① defined the reference point
② measure with recpect to this reference point

POINT Coordinates

- To define a point within a unit cell....
- Express the coordinates uvw as fractions of unit cell vectors a, b, and c (so that the axes x, y, and z do not have to be orthogonal).

	Pt. coordinate		
Point	x(a)	y(b)	z(c)
Blue	0	0	0
Red	1	0	0
Green	1	1	1
Black	1/2	0	1/2



* عند النقطة الخضرا بعدما عرفنا انو ارتفاعها بال z عند ال ref. one unit
ال z ال plane الي فيه ال ref ، بعدين نسقطها
ال x-ax ← بتبعد 1 unit ، بعدين نسقطها ع ال y

الزوايا هون مش 90 درجة، بس لسه عندي symmetry

* عنا 6 faces و symmetry
* ما يختلف الزاوية او الاطوال (الزاوية مش 90)

ما حط اقواس ولا شي جنب الارقام بس نكتبهم جنب بعض ونقل مسافة بينهم

اذا غيرنا ال reference راح تتغير القيم هاي

هاي بعدها zero بال x,y,z عن ال reference لانو هي اصلا ال ref. 000

---

* عنا حط النقاط بأقواس ← بكون عنا وصف لل direction
* بال direction ممنوع يكون في fraction ← كل الارقام لازم تكون integer
* الفرق الوحيد بين ال direction وال point هو اني بال direction حط اقواس

Direction Coordinates

Procedure:

① Any line (or vector direction) is specified by 2 points.
   - ✓ The first point is, typically, at the origin (000).

② Determine length of vector projection in each of 3 axes in units (or fractions) of a, b, and c. → قديش البعد عن ال ref. fraction من الطول ؟ 50% ، 100% ...

X(a)	Y(b)	Z(c)
1	1	0

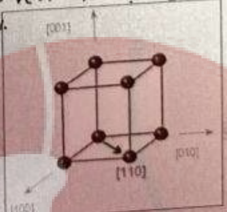
one unit ← 100%
half unit ← 50% وهكذا...

③ Multiply or divide by a common factor to reduce the length to the smallest integer values, u v w.

④ Enclose in square brackets: [u v w]: [110] direction.

⑤ Designate negative numbers by a bar [$\bar{1}\bar{1}0$]
   - ✓ Pronounced "bar 1", "bar 1", "zero" direction.

⑥ "Family" of [110] directions is designated as <110>.



3 point ref. (tail)
3 point direction (head)
لما احط ال dir بالوخذ ما حط 6 نقاط حط بس 3 نقاط

<220> <330> <½ ½ 0> هي عبارة عن

كل هاي ال direction عبارة عن نفس ال direction بس تغير الامتداد يا بعد يا بقصر

ما يكون السطح وسط ما حدد العبد بال reference

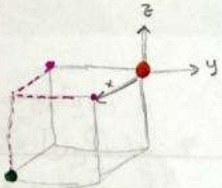
Yousef Mubarak · Material Science
Scanned with CamScanner

* اسقاط النقطة على ال x-axis بعطيني قديش بعدها عن ال x
اسقاطها على ال y بعطينا قديش بعدها عن ال ref. بالنسبة لل y

* لما اعمل اسقاط على ال x-axis باخد خط موازي لل y-axis
ولما اعمل اسقاط على ال y-axis باخد خط موازي لل x-axis

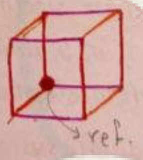
* اذا كانت النقطة تحت ال ref بتكون بالسالب z

* بنشوف النقطة جاي مع اتجاه ال +ve ولا ال -ve
بالنسبة لل axis مقارنة مع ال ref



ال discribition للنقطة الخضرا بالنسبة للنقطة الحمرا ك reference
اسقاطها راح يكون بال +ve بالنسبة لل x
و بال -ve بالنسبة لل y
و -ve بالنسبة ل z لما انها تحت ال ref
$1\ \bar{1}\ \bar{1}$

* x-axis ← البعد بال x
* y-axis ← البعد بال y
* z-axis ← البعد بال z



Madar
ask :: believe & recieve

Scanned with CamScanner

Direction Coordinates

What is the crystallographic direction of the red arrow?

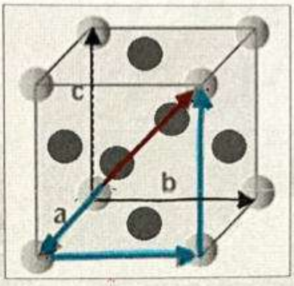
Solution:

Along x: 1 a

Along y: 1 b

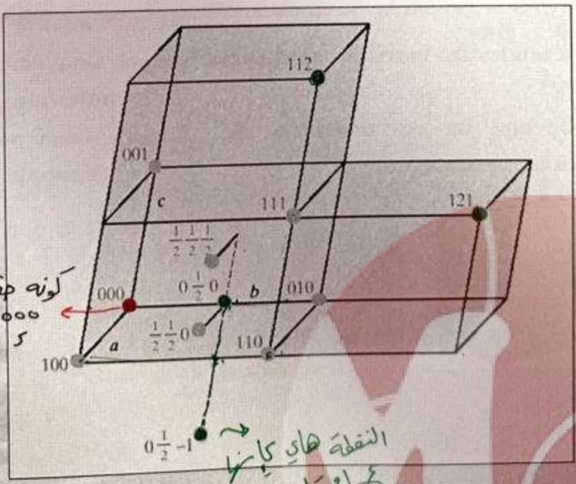
Along c: 1 C

Direction = [1 1 1]



* النقطة فوق الـ ref يعني نحنا بالـ ve+ (Z)

* الـ building block ← متطابقات ما بصير يكونوا مختلفات لأنو هاي الحالة ما راح يركبوا جنب بعض
* بالـ structure نفس الـ building block بصيرلها repetition
* هون عنا 3 building block



كونه حكالنا انو هاي 000 معناها راح استخدمها ref.

النقطة هاي كانها ع امتداد الجدار الخلفي، عشان هيك اسقاطها ما فيه x

Madar seek ;; believe & recieve

Scanned with CamScanner

لما اشوف مثلاً <111> ← بنفهم انو هدول مجموعة من ال direction

كلهم مروا من خلال نفس ال Line

Point and Direction Coordinates

a) What is the lattice point given by point P?

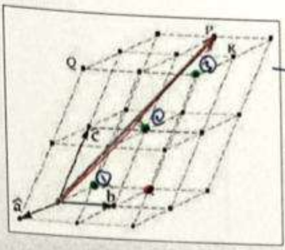
Solution:

$\bar{1}\ 1\ 2$

b) What is the crystallographic direction for the origin to P?

Solution:

$[\bar{1}\ 1\ 2]$



c) What lattice direction does the lattice point 264 correspond? → القسمة ع ال min.

Solution:

The lattice direction [1 3 2] from the origin

ال direction من ① الى ② هو نفسه ال direction من ① الى ③

family of directions → نقاط موجودة بال str. بكون الها نفس ال direction لانو لما نضربهم او نقسمهم بعطوني نفس ال direction

* [111] ~ [222] ~ [3 3 3] ← هدول نفس ال direction بس انا بعد ال direction يا بقصره

*كيف ممكن احلي ال [100] يصير [010]؟ بعمل rotation

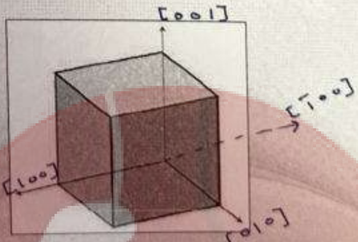
Symmetry Equivalent Directions

→ كيف ال direction هاي يصير فيها symmetry او كيف يصير ال discribtion للـ direction اذا بعمل rotation بال axis او كيف ال family of dir. بظهروا؟!

Note: for some crystal structures, different directions can be equivalent.

e.g. For cubic crystals, the directions are all equivalent by symmetry:

$[1\ 0\ 0], [\bar{1}\ 0\ 0], [0\ 1\ 0],$
$[0\ \bar{1}\ 0], [0\ 0\ 1], [0\ 0\ \bar{1}]$



Families of crystallographic directions

e.g. <1 0 0>

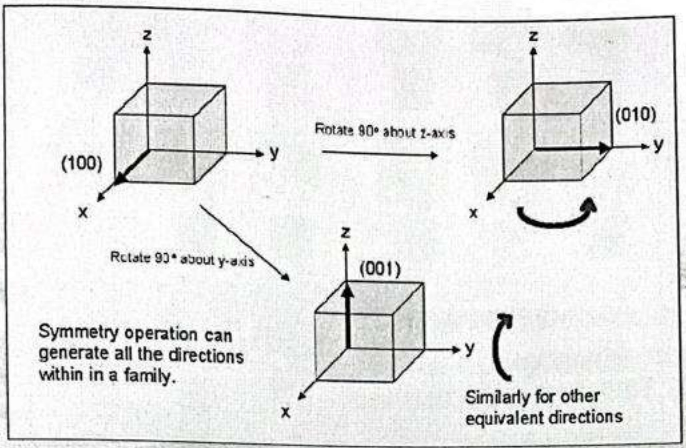
Angled brackets denote a family of crystallographic directions

*لما نعمل rotation للمكعب هو الي بلف ومكان النقاط بتغير اما المحاور ثابتة

*شو بصير لما الضلع ال x-axis ؟ لازم اعمل double rotation

اول شي هالجة تعبيه على ال X ← [100] عشان يصير [001] بعدها الضلع ال y

Symmetry Equivalent Directions



4/4/2022

describe a plane with SC and HCP

* اي fraction نظهر هنا لازم اتخلص منه بالضرب عشان احول كل ال fraction الى integer numbers

* Miller ← نتعقد على how do you locate and read the point of intersection of the plane with the building block unit

How Do We Designate Lattice Planes?

* ال intersection point لازم نحسبه with respect to axis (x, y, z)

Crystallographic Planes

- Miller Indices: Reciprocals of the (three axial intercepts for a plane, cleared of fractions and common multiples.
- All parallel planes have same Miller indices.

* لسه نستخدم قاعدة اليد اليمنى

* هل كان التقاطع على بعد one unit ؟ ولا ½ unit ؟ 2,3 unit ؟ ...

ال 3 محاور الأساسية x, y, z

Algorithm

1. Read off intercepts of plane with axes in terms of a, b, and c.
2. Take reciprocals of intercepts. ← بعد ما نوجدها ناخذ ال inverse يعني $\frac{1}{\text{intercept}}$
3. Reduce to smallest integer values ← ممنوع يظهر اعشار او كسور
4. Enclose in parentheses, no commas i.e., (h k l)

(3) ← ما نترك ال Fraction بالMiller

* +ve ← up , right , front
* -ve ← down , left , back

* point without anything
* ال direction ← [ ]
* ال family ← < >
* ال plane ← ( )

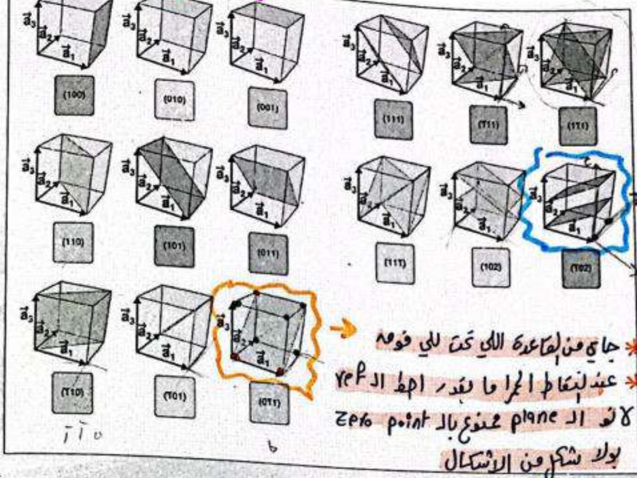
ask :: believe & recieve

Scanned with CamScanner

*Some of simple Cubes and their descriptions for plane exist in Geometry

هدول بالنهاية Same plane يعني الهم نفس ال des. لانو لو عملت rotate لأي وحدة منهم راح تعطيني الأشكال الثانية

للدقة راح نحكي ب family of plane



* عند النقاط الخضرا اخفض مكان عشان احط ال ref

* جاي من القاعدة اللي تحت للي فوق

* عند النقاط الحمرا ما بقدر احط ال ref لانو ال plane ممنوع بال zero point بولا شكل من الاشكال

* بقدر احط ال ref عند النقاط الخضرا

* هون بدي ال intersection على ال x,y,z يعني بدي اوصف 3 نقاط

* اهم شغلة عشان تكون قادر توجد ال intersection هو اختيار ال reference point

ال plane جاي على 3b.b يعني انا بحتاجهم عشان اعمل ال des.

* ممنوع ال intersection لاي واحد من المحاور عند ال reference point لانو عندها راح يعطيني ∞ بس اخذ ال reci.

Planes intersects axes at:

inter. point
- *a axis at r = 2*
- *b axis at s = 4/3*
- *c axis at r = ½*

How do we symbolically designate planes in a lattice?

1. *Take the reciprocal of r, s, and t.*
   Here: 1/r = ½, 1/s = ¾, and 1/t = 2 (ممنوع يضل fraction) * 4
2. *Find the least common multiple that converts all reciprocals to integers.*
   With LCM = 4, h = 4/r = 2, k = 4/s = 3, and l = 4/t = 8
3. *Enclose the new triple (h, k, l) in parentheses: (2 3 8)* → des. of this plane
4. *This notation is called the Miller Index.*

لا يكون parallel لل ref. p.

Note 1: if a plane does not intercept an axes (i.e., it is at ∞), then you get 0. → accepted (ما بتقاطع معناه عكس ال zero)

Note 2: All parallel planes at similar staggered distances have the same Miller Index. → مثل صفحات الكتاب

* عند اي وحدة من النقاط بالاحمر لا احط ال ref.p. البعد لل plane بال x - ax راح يكون صفر ← 1/0 = ∞

* r,t,s ← هم اللي بحددوا ال plane

* بدك تجتهد وتدور ع افضل ref. point

Scanned with CamScanner

لو عملت expantion لل plane هل راح يقطع ال x وال y
بتقام ثانية ؟! لا، عمره ما راح يقطع ال x وال y
الا عند النقطة ٢ و 2
عند ال z اذا مديته راح يقطع عند ال +
او عند نقطة لتحت في ال imaginary side
يعني اشي برا بدك تتخيله

Madar
ask :: believe & recieve

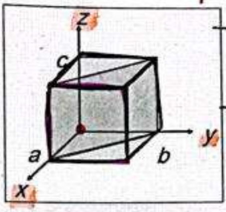
Scanned with CamScanner

Crystallographic Planes

Example 1

	a	b	c
Intercepts	1	1	∞
Reciprocals	1/1 1	1/1 1	1/∞ 0
Reduction	1	1	0 → min. integer No. exist, no Fraction

Miller Indices: (1 1 0)



* ما راح يتقاطع ابداً مع z
→ one building block unit
→ ال plane جاي diagonally

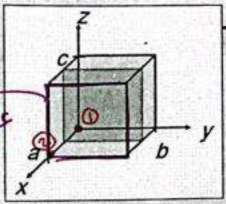
Example 2

	a	b	c
Intercepts	1/2	∞	∞
Reciprocals	1/(1/2) 2	1/∞ 0	1/∞ 0
Reduction	2	0	0

(100) موجود على هاد ال Face

Miller Indices: (2 0 0) → there is no Fraction but this is not the min. integer number

← اذا بدي احولها لـ min. integer No تصير (1 0 0)



→ parallel for y-axis and z-axis
→ يعني ما راح يتقاطع مع ال y ولا ال z
سواء كانت ال ref عند ① و ②

*اي plane موجود ع امتداد ال x ويكون parallel لـ y, z اله نفس ال describe والي هو (100) (زي صفحات الكتاب)

* هاي الاشكال هي اللي نوعاً ما تتغلب بال ref. p.
اذا اخترت ref مش مناسبة ما نقدر اطلع المسافات الا اذا اذا عملت extension يعني امد ال plane وارسم جنبها b.b ثانية عشان اعرف اطلع ال intersection

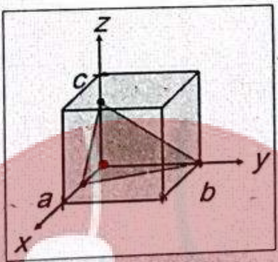
* plane in one building block unit.
* موجود لشكل مائل

Crystallographic Planes

Example 3

	a	b	c
Intercepts	1/2	1	3/4
Reciprocals	1/(1/2) 2	1/1 1	1/(3/4) 4/3
Reduction	6	3	4

Miller Indices: (6 3 4) → the min. No. exist



* دائماً حاول توجد ال ref. point اللي ما تخليك تعمل expantion

Family of Planes {h k l}

Ex: {1 0 0} = (1 0 0), (0 1 0), (0 0 1), ($\bar{1}$ 0 0), (0 $\bar{1}$ 0), (0 0 $\bar{1}$)

adar ask believe & recieve

Scanned with CamScanner

family of planes # جدول تسجيلهم
لانو وليه ماحطيت ال ref بطلع نفس الناتج

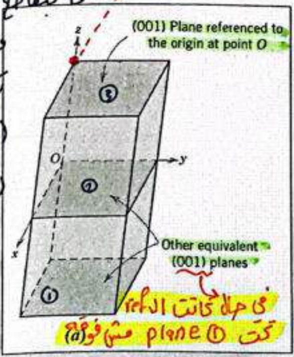
* مثلاً لو هاي كانت ال ref ، قديش ال intersection لـ plane ① ؟
∞ ع ال x وال y لانو ما بتقاطع معهم
وع ال z بكون $\frac{1}{2}$

$(\frac{1}{\infty}\ \frac{1}{\infty}\ \frac{1}{2})$

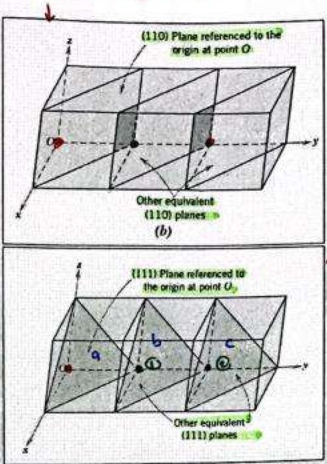
$2 \cdot (0\ 0\ \frac{1}{2})$

$(0\ 0\ 1)$

3 building blocks



في حال كانت ال ref تحت plane ① مش فوق



→ 3 diff planes in 3 diff building blocks

اذا بدي اخلي ال ref عند ① واعمل des. للـ plane ④ ← ممنوع لانو ال plane تكون مر بال ref. ، لكن عند ① ref بقدر اعمل des لـ b و c
اذا ال ref عند ② بقدر / اعمل des لـ a, c بس ما بقدر اعمل لـ b

* وليه ال ref اذا بدي اوصف ال planes ① ؟
# ما بقدر اختار ولا وحدة تحت لانو ال plane راح عم فيهم ، راح تكون ال ref ع وحدة من ال corners عند ② او ③

* we need 4 No. to describe the axis

* كل زاويتين متقابلتين بتعبر فيهم axis واحد

* ال ref. po. للـ original hexagon اما بال Top و بال bottom

HCP Crystallographic Directions → 4 points

Algorithm

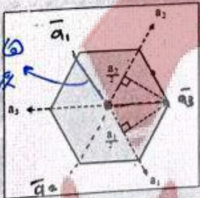
1. Vector repositioned (if necessary) to pass through origin.
2. Read off projections in terms of unit cell dimensions a_1, a_2, a_3, or (c) → = 1.366 a
3. Adjust to smallest integer values
4. Enclose in square brackets, no commas [u v t w].

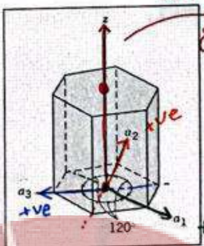
Ex:

½, ½, -1, 0 ⟹ [1 1 $\bar{2}$ 0]

Dashed red lines indicate projections onto a_1 and a_2 axes

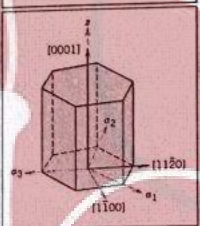
هاي المسافة one unit (بالاختلاف بالاشارة)





اول واحد من ال axis اللي هو الاصلع ويكون z

العد بكون counterclockwise على بعض بعمل skip ع ال point اللي جنبه وبروح ع اللي بعدها



ترتيبهم ع المساحة (عكس عقارب الساعة) ← a_1 ← $-a_3$ ← a_2 ← $-a_1$ ← a_3 ← $-a_2$

* مبدأياً بال direction راح اتجاهل a_3 وبقيس بالنسبة لـ a_1 و a_2

ask ;; believe & recieve

Scanned with CamScanner

البعد بالنسبة لـ a_1

* انا بدي $(\acute{u}, \acute{v}, \acute{w})$
اذا بعرف هاي النقاط ← البعد بالنسبة لـ a_2
بقدر اطلع $[u\ v\ t\ w]$
وهدول هم الـ des. للـ direction

HCP Crystallographic Directions

Hexagonal Crystals

4 parameter Miller-Bravais lattice coordinates are related to the direction indices (i.e., $\acute{u}\,\acute{v}\,\acute{w}$) as follows.

(اسهل وحدة — بتمثل الـ z)

$$[\acute{u}\,\acute{v}\,\acute{w}] \rightarrow [u\,v\,t\,w]$$

$$u = \frac{1}{3}(2\acute{u} - \acute{v})$$

$$v = \frac{1}{3}(2\acute{v} - \acute{u})$$

$$t = -(u + v)$$ ← للنقطة الرابعة

$$w = \acute{w}$$

$[\acute{u}\,\acute{v}\,\acute{w}]=[1\ 1\ 0]$

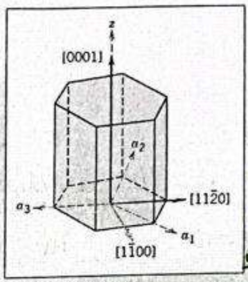
$$u = \frac{1}{3}(2\times1-1) = \frac{1}{3}$$

$$v = \frac{1}{3}(2\times1-1) = \frac{1}{3}$$

$$t = -\left(\frac{1}{3}+\frac{1}{3}\right) = -\frac{2}{3}$$

$$w = 0$$

$$\left[\frac{1}{3}\ \frac{1}{3}\ \frac{-2}{3}\ 0\right] = [1\ 1\ \bar{2}\ 0]$$



قلنا ممنوع يكون في fraction بالـ direction

بحدد الـ u` والـ v` من القاعدة اللي فيها ذيل السهم لما يكون اذا الذيل موجود ع القاعدة اللي تحت باخد هاي القاعدة وبرسم عليها الـ 3 axes (a_1, a_2, a_3) وبعدين بشوف وين الاسقاط عليهم للنقطة تاعت رأس السهم

حتى نعمل description في الـ Hexagon بنحتاج نحدد نقاط التقاطع الاربعة.

HCP Crystallographic Planes

* هون مافي calculation زي الـ direction

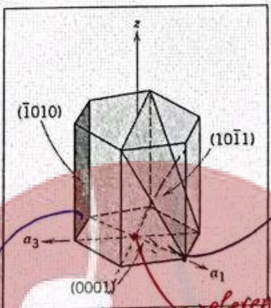
- In hexagonal unit cells the same idea is used:

Example 3

	a_1	a_2	a_3	c
Intercepts	1	∞	-1	1
Reciprocals	1	1/∞	-1	1
	1	0	-1	1
Reduction	1	0	-1	1

Miller-Bravais Indices: $(1\ 0\ \bar{1}\ 1)$

هاد الـ plane بيتقاطع مع a_2 و z بالـ ∞



عشان اوصف هاد الـ plane ممنوع احط الـ ref عليه عشان ما عر فيها بالتالي الـ ref بتكون يا فوق يا تحت

القاعدة نفسها اي plane بكون parallel للـ axis بكون التقاطع = ∞

Madar ask believe & recieve
Scanned with CamScanner

① اول شي بدي ارسم direction واشوف قديش طول هاد ال direction (حوري ادور على الطوال)
* اذا بعرف طوله بال building block unit ← بحسب total number of diameter exist in this length

Linear Density

نقسم ال total number of diameter على ال Length

$$\text{Linear Density of Atoms} = LD = \frac{\text{Number of atoms centered on}}{\text{Unit length of direction vector}}$$

* انا معتبر انو ال atom عبارة عن one diameter

لو كان هاد ال direction عشان اطلع طوله بالنسبة لـ R نعمل فيثاغورس

Example:

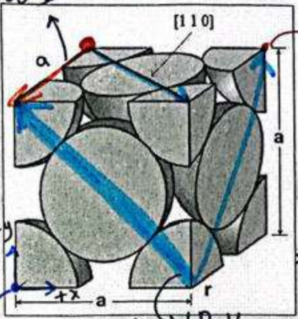
Calculate the linear density of Al in [1 1 0] direction. Al atomic radius = 0.143 nm

We know:

- *Number of atoms centered = 2*
- *Unit length of direction vector = 4r*

$$LD = \frac{2}{4 \times 0.143} = 3.4965\ nm^{-1}$$

4R



اذا اخترت ال ref هون رح اطلع ع building block جديدة. عشان اوضح وين موجود ال direction

ال LD هون نفس اللي فوق

لو اخذنا ال ref هون واعتبرنا هيك اتجاه x و y نصير بجهنو

* ال Line الازرق عم بـ two diameter
طول الخط ← 4R و 2D

$a = \frac{4}{\sqrt{2}} R$ ← $2a^2 = 16R^2$ ← للترتقالي *

* ولهاي الحالة عدد ال diameter بكون واحد
* ال LD ع ال Face diagonal ع كل الاوجه رح تكون نفسها

* one complete cross sectional Area of sphere هي عبارة عن one circle

هلأ بدل طول بدي آخذ مساحة

* نحكي عن circle مش sphere
* بدل ما كنت آخذ diameter هلأ بدي آخذ circle لاني بدي اعد كم circle عندي

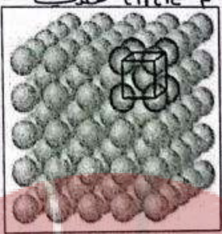
Planar Density

Example:

Calculate the Planar density of (1 0 0) Iron.

At T 912 oC iron has the BCC structure.

- *Radius of iron R = 0.1241 nm*
- *Number of atoms in the plane = 1*
- *Area of plane = a^2*



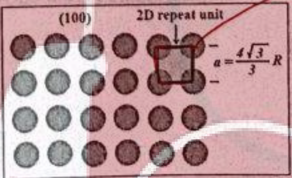
* ما بروح احسب ال area بعد مساحات

ع اساس اني بحسب مساحة كاملة لل atom

$$\text{Plamar Density} = \frac{\text{Number of atoms in the plane}}{\text{Area of the plane}}$$

$$\text{Plamar Density} = \frac{1}{a^2} = \frac{1}{\left(\frac{4\sqrt{3}}{3}R\right)^2}$$

$$12.1\ \frac{atoms}{nm^2} = 1.2 \times 10^{19}\ \frac{atoms}{m^2}$$



لهاد ال plane عدد ال circle = 1

* اذا ال atom كلها مركزة هاي بتكون عبارة عن ← one circle

ask :: believe & recieve
Scanned with CamScanner

في حال الـ FCC

لو بدي احسب الـ LD للـ direction [1 1 1] يعني ع الـ body diagonal
راح يكون عندي ← one diameter

طول الـ body diagonal راح يكون عن طريق فيثاغورس

* where is the maximum LD in faced centerd ?! in diagonal Face

Madar
ask :: believe & recieve

Scanned with CamScanner

Planar Density

هاد ال plane ما بلامس ال atom اللي بالوسط ← لازم عم بالمركز الها بيغيب اذا لمس الجزء صغير منها ما بنثبو

Excersise:

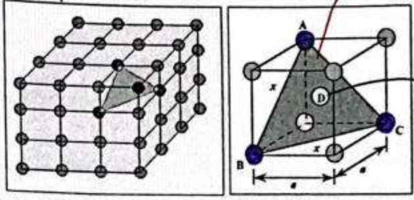
Calculate the planar density of (1 1 1) iron.

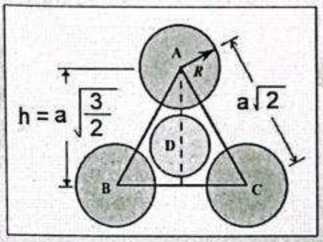
- Radius of iron R = 0.1241 nm
- Number of atoms in the plane = 0.5
- Area of plane $= \frac{\sqrt{3}}{2}a^2$

$$= \frac{\sqrt{3}}{2}\left(\frac{4}{\sqrt{3}}R\right)^2 = \frac{8}{\sqrt{3}}R^2$$

$$\text{Plamar Density} = \frac{0.5}{area} = \frac{0.5}{\frac{8}{\sqrt{3}}R^2}$$

$$= 0.703 \times 10^{19}\ \frac{atoms}{m^2}$$





بر بال atom اللي لونهم هدي، بس لانه مايل فا راح تكون ربع دائرة ، راح يكون 1/6 بكل دائرة (1/6 + 1/6 + 1/6 = 1/2)

* plastic deformation → perment deformation → مثل قطعة بلاستيك اذا شلت القوة ما راح يختفي كلياً تأثيرها ، بختفي جزء وبضل جزء

* recovered deformation → elastic deformation → مثل المطاط لما اشيل ال force عنه برجع تقريباً لشكله

Designating Lattice Planes

Why are planes in a lattice important?

A. Determining crystal structure: → عادةً بال x-ray

تقيس عن طريق ال reflection المسافة بين ال lattice و ال lattice هوا ال str

- Diffraction methods measure the distance between parallel lattice planes of atoms. This information is used to determine the lattice parameters in a crystal.
- Diffraction methods also measure the angles between lattice planes.

B. Plastic deformation

- Plastic deformation in metals occurs by the slip of atoms past each other in the crystal. ← الجزء اللي وصل
- This slip tends to occur preferentially along specific crystal-dependent planes.

Madar ask :: believe & recieve

Scanned with CamScanner

* اول شي فيثاغورس ع القاعدة عشان نوجد x →

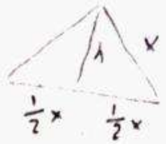
$$x^2 = 2a^2 \rightarrow x = \sqrt{2}\,a$$

$R = 0.1241\ nm$

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

$$x = \sqrt{2} \times \frac{4(0.1241)}{\sqrt{3}} = 0.405\ nm$$

* فيثاغورس مرة ثانية عشان اطلع الارتفاع ال plane واحسب مساحته



$$h^2 + \left(\tfrac{1}{2}x\right)^2 = x^2$$

$$\hookrightarrow h = \frac{\sqrt{3}}{2}x$$

$$h = \frac{\sqrt{3}}{2}(0.405) = 0.35\ nm$$

$$Area = \tfrac{1}{2} \times (0.405 \times 10^{-9})(0.35 \times 10^{-9})$$

$$A = 7.0875 \times 10^{-20}\ m^2$$

$$density = \frac{\frac{1}{6} + \frac{1}{6} + \frac{1}{6}}{7.0875 \times 10^{-20}}$$

$$density = 7.054 \times 10^{18}\ \frac{atom}{m^2}$$

adar
ask ;; believe & recieve
Scanned with CamScanner

materials undergo plastic deformation → paper clip, plastic Bag
materials undergo elastic deformation → Tile, popsicle stick

B. Transport Properties

In certain materials, atomic structure in some planes causes the transport of electrons and/or heat to be particularly rapid in that plane, and relatively slow in other planes.

Example:

Graphite: heat conduction is more in sp^2-bonded plane.

لميش بصير تزحف باتجاه
معين حوا ال structure
مش باتجاه آخر

← هاد راح نحكيه
بالتفصيل موحلاً

* what do we mean by imperfection in crystalline structure?

Chapter 4

IMPERFECTIONS IN SOLIDS

The University of Jordan
Chemical Engineering Department
First Semester 2021
Prof. Yousef Mubarak

ask believe & recieve
Scanned with CamScanner

in metal there are no pure element used → = معلومة قديمة

* عادةً الـ alloy ما بكون فيها بس 2 metal، بكون فيها العديد من الـ metal

* there is no perfect crystalline structure

* لا يكون عنا single crystal هاد ما بعني انها perfect 100٪، بكون فيها imperfection

Outline

* الـ imperfection موجود شئنا ام ابينا !

> What are the solidification mechanisms? → كيف نصير عملية الـ Solid... كيف نحضر الـ alloy

> What types of defects arise in solids? → الـ defect بالـ str شو الاشياء اللي بتعترها

> Can the number and type of defects be varied and controlled? → هل نقدر التحكم بالـ number of crystal والـ size of crystal والـ grains boundaries ؟

> How do defects affect material properties?

> Are defects undesirable?

الـ defect عبارة عن imperfection

* كل الـ alloys اللي حياتنا عبارة عن imperfection بالتالي هاد الـ imp. نحنا نساهه

* imperfection يعني اشي فيه خلل، هاد الخلل تأثر ع الـ prop. للمادة ولا ما تأثر ؟

* هل هاي الـ defect او الـ imperfections desirable ولا undesirable ؟ (مرغوب ولا غير مرغوب)

زي الـ gold نحنا غيرناه وصار imperfect، ضفنا نحاس ع الذهب عشان اغير خصائصه لانني انا بدي اياه يعني عملية الـ imperfection هون desirable

* الـ imperfiction بالـ structure مش اشي مُعيب، بالعكس نحنا بدنا نغير بالـ perfection تبع المادة لحد ما نحصل على prop نحنا بدنا اياها

---

* how do we prepare the alloy ? ① decide the weight fraction of each element مثلاً 92٪ فضة و 8٪ copper ← لو حطيتهم للابد جنب بعض بالحالة الصلبة ما راح بصيرعنا alloy حتى لو طحنتهم وصاروا جزيئات كتير صغيرة.

② * نحضر الـ alloy لـ نحنا نصهر المادتين ودخلهم لـ الـ molten state وهاي الـ molten state صارت homogeneous

* شو يعني homogenuous ؟ يعني راح يصير distribute للـ solute بالـ solvent

solvent ← major

solute ← minor

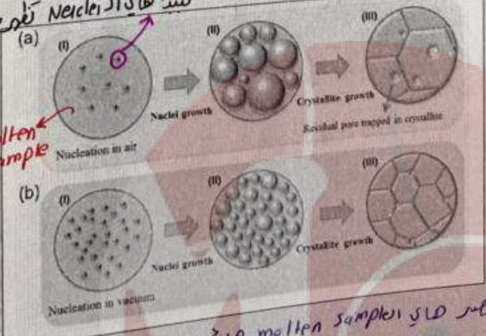
Solidification

> Start with a molten material – all liquid

Result of casting of molten material:

1. Nuclei form.
2. Nuclei grow to form crystals – grain structure.
2. Crystals grow until they meet each other.

تبدأ هاي الـ Nuclei تتكون مع التبريد



هاد الـ solute كونه molten راح نتوزعوا مع بعض لتشكل المعروض homogenuous

③ بعد ما نحصل هاي الـ molten sample مثلاً لازم نبردها ← عملية الـ cooling down هي اللي راح تأدي للـ solidification، راح تتحول المادة من الـ molten state للـ solid state

Scanned with CamScanner

عند ⓐ كنا كنا نعمل Nucleiation بالجوا يعني ع ال room temp
وال atm. pressure عشان نصير منها Nucleiation
بينما عند ⓑ عملنا ال Nucleiation under Vacuum
يعني نزلنا ال pressure فبلاحظ انو في زيادة بعدد ال Nuclei
عند نفس اللحظة ← هاد شو يعني ؟!
decrease the pressure will increase the rate of crystallization
بالتالي هدول ال nuclei (عند b) لما يكبروا مع الزمن فبلاحظ انو عدد ال crystals
فيهم اكبر من (a) بس حجم ال crystal عند (a) اكبر من حجم ال crystal عند (b)
لانو البلورة الي عند (a) احدث حولها وحجم تستقطب ال molecules من
ال molten state وتضمهم لل solid state

* عند (a) بتأخر عملية ال impingement بينما عند (b) لانو ال crystals كتير قراب من بعض ال impingement رح يصير سريع

* عدد ال grain boundary عند (a) اقل من (b) نتيجة العدد الهائل من ال Nuclei الي بتكون موجودة حواليها عند (b)

* in general بتبدا عملية ال Solidification بظهور ال (Nuclei)
هاي ال Nuclei عبارة عن very fine grains موجودة جوا ال str.
ليش تظهروا ؟ لانو طبيعة المادة بدها تصير تعمل هاي ال crystals فبصير في attraction لموقع معين جوا ال molten sample، لانو صار عنا driving force عالية بين ال melting Temp. وال crystal

* مع استمرار التبريد بصير growth لهاي ال nuclei وبصيروا يكبروا ويستهلكوا ال molten state للمادة (كل ما كبروا بتقل ال molten area)

* لحد ما اخر شي بعد ما تكبر هاي ال crystals خلال عملية نموها بتصير تلاقي other crystals حواليها وبصير بيناتهم impingement، وبتظهر عنا ال grains boundaries

grain boundary ← الجار ال crystal وما حولها

* بقدر اتحكم بال Nuecleiation وال grain boundary وال size of crystal ؟ بس بقدر ^^
* بس ما بقدر اخلي المادة الي ما بتعمل crystal انها تعمل crystal لانو هاد يعتمد ع طبيعة المادة

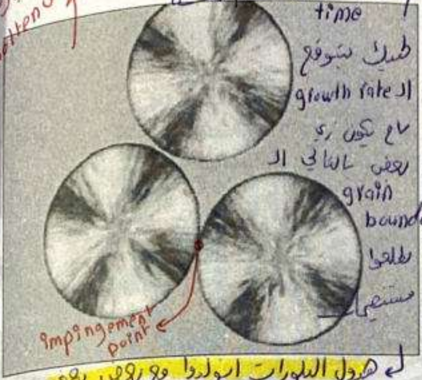
* how we control the number of Nuelei and size of crystal? or type of crystals ?
(نفس الصورة الي كنت) ① بقدر اضيف additives الي تساعد على عملية ال nucleiation
② بقدر انزل ال cooling rate عشان ازيد عدد ال nuclei او ارفعه عشان اقلل عدد ال nuclei

ask | believe & recieve
Scanned with CamScanner

* عادةً هاي ال grain boundary بنسميها stress concentration area

هاد كله عبارة عن melten

هدول ال 3 crystals من نفس النوع كلهم الفا والـ birth time الهم نفسه

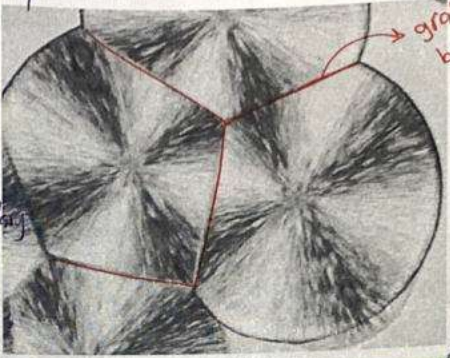


طبيعي بتوقع ال growth rate راح يكون زي بعض بالتالي ال grain boundary يطلعوا مستقيم

لـ هدول البلورات انولدوا مع بعض بعني ال birth time زي بعض وصاروا يطلعوا grow up

* عند ال impingement point ما بصير growth بس بضل في مجال تكبر بباقي الاتجاهات

this is the final crystalline structure



* ال grain boundary أضعف شي جوا ال structure (نقاط ضعف ال str.)

فلما ال cry. str. عبارة عن شي مرتب ومنتظم والروابط قوية جداً ، بينما بال grain boundaries في روابط بس قليل جداً ، هاي الروابط ممكن تكون اطول وممكن تكون عددهم اقل مقارنة بالروابط جوا ال crystal

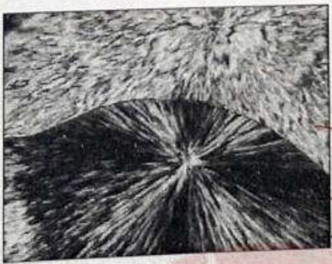
* مش كل ال grain boundary يطلعوا خط مستقيم

* شو اللي بتحكم ال grain bo. بشكل انها تطلع مستقيمة او curve ؟
1. type of crystal
2. birth time of crystal

هاي البلورة تولدت بعدين فلهيك ال growth الها قليل

هدول كرمنو نفس النوع فلهيك ظهر ال curve بالحدود لانو في اختلاف بال birth time

هاي البلورة انولدت قبل الصغيرة



هدول الهم نفس ال birth time

لـ هون بيتا الها growth rate اكبر ، لانو البيتا هي اللي هاجمة على الالفا على الرغم انهم انولدوا مع بعض بس هون اختلف ال type of crystals

اللي بتحكم اذا حيكون straight ولا curveture هو ال growth rate
اذا زي بعض بطلع مستقيم
واذا مش زي بعض بطلع curve

نلاحظ انو كل ما زاد عدد ال nuclei الطول ال grain boundary يزداد

Scanned with CamScanner

* اذا كان حجم ال crystals كثير صغير بنسميهم grains لانهم ما تطوروا و تطوروا لشكل بلورة

كل ما زاد عدد ال nuclei ← كل ما صغر حجم ال crystal

← كل ما ازداد عدد ال grain boundary بنفهم

* الصورة اللي ع اليسار

مين الكرستالة اللي عاملة inclusion بالثانية ؟
الكبيرة هي اللي داخلة بالصغيرة

مين اللي الها growth rate اكبر اللي تكونه new born
ولا ال old born ؟

الكرستالة الكبيرة الها growth rate اكبر عشان هيك
هجمت ع الصغيرة بالتالي معنتها تكبر بهاد الاتجاه هيك
طلع معنا curvature مش straight line

* الصورة ع اليمين

نفس السيناريو بس between two diff. type of crystals

Madar ask believe & recieve

Scanned with CamScanner

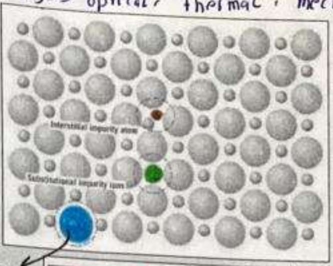
* لا نعمل quenching ← يطلع عنا عدد كبير من ال crystals او ال nuclei ما يكبروا ويصيروا crystals ويضلوا grains

* ال imperfection مهم جداً لدراسة خصائص المادة هو اللي اصلاً بأثر ويغير بخصائص المواد optical، thermal، mechanical وغيرها...

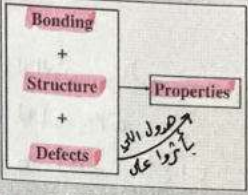
Imperfections in Solids metals

- There is no such thing as a perfect crystal.
  - ✓ What are these imperfections?
  - ✓ Why are they important? → بأثروا ع ال prop. للمادة
- Many of the important properties of materials are due to the presence of imperfections.
- Defects have a profound impact on the macroscopic properties of materials.
  - ✓ Semiconducting properties
  - ✓ Yield stress
  - ✓ Fracture strength
  - ✓ Electrical conductivity

من خصائص اللي ممكن تتأثر بال imperfection واللي راح ندرسها بهاي المادة



Foreign atom

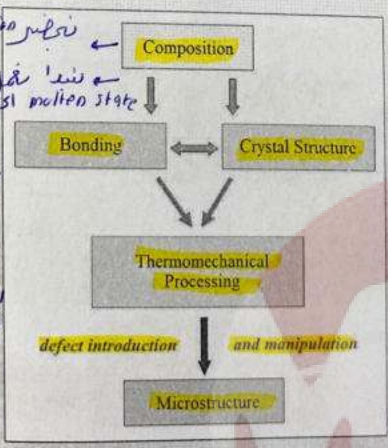


غير بال Structure راح تتغير ال prop.

* بدنا نعرف شو دور ال foreign atom على ال str؟ بعملوا compresion او tension يعني يا بعملوا contraction او expantion هاي تعمل اشي بنسميه distortion بالتالي بغير موقع هاي ال atom اللي عملت هاد ال distortion انه صار في stress concentration Area لانو صار في stresses مش موزعه بانتظام.

* ال prop. كلها عبارة عن انعكاس عن ال internal str. of materials شو في داخل المادة هو اللي راح يظهر ك prop. للمادة

- The processing determines the defects imperfections



نحضر composition معينه من ال alloy ← نبدأ نعمل ال molten state الى solid... وتتحول المادة من solid state، بعدين تتكون nuclei وبعدين تكبر وبالاخير بنحصل ال molten وكل المادة تتحول ل solid.

ال solid عبارة عن روابط ادت الى cry. structure وال cry. str ادى الى روابط بين ال crystal

* اذا كان ال Bond قوي وال str مرتب وال diffect قليلة ← نتوقع prop عالية.

* اذا كان ال bonding ضعيف وال str. فوضوي وعشوائي وال defect عالية ← ال prop راح تكون ضعيفة

بالتالي تأثير ال defect على ال prop عالي جداً.

* في عنا روابط جوا ال crystal نفسها وفي روابط ثانية بين crystal with another crystal.

Yousef Mubarak
Materials Science
ask & believe & recieve
Scanned with CamScanner

* ممكن خلال عملية الـ solidification اني :-

① اتحكم بال cooling rate عشان ازيد عدد ال Nuclei بالتالي يطلع مع small crystals

② ممكن اعمل shearing على ال surface تبع المادة بطريقة معينة تغير procedure ال crystallization او ال type of crystals او ال number of crystals

* كل ما كان في defect اكثر، كل ما تغيرت النهاية لل prop لانو ال microstructure راح بصير يتغير

على سبيل المثال ← لو خلال عملية ال thermo mechanical قللت ال cooling rate بصير عدد ال cry. قليل بالتالي حجم ال cry كبير وال grain boundary قليل

هاد راح يأثر على ال microstructure وتأثيره عليه راح يغير بالخصائص تاعت المادة

ask :: believe & recieve

Scanned with CamScanner

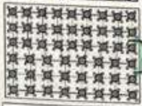
Interstitial ← irregular يعني مكان str. من نفس ال atom لل
impurities ← irregular مكان str. يعني بال forign atom لل

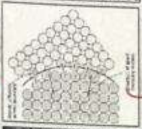
الاسباب اللي بتأدي لل Imperfiction بال crystalline str.

Types of Imperfections

1. **Point defects:** atoms missing or in irregular places in the lattice — single atom. ليش هو؟
   - Vacancies → شاذ atom صار ال
   - Interstitials (space that intervenes between things). لما يكون missing يعني مكان ال
   - Impurities, weight and atomic composition
2. **Line defects:** groups of atoms in Irregular Positions: edge dislocations and screw dislocations
3. **Area defects:** the interfaces between homogeneous regions of the material
   - Grain boundaries — # هاي ال grain boundary حكم يكون فيها:
     ① Less number of bonds
     ② accumlation of impurites
     ③ miss matches
     ④ deviation from growth line
4. **Bulk or Volume defects:**
   - Pores
   - Cracks

لما قبل لما يكون في فجوة داخل ال cry. str. مثل فقاعات الهواء الموجودة بالواح الزجاج





in general there is no pure edge dislocations or pure screw dislocations there is mixture of these together.

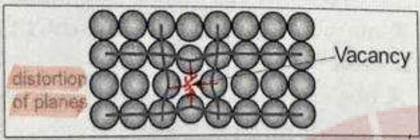
يعني لما تطلع عليه من جانب بتحسه edge
ومن جانب ثاني بتحسه screw ليش هو
يكون mixture

Yousef Mubarak — Materials Science

Point Defects → في منها ٤ انواع

① **Vacancies** (شاغر)

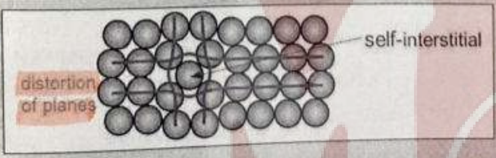
This figure shows a vacant atomic sites in a structure.



شو تأثير ال vacancy على المنطقة اللي موجود فيها هاد ال vacancy؟ راح يصير في attraction بالتالي ال stress distribution في هاي المنطقة تغير عنه ال stress بال bulk of material

- **Self-Interstitials**

"Extra" atoms positioned between atomic sites.



→ atom of the same structure but exist in an irregular position.

اجت بمكان غير مخصص لوجود atoms

لل forign atom كمان دخلها بصير اسمه interstitial impurities لانها مش من نفس النوع

Yousef Mubarak — Materials Science

ممكن يكون عنا second structure كمان ، زي الكربون والحديد
بقدر اضيف كربون لنسبة محددة فقط لغاية 6.7%
اذا بضيف نسبة كربون اكثر من 6.7% بالحديد راح يصير خلل
لانو الحديد بدخل لغاية 6.7% من الكربون بال str. تاعه
الكربون الزيادة بصيروا يعملوا agglomeration ، يشكلوا ال graphite
وجود ال graphite جوا الحديد هو عبارة عن Volume defect
(تشكل second structure اللي هو ال graphite جوا
ال Structure الاصلي اللي هو الحديد)

Madar
ask believe & recieve
Scanned with CamScanner

* كورس عادة تكون عنا Vacancies في ال solid structure الي تت بجاوب ع هاد السؤال
لدى عادة على ال room temp ؟ ال example

How many vacancies are there?

- The equilibrium number of vacancies formed as a result of thermal vibrations may be calculated from thermodynamics:

Q_v, K, N_s → Constant

المتغير الوحيد هو درجة الحرارة

$$\frac{N_v}{N_s} = \exp\left(\frac{-Q_v}{kT}\right)$$

* كيف اعرف عدد ال atom ؟ $n = \frac{\rho N_A}{A}$

Where:

N_v: Number defects or vacancies

N_s: Number of potential defect sites → number of atom exist in the volume

K: Boltzmann's constant; 1.38×10^{-23} J/atom-K or 8.62×10^{-5} eV/atom-K

T: Temperature

Q_v: Activation energy → eV/atom بال ددرجها metal ل metal تختلف من

Each lattice site is a potential vacancy site

\# علاقة الحرارة طردية مع Nv

Example:

Estimate the number of vacancies in Cu at room temperature.

$$N_v = N_s exp\left(\frac{-Q_v}{k_B T}\right)$$

- The Boltzmann's constant $k_B = 1.38\times10^{-23}$ J/atom-K or 8.62×10^{-5} eV/atom-K انتبه للوحدات
- The temperature in Kelvin $T = 27\,^oC + 273 = 300$ K
- $k_B T = 300 \text{ K} \times 8.62 \times 10^{-5}$ eV/K = 0.02586 eV
- The energy for vacancy formation $Q_v = 0.9$ eV/atom
- The number of regular lattice sites $N_s = \frac{N_A \rho}{A_{Cu}}$ (→ Avo. number)
- $N_A = 6.023 \times 10^{23}$ atoms/mol
- $\rho = 8.4$ g/cm³ → from table or appendix
- $A_{Cu} = 63.5$ g/mol

ask :: believe & recieve
Scanned with CamScanner

intershitial

- **Self**
  - اذا atom من نفس النوع
- **impurties**
  - اذا atom مش من نفس النوع

Madar
ask & believe & recieve

Scanned with CamScanner

هل عدول الـ 6.12×10^{6} من الـ atom اللي مش موجودين وكأنهم مش مأثرين ع الـ str. وبعده صامد؟ نعم لانو نسبة 6.1×10^{6} من 8×10^{22} تعتبر صغيرة وبجانبها رقم كبير

$$N_s = \frac{6.023\times10^{23}\,atoms/mol \times 8.4\,g/cm^3}{63.5\,g/mol} = 7.967\times10^{22}\frac{atoms}{cm^3}$$

$$N_v = 7.967\times10^{22}\frac{atoms}{cm^3}\exp\left(\frac{-0.9\,eV/atom}{0.02586\,eV/atom}\right)$$

$$= 6.12\times10^{7}\frac{vacancies}{cm^3}$$

→ عدد الـ atom اللي ما بتكون موجودة بالـ location تاعها

Temperature °C	N_v	Weight %
27	6.12×10^{7}	7.68 10^{-14}
40	259.67×10^{7}	3.26 10^{-13}
100	5.556×10^{10}	6.97 10^{-11}
400	1.458×10^{16}	1.83 10^{-5}
600	5.096×10^{17}	0.00064
900	1.086×10^{19}	0.01363
1700	4.01×10^{20}	0.5032

→ weight fraction of vacancies with respect to the total number

ليش Vc بزيد مع زيادة T؟

كل ما رفعت الحرارة لـ atom بصير عنا vibration اكثر يعني هاي الـ atom بتصير تهتز بشدة وهاي الـ vibration تزيد مع زيادة الحرارة لغاية ما تنكسر الرابطة

عند 1700 بتكون الـ copper تحول لـ molten لانو رح نفقد من ذراته اصلاً هي مش موجودة بالـ str. بالتالي الـ str. راح يصير فيه faller

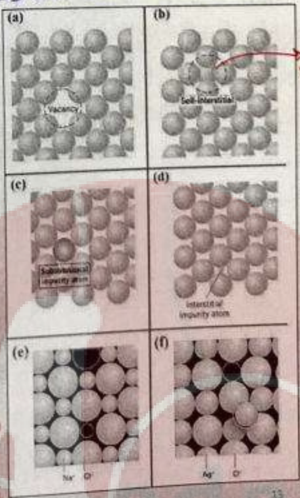
* اصلاً لما نحكي melting فاحنا نزيد الـ frequency or vibration اللي راح تكسر الروابط. كل ما تكسر روابط اكثر كل ما صار عنا melting لحد ما نوصل لمرحلة انو الروابط المتبقية بالـ solid structure غير قادرة على حمل الـ solid structure وصون تنهار الـ str. ونصير عنا ← molten state

Yousef Mubarak

Materials Science

Other point defects: ② self-interstitials, ③ impurities

- Schematic representation of different point defects:
  - (a) Vacancy
  - (b) Self-interstitial
  - (c) Substitutional impurities → حلّت محل
  - (d) Interstitial impurity



→ self interstitials

الـ impurity عنا نوعين

① تتواجد بمكان اصلاً كان مخصص لـ atom
↳ substitutional impurities

② تتواجد بمكان غير مخصص لـ atom
↳ Interstitial impurities

Yousef Mubarak

Materials Science

ask ; believe & recieve

Scanned with CamScanner

* متى ال forign atom تحل substitutial ومتى تحل interstitial ؟

Size of atom is one of the important factor

عشان ال forign atom تحل substitution لازم حجمها يكافئ

حجم ال original atom ± 15%

هاد واحد من ال factor اللي بأثروا من اصل 4

Madar ask believe & recieve

Scanned with CamScanner

* هون عكس ال vacancies و ال self interstitials. تحتاج لطاقة عالية من ال atom عشان تكون بـ irregular location لذلك عدد ال self interstitials عادة: على ال room temp مقارنة مع عدد ال vacancies سهل

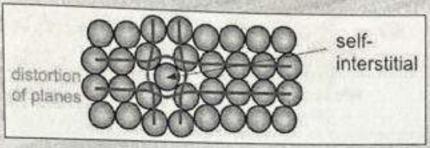
* المرة الماضية طلع عدد ال vacancies بال 61×10^{6} cm³ بناءً ع ال room temp ال self interstitials تكون 1 atom

Self-interstitials

- Self-interstitials in metals introduce large distortions in the surrounding lattice.
- The energy of self-interstitial formation is ~ 3 times larger as compared to vacancies ($Q_i \sim 3 \times Q_v$).
- Equilibrium concentration of self-interstitials is very low (less than one self-interstitial per cm³ at room T).

* هاد دليل على انو في فرق بالطاقة اللي بنحتاجها ال atom عشان تعمل ال vacancies او self int...

* بكل الأحوال سواء كانت vac... او self int... راح تعمل distortion في ال plane الموجودة فيه هاي ال atom



Yousef Mubarak Materials Science 14

لغاية هون نحكي عن same atom سواء ال atom مش موجودة او موجودة بـ irregular location

---

* هون راح نحكي عن ال forign atom ← راح نجيب forign ونضيفها مع ال original atom

* host ← Solvent
impurity ← Solute

Impurities

- Impurities - atoms which are different from the host.
  - ✓ All real solids are impure. → قلنا ما عنا pure metal عنا سبائك
  - ✓ Very pure metals 99.9999% - one impurity per 10^6 atoms.
  - ✓ May be intentional or unintentional. ← انا ضيفتها ← غصباً عنا موجودة
- Examples:
  - ✓ Carbon added in small amounts to iron makes steel, which is stronger than pure iron.
  - ✓ Boron added to silicon change its electrical properties.
- Alloys: deliberate mixtures of metals.
  - Example: sterling silver is 92.5% silver - 7.5% copper alloy. Stronger than pure silver.

هاد بحكي راح ندرسه بالتفصيل بال phase diagram

بصقع النقدية

* قلنا كان انو ال impurities مش اشي سيء، هي اشي كلها عشان اغير ال prop. للمادة

* حتى المواد اللي بجيبوها بطريقة analytical تكون ← purity فيها عالية مع هيك بكون فيها نسبة impurity وما نتوصل ال purity فيها ل 100%

* ال impurity حتى لو مقدار صغير كثير تكون الها تأثير ع ال str.

* مثلاً ال impurity الموجودة بال analytically مثلاً هاد شي unintentional يعني انا ما بدي اياها بس مش قادر اشيلها

Yousef Mubarak Materials Science 15

* لما نعرف شو تأثير ال element اللي تنضاف سواء intentionaly او unintentionaly على ال str؟ شو اللي بصير فعلاً جوا ال str؟

Scanned with CamScanner

احيانا احنا اللي بدنا نزيد نسبة هاي ال impurity عشان نغير بالخصائص

مثل الكربون بالحديد

* لقدر انتج حديد بكمية كثير مهملة من الكربون ؟ نعم لقدر زي ال ductile iron

بس هاد الحديد كثير ضعيف مقارنة مع ال steel او ال cast iron

فهاد لسببه احنا نضيفه intentional

Madar
ask ; believe & recieve

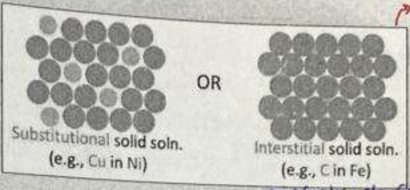
Scanned with CamScanner

Solid Solutions

- Solid solutions are made of a host (the solvent or matrix) which dissolves the minor component (solute).
- The ability to dissolve is called solubility.
- Solvent: in an alloy, the element or compound present in greater amount.
- Solute: in an alloy, the element or compound present in lesser amount.

1. Solid Solution

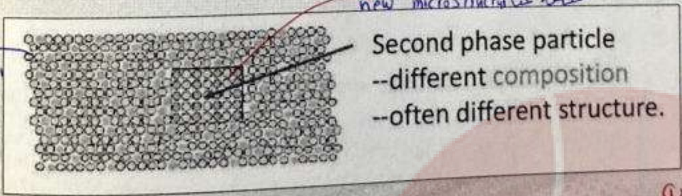
- ✓ Homogeneous
- ✓ Maintain crystal structure
- ✓ Contain randomly dispersed impurities (substitutional or interstitial)



Solid Solutions

2. Second Phase:

As solute atoms are added, new compounds / structures are formed, or solute forms local precipitates.



- Whether the addition of impurities results in formation of solid solution or second phase depends on the nature of the impurities, their concentration and temperature, pressure…

when we add this impurities we have on of two choises,
① the first option is the Solid Solution
② the second option is second phase

* كيف نعرف تغير الخصائص الأساسية بشكل آخر ؟
يعني لما نضيف carbon ع ال iron ملحوظين انو
randomly distributed في ال iron structure لغاية Limit معين لعند 6.7
يعني اذا نضيف أكثر من 6.7 الكربون الزيادة رح يصير له تكتل مع بعضه
ولصير يركب حاله لوحده ويعطينا graphite اذا صار عنا graphite
جوا ال iron يعني انا غيرت كل ال prop. of the material
وانا ما بدي يطلع graphite لانو هو كثير ضعيف مقارنة مع ال iron
هاد اللي نقصد فيه انو بدنا اياها randomly dispersed
ع اساس ما يصير عنا second phase او second microstructure

* متى يكون ال carbon هو ال solvent بحالة ال iron-carbon str. ؟
ولا مرة ، مستحيل ال carbon يكون هو ال solvent لانو كنا نضيف
شوية كربون لل major iron بس العكس ما بصير

heter. str. ولا homo. str. هل راح تعطيني str. الـ impurities دورها مهم هوا الـ
وهالشي يعتمد ع الـ Solubility قديش بذوب الـ Solute بالـ Solvent
كل ما كانت الـ Solubility اعلى هاد شي Favorable وممكن لا تكون اقل هي اللي تكون favorable
شو اللي بحكم الـ Solubility للـ Solute بالـ Solvent ؟

Substitutional Solid Solutions

Factors for high solubility: (Hume - Rothery rule)

1> **Atomic size factor** - atoms need to "fit" solute and solvent atomic radii should be within ~ ±15%. If size difference of elements are greater than 15%, the lattice distortions (local lattice strain) are too big and solid-solution will not be favored.

$$DR\% = \frac{r_{solute} - r_{solvent}}{r_{solvent}} \times 100\%$$

(diff. in radius; → the host)

اذا كانت هاي النسبة بين -15% و +15% عندها بحكي انو الـ addition هاي حالة ← Favorable

2> **Crystal structures:** like elemental crystal structure are better. For appreciable solubility, the crystal structure for metals must be the same, i.e. solute and solvent should be the same.

بدي اعمل check ع الـ building b. الهم الاثنين ، اذا عندي نفس الـ building block للـ Solvent والـ Solute بهاي الحالة بحكي انو favorable ، اذا اختلفوا بصير عندي not favorable

---

كل ما كانت الـ electro. للـ Solvent والـ Solute قراب لبعض ← favorable
كل ما كانوا بعاد عن بعض ← not favorable.

Substitutional Solid Solutions

3> **Electronegativity:** DE ~ 0 favors solid-solution.

بدنا الفرق بالـ electr. يكون قريب للـ zero

$$DR\% = \frac{E_{solute} - E_{solvent}}{E_{solvent}} \times 100\%$$

The more electropositive one element and the more electronegative the other, then intermetallic compounds are more likely.

4> **Valence:** Generally more solute goes into solution when it has higher valency than solvent. Higher in lower alright. Lower in higher, it's a fight.

← الـ Solute عشان يدخل بالـ str. بده يكون معاه Energy
← كل ما كانت الـ valency للـ Solute اعلى من الـ valency للـ Solvent هالشي favorable ، ع الاقل تكون الـ valency للـ Solute تساوي الـ valency للـ solvent ، اذا كانت اقل يعني بده جهد اكبر بالتالي ← not favorable
← بنفضل تكون الـ valency للـ Solute اعلى من الـ valency للـ Solvent

19

Scanned with CamScanner

ليش حالة ال Cupper وال nikle نصير اعكس ال major وال minor؟

يعني ممكن مرة ال major يكون Cu ومرة Ni، نحيا بمثال الحديد والكربون ما نصير؟! نعتمد على ال Solubility

اذا كانت ال Solubility ← unLimited بقدر احول ال Solute لـ Solvent والعكس

بس اذا كان عنا Limited Solubility لل Solute بال Solvent ما بقدر اعمل reverse واحول ال Solute لـ Solvent والعكس

كل مرة لازم اعمل check للـ Solubility لل Solute بال Solvent

لازم اطبق هدول القواعد الاربعة

Madar
ask believe & recieve

Scanned with CamScanner

major ← Solvent → Cu
minor ← Solute → Ni

لدي احمر Cuppor alloy
واضيف عليها Ni

Example ①

Solvent ↖ ↗ solute

Is solid-solution favorable, or not for Cu-Ni alloys?

هل راح يعطيني Solid solution
ولا second phase structure ؟

✓ Rule 1: r_{Cu} = 0.1278 nm and r_{Ni} = 0.1246 nm

ذرة ال Ni ممكن تحل محل ذرة ال Cu ← DR% = (0.1246-0.1278)/0.1278*100% = 2.5% (Favorable)

لنش ما ودي ال atoms اكبر او اصغر كثير من ال atom الاصلية

✓ Rule 2: Ni and Cu have the FCC crystal structure
no change in building block unit. (Favorable)

✓ Rule 3: E_{Cu} = 1.9 and E_{Ni} = 1.8. Thus,
DE% = (1.8-1.9)/1.9*100% = -5.2 % → قريبة من ال zero (Favorable)

كل ال 10 وفيه مطلوبة، وال interm ما راح تتشكل

ع اساس ال distortion

✓ Rule 4: Valency of Ni and Cu are both +2. (Favorable)
لان عندهم الكترونين عدارهم الاخير

➤ Expect Ni and Cu forms S.S. over wide composition range

* ولما نحكي تتشكل ال intermetalic لازم يكون عنا high & low electron...
وبهاد المثال ما راح تتشكل لانو قيم ال electronegativity قريبة ع بعض.

