علم المعادن

تأليف

م. فاروق عبد اللطيف

الناشر

دار طيبة للنشر والتوزيع

والتجهيزات العلمية.

2008

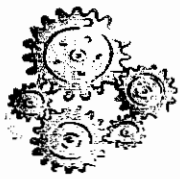
الترقيم الدولي 977-6102-41-7
رقم الإيداع 97/17884

علم المعادن

تأليف: م . فاروق عبد اللطيف

© حقوق النشر والتوزيع محفوظة لدار طيبة للنشر والتوزيع والتجهيزات العلمية – 2007
23 شارع الفريق محمد ابراهيم - متفرع من مكرم عبيد – مدينة نصر القاهرة ج.م.ع
تليفون : 22725312-22725376- 26706912 (02)
فاكس : 26706912(02)

لا يجوز نشر أى جزء من الكتاب أو أعادة طبعه أو اختصاره بقصد الطباعة أو اختزان مادته العلمية أو نقله بأى طريقة سواء كانت الكترونية أو ميكانيكية أو بالتصوير أو خلاف ذلك دون موافقة كتابية من الناشر مقدماً .



المعـــادن

المعادن التى تستخدم فى الأغراض التجارية الهندسية يتـم تصنيفـها بصفـة عامة إلى :

(ا) معادن حديدية Ferrous metals .

(ب) معادن غير حديدية Non-Ferrous metals .

• **المعادن الحديدية الهامة التى يتم استخدامها هى :**

(1) الحديد الزهر Cast iron .

(2) الحديد المطاوع Wrought iron .

(3) الصلب المنخفض الكربون Law carbon steel .

(4) الصلب الطرى Mild steel .

(5) الصلب عالى الكربون High carbon steel .

(6) الصلب الصلد Hard steel .

• **المعادن غير الحديدية الأكثر استخدامًا هى :**

(1) الألومنيوم Aluminium .

(2) النحاس الأحمر Copper .

(3) الرصاص Lead .

(4) القصدير Tin .

(5) الزنك Zinc .

• **سبك المعادن (إشابة المعادن) Alloying :**

المعادن فى شكلها النقى نادراً ما يتم استعمالها فى الاستخدامات الهندسية . ومعظم المواد المعدنية التى تستخدم فى الهندسة هى مركب من المعـادن يعـرف بالسبائك alloys . وأى سبيكة هى عبارة عن اتحاد من العناصر يـؤدى إلـى مـادة لها الخصائص المعدنية .

والعناصر يمكن أن تتحد بطرق مختلفة لتكويـن السـبائك . وعـادة نجـد أن

مكونات السبائك تكون مذابة بالكامل فى حالة سائلة . وهـذه المكونـات يـذوب كل منها فى الآخر بطريقة تشابه تلك التـى فـى المـاء والكحـول . وفـى الحالـة الصلبة ربما تشكل العناصر محاليل صلبة ومركبات أو مخلوطات ميكانيكية .

• **خصائص السبائك Alloys properties**

الرسومات التخطيطيـة للتـوازن توضـح بعـض المعلومـات عـن الخصـائص النسبية للسبائك فى نظام معين . وفى معظم الحالات يكـون مـن الصعـب التنبـؤ مسبقًا بالقيم المطلقة لمجموعات من السبائك .

• **العوامل التى تعتمد عليها الخصائص الميكانيكية لسبيكة ما :**

(1) خصائص الطور أو الأطوار التى تتكون منها السبيكة .

(2) الطريقة التى تكون فيها الأطـوال العديـدة متحـدة فـى تشكيـل الإنشـاء أو المكون للسبيكة .

والعامل الثانى هو الذى يكون أكثر أهميـة . وفـى السـبائك ذات الوجـهين الذى يحيط فيها وجه واحد بجزيئات الآخر والسبيكة فى مضمونـها يكـون عـادة لها خصائص الوجه المستمر .

صناعة الحديد والصلب

Manufacture of iron & steel

خامات الحديد هى المادة الأساسية التى تدخل فى صناعة الأنواع المختلفة من الصلب والحديد فى الاستخدام الحالى . وفى حالة تواجده الطبيعى ربما يحتوى على العديد من الشوائب وتختلف بدرجة كبيرة نسبة احتواء الحديد .

• خامات الحديد الأكثر أهمية :

(1) الهيماتيت ويحتوى على نسبة حديد من 30 إلى 65٪ تقريبًا .
(2) المجنيتايت ويحتوى على نسبة حديد من 60 إلى 70٪ تقريبًا .

وخامات الحديد لا يتم تغذيتها مباشرة إلى داخل الفرن العالى ، وهى فى حالتها الطبيعية أو الخام ويتم تجهيزها مسبقًا . والتجهيز هو نوع ما من عملية تركيز (مثال ذلك : إزالة المادة الأرضية) ثم يتبعها بعد ذلك التكسير والفصل وعملية التلبد) .

والتكسير ينتج عنه كتل صغيرة مستوية الحجم وأتربة أو ذرات دقيقة ويتم فصل الذرات الدقيقة بعملية الفصل ثم يتم خلطها بعد ذلك بالفحم الحجرى أو تراب القطران ويتم عمل تلبد لها . وعملية التلبد تسبب تكون الذرات الدقيقة وتراب الفحم وتسبب أيضًا إزالة للمواد المتطايرة . واللبيدة التى تكون مع الخام غير الملبد يتم تغذيتها إلى داخل الفرن العالى كجزء من الشحنة والباقى من الشحنة يكون أساسًا فحم كوك والذى يعمل كوقود والحجر الجيرى limestone يعمل كمساعد لحام . وتجهيز خامات الحديد بهذه الطريقة يؤدى إلى توفير جيد فى الوقود ومعدل أكبر فى إنتاج الجديد .

وفى الفرن العالى تكون الشحنة خاضعة إلى حرارة شديدة ، ودرجة الحرارة الأعلى عادة تكون أعلى نقاط الهواء المضغوط وتكون حوالة 1800°م .

• **بعض التفاعلات التى تحدث فى الفرن العالى Blast Furnace :**

(1) فى أسفل الفرن : كربون + أكسجين = ثانى أكسيد الكربون

(2) فى منتصف الفرن : ثانى أكسيد الكربون + كربون = أول أكسيد الكربون

(3) فى أعلى الفرن :

أكسيد حديد + أول أكسيد الكربون = حديد + ثانى أكسيد الكربون

ومن (3) نجد أن الحديد المنتج من هذه الأكسدة ـ عملية الاختزال يكون كتلة إسفنجية والتى تسقط تدريجيًا إلى أسفل الفرن ، وتنصهر عندما تسقط وتؤخذ إلى داخل محلول الكربون ، الكبريت ، المنجنيز إلى آخره أينما تذهب . ويتجمع الحديد المنصهر من قلب الفرن ويكون الخبث طافيًا فوق سطحه . وإطلاق الخبث يكون أكثر تكرارًا . وعندما يتم إطلاق الحديد المنصهر فإنه يسرى من الفرن من خلال قنوات رملية إلى داخل الفرشات الرملية للحديد المنصهر (تماسيح الحديد) أو تتوجه إلى داخل أحواض والتى تستخدم فى إمداد الجديد وهو فى حالة الانصهار إلى المحولات أو إلى أفران القلب المفتوح من أجل صناعة الصلب . وتماسيح الحديد تكون هشة جدًا ولها استخدام بسيط .

• **بيانات تحليل عينة من تماسيح الحديد Pig iron :**

Combines carbon	٪0.5	كربون
Graphite	٪3.4	جرافيت
Silicon	٪2.6	سيليكون
Manganese	٪0.5	منجنيز
Phosphorus	0.03	فوسفور
Sulphur	٪0.02	كبريت

• **عملية القلب المفتوح Open hearth process :**

ويستخدم فى هذه العملية فرن واسع وضحل لتدعيم شحنة تماسيح الحديد والصلب الهالك . ونسبة تماسيح الحديد المحتوية فى الشحنة تمثل من 25٪

إلى 75٪ من إجمالى الشحنة والتى ربما تختلف فى الكتلة ويعتمد ذلك على سعة الفرن وتكون ما بين 10 إلى 50 طن .

ويضاف الصلب الهالك لتقليل زمن الانصهار إذا كانت البداية وهو بارد .

والوقود المستخدم فى هذه العملية يكون غاز الفرن العالى المخصب (غاز الفرن العالى المخصب يحتوى على 30٪ أول أكسيد الكربون بعد التنظيف) والذى يقوم بصهر الشحنة بواسطة الحرق من خلال سطحه . وتخفيض نسبة احتواء الكربون يتم بواسطة الأكسدة وهذه العملية يمكن تدعيمها بواسطة إضافة خام أكسيد الحديد النقى إلى الشحنة وهناك شوائب أخرى يمكن تقليلها بواسطة الأكسدة أو الامتصاص فى الخبث .

وتؤخذ عينات من الشحنة على فترات دورية متكررة من أجل تحليلها وعندما يتم الحصول على النتيجة المطلوبة يتم إطلاق الفرن .

• **جدول تحليل المعدن والخبث فى فرن القلب المفتوح القاعدى :**

العنصر		عند انصهار ٪	بعد من 6 - 20 ساعة صلب مشطب ٪
معدن	كربون	1.1	0.55
	سيليكون	—	0.1
	كبريت	0.04	0.03
	فوسفور	0.4	0.03
	منجنيز	—	0.6
خبث	سيليكا	19.5	—
	أكسيد حديد	5.6	—
	ألومينا	1.2	—
	أكسيد منجنيز	8.7	—
	أكسيد كالسيوم (جير)	50.00	—
	منجنيز	5.00	—
	فوسفور	9.00	—
	كبريت	0.2	—

• **عملية بسمر Bessemer process**

فى هذه العملية لصنع الصلب يندفع تيار هوائى خلال شحنة تماسيح الحديد المنصهرة المتواجدة فى محلول بسمر .

ونظام التكرير يمكن أن يتبعه ملاحظة مظهر اللهب الخارج من المحول حيث أن الهواء يتواجد حول أكسدة الكربون إلى آخره . ويعد صب الشحنة يضاف خليط من الحديد والكربون (عادة يكون فى شكل فحم كوك) والمنجنيز وذلك لضبط نسبة احتواء الكربون فى الصلب .

والفرق الرئيسى بين القلب المفتوح open hearth ومحول بسمر Bessmer هو أن أنواع الصلب التى تتماثل فيها نسبة احتواء الكربون يكون سبب حدوثها هو نسبة أعلى لاحتواء النيتروجين فى صلب بسمر ويكون هذا أيضًا إلى حد ما نتيجة لدرجة أكسدة أعلى مع هذه العملية . وهذا يؤدى إلى ميول أكبر لتقصف الصلب نتيجة للانفعال فى المنتج المشطب .

• **نسبة مئوية طبق الأصل لاحتواء النيتروجين كالآتى :**

صلب بسمر Bessmer steel	0.015 ٪ تقريبًا
صلب القلب المفتوح Open heart steel	0.005٪ تقريبًا

• **العمليات الحديثة Modern processes :**

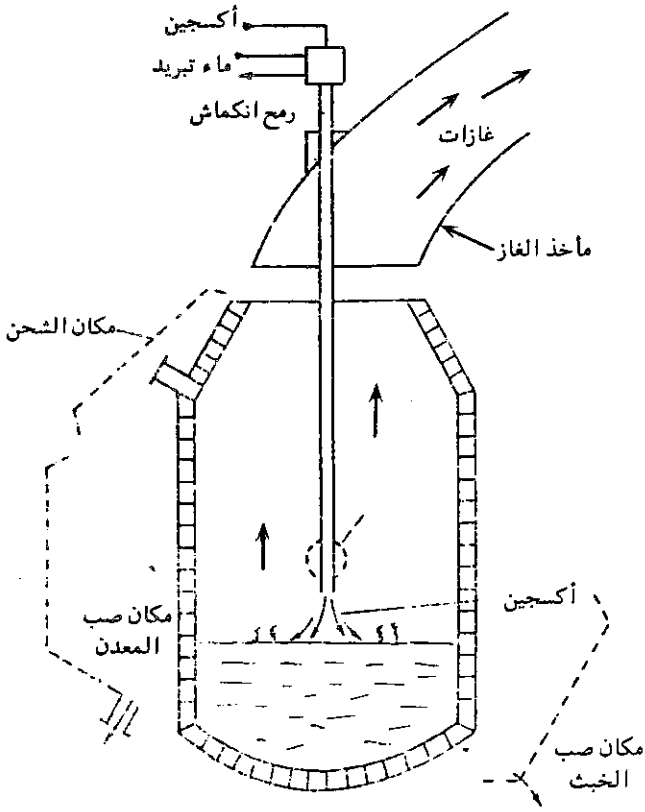
العمليات المختلفة الحديثة لصنع الصلب قد ظهرت ودخلت حيز الاستخدام بدرجة كبيرة . وهذه العمليات تشمل L.D ، Kaldo ، Rotor وعمليات الرش .

وطريقة L.D لصناعة الصلب وما تدل عليه الحروف L.D هى الحروف التى يبدأ بها اسم تؤأم فى النمسا . ولنز Linz ودونا وبنز Donawitz يستخدمان محول مماثل لشكل محول بسمر القديم ومثبت حول محاور أو مراكز دوران لتجعلها قادرة على التأرجح فى المواضع والنقاط المطلوبة المختلفة .

وشكل (1) يوضح ترتيب بيانى تخطيطى لمحول L.D والمعدن الهالك والحديد المنصهر من الفرن العالى Blast furnac سوف يتم تغذيته إلى داخل المحول الذى سيتحول بعد ذلك إلى الوضع الرأسى بعد الشحن . وإسقاط رمح

أكسيجين مبرد بالمياه إلى داخل المحول والأكسجين يكون عند ضغط يصل حتى 11 بار تقريبًا ويتم حقنه بسرعة عالية داخل الحديد المنصهر ويسبب عملية الأكسدة . وبعد التكرير سوف يتم السحب ثم يتم أولاً إمالة المحول أولاً على وضع صب المعدن وأخيرًا على وضع صب الخبث Slag .

وإذا كان المعدن ذو نسبة احتواء فوسفور منخفض فيستخدم الأكسجين فقط ومع ذلك فإذا كان المعدن ذو نسبة احتواء فوسفور عالية فيتم حقن مسحوق أكسيد الكالسيوم مع الأكسجين والتسليط يكون على مرحلتين والعملية تكون متقطعة من أجل إزالة الخبث عالى الفوسفور .



شكل (1) عملية L.D

وعمليات كالدو Kaldo وروتور لم تجد نفس القبول مثل عملية L.D (لنز

ودوناوينز) حتى إذا كانت العمليات تتماثل فى استخدامهم للأكسجين من أجل التكرير . وكلاهما يستخدمان المحولات Converters التى يمكن تدويرها كما أن العملية تكون أبطأ وأكثر تكلفة .

وقد قامت (الجمعية البريطانية لأبحاث الحديد والصلب) B.I.S.R.A. بابتكار عملية تطوير والتى يسرى فيها الحديد المنصهر من الفرن العالى Blast furnace ويكون خاضع لتيارات ذات سرعة عالية والتى تقوم برش المعدن فى داخل الوعاء وهذا يؤدى إلى تكرير سريه حيث أن المعدن والأكسجين يختلطان بتآلف . والميزات الرئيسية فى هذا النظام وهى أن المرحلة الوسيطة لحمل المعدن المنصهر من الفرن العالى إلى وحدة صنع الصلب تكون مستبعدة ومعدل إنتاج الصلب يكون متزايد .

وقد تم تحديث أفران القلب المفتوح عن طريق تركيب رماح الأكسجين فى أسقفها . وهذا يسرع من إنتاج الصلب وتصبح العملية بعد ذلك مشابهة أكثر وأكثر لعملية L.D .

• العمليات الحامضية والقاعدية Acid and Basic processes

عندما يتم تكرير تماسيح الحديد Pig iron بواسطة الأكسدة Oxidation يكون هناك منتج من الخبث . وبالاعتماد على طبيعة الخبث يكون الاستخدام لأحد نوعى العمليات طبقًا لهذه الطبيعة . وإذا كان الخبث سيليكونى فتكون العملية حامضية وإذا كان ذات نسبة احتواء عالية لأكسيد الكالسيوم فالعملية القاعدية هى التى تستخدم . ولذلك السبب فإن تبطين الفرن والذى يكون فى حالة تلامس مع الخبث Slag يكون مصنوع من مادة سيليكونية أو مادة قاعدية طبقًا لطبيعة الخبث وهكذا يتم تجنب التفاعل :

$$\text{acid} + \text{base} = \text{salt} + \text{water}$$

أى : حامض + قاعدة = أملاح + ماء

وتماسيح الحديد ذات الفوسفور المنخفض عادة تكون غنية بالسيليكون وهذا ينتج خبث حامضى acid slag مشحون بالسيليكا ومن ثم تكون قوالب السيليكا هى المستخدمة والتى تكون حامضية .

وتماسيح الحديد ذات نسبة الفوسفور العالية تتطلب زيادة أكسيد الكالسيوم lime المضاف إليها وذلك لإزالة الفوسفور . والخبث المتكون سوف يكون غنى بأكسيد الكالسيوم والذى هو مادة قاعدية والتى سوف تتفاعل مع بطانة قالب السيليكا . ولهذا السبب فإن التبطين القاعدى هو الذى يجب أن يستخدم ومثال ذلك الدولوميت المؤكسد Oxidised dolomite (كربونات الكالسيوم والمنجنيز) .

وكلا من العمليات أو الأسلوبين الحامضى والقاعدى يمكن تشغيلهم فى أفران القلب المفتوح Open hearth ، وبسمر Bessmer ، ولنز ودوناينز L.D والقوس الكهربى Electric arc إلى آخره .

- **الحديد الزهر Cast iron :**

الحديد الزهر يتم إنتاجه بواسطة إعادة انصهار تماسيح الحديد Pig iron فى فرن الدست Cupola (طراز معين من الفرن العالى) أينما كان مكون الحديد مضبوط بطريقة مناسبة . وسيوبة المادة تجعلها ملائمة للصب والخصائص الأخرى تشمل القدرة التشغيلية بالمكنات ومقاومة التآكل والمتانة والانضغاطية العالية .

- **الميتالورجيا المبسطة للصلب والحديد الزهر**

Simple metallurgy of steel and cast iron

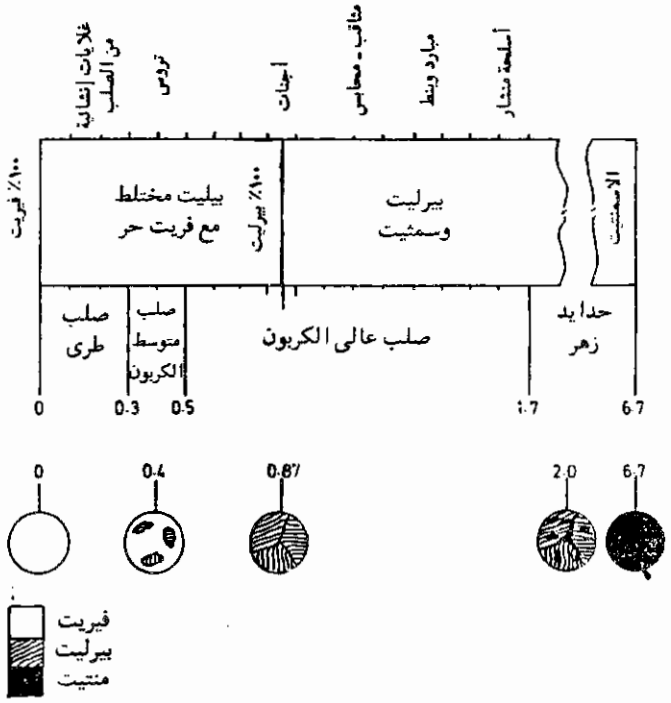
الكربون يمكن تواجده فى حالتين هما الحالة البللورية Crystaline والحالة غير البللورية . وفى الحالة الأولى الماس Diamond والجرافيت Graphite والأخير هو كربون نقى .

(الفريت Ferrite) وهو الحديد النقى Pure iron يكون رخو ومطولى ductile مع درجة متانة كبيرة وعندما يضاف الكربون إلى الحديد فإنه يتحد معه لتكوين مركب صلد وهش وهذا المركب الذى يتكون من الحديد والكربون يسمى كربيد الحديد Iron carbide أو يسمى السمنتيت Cementite (Fe_3C) وبوضع رقائق الفريق جنبًا إلى جنب يتكون إنشاء Structure شكل اللؤلؤ . وعندما يضاف كربون أكبر للحديد يكون هناك كربيد حديد أكثر ولذلك يتكون بيرليت أكثر مع نقص فى كمية الفريت الحر .

وعندما تكون نسبة احتواء الكربون 0.9 تقريبًا لا يتواجد الفريت الحر Free ferrite لفترة أطول والمركب كله يتكون من البرليت بمفرده . وإذا كانت هناك زيادات أكثر من الكربون للحديد فينتج عن ذلك كربيد حديد حر Free iron carbide مع تقليل البرليت .

وحد نسبة الكربون التى يحتويها الصلب يكون تقريبًا عند نسبة 2٪ كربون ويبدأ حد الحديد الزهر Cast iron من 2٪ إلى 4٪ . وهذا الكربون يمكن أن يتواجد إما فى صورة السمتيت Cementite أو الجرافيت (كربون حر أو متحد) ويعتمد ذلك على عدة عوامل وأحد هذه العوامل هو معدل التبريد .

والحديد الزهر الرمادى Gray أو المطاوع Malleable يتكون من بيرليت وجرافيت ويمكن ميكنته بسهولة . والبرليث والسمتيت يعطيان حديد الزهر الأبيض الذى يكون هش ومن الصعب ميكنته . والرسم التخطيط البيانى التالى (شكل 2) يوضح البيان المذكور أعلاه .



شكل (2) التغير فى الإنشاء الدقيق مع زيادة نسبة احتواء الكربون

والحديد الزهر Cast iron كما ذكرنا من قبل يصنع بواسطة إعادة انصهار تماسيح الحديد مع فحم الكوك وأكسيد الكالسيوم فى فرن الدست . وغالبًا يتم إزالة شوائب تماسيح الحديد وبالمقارنة نجد أن الحديد النقى الذى يحتوى على من 2 إلى 4 فى المائة من الكربون يتم صبه أو سبكه فى نماذج صب طبقًا للأشكال المطلوبة لتكوين الحديد الزهر .

والحديد الزهر كما ذكرنا من قبل إما أن يكون رمادى Grey أو أبيض أو منقط Mottled .

• **الحديد الزهر الرمادى Gray cast iron**

عندما يكون الكربون الذى يتواجد فى الحديد غاليته فى حالة حرة فيكون الحديد الزهر رمادى Grey ويسمى حديد الزهر هذا بالحديد الزهر الرمادى . ومكون الحديد الزهر الرمادى عبارة عن قشور من الجرافيت مختلطة بكيان الصلب . وهو نسبيًا يكون رخو ويمكن ميكنته بسهولة ولكنه ضعيف ويميل لأن يكون مسامى عندما يكون رمادى جدًا .

• **الحديد الزهر الأبيض White cast iron**

عندما يكون الكربون معظمه فى حالة اتحاد فى الحديد الزهر يكون الحديد أبيض فى لونه وهذا النوع من الحديد الزهر يعرف بالحديد الأبيض . والكربون يكون متواجد فى شكل سمنتيت Cementite فى الحديد الزهر الأبيض .

• **الحديد الزهر المزرقش (المنقط) Mottled cast iron**

عندما يكون الكربون حر مرحليًا فى الحديد الزهر ومرحليًا فى حالة اتحاد فيكون الحديد هو عبارة عن خليط من الحدايد الرمادية والبيضاء ويسمى الحديد فى هذه الحالة بحديد زهر منقط Mottled cast iron .

• **خصائص الحديد الزهر Properties of cast iron**

الحديد الزهر صلد وهش hard & brittle والحديد يمكن عمل صلادة له بواسطة التسخين والتبريد المفاجئ ولكن لا يمكن تطبيعه ولا يمكن طرقه ولا

يمكن مغنطته ولا يصدأ بسهولة ويصبح رخو فى الماء المالح وينكمش بالتبريد وله قوة شد منخفضة نسبيًا .

• **استخدامات الحديد الزهر Uses of cast iron**

يستخدم الحديد الزهر فى العمل الإنشائى فى صنع الأعمدة والدعامات والألواح والقضبان ومواسير المياه والغاز ومواسير الصرف وفى عمل قطع غيار لآلات التى لا تخضع أو تقع تحت تأثير صدمات أو خبطات . ويصنع بطريقة سهلة ورخيصة وهو اقتصادى جدًا عندما يكون طلب لعدد كبير من الأدوات ذات نفس الشكل والحجم .

• **الحديد المطاوع (المطروق) Wrought iron**

وصناعته تتم عن طريق حرق الكربون من الحديد المنصهر مع خضوع المنتج للطرق المتكرر وعمليات الدحرجة . ونسبة الكربون يتم تخفيضها إلى أقل من 0.1٪ وهو رخو جدًا ومطولى duetile وسهل لحامه بالطرق .

• **استخدامات الحديد المطاوع Uses of wrought iron**

الحديد المطاوع لا يستخدم حاليًا بكثرة فى العمل الإنشائى وفى معظم الأحيان يحل محله الصلب الطرى Mild steel ، ومع ذلك فهو يستخدم حتى الآن بكثرة فى تحويله إلى الصلب الصلد للمطروقات الصغيرة والأعمال الزخرفية حيث أن المادة التى ذات متانة هى المطلوبة والتى يمكن عمل ثنى لها بسهولة وهى باردة وطرقها بدون شروخ .

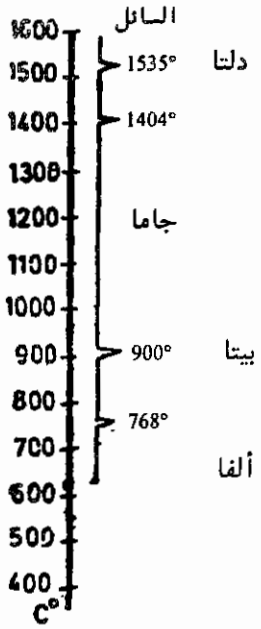
• **السبائك الثنائية للحديد Binary alloys of iron :**

هناك عدد كبير من العناصر التى تكون سبائك مع الحديد . وبعض العناصر التى تتحد مع الحديد لتكوين سبائك تجارية هامة تشمل كربون Carbon وكروم Chromium ونيكل Nickle وسيليكون Silicon ومنجنيز Mangnese .

• **الأشكال المتآصلة للحديد Allotropic forms of iron :**

إذا تم رسم منحنى الحديد النقى المنصهر مقابل الزمن فنجد أنه عند

النقاط الأربعة المختلفة تظل درجة الحرارة ثابتة لفترة من الزمن . ودرجات الحرارة هذه تسمى درجات الحرارة الحرجة أو نقاط الإيقاف Arrest points والتى هى مرقمة فى شكل (3) .



شكل (3) منحنى التبريد للحديد النقى موضحًا درجات الحرارة الحرجة بالقيم التى تحدث عن 1050°م ، 1404°م ، 900°م ، 768°م ،

وأقل من 768°م يعرف الحديد بحديد ألفا ويسمى أيضًا بالفريت Ferrite وهو نقى ورخو ومنوعات الحديد لها إنفاذية مغناطيسية عالية . وبين 768°م – 900°م ويسمى الحديد فى هذه الحالة حديد بيتا . وهو يكاد يشابه حديد ألفا ولكنه غير مغناطيسى . وما بين 900°م – 1404°م يسمى الحديد فى هذه الحالة بحديد جاما Gamma . وقبل درجة 1404°م وحتى درجة الانصهار 1535°م يسمى الحديد فى هذه الحالة حديد دلتا .

- **أنواع الصلب الكربونى Carbon steels**

وهى عبارة عن سبيكة من الحديد والكربون مع قيم مختلفة من الفوسفور والكبريت .

• **تصنيفات الصلب الكربونى Classification :**

يصنع الصلب على مدى واسع تحت مسميات :

(ا) الصلب الكربونى العادة Plain carbon steel .

(ب) صلب السبائك Alloy steels .

• **صلب الكربون العادى Plain carbon steel :**

وهو النوع الذى يشمل تلك الأنواع للصلب التى لها خصائص مشتقة تمهيديًا من تواجد الكربون . وهناك عناصر أخرى مثل المنجنيز والسيليكون والفوسفور والكبريت ربما تكون متواجدة نسبيًا بكميات صغيرة ولكن الغرض منها لا يكون بصفة أساسية من أجل تعديل الخصائص الميكانيكية للصلب . ونسبة احتواء الكربون لهذا النوع يمكن أن تتغير فى المدى من العلامة إلى 1.7٪ بالرغم أنه نادرا ما يكون أعلى من 1.3٪ . وأنواع الصلب الكربونى يمكن أن تقسم أكثر طبقًا لنسبة احتواء الكربون كالآتى :

• **الصلب المنخفض الكربون Law carbon steel :**

ويحتوى على من 0.10٪ إلى 0.30٪ كربون .

• **الصلب متوسط الكربون Medium carbon steel :**

ويحتوى على من 0.30٪ إلى 0.85٪ كربون .

• **الصلب متوسط الكربون Medium carbon steel :**

ويحتوى على من 0.85٪ إلى 1.3٪ كربون .

وأنواع الصلب الكربونى التى تحتوى على أكثر من 1.3٪ كربون نادرًا ما يتم إنتاجها أو استخدامها .

وأنواع الصلب المنخفض الكربون تستخدم فى الطرق والمصبوبات Castings والمجارى الزاوية والأسلاك اللوحية والألواح المجلفنة Galvanised .

وأنواع الصلب متوسطة الكربون تستخدم فى المطروقات Forgings والكرنكات Cranks والمحاور Axles والمصبوبات Castings وأسطوانات الغلاية Boiler drums ، وينوز الكرنك Crank pins ودرافيل الطحن الصلب والعجلات الترسية Gear wheels .

وأنواع الصلب عالية الكربون تستخدم فى الياءات springs وقوالب القلوظة (القوالب الأنثى) die blocks ودرافيل التكسير Crusher rolls والمطارق Hammers ، والعدد العامة ولقم القلوظة Taps والمثاقيب Drills والقوالب السلكية إلى آخره .

• **أنواع الصلب السبائكية Alloys steels :**

الصلب السبائكى يشمل تلك الأنواع التى تحتوى على العناصر المضافة بغرض تعديل الخصائص الميكانيكية لأنواع الصلب الكربون العادى Plain carbon steels .

وأنواع صلب السبائك يمكن أن تكون صلب سبائك منخفض Law-alloy steel أو صلب سبائك عالى .

• **المادة التى تستخدم فى أنواع صلب السبائك Material used in alloy steels**

المعادن التى تستخدم لتكوين صلب السبائك هى : الألومنيوم Aluminum ، والكروم Chromium ، والكوبالت Cobalt ، والمنجنيز Mangenese ، والموليبيدنوم Molybdemun ، والنيكل Nickel ، والتنجستين Tungston ، والفاناديوم Vandium .

• **الأغراض التى من أجلها تستخدم العناصر السبائكية :**

Purposes of alloying elements

يمكن تلخيص هذه الأغراض كالآتى :

(1) لزيادة القدرة على الصلاة .

(2) لزيادة المقاومة للتليين على التطبيع .

(3) لزيادة المقاومة ضد التآكل والأكسدة .

(4) لتحسين خواص درجة الحرارة العالية .

(5) لزيادة المقاومة ضد البرى Abrasion .

(6) لزيادة متانة أنواع الصلب التى لا يمكن خضوعها للتبريد .

