عــلم مـــواد البنـــــاء

1. الفصل الاول
1.1 المقدمة
1.2 اهمية دراسة المواد الهندسية
1.3 تصنيف المواد الهندسية
1.4 الخواص العامة للمواد الهندسية
1.5 الخـــــواص الفيـــزيائيـــة
1.6 الخواص الميكانيكية للمواد الهندسية
2. الفصل الثاني
2.1 نماذج من المواد الهندسية
2.2 الطابوق
2.3 الخشب
2.4 المواد الرابطة
2.5 المواد الحديدية
2.6 الكاشي

الفصل الاول

1– 1 المقدمة

العلوم الهندسية ما هى إلا علم وفن يعمل على استغلال المواد والموارد وقوى الطبيعة للتطور والتقدم الصناعى والتكنولوجى والعمرانى، ويعتمد هذا التقدم أساسًا على المواد الهندسية المختلفة وعلى مدى التقدم فى تطويرها و تحسين خواصها لكى تواكب المجالات الهندسية المختلفة. إن المواد بصفة عامة هى عصب العلوم الهندسية المتنوعة فى ماهيتها ومقوماتها، وأصبحت موضع اهتمام للمتخصصين والباحثين لأهميتها فى خدمة البشرية فى كل المجالات المختلفة سواء كانت هندسية أو طبية أو زراعية أو غير ذلك .وعليه كان على المهندسين المتخصصين الكشف عن أسرار المواد والإحاطة بمكوناتها والتعرف على كافة خواصها.

ومن هنا يجئ دور علم " خواص ومقاومة المواد واختباراتها" ليكون أحد الأسس الرئيسية لأى نهضة تكنولوجية حديثة، ومما لا شك فيه فإن دور علم مقاومة المواد باستخد ام النظريات والعلم الخالص فى دراسة العلوم الهندسية ليس بالشكل الملائم، حيث أنه يجب تنمية دور هذا العلم بالاهتمام بالنواحى العلمية النظرية مع النواحى العلمية التطبيقية الهندسية، لكى يتمكن كلا من الدارسين والمهندسين أن يجمعوا بين المبادئ العلمية والخبرة العملية اللازمين لعمل وصناعة المواد والاستفادة منها .ولكى نتمكن من الوصول إلى ذلك يجب أن يكون الباحث والمهندس على دراية كبيرة بإنشاء مواد جديدة أو تحسين مواد موجودة لاستخدامها فى مجالات متنوعة، بأن يختار مواصفات المواد اللازمة للتطبيقات التى تطلب منه، بأن يهتم بضبط جودة كل المواد المستخدمة وطرق الصناعة، بأن يكون علم تام بالخواص المختلفة للمواد المتنوعة وكذلك العلاقات بينهما وظروف استخدامها، بأن يقرر طرق الاختبار المطلوبة على المواد أو على عمليات الإنتاج لأى عناصر إنشائية تستخدم تلك المواد.

من كل ما تقدم يجب أن نعرف الدور الأساسى الذى يلعبه علم مقاومة المواد واختباراتها فى تقدم العلوم الهندسية المختلفة، وكذلك ظهور أهمية هذا العلم فى المجالات الصناعية

والإنشائية حيث يختص علم خواص ومقاومة المواد واختباراتها بدراسة سلوك وخواص المواد واختباراتها تحت تأثير الأحمال المختلفة.

1-2 اهمية دراسة المواد الهندسية

 دراسة المواد الهندسية لها دور فعال وأهمية خاصة فى أى تقدم تكنولوجى فى جميع المجالات ولذلك فإن المواد الهندسية هى التى تكون الكيان الرئيسي للأعمال الهندسية المختلفة .على ذلك يجب المعرفة الدقيقة لانواع المواد المختلفة وبحث دراسة خواصها وإمكانية اختبار أفضل هذه المواد وانسبها لتتماشى مع ظروف استخدامها فى جميع الأعمال الهندسية المطلوبة.

 ومن هنا نرى أن المهندسين والباحثين مع اختلاف تخصصاتهم لابد لهم من ا لتعامل مع المواد الهندسية بقدرة وكفاءة عالية فى جميع خطوات أى عمل هندسى مطلوب تنفيذه للوصول به لأعلى المستويات التقنية والفنية.

 فمثلا فى مجالات التنفيذ والتصنيع فإن المهندسين يقوموا باستخدام المواد المختلفة فى عمل المنشأت المختلفة أو تصنيع المكينة المختلفة تحت ظروف خاصه وبطرق ملائمة، وأيضا بالنسبة لأعمال التشغيل والصيانة والمبيعات فإن المهندس يكون على علاقة مباشرة باستخدام المواد الهندسية فى كل الأعمال المطلوبة وكذلك فى أعمال التفتيش والاختبار فإن المهندس يقوم باختبار المواد وتعيين خواصها ومدى صلاحيتها قبل استخدمها فى أى من الأعمال الهندسية.

 لذلك نرى مما تقدم أن للمهندس صلة رئيسية مباشرة مع المواد بحيث أن المهندس يقوم بتحويل المواد الخام إلى منشآت مثل المبانى والمصانع والسيارات والصواريخ وغير ذلك فى جميع المجالات، لذلك فإنه يجب على المهندس أن يكون على دراية ومعرفة تامة بالمواد وخواصها المختلفة ومدى مقاومتها للأنواع الأحمال المختلفة وكذلك مدى مقاومتها للعوامل المعرضة لها مع الزمن. لذلك يتطلب دراسة القواعد والقوانين والنظريات التى تتحكم فى اختلاف عمل المواد الهندسية وخواصها تحت تأثير العوامل المختلفة و دراسة تلك المواد الهندسية تطبيقيا وعمليا، وكذلك تتطلب متابعة البحوث العملية التى تجرى على علم خواص ومقاومة المواد واختباراتها لكى تصل بنا إلى حل أى مشاكل تقابلنا فى استخدام المواد

الهندسية ومواكبة أى تطور بهذا العلم يمكن استخدامه فى أى غرض إنشائى يتماشى مع التطور والتقدم الهائل فى كل المجالات.

ويمكن القول بشكل مختصر ان علم خواص المواد للهندسة المدنية يهتم بدراسة الخصائص الضرورية للمواد لكي تساعد المهندس في اختيار المواد المناسبة لتنفيذ المنشأ بحيث يضمن سلامة الانشاء بأقل كلفه ممكنة .

3-1 تصنيف المواد الهندسية

المقصود بالمواد الهندسية أنها المواد التى تستخدم فى الأعمال والمجالات المختلفة سواء للمنشآت مثل الأحجار والطابوق والمواد الأسمنتية والركام الناعم والخشن والأخشاب والبلاستك والمعادن والزجاج والمواد العازل الخ.....وغيرها كذلك تلك المواد المستخدمة فى الصناعة والماكينات مثل الحديد والنحاس والألومنيوم ... الخ، أو المواد المستخدمة فى أعمال الصيانة مثل مواد الطلاء ، كذلك المواد التى تستخدم لتوليد الطاقة مثل الماء والمواد البترولية ومواد الطاقة الذرية.

تقسم المواد الهندسية حسب تصنيفات متعددة وكما يلي:

أ - تقسيم المواد حسب طبيعة تركيبها.

ب - تقسيم المواد حسب مصادر الحصول عليها.

ج -تقسيم المواد حسب خواصها الميكانيكية.

د- تقسيم المواد حسب طبيعة التشوهات التي تحصل فيها.

أ - تقسيم المواد حسب طبيعة تركيبها.

1) المواد المعدنية:

- معادن حديدية :مثل الحديد الصلب والحديد الزهر والحديد المطاوع.
- معادن غير حديدية :هى معادن ثقيلة مثل النحاس والنيكل ومنها معادن خفيفة مثل الألومنيوم والماغنسيوم ومعادن طرية مثل الصفيح والرصاص.
-

2) المواد غيرالمعدنية:

- مواد البناء :مثل الأحجار والطابوق و الركام والخرسانة والأسمنتيات والجبس والأخشاب ....وغيرها.
- مواد متنوعة :مثل المطاط والبلاستيك والفوم والاصباغ ...الخ.

3) المواد المولدة للطاقة : مثل الماء والفحم والمواد البترولية واليورانيوم ...وغيرها.

ب - تقسيم المواد حسب مصادر الحصول عليها.

1)مواد من مصادر طبيعية:

يمكن تقسم المواد الطبيعية إلى مواد طبيعية ليس لأى يد بشرية دخل فى تكوينها أو تغير خواصها،ومواد مستخلصة.

أ- المواد الطبيعية: هى المواد التى تستخدم بنفس بنيانها وخواصها كما هى بالطبيعية مثل الأحجار والركام بأنواعه والمواد البترولية والأخشاب.

ب- المواد المستخلصة: هى المواد التى تستخلص ويتم استخدامها من ا لخامات الطبيعية مثل الحديد والنحاس وبعض المنتجات البترولية والذهب والألومنيوم.

2)مواد من مصادر صناعية:

هى المواد ونظائرها التى يتم تصنيفها من خامات طبيعية أو خامات مصنعة ومجهزة فى المعامل أوالمصانع بغرض الحصول على مواد هندسية مصنعة ذات خواص معينة تلائم العمل المصممة من أجله، مثل مواد الطلاء ومواد العزل والطابوق وسبائك المعادان و الأسمنت.....وغيرها.

3)مواد من مخلفات الاعمال الهندسية والصناعية:

هى المواد التى تنتج وتختلف بشكل ثانوى من مراحل تصنيع الأعمال الهندسية والصناعية مثل خبث الأفران ونواتج الاحتراق والمخلفات البترولية ومخلفات أعمال المبانى من خرسانة و طابوق وسيراميك،وتلك المخلفات كلها يمكن استخدمها فى أعمال هندسية

اخرى مثل صناعة الأسمنت الحديدى وأعمال العزل وبعض أنواع من الطابوق والخرسانات...الخ.

ج -تقسيم المواد حسب خواصها الميكانيكية.

الخواص الميكانيكية من أهم الخو اص التى تدرس سلوك المواد وخواصها لذلك يمكن تقسيم المواد الهندسية من حيث خواصها الميكانيكية إلى مواد مطيلة ومواد نصف مطيلة ومواد قصفة.

1) مواد مطيلة : هى المواد التى يتغير شكلها أو يمكن أن يحدث بها استطالة بتأثير الأحمال المختلفة التى تؤثر عليها وتكون خاصية المرونة والممطولية بها عالية وكذلك مقاومتها للشد عالية مثل الحديد المطاوع والألومنيوم...وغيرها من المواد المعدنية.

2) مواد قصفة: هى المواد التى تكون مقاومتها للشد ضعيفة ولا تقاوم أحمال الصدم ولكن تتحسن مقاومتها للضغط بشكل مناسب مثل الطابوق والأحجار والخرسانة و الزجاج والحديد الزهر ...وغيرها من المواد المعدنية والغير معدنية.

3) مواد نصف مطيلة :هى المواد التى خواصها تجمع بين خواص المواد المطيلة من حيث قدرتها على الممطولية بدرجة أقل وخواص المواد القصفة بتحسين ظاهر فى خواص المرونة .وهذه المواد هى الصلب الكربونى والنحاس الأصفر.

د- تصنيف المواد حسب طبيعة التشوهات التي تحصل فيها :

1) المواد المرنه ELASTIC MATERIALS : وهي المواد التي اذا سلط عليها قوه معينه تحصل تغيرات في ابعادها ثم اذا ازيلت هذه القوى عادت الماده الى ابعادها الاصليه ومن هذه المواد (المطاط) .