* لما يطلع معنا ال 4 factors are favorable بنقدر نحكي انو راح تتشكل
solid solution with wide range of composition شو يعني ؟! يعني ال mixture
راح يكون homogenuous وال bb ما راح تتغير وتوزيع ال Ni ما راح يعمل agglomeration

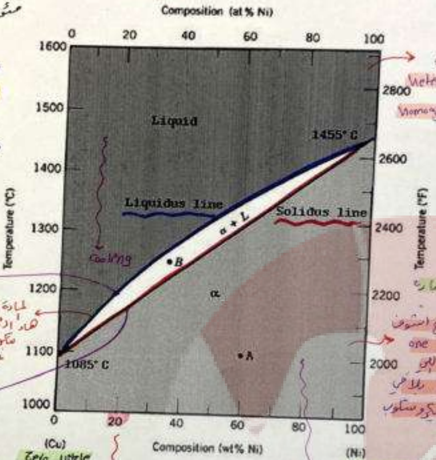
Scanned with CamScanner

نلاحظ انو هاي ال alloy اللي نحضرها ع اي composition
مثلاً عند 20% Ni و 80% Cu، نحضر ال alloy
وكيف ال two materials بالحالة الصلبة بعدين نصهرهم
نصيروا فوق ال line ابدو تقريباً 1200 درجة
مئوية عشان نتحضر هاي ال alloy.

أي شي تكون solid ← نصهرهم نصيروا molten ← نبردهم ونرجعهم solid ليس
ظاهرة جاءا على شكل alloy
الحادثية

* هون عنا soluble بدون limit يعني قد ما بدك ضيف

Example ①



* لو غيرنا ال Composition ؟ نفس الشي ليس
راح نعرف الحرارة اللي راح ينصهر عندها

* لو ضفنا 60% من ال Ni و 40% من Cu شو بصير؟!
هون بكون عنا switch ال solute هو ال Cu
وال solvent هو ال Ni، هل هاد راح يأثر؟
لا ما راح يأثر لانو عنا نحل صهر عند الحرارة
ونحول ل molten وبعدين نرجع نبرد هاد يرجع
لل solid structure اللي هو عبارة عن α structure

* ليس نوصل لهاد ال line في ال cooling ع ال 1200
تبدأ تظهر ال nuclei بال solution
وكل ما نزلنا درجة الحرارة ال nuclei
نصيروا يكبروا بال solution نصير
تتلاشى لحد ما نوصل لل line الاحمر.

لحادة فوق هاد ال line مكونة عبارة عن molten

* ليس نوصل عند هاد ال line اللي هو
ال solidus line بتكون اخر نقطة من ال L
تحولت ل solid وكل لحادة تحولت ل solid

Yousef Mubarak

Zero Nickle
100 Cu

Materials Science

عند هاي ال point مثلاً
ال Ni بكون فيها 20
وال Cu بكون 80

بأي حالة بنسمي ال str. اللي نطلع
Isomorphous phase diagram

* ال distribution
لل Cu و Ni هون
عبارة عن heterogen —
و بعطينا homogeneous mixture

* عند α نفس ال crystals اللي ظهرت
هل ليس هلأ ممكن نتغير:
1- distribution
2- size
3- number of crystals
ممكن ك microstructure ما تتغير
ال microstructure لانو again عبارة
عن α structure

* عند هاي المنطقة راح اشوف
one single microstructure
ما في غير واحد اللي
هو (α phase) يعني بلاحظ
ال crystals تكون ال α بس بالميكروسكوب

Zero Copper
100 Ni

* ع ال x axis من اليمين لليسار تزيد
تركيز Cu ومن اليسار لليمين تزيد تركيز
Ni

بأي مكان هون راح يكون عنا Same micro str.
هاد بعطينا مؤشر انو قد ما اضيف ال Ni على ال Cu
وقد ما اضيف Cu على ال Ni بضل it will be hosted
favorable لانو ال 4 factor راح يضلوا دايماً ؟ ليش it will be hosted

Limited Solubility → يعني Ag بذوب بال Cu لحد نسبة معينة فقط واذا عكسنا
نفس الشي ، يعني اذا حضرت Ag-Cu alloy بقدر اضيف نسبة محددة من ال Cu لل Ag

* لا يكون ال diameter لل two atom
قريبات عند بعض بهاي الحالة
ال replacement وارد ، بس
وارد لا يكون في فرق بال diameter

Example ②

Solvent ↖ ↗ Solute

Is solid-solution favorable, or not for Cu-Ag alloys?

✓ Rule 1: r_{Cu} = 0.1278 nm and r_{Ni} = 0.1445 nm

DR% = (0.1445-0.1278)/0.1278*100% = 13% (Favorable)

✓ Rule 2: Ag and Cu have the FCC crystal structure (Favorable)

✓ Rule 3: E_{Cu} = 1.9 and E_{Ni} = 1.9. Thus,

DE% = 0% (Favorable)

✓ Rule 4: Valency of Cu is +2 and Ag is +1 (Not favorable)

ال valency لل solute اقل من ال solvent بهاي الحالة ال solute لازم يقابل عشان يدخل ويصير

➤ Expect Ag and Cu have limited solubility. ← راح يصير عنا بهاي الحالة

➤ In fact, the Cu-Ag phase diagram shows that a solubility of only 18% Ag can e achieved at high T in the Cu-rich alloys.

* شو بصير اذا زدت النسبة المحددة اللي بقدر اضيفها؟ كونه هون ما راح يتشكل عنا intermetallic comp. بتشكل شي ... بال str. بس هاد لا يعتبر second phase. مش زي ال carbon بال iron

Yousef Mub...

* هدول نقدر اذوب الـ Ag بالـ Cu عشان يعطينا one phase زي الـ conc اللي عند النقطة الحمرا

④ نزلنا الحرارة أكثر لغاية ما وصلنا لها الـ line اللي تسمى Solidus Line عند هاد الـ line كل الـ molten sample تتحول لـ α اللي هو عبارة عن crystal واللي major Cu و minor Ag تكون نوع واحد ، المادة كلها تكون solid كلها

② عند هاد الـ line تبدأ تظهر أول بلورة من الـ α str. وهون ، α str. ما زال فيه الـ pure copper ولكن الأغلبية لـ copper والـ minor لـ Ag

maximum solubility of Ag in Cu تقريباً 8.1 لغاية هاي النقطة تكون عندي one phase

① نسخن لغاية ما نوصل لـ molten

② نبدأ نعمل تبريد

* هون في limit يعني نضيف لحد معين

* وفيه عنا one phase ؟ α و β

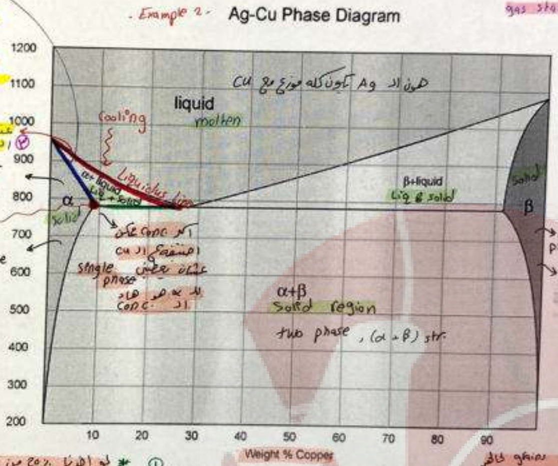
* α + β عبارة عن solid state بس فيها 2 phases

* تحت عنا liq state / gas state و solid state ؟

* شو تختلف الـ state عن الـ phase ؟ ممكن تكون عندي أكثر من phase بس الـ state بنفس الـ state زي عند β + α

* تغير الـ str

← شو الفرق بين الـ α والـ β ؟ الـ α تكون Cu وفيه شوية Ag ، الـ β هو Ag وفيه شوية Cu



① * لو اخذنا 20% من Ag وضفنا معهم الـ Cu ، نفس الشي لما نلبشت احمل الـ solidification ع الـ Liquidus Line صارت تظهر بلورات α فيها الـ major هو Cu والـ minor هو Ag ردنا لغاية ما وصلنا للخط الأخضر ، عند هاد الـ line المادة ما تتحول كلها لـ solid مثل ما نصير بالـ line الأزرق ، هون نضل جزء من الـ liq بعده ما زال موجود ، بس الـ هاد الـ liq الـ line اللي ضايل تصير تتحول لـ new microstructure عبارة عن طبقات من α وطبقات من β

③ طيب شو صار بـ β هالمرة ؟ كانت بالأول موجودة لكن grains حالهم تعني بلاقي α grain حالهم تعدينا تطلع عنا solid str. جديد عبارة عن β عشان هيك صار عندي new microstructure داخل غني بالـ Cu وفيه شوية Ag ، وواحد غني بالـ Ag وفيه شوية Cu

Materials Science
ask & believe & recieve
Scanned with CamScanner

بناءً ع ال phase diagram تبع المثال الثاني :-

طيب لو اخدت alloy فيها 95% من Ni و 5% من Cu

شو راح يصير ؟! لما نشوف العينة راح تكون كلها عبارة

عن molten ولما ابدا اعمل solidification راح يظهر ال grains of β

ال second str. ، شو هم بلورات ال β ؟! بكونوا غنيات بال Ag

وفيهم شوية Cu ، طيب متى هاي البلورة بتظهر ؟! بتظهر اذا كان عندي

اكثر 92% من ال Ni بال alloy اذا صارت Nikle alloy لانو هو

اللي صار ال major

ال Solubility عبارة عن important factor حتى نحكم

على المادة شو راح يصير فيها

Madar
ask ; Believe & recieve

Scanned with CamScanner

Solid Solutions

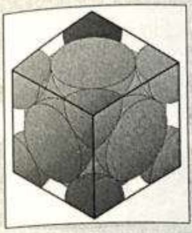
مين اللي راح يذوب أكثر بالـ alloy الـ Ag ولا الـ Al
لذا نطبق الـ 4 factor ونشوف اللي تطبق شروط
أكثر تكون الـ solubility تاعته أعلى

Application of Hume - Rothery rules - Solid Solutions.

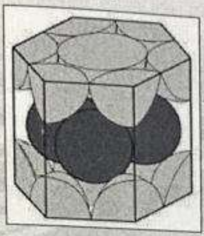
1. Would you predict more Al or Ag to dissolve in Zn? → major in alloy

2. More than Zn or Al in Cu? ← هون غيرنا صارت cuppor alloy

Al and Ag



Zn



Element	Atomic Radius (nm)	Crystal Structure	Electro-negativity	Valence
Cu	0.1278	FCC	1.9	+2
C	0.071			
H	0.046			
O	0.060			
Ag	0.1445	FCC	1.9	+1
Al	0.1431	FCC	1.5	+3
Co	0.1253	HCP	1.8	+2
Cr	0.1249	BCC	1.6	+3
Fe	0.1241	BCC	1.8	+2
Ni	0.1246	FCC	1.8	+2
Pd	0.1376	FCC	2.2	+2
Zn	0.1332	HCP	1.6	+2

* بالأمثلة اللي قبل both element اللي حطناها عملت replacement لأنها كانت بنفس الحجم، طيب لما ما تكون نفس الحجم؟ طبعاً أكيد بكثير صعب انو نحط هاد الـ element الصغير عادة تكون أصغر بكثير

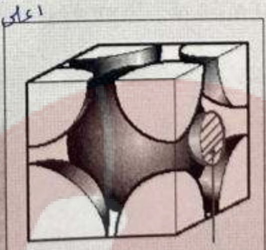
Interstitial Solid Solutions → لما ما يكون في substitution

- Interstitial solid solution of C in α-Fe. The C atom is small enough to fit, after introducing some strain into the BCC lattice. ← مثال element أصغر بكثير

Factors for high solubility: الـ voids فهم نستبدلهم أعلى من الـ SC

- For FCC, BCC, HCP structures the voids (or interstices) between the host atoms are relatively small, atomic radius of solute should be significantly less than solvent.
- Normally, max. solute concentration (in solvent) ≤ 10%, (2% for C-Fe) ← ما بتجاوز 10%

الـ SC هو أقل واحد من الـ str. فيه gap



Carbon interstitial atom in BCC iron

هون الـ radius لـ carbon كثير صغيرة مقارنة بالـ iron طبيعي مش منطقي احطها مكان الـ iron، بهاي الحالة الـ C بيجي بمكان irregular هوا الـ building بدور وبيه عنا gap وبيحط فيها، هاد ما يعني انو بكل gap راح يكون في carbon atom

ask believe & recieve

Scanned with CamScanner

← مع انه نسبة ال void فيهم اعلى من ال SC هاد ما بعني
انهم ممكن يعبوا كل هاي ال space ، لانو فيه الهم Limitation
هون تصير المشكلة ← حدود ال atoms اللي ما صار الهم hosting يعني
اللي ما قدر ال building block تاع ال solvent انو ياخذهم راح يعملوا
agglomeration ويصيروا يتكتلوا مع بعض ويعملوا second microstructure
مختلف تماماً ، هاد بسبب كنا ما نتجاوز النسبة المسموحة بال solubility.

Madar
ask believe & recieve

Scanned with CamScanner

Composition / Concentration

Composition can be expressed in:

- Weight percent, useful when making the solution.
- Atom percent, useful when trying to understand the material at the atomic level.
- Weight percent (wt %): weight of a particular element relative to the total alloy weight.
- For two-component system, concentration of element 1 in wt. % is

mass percent

$$C_1 = \frac{m_1}{m_1 + m_2} \times 100 \quad \text{or} \quad C_2 = \frac{m_2}{m_1 + m_2} \times 100$$

Composition / Concentration

- Atom percent (at %): number of moles (atoms)) of a particular element relative to the total number of moles (atoms) in alloy.
- For two-component system, concentration of element 1 in at. % is:

mole percent

$$C_1' = \frac{n_{m1}}{n_{m1} + n_{m2}} \times 100 \quad \text{or} \quad C_2' = \frac{n_2}{n_1 + n_2} \times 100$$

where $n_{m1} = m'_1 / A_1$

M'_1 is weight in grams of element 1.

A_1 is atomic weight of element 1.

Madar ask believe & recieve

Scanned with CamScanner

ضيا سنخدم atomic
او ال weight.

Composition Conversions

convert from weight to mass

➤ Weight % (→ mass) to Atomic % (→ mole)

$$C_1' = \frac{C_1A_2}{C_1A_2 + C_2A_1} \times 100$$

$$C_2' = \frac{C_2A_1}{C_1A_2 + C_2A_1} \times 100$$

➤ Atomic % to Weight %

$$C_1 = \frac{C_1'A_1}{C_1'A_1 + C_2'A_2} \times 100$$

$$C_2 = \frac{C_2'A_2}{C_1'A_1 + C_2'A_2} \times 100$$

* هون مش atom وحدة، بكون عنا مجموعة من ال atom هم اللي بشكلوا هاد ال defect.
→ many atoms in series make sort of dislocation in structure

* هاد ال dislocation إله 2 type وهو مهم جدا
في عمليات ال :- ① mechanical prop. ② mechanical testing
والاشياء اللي بتأثر ع ال mechanical prop.

Dislocations —Linear Defects (Line defect)

➤ Dislocations are very important in mechanical properties of material.

➤ Introduction/discovery of dislocations in 1934 by Taylor, Orowan and Polyani marked the beginning of understanding of mechanical properties of materials.

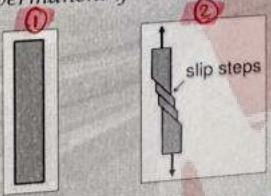
* هاي ال dislocation بدنا نعتبرها زي slipping يعني عبارة عن ازاحة.

➤ Dislocations are line defects.

➤ Slip between crystal planes result when dislocations move. (زي ال creep, زحف, حواسي بين ال crystal planes)

➤ Dislocations produce permanent (plastic) deformation.

* هون نوعاً ما ال dislocation هو sort of creep بلا external force بناءً على str. يعني هاي بقوة هي اللي بتأدي الى هذا ال sort of deformation in str.



Before deformation — After tensile elongation

* in general عنا نوعين من ال dislocation ومعظم الوقت بكونوا mix مع بعض
* حوا ال planes اللي بكون crystal بصير عنا نوع من الزحف وهاد الزحف بسبب مجموعة من ال atoms

Scanned with CamScanner

عند ① بدي اعتبر ما في تطبيق لاي قوة ① رجعنا عملنا application لـ tensile force
وضلينا نزيد بال force لغاية ما دخلنا بال plastic deformation
بالبداية المادة بتكون بال elastic يعني اذا نشيل ال force برجع لوضعه الاول، لكن
اذا شلت ال force بعد ما طبقتها على هاد ال bar 5 tensile force
وتطلع ع الشكل بلاقي صار عندي sort of permenent deformation.

Creep test ← هو عبارة عن failure under constant stress and this stress is much lower than the ultimate stress
يعني بكون اشتغل على stress واطي الا انه مع الزمن بصير في عنا failure. لماذا
ال failure اللي بصير هو بسبب ظاهرة الزحف اللي بنسميها
ال creep test

dislocation

edge dislocation | screw dislocation

لا احكي edge او screw ما بتقدر تشوف هاد ال dislocation
لوحده جوا ال str. ، بكون في mix بينهم
يعني من زاوية نظر معينة بتشوفه edge ومن زاوية ثانية
بتشوفه screw. وبداخل ال str. هو عبارة عن خليط
من الاثنين يعني ما في pure لل edge ولا لل screw

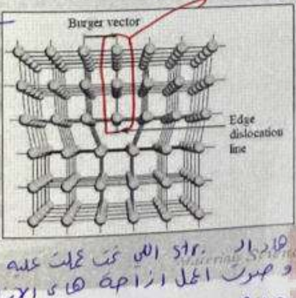
Dislocations —Linear Defects

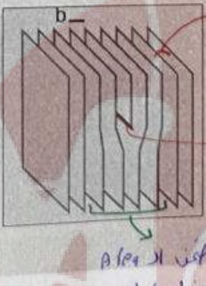
- ✓ Are one-dimensional defects around which atoms are misaligned
- ① ➢ Edge dislocation:
  - ✓ Extra half-plane of atoms inserted in a crystal structure.
  - ✓ b perpendicular to dislocation line.
- ② ➢ Screw dislocation:
  - ✓ Spiral planar ramp resulting from shear deformation.
  - ✓ B parallel to dislocation line

Burger's vector b: measure of lattice distortion.

Edge dislocation

- ➢ Dislocations are linear defects: the interatomic bonds are significantly distorted only in the immediate vicinity of the dislocation line
- ➢ This area is called the dislocation core.
- ➢ Dislocations also create small elastic deformations of the lattice at large distances.





بدنا نعتبر ال dislocation انو عبارة عن movement of number of atoms from their Location to a new Location.

صار عندهم ازاحة. طبعاً هاي الازاحة اللي نصير it will extend the points in str.

نصير في extenion لا point هوا ال building block

بسبب هاد ال extension راح ينكسروا هدول الروابط ويتم بناء روابط اخرى جديدة مع other group of atoms نهو عبارة عن sort of failure بس ما يكون ظاهر بشكل كبير هوا ال str.

elastic deformation → 100% recoverd deformation
يعني لما اشيل القوة برجع لوضعه الطبيعي قبل تطبيق القوة عليه
يعني ولا كإنو صار فيه شي

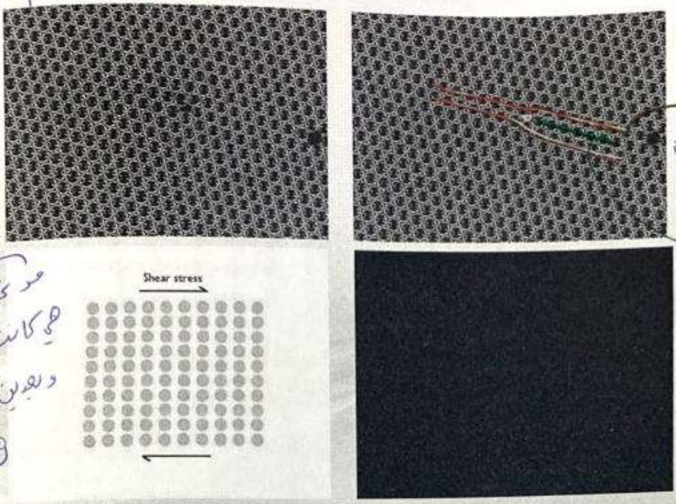
plastic deformation → elastic & plastic ← tow deformation together عبارة عن

لما تشيل ال force ال elastic بصيرله recovery بس ال plastic بضل موجود، هون نصير تشوه دائم بال str. تاع المادة

بنلاحظ ال distortion يكون عالي وكل ما ابعدنا يصير يقل لغاية ما نلاحظ انو ع مسافة بعيدة يختفي ليش؟
لانو منطقة التأثير كانت محدودة وكل ما نبعد عن ال core بنلاحظ انو يقل كثير ولقد احمله

Madar
ask believe & recieve

Scanned with CamScanner

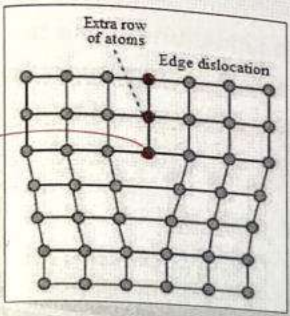


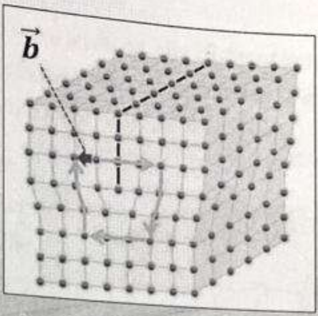
Motion of Edge Dislocation

- Dislocation motion requires the successive bumping of a half plane of atoms.
- Bonds across the slipping planes are broken and remade in succession
- To describe the size and the direction of the main lattice distortion caused by a dislocation we should introduce so-called Burgers vector b.
- To find the Burgers vector, we should make a circuit from atom to atom counting the same number of atomic distances in all directions.
- If the circuit encloses a dislocation it will not close.
- The vector that closes the loop is the Burgers vector b.

Scanned with CamScanner

الـ dislocation line من هاي النقطة لجوا للجهة الثانية



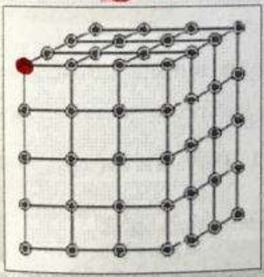


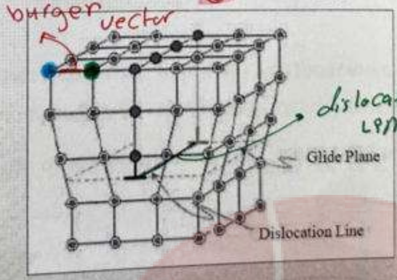
- Dislocations shown above have Burgers vector directed perpendicular to the dislocation line.
- These dislocations are called edge dislocations.

حسب وين الـ direction لل burger vector ؟
الـ burger vector جاي عامودي ع الـ line الـ dislocation
بهاي الحالة بحكي عنا edge dislocation

* اذا حسبته ع اي face دايماً راح يكون في one burger vector وراح يكون عامودي ع الـ dislocation line

① ②





- Introducing a dislocation into a crystal lattice by cramming in an extra half-plane.
- The dislocation line marks the edge of the half-plane. The inverted T symbol shows the location of the half-plane.

هاد الـ dislocation line عند الـ edge لل half plane طبعاً بعبر
هاد الـ line هو نهاية هاد الـ edge كل ما صار shifting

* اذا بدي اعرف اذا في sort of dislocation بتخيل اني بدي امشي من النقطة الحمرا عند 1

٣ باتجاه اليمين وبعدين ٤ للاسفل وبعدين ٣ لليسار وبعدين ٤ للاعلى

بلاحظ اني راح ارجع عند نفس النقطة اللي بلشنا نعد من عندها

بلاحظ انو ال circut تسكرت يعني ما عندي اي sort of dislocation

وبهاي الحالة مافي burger vector يعني هاد ال str. مافيه edge of dislocation

* عند 2 لو اجيت من النقطة الخضرا وعديت ٣ لليمين و ٤ لتحت و ٣ لليسار و ارجع اطلع ٤ لفوق راح الاحظ اني ما رجعت عند نفس النقطة اللي لبشت العد منها واجيت عند النقطة الزرقاء

المسافة بين النقطة الخضرا (اللي بلشت العد منها) والزرقا (اللي وصلت عندها)

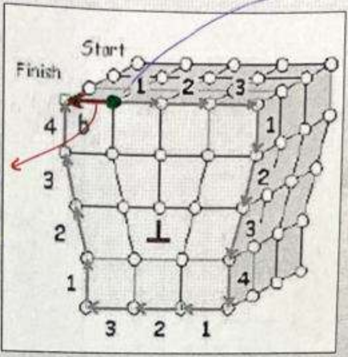
هي عبارة عن ال burger vector لانو ال circut ما سكرت

ان سكرتها بادي ب one unit ← هون نحكي انو ال burger vector

مقداره one unit (as quantity)

Burgers vector

- Start at some point, going clockwise around the dislocation and counting our steps so that we take the same number right as we took left, the same number down as we took up and so on.
- Once we have circled the dislocation and our steps match up, the Burgers vector is the vector which points from Start to Finish.



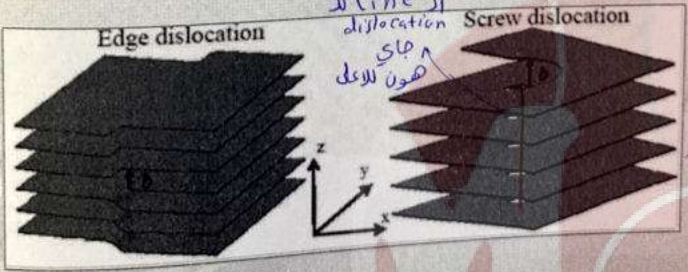
سكرنا ال circuit بواسطة هاد ال direction ناتج ال burger vector وهاي عامودي ع ال dislocation line

لفينا من هاي النقطة

Second type of dislocation

② Screw dislocations

- Dislocations shown in previous slide are edge dislocations, have Burgers vector directed perpendicular to the dislocation line.
- There is a second basic type of dislocation, called screw dislocation



ال dislocation line جاي هون للاعلى

هون ال distortion ناتج عن عملية twisting

sort of shifting ع twisting وهاد ال str. يعني كأني لصيت ال

ask ; believe & recieve
Scanned with CamScanner

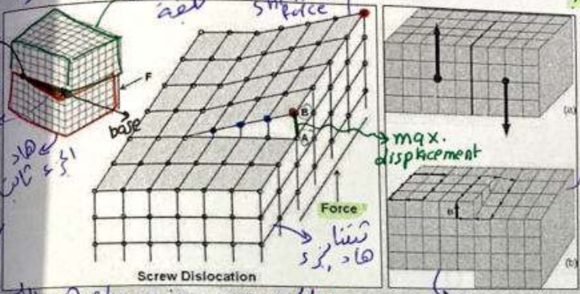
كيف نصير هاد ال screw dislocation ؟ نتخيل مثل اسفنجة قطعناها وثبتنا الجزء السفلي ولف الجزء العلوي

* والجزء اللي ما قطعته (الملازقة) كمان ما راح يلف

كيف بدي اعرف انو هاد screw مش edge ؟

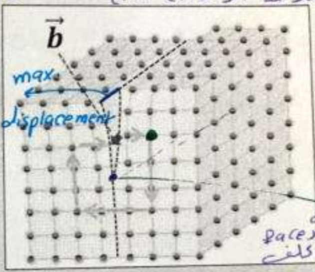
عشان احسب ال $\vec{b}$ بدي اطبق نفس الخطوات

لو مشينا من النقطة الخضرا ومشينا بعد ٣ لليمين وبعدين ٣ لفوق بعدين راح نلاحظ انو ما راح ارجع



* الجزء اللي صار فيه قطع هو اللي راح يلف

> *The screw dislocation is parallel to the direction in which the crystal is being displaced (Burgers vector is parallel to the dislocation line).*

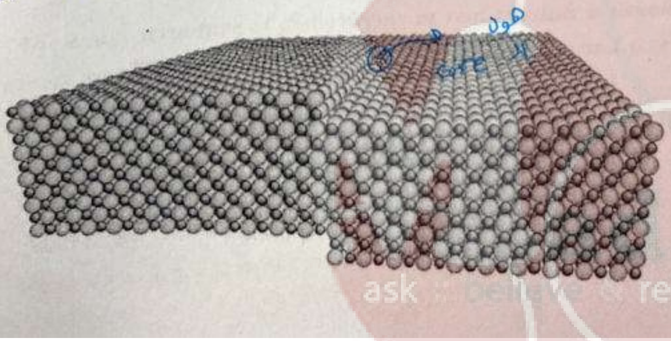


Yousef Mubarak Materials Science 36

الشكل اللي يعبر عن الازاحة في ال tip و base ، ال base هي representation عن ال maximum displacement اللي بصير بال str. ، فبنقدر نحكي انو ال max. displa. عبارة عن one unit وال min. displac. هو zero unit عند نقطة ال tip

ال perpendecular يكون parallel لل distortion vector

* عند ال dislocation line تكون قيمة ال burger vector تساوي zero وعند البعد نقطة عن ال core تكون عنا ال maximum value لل Burger vector



ask believe recieve

Scanned with CamScanner

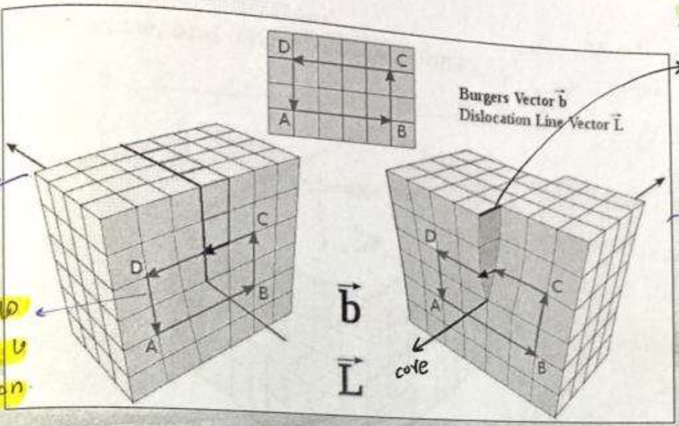
* المفروض B كانت عند A قبل ال deformation لكن بسبب ال deformation
انتقلت وصارت عند النقطة B ، والأصل انو ال point A كانت
تكن وهكذا...

* عند النقاط الحمرا المفروض الهم نفس الإزاحة ، لانو صار عندك
shifting ل one unit

* لما نمشي باتجاه النقاط الزرقاء بلاحظ انو الإزاحة بتقل

Madar
ask believe & recieve

Scanned with CamScanner



هون عنا max لل burger vector ع ابعد نقطة عن ال core

هون عنا close circuit

هاي ال area لما مرها dislocation

هون ما صار close لل circuit لانو صار shifting هاد ال shifting هو مقدار ال burger v.

A screw dislocation is like a spiral staircase or a parking garage. The dislocation line is the axis of the helix.

* كل ما ابعدنا عن ال core باج تزيد قيمة ال burger vector.

* لاحقاً ممكن هاد يختفي ويرجعوا زي ماكانوا ويصير ال dislocation غير موجود.

* بيجي للواقع ← ما في edge dislocation ولا screw dislocation ولا واحد منهم موجود pure ، الي موجود هو عبارة عن mixture من هدول ال dislocation

Mixed/partial dislocations (not tested)

- *The exact structure of dislocations in real crystals is usually more complicated than the ones shown in the edge and screw dislocations.*
- *Edge and screw dislocations are just extreme forms of the possible dislocation structures.*
- *Most dislocations have mixed edge/screw Character.*

Madar ask believe & recieve

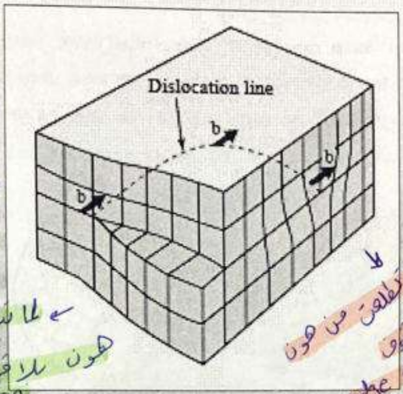
Scanned with CamScanner

*عند اي نقطة ع ال dislocation line
لا بامكاني احلل ما راح اشوف edge ولا screw

Edge, Screw, and Mixed Dislocations

شفنا ع واحد من الوجه edge
وع واحد تاني screw ، طب
هوا ال str. شو في ؟!
في الاتنين مع بعض
لانو بالوسط في امتداد ال line
تاع ال edge وامتداد ال line
تاع ال screw راح يصير في
تقاطع بينهم بالوسط

ال Dislocation line
ع الداخل بصير كانو
الها curveture
(حسب ال b لا هو
parallel للـ line تاع
ال screw ولا عامودي
ع ال line تاع ال edge



لما بتطلع من ← هون بلاقي screw dislocation

لا اذا تطلعت من هون راح اشوف edge dislocation

*deformation اذا ال b فيه لا هو (||) مع ال screw
ولا (⊥) مع ال edge

ال deformation عنا اياه ع plane كامل

هاد موجود ع ال b.d ال grain اللي بين ال crystals
هناك صار عنا area as an missmatch

Interfacial Defects

- Interfacial defects are two dimensional boundaries with different crystal structures and/or orientations. (→ x & y)
- External surface: where the crystal terminates.
- Grain boundaries: crystal often form groups of atoms known as grains, which when combined with other grains in a large crystal, often have misalignments that form boundaries.
- Phase boundaries: where a crystal forms more than one phase (i.e. solid and liquid)
- Polycrystalline material comprised of many small crystals or grains.
- The grains have different crystallographic orientation.

هي اللي بتعمل هاد ال deformation

ال ازي مثلا اكتر من نوع ال crystal α و β

بنسميها grains لبس
لما يكون عنا حجم صغير من ال crystal بعض ما نضبوا وصاروا تشكل ال crystal
يعني حجم مشاريع لبلورات بس ما تطورت

poly → عدد لا نهائي من ال crystal اللي هي اصلا grains لانو تشكلي
وحجمها مش كبير

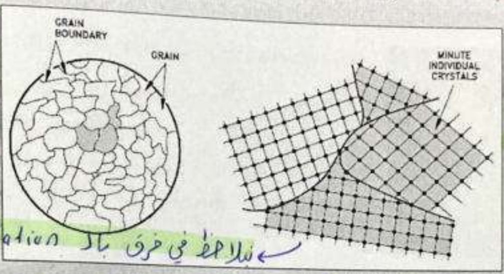
ask :: believe & recieve
Scanned with CamScanner

cry. orientation بال diff orientation هو ال * لل يحكي انو في within the cry. str ← نفسها مقارنة مع orientation تاني لـ crystal قريبة منها

- There exist atomic mismatch within the regions (اللي هو بين ال grains) where grains meet. These regions are called grain boundaries. → هو اللي بصير فيها ال miss match وال imperfection
- Surfaces and interfaces are reactive and impurities tend to segregate there. Since energy is associated with interfaces, grains tend to grow in size at the expense of smaller grains to minimize energy.

(بصيروا بيكبروا على حساب بعض عشان نصير minimize of energy)

هاد ال diff بال orientation بأدي انو يصير عنا missmatches بالمنطقة اللي عند ال grain boundary



نلاحظ في فرق بال orientation بين ال cryst. ←

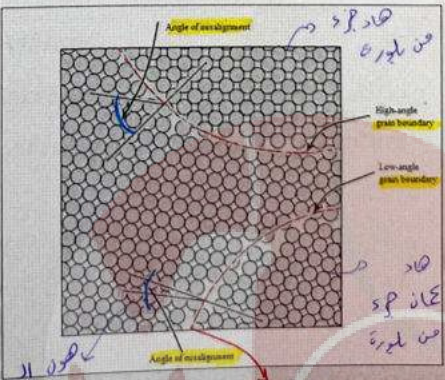
* لل يكون عادة crystalization ال crystal بلشت تعمل attract ال chains اللي من نفس النوع

* طب اذا عنا impurities وهي اصلاً الحالة الطبيعية ، اشو بده يصير برأيك ال impurities they will not be attractive to the crystal str. they will remain and segregate inside the str.

عشان هيك ما الهم محل يتواجدوا فيه غير حدود ال impurities الا ال grain boundaries

* كل ما كانت ال Angle اكبر كل ما كان ال deformation عنقطة ال grain boundary اعلى
↓ Angle of misaligment

- High and Low Angle Grain Boundaries:
- Depending on misalignments of atomic planes between adjacent grains we can distinguish between the low and high angle grain boundaries



هاد جزء من الصورة

هاد عبارة جزء من الصورة

بكون ال angle اقل بالتالي ال difformation بكون اقل

grain boundary

ask believe & recieve

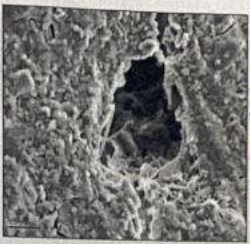
Scanned with CamScanner

atoms ولا molecules لا ، ولاشي فيها ما فاضية str. الـ جوا void عن عبارة *
عبارة عن فراغ

stress الـ تصير يعني ، stress concentration area راح تعمل void الـ فيها الموجود المنطقة هاي *
المنطقة حوالين هاي الـ void هو اعلى ما عندي ويمكن يكون هو بسبب
الـ failure لانو هو عبارة عن كوفت او فراغ

Bulk or Volume Defects

- Bulk defects occur on a much bigger scale than the rest of the crystal defects discussed.
- Voids are regions where there are a large number of atoms missing from the lattice. → talk about series of building block in lattice يكون مش موجودة
- Pores - can greatly affect optical, thermal, mechanical properties.
- Cracks - can greatly affect mechanical properties.
- Foreign inclusions - can greatly affect electrical, mechanical, optical properties
- The image is a void in a piece of metal. The image was acquired using a Scanning Electron Microscope (SEM).



هاي الصورة مكبرة الاف المرات يعني هنا بنحكي عن مسافات صغيرة جدا

air bubble هاي الظاهرة عكس لما نشوفها بالواقع الزاوية الفراغ ما يكون فيها *
3 dimentional deformation هون عنا area ولا atom مجموعة من الـ ولا single atom هون مش *
crystal itself للانو grain boundaries ويمكن يكون بالـ void الـ يكون بالـ ممكن *
الـ crystal مش crystalline 100% حتى الـ crystal itself فيها اجزاء مناطق غير منتظمة

← هلا الـ vacancy بتزيد مع زيادة درجة الحرارة ، كل ما زدنا درجة الحرارة بيزيد الـ frequency of vibration للـ bond اللي بتربط الـ atom مع بعض تصير فيها vibration عالي ، بعدين راح تنكسر هاي الروابط

Atomic Vibrations

هون مش thermal vibration mechanical
← كل ما زدنا الـ vibration frequency تكون عملية الـ deformation اسرع واسهل

- Heat causes atoms to vibrate.
- Vibration amplitude increases with temperature.
- Melting occurs when vibrations are sufficient to rupture bonds. ← كل ما كبرنا اكثر تزيد عن الـ atom اللي فيها الـ building block
- Vibrational frequency ~ 10^{13} Hz. هو بنحكي عن freq. عالية جدا
- Average atomic energy due to thermal excitation is of order kT.

← كل ما رفعنا درجة الحرارة كل ما الـ vacances زادت وهاي راح تؤدي بالاخير للـ failure

* الـ shaking تصير بسبب ارتفاع درجة الحرارة يعني انا ما عملت للـ str. shaking

* لما نرفع درجة الحرارة ← تصير في vibration عالي ← هاد تؤدي لتكسر الروابط ← أدى للـ melting هاي للمعادن

Madar ask & believe & recieve
Scanned with CamScanner

* بكون في فراغات بالـ crystal بس نسميها بالـ Amorphous material

يعني ما نتجل فراغ او تجويف

← هاي الـ series الي مش موجودة بالـ Lattice صار بيالها واحد من الحول

1. air
2. Void
3. impurities

← لهذا اعتبر انو الـ agglomeration للـ graphite بالـ iron انو volume defect

هاي كتلة الـ graphite راح تشكل الـ agglomeration لانو الـ volume defect هوا الحديد هي عبارة عن graphite

لما نقارن الـ strength للـ graphite مع الـ cementite بنلاقي فرق كبير بينهم

← في prop. تانية تتأثر مش الـ electrical & thermal conductivity

* نتيجة الـ freq. العالية والـ vibration تؤدي الى رفع درجة حرارة بالمكان الي صار فيه vibration (احتكاك)،

* two factor that effect :-

① heat
② freq.] → migration of atoms from their location

كل ما زادوا بكون الـ

اعلى، عشان هيك لما نقول melting ← شو بصير فيه ؟

بالـ melting في عنا crystalline structure شبه للمواد المعدنية، متى بنشعر ؟

بنشعر ما يبطل عنا روابط هوا الـ building block الـ تحمل الـ solid structure

لانو مع زيادة درجة الحرارة راح يصير عنا more atoms will leave their location

يعني كم تعملوا تخريب للـ internal str. تاع المادة لحد ما نوصل للـ melting point

اذاً ← الـ melting هي الـ point الي بصير فيها الـ str غير قادر على حمل الـ solid str لانو صار عنا heat و freq.

الي مش موجودها بكون كبير

ادى تكسير عدد اكبر من الروابط، بالتالي لما نغير عدد الـ atom

Scanned with CamScanner

Chapter 5

Mechanical Properties

لـ واحد من الاشياء مهمة جداً
بعلم المواد لانو منه خلاله بنعرف
كذا خصائص المواد وتحليلها

لـ الجزء الثاني من الـ course
راح ندرس عن الخصائص
الميكانيكية للمواد

The University of Jordan
Chemical Engineering Department
First Semester 2021
Prof. Yousef Mubarak

الـ internal structure
بتحدد الـ strength لشيء
الـ ductility لشيء عالية او منخفضة لشيء هاي brittle
ولشيء هاي ductile
لشيء هاي hard او soft
كله هاد عبارة عن
mechanical characterization

← عادةً شو نعمل عشان ندرس الـ mechanical prop. of materials
we have to conduct exp. work.

← حتى نعمل exp. work من خلاله نطلع الـ prop
لازم نتبع certain standard procedure

---

elastic → reversible process
plastic → irreversible process

Outline

- **Stress and strain** → on metals
  What are they and why are they used instead of load and deformation?
- **Elastic behavior** stress strain curve
  When loads are small, how much deformation occurs? What materials deform least?
- **Plastic behavior** → permanent deformation
  At what point does permanent deformation occur? What materials are most resistant to permanent deformation?
- **Toughness and ductility**
  What are they and how do we measure them?

عادةً هاد عبارة عن tensile test او comprision test والـ من خلاله نعرض عينة لسحب او ضغط
بعدين بنشوف شو تاثير المادة مع عمليات السحب والضغط وبناخد قراءات
للـ Load والـ deformation، وبناءً عليها بنرسم رسمة stress strain curve
ومن هاد الـ curve بطلع مجموعة من الـ prop.

← اذا شلت الـ force كل شي يرجع لشكله الاصلي
elastic يعني recovrable

٢) ما يمكن يرجع لشكله الاصلي

هل كل ما كانت المادة tough احسن ولا لا؟ تكون اكثر ductile احسن؟ تعتمد على طبيعة المادة ولشو بدي استخدمها

Scanned with CamScanner

* ال procedures عبارة عن standard procedure عالمية
المعروفين اذا بدي اعمل conduct of exp باي مكان بالعالم
يكون نفس ال procedure ، نعمل نفس ال procedure
عشان لما نقارن بنتائج تكون المقارنة مزبوطة

ال prop اللي نطلعها من ال stress strain curve

1. modulus of elastisity
2. Lower & upper yeild points
3. ultimate strength
4. Fracture strength
5. deformation
6. elongation
7. resilience
8. toughness

Madar
ask believe & recieve

Scanned with CamScanner

Introduction

- Engineers are primarily concerned with the development and design of machines, structures etc.
- These products are often subjected to forces/deformations, resulting in stresses/strains, the properties of materials under the action of forces and deformations becomes an important engineering consideration.
- The properties of materials when subjected to stresses and strains are called "mechanical properties". In other words the properties that determine the behavior of engineering mats under applied forces are called "mechanical properties".

* بدنا نفهم سلوك المادة لما نطبق عليها قوة

deformation → external applyed force هو عبارة عن استجابة المادة لـ

شو الاحتمالات لما اعرض المادة لقوة ؟ :-

① تقاوم وما يصير فيها شي

② يصير فيها diformation

Deformation

- The response of a material to applied forces depends on the type and nature of the bond and the structural arrangement of atoms, molecules or ions.

  شو طبيعة المادة والروابط ؟ روابط قوية ولا ضعيفة ؟ طويلة ولا قصيرة ؟

  كيف المادة من الداخل مرتبة الذرات فيها

- Basic deformation types for load carrying materials are:
  1. Elastic deformation (deformations are instantaneously recoverable) → by the end there is no permanent deformation on the material
  2. Plastic deformation (non-recoverable) → elastic بدون ما يكون في البداية plastic غير ممكن اني ارجع ع الـ
  3. Viscous deformation (time dependent deformation)
- There are four principal ways in which a load may be applied: namely, tension, compression, shear, and tension → shear

building block الـ - شو طبيعة

كيف وين الـ b.b lattice الـ

- شو نوع الـ cry str. اللي طلع

Large cry / small cry

Long grain boundary of small

Single type of crystal or diff type

Madar ask believe & recieve

Scanned with CamScanner

بندرس علم هندسة المواد عشان نعرف ال prop تاعت المادة اللي من خلالها
بدنا نعمل ال selection لل material of construction

* شو نوع ال Force اللي نتطبقه ع الكرسي ؟
compression

* لـ نعمل material selection بدنا ندرس شو ال Forces
اللي بدها تأثر ع هاي المادة .

* ما في شي بالحياة ما عليه stress

* شو نوع ال stress اللي موجود ع ال electric board اللي بال computer ؟
التيار الكهربائي اللي بمر بال board راح يرفع درجة الحرارة لل board
شو راح يصير بالاسلاك الخفيفة لما يمر فيه تيار كهربائي وليش ؟
بتمدد وبصير فيه استطالة ، ولما يبرد برجع يتقلص

* مثال تاني ال lamp ، في داخل الزجاج سلك ال Tungesten بتوهج لما نعطيه
كهربا وليس نشيل الكهربا بروح الوهج
هاي عملية ال thermal expansion بدها تشد سلك ال Tungsten درجة
لما يبرد ، انت لما تشغلها وتطفيها قاعد تعمل compresion و tension
فلذلك بعملوا test ع المادة ليعرفوا قديش بتتحمل انها تشتغل
قبل ما يصير الها failure (ينقطع سلك ال tungsten)

* لو طبقت قوة بايدي على القلم وشديته هل راح يصير
di formation ؟ لا ، لانو ال strength تاع القلم اكبر من القوة
اللي انا طبقتها

* بس لو رحت ع ال tensile testing machine وشديت القلم راح
ينقطع بس قبل ما ينقطع لانو plastic راح يصير فيه extention
وراح يصير يطول وال area تصير تصغر لحد ما تصل ال cross sectional area
الي ظلت تتحمل ال applied force بالتالي ينقطع

طيب لو ضغطناه ؟! نفس الشي بتحمل لحد معين بعدين يصير
فيه shrinkage بصير يصغر القلم لحد معين بعدين ينقطع
طيب لو لفيناه (بدي اعمل لي) ؟
كمان راح يصير في di formation

* بال initial لما نتطلع ع ال internal str. بنلاحظ ال atoms وال lattice وال layers close to each other ومرتبين بطريقة هندسية
* علقنا حمل مقداره F ، اذا كان مقدار ال load صغير فراح يصير deformation ولا شي لانو ال cross s. area بعمل resistance ، واذا زدت الحمل شوي بيصير عنا deformation

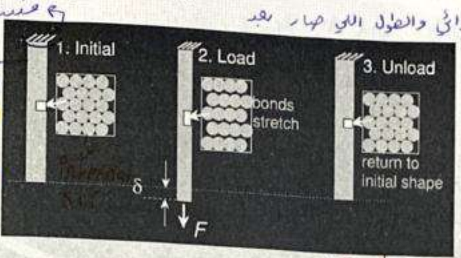
Elastic Deformation

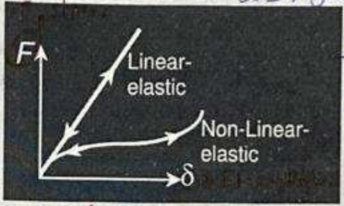
معلقينا بالسقف

* Elongation الفرق بين الطول الابتدائي والطول اللي صار بعد ما طبقنا ال Force
* صار في tension بالروابط اللي بالداخل صاروا شوي بعاد عن بعض
* اذا شلت ال Force هاد ال elongation راح يرجع لحالته الابتدائية ، وال internal str. راح يرجع نفس الاول

طوله بالبداية ما ونلاحظ انو من بدايته لنهايته uniform cross sectional area.

ما في عنا اي min cross sectional area محدد ، اي area نأخذها بتكون min.





هون رسمة ال Force مع ال elongation

هون كونه ال area ثابتة لو قسمت ال F بعطيني ال Stress / area

راح يعطيني ال strain $\frac{\delta}{L_0}$

بنقدر نحكي انها رسمة ال Stress مع ال strain

> Return to the original shape when the applied load is removed.
> Elastic means reversible!

* ما عنا permenent deformation لا بال length ولا بال cross sectional area ولا بال internal structure

المادة بتقاوم

* هون ال final area & final Length نفس البداية

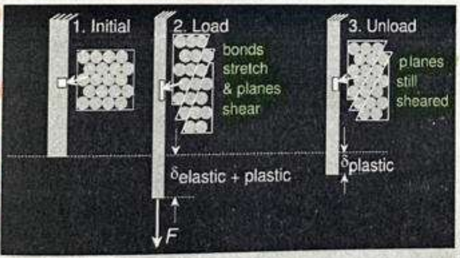
Yousef Mubarak Materials Science

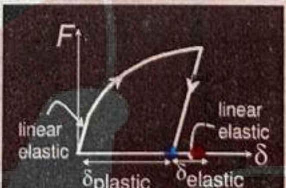
* مقدار ال Force اللي طبقناها بهاي الحالة اكبر وال Force هون perpendicular على ال cross sectional area اللي بدها تعمل resistance
* هون δ او ال deformation اكبر لانو بقوة اكبر ، هاد ال δ شو عمل ؟ عمل big variation بال internal str. صار في استطالة اكبر بال internal str.

Plastic Deformation

* شو يعني صار shear ع ال plane !؟ صار زي ظاهرة ال creep صاروا يزحفوا ، سحلوا ما ضلوا بمكانهم
* هاي ال Force عملتلنا تغير بالطول وبال cross sec. area بنلاحظ انو ال area كمان
* اذا شلت ال Force جزء من ال deformation رجع وجزء تضل ما راح يرجع ابداً

هون ال Final Length بنلاحظ انو increase وال cross sectional area صارت decrease





> Could not return to the original shape when the applied load is removed.
> Plastic means permanent!

* ال plastic هو عبارة عن plastic & elastic

لما شيل ال force ال elastic رجع وال plastic بضل

• عند النقطة الحمرا عنا two deformation
• عند النقطة الزرقاء مقدار ال permenent deformation

Yousef Mubarak Materials Science

Scanned with CamScanner

axial force → like tension & compression

لا اضبه قوة سواء شد او ضغط بشكل axial يعني اتجاه ال force

تكون normal ع ال cross sectional area

لا الف تصير اسمه ← shear force يعني ال ← بتجي tangential force

ع ال cross sectional area

* لا نعمل analysis ونحسب ال force على ال cross sectional area حتى

نطلع قيمة ال stress انا دائماً بيهمني ال maximum stress

شو يعني max. stress ؟! لو اخذنا قلم الرصاص ال cross sectional area ال uniform

لا نحط عليه هاي ال force

ال cross sectional area هي اللي راح تقاومها ، وكونه عنا

uniform cross sectional area معناها ال stresses are distributed evenly

اي area لازم عليها نفس ال value لل stress from Lo to Lf

لكن لو كان ال cross sectional area مش uniform (من عظمة الكلب)

بالوسط بتكون uniform بس ع الاطراف تطلت uniform

لا احسب ال stress دائماً بحسبه ع ال minimum cross sectional area ليش ؟

لانو تعريف ال stress هو ال $\frac{\text{force}}{\text{cross sectional area}}$ بالتالي ال stress بتكون اعلى اشي

ال area بتقل هاي النقطة الاضعف

* ال void بتقلل ال cross sectional area

* لا تقسم force على small cross sectional area تصير قيمة ال stress

عالية مقارنة العادة لا تكون كلها solid وما فيها فراغات عندها بتكون ال area

كبيرة وتتعطيني اقل force

* عشان هيك لا نعمل ال test بنتعمد نخلي فيه min. cross sectional area

وهي اللي بنحللها measurement في ال deformation

Mader ask believe & recieve

Scanned with CamScanner

في مواد بتعطيني non Linear elastic مثل مكون الأسنان والعصبيه والمطاط

* مثل المطاط ← بنعرف المطاط انو قد ما اشده مجرد ما اشيل الـ Force
برجع لوضعه الطبيعي ، هل العلاقة كانت Linear من zero deformation
لـ 400% deformation إ؟ لا العلاقة مش Linear بس بنقول elastic

* المعادن دايماً بتكون ← Linear elastic

* هاد الـ straight Line لمتى بضل straight إ؟ لحد معين

← بما انها straight معناها في slope ، لما اطلع الـ slope لهاد الـ Line
راح يعطينا the first prop. of the material

← المنطقة الي بكون فيها المعدن بسلك سلوك الـ elastic بنسميها منطقة
hooke's Law

← hoocke's Law ← بمنطقة كانت الـ elastic العلاقة بين الـ Stress
والـ strain فيهم خطية ، بالتالي diff materials have diff slopes
يعني الـ slope مش ثابت لكل المواد ، في مواد بكون الـ ... قريب للـ y-axis
وفي مواد بكون الـ Line قريب للـ x-axis

* So the first prop. we calculate in region of Linear of proportionality
modulus of elasticity هاي العلاقة بنسميها
هي العلاقة بين الـ stress والـ strain

* الـ non Linear elastic مثل الـ pseudoplastic و non newtonian fluid

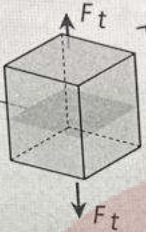
area كل applied Force تكون ⊥ على ال ← Tensile
applied Force لل resistance اللي بتعمل
* يعني دايمًا ال Force فيه تكون ⊥ على ال cross sectional area

شو انواع ال stresses الموجودة ؟!
-1- tensile stress
-2- Compression stress
3. Shear stress

Engineering Stress

(or normal stress)

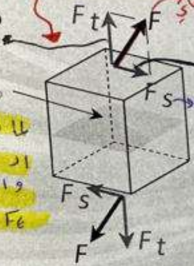
> Tensile stress is the elongation of the material when a stretching force is applied along with the axis of applied force.



Tensile stress

$$\sigma = \frac{F_t}{A_0} = \frac{lb_f}{in^2} \text{ or } \frac{N}{m^2} \rightarrow Pa$$

A_o is the original area before loading → min. area resisting the applied force



لا يعرف زاوية بعرف
ال F هي ال sin
وال cos بعطيني
F_s > F_t

Shear stress, is the component of stress coplanar with a material cross section. It arises from the shear force, the component of force vector parallel to the material cross section.

$$\tau = \frac{F_s}{A_0}$$

are resisting the shear force

→ تكون ال applied F. هاي parallel & ال cross sec. area

يعني ال unit تكون ال tensile

F_t ← جاي ⊥ ع ال cross sec.

F_s ← جاي tang... على ال cross sectional area

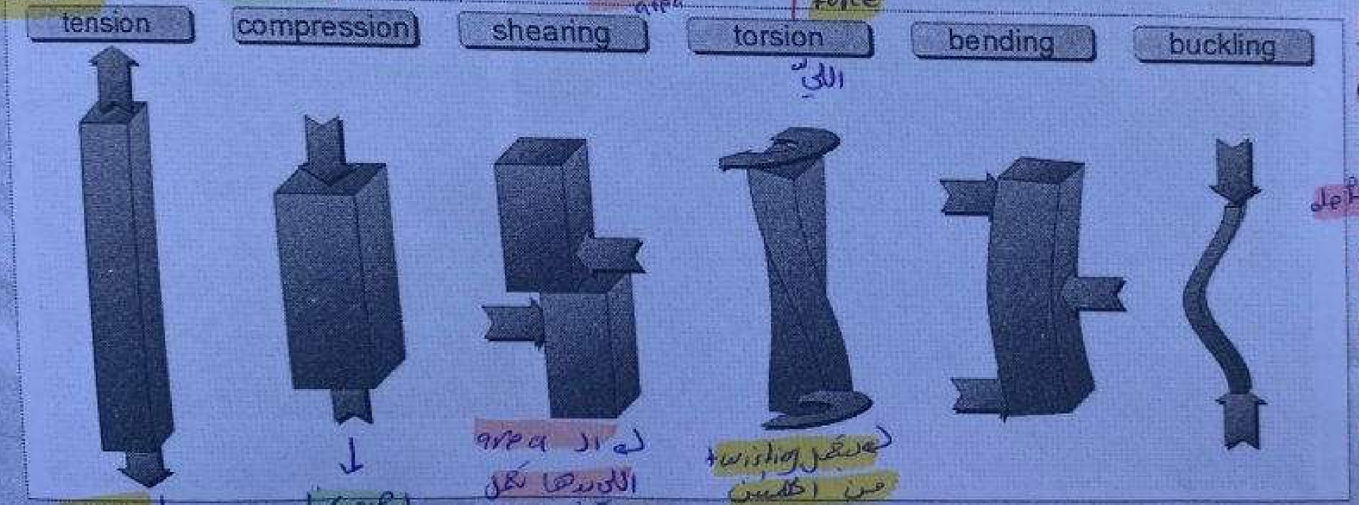
F_s ← Shear force
F_t ← normal force

Yousef Mubarak
Material Science
ask ; believe & recieve
Scanned with CamScanner

Some of the forces can applied and creat deformation in str. of materials

دهما بالكورس نعطنا اول 3 انواع

Patterns of Deformation



tension: ال force بتكون عامودية على ال cross sec. area عكس ال axis — بتصير extension

compression: نفس ال tension بس بتكون على ال axis — بتصير shrinkage

shearing: تسمى ال tangential force على ال cross sec. area — ال area اللي رح تعمل resistance للقوة هي area of the contact between the planes

torsion: اللي — هيا عبارة عن twisting force — بتشتغل twisting من الجهتين هاي ال force بتنحول بالآخر shear force

buckling: بتشبه ال compression لكن عملية ال deformation بتأخذ بعض اللي بالوسط بينما ال compression deformation بتصير shrinkage بال length

Yousef Mubarak

Scanned with CamScanner

Scanned with CamScanner

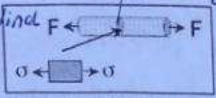
ال stress اللي تولد ع هاد ال Cable

Simple tension → ال Force بأتجاه ال axis مثل عملية الشد بالحبل

* ال cross sec. area ممكن تكون square او circle او اي شكل ثاني

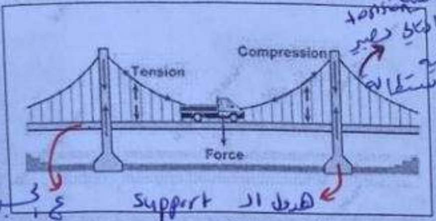
لما نغير حسب ال applied force هي عبارة عن mass × g / cross sec. area of the cable

Common States of Stress

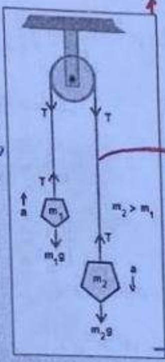


> Simple tension: $\sigma = \frac{F_t}{A_0}$ → longitudinal Force

← original cross sec. area



tension علي الشكل ع هيك ممكن الشد
ع الطرف في compression
هدول ال support بصير عليهم compression

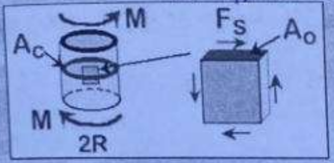


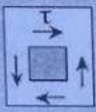
tension هون عنا بسبب m_2

الوزن الاكبر لسحب اكثر

> Simple shear: $\tau = \frac{F_s}{A_0}$ ← cross sec. area resisting the applied force

when we have tangential force





In this case, shear stress

$$\tau = \frac{M}{RA_c}$$

لحساب ال shear لما يكون عنا hollow item او solid item
زي عامود الكهرباء لما يكون عليه لمبة والعلبة
تتحرك بالهوا ، هاد ع تعمل twisting بال column لنفسه
اذا بدي احدد ال shear force المفروض اعرف أديش
ال bending moment (M) نقسمها على ال radius × cross sec. area

$\frac{M}{R}$ ← بتعطيني قديش ال force بس نعوض R و A بتعطيني ال shear stress

Yousef Mubarak → shear stress — Materials Science

← للتمييز بين ال compression وال tension بالعادة نستخدم الاشارات

← دايماً لما يكون عندي stress حنبه اشارة +ve نعطيه الها tension force

← لما يكون حنبها -ve sign we consider this as a comp. stress

Simple compression:

هاد الحجر + وزن السيارات بعملوا comp. على الدبابات

هاي الصخرة الكبيرة تعمل comp. على ال small cross sectional area A_0

اللي بالاحمر

$$\sigma = \frac{F}{A_0}$$

Note: compressive structure member (σ < 0 here).

← نعرف انه ال compression بعمل shrinkge بال length وال tension بعمل extension in length

ال comp او ال tension ← يعني عشان اميز اذا عندي
• بكتب الرقم وجنبه -ve او +ve
• بكتب الرقم وكذا نوع بكون جنبه اذا comp. او tension

Yousef Mubarak — Materials Science

Madar — send & recieve
Scanned with CamScanner
Scanned with CamScanner

* بعض الاحيان بكون عنا more than one stress exist in the same str. هدول بأدوا

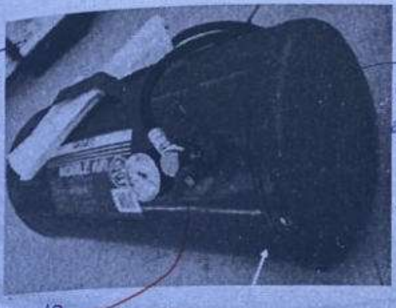
انو يكون عنا Bi-axial tension او ممكن تكون Tri-axial tension

← الغطاس بنزل لحد level معينة بعده ما بقدر لانو Pgh بتصير عالية جداً وهاد الضغط ممكن تكسير عظام الجسم

• another example in which we have more than one type of stress

Bi-axial tension

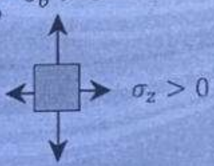
Pressurized tank



يكون عنا 3 stresses exist not only two

الغاز راح يشكل قوة تضغط ع هاي هاي الجدران كمان

هاي نفسها راح يصير فيها inflation يعني بصير كانو في ضغط من الداخل عم يتمدد (تخيلوها ع بالون)



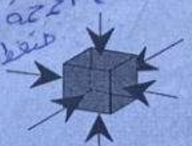
Hydrostatic compression

Fish under water

← الاجسام الي تحت الماء عليها stresses من كل الاتجاهات

• مثلاً جسم السمكة لا تحت بتلاقي عليها stresses بكل الاتجاهات هاي نسميها ال Bi-axial stresses وهاي ال axial stresses لا نحي نحسبها هي عبارة عن Pgh الي هو hydrostatic pressure

← الجمجمة هاي عليها ضغط عالي



* الاسماك في عليها Pgh الي بتشكل compressive على ال Skull (الجمجمة)

* جسم السمكة مصمم انه يعمل minimization لل value of stress كيف؟ شكل السمكة من فوق تقريباً ال area = 0 وبتصير بعدين مفلطحة لحد ما توصل لل bottom تكون أكبر ما يمكن وفي بعض الاسماك بتكون مثل ال sheet ،

ال stress هي $\frac{Force}{area}$ لحد تم تعمل dimensions لل area لحد ما تصير في stresses عليها عالي

* what will be the response of the material of construction as a result of this stress? شو بصير based ع هاي المعادلة لل stress ؟ اذا زادت او قلت شو بصير ؟!

Engineering Strain

① شو الي راح يصير فيها tension

Tensile strain

اذا تحكي عنه Force tensile

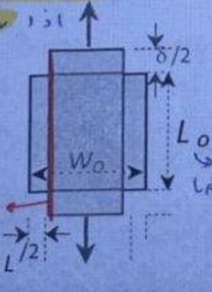
- strain is defined as the change in the shape of an object when stress is applied.