• **التأثير العام للعناصر السبائكية General effect of alloy elements :**

التأثيرات المحتملة التى تنتج من إضافة العناصر إلى الصلب يمكن

تلخيصها كالآتى :

(1) العنصر السبائكى يمكن أن يكون محاليل صلبه أو مركبات معدنية بينية .

(2) العنصر يمكن أن يغير درجة الحرارة التى يحدث عنها وجه التحول .

(3) العنصر يمكن أن يغير من ذوبانية Solubility الكربون فى حديد جاما Gamma وحديد ألفا Alpha .

(4) العنصر يمكن أن يغير معدل تفاعل التحويل من الأوستنيت إلى منتجات محلولية وأيضًا معدل محلول السمنتيت إلى أوستنيت عند التسخين .

(5) تواجد العناصر يمكن أن يقلل من تليين التطبيع .

العناصر مثل الموليبيدنوم Molybdenum والتنجستين والفانـاديوم تساعد على تكون كربيد الحديد Iron carbide فى الصلب ويمنع تكور الكربيدات فى المارتنزيت المطبع . وهكذا تزيد قابلية الصلادة Hardenability فى الصلب السبائكى ودرجة حرارة التطبيع العالية يمكن أن تستخدم بدون تضحية بالمتانة . وهكذا نجد أن أنواع الصلب السبائكى التى تحتوى على تلك العناصر لها مطولية أفضل بكثير لمتانة معينة عن أنواع الصلب الكربونى العادى .

• **النيكل Nickle :**

ويضاف النيكل إلى الصلب بكميات تتغير من 2 إلى 40٪ وحوالى من 3 إلى 5٪ نيكل ترفع حد المرونة elastic limit وتحسن المتانة . وصلب النيكل مع $3\frac{1}{2}$٪ نيكل ومن 0.15 إلى 0.50٪ كربون يكون له مطولية جيدة ومعدل مرونة عالية ومقاومة ضد الكلل أو التعب Fatigue .

• **المنجنيز Manganese :**

يحدث الصلادة فى الصلب . وصلب المنجنيز يستخدم بصفة خاصة فى صنع قضبان السكة الحديد ومحولاتها .

• **الكوبالت Cobalt :**

عندما يضاف الكوبالت للصلب عالى الكربون فإنه يعطى خصائص مغناطيسية عالية .

• **الكوبالت والكروم Cobalt and Chromium :**

عندما يتم سبكهما مع بعضهما مع الصلب الكربونى فهذا يجعل المنتج بدون قشور عند درجة الحرارة العالية والإصلاد فى الهواء Air hardening وغير متآكل .

• **تنجستين Tungston :**

عندما يستخدم التنجستين فى السباكة مع الصلب فإنه يحسن من خصائصه المغناطيسية والقدرة على الصلادة . والتنجستين المستخدم بنسب معلومة يعطى خصائص الصلادة فى الهواء للصلب .

• **الفاناديوم Vanadium :**

عندما يتم إضافة الفاناديوم حتى بكميات صغيرة إلى الصلب المنخفض الكربون فإنه يرفع حد مرونته بدرجة كبيرة ويحسن من مقاومته للتعب أو الكلل Fatigue .

• **الألومنيوم Alluminium :**

عندما يضاف الألومنيوم إلى الصلب الكربونى فإنه يعمل كمانع مؤثر وفعال لتكون الحبيبات ونموها .

• **الكروم Chromium :**

عندما يضاف الكروم إلى أنواع الصلب العادى فإنه يحسن من قدرة الصلادة والمتانة Strength ومقاومة التآكل ومع ذلك فإن الكروم له عيب وهو هش التطبيع Temper brittle .

• **السيليكون Silicon :**

السيليكون له تأثير قوى فى زيادة حجم الحبيبات ويقلل من ذوبانية الكربون فى الحديد . وسبائك الحديد التى تحتوى على ما بين 0.5 إلى 4.5٪ سيليكون تستخدم فى الصناعة الكهربائية كمواد رخوة مغناطيسية للمحول Transformer ورقائق المولد Generator .

• **الصلب سريع القطع High speed steels :**

وهو الصلب السبائكى الملائم لصنع أدوات القطع والتى يمكن أن تقطع

المعادن عند سرعة عالية جداً بالمقارنة مع عدد أو أدوات الصلب الكربونى العادى . والصلب سريع القطع لا يكون رخو حتى عند درجة 1400°م والأدوات أو العدد المصنوعة منه يمكنها أن تقطع معظم المعادن بدون مساعدة من مائع القطع . والتركيب الأصلى الذى حدده المكتشفون هو كالآتى :

Carbon	كربون	0.68
Tungston	تنجستين	18.00
Chromium	كروم	4.00
Vanadium	فاناديوم	1.00

• **أنواع الصلب الذى لا يصدأ Stainless steels**

وأنواع الصلب هذه لها مقاومة عالية ضد التآكل الكيميائى Corrosion والأكسدة عند درجات الحرارة العالية وتحافظ على المتانة بدرجة كبيرة عند هذه الدرجات للحرارة . وأحد أفضل أنواع الصلب الذى لا يصدأ (الإستينلس ستيل) يتكون من الآتى :

Chromium	كروم	٪18
Nickel	نيكل	٪12
Molybdenum	موليبدنوم	٪2

• **أنواع الصلب سهلة القطع Free cutting steel**

تلك الأنواع من الصلب لها نسبة احتواء كبريت عالية متواجدة على هيئة كبريتيد المنجنيز Manganese sulphide والذى يسبب كسر النحاتات عند الميكنة . وأنواع الصلب سريعة القطع التى تحتوى إلى 0.05 - 45٪ كربون وحتى 0.66 كبريت كانت تستخدم فى وقت ما بصفة عامة .

• **الصلب الإنشائى Structural steel :**

هناك استخدام آخر واسع النطاق للصلب منخفض الكربون فى الأعتاب Beams والألواح Plates والمجارى Channels والزوايا Angles إلى آخره

وذلك فى أغراض الإنشاء . ونسبة الاحتواء للكربون فى تلك الأنواع للصلب يتراوح من 0.15 إلى 0.25٪ وأنواع صلب الغلاية غالبًا تكون فى نفس المعدل هذا بالرغم من أن نسبة احتواء الكربون تكون عالية وتصل إلى 0.3٪

وهناك بعض الاستخدام للصلب منخفض السبيكة لهذا الغرض .

- **تأثير العناصر السبائكية على درجة حرارة التحويل**

Effect of alloy elements on transformation temperature

إضافة العناصر السبائكية يعدل درجة الحرارة والتى يتحول عندها حديد جاما Gamma إلى حديد ألفا Alpha وأيضًا تغير درجة حرارة التحويل اليوتكتويدى Eugtectoid transformation والتأثير إما أن يرفع أو يخفض من درجات حرارة التحويل . وأكثر من ذلك أن درجة الحرارة فى التسخين والتبريد لا تتأثر بنفس الطريقة حيث أن درجة الحرارة الحرجة فى التسخين يمكن أن ترتفع بينما التى فى التبريد يمكن أن تنخفض وهناك عامل آخر هو التغيير فى التكوين التكتويدى وذلك بإضافة عناصر سبائكية .

- **تأثير العناصر السبائكية على معدل درجة التبريد الحرجة**

Effect of alloying elements on critical cooling rate

الخاصية الهامة للعناصر السبائكية هو تعديل بيان التحويل الأيزوثيرمالى . وما يمكن توقعه أن العناصر السبائكية لا تعدل فقط درجة الحرارة التى يتحول عندها الأوستيت إلى بيرليت Pearlite فى حالات التوزان ولكن أيضًا درجات الحرارة التى عندها تتكون منتجات التحويل .

والأكثر أهمية هو التغير المؤثر فى المعدل الذى تتكون عنده المنتجات والتأثير العام لمعظم العناصر السبائكية هو جعلها ممكنة للحصول على الصلادة الكاملة مع المعدلات المنخفضة للتبريد عن إمكانية استخدامها فى أنواع الصلب الكربونى العادى Plain carbon steels المزودة بالعناصر والذى يكون مذاب فى الأستونيت . وهذا يكون بسبب انتقال البيان التحويلى التخطيطى الأيزوثيرمالى إلى اليمين وهكذا فإن ذلك يتطلب وقت أطول للبداية والانتهاء لتحويل الأوستنيت Austenite .

• المعادن غير الحديدية والسبائك Non-ferrous metals and alloys

• النحاس الأحمر Copper (Cu) :

يتواجد فى بعض الخامات المعدنية مثل بيريتات النحاس الأحمر ($CuFeS_2$) Copper pyrites وومضة النحاس الأحمر (Cu_2S) copper glance وأخيراً يتم أكسدتها فى محلول بسمر Bessmer converter للحصول على النحاس الأحمر المنفط Blister copper . والنحاس المنفط يتم تكريره فى فرن عاكس Reverberatory furnace للحصول على النحاس الخام . والنحاس الأحمر النقى جداً يتم الحصول عليه من التحاس الأحمر الخام Crude copper بواسطة التحليل .

والنحاس الأحمر رخو Soft ومطاوع malleable وهو معدن مطولى ductile ذات اللون الأحمر المميز . وهو موصل جيد للكهرباء . وثقله النوعى Specific gravity هى 8.9 ودرجة انصهاره 1083°م . وهو يكون سبائك مفيدة جداً مع عدد كبير جداً من المعادن ، ويستخدم بكثرة فى عمل الكابلات والأسلاك للأجهزة الكهربائية واستخداماتها .

• سبائك النحاس الأحمر Copper alloys:

وهى مصنفة على نطاق واسع كالآتى :

(1) النحاس الأصفر والذى يكون فيه الزنك Zinc هو المعدن السبائكى الأساسى .

(2) البرونزات Bronzes والذى يكون القصدير Tin هو المعدن السبائكى الأساسى فيها .

• النحاس الأصفر Brasses :

وهذه الأنواع من النحاس الأصفر هى عبارة عن سبائك من النحاس الأحمر والزنك ونسبة احتواء الزنك تتراوح من 25 إلى 40٪ . ومعدن مونتز Muntz metal (Cu60, Zn40) ونحاس الطلقات الأصفر (Cu70, Zn30) وسبيكة النحاس الأصفر البحرى Naval brass (Cubozn39sn1) ومعدن دلتا Delta metal (Cu60, Zn37,Fe3) وبعض النيكل Ni أو المنجنيز Mn وجميع هذه السبائك هى بعض أنواع النحاس الأصفر الهامة التى فى الاستخدام .

• **البرونزات Bronzes**

وهى سبائك النحاس والقصدير . والبرونزات التى تحتوى على 10٪ قصدير يمكن تشغيلها على البارد . والبرونزات أكثر شدة وأقوى من النحاس الأصفر Brass .

• **بعض البرونزات الهامة :**

(1) معدن المدافع Gun metal (Cu 88, Sn 10, Zn 2) .

(2) البرونز الفوسفورى Phospher bronze (Cu 89, Sn 10, P 1) .

(3) برونز العملة Coinage bronze (Cu 95, Sn 5) .

(4) معدن الأجراس Bell metal (Cu 80, Sn 20) .

• **الألومنيوم Alominium :**

يتواجد الألومنيوم بكثرة فى الطبيعة على شكل البوكسيت $(Al_2O_3, 2H_2O)$ والكورندوم (أكسيد الألومنيوم البللورى) والسنفرة والياقوت العادى والياقوت النقى (Al_2O_3) . ينقى البوكسيت أولا ثم يتم إذابته بعد ذلك فى كريسلايت منصهر (AlF, 3NaF) . ومن هذا المحلول يتم تجهيز الألومنيوم بواسطة التحليل الكهربى عند درجة حرارة 900°م .

والألومنيوم هو معدن أبيض مائل إلى الزرقة وهو معدن خفيف . وهو معدن موصل جيد للحرارة والكهرباء والثقل النوعى له هو 2.7 ودرجة انصهاره هى 660°م وهو يكون سبائك مفيدة مع الحديد والنحاس الأحمر والزنك ومعادن أخرى . والألومنيوم يستخدم فى صنع الأسلاك الكهربائية والمواعين والطائرات وقطع غيار آلات الاحتراق الداخلى ورقائق الألومنيوم .

• **سبائك الألومنيوم Alominium alloys :**

(1) ديورالومين Duralumine

(Al 94%, Cu 4%, Mg %, MN, Simplify, Fe 0.5% for each)

(2) ألومنيوم برونزى Aluminium bronze (Al 10%, Cu 90%) .

(3) سبيكة جاما (Al 92.5%, Cu 4%, Ni 2%, mg 1.5%) .

والسبائك الخفيفة هى سبائك الألومنيوم والمغناسيوم . وهذه السبائك تستخدم فى صنع الكابلات ويساتم المحركات والمصبوبات وأعمدة المضخة والطائرة وصناعة السيارات . وسبائك الألومنيوم الباردة هى سبائك ألومنيوم ذات متانة عالية (مثل ديورالومين أو شبيكة R.R) مع تغطية حماية رقيقة من الألومنيوم النقى .

• **سبائك النيكل Nickel alloys :**

أهم سبائك النيكل الأساسية هى :

(1) معدن مونيل Monel metal (Ni 68%, Cu 29%, Fr, Mn, Simplify, C 3%) .

(2) سبيكة نايكونال Niconal (Ni 76%, Cr 15%, Fe 8%) .

(3) سبيكة نايكروم Nichrome (Ni 65%, Cr 15%, Fe 20%) .

وهذه السبائك تستخدم فى مواسير المكثف والرفاصات واليايات وأسلاك المقاومة الكهربائية للأفران الكهربائية وعناصر التسخين .

• **سبائك المغناسيوم Magnesium alloys**

(1) سبيكة دو Dow metal (Mg 91%, Al 9%) .

(2) معدن إلكترون Elctron metal وهى سبائك مغناسيوم هامة وهى تستخدم فى صنع علب الكرنك Crank cases وصهاريج الوقود فى المحركات (تبريد هواء) والمواسير وقطع غيار المحركات فى السيارات .

• **الزنك Zinc :**

يتواجد فى الطبيعى على هيئة كالامين Calamine ($ZnCo_3$) والزنكيت Zincite (ZnO) ، مخلوط الزنك (ZnS) .

والزنك المعدنى يتم الحصول عليه عندما تبرد أبخرة الزنك فى المكثفات Condensers . وأبخرة الزنك يتم إنتاجها عند تسخين الزنكايت Zincite (ZnO) فى الفرن الكهربائى . وهو أبيض مائل إلى الزرقة وهو معدن بللورى . وثقله النوعى 6.2 ودرجة انصهاره 419°م . وهو يستخدم فى صنع النحاس الأصفر والسبائك الأخرى وفى الخلايا الكهربائية فى الحديد المجلفن والصلب .

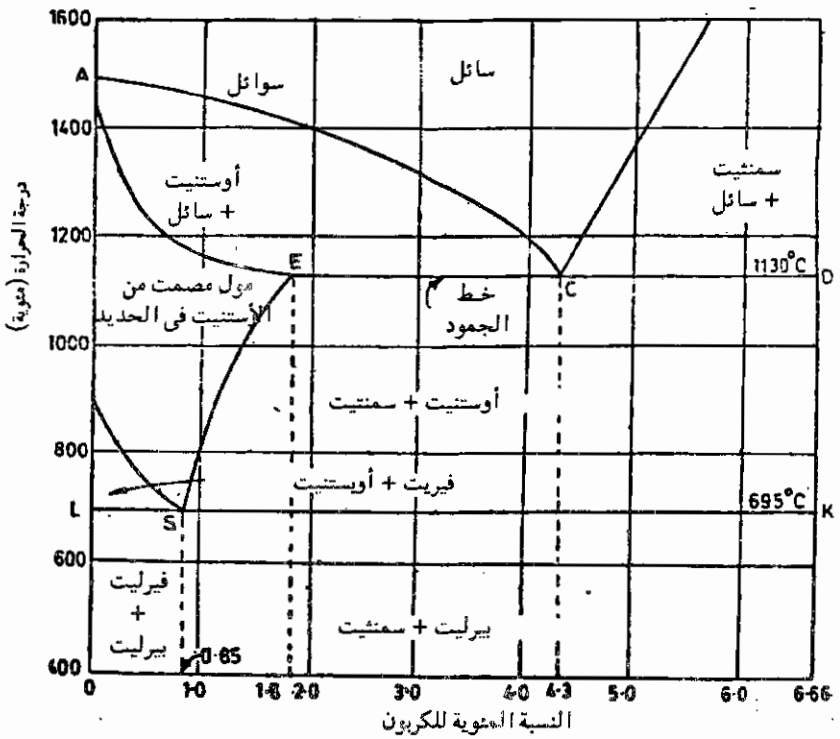
• **الرصاص Lead :**

يتواجد الرصاص فى الطبيعة على هيئة غالينا Galena (كبريتيد الرصاص) (PbS) . ويتم تركيز الخامات أولاً ثم يتم صهرها بعد ذلك فى الفرن العالى مع فحم الكوك والحديد المعدنى . والرصاص غير النقى يتم تنقيته بواسطة إصهاره مرة أخرى فى فرن عاكس عندما تزال معظم الشوائب بواسطة الأكسدة .

والرصاص معدن رخو لونه رمادى مائل للزرقة . وثقله النوعى 11.36 ودرجة انصهاره 326°م . وهو يستخدم فى صناعة السبائك alloys والمواسير pipes والطلقات والقذائف واللحامات وفى تسطيح وتبطين رواقيد الطلاء الكهربائى .

• **القصدير Tin :**

يتواجد القصدير فى الطبيعة على هيئة حجر القصدير Tinstone (أكسيد القصدير المتبلر (SnO_2) .



شكل (6) التخطيط البيانى لموازنة الحديد والكربون

يتم سحق حجر القصدير ثم يتم تكليسه ، وبعد ذلك يغسل ثم يتم صهره في فرن للحصول على القصدير الخام الذى يتم تكريره فى فرن عاكس Reveberatory furnace للحصول على القصدير النقى .

والقصدير هو معدن أبيض لامع وثقله النوعى يكون 7.3 ودرجة انصهاره 232°م . وهو معدن رخو ومطاوع . ويستخدم القصدير فى التغطية الواقية والسبائك alloys كما يستخدم فى عمل رقائق القصدير وألواح القصدير .

ومعادن الأجراس Bell metals والبرونز الفوسفورى ومعدن المدافع Gun metal وبرونز العملة Coiage broze وجميع هذه السبائك هى سبائك القصدير Tin alloys .

ومعدن بابيت هو معدن خاص لونه أبيض يحتوى على من 80 – 90٪ قصدير ومن 3 – 10٪ نحاس أحمر من 8 – 12٪ أثيمون .

والسبائك غير الحديدية Non-ferrous alloys هى المفضلة فى خصائصها المقاومة للحرارة وهى مواد رائعة فى مقاومة الاحتكاك للمتانة العالية فى صناعة السيارات وفى أجهزة القياس الكهربائية وأسلاك المقاومة إلى آخره .

• التخطيط البيانى لتوازن الحديد والكربون Iron-carbon equilibrium diagram:

التخطيط البيانى لتوازن موضح فى شكل (6) . وفى هذا النظام نجد أن المحاليل الجامدة للكربون فى حديد دلتا Delta وجاما Gamma وألفا Alpha تسمى محاليل دلتا الجامدة والأوستنيت Austinite والفريت Ferrite على التوالى .

واليوتيكتيك يحدث عندما يكون المكون 4.3٪ كربون ويتكون من أوستنيت (17٪ كربون) وكربيد حديد (سمنتيت) والحصول على الدرجة الأقل للانصهار لسبيكة الحديد والكربون يتم عند درجة حرارة 1130°م . ودرجة حرارة الانصهار تنخفض عندما تزيد النسبة المئوية للكربون فى السبيكة وتصل حتى 4.3٪ .

والصلب اليوتكتيكى هو صلب يحتوى على 85٪ كربون . وعند درجة الحرارة التى أعلى من 695°م . يكون الصلب محلول جامد من الأوستنيت فى الحديد . والصلب اليوتكتيكى يتم تبريده حتى درجة 690°م . بدون انحلال .

وأنواع الصلب ذات النسبة الأعلى من الكربون عن 0.83 تعتبر من الصلب اليوتيكتيك الزائد .

وعندما يتم تبريد هذه الأنواع من الصلب لأقل من 690°م وهذه الأنواع من الصلب تتحول إلى بيرليت Pearlite وسمنتيت Cementite (أنواع صلب اليوتكتيك الزائد وتحتوى على أقل من 83٪ كربون . وعند التبريد لأقل من 690٪ تتحول إلى بيرليت وفيريت . وفى التسخين البطئ والتبريد فإن درجة الحرارة الحرجة الأقل انخفاض تكون عند 700°م .

ودرجة الحرارة الأعلى للصلب تعتمد على درجة نسب احتوائه للكربون وهى حوالى 900°م للحديد النقى Pure iron ، 860°م للصلب المحتوى على 2,2٪ كربون ، 750°م للصلب المحتوى على 0.85٪ كربون تم ترتفع الدرجة مرة أخرى إلى 1100°م للصلب ذات اليوتكتيك الزائد المحتوى على 1.8٪ كربون .

• المعالجة الحرارية للصلب Heat treatment of steel :

المعالجة الحرارية يمكن تعريفها بأنها عملية أو مركب من العمليات التى تشمل تسخين وتبريد المعدن أو السبيكة التى فى حالة جامدة من أجل الحصول على الخصائص والحالات المرغوبة . والفائدة التى نحصل عليها من الصلب نتيجة السهولة النسبية لتعديل أو تغيير طريقة التحكم فى تسخينه وتبريده .

• عوامل المعالجة الحرارية Factors in heat treatment :

المعالجة الحرارية للصلب تعتبر طريقة مبسطة نسبيًا والمجهزة بالمعالج الحرارى الذى يدرك جميع العوامل الذى يتضمنها وأساسيات نجاح التحويلات .

• العوامل التى يعتمد عليها العلاج الحرارى لقطعة من الصلب :

(1) درجة الحرارة التى يتم تسخين الصلب عندها .

(2) الزمن المقرر للصلب عند هذه الدرجة للحرارة .

(3) المعدل الذى يبرد عنده الصلب من درجة الحرارة هذه .

• **عوامل تحديد مواصفات تلك البيانات الثلاثة :**

(1) تحليل الصلب .

(2) البيان السابق للصلب (الميكانيكى والحرارى) .

(3) حجم القطعة التى يتم معالجتها .

(4) شكل القطعة المراد معالجتها .

(5) الخصائص المطلوبة والغرض من المعالجة الحرارية .

• **التلدين Annealing :**

مصطلح التلدين يرجع لأى تسخين وتبريد والذى يستخدم عادة لإحداث تليين وزيادة للتوضيح يمكن تقسيم التلدين إلى عمليتين وتسمى التلدين الكامل Full annealing وتلدين العملية Process annealing .

وفى عملية التلدين الكامل يتم عادة تسخين الصلب إلى حوالى 100°ف (40°م) أعلى من درجة الحرارة الحرجة Critical temperature وتظل على طول الفترة الزمنية المطلوبة ثم يتبع هذه العملية تبريد بطئ جداً مثل الذى فى الفرن .

• **الغرض من التلدين الكامل Full annealing :**

(1) لتليين الصلب وتحسين المطولية .

(2) لتصريف الإجهادات الداخلية التى تنتج من معالجة خاصة .

(3) لتكرير الحبيبات .

وفى تلدين العملية Process annealing يتم تسخين الصلب إلى درجة حرارة أقل أو تقترب من درجة الحرارة الحرجة الأقل ثم يتبعها بعد ذلك أى معدل مطلوب من التبريد . والأهداف الأساسية لتلك العملية هى تليين الصلب مرحليًا والحصول على تحرير للإجهادات الداخلية .

وفى هذه الطريقة للمعاجلة يكون تكرير الحبيبات بواسطة تحويل الوجه مثل ما هو فى التلدين الكامل . وتلدين العملية يستخدم على نطاق واسع فى معالجة الألواح الأسلاك .

• **المراجعة الحرارية Normalizing :**

مصطلح المراجعة يرجع إلى تسخين الصلب تقريبًا حتى درجة حرارة 100°ف (40°م) أعلى من درجة الحرارة الحرجة العليا ويتبع ذلك التبريد فى هواء ساكن . وهذه الزيادة فى معدل التبريد تتسبب فى تصليد بسيط للصلب ومطولية أقل من التى تتواجد فى الصلب ذو التلدين . والبيرليت المتكون له إنشاء دقيق عن البيرليت المتكون أثناء التلدين . والمراجعة تستخدم من أجل إزالة الإجهادات والانفعالات Stresses & strains ومن الإنشاءات البللورية غير المرغوب فيها ولتحسين المتانة والقدرة على الميكنة .

• **التصليد بواسطة التبريد (التسقية) Hardening by Quenching :**

مصطلح التصليد Hardening مثل الذى يستخدم فى المعالجة الحرارية للصلب يرجع لتلك العملية للتبريد الذى بواسطته يصبح الصلب صلد . وبالتحكم فى الطريقة التى يحدث فيها تحويل الأوستنيت Austenite . وهناك إمكانية فى أن يزيد بدرجة كبيرة المتانة والصلادة للصلب .

ويتم تسخين الصلب إلى درجة حرارة أعلى من الدرجة الحرجة ثم التبريد (التسقية) Quenching وهكذا يتم تحويل الأوستنيت إلى مارتينسيت . ومعدل تبريد التصليد يتم التحكم فيه بواسطة الانتقاء الصحيح لوسيط التسقية . ومجموعة التسقية تشمل المياه ومحلول هيدروكسيد الصوديوم وكلوريد الصوديوم والزيت ومستحلب الزيت والماء والهواء . والحد الأقصى للصلادة يمكن الوصول إليه بواسطة تبريد المادة عند معدل مساوى إلى أو أكبر من معدل التبريد الحرج .

• **التطبيع Tempering :.**

التطبيع هو عملية تسخين للصلب المصلد لأى درجة حرارة أقل من درجة الحرارة الحرجة الأقل ثم يبرد بعد ذلك عند المعدل المطلوب . والغرض من التطبيع هو تقليل الصلادة Hardness وتصريف الإجهادات الداخلية للصلب

الذى تم تسقيته وذلك للحصول على مطولية أكبر من المرتبطة بصلادة الصلب الذى تم تسقيته .

• **التكور Spheroidizing :**

عملية التكور هى تسخين الصلب إلى درجة أعلى من معدل درجة الحرارة الحرجة Critical temp ثم تبريده بعد ذلك ببطئ ومن ثم سوف يتجمع السمنتيت على شكل تكورات صغيرة وتكون محاطة بالفريت Ferrite وهو يستخدم فى معالجة المتانة كما أنه يمكن أن يحسن من قدرة ميكنة الصلب عالى الكربون High carbon steel .

• **التطبيع أو المراجعة الشديدة Austempering :**

تتم هذه العملية عن طريق تسخين الصلب إلى درجة أعلى من درجة الحرارة الحرجة (أعلى من 746°م) ثم إسقاطه بعد ذلك فى حمام ملح مذاب أو رصاص منصهر عند درجة حرارة (316°م) ثم يؤخذ بعد ذلك إلى الخارج بعد عدة دقائق ثم يبرد بعد ذلك فى الهواء والصلب الذى يتم معالجته سوف لا يوضح التكوين البرليتى Pearlitic الذى يحدث بواسطة التبريد البطئ ولا التكوين المارتنيتيك Martensitic الذى يحدث بواسطة التسقية Quenching ولكن المركب يتحول إلى نموذج خاص من السمثنيت والفيريت ولكن الصلب يرجع مرة أخرى مقاوم للصدمة بطريقة فائقة .

• **الحماية السطحية فى المعالجة الحرارية**

Surface protection in heat treatment

عندما يتم تسخين الصلب فى الفرن المفتوح Open furnace مع وجود الهواء ونواتج الاحتراق فربما يتضمن ذلك عدد اثنين ظاهره سطحية هما :

(1) الأكسدة Oxidation . (2) إزالة الكربنة Decarburization .

وأكسدة الصلب يكون سببها هو الأكسجين ، ثانى أكسيد الكربون أو بخار الماء . والأجواء المحيطة بالفرن ربما تكون مهيأة بأن تأثير الأكسدة المتعادل

أو فعليًا تقليل أكسيد الحديد المتكون فعلاً بواسطة رد الفعل العكسى لتكون الحديد المعدنى الإسفنجى Metalic sponge iron .

وإزالة الكربون Decarburization أو تخفيض نسبة الكربون السطحى الذى يحدث عند التسخين إلى درجات حرارية أعلى حوالة 1200°م (650°م) ثم تصل إلى أبعاد أكبر بعد ذلك طبقًا لعامل الوقت ودرجة الحرارة والجو المحيط بالفرن .

والمشكلة التى تسببها الأكسدة وعملية إزالة الكربون من سطح أجزاء الصلب والتى ينتج عنها فقد فى الأبعاد وتقليل صلادة السطح والمتانة Strength يمكن منع ذلك أو تقليله بطريقة عديدة كالآتى :

(1) إزالة السطح المزال كربونه بواسطة عمليات الميكنة بعد المعالجة الحرارية .

(2) تطبيق خاصية إيقاف الدهان أو التغطية السيراميكية قبل المعالجة .

(3) تطبيق عملية التغطية الكهربية للنحاس قبل المعالجة الحرارية .

(4) الأجزاء الساخنة فى صندوق الصلب المحكم أو العلبة يغلف بالفحم النباتى Carcoal أو جزيئات حديد الزهر Cast iron .

(5) استخدام حمامات الملح المذاب كأوساط تسخين .

(6) استخدام الأجواء الواقية للفرن والتى سوف تمنع الأكسدة وإزالة الكربون .

• **التصليد السطحى Case Hardening :**

هذه العملية هى عبارة عن زيادة النسبة المئوية للكربون على السطح الخارجى للصلب ويكون ذلك بواسطة وضع الجزء المراد زيادة صلادته السطحية من الصلب فى صندوق مغلق وحول هذا الجزء توضع مواد بها نسبة الكربون تكون عالية مثل الجرافيت ثم يتم بعد ذلك رفع درجة الحرارة للمادة إلى حوالى 900°م ثم تترك بعد ذلك لتبرد ببطئ والفترة الزمنية التى تتعرض لها المادة فى هذه الدرجة من الحرارة تعتمد أساسًا على سمك طبقة المادة المراد زيادة صلادتها وتصل فى مثل هذه الحالات من 0.8 - 3 مم وتمتد هذه الفترة الزمنية من ساعتان إلى 12 ساعة ويعتمد ذلك على الفترة الزمنية للتشغيل .

• **الكربنة Carburization :**

عملية الكربنة Carburization هى عبارة عن تغليف عينة من المادة داخل وعاء محكم مع تواجد مادة كربونية أو غاز كربونى Carbon gas ومادة الكربنة إما أن تكون من الفحم النباتى Charcoal أو سيانيد Cyanide أو بروبين Propabe أو غازات هيدروكربونية أخرى . وتسخين العبوة جيداً أعلى من درجة الحرارة الحرجة العليا وتبقى من 4 – 10 ساعة للحصول على العمق المطلوب من اختراق الكربون وأفضل النتائج يمكن الحصول عليها إذا كانت العبوة لتبريد الفرن بعد فترة التشرب الحرارى المطلوبة .

والمكون الأوستينيتى لقطعة من الصلب سوف يمتص كربون كافى ليحول مكون السطح جيداً إلى المعدل اليوتكتيكى الزائد (أعلى من 0.83٪ كربون) والقلب لا يتأثر (قلب الفرن) .

• **تقسية أو تصليد السيانيد Cyanide Haedening :**

عملية تقسية السيانيد هى عملية تقسية أخرى للسطح وهذه الطريقة تستخدم لأنواع الصلب متوسطة الكربون وهى ناتجة من امتصاص الكربون والنيتروجين . وإذا تم تسخين الصلب مع تواجد سيانيد الصوديوم Syamid sodium عند درجة حرارة حوالى 1600°ف فتتكون فى هذه الحالة النثرات الصلدة . والتسقية Quenching تكون كربيدات وتلك الطريقتين يكونان سطح صلد بارتفاع حوالى 0.025 بوصة مع صلادة عالية .