2) المواد اللدنه (تامه اللدونه) PLASTIC MATERIALS :وهي المواد التي اذا سلط عليها قوة معينه تحصل تغيرات في ابعادها ولا تزول هذه التغيرات بزوال القوة المسلطه ومن هذه المواد (الطين) , (ألصلصال) .

3) المواد المرنه اللدنه ELASTO PLASTIC MATERIALS :وهي المواد التي اذا سلط عليها قوه معينه تحصل تغييرات في ابعادها واذا ازيلت هذه القوه عاد جزء من هذه التغيرات وبقي جزء اخر كتغير متبقي دائم .معظم المواد الانشائيه تقع ضمن هذا الصنف من المواد . الفولاذ , الخرسانه والخشب . ان بعض المواد تسلك سلوكا مرنا ضمن مرحله معينه من التحميل وسلوكا لدنا ضمن مرحله اخرى .

4-1 الخواص العامة للمواد الهندسية

خواص المواد هي المقاييس والمعايير المحددة التى تصف جودة المواد، وتفيد الخواص فى اعتبارها أنها الأساس الذي يضع به المهندس المصمم احتياجاته للمادة واختيار انسبها فى الأعمال الهندسية المختلفة .ولكى تكو ن على دراية ومعرفة دقيقة بمادة من المواد يجب علينا تعيين خواص تلك المواد تحت أى ظروف وذلك لضمان الحصول على كافة البيانات والمعلومات عن هذه الخواص والتى تؤثر بشكل مباشر على قيمة الأعمال المستخدم فيها هذه المواد فنيا واقتصاديا .ومن هنا يجب أن نتعرف على الخواص المميزة للمواد الهندسية: ومن الممكن تصنيف خواص المواد كما يلي :-

1-الخواص الفيزيائية :

وتشمل الابعاد ، الكثافة ,الوزن النوعي , المسامية , محتوى الرطوبه .....الخ

2- الخواص الميكانيكية :

هى الخواص التى تتعلق بسلوك المواد الهندسية عند تعرضها للأحمال المؤثرة المختلفة سواء كانت هذه الأحمال إستاتيكية أو ديناميكية أو متكرر ة. كما أن الخواص الميكانيكية تستخدم كأساس للمقارنة بين المواد الهندسية المختلفة وتشمل : مقاومة الشد ,مقاومة الانضغاط ,الصلابه ,القساوة .الزحف ,الكلل .....الخ

3-الخواص الحرارية:

هى الخواص التى توضح تأثير الحرارة على المواد منها تحديد الحرارة النوعية والتوصيل الحرارى ومعاملات التمدد والانكماش من التأثير الحرارى على المواد والعينات وغيرها....

4-الخواص الكيميائية :

تتعلق الخواص الكيميائية بالتركيب الكيميائى للمادة وتعيين الأس الهيدروجين لمعرفة القاعدية والحامضية، ومعرفة أيضا مقاومة التآكل بالصدأ، تحديد نسب المواد الغريبة والشوائب الموجودة فى المواد للحكم على ضبط جودة استخدامها. وتشمل : مقاومة الحوامض والقلويات والمحاليل الملحية والتأكسد .

5-الخواص الاقتصادية:

وتشمل الكلفة والتوفير .

6-الخواص الجمالية :

وتشمل اللون ,نعومة السطح ,انعكاس الضوء

وغيرها من الخواص مثل الصوتية والمغناطيسية والكهربائية ....الخ .

5-1 الخـــــواص الفيـــزيائيـــة

أ) الكثافة Density(ρ)

- وهي النسبة بين كتلة المادة المتجانسة (homogeneous material) الى حجمها.
- وحداتها kg/m^3 أو gr/cm^3
- $\rho = M/V$

ρ = Density (kg/m^3)

M = mass (kg)

V = volume (m3)

Density of some building materials is as follows: الكثافة لبعض مواد البناء

Material Density (g/cm3)

Brick 2.5–2.8

Granite 2.6–2.9

Portland cement 2.9–3.1

Wood 1.5–1.6

Steel 7.8–7.9

وهناك نوعان من الكثافه :

1-الكثافه الكلية (bulk density) (ρ_b)

وهي النسبة بين كتلة المادة الى حجمها الاجمالي بما فيه الفراغات .

$$\rho b = \frac{M}{V}$$

$V = Vs + Vv$

- Vs = Volume of soilds
- Vv = volume of voids
- $M = Ms + Mw$
- Ms = solid Mass
- Mw = water Mass

V,M =total volume and total mass, respectively

Material Bulk density (kg/m3)

Brick 1600–1800

Granite 2500–2700

Sand 1450–1650

Pine wood 500–600

Steel 7850

2- الكثافه الصلبة soild density (ρs)

وهي النسبة بين كتلة المادة الصلبه الى حجم المادة الصلبة فقط بدون أي فراغات .

$$\rho s = \frac{Ms}{Vs}$$

Ms = Mass of soild

في معظم المواد تكون الكثافة الكلية اقل من الكثافة الصلبة ولكن للمواد مثل الموائع و الزجاج تكون هذه الكثافات متطابقة عمليا.

Density Index -3 ρo

هو النسبة بين الكثافة الكلية الى الكثافة الصلبة

$$\rho_o = \frac{\text{bulk density}}{\text{density}}$$

$$= \frac{\rho_b}{\rho}$$

ويعبر عن مقدار ملىء المادة الصلبة للحجم الذي تشغلة و تكون قيمتة اقل من 1 دائما بالنسبة لمواد البناء لانة لاتوجد مادة يكون حجمها كله مادة صلبة.

ب) وحدة الوزن unit weight او specific weight (ϒ) (the Greek letter Gamma).

هي النسبة بين وزن المادة الى حجمها .

ϒ: is the specific weight of the material (weight per unit volume, typically N/m^3 units)

$$ϒ = \frac{W}{V}$$

ϒ = Unit weight (N/m^3)

W= weight (N)

V = volume (m^3)

$ϒ = (m.g) / V$

$$ϒ = \rho . g$$

ρ: is the density of the material (mass per unit volume, typically kg/m^3)

هي كثافة المادة (الكتلة نسبة الى الحجم وتقاس عادة بوحدة كغم/المتر المكعب)

g: is acceleration of gravity (rate of change of velocity, given in m/s^2)

هو التعجيل (معدل التغير في السرعة ويقاس بوحدة كغم / المتر المكعب)

الوزن النوعي يمكن ان يستعمل في الهندسة المدنية لحساب وزن الهيكل المصمم لحمل احمال معينة مع الحفاظ على سلامته والبقاء ضمن الحدود المسموحة بخصوص التشوه. يستخدم كذلك في ديناميك الموائع (الموائع في حالة الجريان) كخاصية للسوائل (على سبيل المثال: الوزن الوعي للماء على الارض هو 9.8 كيلو نيوتن / متر مكعب عند 4 درجات مئوية).

ج) الوزن النوعي specific gravity Gs

وهي النسبة مابين الكثافه الصلبه للمادة وكثافة الماء المقطر في درجة حرارة +4 م لان كثافة الماء المقطر في هذه الدرجة تساوي 1 g/cm^3 أو 1000kg /m^3 .

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} = \frac{\rho_s}{\rho_w}$$

where

ρ_s = density of solids

ρ_w = density of water (at 4°C, ρ_w = 1g/cc)

γ_s = unit weight of solids

γ_w = unit weight of water (at 4°C, γ_w = 9.8 kN/m^3)

د) الوزن النوعي المطلق او الحقيقي: True or Absolutr Spesific Gravity (Ga)

اذا تم استبعاد كل من الفراغات النفاذة والغير نفاذة من الحجم الحقيقي للمواد الصلبة فأن الوزن النوعي يسمى الوزن النوعي الحقيقي. علما ان هذا النوع من الوزن غير شائع الاستخدام في الجزيئات.

$$G_a = \frac{(\rho_s)_a}{\rho_w}$$

where

$(\rho_s)_a$ = absolute density of solids in vacuum

هـ) الوزن النوعي الظاهري Apparent or Mass Specific Gravity (Gm)

اذا كانت كل من الفجوات النفاذة والغير نفاذة ضمن الحجم الحقيقي للمواد الصلبة فأن الوزن النوعي يسمى الوزن النوعي الضاهري. والوزن النوعي الضاهري هو الكثافة الكتلية للمادة نسبة الى الى الكثافة الكتلية للماء.

$$G_m = \frac{\rho}{\rho_w}$$

و) المسامية porosity (n)

هي النسبة بين حجم الفراغات في مادة الى حجمها الكلي

$$n = \frac{Vv}{V}$$

n= e /(1 +e)

Vv = Volume of voids

ز) نسبة الفراغات voids ratio (e)

وهي النسبة بين حجم الفراغات الى حجم المادة الصلبه .

$$e = \frac{Vv}{Vs}$$

Remember that $e = \frac{n}{1-n}$

.....

Prove that

$$n = \frac{e}{e+1}$$

$$n = \frac{Vv}{Vt} = \frac{Vv}{VS+Vv}$$

$$\frac{1}{n} = \frac{Vs+Vv}{Vv}$$

$$\frac{1}{n} = \frac{Vs}{Vv} + 1$$

$$\frac{1}{n} = \frac{1}{e} + 1 = \frac{e+1}{e}$$

$$n = \frac{e}{e+1}$$

Prove that:

$$n = \frac{m.Gs}{Sr+M.Gs}$$

$$n = \frac{Vv}{Vt} = \frac{Vv}{Vs+Vv}$$

$$\frac{1}{n} = \frac{Vs+Vv}{Vv}$$

$$> \frac{Vs}{Vv} * \frac{Ms}{Ms} + 1 = 1 + \frac{Ms*Sr}{Gs*Mw} = 1 + \frac{Sr}{Gs*M} > \frac{Gs*M+Sr}{Gs*M} = \frac{1}{n}$$

$$> \boxed{n = \frac{Gs*M}{Gs*M+Sr}}$$

Q/ Prove that $e = \frac{Gs*M}{Sr}$

ح) محتوى الرطوبة Moisture content (m)

وهي النسبة بين وزن الماء الموجود في فراغات المادة الى وزن المادة الصلبه وهي نسبه مئوية

$$m\ \% = \frac{Ww}{Ws} * 100\%$$

Ww = Weight of water

Ws =weight of solids

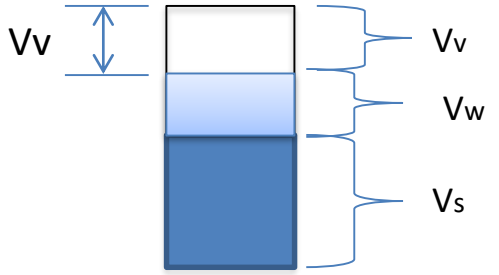
ط) درجة الاشباع Degree of saturation (s)

وهي النسبة بين حجم الماء الموجود في فراغات المادة الى الحجم الكلي للفراغات وهي نسبة مئوية .