يعمل elongation بشكل parallel لل applied Force

- Strain is always dimensionless.

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

strain; δ = $L_{final} - L_o$; L_o → original length



Lateral strain

- Also known as transverse strain, is defined as the ratio of the change in diameter of a circular bar of a material to its diameter due to deformation in the longitudinal direction

$$\varepsilon_L = \frac{-\delta_L}{W_o}$$

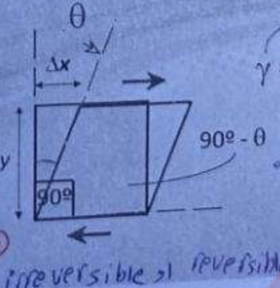
Shear strain

→ tangential Force

- is the ratio of the change in deformation to its original length perpendicular to the axes of the member due to shear stress. Shear stress is stress in parallel to the cross section of the structural member

$$\gamma = \Delta x / y = \tan\theta$$

θ → angle of deformation



* نقول صار فيها deformation عند هاي ال angle

* ال Shear ممكن يكون reversible او irreversible

③ اذا تحكي عنه Shear Force شو الي راح يصير فيها deflation (انحراف) عن ال initial structure يعني شو بصير فيها deformation

② شو الي راح يصير فيها contraction اذا تحكي عنه compression Force

Scanned with CamScanner

Scanned with CamScanner

انواع ال stresses اللي بتأثر على ال pressurized vessel

#① عادة ال pressurized vessels بكونوا under pressure
يعني بكون فيهم غاز ومنعرف انو الغاز بأثر بكل الاتجاهات

ال الغاز يضغط القاعدتين (→ ←) بهاي الاتجاهات أكيد بده يصير
عنا extension، لما نيجي نحسب قديش ال applied force اللي بدها تكون
normal على ال cross sectional area لازم ناخذ ال cross sec. area of the wall
يعني نقول انو هاي عبارة عن circle الها thickness فبنحسب ال cross sectional area
ولما احتاج احسب ال tensile stress بشوف قديش ال force اللي بتأثر على
القاعدة ونقسمها على ال cross sec. are يعطينا ال longitudinal stress راح تأثر بشكل
افقي (↔) وراح يصير عنا sort of elongation بهاد الاتجاه

← لانه بس ننفخ البالون بصير في extension بالطول و inflation بالقطر
هدول two diff. stresses

② ← hoop stress اللي بعمل inflation في ال diameter (اله خواص ما راح ندخل فيها)

③ ← ال compression stress اللي بضغط ع ال wall itself يعني ال wall itself
عليها ضغط من قبل الغاز

لما نحس بالسدود او ال columns اللي اطوالها 30، 40 متر وفيها مثلاً liq
you have to design it properly شو يعني ؟! لما نيجي احلل ال stresses ال stresses
هي عبارة عن hoop stresses اذا كان cylinder او compressive force
على القاعدة تحت السد، لما نيجي نحسب ال stress ونعمل design لل wall thickness
← this will not be uniform wall thickness لانو كل ما نزلنا للاسفل↓ كل ما زادت
قيمة ال (water hight ال او كل ما زاد)
ال stress اللي هي ρgh
ال ρg ثابتين والتغير بصير بال h، كل ما كان ابعد عن ال top تكون ال stress اعلى
وكل ما قربنا ع ال surface تقل قيمة ال stress، معناها لسيش عملت ال
بالتالي ال design ؟ design of the wall uniform اذا ال stress كتير عالي وكل ما طلعنا لفوق بصير يقل
فوق الجدار بكون ال design للسدود مثلاً انو القاعدة تكون ال thickness تاعها أكبر ما يمكن
و thickness اله اقل ما يمكن لانو ρgh قيمتها تقريباً zero على ال top
maximum على القاعدة.

سلايد ⑫
①، ②، ③ كل هدول reactions of responses اللي بصير على ال bar

Scanned with CamScanner
Scanned with CamScanner

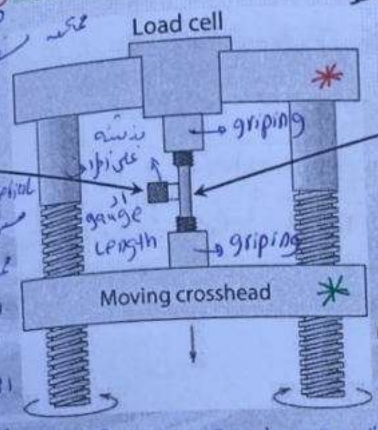
tension و compression و shear stress ← هاي حكاهم كلها

How do you measure and when you measure? what do you have as a prop. of the material?

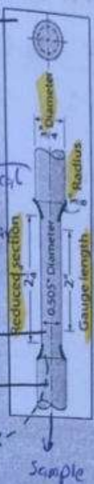
ال tension و ال compression can be perform using the same device → tensile testing machine

Stress-Strain Testing

① Typical tensile test machine



Typical tensile specimen



→ there are diff. devices we in order to creat these type of stresses and based on the result we can determine some prop. out of these exp. work

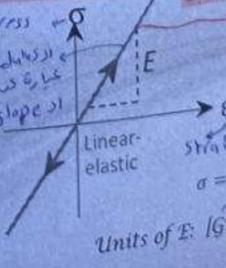
Linear Elastic Properties

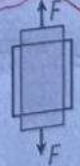
① Modulus of Elasticity, E: → elastic منطقة ال stress - strain curve

Modulus of Elasticity, also known as Elastic Modulus or simply Modulus or Young's modulus, is the measurement of a material's elasticity. Elastic modulus quantifies a material's resistance to non-permanent, or elastic, deformation. → plastic deformation

Hooke's Law:

- Law of elasticity discovered by the English scientist Robert Hooke in 1660, which states that, for relatively small deformations of an object, the displacement or size of the deformation is directly proportional to the deforming force or load.





$\sigma = E\varepsilon$

Units of E: [GPa] or [psi]

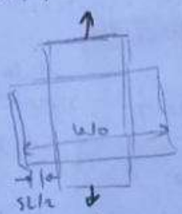
$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$ → N/m^2, ε → dimentionless

GPa

$\varepsilon = \frac{\delta}{L_0}$ ← بنسميه (Longitudenal strain) لانو باتجاه ال applied force

هل في غيره ؟! في عنا another strain هو ال reduction of width لان بالبداية

W_0 بعدين صار فيه shrinkage



(Lateral strain) ← $\varepsilon_L = \frac{-\delta_L}{W_0}$

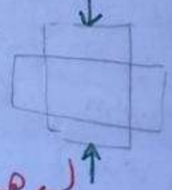
← يصير اخف واطول

Longitudenal ← +ve لانو عم extension

Lateral ← -ve لانو عم contraction

*← لما نحسب ال strain سواء ال Long. او ال Lateral نقسم على ال original سواء L_0 او W_0

دائماً ε و ε_L راح يكونو perpendecular على بعض ودائماً اشاراتهم متعاكسة يعني مش نفس الشي



← اذا كنا نعمل compression راح يكون عنا ال Longitudenal strain

بال -ve لانو هو اللي بصيرله shrinkage

وال width بصيرله expansion بالتالي ال Lateral strain يكون +ve

← هون يصير افتح واقصر

بال Shear عمال الاسطحة راح يكون ال Shear نوعه reversible لانو اعمل deformation

قد ما ترك بعدين شيل ايدك عن الاسطحة راح ترجع لموقعها طبيعي يعني انو

ال permenent shear strain = 0

في بعض المواد ال shear فيها يكون recoverable اللي هو ال elastic وفي بعض

المواد ال shear فيها يكون non recoverable جزء راح يرجع وجزء ما راح يرجع

بهاي الحالة يكون عنا plastic shear strain

Tensile test machine

بالبداية قراءة ال extensometer = 0 يعني

$\delta = 0$ بعدين نطبق قوة ال ..... يصير تنزل لتحت وتشد معها ال bar وبنفس

الوقت هاد ال extensometer بصير تنزل حسب ال extension اللي صار بجانب قراءة ال

extensometer وقراءة ال load cell موجودة بال moving crosshead وعندها نقدر نحسب

ال stress ($\frac{force}{Area}$) وال strain ($\frac{\text{قراءة ال exten..}}{\text{gauge length}}$) بناخذ قيمة ال stress

وال strain ونرسمهم ومن رسمة نطلع اكثر من prop.

Scanned with CamScanner

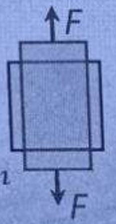
Scanned with CamScanner

another parameter of material — we can determine from initial & final deformation

② Poisson's ratio, n → another factor we can determine from stress-strain curve

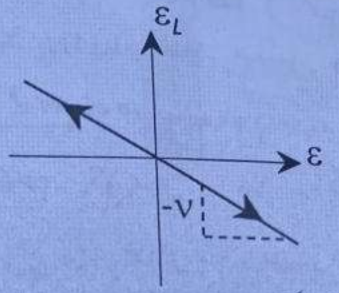
- Poisson's ratio is defined as the ratio of the change in the width per unit width of a material, to the change in its length per unit length, as a result of strain

+ve number ← $\nu = -\frac{\varepsilon_{Later}}{\varepsilon_{Longitudinal}}$ (−ve / +ve)



لهيك دايماً بتكون بالسالب

- Longitudinal strain: in the direction of the applied force
- Lateral strain: in the transverse direction
- Units of ν: dimensionless



metals: ν ~ 0.33
ceramics: ν ~ 0.25 → بال ceramic صارت اقل لانو ال extension بالسيراميك قليل وال reduction بال سهل هاد بيؤدي انو ال poisson's للسيراميك اقل
polymers: ν ~ 0.40

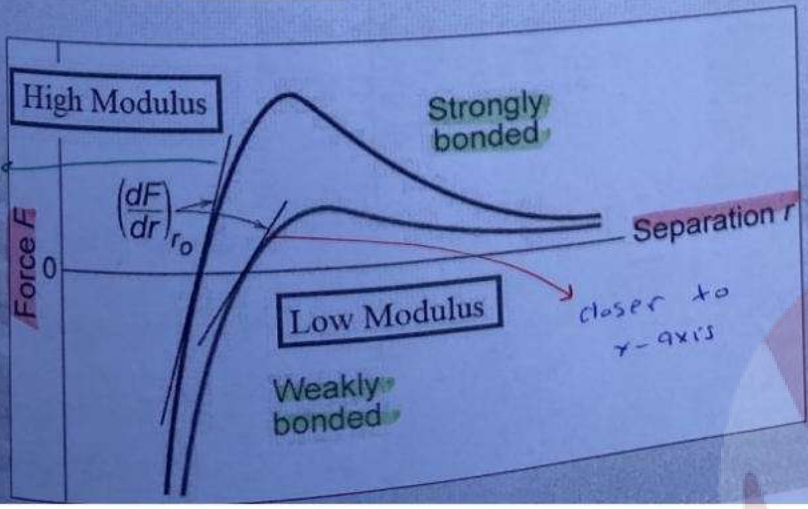
plastic > metal > ceramic

* نرسم ال curve ← force and elongation as ال stress & strain
* كل ما كانت الروابط بال str. تاع المعدن اقوى، كل ما كانت ال resistance لل deformation اقل بالتالي بتوقع ال linear of proport... line راح تكون اقرب لل y-axis
* اذا كانت الروابط ضعيفة تكون هاد ال line اقرب لل x-axis

Mechanical Properties

- Slope of stress strain plot (which is proportional to the elastic modulus) depends on bond strength of metal.

شو بيسبب؟ طبيعة الروابط وقوتها



Scanned with CamScanner

Scanned with CamScanner

← هاي ال sample بعد ما نطلع deformation ، بالبداية بكون عندها initial length (original) بعد ما نصيرها fraction بحسب δL

لما اقسم δ على L_0 على نصير عنا ال strain ، بعدين راح نصيرها

نشوف initial & final diameter عنا ، reduction in cross sectional area

فـ شو التغير بال diameter بطلع معنا ال lateral strain ،

اذا عنا = lateral & longitudenal واحد +ve والثاني -ve

ع اعتبار اني اخذت ال ..long هو ال +ve وال lateral هو ال -ve

راح يطلع ال ratio لل lateral على ال ...long بال -ve ، هاي ال ratio لو ضربتها

باشارة سالبة راح نعطينا poisson's ratio

Scanned with CamScanner

Madar ask ;; believe & recieve

Scanned with CamScanner

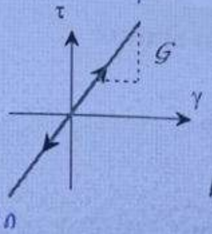
from shear test

ال slope هاد بين shear strain & shear force هاي تعطينا the other modulus اللي هو ال shear modulus

Other Elastic Properties

Elastic Shear modulus, G:

- Or the modulus of rigidity, is derived from the torsion of a cylindrical test piece. It describes the material's response to shear stress.



unit of G = Gpa

simple Torsion test

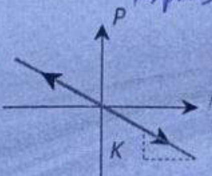
$\tau = G\gamma$

τ ← shear stress; γ ← shear strain

Elastic Bulk modulus, K:

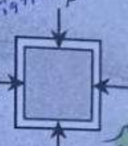
→ variation volume

- Bulk modulus, numerical constant that describes the elastic properties of a solid or fluid when it is under pressure on all surfaces.



P → pressure

$\frac{\Delta V}{V_0}$ → variation of volume



$$P = -K\frac{\Delta V}{V_0}$$

V_o = Initial volume

DV = change in volume

- Special relations for isotropic materials:

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)} \qquad K = \frac{E}{3(1-2\nu)}$$

(+ve) K ← compression لما تكون موجبة

(−ve) K ← tension لما تكون سالبة

K → bulk modulus

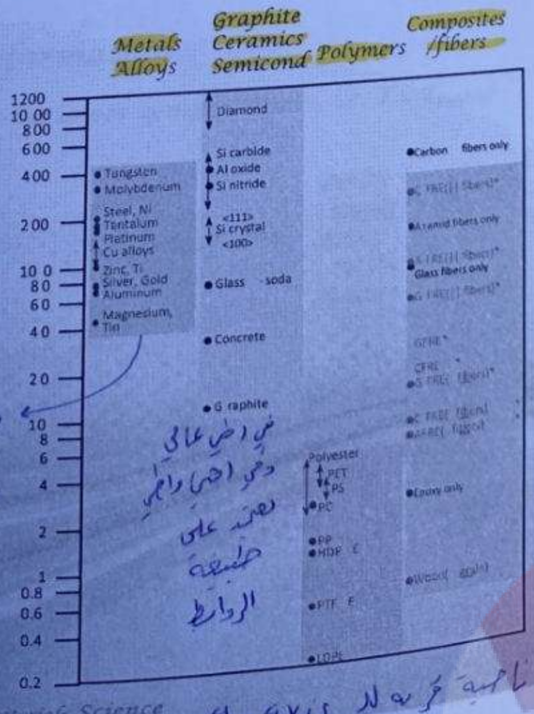
لو عرضنا عنا تدريل ال vessel بتكون من ناحية elastic بتغير بالحجم؛ اذا تغير الحجم وضله متغير يعني plastic، اذا التغير بالحجم زال مع زوال ال P معناها كانت elastic

مثل البالون حجمه بيكبر لما ننفخه ويصير كبير واذا تركت نفخه منه يرجع لحجمه الطبيعي يعني التغير اللي كان صار completely recovered فهو elasticity ال variation ال

ال modulus of elasticity للمعادن اعلى من البلاستيك دليل انو عند المعادن تكون اقرب لل y-axis

Young's Moduli: Comparison

Gpa = 10^9 Pa



نلاحظ في معادن قوية جداً وفي معادن ضعيفة جداً من ناحية مقاومة ال permanent deformation

في ارقام عالية وفي ارقام واطية تعتمد على طبيعة الروابط

عند ال diamond الروابط قوية جداً بالتالي نتوقع higer modulus elasticity

لو نرسم عنا الالمنيوم و steel نلاحظ ال linear ال Link of propor... لل steel تكون اقرب لل y-axis بينما ال AL تكون اقل من ال steel من ناحية قربها لل y-axis

Materials Science
Scanned with CamScanner
Scanned with CamScanner

بالبداية عندي خط مستقيم وبنلاحظ النقطتين الحمر ع نفس المستوى يعني لو استعملت النقطة اللي بال top راح نبيها ع النقطة اللي بال bottom : لو طبقنا قوة ولفينا الجزء العلوي والجزء السفلي ثبتناه ، بنلاحظ النقطة الحمرا راح تتحرك ← مكانها وتصير عند النقطة الخضرا هاد الانحراف اللي صار من النقطة الحمرا للخضرا ع ال top مقارنة مع النقطة الحمرا بال bottom هو عبارة عن ال shear strain او ال shear force

هاد ال shear strain اذا كانت المادة داخل ال elastic range اذا بشيل القوة النقطة راح ترجع لمكانها عندها ال shear strain بكون completely recoverd

طب لحد متى راح تضل تقاوم ال permenent deformation ?! يعني اذا زدت مقدار ال shear force وصارت النقطة الحمرا عند الزرقا هاي هون وبعدين شلنا ال force هل راح ترجع مكانها ? بعتمد ع ال elasticity لل material

بالرجوع لهاد عنا نرسم ال shear stress مع ال shear strain بنلاحظ علاقة linear لحد معين قد ما يبدأ عنا ال permenent deformation

← Elastic bulk modulus

ال vessels المصنوعة من المعادن اذا كانوا pressurized vessels هاي ال pressure اللي بالداخل راح تأثر على جدران ال vessel راح يصير عنا compression stress & hoop stress & longitudenal stress

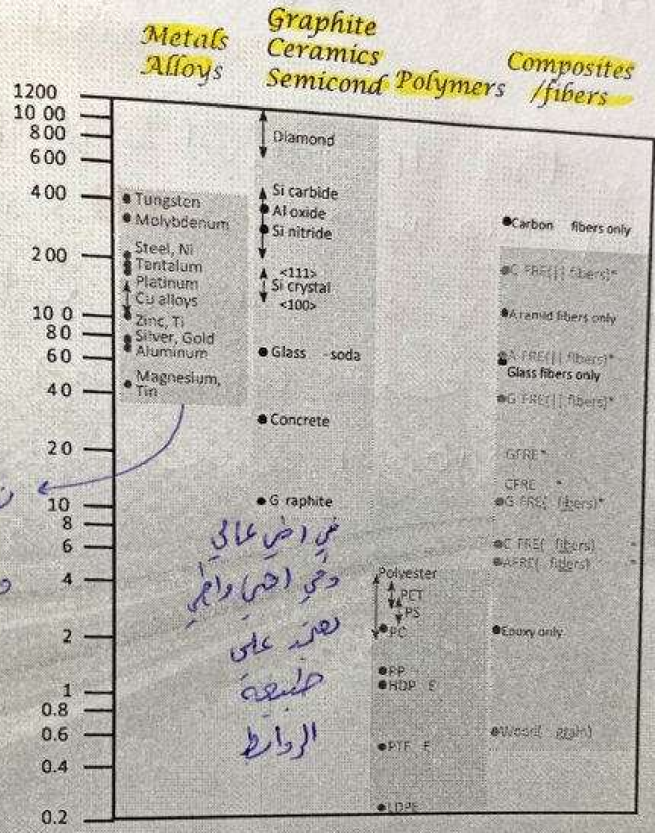
بعدها بعمل relief (ازالة) لل force اللي داخل ال vessel اذا ال dimention لل vesel ما برجع لحجمه الاساسي معناها صار عنا permenent deformation واذا رجعت لوضعها الطبيعي معناها كان عنا temporary diformation ← وهاد بعتمد على قديش مقدار ال pressure بالداخل

Scanned with CamScanner
Madar ask ;; believe & recieve
Scanned with CamScanner

ال modulus of elastrcity للمعادن اعلى من البلاستيك دليل انو عند المعادن تكون اقرب لل y-axis

Young's Moduli: Comparison

Gpa = 10^9 Pa



نلاحظ في معادن قوية جداً وفي معادن ضعيفة جداً من ناحية مقاومة ال permenent deformation

في اختلاف عالي وفي اختلاف واضح يعتمد على طبيعة الروابط

عند ال diamond الروابط قوية جداً بالتالي بتوقع higer modulus elastricity

عا نفرض عنه الالمنيوم و steel نلاحظ ال Linear of propor-- Link لل steel تكون اقرب لل y-axis بينما ال AL تكون اقل من ال steel من ناحية قربه لل y-axis

Scanned with CamScanner
Scanned with CamScanner

← قلنا انو هاد الـ modulus of elasticity هو عبارة عن presentation of the material resistance to work elastic deformation

كل ما كانت مقاومة المادة اعلى للـ deformation كل ما كانت الـ modulus of elasticity الها اكبر

← مقاومة الـ steel للـ extension اعلى من مقاومة الالمنيوم ، يعني لما نطبق نفس القوة على نفس الـ cross sectional area راح يصير في extension بالالمنيوم اعلى من الي راح يصير بالـ steel بمنطقة الـ elasticity

الـ modulus elasticity بهاي الحالة قيمته هي دليل على قديش راح يكون عنا extension بمنطقة الـ elasticity كل ما كان اعلى الـ extension بكون اقل لانو الـ line of linear pl.. راح يكون اقرب للـ y-axis بالتالي قيمة Δx ع الـ x-axis بدها تكون اقل

Scanned with CamScanner

adar
ask // believe & recieve

Scanned with CamScanner

* كيف نربط ال area مع ال length مع ال deformation مع ال applied force ...

Useful Linear Elastic Relationships

* هاي ال relation تستخدم فقط بمنطقة ال elasticity ، لا تطبيق ابدا بال plastic

Simple tension

$$\delta = \frac{FL_0}{EA_0}$$

Lateral strain

$$\delta_L = -\nu \frac{Fw_0}{EA_0}$$

واحدة من العلاقات الي ممكن نستفيد منها بالحسابات
علاقة ال extension مع ال original length وال force وال modulus elasticity وال cross sectional area

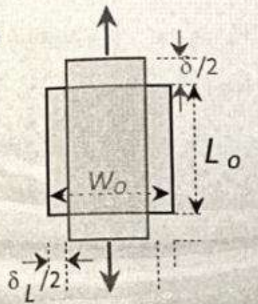
Simple torsion

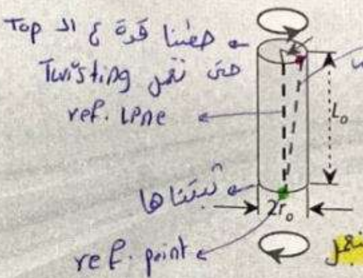
$$\alpha = \frac{2ML_0}{\pi r_0^4 G}$$

M = moment

α = angle of twist

المفروض النقطة ترجع مكانها مجرد ما اشيل القوة





← another relation can be used

ال tangential force لما نعمل ال shear force نعمل ال Twisting

- Material, geometric, and loading parameters all contribute to deflection.
- Larger elastic moduli minimize elastic deflection. ← ال deviation

هاي القوانين نستخدمها بال elastic range
لانو بعد منطقة ال elastic ما في شي اسمه Moduls

* لما طبقت بقوة النقطة تحركت من مكانها وهاد مثال ع ال deformation يعني بدل δ بس حنون نأخذها بزاوية لانو أخذها بالنسبة لل ref. point ، هاي الزاوية هو tan θ عبارة عن ال representation of deformation

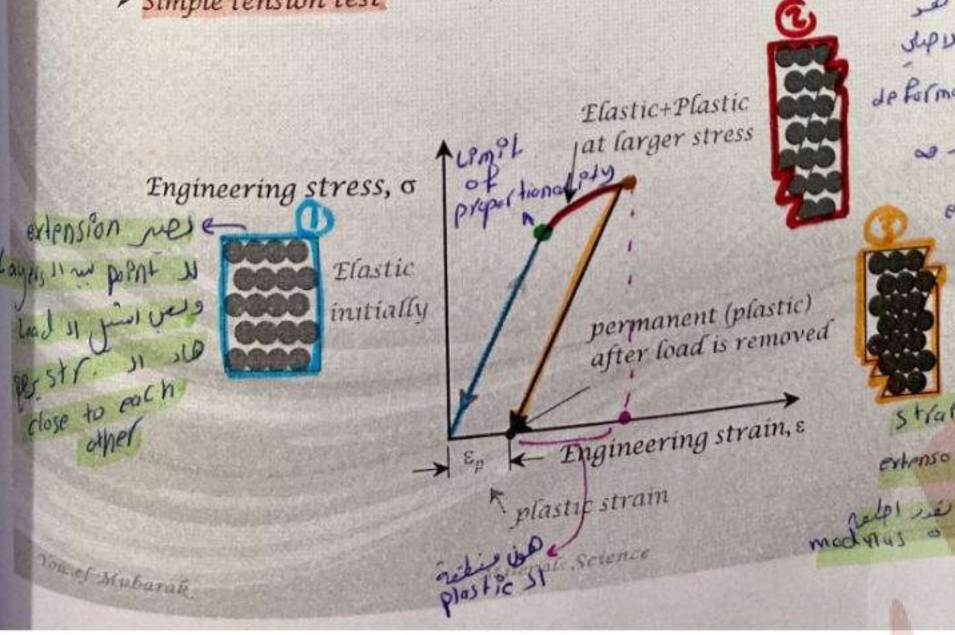
---

* لما نعمل simple tension test عادي بالبداية راح نتعرض ل elastic لحيك بس نرسم ال stress-strain curve نمشي بخط مستقيم (علاقة linear بين ال stress وال strain) لحد نقطة معينة ، بعد هاي النقطة (النقطة الخضرا) راح نصير في انحراف عن ال Linearity ، لعند هاي النقطة law hooke's تنطبق بعد هاي النقطة لبطل ا طبقه وبنكون دخلنا منطقة ال plastic

Plastic (Permanent) Deformation

- Simple tension test (at lower temperatures, i.e. $T < T_{melt/3}$)

يعني كل deformation بصير هو دائم وما راح يرجع للشكل الاصلي مستحيل اشيل هاد ال deformation وراح يصل تشوه موجود للابد
اما ال elastic deformation الي كان موجود بالاول راح يرجع



* اذا بدي احسب ال strain باخذ قيمته من ال extensometer لانو كنا بال plastic ما بقدر استخدم ال modulus of elasticity

Yousef Mubarak
Materials Science
Scanned with CamScanner
Scanned with CamScanner

$\delta = \frac{F L_0}{E A_0}$ ← من وين اجت هاي العلاقة ؟

اول شي عنا ال definition of stress اللي هو عبارة عن $\frac{F}{A_0}$ وعنا ال definition of strain اللي هي $\frac{\delta}{L_0}$ ؛ اذا صار في عنا stress رح يكون في المقابل في عنا strain

وعنطقة ال Hooke's law اللي فيها linear proper... قلنا انو العلاقة خطية بين ال stress وال strain يعني لو عملت ضرب تبادلي وحسبتها

بصير عنا ال modulus of elasticity بساوي ال $\frac{stress}{strain}$ ← $E = \frac{F L_0}{\delta A_0}$

← هاد ال longitudinal stress وال longitudinal strain لانو احنا قاعدين بناخذ ال variation of elongation

lateral strain ← $\delta_L = -\nu \left(\frac{F W_0}{E A_0} \right)$

poisson's ratio اللي هو $\frac{lateral\ strain}{long...\ strain}$

معكوس ال long... strain

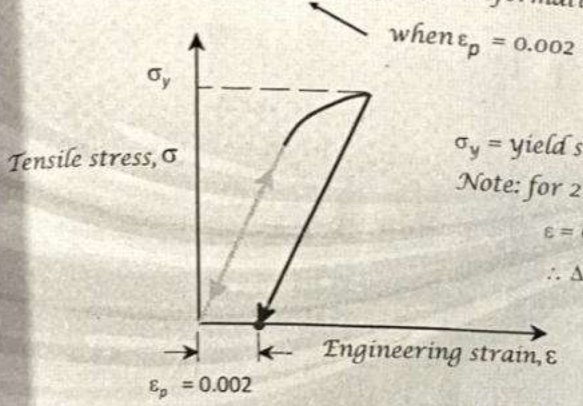
* كل ما كان ال modulus of elasticity قيمته اعلى كل ما كانت δ ، δ_L اللي طلعوا اقل
لانو هو عبارة عن مقاومة لل deformation يعني كل ما كانت قيمته اعلى معناها ال deformation اقل

① ← ال plastic راح يصير فيه sliding of layers وال extension بصير اعلى من
الحد اللي بتحمله هاي الروابط الموجودة ،

③ ← بعد ما نشيل ال force بنلاحظ انو ال final str. مو مثل ① ولا ②
لانو الجزء ① بكون recovered و (2) بكون جزء منه صارله recovery وجزء منه
صار permenent طبعاً لما نقارن ③ مع ال ① str بنلاحظ انو صار فيه sliding
يعني زي كانو صار فيه creep (ال layers صارت تسحل على بعض)
هاد الجزء اللي صار permenent انسحب منه ال elastic

Yield Strength, σ_y

- The yield strength is defined as the stress at which a predetermined amount of permanent deformation occurs. The graphical portion of the early stages of a tension test is used to evaluate yield strength.
- Stress at which noticeable plastic deformation has occurred.



σ_y = yield strength

Note: for 2 inch sample

$\varepsilon = 0.002 = \Delta z/z$

$\therefore \Delta z = 0.004$ in

* في بعض ال design نشتغل ع ال stress ultimate الي هي ال max. value of stress, in stress-strain curves

Yield Strength: Comparison

Room temperature values

Based on data in Table B.4, Callister & Rethwisch 8e.

a = annealed

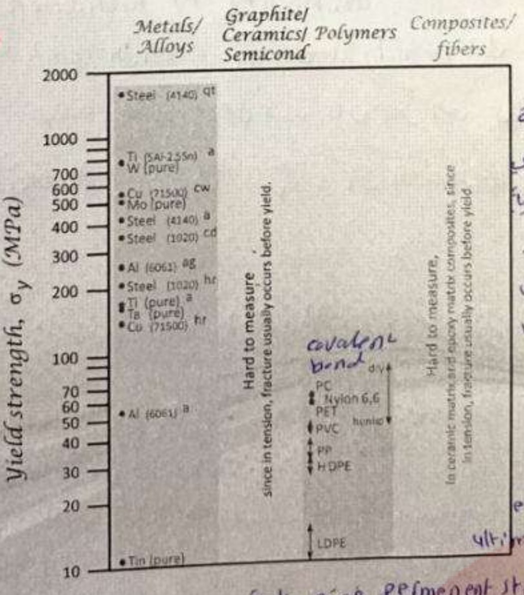
hr = hot rolled (التشكيل ع الساخن)

ag = aged

cd = cold drawn

cw = cold worked

qt = quenched & tempered



* اذا بدي اشتغل على عينة steel وبدي اشتغل على ال yeild باجي بقول قيمة ال stress لل yeild الي تحملها ال steel تقريباً 1800 MPa ، يعني بعد ما اعرض المادة لضغط من ال steel 1800 MPa بعد ال 1800 اذا بزيد . بزيد عندي ال deformation بزيد بس بعدنا بال elastic اقل من ال ultimate stress بس لتصير ال permenent strain قيمة عالية

* ال yeild لل metal اعلى من البلمرات لانو البلمرات من ناحية ال strength هي اضعف من ال metal (من ناحية روابط)

Scanned with CamScanner

Scanned with CamScanner

ال yeild stress احياناً بكون بعينات واضح (مثل ال curve تبعات ال 29) وممكن عينات زي اللي تبعات 25 ما فيها اصلاً yeild حتى بينه . بهاي الحالة كيف نشتغل ؟

مطلوب مني اعمل design ع ال yeild stress بس هو مش موجود ع ال curve

how do we obtain the yeild ? بنشتغل ع ال proof strain بالي بقرر قديش بدي ال max. strain او permenent strain يعني انه افترض انك تقررت ال per. strain ما بعدا ال 0.002 ، بحدد ال 0.002 ع ال x-axis (strain axis) بعدين برسم خط موازي لل linear of pro.. Line والنقطة اللي بتقاطع عندها هاد ال Line مع ال stress-strain curve بنقول انو هاي ال point هي تمثل للstress value of stress اللي بتأدي ل permenent strain مقداره 0.002 ، طيب قديش مقدار هاي ال Force ؟

بقرأ قيمة ال stress من ال y-axis وبعدين بال stress Area بعطيني قديش قيمة هاي ال Force انا ممنوع اتجاوز هاي ال Force واذا تجاوزتها بصير عندي strain اعلى من ال strain اللي انا محدده يعني هون اشتغلنا بالعكس بدي احدد انا ال stress ومنه بدي اطلع ال strain

هاد بالنسبة لل curve اللي ما فيهم yeild لل upper ولا lower

← بعض المراجع بتقول ال yeild stress at a value of strain ليش ؟ لانو اصلاً ما الها ... هو بكون عند قيمة ال strain ومن قيمة ال strain طلع قديش قيمة ال stress لانو ال curve اصلاً ما بين عليه الظاهرة تاعت ال yeild

---

← hot rolled ← بعملولها درفلة ودرجة حرارتها عالية

← aged ← بخلوها تكبر بالعمر ، على حرارة معينة بعملولها aging هاي بتغير كلها بالخصائص

← annealing ← هو عبارة عن technique to enhance ال prop. of the mat.

هي عبارة عن عملية relaxation للresidual stresses بال internal str. ، اثناء عملية ال solidification لانو العملية سريعة جداً بصير عنا بالداخل stresses ، هاي ال stresses ممكن اعملها relaxation عن طريق ال annealing ← برفع درجة حرارة ال solid item الى درجة حرارة اقل من ال melting temp. وبتركوه على هاي الحرارة لوقت معين بعدين ببردوه ببطء فبصير sort of rearrangement و sort of recrystallization و relaxation بالداخل ، هاي بتأدي انو ال prop تاعت المادة تتغير تتحسن

Scanned with CamScanner

Scanned with CamScanner

yeild point → منطقة تخفيف سرعة

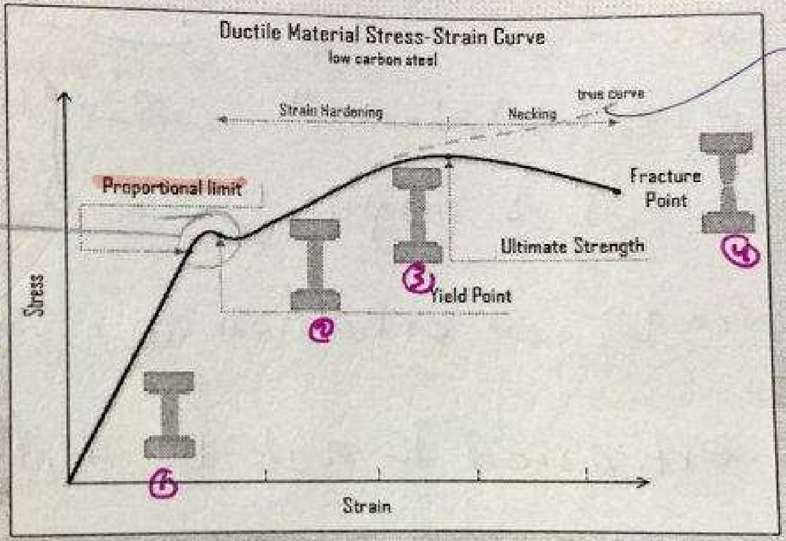
عنا upper value بعدين بنزل قيمة ال stress بعدين برجع بكمل

← هون زيادة ال stress ما يلحقها زيادة بشكل مطلق لل strain ، بنلاحظ انو عند منطقة ال yeild نزلت قيمة ال stress مع انو قيمة ال strain زادت

Tensile Strength, TS

- *Maximum stress on engineering stress-strain curve.*

هاي المنطقة اللي بسموها ال yeild phenomena هي فقط لمواد محددة، مش كل المواد، في مواد بتظهر فيها هاي الظاهرة وفي مواد بتختفي منها هاي الظاهرة



→ true stresses value

- *Metals: occurs when noticeable necking starts.*
- *Polymers: occurs when polymer backbone chains are aligned and about to break.*

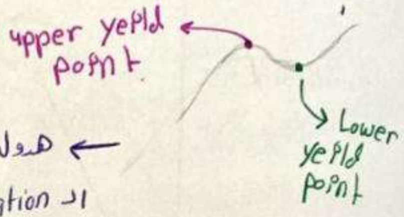
Scanned with CamScanner

Scanned with CamScanner

ظاهرة ال yeild phenomena تظهر بعض المواد بصير عنا strain على الرغم انه ال value of stress is lower

يعني ال stress قيمته تنزل بينما ال strain تضل تزيد ، هاي الظاهرة هي بسبب ظاهرة الزحف اللي بتصير ببعض المواد على constant value of stress

طب ليش قيمة ال stress نزلت ؟؟ هي فعلياً ما بتنزل قيمة ال stress يعني على ال load cell تاعت الجهاز بعده محمل ب 15 KN مثلاً ، بنلاحظ انو بالبداية بعطيني قراءة ال extensometer بعد شوي بتغير قراءة ال extensometer بتصير تزيد على الرغم انو ال force ما عم تزيد ، ال force ما عم تزيد بس عم تزيد قيمة ال strain وبالعكس ممكن تنزل قيمة ال force شوي يعني ال load cell بتنزل القيمة تاعتها ومع هيك بضل عنا extension عم بزيد ، طب ليش عم بزيد وهنا بتنزل قيمة ال stress ؟ بسبب ظاهرة الزحف (creep) في creep phenomena بتصير ببعض المواد مش بكل المواد



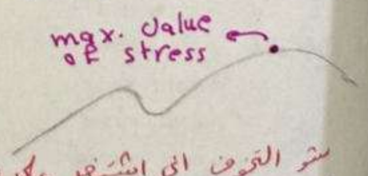
← هدول ال two poin المعروض اني بقدر اطلع منهم ال permenent deformation المسموح عشان اعمل تصميم وفقاً لهاي القيم تبعت ال stress

شو يعني ؟؟ نحنا بالعادة لما نعمل تصميم بيكون عندي اكثر من candidate مثلاً steel ، copper ، AL ، plastic ..... ، لنفرض انو ال stress اللي بده يتحملها المادة اللي بدي اعمل منها ال tank بدي اياها high value ، بروح ع المراجع وبشوف مين من هاي المواد موجود الها قيمة تكون اعلى من قيمة ال stress اللي انا بدي اياه ، مثلاً ال max. value of stress بدنا اياه 100 mpa بروح بشوف هاي ال candidate مين منهم بتحمل قيمة stress اعلى من 100 mpa اللي بتحمل اكثر من 100 mpa بعتبرهم هدول هم ال candidate (المرشحات) بعدين بصير احذف منهم ، على فرض طلع عندي 5 candidates كلهم حققوا ال stress كيف بدي اصير اعمل لا elimination ؟؟ عن طريق other factors مثل ال cost وال density وال fabrication techniques وال availability ....

بصير احذف من هدول ال candidate اللي اله cost اعلى او density اعلى لبغيه او اللي اله fabrication method صعبة لبغيه ، بضل عندي بالاخير اللي بحقق المطلب اللي بدي اياه

هم ك mechanical properties كلهم حققوها بس بدي آخذ ال other factors عشان اعرف مين بدي اختار

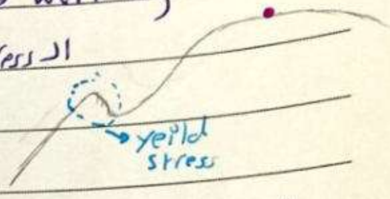
هاد التصميم بعملوه عادةً لما بدنا نشتغل على max. ultimate stress



شو التخوف اني اشتغل على ال ultimate stress ؟ او تطلعنا ع ال geometry تاع العينات بنشوف انو عند ① عنا uniform cross sec. area وما في change فيها ، زدنا صار في شوية بال reduction بال cross sectional area عند ② ليس بعده في uniform لما وصلنا عند ال ultimate stress مثلاً هون انو عند ③ صار في necking بال geometry طب شو راح بصير لو قيمة ال stress تعدت ال ultimate stress ؟؟ راح بصير في عنا تسارع بال failure لانو بصير عنا further reduction in cross sec. area بالتالي قيمة ال area بتصير اصغر فبصير عنا stress concentration وهاد ال stress concentration بأدي ال failure

طب شو لازم اعمل عشان ما اوصل لهاي المرحلة ؟! لانو ممكن ال stress يزيد عن طريق حادث بالغلط
ع فرض انت حاط 100 kN ال max. value of the force الي ممكن تقعد فيها ال bar
وع فرض انو accidentally صارت 110 kN قيمة ال force ، راح تصير قيمة
ال stress اعلى من المسموح بالتالي راح يصير further reduction بال cross sec. area
وهاي راح تأدي الى ال failure ، عشان ما اوصل لهاي المرحلة لنشتغل على
ال working stress مش ال design stress او ال ultimate stress

ال ultimate stress عند النقطة الزهرية ، ال working stress



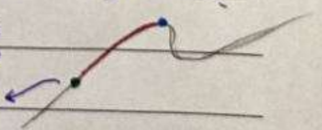
هو عبارة عن ال ultimate stress / factor of safety ، لازم تكون
قيمة ال factor هاد اكبر من واحد عشان تصير قيمة ال stress اقل من ال ultimate of stress
الي موجودة حالياً ، كل ما كانت قيمة ال factor of safety اعلى كل ما كنا
بال safe side اكثر ، هاي وحدة من ال procedure انهم يستخدموا
ال factor of safety او نبدأ التصميم وفقاً لـ working stress مش ال ultimate.

طب شو الطريقة الثانية ؟! عادةً تكون بال critical design نشتغل
على ال yeild stress مع انو كثير بعيد عن ال ultimate ؛ لنشتغل على ال

yeild stress لانو ما بدنا ال deformation بالعينات يتجاوز حد معين من ال strain
نعطي لما نيجي نعمل تصميم لـ tank وبدنا قطره 4 m هل نفرض اذا thermally
(أي اذا not solution) القطر صار 4m او 2 cm ؟ المفروض انو ما يعمل
big difference ، عادةً ال thermal expansion ما بوصل بال cm ما دون بال mm
هاد ال expansion الي صار بال design ما راح يأثر ع performance of design
ال tank ضل شغال مثل ما هو هاد عبارة عن non critical design
بالتالي انا لما اعمل design نادر ما استخدم ال yeild stress عشان اعمل design for tank
لانو مش مضطر اعمله ع very low of stress وانا عارف انو عندها ما راح
يكون عندي big change in dimentions ، بالمقابل عنا another critical design
الي هي ساعات اليد الي بتشتغل ع النبض ، هي بداخلها 5 او 6 تروس (مسننات) ،
مساحة المساحة صغيرة يا دوب 2 ولا 3 cm² طب قديش ال gab بين هاي التروس ؟

يعني ترس بده يعشق مع ترس تاني ال gap بينهم صغير جداً تقريباً مهمل يعني يا دوب
لامسين بعض ، طيب اذا كانت هاي التروس مصنوعة من الالمنيوم ونحنا بنعرف انو
ال thermal expansion coeff الو عالية ، يعني لما تتعرض للحرارة بصير فيها تمدد عالي
ولما تتعرض للبرودة بصير فيها تقلص عالي ، اذا حطينا الساعة بمكان درجة
الحرارة عالية وصار expansion لهاي التروس راح تلزق ببعض وبطلوا يقدروا
يلفوا بحرية بالتالي الساعة راح توقف ، هاد بنسميه critical design ، طيب
انا عشان نشتغل ب critical design شو لازم اختار stress value عشان
احمي الساعة تضل شغالة ؟! بنشتغل على ال upper yeild stress بنقول انا
مسموحلي ال gab هاد اللي بين المسننات تتجاوز 0.01 mm ، بارجع ع ال curve وبقول
بدي strain بمعدل 0.01 فقط ممنوع اتجاوز ال strain ال 0.01 اذا تجاوزت الساعة بتوقف
طيب كيف بدي اعرف قيمة ال stress اللي بولدلي 0.01 على هاي الساعة ؟! برسم من ال
yeild point خط parallel لل Linear of proport... line وبشوف كديش قيمة
ال strain اذا وصلت لل yeild stress ، يعني اذا انا approch the yeild st هاد
راح يعطيني permenent deformation مقداره 0.01 اذا مسموحلي tolerance بشتغل
على ال lower yeild point ، عشان اطلع كديش ال permenent deformation عندها برسم
خط parallel لل Linear of... line ، بالحالة هاي نحنا بنصير نحط limitation
لل permenent strain اذا قيمة ال stress فجأة ازدادت لعند هاي القيمة .

* حتى بال yeild stress انا بشتغل على working stress لانو ما بدي اوصل
لهاد ال stress الا في حالات يعني في ظروف معينة ، لانو اذا وصلت ال yeild
معناها دخلت بال permenent ، هاي الساعة اللي صار فيها expansion هاد خلص
صار permenent ما راح يرجع بالتالي انا بدي احافظ ع هاد ال expansion وما اتعداه
طيب اذا ما بدي اوصله نهائياً ؟ المفروض اشتغل ع ال working stress
بنقول ال working st هو عبارة عن ال yeild stress تقسيم ال factor of safety
ع افتراض عند • راح تكون ال upper yeild point

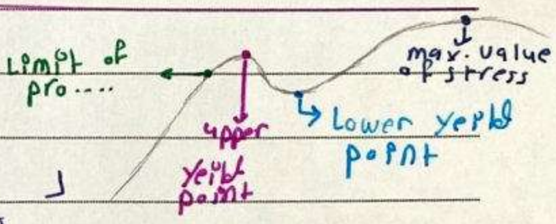


ال working stress بصير هون ع فرض ال factor كان 1.5
بالتالي نحنا بعاد عن النقطة اللي بصير عندها permenent deformation بالتالي بضل
عندي tolerance عالي اذا المادة تعرضت ل stress اعلى من ال working stress
بضل هاد (الخط الاحمر) عبارة عن tolerance مسموحلي اشتغل فيه وما اوصل
لل permenent deformation

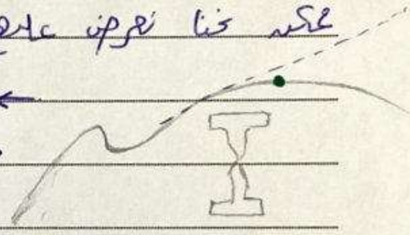
Scanned with CamScanner

Scanned with CamScanner

بنلاحظ معظم العينات اللي بنعملها design وفقاً لل yeild stress نحنا بنشتغل عندها بال
elastic range مش ال plastic لانو ال yeild point هي يا دوب تعدينا
ال Limit of proper.. بشوي صغيرة فاذا انا بدي اشتغل ع Factor of safety ع 2
بنزل تحت ال yeild point ، كل ما زادت قيمة ال Factor of safety
كل ما قلت قيمة ال working stress وهاي راح تعطينا safety اكثر بال design



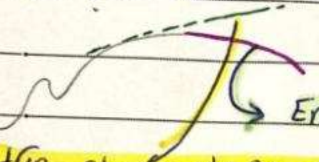
بعد ال lower yeild point بصير اي increase
بال stress أدى الى further extension لحد ما نوصل
ل max. value of stress هاي ال value هي اقصى force
بعدها نحنا تعرض عليها ال bar قبل ما تنكسر او بصير فيه sharb diformation
ال force عند هاي ال point ، صار عندي necking ←
صار reduction in cross sectional area ليش ال stress بنزل ؟
وال extension بزيد ؟ عند ال yeild قلنا



بسبب ظاهرة الزحف، طيب هون شو بصير ؟! ليش قيمة ال stress بتنزل
مع انه ال force ما بتنزل ؟ ال Force هون ثبتت لانو هاي ال max. force
اللي انا بقدر اطبقها على هاد ال bar ليش ال stress بنزل و ال strain بزيد ؟
(العينة لسه ما انكسرت) : ال stress هو $\frac{force}{area}$ ، ال force ثابتة
وال area نقصت هاي صارت على ال force ال stress conc. area هاي ال
area بعدها بصير نحسب ع ال instantaneous area اذاً ال stress
بزيد ليش بقل ؟!
الخط المقطع هو ال true stresses value يعني هاد ال line محسوب
على ال actual cross sectional area ، شو هي ال actual ؟! هي ال area اللي بتغير
كل ما مشيت شوي (بتصير تصغر)
نحنا ال stress محسوب على ال original cross sec. area ← $\delta = \frac{Fl_o}{E A_o}$
ما بنحسب بال stress-strain curve ع ال instantaneous area
اذا بدي احسب ع ال inst. area راح يكون الخط المقطع هو ال curve الحقيقي
لكن لانو احنا بنحسب على Ao ، بس نوصل لل max. value of force بعدها بصير تنزل
شوي ، لكن بال true ال reduction in area اعلى من ال reduction in force
فالمفروض (الخط المقطع) هو ال stress - strain curve اللي بصير

Scanned with CamScanner
Scanned with CamScanner

لكن هون لانو يصير reduction بال force وما ناخد ال area بعين الاعتبار



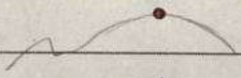
طبيعي راح يصير عنا هاد ال curve (الازرق)

→ Engireeing stress strain curve

the stress strain curve → (بيبدا يميل بشوي من ال ultimate stress)

ال reduction بال force تقريباً negligable يعني اذا كانت
100 kN ممكن تصير 99 kN مع ذلك يصير عنا further لل extension
لانو صار في necke ، ال extension اللي صار مش بسبب ال force
هو بسبب ال force اللي على ال reduction in cross sectional area

يعني لسبب ال further extension هو ال ... reduction in cross لانو
انا نزل قيمة ال force بالمقابل ال area تصير تنزل فال stress المفروض تزيد
مش تقل ، لانو ال reduction in area اعلى من ال reduction in force
بال engineering انا نزل ال force وال area ثابتة اذاً رح يصير
ال stress ينزل لكن فعلياً ال reduction in force مع ال reduction in area.
راح يعطيني ال true stress strain curve مش اللي كنت لانو قيمة ال
reduction ال force تكون negligable مقارنة بال reduction بال cross sectional area
هناك يصير عنا necking يعني يصير عنا sharp reduction وراح بال failure
يعني تصير تتسارع العينة بعملية ال deformation ، لما نيجي نرسم كنا نعتبر
ال cross sectional area ثابتة



بعد هاي ال point بنبدا قيم
ال force تقل بس مش كتير ، بينزل عند ال max. value ب very small value
ومع ذلك يصير في عنا failure
ال failure هو بسبب ال ... reduction in cross لانو وصل لل necke
ولهاد السبب بال design لازم انتبه اذا اشتغلت ع ال ultimate stress

اذا صارت ظاهرة ال necke اعرف انو راح يصير gradual increase بال strain
وبالتالي راح يصير في failure ، دائماً بدي احاول ابعد عن ال necking
ال working stress عادةً لا يساوي ال ultimate stress بدي آخذ ال
factor of safety عشان اضمن ما اوصل لهاي ال point ، اذا وصلتها بكون الوضع كتير حرج
واي تجاوز عنها راح أدي ل failure بشكل سريع جداً

Scanned with CamScanner
Scanned with CamScanner

* في مواد مثل ال diamond ع الرغم انه covalent bond بس قيمة ال ultimate strength عالية جداً

* بالمقابل لو نقارن بالمعادن بالبوليمرات مثلاً في أسوأ أعلى قيمة للـ ultimate strength قيمتهم أقل من أقل ultimate strength لل AL

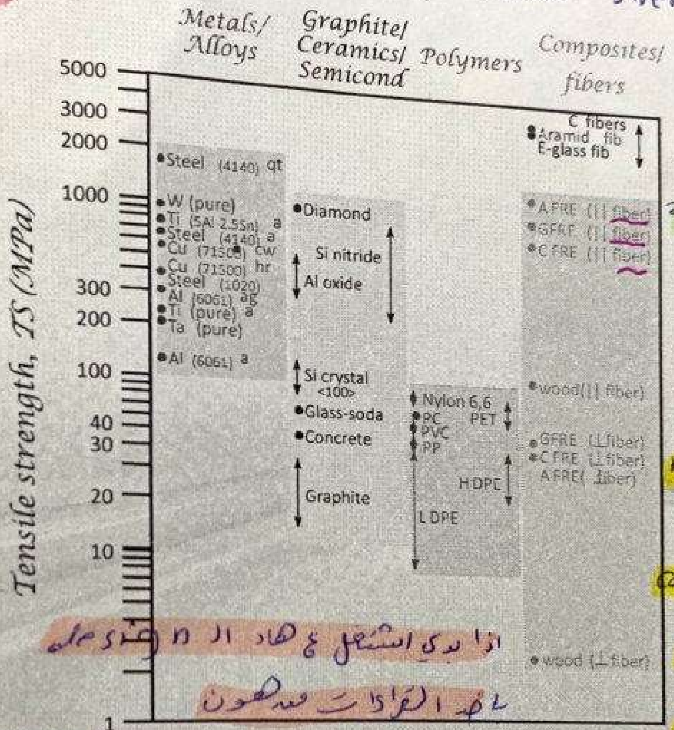
Tensile Strength: Comparison

Room temperature values

Based on data in Table B.4, Callister & Rethwisch 8e.

- a = annealed
- hr = hot rolled
- ag = aged
- cd = cold drawn
- cw = cold worked
- qt = quenched & tempered

AFRE, GFRE, & CFRE = aramid, glass, & carbon fiber-reinforced epoxy composites, with 60 vol% fibers.



* هاد التفاوت بسبب قوة الروابط الي موجودة بال str. نوع المادة

* اذا بدي احسن ال mechanical pr. للبوليمرات بدي composites اضيفلها بعض الضعف فيها glass, fiber nano particles of metal

اذا بدي اشتغل ع هاد ال graph ما بقدر اخد القراءات بدقة

واذا بدي اشتغل ع الـ table باخد القراءات من ال graph

* بنلاحظ في بعض انواع ال composites الي بتكون مع fibers تقريباً زي ال steel ⇐ لانو انا غيرت بال internal str. تاعها عن طريق ال addition بالتالي هاي بدها تغير بال mechanical prop. covalent تاعها ال ultimate strength

Yousef Mubarak
Materials Science
Scanned with CamScanner
Madar ask ;; believe & recieve
Scanned with CamScanner

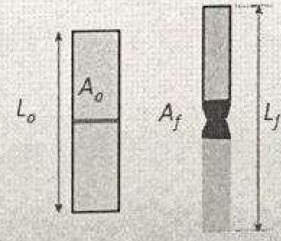
شو الفرق بين المواد الـ ductile والـ Brittle ؟ لما نعمل الـ stress strain test المواد الـ ductile راح ينسحبوا (elongate

كيف نعرف اذا المادة ductile ولا non ductile ؟ قديش نقدر اسحبها قبل ما يصير فيها Fracture ، لا تكون المادة Brittle زي الزجاج مثلاً ما نقدر اسحبها

Ductility → الها علاقة بالسحب

- *Ductility is the physical property of a material associated with the ability to be hammered thin or stretched into wire without breaking. A ductile substance can be drawn into a wire.*

نقدر احسب الـ ductility بطريقتين :
① التغير بالـ cross ...
② التغير بالـ length

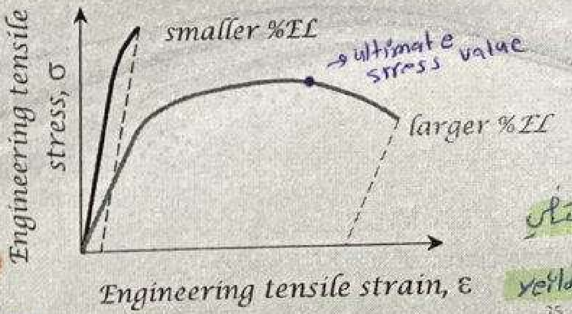


- *Plastic tensile strain at failure:*

$$\%EL = \frac{L_f - L_o}{L_o} \times 100$$

- *Another ductility measure:*

$$\%RA = \frac{A_o - A_f}{A_o} \times 100$$



بصير الـ curve شكله تقريبا هيك ، ما في عنا ظاهرة الـ yeild phenomena

كل ما كانت المادة ductile اكثر كل ما كان الـ variation in dimentions اعلى

كل ما كانت المادة Brittle اكثر كل ما كان الـ variation in dimentions اقل

* بنلاحظ انو لما نزيد الـ stress الـ strain راح يزيد لحد الـ ultimate stress value بالمنطقة كل ما زدت الـ stress رح يصير عنا extension اكثر

Scanned with CamScanner
Madar ask ;; believe & recieve
Scanned with CamScanner

لو جبنا قطعة زجاج ومسكناها من طرفيه وحاولت نشدها راح تنكسر
لو جبنا هدول القطعتين اللي انكسروا وضميناهم لبعض وقسنا الطول راح تكون
نفس ال initial length لانو ما صار فيها extension
هاي المادة بنسميها
Brittle او non ductile

لو جبنا قطعة بلاستيك وعرضناها لنفس ل force تصير تنشد وتطول
بعدين تنقطع، لو جبنا القطعتين اللي انقطعوا وضميناهم مع بعض وقسنا الطول
راح نلاحظ انو الطول اكبر من ال initial length لانو صار فيها extension
هاي المادة اللي صار فيها extension بنسميها ductile material

يعني ال ductility الها علاقة بال extension والها علاقة بال cross sec. area ال final

قطعة الزجاج لما ضميناها لقينا ال final cross sec. area نفس ال initial ما في اختلاف
بال dimention تاعون العينة
بينما لقطعة البلاستيك بالاخير تصير مثل الخيط لما لقطع ضفناهم جنب بعض
وقارنهم بال original cross sectional areas بتلاقي فرق كبير كانت عبارة
عن rectangular وصارت زي رأس الدبوس لانو صار فيها further extension

Scanned with CamScanner
Scanned with CamScanner

شو الفرق بين المواد الـ ductile والـ Brittle ؟ لما نعمل الـ stress strain test
كيف نعرف اذا المادة ductile ولا non ductile ؟ قديش نقدر نسحبها (elongate) الـ ductile راح ينسحبوا ويطولوا مثل ما بدنا
Fracture ، لما نكون المادة Brittle زي الزجاج مثلاً ما نقدر نسحبها

Ductility → الها علاقة بالسحب

> Ductility is the physical property of a material associated with the ability to be hammered thin or stretched into wire without breaking. A ductile substance can be drawn into a wire.

> Plastic tensile strain at failure:

$$\%EL = \frac{L_f - L_0}{L_0} \times 100$$

هاد القانون → ناخذه بحالة الـ tension
بحالة الـ compression نصير $\frac{L_0 - L_f}{L_0}$

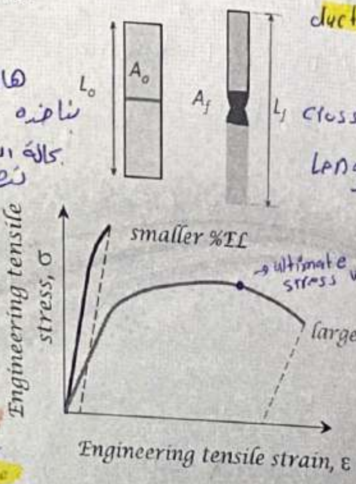
كل ما كبرت الـ %EL كل ما كانت المادة ductile اكثر

> Another ductility measure:

$$\%RA = \frac{A_0 - A_f}{A_0} \times 100$$

طريقة ثانية لقياس الـ ductility

نقدر احسب الـ ductility بطريقتين :-
① التغير بالـ cross ...
② التغير بالـ Length



نصير الـ curve شكله تقريباً هيك لما نحكي ظاهرة الـ yeild phenomena

كل ما كانت المادة ductile اكثر
كل ما كان الـ variation in dimentions اكبر
كل ما كانت المادة Brittle اكثر
ما كان الـ variation in dimentions اقل

* نلاحظ انه لما نزيد الـ stress الـ strain راح يزيد لحد الـ ultimate stress value بالمنطقه كل ما نزود الـ stress رح نصير عنا extension اكثر

another definition from the stress-strain diagram. (Modulus of elasticity, Yeild point, Linear of prop.., ultimate stress, fracture stress)
هون راح نحكي كمان خصائص نطلعها من الـ stress-strain curve

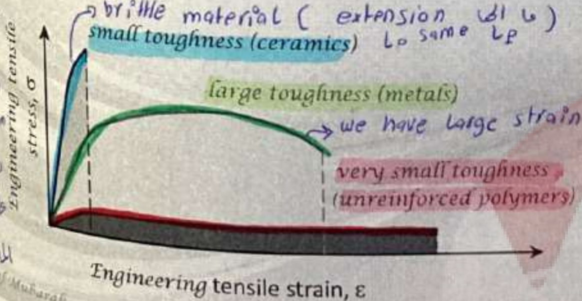
Toughness → لازم نصير في Fracture للمادة

> Toughness is a fundamental material property measuring the ability of a material to absorb energy and withstand shock up to fracture; that is, the ability to absorb energy in the plastic range.

> Energy to break a unit volume of material

> Approximate by the area under the stress-strain curve.

← العينة عندها قدرة انو تمتص الـ Force اللي نا نطبقها لعند level محدد بعدين بطل عندها قدرة تمتص energy زيادة وبصير الـ Fracture



Brittle fracture:
elastic energy and little plastic

Ductile fracture:
elastic + plastic energy

← كل ما كانت المادة عندها قدرة على امتصاص الـ energy كل ما كان الـ toughness الها اعلى

الـ curve الاخضر عشان معظم المواد المعدنية اوبلا قه انو الـ toughness هو الـ area under the curve من zero strain للـ Fracture point

* نلاحظ انو الـ elastic deformation عشان معظم الـ plastic deformation الي بصير بالـ Brittle material ، بادوب في شوية بالـ

Scanned with CamScanner

لو جبنا قطعة زجاج ومسكناها من طرفيه وحاولت تشدها راح تنكسر
لو جبنا هدول القطعتين اللي انكسروا وضمناهم لبعض وقسنا الطول راح يكون
نفس ال initial length لانو ما صار فيها extension
هاي المادة بنسميها Brittle او non ductile

لو جبنا قطعة بلاستيك وعرضناها لنفس ال force نصير تنشد وتطول
وبعدين تنقطع بلوجبنا القطعتين اللي انقطعوا وضمناهم مع بعض وقسنا الطول
راح نلاقي انو الطول اكبر من ال initial length لانو صار فيها extension
هاي المادة اللي صار فيها extension بنسميها ductile material

يعني ال ductility الها علاقة بال extension والها علاقة بال cross sec. area ال final

قطعة الزجاج لما جمعناها لقينا ال final cross sec. area نفس ال initial ما في اختلاف بال dimention تاعون العينة
بينما القطعة البلاستيك بالاخير نصير مثل الخيط عل القطع ضمهم جنب بعض
وقارنهم بال original cross sectional area بتلاقي فرق كبير كانت عبارة عن rectangular وصارت زي رأس الدبوس لانو صار فيها further extension

- → Ductility :- degree of plastic deformation that takes place before Fracture, and it's percentage increase in length
- → ductility increase while increase the temp.
- → ductility important to know the allowable deformation during Fabrication processes

* بال brittle تكون %EL تقريباً مهملة ، لانو ال initial length وال final length تقريباً يكونوا زي بعض

* كل ما كان ال reduction اعلى وال A_f اصغر من ال A_o ، كل ما كانت ال ductility اعلى
بحالة ال compression بصير $\frac{A_f - A_o}{A_o}$ ، لانو العينة بصيرلها inflation مش contraction
يعني عكس بعض ، لما يزيد ال elongation ال Area بتقل ولما يقل ال Area بتزيد
عشان نحافظ على ال possion's law اللي حكى $V = -\frac{\varepsilon_L}{\varepsilon}$ ؛

Madar ask : believe & recieve

Scanned with CamScanner

* ما نقدر نحدد مين اللي اله Ur اعلى المواد ال brittle ولا ال ductile لانو ال 2 عكس ال elasticity لازم احسب ال area بالزبط

← كل ما المادة كانت elastic اكثر
كل ما كان امتصاص المادة لل energy اعلى
وبالتالي ال Resilience تكون اكبر

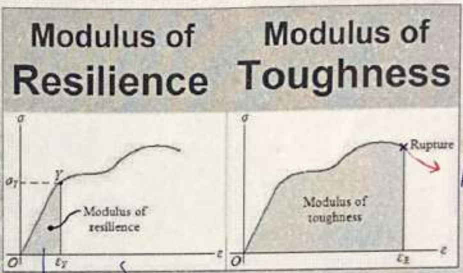
Resilience, Ur

- The ability of a material to absorb energy when deformed elastically and to return it when unloaded is called resilience. ← ما بدنا نتجاوز ال elastic deformation
- Ability of a material to store energy.
- Energy stored best in elastic region

$$U_r = \int_0^{\varepsilon_y} \sigma d\varepsilon$$

- If we assume a linear stress-strain curve this simplifies to:

$$U_r \cong \frac{1}{2}\sigma_y \varepsilon_y$$



Fracture Point

ال area اللي ← بتعبر ال elastic def وهاي ال area

We don't care about Fracture

بتمثلنا قديش ال Ur تاعت المادة
كل ما كانت ال area اكبر كل ما كانت Ur اكبر = كل ما كانت ال absorbed energy by the material to the end of elasticity → اعلى

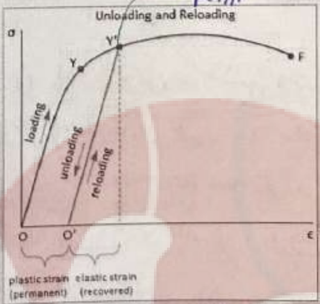
كل ما كان ال curve قريب لل y-axis
بتكون ال modulus of elasticity اعلى
كل ما كانت ال resilience اقل لانو
Δx راح تكون اقل

↱ Changing the yield point of the same sample by repeated loads

Elastic Strain Recovery

- If a material is loaded beyond the elastic limit, it will undergo permanent deformation. After unloading the material, the elastic strain will be recovered (return to zero) but the plastic strain will remain.
- The figure shows the stress-strain curve of a material that was loaded beyond the yield point, Y.
- The first time the material was loaded, the stress and strain followed the curve O-Y-Y', and then the load was removed once the stress reached the point Y'.