• **النتردة Nitriding :**

عملية النتردة تتطلب صلب السبائك الذى يكون قد سبق تطبيعه وصلادته . وتتم هذه العملية بمرور غاز النوشادر حول القطعة المراد زيادة صلادتها بعد تسخينها إلى درجة حرارة 900°ف (500°م) وعند ذلك يبدأ غاز النيتروجين المتواجد فى غاز النوشادر يتحد مع المركبات الموجودة فى الصلب مثل الكروم Chromium والنيكل Nickel والألومنيوم Aluminium ويكون نترات هذه المعادن الذى اتحد بها وهى عبارة عن مواد صلبة تتكون على السطح الخارجى

وبالتالى نحصل على نسبة صلادة عالية على السطح ويتوقف سمك هذه الطبقة على زمن مرور غاز النوشادر .

والطبقة الكاملة من النترات تتكون بارتفاع من 0.005 إلى 0.020 مم . والفترة الزمنية من 8 ساعات إلى 24 ساعة وهذه الطبقة تكون صلدة جداً وتحتفظ بصلادتها عند درجات حرارة من 750 إلى 1000°ف والتى تجعل الصلب يكون ملائم للعمليات التى تتطلب مقاومة لمواجهة الإجهاد Stress والتآكل Wear .

وأنواع الصلب التى تحتوى على سبائك الكروم Chromium والموليبيدنوم Molybdenum والفاناديوم Vanadium والألومنيوم Aluminium يمكن نتردتها .

• **النتردة الكربونية Carbonitriding :**

الشردة الكربونية هى العملية التى فيها الكربون يكون فى حالة غازية يتم إضافته إلى النيتروجين وهكذا يسمح بالكربنة وتنفيذ عملية النتردة فى آن واحد . والدرجات المختلفة من الكربنة والنتردة يمكن الحصول عليها بواسطة معالجة حرارية وتبريد متحكم فيهم .

• **التقسية أو التصليد باللهب Flame Hardening :**

وهذه العملية لا تحتاج لإضافة مواد لإتمام عملية التقسية Hardening . والتقسية باللهب تتطلب من 0.30٪ إلى 60٪ كربون . وهذه الطريقة تستعمل لزيادة الصلادة السطحية للتروس باستعمال اللهب والتسخين على السطح الخارجى إلى حرارة حوالى 1500°ف (800°م) باستعمال غاز الأسيتيلين وبعد ذلك يعقب هذا التسخين إزالة بالمياه (تسقية) وهذه الطريقة لها خطورتها لاحتمال حدوث شروخ ويعتمد ذلك بدرجة كبيرة على الدقة والحرص والمهارة والإتقان حيث أنه يمكن أن تحدث اجهادات داخلية نتيجة للتبريد الفجائى . والحديد الزهر يمكن زيادة صلادته باللهب بهذه الطريقة .

• **الصلادة بالحث Induction Hardening :**

وفى هذه العملية يكون هناك تسخين موضعى للعينة ويعتمد ذلك أساسًا على مرور تيار متغير Ac. Current ذو تردد عالى High frequency حول المنطقة المراد

تقسيتها (تقسية سطحها) وعندما يمر التيار الكهربائى حول قطعة أو عينة الصلب فإنها تتحول إلى مغناطيس وتحرك جزيئات المعدن فى حركة سريعة فترتفع درجة الحرارة فتزداد صلادة السطح الخارجى ويتم التحكم فى سمك طبقة الصلادة بزمن مرور التيار الكهربى وتستكمل عملية التقسية بالتبريد (التسقية).

• **مميزات التقسية أو الصلادة بالحث :**

(1) سرعة التقسية .

(2) التحكم فى سمك الصلادة بواسطة زمن مرور التيار .

(3) التبريد السريع والتسخين السريع يؤديان إلى حبيبات معدنية دقيقة .

(4) لا يكون هناك كسر أو نمو للجزيئات نتيجة للسرعة .

(5) لا يتكون فاصل حدى بين السطح والقلب وتستخدم هذه الطريقة فى تقسية بنوز أذرع التوصيل فى المحركات وفى التروس الصغيرة .

• **المعالجة الحرارية لأنواع الصلب سريع القطع**

Heat treatment of high-speed steels

عندما يتم سبك بعض أنواع الصلب مع التنجستين Tungsten والموليبيدنوم Molybdenum والكربون بنسبة مئوية تقريبًا 0.83٪ فإن هذه الأنواع تصنف على أنها من أنواع الصلب سريع القطع High-speed steels وهذه الأنواع من الصلب تحتاج إلى طريقة خاصة من المعالجة الحرارية Heat treatment .

بعد الميكنة Machining توضع العينة فى غلاف محكم مع حضور الكربون (فحم كوك) ويتم تسخينها حتى درجة حرارية 1600°ف ثم يتم تشريبها حراريا ثم يبرد الفرن بعد ذلك وهذه العملية تسمى Pack annealing . ثم توضع العينة بعد ذلك فى فرن متحكم فيه بالجو الخارجى أو حمام ملحى Salt bath ثم يتم تسخينها إلى 1400°ف . ومن هذه الدرجة المسبقة للتسخين تكون القطعة قد انتقلت إلى فرن آخر متحكم فيه بالجو الخارجى والذى يبقى على درجة حرارة حوالة 2300°ف . وبعد فترة زمنية يتم تبريد (تسقية) هذه القطعة أو العينة فى حمام عند درجة حرارة 1100°ف . ويسمح بوقت كافى بحيث أن تصل العينة إلى

الدرجة الحرارية المتوازنة فى كل أنحائها 1100°ف ، ثم يتم إبعادها بعد ذلك عن حمام 1100°ف ويتم تبريدها حتى درجة حرارة الغرفة فى الجو الخارجى .

ويتم بعد ذلك إجراء معالجة تطبيع ثانوية للأداة بواسطة التسخين حتى درجة 1100°ف وتبريدها بعد ذلك فى الهواء والفترات الزمنية للتطبيع تكون على مراحل للحصول على ميزة الصلادة الثانوية التى تحدث .

• **المواد غير المعدنية Non-metalic materials :**

المواد الآتية هى بعض المواد غير المعدنية التى تستخدم بكثرة فى المجال الهندسى :

(1) البلاستيكات Plastics :

البلاستيكات أنواع فيوجد منها الطبيعى Natural والصناعى Synthetic وشبه الصناعى Semisynthetic للمواد العضوية والتى يمكن تحولها إلى بلاستيك تحت تأثير الحرارة والضغط وبعد ذلك يمكن تشكيلها أو صبها فى نماذج تشكيل وتشكل بالبثق أو تستخدم فى عملية المنتجات الرقيقة إلى آخره .

والبلاستيكات الطبيعية تكون شيلاك Shellac وبيتومين Bitumen . والبلاستيكات الشبه صناعية تكون عبارة عن كاسين Casein ومشتقات سيليوزية . والراتينجات الصناعية تتكون بواسطة التكثيف Condensation أو طريقة بلمرة Polymerisation الجزيئات العضوية البسيطة .

• **تصنيف البلاستيكات Classification of plastics**

يمكن تصنيف البلاستيكات هندسيًا إلى فرعين هما :

(1) بلاستيكات ذات لدونة تصلد عند التسخين Thermosetting plastics .

(2) بلاستيكات ذات لدونة دون تغير كيميائى عند التسخين Thermoplastics .

• **بلاستيكات ذات لدونة تصلد عند التسخين Thermosetting plastics .**

وهى تتكون من منتجات بسيطة والتى تكون تحت تأثير الحرارة والضغط وتتعرض لتغيرات كيميائية فى التكثيف Condensation والبلمرة Polymerisation

لتكون شكل نهائى ذات صلابة Rigid وفورمالدهايد الفينول Phnol formaldhyde وفورمالدهايد اليوريا Urea formaldhyde هى البلاستيكات اللدنة التى تصلد عند التسخين وهى شائعة الاستخدام وأمثلة أخرى على ذلك هو البوليسترات Polysters والسيليكونات Silicons .

• **بلاستيكات ذات لدونة بدون تغير كيميائى عند التسخين Thermoplstics .**

وهذه البلاستيكات يتم الحصول عليها من المشتقات البديلة للإيثيلين Ethylene الذى يمكن عمله للبلمرة تحت تأثير الحرارة والمادة الحفازة Catalyst . وبلاستيكات اللدونة بالتسخين الشائعة الاستخدام هى : نترات السيليوليوز Celluolse nitrate والأسيتات Acetate والبوليسترينات Polystrenes وميثاكربلات البوليميثيل Polymethyl methacrylates وكلوريدات البوليفينيل Ploy vinyl chlorides (PVc) .

والبوليسترينات أو راتنجات ستايرول Styrol resins تتكون بواسطة البلمرة Polymerzation للأستربنات Styrenes والتى هى عبارة عن فينيلثيلين $C_6H_5.CH.CH_2$ وتمتاز بأن لها خصائص ميكانيكية ممتازة ومقاومة للرطوبة وحامض الكبريتيك والقلويات القوية والكحول والأسيتون .

والميثاكريليتان البوليميثيل Polymethyl methacrylates أو راتينجات أكريليك Acrylic resins تتكون بواسطة بلمرة الأسترات estres أو أميدات حامض الأكريليك Acrylic acid $(CH_2.CH.COOH)$ وهى شفافة Transparent ولدنه عند التسخين Thermoplastic ومعمرة ومقاومة للضوء والأحماض الضعيفة والقلويات والكحوليات والبرافينات والأحماض الدهنية Fatty acids وتستخدم بصفة رئيسية فى الأغراض البصرية والعدسات lenses وأغطية الأجهزة ونوع pe.s.p.x هو راتنج لدن وشفاف وعديم اللون .

• **كلوريدات البوليفينيل Polyvinyl chlorides :**

وكلوريدات البوليفينيل تعرف أيضًا PVC أو راتنجات الفينيل هى راتنجات بلاستيكية لدنة عند التسخين وتتكون عن طريق اتحاد بلمرة Co-polymerisation

كلوريد الفينيل Vinyl chloride [$CH_2 : CHC_1$] وأسيتات الفينيل Vinyl acetate [$CH_3 : COOH : CH_2$] وهى تقاوم الرطوبة والأحماض المخففة Dilute acids والقلويات والزيوت وتستخدم كأغطية واقية للأغذية والكيماويات ومواسير المياه وأغطية الأرضيات .

• **بلاستيكات الرقائق Laminated plastics :**

وتتكون بواسطة رقائق مشربة Impregnating من مواد الألياف (مثل الورق والكتان وقماش الخيام Canvas أو الحرير) مع راتنج صناعى ثم يتم بعد ذلك انضغاط هذه الرقائق مع بعضها مع استخدام الحرارة . وهكذا تترابط الرقائق مع بعضها واحدة مع الأخرى .

وبلاستيكات الرقائق Laminated plastics تكون خفيفة وقوية لها قدرة ميكنة ولا تتغلغل فيها المياه والزيت ومقاومة للتآكل Wear والأحماض Acids والقلويات وتستخدم على نطاق واسع فى العزل الكهربائى وعجلات الطنابير Pulley wheels وأجزاء المضخة Pump parts وأغراض التزيين وغيرها إلى أخره .

• **البكاليت Bakelite :**

البكاليت هو الاسم التجارى لراتنج صناعى من نوع خاص وهو فورمالدهايد فينول Phenol formaldehyde . وعندما يتم تسخين مقدارين متساويان من الفينول والفورمالدهايد مع بعضهما مع التواجد القاعدى فيكون المنتج بكاليت فى شكل سائل . ويتم تسخينه للحصول على كتلة جامدة ثم يسخن مرة أخرى تحت ضغط للحصول على المنتج النهائى .

ويستخدم البكاليت على نطاق واسع فى أغراض العزل الكهربائى وفى تصنيع المنتجات البلاستيكية والدهانات والورنيشات والمحامل (كراسى التحميل) Bearings إلى آخره .

• **المطاط Rubber :**

يتم الحصول على المطاط بواسطة تجلط Coagulation للسائل اللبنى من أشجار الغابات الاستوائية . والمطاط له معامل حجمى عالى Bulk modulus

ويستخدم على نطاق واسع فى الأغلفة والعوازل الكهربائية والمطاط هو مادة مرنة Elestic material والسيور المطاطية تستخدم أيضًا وهذه السيور تصنع من الألياف القطنية أو الحبال وتكون مشربة Impregnated ويتم ترابطها مع بعضها بواسطة مركبات المطاط المطبوخة Vulcanized . والسيور Rubber Belts لها قوة شد عالية ولها قوة قبض أو إمساك عاليه بالمعدن وبطريقة سريعة وكافيه على الصنبور أكثر من السيور الجلد Leather belts كما أنها تقاوم الرطوبة التى تسبب تدهورها .

• **الزجاج Glass :**

الزجاج هو عبارة عن خليط من سيليكات Silicate قلوية Alkali مع سيليكات مع سيليكات القاعدة . والسيليكات القلوية غالبًا وبصفة عامة تكون صوديوم أو بوتاسيوم بينما السيليكات القاعدية تكون رصاص أو كالسيوم . والمواد الخام بناء على ذلك تكون كالآتى :

(1) سيليكا Silica .

(2) الكربونات الأرضية القلوية Alkaline earth carbonates .

(3) كربونات الصوديوم Sodium carbonate

(4) الرصاص الأحمر Red lead .

والأنواع المختلفة من الزجاج يمكن الحصول عليها عن طريق تغير تركيبها . والزجاج الرخو Soft glass هو خليط من الصوديوم وسيليكات الكالسيوم . والزجاج الصلد هو خليط من البوتاسيوم وسيليكات الكالسيوم وأنواع الزجاج البصرى تحتوى على ثالث أكسيد البورون Boron وأكسيد الزنك والزجاج البصرى يحتوى على السيليكا وكربونات البوتاسيوم وأكسيد الرصاص . والزجاج البيريكس Pyrex هو خليط من الصوديوم وبورسيليكات الألومنيوم . والزجاج له قوة شد كبيرة ومتانة انضغاطية . والزجاج متقصف نتيجة الإجهادات الداخلية وليس له نقطة انصهار كبيرة . ويلين عند التسخين وتقل السيولة Viscosity بالتدريج .

• **الأسبستوس Asbestos :**

الأسبستوس هو مادة معدنية وهو ليفي فى التكوين ويكون لونه أبيض أو رمادى أو بنى . وكيميائيًا هو عبارة عن سيليكات الكالسيوم والمغناطيسيوم . والأسبستوس غير قابل للاحتراق وهو مادة مضادة للحريق حيث أنه لا يتأثر بالأحماض والأدخنة . وهو أيضًا عازل جيد ضد الصوت والحرارة والكهرباء . وبالنسبة لخاصيته فى مقاومة الحريق فهو يستخدم على نطاق واسع فى وصلات مواسير البخار وهو يستخدم فى تصنيع تغطيات الحريق الواقية والمواد الأرضية .

• **المواد المقاومة للصهر Refractories materials :**

تلك المواد هى مواد غير معدنية تستطيع أن تقاوم درجات الحرارة العالية وهى تستخدم فى البناء أو تبطين الأفران والغلايات والمداخن والمسترجعات والمحولات ومجففات البواتق والمعدن المقاومة للصهر الذى يستخدم لأى غرض يجب أن يتوفر فيه الآتى :

(1) يقاوم درجات الحرارة العالية التى يحتمل التعرض لها بدون شروخ أو تحلل أو ليونة .

(2) يقاوم تأثير الغازات الساخنة والخبث وعادم المدخنة والبرى Abrasion والتغيرات المفاجئة لدرجة الحرارة .

• **السيليكونات Silicons :**

السيليكونات هى مشتقات السيليكات SiO_2 والسيليكونات يتم تصنيعها على هيئة سوائل وشحومات والمطاط . وهى تظهر تغير بسيط جدًا فى السيولة مع التغير فى درجة الحرارة وهى تقاوم درجة الحرارة العالية وغير قابلة للاشتعال . والسيليكونات السائلة تستخدم كوسائط لانتقال الحرارة والموائع الخامدة Damping fluids ومزلقات الحرارة العالية للمحامل Bearings والصمامات Valves وتستخدم السيليكونات أيضًا مكونات فى راتنجات الورنيش التى تستخدم فى التغطيات الواقية مثل وسائل الترابط فى الرقائق وكعازل كهربى .

• **مواد التغليف Packing materials :**

وتلك المواد تستخدم للحشو داخل الوصلات أو بين أسطح أجزاء الآلة المتلامسة . وهذه المواد يمكن أن تكون أسبيتوس أو بيرلاب Burlap (قماش خشن) أو فلين Cork أو جوان أو صوف زجاجى Glass wool أو خيش Hessian أو صوف رصاصى أو مطاط أو تصنيع مطاطى .

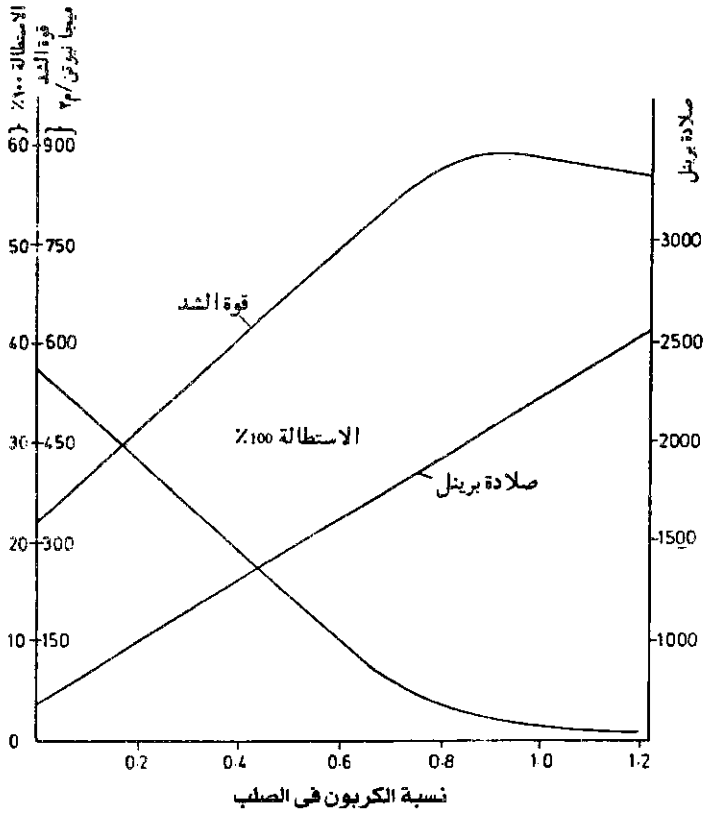
• **الجلد Leather :**

يستخدم فى الإدارة بالسيور ويستخدم كحشو أو يستخدم كورد . وهو مرن جداً وهو يقاوم التآكل بدرجة كبيرة جداً فى الحالات الملائمة . ومعامل المرونة يتغير بالنسبة وطبقًا للحمل الواقع على الجلد .

خصائص المواد

Properties of materials

عند الاختيار لمادة بغرض استخدامها كمركب هندسى يعتمد على الحالات التى سوف تستخدم من أجلها . والحالات يمكن أن تكون بسيطة أو مركبة ولذلك يحتاج المهندس إلى إرشاد فى حالة الاختيار . والإرشاد لا يتغير فى شكل الخصائص الميكانيكية للمادة والخصائص الأخرى كالآتى :



شكل (7) رسم تخطيطى يوضح مدى تأثير زيادة نسبة احتواء الكربون على الخصائص الميكانيكية

- **الخصائص الميكانيكية للمعادن كالآتى :**

⇐ الاستطالة (المطولية) Ductility

الاستطالة هى قابلية المادة للسحب والاستطالة ويعبر عنها بنسبة الزيادة فى الطول أو النقصان فى مساحة المقطع التى نحصل عليها فى اختبار الشد وهى مقياس لهذه الخاصية .

⇐ الهشاشية Brittleness :

وهى عدم قابلية المادة للسحب أو الشد وتنكسر فجأة تحت تأثير الاجهادات المختلفة . ويمكن تعريفها بأنها هى النقص فى المطولية .

⇐ **القابلية للطرق Molleability :**

هى الخاصية الموجودة بالمادة وتسمح لها بتغير شكلها إما بالطرق أو الدرفلة دون كسر أو تغير فى خواصها . وهذه الخاصية تشابه المطولية Ductility .

⇐ **المرونة Elasticity :**

وهى خاصية تغير شكل المعدن الأصلى إذا أثرت عليه قوة وعودته مرة أخرى إلى شكله الأصلى عند إزالة هذه القوى .

⇐ **الصلادة Hardness :**

هى قدرة المادة أو المعدن على مقاومة إنضغاط الأجسام الأخرى الأكثر صلادة منها وهى توضح مدى مقاومة المعدن للتآكل .

⇐ **اللدونة Plasticity :**

هى قابلية المعدن للتشكيل وقدرته على الاحتفاظ بشكله الجديد بعد زوال المؤثر الخارجى .

⇐ **المتانة Strength :**

هى قدرة تحمل المعدن للجهد المؤثر عليه حتى الإجهاد المسموح به .

⇐ **مقاومة الشد (استعصاء) Tenacity :**

هى مقياس لأكبر حمل شد لكل وحده مساحة يمكن أن تتحملها المادة دون أن تنكسر وتعرف بالمقاومة القصوى .

⇐ **مقاومة الانضغاط Compressibility :**

هى مقياس قدرة المادة على تحمل الانضغاط دون أن تنكسر كما فى الأعمدة وكراسى التحميل Bearings .

كما أن هناك بعض الخواص الأخرى للمادة عند استخدامها وهى :

(1) المقاومة للصدأ Corrosion .

(2) التوصيل الكهربى Electric conductivity .

(3) التوصيل الحرارى Thermal conductivity.

اختبارات المعادن
Testing of Materials

هناك نوعان رئيسيان من الاختبارات التى تجرى على المعادن لتحديد مدى ملائمتها للاستخدامات الهندسية :

(1) اختبارات مدمرة Destructive tests .

(2) اختبارات غير المدمرة Non-destructive tests .

والاختبارات المدمرة وغير المدمرة موضحة فى الجدول الآتى :

اختبارات مدمرة Destructive tests	اختبارات غير المدمرة Non-destructive tests
(1) اكتشاف الشروخ Crack detection : (أ) مغناطيسى Magnetic . (ب) اختبار الاختراق Penetrant test . (2) الاختبار الصوتى Sound test : (أ) بالمطرقة Hammer test . (ب) الموجات فوق الصوتية Ultra sonics (3) بالأشعة Radio graphic : أشعة X X ray (4) إلكترونى Micrographic test .	(1) اختبار الشد Tenslie test . (2) اختبار التصادم Impact test . (3) اختبار التعب أو الكلل Fatigue test. (4) اختبار الصلادة Hardness test . (5) اختبار الزحف Creep test . (6) اختبار الانحناء Bending test . (7) اختبار اللى Torison test . (8) اختبار القص Shearing test . (9) اختبار الانضغاط Compression test.

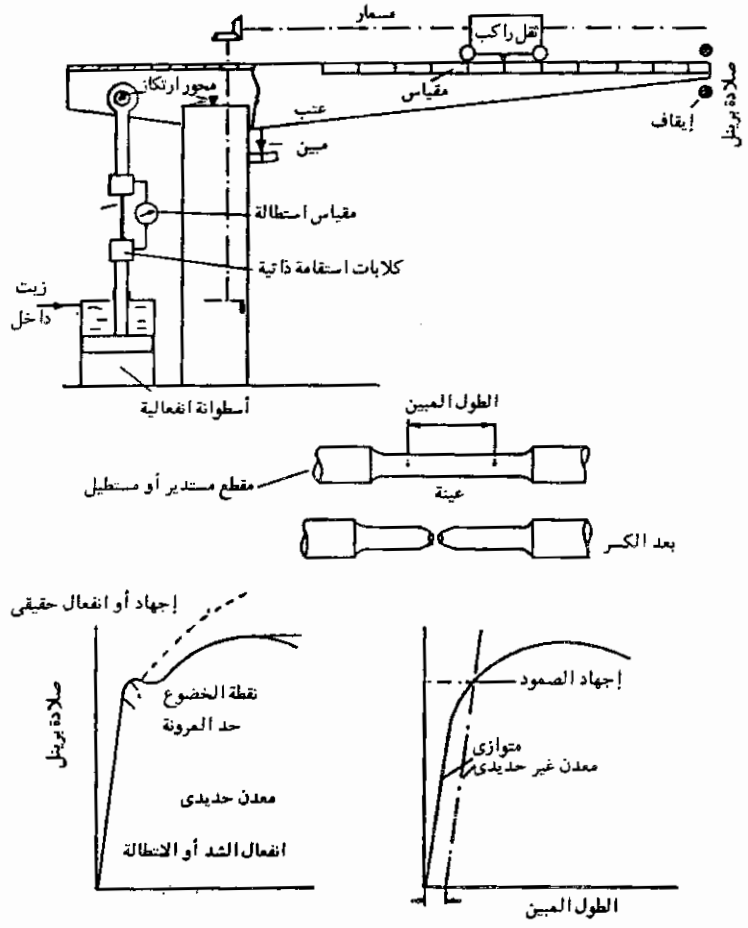
الاختبارات المدمرة Destructive Tests

• **اختبار الشد Tensile test :**

يجرى هذا الاختبار لتحديد متانة المعدن وخاصية السحب والاستطالة . ويستخدم جهاز مبسط فى تركيبه لإجراء اختبار الشد وهو موضح فى شكل (8) .

الطريقة : يتم إمساك العينة أو قطعة المادة المراد إجراء اختبار شد لها بواسطة كلابات قابضة Grip ذات استقامة ذاتية ثم تخضع قطعة المعدن إلى حمل

شد وتدريجى فى زيادته ويظل العتب Beam فى وضع عائم وذلك بواسطة الثقل الراكب Jocky كما يتم زيادة ضغط الزيت لأسطوانة الانفعال كما يركب مقياس الاستطالة Extensometer مقابل العينة أو قطعة المعدن كما فى الشكل . والعينة ستعطى قراءات امتداد عندما يتم استخدام الحمل . والآلات الحديثة لقياس اختبار التصادم والشد تستخدم بصفة رئيسية الوسائل الهيدروليكية وهى أكثر تعقيداً وصعوبة أما الجهاز الموضح فى شكل (8) يعتبر جهاز مبسط وسهل فى تشغيله . ومن قيم قراءات الحمل مع قراءات الاستطالة يمكن رسم منحنى الإجهاد والانفعال Stress-strain/curve .



شكل (8) منحنى إسمى للإجهاد والانفعال

والعينة أو قطعة المعدن المراد اختبارها يمكن أن تكون مستديرة أو مستطيلة في مساحة مقطعها والطول المبين تم تشكيله بواسطة تقليل مساحة مقطع الجزء المركزي للعينة . وهذا التقليل يجب أن يكون تدريجي لأن التغيرات السريعة للمقطع يمكن أن تؤثر في النتيجة والعلاقة بين الطول المبين مع مساحة مقطع العينة تكون هامة ومن جانب آخر أن القيم المختلفة للنسبة المئوية للاستطالة يمكن أن تظهر لنفس المادة . والمعادلة التي توضح العلاقة هي :

$$\text{الطول المبين} = \sqrt[4]{\text{مساحة المقطع}}$$

وفي اختبار الشد تنكسر العينة وبعد الكسر يتم تركيب الأطراف مع بعضها والمسافة التي بين العلامات المرجعية والقطر الأصغر يتم قياسها والحد الأقصى للحمل والحمل الذي عند نقطة الخضوع يتم أيضًا تحديدهم ومن تلك القيم السابقة يتم حساب الآتي :

$$\text{النسبة المئوية للاستطالة} = \frac{\text{الطول النهائي} - \text{الطول الأصلي}}{\text{الطول الأصلي}}$$

$$\text{النسبة المئوية لانكماش للاستطالة} = \frac{\text{المساحة الأصلية} - \text{المساحة النهائية}}{\text{المساحة الأصلية}}$$

$$\text{الحد الأقصى لإجهاد الشد} = \frac{\text{الحمل الأقصى}}{\text{مساحة المقطع الأصلية}}$$

$$\text{إجهاد الخضوع} = \frac{\text{حمل الخضوع}}{\text{مساحة المقطع الأصلية}}$$

والنسبة المئوية للاستطالة والنسبة المئوية لانكماش المساحة هي قياسات مطولية Ductility المواد . والحد الأقصى لإيجاد الشد هو قياس متانة Strength المواد . وإجهاد الخضوع يعطي بيان الابتعاد من العلاقة الخطية التقريبية التي بين الإجهاد والانفعال Stress & strain . وهو الإجهاد الذي يحدث بعض الأوضاع الدائمة في المادة مثل المواسير عند تمددها .

$$\text{معامل الأمان} = \frac{\text{الحد الأقصى لإجهاد الشد}}{\text{الإجهاد الفعال}}$$

ودائمًا يكون معامل الأمان Factor of safety أكبر من واحد والأجزاء التى تكون خاضعة للتعب والتآكل Fatigue يعطى لها معامل أمان أكبر من تلك التى تكون خاضعة لحمل استاتيكى .

وقانون هوك Hook's law ينص على أن الإجهاد يتناسب مع الانفعال إذا كانت المادة مجهدة من خلال حد المرونة .

∴ الإجهاد ∝ الانفعال

أو الإجهاد = الانفعال × ثابت

ويرمز للثابت بحرف E ويسمى معامل يونج Young' madulus أو معامل المرونة .

$$\text{معامل المرونة (E)} = \frac{\text{الإجهاد}}{\text{الانفعال}}$$

ومعامل مرونة المادة هو بيان للتقوية والرجوعية Stiffness and resilience . وعندما يزيد معامل المرونة E فإن تقوية المادة تزيد .

وبطريقة أخرى سهلة للتوضيح فإننا نعتبر أن هناك عدد 2 عتب مدعمين بطريقة بسيطة أحدهما من الحديد الزهر والآخر من الصلب وكل عتب منها يحمل حمل مركزى هو W . وانحراف العتب المحمل بهذه الطريقة يمكن إيجاده كالآتى :

$$\delta = \frac{W L^3}{48 E I}$$

حيث أن : δ = انحراف العتب تحت تأثير الحمل W .

، L = طول العتب .

، I = العزم الثانى لمساحة المقطع .

، E = معامل المرونة للمادة .

وبما أن العتب متطابق

$$\therefore \delta \propto \frac{I}{E}$$

أى أن : ثابت = δ × E

معامل المرونة للصلب أكبر من معامل المرونة فى الحديد الزهر ومن ثم فإن

الصلب أشد صلابة من الحديد الزهر . ولهذا السبب تكون المتانة أقل ويكون الصلب Steel هو المطلوب فى الإنشاء عن الحديد الزهر .

معامل المرونة (E) للصلب = 30 كيلو نيوتن/مم^2

معامل المرونة (E) للحدي الزهر = 23 كيلو نيوتن/مم^2

أقصى جهد للصلب = 360 ميجا نيوتن/مم^2

أقصى جهد للحديد الزهر = 310 ميجا نيوتن/مم^2

• إجهاد الصمود 0.1 proof stress :

فى بعض المعادن غير الحديدية وبعض أنواع الصلب السبائكية غير معروف لها نقطة الخضوع Yield point وهى موضحة فى اختبار الشكل شكل (8) وفى هذه الحالة يستخدم إجهاد الصمود 0.1 لأغراض المقارنة بين المعادن . وبالرجوع إلى شكل (8) نجد أن النقطة (A) يتم تحديدها والخط AB يرسم موازى للجزء السفلى من المنحنى حيث أن الخط AB يقطع المنحنى والإجهاد Stress عند تلك النقطة ويتم قراءته من الرسم وهذا الإجهاد يسمى 0.1 إجهاد الصمود .