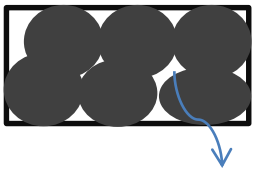
$$S\% = \frac{Vw}{Vv} * 100\%$$

Vw = Volume of water

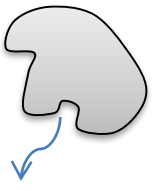
Va = volume of air



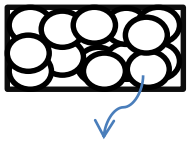
والفراغات تتواجد في الاماكن التالية :



فجوات بين جزيئات المادة



فجوات على سطح المادة



فجوات بين جزيئات المادة

مثال /

في فحص مختبري على نموذج من الطابوق له الخصائص التالية :

الحجم الكلي 2116 سم ³ , كتلتها الكليه 3555 غم ,كتلة المادة الصلبه فيها = 3250غم

والوزن النوعي للمادة الصلبه =1.83 , المطلوب ايجاد :

1- المسامية(n) 2- نسبة الفراغات (e) 3- محتوى الرطوبة (m) 4- درجة الاشباع (s)

الحل /

$$Gs = \frac{\rho s}{\rho w} \quad , \quad 1.83 = \frac{\rho s}{1} \quad , \quad \rho s = 1.83 \frac{g}{cm^3}$$

$$\rho s = \frac{Ms}{Vs} \quad , \quad 1.83 = \frac{3250}{Vs} \quad , \quad Vs = 1775.96 \text{ cm}^3$$

$$V = Vs + Vv \quad > \quad 2116 = 1775.96 + Vv \quad , \quad Vv = 340.04 \text{ cm}^3$$

$$1)\ n = \frac{Vv}{V} = \frac{340.04}{2166} = 0.16$$

$$2)\ e = \frac{Vv}{Vs} \quad , \quad e = \frac{340.04}{1775.96} = 0.19$$

$$3)\ m = \frac{Mw}{Ms} * 100\% \quad , \quad Mw = M - Ms$$

$$3555 - 3250 = 305g$$

$$Mw = \frac{305}{3250} * 100\% = 9.4\%$$

$$4)\ S = \frac{Vw}{Vv} * 100\% \quad , \quad Vw = \frac{Mw}{\rho w} = \frac{305}{1} = 305CM^3$$

$$>>> S = \frac{305}{340.04} * 100\% = 89.7\%$$

6-1 الخواص الميكانيكية للمواد الهندسية

هي الخواص المتعلقه بتصرف الماده تحت تأثير القوى المسلطة عليها حيث ان المادة تتكون من جزيئات صغيره وتصل بينها مسافات صغيره وترتبط مع بعضها البعض بواسطة قوى التماسك ففي حاله تسليط قوة خارجيه على المواد فأن هذه القوى تحاول ان تغير من شكل الماده وذلك بتغير المسافات بين جزيئات الماده ونتيجة لذلك تتولد قوى داخليه في الماده مساومية بالمقدار ومعاكسه بالاتجاه للقوى الخارجيه مما يجعل المادة في حالة أتزان.

لتعيين الخواص الميكانيكية للمواد الهندسية يجب أن تكون على معرفة تامة بأنواع وطبيعية الأحمال المؤثرة على المواد الهندسية قبل الخوض فى التعرف على الخواص الميكانيكية الرئيسية التى تميز صفات وخواص المواد.

1-6-1 انواع التحميل

يمكن تقسيم الطرق التى تؤثر بها الأحمال على المواد الهندسية إلى الأنواع الآتية:

1- التحميل الاستاتيكي Static loading

الحمل الاستاتيكى قد يكون فيه تأثير الحمل بطيئًا متزايدًا أو متناقصًا تدريجيًا حتى يصل إلى قيمته القصوى أو الدنيا بدون حدوث أى أحمال صدم أو اهتزاز مثل أحمال اختبارات الشد أو الضغط أوالانحناء أو القص، حيث أنه تحمل عينة الاختبار بأحمال تزداد تدريجيا ببطء وبمعدلات تحميل معلومة طبقا لمواصفات أى من الإختبارات حتى يصل الحمل إلى قيمته القصوى ويحدث الكسر بالعينات. وقد يكون الحمل الإستاتيكى ثابت المقدار والاتجاه وطبيعة وموضع التأثير مثل أوزان العناصر الإنشائية المختلفة وكذلك أى أحمال دائمة ساكنة مؤثرة عليها .كما أن التحميل المستمر اوالتحميل الدائم مدة طويلة مع الزمن بدون تغيير فى طبيعة الحمل المؤثر يعد تحميلا إستاتيكيا.

2-التحميل الديناميكي Dynamic loading

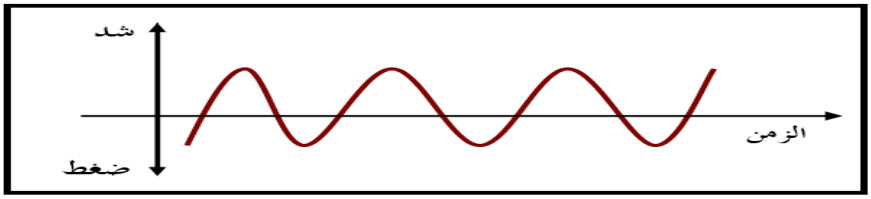
التحميل الديناميكى تكون الأحمل المؤثرة على المواد ما هى إلا أحمال اهتزاز أو أحمال صدم وتكون مدة تأثير هذه الأحمال قصيرة نسبيا .ويختلف التحميل الديناميكى عن التحميل الإستاتيكى فى أن الإجهادات الناشئة عن التحميل الديناميكى أعلى بكثر من الإجهادات الناتجة عن التأثير بنفس قيمة الحمل ولكن حمل إستاتيكى .ويعرف الحمل الاستاتيكى الذى يعطى

نفس الإجهادات الناشئة من الحمل الديناميكى بالحمل الاستاتيكى المكافئ .ومن أمثلة التحميل الديناميكى هى أحمال الأجسام المتحركة عند صدمها بأجسام أخرى (مثل هبوط الطائرة على أرض المطار)، والأحمال الناشئة عن دوران الماكينات وحركة القطارات، وأحمال الزلازل ...وغيرها.

3-التحميل المتكرر Repeated loading

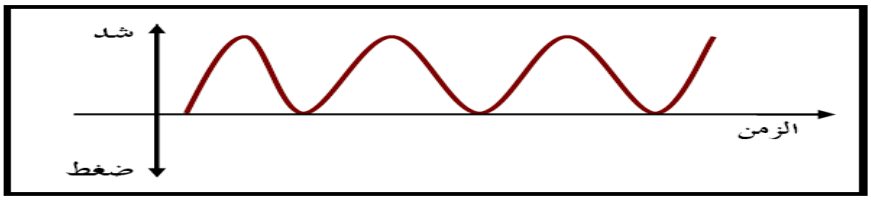
التحميل المتكرر هو الحالة التى تتعرض فيها العناصر الإنشائية إلى حمل يتكرر مرات عديدة. وللتحميل المتكرر أهمية خاصه يجب الإهتمام بها لأن العناصر قد تتحمل إجهادات معينة بتأثير الأحمال لمرة واحدة، بينما قد تنهار هذه العناصر تحت تأثير نفس الأحمال أو أحمال أقل منها لو كان الحمل المؤثر متكررًا لمرات عديد ة .ويسبب التحميل المتكرر اجهادات متغيرة فى القيمة غالبا فى حدود معينة، ويمكن توضيح بعض حالات الإجهادات المتكررة فيما يلي:

١- اجهادات متغيرة من قيمة قصوى فى الشد إلى قيمة قصوى فى الضغط. كما فى شكل ادناه.



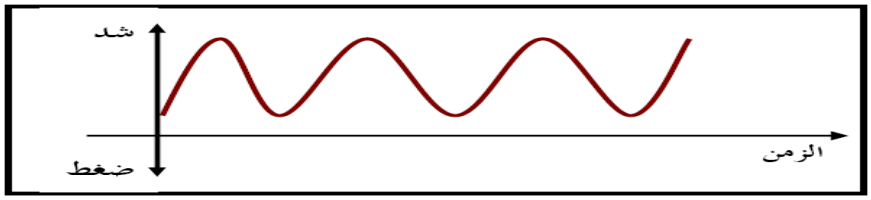
دورة متغيرة بين قيمة قصوى فى الشد إلى قيمة قصوى فى الضغط

٢- اجهادات متغيرة من قيمة قصوى فى الشد أو الضغط إلى قيمة تساوى صفراً كمافى شكل ادناه.



دورة متغيرة بين قيمة قصوى إلى الصفر

٣- اجهادات متغيرة من قيمة عظمى فى الشد أو الضغط إلى قيمة صغرى فى الشد أو الضغط ولكن بقيمة أعلى من الصفر كما هو موضح بالشكل ادناه.



دورة متغيرة بين قيمة عظمى وقيمة صغرى

الأحمال. لذلك يجب أن نعتنى بدارسة تأثير الأحمال بكل جدية لما لها من أهمية كبرى فى أعمال التصميم وحساب القطاعات المناسبة للعناصر الإنشائية المحملة وكذلك تعيين خواص المواد الميكانيكية المطلوبة من الاختبارات التى يتم اختيارها لذلك.

ونتيجة لهذه الاحمال (LOADS) سوف تتولد اجهادات STRESSES داخل الماده حيث هناك عدة انواع من الاجهادات ويعتمد ذلك على نوع القوى المؤثرة و هذه الاجهادات سوف تودي الى تغير بشكل وابعاد المادة او ما يسمى الانفعال Strain وعليه يجب التعرف على انواع الاجهادات و انواع الانفعالات الحاصلة للمادة وبعض المصطلحات قبل التطرق للخصائص الميكانيكية وادناه توضيح لها:

1 -الاجهاد *STRESS* (σ) هو مقدار القوة المسلطة على وحدة المساحة

Is the intensity of internal forces = Force / Area

Stress units = Force unites / Area Units = Kg./Cm2, lb./in2, T/m2.

*I*Kg. = 2.205 lb. and 1 in. = 2.54 cm

then 1 Kg./Cm2 = 14.223 lb / in2 , and 1 Kg./Cm2 = 10.0 T/m2.

وينقسم الى

1- جهد الضغط Compression stress

2- جهد الشد Tension stress

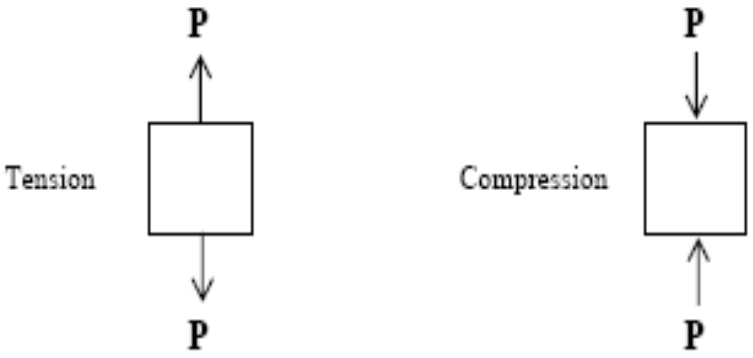
3- جهد القص shear stress

4- جهد الانحناء bending stress

5- جهد الالتواء torsion stress

Normal Stress

is the stress normal to the section, and could be tension or compression stress:



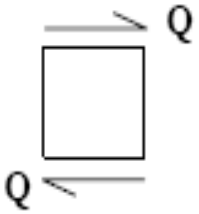
$$\sigma = \frac{P}{A}$$

Where:

σ	Normal stress
P	Applied load
A	Cross sectional area

Shear stress

Is the tangential stress.



$$\tau = \frac{Q}{A}$$

Where:

τ	Shear stress
Q	Shearing (tangential) force
A	Cross-sectional area

2- الانفعال (ε) strain

هو النسبة بين التغير في الحجم الى الحجم الاصلي وليس له وحدات، ويكون نتيجه الى زيادة الحمل المسلط عليه (استجابة الماده للقوة المسلطة عليها) فعند تسليط قوة معينه على المادة فأن ذلك سوف يسبب في حصول تغير في ابعاد تلك المادة الطوليه الموازية لاتجاه القوى وكذلك تغير في الابعاد العرضيه العموديه على اتجاه القوى المسلطه فأذا تم تسليط قوة شد او ضغط على قضيب فولاذ ذو مقطع دائري طوله (Lo) وقطره (Do) وكان التغير في ابعاد النموذج هو (ΔD) و (ΔL) فأن

الانفعال الطولي LONGITUDINAL STRAIN (Є L) :

$$Є L = \frac{\Delta L}{L\circ}$$

والانفعال العرضي LATERAL STRAIN

$$ЄD = \frac{\Delta D}{D\circ}$$

3- نسبة بوسون (POISONS RATIO)

وهي النسبه بين الانفعال العرضي للماده الى الانفعال الطولي ضمن حدود المرونه

$$\nu = \frac{\Delta D/D\circ}{\Delta L/L\circ}$$

اذا كانت الماده مرنه تماما بحيث انها لا تعاني من اي تغير حجمي (ΔV) عند تطبيق القوى عليها اي (ΔV=0) ففي هذه الحاله تكون نسبة بوسون تساوي (0.5) وهذه اعضم قيمه لهذه النسبه وتلاحض من بين المواد الهندسيه ان المطاط هو اقربها لان يكون مثاليا حيث تبلغ قيمة نسبه بوسون له (0.47 – 0.50), اما للمواد الاخرى فهي اقل من هذه القيمه وتساوي (0.33-0.25) للفولاذ و(0.15) للخرسانه و(0.31) للخشب .