→ new yield point



عند Y' ← permanent deformation
O' ← permenent strain

ask believe & recieve

Scanned with CamScanner

the area under the all curve from zero strain to the fracture strain → toughness of material

ولازم يصير في fracture للمادة.

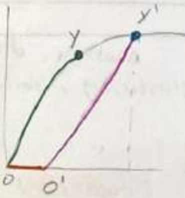
* معظم المواد المعدنية ال toughness يعتبر عالي لانها تعتبر ductile material ويصير منها extension فبيع وبعدين يصير في عنا ال fracture

* في بعض المواد بكون فيها very big deformation بال longitudinal direction و reduction in cross sec. area بس ال toughness تاعها بكون صغير لانها ما بتتحمل قيم عالية من ال force يعني ال deformation يصير على low values of forces لما نجي نحسب قيم ال stress تكون متدنية ← هاي المواد الي الها هاد ال curve (الاخضر) هي معظم المواد البلاستيكية

* لانقارن المواد البلاستيكية بالمعدنية ، ال ultimate stress راح يكون اقل بكثير من ال stress الي بتتواجد عليه المعادن حتى يصير ال deformation

* ال toughness عند الاخضر اعلى ما يمكن وبعدين الازرق واخر شي الاحمر (حسب ال area)

* كل ما كانت المادة tough اكثر نعتبر انو المادة الها plastic deformation كبير ولما يكون ال toughness قليل بتتحمل stress معينة وبعدين ما فيها extension يعني عند نقطة قليلة بصير عندها ال fracture



مثلاً كان عنا sample معينة وحملناها ب Load وراح نمشي لحد ما يوصل عند ال yield point وبعدين بدي اتعدا ال yield ، عند النقطة الخضرا كانت ال yield point الاولى وهنا وصلنا ال Load عند النقطة الزرقا ، عند هاي النقطة نقرأ قيمة ال stress ، هون كنا دخلنا بال plastic deformation بنسبة اذا حدث خط parallel من y' الى O' بعطيني المسافة بين O' و O (الي هي عبارة عن ال plastic deformation ، هلأ اذا عدت another Load cycle على ال sample deforme (العينة صار فيها deformation بعد ما طبقت ال Load الاول) بدي آخذ هاي ال sample deforme وارجع احملها load كمان مرة نلاحظ انو ال second cycle راح تبدأ من عند O' لانو هاد ال initial length الجديد (الي هو عبارة عن ال final بالمرة الاولى) المادة will behave exactly as pure هاد ال line (الزهري) الي بال next cycle لعند another yield point الي هي y' (عند الزرقا) نفس ال line الاحمر ما تغير ، اذاً ال modulus ما تغير ، راح يكون عنده نفس قيمة ال modulus of elasticity يعني بال second cycle من O' ل y' كله راح يكون elastic deformation وبعد y' كله راح يكون plastic deformation ، هاد الشي بنسميه ← Hardening :- يعني انا زدت ال yield point تاعت المادة

* كل ما عملت repetation لل cycle اكثر (لغاية حد معين) ، كل ما رفعنا ال yield point ، لما يوصل لعند ال ultimate خلص ما بقدر اوصل بعدها عند ال ultimate بكون ال max. yield point الي بمكنه احصل عليها اما بعدها ما في لانو بوصل لمرحلة ال necking وبصير في failure للمادة بسبب ال reduction بال cross sectional area.

Elastic Strain Recovery

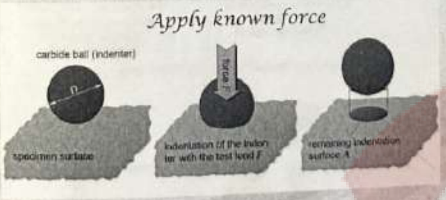
- Since the material was loaded beyond the elastic limit, only the elastic portion of the strain is recovered, there is some permanent strain now in the material.
- If the material were to be loaded again, it would follow line O'-Y'-F, where O'-Y' is the previous unloading line.
- The point Y' is the new yield point. Note that the line O'-Y' is linear with a slope equal to the elastic modulus, and the point Y' has a higher stress value than point Y.
- Therefore, the material now has a higher yield point than it had previously, which is a result of strain hardening that occurred by loading the material beyond the elastic limit.

كل الحكي قبل كان يعتمد ع ال tensile testing ، هلأ راح نشوف واحد تاني اللي هو ال Hardness test

indentor → surface السطح اللي بدي اخرشه هو ال

Hardness → resistance to indentation

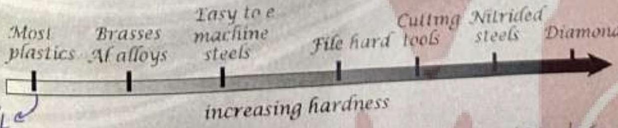
- Resistance to permanently indenting the surface. → قديش السطح يقاوم عملية الخدش او ال indentation انك تخرش شيء بجزء بالسطح
- Large hardness means:
  - ✓ Resistance to plastic deformation or cracking in compression.
  - ✓ Better wear properties.



Measure size of indent after removing load

Smaller indents mean larger hardness.

غالبا ال indentor تكون مصنوعة من :-
1- tungsten carbide
2- diamond
3- hard steel



اذا بدي افحص مادة لازم ال indentor يكون اقوى منها

soft

properties acording to tensile test (from stress - strain curve)

1. Limit of pro...
2. yield point
3. ultimate stress
4. Fracture stress
5. Modulus of plasticity
6. Resilience
7. toughness
8. yield recovery

* زي لما نجيب شيء مدبب (زجاج او مسمار) ، ونضغط فيه على سطح الطاولة ، لأنه سطح الطاولة الـ hardness number تاعه قليل بنلاقي الراس المدبب راح ينغرس بهاد السطح ، لكن لو عدنا لنفحص على قطعة من الـ stanles steel وحاولنا نغرس الراس المدبب ما راح يعمل ولا شي ، لأنه الـ hardness اله عالية

* كل ما كان سطح المادة اقسى ، كل ما كان عملية مقاومة الغرس اكبر بالتالي ما راح ينغرس ، هاد بنسميه الـ hardness test

* مو زي الاسفنجة ، الاسفنجة اغرس اصبعك فيها راح ينغرس ، بس لما اشيل اصبعك الـ deformation على السطح راح يرجع (completely recover) هون ما بقدر احكي انه هاد hardness test ، لانه we have to creat permanent deformation على السطح

لازم يصير في عنا permanent indentation على السطح ، فعشان لما نيجي نفحص الاسطح لمواد مختلفة لازم نختار stronger machine عشان اعمل الـ test يعني ما يصير افحص مادة زي الـ steel بمادة اضعف منها زي الـ copper

* عشان افحص مادة لازم اجيب مادة الـ hardness number تاعها اعلى من الـ surface اللي بدي افحصه

Scanned with CamScanner

← عادةً ما بتجاوزا ال 130 kg بال force سواء ال 10 + 150
و معظم الحالات ال range بتراوح بين ال 100-20

Hardness: Measurement

← نطبق ال minor load عشان الصفر
انو ال surface اذا فيه اي تشوهات
اكون تعديتها

① Rockwell

The Rockwell method measures the permanent depth of indentation produced by a force/load on an indenter. (مش بس ال diameter)

- No major sample damage
- Each scale runs to 130 but only useful in range 20-100.
- Minor load 10 kg (if the mat. is soft)
- Major load 60 (A), 100 (B) & 150 (C) kg (حسب صلابة المادة) (ل type of indenter)
  - A = diamond, B = 1/16 in. ball, C = diamond

هاد بيعني نطبق two load
ال minor حتى نضمن
انو ال surface تكون
لكل ال material نفسه
يعني بعمل indentation
بس مش محسوب ، احنا نعمل
حسابات ال indentation بعد ما
نطبق ال Load الاول

- HB = Brinell Hardness
- TS (psia) = 500 x HB
- TS (MPa) = 3.45 x HB

(نقدر نحول ال Brinell hardness value ل tensile strength value)

← بال major load بكل الانواع ال ball تكون
الها 10 mm لل diameter تتعلق
حسب material of construction ال
طبيعة ال surface اللي بدي افحصه بختار ال A او B او C

Yousef Mubarak
Materials Science

Rockwell test

حساب ال indentation تكون من النقطة B لغاية D لانو
هاد اللي نتج عنه ال major load

هاد ال indentation اللي هون ما ناخذه بعين الاعتبار ما بدي اياه
المؤشر على ال mainor Load
10 kg Force
surface of the sample
المؤشر ازداد دليل انو كنا طبقنا قوة
بناخذ الفرق بين R و B → اللي هو ال indentation
نقرأ قديش ال applied Force

Yousef Mubarak
Materials Science
Madar ask · believe · recieve
Scanned with CamScanner

(proper finished, clean, smooth) كيبوا surface يكون IS كيف بدي العينة

بعدين يكون في dimention بكرة معينة حسب ال standares معظم ال standar بتيار
ball القطر تاعها 10 mm . ومش بالضرورة ball في بعضهم يستخدموا معينه
او كرة او اشكال مختلفة حسب طبيعة العينة.

ال Brinell يستخدموا ball قطرها 10mm و مصنوعة من diff mat.
بالبداية هاي ال ball تتحمل على السطح بدون اي Load بعدين يطبقوا force
معينة ، هاي ال force بدها تعمل indentation ع ال surface لهيك بدنا افحص
من ال surface لانو اذا كان العكس ال deformation راح يصير بال ball
بعدين تشيل ال force وال ball وتطلع معنا indentation على ال surface
هلأ بدي احسب ال diameter لل indentation واحيانا بحتاج احسب
ال depth حسب طبيعة العينة اللي معه

* لهاي الفحوصات ممنوع يكون d يساوي D
d ← diameter of indentation
D ← diameter of ball
لانو اذا وصلنا عند D معناها وصلنا عند ال max ، يعني اذا انغرست
اكثر ما راح تتغير ال D ، يعني من عند نص ال ball وفوق شو ما غرست
d ما راح تتغير ، لهيك لا d = D لازم اغير ال ball او ال Load
لانو اذا d = D ← the test fail

* اذا بدي افحص steel و AL ما يصير افحص ال steel على ال Brinell وال AL على ال Vicker واروح اقول ال hardness لل AL اعلى من ال steel

← اذا بدي اقارن لبيه مادتين لازم افحصهم على نفس ال test

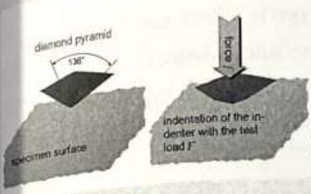
* ال hardness value هي عبارة عن comparative values يعني انا بقارن بعض

Madar ask believe & recieve

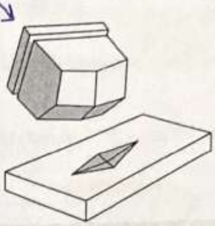
Scanned with CamScanner

الاختلاف بأنواع ال test لطبيعة ال indenter وال load اللي بنحمله

هون اختلف ال indenter نفسه وكل واحد اله طريقة للقياس

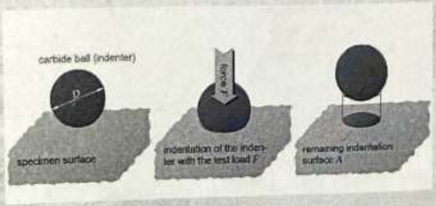


② Vickers



③ Knoop

أكثر two test نعتمد عليهم هم ال Brinell وال Rockwell
نادر ما نستخدم ال Vickers وال Knoop



④ Brinell

Materials Science

Yousef Mubarak

13

عم نختلف عن ال Rockwell ② وال ③ بالطريقة
بدنا ال indentation depth
وهون بدنا ال diameter لل indentation
(اختلفت طريقة القياس)

ليش ال P بال kg ?! لأنو انا لما نحمل، نحمل mass ما نحمل force

P → in kg not N
(بلزم إذا اعطاني اياها ب N اقسم على ال acc. عشان تطلع معي بال kg)

Hardness: Measurement

Table 6.4 Hardness Testing Techniques

Test	Indenter	Shape of Indentation: Side View	Shape of Indentation: Top View	Load	Formula for Hardness Number[a]
Brinell	10-mm sphere of steel or tungsten carbide (or diamond)	D (constant), d	d	P	$HB = \frac{2P}{\pi D[D - \sqrt{D^2 - d^2}]}$ (Brinell hardness)
Vickers microhardness	Diamond pyramid	136°	d_1, d_1 ($d_1 = d_1$)	P	$HV = 1.854P/d_1^2$
Knoop microhardness	Diamond pyramid	$l/b = 7.11$, $b/t = 4.00$; t	b, l (we ignore b)	P	$HK = 14.2P/l^2$
Rockwell and Superficial Rockwell	Diamond cone (max diameter); $\frac{1}{16}, \frac{1}{8}, \frac{1}{4}, \frac{1}{2}$ in. diameter steel spheres	120°		60 kg, 100 kg, 150 kg (Rockwell); 15 kg, 30 kg, 45 kg (Superficial Rockwell)	

نستخدم cone

[a] For the hardness formulas given, P (the applied load) is in kg, while D, d, d_1, and l are all in mm.

ال term تبع $\sqrt{D^2 - d^2}$ صار zero لما d = D فصار πD^2 يعني اعطاني cross sec. area كاملة بغض النظر عن ال indentation، لازم تكون هي بس fraction الجذر تكون رقم +ve

يستخدموهم لل micro hardness بالقيم اللي تكون ال hardness فيها كثير صغيرة

Materials Science

Yousef Mubarak

34

ask :: believe & recieve

Scanned with CamScanner

بال Vickers ← كل ما كانت الـ d أكبر كل ما كان الـ indentation أكبر، كل ما كان الـ Hardness number أصغر (العلاقة عكسية)
وكل ما كانت الـ d أصغر يعني الـ surface أقسى والـ Hardness number أعلى

بال Knoop ← هنا بناخذ الأطول ونعتبرها هي l ، لأنو ممكن d1 و d2 يطلعوا تقريباً زي بعض، فهيك لازم نتأكد انو الـ l أكبر من الـ d
كل ما الـ l ما زادت كل ما الـ Hardness number صار أقل

هنا نفحص comparatively بس نتقارن مقارنات مع بعضهم وفقاً لنفس الإجراءات

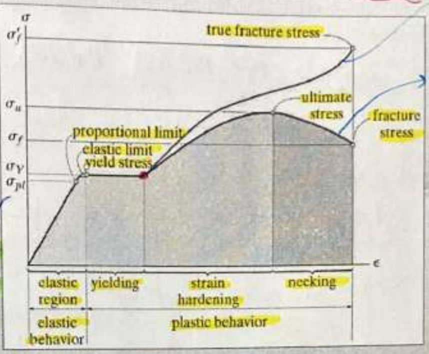
Madar ask :: believe & recieve

Scanned with CamScanner

True Stress & Strain

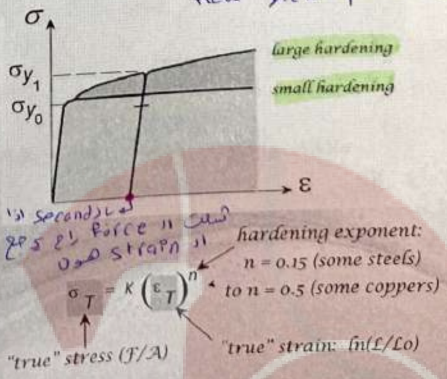
- True stress is the stress determined by the instantaneous load acting on the. instantaneous cross-sectional area.
- True stress is related to engineering stress: Assuming material volume remains constant
  - ✓ True stress, $\sigma_T = \frac{F}{A_i}$
  - ✓ True strain, $\varepsilon_T = ln\left(\frac{L_i}{L_0}\right)$

$$\sigma_T = \sigma(1+\varepsilon)$$
$$\varepsilon_T = ln(1+\varepsilon)$$



Hardening

- Metal is known for being a tough substance that can stand up to a lot of wear and tear, but it might not have started out that way.
- Many types of metals have gone through the process of metal hardening in order to make them better suited for the job they need to do.
- Each metal hardening process includes three main steps: heating, soaking and cooling the metal.



Yousef Mubarak — Materials Science

Scanned with CamScanner

بعض الاحيان انت بدك تعمل تقسية للسطح يعني Surface Hardening
هاي العملية بتم حتى ما يصير في wearing على السطح ، برفعوا ال yield point تاعتها
حتى ما يصير فيها permanent deformation عشان هيك ال hardening

Madar
ask believe & recieve
Scanned with CamScanner

حكينا عن نوعين من ال test :-
① tensile test
② hardness test

Variability in Material Properties

- Elastic modulus is material property
- Critical properties depend largely on sample flaws (defects, etc.). Large sample to sample variability.
- Statistics
  - Mean: (مناخد ال mean للعينات الـ accepted)

$$\bar{X} = \frac{\sum_1^n X_n}{n}$$ (any property)

  - Standard deviation: (بيحكم عن علاقة these is the انو representitive mean of our sample.)

$$S = \left[\frac{\Sigma(X_i - \bar{X})^2}{n-1}\right]^{\frac{1}{2}}$$

where n is the number of data points

اذا عندي عينة وبدي اطلع ال mechanical prop ع sample لازم احكي ال ع اساس انو العينات متطابقات ?! ع الاغلب مش اقل من 5 sample وعادةً نعملوا ع الاقل 10 عينات ونستثني العينات الشاذة سواء اقل كثير من القيم او اعلى كثير

هل راح نطلع نفس القيم لكل العينات ؟ اكيد لا، لانو كنا ما عنا عينة تكون 100% homogeneous، الا ما يكون في imperfection بعينة معينة

ال S هو الحكم، كل ما كان اعلى كل ما كانت العينات ال mean تاعنا غير ممثل، كل ما كان ال curve قريب ع ال mean هاد يعني S راح يكون اقل

Design or Safety Factors

(مهم حتى ما نوصل لمنطقة الخطر)

* we never carry on a design using yield stress or ultimate stress as is, we have useing a working yield stress or working ultimate stress

- Design uncertainties mean we do not push the limit.
- Factor of safety, N

$$\sigma_{working} = \frac{\sigma_y}{N}$$

(σ_y: yield or ultimate; $\sigma_{working}$: اقل من σ_y)

Often N is between 1.2 and 4 (for metal; not less than 1.2)

* بصير في عنا margine لل error، كل ما زادت ال factor of safety كل ما كان ال margine اكبر، التالي كنا بنكون ال safe side

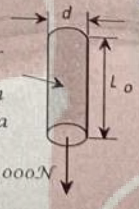
Example: Calculate a diameter, d, to ensure that yield does not occur in the 1045 carbon steel rod below. Use a factor of safety of 5.

(كل ال design بنشتغل على هاد ال stress)

$$\sigma_{working} = \frac{\sigma_y}{N}$$

$$\frac{F}{A} = \frac{220{,}000\ N}{\pi(d^2/4)} \qquad 5$$

d = 0.067 m = 6.7 cm



اذا كان بواجه بشتغل على design كتير critical ممكن يرفع ال factor اكثر من ...

بهاد السؤال :- قديش لازم تكون ال diameter لهاد ال rod عشان ما نتعدى ال yield stress اذا ال factor = 5

ع فرض انو طلعنا ال $\bar{x}$ للعينات = 70 وال S = ±5

شو يعني ؟! يعني معظم العينات راح تكون حوليه ال 70 أكبر او اصغر ب 5 من 65 الى 75

بس لما يكون S = 20 مثلاً ، صار ال range من 50 الى 90

* كل ما كان S اوسع كل ما كان تمثيل العينة اضعف

* بحيث S يكون قريب لل mean value حتى ما يكون فيه انحراف عن ال mean value

* انت كمستهلك بهمك الشغل يكون على one standard deviation

* فيما المصنع بهمه ينتج على six standard deviation على سبيل المثال

مثلاً :- على فرض بدي اصنع قلم طوله 10cm اذا قلنا انو S بالعينات 1mm اذا بنتج كل العينات على ال one standard d معناها القلم مش لازم يتعدا طوله 10.1 ومش لازم ينزل عن 9.9 يعني 9.8 و 10.2 راح يرفضوا . لكن لو هو صانعه بخطه ال six standard d ع اساس لو صارت مثلاً 10.6 او 9.4 لسه تعتبر قيمة مقبوله للمنتج

عادة ال design بيبنوا واحد من خياريه :-

1. بشتغلوا على منطقة ال yield stress
2. او على ال ultimate stress

اذا كان critical وما بدي يصير variation in dimention بشتغل على ال yield stress

هون مش ضروري اشتغل ع ال yield بعد اشتغل ع ال ultimate. اما اذا كانت ال dimention مش كتير مهمة (زي مثال ال tank سابقاً)

كل ما زادت قيمة هاد ال factor كل ما نزلت قيمة ال stress وبزيد ال factor of safety

← هل 6.7cm متوفر بالسوق؟ لا . لانو في standard محدد الاشي 6 او 7 او 6.5 بهاي الحالة اي اختار diameter الاكبر ولا الاصغر؟ بناخذ الاكبر هالشي بزيد التكلفة بس بحافظ وبزيد ال safety

Vadar ask & believe & recieve

Scanned with CamScanner

Summary

- **Stress and strain:** These are size-independent measures of load and displacement, respectively.
- **Elastic behavior:** This reversible behavior often shows a linear relation between stress and strain. To minimize deformation, select a material with a large elastic modulus (E or G).
- **Plastic behavior:** This permanent deformation behavior occurs when the tensile (or compressive) uniaxial stress reaches σ_y.
- **Toughness:** The energy needed to break a unit volume of material.
- **Ductility:** The plastic strain at failure. { change in Length / change in Area }
- **Hardness:** Rockwell, Brinell, Vickers, and Knoop

ask ... & recieve

Scanned with CamScanner

> Stress & Strain :- قلنا انواعهم تختلف حسب ال applied force

اذا كانت ال applied force عندي Normal على ال surface بكون tensile

اذا كانت normal ومع اتجاه ال axes بكون compression

comp. & tension ← نفس الشي بس بفرقه باتجاه ال force يا بكون away from the axis او ال toward to axis

Strain ← هو نتيجة هاي ال force

دائماً ν (poisson's ratio) بكون اقل من 1

• اذا كنت عامل tensile force ← بكون ال change in length أكبر من ال change in diameter اذاً ال ε long > ε lateral بالتالي لما نقسم ال ε على بعض رح يطلع اقل من 1

• قيمة ال modulus of elasticity بساوي ال $\frac{\text{variation in stress}}{\text{variation in strain}}$

من zero strain حتى end of proportionality بعد هاي المنطقة منحنى نفس شوي منطقة ال elastic بس اذا بعدنا ووصل منطقة ال yield بكون هون دخلت بال plastic deformation

• معظم ال metals ما الها yield point وبهاي الحالة بنستخدم ال proof strain

ask believe & recieve

Scanned with CamScanner

في غيرال mechanical failure ؟ ليس، عكسه بكونه في thermal failure

Chapter 6

Mechanical Failure

كيف يصير ال failure بالمواد.

The University of Jordan
Chemical Engineering Department
First Semester 2021
Prof. Yousef Mubarak

ask believe recieve

Scanned with CamScanner

(Fatigue, impact, creep, compression, tension) ← failure

Outline

- How do Materials Break?
  Ductile vs. brittle fracture
- Principles of fracture mechanics
  - Stress concentration
- ① Impact fracture testing
- ② Fatigue (cyclic stresses)
  - Cyclic stresses, the S—N curve (number of cycle)
  - Crack initiation and propagation
  - Factors that affect fatigue behavior
- ③ Creep (time dependent deformation)
  - Stress and temperature effects
  - Alloys for high-temperature use

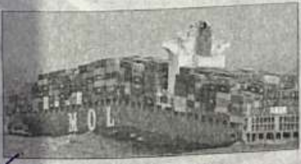
three main mechanical test

creep deformation

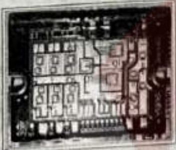
① primary ② secondary ③ tertiary

ISSUES TO ADDRESS...

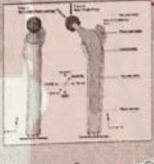
- How do cracks that lead to failure form?
- How is fracture resistance quantified? How do the fracture resistances of the different material classes compare?
- How do we estimate the stress to fracture?
- How do loading rate, loading history, and temperature affect the failure behavior of materials?



Ship-cyclic loading from waves



Computer chip-cyclic thermal loading



Hip implant-cyclic loading from walking

Failure under fatigue

ليش بالحوادث الجراء بجمعوا الحطام ؟! حتى يعملوا surface examination لل
قطع المادة، يعني اذا كان فيها failure ممكن من خلال الحطام يقدروا يحددوا
شو طبيعة ال failure اللي صار، وشو اللي سبب هاد ال failure

* وجود void او فقاعة هوا ال str هاد عالي بال Area في المنطقة اللي فيها الفقاعة
بصير اقل من ال other cross sectional areas بالتالي هاي ممكن تسبب
stress conc. area. لما يصير في failure بده يصير عندها

* لوح الزجاج اذا صار فيه crack بسيط لازم نبدل الزجاج بأسرع وقت
وما نستنى عليه، لانو هاي المادة Brittle وصار عنا initiation لل
cross sectional area وصار عنا ال crack، هاد ال crack بال Brittle بصيرله
acc. عالي جداً وبصير ال failure فيه suddenly بدون اي مقدمات
بينما بال ductile عنا margine كبير حتى نصل لل fracture

* ال tertiary creep stage اخطر واحد لانو بصير ال rate of deformation
بصير يتزايد بينما بال primary ال rate of deformation بصير يتناقص

* ال rate of def بيبدا يتناقص عند منطقة ال Primary بضل ينزل لحد ما يوصل
لـ rate of deformation ثابت اللي هي منطقة ال secondary ولغاية بداية منطقة ال tertiary ال rate of deformation تكون constant مع الزمن، بزيد ال deformation مش ال rate of deformation

← ال rate بال secondary stage ثابت لكن ال deformation بزيد، لكنه
بزيد بمعدل ثابت

← منطقة ال primary ال rate بتغير مش ثابت (بيدا كبير وبصير يصغر)

← ال tertiary هي presentation عن ال necking للمادة وعندها ال cross sec. area
راح تصير اصغر وبالتالي ال stress بصير يزيد وبزيد ال strain لحد ما نوصل لمنطقة
بتبطل فيها ال area عندها القدرة تحمل ال resistance لل applied force بصير
عنا ال failure

← بالعادة ال failure بصل بعد ال ultimate، هاد ال stress اللي انا عامله
ع السلك راح يعمل value لل stress اقل من ال ultimate، طيب شو اللي خلى المادة تنكسر؟!
انقطع السلك بسبب ال fatigue (cyclic)

→ how do we estimate the stress to fracture?

لما يصير في عنا Fracture وبدنا نعمل analysis ليش صار هاد ال Fracture. بدنا نصير
نحسب كمية ال stresses الموجودة على ال item، طب ليش ال Failure صار عند هاي ال point؟
بصير لانو هاي منطقة stress conc. area

* بندرس هاي الظواهر عشان نحمي ال str. او ال component اللي بدي اياه عدم فترة اطول وعشان بدي منه أكثر لا بدي نعمل design لازم نعمل minimization لاحتمالية ال Failure يعني لدي انتبه احط هاد ال bar تحت ظروف بأدي لهاد ال failure

Why study failure?

* أكثر ٣ اسباب بأدوا لل Failure :-
  1. creep
  2. impact
  3. fatigue

- Design of a component or structure: Minimize failure possibility
- It can be accomplished by understanding the mechanics of failure modes and applying appropriate design principles.
- Failure cost
  1. Human life → موت ناس
  2. Economic loss → خسائر مادية
  3. Unavailability of service →
- Failure causes
  1. Improper material selection
  2. Inadequate design
  3. Processing
- Regular inspection, repair and replacement critical to safe design.

* ال Fatigue عامل اكثر نسبة حوادث بتادي لل Failure نحو 80%

* لما نصير عنا Failure خلص الجهة لحتى تشتغل هون يا نعمل :-
  1. maintenance
  2. or replacement

* لما بدنا كنا ال material of construction لازم نعمل هالشي بال elimination لشوف ال candidates وبعدا اختار منهم بناءً عن عدة عوامل زي ال cost وال density وغيرها ..

(margin notes: أهداف الـ design / أو غلط بال design / اسباب تؤدي لل failure)

* مثلاً لو عملت ال wall thickness لل vessel ← 3mm ؛ هل هاد ال thickness كافي لمقاومة ال internal force اللي راح يتولد ؟! اذا الجواب نعم معناها التصميم صح ، اذا الجواب لا أكيد راح يأدي الى Failure ، ممكن نصير crack بسبب ضعف المعدن

* لما نصير عندي بال reactor ← reaction وهاد ال reaction انفقدت السيطرة عليه هون راح تكون ال failure صار بسبب ال process

* ما ضل استنى لتظهر المشكلة ، بعرضها في inspection دوري وبناءً عليه ممكن نشوف عيوب بالتصنيع او الانتاج او ال conditions وكلها قبل ما نصير المشكلة

* بدي امير بين failure و fracture
Fail ← المادة فيها خلل بس مش crack
لما نصير عنا كسر للمادة هون صار Fracture

Fracture

- Fracture is the separation of a body into two or more pieces in response to an imposed stress.
- Steps in fracture:
  1. Crack formation
  2. Crack propagation
- Depending on the ability of material to undergo plastic deformation before the fracture two modes can be defined:
  1. Ductile fracture
  2. Brittle fracture

(margin notes: ال fracture نصير بسبب واحد من انواع ال failure / ← نظر بال stress ال cone area / ← يعني نصير يكبر ال crack)

* ال Failure وال Fracture ممكن تكون الهم علاقة ببعض لكن ال Failure لا يعني انو لازم نصير عندي Fracture

* وبيه صار في تركيز لل stress جوا ال str. هالمرة احتمالية نصير عنا ال Fracture

* ال crack propagation يختلف بالمواد ال ductile عن ال brittle ، بال ductile تكون very slow وبال Brittle تكون very fast

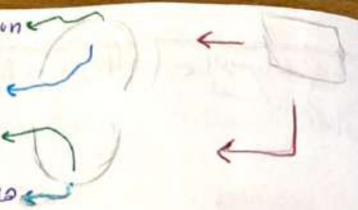
Yousef Mubarak Materials Science
ask believe recieve
Scanned with CamScanner

top surface under tension

bottom surface under comp.

comp. وهاد صار عليه

tension هاد الي صار متعرض لد



هون لو بدي اثني العينة بشكل متكرر، مرة لتحت ومرة لفوق هل ال top وال bottom صار عليهم نفس ال stress ؟ ol نفسه لانو ال force ما تغيرت

← ضل اكرر العملية كل مرة اغير ع ال surface مرة comp. ومرة tension، انا قاعد بعمل cycling، قاعد يعرض نفس ال surface لـ cycle of stresses مرة under tension ومرة under comp.

* في مواد لو اكرر هاي الخطوة لل ∞ ما راح يصير فيها والاشي بنسميها ال safe loading ما راح يصير فيها failure

← ليش السفينة صار فيها failure under fatigue بهاد الشكل ؟!

المادة الي عاملة ع السفينة بتعمل comp. لتحت بسبب الموج والمضرب مقدمة السفينة لفوق ولانو عليها load هاد ال load راح يرجعها لتحت ورجع الامواج تضربها لفوق وهكذا... فنا قاعدين بنعمل fatigue على السفينة مرة بحلي ال surface تحت ال tension ومرة يصير عليه comp. ومع التكرار السفينة يصير فيها failure

← بال computer لما بنسخن المادة بصير فيها تمدد الاسلاك الرفيعة بصير عندي thermal forces على هاي الاسلاك بتأدي الى ال failure ولما نطفيه ويبرد برجع السلك بتقلص، ومع استمرار التشغيل والطفي بصير عنا cyclic وبسبب هاد بشي بصير عنا failure مع الوقت

← مثال آخر واقعي ال timing belt بالسيارات، هاد مصنوع من rubber وكتان واله fatigue limit، مع الضغط بصير بشد ومع الحرارة بصير يتمدد ولما نطفي السيارة ويبرد برجع بصير فيه تقلص، كل مرة بصير تمدد وتقلص بشكل cyclic هاد ال belt ممكن يقطع suddenly ويخرب محرك السيارة

← مصنع الفوسفات عندهم sulfuric acid production unit حتى ينتجوا ال sulfuric acid لازم يكونوا ال metal sulfur، بيحطوا ال sulfur بفرن هوا فيه درجة حرارة الفرن حوالي 1000°C ويكون حجم الفرن كبير كثير، هاد الفرن بده يحتاج 8 ايام عشان ابرده اذا احتجت اني اعمله صيانة و 8 ايام عشان ارجع اسخنه، واذا توقف الفرن عن العمل كل ال sulfuric unit راح تتوقف وهاد المصنع هو بوله طاقة

Scanned with CamScanner

Fracture Modes → يعني شو طبيعة الـFracture هل هو ductile ولا brittle

Ductile fracture

① ➢ Most metals (not too cold) exhibit ductile fracture. راح نحكي لدور درجة الحرارة بالكوبل بالمادة لـ brittle او ductile

② ➢ Extensive plastic deformation ahead of crack.

③ ➢ Crack is "stable": resists further extension unless applied stress in increased.

Brittle fracture

- ➢ Ceramics, ice, cold metals exhibit brittle fracture. and cast iron is another example.
- ➢ Relatively little plastic deformation
- ➢ Crack is "unstable": propagates rapidly without increase in applied stress.
- ➢ Catastrophic

➢ Ductile fracture is preferred in most applications.

ask adar recieve

Scanned with CamScanner

① ductile fracture ← لل elongation بنلاقي صار فيها tensile testing لما نعمل للمعادن
ودخلت بال plastic وصار في عنا reduction in cross sec. area

② * قبل ما يظهر ال crack انا عم اشد العينة وتستطيل وتصير طولها
٤ او ٥ اضعاف طولها الاصلي بس لسه ما انولد عندي fracture
هاد ductility بس بسبب ال elongation اللي صار عم يكون عنا منطقة
صار عليها stress conc. بسبب impurities او irregularity in str. او ال Voidage
وغيرها... هي اللي عملت minimization لل cross sectional area وادت لظهور ال crack

③ * عشان اقارن بين ال ductile وال brittle بدنا نطلع على ال stability of the crack
بال ductile تكون ال crack عندي stable يعني بياخد وقت طويل لحتى ال fracture
لانو ال propagation rate كتير بطيء، حتى تكبر ال crack وتستهلك العينة
بده فترة اطول

* المادة ال ductile اذا حولتها ل cold او حطيتها ببيئة باردة بتصير Brittle
زي البلاستيك لما تحطه بالفريزر بنلاقي بعد فترة صار فيها كسر، طيب
شو اللي كسرها؟ اللي كسرها هو التجمد، لانو ال solid للمادة حجمه اكبر منه ال liq
مع انو الهم نفس ال Mw وال density

* كل المعادن اللي تتعرض لدرجات حرارة متدنية احتمالية تحولها ل brittle واردة
كيف حولت المادة ل brittle؟ عملت freezing لل bonds اللي جوا ال str.

ask believe recieve

Scanned with CamScanner

في غيراد mechanical failure ؟ بيس، عكسه بكونه في thermal failure

Chapter 6
Mechanical Failure

كيف بصير ال failure بالمواد.

The University of Jordan
Chemical Engineering Department
First Semester 2021
Prof. Yousef Mubarak

ask & recieve

Scanned with CamScanner

الاشياء الي عمله failure تسببلي ← (Fatigue , impact , creep , compression , tension)

Outline

- How do Materials Break? — *من خلال ال surface انا بقدر احدد شو طبيعة ال failure
  Ductile vs. brittle fracture
- Principles of fracture mechanics → كيف تصير عملية ال failure
  - Stress concentration → اضعف منطقة جوا ال str. وتتقادم ال stress زي وجود void
- ① Impact fracture testing
- ② Fatigue (cyclic stresses)
  - Cyclic stresses, the S—N curve (number of cycle)
  - Crack initiation and propagation — شو راح يصير لما يظهر ال crack
  - Factors that affect fatigue behavior
- ③ Creep (time dependent deformation) → المادة تصير فيها failure على الرغم انو ال stress الي تحمل ع المادة كثير اقل من ال yield stress او ال ultimate
  - Stress and temperature effects
  - Alloys for high-temperature use

three main mechanical test الي من خلالها بدي اعتبر قيمة المواد :

هاد ال failure الي بصير هو بسبب ظاهرة الزحف ال "creep" المادة او ال layers تصير تنسحل عن بعض وبعدين بصير في change in internal str. وهاد بأدي الى ال failure

المراحل الي بتمر فيها العينة خلال creep deformation

في عنا 3 مراحل راح نشوفهم ع ال curve
① primary ② secondary ③ tertiary

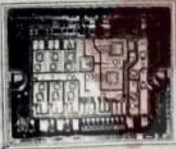
كل وحدة الها diff slope وكل وحدة في لها خطورة معينة على ال item واخطرهم هو ال tertiary

*كل failure بداية crack لازم تصير في عنا عشان تصير ال failure ، بدون ال crack مش راح يصير ال failure

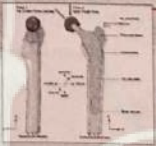
ISSUES TO ADDRESS...

- How do cracks that lead to failure form?
- How is fracture resistance quantified? How do the fracture resistances of the different material classes compare? — كيف نشوف مقاومة المادة لل failure وكيف نقارن المواد ببعضهم
  (شو الي كثير امن ال ductile عن ال brittle)
- How do we estimate the stress to fracture?
- How do loading rate, loading history, and temperature affect the failure behavior of materials? → كل هاي عوامل
  (وين نتطبق ال load)

Ship-cyclic loading from waves



Computer chip-cyclic thermal loading



Hip implant-cyclic loading from walking

Failure under fatigue

المعدن الي نحطه راح يقاوم ونستمر بالعمل لحد معينه وبسبب الاحتكاك وغيرها من العوامل ممكن يواجه بيده بعد سنوات ممكن يصير في مثلا sort of wearing وهاد ال wearing بأدي ل ال infection

Scanned with CamScanner

Surface examination لـ بس بالحوادث الحراء بجمعوا الحطام ؟! حتى يحللوا
تبع المادة ، يعني إذا كان فيها failure ممكن من خلال الحطام يقدروا يحددوا
شو طبيعة الـ failure اللي صار وشو اللي سبب هاد الـ failure

* وجود void او فقاعة هوا الـ str هاد حالي الـ Area في المنطقة اللي فيها الفقاعة
بصير أقل من الـ other cross sectional areas بالتالي هاي ممكن تسبب
stress conc. area ، لما يصير في failure بده يصير عندها

* لوح الزجاج اذا صار فيه crack بسيط لازم نبدل الزجاج بأسرع وقت
وما نستنى عليه ، لانو هاي المادة Brittle وصار عنا initiation
لل cross sectional area وصار عنا الـ crack ، هاد الـ crack
بالـ Brittle بصيرله acc. عالي جداً ويصير الـ failure فيه suddenly
بدون اي مقدمات
بينما بالـ ductile عنا margine كبير حتى نصل لل fracture

* الـ tertiary creep stage اخطر واحد لانو بصير الـ rate of deformation
يصير يتزايد بينما بالـ primary الـ rate of deformation يصير يتناقص

* الـ rate of def بيبدأ يتناقص عند منطقة الـ primary يضل ينزل لحد ما يوصل
لـ rate of deformation ثابت اللي هي منطقة الـ secondary منطقة الـ secondary
ولغاية بداية منطقة الـ tertiary الـ rate of deformation تكون constant
مع الزمن ، بزيد الـ deformation مش الـ rate of deformation

← الـ rate بالـ Secondary stage ثابت لكن الـ deformation بزيد ، لكن
بزيد بمعدل ثابت

← منطقة الـ primary الـ rate بتغير مش ثابت (يبدأ كبير ويصير يصغر)

← الـ tertiary هي presentation عن الـ necking بالمادة وعندها الـ cross sec area
راح تصير اصغر وبالتالي الـ stress يصير يزيد ويزيد الـ strain لحد ما نوصل لمنطقة
تبطل فيها الـ area عندها القدرة تحمل لـ resistance applied force يصير
عنا الـ failure

← بالعادة الـ failure يصير بعد الـ ultimate . هاد الـ stress اللي انا محمله
ع السلك راح يحمل value للـ stress اقل من الـ ultimate ، طيب شو اللي خلى المادة تنكسر ؟!
القطع للسلك بسبب الـ fatigue (cyclic)

→ how do we estimate the stress to fracture?
لما يصير في عنا fracture وبدنا نعمل analysis لليش صار هاد الـ fracture ، بدنا نضير
نحسب معي الـ stresses الموجودة على الـ item ، طب ليش الـ failure صار عند هاي الـ point ؟
بصير لانو هاي منطقة stress conc. area

ask believe & recieve

Scanned with CamScanner

* بندرس هاي الظواهر عشان نحمي ال str. او ال component اللي بدي اياه يدوم فترة اطول
وعشان يدوم فترة اكثر لما نجي نعمل design لازم نعمل minimization لاحتمالية ال failure
يعني بدي اتجنب احط هاد ال bar في ظروف بتأدي لهاد ال failure

Why study failure?

* اكثر ٣ اسباب أدوا لل failure :- ① creep ② impact ③ fatigue

- Design of a component or structure: Minimize failure possibility
- It can be accomplished by understanding the mechanics of failure modes and applying appropriate design principles.

* ال fatigue عمل اعلى نسبة حوادث عادي لل failure تصل ل 80%

- Failure cost
  1. Human life → موت ناس
  2. Economic loss → خسائر مادية
  3. Unavailability of service →

* لما يصير عنا failure خلص بعدها رح نشتغل هون يا نعمل :- ① maintenance ② or replacement

- Failure causes
  1. Improper material selection
  2. Inadequate design ← اذا ال design غلط
  3. Processing

* لما بدنا نختار ال material of construction لازم نعمل هالشي بال elimination، بنشوف ال candidates وبناءً عليها فبنختار بناءً على عدة عوامل زي ال cost وال density وغيرها...

- Regular inspection, repair and replacement critical to safe design. ← عشان نتفادى ال failure

* مثلاً لو عندي vessel وال wall thickness ← 3mm، هل هاد ال thickness كافي لمقاومة ال internal force اللي راح يتولد؟! اذا الجواب نعم معناها التصميم صح، اذا الجواب لا اكيد راح يأدي الى failure، عكسه يصير crack بسبب ضعف المعدن

* لما يصير عندك بال reactor ← reaction وهاد ال reaction انفقدت السيطرة عليه هون راح يكون ال failure صار بسبب ال process

* ما نضل نستنى لتظهر المشكلة، المفروض في inspection دوري وبناءً عليه ممكن نشوف عيوب بالتصنيع او الانتاج او ال conditions وكلها قبل ما تصير المشكلة

* بدي افرق بين failure و fracture
fail ← المادة فيها خلل بس مش crack لما يصير عنا كسر للمادة هون اسمه fracture

Fracture

- Fracture is the separation of a body into two or more pieces in response to an imposed stress. (ال fracture بصير بسبب واحد من انواع ال failure)

* ال failure وال fracture ممكن تكون الهم علاقة ببعض لكن ال failure لا يعني انه لازم يصير fracture

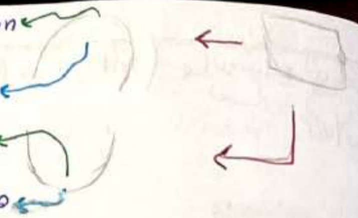
- Steps in fracture:
  1. Crack formation ← نظر ال stress cone area
  2. Crack propagation ← يعني يصير يكبر ال crack
- Depending on the ability of material to undergo plastic deformation before the fracture two modes can be defined:
  1. Ductile fracture
  2. Brittle fracture

* وبيصير هاد في تركيز لل stress هنا ال str. هناك احتمالية يصير عنا ال fracture

* ال crack propagation يختلف بالمواد ال ductile عن ال brittle، بال ductile بكون very slow وبال brittle بكون very fast

ask believe recieve
Scanned with CamScanner

top surface under tension
bottom surface under comp.
comp. وهاد صار عليه
tension هاد اللي صار متعرض لل



هون لو بدي اثني العصبة بشكل متكرر مرة لتحت ومرة لفوق هل ال top
وال bottom صار عليهم نفس ال stress ؟ او نفسه لانو ال force
ما تغيرت

← ضل اكرر العملية كل مرة اغير ع ال surface مرة comp. ومرة tension،
انا قاعد بعمل cycling، قاعد بعرض نفس ال surface ل cycle of stresses
مرة كله under tension ومرة under comp.

* في مواد لو اكرر هاي الخطوة لل ∞ ما راح يصير فيها ولا شي بنسميها ال safe loading
ما راح يصير فيها failure

← ليش السفينة صار فيها failure under fatigue بهاد الشكل ؟!

المادة اللي محلة ع السفينة بتعمل comp. لتحت بسبب الموج والضرب مقدمة
السفينة لفوق ولانو عليها load هاد ال load راح يرجعها لتحت وترجع
الامواج تضربها لفوق، وهكذا... فنحنا قاعدين بنعمل fatigue على السفينة
مرة بكون ال surface تحت ال tension ومرة يصير عليه comp. ومع التكرار،
السفينة بصير فيها failure

← بال computer لما تسخن بمادة يصير فيها تمدد الاسلاك الرفيعة
يصير عندي thermal forces على هاي الاسلاك بتأدي الى ال failure
ولما نطفيه ويبرد يرجع السلك يتقلص، ومع استمرار التشغيل و الطفي
يصير عنا cyclic وبسبب هاد بشي يصير عنا failure مع الوقت

← مثال آخر واقعي ال timing belt بالسيارات، هاد مصنوع من rubber
وكتان واله fatigue limit، مع الضغط بصير يشد ومع الحرارة يصير يتمدد، ولما نطفي
السيارة ويبرد يرجع يصير فيه تقلص، كل مرة يصير تمدد وتقلص بشكل cyclic
هاد ال belt ممكن يقطع suddenly ويخرب محرك السيارة

← مصنع الفوسفات عندهم sulfuric acid production unit حتى ينتجوا ال sulfuric acid
لازم يحرقوا ال metal sulfur، بجيبوا ال sulfur، بحرقوه جوا فرن، درجة حرارة
الفرن حوالي 1000°C ويكون حجم الفرن كبير كثير، هاد الفرن بده يحتاج 8 ايام عشان ابرده
اذا احتجت اني اعمله صيانة و 8 ايام عشان ارجع اسخنه، واذا توقف الفرن عن العمل
كل ال sulfuric unit راح تتوقف
وهاد المصنع هو بولد طاقة

دايماً نفضل نشتغل بمواد ductile مش Brittle لانو المواد الـ Brittle
عمولو size it has no warning يعني الـ crack فيها بنمو بسرعة، مجرد ما صار الـ crack
يصير في failure ، بينما بالـ ductile في مجال أكثر انو بواحد يستعد للـ failure

Fracture Modes → هل هو الـ Fracture يعني شو طبيعة brittle ولا ductile

راح نحكي للدور درجة الحرارة بتحويل المادة لـ brittle او ductile

Ductile fracture

1. Most metals (not too cold) exhibit ductile fracture.
2. Extensive plastic deformation ahead of crack.
3. Crack is "stable": resists further extension unless applied stress in increased.

Brittle fracture

- Ceramics, ice, cold metals exhibit brittle fracture. and cast iron is another example
- Relatively little plastic deformation
- Crack is "unstable": propagates rapidly without increase in applied stress.
- Catastrophic

- Ductile fracture is preferred in most applications.

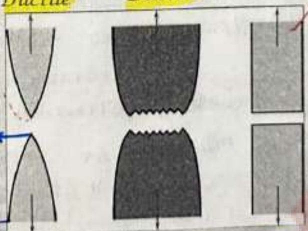
* Failure مش بالضرورة يصير فيه Fracture ، بس الـ Fracture بأدي الى Failure
يعني احياناً يصير Failure للمادة بدون ما يصير فيها Fracture انها بطل تشتغل لحل وضيفه

moderately ductile ← بصير فيها necking و reduction in area بس مش بالحجم
اللي بصير بالمواد الـ very ductile ، مثل الـ stanles steel والـ capper والـ brass

Ductile vs Brittle Failure

- Classification: (Pb like gold) — most of metal have this type of failure

Fracture behavior: Very Ductile | Moderately Ductile | Brittle



%AR or %EL: Large | Moderate | Small

(annotations: الـ area بتتحول لشي كثير كيف مثل الحديد; final cross sec. area; original cross sec. area; Brittle: there is no reduction in cross sectional area. & no large extension)

- Very ductile, soft metals (Pb, Au) at room temperature, other (silver) metals, polymers, glasses at high temperature.
- Moderately ductile fracture, typical for ductile metals.
- Brittle fracture, cold metals, ceramics

Ductile fracture is usually more desirable than brittle fracture!	Ductile Warning before fracture	Brittle No warning

* في مبلمرات الـ thermo plastic هاي very ductile ← (لنفس اطولها وابردها)
* بينما الـ thermoset polymers في Brittle

Scanned with CamScanner

① ductile fracture ← لل تغل المعادن tensile testing بنلاقي صار فيها elongation ودخلت بال plastic وصار في عنا reduction in cross sec. area

② * قبل ما يظهر ال crack انا ممكن اشد العينة وتستطيل ويصير طولها ع اد ٥ اضعاف طولها الاصلي بس لسه ما انولد عندي fracture
هاد ductility بس بسبب ال elongation اللي صار ممكن يكون عنا منطقة صار عليها stress conc. بسبب impurites او irregularity in str. او ال Voidage وغيرها... هي اللي عملت minimization لل cross sectional area وادت لظهور ال crack

③ * عشان اقارن بين ال ductile وال brittle بدنا نطلع على ال stability of the crack
ال ductile تكون ال crack عندي stable يعني بياخد وقت طويل لتحقق ال fracture لانو ال propagation rate كتير بطيء، حتى يكبر ال crack وتستهلك العينة بده فترة اطول

* المادة ال ductile اذا حولتها ل cold او حطيتها ببيئة باردة بتصير Brittle
زي البلاستيك لما تحطه بالفريزر، بنلاقي بعد فترة صار فيها كسر، طيب شو اللي كسرها؟ اللي كسرها هو التمدد، لانو ال solid للماء حجمه اكبر منه ال liq مع انو الهم نفس ال Mw وال density

* كل المعادن اللي بتتعرض لدرجات حرارة متدنية احتمالية تحولها ل brittle واردة
كيف حولت المادة ل brittle؟ عملت freezing لل bonds اللي جوا ال str.

* عند المواد ال very ductile حتى يصير ال necking وبعدين ال extension وبعدين ال failure تكون عنا وقت كافي للتجهيز لل failure

* ال Brittle ما بصير فيها extension لانو الروابط فيها نوعاً ما قوية جداً وال cry. str تاعها تكون مثل ال frozen structure يعني ما في مجال للاستطالة

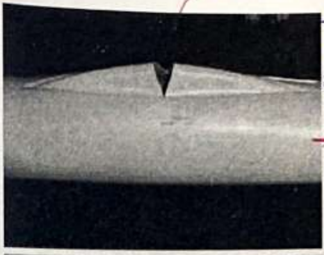
* المواد المعدنية اللي بتشتغل بدرجات حرارة متدنية زي storage tank ل NH_3 ممكن تكون مصنوع منه ال steel بس كونه ال NH_3 ال Liquefaction temp تاعتها (-33) هون ال material of construction راح تتحول ل Brittle حتى لو كانت moderately ductile ع ال room temp .

* نفس الشي لما نحط liquid Nitrogen حرارته (-200) بالتأكيد اي معدن بنحط فيه هاد ال liq راح يتحول ل Brittle material وهاد بسبب هاي المواد كانوا يعملولها isolation حتى ما يصير في losses وما يصير تتعرض لل thermal expansion يعني بالداخل غير عنه برا فبصير عنا thermal expansion للمادة على السطح الخارجي و contraction على السطح الداخلي بالتالي هاد ممكن يأدي الى failure لانو بدو يصير عنا توزيع غير متساوٍ لل stresses على ال internal surface وال external surface

adar
ask believe & recieve
Scanned with CamScanner

Example: Pipe Failures

- Ductile failure:
  - One piece
  - Large deformation

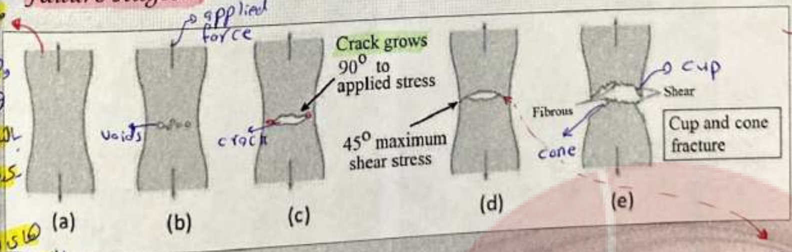


- Brittle failure:
  - Many pieces
  - Small deformations

Yousef Mubarak Materials Science 8

Ductile fracture

Failure stages:



(a) Necking
(b) Formation of microvoids
(c) Coalescence of microvoids to form a crack
(d) Crack propagation by shear deformation
(e) Fracture

Yousef Mubarak Materials Science 9

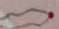
أسباب الـ voids اللي تظهر بالـ geometry :-

1- impurities
2- bulk volume imperfection (زي فقاعة هوا)
3- agglomeration for any other impurities
4- nature of bonds between the crystals صار فيها big mismatch

← المناطق الموجودة بالـ internal str. موجود فيها هاد الخلل ، بأدي الى ظهور micro voids هاي الـ micro voids ممكن تكون 1 او 2 او 10 ومش بالضرورة يكونوا متصلين مع بعض

لسبب استمرار تأثير الـ force على الـ str. هاي الـ micro voids بتتوصل مع بعضها وبصير عنا الـ crack

← الـ stress عند ① مش نفس الـ stress عند ② ولا ③ عند المقطع ③ عنا min. cross sec. area راح تكون عليها الـ max. value of stress طبعاً
هاي منطقة الـ necking صار في تركيز لل stress عليها ، لما يصير في voids بهاي المنطقة (عند ③) الـ cross sec. area بدها تصغر أكثر اذاً الـ stress زاد بالتالي هاي المناطق اللي يصير فيها الـ crack راح تحمل stress conc. areas صار الـ stress مركز عند حواف الـ crack لانه اصغر area بتقاوم الـ force



← صار عندي هدول الجزئية اللي بدهم يتحملوا الـ applied stress ، طبعاً كل الجسم تحت الـ stress ليس نفس قيمته حسب الـ area

عند (d) ال crack تصير نحو تشكل perpend. على ال applied force ، بعدين بعد

ال growth perpend. لل crack وبعد ما تصير دا ال micro voids

متصلين مع بعض بتحول ال growth ل 45° growth يعني تصير فوق وتحت ، اللي زاد

الطينة لله هي ال shear force اللي بدها تصير على ال str. ، هاي ال shear force بتأدي

ان يصير عنا growth ب 45° مع ال plane تبع ال applied force

وبعد فترة بسبب ال applied shear force وال applied normal force

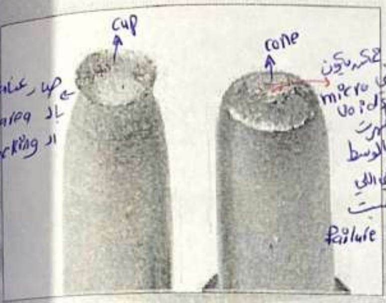
يصير عنا Fracture ونظهر عنا ال cup وال cone

← لما تكون المادة ductile تظهر ال cone & cup بسبب ال growth 45 angle

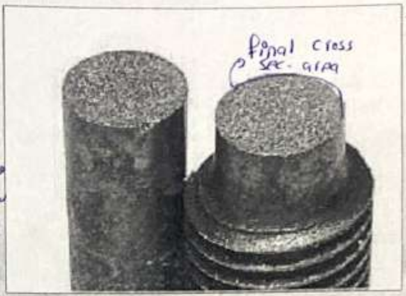
هاي وحدة من الأشياء اللي ممكن نميز المواد ال Brittle عن ال ductile اللي هو ال surface of fracture

لما بعطيني ال cup & cone ان عنا big reduction in area ← بنعرف انو مادة ductile

Moderately Ductile vs. Brittle Failure



Cup-and-cone fracture in ductile Al



Brittle fracture in mild steel

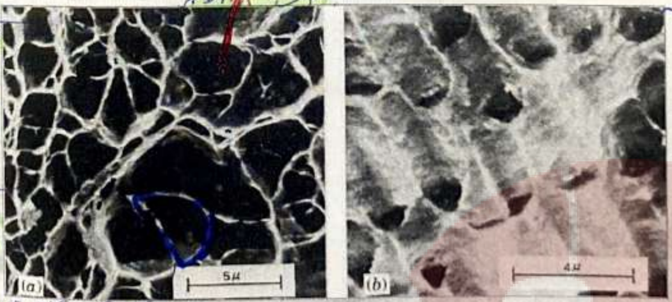
هون ال surface ال fracture ل هاي flat ما في cup ولا cone كأنك قاصها قص

بالمواد ال Brittle بنلاحظ انو ال original وال final cross sec. area نفس الشي ما في reduction يعني ال strain ال Brittle موجود بال elastic range ، ما في elongation ال plastic لانو المادة اساساً ما راح تدخل بال plastic range ، كل هاد ال deformation وال extension تكون في منطقة ال elastic مجرد ما تنكسر العينة بصير في shrinkage ل Length وترجع ال def. كأنو ما في deformation يعني ال final Length تقريباً نفس ال initial وكأنو ما في def. قبل حدوث ال fracture

انواع ال failure اللي بتصير هون ممكن ال propagation تمشي على ال grain boundaries وممكن تخترق ال crystals وتكسرها

بالمواد ال ductile ال fracture بتمشي بال grain boundary ما بعمل قطع او قص بالبلورة نفسها

Ductile fracture



(a) SEM image showing spherical dimples resulting from a uniaxial tensile load representing microvoids. (b) SEM image of parabolic dimples from shear loading.

هون بالغالب كان في crystal بس صار ال ... الاحجام

كيف ال shear بتصير تعمل cup و cone

المناطق اللي صار بينها seperation بين ال spheres اللي هي ال crystal

هي زي كأني رفعت ال crystal عن ال str.

هون كان في crystal هاي ال boundary تاعتها

هاي ال boundary ال ... بال other part of the sample والبلورة تكون خلقت مع ال cry. str. التانية

هدول بالصورتين ولا وحدة Brittle هدول عبارة عن ductile كونه ال failure صار على grain boundary

بالصورة اللي ع اليسار لما شدينا انسلخت البلورة عن ال str. بس البلورة
ضلت مثل ما هي ، يعني البلورة اللي بال other part ضلت ما تكسرت
واللي خرب هي ال bonds اللي بين البلورة اللي كانت موجودة واللي جنبها ، ليش ال bonds
تكسروا لانهم ضعاف لما فيها (impurities ، mismatches ، diff oriantation)
بالتالي الاسهل يصير ال growth لل propagation ع ال grain boundary ما يخترق البلورة
طبعاً هالحكي بس لما المادة تكون ductile

لما تكون المادة Brittle ممكن تكون عندي التشبيه يعني ممكن تكون على ال grain b.
ال failure و ممكن تكون خلال ال cry. نفسها كأنك تتقطع البلورة من الداخل لانو
ال bonds قوية تكون وباغلب الاحوال حتى بين الكرستالات الروابط بتكون اقوى من
ال str. ductile

ask believe & recieve

Scanned with CamScanner

micro voids ال crack بيدبه Fracture ما في

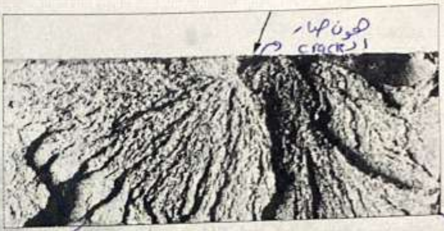
Brittle Failure

ما في reduction بال cross sectional area
ولا في cup & cone يعني ليس flat surface

هون بلشت ال crack

Red circles with arrows indicate point at which failure originated

لا بد من ظهور ال crack عشان يصير fracture



هون صار ال crack

Lines or ridges that radiate from the origin of the crack in a fanlike pattern

ممكن يكونوا هوا ال cry. نفسها

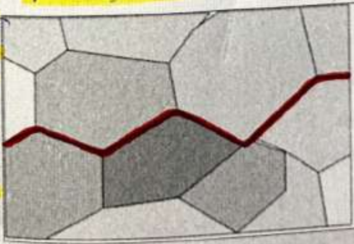
يعني بنلاحظ شكل مموجة، عكس ال growth بدون ما عم ال boundary layers

Brittle Fracture Surfaces

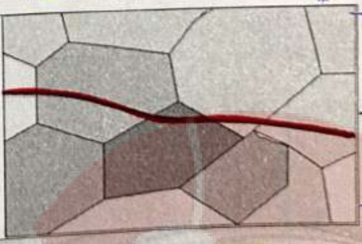
هون بعض الاحيان تكون في cup & cone

هون بتتوقع تطلع معنا flat surface

ال propagation عشي على ال grain boundary وبه قوة ضعيفة لحد ما كسر



هون ال growth كسر البلورة نفسها
مستحيل تظهر هاد النوع من المواد الـ ductile



Intergranular fracture: Fracture crack propagation is along grain boundaries (grain boundaries are weakened or embrittled by impurities segregation etc.)

Transgranular fracture: Fracture cracks pass through grains. Fracture surface faceted texture because of different orientation of cleavage planes in grains. → غالباً المواد ال Brittle بتكون هاد النوع

جدول لصور كلهم لـ Brittle بس بفرق بنوع الـ Fracture

وكل انواع الـ steel هي عبارة عن ductile ومنها steel ductility ومنها بكون عندها high carbon steel

الصورة هاي Brittle بس فيها شوية ductility

Brittle Fracture Surfaces

المواد اللي الروابط فيها بتكون قوية جداً على الـ grain boundary بصير الـ Failure خلال البلورة

Intergranular (between grains)

بصير الـ high carbon steel ductility عالية

304 S. Steel (metal)

← الـ Failure ما اخترق البلورة

Transgranular (through grains)

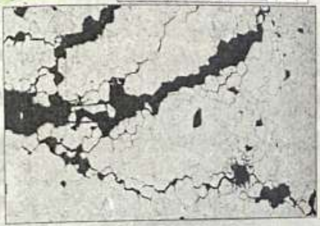
→ صار Fracture للـ crystal نفسها

S. Steel (metal)

→ بنلاحظ انه اخترق البلورة وكسرها

Polypropylene (polymer)

هاد ductile



Al Oxide (ceramic)

↳ very Brittle material

↳ هون ما صار Fracture للـ cry نفسها

* هاد بعتمد على طبيعة وحجم البلورات
جوا الـ str. ← كل ما كان حجم البلورات أكبر بتوسع الـ grain b بتكون الضعف بالتالي ممكن يصير الـ Failure بالـ grain boundary اما اذا حجمها صغير بصير على الـ grain boundary

* there is no extension, no reduction, ductility almost zero in Brittle
so we are talking about elastic deformation or very little plastic deformation
يعني ما تعدا الـ yield وبنوصل للـ plastic

Brittle Fracture (Limited Dislocation Mobility)

* بوجود ما بصير في micro void جوا الـ str. هاد راح يؤدي لـ further stresses وهاي الـ stresses بتأدي الى propagation سريع لعملية الـ Fracture

- No appreciable plastic deformation.
- Crack propagation is very fast
- Crack propagates nearly perpendicular to the direction of the applied stress. (ما صار بـ 45° angle زي الـ ductile) (عشان هيك ما طلع cup & cone)
- Crack often propagates by cleavage-breaking of atomic bonds along specific crystallographic planes (cleavage planes).