• اختبار الصلادة Hardness test :

صلادة المادة تحدد بصفة أساسية مقاومتها للتآكل . وهناك اختبارات عديدة يمكن استخدامها لتحديد الصلادة Hardness وهنا يتم شرح طريقتين منهم :

• اختبار برينيل للصلادة Brinell Test :

ويستخدم فى هذه الاختبار كرة من الصلب المقسى قطرها 10 ميلليمتر وتوضع هذه الكرة على عينة المعدن المراد قياس صلادته ويضغط عليها بقوة وهذه القوة يمكن قياسها بنيوتن ولمدة عشر ثوانى فيحدث بعد ذلك فراغ فى العين ثم ترفع الكرة ويتم قياسها ، يقاس مساحة سطح التطبيع بواسطة ميكروسكوب والماكينة المستخدمة فى هذا الاختبار موضحة فى شكل (9) . وبذلك يمكن حساب مساحة التطبيع رياضيًا .

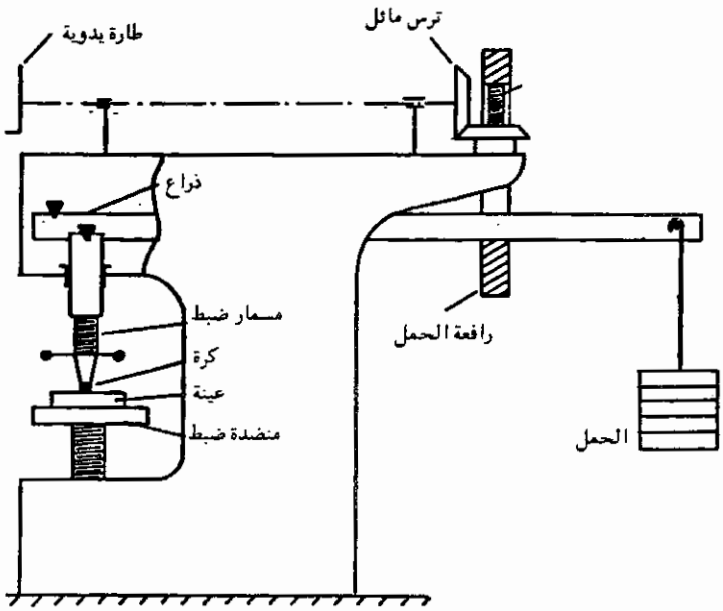
$$\text{رقم الصلادة} = \frac{\text{الحمل}}{\text{المساحة}} = \frac{\text{نيوتن}}{\text{مم}^2}$$

$$\text{المساحة} = [\, \text{ق}_1 - \sqrt{\text{ق}_1^2 - \text{ق}_2^2}\,]$$

حيث أن : ق_1 = قطر الكرة ، ق_2 = قطر التطبيع

وعادة تستخدم الأحمال الآتية :

الصلب 30 كيلو نيوتن ، النحاس 10000 نيوتن ، الألومنيوم 500 نيوتن



شكل (9) آلة برينيل لاختيار الصلادة

- **اختبار فيكرز للصلادة (الاختبار الهرمى) Vickers pyramid test :**

فى هذا الاختبار تستبدل الكرة بهرم رباعى منتظم يضغط برأسه على قطعة المعدن المراد اختبار صلادته ويضغط بالقوة على قاعدة الهرم فيحدث فى هذه الحالة تطبيع يكون سطحه على شكل مربع مساحته س مم^2 ويكون رقم فيكرز الهرمى VPN

$$\text{يساوى} = \frac{\text{الحمل}}{\text{المساحة}} = \frac{\text{نيوتن}}{\text{مم}^2}$$

وهذا الاختبار مناسب جداً للمعادن ذات الصلادة العالية ويعطى نتائج صحيحه بينما يكون هناك شك فى نتائج اختبار برينيل للمعادن ذات صلادة أعلى من رقم 600 ويبين الجدول الآتى بعض أرقام الصلادة للمعادن .

المعدن	رقم برينيل P.N	رقم فيكرز V.P.N
النحاس الأصفر Brass	600	600
الصلب الطرى Mild steel	1300	1300
حديد الزهر الرمادى Grey cast iron	2000	2050
حديد الزهر الأبيض White cast iron	4150	4370

• **اختبار الصدمة Impact test :**

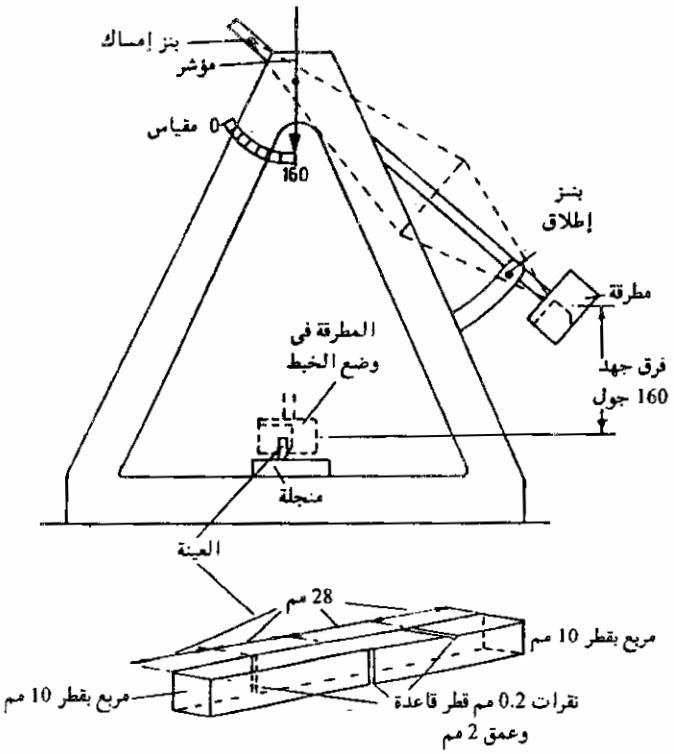
هذا الاختبار فى تحديد الاختلافات فى المعادن التى تظهر عند المعاملة الحرارية Heat treatment والتشغيل Working والسباكة Casting وطريقة اختبار الصدمة تتم عن طريق جهاز يسمى إيزود (Izod) كما هو موضح فى شكل (10) :

الطريقة التى يتم بها الاختبار :

تثبت عينة الاختبار فى منجلة بالجهاز ثم يترك الثقل لينزل بسرعة (المطرقة) ليعطى صدمة للعينة كما فى شكل (10) . وبعد أن تحدث الصدمة للعينة بواسطة المطرقة المتأرجحة يتعشق ذراع المطرقة Hammer arm مع المؤشر الذى يكون محملاً للمتبقى من تأرجح الذراع وبعد أن يتم استكمال تأرجح المطرقة ينفصل المؤشر وتظهر القراءة بواسطة المطرقة فى صدمة العينة . وعادة يتم إجراء هذا الاختبار ثلاث مرات على نفس العينة ومتوسط طاقة الكسر (الصدمة) يكون هو قيمة الصدمة Impact value .

وعند خبط أو نقر العينة فإن قيمة الصدمة تكون إلى حد ما هى قياس لقيمة هذه النقرة Notch (هشاشية النقرة) أو القدرة على تأخير امتداد الشرخ Crack . ومن الناحية العملية نضع فى الاعتبار أنه فى حالة تغيرات المقطع Section التى تحدث فى المواد المحملة (مثل الأعمدة والمسامير) فى هذه الحالة يحدث تركيز إجهاد والاختبار السابق فى هذه الحالة يقيس مقاومة المواد للانهيار عند هذه الانقطاعات .

وقيمة الصدمة بالنسبة للصلب الذى فيه نسبة 2٪ كربون تكون من 25 – 27٪ وكلما زادت نسبة الكربون فى الصلب تقل قيمة الصدمة . وقيمة الصدمة للحديد الزهر هى 3 .



شكل (10) جهاز ايزود لاختبار الصدمة

والجدول الآتى يوضح بعض القيمة الأصلية للمواد المختلفة :

Material المادة	Izod value قيمة إيزود	Uses الاستخدامات
18 – 8 أستنلس ستيل	136	ريش التوربينة Rurbine Blade
حديد (ملدن) Iron (annealed)	16	أعمدة الكامة والتروس Gears
صلب (0.15 كربون ، 0.5 منجنيز)	54	الصلب الطرى (عام) Mild steel
حديد زهر رمادى	حتى 3	الأسطوانات والصمامات Cyl. valves

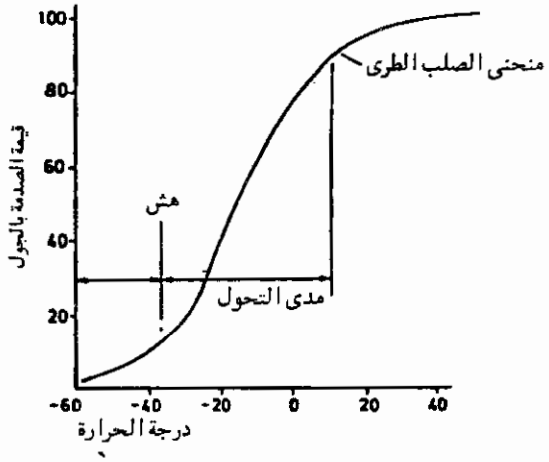
وبعد عملية التقسية Hardening تزداد الصلابة للمادة وبالتالى تقل قيمة

الصدمة ويجرى اختبار الصدمات على المعادن التى تتحمل الصدمات فمثلاً لا يجرى إجراء هذا الاختبار على الألومنيوم والنحاس .

• **شاربى للنقرة الحادة على شكل V Charpy V Notch :**

يمكن تحويل جهاز إيزود بواسطة استخدام مطرقة مختلفة ووضع منجلة مختلفة إلى جهاز آخر هو جهاز النقرة V لشاربى Charpy V Notch حيث أن العينة فى هذه الحالة توضع أفقية عند مصدين متوازيين وتكون بين المسافة التى تتأرجح فيها المطرقة وتكسر العينة .

والميزة التى يمكن أن تكتسب من هذه الطريقة هو أن العينة يمكن ضبطها بسرعة كبيرة جداً فى الجهاز وبذلك يمكن الحصول على القيم الدقيقة لقيم الصدمة للعينات عند درجات الحرارة المختلفة .



شكل (11)

• **الكسر الهش Brittle Fracture**

وهو الكسر الذى لا يوجد هناك تواجد للتشوه البلاستيكى قبل الانهيار . وهذا الكسر يمكن أن يحدث فى أنواع الصلب التى تنخفض درجة حرارته والصلب الذى يعانى من التحول . وشكل (11) يوضح الانخفاض الكبير فى قيمة الصدمة للصلب الطرى Mild steel عندما يقابل معدل تحول أو تغير فى درجة الحرارة .

• **العوامل التى تؤثر فى درجة حرارة التحول أو التغير :**

(1) **العناصر** : الكربون والسيليكون والفوسفور والكبريت ترفع من درجة الحرارة . والنيكل والمنجنيز تخفض من درجة الحرارة .

(2) **حجم الحبيبات** : حجم الحبيبات الأصغر يخفض من درجة حرارة التحول ولذلك تكرير الحبيبات يمكن أن يكون ذو فائدة .

(3) **تقسية التشغيل** : وهى تزيد من درجة حرارة التحول .

(4) **النقرات** : احتمال حدوثها أثناء التجميع والتركيب ومثال ذلك عيوب اللحام أو علامات الآلة ، والنقرات يمكن أن تزيد من احتمالية الكسر الهش .

ومن هنا فإن درجة حرارة التحول تعتبر عامل هام فى انتقاء المواد لتحميل أنواع البضاعة ذات درجة الحرارة المنخفضة . ومثال ذلك ناقلات غازات البترول السائلة LPG وناقلات الغاز الطبيعى LNG . وأنواع الصلب الأستنلس ستيل الملائمة لتلك الحملات سوف تحتوى على :

Chrome كروم	،	٪18.5 نيكل Nickel
Carbon كربون	،	0.03٪ سيليكون Silicon

1.2٪ منجنيز Manganese

الحد الأقصى لقوة الشد U.T.S. 560 ميجا نيوتن/م^2 ، 50٪ الاستطالة elongation .

شاربى للنقرة V (Charpy V notch) 102 عند درجة حرارة 196°م .

• **اختبار الزحف Creep test :**

الزحف يمكن تعريفه بأنه التشوه البلاستيكى البطئ للمادة تحت تأثير إجهاد ثابت . ويمكن تعريفه أيضًا بأنه هو التغير الذى يحدث للمعدن نتيجة تعرضه لجهد ثابت لفترة طويلة .

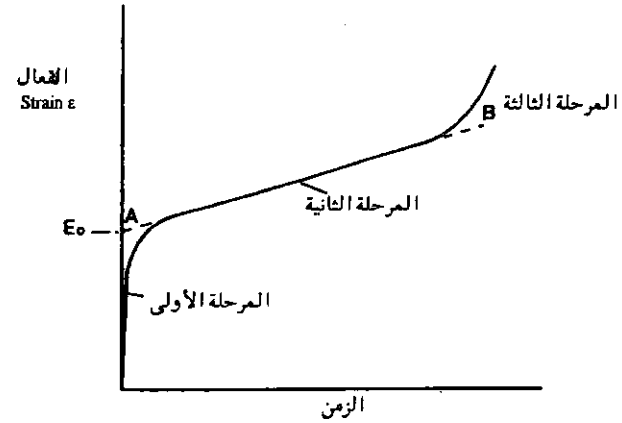
ويتم اختبار الزحف للمادة أو المعدن بتعريض العينة لحمل ثابت لمدة طويلة ويجرى ذلك على عديد من العينات المتماثلة وبإجهادات مختلفة ولكن تكون فى نفس درجة الحرارة .

وترسم العلاقة بين الانفعال والزمن ويلاحظ بعد ذلك أن المنحنى يتكون من ثلاث مراحل :

المرحلة الأولى : يزيد الانفعال Strain بمعدل مرتفع فى زمن قليل .

المرحلة الثانيـة : يزيد الانفعال Strain ببطئ مع الوقت بمعدل ثابت .

المرحلة الثالثـة : يزيد الانفعال Strain بسرعة فى وقت قليل إلى أن ينكسر المعدن .



شكل (12) منحنى الزحف

الجدول الآتى يوضح بعض قيم الزحف المسموح بها وهـى لنتـائج اختبـار الزحف . وجميع المواد المذكورة تكون عند درجة حرارة التشغيل .

اسم المركب Component	معدل الزحف m mh	زمن الاختبار بالساعة	أقصى انفعال
أقراص التوربين Turbine dises	10^{-9}	10^{5}	0.0001
مواسير البخار والغلاية Steam pipes	10^{-7}	10^{5} ،	0.003
مواسير المحمص Super heater	10^{-6}	20×10^{3}	0.02

والمواد التى تكـون ذات حبيبـات دقيقـة fine grained يكـون اسـتعدادها للزحف Creep أكبر من المواد التى تكون حبيبات خشنة Coarse grained بسبب احتوائها الأكبر للمعدن غير المتبلور .

- **اختبار التعب أو الكلل fatigue test :**

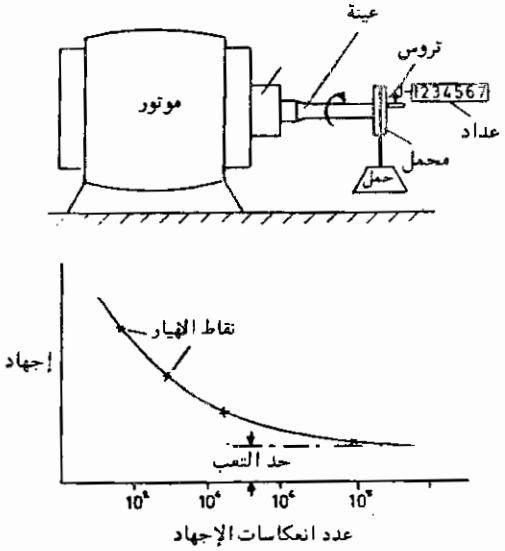
يمكن تعريف التعب أو الكلل لمعد بأنه هو انـهيار المعـدن نتيجـة لتعرضـه

لإجهادات متكررة . والإجهاد المطلوب للوصول إلى مثل تلك الانهيار ربما يكون أقل بكثير عن تلك المطلوب لكسر المادة في اختبار الشد Tensile test .

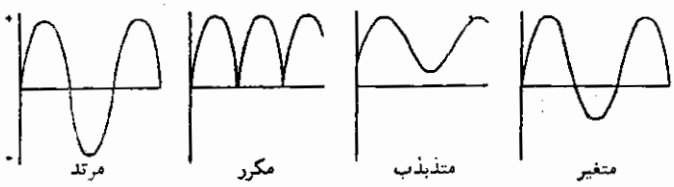
ويجرى اختبار التعب أو الكلل على معادن أجزاء الماكينات التى تتعرض لأحمال متكررة متماثلة أو متغيرة مثل أعمدة الدورات ويتم هذا الاختبار على عينات متماثلة عند إجهادات متغيرة وذلك بتوجيه أحمال متكررة على قطعة الاختبار إلى أن تنكسر ثم تحتسب الإجهادات التى بذلت وهذه الأحمال المتكررة قد تكون أحمال شد أو أحمال ضغط .

وشكل (13) يوضح أنواع الإجهادات المتغيرة التى يخضع لها المركب .

وشكل (14) يوضح الأشكال المختلفة لانعكاس الإجهاد الذى يخضع له المركب .



شكل (13) اختبار التعب أو الكلل



شكل (14) أشكال انعكاس الإجهاد

• **أنواع انعكاس الإجهاد :**

• **إجهاد مرتد Reversed stress :**

مدى الإجهاد فيه يماثل خط إجهاد الصفر ومثال ذلك عامود المضخة الطاردة المركزية .

• **إجهاد متكرر Repeated stress :**

المركب يكون مجهد ثم يزال بعد ذلك الحمل كلية ومثال ذلك أسنان الترس والكامة .

• **إجهاد متذبذب Fluctuating stress :**

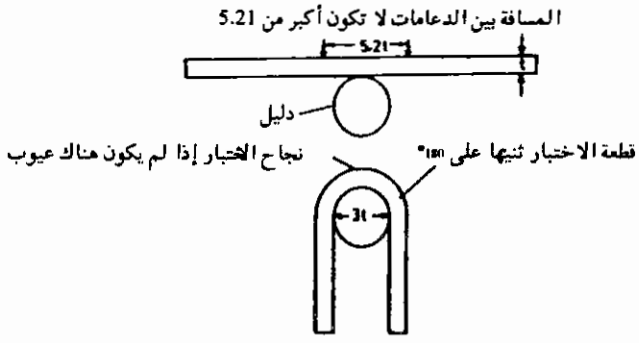
المركب يكون مجهد إما بالانضغاط أو بالشد ولكن معدل الإجهاد لا يمر من خلال خط الصفر ومثال ذلك مسامير الرباط والنقط السفلى للمسامير Bottom end bolts .

• **إجهاد متغير Alternating stress :**

مدى الإجهاد يمر من خلال خط الصفر ومن ثم فإنه يغير من الشد Tensile إلى الانضغاط ولكنه لا يكون متماثل من خط الجهد الصغرى ومثال ذلك ذراع المكبس والمضخة وعامود الكرنك .

• **إجهاد الانحناء Bend stress :**

يتم هذا الاختبار على مواد ألواح الغلاية ويجرى الاختبار بثنى عينة الاختبار المستقيمة إلى أن تقصير جوانب النهايتين متوازيتين ولكى يتم هذا الاختبار بنجاح يجب ألا تحدث شروخ أو كسر عند السطح الخارجى للوح (شكل 15) .



شكل (15) اختبار الانحناء

الاختبارات غير المدمرة Non-Destructive Tests

أولا : اختبارات الشروخ السطحية Surface crack :

(1) الفحص بالنظر Visual examination : ويتم ذلك بالنظر إلى الجزء المراد فحصه بالعين المجردة واكتشاف أى شرخ موجود وقد يستخدم فى هذا الاختيار الميكروسكوب أو العدسات اليدوية .

(2) الاختبار بالاحتراق Penetrate examination : ويستخدم فى هذا الاختبار السوائل ذات السيولة المنخفضة لتجد مسارها إلى داخل الشروخ الدقيقة وتتخللها .

(أ) باستعمال الزيت ومسحوق الطباشير oil and white wash :

وهذه الطريقة هى واحدة من أقدم الطرق وأبسطها فى اختبارات الاختراق . ويجهز الجزء المراد اختباره وينظف ويدهن بزيت البرافين وبعد فترة يتم تجفيف هذا الجزء ويجفف جيداً ثم يرش عليه مسحوق الطباشير ويلاحظ أنه إذا كانت هناك شروخ فإنها سوف تمتص مسحوق الطباشير وفى هذه الحالة يظهر مكان الشروخ بوضوح .

(ب) باستعمال مادة مضيئة فوسفورية :

ويتم رش هذه المادة على سطح المعدن ثم ينظف السطح من هذه المادة ويتم الفحص بعد ذلك بتوجيه أو تسليط ضوء قوى فتظهر أماكن الشروخ .

(جـ) باستعمال محلول كبريتات الصوديوم :

يتم مسح سطح المعدن بمحلول كبريتات الصوديوم ثم توضع ورقة تصوير حساس مدهونة بمحلول كبريتات الصوديوم وبعد فترة زمنية ترفع هذه الورقة فنجد أماكن الشروخ على هذه الورقة .

(د) باستعمال السلقون (أكسيد الرصاص) مذاب فى الزيت :

يدهن الجزء المراد اختباره وبعد فترة ينظف السلقون فتبقى أماكن الشروخ تحمل لون السلقون الأحمر وتظهر بوضوح .

• **الاختبار المغناطيسى Magnetic test :**

يتم مغنطة الجزء المراد اختباره من المادة فيحدث تخلخل فى المجال المغناطيسى فى الأماكن التى بها شروخ فإذا تم رش برادة الحديد على السطح المراد اختباره فإن شكل توزيع البرادة الحديد سوف يختلف على مساحة السطح بحيث يوضح مكان الشرخ ، وهذا يحدث أيضًا إذا كان هناك لا فلز فى المعدن عند أو أسفل السطح مباشرة .

أولا : اختبارات الشروخ الداخلية Internal crack :

(1) الاختبار بالطرق Hammer test :

والطريق فى هذا الاختبار هو أن يعلق الجزء المراد اختباره تعليقًا حرًا ويتم الطرق على أجزاؤه بالمطرقة وأثناء الطرق يمكن اكتشاف أماكن الشروخ وذلك بعد سماع الرنين الحقيقى من عدمه .

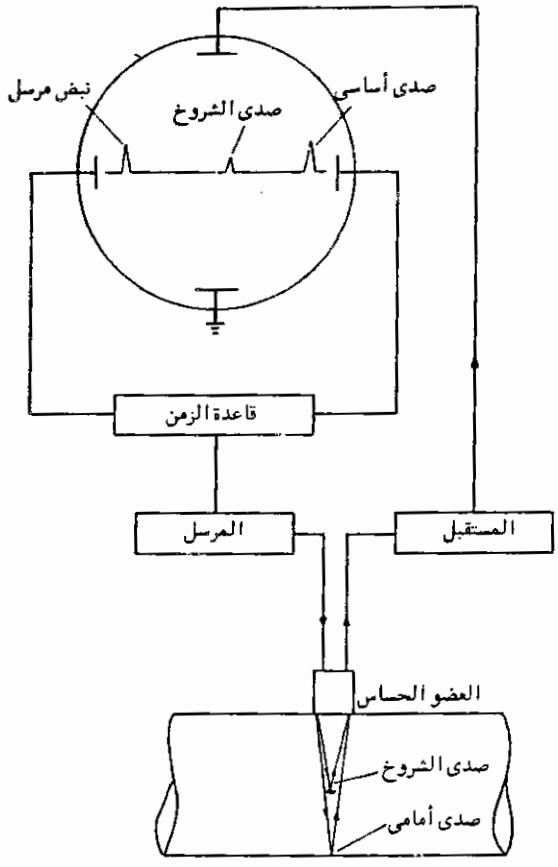
(2) الاختبار بالأشعة Radiography :

والأشعات التى تستخدم فى هذا الاختبار هى أشعة X وأشعة جاما ويمكن لهذه الأشعة أن تخترق المادة حتى 180 مم سمك ويوضع من الناحية الأخرى للمعدن أو الجزء المراد اختباره لوح حساس يعطى صورة سالبة ونظرا لاختلاف كثافة المعدن فى المناطق التى بها شروح فإن امتصاص الأشعة سوف يكون غير منتظم ويظهر عدم الانتظام هذا على الصورة موضحًا أماكن الشروخ ويمتاز جهاز التصوير بأشعة X بسرعة الحصول على الصور ويمتاز جهاز التصوير بأشعة جاما بصغر حجمه وسهولة تداوله .

(3) الاختبار بالموجات فوق الصوتية Ultrasonic test :

وميزة هذا الاختبار أنه غير مطلوب حد معين لسمك الجزء المراد اختباره وتكون هناك إمكانية لاختبار أى سمك وفكرة الاختبار هى أن الموجات الصوتية ذات التردد العالى تنعكس بمجرد اصطدامها بأى شرخ فى المعدن ويكون استقبالها عند انعكاسها على شاشة تحولها من موجات فوق صوتية إلى موجات

كهربائية وتظهر على جهاز البيان الذبذبات الكهربائية وعندئذ يمكن تحديد عمق ومكان الشرخ ويمكن أيضًا استخدام هذا الجهاز فى تحديد سمك المعدن Metal thickness . ويوجد من هذا الجهاز نوع محمول ببطارية وهو أسطوانى مع كابل لضبط مايك الرأس ويستخدم هذا الجهاز لاكتشاف التسريبات Leakages ، ومثال ذلك (التفريغ Vacuum ، خطوط الهواء Air lines ، البخار المحمص super heated ، وتكييف الهواء) والاستخدام الحديث للموجات فوق الصوتية هو اختبار المكثفات Condeners .



شكل (16) جهاز الاختبار بالموجات فوق الصوتية

تشكيل المعادن Forming metals

(1) المسبوكات الرملية Sand Casting :

يصنع نموذج من الخشب للمسبوك ويكون بمقياس أكبر قليلاً للسماح بالانكماش بعد عملية الصب ويوضع النموذج الخشبى فى صندوق رملى كالموضح فى شكل (17) ثم يرفع النموذج ويصب المعدن فى الفراغ الذى تركه النموذج الخشبى .

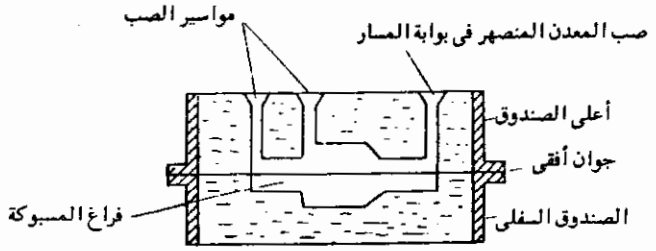
• العيوب التى يمكن أن تحدث فى المسبوكات :

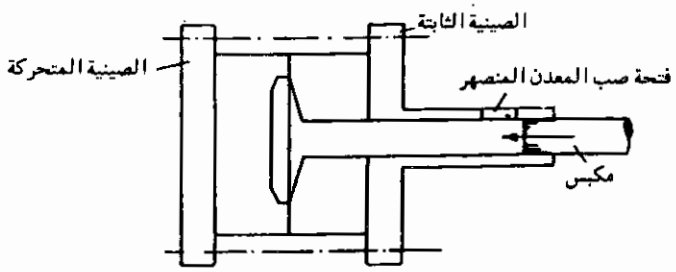
(1) التجويفات Cavities (البخبخة) : نتيجة لسوء التهوية وعدم وجود تهوية كافية وذوبان الغازات فى الصلب .

(2) الأكسدة Oxidation .

(3) الشوائب Impurities .

وطريقة المسبوكات تكون بطيئة ومكلفة وهى تستخدم فقط إذا كان شكل المسبوكة والمعدل غير ملائم مع الفنيات الأخرى .





شكل (17) مسبوكات الصب فى القوالب

(2) المسبوكات المكبسية Die casting :

وهذه الطريقة تستخدم فى سبائك الألومنيوم والزنك ويصب المعدن المنصهر تحت تأثير الجاذبية أو تحت ضغط عالى وهذه الطريقة تعطى حبيبات دقيقة فى تركيب منتظم ويمكن استخدام النموذج مرة أخرى .

(3) السباكة بالطرد المركزى Centrifugal casting :

وفى هذه الطريقة يصب المعدن المنصهر على نموذج معدنى أسطوانى يدور حول محوره فتكون القوة الطاردة المركزية سببًا فى تباعد المعدن المنصهر قطريًا للخارج على السطح الداخلى للقالب الإسطوانى غير المساحة والمسبوكات لهذه الطريقة تستخدم فى شنابر المكابس أو إنتاج أنابيب الحديد المسبوكة .

(4) السباكة بالطرق Forging casting :

وهذه هى الطريقة التى تكون التشغيل والتشكيل للمعدن الساخن بعملية ميكانيكية أو يدوية بواسطة أدوات تسمى عدد الطرق أى هى عملية التشكيل على الساخن بواسطة الماكينات أو العدد وهذه العملية تستخدم لإنتاج أعمدة المرفق وأذرع التوصيل فى المحركات .

- **التشغيل على البارد Cold working :**

وهى سحب المعدن من خلال فرم التشكيل مثل أسلاك أو مواسير وألواح حديد مدرفلة وجميعها أمثلة لطريقة التشغيل على البارد فى المعادن .

لحام المعادن Metal welding

تنقسم عملية اللحام إلى مجموعتين رئيسيتين وهما :

أولاً : اللحام الضغطى Pressure welding .

ثانيًا : اللحام اللاضغطى Non-pressure welding

وأى عملية لحام تتطلب أو تحتاج إلى الضغط يكون أصل مرجعها هو عملية اللحام بالطرق وهذه العمليات لا تحتاج فى العادة معدن لحام Filler metal أو مساعد صهر Flux ومع ذلك فإن الأجزاء التى تحتاج إلى لحام يجب أن تكون نظيفة وخالية من الشحومات إلى آخره .

وأقدم نوع لحام بالطرق Force welding هو لحام الطرق بالحدادة Black smith forge .

وهذه العملية هى عبارة عن تسخين لمركبات المعدن المراد لحامها بواسطة لهب الحدادة حتى تصبح الأجزاء الملتحمة بلاستيكية (لدنة) . ثم تزال أجزاء المركبات بعد ذلك بعيدًا عن مصدر الحرارة ويتم بعد ذلك طرقها مع بعضها لتكون جزء واحد .

واللحام بالمقاومة Resistance welding وهو عملية أخرى للحام بالطرق . يتم إمداد الأجزاء المراد لحامها بالتيار والضغط أى التيار الكهربائى والضغط ولكن ليس هناك حاجة إلى معدن ملئ أو مساعد صهر اللحام ، والحرارة المتولدة من أجل اللحام تعتمد على :

(1) مربع التيار الذى يتم إمداده .

(2) المعدن المراد لحامه والمقاومة التلامسية Contact resistance .

(3) زمن استخدام التيار الكهربى والضغط .