مثال : قضيب من الفولاذ قطره (10mm) ثبتت عليه نقطتان المسافه بينهما (50mm) ثم سلط عيه قوة شد مقدارها (8KN) فزادت المسافه بين النقطتين بمقدار (0.025mm) وقل القطر بمقدار (0.015mm) احسب :

1)الاجهاد المتولد في القضيب الفولاذي

2) الانفعال الطولي والعرضي

3) نسبة بوسون

الحل /

$$A = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi 10^2}{4}$$

$$= 78.57 mm^2$$

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{8*10^3}{4}$$

$$= 101.82 \text{ MPA}$$

$$\epsilon L = \frac{\Delta L}{L\circ} = \frac{0.025}{50}$$

$$= 0.0005$$

$$\epsilon D = \frac{\Delta D}{D\circ} = \frac{0.015}{10}$$

$$\nu = \frac{\epsilon D}{\epsilon L} = \frac{0.00015}{0.0005} = 0.3$$

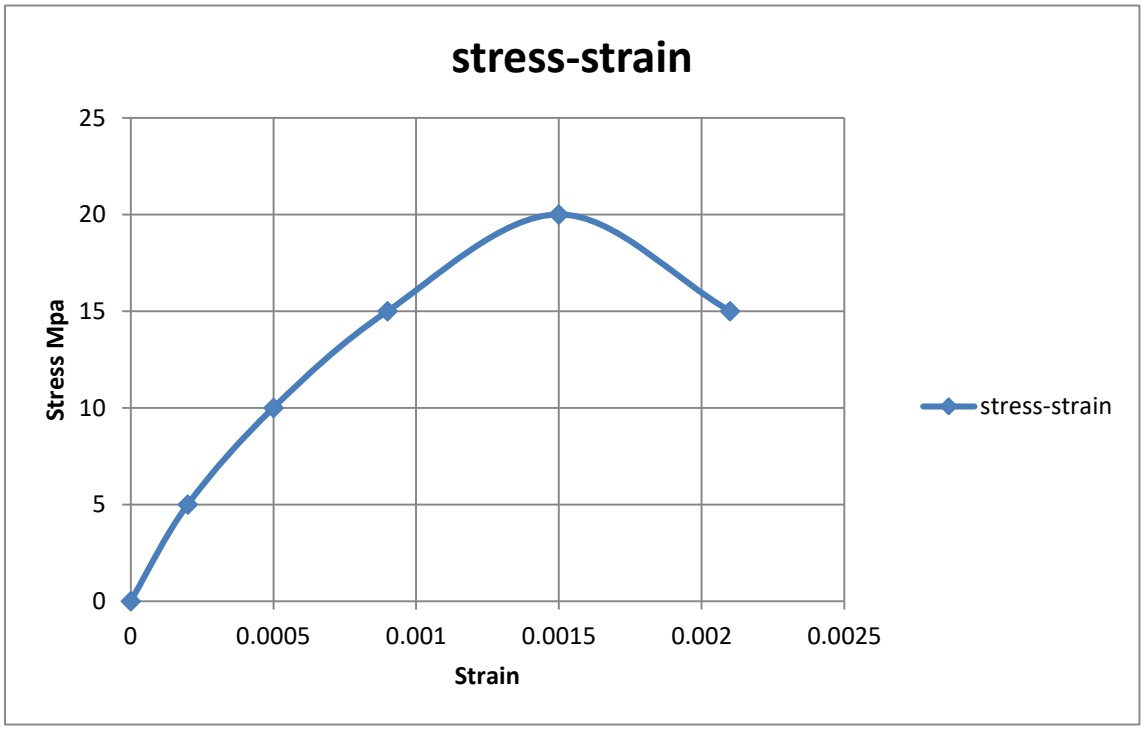
4-منحنى الاجهاد والانفعال :

عند تسليط قوه معينه بصورة تجريبيه على نموذج من ماده ما فان لكل قيمه من الاجهاد المتولد سوف يكون هنالك انفعال معين واذا رسمنا مخطط يربط بين الاجهاد والانفعال الناتج عنه نحصل على ما يسمى بمنحنى الاجهاد والانفعال ويختلف هذا المنحنى في شكله باختلاف نوعية وطبيعة الماده ويرجع السبب في ذلك الى الاختلاف في التركيب الداخلي لتلك الماده.

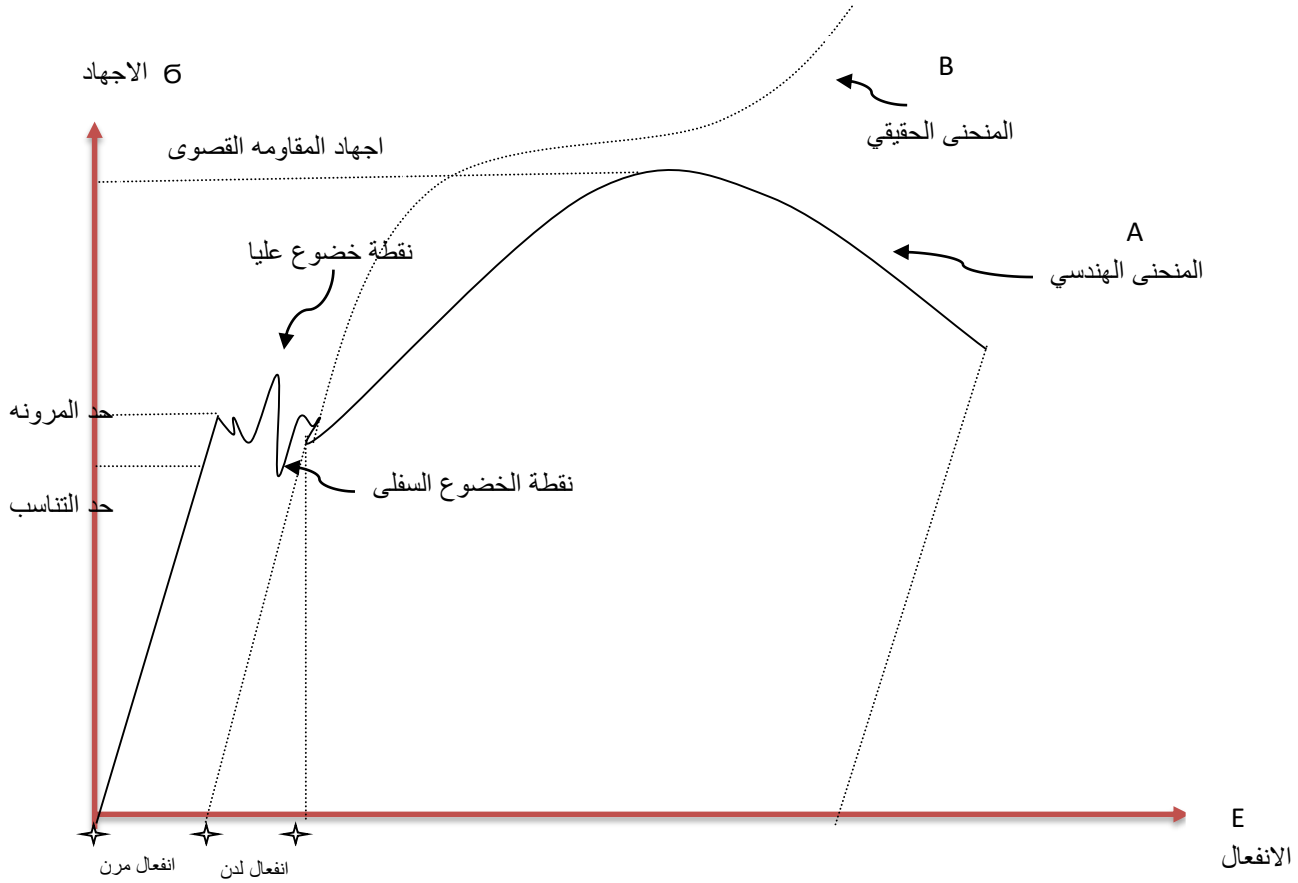
مثال : تم تسليط قوة ضغط بصوره تدريجيه على نموذج من الخرسانه فاذا كانت الاجهادات المتولده في النموذج والانفعالات المرافقه لها كما موضح بالجدول ادناه فارسم منحنى الاجهاد والانفعال

15	20	15	10	5	0	الإجهاد (Mpa)
21	15	9	5	2	0	الانفعال$*10^{-4}$

منحنى الاجهاد – الانفعال للخرسانه تحت تاثير قوى الضغط



منحنى الاجهاد – الانفعال للمواد التي تسلك سلوكا مرناً ضمن مرحله معينه وسلوكا لدنا ضمن مرحله اخرى :



1. الإنفعال المرن Elastic strain : وهو الانفعال الذي يزول بزوال الاجهاد المسلط .
2. الإنفعال اللدن Plastic strain: وهو الانفعال الذي لا يزول بزوال الاجهاد المسلط .
3. المجال المرن Elastic range: وهو مجال الاجهادات التي لاتسبب انفعالات لدنه.
4. حد المرونه Elastic limit : وهو الاجهاد الذي عند تجاوزه تحصل في الماده انفعالات لدنه.
5. المجال اللدن Plastic range: وهو مجال الاجهادات التي تسبب انفعالات لدنه .

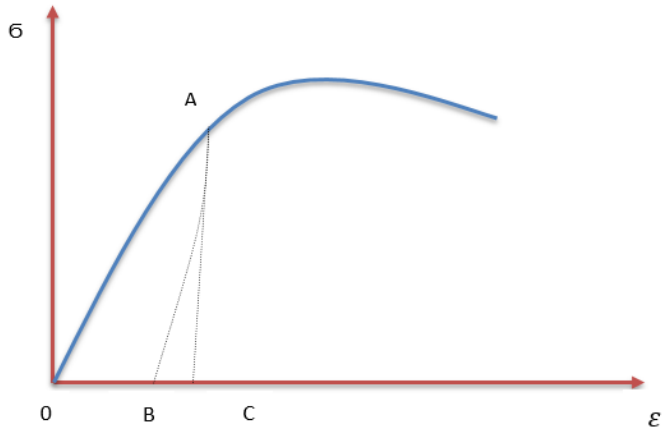
6. مجال التناسب : وفيه تكون هنالك علاقه خطيه بين الاجهاد والانفعال اي ان الانفعال المتولد في الماده يكون متناسبا مع الاجهاد المسلط .
7. مقاومة الخضوع :هو الاجهاد الذي عنده تحصل زياده في الانفعال بدون زياده في الاجهاد.
8. المقاومه القصوى : هي اقصى اجهاد يمكن تسليطه على الماده قبل ان تفشل .
9. تصلد الانفعال : زياده في الاجهادات يقابله زياده في الانفعالات دون حدوث انهيار في الماده .