* ما بصير اي تأثير للـ shear force وبضل الـ normal force هي اللي مأثرة على الـ bar وهي اللي بتعمل عملية الـ fracture

Nadar ask · believe · recieve

Scanned with CamScanner

← كل انواع ال steel هي عبارة عن ductile steel منها ductility معينة
لكن لما يكون ال high carbon steel ال ductility تاعها تصير اقل طبعاً
ال Fracture تاعون زي ال Brittle Fracture وبسبب انو ال grains كتير صغار
لا عشان ال Fracture على grain boundary ما رح تلاقي cup + cone لانو
small Fracture

← لما تكون البلورة أكبر بتتوقع عشان بال grain boundaries
ولما تكون البلورات اصغر بتتوقع عشان على ال grain boundaries

← لو جبت عينة Brittle مثلاً cast iron وعملتلها testing راح يطلع
معنا flat surface ، هاد ال flat surface اذا بدي اعرف هل صار ال Fracture
على ال grain boundaries ولا within the grains itself لازم استخدم ال microscope

← كل ما كانت الروابط جوا البلورة اقوى بتتجه لل intergranular
← كل ما كانت ال strength تاعت ال grain boundary بتناقص ال strength
تاع البلورة بتتوقع انو عنا Transgranular

ask :: believe & recieve
Scanned with CamScanner

① لما بندرس ال crack عشان نفهم ليش ال prop. تاعت المادة ال Brittle او ال ductile ، او ليش فيها او ما فيها elongation

② بدنا نعرف قديش ال level تاع ال stress الي ممكن تحمله المادة قبل ما يصير فيها ال crack او ال micro voids ، لدرجة ما تظهر ال micro voids الا لما يصار عنا necking

③ كيف بدهم يصيروا ال micro voids يرتبطوا مع بعض

Fracture Mechanics

Studies the relationships between:

① Material properties
② Stress level
③ Crack producing flaws
④ Crack propagation mechanisms

هل راح يمشي على ال grain b ولا جوا البلورة
هل راح يكون عامودي او بزاوية 45 على ال force

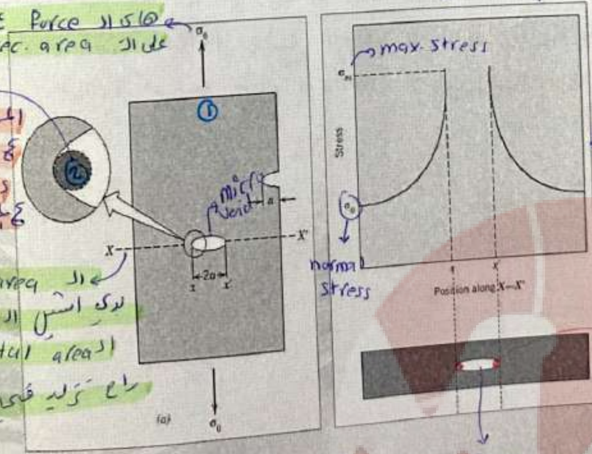
Stress Concentration

- Measured fracture strength is much lower than predicted by calculations based on atomic bond energies. This discrepancy is explained by the presence of flaws or cracks in the materials.
- The flaws act as stress concentrators or stress raisers, amplifying the stress at a given point.
- The magnitude of amplification depends on crack geometry and orientation

لما نقارن ال stress على area ما فيها void مع ال area الي فيها void راح يكون مختلف
ليس مش هاد ، السبب الي أدى الى ال growth السريع لل fracture

* كونه عند ال ② ال stress كبير
اعلى ع الاقل بضعف ال stress الموجود عند ①
ك normal ، هاد راح يأدي لل growth of the crack
مع زيادة لحد ما يأدي لل failure

Concentration of Stress at Crack Tip



هاي ال force على ال cross sec. area عطلنا normal stress

ال stress هاي المنطقة تقريبا كبير ع الاقل ال double ال normal stress ع المنطقة الي ما فيها void

ال area هون اقل لانو لوك اشيل ال void ال total area هون راح تزيد قيمة ال stress

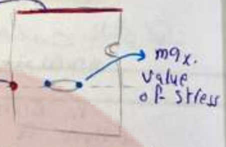
الي أدى لل growth السريع لل fracture هو ال stress conc. area ع اطراف ال crack

لو كان ال stress عند ① قيمته 100 Mpa
عند ② ع اطرافها لوحده بكون 200 Mpa بالتالي هاد بأدي لل
non uniform distribution of stress in the sample

* بالتأكيد ال crack ما بصير بال Brittle material ما بصير بشكل مفاجئ
بعد ما يصير فيه micro voids لكن هاي ال micro voids لأنها internally
ما بقدر افحصها كل شوي . فلذلك بمجرد ما يظهر هاد ال void ممكن يتحول
ل crack ويصير له acceleration سريع بحالة ال Brittle material

* كل ما كانت ال micro voids بعيدة عن بعض ، كل ما كان عنا safety أكثر
انو ما راح يتحولوا ل crack ، لكن اذا اتصلوا مع بعض هون راح يصير ال crack
الي راح يؤدي الى failure

* بمجرد ما تظهر ال stress conc. area نتوقع انو راح يصير قيمة ال stress
أعلى بكثير من قيمة ال normal stress الموجود على ال cross sec. area
ويصير reduction in area
اذاً اول شي صار عنا minimization لل cross sec. area الي بتحمل مقاومة ل applied force
والشغلة الثانية الاخطر هو ال growth of the crack within the void itself
- كيف بصير ال growth ؟ اذا وجدوا انو ال growth منطقة ال micro voids او ال crack
الي بكثير من قيمة ال stress الموجود ك normal stress على العينة



توزيع ال stress ع هاي ال cross sec. area نفسه
هاي ال edge عليها min value of stress وبتساوي ال stress الموجود فوقه
لكن كل ما دخلنا للداخل باتجاه ال crack بنلاحظ انو قيمة ال crack بتزيد لحد ما توصل
ل max. value

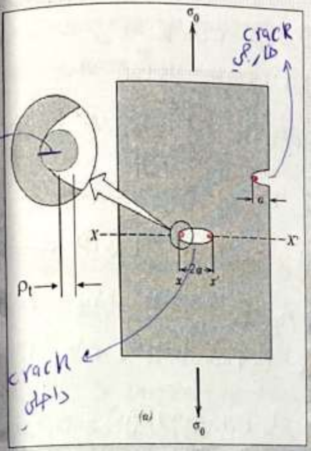
* لو قارنا ال σ_o مع σ_m هدول نتجوا عن نفس ال force بس ما غيرنا ال force
الي تغير فقط ال area وال existence of the crack
المنطقة الي بصير فيها ال crack tip تحديداً بتكون على max. value of stress

قصة (٩)

① اذا كان ال crack على ال surface (خارجي) تكون ال depth of the crack

② اذا كان ال crack داخلي تكون المسافة من ال center لواحد من الاطراف

Flaws are Stress Concentrators



- If the crack is similar to an elliptical hole through plate, and is oriented perpendicular to applied stress, the maximum stress, at crack tip

max. value of stress at the tip

$$\sigma_m = 2\sigma_o\left(\frac{a}{\rho_t}\right)^{1/2} = K_t\sigma_o$$

(normal stress)

$K_t = 2\left(\frac{a}{\rho_t}\right)^{1/2}$

متى تكون K min ؟ لما $\rho_t = a$ بالتالي جوا الجذر 1 يعني بصير 60 مضروب بـ 2 بس

where

ρ_t = radius of curvature
σ_o = applied stress
σ_m = stress at crack tip
a = length of surface crack or ½ length of internal crack
K_t = stress concentration factor

هل ممكن a تكون اقل من ρ_t ؟ مستحيل

طب متى $\rho_t = a$ ؟ لما يكون ال crack على شكل circle مش parabola عندها بقل في stress conc. اذا صارت tip ال crack عندها $\rho_t = a$ و $\frac{a}{\rho_t} = 1$ وهي اقل قيمة لل

---

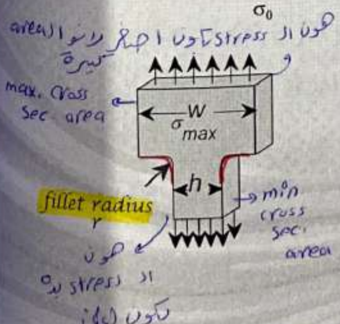
what we have to do to minimize the stress conc. area ?

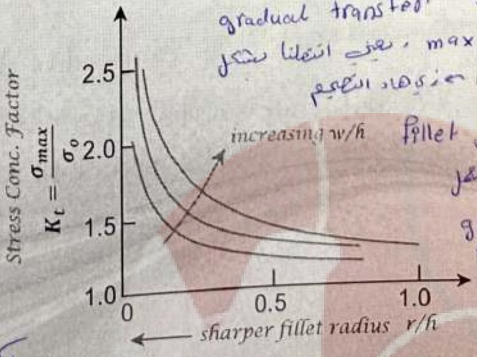
اذا كانت internally بدك تدور على material تكون homogenuous اكثر وما يكون فيها impurities وما فيها bulk volume وما فيها irregularity عالية جدا

* طب externally شو اعمل عشان اقلل مناطق ال stress conc. area ؟ ال fracture

Engineering Fracture Design

> Avoid sharp corners





راح نصير المنطقة الي تتحول ال max لل min stress في حال ما عملت gradual transfer من ال min لل max، يعني انتقلنا بشكل مفاجئ ⊤ هاد التصميم

لهيك هنا نعمل fillet بالتصميم عشان نعمل gradual reduction in cross sec. area

لهان بحالة انا يتجنب نصير في stress conc. area

كل ما زاد ال fillet كل ما زادت ال ρ_t

لهون ال stress تكون اكبر لانو ال area كبيرة

لهون ال stress σ_0 تكون اعلى

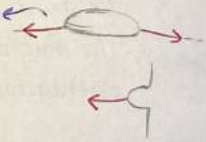
Madar ask believe & recieve
Scanned with CamScanner

* كل ما زاد ال a (←) ع هاد الاتجاه صرنا نتحول من circle ل ellipse (بيضوي)
كل ما كان ال ellipse احول كل ما كانت قيمة a اعلى وكل ما كانت ρ_t اقل
بالتالي k بصير يتضاعف اكل ما تضاعف هاد ال factor نضربه ب 2 و σ_o
ونعطيني قيمة اعلى لل σ_m

* اذاً اعلى قيمة لل stress بال crack tip هو ضعف ال normal stress
ع الاقل σ_m ضعف σ_o واذا حولناه دائرة لتصوير بصير σ_m تزيد

* اذاً اللي أدى لل growth مش وجود ال normal stress اللي ادى لل growth
هو وجود ال stress conc. area اللي هي مناطق ال tips هاد ال crack بصير فيها
ال crack ينمو ويشكل اسرع واذا كانت المادة Brittle هاد راح يتسارع اكثر من
التسارع اللي بصير بال ductile material

ال growth بكبر بهاي الاتجاهات ←



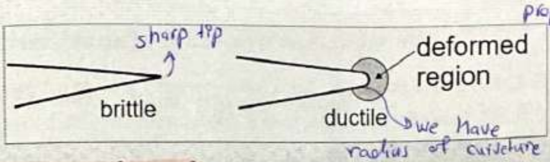
ال growth بكون بطيء بال ductile وسريع جداً بال Brittle

* لما نشتغل بدون fillet قيمة ال stress conc. factor (k) راح يوصل لله (على تكبير) من 2 بالتالي راح يصير عنا fracture على stress اقل
* كل ما زاد ال radius of curvature قيمة $(\frac{a}{\rho_t})^{1/2}$ راح تصغر بس ما راح تصير تحت ال 1
بنلاحظ انو قيمة k بتصير تنزل بس مستحيل تكون اقل من 1
* كل ما زادت قيمة ال factor قيمة ال stress بتصير اعلى
بالتالي ال design بدون fillet بعطينا stress عالي جداً بينما لما ناخذ fillet كل ما زاد
قطر ال fillet كل ما صار ال stress قريب ع ال normal stress

Scanned with CamScanner

Crack Propagation

- Cracks having sharp tips propagate easier than cracks having blunt tips
- A plastic material deforms at a crack tip, which "blunts" the crack.



Energy balance on the crack

- Elastic strain energy
  - ✓ energy stored in material as it is elastically deformed
  - ✓ this energy is released when the crack propagates
  - ✓ creation of new surfaces requires energy

Criterion for Crack Propagation

- Crack propagates if crack-tip stress (σ_m) exceeds a critical stress (σ_c)

$$\sigma_c = \left(\frac{2E\gamma_s}{\pi a}\right)^{1/2}$$

When the tensile stress at the tip of crack exceeds the critical stress value the crack propagates and results in fracture.

where

- E = modulus of elasticity
- γ_s = specific surface energy
- a = one half length of internal crack

- For ductile materials ⟶ replace γ_s with $\gamma_s + \gamma_p$

  where γ_p is plastic deformation energy

Scanned with CamScanner

← اذا كنا نشتغل عنطقة الـ Resilience الـ energy الموجودة راح نصيرها امتصاص لحد الـ elastic Limit

← لكن اذا نشتغل بمواد ductile نتعدا الـ Resilience وندخل منطقة الـ toughness ونصير امتصاص المواد للـ energy اعلى

* لا نصير الـ crack بفروض هاي الـ energy بده نصيرها release للـ Brittle المفروض اذا .defor يرجع بالتالي الـ area والـ length راح يكونوا نفسهم بالـ initial & final بما الـ ductile الـ elastic راح يرجع بينما الـ plastic راح يظل

← هاي الـ energy لويش ؟ :-

١- واحد للـ micro crack

٢- واحد للـ plastic deformation

الخلاصة :- كل الـ energy راح نصيرها امتصاص و جزء من هاي الـ energy راح يعمل creation of crack ، وجزء منها يكون هو الـ deformation اللي صار

* كيف بدنا نتعدا σc ؟ بنزيد σc اذا زدنا الـ applied force بدها تتغير قيمة σo بالتالي بده نتغير الـ radius of curvature او عكسه يكبر الـ crack وبهاي الحالة σc تصير اقل من σm وبهاي الحالة نصير عنا crack propagation

* عشان احدد اذا راح يصير failure بالمادة الـ Brittle لازم اشوف ظهر منها الـ micro crack او الـ micro void

لازم اول شي اعمل examination لهاد الـ crack اشوف كديش القطر تاع الـ crack وكديش الـ radius of curvature واحسب الـ max. value of stress at tip واقارنها بالـ critical value اذا تحدث σc > σm وصلت اذاً الـ propagation راح تصير موجود ، اذا ما تحدث الـ propagation ما راح تتابع

ask believe & recieve

Scanned with CamScanner

انواع الـ notch :
1- V notch
2- U notch

* بدنا نحمل Sudden shock

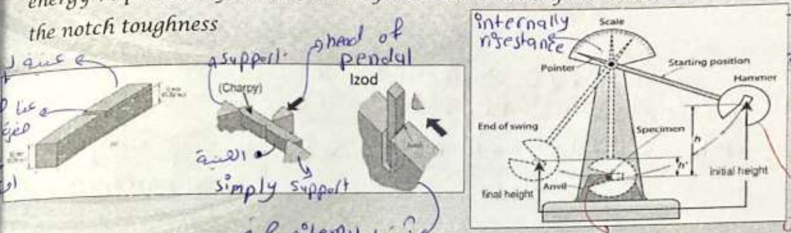
* فكرة الـ impact energy كلها مبنية على الـ stored energy الذراع اللي بدي اطوره فيه

فحص الصدم

Impact Fracture Testing

- Impact tests are used in studying the toughness of material. A material's toughness is a factor of its ability to absorb energy during plastic deformation.
- Testing fracture characteristics under high strain rates.
- Two standard tests, the Charpy and Izod, measure the impact energy (the energy required to fracture a test piece under an impact load), also called the notch toughness

* بهاد الـ test الـ fracture لازم يصير حتى نضمن انو الـ energy اللي امتصتها العينة راحت للـ fracture



* لما احرر الـ pendulum اذا ماضي simple وما في friction داخلي ولا مع الهوا راح تكمل وترجع للموضع الاصلي ع نفس الارتفاع. لكن رجع ع نفس الارتفاع إذا تسوع ما في energy losses

* في عينات زي مطاط ما بصير فيها Fracture على الـ room temp لانها Flexable اذا تطرقها بتنثني وما بصير فيها شي او بتمتص كل الـ energy لانو طبيعة المادة very ductile او very soft

* كيف طبقوا الـ impact test ع هاي العينات ؟ بدنا نغير الـ testing temperature بدل ما نعمله ع الـ room temp نعمله بـ oven او العينة نعملها Freezing ، نحطها نبردها او نغطسها بـ N_2 or NH_3 liq لما يصير في Freezing للعينة تتحول لـ Brittle

Ductile-to-brittle transition

- As temperature decreases a ductile material can become brittle - ductile-to-brittle transition
- Alloying usually increases the ductile-to-brittle transition temperature.
- FCC metals remain ductile down to very low temperatures.
- For ceramics, this type of transition occurs at much higher temperatures than for metals.
- The ductile-to-brittle transition can be measured by impact testing: the impact energy needed for fracture drops suddenly over a relatively narrow temperature range - temperature of the ductile-to-brittle transition.

* في كثير من عينات الـ polymers ما تتكسر وما بصير منها Fracture لهيك بنعملها Freezing
* العكس اذا رفع درجة الحرارة العينة بدل تتكسر
* عنا درجة حرارة معينة للمادة تحت هاي الحرارة تسلك سلوك الـ Brittle وفوق هاي الحرارة المادة تكون ductile
* عشان نعرف الحرارة اللي تتحول عندها المادة بنجري عدة test على عدة درجات حرارة
* المادة لما تكون pure ما معها other element زي الـ copper مثلاً ممكن تكون الـ transition temp ناقصة مثلاً 50 ، لما نضيف الـ temp هاي اتغير
* مش بالضرورة الـ transition temp تضل مثل ما هي ، ممكن تتغير مع الـ micro str. other element ونحولها لـ brass او Bronze

Scanned with CamScanner

testing

1- tensile
2- hardness
3- impact
4- creep
5- fatigue

في عنا 3 انواع من ال impact testers
-1- Izod
2- charpy
3- drop weight

* يختلف ال charpy عن ال Izod هو كيف تصميم العينة وكيف نعمل support للعينة

* charpy بعتمد على ال impact energy لل samples الي شكونه simply supported وال notch تكون عكس ال face الي بده نضرب بالبندول

* ليش ال notch هاد موجود ؟ ع اساس اخلق stress conc. area

* لو جبت ال notch مع اتجاه البندول face to face شو بصير بالعينة ؟ عرها ما راح تنكسر بدها تنثني محل الضربة وال notch سكروا ع بعض وبطل ينكسر ، بنطيعها نعمل fracture حتى لو زدنا ال force هاد السبب ال notch موجود بال face الاخر بالتالي لما اضرب العينة ال notch تفتح اكثر مش تسكر بتفتح اكثر ولبسمح للمادة انها تنكسر

* بحالة ال Izod ال notch تكون face to face مع البندول ، بس هلأ لما اضرب العينة راح ترجع لورا بالتالي راح تفتح ال groof ، لو عكسنا بصير بسكر ال groof لما اضربه وبتطل العينة تنكسر

* ال drop weight كطوا sample تحت ، ورفعوا weight لارتفاع معين وبوزن معين صار عنا potential energy (mgh) ، الوزن x التسارع x الارتفاع ← بعطيني قدش ال Newton صاروا فوقه ، بنزل هاي ال لا على ال plate الي تحت بعملها punching اهنا نعمل نزود على ال weight الي نعمل punching هاي العينة وبعدين نعمل حسابات لل impact energy

* لو رفعت الذراع ع ارتفاع متر عن القاعدة وانا حاطط عليه وزنه (1 kg , 2 , 1) قديش ال potential force الموجود على ارتفاع هاد الواحد متر ؟ هي عبارة عن بالض (mass) x بالتسارع (acc) x بالارتفاع (Hight) هاي كلها عبارة عن ال stored energy

* بالبداية قبل ما نعمل ال test لانو في مقاومة داخلية لل machine ، ومقاومة الهوا بالمفروض اول ما أجي اعمل ال test احط البندول ع ارتفاع معين بوزن معين نعطيه تحركه وشوف وين المسافة الي راح يقطعها ، اذا رجع لوضعه الطبيعي معناها ما في مقاومة ، بس بالتأكيد هاد الحكي مش وارد لانو في عنا مقاومة داخلية للآلة وفي مقاومة للهواء ، فالمفروض انا بعرف الحسب ال loss energy و friction (ما حطينا عينة لسه) انا بدي عشان اقارن ال initial و final

يتبع ←

Scanned with CamScanner

Brittle دليل انو المادة ← لما تكون الـ absorb energy قليلة

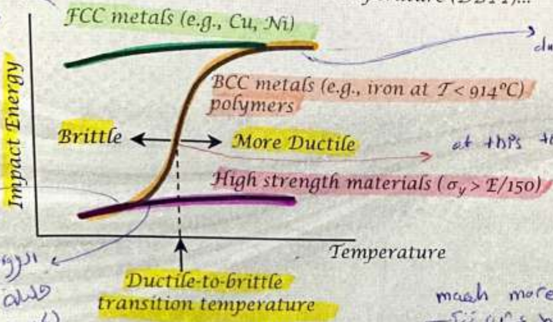
ductile دليل انو المادة ← ولما تكون عالية

* الذهب والنحاس دائماً ductile بالتالي عطيهوا higher energy
* المواد الأخرى زي السيراميك دائماً Brittle حتى على درجات حرارة عالية
* وفي مواد نعتبرها عملية transition

Influence of Temperature on Impact Energy

- Impact energy increases with increasing temperature to a point at which further increases in temperature do not cause a significant increase in impact energy

Ductile-to-Brittle Transition Temperature (DBTT)...



ductile دائماً وعطيهوا energy كبيرة حتى على حرارات قليلة

هون ما لاحظنا انو الـ absorb e. قليلة

الـ impact energy تبعها قليلة حتى مع زيادة الحرارة (هي ما عندها transition temp زي السيراميك)

هاي المواد على حرارة قليلة تكونوا Brittle بعدين عند حرارة معينة تكونوا ductile

at this temp. they convert to ductile
تصير بدها higher energy for the break

* المادة اذا طلبت كمطلقة الـ ductile هاد much more safe لانها بتحتاج higher energy عشان تنكسر
اما اذا صارت Brittle low energy تنكسر

Yousef Mubarak — Materials Science

24

---

* Fatigue test ← هو عبارة عن cyclic test يعني بدك تعرض الـ surface نفسه مرة لـ tension ومرة compression، عنه طريقة الـ bending او الـ torsion او الـ tensile testing، مرة twisting left ومرة twisting right، محركة كمان

* مياه البحار والمحيطات خاصة تعرضة ع الجدران بشمالي وجنوبي درجة الحرارة راح تكون بالـ zero وهاد بشي راح يأثر ع تعرضة

Design Strategy:

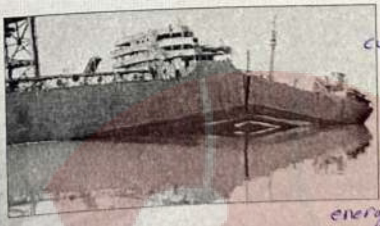
* اذا درجة الحرارة نزلت الى درجة حرارة منخفضة جداً ثبت الـ Brittle لـ وبعدين يصير فيه Fracture

Stay Above The DBTT!

تحول بعد الـ transition temp

The Titanic

Liberty ships



هون الـ failure مش بس الـ cyclic stresses او الـ عملية الهدول يكونوا جزء من الـ major problem

* لو مصنوعة من الـ Ni أو Cu عمره ما يتأثر لانو هدول دائماً ductile وعطيهوا energy عالية من الـ

هي درجة الحرارة

- Problem: Steels were used having DBTT's just below room temperature.

عالي الـ Transition temp.

Yousef Mubarak — Materials Science

25

← تابع

هلأ عرفنا قديش ال loss energy لما نعمل لس الحركة البندول ، هلأ بدنا كما العينة . المفروض هاي العينة تنكسر عشان العينة تضل لازم تنكسر ، اذا ما انكسرت ال test راح يفشل ، بزيد ال weight لحد ما تنكسر بعد ما تنكسر البندول راح تكمل حركته اذا البندول وقف عند القاعدة معناها لازم نعيد ال test ، L اللي بنشوف وين البندول وقف ونحسب ال distance عنا صار new distance mgh$_f$ بنطرحها من mgh$_i$ واذا بكون عارف قديش ال friction نطرحها بضل عندي قديش كمية ال energy اللي امتصتها العينة عشان تنكسر هاد اللي بنسميه ال impact energy يعني وين قوة الصدم قديش لازم تكون حتى الجسم يصير فيه fracture

* لما يصير fracture المفروض الفرق بين ال initial position وال final position لل energy هو اللي بعطينا كمية ال energy اللي امتصتها العينة

← بالبداية بدنا نعرف قديش ال friction اللي بروح داخل الميكانيزمات وال friction اللي بروح للهوا ← هدول ال two losses بدنا نطرحهم من ال initial weight

* ال drop weight ما بكون في notch بالعينة ، عبارة عن disk ولازم يصير في punching للعينة

* انا لما برد او بسخن بعمل relaxation حوا ال micro str. لـ 6 بحددها وبعملها freezing او برفع حرارتها وبرجعها (ال micro str اللي هو عبارة عن diff crystals) هاي الحرارة او اكد الخواص بتختلف حسب طبيعة ال micro structure للمادة ، قديش فيها impurities ، قديش فيها other element

* المواد اللي الها FCC بتحملوا درجات حرارة منخفضة اكثر قبل ما يتحولوا لـ Brittle بسبب طبيعة ال str. ، طبيعة والطوال الروابط وال compaction الموجود بال building block

* الزجاج على حرارة قليلة مقارنة مع السيراميك بتحول لـ ductile ، لانو روابط السيراميك قوية

ask believe recieve
Scanned with CamScanner

Fatigue

Failure under fluctuating / cyclic stresses

- Under fluctuating / cyclic stresses, failure can occur at loads considerably lower than tensile or yield strengths of material under a static load: Fatigue.
- Estimated to causes 90% of all failures of metallic structures (bridges, aircraft, machine components, etc.)
- Fatigue failure is brittle like (relatively little plastic deformation) - even in normally ductile materials. Thus sudden and catastrophic.
- Applied stresses causing fatigue may be axial (tension or compression), flextural (bending) or torsional (twisting).
- Fatigue failure proceeds in three distinct stages: crack initiation in the areas of stress concentration (near stress raisers), incremental crack propagation, final catastrophic failure.

Fatigue: Cyclic Stresses I

- Cyclic stresses are characterized by maximum, minimum and mean stress, the range of stress, the stress amplitude, and the stress ratio.

1- Mean stress: $\sigma_m = \dfrac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2}$

2- Range of stress: $\sigma_r = \Delta\sigma = \sigma_{max} - \sigma_{min}$

3- Stress amplitude: $\sigma_a = \dfrac{\sigma_r}{2} = \dfrac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2}$

4- Stress ratio: $R = \dfrac{\sigma_{min}}{\sigma_{max}}$

- Remember the convention that tensile stresses are positive, compressive stresses are negative.

ask believe & recieve

Scanned with CamScanner

fatigue limit ← تحت هاي ال value قد ما تحمل ال cycle ما راح تنكسر او تخرب العينة

* في مواد الها fatigue limit وفي مواد ما الها، بعتمد ع ال internal str تاع المادة.
* في مواد ال life time تاعها ∞ وفي مواد ال life time تاعها ع stress معين محدود
* جسم الانسان مثال ع المواد اللي ما فيها limit. المفروض انو جسم الانسان يتعرض لـ cyclic stresses بدون limit
* ال bridges مالها fatigue limit
* في عندي قيمة stress معينة تحتها قد ما بدك حمّل ما رح يصير ولا اشي، فوق هاي ال value رح يصير عنا life time

* brittle like ← لا تنطبق على ال component بعد ال failure ومقارنة سطحها بالظاهرة اللي شفناها ال cup & cone وال flat surface بالعادي انو ال failure اللي سببه ال fatigue ما فيه extension ولا reduction in cross sec. area، هون كنا على stress قليل يا دوب ممكن يكون بال elastic، وبال elastic ما في necking ولا reduction ولا extension
* ال extension مش موجود، ال failure صار بسبب ال cyclic stresses مش بسبب ال extension وال reduction in area

* axial ← يعني اني اعمل comp & tension
* Flexture ← اعمل ∩ و ∪ مرة لفوق ومرة لتحت

* كيف تصير عملية ال fatigue ؟! بالبداية تظهر ال micro voids رح يصير في عنا بال str منطقة ال stress conc. area ممكن يكون بسبب impurities وممكن بسبب irregularity هاي ال micro voids تتشكل cracks هاي ال crack يصيرلها propagation بعدين ال failure بحدث، لكن ما بصير absolutely sudden ال fracture بشبه ال fracture تاع ال Brittle

Madar
ask believe & recieve

Scanned with CamScanner

Fatigue: Cyclic Stresses II

1- **Reversed stress cycle**: the stress alternates from a maximum tensile stress to a maximum compressive stress of equal magnitude

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

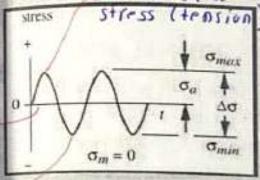
3- **Random stress** fluctuation

mean value of stress above the zero line

we have diff value of stesses in tension + diff value of stresses in comp

it has no common trend.

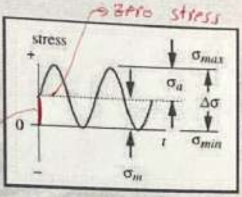
هون ال cyclic مش موجودة بعني قيم ال max & min مش ثابتين



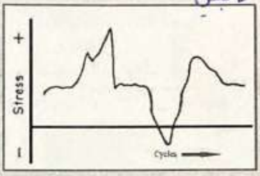
max. value of stress (tension)

neutral axis

min. value of stress (compression)



zero stress

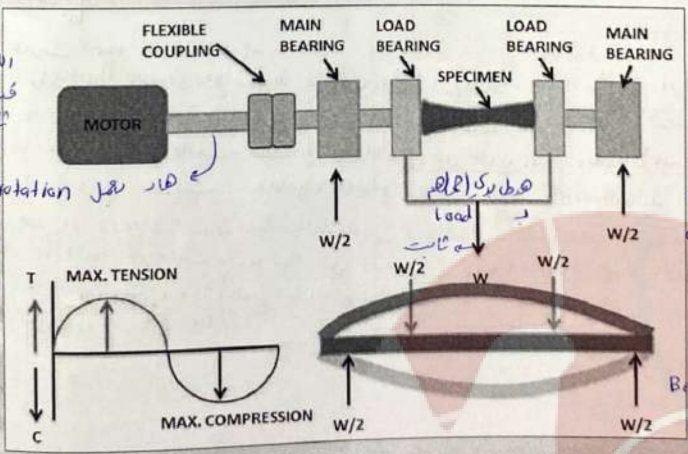


➢ Alternating stress $\sigma_a = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2}$ ➢ Mean stress $\sigma_m = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2}$

mean value of stress

neutral axis ال صار بعيد عن ال zero value of stress بهاد المقدار

كيف بتم عمل هاد ال test بالمختبر ؟!



هاد ال بعمل rotation

هون بدي احط load ب ثابت

* ال weight اللي بدي احسب قديش ال load ثابت، ال load بدو يعطيني قيمة ال stress، ال stress وإذا بغير قيمة ال stress ثابت وتحت ال yield

هاد ال load بدو ينزل ال weight لتحت وال item بدو يصير عنها تقوس لتحت بالتالي ال top surface بده يصير عليه comp وال bottom surface بده يصير عليه tension

لما يصير ال Bearing يلف يصير ال item يلف معاه ال surface يصير يتغير اللي كان فوق يصير تحت بعد يتحرك يرجع فوق لعند تحت وهكذا...

* هلا هاي ال force موجودة وبتاخر للأسفل ال surface اي بكون ال top راح تكون under comp. واي surface ال bottom راح تكون under tension

Neutral axis ← ما عليه stresses (zero stress) ، لا راح يستغل ولا يصيرله comp.

* اذا كان عنا Symmetry بال geometry هاد ال neutral axis راح يكون ع ال zero line وفي مسافة فوق قدها تحت و تكون بعد ال max tension عن ال neutral axis بالزبط نفس بعد ال max comp. عن ال neutral axis

* ال value لل comp وال ten. نفسها بس عكس الاشارة

* ال geometry اللي ما فيها symmetry ال neutral axis راح يصيرله shift باتجاه القاعدة راح يكون ابعد عن ال top surface واقرب للـ bottom surface لانو ال area الكبيرة موجودة تحت (مثال المثلث اللي جاي براد بشكل △)

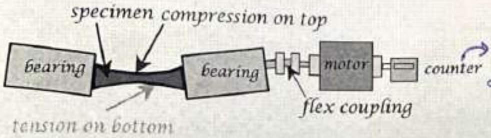
* لما يكون في Symmetry المسافة من ال 0 لل σ_{max} هي اللي تعطينا ال max. value of stress ومن ال σ_{min} لل 0 بتعطينا ال min. value of stress ما اتفقنا انو وحدة +ve والثانية -ve وبالتالي اجى بـ mean على ال zero line

ask believe & recieve

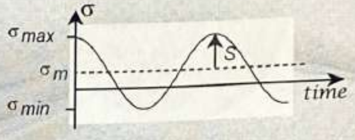
Scanned with CamScanner

Fatigue

- Fatigue = failure under applied cyclic stress.



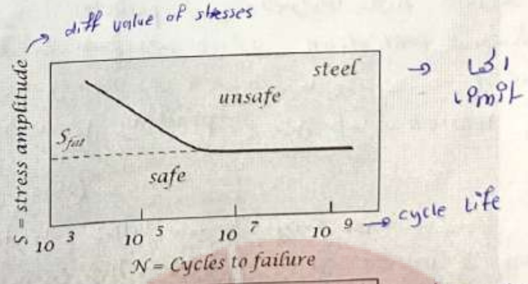
- Stress varies with time.
  - Key parameters are S, σ_m, and cycling frequency



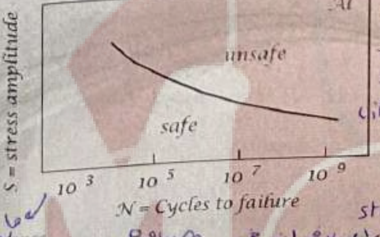
- Key points: Fatigue...
  - Can cause part failure, even though $\sigma_{max} < \sigma_c$.
  - Responsible for ~ 90% of mechanical engineering failures.

Types of Fatigue Behavior

- Fatigue limit, S_{fat}:
  - no fatigue if $S < S_{fat}$



- For some materials, there is no fatigue limit!



مثلاً اذا حطيت العينة ع قيمة ال stress هاي ، بقرأ قديش قيمة ال stress وبقول هاي بحاجة عشان تصير فيها ال failure ع هاي ال value من ال stress لازم تلف 10^5 لفة مثلاً =

اذا غيرت قيمة ال stress بـ
اذا زدت ال stress راح يقل ال number of cycle ، واذا نزلت ال stress بصير بده cycle أكثر لحد ما نوصل عند النقطة الخضرا ، بلاحظ تحت هاد ال Line مكانها safe ، يعني اذا كانت قيمة ال stress اقل من هاي ال value (عند النقطة الزرقا) قد ما يكون في عندك cycles ما راح يصير في failure لل item

* تحت هاد ال stress لف قد مابدك ما بصير في failure فوق هاي القيمة لل stress في عنا Life time اذا ارتفعت شوي بده يقل عدد ال cycles ، هاي المواد اللي الها limit انا ممنوع اتعدى ال limit عشان ما يصير عنا failure

ask believe & recieve

Scanned with CamScanner

ال rate مربوط بال value of stress
كل ما زادت قيمة ال stress كل ما كان
ال rate اسرع من ناحية ال failure

Rate of Fatigue Crack Growth

- Crack grows incrementally

rate of crack growth ← قديش ال crack بصيره

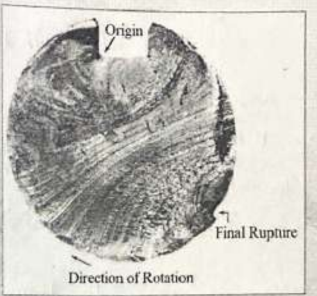
$$\frac{da}{dN} = (\Delta K)^m$$

m ← typ. 1 to 6 → حسب المواد

$\Delta K \sim (\Delta\sigma)\sqrt{a}$

increase in crack length per loading cycle

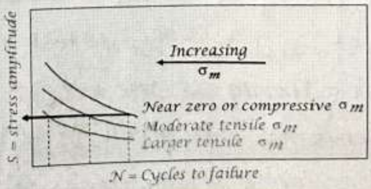
- Failed rotating shaft
  - Crack grew even though $K_{max} < K_c$
  - Crack grows faster as
    - ✓ $\Delta\sigma$ increases ← stress value
    - ✓ Crack gets longer → ال crack كل ما كان اكبر بصير يكون اسرع
    - ✓ Loading freq. increases. ← كل ما سرعت ال freq. كل ما صارت ال crack growth اكبر واسرع



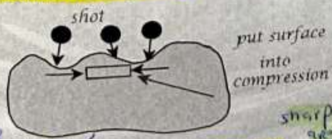
كيف نزيد ال fatigue Limit ؟

Improving Fatigue Life

1. Impose compressive surface stresses (to suppress surface cracks from growing)

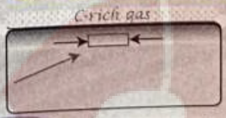


Method 1: Shot peening



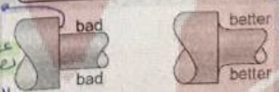
هاد ← محاولة لنقل ال comp. لتحت ال ten.

Method 2: Carburizing → بحطوا ال surface ب rich environment of carbon
يعني زيدوا لنسبة الكربون
لما نزيد ع الحديد كربون راح يصير زي ال cast iron يصير Brittle وبنفس الوقت يصير يتحمل اكثر ، وهون كنا عم نا ال stress اللي ع السطح
لما يعملوا deformation
(على حرارة معينة طبعا) ، هاد الكربون بعمل rearrangement لل layers الموجودة على السطح وعوضها الى حديد قاسي
يصير اقسى من الحديد اللي تحت ويصير السطح يتحمل stresses اعلى ويزيد ال life time ال ملك بتاع



2. Remove stress concentrators.

sharp area عندها بصير ال failure



بنمنع ال stress conc. area عن طريق اني ازيد ال area بشكل gradually

Scanned with CamScanner

* فلنا انو ال top surface تكون under comp. وال bottom تكون under tension هاد
على اساس انو عندي flat surface وكله راح يصير under ten. or comp. ، بقدر
اغير هاي الحالة عن طريق ال shot peening ، انو بعمل deformation على ال surface لواحد
على اساس يصير عليه ten. & comp مع بعض

* هاد التكنيك شو بعمل ؟! بجيبوا solid particles ويضربوها على ال surface
بسرعة عالية جداً ، فبتعمل على السطح deformation بيصير في زي pentration على السطح
في area تكون ما اضافت من هاي ال peening وفي area تكون اضافات يعني ال surface
صار rough مش smooth هلأ لما نعمل pending راح يعمل باماكن tension
وباماكن comp. على نفس ال surface
صار عنا hills (تلال) و vales (وديان)
ال hills يصيروا tension وال vales يصيروا comp. على نفس السطح
هاي انت بتحاول تقلل لتأثير ال cyclic stresses على ال surface لواحد بوجود comp. & tension
في آن واحد

* اول طريقتين (carburizing & shot peening) بكونوا post production بعد ما يعمل
production بتعلمهم اما الطريقة الثالثة (Remove ----) بكون خلال ال production بدنا نتحكم
بال design ونمنع ال sharp edges

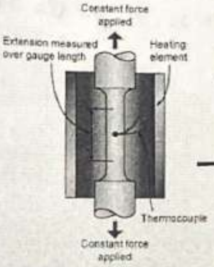
* راح يحدث ال failure عند ال sharp area لانو ما راعينا توزيع ال stresses
وانتقلنا بشكل suddenly من small area لـ Large area بالتالي بيصير فيها مشكلة

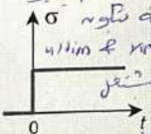
* البلورة عبارة عن lamelas هاي ال lamelar تصير تزحف بسبب ال applied force
* ال creep تكون على forces اقل من ال ultimate وال yield ومع ذلك تصير عنا failure
* هاي الظاهرة تصير بالعديد من المواد خاصة اللي تكون very ductile

Creep → internal str. تصير زحف بال

محلي تزحف

- Creep testing is conducted using a tensile specimen to which a constant stress is applied at a constant temperature, often by the simple method of suspending weights from it.



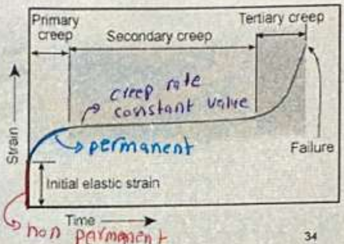


* ال stress ما يتغير وهاي العينة تكون تحت ال yield & ultim قاعدة نشتغل منطقة ال elasticity ومع ذلك تصير failure

- The test is recorded on a graph of strain versus time. Sample deformation at a constant stress (s) vs. time

مراحل الي عرفها ال creep

1. **Primary Creep:** slope (creep rate) decreases with time.
2. **Secondary Creep:** steady-state, i.e., constant slope ($\Delta\varepsilon/\Delta t$).
3. **Tertiary Creep:** slope (creep rate) increases with time, i.e. acceleration of rate. → اخطر مرحلة



→ stress is constant ما تتغير نهائيا

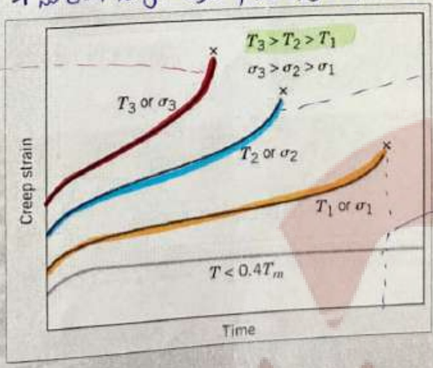
* ال rate of strain بال tertiary بتسارع كثير هي اخطر مرحلة
* عند ال primary ال rate of strain تقل مع الزمن (slope يعني rate)
* we loaded the sample in light weight

كل ما زدنا درجة الحرارة ← ال 3 stages ال rate of strain بزيد ← ال strain نفسه يقل لانو بصير extension بفترة زمنية اقصر وبالتالي ال fracture بصير على زمن اقل
* نفس الظروف مشابهة في ال stress، ال stress ثابت بكل هاي المنحنيات

Creep: Temperature Dependence

- Occurs at elevated temperature, $T > 0.4\ T_m$ (in K)

درجة الحرارة لازم تكون اقل من 0.4 من ال melting temp.



ال rate of strain هون اعلى شي

على فرض درجة حرارة ال melting كانت 100 ممنوع اشتغل على درجة حرارة اعلى من ال 40 هاي الحرارة اللي بتحمله العينة لحالها وبتحملها بدون ال creep

هون لما رفعنا درجة الحرارة صار الوقت اللازم عشان يصير fracture اقل وال rate نفسه بصير اعلى

بحتاج هالقد time عشان اوصل لل fracture

ask adar recieve

Scanned with CamScanner

بالـ creep والـ fatigue كنا نثبت الـ stress

* رجعت بالبداية حملت الـ bar بوزنه 20 kg، اول ما نحمل الـ load الـ 20kg بصير عنا الـ elastic deformation، $\frac{F}{A}$ بعطيني الـ stress والـ $\frac{stress}{E}$ بعطيني الـ strain طبعاً اول ما نحمل بصير عنا elastic strain، عشان هيك بنلاحظ انو الـ strain curve ما بيبدأ من الـ zero لانو بالبداية لما حطيت الـ weight كان في strain. بس هاد الـ strain بالـ elastic يعني اذا نشيل الـ load بيطل عنا strain وبرجع الـ length متل ما كان
* عند الـ primary الـ slope تقل يعني الـ rate of strain بكون بتناقص، بس ما بتضل تناقص لا مـ، بتناقص لحد معين بعدين بثبت بمنطقة الـ secondary لحد ما يوصل لبداية الـ tertiary stage، ببداية هاي الـ stage بصير عنا تسارع بالـ deformation، يعني الـ rate of strain بزيد
* عند الـ primary كنا نكون لسه بالـ safe side اذا انتبهنا نشيل الـ load وبقلل عنا furthur extension
* الـ creep test لانو اله علاقة قوية بالـ temp، عادة بنعمل على diff temp. كل ما زدنا درجة الحرارة كل ما الـ creep rate زاد وكل ما الـ creep time صار اقل
* وممكن احمل بـ diff weight، كل ما زدنا الـ weight راح نزيد الـ stress، بكل ما صار تسارع للـ strain اكبر بالتالي الوقت اللازم للـ creep او الـ fracture بصير اقل
* الـ applied force بتكون constant من الـ zero point لعند الـ fracture point اللي بتغير فقط هو الزمن والـ response تبع المادة هو الـ strain
* عند الـ primary الـ ε variation in على الـ variation in time هو الـ rate
* عند الـ secondary الـ strain مع الزمن بتغير linearly
* بكل المراحل الـ strain بزيد
* الـ rate عند الـ tertiary اضعاف الـ rate عند الـ Primary والـ secondary
* الجهاز في حوالية oven ونقدر نعمل الـ test على حرارات مختلفة، المفروض كل ما زدنا درجة حرارة الـ creep test الـ بصير اسرع لانو بصير في softening اكتر للمادة بالتالي time req. to fracture والـ strain تتغير والـ rate as a function of T بصير اقل
* اذا كانت الحرارة اعلى من 0.4 Tm بتصير لعبة very soft يعني ممكن بايدك تصير تشدها وراح يصير fracture سريع

* بتمتاز هاي المرحلة انو عنا constant rate of strain
* صار عنا two material prop. اللي هم n & k ← هدول اللي بختلفوا للمواد

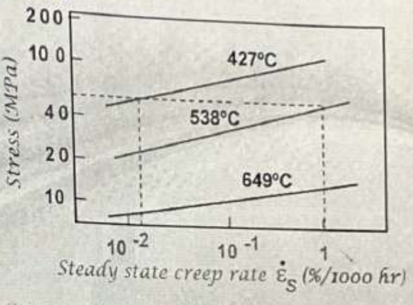
Secondary Creep

- Strain rate is constant at a given T, σ.

$$\dot{\varepsilon}_s = K_2 \sigma^n \exp\left(\frac{-Q_c}{RT}\right)$$

- $\dot{\varepsilon}_s$: strain rate
- K_2: material const. — إله علاقة بالمادة، كل مادة في الها K مختلف
- σ: applied stress → $\frac{F}{A_0}$
- n: stress exponent (material parameter)
- Q_c: activation energy for creep (material parameter) → constant

هاي العلاقة valid بس عند منطقة ال secondary



- Strain rate increases with increasing T, σ

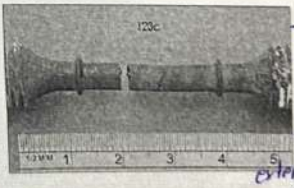
* علاقة عشان نشوف شو تأثير درجة الحرارة على ال rate of strain بناءً على ال constants اللي هم عبارة عن parameters للمواد

* ال grain boundary مش بقوة ال internal str. of the crystal ، بتبدأ ال voids تظهر بالمناطق اللي فيها weakness لل grain boundary ، رغم انو كنا محمليه للمادة ب stress اقل بكثير من ال ultimate stress ، الا انو وجود هاد ال strain بتخليه ال voids ، بعدين هاي ال voids تصير عبارة عن cracks

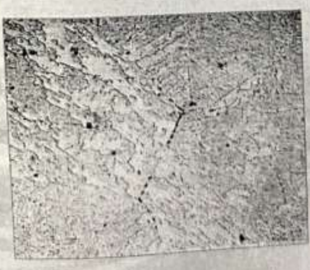
Creep Failure

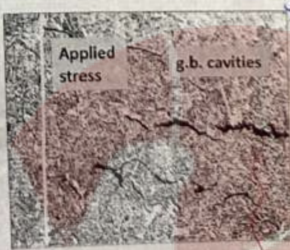
- Failure: voids that form on the grain boundaries in the early stages of creep.

ليش على ال gb لانها المناطق الاضعف بال str.



بنلاحظ انو محيط ما يكون في strain او extension عالي لبعض المواد، وفي بعض المواد بصير فيها extension لانو مجرد ما انت تشوف معناته في strain ومعناه extension والcross sec. area محيط تختلف كمان





seperation in grain boundary ← نتيجة ال irregularity او ال weakness الموجود عند ال grain boundary

* كلما زدنا قيمة ال stress ، هي بتصير تزيد شوي على ال potential reduction in area ، ونحنا ما بنشوف بالعين لانو ال area صار فيها reduction لكن فعلياً الداخل في reduction الها بسبب هاي ال voids

* ال strain rate يزداد مع زيادة σ & Temp ، اذا ثبتنا ال stress بالغروف ما في شي بأثر ويضل ال rate بال secondary stage ثابت ، اذا بغير درجة الحرارة حيكون بصير تتغير ال rate of strain ، واذا ثبت درجة الحرارة وبغير ال stress برضو تتغير ال strain rate تتغير بناءً على قيم ال stress

في مواد زي ال sort of Brittle Mat. بصير فيها ال failure ال extension فيها بكون قليل وال elongation تقريباً مهمل مقارنة مع ال ductile material

وال reduction in cross sec. area بكون اقل

Scanned with CamScanner

لي مواد اخرى الها curve تشبه ال عكسه تاويه. تختلف شوي عنه هاد ال curve

Prediction of Creep Rupture Lifetime

- Estimate rupture time of S-590 Iron at $T = 800°C$ and a stress value of 20,000 psi

→ هاد ال curve ماله علاقة بال temp

- Time to rupture, t_r

$$T(20 + \log t_r) = L$$

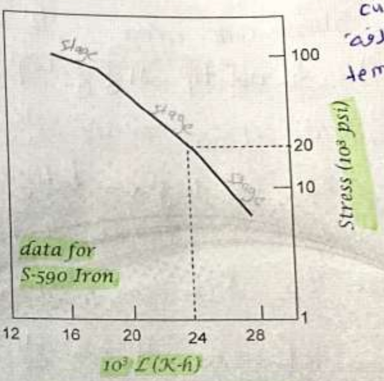
Temperature — Time to failure (rupture) — Function of applied stress

درجة الحرارة factor مهم بال

$$(1073\ K)(20 + \log t_r) = 24 \times 10^3$$

← المجهول الوحيد

Ans: $t_r = 233\ hr$



L: Larson-Miller parameter ← ضمنياً دخل درجة الحرارة

← نقدر نعطي تنبؤ تقديري للزمن اللازم حتى يصير عنا fracture كنتيجة لل creep على حمل محدد لل stress لمواد مختلفة

* ال time تناسب عكسي مع درجة الحرارة

* ال time تناسب طردي مع L

Prediction of Creep Rupture Lifetime

- Estimate rupture time of S-590 Iron at $T = 750°C$ and a stress value of 20,000 psi

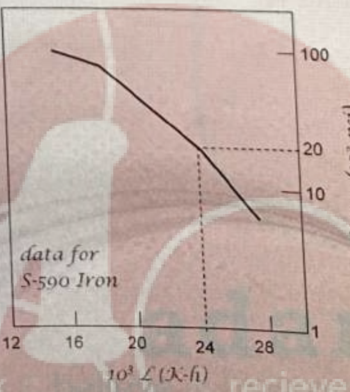
- Time to rupture, t_r

$$T(20 + \log t_r) = L$$

Temperature — Time to failure (rupture) — Function of applied stress

$$(1023\ K)(20 + \log t_r) = 24 \times 10^3$$

Ans: $t_r = 2890\ hr$



Scanned with CamScanner

مثلاً لو حطت ال iron ب stress معينه مثلاً 20 ولا 40×10^3 psi
هاي ال stress نقرأ منه خلالها ال larson parameter اذا عرفت قيمة ال larson
على هاي ال value of stress بقدر اطبقه بالمعادلة الموجودة عندي عشان احدد قديش
الوقت اللازم حتى يصير في عنا fracture

* كل ما زدنا حرارة الزمن اللازم لحدوث ال fracture راح يقل (علاقة عكسية)
* اذا زدت ال stress ال larson parameter راح يقل وهاد يعطينا فوق ع انو
الزمن كمان راح يقل لانو العلاقة طردية بين الزمن و larson parameter

ask believe recieve

Scanned with CamScanner

SUMMARY

- Engineering materials not as strong as predicted by theory.
- Flaws act as stress concentrators that cause failure at stresses lower than theoretical values.
- Sharp corners produce large stress concentrations and premature failure. gradual transfer from min area to max. area عشان يصير عنا design ال بحنا نغير او العكس
- Failure type depends on T and σ: →
  - For simple fracture (noncyclic σ and $T < 0.4T_m$), failure stress decreases with:
    - ✓ Increased maximum flaw size, → كل ما كان ال flaw size بالداخل أكبر كل ما صار في تصريع أكثر لل crack . شنا عبارة عن voids بس اذا حجمها صار أكبر بعدها تتحول ل crack وتأدي لل failure
    - ✓ Decreased T,
    - ✓ Increased rate of loading. اذا زدنا ال load راح نغيرلنا ال σ وبالتالي ممكن يأدي الى failure اسرع
  - For fatigue (cyclic σ):
    - ✓ Cycles to fail decreases as $\Delta\sigma$ increases.
  - For creep ($T > 0.4T_m$):
    - ✓ Time to rupture decreases as σ or T increases. كل ما زدناهم كل ما صار ال failure time اسرع

ask ; believe & recieve
Scanned with CamScanner

* شفنا كيف نعمل لل prediction لل failure theory لواحد من ال 3 تجويات
اللي شفناهم :- 1- fatigue test , 2- creep test , 3- impact test
بالإضافة للتجويات الأخرى اللي ممكن نعمل failure مثل ال tension & comp.

* ال hardness لما نعمل failure ، بس بنعمل indentation ع ال surface
باقي انواع ال test بعملوا failure

* المناطق اللي نظهر فيها ال crack بتكون فيها stress conc. area
اعلى على ال tips ، وقلنا بال Brittle بتسارع ع ال tip بتكون عالي جداً
بينما ع ال ductile ممكن يكون في وقت كافي حتى نتجنب ال failure .

* سواء ال creep او ال impact او fatigue ← كل ما نزلنا درجة الحرارة
مع العادة ممكن نتحول لـ Brittle راح يقل ال failure

* شو بدك نعمل حتى تقل ال failure ؟ تأخذ ال decreases لـ Δσ increase
بال fatigue غير قيمة ال stress راح يتغير ال number of cycle

SUMMARY

- Engineering materials not as st
- Flaws act as stress concentrat
lower than theoretical values.
- Sharp corners produce lar
premature failure. gradual tr
to max.
- Failure type depends on T and
  - For simple fracture (noncyc
in creases with:
    - ✓ Increased maximum flaw
    - ✓ Decreased T,
    - ✓ Increased rate of loading.
  - For fatigue (cyclic σ):
    - ✓ Cycles to fail decreases as Δσ increases.
  - For creep ($T > 0.4T_m$):
    - ✓ Time to rupture decreases as σ or T increases.

increase شو
مش decrease
عدلوها

design

كل ما زدناهم كل ما صار الـ failure time
اسرع

ask believe & recieve
Scanned with CamScanner

6 failure

فتحة

عالي ابطئ | low اسرع

اعلى ↓ T | اقل ↑ T

اقل ↓ F | اعلى ↑ F

Madar
ask believe & recieve

Scanned with CamScanner

من اهم الوحدات واكثرها تأثيراً بحياتنا

Chapter 7

Phase Diagrams

The University of Jordan
Chemical Engineering Department
First Semester 2021
Prof. Yousef Mubarak

ask ; believe & recieve

Scanned with CamScanner

a part from this temp & P (triple point) تكون عنا two state او either one state حسب وين انت موجود

* كل الـ phase diagram للمعادن تكون variable Temp , at constant P و comp.

* most important factor in water phase diagram is temp & P

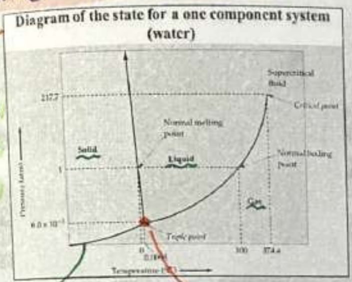
* ما في alloy بعد 6.7 لانه راح تصير الـ graphite تتكسر

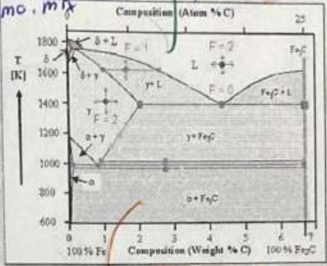
Chapter 7
Phase Diagrams

phase diagram for water ice vapor system

phase diagram for iron & carbon

Diagram of the state for a one component system (water)





molten state iron & carbon وتكون المادة تكون homo. mix

→ in metal the most imp factor is temp & comp.

الـ pressure دائماً مهمل

بتعبر الـ phase based على الـ temp والـ pressure

boundary تفصل بين الـ diff. state

عند هاي النقطة هاي القيمة من الـ P & Temp نلاقي المادة بتواجد بـ 3 diff. states, Liq & solid & Gas مع بعض

solid state with two diff phases (α, Fe_3C)

* الـ solid بين منطقة وثانية بتختلف بناءً على قديش فيها حديد وقديش فيها كربون وبناءً على هاد بنلاقي عنا diff micro. str.

---

* خصائص المواد الـ pure غير مناسبة للتطبيقات.

ISSUES TO ADDRESS...

- *When we combine two elements...* → متى انا بقدر اخلط مادتين مع بعض؟ *what is the resulting equilibrium state?*
- *In particular, if we specify...*
  - *the composition (e.g., wt% Au - wt% Pb), and*
  - *the temperature (T)*

then...
  - *How many phases form?*
  - *What is the composition of each phase?*
  - *What is the amount of each phase?* → كمية كل phase من الـ state

* معظم الـ alloy بتحضر عند الـ atm pressure

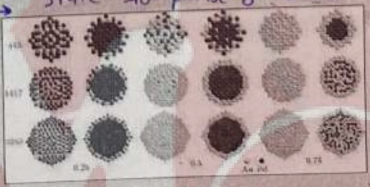
* الـ comp بتغير حسب انت شو تضيف وحسب الـ factor 4 اللي بتأثر

هاد الـ phase فيه two component

هون في توزيع عشوائي

هاد الـ micro str بنلاقي التوزيع مرتب بطريقة منتظمة

◦ *Au atom*
• *Pb atom*

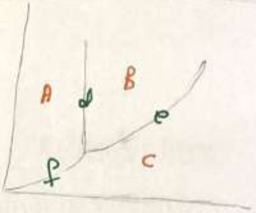


هاي المادة فيها 2 diff phases وهي عبارة عن solid state كتوزيع هول الـ phases

Scanned with CamScanner

* اذا كنت موجود عند A ← راح يكون عنا solid

* اذا كنت عند (d) راح نصير عنا equilibrium بين
ال solid & Liq



* عند (f) راح نكون ع ال equilibrium between solid & gas
يعني نصير ال sublimation لنفسه ال solid يتحول
vapor بدونه ما يمر بال Liq. state

* هاد الشي ما ننطبق على المعادله ، لمعادلة عنا diff phase diagram

* شو الفرق بين ال state وال phase ؟
ال state ممكن يكون فيه اكثر من phase
ال State هو وضع المادة ، على اساس موجودة ع ال vap state
ولا ع ال Liq state ولا ع ال solid state ما تدخلت بال micro str.
شو انا شايفها !!
لما نحكي state ← عنا فقط 3 state (solid , vap , Liq)
اما ال phase هو عبارة عن str. موجود بال state ؛ ممكن يكون في عنا
بال solid state ← two diff. microstructure هاد ال micro str. نسميه phase
← ال phase هو كل str. للمادة يكون اله خصائص مميزة تخليه يفرقه
عن another str. ل another phase

← بالنسبة اللي ع الصبه ← α و Fe_3C عبارة عن 2 diff micro str. للحديد اللحم
ال (ferrite) ← اللي هو α
وال (cementite) ← اللي هو Fe_3C وهو عبارة عن intermetalic compound
يعني بشكل as long as انا بضيف اي نسبة كربون على الحديد ، دوره
بال str. انه يغير خصائص الحديد . كل ما زادت نسبة ال cementite
بالحديد كل ما تحول الحديد الى Brittle اكثر ، يعني اذا بدي ductile iron بفترض
نسبة ال cementite اقل ما يمكن اذا بدي hard iron بخلي نسبته اعلى ما يمكن

← شو اللي بصير خلال مرحلة ال solidification ؟ اذا تغير او ثبتت درجة الحرارة ؟
بنحنا نعرف انو في عنا ال equilibrium و sort of equilibrium مش نهائي
(بالصورة فوق ع اليمين) اذا ثبتت الحرارة عند 1500 لعبة منها 2% من الكربون
جزء منها راح يكون molten وجزء منها راح يكون solid ، اذا ضليت الحرارة ع هاد
ال level ما راح يصير ولا شي ضل عنا بال comp ع Liq وبال comp في solid
هاي بنسميها meta stable يعني حالة ثابتة ما عم تتغير لبس هاد بتغير
اذا صار ، راح يتغير بال comp تاع المادة

Madar ask believe & recieve

Scanned with CamScanner

Outline

- Definitions and basic concepts.
- Phases and microstructure → micro... والـ phase بدنا نميز بين الـ
- Binary isomorphous systems (complete solid solubility) — ① solubility based على الـ
- Binary eutectic systems (limited solid solubility) — ② diff phase diagram
- Binary systems with intermediate phases/compounds → phase diagrams
- The iron-carbon system (steel and cast iron)

أنواع الحديد:
- ductile iron
- low carbon steel
- high carbon steel
- cast iron

الي تختلف بينهم هو الـ microstructure الموجود

Yousef Mubarak Materials Science

Definitions: Components and Phases

- Component: chemically recognizable species (Fe and C in carbon steel, H_2O and NaCl in salted water).
- A binary alloy contains two components, a ternary alloy - three, etc.
- Phase: a portion of a system that has uniform physical and chemical characteristics.
- Two distinct phases in a system have distinct physical or chemical characteristics (e.g. water and ice) and are separated from each other by definite phase boundaries.

Yousef Mubarak Materials Science

Scanned with CamScanner

← نحنا نعرف الجدول الدوري فيه مجموعة عناصر كل واحد من هاي العناصر هو عبارة عن element

الحديد. حياتنا لما نحمله استقلالي هو عبارة عن حديد مع كربون بالإضافة ل other element

نضيفوها عشان نغيروا بخصائصها. ممكن هاد ال iron-carbon يعطيني steel

حسب تحديث نسبة الكربون والمعالجة وال str ductility وغيرها...

← لما نحكي (ماء) هي عبارة عن two element (H_2O) هاد اعطانا compound اللي هو H_2O

ونفس الشي NaCl

Madar
ask believe & recieve

Scanned with CamScanner

homogeneous system هاد system يسمى الـ phase ولهد ال يكون عنا
بغض النظر عن الـ state كاملة لانو كل الـ str الموجود هو عبارة عن
شيء متكرر والـ prop. تاعها ثابتة وما تتغير

Definitions: Components and Phases

- A phase may contain one or more components. one phase
- A single-phase system is called homogeneous, systems with two or more phases are mixtures or heterogeneous systems.

بنلاحظ انو الـ phases بالصور يختلفوا عن بعض

→ we have sort of hetero-str.

Perlite: ferrite and cementite

* الـ isomorphous system لما solidification تعطينا نوع واحد من الـ micro str. ليس ونكون عنا homo-system
* الـ eutectic system بطلع two diff microstr عالاقل
* اذا تواجدوا α و β مع الـ equilibrium مع بعض نسمي هاد heterogeneous system

Definitions: Solubility Limit

- Solvent: host or major component in solution.
- Solute: minor component.
- Solubility Limit of a component in a phase is the maximum amount of the component that can be dissolved in it (e.g. alcohol has unlimited solubility in water, sugar has a limited solubility, oil is insoluble). اكبر قيمة نقدر اضيفها ويستوعبها على اساس ما يعطيني second phase
- The same concepts apply to solid phases: Cu and Ni are mutually soluble in any amount (unlimited solid solubility), while C has a limited solubility in Fe.