وعمليات اللحام التى لا تتطلب أى ضغط غالبًا تكون بالصهر تحتاج إلى معدن ملئ Fusion filler processes . وعمليات اللحام بالصهر تحتاج إلى معدن ملئ Filler metal وغالبًا يستخدم فيها مساعد الصهر Flux . وأكثر عمليات اللحام بالصهر المتوافقة والملائمة والشائعة هى اللحام بالقوس الكهربائى

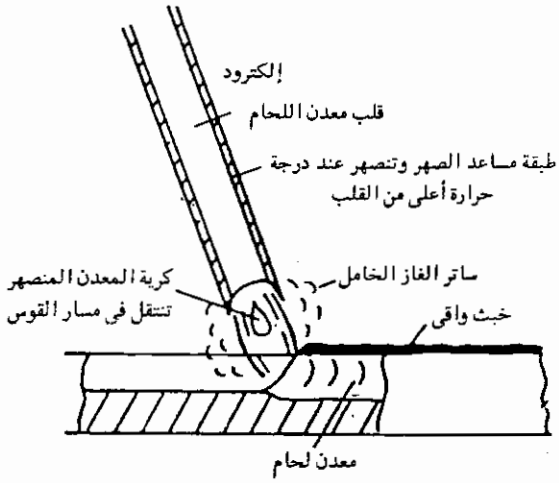
Electric arc وأحيانًا تسمى عملية اللحام بالقوس المعدنى Metal arc welding processes .

• **اللحام بالقوس الكهربائى Electric arc welding :**

فى هذه العملية يكون إشعال القوس بين الألكترود الذى يعمل كمعدن لحام والمعدن المراد لحامه . والحرارة المتولدة تجعل الألكترود ينصهر ويثقل المعدن المنصهر من الألكترود إلى اللوح كما فى شكل (1) .

وإذا كان الألكترود مكشوف Bare فيمكن أن يضل القوس ولذلك يكون من الصعب التحكم فيه وأيضًا إذا كان سريان القوس مكشوف (مفتوح) للتلوث من الجو الخارجى وهذا يتسبب فى أن يكون اللحام هش Brittle ومسامى Porous ولتجنب هذه العيوب غالبًا يتم استخدام الألكترودات المغطاة بمساعد الصهر Flux .

وطبقة مساعد الطهر تنصهر عند درجة حرارة أعلى من قلب معدن الألكترود وهكذا نجد أن هذه الطبقة تبرز خلف القلب Core أثناء اللحام . وهذا يعطى اتزان أفضل مع التحكم والتركيز للقوس Arc . وهذه الطبقة تحجب أيضًا القوس وحوض المعدن المنصهر من الجو الخارجى بواسطة الغازات الخاملة Inert gases التى تصدر عندما تتبخر .



شكل (2) قطاع من خلال لحام القوس الكهربائى

والسيليكات التى تكونت من طبقة مساعد الصهر تكون خبث عند سطح المعدن الساخن وهى تحمى المعدن الساخن من الجو الخارجى عندما تبرد . ونتيجة أيضًا للانكماش الأكبر للخبث Slag عن المعدن عندما يبرد فإن الخبث يمكن إزالته بسهولة .

ولحام القوس الكهربائى يمكن أن يتم باستخدام تيار ثابت (مستمر) D.C. current أو تيار متغير A.C. current والمطلوب فى هذه العملية دائرة مفتوحة D.C. وحوالى 80 فولت عندما يستخدم التيار المتغير A.C. .

وإمداد التيار المتغير هو الشائع فى الاستخدام عن التيار الثابت D.C. للأسباب الآتية :

(1) يعتبر وحده أكثر فى الدمج Compact .

(2) الصيانة التى تتطلبها الوحدة أقل .

(3) كفاءة أعلى من وحدة التيار الثابت D.C. .

(4) التكاليف الأولية أقل بالنسبة للوحدات المماثلة فى السعة .

• عيوب التيار المتغير A.C. هى :

(1) الفولت المستخدم أعلى ولذلك يكون الخطر بالنسبة للصدمة الكهربائية .

(2) أكثر فى لحام الحديد الزهر والمعادن غير حديدية .

وشكل (3) يوضح اللحام المثالى وأيضًا بعض العيوب التى يمكن أن تحدث على السطح أو من داخل اللحام والمعدن المجاور .

والأخطاء أو العيوب عامة تكون بسبب سوء التشغيل لماكينة اللحام ولهذا السبب يجب على اللحامين أن يقوموا بفحص لحاماتهم بانتظام من حيث العيوب .

• بعض عيوب اللحام وأسبابها :

(1) التراكب أو التداخل Overlap :

وذلك يكون بسبب الفائض Overlap بدون صهر لمعدن اللحام فوق المعدن الأصلى . وعامة يمكن اكتشاف هذا العيب بواسطة مكتشف الشرخ المغناطيسى .

(2) القطع أو اللحام المنخفض Undercut :

وهذا العيب هو عبارة عن مجرى أو شق بطول نتوء أو بروز اللحام وسببها هو إهدار المعدن الأصلى والذى يمكن أن يكون نتيجة لتيار اللحام العالى جداً أو من سرعة اللحام البطيئة .

(3) الطرطشة Spatter :

وهذا العيب هو عبارة عن بعثرة كريات Globules أو جزيئات من المعدن على أو حول اللحام . ويمكن أن يكون سبب هذا هو التيار العالى جداً أو الفولتية التى تسبب فى بعثرة ورش المعدن .

(4) الفجوة الهوائية Blowhole :

وهذا العيب هو عبارة عن تجويف أو فجوة كبيرة ويكون سببها هو الهواء أو الغاز المحصور .

(5) المسامية Porosity :

وهذا العيب هو عبارة عن مجموعة من الجيوب الغازية الصغيرة .

(6) الشوائب Inclusion :

وهذا العيب هو أن أى خبث Slag أو أى مادة محصورة تعتبر عيب شوائب دخيلة . والسطح الذى يراد لحامه يجب أن يكون خاليًا من المادة الغريبة أو الدخيلة ومثال ذلك الزيوت . والشحوم والقشور الدقيقة ورايش المعدن إلى آخره . وأثناء عملية اللحام يجب أن يسمح للخبث بأن يكون أمام المعدن المنصهر أو ربما يصبح محصوراً . وأيضًا عندما يكون اللحام متقطع نتيجة لتغيير الإلكترود فإن المعدن الذى ترسب بالفعل يجب أن يبرد ثم بعد ذلك يجب كشط النحات وطرده بفرشاة .

(7) الاختراق الغير كامل Incomplete root penetration :

وهذا العيب هو عبارة عن فراغ سببه هو فشل معدن اللحام فى ملى الجذر .

(8) الصهر الناقص Lack of fusion :

وهذا العيب يحدث بين معدن اللحام والمعدن الأصلى وذلك بين الطبقات المختلفة لمعدن اللحام أو بين الأسطح المتلامسة للمعدن الأصلى . والسبب هو أن التيار غير مضبوط أو الفولت أو القاذورات أو الشحومات .

ومعظم العيوب السطحية التى تحدث فى اللحام يمكن إزالتها بواسطة التجليخ ولكن العيوب الداخلية التى يمكن اكتشافها بطرق الأشعة أو الموجات فوق الصوتية تقتضى الإعادة لهذه العمليات .

ويجب فحص اللحام أثناء اللحام وبعد اللحام حيث أنه إذا أمكن اكتشاف العيوب مبكرًا فهذا يعنى الاقتصاد فى المادة وتكاليف العمل .

وأثناء اللحام بطريقة القوس الكهربائى Electric arc يجب ملاحظ النقاط الهامة التالية :

(1) معدل استهلاك الألكترود .
(2) الاختراق Penetration .
(3) الصهر Fusion .
(4) التحكم فى الخبث Slag control .
(5) طول وصوت القوس Length and sound of arc .

والأشكال الأخرى للحام بالقوس الكهربائى تشمل عملية قوس الأرجون Argon arc . ولحام قوس الأرجون قادر على أن يتم لحام المعادن غير حديدية مثل الألومنيوم والمغناسيوم والنحاس الأحمر والمعادن الحديدية مثل الأستنلس ستيل بدون استخدام مساعد الصهر Flux .

وفى طريقة اللحام هذه تسمى T.I.G أى الغاز الخامل للتنجستين ، نجد أن القوس يكون إشعاله بين ألكترود التنجستين الغير قابل للاستهلاك والمعدن الأصلى . والقوس والمعدن المنصهر يكونان ذو إحاطة بغاز الأرجون الذى يورد للمشعل Torch تحت تأثير ضغط .

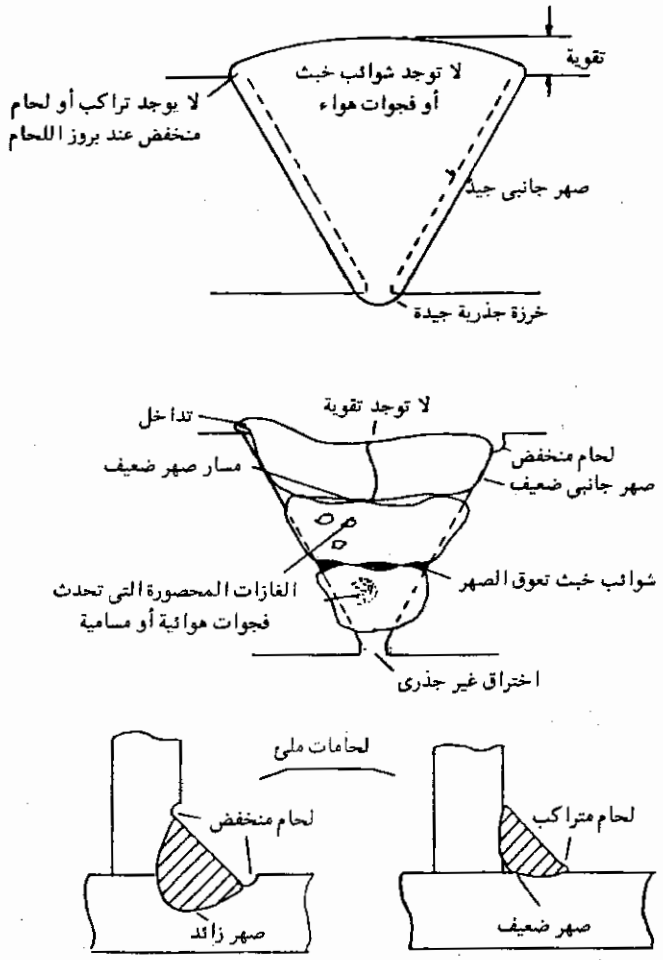
والأرجون Argon يعتبر واحد من الغازات الجوية الأكثر ندرة ويتم الحصول عليه من الجو الخارجى Atmosphere بواسطة الإسالة Liquefaction .

ويصد الجو الخارجى تمامًا وكلية أثناء اللحام فى هذه الحالة نجد أن غاز

الأرجون يمنع النواتج المؤكسدة Oxidation products والنترات Nitrides التى تكون قد تكونت وهكذا تساعد اللحام على أن يتم بدون استخدام مساعد صهر Flux .

وبالنسبة للحام الأكسى أسيتلين نجد أن الأكسجين والأسيتيلين يتم تخزينهم فى أسطوانات من الصلب المسحوب المصمت Solid drawn steel تحت ضغط ويتم إمدادهم للمشعل Torch .

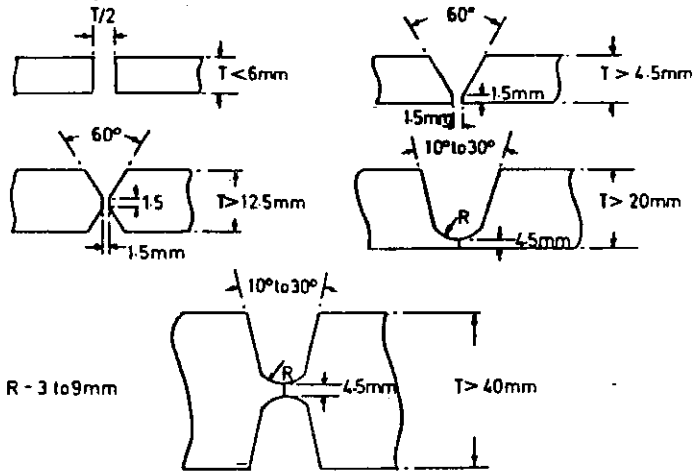
والمشاعل الحديثة غالبًا تكون من النوع الموحد ويمكن أن تستخدم إما فى اللحام Welding أو فى عمليات القطع ويتم توريد مختلف أنواع وأحجام الفوانى لهذا الغرض .



شكل (3) اللحام الصوتى وبعض عيوب اللحام

وفى اللحام يكون اللـهب المتعـادل هـو المطلـوب وهـو اللـهب الـذى لا يتأكسد ولا يختزل . ويستخدم معدن اللحام Filler metal ومساعد الصهر Flux .

ويمكن استخدام لحام الأكسى أسيتيلين Oxy acetylene فى لحام المعـادن الحديدية وغير الحديدية .



شكل (4) تجهيزات ثناكبية طبق الأصل على شكل حرف V & U فى اللحام

ومثـال هـذه المعـادن أنـواع الصلـب الاسـتنلس وأنـواع الحديـد الزهـر والألومنيوم والنحاس الأحمر وغيرها . وهذه العملية يمكـن أيضًـا أن تسـتخدم للصلادة السطحية للمواد مثل ستيليت .

- **اللحام السفلى Downhand welding :**

والمسمى المفضل لهذا النوع من اللحام هـو لحـام الوضـع المسـطح Flat position welding وهو لحام يتم من الجانب العلوى للوصلة حيـث يكـون وجـه اللحام تقريبًا أفقى Horizontal .

- **المنطقة التى تتأثر بالحرارة Heat affected zone :**

عند اللحام أو اللحام بالنحاس Brazing يكون جزء قـاعدة المعـدن الـذى يكون الإنشاء فيه صغير وتكون الخصائص الميكانيكية متغيرة ولكنه لا ينصهر .

• **الفرق بين اللحام بالنحاس واللحام بالسبيكة :**

Difference between welding, brazing, soldering :

(1) اللحام Welding : وفيه مادة اللحام تكون لها درجة انصهار عند أو أقل بقليل من تلك التى للمعدن الأصلى (الأساسى) .

(2) اللحام بالنحاس Brazing : وفيه تكون مادة اللحام المستخدمة أعلى من 500°م (تقريبًا) ولكنها أقل من تلك التى للمعدن الأصلى .

(3) اللحام بالسبيكة Soldering : وفيه تكون مادة اللحام المستخدم لها درجة انصهار أقل من 500°م (تقريبًا) .

واللحام بالنحاس Brazing واللحام بالسبيكة Soldering يكونا متماثلين فى أن معدن اللحام يجب أن يكون :

(1) مفضل للمعدن الأصلى .

(2) يجب أن يسحب إلى داخل الوصلة بالخاصية الشعرية . ومعادن اللحام بالنحاس هى سبائك من النحاس الأحمر والنيكل والفضة والألومنيوم . ومعادن اللحام بالسبائك هى سبائك الرصاص والقصدير أو الألومنيوم .

ومساعد الصهر يستخدم لإذابة أو إزالة الأوكسيدات وفى حالة اللحام بالنحاس يستخدم البوراكس Borax وفى حالة اللحام بالسبائك يغمس فى محلول البترول .

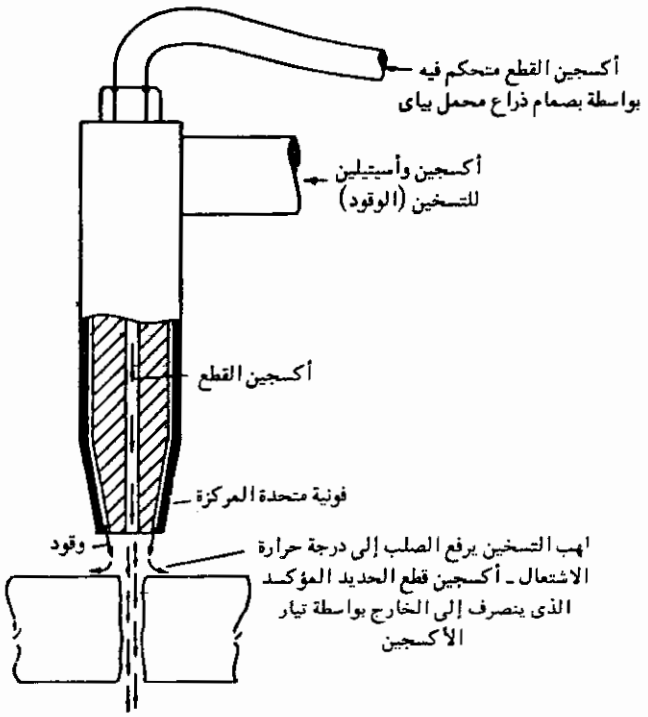
• **القطع بالغاز Gas cutting :**

العملية الأكثر شيوعًا هى عملية قطع الحديد والصلب بواسطة أداة الأكسى أسيتيلين Oxy-acetylene . ولهب القطع أو الحرق كما يسمى هكذا أحيانًا يكون متطابق وسريع وذات كفاءة نسبيًا وغير مكلف .

ومشعل لعب القطع يكون مختلفًا بالنسبة لمشعل اللحام فى أن يكون له صمام تحكم منفصل لإمداد أكسجين القطع بالإضافة إلى الأكسجين العادى وموارد الأسيتيلين (شكل 5) .

فمثلاً عند قطع لوح من الصلب يتم تسخين مسبق للوح أولاً بواسطة لهب

التسخين حتى يصل إلى درجة حرارة الاشتعال وهذا عادة يكـون مميزا بواسطة اللون (يكون بين الأحمر اللامع والأبيض) ثم يتم توريد الأكسـجين بعـد ذلـك وفى الحال يبدأ الحرق Burning وأكسجين القطع يؤكسد الحديد إلـى أكسـيد الحديد المغناطيسى (F_3O_4) والذى يكـون لـه درجـة انصـهار منخفضـة . وهـذا الأكسيد ينصهر بسهولة وينصرف بسرعة إلى الخارج بواسطة تيار أكسجين القطع .



شكل (5) جهاز القطع بغاز الأكسى اسيتيلين

وفى حالة الوصول إلى درجة الاشتعال تكون عملية القطع Cutting process حيث أن الحرارة تكون قد نشأت وبالإضافة إلى ذلك الحرارة المعطـاة مـن لـهب التسخين بواسطة أكسدة الحديد . ويجب ملاحظة أن الحديد أو الصلب ذاته لا ينصهر ولكنه يكون قد تأكسد أو احترق .

ونتيجة للتبريد السريع لحافة اللوح الذى يحـدث فـى حالـة مـرور المشعـل يحـدث صـلادة موضعيـة ومـن هنـا تشطـب حافـات اللـوح بواســطة الميكنــة

Machining أو التجليخ لإزالة المادة المصلدة والتى عادة تكون غير مرغوبة ومن جانب آخر يمكن أن يظهر شرخ سطحى .

جدول يوضح خصائص المواد التى تدخل فى تصنيع الصلب سريع القطع : High speed steel

	اسم العنصر Name of element	النسبة المئوية المتواجدة	الخاصية المعطاة Property given
المعادن المستخدمة فى تصنيع الصلب سريع القطع	تنجستين Tungeston	14	الصلادة Hardnes
	نيكل Nickel	3	الصلادة والمتانة ومقامة التآكل
	منجنيز Managanese	من 4 – 8	صلادة واستعصاء Hardness, tenacity
	الكروم Chromium	من 4 – 7	المتانة والميول للهشاشية Strength and tendency to brittleness
	الكوبالت Cobalt	من 2 – 8	المتانة والصلادة Hardness, strength
	الفاناديوم Vanadium	من 0.85 – 1.5	المتانة والصلابة والمرونة Strength, toughness and elasticity
	الموليبيدنوم Molybdnem	من 0.3 – 1.5	المتانة والصلادة Hardness, strength

ويعتبر الصلب سريع القطع هو الأكثر تطورًا فى تصنيع الصلب والمواصفات الخاصة التى يتم الحصول عليها تكون نتيجة لإضافة المعادن السابق ذكرها فى الجدول والتى تدخل فى تركيب الكربون العادى أو صلب العدة Tool steel .

الجدول الآتى يوضح تحليل الصلب Analyses of steel

فى كل 100 جزء من	سلب سيمانز مارتن الرخو	ألواح صلب سيمانز	صلب البوتقة للمطروقات	صلب العدة الصلد
كربون Carbon	0.167	0.21	0.36	1.144
منجنيز Manganese	0.044	0.36	0.30	0.104
سيليكون Silicon	0.023	0.047	0.02	0.166
كبريت Sulphur	0.013	0.052	0.02	—
فوسفور Phosphorus	0.062	0.035	0.03	—
نحاس أحمر Copper	0.076	—	—	—

والصلب الطرى Mild stell يمكن طرقه ولحامه ولكن لا يمكن تطبيعه والصلب الصلد فقط هو الذى يمكن تطبيعه .

والجدول الآتى يوضح الألوان ودرجات الحرارة المناظرة المطلوبة فى تطبيع أدوات مختلفة

الأداة Article	اللون Colour	درجة الحرارة Temp.
أدوات الخراطة Turning tools	لون القش Straw	450°ف
الأحنات الباردة Cold chisels	بنى Brown	490°ف
السكاكين وأدوات قطع الخشب Knives والمقصات wood turining tools, shears	أرجوانى Purple	530°ف
		—
اليايات Springs	أزرق Blue	570°ف

جداول تحليلات الصلب السريع القطع (عينات مختلفة)

المعالجة الحرارية : يتم تسخين العينة لحوالى 1475°ف ثم تسقيتها فى الماء ثم تطبيعها عند حوالى 1150°ف وثم تبريدها فى الهواء .

(1) صلب الموليبيدنوم Molybdenum :

مواد التركيب

كربون C.	منجنيز Mn.	سيليكون Si.	كروم Cr.	نيكل Ni.	موليبدنوم Mo.
0.305	0.60	0.52	0.86	3.02	0.48
0.305	0.68	0.52	0.98	3.05	0.54
0.255	0.58	0.12	0.81	2.90	0.34

(1) صلب الموليبيدنوم Molybdenum :

مواد التركيب

نيكل ٪ Ni.	فاناديوم ٪	تنجستين ٪ W.	كروم ٪ Cr.	سيليكون ٪ Si.	منجنيز ٪ Mn.	كربون ٪ C.
0.16	0.45	14.04	3.34	0.15	0.12	0.68
—	1.5	18.0	4.0	0.15	0.20	0.65
—	0.51	14.62	2.06	0.52	0.12	0.55

خصائص المعادن والسبائك

Properties of metals and alloys

(1) الحديد الزهر Cast iron : يمكن سبكه .

(2) الحديد المطاوع Wrought iron : يمكن طرقه ولحامه .

(3) الصلب الطرى Mild steel : يمكن طرقه ولحامه .

(4) صلب النيكل Nickel steel : يمكن طرقه وتطبيعه وسبكه .

(5) الصلب الصلد Hard steel : يمكن طرقه وتطبيعه وسبكه .

(6) النحاس الأصفر Brass : يمكن سبكه .

(7) نحاس البحرية الأصفر Naval steel : يمكن سبكه ودرفلته وطرقه (على الساخن).

(8) معدن مونتز Montz metal : يمكن سبكه ودرفلته وطرقه (على الساخن).

(9) معدن المدافع Gun metal : يمكن سبكه ودرفلته .

(10) البرونز الفوسفورى Phosphor bronze : يمكن سبكه ودرفلته .

(11) معدن بابيت (المعدن الأبيض) Babbit's white metal : يمكن سبكه .

(12) المعدن الأبيض (بارسون) Parson's white metal : يمكن سبكه .

أسئلة موضوعية وأجوبة عما سبق شرحه

س(1) ما هى مكونات الشحنة Charge التى تكون فى الفرن العالى Blast ؟

جـ : المكونات التى فى الفرن العالى هى شحنة فحم الكوك وصلب خرده .

س(2) ما هى النسبة المئوية للحديد فى الهيماتيت Hematitie ؟

جـ : النسبة المئوية للحديد فى الهيماتيت 70٪

س(3) ما هو اسم الأكسيدات التى توجد فى خامات الحديد ؟

جـ : الأكسيدات التى توجد فى خام الحديد هى الهيماتيت والمجنتيت والليمونيت .

س(4) ما هو اسم المنتج النهائى الذى يستخرج من الفرن العالى ؟

جـ : المنتج النهائى من الفرن العالى هو تماسيح الحديد Pig iron ؟

س(5) ما هو اسم المنتج النهائى الذى يستخرج من فرن الدست ؟

جـ : المنتج النهائى من فرن الدست هو الحديد الزهر Cast iron .

س(6) ما هو العنصر الأكثر أهمية الذى يستخدم فى اختزال المعدن المنصهر لتصنيع الصلب ؟

جـ : العنصر الذى يستخدم فى الاختزال هو الهيدروجين Hydrogen .

س(7) ما هو اسم السبيكة التى تنتج حينما يتم سبك الحديد مع الكربون بنسبة تزيد عن 2٪ ؟

جـ : اسم السبيكة التى تنتج فى هذه الحالة هو الحديد الزهر Cast iron .

س(8) بماذا تسمى أنواع الصلب التى تحتوى على نسبة 0.83٪ كربون ؟

جـ : يسمى الصلب فى هذه الحالة بالمركب اليوتكتيويدى .

س(9) ما أطوار أنواع الصلب ذات اليوتكتيكية الفائق ؟

جـ : الأطوار هى الفيريت والبيرليت Ferrite & pearlite .

س(10) مما يصنع المركب الكلى للصلب اليوتكتيكى ؟

جـ : يصنع أو يتكون من البيرليت Pearlite .

س(11) ما هى درجة الحرارة التى يحدث عندها حديد جاما Gamma iron ؟

جـ : درجة الحرارة تكون من 910°م إلى 1400°م .

س(12) ما هى درجة الحرارة التى عندها يتحول حديد جاما إلى حديد دلتا ؟

جـ : درجة الحرارة هى عند 1440°م .

س(13) ما هى درجة الحرارة التى عندها يتحول حديد ألفا باراماجنيتيك إلى حديد جاما ؟

جـ : درجة الحرارة هى عند 910°م .

س(14) ما هى درجة الحرارة التى عندها يتحول حديد ألفا فيرومجنيتيك إلى حديد ألفا بارمجنيتيك ؟

جـ : درجة الحرارة هى 770°م .

س(15) ما هو معدل كمية الكربون فى تماسيح الحديد ؟

جـ : تتراوح النسبة المئوية للكربون من 4 إلى 4.5٪ .

س(16) ما الذى ينتج عن تواجد الكبريت Sulphur فى تماسيح الحديد ؟

جـ : الاتجاه لجعل الحديد صلد وينتج مسبوكات غير صحيحة .

س(17) ما الذى ينتج عن وجود السيليكون فى الحديد ؟

جـ : تواجد السيليكون فى هذه الحالة يؤثر فى الصلادة ومتانة الحديد .

س(18) ما هى خواص الحديد الزهر الأبيض White cast iron ؟

جـ : الخواص هى أنه ذو صلادة شديدة وهش ومقاوم للتآكل .

س(19) ما هى خواص حديد الزهر الذى له نسبة احتواء عالية من الكربون وهو على هيئة كربيد Carbide ؟

جـ : يكون حديد الزهر فى هذه الحالة ذو صلادة وهش وله قابلية الميكنة .

س(20) ما هو العنصر السبائكى الذى يقلل من الميكنة فى الحديد الزهر ؟

جـ : العنصر هو الموليبدنوم Molybdenum .

س(21) ما الذى ينتج عن تواجد الكروم فى الحديد الزهر ؟

جـ : يكشف تكون الجرافيت ويساعد فى تكون الكربيدات Carbides .

س(22) ما هى النسبة المئوية التى يحتويها الحديد المطاوع من الكربون ؟

جـ : النسبة المئوية هى من صفر إلى 0.25٪ .

س(23) ما هى درجة الحرارة التى ينصهر عندها الحديد المطاوع Wrought iron ؟

جـ : درجة حرارة انصهار الحديد المطاوع هى 1535°م .

س(24) ما هى خاصية المادة المطولية Duetile material ؟

جـ : يمكن سحب هذه المادة إلى أسلاك رفيعة Fine wries .

س(25) ما هى خاصية المادة المتينه Tough material ؟

جـ : هى المادة التى لا تنكسر بسهولة تحت تأثير الطرق .

س(26) ما هى خاصية المادة المطروقة Malleable material ؟

جـ : يمكن طرقها إلى ألواح رقيقة أو رقائق .

س(27) ما هى الأشكال أو الأطوار الرئيسية للصلب ؟

جـ : الأطوار الرئيسية هى الفيريت والسمثيت والأوستنيت .

س(28) ما هو المختزل الرئيسى المتسخدم فى الصلب الكربونى Carbon steel ؟

جـ : المختزل الرئيسى هو الكبريت .

س(29) ما هو الحد الأقصى لنسبة الكبريت المئوية المسموح بها فى الصلب ؟

جـ : النسبة المئوية للكبريت المسموح به هى 0.055٪ .

س(30) ما هى النسبة المئوية للمنجنيز المتواجد فى الصلب الكربونى ؟

جـ : النسبة المئوية للمنجنيز هى 1.65٪ .

س(31) ما هى المعادن التى تحسن من خصائص الميكنة فى الصلب ؟

جـ : المعادن هى الكروم والنيكل .

س(32) ما هى المعادن التى تزيد من مقاومة التآكل فى الصلب ؟

جـ : المعادن هى الكروم والنيكل .

س(33) ما هى المواد التى تعطى متانة عالية عند الحرارة العالية للصلب ؟

جـ : المعادن هى الكروم والنيكل .

س(34) ما الذى ينتج عند إضافة الفاناديوم حتى لو بكميات صغيرة إلى الصلب ؟

جـ : الفاناديوم يحسن من مقاومة التعب أو الكلل ويرفع حد المرونة .

س(35) ما هو العنصر الأكثر فعالية فى تقوية الفريت الذى فى الصلب الكربونى ؟

جـ : العنصر هو الفوسفور والسيليكون والمنجنيز .

س(36) ما هو التغير المحتمل الذى ينتج بإضافة العناصر السبائكية غير الحديدية ؟

جـ : تغيير التشتت للكربيد فى الفيريت وتغيير خصائص الفيريت وتغيير خصائص الكربيد .

س(37) ما سبب إضافة الألومنيوم إلى الصلب الكربونى ؟

جـ : لأن الألومنيوم لأنه هو المانع الأكثر فعالية لنمو الحبيبات .

س(38) ما هى الميزة من إضافة النيكل والكروم للصلب منخفض الكربون ؟

جـ : الميزة هى رفع حد المرونة Elastic limit وتحسين الرجوعية Resilience والمطولية Ductility .

س(39) ما الذى يحدثه تواجد المنجنيز فى الصلب ؟

جـ : المنجنيز يحث على الصلادة Hardness .

س(40) ما الذى يحدثه التنجستين عندما يستخدم فى السبك مع الصلب ؟

جـ : يحسن من الخواص المغناطيسية والصلادة .

س(41) ما هى معادن السبيكة التى يرمز لها بالمصطلح ← INVAR ؟

جـ : المعادن هى النيكل الحديد .

س(42) ما هى العناصر التى تساعد فى تكوين كربيد الحديد فى الصلب وتمنع تغرية الكربيدات فى المارتنسيت المطبع ؟

جـ : العناصر هى الموليبدنوم والتنجستين والفاناديوم .

س(43) ما هى نسبة الكربون الذى يحتوى عليها الصلب اليوتكتيكى ؟

جـ : النسبة المئوية للكربون هى 85٪ .

س(44) إلى ماذا يتحول الصلب اليوتكتيكى الفائق الذى يحتوى على أقل من 0.85٪ كربون عند يبرد إلى أقل من 690°م ؟

جـ : يتحول إلى بيرليت وفيريت Pearlite & ferrite .