* في حاله المخطط A (المنحنى الهندسي) تم الاعتماد في حساب الاجهادات على المساحه الاصليه , اما في حالة المخطط B (المنحنى الحقيقي) تم حساب الاجهاد على اساس المساحه الانيه وفي هذه الحاله فان مساحة المقطع الانيه تكون اصغر من مساحة المقطع الاصليه لذلك تكون الاجهادات الحقيقيه اكبر من الاجهادات الهندسيه .

منحنى الاجهاد – الانفعال لبعض المواد :

1) المواد الهشه(Brittle Material) :

هي المواد التي تفشل دون ان تحصل فيها تشوهات ملموسه مثل : الزجاج , الخرسانه والحديد الزهر

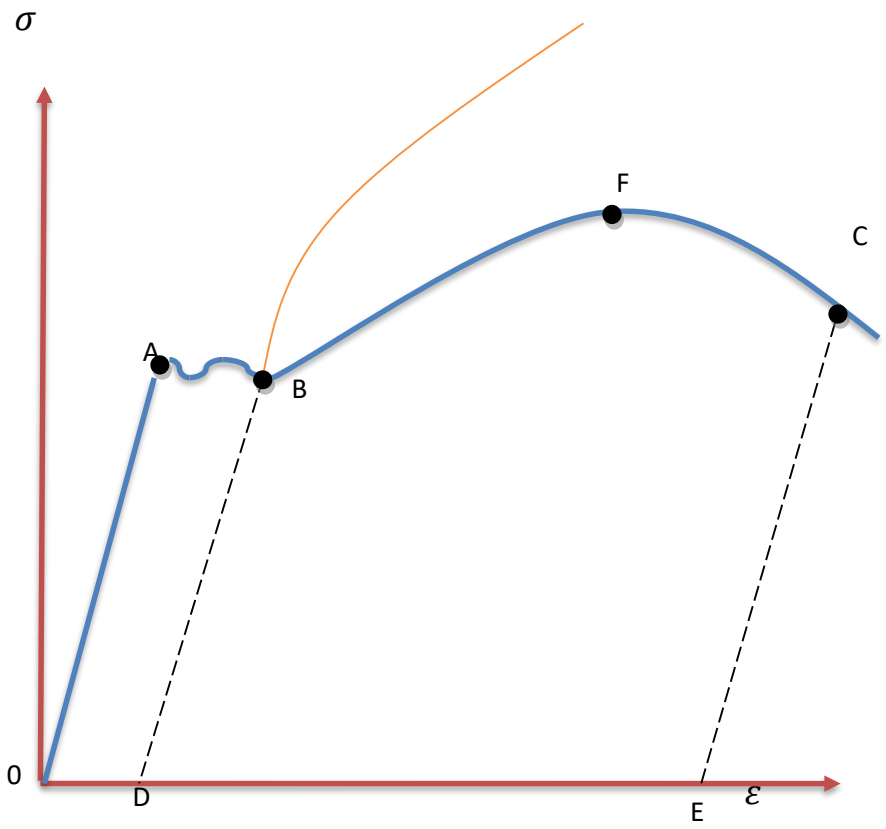


الشكل اعلاه يبين العلاقه بين الاجهاد والانفعال لمنحنى الخرسانه سلط عليه قوة ضغط , نلاحض ان هذا العلاقه عباره عن منحنى خطي (curve linear) وليست مستقيمه في جزئها الاول . فاذا تم تسليط قوة ضغط حتى النقطه A ثم ازيلت هذه القوه نلاحض القطعة لا تعود الى النقطة O هذا يدل على أنها مادة غير مرنة,كما أنها لاتعود الى النقطة C مما يدل على أنها مادة غير لدنة ,بل ستعود وفقاً للخط AB حيث يرتد جزء من التغيرات قدره BC ويبقى جزء أخر قدره OB مما يدل على أن المادة مرنة-لدنة.

2) المواد المطيلية (Ductile materials):

وهي المواد التي يحصل فيها (تشوهات كبيرة) قبل أن تفشل مثل (ألفولاذ) ذو محتوى الكاربون الواطئ (Low carbon steel)

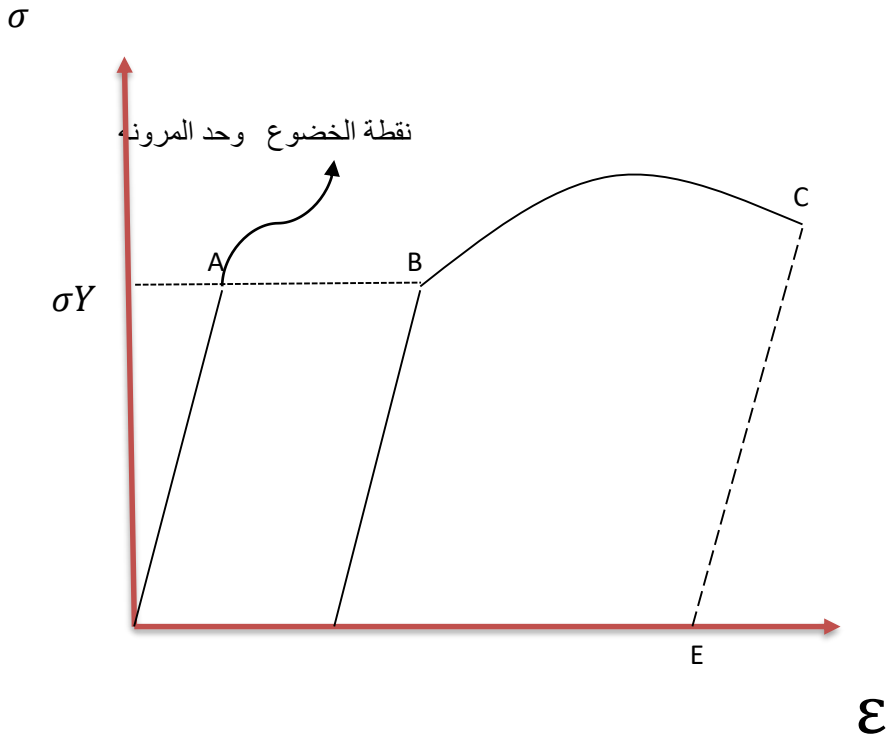
- نقطة خضوع واضحة
- أنفعال كبير قبل الفشل



أن الفولاذ يسلك سلوكاً مرناً ضمن مرحلة معينة من التحميل وسلوكاً لدناً ضمن مرحلة أخرى فمنحني (ألاجهاد-الانفعال) يتكون من ثلاثة مناطق. المنطقة الاولى هي A تمثل مرحلة المرونة حيث عند أزالة الحمل ضمن هذه المنطقة فان المادة سوف تعود الى أبعادها الاصلية وفق الخط OA وأن مقدار ألاجهاد عند النقطة A يدعى بـ (حد المرونة) (Elastic limit).وعندما نتجاوز هذه النقطة سوف ندخل ضمن المنطقة AB من المنحني وأن الفولاذ ضمن هذه المنطقة سيسلك سلوك مادة مرنة-لدنة حيث تبدأ التغيرات في الفولاذ دون زيادة اضافية في الاجهادات وقد يحصل انخفاض طفيف في قيمة الاجهاد . قد تحصل تذبذبات في الاجهاد حيث تزداد الاجهادات قليلاً ثم تتناقص قليلاً من جديد.تعود للزيادة وهكذا فقد تحصل تذبذبات في قشرة النموذج.أن هذه التذبذبات تحصل جراء انقطاع بعض البلورات المشكلة للفولاذ بسبب وصولها للمقاومة الحدية, وتتخلى عن المقاومة للبلورات الاخرى التي تترابط بين بعضها منتظمة بأتجاه تطبيق القوى حتى تقاوم الاجهادات.وتستمر هذه التغيرات والتذبذبات الى أن تصل الى النقطة B وهي نهاية هذه المنطقة.

أن انتظام البلورات بعد المنطقة AB يسبب زيادة في مقاومة الفولاذ لذلك تبدأ الاجهادات بلتزايد من جديد مع وجود تغيرات نسبية,الا أن مقدار التغيرات تكون أسرع بكثير من المنطقتين السابقتين,وأن الفولاذ ضمن هذه المنطقة BC يسلك سلوك مادة مرنة – لدنة ايضاً. تصل الاجهادات الى قيمتها العظمى في النقطة F والتي تسمى المقاومة القصوى(Ultimate strength)وبعدها يسجل الاجهاد أنخفاضاً بأزدياد الانفعال حيث يتضايق مقطع العينة في نقطة ما هي اضعف نقطة في العينة ويحصل بها تخصر(Necking) مما يزيد في تصغير مقطعها, ويستمر الاجهاد بالانخفاض الى أن تصل النقطتين حيث يحدث التمزق النهائي. أن كلا من المنطقتين ABوBC لا تسمح بعودة القطعة الى طولها الاصلي اذا ما أزيلت عنها القوة وذلك لأننا أجتزنا المرحلة المرنة. فأذا رفع الحمل يعود المخطط وفق خط يوازي خط مرحلة المرونة ويقطع المحور الافقي في نقطة تبعد عن نقطة البداية بمقدار يسمى بـ التمدد الباقي في الفولاذ, ففي حالة أزالة الاجهاد عند النقطة B فأن جزء من الانفعال سوف يزول ويبقى جزء اخر منه. ويكون سير المخطط وفق الخط BD.

المقاومة القصوى: هو اقصى اجهاد يمكن تسليطه على المادة قبل ان تفشل .



تقسيم المواد حسب الخواص الميكانيكية

1 - -مادة(1) مادة نصف مطيلية: (الصلب عالي المقاومة) (Semi-Ductile Materials)

هي المواد التي تجمع في خواصها بين خواص المواد المطيلية من حيث قدرتها العالية على المطولية (الاستطالة) ولكن بدرجة اقل, وخواص المواد القصفة بتحسين ظاهرة المرونة.

يتميز منحني الاجهاد-الانفعال بوجود منطقة مرونة ومنطقة لدونة وتوجد كذلك نقطة خضوع واضحة ولكن دون وجود منطقة خضوع مميزة كما يحدث لها تشوه متوسط وكذلك تمتاز بتكون رقبة اقل وضوحا مما هي عليه في حالة المواد المطيلية. وتكون مقاومتها للشد عالية جدا (اكبر من باقي المواد). مثل النحاس الاخضر والصلب عالي المقاومة.

2 -- مادة(2) مادة مطيلية: (الصلب الطري) (Ductile Material)

هي المواد التي يتغير شكلها او يمكن ان يحدث بها استطالة بتأثير الاحمال المختلفة التي تؤثر عليها وتكون خاصية المرونة والاستطالة (المطيلية) عالية وكذلك مقاومة الشد عالية. يتميز منحني الاجهاد-الانفعال بوجود منطقة مرونة ومنطقة لدونة ومنطقة مابين هاتين المنطقتين هي ما يسمى بـــ منطقة الخضوع وكذلك توجد نقطة خضوع واضحة, كما تمتاز بحصول تشوه كبير قبل حدوث الكسر (الفشل) (أي ذات استطالة (مطيلية) عالية) وكذلك تتميز بتكون العنق او الرقبة .مثل الحديد المطاوع (الفولاذ) وكذلك الامنيوم.

3 – مادة(3) قصفة: (هشة) (Brittle Material)

هي المواد التي تكون مقاومتها للشد ضعيفة ولا تقاوم احمال الصدم ولكن تتحسن مقاومتها للضغط بشكل اكبر.