لما يكونوا الـ 4 factor يعني الـ solubility كلهم متوافقين نسمي هاد isomorphous system

→ homo system

→ hetero system

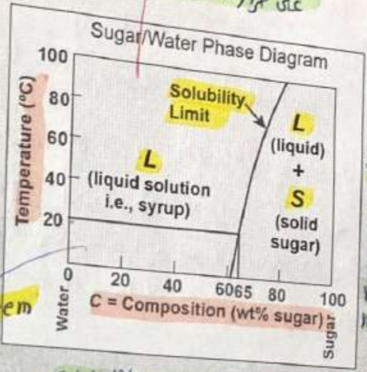
Scanned with CamScanner

* عند كل درجة حرارة في solubility معينة طالما انو هنا اقل منها راح عنا بس Liq وكل اللي ضفته راح يذوب اما اذا تجاوزت هاد رح يصير عنا solid & Liq hetero

Question:

What is the solubility limit for sugar in water at 20°C?

هون Completely Liq لانو كل السكر اللي قاعد تضيفه بذوب مثلاً لو ضفنا 40 على حرارة 20 راح يذوبوا كلهم



homo. system

اذا ضفت فوق الـ 65 على درجة حرارة 20 راح يذوب لحد معين مثلاً لو ضفت 70 على حرارة 20 راح يذوب 65 و 5 بنزلوا عال bottom وصار hetero

Answer:

65 wt% sugar.

At 20°C, if C < 65 wt% sugar:

syrup

At 20°C, if C > 65 wt% sugar:

syrup + sugar

لما تزيد درجة الحرارة الـ Solubility تصير تزيد، تنزل الحرارة تقل الـ Solubility

الـ range للـ Solubility للسكر بين 60% - 80%

* نفس الشي بالمعادن بس هنا لما نضيف بعتمد على قديش الـ Solubility للمادة في مواد ما الها Limitation وفي مواد الها Limitation.

* شو تركيب α و β او شو تركيب مثلاً الـ phase diagram وشو بعطيني بؤثر على الـ internal structure تاعت المادة.

Microstructure

➤ *The properties of an alloy depend not only on proportions of the phases but also on how they are arranged structurally at the microscopic level.*

مش بس قديش عنا α و β بعتمد كمان على طريقة الترتيب، يعني في مواد بتوزعوا بشكل عشوائي وفي مواد بصير في ترتيب Layers شلاقي Layer كامل α و Layer كامل β زي الـ eutectic

➤ *Thus, the microstructure is specified by:*

راح نعمل شو الـ microstr. بناءً على الجدول

1. *The number of phases,* how many phases do we have in solid stat
2. *Their proportions,*
3. *And their arrangement in space.*

2- مثلاً اذا بحكي عن iron فيه ferrite و cementite وقديش الكربون بالـ cementite. عنا two microstr مثلاً اعطيني الـ comp بعطيك microstr قديش فيه α و β وقديش الكربون بالـ ferrite

3- هل ترتبوا على شكل layers زي الـ eutectic ولا بشكل عشوائي، α و β توزعوا بشكل حوا الـ str. او طلعوا ع الـ grain boundary

Yousef Mubarak
Materials Science
ask believe & recieve
Scanned with CamScanner

ال .isothermal cry ← انا بثبت على درجة

حرارة معينة وبلاحظ بعد فترة في growth

وفي solidification بتم على هاي بحرارة

ask :: believe & recieve

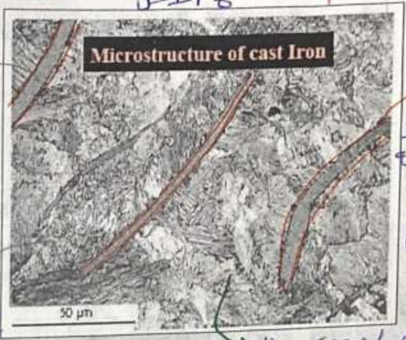
Scanned with CamScanner

2.14 % نسبة كربون عالية ، اعلى من ← cast iron

نعرف انو نسبة ال cementite بال cast iron عالية ، بعد التبريد تكون ال ferrite

two diff. phases ← نلاحظ عنا ع الاقل

- This is an alloy of Fe with 4 wt.% C.
- There are several phases. The long gray regions are flakes of graphite. The matrix is a fine mixture of BCC Fe and Fe_3C compound.



hetero. system

- Phase diagrams will help us to understand and predict the microstructures like the one shown in this photo.

* max cementite, little ferrite

* the long gray regions are graphite

Equilibrium :- final state of the material & this final state will not change as long as we don't have big variation in temp and comp

Equilibrium and Metastable States

- A system is at equilibrium if at constant temperature, pressure and composition the system is stable, not changing with time.
- Equilibrium is the state that is achieved given sufficient time.
- But the time to achieve equilibrium may be very long (the kinetics can be slow) that a state along the path to the equilibrium may appear to be stable.
- This is called a metastable state.

adar ask believe & recieve

Scanned with CamScanner

② بال solidification :-

لما ابرد العينة من الـ molten state للـ solid state
مش suddenly تتحول لـ solid ، تبدأ الـ grains
تطلع تصير تكبر وتصير في استهلاك للـ Liq وتصير
growth للـ solid على حساب الـ Liq لحد ما يتحول كل الـ Liq
لـ solid اذاً at each interval at each temp.
هاي بنسميها metastable zone

اذاً الـ metastable هي عند الـ equilibrium بس مش
الـ final equilibrium ، طبعاً الحرارة ثابتة ← stable zone
على الـ equilibrium بس اي variation بغير بها دا الـ equi.
معناها انا مش عند الـ final equilibrium state

بالرسمة بسلايد -2-
لو اشتغلنا على 3% كربون والحرارة 1500 ، هاي فيها Liq & solid ، اذا ضلت درجة
الحرارة زي مهي على 1500 بالاخير العينة راح تتحول كلها لـ solid ، لانو انت
عملت isothermal crystallization هاد ممكن ياخذ وقت طويل بس بالاخير راح يتحول ، كونه
ع هاي الحرارة وصار الـ comp مع الزمن تغيرت مرة ثانية بنحكي انو هاد metastable
لانها مش الـ final equilibrium state

بالصورة اللي بالسلايد -2- بنلاحظ انو الحرارة ملشة عند 600 ، تحت الـ 600 عنا
الـ equilibrium state للـ iron يعني ما تتغير ، بضل فيه 2 phase
(ferrite & cementite) ، بعد الـ 600 ممكن تصير تغيرات ، يعني لو رفعنا
الحرارة لـ 1200 ، نأخذ الـ 1200 ع اعتبار انو نشتغل ع 0.4% كربون راح نلاحظ
انو هنا لنسبة العينة عندها بس الـ solid state microstr. تاعها اختلف
عند درجة حرارة 800 كان solid state وضل بس الـ microstr تاعها كان
(fer, & cem.) ، طبعاً اني على 800 راح تضل العينة fer. & cem. والـ comp.
المهم ما تتغير والـ wt% ما تتغير ، عند 1200 صار في phase change
لانو صار عنا (cementite & austenite) الـ ferrite اللي هو α اختفى
اذاً صار transform للـ str. الـ ferrite كله تحول لـ austenite (γ)
والـ cementite وضل في جزء منه تحول لـ austenite بس مش كله اذا نضل ع حرارة
1200 و comp فيه 0.4% كربون راح نضل cem. & aus. الـ wt% تاعهم ثابت
لو رفعت او نزلت الحرارة شوي راح نضل عنا cem. & aus. بس الـ wt% تاعهم تصير تتغير
يعني اذا نزلت الحرارة تصير الـ aus. يتحول لـ cem. ، او اذا رفع الحرارة الـ cem
تصير يتحول لـ aus. ← هاد metastable zone لانو هاد مش
الـ final equilibrium state ، غير الحرارة راح تتغير الـ wt% والـ comp

ask believe recieve

Scanned with CamScanner

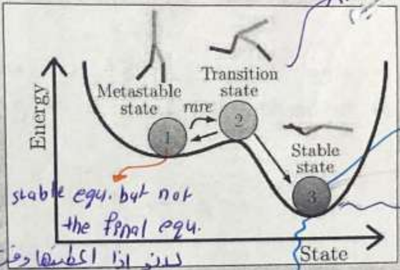
هون ال diffusivity بتكون تأثيرها اقل بكثير من ال Cooling rate

* هون ال nucleation اله دور أكبر من ال diffusivity لانو بدي اكثر المادة molten & العامل الاهم هو ال cooling rate

Equilibrium and Metastable States

- In thermodynamics, equilibrium is described as the state of system that corresponds to the minimum of the thermodynamic function called the free energy of the system.

- Free energy is a function of the internal energy of a system, and also the randomness or disorder of the atoms or molecules (or entropy)



ال solidification بتكون ع ال atm pressure

Equilibrium and Metastable States

Thermodynamics tells us that:

- Under conditions of a constant temperature and pressure and composition, the direction of any spontaneous change is toward a lower free energy.
- The state of stable thermodynamic equilibrium is the one with minimum free energy.
- A system at a metastable state is trapped in a local minimum of free energy that is not the global one.

Madar ask believe & recieve
Scanned with CamScanner

خلال عملية ال Solidification عشان نخضر اي alloy لازم نوصل لل melting temp
بعدين نعمل ال Solidification

← بنقدر اتحكم بال cooling rate خلال عملية ال Solidification ولقدر اتحكم بال comp. كمان

* خلال عملية ال cooling بال crystallization في عنا two important factor اللي هم :

① Nucleation rate
② growth rate
→ هدول بيختلفوا كل ما غيرنا بال cooling rate

كل ما نزيد عدد ال nucleies بنسرع ال cooling rate واذا بدنا نقلل عدد ال nelclei بنبطئ ال cooling rate ، اذا بدنا نزيد حجم ال cry. نقلل ال cooling rate (بتخفض ال cooling rate) واذا بدنا ال size تاعها يكون صغير كتير بنسرع ال cooling rate

اذا ما بدنا يطلع crystals يعني بدنا مجرد grains بنعمل quenching يعني تبريد سريع جداً

* ليش المادة بتحاول تعمل Solidification ؟ لانها لما تكون molten بتكون على high energy وعشان توصل لل stability لازم توصل لل min. energy
(مثل الانسان بكون بيدل ال min energy لما ينام وغيرها ما بكون وصل لل stable min energy)

نفس الشي المادة لما تكون molten بكون فيها energy عالية جداً ، طبعاً هاد وضع مش stable ، عشان توصل لل stability بدها تخسر جزء كبير من هاي ال energy عشان تصير موجودة على اقل شيء من ال energy

بالتالي خلال عملية ال Solidification بتمر بعدة مراحل بتوصل منهم لل stability بس هاي مش ال final equ. state ، ال final ... لما يبطل في عندي variation نهائياً ، فالمادة هون بتكون موجودة ع ال min energy لالها ، يعني ال cry بتكون relax وما رح يصير اي تغيرات

Madar
ask believe & recieve

Scanned with CamScanner

melting ال Solid... لما يصير L ال L مش مهم ال metal بال pressure ال
هون ال pressure مهم Liquefaction ال

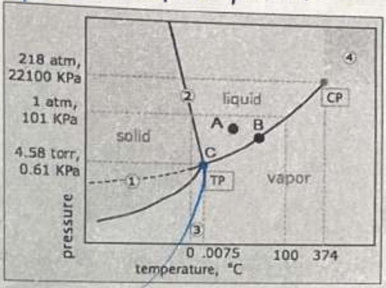
* ممكن تتواجد ال state لمواد أكثر من phase

Phase diagram

* هون كنا نحكي عن 3 state مع بعض

- A phase diagram: graphical representation of the combinations of temperature, pressure, composition, or other variables for which specific phases exist at equilibrium.
- For H_2O, a typical diagram shows the temperature and pressure at which ice (solid), water (liquid) and steam (gas) exist.

variation in state of H_2O with temp. & pressure.



* عند اي نقطة لل T و P بتقدر تعرف ال state للمادة.

we have three state together

* بالعادة two state L Solid & Liq بيكون combination of them

* راح نحكي عن الشكل النهائي ← state مش phase

---

* the only two parameter will change is temp & comp

* ال parameter اللي راح نغيره باغلب الاحيان هو ال temp.
لما ال comp راح يكون ثابت
وال pressure ماله دور كبير بعملية كتشكيل المعادن

Phase diagram

- A phase diagrams show what phases exist at equilibrium and what phase transformations we can expect when we change one of the parameters of the system (T, P, composition).
- We will discuss phase diagrams for binary alloys only and will assume pressure to be constant at one atmosphere.
- Phase diagrams for materials with more than two components are complex and difficult to represent.

* ما راح ناخذ اكثر من two comp. بال alloy. بس واقعيا ال alloy فيها اكثر من two comp.

* ال x-axis راح اقرأ منه ال comp لل two element

* كنا ما نقدر نتخيل phase diagram اله ٣ متغيرات

* واحد من ال axis لل phase diagram راح يكون لل comp والثاني لل temp

Scanned with CamScanner

ليش الـ pressure حالة بالـ gases بصير مهم و بحالة الـ metal مش مهم ؟!

شو الـ state بتكون بالـ gas ، Liq ، solid

والـ state تاكون الـ metal إما solid + molten في غاز بس قليل زي بزنشعه

ونحنا بنعرف انو الغازات هي اللي بتتأثر أكثر بالضغط ، بينما الـ Liq والـ solid نوعاً ما ما بتأثروا كتير بالضغط ، فهيك بنحكي انو الـ pressure مش factor مهم بالـ metal

* الـ solidification للمعدن راح يصير في solid + molten مع بعض - صار عنا two diff. state

وكمان الـ two state صار موجود عنا two diff phases

* راح نشوف بنفس الـ state أكثر من phase يعني بالمادة solid بس فيها two str. يختلفوا عن بعض مثل الـ Ferrite والـ cementite بالحديد

في بعض الحالات راح يصير في transformation للـ phase (مش من state لـ state) ، انا لما نعمل solidification انا بنتقل من Liq. state لـ solid state)

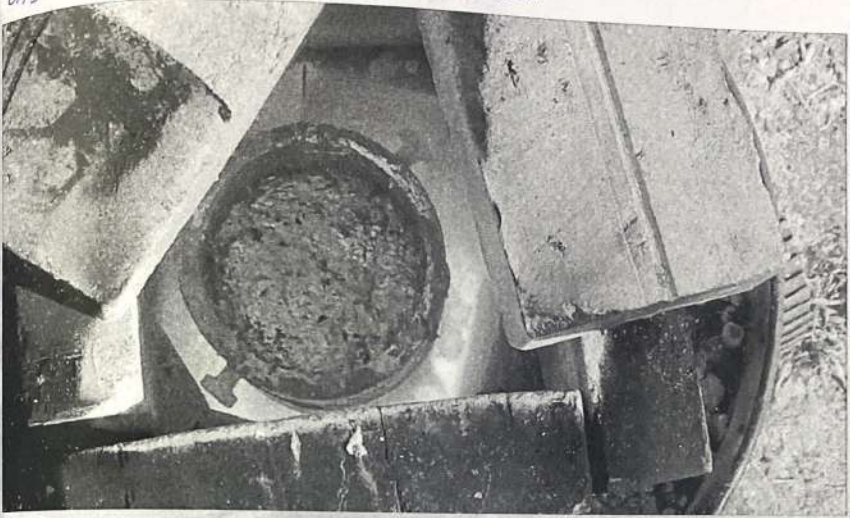
في عنا transformation من solid لـ solid ، مثلاً خط الحديد لما يبدا يتشكل بظهر عنا الـ str. austenite وهاد الـ austenite كل ما بردته أكثر يصير يتحول لـ Ferrite & cementite

* الـ solid بيكون مش stable ويصير يتحول لـ another solid عشان يصير stable

Madar
ask :: believe & recieve

Scanned with CamScanner

* نفترض انو المادة لما تكون molten تكون homogeneous يعني عنا random distribution of the solute in solvent



* نفترض انو العينات النهائية الها نفس ال comp مش 100% نفس اكيد

* ال solid ما نخلطوا مع بعض، لازم نعطيهم دخولهم ل molten state ، نعمل molten
حتى يصير homogeneous ويصير توزيع لل solute بال solvent

sharp melting temp ← فجأة تتحول من solid ل Liq
وتظهر بال pure material يعني ما راح يظهر عندي
Liq + solid مع بعض

one element (pure comp)

1- Unary System

➢ Consider 2 elemental metals separately:

- Cu has melting T = 1085 °C (at standard P = 1 atm)
- Ni has melting T = 1453 °C

* كل ال pure metals عندها sharp melting temp.

T
liquid
1085 °C ← sharp melting temp for pure cupper
Solid
Cu pure

* ال Cu فجأة تحول من solid ل liquid عند 1085 molten

Cu تحت هاي الحرارة تكون solid دخولها molten

T
liquid
1453 °C
solid
Ni → pure

← لانو مرتبط بال Ni اقوى بالتالي ال melting T تاعته اعلى

← ليش هاي المواد الها sharp temp ؟! لانها مواد pure

➢ What happens when Cu and N are mixed?

* ما عنا two state بال pure material موجودين مع بعض عنا one state يا solid يا Liq

بال molten state (ال homogeneous mpx) تكون فيه A & B
completely soluble in each othar.
او ع الاقل في توزيع عشوائي لل solute بال solvent

لا نحكي شو ال melting temp لل Cu او Fe او Ag ، هون نحكي عن unary element ونفترض انو pure

* شو يعني sharp temp ؟! تحت حرارة معينة المادة تكون solid وفوق هاي الحرارة تكون molten state

* شو راح يصير لو جبت عينة من pure cupper ولشت ارفع حرارتها؟
راح تضل solid ما فيها اي جزء molten نهائياً لحد ما نوصل لل 1085 لهديه العينة suddenly تحول لـ liq ـكل العينة تنصهر مع بعض

* لو جبت alloy فيها 10% Ni و 90% Cu هل راح تنصهر على حرارة 1085؟
لا ، لانو بطل عندي pure Cu صار عندي mix من two element

Madar ask & believe & recieve

Scanned with CamScanner

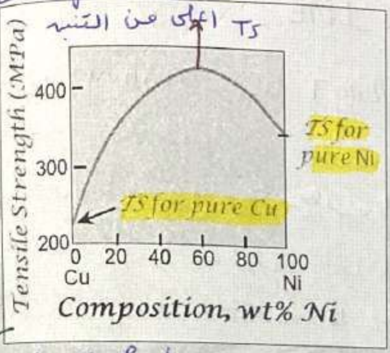
* variation عالي على نفس ال force من ال Area و length يعني ductility الي الها TS عالي، الها اقل ductility يعني بطل يصير فيها

Why Alloys?

- Effect of solid solution strengthening on:

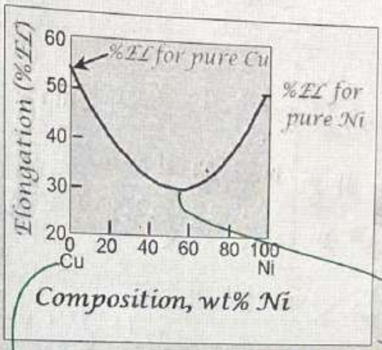
-- Tensile strength (TS)

عند هاد ال comp العالي TS اعلى من التنبه



the 4 factor are favrable

-- Ductility (%EL)



very ductile

هون قلت ال ductility للهادة وصارت شوي Brittle

Yousef Mubarak

Materials Science

* كل ال isomorphous system فيهم 3 rigons only

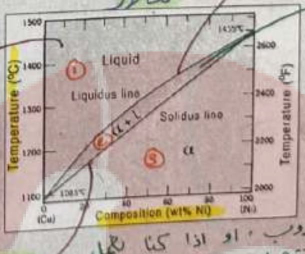
2- Binary Isomorphous Systems

unlimited 100% solubility of solute in solvent قد ما تضيف راح يذوبوا

- Isomorphous system:

complete solid solubility of the two components (both in the liquid and solid phases). → ال liq بكون homogeneous وبال solid بصير one phase ما عنا اكثر من phase

- Three phase region can be identified on the phase diagram:



هون آخر fraction من ال solid بصهر

not homo. str هاي عبارة عن Area اللي تكون المادة بتتحول من state ل state سواء كنا نعمل melting تصير تذوب، او اذا كنا نعمل Solidif. تصير تتصلب

1. Liquid (L), solid + liquid (α + L), solid (α) — molten state
2. Liquidus line separates liquid from liquid + solid
3. Solidus line separates solid from liquid + solid.

بدء ال melting هون عند هاد ال Line لسا ما نعمل

isomorphous سميناها لانو ع ال solid state بكون عنا one phase only

* ال x-axis بعطينا ال weight fraction لل Ni وال Balance هو ال Cu

Materials Science

Scanned with CamScanner

لما نيجي نخفض alloy لازم نفكر اول شي بال Solubility قبل ما نعمل اي شي، عنا Solid solution و second phase

Solid solution ← Solubile

second phase ← non solubile لانو واحده ال 4 factor مش متوافقه

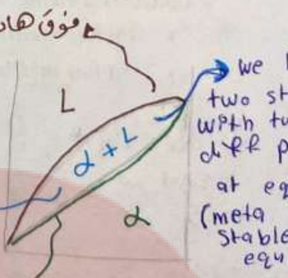
* شو يعني Solid solution ؟ يعني لما نصير Solidification لاي عينة موجود فيها نسبة Ni & cu راح يكون عنا one solid phase str. ما راح يطلع اكثر من phase واحد بغض النظر قديش ال Ni وقديش ال cu ، ال comp تتغير هوا ال str. قديش في Ni وقديش في cu بس ال microstructure عنا واحد

* هاي المواد اللي يكون فيها ال compatibility (التوافق) عالية جداً نسميها isomorphous str.

* لما يكون عنا limited solubility راح يطلع معنا ال eutectic str.

* ال Tm لل cu ← 1085 ولل Ni ← 1453 لل alloy 50% من cu و50% من Ni قديش بدها تطلع ال Tm ؟ اقل من اعلى وحدة واعلى من اقل وحدة بس مش sharp يعني لما تصير العينة تصير تذوب شوي شوي وتصير عنا two state اللي هم solid & Liq لحد ما يذوب كل ال solid ونفس الشي لما نعمل solidification يكون Liq وتصير تزيد ال solid شوي شوي لحد ما تصير كله solid

فوق هاد ال Line العينة دائماً Liq (molten) ، هاد بعطيني مؤشر قديش لازم تكون درجة الحرارة عشان اعمل عينة وتكون homo. وبعدين اعملها solidification.



هاي المنطقة عنا جزء دايب وجزء Solid ، اذاً هاد مو homo. str. لازم ارفع درجة الحرارة عشان اضمن انو both يكونوا molten

تحت هاد ال Line عنا بس ال solid state وفيها microstructure واحد اللي هو α ، هاد ال phase الموجود بهاي ال state ، لما باخذ اي عينة بحرارة اقل من 1100 تكون في micro str. واحد بس ، بلورات الها شكل محدد و بتختلف نسبة ال Ni فيها حسب وين انا موجود

Madar
ask believe & recieve
Scanned with CamScanner

* اذاً السبب الأساسي انو ما عنا Sharp temp بال alloy هو ال Variation
بال comp. في نفس ال cry. اذاً ال cry. مش homo. بعكس كنا بناخد ك average
ولنقول هاي البلورة فيها 65% من ال Cu مثلاً لبس لو بدي افحصها ما راح الاقي uniform comp

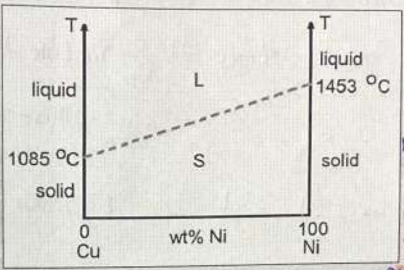
Binary Isomorphous Systems

↳ check the 4 factor

- Binary: 2 components
- Isomorphous: complete liquid and solid solubility

✓ Expect T_m of solution to lie between T_m of two pure components.

✓ For a pure component, complete melting occurs before T increases (sharp phase transition). But for multicomponent system, there is usually a coexistence of L and S.



* ما طلع معنا straight line للmelting temp
اول عند 1453 & 1085 sharp Tm لانه لل pure metals
لبس عند اي نقطة بينهم مش linear ، راح يطلع window
ال Liquidus line و solidus line

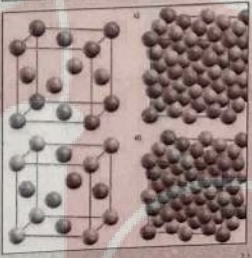
* ال gab بين ال Liquidus line وال Solidus line
هو عبارة عن ال processing لل melting
و لل solidification

Yousef Mubarak
Materials Science

Binary Isomorphous Systems

- Example of isomorphous system Cu-Ni
- The complete solubility occurs because:
  1. Both Cu and Ni have the same crystal structure, FCC
  2. Similar radii
  3. Electronegativity
  4. Valence

check the 4 factor



Ni can subsitute the Cu atom in the str.
لهاد السبب بناخد قد ما بدنا Ni ونضيف عال Cu وما يصير second phase و بطلع only one microstructure

Characteristics of Selected Elements

Element	Symbol	Atomic Number	Atomic Weight (amu)	Density of Solid, 20°C (g/cm³)	Crystal Structure, 20°C	Atomic Radius (nm)	Ionic Radius (nm)	Most Common Valence
Cobalt	Co	27	58.93	8.9	HCP	0.125	0.072	2+
Copper	Cu	29	63.55	8.94	FCC	0.128	[illegible]	1+
Fluorine	F	9	19.00	—	—	—	0.133	1−
Gallium	Ga	31	69.72	5.90	Ortho.	0.122	0.062	3+
Neon	Ne	10	20.18	—	—	—	—	Inert
Nickel	Ni	28	58.69	[illegible]	FCC	0.125	0.069	2+
Niobium	Nb	41	92.91	8.57	BCC	0.143	[illegible]	5+

Materials Science
Yousef Mubarak
ask :: believe & recieve
Scanned with CamScanner

2 phases والـ molten area فصل بين الـ ← Liquidus Line
للـ 2 state

الـ melting T للـ Cu (pure)

فصل بين solid و two states موجودين بالـ equ. مع بعض
نسميه Solidus Line

* كل الـ alloy ما عندها sharp melting T يعني بتبدا تنصهر وبتخلص انصهار على درجات حرارة مختلفة، بتبدا الـ melting ع الـ Line الاخضر بس ما تكمل، يعني اذا ثبتي درجة الحرارة ع هاي الحرارة اللي هي 1280 بلاحظ انو ذاب شوي وباقي ضل solid. طيب لو ضليت ع هاي الحرارة ما راح تصير شي، عشان ازيد الـ liq بدي ارفع الحرارة
عند الـ Line السفلي لما اوصله ع هاي الحرارة آخر fraction من الـ solid تنصهر، وصارت الـ melting temp عبارة عن window

* ليش اجزاء الـ Cu ما انصهرت ع 1085، واجزاء الـ Ni ما انصهرت ع 1453؟
لانو البلورة قاعدة بتذوب من برا وشوي شوي بتذوب، كل اللي برا بدوب وبتوصل اللي جوا - بعد شوي بدوب اللي تحت اللي تحت ... آخر شي لما نيجي نطلع ع الـ str. بنلاحظ انو في اكثر من grain بأكثر من مكان هم اللي بدوبوا آخر شي، ليش الـ core للبلورة هو اللي داب آخر شي؟
الـ comp مش نفسه، لما بلشنا نعمل solidification قلنا في nucleation وبنبدا تظهر الـ nuclei الها comp انبنى عليها الـ shell الها comp وبنى عليها كمان shell الها comp. بالتالي بطلع معنا str. مثل اللي بالسلايد 33 - البلورة مش homo. - كل واحد من الـ shell اللي انبنوا فوق البلورة الها comp مختلف
بالتالي لما آجي اصهر الـ shell اللي بكون فيه اقل نسبة نحاس بده ينصهر قبل الـ shell اللي فيه نسبة Ni اعلى
الـ core فيه comp الـ Ni اعلى الـ shell فيه نسبة Ni اقل، والـ Tm للـ Ni اعلى من Tm للـ Cu - اذاً كل ما زادت نسبة الـ Ni بالـ shell كل ما ارتفعت درجة حرارة انصهار هاد الـ shell بالتالي الـ shell اللي برا هو اعلى نسبة Cu واقل نسبة Ni، بالـ shell اللي تحته بتصير نسبة الـ Cu تقل شوي وتزيد نسبة الـ Ni - عشان هيك الـ core بضل آخر واحد لانو فيه اعلى نسبة Ni
وكل shell راح ينصهر على درجة حرارة مختلفة لانو كل واحد الها comp مختلف

ask ; believe & recieve

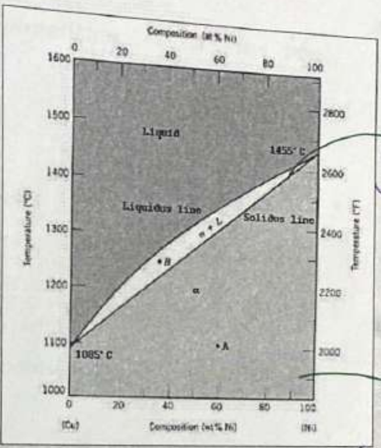
Scanned with CamScanner

weight fraction في ، comp. ال هاد مع هاي الحرارة عند meta stable يعني equilibrium مش
* عند B عنا Solid f Liq وما تغيروا ثابتين للأنو هاد ال weight fraction ال Solid ولل Liq تغير حرارة شوي بصير تتغير
مش ال final لأنو اذا تغير

Binary Isomorphous Systems

What can we learn from this phase diagram? شو الاشياء اللي نستفيدها من ال phase diagram ؟

1. Phase(s) present. ← شو ال phase الموجودة ع diff comp & عند حرارة معينة
   - ✓ A: solid (α) only
   - ✓ B: solid and liquid
2. Composition of those phases
   - ✓ A: 60 wt% Ni
   - ✓ B: 35 wt% Ni overall (how about in L and S separately?)
3. Amount of the phases.
   - ✓ A: 100 % α phase
   - ✓ B: % solid and % liquid?



هاد ال metastable طالما ثابت ع هاي الحرارة

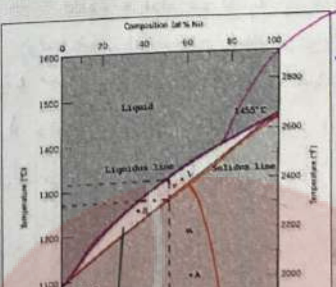
نسبة α بهاد ال state هي 100%

Yusef Mubarak — Materials Science

* كيف نسبة ال Liq وال solid عند B ؟؟ مثلاً العينة كان فيها 35% من ال Ni وحطيناها ع حرارة 1240 عند هاي الحرارة في شوي داب وصار Liq وفي عنا solid . مثلاً لو كان وزن العينة 100g ، كم غرام اللي دابوا ؟ نطبق ال LR ← (Lever rule)

Binary Isomorphous Systems

- ➢ In one-component system melting occurs at a well-defined melting temperature.
- ➢ In multi-component systems melting occurs over the range of temperatures, between the solidus and liquidus lines.
- ➢ Solid and liquid phases are in equilibrium in this temperature range.



* اخر droplet من ال solid بدها تتحول لـ Liq بالكامل ال comp تاعها تكون عالية عكس Ni

* ال comp لل Ni تزيد كل ما دخلنا جوا بال shell

بهاي المنطقة فيها ال Liq & Solid وال wt% تبعهم بصير متغير وال comp لل solid & Liq بناءً على درجة الحرارة

ع هاد الخط عنا almost complete Solid & little fraction Liq يعني بدون ما تكون first droplet of Liq لل melting تحصل

Yousef Mubarak

شو ال comp عند A ؟ 60% من ال Ni و 40% من ال Cu
لو رفعنا او نزلنا الحرارة شوي ما راح تتغير ال comp.
طالما احنا عم نشتغل تحت ال Solidus Line ما في شي راح يتغير
راح تضل العينة solid وراح يضل فيها 60% من Ni و 40% من ال Cu
وفيها microstr. واحد

شو ال comp عند B ؟ اذا بدي ال comp لل Solid عند Tie Line
وباخذ النقطة اللي تتقاطع فيها ال Tie Line مع ال Solidus Line بخط افقي لل x-ax
واقرأ قديش ال comp لل Ni بال Solid phase

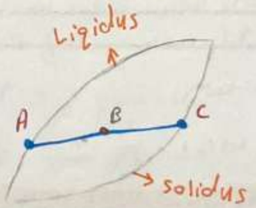
وباخذ من التقاطع مع ال Liquidus Line خط افقي لل x-axis واقرأ
قديش ال Ni بال Liq

* كل phase عند B الها Liq. comp و Solid comp.

* ال overall عند B هو 35% لانو ما في generation ولا consumption
يعني كنا حاطينه بال alloy 35% من ال Ni ، راح تضل 35% عمرها
ما تتغير ، بس ال 35 هاي كيف توزعت بين ال Liq وال Solid

$\frac{BC}{AC}$ ← اذا بدي اعرف نسبة ال Liq ←

$\frac{AB}{AC}$ ← اذا بدي اعرف نسبة ال Solid ←



نقسم المسافة اللي قبالي على المسافة الكلية

نطبق ال lever rule لما يكون عنا two phases (ما حكينا state)
موجودين مع بعض

* هاي ال first droplet عند ال Solidus Line بكون فيها
ال weight fraction لل Ni اقل ما يمكن لانو ال melting temp لل Ni اعلى
بالتالي هي بتكون rich بال Cu ، اذا رفعنا الحرارة شوي راح يذوب كمان Ni هاد بسبب
ال comp تاع ال Ni يصير تزيد ونسبة ال Cu تقل.

Madar
ask believe & recieve

Scanned with CamScanner

Interpretation of Phase Diagrams

- For a given temperature and composition we can use phase diagram to determine:
  1) The phases that are present
  2) Compositions of the phases
  3) The relative fractions of the phases
- Finding the composition in a two phase region:
  1) Locate composition and temperature in diagram.
  2) In two phase region draw the tie line or isotherm.
  3) Note intersection with phase boundaries. Read compositions at the intersections.
- The liquid and solid phases have these compositions.

Determining phase composition

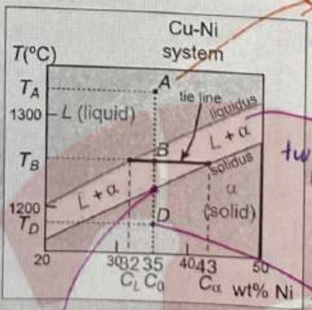
Consider $C_o = 35$ wt% Ni ➡

At $T_A = 1320°C$: Only Liquid (L) present $C_L = C_o$ (= 35 wt% Ni) — 100% Liq contain 35% Ni & 65% Cu

At $T_D = 1190°C$: Only Solid (α) present $C_\alpha = C_o$ (= 35 wt% Ni)

Determining phase composition in 2-phase region

1. At 1250 °C, draw the tie line.
2. Note where the tie line intersects the liquidus and solidus lines (i.e. where the tie line crosses the phase boundaries).
3. Read off the composition at the boundaries:
   - ✓ Liquid is composed of CL amount of Ni (32 et% Ni)
   - ✓ Solid is composed of Ca amount of Ni (43 wt% Ni)



we have two state & two phases

عند هون ال wt٪ ضل نفسه 35٪ من ال Ni و 65٪ من ال Cu ما تغيروا

عند هاي ال point تكون عنا آخر قطرة من ال liq موجودة (آخر قطرة من ال molten state) ويكون فيها ال Solid comp وصل ٪35 وال liq صار نسبة ال Ni فيه كثير قليله ، يادوب بجوده droplet وبعدين تختفي

Scanned with CamScanner

عندما ننزل من A ونوصل لل Solidus Line تبدأ ال nucleation تظهر
تتكون انوية صغيرة من crystals ويكون ال comp لل Liq زيه مثل ما هو 35%
بس ال comp. لل solid particles اللي تتشكل بحدد tie Line لغاية ما يتقاطع
مع ال Solidus Line ونقرأ ال comp لل first nuclei بنلاحظ انو ال first nucleus
يكون فيها اكثر من 35% من ال Ni ، بتكون تقريباً حواليه ال 46% من ال Ni
هاد يعني انو زادت نسبة ال Ni بال core ، اذا ننزل بالحرارة لعند (B)
المادة بدها تكون ع ال metastable Zone بتزيد عدد ال nuclias وبتزيد حجمها على
حساب ال Liq ، يعني ال fraction لل Liq بتقل وال fraction لل solid بتزيد عند هاي
النقطة بنلاحظ انو ال comp لل solid نزل وصار 43 وهاد يعني انو ال comp.
ما راح يكون متساوي بجميع ال shells تاعون ال crystals

Determination of phase weight fractions

- *If there is only one phase, then the weight fraction of either solid or liquid will be 100 wt%*

و هون كان ال comp ما تغير

- *Examples:*

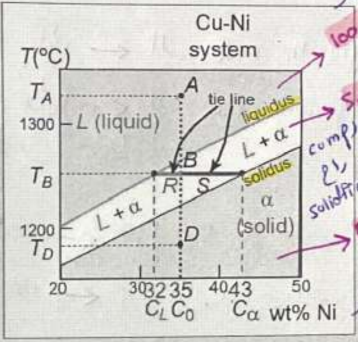
Consider C_o = 35 wt% Ni

At T_A: Only Liquid (L) present

$W_L = 1.00,\ W_\alpha = 0$

At T_D: Only Solid (α) present

$W_L = 0,\ W_\alpha = 1.00$



At T_B :-

$W_L = \frac{43-35}{43-32} = 73\%$

✱ اذا بدي اطلع ال comp :-

لل Liq ← (Ni) 32% ، (Cu) 68%

لل Solid ← (Ni) 43% ، (Cu) 57%

Determination of phase weight fractions

- *If there is only one phase, then the weight fraction of either solid or liquid will be 100 wt%,*
- *Example:*
- *Determine phase amount in the 2-phase Region:*

1- *Draw the tie line.*

2- *Determine the distance from the point of interest (B) to each of the phase boundaries.*

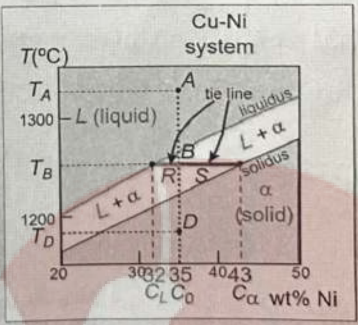
$R = C_o - C_L$ and $S = C_\alpha - C_o$

3- *Mass fraction (wt%) of each phase:*

$$W_L = \frac{S}{R+S} = \frac{C_\alpha - C_o}{C_\alpha - C_L} = \frac{43-35}{43-32} = 0.73$$

$$W_\alpha = \frac{S}{R+S} = \frac{C_o - C_L}{C_\alpha - C_L} = \frac{35-32}{43-32} = 0.27$$

(for solid)



i.e. 73% of the mass is liquid and 27% of the mass is solid.

✱ ال variation لل comp بين ال shells

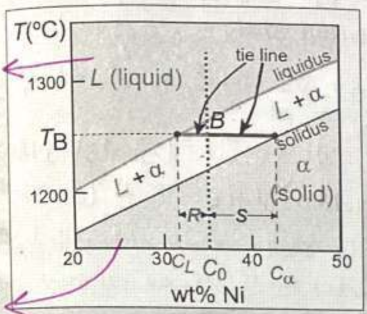
بناءً على درجة الحرارة اللي تصير عليها

ال solidification

Scanned with CamScanner

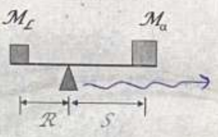
The Lever Rule → الفكرة بال LR انا دبه احط ال balance

- Tie line – connects the phases in equilibrium with each other – also sometimes called an isotherm



What fraction of each phase?

Think of the tie line as a lever (teeter-totter)



$$M_\alpha \times S = M_L \times R$$

بصير اعمل ال support بالنص عشان ال balance

$$W_L = \frac{M_L}{M_L + M_\alpha} = \frac{S}{R+S} = \frac{C_\alpha - C_o}{C_\alpha - C_L}$$

$$W_\alpha = \frac{R}{R+S} = \frac{C_o - C_L}{C_\alpha - C_L}$$

* وبس في عنا 2 phases مع بعض بقدر استخدم ال LR

عشان احدد ال weight fraction لدي two phase

سواء كانوا ال 2 ← solid اركان فيهم واحد solid و واحد Liq

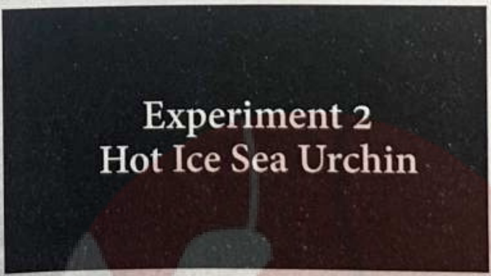
زيادة ال cooling rate ← ال deriving force تصير اعلى ← ال number of nuclei تزداد

بس الحجم بقل

Development of microstructure in isomorphous alloys

Equilibrium (very slow) cooling

- Solidification in the solid + liquid phase occurs gradually upon cooling from the liquidus line.
- The composition of the solid and the liquid change gradually during cooling (as can be determined by the tie-line method).
- Nuclei of the solid phase form and they grow to consume all the liquid at the solidus line.



احيانا لستخدموا ال nucleating agent لتحسين عملية ال crystallization

ask : believe & recieve
Scanned with CamScanner

بال isomorphous عنا منطقة وحدة بس اللي فيها two phases together
اللي هي منطقة ال Solidification المحصورة بين ال Liquidus Line
وال solidus Line.

* اذا كان ال cooling rate عالي ← ال growth rate تكون عالي
* اذا كان ال cooling rate بطيء ← ال growth rate تكون بطيء
بالتالي ال crystals تكبر ويصير حجمها كبير

ال crystals ما بتاخد وقت كافي انها تكبر وتعطي حجم اكبر

* كل ما سرعت ال nucleation rate ← حجم البلورات يصير اصغر وعددها اكثر
* كل ما بطأت ال nucleation rate ← حجم البلورات يصير اكبر وعددها اقل

* بعمليات ال Solidification بقدروا يتحكموا بعدد و حجم ال Crystals عن طريق ال cooling rate

---

* ال nucleation وال growth خلال عملية ال Solidification هم اللي بعطونا ال final str. للمادة.

* قلنا بال meta stable zone اذا ثبتنا درجة حرارة constant المفروض ما يصير variation بال weight fraction ولا بال comp.
هون بنحكي كيف constant T لوقت معين، بس لو تركناها ع constant T لا، ما بالتأكيد المادة راح تتحول بالكامل liq لـ solid - زي ال isothermal crystallization
انا بثبت الحرارة وبترك العينة بلاقي صارلها solidification بس بتاخذ وقت اطول.

* بالصناعة بعملوا controlled cooling rate يعني يبردوا ببرنامج معين مثلاً 10 او 20 او 100 درجة بالدقيقة وهيك...
بالتالي ال meta stable ما تطول وتكون لحظية.

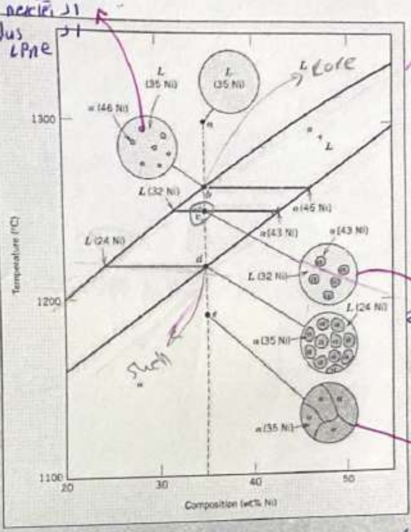
* في factor مهم جداً تأثر على عملية ال crystallization اللي هو ال nucleation
قديش سرعة تولد ال nuclei بحيث كل ما كان عنا driving force اعلى حتى تولد ال nuclei
كل ما صار عنا nuclei اكثر و later راح يتبعها ال growth

كل ما نعمل nucleation اكثر كل ما ال final str. صار فيه بلورات اكثر
وحجم هاي البلورات بصير اصغر، وهيك انا بقدر اتحكم بحجم ال crystals
بناءً على ال nucleation rate

ask believe & recieve

Scanned with CamScanner

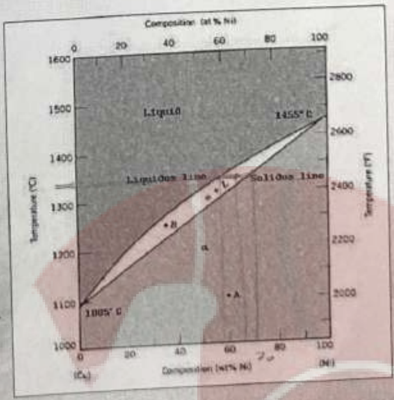
- A ($T>1300$ °C): start as homogeneous liquid solution.
- B ($T \sim 1260$ °C): liquidus line reached. α phase begins to nucleate. $C_\alpha = 46$ wt% Ni; $C_L = 35$ wt% Ni
- C ($T = 1250$ °C): calculate composition and mass fraction of each phase.
- D ($T \sim 1220$ °C): solidus line reached. Nearly complete solidification. $C_\alpha = 35$ wt% Ni; $C_L = 24$ wt% Ni
- E ($T<1220$ °C): homogeneous solid solution with 35 wt% Ni.



Example problem

65 wt% Ni - 35 wt% Cu alloy is heated to T within the α+L region. α-phase contains 70 wt% Ni, determine:

A) Temperature of the alloy.
B) Composition of the liquid phase.
C) Mass fraction of both phases.



بلشت اعمل solidification للعينة ، من a الى d العينة ما راح تصيرلها شي ، ما فيها ولا بلورة only molten solution

* ال comp عند b لل liq ال 35% وال solid بكون فيها 46% من ال Ni

* عند c بنلاحظ ال liq بال Ni صار 32 ، نزل عن ال 35 لانو معظمه بكون راح لل solid اللي بال core ، وال solid صار يقل نسبة ال Ni فيه صار 43%

* بس فوق ال solidus Line بكون عنا معظم العينة تحولت ل solid ، حجم البلورات كبر واستهلكوا معظم ال molten state وضل عنا droplet من ال molten state

* عند النقطة d ال solid عنا 35% واقل نسبة ممكنة لل Ni بال liq (24%)

* هلأ اذا بدنا نشتغل العكس ، بلشنا من عند e وبدنا نصهرها ونوصلها لل molten state

* اللي ببدا بالانصهار هو ال external shell اللي فيه اقل نسبة Ni واعلى نسبة cu ولانو نسبة ال cu بال shell الخارجي اعلى ، ببدا بالانصهار
تدريجيا نطلع لفوق شوي بتزيد نسبة ال liq وتقل نسبة ال solid ، اللي بصير بذوب هو ال shells اللي فيها Ni اقل ، كل ما دخلنا جوا بالبلورة نسبة ال Ni تصير تزيد يعني انو بدها درجة حرارة اعلى عشان يصيرلها melting
بالتالي عند (h) هدول آخر droplet بكونوا اعلى شي بال comp تاع ال Ni

Madar
ask believe & recieve

Scanned with CamScanner

* ال cooling rate بأثر على عملية ال growth

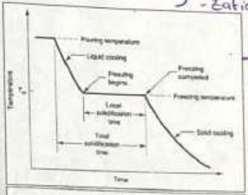
* عادة عنا another factor بأثر اللي هو ال diffusivity عكس ال diff دورها

ال solid مش كثير بكبر ال cooling rate . صح في diffusion بس limited مش هو ال major factor اللي بأثر على عملية ال crystallization

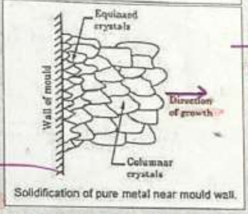
Development of microstructure in isomorphous alloys

- Non-equilibrium cooling → fast cooling
- Fast cooling, but how fast?
  - → Fast w.r.t. diffusion.
- Since diffusion rate is especially low in solids, consider case where:
  - ✓ Cooling rate >> diffusion rate in solid
  - ✓ Cooling rate << diffusion rate in liquid

(equilibrium maintained in liquids phase)



→ very fast



Solidification of pure metal near mould wall.

→ very slow

very cold surface → ال Nucl. بتبلش عليه

diff rate → gas > Liq > solid

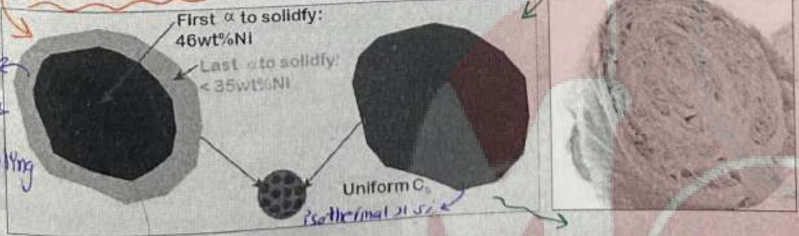
* عادة عملية ال cry. بتصير على ال coolest surface

* ال core فيه comp مختلف عن ال shell

* لما نحكي عن ال comp لل crystal ناخذها ك uniform & average ما نحكي بين آخر النواة تاعت البلورة ، لكن شرحنا تأثير هاد بال melting

Cored vs. Equilibrium Phases

- C_α changes Composition Upon Cooling
  - First α to solidify has C_α = 46 wt% Ni → at core
  - Last α to solidify has C_α = 35 wt% Ni → at last shell
- Fast Cool Rate — Slow Cool Rate
  - Cored structure — Equilibrium structure



هاد الشي بصير لما very fast cooling rate

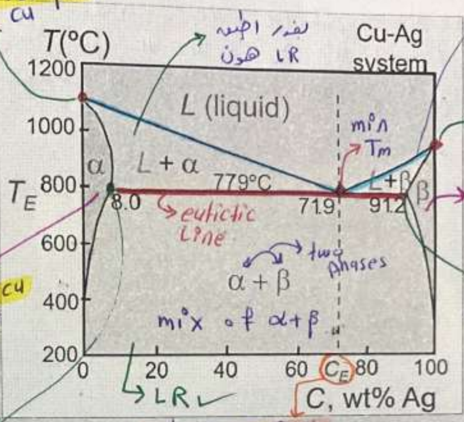
لما احكي ال solid state فيه 35% من ال Ni هاد بكون ال ave لكل ال shells مش كل shell لحاله

ask believe & recieve

Scanned with CamScanner

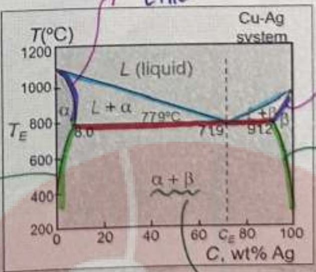
3- Binary Eutectic Systems

- Binary: 2 components.
- Eutectic ⟹ "easily melted, has a special composition with a min. melting T".
- T_m (Cu = 1085 and Ag = 961.8 °C)



Binary Eutectic Systems

- Single phase regions:
  1. α-phase (solid solution rich in Cu).
  2. β-phase (solid solution rich in Ag).
  3. L-phase (liquid solution).
- Phase coexistence regions:
  1. α + β phases (limited solubility of Ag in Cu and vice versa lead to 2 different solid solution phases).
  2. α + L and β + L phase regions.



- Tie lines and Lever Rule can be applied in the 2-phase regions.
- Solvus line separates one solid solution from a mixture of solid solutions.

Scanned with CamScanner

تحت ال Tm لل pure ← Ag او Cu العينة كلها solid وفوقها العينة كلها Liq
(تعتبر Sharp Tm للاشياء ال pure)

* فوق ال Liquidus Line المادة بتكون molten بغض النظر عن ال comp. ، وتحت
هاد ال Line المادة بدها تبلش تتبلور

* α و β التسمية solid بس كل واحد الو diff micro str. عشان هيك تصير
عنا second phase لا ما بتكون عنا 100% solubility ، بال isomorphous كان
يطلع phase واحد اللي هو α اما بال Binary صار تطلع 2 solid phases اللي هم α & β

* المادة عند هاد ال comp خط (C_E) تتحول من Liq ل Solid مثل ال pure
والعكس من ال Solid لل Liq (صار الها Sharp Tm)
ال eutectic str. لل alloy تسلك نفس ال pure material

* هاد ال eutectic comp بوجد لما العينة يكون فيها 71.9% من ال Ag بال Cu
(اول مرة لدرك نصهرها ونبلورها عشان نصير عندك ال alloy) اذا رجع نصهر
ال alloy بلاقيها تنصهر عند حرارة 779 بشكل مفاجئ زيها زي ال pure
هاد ال weight fraction وال comp. نسميه ال eutectic comp. وهاي الحرارة نسميها
eutectic temp ، ا

* ال eutictic Line بربط بين ال point تاعت ال max. solu. of Ag in Cu
وال point تاعت ال max. solu. of Cu in Ag

* عنا three solid region هاد ال diagram و two region solid & Liq
عشان هيك لما نضيف زيادة بال solute لل solvent بكون اله Limited solubility
تصير تتشكل second phase

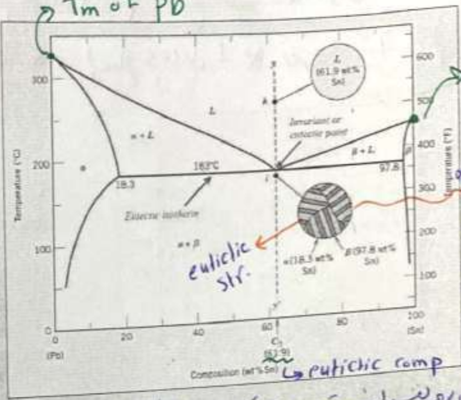
Madar ask believe & recieve

Scanned with CamScanner

* ال eutictic comp نفس سلوك ال pure ← it will melt suddenly & it will crystalize quickly

* ال eutictic str. مش cored str. ما في core و shell في layer عبارة عن uniform comp.

- Eutectic or invariant point - Liquid and two solid phases co-exist in equilibrium at the eutectic composition C_E and the eutectic temperature T_E.
- Eutectic isotherm - the horizontal solidus line at T_E.



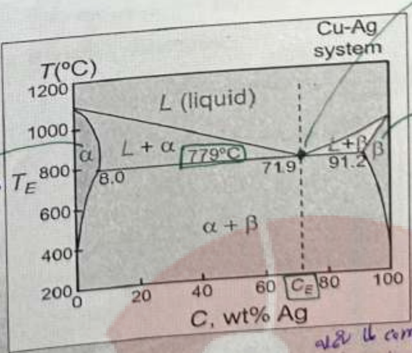
نسبة Sn بال α هي عبارة عن max. solubility الها اللي هي 18.3

هي طبقات β تختلفوا عن بعض ؟ كل طبقات β الها نفس النسبة عن Sn وكذلك ال طبقات α

تحت حرارة 183 لل alloy كعنصر هاي اللي فيها 61.9% لل مادة عبارة عن solid فيه 2 structure مع بعض α و β وبكونوا على شكل خطوط ومنصفه layer لل α و layer لل β

Ex.: Cu-Ag system

- 3 single phase regions (L, α, β)
- Limited solubility:
  α: mostly Cu
  β: mostly Ag
- T_E: No liquid below T_E
- C_E: Composition at temperature T_E



* C_E ← هاد ال comp اللي بعطي cooling رح يطلع α فيها 8% max Ag و β فيها 91.2% max Ag

- Eutectic reaction
- $L(C_E) \xrightarrow{\text{suddenly}} \alpha(C_{\alpha E}) + \beta(C_{\beta E})$

$$L(71.9\ wt\%\ Ag) \leftrightarrow \alpha(8.0\ wt\%\ Ag) + \beta(91.2\ wt\%\ Ag)$$

↓ Cooling ↑ Heating

Madar ask believe recieve

Scanned with CamScanner

هاد ال eutictic str عا انو كل ال blue فيهم نفس نسبة Sn
وال pink كمان فيهم نسبة معينة من Sn لا يتغير عنهم ولانهم عبارة عن
uniform str. كل البلورات زي بعض راح يذوبوا Suddenly ما في
اشي core واشي shell

← مجرد ما اعمل cross على ال eutictic line خلال عملية
ال solidification راح يظهر هاد ال str. مباشرة . ال Layers تاعت α و β يصيروا
يتكونوا مع بعض ويصير استهلاك لل Liq ب very high rate.

Madar
ask believe & recieve
Scanned with CamScanner

EX 1: Pb-Sn Eutectic System

➢ For a 40 wt% Sn-60 wt% Pb alloy at 150°C, determine:

1- The phases present

Answer: $\alpha + \beta$ → at equilibrium ثابتين ما تغيروا

2- The phase compositions

Answer: $C_\alpha = 11$ wt% Sn

$C_\beta = 99$ wt% Sn

3- The relative amount of each phase

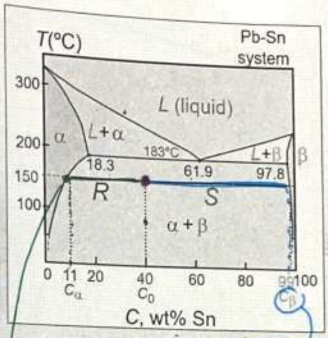
Answer: apply LR

$$W_\alpha = \frac{S}{R+S} = \frac{C_\beta - C_o}{C_\beta - C_\alpha} = \frac{99-40}{99-11} = \frac{59}{88} = 0.67$$

↳ weight fraction of α

$$W_\beta = \frac{R}{R+S} = \frac{C_o - C_\alpha}{C_\beta - C_\alpha} = \frac{40-11}{99-11} = \frac{29}{88} = 0.33$$

↳ weight fraction of β



من هون بنقرأ نسبة Sn بال α

نسبة Sn بال β

* هون كنا نعدينا ال eutictic line والعينة انصهرت (جزء الي انصهر مش كلها)

انا لما انعدا هاد ال line الي نصهر هو كل ال eutictic str. والي بضل هو ال α str الي كان أصلاً موجود قبل ما نتعدا ال eutictic line

EX 2: Pb-Sn Eutectic System

➢ For a 40 wt% Sn-60 wt% Pb alloy at 220°C, determine:

1- The phases present:

Answer: $\alpha + L$

2- The phase compositions

Answer: $C_\alpha = 17$ wt% Sn

$C_L = 46$ wt% Sn

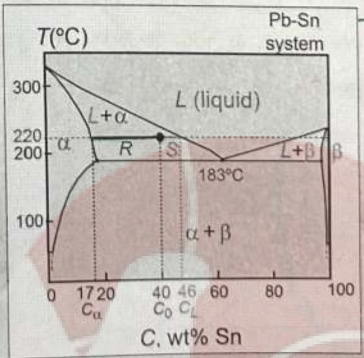
3- The relative amount of each phase

Answer:

$$W_\alpha = \frac{C_L - C_o}{C_L - C_\alpha} = \frac{46-40}{46-17} = \frac{6}{29} = 0.21$$

نسبة ال liq من ال total

$$W_L = \frac{C_o - C_\alpha}{C_L - C_\alpha} = \frac{23}{29} = 0.79$$



ما عنا β اختفت

Scanned with CamScanner

ممكن من النظر أعرف النسبة

→ اذا كان هاد الطول الكلي ، وجزأته لـ 3 اقسام متساوية
لما آجي بدي اشوف β لاحظ الضلع المقابل اللي عمل الثلث
(ثلث الطول الكلي) نطلع نسبتها حوالي 33%

* لما باجي اشوف α . الضلع المقابل لـ α تقريباً ثلثين الطول الكلي

Madar
ask believe & recieve
Scanned with CamScanner

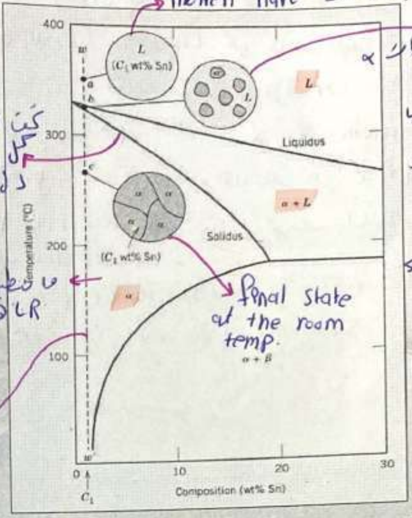
? microstructure شو الي بصير بال

Region 1: below the max. solubility of Sn in pb

Microstructural Developments in Eutectic Systems I

- For alloys for which $C_o < 2$ wt% Sn
- Result: at room temperature
  - ✓ Polycrystalline with grains of α phase having composition C_o

α فقط ما عنا β



mollen have 2% Sn & 98% pb

بتبدا تظهر بلورات α مجرد ما انقطع ال Liquidus line وبتظل هاي البلورات تكبر لحتى توصل لل Solidus line

بس هاد ال line كل العينة بتحول ل Solid α

ما بنطبق LR هون

final state at the room temp.

بنزل بالحرارة ال microstr. ما تغير لغاية ما نوصل ال room temp

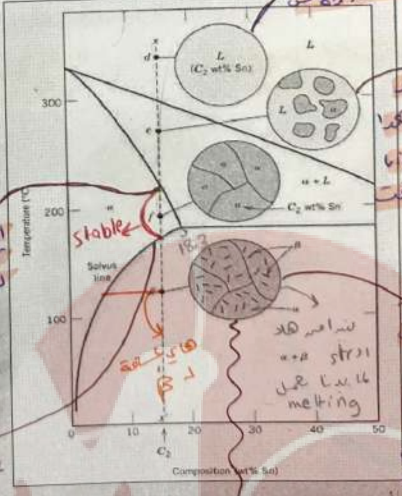
* نسبة Sn و pb هاي نسبة ثابتة ما تتغيروا لهيك ما بنطبق ال LR

Yousef Mubarak — Materials Science

Region 2: above 2% Sn and below 18.3

Microstructural Developments in Eutectic Systems II

- For alloys for which 2 wt% Sn < C_o < 18.3 wt% Sn (max. solubility)
- Result:
  - ✓ Initially liquid + α
  - ✓ Then α alone
  - ✓ Finally at temperatures in α + β range: Polycrystalline with α grains and small β-phase particles



منها مثلاً 15% Sn و 85% pb

تظهر بلورات α مجرد ما انقطع ال Liquidus line وكل ما نزلنا تحت حجم α بزيد

stable 18.3

لا بوصل ال Solidus line كل ال liq اختفى وكل ل Solid α فقط

هاي ال β الي ظهرت مش eutectic β هي عبارة عن β عادية ظهرت بسبب ال ذوبان على ال Solvus line

بنبدأ هاد ال α+β str. بالعادة عمل melting

هاي ال β

لبعد هاد ال line بصير يظهر β على ال α، يعني بصير بتحول جزء second phase عبارة عن β و α و ظهر ل β على حساب α يعني نسبة α بدها بصير تقل

حدود ل α هي grains كلهم ل β grains ولهيك عشان اعرف قديش عنا α و β لطبق LR

Yousef Mubarak — Materials Science

Scanned with CamScanner

* ال α Solid اللي ظهرت عند ال Solidus Line راح تضل stable لغاية ما نوصل للـ Solvus Line

* مجرد ما اوصل ال Solvus Line راح ادخل لـ Area فيها two diff. phases together

طب العكس، لما بدنا نعمل melting :-

العينة rich in α وفيها شوية β عند ال Solvus Line بتحول ال β لـ α
بس صارت العينة Solid ما في Liq بتحول α لغاية ما نوصل لل Solidus Line تبدأ α
تنصهر ولما نوصل ال Liquids Line كل ال α solid بتحول لـ Liquid

Madar
ask : believe & recieve

Scanned with CamScanner

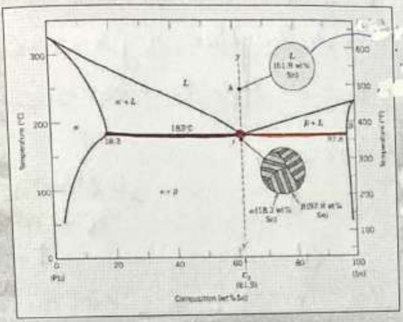
Region 3 :- at eutictic comp

Microstructural Developments in Eutectic Systems III

- For alloy of composition $C_0 = C_E$ → at eutictic
- Result: Eutectic microstructure (lamellar structure)
  - ✓ Alternating layers (lamellae) of α and β phases.