س(45) ما هى درجة الحرارة الحرجة الأعلى للصلب الذى نسبة الكربون فيه تكون 2,2٪ ؟

جـ : الدرجة هى 860°م .

س(46) ما هى مكون الحديد النقى ؟

جـ : يكون المكون هى 100٪ فيريت Ferrite .

س(47) ما هى النسبة المئوية الأعلى للكربون فى سبيكة الحديد والكربون ؟

جـ : النسبة المئوية للكربون هى 6.66٪ .

س(48) بماذا تسمى سبيكة الحديد والكربون التى تحتوى كربون يزيد عن 1.8٪ ؟

جـ : هذه السبيكة تسمى حديد زهر Cast iron .

س(49) ما هى النسبة المئوية للكربون فى الصلب عالى الكربون ؟

جـ : النسبة المئوية للكربون تتراوح من 0.60 إلى 1.2٪ .

س(50) ماذا يكون المكون الذى نحصل عليه من حديد الزهر الأكثر بياض والأكثر صلادة والذى نسبة الكربون فيه 6.66٪ ؟

جـ : المكون يكون كلة سمثنيت Cementite .

س(51) بماذا يسمى مكون الصلب ذات الرخوية الأكثر والمتانة الأقل ؟

جـ : المكون يسمى فيريت Ferrite .

س(52) ما هو مكون الأوستنيت Austenite ؟

جـ : هو عبارة عن محلول من كربيد الحديد فى حديد جاما Gamma iron .

س(53) عند درجة حرارة أقل من 768°م بماذا يسمى الحديد ؟

جـ : عند هذه الدرجة يسمى الحديد بحديد ألفا Alpha iron .

س(54) بماذا يسمى الحديد عند الدرجة بين 1404°م حتى الانصهار 1535°م ؟

جـ : يسمى الحديد فى هذه الحالة بحديد دلتا Delta iron .

س(55) بماذا يسمى الحديد عند الدرجة من 768 - 900°م ؟

جـ : يسمى الحديد بحديد بيتا Beta iron .

س(56) بماذا يسمى الحديد عند الدرجة من 900 إلى 1404°م ؟

جـ : يسمى الحديد بحديد جاما Gamma iron .

س(57) ما هى مكونات سبيكة صلب الأستنلس ستيل ؟

جـ : سبيكة صلب الأستنلس تحتوى على الكروم والنيكل .

س(58) متى يستخدم الصلب منخفض الكربون ؟

جـ : عندما يكون هناك حاجة لمتانة متوسطه ودرجة كبيرة من اللدونة .

س(59) ما هو معدل الكربون الذى يحتويه الصلب ؟

جـ : يحتوى الصلب على نسبة كربون من 0.60 إلى 1.30٪ .

س(60) ما الذى يفعله الكوبالت عند إضافته إلى السبيكة ؟

جـ : يقلل من قدرة الصلادة عند سبكه مع العناصر الأخرى .

س(61) ما هو العنصر الذى يقلل من صلادة الصلب عند سبكه مع العناصر الأخرى ؟

جـ : العنصر هو الكوبالت Cobalt .

س(62) ما هو العنصر الذى له ميل أكثر لتكوين كربيد قوى فى الصلب ؟

جـ : العنصر هو الفاناديوم Vandium .

س(63) ما هو العنصر الذى ليس له تأثير فى تكوين تكوين الكربيد فى الصلب ؟

جـ : العنصر هو الفوسفور Phosphorus .

س(64) ما هى العوامل التى تعتمد عليها درجة حرارة إعادة التبلور ؟

جـ : العوامل : شدة التشوه البلاستيكى ، حجم الحبيبات قبل التشوه البلاستيكى ، ودرجة الحرارة التى يحدث عندها التشوه البلاستيكى .

س(65) ما هو مكون الأوستنيت ؟

جـ : الأوستنيت هو محلول جامد من الكربون .

س(66) ما هى العناصر التى تتكون منها سبائك النحاس الأصفر ؟

جـ : العناصر هى النحاس الأحمر والزنك .

س(67) ما هى مكونات سبائك البرونزوات ؟

جـ : المكونات هى النحاس الأحمر والقصدير .

س(68) ما هى مكونات سبيكة معدن مونتز Montz metal ؟

جـ : المكونات هى النحاس الأحمر والزنك .

س(69) ما هى النسبة التى يتكون منها عناصر معدن مونتز ؟

جـ : 60٪ نحاس أحمر ، 40٪ زنك .

س(70) ما هى مكونات سبيكة نحاس البحرية ؟

جـ : المكونات هى النحاس الأحمر والزنك والقصدير .

س(71) ما هى مكونات سبيكة البرونز الفوسفورى ؟

جـ : المكونات هى نحاس أحمر وزنك .

س(72) ما هى نسب العناصر المكونة للبرونز الفوسفورى ؟

جـ : 89٪ نحاس أصفر ، 10٪ زنك ، 1٪ فوسفور .

س(73) ما هى مكونات معدن دلتا Delta metal ؟

جـ : المكونات هى 60٪ نحاس أحمر ، 37٪ زنك ، 3٪ حديد .

س(74) ما هى العناصر التى يتكون منها معدن المدافع Gun metal ؟

جـ : 88٪ نحاس أحمر ، 10٪ قصدير ، 2٪ زنك .

س(75) ما هى العناصر التى يتكون منها الديورالومين ؟

جـ : العناصر المكونة هى الألومنيوم والنحاس الأحمر والمغناسيوم .

س(76) ما هى مكونات سبيكة برونز الألومنيوم ؟

جـ : 10٪ ألومنيوم ، 90٪ نحاس أحمر .

س(77) ما هى مكونات معدن الأجراس Bell metal ؟

جـ : المكونات هى نحاس أحمر وقصدير .

س(78) ما هى مكونات سبيكة الفضة الألمانية ؟

جـ : المكونات هى النحاس الأحمر والزنك والنيكل .

س(79) ما هى سبائك اللحام الرخوة Soft solders ؟

جـ : هى سبائك الرصاص والقصدير .

س(80) ما هى سبائك اللحام الصلدة Hard solders ؟

جـ : هى سبائك الزنك والنحاس الأحمر .

س(81) ما هى سبيكة برونز بيريليوم Beryllium bronze ؟

جـ : هى سبيكة النحاس القاعدى .

س(82) ما هى مكونات معدن مونيل Monel metal ؟

جـ : المكونات هى النيكل والنحاس .

س(83) ما هى اسم السبيكة الخفيفة Light alloy ؟

جـ : السبيكة الخفيفة هى الفضة الألمانية .

س(84) ما هى مكونات معدن بابيت ؟

جـ : معدن بابيت هو سبيكة من القصدير والنحاس والأنتيمون .

س(85) ما هى مكونات المعدن الأبيض White metal ؟

جـ : المكونات هى سبائك من الرصاص والنحاس .

س(86) ما هو العامل الذى يقلل من قابلية الصلادة فى الصلب ؟

جـ : هو الحبيبات الدقيقة من الأوستنيت .

س(87) ما هو العامل الذى يزيد من قابلية الصلادة فى الصلب ؟

جـ : هى العناصر الذائبة فى الأوستنيت .

س(88) ما هو الغرض من استخدام العناصر السبائكية فى الصلب ؟

جـ : الغرض هو زيادة قابلية الصلادة وزيادة المقاومة بالنسبة للتليين والتطبيع ولتحسين الخصائص لدرجة الحرارة العالية .

س(89) ما هى عملية المراجعة Normalising ؟

جـ : هى تسخين الصلب لدرجة أعلى من درجة الحرارة الحرجة ثم يتلو ذلك عملية التبريد فى ماء ساكن .

س(90) ما هى عملية التلدين Annealing ؟

جـ : التلدين هو تسخين الصلب لدرجة أعلى من درجة الحرارة الحرجة ثم يحافظ على درجة الحرارة هذه لفترة زمنية ثم تبريد بطئ جداً فى الفرن .

س(91) ما هى عملية التطبيع Tempering ؟

جـ : هى إعادة تسخين السبيكة المصلدة لدرجة حرارة أقل من درجة الحرارة الحرجة وتبقى على هذه الدرجة لفترة زمنية ثم التبريد بالتسقية .

س(92) ما هى عملية الكربنة النيتريدية Carbonitriding ؟

جـ : يضاف الكربون وهو فى حالة غازية إلى النيتروجين وهكذا يسمح بالكربنة وعمليات النتردة يتم إجرائها فى نفس الوقت .

س(93) ما هى عملية التكوير Spherodising ؟

جـ : يتم تسخين سبائك الحديد القاعدية لدرجة من 20 - 40°م أقل من

درجة الحرارة الحرجة ويبقى الوضع هكذا لفترة زمنية كبيرة ثم تبريد بطئ فى حرارة الغرفة .

س(94) ما هو الغرض من النتردة Nitriding ؟

جـ : لزيادة صلادة السطح لدرجة عالية ولزيادة مقاومة التآكل للسطح ولزيادة حد التعب أو الكلل Fatique .

س(95) ما هو الغرض من عملية المراجعة Normalising ؟

جـ : لتكرير مكون الصلب ولإزالة الانفعالات الناتجة من عمليات التشغيل البارد ، ولتحسين قابلية الميكنة وقوة الشد .

س(96) ما هو الغرض من عملية التلدين Annealing ؟

جـ : لإزالة الإجهادات الداخلية والحث على الرخوية ولتكرير حجم الجبيبات ومكونه .

س(97) ما هو البيتومين Bitumen ؟

جـ : البيتومين هو مادة عضوية طبيعية .

س(98) ما هو البلاستيك ذات التلدين الحرارى ؟

جـ : هو فورمالدهايد الفينول .

س(99) ما هى البلاستيكات شبه الصناعية ؟

جـ : هى عبارة عن الكاسين Casein والمشتقات السيليولوزية .

س(100) ما هو البلاستيك المصلد بالتسخين والأكثر شيوعا ؟

جـ : هو الفورمالدهيد فينول Formaldehyde phenol .

س(101) ما هى الطريقة التى تتكون بها راتنجات الأكريلك ؟

جـ : الطريقة هى بلمرة الأسترات Esters أو الأميدات .

س(102) لماذا يتم إضافة الملدنات لمركب البلاستيك ؟

جـ : لتحسين الرخوية والمرونة والإنثنائية للمنتج .

مقاومة المواد
Strength of materials

• **الإجهاد Stress :**

عندما يؤثر نظام قوة خارجي على جسم فإنه يحدث به بعض التشوه Deformation . ونتيجة لهذه التشوهات فإنها ترفع نسبيًا من المقاومات الداخلية أو زيادة القوى التى تشوه .

وهذه المقاومة أو القوة لكل وحدة مساحة تشوه تعرف بالإجهاد Stress وحسابيًا هى :

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

حيث أن : p = شدة الإجهاد أو الإجهاد .

، P = حمل القوة المؤثرة على الجسم بالكيلو جرام (Kg) .

، A = مساحة مقطع الجسم بالسنتيمتر مربع (cm^2) .

∴ وحدة الإجهاد ستكون كجم/سم^2 .

• **الانفعال Strain :**

التشوه Deformation يحدث تحت تأثير الحمل .

والانفعال ببساطة هو قياس للتشوه الناتج عن استخدام قوى خارجية . وهو النسبة ما بين التغير فى الأبعاد إلى الأبعاد الأصلية وهكذا لا يكون له وحده .

$$\therefore \text{ الإنفعال} = \frac{\text{التغير في الأبعاد}}{\text{الأبعاد الأصلية}}$$

• **أنواع الإجهادات Types of stresses :**

هناك ثلاث أنواع من الإجهادات البسيطة وهى :

(1) إجهاد الشد Tensile stress ويرمز له f_t .

(2) القص Shear أو الإجهاد المستعرض Transverse stress ويرمز له f_s .

(3) إجهاد الانضغاط Compressive stress ويرمز له f_c .

(أ) إجهاد الشد Tenslie stress :

عندما تؤثر قوى متساوية ومتضادة فى الاتجاه على جسم فإنها تعمل على استطالته ويقال على الجسم فى هذه الحالة أنه فى حالة شد tension وبالتالى الإجهاد الناتج فيه يسمى إجهاد الشد .

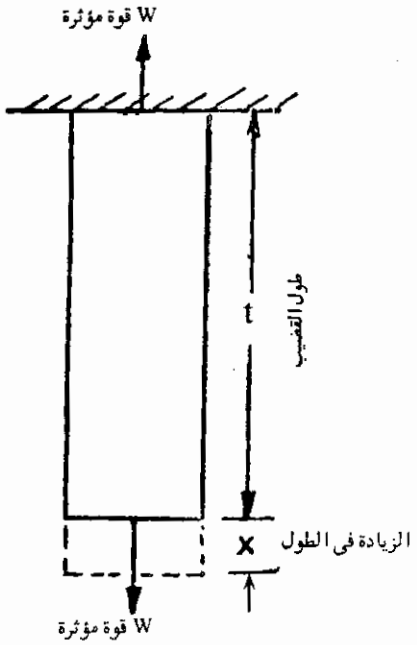
وشكل (1) يوضح قضيب bar له مساحة مقطع A ومحوريًا عليه حمل شد W موزع بانتظام .

$$\therefore \quad f_t = \frac{W}{A}$$

حيث أن f_t = إجهاد الشد

، W = حمل شد

، A = مساحة المقطع



شكل (1)

(ب) إجهاد الانضغاط Comressive stress :

عندما تؤثر قوى متساوية ومتضادة فى الاتجاه على جسم فإنها تعمل على

تقصيره ويقال فى هـذه الحالـة أن الجسـم تحـت تـأثير إنضغـاط Compression والإجهاد الناتج يسمى إجهاد انضغاط .

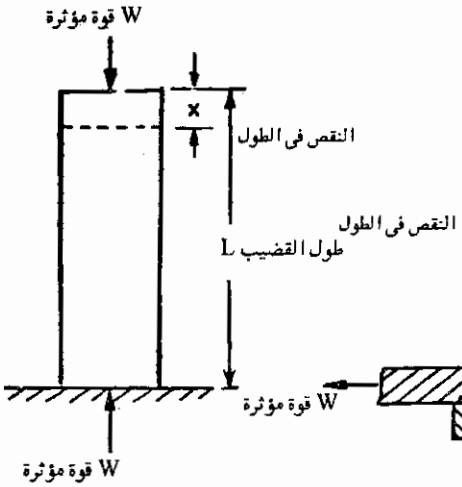
وشكل (2) يوضح قضيب Bar عليه حمل انضغاط محورى W وموزع بانتظام على مساحة A .

$$\therefore \quad f_c = \frac{W}{A}$$

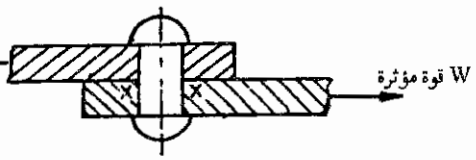
حيث أن f_c = إجهاد الانضغاط

، W = الحمل

، A = مساحة المقطع



شكل (2)



شكل (3)

(جـ) النقص أو الإجهاد المستعرض Shear or transverse stress :

عندما تؤثر قوى متساوية ومتضادة فى الاتجاه على جسم بالتمـاس علـى أى مساحة مقطع من الجسم فإنها تعمل على انطلاق جزء واحد منه فوق الآخر عنـد تلك المستوى ويقال على الجسم فى هذه الحالـة أنـه فـى حالـة قـص والإجـهاد المنتج بالحث فيه يعرف بإجهاد القص . وفى شكل (3) يوضح أن البرشام Rivet يعمل على القص عنـد المقطـع XX وإذا كـانت A هـى مسـاحة مقطـع البرشـام فيكون :

$$\therefore\ f_s = \frac{W}{A}$$

حيث أن f_s = إجهاد القص

، W = الحمل

، A = مساحة المقطع

• **أنواع الانفعالات Types of strains :**

هناك أربعة أنواع من الانفعالات البسيطة وهى :

(1) انفعال الشد Tenslie strain ويرمز له e_t .

(2) انفعال الانضغاط Compressive ويرمز له e_c .

(3) انفعال القص shear أو المستعرض Transverse ويرمز له e_s .

(4) الانفعال الحجمى Volumetric strain ويرمز له e_v .

(أ) انفعال الشد Tensile strain :

فى شكل (1) قضيب طوله L وعليه حمل شد W يزيد من طول القضيب بمسافة X .

$$\therefore \text{ انفعال الشد } (e_t) = \frac{\text{الزيادة فى الطول}}{\text{الطول الأصلى}} = \frac{X}{L}$$

(ب) انفعال الانضغاط Compressive strain :

فى شكل (2) قصر طول القضيب بمقدار X بتأثير حمل الانضغاط W .

$$\therefore \text{ انفعال الانضغاط } (e_c) = \frac{\text{النقص فى الطول}}{\text{الطول الأصلى}} = \frac{X}{L}$$

(جـ) انفعال القص shear أو المستعرض Transverse :

وهو قياس الزاوية التى من خلالها يكون قد تشوه بالقوى المؤثرة . وفى شكل (4) نجد أن الجسم المستطيل ABCD قد تم تثبيته على الوجه السفلى وهو متشوه من خلال زاوية ∅ بالقوة F المؤثرة بحيث أن الوجه DC يتحرك إلى الوضع D`C` والانتقال CC` للطرف C يكون صغير للغاية ويمكن أن يؤخذ كقوس لنصف قطر BC مع المركز B .

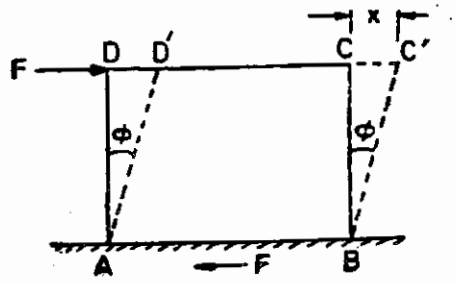
$$\therefore e_s = \frac{CC'}{CB} = \tan \varnothing = \varnothing \text{ radians}$$

∴ أن انفعال القص (e_s) = $\frac{\text{البعد } CC'}{\text{البعد } CB}$ = ظا ∅ = ∅ النصف قطرية

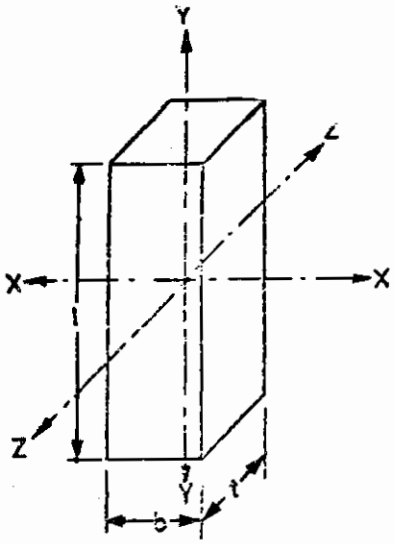
لأن الزاوية ∅ تكون عمليًا صغيرة جدًا .

(د) الانفعال الحجمى Volumetric strain I_v :

عندما يكون هناك جسم معدنى خاضع لقوى خارجية حيث يكون هناك شـد أو انضغاط على أسطحه فمن الطبيعى أنه سيكون هناك تغـير فى حجمـه . والنسـبة بيـن التغير فى الحجم والحجم الأصلى تعرف بأنها الانفعال الحجمى كما فى شكل (5) .



شكل (4)



شكل (5)

$$\therefore \text{الانفعال الحجمى } (l_v) = \frac{\text{التغير فى الحجم}}{\text{الحجم الأصلى}} = \frac{8V}{V}$$

حيث أن 8V = التغير فى الحجم ، V = الحجم الأصلى

$$\therefore \text{الانفعال الحجمى } (e_v) = \frac{\text{التغير فى الحجم}}{\text{الحجم الأصلى}} = \frac{\text{التغير فى الحجم}}{L \times b \times t}$$

$$= (\text{انفعال X-axis} + \text{انفعال yy} + \text{انفعال zz})$$

ولذلك فإن الانفعال الحجمى هو المجموع الجبرى لكل الانفعالات الخطية أو المحورية .

- **المرونة وحد المرونة Elasticity and elasticlimit :**

يقال على المادة أنها ذات مرونة تامة إذا كان الانفعال strain أو التشوه الناتج نتيجة لحمل خارجة وتختفى كلية عند إزالة الحمل والمتبقى أو الانفعال الباقى يرجع إلى أنه أثر دائم .

- **قانون هوك Hook's law :**

وينص على أنه من خلال حد المرونة يكون الانفعال متناسب مع الحمل المؤثر ولكن الإجهاد أيضًا يتناسب مع الحمل ولذلك فإن الإجهاد يتناسب مع الانفعال :

$\therefore$ الإجهاد $\propto$ الانفعال

أو الإجهاد = ثابت × الانفعال

$$\text{أو ثابت} = \frac{\text{الإجهاد}}{\text{الانفعال}}$$

والثابت هذا يعرف بأنه هو مكافئ المرونة أو معامل المرونة .

- **معامل يونج للمرونة Young's modulus :**

النسبة بين إجهاد الشد وانفعال الشد أو بين إجهاد الانضغاط وانفعال الانضغاط تسمى معامل يونج Young's modulus للمرونة ويرمز له E .

$$\therefore \frac{f_t}{e_t} \quad \text{or} \quad \frac{f_c}{e_c} = E$$

أى أن : معامل يونج $E = \frac{\text{إجهاد الشد } (f_t)}{\text{انفعال الشد } (e_t)}$ أو $\frac{\text{إجهاد الانضغاط}}{\text{انفعال الانضغاط}}$

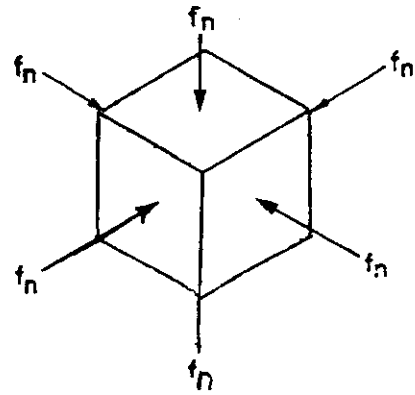
• **معامل الصلابة Modulus of rigidity :**

العلاقة بين القص والإجهاد والقص والانفعال تعرف بأنها معامل القص للمرونة أو معامل الصلابة ويرمز لها إما c أو N أو G .

أى أن : $C \text{ أو } N \text{ أو } G = \frac{\text{إجهاد القص } f_s}{\text{انفعال القص } l_s}$

• **معامل الحجم Bulk modulus :**

النسبة بين الإجهاد الطبيعى على كل سطح للمكعب المصمت كما فى شكل (6) والانفعال الحجمى تسمى معامل الصب أو معامل الحجم للمرونة ويرمز له K .



شكل (6)

$$\therefore \frac{f_n}{e_v} = K$$

حيث أن K = معامل الحجم

، f_n = الإجهاد الطبيعى

، ev = الانفعال الحجمى

وتلك المعاملات K و C و E تعرف بأنها ثوابت مرنة وقيمها تكون مختلفة للمعادن المختلفة .

• **التشوه الناتج من قوة الشد أو الانضغاط**

Deformation due compressive or tensile force

عندما يكون هناك جسم خاضع لقوة شد أو انضغاط فإن التشـوه Deformation يكون :

بالنسبة للجسم المنتظم $\delta L = \frac{FL}{AE}$

بالنسبة للجسم المدرج بانتظام $= \frac{4FL}{\pi E d_1 d_2}$

حيث أن F = القوة المؤثرة على الجسم

، L = طول الجسم

، A = مساحة مقطع الجسم المنتظم

، E_1 = معامل مرونة الجسم

، d_1 & d_2 = الأقطار الأكبر والأصغر للجسم المدرج بانتظام .

• **الإجهادات فى القضبان المركبة Stresses in composite bars :**

القضيب المركب هو القضيب المصنوع من اثنين أو أكثر من المواد المختلفة موصلة مع بعضـها بطريقـة بحيـث أن النظـام يمتـد أو ينكمـش كوحـدة واحـدة وبالتساوى عندما يكون خاضع لشد أو انضغاط .

ويذكر أيضًا أن :

(1) أن الامتداد أو الانكماش للقضيب الذى يكـون متسـاوى فـإن الانفعـال أى التشوه لكل وحدة طول يكون أيضًا متساوى .

(2) الحمل الكلى الخارجى للبار يكون مساويًا للأحمال التى على المواد المختلفة .

ولذلك فإن الحمل الكلى على القضيب :

$$P = P_1 + P_2$$

$$= p_1A_1 + p_2A_2$$

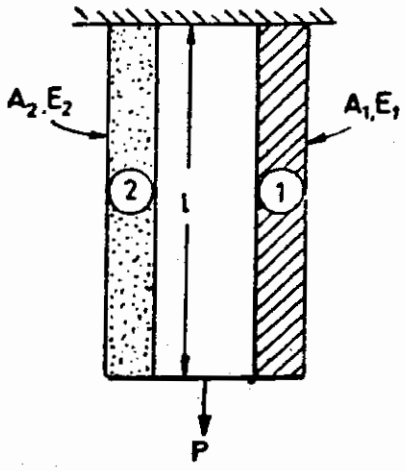
$$\because \frac{P}{A} = p = \text{stress}$$

وأيضًا $\frac{P_1 L}{A_1 E_1} = \frac{P_2 L}{A_2 E_2}$

حيث أن P_1 ، P_2 = هما الحمل المسقط على البارات (1) ، (2)

، E_1 , E_2 = معامل المرونة للبار (1) ، (2)

، A_1 , A_1 = مساحات البارات (1) ، (2)



شكل (7)

$$\therefore \frac{P_1}{A_1 E_1} = \frac{P_2}{A_2 E_2}$$

$$\text{or } \frac{P_1}{E_1} = \frac{P_2}{E_2} \qquad \because \frac{p}{A} = P = \text{stress}$$

$$\text{or } P_1 = \frac{E_1}{E_2} \times P_2 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (A)$$

$$\text{، } P_2 = \frac{E_1}{E_2} \times P_1 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (B)$$

ومن المعادلات المذكورة أعلاه (A) ، (B) يمكننا إيجاد الإجهادات فى المواد المختلفة .

• الإجهادات الحرارية والانفعالات Temperature stresses and strain

عندما ترتفع درجة حرارة جسم أو تنخفض فيكون هناك زيادة أو نقص متناظر فى أبعاده وإذا كان هذا التغير فى الأبعاد الناتج من التغير فى درجة الحرارة تم منعه بتأثير قوى خارجية فإن الجسم يحدث إجهادات فيه تسمى بالإجهادات

الحرارية والانفعالات المناظرة الناتجة من الإجهادات الحرارية تسمى انفعـالات حرارية temperatures strains .

امتداد بار حينما يكون حرًا للتمدد = α t L

حيث أن α = معامل التمدد الخطى

∴ الانفعال الحرارى = $\frac{\text{الامتداد}}{\text{الطول الأصلى}} = \frac{\alpha TL}{L}$

= α T (انضغاطى compressive)

∴ الإجهاد الحرارى = الانفعال الحرارى × E

= α T E (انضغاط compressive)

وعكسيًا فإن الانكماش الناتج من تخفيض درجة الحرارة يمكـن التـأكد منـه باستخدام قوى شد للبار (القضيب) وتنتج إجهادات حرارية فيه .

• **المستوى أو المسطح الرئيسى Principal plane :**

هو المسطح الذى لا يخضع لإجهاد قص ويعرف بالمستوى الرئيسى .

• **الإجهادات الرئيسية Principal stresses :**

وهى مقدار الإجهاد المباشر خلال المستوى الرئيسى ويعرف بالإجهاد الرئيسى .

• **الإجهادات العادية والتماسية Normal and tangential stresses :**

(1) الإجهاد العادى الواقع على القطـاع المـائل oblique section لجسـم هـو الذى يكون خاضع لعدد اثنين من الإجهاد العمودى التبادلى .

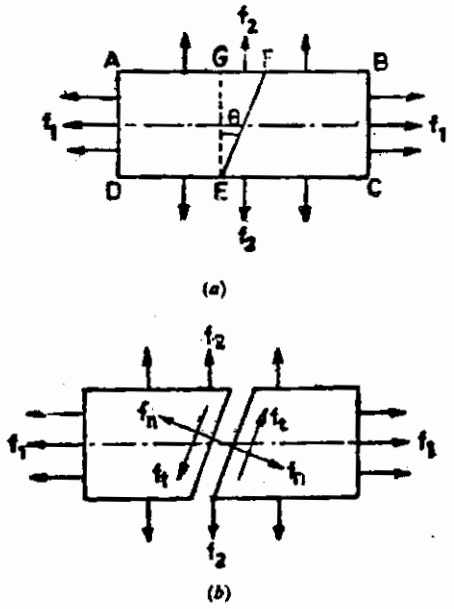
∴ الإجهاد العادى f_n = f_1 حتا$^2\theta$ + f_2 حا$^2\theta$

، الإجهاد التماسى f_t = $\frac{f_1 - f_2}{2}$ حا2θ

حيث أن f_1 = إجهاد الشد الأكبر .

، f_2 = إجهاد الشد الأصغر .

، θ = هى الزاوية التى يحدثها القطاع المائل مع محور الإجهاد الأصغر



شكل (8)

• **نسبة بواسون Poisson's ratio :**

النسبة بين الانفعال الجانبى lateral strain والانفعال الطولى تسمى نسبة بواسون .

$$\text{نسبة بواسون} = \frac{\text{الانفعال الجانبى}}{\text{الانفعال الطولى}} = \frac{I}{m}$$

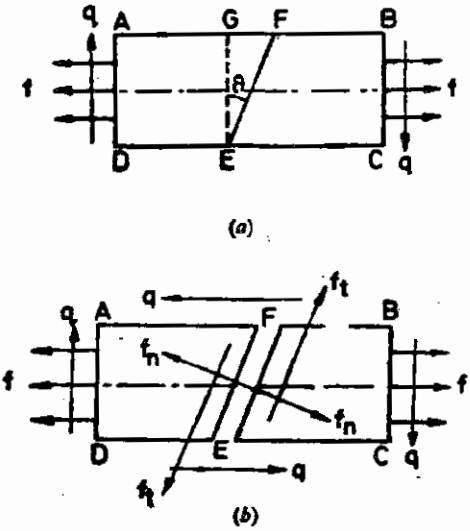
• **العلاقة بين ثوابت المرونة Relation between elastic constants (E, C, K)**

العلاقة الآتية هى العلاقة التى وجدت بين ثوابت المرونة وثابت المرونة (E) وثابت الصلابة (C أو N) وثابت الحجم K .

$$E = 3K\left(1 - \frac{2}{m}\right) \quad \text{or} \quad K = \frac{ME}{3(m-2)} \qquad (أ)$$

$$E = 2C\left(1 + \frac{1}{m}\right) \quad \text{or} \quad C = \frac{ME}{2(m+1)} \qquad (ب)$$

(2) الإجهاد العادى على قطاع مائل لجسم يكون خاضعا لإجهاد مباشر فى مستوى واحد مصحوبًا بإجهاد قص أحادى .



شكل (9)

$$f_n = \frac{f}{2}(1 + \cos 2\theta) + q \sin 2\theta$$

$$\frac{1}{2} f \sin 2\theta - q \cos 2\theta = f_t \quad \text{الإجهاد التماسى}$$

$$f_{n1} = \frac{f}{2} + \sqrt{\left(\frac{f}{2}\right)^2 + q^2} \quad \text{والإجهاد الرئيسى الأكبر}$$

$$f_{n2} = \frac{f}{2} - \sqrt{\left(\frac{f}{2}\right)^2 + q^2} \quad \text{والإجهاد الرئيسى الأصغر}$$

حيث أن f = إجهاد الشد

، q = إجهاد القص .