يكون منحني الاجهاد-الانفعال على شكل منحني (curve)وليس خط مستقيم أي لا يوجد تناسب بين منحني الاجهاد والانفعال ولا توجد نقطة خضوع واضحة , وكذلك يحدث بها تشوه صغير جداً قبل الفشل مقارنة بلمواد الاخرى. مثل الخرسانة , الزجاج وحديد الزهر .

****معظم تلك المواد تقع ضمن صنف المواد المرنة- اللدنة

ملاحظات

1-المواد الهشة تستخدم غالبا لمقاومة اجهادات الضغط.

2-المواد المطيلية تستخدم لمقاومة الضغط والشد

المواد نصف المطيلية: (مادة1)

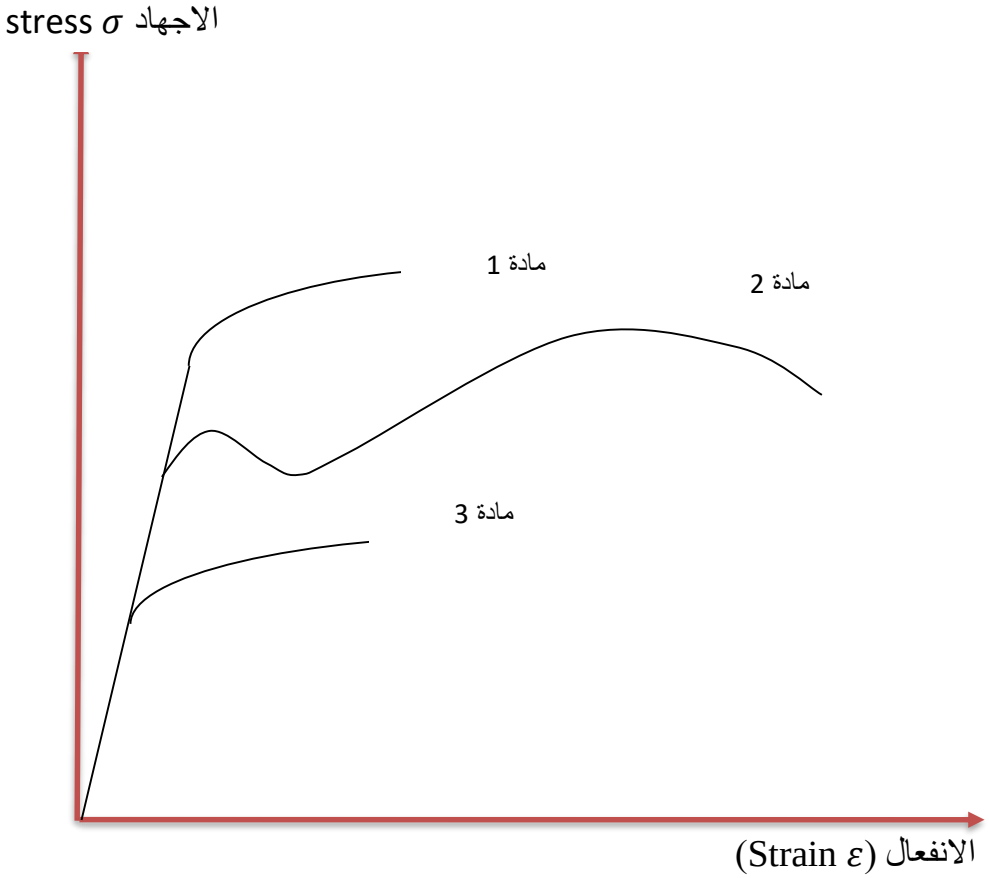
- نقطة الخضوع تكون فيها واضحة
- منطقة الخضوع غير واضحة
- ا لانفعال النهائي عند الفشل يكون اقل من المواد المطيلية

المواد المطيليه : (مادة2)

- نقطة الخضوع واضحة
- منطقة الخضوع واضحه
- الانفعال عند الفشل يكون اكبر من المواد النصف مطيليه (الانفعال النهائي)

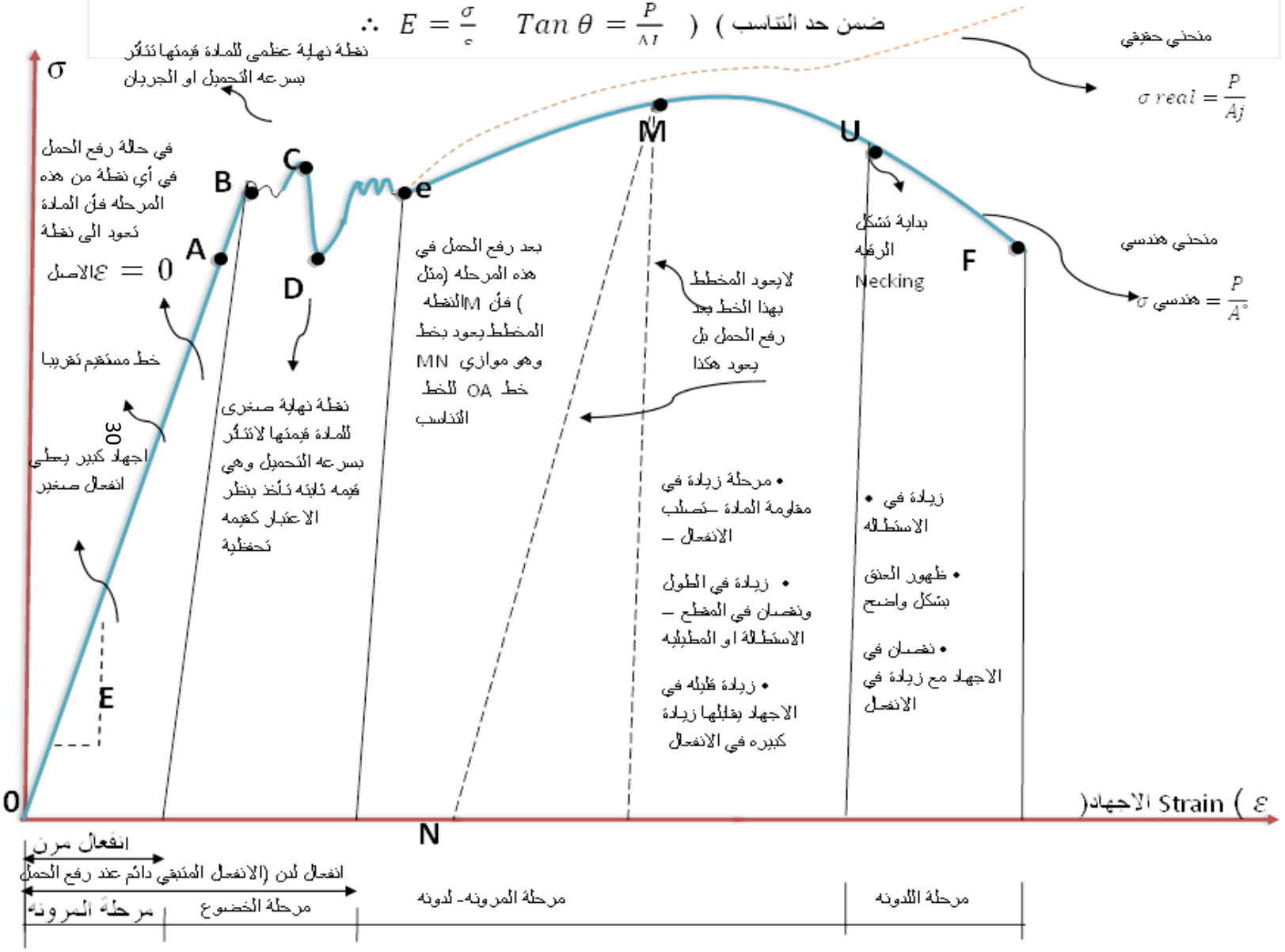
المواد القصفة: (الهشة) (مادة 3)

- نقطة الخضوع غير واضحة
- منطقة الخضوع غير واضحة
- انفعال نهائي قبل الفشل بقليل



ملاحظة :- شكل مخطط الحمل – الاستطالة هو نفسه شكل مخطط الاجهاد –الانفعال الهندسي على اعتبار نفس طول النموذج ومساحة مقطعه

$$\therefore\ E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \qquad Tan\,\theta = \frac{P}{\Delta l}$$ (ضمن حد التناسب)



A° = مساحة اقل مقطع ف

Aj= المساحة الانيه

A=حد التناسب (نهاية الخط المستقيم PROPORTIONAL LIMIT)

B=حد المرونة ELASTIC LIMIT)

C=نقطة الخضوع العليا

D=نقطة الخضوع السفلى

E=بداية زيادة في مقاومة المادة من جديد (بداية مرحلة تصلد الانفعال)

U=المقاومة القصوى ULTIMATE STRENGTH

F=مقاومة الكسر FAILURE) STRENGTH)

ملاحظة :- المنحني الهندسي تكون قيمة بعد مرحلة الخضوع اقل من قيم المنحي الحقيقي في حالة الشد لان مساحة المقطع تقل

معامل المرونة او معامل يونك Modulus of Elasticity or Young's Modulus

أغلب المواد وفي المراحل الاولى لتسليط الحمل يكون الانفعال متناسباً مع الاجهاد المسلط حيث أنه بزيادة الاجهاد يزداد الانفعال المقابل له وبالعكس عند انخفاض الاجهاد يقل الانفعال مقابل له حتى انه يزول بزوال الاجهاد المسلط ضمن المجال المرن. .

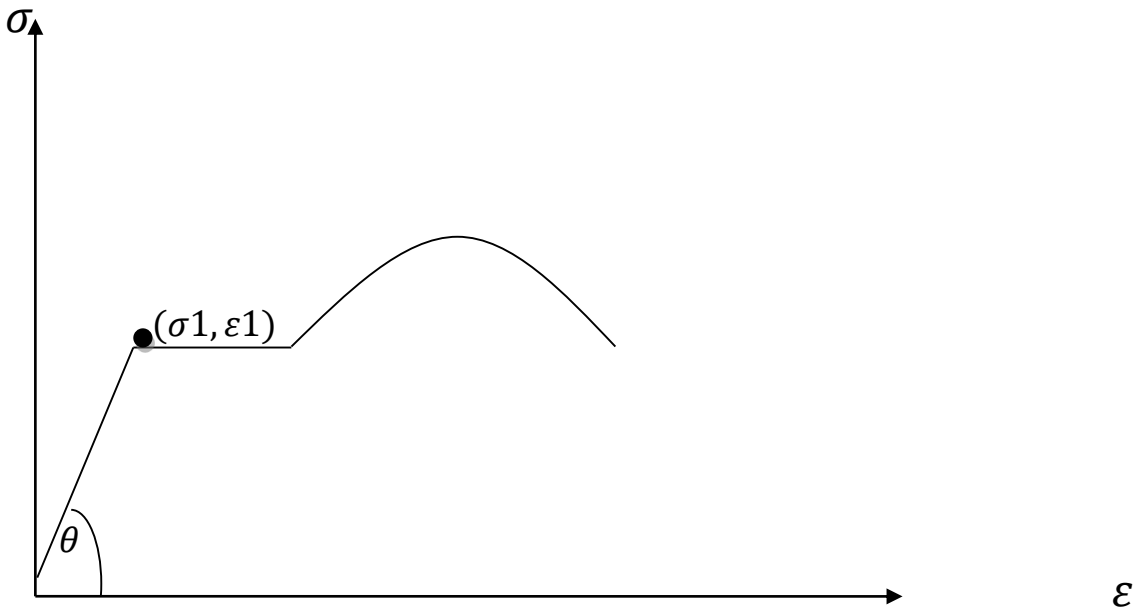
من ذلك يمكن تعريف النسبة بين الاجهاد الى الانفعال المرن بـ معامل المرونة او معامل يونك.