* ال eutictic str تظهر كل مرة بعمل cross على ال eutictic line مش ال eutictic comp.

* متى انا بعمل cross ع ال eutictic line؟ لما اعمل cross ع ال line بين 18.3 و 97.8 كل مرة بعمل cross ع هاد ال line كل ال Liq اللي تكون موجود بتحول ل solid eutictic



Micrograph of Pb-Sn Eutectic microstructure

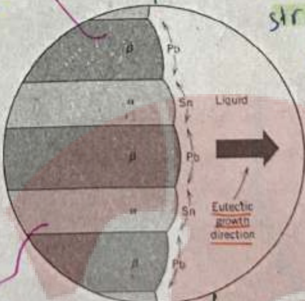
160 μm

* عنا ٣ حالات :-
١- فوق ال 18.3 وتحت ال C_E
٢- فوق ال C_E وتحت 97.8
٣- ع ال C_E نفسه

Microstructural Developments in Eutectic Systems III

هاد مش بس Ag هو عبارة عن Ag f Cu بس ال max ل Ag ممكن يوصل 91.2

ال growth بكون very quick and fast



* α تنصير تبني str تستقطب ال Cu مع شوية Ag
* β تنصير تستقطب ال Ag مع شوية Cu

بعني مش هاد عبارة عن Ag & Cu وأعلى ال max لل Ag بوصل فقط 8%
بصير Suddenly تظهر ال Layer α ويظهر Layer β

adar ask & believe & recieve
Scanned with CamScanner

اذا بدنا نشتغل above max. solubility و belwo eutictic of sn in pb

يعني بين 18.3 و 61.9 :-

مثلاً اخدنا عينة منها 40% Sn ، هاي العينة على حرارة عالية يعني انها molten لحتى نعمل cooling لحد ما نوصل للـ Liquidus Line مجرد ما وصلنا هاد الـ Line وتعديناه بتبدأ تظهر بلورات α وبتصير تكبر لغاية ما نوصل فوق الـ eutictic Line لما نوصل Just above eutictic Line بلاقي انو هاد max. growth of α بس ما بنستهلك كل الـ sample (ضل عنا جزء Liq وهاد هو الـ max. size of α) ليش ما اختفى هاد الـ Liq ؟ ما اختفى لانو كنا موجودين بالمنطقة above the max. solubility of Sn واقل من الـ eutictic str.

هلأ بدي ابرد اكتر ، تعدينا الـ eutictic Line ولانو عملنا cross عليه كل الـ Liq اللي كان ضايل بتحول لـ eutictic str. بشكل suddenly

Madar ask : believe & recieve

Scanned with CamScanner

* كل ال liq اللي بكونه موجود بتحول ل eutictic str. مجرد ما نصل على ال close eutictic line

Microstructural Developments in Eutectic Systems IV

- For alloys for which 18.3 wt% Sn $< C_0 <$ 61.9 wt% Sn
- Result: α phase particles and α eutectic micro-constituent
  - ✓ Just above T_E:

C_α = 18.3 wt% Sn $\quad C_L$ = 61.9 wt% Sn

$$W_\alpha = \frac{S}{R+S} = 0.5$$

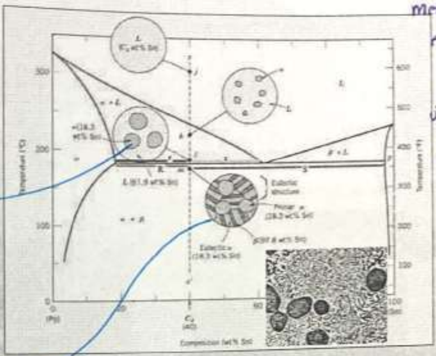
$$W_L = (1 - W_\alpha) = 0.5$$

  - ✓ Just below T_E:

C_α = 18.3 wt% Sn $\quad C_\beta$ = 97.8 wt% Sn

$$W_\alpha = \frac{S}{R+S} = 0.73$$

$$W_\beta = (1 - W_\alpha) = 0.27$$



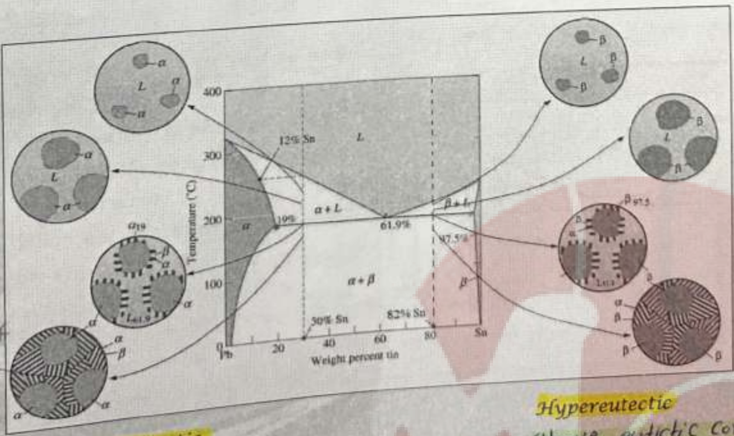
max. size of α

لما نصل melting كل ال eulictic structure بختفي وبضل ال 1st grain ال * فوق ال eutictic line

final comp هاد ال
two type of α and one type β
تتشكل ما أكون بين ال 18.3 و 61.9

* ال two type α هي α اللي تشكلت فوق الـ eutictic line وال α اللي تشكلت بال eutictic str. وعنا نوع واحد β اللي هو ال β eutictic فقط

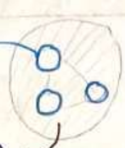
Yousef Mubarak
Material Science



Hypoeutectic
below eutictic comp

Hypereutectic
above eutictic comp

Material Science
Yousef Mubarak
ask : believe & recieve
Scanned with CamScanner



هدول ال grains تاعون α اللي تشكلوا فوق ال eutectic line

هدول ال layers تبعون ال eutectic str تبعون α و β

ل نصير

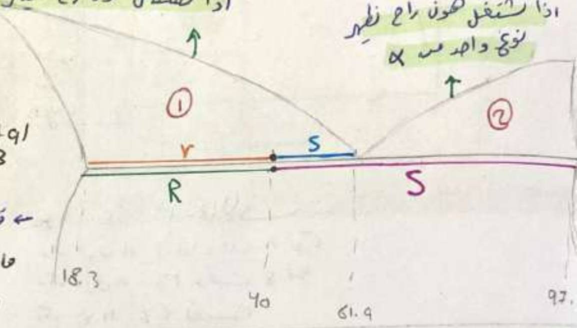
انا بيدا هاد ال str مجرد ما اتعدا ال eutectic line راح نصير كل ال eutectic str. ال α وال β مع بعضهم و بختفوا مرة وحدة وبضل α اللي تشكلت قبل ال eutectic line بعديه تنصير تدوب شوي شوي لحد ما نوصل عند ال liquidus line بتختفي اخر grain ل α موجودة

اذا اشتغل هون راح نظهر عنا نوع واحد من β واللي

قديش في عنا β eutectic str ?

$$\frac{40-18.3}{97.8-18.3} \rightarrow \frac{R}{S+R} \rightarrow \text{total } \beta$$

← قديش ال weight fraction لل α بال eutectic
ما بقدر احسبها مباشرة لانو عندي 2 type من α ، α فوق و α تحت



ل آخد $\frac{S}{S+R}$ راح يعطيني total α

طيب اذا بدي اعرف قديش عندي eutectic α لازم اعرف قديش كان عنا α قبل ما نوصل لل eutectic str. ← نطلع فوق ال eutectic line وشوف قديش عنا α . ← $\frac{s}{s+r}$ هاي pre α

صرنا نعرف ال pre α وال total α نطرح ال pre من ال total يعطينا قديش ال eutectic α (يعني طبقنا LR مرتين)

بالمنطقة ② راح نصير العكس

ل ابدا اعمل solidification راح نوصل للـ liquidus line ونبدا بلورات β تظهر وتضل β تكبر لحد ما نوصل عند ال eutectic line بنلاحظ انو في جزء من ال liq تحول ل β وجزء آخر لا زال liq . مجرد ما عملنا cross لل eutectic line temp ال كل ال liq بيتحول ل str زي الموجود بالصورة ، بس بكون انو هلأ عنا نوعين من β مش α

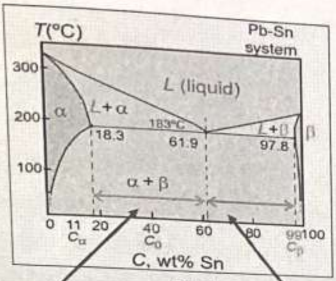
هلأ لما نحسب ال total β راح نشتغل LR مرتين، مرة فوق ال eutectic line ومرة تحت ال eutectic line لنطلع ال total weight fraction

* لما نجي نحسب ال max. weight fraction لل α اللي تشكلت ك grain فوق ال eutectic line
بالمنطقة ① = $\frac{(61.9-40)}{(61.9-18.3)}$

Madar ask believe & recieve

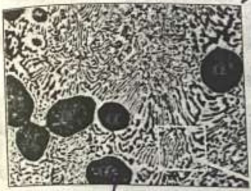
Scanned with CamScanner

Hypoeutectic & Hypereutectic



Eutectic 61.9

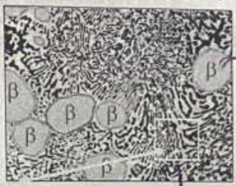
hypoeutectic: C_o = 50 wt% Sn



eutectic: C_o = 61.9 wt% Sn

eutectic micro-constituent

hypereutectic: (illustration only)



α grain اللي تشكلوا above the eutictic Line

هون ما في grain لا لل α ولا لل β كلهم بكونوا موجودين بال layers

grain β اللي تشكلوا above the eutictic Line

eutictic str contain layer of α and β

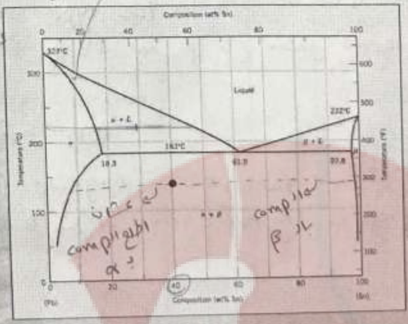
Exercise:

(A) At 150 °C for a 40 wt% Sn / 60 wt% Pb alloy:

1. What phases are present? two phases α and β
2. What are the compositions of the phases present?
3. What are the mass fractions of the phases? → LR

(B) For a 10 wt% Sn / 90 wt% Pb alloy:

1. At what T, can a state with 50% liquid be achieved?
2. At 220 °C, how much Sn must be added to achieve the same state (50% liquid)?



بنشتغل هون بال α و β

لو وين لازم اضيف ع ال alloy اللي فيها ١٠٪ . بحدد الدرجة الحرارة وبعدها بضيف مسافة وبشوف قديش لازم ال comp يكون عندها وبطرح منه ال ١٠ عشان اعرف قديش لازم اضيف

Scanned with CamScanner

تحت الـ eutectic line اذا كنت تشتغل بالمنطقة :-

② راح تطلع الـ total تحت الـ line هي الـ α ، كل الـ α اللي تشكلت هي eutectic α

① راح تطلع الـ total تحت الـ lines هي β ، كل الـ β اللي تشكلت هي eutictic

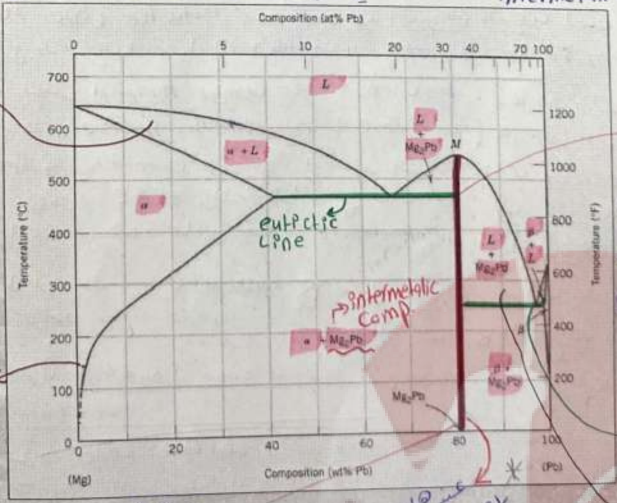
ask ; believe & recieve

Scanned with CamScanner

4- Intermetallic Compounds

- Besides solid solutions, intermetallic compounds, that have precise chemical compositions can exist in some systems.
- Intermetallic compound exists as a line on the diagram - not an area - because of stoichiometry (i.e. composition of a compound is a fixed value).
- When using the lever rules, intermetallic compounds are treated like any other phase, except they appear not as a wide region but as a vertical line.
- The phase diagram can be thought of as two joined eutectic diagrams, for Mg - Mg_2Pb and Mg_2Pb - Pb.

Yousef Mubarak



Yousef Mubarak

LL الطبيعة ال LR بعتبر هاد ال intermetalic comp. لإنو boarder
ونكونه هو عبارة عن limit

α ← عبارة عن solid microstr. فيه high conc. من Mg
وكمية قليلة من pb

ال max. solubility لل pb بال mg تقريباً 41.5 يعني لحد 41.5 انا بقدر
اشكل α تكون rich in Mg ومنها تقريباً 20% max. من pb

* ع اليمين بكون عنا two type of intermetalic compl واحد above ال eutictic line
وواحد below ال eutictic line وفي نوع واحد من β راح نتشكل بعد ال eutictic str

* نلاحظ عنا two eutictic composition

* هو فعلياً فصلي ال phase diagram لـ two phase diagrams لأنه كلهم عبارة عن نفس
ال alloy ، بختلف ال behaviour تبع ال crystallization لل تحت أو فوق ال 80

Madar ask : believe & recieve

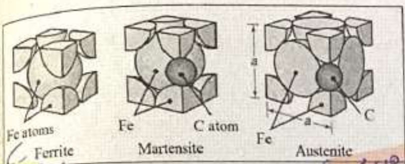
Scanned with CamScanner

في عنا solid منهم 6 موجود regions ←
في عنا 3 منهم single phase regions ←

آخر phase diagram هو

5- Iron-Carbon (Fe-C) Phase Diagram

Ferrite Iron ← α

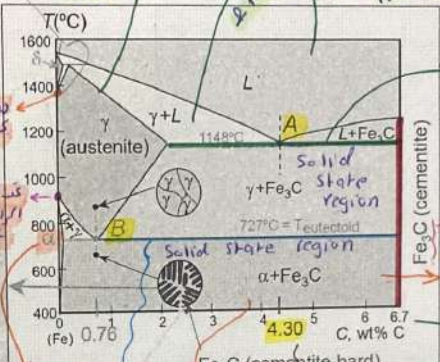


Two important points
→ from liq to solid

✓ Eutectic (A): $L \longrightarrow \gamma + Fe_3C$

✓ Eutectoid (B): $\gamma \longrightarrow \alpha + Fe_3C$
→ at 727 C
→ from solid to solid

Result:
Pearlite = alternating layers of α and Fe_3C phases



Notes: ال liq ال line هاد يعني ال ; two state & two phases ; molten homogenuous material of Iron & carbon ; eutictic line ; intermetalic compound ; هون ما عنا austenite ; Solid state region ; ال x-axis ما فيه 100% وهاد اللي بميزه عن ال other phase diagram ; eutictic comp. ; eutictoid line ; كل الحديد بالحالة عبارة عن هاد ال str ; ال α هي كثير ال 400 … وبتحكي حكي عن ال α و Fe_3C ; هاد ال str ما بتحصل الا اذا عملنا cross لل eutectoid line ; عنا 5 regions منهم two phases

Yousef Mubarak

Materials Science

ومن عند النقطة ① الى ② ما راح يصير ش ال microstructure لا austenite راح يظل موجود ل هاي الفترة

* لا انعدا ال solvus line بتصير تكون عنا α على حساب γ ; بصير هاد ال ferrite تكبر وتزيد ال weight fraction تاعه لحد ما نوصل فوق ال eutictoid line

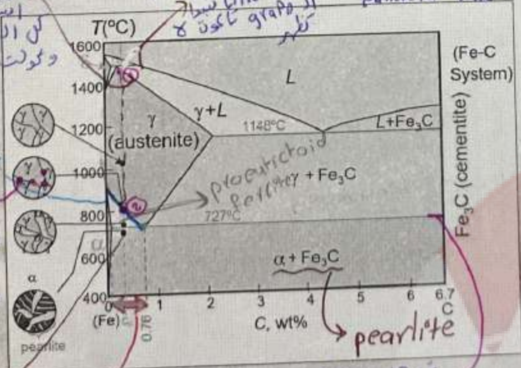
لو عندي عينة فيها 0.4%
total ferrite:-

$$\frac{6.7 - 0.4}{6.7 - 0.02}$$

cementite :-

$$\frac{0.4 - 0.02}{6.7 - 0.02}$$

Hypoeutectoid Steel



Hypoeutectoid Steel

Ferrite above the eutictoid line

$$\frac{0.76 - 0.4}{0.76 - 0.022}$$

Notes: solvus line ; ال grains تكون ال ferrite ; low carbon steel area ; كل ال 0.76 وبدون 0.02 لحد 0.02 بقدر اطلع ال ferrite ; two type of α and one type Fe_3C ويكون هاد ال final micro str ; pearlite ; Layer α and Fe_3C ; من ال total α بنطرح هاد بنعرف قديش عنا pearlite α

Yousef Mubarak

* اذا زدنا كربون اكثر من 6.7 بصير agglomeration للكربون وبتشكل ال graphite

* الـ iron-carbon phase diagram لما بدي اعمله extension لل 100 ، بعد ال intermetalic راح يطلع معنا another part of phase diagram ولانو الجزء اللي هو بهمنا راح تتشكل graphite اذاً ما بدنا اياه لانو راح يحول ال str. تاع الحديد لـ very week material هوا strong material هاي imperfection عالي بال str. لا ما بدي اياه. هاد لسبب ال phase diagram يوقف عند 6.7

* عند ال 6.7 تتشكل عنا ال cementite = Fe_3C هو عبارة عن intermetalic comp. بنلاحظ انو موجود بكل ال iron alloys

* كل الحديد بحياتنا هو عبارة عن خليط من cementite & ferrite

* المعروف حسب ال size نوع ال iron انو يتشكل BCC على ال room temp. اسمه ferrite ويكون stable ونسبة الكربون فيه مهملة

* لما نضيف كربون بنسبة اعلى بصير الكربون حط حاله باماكن مش مخصصه لل atom لانو حجم ذرة الكربون اصغر من حجم ذرة الحديد فلذلك مش منطقي اعمل Substitution بالتالي بكون عنا interstitials

* هاد ال str للكربون مع الحديد نسميه Martensite هاد ال Martensite برجع بتحول ال str تاعه بوجود الكربون ال FCC لما بصير ال str تاع الحديد Austenite

• كل هاي بحرارة (912) بكون عنا Martensite str اللي هو BCC لما نتعدا درجة الحرارة هاي بتحول ال str لـ FCC برجع عند ال 1390 تقريباً وبتحول لـ BCC

* ال BCC هو بكل انواع الحديد ما عدا ال austenite بكون ال str فيه FCC

* لو عندي عينة فيها 2% وكانت molten لما ابدا تبريد واوصل ال Liquidus Line لتبدا تظهر ال grains تاكون ال austenite بعدين اذا بنزل فيها اكثر بصير يكبر حجم ال austenite لما نوصل ع ال eutictic Line بكون لسه جزء كبير من ال liq لسه موجود مجرد ما اتعدا هاد ال line كل ال liq بتحول لـ mix من ال austenite وال cementite ع شكل Layers لما نضل ننزل بصير ال weight fraction بتغير لل α و Fe_3C ، ولما نتعدا الخط الازرق بظل عندي بس ال str تاع ال ferrite وال cementite (α & Fe_3C) اللي صار انو كل ال solid austenite بحول لـ cementite & ferrite وبختفي، اذاً كل ال 727 ما في عنا austenite ، ال austenite بتواجد فقط فوق ال 727°C ولانو بتواجد ع هاي الحرارة فهو not stable microstructure عشان هيك ما عنا في الحياة عادة تكون austenite ع ال operating conditions العادية ونقدر نستخدمها

* شو لازم اعمل اذا بدي austenite يضل موجود وما يختفي ؟! بنعمل Quenching يعني sudden sharp cooling مثل كأني بجمده ع الوضع اللي هو موجود فيه

* لما ال liq يتحول suddenly لـ solid نسميه eutictic ، لما ال solid يتحول لـ another solid نسميه eutectoid

(51) مجرد ما نلامس ال eutictoid line بكون عنا max amount of ferrite اللي تشكلت قبل ال eutictoid str. مجرد ما تعدينا ال line ال α بتحول suddenly لـ pearlite

* عشان ال steel اللي بتكون تحت 0.76 وفوق 0.02 بنسمي ال str او ال steel اللي بطلع هو عبارة عن hypoeutectoid steel او low carbon steel

ask believe & recieve

Scanned with CamScanner

Hypoeutectoid Steel

- *Just above the eutectoid line*

$$W_{\alpha} = \frac{s}{r+s}$$

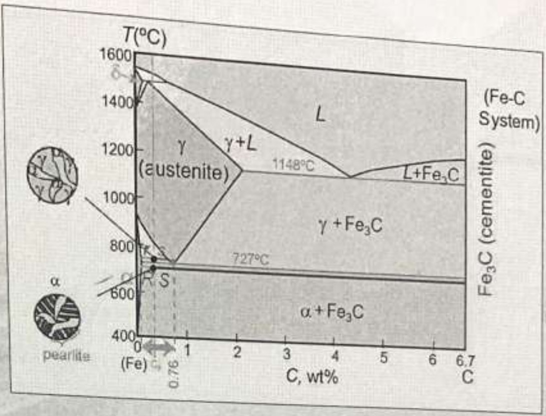
$$W_{\gamma} = (1 - W_{\alpha})$$

- *Just below the eutectoid line*

$$W_{pearlite} = W_{\gamma}$$

$$W_{\alpha} = \frac{S}{R+S}$$

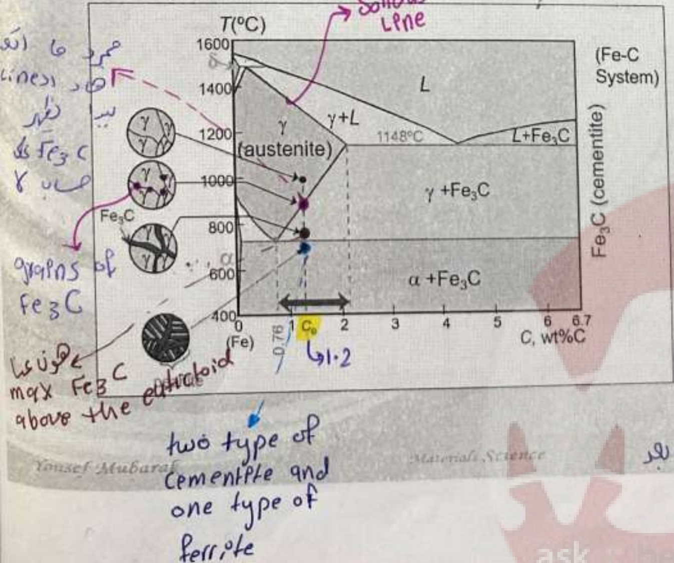
$$W_{Fe_3C} = (1 - W_{\alpha})$$

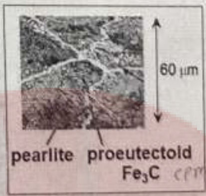


مجرد ما عملنا cross على ال eutectoid ال cementite
اللي تشكل رح ما تتغير لكن كل ال austenite الموجود
راح يتحول ل pearlite اللي هو ال eutectoid str
تابع لل ferrite وال cementite يعني راح يظهر δ more
بالاضافة الى α ، فيكون تحول جزء من γ الى α وجزء منه
راح لل Fe_3C

high carbon steel ← 0.76 فوق

Hypereutectoid Steel





Hyperoeutectoid Steel

كل ال ferrite الموجود هو عبارة
عن ferrite ال pearlite وال Fe_3C
جزء منه تشكل قبل وجزء منه تشكل بعد

ask believe & recieve

Scanned with CamScanner

Hypereutectoid Steel

- Just above the eutectoid line

$$W_\gamma = \frac{x}{v+x}$$

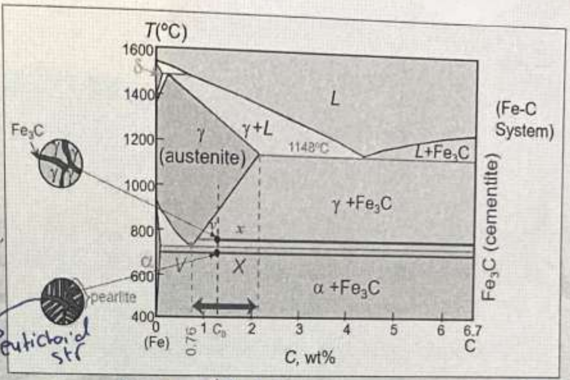
$$W_{Fe_3C} = (1 - W_\gamma)$$

- Just below the eutectoid line

$$W_{pearlite} = W_\gamma$$

$$W_\alpha = \frac{X}{V+X}$$

$$W_{Fe_3C} = (1 - W_\alpha)$$



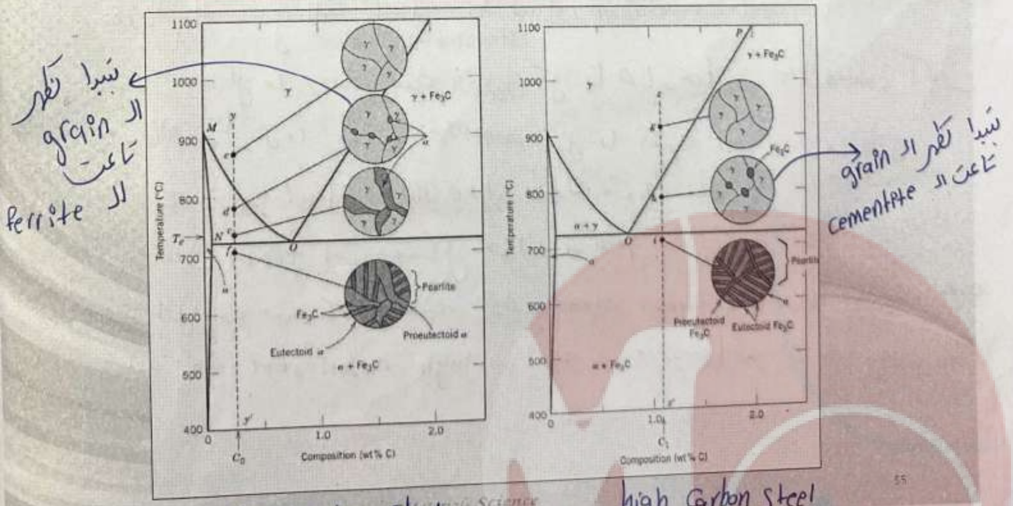
total ferrite $= \frac{6.7 - 1.2}{6.7 - 0.022}$ → Just one type

Cementite $= \frac{1.2 - 0.022}{6.7 - 0.022}$ → total

(hyper) cementite $= \frac{1.2 - 0.76}{6.7 - 0.76}$ → above eutictoid line

total Fe3C − hyper Fe3C = Pearlite Fe3C

Hypoeutectoid & Hypereutectoid



Low Carbon Steel high Carbon Steel

adar
ask & believe & recieve
Scanned with CamScanner

Phases in Fe–Fe_3C Phase Diagram

1. α-ferrite - solid solution of C in BCC Fe
   - ✓ Stable form of iron at room temperature. (ductile iron)
   - ✓ The maximum solubility of C is 0.022 wt% → ولا شي يعني مهمل
   - ✓ Transforms to FCC γ-austenite at 912 °C

   لغاية قبل هاي الحرارة بكون Stable α — النوع الاكثر من الحديد

2. γ-austenite - solid solution of C in FCC Fe
   - ✓ The maximum solubility of C is 2.14 wt %. → تتقدر تذوب كربون وتضل Stable مع ال(γ) لحد 2.14 بعدها بتطل في (γ) تشكل
   - ✓ Transforms to BCC δ-ferrite at 1395 °C
   - ✓ Is not stable below the eutectic temperature (727 ° C) unless cooled rapidly (eutectoid)

   تكون فوقه 727 نروح نعملها quenching
   لهاي الحالة ال astenite بصيرله زي ال freezing

3. δ-ferrite solid solution of C in BCC Fe → it has no application
   - ✓ The same structure as α-ferrite
   - ✓ Stable only at high T, above 1394 °C → عشان يكون stable
   - ✓ Melts at 1538 °C

   * بشبه α بال str بس مش stable الا على درجات حرارة عالية جدا

4. Fe_3C (iron carbide or cementite) → المسؤول عن ال ductility تاعت ال iron
   - ✓ This intermetallic compound is metastable, it remains as a compound indefinitely at room T, but decomposes (very slowly, within several years) into α-Fe and C (graphite) at 650 - 700 °C

   بتفكك لعنصر يعطي حديد خالص بالاضافة لل graphite

   كل ما زادت نسبة ال cementite بالحديد
   كل ما صار Brittle اكثر ، فوق 2.14 ما راح تشكل austenite وبالتالي كل الحديد الي يطلع هو عبارة عن Cast iron

5. Fe-C liquid solution
   - homogenuous molten iron carbon
   - الكربون بكون يسبح مع ال iron

adar ask :: believe & recieve

Scanned with CamScanner

0 → 0.022 → ductile iron نتشكّل الـ

0.022 → 2.14 → steel in general نتشكّل

2.14 → 6.7 → cast iron نتشكّل الـ

معظم الـ steel alloys ما تتجاوز 1.2% carbon

لانو كل ما زدنا نسبة الكربون كل ما صار عنا cementite أكثر

بالعينة، وكل ما زاد الـ cementite كل ما العينة صارت Brittle -

انا بدي steel بس مابدي اياه يكون شوية Brittle

فلِك الافضل انو نشتغل حواليه الـ eutectoid point فقط

يعني اقل شوي من 0.76 عشان يكون low carbon steel واعلى شوي من 0.76

عشان يكون high carbon steel بس لسا فيه شوية ductile ductility

ask believe & recieve

Scanned with CamScanner

A few comments on Fe-Fe3 C system

لانو ال size تاعه اقل بكثير من ال iron

- C is an <u>interstitial</u> impurity in Fe. It forms a solid solution with α, γ, δ phases of iron. ← كلهم فيهم Carbon
- Maximum solubility in <u>BCC</u> α-ferrite is <u>limited</u> (max. 0.022 wt % at 727 °C) - BCC has relatively small interstitial positions. (0.022) وعادة ما بتجاوزوا 0.08 حتى يضلوا α
- Maximum solubility in FCC austenite is 2.14 wt % at 1147 °C - FCC has larger interstitial positions.
- Mechanical properties: Cementite is very hard and brittle - can strengthen steels. عشان هيك ما نضيف Fe3C اكثر بعينات ال Steel عشان ما تتحول لـ Brittle
- Mechanical properties also depend on the microstructure, that is, how ferrite and cementite are mixed. وهاد بعمل فرق شاسع بين ال low carbon steel وال high carbon steel وال cast iron
- Magnetic properties: α-ferrite is magnetic below 768 °C, austenite is non-magnetic. ← خاصية من خصائص ال ferrite

← كل ما زاد ال ferrite بال alloy كل ما كان خاصية الانجذاب اعلى، وهاد السبب لانو ال austenite ما فيه ferrite ما بنجذب بالمغناطيس

← كل ما قلت نسبة ال ferrite (يعني زيد Fe3C) تصير خاصية الانجذاب بالحديد اضعف

Classification of Iron

- Three types of ferrous alloys:
  1. **Iron:** less than 0.008 wt % C in α–ferrite at room T. ← تقريباً ما فيه C لانو النسبة كثير قليلة
  2. **Steels:** 0.008 - 2.14 wt % C (usually < 1 wt%) α-ferrite + Fe3 C at room T.
  3. **Cast iron:** 2.14 - 6.7 wt % (usually < 4.5 wt 50 %). ← نهاية منطقة ال austenite — حتى يبعدوا عن ال steel

ask ; believe & recieve
Scanned with CamScanner

① هنا معنا لعند 0.022 بس بالعادة ما بوصلوها عشان يضل الحديد لدن كثير

② ما بحطوا steel فيه 0.008 كربون لانو بكون قريب عل ال ductile iron
عادةً اقل من 1 بس مش كثير قليل مقارنة مع 0.76 اللي هي
ال eutectoid comp. طبعاً بضلوا حواليه 0.76
وهاد عبارة عن ferrite & cementite مع بعض وسميناه pearlite

③ عشان ابعد عن ال steel نشتغل حواليه ال eutectic composition سواء اقل او
اعلى منه نشوف

Scanned with CamScanner

Example:

For a 99.6 wt% Fe and 0.40 wt% C steel at a temperature just below the eutectoid, determine the following:

a) *The compositions of Fe3C and ferrite (α).*

b) *The amount of cementite (in grams) that forms in 100 g of steel.*

c) *The amounts of pearlite and proeutectoid ferrite (α) in the 100 g.*

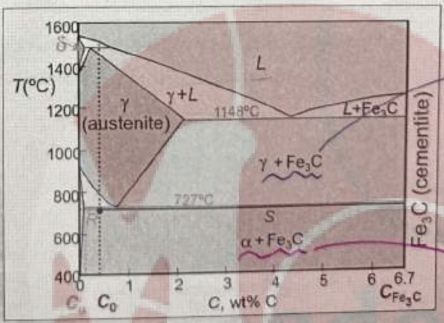
Solution

a) *Using the RS tie line just below the eutectoid*

$C_a = 0.022$ wt% C

$C_{Fe_3C} = 6.70$ wt% C

b) *Using the lever rule with the tie line shown*



$$W_{Fe_3C} = \frac{R}{R+S} = \frac{C_L - C_\alpha}{C_{Fe_3C} - C_\alpha}$$
$$= \frac{0.4 - 0.022}{6.7 - 0.022} = 0.057$$

Amount of Fe_3C (eutectoid) in 100 g

$= (100\ g) W_{Fe_3C} = (100\ g)(0.057) = 5.7\ g$

Amount of total ferrite in 100 g = 100 - 5.7 = 94.3 g

Scanned with CamScanner

Yara Ali

Chapter 8

Applications and Processing of Metal Alloys

كيف تتم عملية تصنيف المعادن سواء اللي الاصل تاعها تكون حديد (ال Ferrous) او اللي ما تكون اصلاً الها علاقة بالحديد.

The University of Jordan
Chemical Engineering Department
Spring 2022
Prof. Yousef Mubarak

* حسب التطبيقه وحسب ال requaired prop بختار المعادن ، لما بدي اختار ال material of construction بدور ع ال candidates وبناءً على ال prop انا بختار بعديه المعدن اللي بدي اياه

كل وحدة من هدول ال product ممكن تكون من معدن مختلف

ISSUES TO ADDRESS...

- How are metal alloys classified (كيف نصنفهم) and what are their common applications? (متى نستخدم كل واحد)
- What are some of the common fabrication techniques for metals? (كيف تتم عملية تشكيل ال end product)
- What heat treatment procedures are used to improve the mechanical properties of both ferrous and nonferrous alloys? (will not be covered this semester) (هاد الجزء ما راح نعطيه)

كثير من المعادن لما نستخدمها عشان ننتج منها هاد ال product ما تكون جاهزة للاستخدام لازم اعمله كمان treatment حتى بعد ما اشكل ال item اللي بدي اياها . هاي العملية ع الاغلب تكون فيها تسخين ثم تبريد هاد اللي بنسميه annealing

مثلاً هاد الشكل كيف نعمله fabrication هل نعمل casting ولا welding ولا بالخراطة يعني شو ال technique اللي استعملناه عشان ننتج هاد الشكل

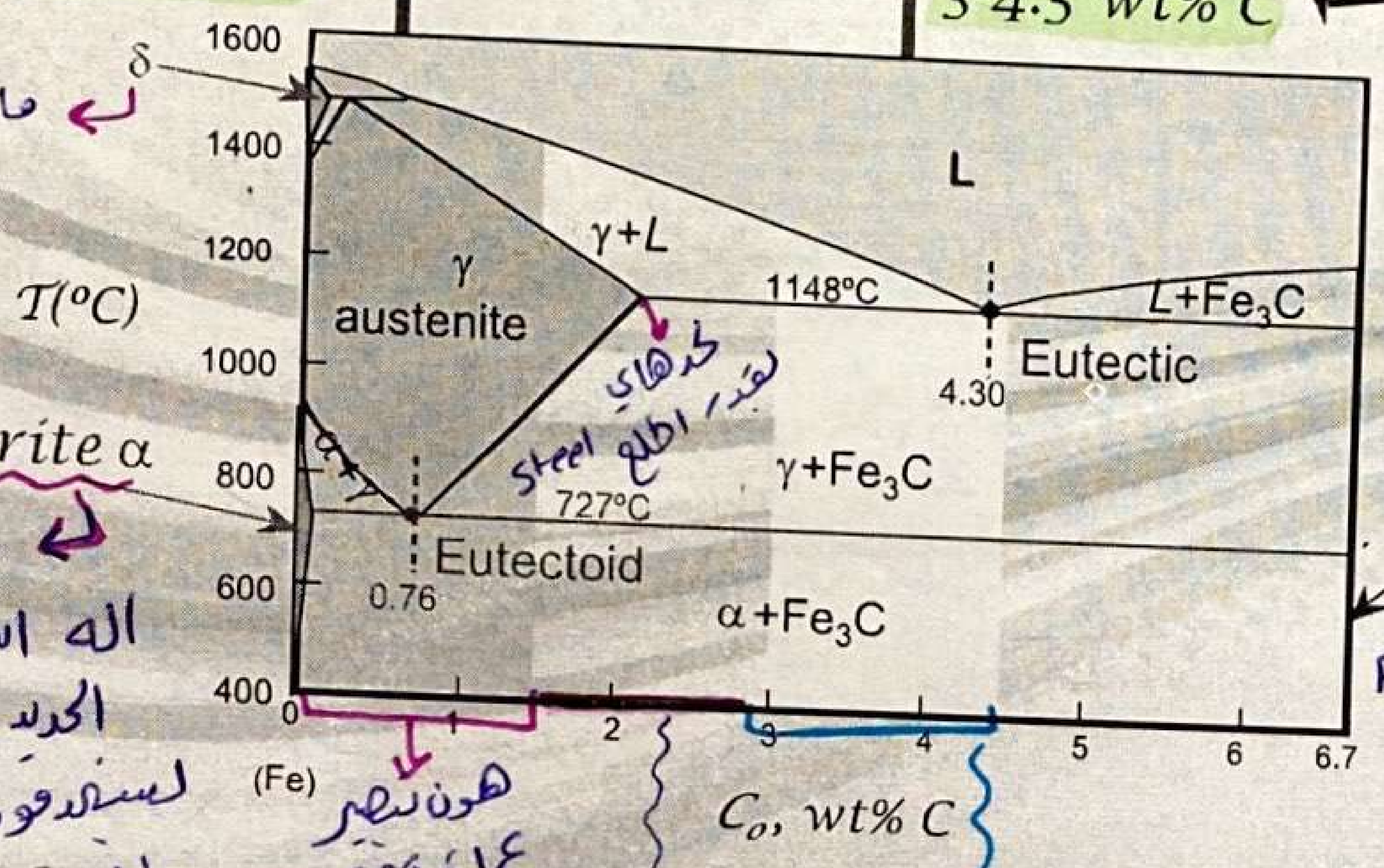
Scanned with CamScanner

* ال calssification لل metal بعتمد على
شو طبيعة المواد الموجودة بال alloy

Classification of Metal Alloys

Metal Alloys

- **Ferrous** ← صنفوه لوحده لانو معظم الاستخدامات material of construction لتكون الها حديد بشكل عام / جاي من ال iron
  - **Steels** <1.4wt% C
  - **Cast Irons** 3-4.5 wt% C ← microstructure: ferrite, graphite/cementite
- **Nonferrous** → all other metals (Cu, Al, Ni, ...)



δ ← ماله استخدامات

Ferrite ← هاد ال ferrite اله استخدامات اللي هو الحديد بالطلوع (اللدن) لبيستخدموه للعمليات يلي بدها metal str.

هون تصير عملية تشكيل ال steel

هون حتى تفصل بين ال steel وال cast iron

عندها المنطقة من 3 ← 4.5 بطلع معنا ال cast iron لو زدنا كمان شوي بطلع cast iron very Brittle بس مشكلته

* كل ما زاد ال ferrite كل ما كانت المادة ductile أكثر

* كل ما اتجهت بال comp للجهة (→) كل ما زاد ال cementite زكل ما زاد ال Fe3C كل ما كانت المادة Brittle أكثر

* وفعلياً اذا بدي انتج cast iron وهي من 2.4 لنهاية ومن 0.022 ل 2.4 كله steel لكنه لحتى نعرف ونعطي خصائص مختلفة لل steel وال cast iron وتخزهم عند بعض بنوجد ال gap بينهم

Steels

Steel ← بناءً على نسبة ال carbon

	Low Alloy						High Alloy
	low carbon <0.25 wt% C		Med carbon 0.25-0.6 wt% C		high carbon 0.6-1.4 wt% C		
Name	plain	HSLA	plain	heat treatable	plain	tool	stainless
Additions	none	Cr,V, Ni, Mo	none	Cr, Ni, Mo	none	Cr, V, Mo, W	Cr, Ni, Mo
Example	1010	4310	1040	4340	1095	4190	304, 409
Hardenability	0	+	+	++		+++	varies
TS	-	0	+	++		++	varies
EL	+	+	0	-	-	--	++
Uses	auto struc. sheet	bridges towers press. vessels	crank shafts bolts hammers blades	pistons gears wear applic.	wear application	drills saws dies	high T applic. turbines furnaces Very corros. resistant

increasing strength, cost, decreasing ductility

Low carbon: اقل من ال carbon percentage ال eutictoid اللي هو 0.76
Med carbon: كمان اقل من 0.76
high carbon: لتشمل ال eutictoid وتتعداه
High Alloy → all with add. there is no plain high alloys.
ال add. فيه ولنسبتها تختلف عشان هيك حطوه لحاله
plain: ما فيه اضافات بالمرة
HSLA: high strength
هدول ترقيمية لنشوف شو نوع ال add. على ال steel (10) ← يعني ما في add.
+ve → ductile
auto: بنستعمل للسيارات
wear application: تحت وحت
drills: بتعمل dripping للمعادن الاخرى

الترقيم الرقمي يعطونا قديش نسبة الكربون والضرورة بـ 100 ، يعني لما نقول 10 يعني انا ضايف كربون بنسبة 0.01%

* ال ST اغلى انواع ال iron

plain steel without any add. ← 10

بطلوه ب ← annealing

بطلوه على درجة حرارة معينة بعدين oven على درجة حرارة معينة cooling حسب الشي المطلوب من المادة ، مرات بعملوا
ومرات بعملوا

sharp cooling

very slow cooling او gradual cooling بعض الاحيان بستمر وجود المعدن بال oven او ع درجة الحرارة المطلوبة هاي لل ساعات ممكن توصل 8 ساعات واكثر حتى نعمل relaxation للموجودة بالداخل residual stresses وممكن بعض الاحيان نصير recrystallization هاد الحكي عبارة عن treatment لل alloy بعد عملية ال fabrication مش خلال عملية ال production

هاد جزء من الشابتر فارغ نحكي فيه ←

* ال Ferrous صنفوه لنوعين cast iron & steel

مع ال ductile iron ي ال استخداماته قليلة جداً وال ferrite & وال austenite not stable على حرارة الغرفة بالتالي استخداماتهم محدودة جداً ومش موجودة عالاعلى

* نطلع معنا diff types of steel بناءً على ال eutectoid comp. اذا كنا تحت او فوقه

* انا معي اطلع ال steel لحد 2.04٪ بس كل ما اقتربنا لل max solubility لل carbon بال ٪ كل ما كان ال steel عندي Brittle اكثر وانا ما بدي اياه يكون Brittle بدي فيه شوية ductility عشان اقدر استخدمه بتطبيقات معينة وعشان اميزه عن ال cast iron.

* انا ما بدي ال cast iron يكون Brittle كثير زي الزجاج اذا ضربت عليه بنكسر وما بدي اياه يكون ductile عشان يصير يشبه ال high carbon steel طبعاً ال gab بين ال steel وال cast iron موجود حتى نقدر نفصل بين ال steel وال cast iron

* كيف بتصنف الآخر لل steel بتم ؟ بناءً على ال additives ـ لما نقول low carbon steel اول اشي انو فيها كربون اقل من 0.25 بس كتصنيف بعد اذا في additives اخرى غير ال carbon او ٪

* عنا خصائص ال HSLA (ال high strength) عرفنا خصائصها عن طريق ال additives هاي الاضافات زادت ال strength لل steel

تصنيف ال steel بناءً على :

1. نسبة ال carbon
2. ال additives ← (ال plain ما فيه add.)
3. الشي ال treatment اللي انعمل (ال plain نوعاً ما فيهم treated)

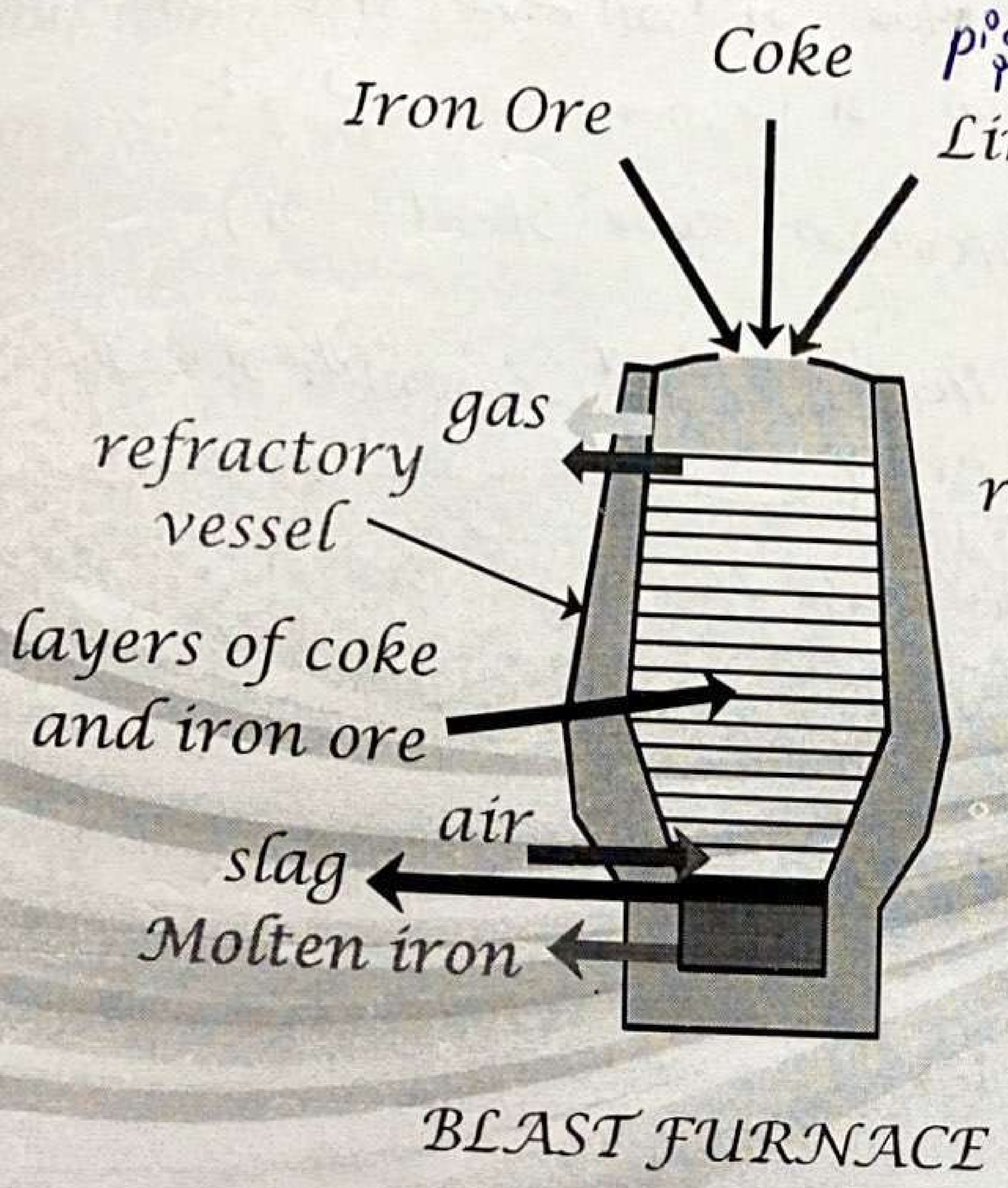
Scanned with CamScanner

هاد الحكي المفروض شفناه قبل (ما بعرف وليه ؟!)

ال molten iron اللي بطلع من الفرن بياخدوه مباشرة على ال steel making process حتى يغيروا نسبة الكربون الموجودة فيه

* ال pig iron اللي بطلع من ال furnace بكون دايمًا cast iron لانو نسبة الكربون فيه 4 وفوق وبالتالي انا عشان احول ل steel لازم اخذ هاد ال pig iron ع عملية ال steel making هناك بستخدم نسبة معينة من ال recycle iron مع ال molten iron ونعمل other conversion لل iron حتى يصير عنا steel بانواعه المختلفة

Refinement of Steel from Ore



heat generation

$$C + O_2 \rightarrow CO_2$$

reduction of iron ore to metal

$$CO_2 + C \rightarrow 2CO$$
$$3CO + Fe_2O_3 \rightarrow 2Fe + 3CO_2$$

purification

$$CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2$$
$$CaO + SiO_2 + Al_2O_3 \rightarrow slag$$

ال ductile iron مش معناه ما فيه Fe_3C هو فيه cementite لكن نسبة ال Fe_3C بتكون قليلة جدا لدرجة انو معظم ال alloy بتكون α

Ferrous Alloys

ما بدنا نركز ع ال ductile iron كلنا لانو استخدامه قليلة جدا لانو عنده high ductility ونسبة α عالية

- Iron-based alloys:
  - Steel
  - Cast Irons
- Nomenclature for steels (AISI/SAE)

حسب التصنيف العالمي اعطوا الحديد 4 ارقام.
اول رقمين ← الهم علاقة شو ال add. ع ال steel
ال XX ← عبارة عن ال weight fraction للكربون بال alloy مضروبة ب 100

المرحلة الأولى عند ال eutectoid comp.

10xx	Plain Carbon Steels → no add.
11xx	Plain Carbon Steels (resulfurized for machinability) → treatment شوية لعشان نصير عملية التشكيل اسهل
15xx	Mn (1.00 - 1.65%)
40xx	Mo (0.20 ~ 0.30%) ما بتتجاوزها
43xx	Ni (1.65 - 2.00%), Cr (0.40 - 0.90%), Mo (0.20 - 0.30%)
44xx	Mo (0.5%)

where xx is wt% C x 100

بال Mo اول 4 عشان اعرف انو عندي Mo والرقم الثاني (4 or 0) عشان يعطيني انطباع قديش نسبة ال Mo بال alloy

Example: 1060 steel – plain carbon steel with 0.60 wt% C

Stainless Steel >11% Cr

↵ نسبة الكروم اعلى ما يمكن

كل ما زادت نسبة ال Cr كل ما كانت مقاومة ال stainless steel للتآكل اعلى

Scanned with CamScanner

* عنا مجموعة من ال stanles steel كل واحدة بتختار اسم ال add. وقديش نسبة هاي ال add فيها

* من خصائص ال stainless steel انو

1. مقاوم لل corrosion (التآكل)
2. ductile
3. high cost

Scanned with CamScanner

هلأ بدي اشتغل عند الـ eutectic comp.

النوع الآخر

Cast Irons

بدي اكبر الـ max. solubility للكربون بالـ austenite عشان ادخل منطقة الـ pure Fe_3C (ما يكون في α)

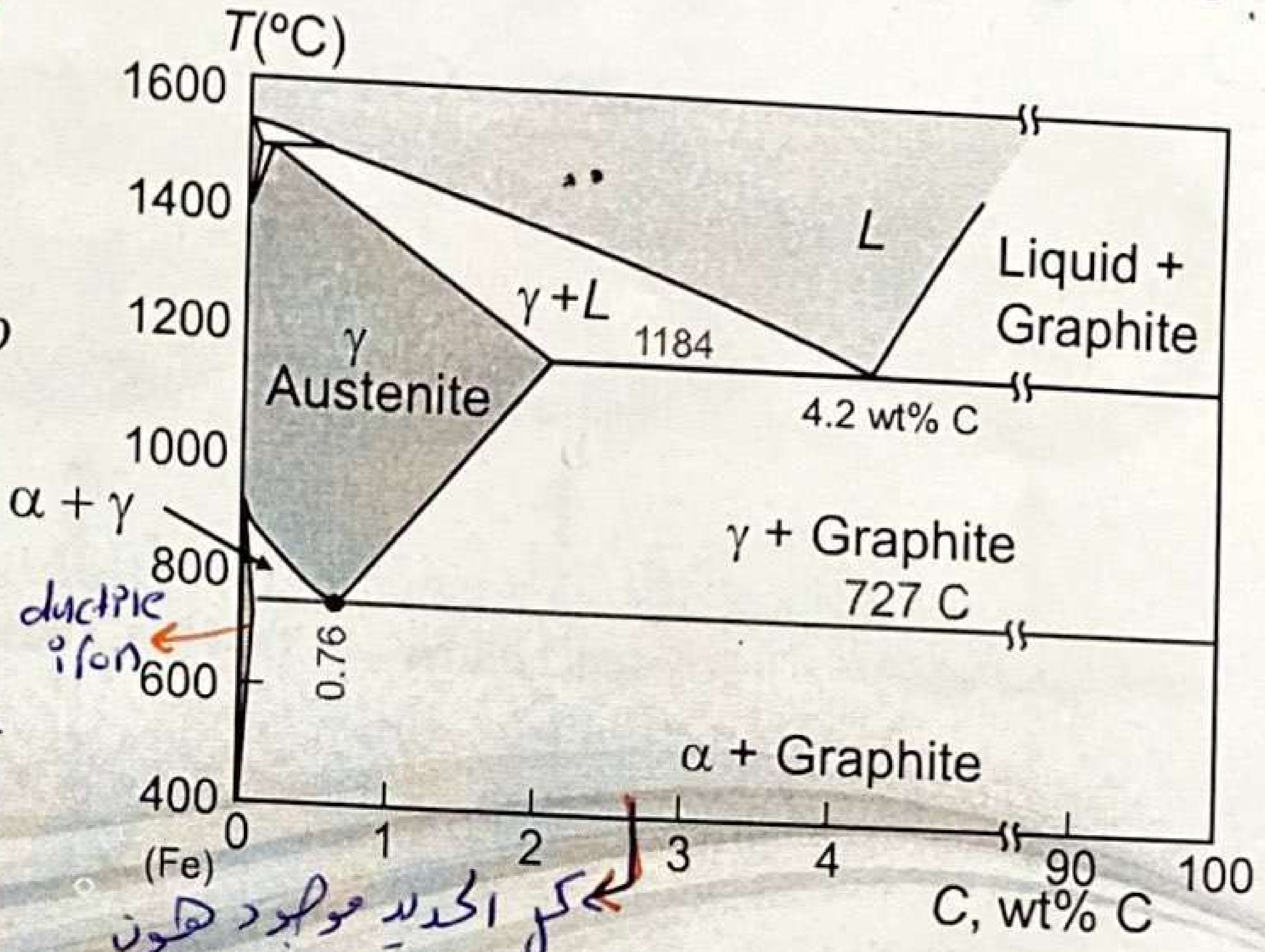
- Ferrous alloys with > 2.1 wt% C
  - More commonly 3 - 4.5 wt% C
- Low melting - relatively easy to cast
- Generally brittle → لانو نسبة Fe_3C عالية مقارنة بالـ steel
- Cementite decomposes to ferrite + graphite

$$Fe_3C \rightarrow 3\ Fe\ (\alpha) + C\ (graphite)$$

- This decomposition process is generally a slow process

* من ناحية strength الـ graphite اضعف من الـ cementite لانه هاد أثر على خصائص المادة

* اي شي يكون اساسه austenite بكون steel
* اذا ما فيها austenite من الاصل ما راح تعطينا steel راح تعطي cast iron
* الـ melting temp الـ steel عالية ونصير ننزل لـ نكون نتعامل مع cast iron



Graphite formation promoted by:

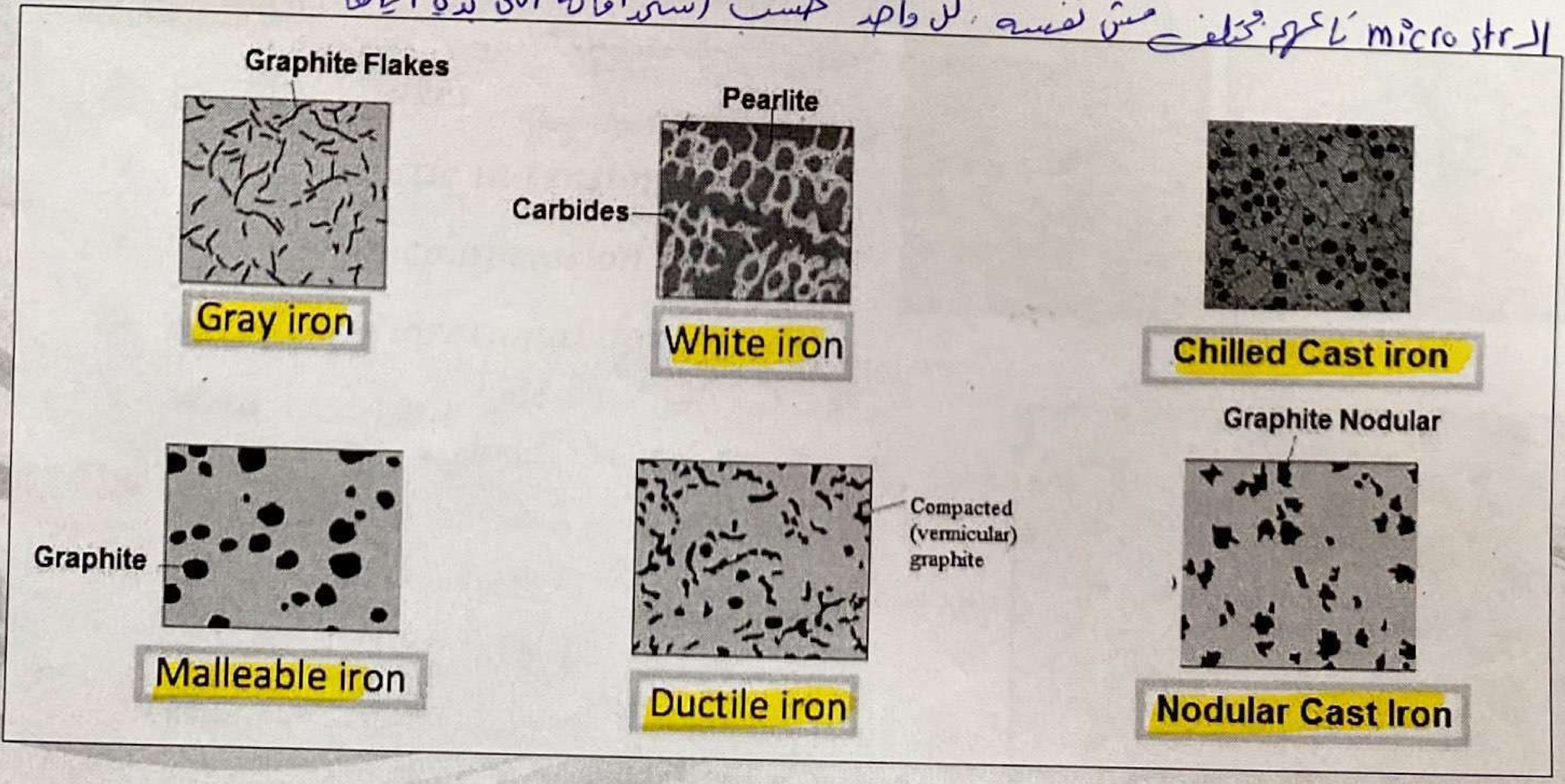
- Si > 1 wt%
- slow cooling (not sharp cooling)

* اذا حطينا Si اكثر من 1% هاد راح يحسن تكون الـ graphite ويصير يطلع معنا الـ Fe_3C ← α, Graphite

* نصير slow cooling عشان نسمح للـ graphite انو تتشكل جوا الـ alloy

Types of Cast Iron

الـ micro str لأنو تختلف مش نفسه كل واحد حسب استخدامه اللي بدي اياها



Scanned with CamScanner

* اي alloy بكون اصل ال phase فيها هو Solid austenite
راح تعطينا steel

* كل ال cast iron تنصهر على درجات حرارة اقل من ال steel ،
ال steel لازم انعدا ال 1400 عشان ينصهر
هاد السبب لستخدموا ال cast iron لعمليات ال casting
(ال steel نعمله fabrication بطرق اخرى غير ال casting)

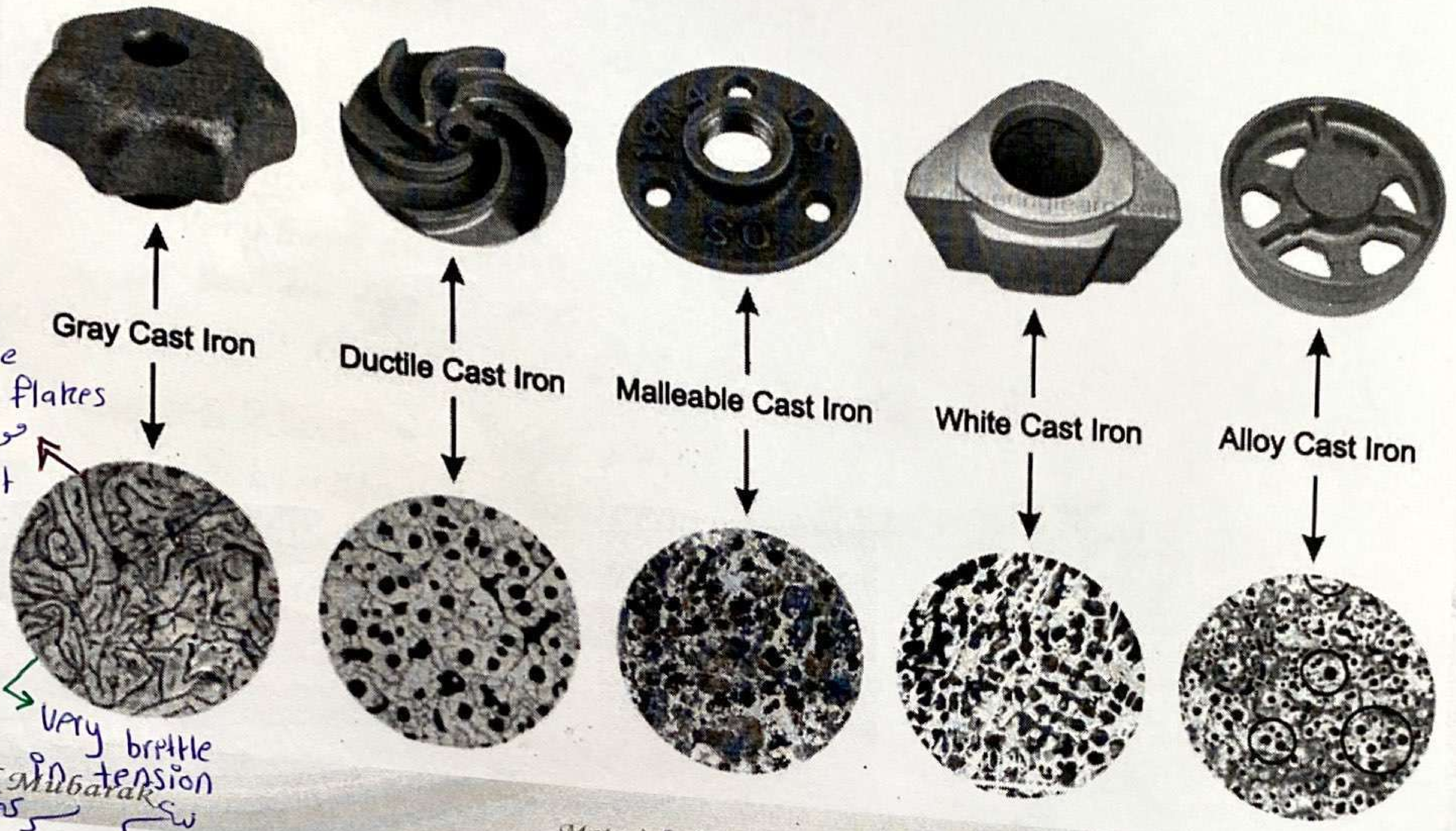
* في خاصية لل cementite الموجود بال cast iron انو will decompose slowly
(مش ساعة ولا ساعتين ، لسنوات) ، اذا تركنا ال cast iron لسنوات
بلاحظ انو ال str. تاع ال cast iron تتغير مع الزمن لانو ال Fe_3C الموجود فيه لصيرله
decomposition ولصير يتحول ل graphite + ferrite ، وهاي العملية تاخد سنوات عديدة

Scanned with CamScanner

كلهم cast iron بس شو اللي خلاهم يختلفوا عن بعض ؟!