، θ = هى الزاوية التى يحدثها القطاع المائل مع الوضع العادى للإجهاد

(3) الإجهاد العادى على قطاع مائل لجسم عندما يكون خاضع لإجهادات مباشرة فى اتجاهين عموديين تبادليين مصحوبة بإجهاد قص أحادى .

$$f_n = \left(\frac{f_1 + f_2}{2}\right) + \left(\frac{f_1 - f_2}{2}\right) \cos 2\theta + q \sin 2\theta$$

$$f_t = \frac{1}{2}(f_1 - f_2) \sin 2\theta - q \cos 2\theta \quad \text{الإجهادالتماسى}$$

$$f_{n1} = \left(\frac{f_1 + f_2}{2}\right) + \sqrt{\left(\frac{f_1 - f_2}{2}\right)^2 + q^2} \quad \text{والإجهاد الرئيسى الأكبر}$$

والإجهاد الرئيسى الأصغر $= f_{n2} = \left(\frac{f_1 + f_2}{2}\right) - \sqrt{\left(\frac{f_1 - f_2}{2}\right)^2 + q^2}$

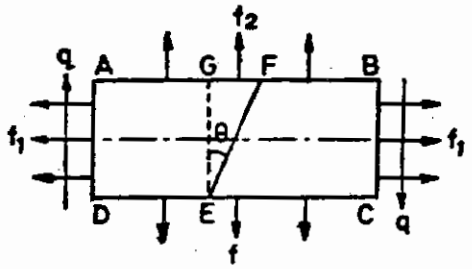
الحد الأقصى لإجهاد التماس $f_{tm} = \left(\frac{f_{n1} - f_{n2}}{2}\right)$

حيث أن f_1 = إجهاد الشد الأكبر

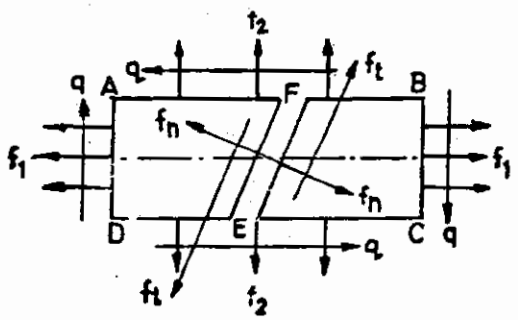
، f_2 = إجهاد الشد الأصغر

، q = إجهاد القص

، θ = الزاوية بين القطاع المائل ومحور إجهاد f_2 .



(a)



(b)

شكل (10)

• **دائرة موهر Mohr's circle لإيجاد إجهادات المستويات المائلة**

Mohr's circle of finding out stresses on inclines planes

هى طريقة تخطيطة بيانية لإيجاد الإجهادات الواقعة على المستويات المائلة Inclined planes . ودائرة موهر يمكن رسمها بالطريقة الآتية :

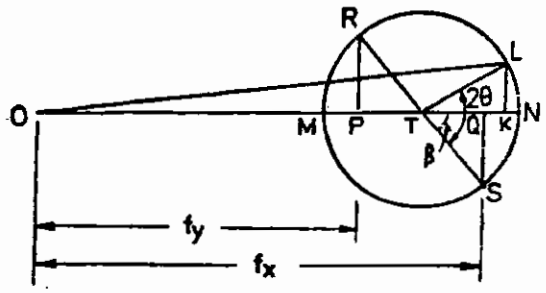
نحدد نقطة (0) عن أى مكان مناسب ثم تقيس الخط OP ويكون مساويًا لخط الإجهاد العادى f_y ، والخط OQ مساويًا لخط الإجهاد العادى f_x بمقياس رسم مناسب .

ومن عند النقاط Q & P ارسم أعمدة فى اتجاه مضاد كما هو موضح فى الرسم . وقياس الخط PR والخط QS يكون مساويًا لإجهاد القص q ثم يوصل RS وندع RS يتقاطع مع الخط OQ عند النقطة T .

ومن النقطة T التى تمثل المركز ونصف القطر TR يتم رسم دائرة تتقاطع مع الخط الممتد OQ عند النقطة N .

وستقطع الدائرة أيضًا خط OQ عند النقطة M .

وعند قياس ON & OM سوف نحصل على الإجهادات الرئيسية ، والخط TR والخط TS سوف يمثلان الحد الأقصى لإجهاد القص Maximum shear stress .



شكل (11) دائرة موهر Mohr's circle

- **الرجوعية Resiliance :**

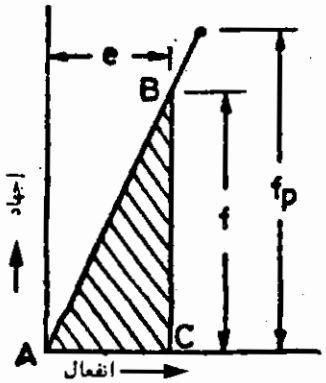
الرجوعية هى الطاقة المختزنة لكل وحدة حجم فى المادة .

- **ثابت أو معامل الرجوعية Modulus of resiliance :**

الحد الأقصى للطاقة التى يمكن اختزالها لكل وحدة حجم فى المادة بدون احتماليتها لأى تشوه دائم يسمى معامل الرجوعية .

وإذا كان f_p هو الإجهاد فى مادة عند حد متناسب .

$$\therefore \text{معامل الرجوعية} = \frac{(f_p)^2}{2E}$$



شكل (12) منخفض الإجهاد والانفعال

• **رجوعية الصمود Proof resiliance :**

وهو الحد الأقصى للطاقة الكلية التى يمكن اختزانها فى المادة بدون احتماليتها لأى تشوه دائم وهى مساوية = $\frac{(f_p)^2}{2E} \times \text{volume}$

• **رجوعية القص Shear resiliance :**

كمية الطاقة التى يمكن اختزانها لكل وحدة حجم فى المادة (بدون احتماليتها لتشوه دائم) عندما تكون خاضعة لقوة قص تسمى رجوعية القص .

$$\therefore \text{رجوعية القص} = \frac{q^2}{2N}$$

حيث أن q = إجهاد القص

، N = معامل القص

• **الخصائص الميكانيكية للمعادن Mechanical properties of metals**

أهم الخصائص الميكانيكية للمعادن التى تكون أكثر أهمية من الناحية الهندسية هى كالآتى :

(1) المرونة Elasticity :

يقال على المادة أنها مرنة تمامًا إذا كان الانفعال كله الناتج من الحمل يختفى كلية عند إزالة الحمل . والصلب الطرى Mild steel له خاصية مرونة عالية .

• اللدونة Plasticity :

المادة اللدنة تمامًا هى المادة التى لا تعود إلى وضعها الأصلى عند إزالة القوة الخارجية أو الحمل . والرصاص مادة لدنة .

• المطولية Ductility :

عندما يتم سحب المادة إلى قطاع أصغر باستخدام حمل شد Tensile load فيقال على المادة أنها مادة مطولية . وبناء على هذه الخاصية يتم عمل الأسلاك بواسطة سحبها إلى الخارج من خلال ثقب . والنحاس مادة مطولية .

• الهشاشية Brittleness :

هى حالة عدم تحمل المادة أى تشوه عندما تكون بعض القوى الخارجية مؤثرة عليها وتنكسر المادة إلى قطع تحت تأثير الصدمة أو تحت تأثير حمل شد . والحديد الزهر مادة هشة .

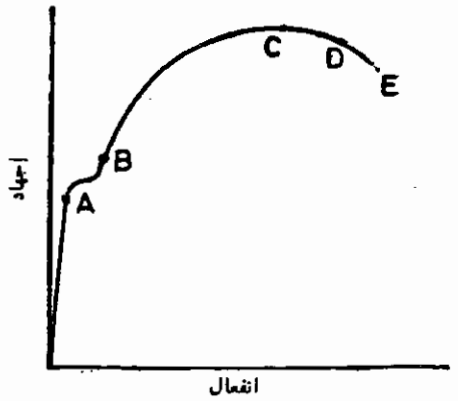
• الطروقية Malleability :

هى المادة التى يكون لديها القابلية عند طرقها أو درفلتها إلى ألواح . والحديد المطاوع Wroght iron مادة طروقية .

• سلوك المعادن المطولية Behaviour of ductille metals :

الشكل الآتى (شكل 13) يوضح رسم لمنحنى الإجهاد والانفعال لقضيب من معدن مطولى ومختبر بقوة الشد ضد الاتلاف والنقطة point هى حد التناسب وهو ما يتوافق جيدًا مع قانون Hook's law . فمثلاً الإجهاد stress يتناسب مع الانفعال strain ، B هى مرحلة حد المرونة . وبين A ، B بالرغم أن الانفعال يتزايد ببطئ أكثر من الإجهاد إلا أن المادة لا تزال مرنة ومثال ذلك أنه عند إزالة الحمل load فإن الانفعال الكلى يختفى وبالنسبة للحديد المطاوع

والصلب تتطابق A ، B ، C هى نقطة الخضوع وما بين B ، C يزيد الانفعال بسرعة أكثر عن الإجهاد . وفى الواقع وبعد ما قبل C حتى C بقليل تكون المادة فى حالة شبه لدنة ويحدث الانفعال مع تزايد قليل للحمل .



شكل (13) منحنى الإجهاد والانفعال للمواد المطولية

وبعد النقطة C يبدأ الامتداد المطولى وثقل مساحة مقطع القضيب ويستمر الامتداد حتى فى الوقت الذى لا يزيد فيه الحمل وهذه الظاهرة تعرف باسم (الزحف) للمادة creeping وعلى أية حال فى حالة تزايد الحمل بمعدل بسيط يزيد الانفعال بسرعة حتى النقطة D عندما يشكل الوسط الموضعى وبعد ذلك يستمر الامتداد حتى بأقل وأقل حمل وبالوصول للحد الأقصى ينكسر القضيب أو ينهار عند E . وعند E يكون حمل الكسر Breaking load .

والإجهادات المختلفة عند المراحل المختلفة أثناء السكون تكون عند النقاط التالية :

حد التناسب limit of proportionality يكون عند النقطة A .

، حد المرونة Elastic limit يكون عند النقطة B .

، إجهاد الخضوع Yield stress عند النقطة C .

، إجهاد الكسر Breaking stress عند النقطة E .

، إجهاد الحد الأقصى Maximum stress عند النقطة D .

• **إجهاد الحد الأقصى Ultimate stress :**

الحد الأقصى الذى يخضع له قضيب فى اختبار شد يقسم بواسطة مساحة المقطع الأصلية ويعطى الإجهاد الأسمى الذى يعرف بالإجهاد الأقصى أو إجهاد التشغيل .

• **إجهاد التشغيل :**

الإجهاد الأكبر الذى يكون دائمًا خاضع له جزء من الآلة أو الإنشاء يسمى إجهاد التشغيل .

• **معامل الأمان Factor of safety :**

نسبة الإجهاد الأقصى إلى إجهاد التشغيل تسمى معامل الأمان .

• **تعب أو كلل المعادن Fatigue of metals :**

خاصية المعدن الذى تقل مقاومته عندما يكون الجسم خاضع لارتدادات الإجهادات أو تكرار الإجهادات تسمى تعب أو كلل المعادن .

• **الزحف Creep :**

التشوه الدائم الذى يحدث فى المادة عندما تكون خاضعة لتحميل لفترة طويلة يسمى الزحف . ومقدار الزحف يعتمد على الإجهاد والزمن .

• **مركز الثقل Centre of gravity :**

مركز الثقل لجسم هو النقطة التى من خلالها يكون الوزن كله مؤثر بصرف النظر عن وضع الجسم .

ومركز ثقل رقيقة مستوية (مساحة) يحدد كالآتى :

$$\bar{x} = \frac{a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + \cdots\cdots}{a_1 + a_2 + a_3 + \cdots\cdots}$$

$$\bar{y} = \frac{a_1y_1 + a_2y_2 + a_3y_3 + \cdots\cdots}{a_1 + a_2 + a_3 + \cdots\cdots}$$

حيث أن $\bar{x}$ ، $\bar{y}$ هى إحداثيات من محور الإسناد ، $x_1 , x_2 , x_3, \ldots .$ &

$y_1, y_2, y_3, \ldots$ هى إحداثيات مركز الثقل للقطاعات المختلفة الذى يكون مقسم إليها المستوى كله .

• **مركز ثقل الأشكال البسيطة Centre of gravity of simple Figures :**

(1) مركز ثقل العامود الرقيق المنتظم يكون عند نقطة المنتصف .

(2) مركز ثقل المستطيل عند النقطة التى يتقابل فيها الخطين القطريين كل مع الآخر . وهو أيضًا نقطة منتصف الطول وعرض المستطيل .

(3) مركز ثقل المثلث يكون عند النقطة التى تتقابل فيها وسطياته الثلاثة .

(4) مركز ثقل شبه الدائرة semi-circle يكون عند مسافة $\frac{4r}{3\pi}$ من قاعدته التى تقاس بطول نصف القطر الرأسى .

• **المركز المتوسط Centroid :**

الأشكال الهندسية المستوية يكون لها مساحات فقط وليس كتلة . ومركز المساحة لمثل تلك الأشكال سوف يتطابق مع تلك التى للمساحة ويعرف بالمركز المتوسط .

• **عزم القصور الذاتى Moment of inertia :**

العزم الثانى Second moment أو عزم القصور الذاتى حول أى محور هو حاصل الكتلة ومربع بعدها من المحور المعين .

وحسابيًا عزم القصور الذاتى لجسم : $I = Mr^2$

حيث أن I = عزم القصور الذاتى .

، M = كتلة الجسم .

، r = هى المسافة بين مركز ثقل الجسم والمحور الذى يكون حوله عزم القصور ، وعزم القصور لمساحة يقاس بوحدة m^4 .

• **العزم القطبى للقصور الذاتى Polar moment of inertia :**

العزم الثانى لمساحة حول محور عمودى على مستوى المساحة (أو القطاع) يعرف بالعزم القطبى للقصور الذاتى .

• **المعامل القطبى Polar modulus :**

المعامل القطبى لقطاع دائرى يتم الحصول عليه بقسمة العزم القطبى للقصور الذاتى على المسافة أو البعد من المركز إلى الخط الأقصى .

المعامل القطبى لقطاع دائرى = $\frac{J}{R}$

حيث أن : J = العزم القطبى

، R = نصف القطر

• **نظرية المحور المتوازى Theorem of parallel axis :**

تنص هذه النظرية على أن عزم القصور الذاتى لرقيقة مستوية معينة حول المحور يكون مساويا لعزم القصور الذاتى للرقيقة حول محور يمر من خلال مركزها المتوسط ويكون موازى للمحور الذى عزم القصور الذاتى بعيداً عنه علاوة على حاصل مساحة الرقيقة ومربع المسافة العمودية بين المحورين وصيغتها حسابيًا :

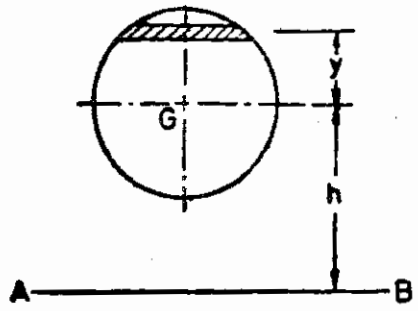
$$I_{AB} = I_G + Ah^2$$

حيث أن I_{AB} = عزم القصور الذاتى للمساحة حول الخط AB

، I_G = عزم القصور الذاتى للمساحة حول مركز ثقلها .

، A = مساحة القطاع

، h = المسافة بين مركز الثقل للقطاع والمحور AB .



شكل (14)

• **نظرية المحاور المتعامدة Perpendicular axis :**

إذا كان I_x ، I_y هما عزوم القصور الذاتى لرقيقة حول المحور OX بالتبادل ، OY فى مستوى الرقيق ، I_Z هو عزم القصور الذاتى للرقيقة حول محور لا يؤثر فى الرقيقة ويمر من خلال نقطة تقاطع المحور OX ، OY .

$$I_z = I_X + I_Y$$

• **عزم القصور الذاتى للرقائق المستوية :**

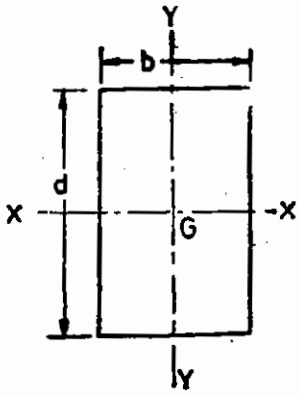
Moment of inertia of plane laminas :

(1) المستطيل : $I_{xx} = \frac{bd^2}{12}$ ، $I_{yy} = \frac{bd^3}{12}$

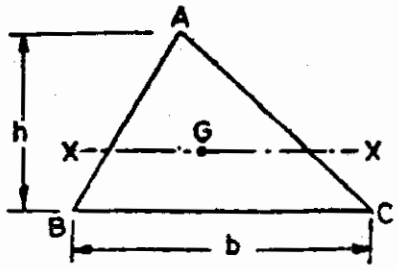
(2) الدائرة : $I_{xx} = I_{yy} = \frac{\pi D^4}{32}$ حيث أن D = قطر الدائرة

(3) الحلقة الدائرية المجوفة $I_{xx} = I_{yy} = \frac{\pi}{64}\left(D^4 - d^3\right)$

حيث أن D ، d هما القطر الخارجى وقطر الثقب على التوالى :



شكل (15)



شكل (16)

(4) المثلث : $I_{Bc} = \frac{bh^3}{12}$ ، $I_{xx} = \frac{bh^3}{36}$

• **عزم القصور الذاتى للقطاع المركب :**

Moment of inertia of a composite section :

لقد وجد أنه بتقسيم القطاع كله إلى مساحات مستوية (مستطيلات أو مثلثات)

ثم يحسب عزم القصور الذاتى حول مراكز ثقلها التى تخصها وعزم القصور الذاتى الذى يتم الحصول عليه يتم تحويله للمحور المطلوب بواسطة نظرية المحاور المتوازية .

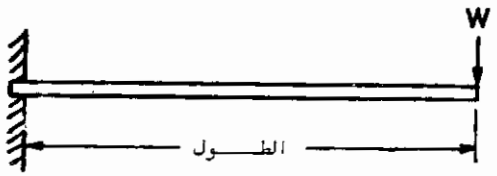
• **عزوم الانحناء وقوى القص Bending moments and shear forces :**

• **الأعتاب Beams :**

تعتبر الأعتاب Beams هى الأجزاء الرئيسية فى الإنشاء والتى تصمم بحيث تتحمل جميع أنواع الأحمال ويعتمد ذلك على نوع الدعامات ويمكن تصنيف الأعتاب كالآتى :

(1) الأعتاب الكابولية Cantilever beams :

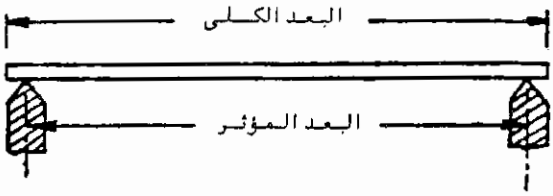
وفى هذا النوع يكون للعتب طرف واحد مثبت والطرف الآخر حر (أى لا يكون مدعم بالمرة) وهذا ما يعرف بالعتب الكابولى .



شكل (17) عتب كابولى

(2) عتب مدعم تدعيم بسيط Simply supported beam :

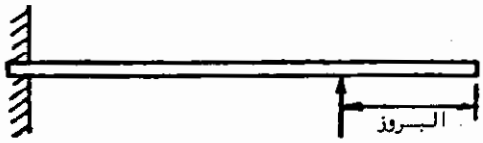
وفى هذا النوع من العتب ترتكز أطرافه بحرية على الجدران أو الأعمدة أو الحافات الحادة وهذا النوع يسمى عتب التدعيم البسيط .



شكل (18) عتب مدعم تدعيم بسيط

(3) عتب بارز Overhanging :

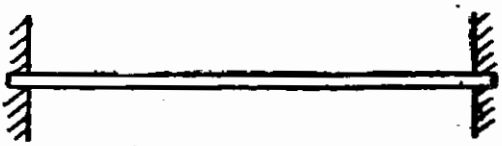
فى الحالات الفعلية لا تكون التدعيمات واقعة عند الأطراف (طرف واحد أو كلا الطرفين يكون إسقاطهم خلف التدعيمات ويعرف العتب فى هذا النوع بالعتب البارز أو الناتئ .



شكل (19) عتب بارز او ناتئ

(4) عتب ثابت Fixed beam :

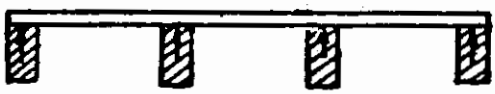
العتب الذى يكون كلا طرفيه مثبتين بشدة أو مبنية داخل جدران مدعمة أو أعمدة يعرف بالعتب الثابت أو المنشأ (مبني)



شكل (20) عتب ثابت

• عتب متواصلة Continuous beam :

العتب الذى له أكثر من تدعيم يسمى عتب متواصل . والدعامات التى عند أقصى الشمال واليمين تسمى الدعامات الطرفية والدعامات الأخرى دعامات أوسطية .



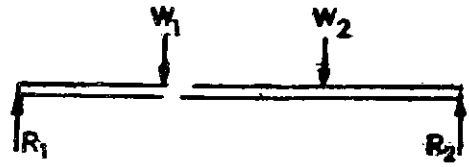
شكل (21) عتب متواصل

• **أنواع التحميل Types of loading :**

الآتى هو أنواع الأحمال على العتب :

(1) أحمال نقطية Point loads :

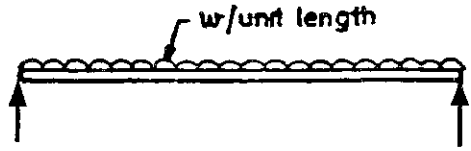
هذه الأعمال عادة تكون مؤثرة عند نقطة محددة فى العتب .



شكل (22) أحمال نقطية

(2) أحمال منتظمة التوزيع Uniformly distributed loads :

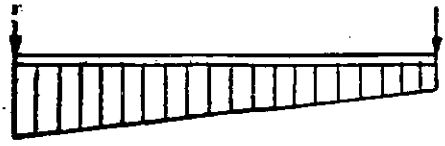
هذه الأحمال تنتشر بانتظام فوق جزء أو الطول الكلى للعتب وقياسها يكون كجم/متر طول .



شكل (23) أحمال منتظمة التوزيع

(3) الحمل المتغير بانتظام Uniformly varying loads

وهذه الأنواع من الأحمال يمكن أن تزيد إما من الصفر لكل وحدة طول عند طرف واحد لكل وحدة طول عند الطرف الآخر أو يمكن أن يكون اتحاد ملائم من الأحمال المتغير بانتظام .



شكل (24) أحمال متغير بانتظام

• **قوة القص Shear force :**

قوة القص عند أى قطاع من العتب تكون مساوية للمجموع الجبرى لجميع القوى على أى جانب من جوانبه (سواء كان على اليمين أو الشمال) . وهى القوة الرأسية غير المتوازنة على يمين أو شمال القطاع .

• **عزم الانحناء Bending moment :**

عزم الانحناء عند أى قطاع من العتب يكون مساويًا للمجموع الجبرى لعزوم جميع القوى المؤثرة على أى جانب من جوانبه عند تلك القطاع .

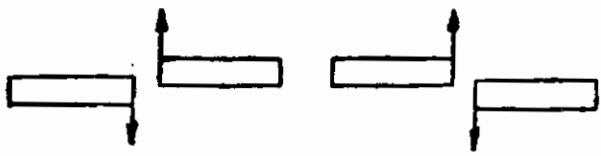
• **الاتفاق الاصطلاحى Sign convention :**

هناك اتفاقات اصطلاحية عديدة قد صدرت ولكن هذا الاتفاق الاصطلاحى الآتى هو المتبع بصفة عامة :

(1) قوة القص Shear force :

جميع القوى المتجهة إلى أعلى على يمين القطاع تسبب قص موجب Posotive shear وتلك القوى التى تؤثر فى الاتجاه إلى أسفل تسبب قص سالب Negative shear كما هو موضح فى شكل (25) .

ومن جانب آخر جميع القوى المتجهة إلى أعلى على الشمال للقطاع تسبب قص سالب وتلك القوى المؤثرة فى الاتجاه إلى أسفل تسبب قص موجب .



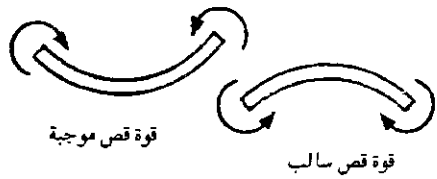
شكل (25)

(2) عزم الانحناء Bending moment :

يقال على عزم الانحناء أنه موجب عند القطاع عندما يكون مؤثرًا فى اتجاه عكس اتجاه عقارب الساعة على اليمين ويقال عليه سالب عندما يكون مؤثرًا فى

اتجاه عقارب الساعة . ومن جانب آخر يقال على عزم الانحناء أنه سالب عندما يكون مؤثرًا فى اتجاه عقارب الساعة على الشمال وموجب عندما يكون مؤثرًا فى اتجاه عكس اتجاه عقارب الساعة .

وعزم الانحناء الموجب غالبًا ما يسمى بعزم الارتخاء Sagging moment وعزم الانحناء السالب يسمى بعزم التقوس hogging moment .



شكل (26)

• **التخطيطات البيانية لقوة القص وعزم الانحناء :**

Shear force and bending moment diagrams

قوة القص وعزم الانحناء يمكن حسابها عدديًا عند أى قطاع معين . وتلك القيم تختلف بطول العتب . يتم عمل الرسوم البيانية بتخطيط قوة القص Shear force أو عزم الانحناء Bending moment كإحداثى وموقع مساحة المقطع كإحداثى سينى وتوزيع قوة القص وعزم الانحناء وجميعهم بطول العتب يكونوا مكشوفين من التخطيط البيانى . بينما تخطيطات عزم الانحناء أو قوة القص تكون القيمة الموجبة عادة تخطيطها أعلى خط القاعدة والقيم السالبة تكون أسفله .

• **العلاقة بين قوة القص وعزم الانحناء فى قطاع :**

Relation between shear force and bending moment at section :

(1) معدل التغير لقوة القص يكون مساويًا لشدة التحميل أى :

$$W = \frac{8\ F}{8\ X}$$

(2) معدل التغير لعزم الانحناء (أو بمعنى آخر انحدار منحنى عزم الانحناء يكون مساويًا لقوة القص فى القطاع أى :

$$\frac{8\ F}{8\ X} = F$$

وعزم الانحناء يمكن أن يكون عند الحد الأقصى عندما تغير قوة القص الأثر أو تكون صفر .

• **نقطة الانحناء المضاد Point of contraflexure :**

فى العتب البارز Overhanging beam سيكون هناك نقطة التى عندها سوف يغير عزم الانحناء الأثر من السالب إلى الموجب أو العكس . وتلك النقطة التى يغير فيها عزم الانحناء الأثر أو يكون صفر تعرف بنقطة الانحناء المضاد .

• **الهيكل Frame :**

ويمكن أن يعرف بالإنشاء Structure وهو يتكون من عدة قضبان مبرشمين أو ملحومين مع بعضهما .

• **تصنيف الهياكل Classification of frames :**

تصنف الهياكل كالآتى :

(1) الهيكل أو الإطار التام Perfect frame .

(2) الهيكل أو الإطار غير التام Imperfect frame .

• **الهيكل التام Perfect frame :**

الهيكل التام هو الذى يطابق العلاقة الآتية : $n = (2J - 3)$

حيث أن n = عدد الأجزاء فى الهيكل .

، J = عدد الوصلات فى الهيكل .

• **الهيكل غير التام Imperfect frame :**

الهيكل غير التام هو الهيكل الذى لا يتطابق مع معادلة $n = (2J - 3)$.

وتصنف الهياكل غير التامة كالآتى :

(أ) الهيكل الناقص Deficient frame .

(ب) الهيكل الزائد عن الحاجة Redundant frame .

• **الهيكل الناقص Deficient frame :**

الهيكل الناقص هو الهيكل غير التام والذى يقل فيه عدد الأجزاء عن $(2J - 3)$.

• **الهيكل الزائد عن الحاجة Redundant frame :**

الهيكل الزائد عن الحاجة هو الهيكل غير التام والذى يكون فيه عدد الأجزاء أكثر من (3 – 2J) .

• **طرق إيجاد القوى Methods of finding out forces :**

القوة التى فى مختلف أجزاء الهيكل التام يمكن إيجادها بإحدى الطرق الآتية :

(1) طريقة الوصلات Method of joints .

(2) طريقة القطاعات Method of sections .

(3) طريقة تخطيطية Graphical method .

إذا كان الهيكل أو الإنشاء معلق أو موصل عن طريق بنز من طرف واحد ومدعم من طرف واحد ومدعم بحرية على بكرات دحرجة من الطرف الآخر ويحمل أحمال أفقية مائلة فى هذه الحالة سيكون رد الفعل عند طرف الدحرجة المدعم رأسيًا . ورد الفعل عند الطرف المعلق سيكون مائل بزاوية بسيطة مع الرأسى .

وإذا كان كلا الطرفين للهيكل مثبتين أو فى حالة بناء فإن ردود فعل التدعيمات يمكن تحديدها بفرض أن ردود الفعل تكون موازية للأحمال ومقدار ردود الفعل بعد ذلك يمكن تحديدها بواسطة رسم مضلع حبلى Drawing funicular polygon ثم يتم بعد ذلك رسم تخطيط المتجه كالمعتاد .

• **إجهادات الانحناء فى العتب Bending stresses in beams :**

المقاومة الناتجة من الإجهادات الداخلية للانحناء تعرف بإجهاد الانحناء .

• **نظرية الانحناء البسيط Theory of simple bending :**

طبقًا لنظرية الانحناء البسيط فإن جميع الطبقات التى تعلو محور التعادل تعانى من الانضغاط بينما تلك التى أسفل محور التعادل تعانى من الشد والمقدار الذى ننضغط به الطبقة أو تمتد يعتمد على موقعها بالنسبة لمحور التعادل neutral axis .

• **الافتراضات التى فى نظرية الانحناء البسيط :**

Assumptions in simple bending theory :

(1) مادة العتب تكون متجانسة تمامًا فى كل مكان .

(2) الإجهاد الناتج يكون متناسب مع الانفعال ولا يزيد الإجهاد عن حد المرونة فى أى مكان فى القطاع .

(3) القطاع العرضى فى العتب الذى يكون مستوى قبل الانحناء يظل مستوى بعد الانحناء .

(4) لا يكون هناك جذب أو دفع محصلة على مساحة مقطع العتب .

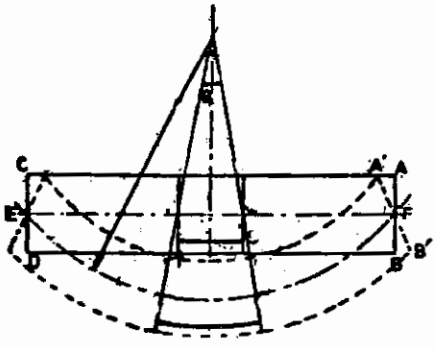
(5) الأحمال تكون مستخدمة فى مستوى الانحناء .

(6) معامل المرونة يكون هو نفسه فى الانضغاط Compression والشد Tension .

(7) نصف قطر التقوس للعتب قبل الانحناء يكون كبير جدًا فى المقارنة بأبعاده العرضية .

• **عتب التدعيم البسيط Simply supported beam :**

شكل (27) يوضح عتب ذات تدعيم بسيط ABCD وبعد استخدام الحمل سوف ينحرف العتب إلى وضع موضح فى الشكل بالخط المنقط . ويمكن ملاحظة أن الخط الطرفى AB للعتب قد انتقل إلى وضع جديد A`B` ويستنتج من ذلك ان هناك نقصان فى الطول من الأطراف العليا واستطالة من الأطراف السفلى . والطبقة الطولية المناظرة للخط EF لا تقصر ولا تستطيل . وهذا الخط يعرف بمحور التعادل فى العتب .