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

حيث E:معامل المرونة

وتسمى هذه المعادلة في اغلب الاحيان بـ قانون هوك(Hook's law)الحديث المعدل.

كيفية ايجاد معامل المرونة للمواد المطيلية



من الممكن ايجاد معامل المرونة للمواد المطيلية من منحني الاجهاد-الانفعال حيث أن ميل الجزء المستقيم من المنحني يمثل معامل المرونة .

$$E = \tan\Theta$$

او يمكن ايجاده من العلاقة التالية:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

σ : الاجهاد المسلط (Mpa)

E :معامل المرونة(Mpa)

ε :الانفعال المرن

ملاحظة-:

يمكن تطبيق المعادلة اعلاه على المواد المرنة ضمن مجال التناسب فقط (التغير الخطي).

ايجاد معامل المرونة للمواد الهشة -:

في حالة المواد المطيلية فأن ميل الجزء المستقيم لمنحني الاجهاد –الانفعال يمثل معامل المرونة , بينما في حالة المواد الهشة فليس هنالك علاقة تناسب خطي بين الاجهاد والانفعال لذلك يمكن ايجاد معامل المرونة لهذه المواد من الطرق التالية:

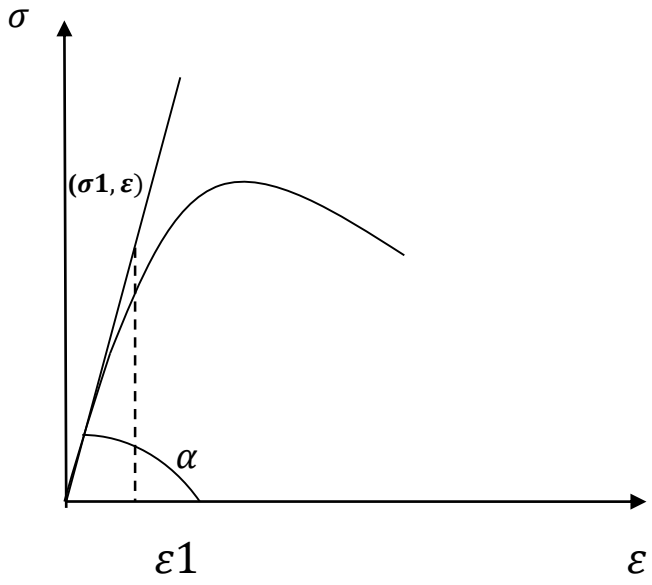
أ) طريقة معامل القاطع SECANT MODULAS

في هذه الطريقة يحدد قيمة للاجهاد تعادل ثلثي الاجهاد الاقصى ومن ثم تسقط على منحني الاجهاد – ا لانفعال وبعد ذلك توصيل نقطة التقاطع هذه بخط مستقيم الى نقطة الاصل (0,0) حيث أن ميل هذا الخط المستقيم يساوي معامل المرونة والذي يعرف بـ معامل القاطع

$$E = \tan\alpha = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{\left(\frac{2}{3}\right)\sigma u}{\epsilon 1}$$

ب) طريقة معامل التماس الابتدائي INITIAL TENGENT MODULAS

في هذه الطريقة يرسم مماس لمنحني الاجهاد- الانفعال عند نقطة الاصل حيث أن ميل هذا المماس يمثل معامل المرونة والذي يعرف بـ معامل التماس الابتدائي.

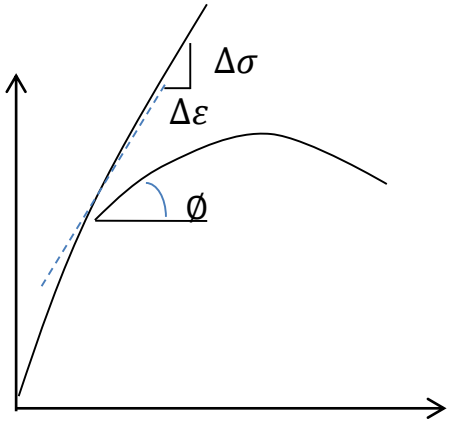


$$E = \tan\alpha = \frac{\sigma 1}{\varepsilon 1}$$

ج- طريقة معامل التماس TANGENT MODULAS

في هذه الطريقة يرسم مماس لمنحني الاجهاد – الانفعال عند اي نقطة من نقاطه (ضمن المجال المرن) ولكن على الاغلب يرسم المماس عند نقطة الخضوع ان وجدت حيث ان ميل هذا المماس يمثل معامل المرونة و الذي يعرف بمعامل التماس (هو نفسه معامل المرونة)

- في حالة عدم وضوح نقطة الخضوع في منحني الاجهاد – الانفعال فإن اجهاد الخضوع يحدد بالاجهاد اللازم لاحداث انفعال مقداره (0,001 – 0,002 Tε)
- مقدار الانفعال الكلي : ϵT



$$E = tan\emptyset = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon}$$

والان يمكن ذكر بعض من الخصائص الميكانيكية للمواد الهندسية

1- المرونة Elasticity

هي قدرة المادة على استعادة ابعاده الاصلية بعد زوال الحمل المؤثر عليه اي عدم بقاء اي تشكل دائم فيها. ومن الواجهة الهندسية فأن دليل المرونة ليس بمقدار التغيرات التي تحدث في المادة تحت تأثير الحمل انما تعتبر الاستعادة التامة للابعاد الاصلية للمادة بعد زوال الحمل المؤثر هي فقط الدليل على المرونة.

Is the ability of the material to return to its original dimensions when the external applied load is removed

ويعرف إجهاد حد المرونة (Elastic Limit Stress) بأنه أكبر إجهاد تتحمله المادة بشرط عدم بقاء أى تغيير دائم فى الشكل بعد زوال الإجهاد المؤثر.

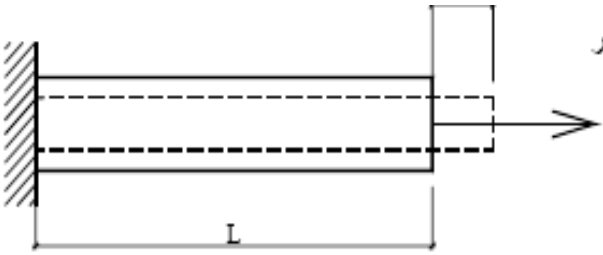
2- اللدونة Plasticity

Is the property which permits materials to undergo permanent change in shape without fracture, i.e the material does not return to its original dimensions.

هي قدرة المادة على ان يكون لها شكل دائم بعد زوال الحمل المؤثر اي ان المادة لاتسترجع ابعادها الاصلية بعد زوال الحمل المؤثر وهي خاصية هامة في تشكيل المعادن.

3- المطيلية Ductility

المواد ذات القابلية العالية للتشكل وهي خاصية ميكانيكية تستخدم لوصف مادة يمكن ان تتشوه بشكل لدن دون ان تنكسر ويمكن تعريفها على انها الخاصية التي تسمح للمادة بتشكيل لدن كبير تحت تأثير حمل شد قبل ان تفشل (تنكسر) اي قدرة المادة على السحب و قابليتها على الاستطالة الكبيرة عند تعرضها لحمل شد.



هى الخاصية التى تسمح للمادة بتشكل لدن كبير تحت تأثير حمل الشد، أى قدرة المادة على السحب وقابليتها للإستطالة الكبيرة عند تعرضها لحمل الشد

وتقاس الممطولية بما يأتى:

1- النسبة المئوية للإستطالة = الزيادة فى الطول / الطول الأصلى

$$\% \text{ Elongation} = \frac{L' - L_0}{L_0}.100$$

2- النسبة المئوية للنقص فى مساحة المقطع = النقص فى مساحة المقطع / مساحة المقطع الأصلية

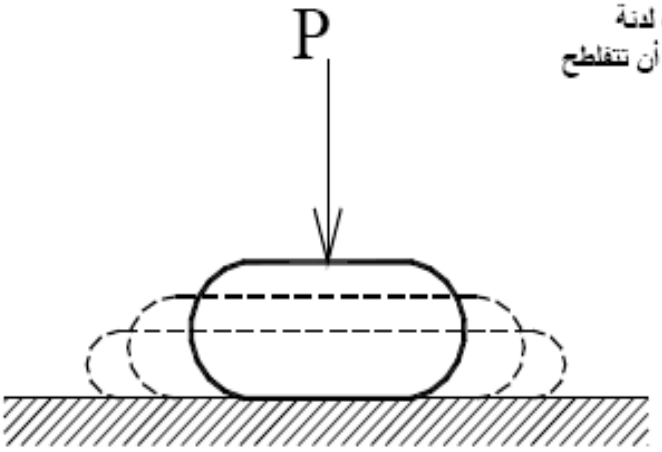
$$\% \text{ Reduction of area} = \frac{A_0 - A'}{A_0}.100$$

3- معامل الإستطالة = (مساحة المقطع الأصلية – مساحة المقطع عند الكسر) / مساحة المقطع عند الكسر

$$\text{Elongation factor} = \frac{A_0 - A'}{A'}.100$$

Is the ability of the material to stand large plastic deformation in tension, i.e the property of the material which enables it to be drawn out to a considerable extent before failure.

4- المطروقية Malleability



هى قدرة المادة على أن يحدث لها تغيرات لدنة كبيرة تحت تأثير حمل الضغط، أى قدرة المادة على أن تتفلطح بالطرق بدون حدوث كسر.

Is the property which represents the capacity of the material to withstand plastic deformation in compression without failure.

5- التقصف Brittleness

هى الخاصية التى تجعل المادة تنكسر قبل حدوث تغير ملحوظ فى الشكل مثل الحديد الزهر، والخرسانة والزجاج، فإنها تنكسر تحت تأثير الحمل دون أن يحدث لها تغير ملحوظ فى الشكل، ويعتبر التقصف عكس الممطولية.

Is the property of the material which makes it fractured before much or no deformation is noticeable.

6- المقاومة Strength

هى مقاومة المادة لأى حمل مؤثر، وتعرف المقاومة بـ(مقاومة الشد) إذا كان الحمل المؤثر حمل شد، وتعرف بـ(مقاومة الضغط) إذا كان الحمل المؤثر حمل ضغط، كما أن المقاومة تكون للإنحناء (Bending) أيضاً وتقاس بوحدات الإجهاد المعروفة.

وتعرف اقصى مقاومة بأنها أكبر إجهاد تتحمله المادة تحت تأثير الحمل المؤثر ببطىء حتى الكسر.

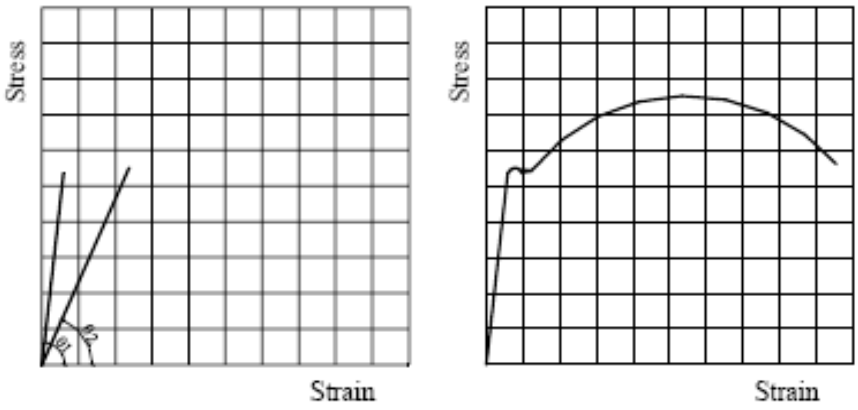
Is the resistance of the material to any applied forces, and is measured in the known stress units.