الـ add. اللي انا بضيفها والـ treatment اللي بصير خلال عملية الـ solidification او بعدها

Types of Cast Iron



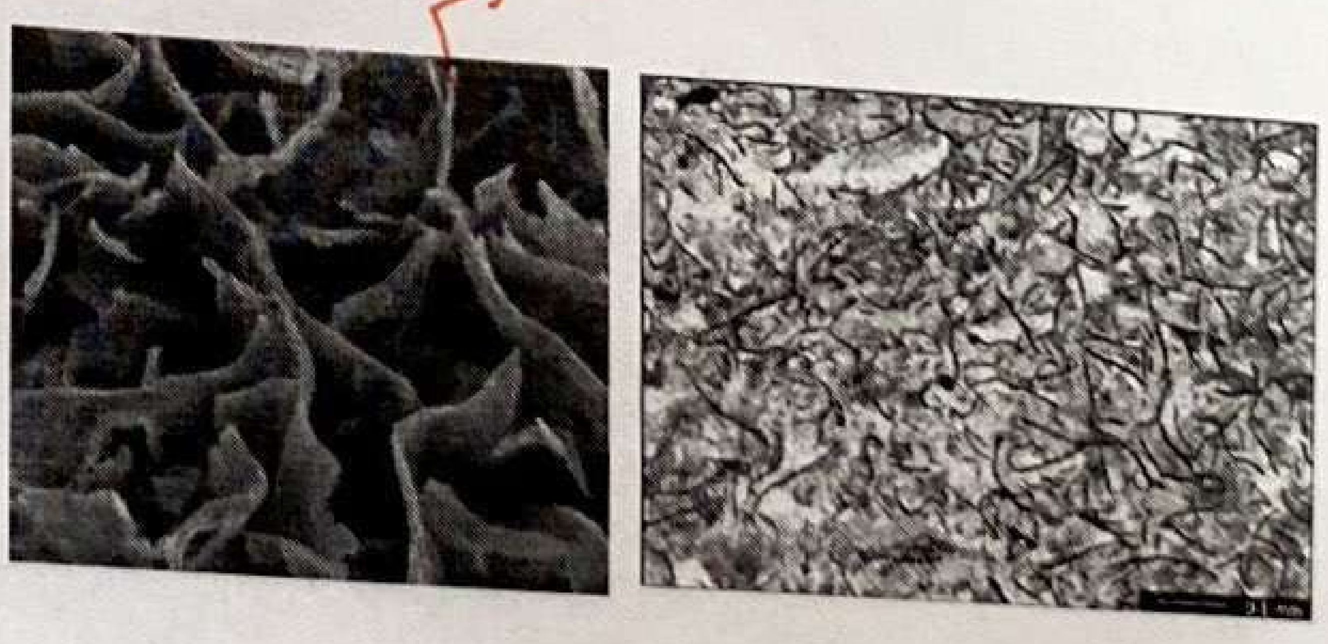
we have graphite flakes موجودة بالـ Gray cast iron ولهيك بتكون weak

very brittle in tension
بس بتكون الـ strength بالـ compression عالي

Types of Cast Iron

* الـ component اللي تكون موجودة بالـ str ونصير عليها vibration عالي (الـ weight تبع الـ device تضغط على الـ str. اللي تتحمل عليه (more compression)) هاي بنفع لها الـ gray iron

Gray Iron



- Graphite flakes
- Weak & brittle in tension
- Stronger in compression
- Excellent vibrational dampening
- Wear resistant → سطحه كتير قاسي ، ما بتعمله wearing لانه الـ hardness عالي

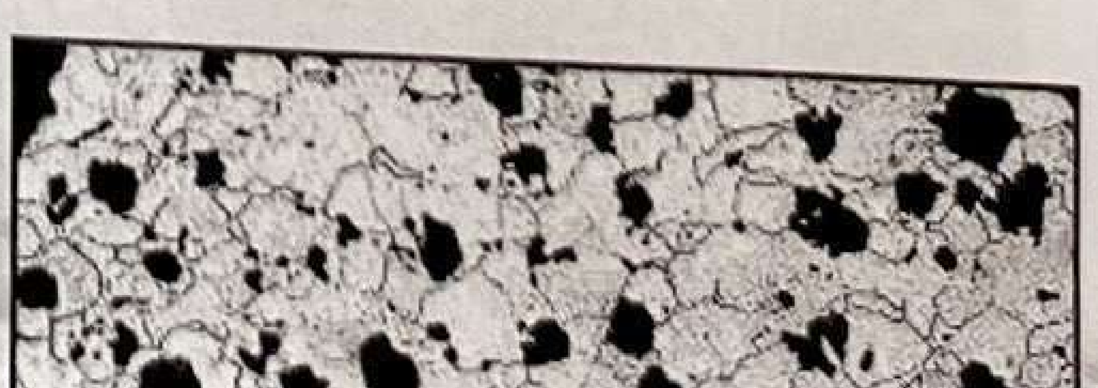
Ductile Iron

← اذا ما بدي اياه very brittle

تضيف عناصر low ductile material لانه الهدف من الـ cast iron انه بدي اياه ductile زي الـ steel

- Add Mg and/or Ce → لما نضيف هدول بصير تتحول الـ flakes لـ nodules
- Graphite as nodules not flakes
- Matrix often pearlite - stronger but less ductile

الـ ductility موجوده لكنه اقل شوي من الـ steel



لما تكون هاي الـ nodules كروية راح تزيد الـ ductility لـ iron

Scanned with CamScanner

Gray cast iron → Brittle in tension وبتكسر بسرعة
→ Stronger in compression وبتحمل كثير

* بال cast iron انا بشتغل معه عند ال ε عشان اقلل ال ductility ثابت
ال cast iron - بس بعض التطبيقات بتحتاجوا انو يكون فيها
شوية ductility مقارنة مع ال other cast iron

* ليش very Hard & Brittle ؟ لانو ما في عنا graphite
الا بعد سنوات راح يصير يظهر ال graphite بدل ال Fe3C اللي يصيرله decomposition

Types of Cast Iron

* قاسي جداً ونفس بوقت هش ، ممكن ينكسر بسهولة اذا تعرض لقوة معينة

White iron

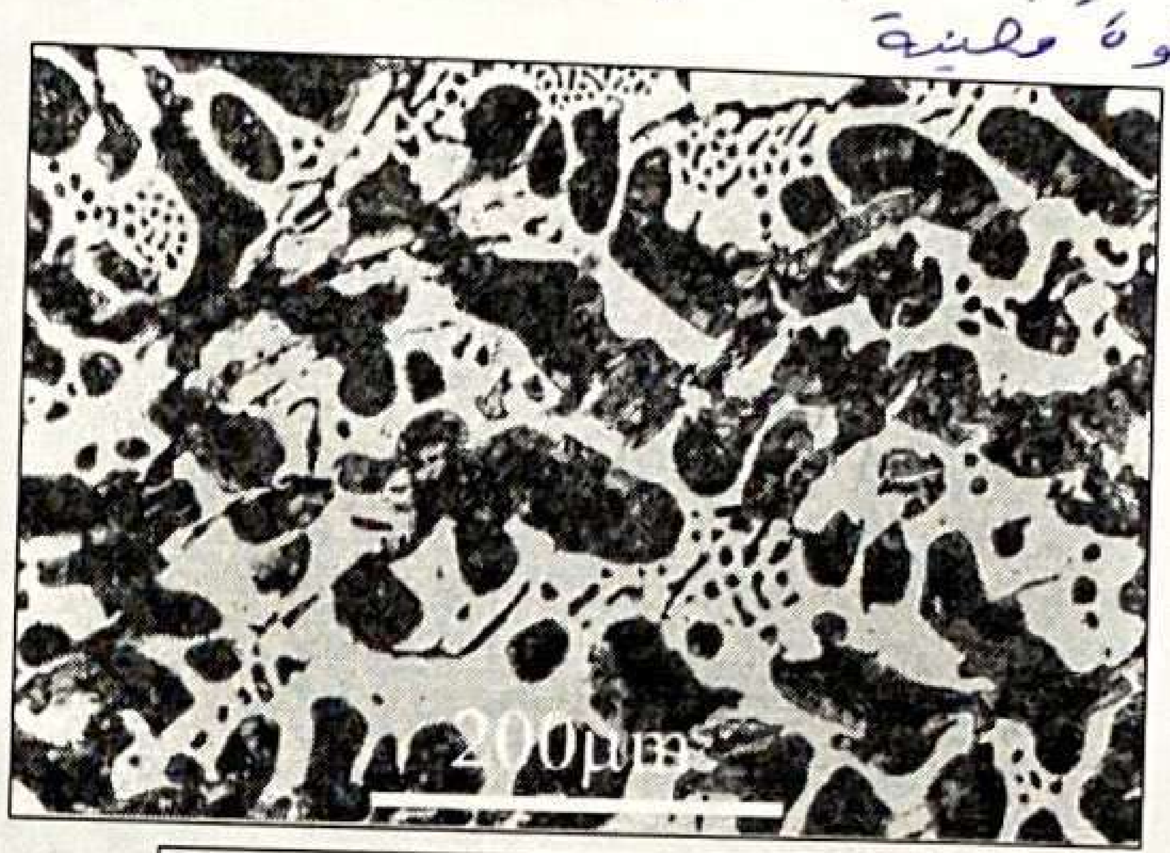
هولوا ال str عن طريقه اضافة Si

- < 1 wt% Si
- Pearlite + cementite → يطلع في graphite
- Very hard and brittle

$\alpha + Fe_3C$

pre cementite الموجود فوق ال eutectoid line

→ we have two type of Fe_3C
واحد تشكل فوق ال eutectoid ، وواحد تشكل بال eutectoid



Malleable iron

→ قابل للطرق

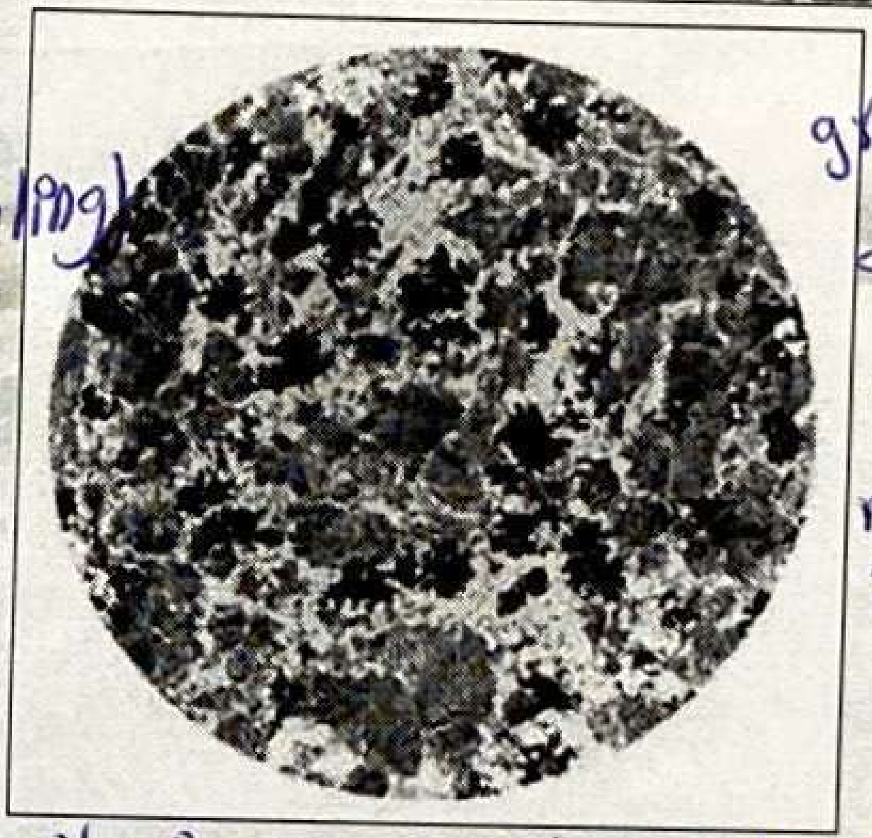
- Heat treat white iron at 800-900°C (annealing)
- Graphite in rosettes
- Reasonably strong and ductile

← بتتوقع انو ال ductility تاعته تكون عالية

تحت ال melting temp

لانو انا ما بدي اصهر الاشيء بدي اعمل relaxation لل stresses الموجودة بالداخل وكمان recrystallization.

← لو كان very Brittle راح ينكسر خلال عملية الطرق



تشكل ال graphite اللي يطلع مختلف عن ال flakes وال nodules بطلع مثل الوردة

* عملية ال treatment بتحول ال white iron ل Malleable iron بالتالي يصير يطلع عنا ال graphite

* ما يصير ductile زي ال steel بس ع الاقل صار فيها sort of ductility اكثر من ال white iron

Types of Cast Iron

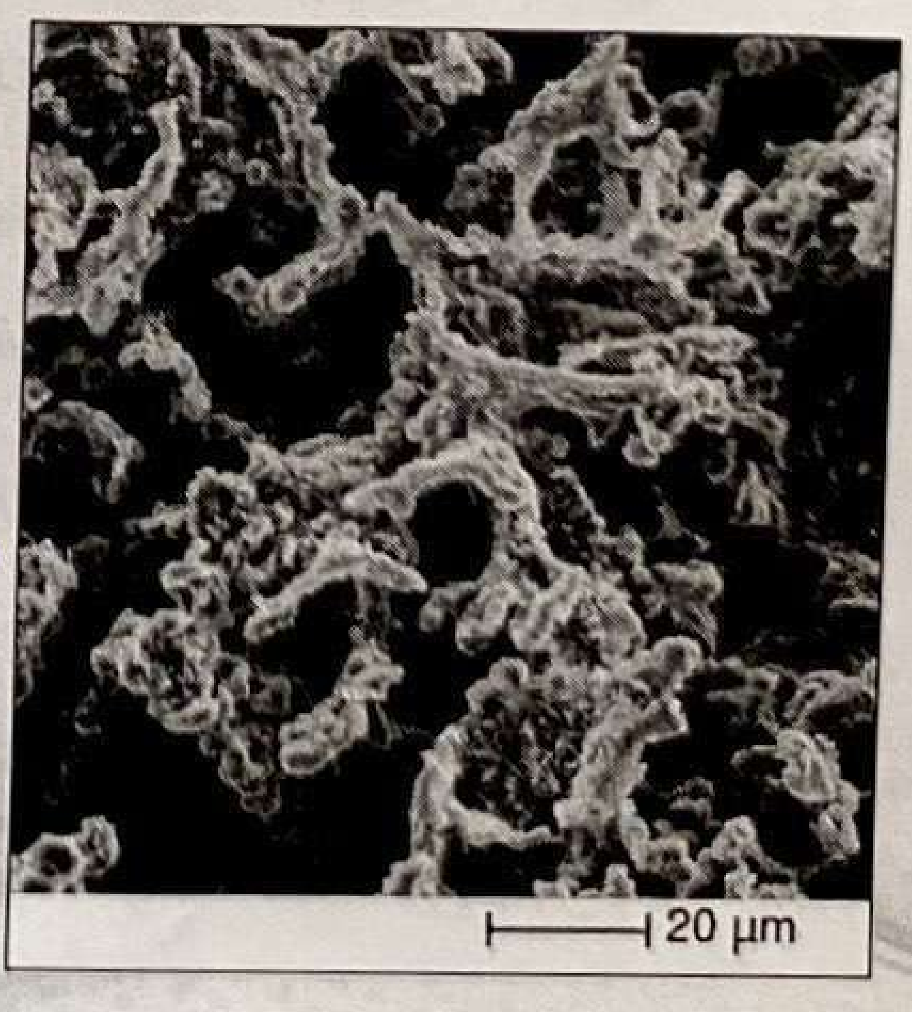
Compacted graphite iron

→ ال graphite يصير يظهر باشكال مختلفة.

- Can be prepared by addition of small amount of Ce or Mg to gray cast iron
- Relatively high thermal conductivity → مقارنة ب ال other cast iron
- Good resistance to thermal shock
- Lower oxidation at elevated temperatures

← زي ال ductile iron بس طبعاً ال procedure مختلف.

← بتتحمل حرارات وما يصيرله oxidation



* لما نجيب ال gray iron ونضيف عليه Mg & Ce بصير عبارة عن ال ductile iron لكن حتى نسوي اكثر بعالجوه مرة ثانية خلال ال heat treatment process

* بنعرف انو ال cast iron بصيرله thermal shocked لما نسخنه ونبرده فجأة راح يطقه لانو very brittle ، طيب؟ حطوا معاه Mg & Ce عشان يزيدوا شوي ال ductility تاعته بالتالي يصير فيها sort of absorption ال shock والا thermal conductivity تزيد

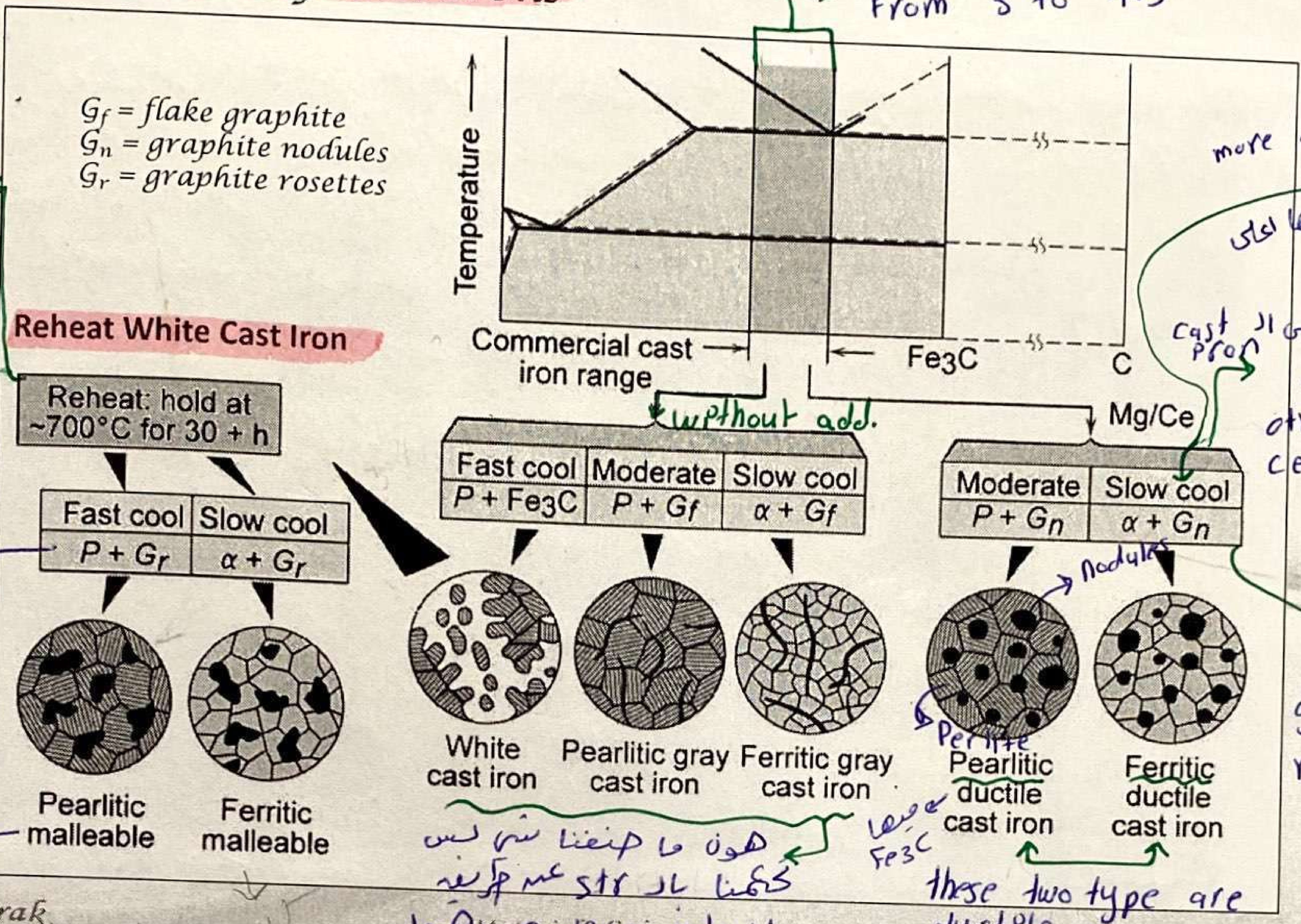
Scanned with CamScanner

cast iron كيف طلعوا انواع ال
phase diagram هاي من ال !؟

* treatment process:
① Cooling
② heat treatment

Production of Cast Irons

window of cast iron from 3 to 4.5



without add.

these two type are ductile.

بسبب اضافة Mg & Ce وال str تاع الgraphite

هون ما ضفنا شي بس تحكمنا بال str عن طريق ال cooling rate وطلعول ال 3 انواع هناكوا

Brittle الهم

هاي الانواع كلها انتجناهم عن طريق ال cooling

باكالعين عنا graphite ليس بطريقة شو تصير بالpearlite اذا fast cooling عنا تضل واذا عنا slow cooling تصير decomposition

كان P + Fe3C

malleable صار لانه تخلصت من ال cementite وحولته ل graphite

هون ductile more لانو نسبة ال ferrite فيها اعلى

اذا اخذنا نفس ال cast iron بس ضفنا عليه other add. زي Ce / Mg واحيانا Si

هدول النوعين طلع فيهم ال graphite as nodules

هل راح تطلع P + ولا α + Gn ؟ تعتمد على ال cooling process

Limitations of Ferrous Alloys

شو ال limit اللي بتقيدنا لاستخدام الحديد كسبائك ؟

- One main drawback of ferrous alloys is their environmental degradation i.e. poor corrosion resistance.

(الحديد ما عدا ال stainless steel بتفاعل مع ال envir.) (من اهم نقاط الضعف بالحديد انو بتآكل بسهولة مقارنة مع معادن ثانية)

(شفنا كيف Fe3C مع الزمن بصيرله degradation وبتحول ل α & graphite)

- Other disadvantages include:

(ما عدا alloy فيها نسبة الكروم عالية)

1) Relatively high densities. → كثافته عالية حوالي 7 او 7.5 (مقارنة مع Cu او AL)
2) Relatively low electrical conductivities → مش موصل جيد للتيار كثيرا لا يستخدم بعمليات التوصيل الكهربائي
3) High cost to finish product → سواء بدي اعمل تشكيل بال casting او بطرق ثانية (عمليات ال finishing صعبة و بحتاج furthur treatment)

- In ferrous materials the main alloying element is carbon

مع انو نسبة الكربون اللي بنضيفها لا تتجاوز 6.7% وفي الصفات لا تتجاوز 4.5% الا انو هاي النسبة عم تعمل تغير كبير بال str تاع الحديد

* اذا بدنا عند الرجعة ال Moderate cooling rate بطلع معنا ال str عبارة عن P (Ferrite + Fe_3C) و graphite nodules.

* اذا بدنا نشكل بطريقة كثير بصير يطلع معنا Gn + Ferrite

* اذاً السبب الاساسي لل ductility هون هو نسبة ال Ferrite.

* without add.

← اذا بعمل fast cooling rate ما بسمح لل graphite انو يطلع، بطلع معنا ال white iron

without add

Fast cooling

بسمح لل P وال Fe_3C
يعني هو mainly Fe_3C
لانو ال pearlite فيه Fe_3C وفي عنا كمان Fe_3C
فصارت نسبة ال Fe_3C عالية واكثر تكسير من ال α

Moderate cooling

نزلنا ال cooling rate شوي، راح يصير يطلع بال str بدل ال Fe_3C ← Graphite Flakes
هاد يعطي pearlitic gray cast iron.
بدل ال white iron
يعني ممكن يكون نفس ال comp للكربون الا انه عند الرجعة ال cooling غيرت ال microstr.

very slow cooling

هون راح اسمح لل ferrite عشان ال pearlite انو يظهر
ما في عنا هون cementite
الاصل يطلع cementite لكن ال cooling rate اله تأثير كبير على ال final microstr.

---

* شو ممكن اعمل عشان يصير عنا further changes بال str ؟ بعمل heat treatment
لانو ما بدنا نغير اشي بال cooling بالحرارة فقط ونعمله treatment لل white iron
ناخذ ال solid وهي already solid، هاي ال cooling عندي ازوناخذها ونعملها reheating، نحطها ب oven
ع حرارة تقريباً 700 لحوالي 30 ساعة او اكثر عشان يصير في relaxation جوا ال str. بعدين اللي بده يتحكم بال str النهائي هو ال cooling stage ← لما اطلعه من ال oven كيف ابرده !؟
ابرده بشكل سريع جداً، ولا ابرده بشكل بطيء !؟

اذا بردت بشكل بطيء لا تفل عنا pearlite & cementite، ال cementite راح يتحول ل graphite و ferrite، وال pearlite راح يتحول كل ال cementite اللي فيه ل ferrite & graphite. ويكون عنا two type of α، نوع اجا من ال pearlite ونوع من ال decomposition تبع ال cementite

---

هط الحديد ب str معين بدون ما نحط عليه coating layer تعمله حماية راح يصيرله corrosion (الصدأ)
ولو حطيت عليه acid راح يصدأ ويتآكل

لسبب ال drawbacks الموجودة بال iron و steel
او ال cast iron بدنا نحاول ندور على other alloy
غير الحديد

Nonferrous Alloys

- **Cu Alloys**
  Brass: Zn is subst. impurity (costume jewelry, coins, corrosion resistant)
  Bronze: Sn, Al, Si, Ni are subst. impurities (bushings, landing gear)
  Cu-Be: precip. hardened for strength
- **Al Alloys**
  -low ρ: 2.7 g/cm³
  -Cu, Mg, Si, Mn, Zn additions
  -solid sol. or precip. strengthened (struct. aircraft parts & packaging)
- **Mg Alloys**
  -very low ρ: 1.7g/cm³
  -ignites easily
  -aircraft, missiles
- **Ti Alloys**
  -relatively low ρ: 4.5 g/cm³ vs 7.9 for steel
  -reactive at high *T's*
  -space applic.
- **Noble metals**
  -Ag, Au, Pt
  -oxid./corr. resistant
- **Refractory metals**
  -high melting *T's*
  -Nb, Mo, W, Ta

NonFerrous Alloys

نفس ال iron غير ال comp اللي انت تستخدمه بغير بال prop تاعت هاي ال alloy ← بقدر اغير ال str تاع ال alloy عن طريق ال add. ← اضيف اي مادة ثانية اللي تخليها قابلة للاستخدام بتطبيقات أخرى

الفرق كبير بالكثافة بينها وبين ال iron اللي بوصل ل 8

اللي بخلطوهم ويعملوا منهم ال blocks حتى يبطنوا فيهم ال furnaces اللي بتحملوا درجات حرارة عالية

* عرفنا كيف نعمل extraction لل iron عن طريق ال ore في ال Blast Furnace ونضيفه مع ال coke وال limestone ← بصير عنا ال molten iron وال slag وبناخذ ال iron molten ونعمله تشكيل مرة ثانية

Metal Fabrication

→ not extraction

بحكي عن ال end product ← شو ال technique اللي بدي استخدمه عشان اطلع شكل معين

- *How do we fabricate metals?* → ductile or Brittle ? هل المادة عالية ال strength ؟ هل ال Tm قليلة ؟ بعتمد على عوامل كثيرة
  - *Blacksmith - hammer (forged)*
  - *Cast molten metal into mold*
- *Forming Operations*
  - *Rough stock formed to final shape*

two way to fabricate the final item

① *Hot working* (high temp)	vs.	② *Cold working* (low temp)
✓ *Deformation temperature high enough for recrystallization* ✓ *Large deformations*		✓ *Deformation below recrystallization temperature* ✓ *Strain hardening occurs* ✓ *Small deformations*

اعتمادا على درجة الحرارة اللي نشكل فيها المعدن

ال def. ↓ راح يكون عالي لانو انت راح تغير بالشكل ← end product
تاع المادة يعني جلبتها تصير soft لما رفعت درجة حرارتها ، ال malleability بتاثر على

قاعد نعمل تشكيل على درجة حرارة منخفضة معناها ال stresses وال residual stresses والcrystallization مش راح يصير
ال geometry مش كثير راح تتغير

Scanned with CamScanner

هون نحكي بشكل عام مش بس عن ال iron

to shape the final item

three techniques عنا عشان ننتج ال final item

Metal Fabrication Methods (i)

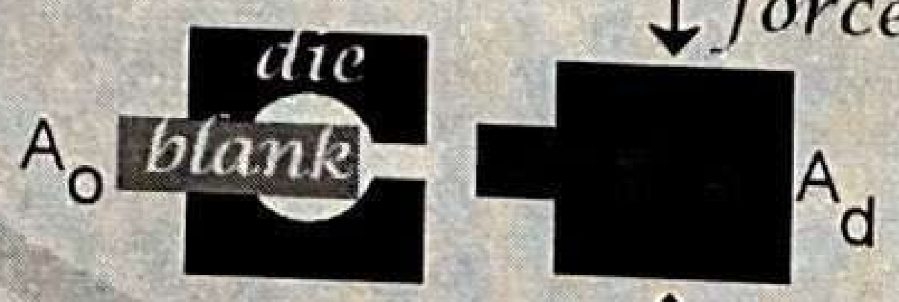
بدي اشكل عن طريق اما الضغط او السحب او ال rolling او ال extrusion

1. FORMING
2. CASTING
3. JOINING

المعدن بدخل بال cavity بين ال rolls وبصير عملية التشكيل

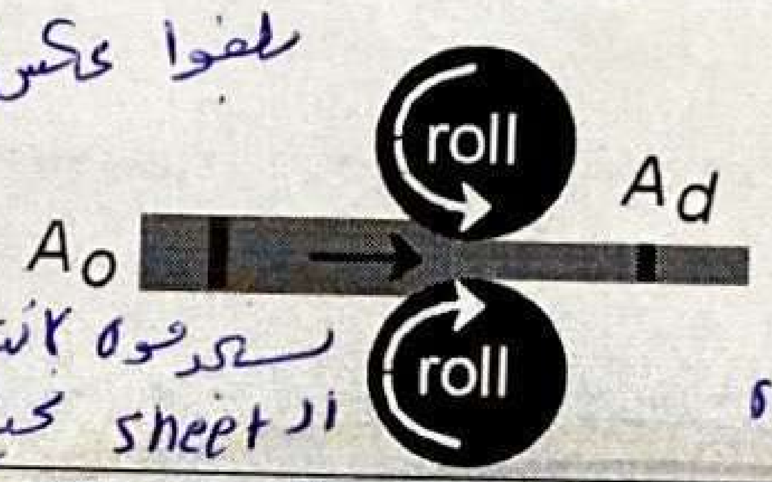
- Forging (Hammering; Stamping) (wrenches, crankshafts)

زي الختم، انت قاعد تطبع نفس الشكل



- Rolling (Hot or Cold Rolling) (I-beams, rails, sheet & plate) → hot or cold

ما في forces لأ بس قدام ولأ ورا بتصير عملية التشكيل عن طريق الدوران حول ال rolls

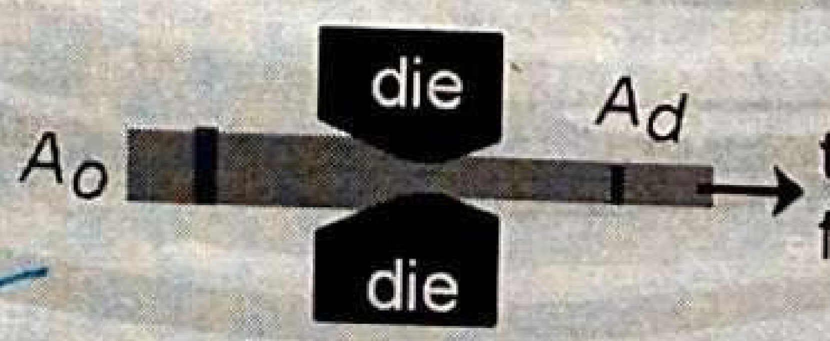


يستخدموه لانتاج ال sheet الخفيفة

- Drawing (rods, wire, tubing)

هون عن طريق السحب

بتدخل المادة بال die وعن طريق سحب بتصير تتشكل حسب الشكل الموجود على ال die



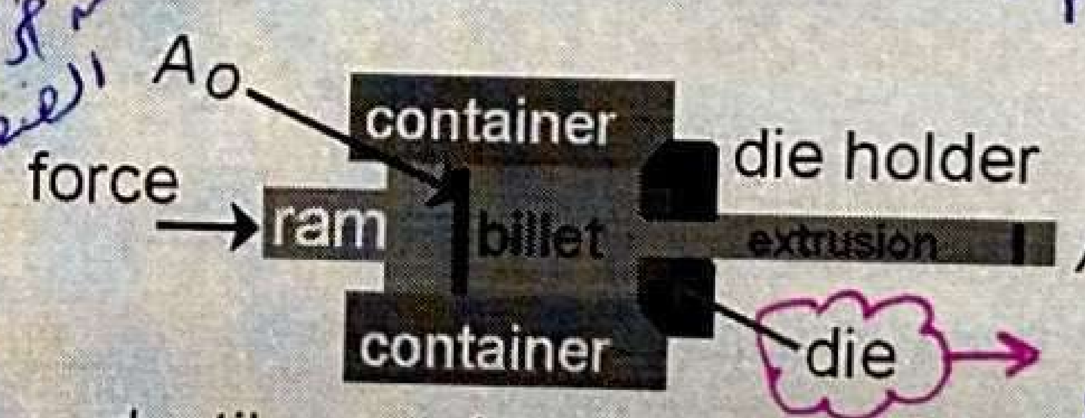
die must be well lubricated & clean

hot or cold (حسب المعدن)

- Extrusion (rods, tubing)

هون عن طريق الضغط

زي عملية تشكيل ال profiles تاعون ال AL



ductile metals, e.g. Cu, Al (hot)

→ hot forming

بعطيني ال profile اللي بدي اياه

هاي ال 4 techniques بستعملوها عشان يعملوا re-shaping

* ال Rolling وال drawing ما فيهم رفع الحرارة لدرجات عالية

ال cast iron ما نعمل بالخراطة لازم نروح ع ال casting process

Metal Fabrication Methods (ii)

* عنا ال casting انه هو كثير غالي مقارنة مع التقنيات الثانية

FORMING — CASTING — JOINING

very Brittle ← خاصية للمواد اللي بتكونه

➢ Casting- mold is filled with molten metal

بندخل ال molten metal ب cavity معينة

- Metal melted in furnace, perhaps alloying elements added, then cast in a mold

← لازم نصير عنا molten alloy واذا في add بدي اضيفها نضيفها عليها

- Common and inexpensive
- Gives good production of shapes → بقدر اتحكم بال shape حتى لو كان معقد
- Weaker products, internal defects → انا لما نسكب المعدن جوا ال cavity ما بعرف شو بصير جوا ال cavity ممكن يصير فقاعات جوا او اي مصدر ثاني ممكن يعمل defect جوا هاد ال str.
- Good option for brittle materials

Scanned with CamScanner

* بال extrusion بجيب billet من المعدن شكلها cylinder
والها طول معين وبحطها بال oven على درجة حرارة معينة اقل من
ال melting temp. بعدين بحطها بال extruder وبستخدم force وبصير اضغط
* على هاي المادة اللي صارت شوية soft

الالمنيوم ما بتشكل عن طريق السبك، بشكلوه بطريقة ال extrusion
بجيبوا ال bar تاع الالمنيوم بدخلوه بفرن وبرفعوا حرارته من ال 600 الى ال 800
بعدين وهو سخن بدخلوه على extrusion (cavity معينة) وبصيروا يضغطوا عليه
من الخلف بالتالي بصير يطلع من الامام، من الامام فيه die الها تشكيل محدد (بحط فيه الشكل اللي بدي اياه)
وبتصير المادة تطلع بالشكل المطلوب بعدين نعملها cooling

بعد ما يطلع شو طبيعة ال cooling اللي راح اعمله ؟!

1. natural cooling
2. jet water بسلط عليه
3. fan حاط عليه

* Forging ← نجيب die معينه ونجيب قطعة المعدن اللي بدك تشكل منها
ال end product بعدين على درجة حرارة معينة نسخنها ونحطها بال cavity
ونكبس ال mold (القالب) بالتالي راح يصير shaping حسب ال cavity الموجودة.

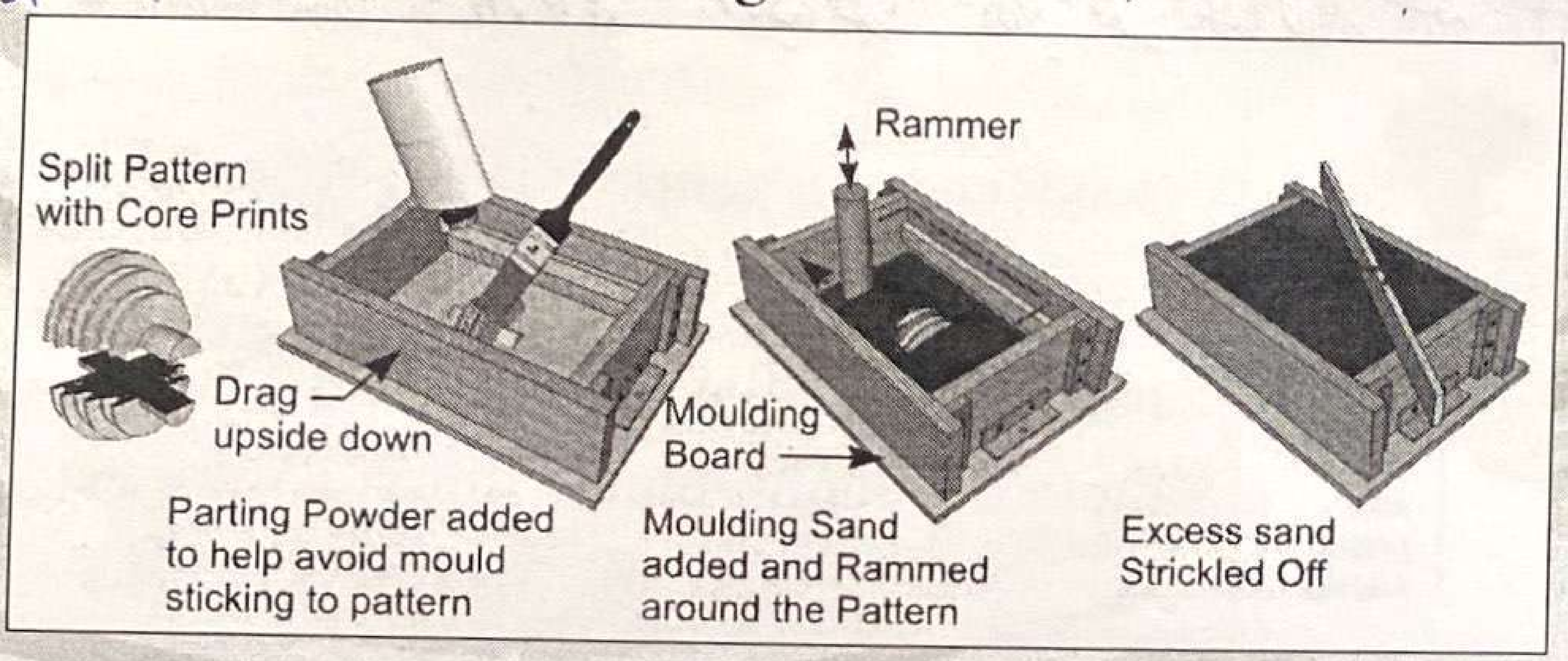
Scanned with CamScanner

Metal Fabrication Methods (ii)

FORMING | **CASTING** | JOINING

يستعملوا رمل بمواصفات معينة ويكون يتحمل درجات حرارة عالية وفيه نسبة رطوبة معينة

(1) ➢ **Sand Casting** (large parts, e.g., auto engine blocks)



نعمل casting لأشكال نوعاً ما سهلة عن طريق الـ sand casting.

- What material will withstand $T > 1600°C$ and is inexpensive and easy to mold?

  Answer: sand!!! يتحمل درجات حرارة عالية جداً

- To create mold, pack sand around form (pattern) of desired shape

Scanned with CamScanner

هاي الطريقة تعطينا
very Good shape & very Good detailes

Metal Fabrication Methods (ii)

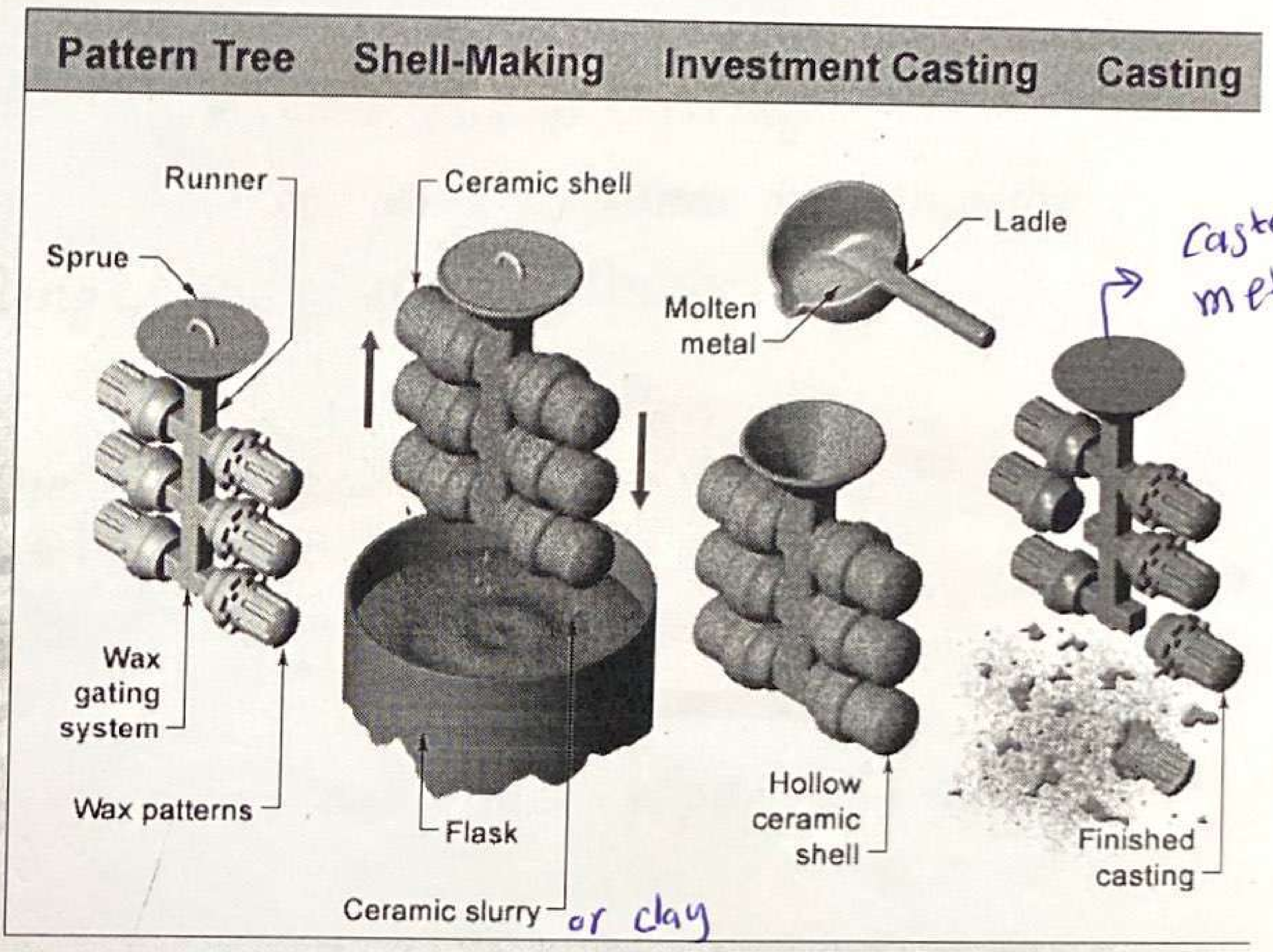
FORMING | **CASTING** | JOINING

- (2) **Investment Casting** (low volume, complex shapes e.g., jewelry, turbine blades)

Stage I: Mold formed by pouring plaster of paris around wax pattern. Plaster allowed to harden.

Stage II: Wax is melted and then poured from mold—hollow mold cavity remains.

Stage III: Molten metal is poured into mold and allowed to solidify.



بستخدم هاي الطريقة لما الاشكال تكون معقدة أكثر

[redacted]

Scanned with CamScanner

اي geometry بدك تنتجه بعملوله fabrication من شمع
بعدين هاد الشمع بصيروا يغطسوه بال clay لعدة مرات لحد ما يصير
عنا thickness معين من ال clay على الشمع، بعض الاحيان بحطوه بـ oven
عشان يصير في strength معينة لل clay. لما يدخل على oven الشمع
راح ينصهر، بس ينصهر بطلعوه من جوا القالب، هلأ صار جوا
ال mold فاضي ومن برا في عليه ال clay، بعدين بحطوا ال molten metal
جواته وبعد ما يصير solidification لل metal بكسروا ال clay اللي برا وبضل
ال item اللي جوا اللي هو عبارة عن المعدن

Scanned with CamScanner

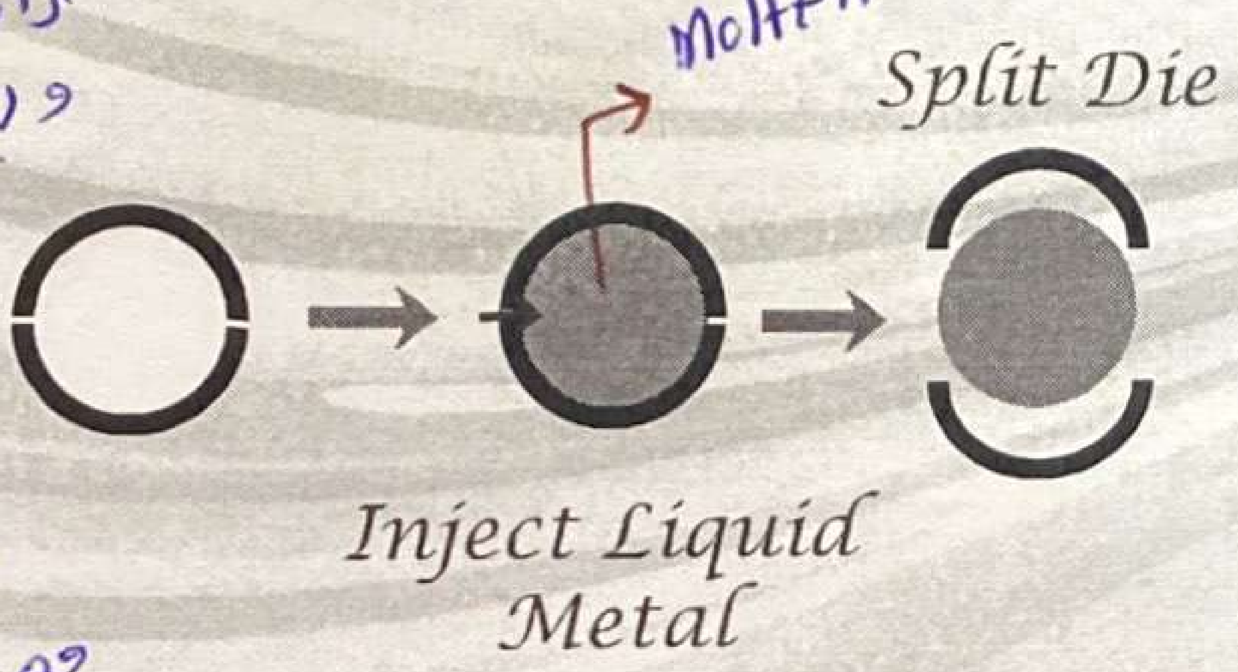
Metal Fabrication Methods (ii)

FORMING | **CASTING** | JOINING

➤ ③ **Die Casting**

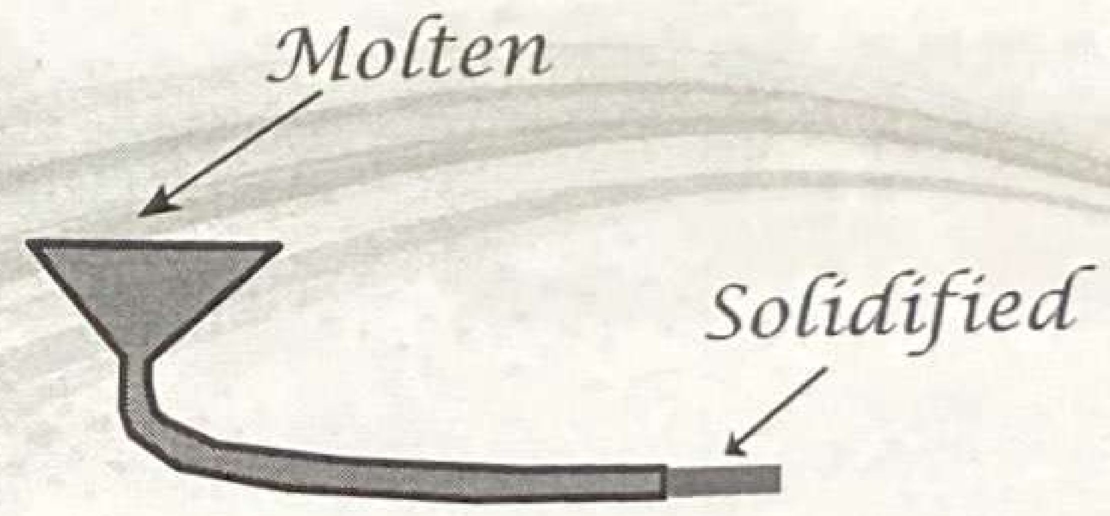
- High volume
- For alloys having low melting temperatures

ـ أي مادة درجة حرارتها منخفضة، بصهروها ويحطوها جوا الـ mold، ولما يبرد يفتحوا الـ mold ويطلع معنا الـ item



➤ ④ **Continuous Casting**

- Simple shapes: rectangular slabs, cylinders



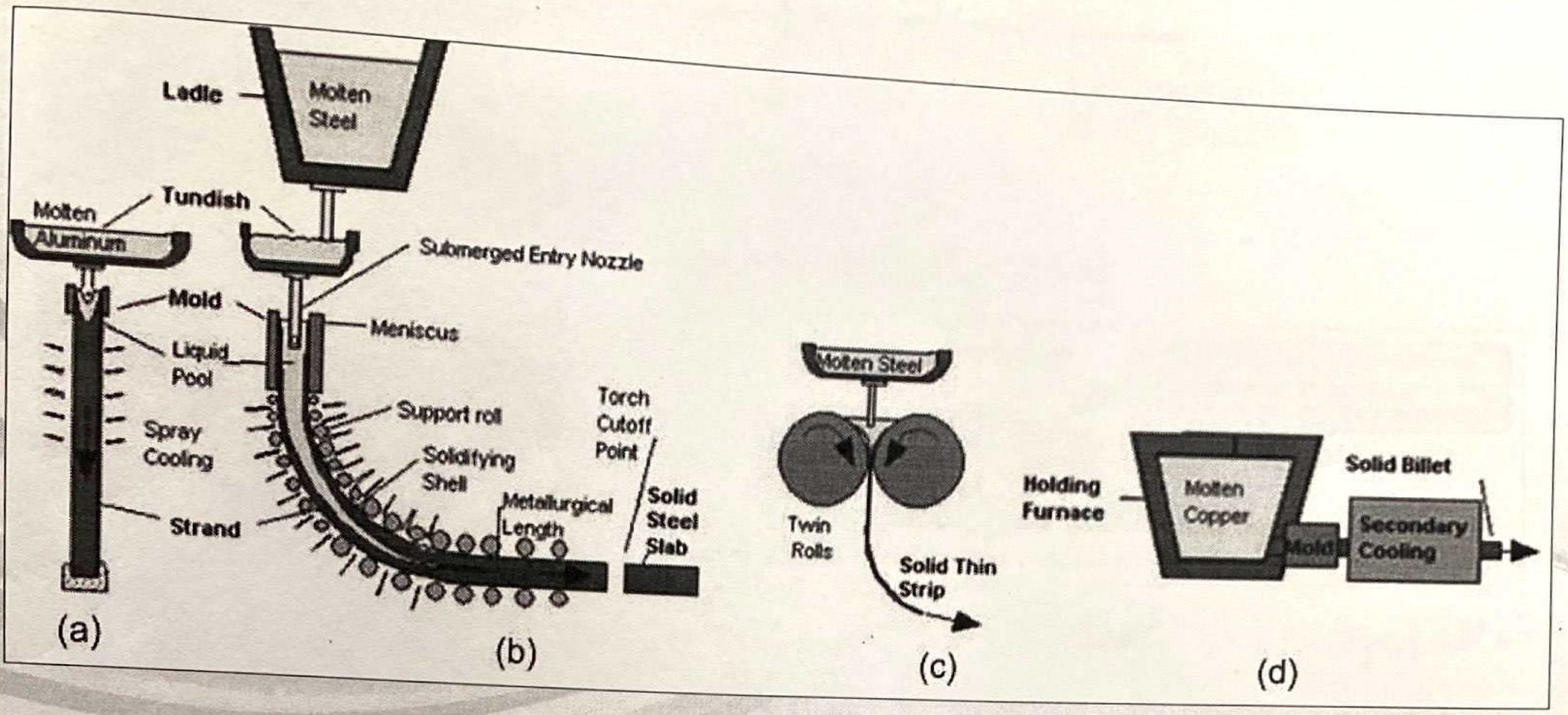
* لما بدهم يطلعوا مثلاً continuous pipe مصنوع من معدن

* بسحبوه بشكل continuous بدون ما يكون اله طول معين بعدين هم بقطعوه.

[redacted]

Scanned with CamScanner

Continuous Casting



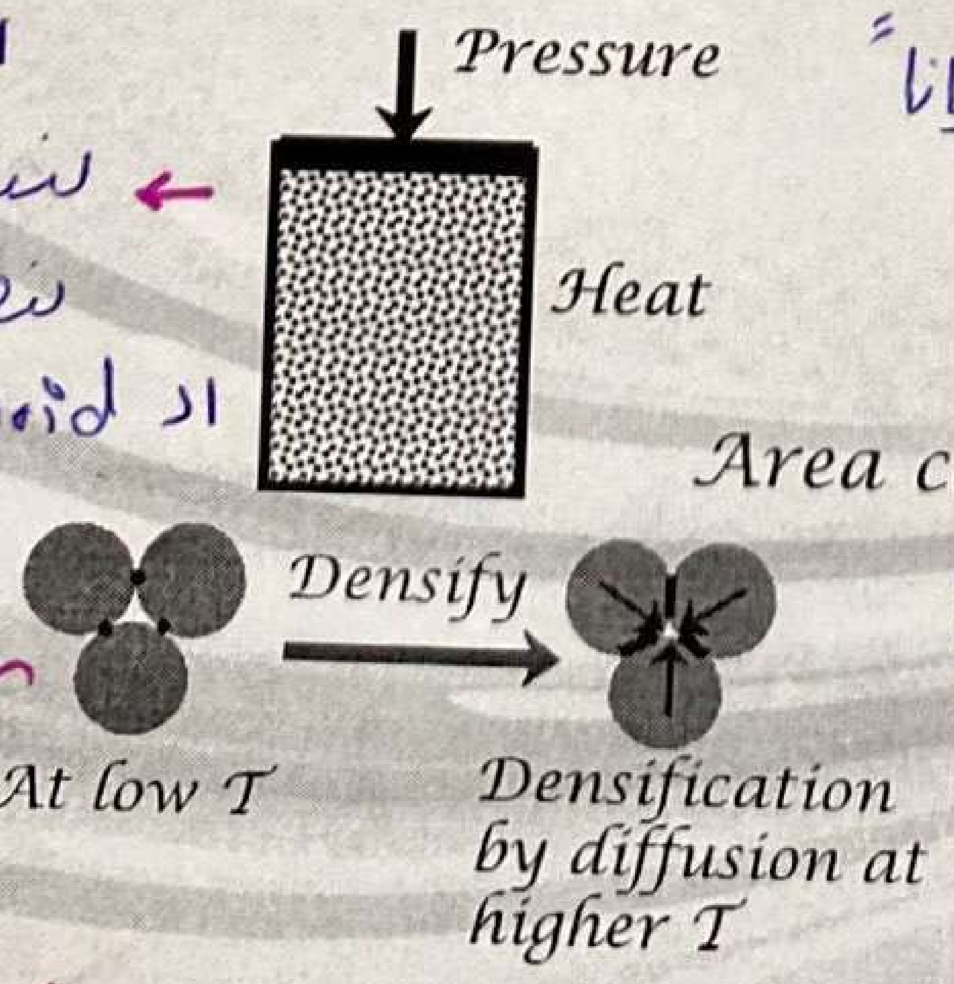
Metal Fabrication Methods (ii)

FORMING — CASTING — JOINING

بدي اجمع مع بعض اما يتم الجمع عن طريق ال compression لتقنية ال powder metallurgy او عن طريق ال welding

① Powder Metallurgy ↔ يستخدم المعدن وهو بشكله ال Powder

(metals with low ductility) بعض الاحيان بكون في تشبيه واحيانا بدون تشبيه

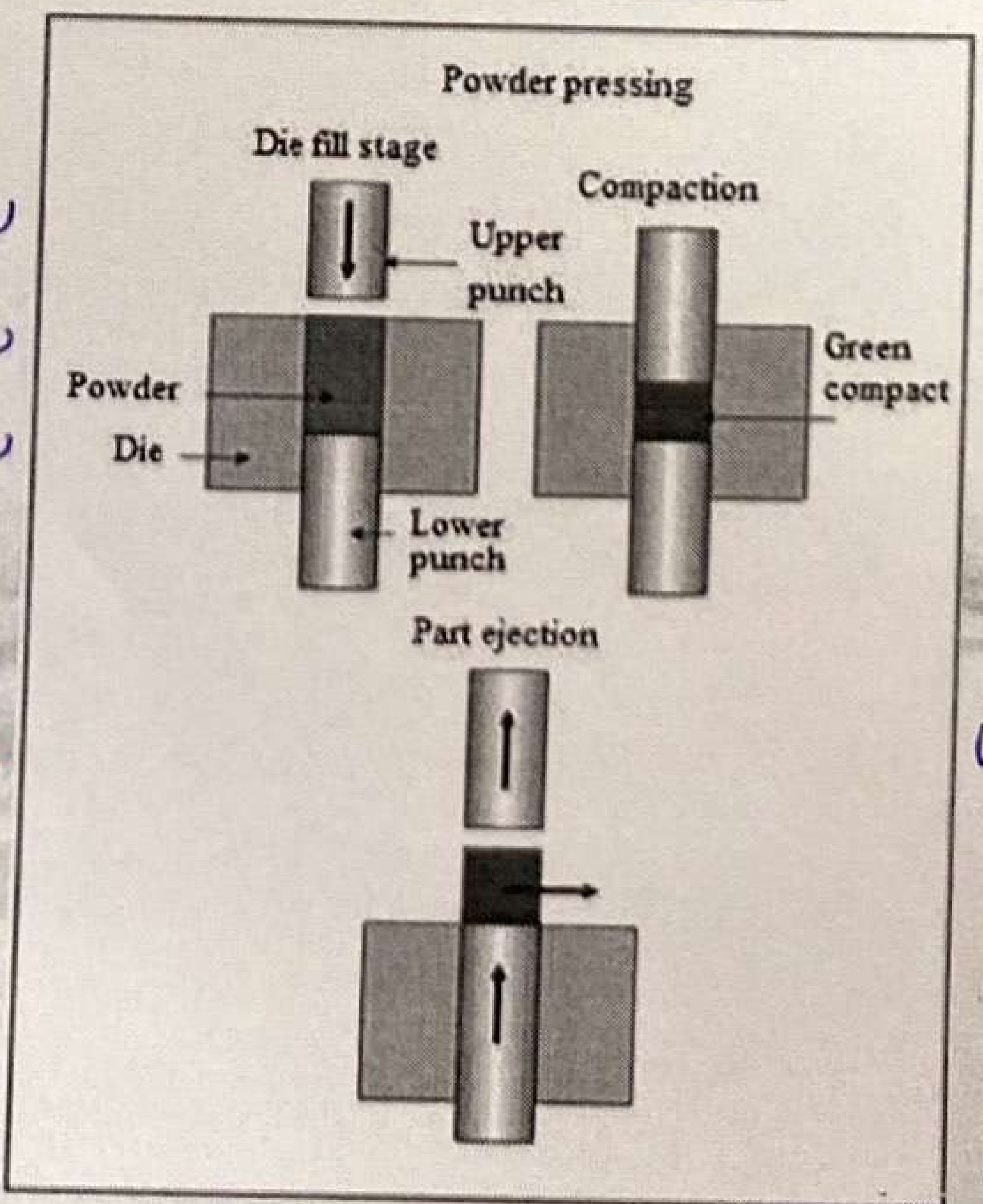


← لتسية بعديه نضغط ال 3 ال

ال void بين particles يقل

ال void اقل يقل

* تصير ال particles ملزقة تحت الضغط العالي مع بعض وبعطينا ال final product



Scanned with CamScanner

بيستخدموا ال welding
كتير بال fabrication

Metal Fabrication Methods (ii)

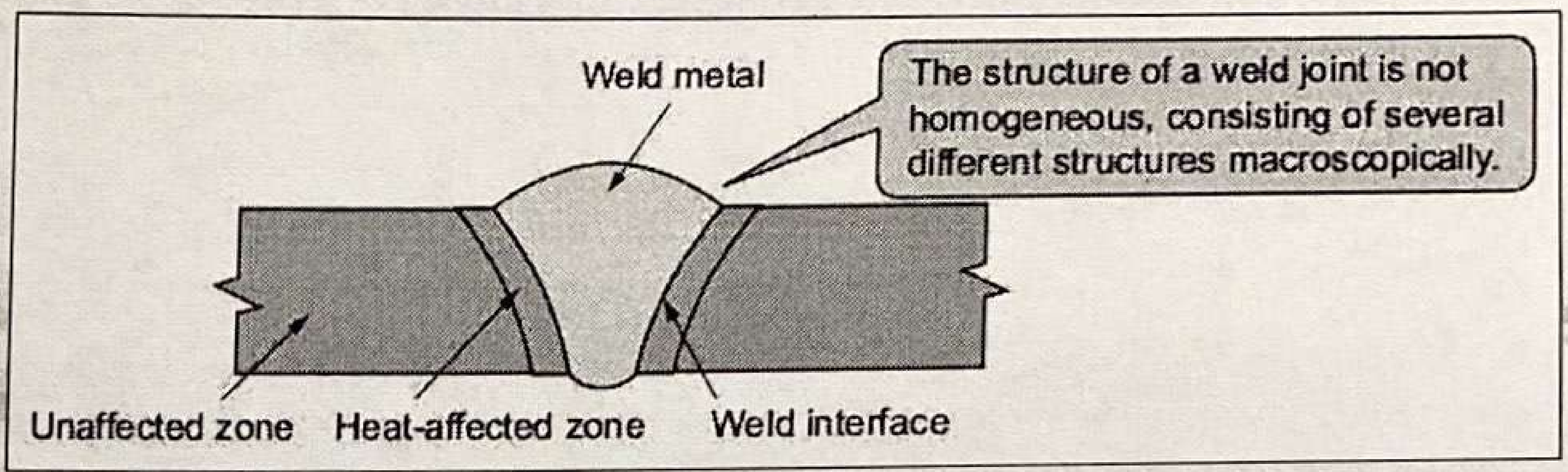
FORMING | CASTING | JOINING

②

➢ **Welding**

(when fabrication of one large part is impractical)

- *Heat-affected zone:* *(region in which the microstructure has been changed).*



ممكن اعمل لحام لل AL ، steel ، iron ، Cu

نعمل welding عشان نعمل join لل two metal together

ممكن يكونوا ال two metal من نفس النوع وممكن يكونوا انواع مختلفة.

Scanned with CamScanner