This resistance is usually known as the tensile strength if the applied load is tension or compressive strength if the applied force is compression. The ultimate strength is the maximum stress which the material is capable to withstand, developed under a slowly axial applied load.

7- الصلابة Stiffness

هى مقاومة المادة لأى نوع من التغيير فى الشكل، وتعرف المادة الصلبة بأنها المادة التى تتحمل وحدة إجهاد عالية مع حدوث تغير صغير نسبياً فى الشكل. وتقاس الصلابة بمقدار معاير المرونة **Modulus of Elasticity** فى إختبار الشد والضغط المحورى فى منطقة المرونة. ومعامل المرونة **Modulus of Elasticity** هو قيمة الزيادة فى الإجهاد مقسومة على الزيادة فى الإنفعال المقابل وذلك فى الجزء المستقيم من منحنى (الإجهاد-الإنفعال).

Is the property of the material to resist any sort of deformation. A stiff material is that material which withstand high unit stress with relatively small unit deformation. In uni-axial tension and compression tests, the stiffness is quantitatively measured by the modulus of elasticity within the elastic limit.



$$E = \frac{Stress}{Strain} = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \tan\theta$$

$E_1 = \tan\theta_1$, and $E_2 = \tan\theta_2$
but $\theta_1 > \theta_2$.

then, $E_1 > E_2$, the material no. (1) is stiffer than no. (2)

8- المتانة Toughness

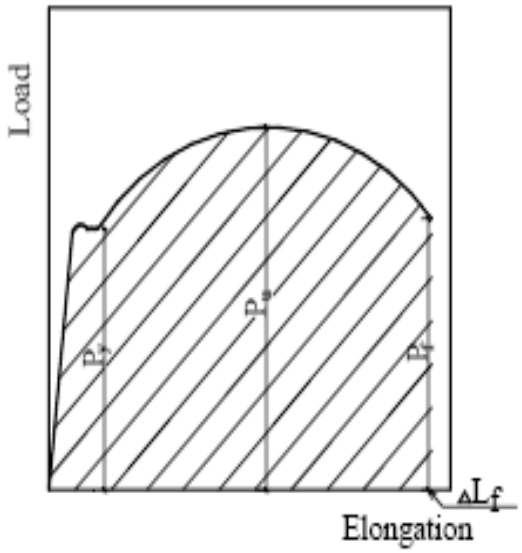
هى قدرة المادة على مقاومة الأحمال الديناميكية، أى مقدرتها على مقاومة الصدمات وامتصاص الطاقة الميكانيكية، ويقصد بالمادة المتينة المادة التى تتحمل إجهاد كبير مع تغير كبير فى الشكل بدون كسر، وتقاس المتانة بمقدار الطاقة التى تمتصها المادة، وتقاس عددياً بالمساحة تحت منحنى الإجهاد-الإنفعال.

$$\text{Toughness} = \frac{P_y + P_u}{2}.\Delta L_f$$

$$\text{Modulus of Toughness} = \frac{Toughness}{Volume} = \frac{\sigma_y + \sigma_u}{2}.\varepsilon_f$$

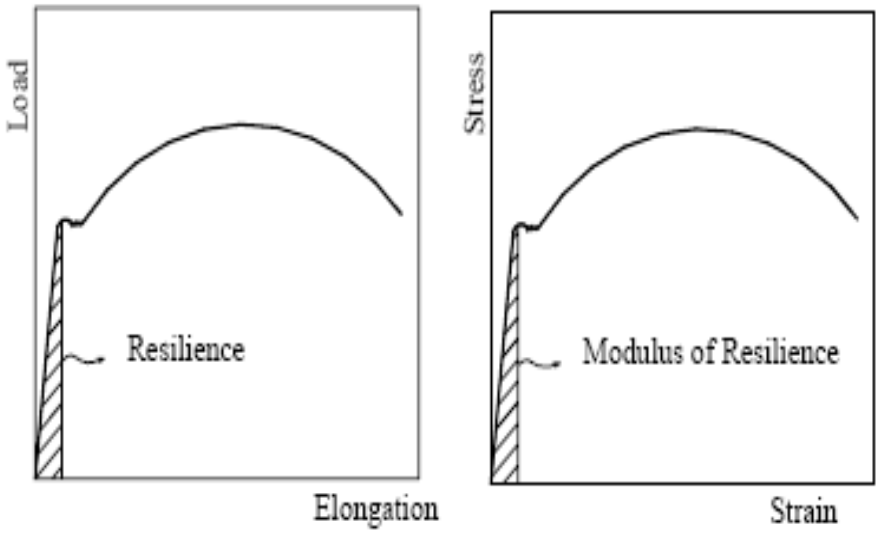
It is the ability of the material to withstand or absorb mechanical energy. Tough material is that material which can withstand great deformation together with high stress.

Toughness is measured by means of the modulus of toughness which represents the amount of energy absorbed per unit volume from the time of load application till failure.



9- الرجوعية Resilience

هى قدرة المادة على امتصاص الطاقة المرنة التى تختفى تماماً بعد زوال الحمل المؤثر. ويعرف معاير الرجوعية بأنه أكبر كمية من الطاقة الميكانيكية التى تختزن فى وحدة الحجوم من المادة وتسترجع ثانية بمجرد إزالة الحمل المؤثر. ويعين مقدار الرجوعية بحساب المساحة التى تحت منحنى الإجهاد-الإنفعال المحصورة بين الصفر وإجهاد حد المرونة.



10- التحمل – الثبات Endurance

هى الخاصية التى تمكن المادة من مقاومة الأحمال المؤثرة مرات عديدة ، أى قدرة المادة على مقاومة الأحمال المتكررة، ويعرف حد الإحتمال بأنه أكبر إجهاد متكرر يمكن أن تتعرض له المادة عدد لا نهائى من المرات دون أن تنهار.

Is the ability of the material to withstand repeated application of load. The endurance limit is the highest repeated stress that can be applied infinite number of times causing failure to the material.

11- طول البقاء – الدوام Durability

تمثل مقاومة المادة للعوامل الداخلية أو الخارجية الهدامة، مثل العوامل الكيميائية أو الكهربية أو الحرارية وعوامل التعرية المختلفة.

Is the ability of the material to resist the internal or external destructive conditions over long period of time.

12- Hardness الصلادة

وهي الخاصية التي تمكن المادة من الإحتفاظ بشكلها سليماً متماسكاً تحت تأثير الأحمال ، وقد تعرف الصلادة بأنها قدرة المادة على مقاومة البرى نتيجة الإحتكاك أو على مقاومة الخدش أو القطع أو إحداث علامة بها.

1- صلادة العلامة Indentation Hardness
2- صلادة الإرتداد Rebound Hardness
3- صلادة الخدش Scratch Hardness
4- صلادة البرى Wear Hardness
5- صلادة التشغيل بالماكينات Mechineability Hardness

Is the ability of the material to resist scratching, abrasion, cutting, or indentation. The hardness of non-metallic materials such as stones, gravel, and rock is usually measured by its resistance to abrasion by friction.

حيث توجد طرق مختلفة لايجاد الصلادة منها :

1- طريقة برينيل :

في هذه الطريقة يستخدم جهاز خاص يسلط ثقلاً ثابتاً على سطح المادة المراد فحصها بواسطة كرة صلدة لعمل منخفض في المادة ثم يقاس قطر هذا المنخفض الناتج من تأثير الثقل المسلط و تحسب الصلادة بالمعادلة التالية :

$$(N/mm^2)Brinell\ hardness = \frac{\rho}{\frac{\pi D\,(D-\sqrt{D^2-d^2}}{2}}$$

إشتقاق : B.H.N = Brinell hardness number رقم برينيل للصلاده

$$B.M.N = \frac{\rho}{\pi * Dh} \dots\dots\dots (1)$$

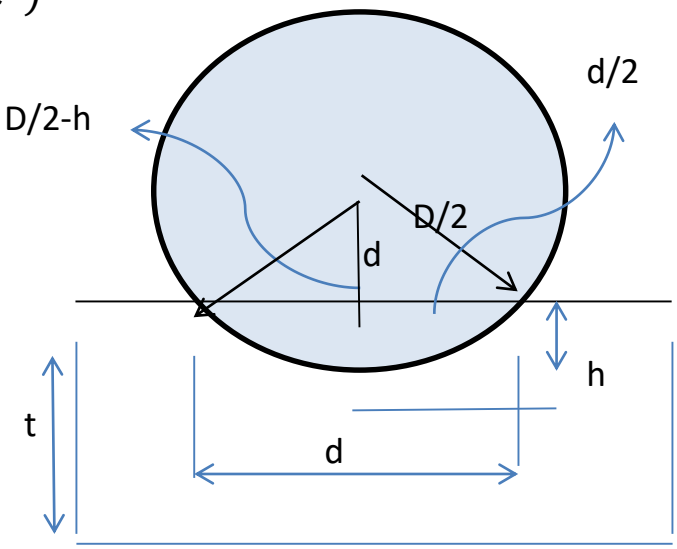
$$\left(\frac{D}{2}\right)^2 = \left(\frac{D}{2} - h\right)^2 + \left(\frac{d}{2}\right)^2 \quad \text{(فيثاغورس)}$$

$$\sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 - \left(\frac{d}{2}\right)^2} = \frac{D}{2} - h$$

$$h = \frac{D}{2} - \sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 - \left(\frac{d}{2}\right)^2}$$

$$h = \frac{1}{2}(D - \sqrt{D^2 - d^2} \dots..(2)$$

$$B.M.N = \frac{\rho}{\frac{\pi D}{2}(D - \sqrt{D^2 - d^2}}$$



ρ : الثقل المسلط (N)

D: قطر الكرة الفولاذية (mm)

D: قطر المنخفض (mm)

- الكرة المستخدمة تكون بقطر (10 ملم) و لكن في فحص مواد ذات سمك قليل يجب استعمال كرات بقطر اقل .
- مقدار الثقل المسلط هو (3000 كغم او 1500 كغم او 500 كغم) ومن المفضل ان يكون الثقل المسلط بحيث يحدث منخفض يتراوح بين (6 ملم – 2.5 ملم) و ذلك للحصول على دقة جيدة من خلال الفحص.

2- طريقة روكويل :

هذه الطريقة تكون مشابهة لفحص برينيل و لكن تختلف عنها في مقدار الثقل المسلط حيث يكون قليل نسبياً و كذلك الوسيلة المستخدمة غالبا ماتكون من الفولاذ او الالماس و التي يكون شكلها مخروطياً برأس مدبب و نهاية مدورة.

3- **طريقة فيكرز** :

يستخدم في هذه الطريقة رأس فاحص مكون من قطعة من الالماس هرمية الشكل مربعة و طريقة حساب الصلادة مشابهة لماهو عليه في برينيل.

عيوب طريقة برينيل :

1- اذا كانت العينة التي يتم فحصها ذات صلادة عالية فإن ذلك يؤدي الى تشوه كرة برينيل و يكون القياس غير دقيق.

2- اذا كانت العينة رقيقة (ذات سمك قليل) فإن ذلك يؤدي الى حدوث انبعاج اسفل العينة.

مميزات طريقة روكويل :

1- جهاز صغير الحجم لذلك يستخدم بكثرة في المجال الصناعي و لسهولة نقله.

2- يستخدم للمواد ذات الصلادة العالية.

3- يستخدم للمواد ذات الصلادة القليلة و كذلك المواد الرقيقة (ذات السمك القليل)

د. دينا علي ياسين
د. زاهر محمد ناجي