شكل (27)

• **العتب المركب Composite beam :**

العتب المركب يتكون من عدد اثنين أو أكثر من مواد موصلة بشدة مع بعضها كل مع الأخرى . وعندما يكون مثل تلك العتب محملاً فإن الانفعالات عند اى نقطة فى المواد المختلفة تكون متساوية .

وفى العتب ذات القطاع المركب يكون القطاع المعين يكون مستبدل بواسطة مكافئ وعزم المقاومة بعد ذلك يكون محدد . والعزم الكلى للمقاومة يكون مساويًا لمجموع العزوم لمقاومة القطاعات الفردية .

• **إجهادات القص فى العتب Shearing stresses in beams :**

(1) فى العتب ذات التدعيم البسيط الخاضع لبعض التحميل يكون :

$$q = \frac{F \, X \, A \, \bar{y}}{I \, . \, b}$$

حيث أن q = شدة إجهاد القص فى الطبقة فى مقطع العتب العرضى .

، F = قوة القص عند النقطة على الجنب .

، A = مساحة مقطع العتب أعلى الطبقة .

، $\bar{y}$ = هى المسافة بين مركز ثقل مساحة الطبقة ومحور التعادل .

، I = عزم القصور الذاتى لمقطع العتب العرضى حول محور التعادل .

، b = عرض طبقة العتب .

(2) الحد الأقصى لإجهاد القص فى القطاع المتسطيل يساوى 1.5 مرة الإجهاد المتوسط .

(3) الحد الأقصى لإجهاد القص فى القطاع الدائرى يساوى $\frac{3}{4}$ مرة الإجهاد المتوسط .

(4) التخطيط البيانى لتوزيع إجهاد القص للقطاع المركب يمكن رسمه بواسطة حساب إجهاد القص عند النقاط الهامة .

• **انحراف الكوابيل والعتب Deflection of cantilevers and beams :**

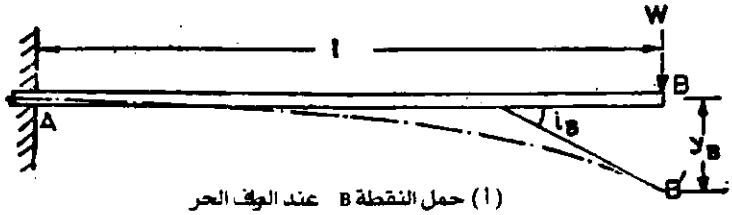
عندما يكون هناك كابول أو عتب خاضع لتحميل من خارجه فإنه ينحرف

من مكانه الأصلى إلى وضع مقوس . ومقدار الانحراف عند أى نقطة هى المسافة من سطح التعادل الأصلى وسطح التعادل المنحرف النهائى للعتب .

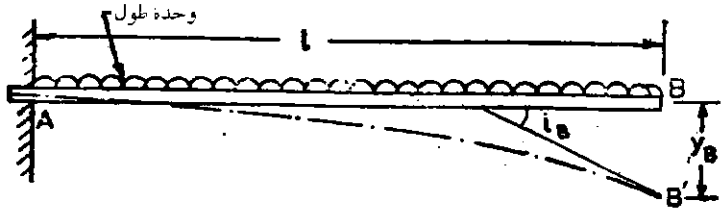
• **الانحدار Slope :**

إذا تم رسم المماس عند أى نقطة بعد أن يكون العتب قد تم تحميله فتكون الزاوية θ بعد ذلك هى انحدار العتب عند تلك النقطة .

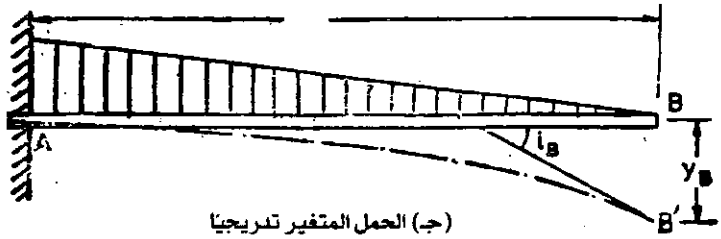
(1) الانحدار والانحراف عند النقطة B لكابول AB مثبت عند النقطة A .



(أ) حمل النقطة B عند الوقف الحر



(ب) الحمل لكل وحدة طول



(جـ) الحمل المتغير تدريجيًا

شكل (28)

$$(أ) \qquad y_B = \frac{WL^2}{3EI} \quad ، \quad I_B = \frac{WL^2}{2EI}$$

$$(ب) \qquad y_B = \frac{WL^4}{3EI} \text{ or } \frac{WL^2}{8EI} \quad ، \quad I_B = \frac{WL^2}{64EI}$$

حيث أن : $WI = W$

(ج) $y_B = \frac{WL^4}{30\,EI}$ ، $I_B = \frac{WL^2}{24EI}$

حيث أن : I_B = الانحدار عند الطرف الحر B .

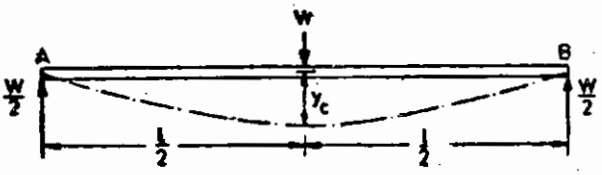
، y_B = الانحراف عند الطرف الحر B .

، L = طول الكابول AB .

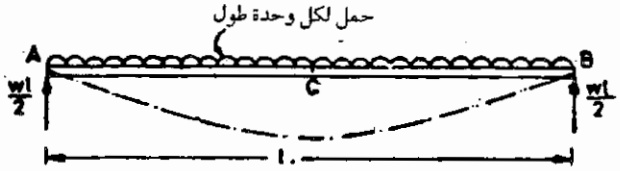
، E = معامل المرونة لمادة الكابول .

، I = عزم القصور الذاتى لمقطع الكابول العرضى .

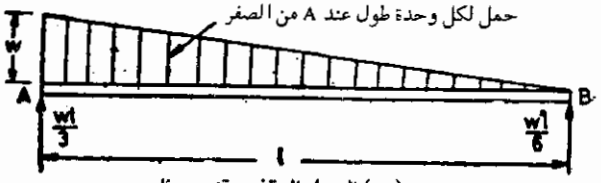
(2) الانحدار والانحراف للعتب AB ذات التدعيم البسيط :



(ا) عتب تدعيم بسيط مع حمل نقطى مركزى



(ب) الحمل موزع بانتظام



(جـ) الحمل المتغير تدريجيًا

شكل (29)

(أ) $y_C = \frac{WL^2}{48\,EI}$ ، $I_A = I_B = \frac{WL^2}{16\,EI}$

(ب) $y_C = \frac{5\,WL^4}{384EI}$ ، $I_A = I_B = \frac{WL^2}{24\,EI}$

(ج) $I_B = \frac{7\,WL^3}{360\,EI}$ ، $I_A = \frac{WL^3}{45\,EI}$

$$y_c = \frac{0.00651\ WL^4}{EL} \quad ، \quad y_m = \frac{0.00659\ WL^4}{EL}$$

(3) إذا كان هناك كابول محمل مع عدة نقاط أو بأحمال موزعة بانتظام فإن الانحدار والانحراف عند أى نقطة على الكابول أو العتب يكون مساويًا للمجموع الجبرى للانحدارات والانحراف عند تلك النقطة نتيجة للأحمال المختلفة فردية التأثير .

• **طريقة ماكايولاى Macaulay's method :**

وهذه الطريقة هى الأكثر ملائمة لإيجاد الانحدار Slope والانحراف deflection عند أى نقطة فى الكابول cantilever أو العتب وخاصة حيثما يكون واقع عليه بعض الأحمال النقطية point loads .

• **العتب المقرون Conjugate beam :**

إذا كان هناك عتب تخيلى محمل بالتخطيط البيانى M/EI فإن عزم الانحناء وقوة القص عند أى نقطة للعتب سوف تمثل الانحراف والانحدار عند تلك النقاط . ومثل تلك العتب التى يكون محمل بالتخطيط البيانى M/EI يسمى العتب المقرون .

• **الكابول والعتب المدعم Propped contilever beam :**

(1) عندما يكون هناك كابول AB ذات حمل منتظم التوزيع مدعم عند الطرف فيكون الآتى :

$$P = \frac{3\ W\ I}{8} \quad , \quad I_B = \frac{W\ L^3}{48\ E\ I}$$

حيث أن P = الإسناد

، I_B = الانحدار عند الطرف المسنود B .

(2) عندما يكون عتب مدعم U.d.I عند المركز فيكون :

$$P = \frac{5\ W\ I}{8} \quad , \quad I_A = I_B = \frac{W\ L^3}{48\ E\ I} \text{ radians}$$

• **مسامير البرشام والوصلات المبرشمة Rivets and Riveted joints :**

أجزاء كرسى التحميل يتم توصيلها بطريقة البرشمة riveting والصب botting

أو باللحام welding . والوصلات المبرشمة نوعان هما كالآتى :

(1) وصلة تراكب Lap joint .

(2) وصلة تناكب Butt joint .

(1) وصلة تراكب Lap joint .

هى الوصلة التى تكون فيها الألواح موصلة بطريقة التراكب Overlapping ثم يتم وصلها بالبرشام مع بعضها كما هو موضح فى شكل (30) .

(ب) وصلة تناكب (غطاء أحادى)

(أ) وصلة تراكب

شكل (30)

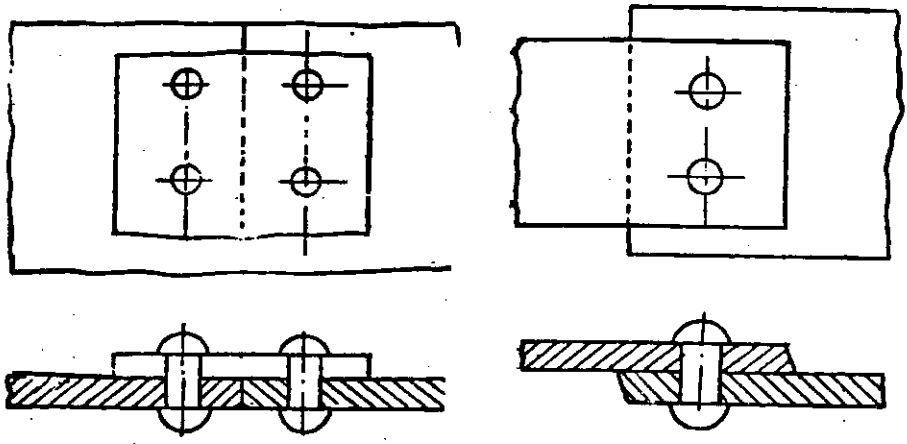
- **وصلة التناكب Butt joint :**

وهى الوصلة التى تكون أطراف الألواح فيها موصلة بالتناسب كل واحد عكس الآخر ثم يتم توصيلها من خلال مسامير برشام Rivets بواسطة ألواح التغطية وإما من جانب واحد أو كلا الجانبين .

والوصلة التى لها لوح تغطية أحادى تسمى وصلة تناكب ذات لوح تغطية أحادى والوصلة التى لها لوحين تغطية تعرف بوصلة تناكب ذات لوح تغطية مزدوج كما هو موضح فى شكل (30 - ب) .

- **الوصلة ذات البرشام الأحادى Single riveted Joint :**

الوصلة ذات البرشام الأحادى هى التى يكون فيها صف أحادى من مسامير البرشام فى وصلة تراكب Lap joint كما هو موضح فى شكل (31 - أ) أو فى صف أحادى من مسامير البرشام على كل جانب فى وصلة التراكب كما هو موضح فى شكل (31 - ب)

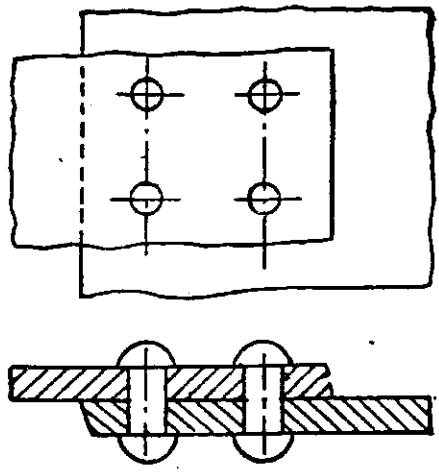


(أ) وصلة تراكب　　(ب) وصلة تناكب

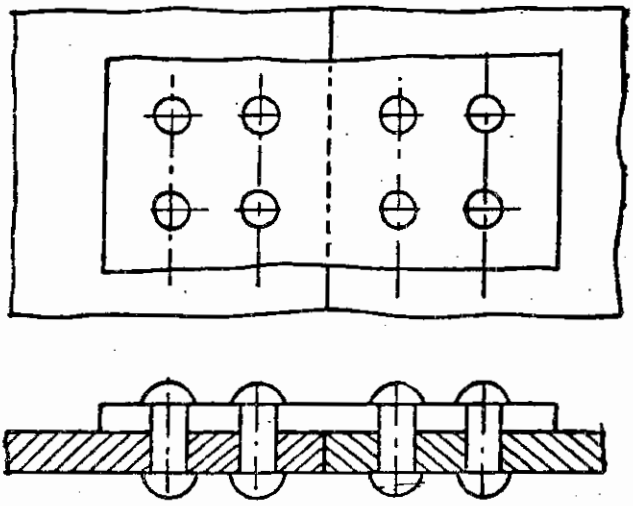
شكل (31)

• **وصلة مزدوجة البرشام Double riveted joint :**

وهى الوصلة التى يكون هناك فيها عدد اثنين صف من مسامير البرشام فى وصلة تراكبية كما هو موضح فى شكل (32 – أ) أو يكون هناك عدد اثنين صف من مسامير البرشام على كل جانب فى الوصلة التناكبية كما هو موضح فى (32 – ب) .



شكل (32) (أ) وصلة تراكبية

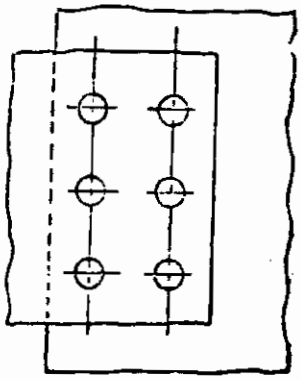


شكل (32) (ب) وصلة تناسب

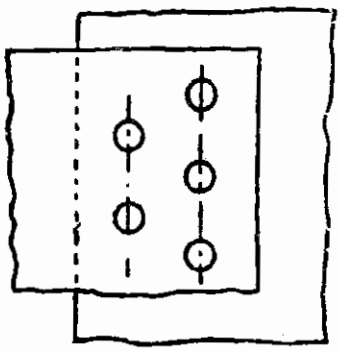
ووصلات البرشام يمكن أن تكون من ثلاثة أو أربعة صفوف من مسامير البرشام وهكذا . ومسامير البرشام عادة يتم ترتيبها بالطرق الثلاثة الآتية :

(1) وصلة البرشام ذات الترتيب المتعرج Zig-zag riveted joint :

وهى الوصلة التى تكون المسافات البينية لمسامير البرشام فيها متعرجة وبهذه الطريقة يكون كل مسمار برشام فى منتصف المسمارين الموجودين فى الصف المضاد كما هو موضح فى شكل (33) .



شكل (33) وصلة برشام متعرجة



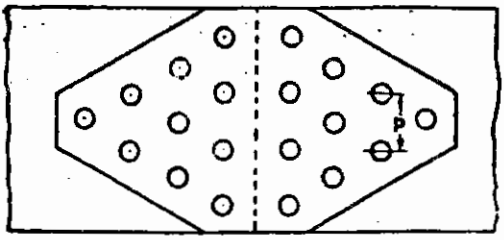
شكل (34) البرشمة المتسلسلة

(2) وصلة البرشمة المتسلسلة Chain riveted joint :

وهى الوصلة التى يكون فيها كل مسمار فى صف فيها مضاد للمسمار الآخر فى الصف الآخر كما هو موضح فى شكل (34) .

(3) وصلة البرشمة المنحرفة Diamond riveted joint :

وهى الوصلة التى يقل فيها عدد المسامير كلما اقتربنا من الصف الداخلى إلى الصف الخارجى كما هو موضح فى شكل (35) .



شكل (35) وصلة برشمة منحرفة

- **خطوة البرشام Pitch of rivet :**

المسافة التى من المركز إلى المركز بين مسمارين متتابعين فى الصف تسمى خطوة البرشام وهى معلم عليها فى الشكل (35) .

- **أنواع انهيار وصلة البرشمة Modes of failure of riveted joint :**

بصفة عامة انهيار وصلة البرشمة يمكن أن يكون بإحدى الطرق الآتية :

(1) بواسطة تمزق اللوح : وهذا النوع من الانهيار يحدث عندما يتمزق اللوح عبر القطاع حيث يكون قد وصل للحد الأدنى للمساحة .

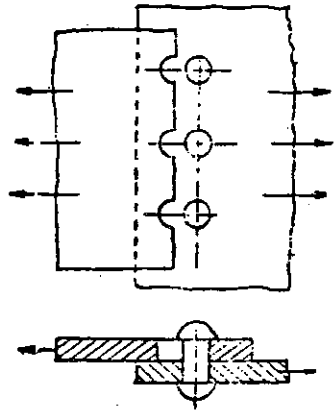
مساحة الوصلة P_t لكل خطوة فى التمزق .

المساحة المقطعية للوح X إجهاد التمزق المسموح .

$$\therefore\ P_t = (P - d) \,.\, t \,.\, f_t$$

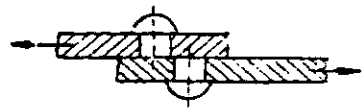
حيث أن : P = الخطوة ، d = قطر المسمار .

، t = سمك اللوح ، f_t = إجهاد التمزق المسموح .



شكل (36)

(2) بواسطة القص لمسمار البرشام : ومسمار أو مسامير البرشام يمكن أن تنهار فى القص عبر توصيل الألواح كما هو موضح فى شكل (37) .



شكل (37)

قوة القص للوصلة لكل خطوة =

عدد المسامير لكل خطوة × مساحة المسمار × إجهاز القص المسموح به

$$P_s = n \times \frac{\pi d^2}{4} \cdot f_s$$

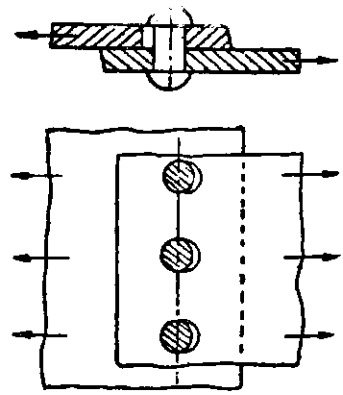
$$P_t = n \times \frac{2\pi d^2}{4} \cdot f_s$$

(3) بواسطة التكسير (أو التحميل) إما للمسمار أو اللوح عند نقطة التلامس بين اللوح ومسمار البرشام ويعرف هذا النوع أيضًا من الانهيار بانهيار التحميل Bearing failure .

قوة التحميل للوصلة =

عدد مسامير البرشام لكل خطوة × مساحة التحميل × إجهاد التحميل المسموح

$$P_8 = n(d \times t) \cdot f_b$$



شكل (38)

• **كفاءة الوصلة المبرشمة Efficiency of riveted joint :**

كفاءة الوصلة المبرشمة هى النسبة بين قوة أو مقاومة الوصلة إلى قوة أو مقاومة اللوح الغير مبرشم وحسابيًا تكون الكفاءة كالآتى :

$$n = \frac{\text{المشترك الاصغر } P_t,\ P_b,\ P_s}{P}$$

حيث أن : $P = ft \times p \times t$

• **تصميم الوصلة المبرشمة Design of riveted joint :**

عند تصميم الوصلة المبرشمة يجب حساب الآتى :

(1) قطر مسامير البرشام : وقطر المسمار يتم الحصول عليه من العلاقة الآتية :

$$d = 1.9 \sqrt{t}$$

حيث أن d = قطر المسمار بالسنتيمتر

، t = سمك اللوح الرئيسى بالسنتيمتر .

(2) خطوة مسامير البرشام : بمعادلة P_t ، P_s ، P_t ، P_b يمكن الحصول على قيمتين للخطوة والقيمة الأقل هى التى يتم اختيارها وعامة فإن قيمة الخطوة يجب أن تكون ما بين من 2.5 إلى أربع مرات مثل قطر مسمار البرشام . والخطوة يجب ألا تقل عن $2d + 12\ mm$ حيث أن d هى قطر مسمار البرشام .

(3) عدد مسامير البرشام : عدد مسامير البرشام فى الوصلة الصغيرة يكون كالآتى :

$$N = \frac{P}{R_V}$$

حيث أن P = الشد المنقول عبر الوصلة ، R_V = قيمة البرشمة .

(4) سمك لوح التغطية Thickness of cover plate :

ألواح التغطية الاثنين يكون سمكهم $\frac{5}{8}t$ حيث أن t هى سمك اللوح الرئيسى .

• **الجدران الأسطوانية الرفيعة Thin cylindrical shells :**

إجهادات شد من الأنواع الآتية :

(1) الإجهاد المحيطى أو الطوقى Circumferential or hoop stress .

(2) الإجهاد الطولى Longitudinal stress .

• **استخدامات الحديد المطاوع Uses of wrought iron**

(1) الإجهاد الطوقى Hoop stress : إذا كان جدار إسطوانى تحت تأثير ضغط داخلى فيكون الإجهاد المحيطى أو الطوقى كالآتى بـ :

$$f_c = \frac{p \cdot d}{2t}$$

حيث أن P = شدة الغط الداخلى . ، d = قطر الجدار .

، t = سمك الجدار الإسطوانى .

الانفعال المحيطى Circumferential strain

$$e_s = \frac{p\,d}{2\,t\,E}\left(1 - \frac{1}{2\,m}\right)$$

(2) الإجهاد الطولى Longitudinal stress : ويتم تعيينه من المعادلة الآتية :

$$f_t = \frac{p\,d}{4\,t}$$

الانفعال الطولى Longitudinal strain

$$e_t = \frac{p\,d}{4\,t\,E}\left(\frac{1}{2} - \frac{1}{m}\right)$$

حيث أن : $\frac{1}{m}$ هى نسبة بوايسون .

• **الأسطوانات ذات الجدار السميك Thick walled cylinders :**

أينما كانت الأسطوانة خاضعة لضغط نصف قطرى داخلى أو خارجى فإن الإجهادات المحيطية أو الطوقية تستحث داخل الأسطوانة والتغيير فى الإجهاد الطوقى للسلندرات الرفيعة يفترض أنه منتظم فوق سمك الأسطوانة وتأثير الإجهادات النصف قطرية يمكن إهماله بدون خطأ أكثر .

ومع ذلك فإذا كان سمك الجدار نسبيًا أكبر فإن التغير فى الإجهاد الطوقى مثل الضغط النصف قطرى من السطح الداخلى إلى السطح الخارجى يكون كبير مثل ما يكون فى الحالة التى مع ماسورة المدفع Gunbarrel والخطوط الهيدروليكية .

ونظرية الإسطوانات السميكة يمكن أن تستخدم عندما يكون :

$$\frac{r_2}{r_1} > 1.2$$

أى نصف القطر الخارجى يكون أكبر من 1.2 مرة مثل نصف القطر الداخلى .

• **نظرية لام للأسطوانات السميكة Lam's theory for thick cylinders :**

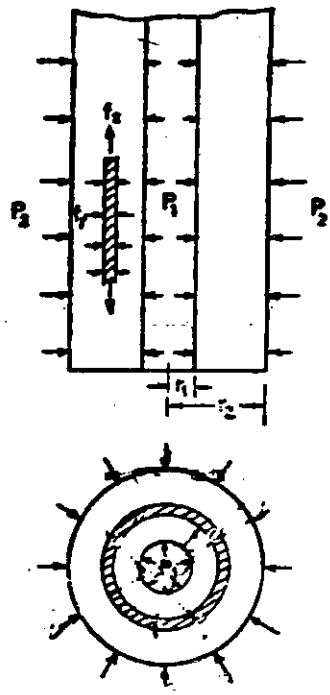
الافتراض الخطى فى النظرية يكون كالآتى :

القطاعات المتعامدة مع المحور المركزى للأسطوانة والتى تكون مستوية قبل تأثير الضغط تظل مستوية وعمودية على المحور حتى بعدما تصبح الأسطوانة تحت تأثير ضغط . وهذا يعنى أن الانفعال الطولى عند أى نقطة فى السمك يكون ثابت ولا يعتمد على مكان النقطة .

وشكل (39) يوضح أسطوانة ذات مقاطع سميكة طويلة وتقع تحت تأثير ضغوط داخلية وخارجية P_1 ، P_2 على التوالى . ويمكن ملاحظ أن المقطع الموضح فى الشكل لا تقع عليه إجهادات قص . مثل أى قطاع عرضى أو طولى له محور متماثل . وبذلك فإن الإجهادات عند أى نقطة فى الأسطوانة تكون إجهادات أساسية .

• **اللى فى الأعمدة Torsion of shafts :**

عندما تؤثر قوة بالتماس على ذراع أسطوانى عند نصف قطر معين وفى مستوى مقطعه العرضى فيقال أن الذراع يقع تحت تأثير عزم التواء Twisting moment والذى



شكل (39)

يكون مساويًا لحاصل ضرب القوة × نصف القطر وإذا كان نفس هذا الذراع يقع تحت تأثير مثل تلك العزوم الالتوائية المتساوية والمتضادة من عند طرفيه الاثنين تحت تأثير لى خالص فإن تأثير اللى سيكون هو إحداث إجهاد قص فى مادة الذراع .

• **معادلة اللى Torsion equation :**

عندما يكون العمود تحت تأثير عزم فيكون الآتى :

$$\frac{q}{r} = \frac{f_s}{R} = \frac{C\theta}{L}$$

حيث أن f_s = إجهاد القص عند المسافة R من مركز العامود بالكيلوجرام/ السنتيمتر المربع (كجم/سم^2) .

، q = إجهاد القص على الطبقة عند المسافة r من مركز العامود بالكيلوجرام/ السنتيمتر المربع (كجم/سم^2) .

، C = معامل الصلابة بالكيلوجرام/السنتيمتر المربع (كجم/سم^2) .

، L = طول العامود بالسنتيمتر (سم) .

، θ = زاوية الالتواء بالزاوية النصف قطرية .

• **العزم المحول أو المنقول Torque transmitted :**

معادلات العزم المنقول بدوران العامود كالآتى :

فى العامود المصمت (in a solid shaft) ..... $J = \frac{\pi}{32} D^4$

فى المجوف (in hollow circular shaft) ..... $J = \frac{\pi}{32} f_s \left(D^4 - d^4\right)$

حيث أن : f_s = إجهاد القص على الطبقة الخارجية للعمود .

، d = القطر الداخلى للعمود .

، D = القطر الخارجى للعمود .

• **العزم القطبى للقصور الذاتى Polar moment of intertia :**

عزم القصور الذاتى فى مساحة مستوية بالنسبة لمحور عمودى على مستوى الشكل يسمى عزم قطبى للقصور الذاتى بالنسبة للنقطة التى يتقاطع فيها المحور مع المستوى وفى المستوى الدائرى هذه النقطة تكون دائمًا هى مركز الدائرى .

والعزم القطبى للقصور الذاتى يرمز له J .

فى العامود المصمت (in a solid shaft) ..... $J = \frac{\pi}{32} D^4$

فى المجوف (in hollow circular shaft) ..... $J = \frac{\pi}{32} \left(D^4 - d^4\right)$

• **مقاومة العمود Strength of shaft :**

مقاومة العمود أو قوة العمود المقصود بها الحد الأقصى للعزم أو القدرة الحصانية التى يستطيع أن ينقلها العمود ولذلك فإن العزم الذى يستطيع العمود أن يقاومه أو ينقله يكون مجسوب . وقيمة هذا العزم مذكورة أعلاه .

• **القدرة الحصانية التى ينقلها العمود Horsepower transmitted by a shaft :**

الصيغة الخاصة بالقدرة الحصانية المنقولة عند سرعة معينة وعزم يمكن كتابتها كالآتى بـ :

باعتبار أن العامود يدور عند N من اللفات/دقيقة (r.p.m) بتأثير قوة تماس F تؤثر عند نصف قطر r .

∴ الشكل المبذول على العمود/دقيقة = $F \times 2\pi r . N$ kg.m

$2\pi N T -$ kg.m =

القدرة الحصانية = $\frac{\text{الشغل المبذول}}{4500} = \frac{2\pi N T}{4500}$ ،

حيث أن : T = متوسط العزم كجم/متر .

• ميزة الأعمدة المجوفة عن الأعمدة المصمتة

Advantage of hollow shafts over solid shafts

إجهاد القص عند أى نقطة فى عامود يتناسب طرديًا مع مسافة بعده من المركز . أى أن الإجهاد يكون صفر عند المركز ويكون فى الحد الأقصى عند الأجزاء الخارجية القصوى .

والأجزاء التى بالقرب من المركز تكون خاضعة لإجهادات منخفضة جداً والمساعدة التى تقدمها الأجزاء الداخلية من المادة فى مقاومة العزم المؤثر تكون أقل بكثير بالمقارنة مع الأجزاء الخارجية للمادة . وفى العمود الأجوف يستفاد من استخدام المادة باستبعاد المادة المركزية التى تكون خاضعة لإجهادات القص الأقل . والعمود المجوف الذى بنفس المساحة المقطعية التى فى تلك العمود المصمت تستطيع أن تقاوم عزم أكثر .

• الأعمدة المركبة Composite shafts :

يصنع العمود أحيانًا من قطاع مركب Composite section ومثال ذلك نوع من العمود يثبت بصلابة عن طريق جلبة فوق نوع آخر من العمود . ويتم تثبيت العامودين مع بعضهما بتلك الطريقة بحيث أن العمود المركب Composite shaft يعمل كعمود واحد .

والعزم الكلى الذى ينقل بواسطة العمود المركب يتقاسمه العمودين ويعتمد ذلك على أقطارهم وخصائص المرونة .

• **الأعمدة ذات القطاعات المختلفة Shafts of varying sections :**

يصنع العمود أحيانًا من أطوال مختلفة لها مساحات مقاطع مختلفة ويكون مطلوب منه نقل بعض العزم أو القدرة الحصانية من طنيورة واحدة إلى الأخرى .

وفى حالة العمود هذا يتم نقل العزوم بواسطة قطاعات فردية يتم حسابها أولاً والحد الأدنى من قيمة هذه العزوم سوف يكون هو مقاومة تلك العمود .

وزاوية الالتواء لمثل ذلك العمود يمكن إيجادها بالطريقة المعتادة .

• **القص الالتوائى والانحناء المركب فى القضبان المستديرة والأعمدة :**

Combined bending and torsional shear in round bars/shafts :

الحد الأقصى للإجهاد (الناتج من عزم الانحناء) :

$$f = \frac{MY}{I} = \frac{M}{I} \times \frac{d}{2} = \frac{MR}{I}$$

الحد الأقصى لإجهاد القص (الناتج من العزم) $f_s = \frac{TR}{J}$

بالنسبة للأعمدة الدائرية :

(I = عزم القصور الذاتى) $I = \frac{\pi d^4}{64}$ .....

$$\therefore \text{إجهاد القص المركب الأقصى} = \sqrt{\left(\frac{f}{2}\right)^2 + (f_s)^2}$$

$$= \sqrt{\left(\frac{2MR}{2J}\right)^2 + \left(\frac{TR}{J}\right)^2}$$

$$= \sqrt{\left(\frac{MR}{2J}\right)^2 + \left(\frac{TR}{J}\right)^2}$$

$$= \frac{R}{J}\sqrt{M^2 + T^2}$$

$$= \frac{D}{2J}\sqrt{M^2 + T^2}$$

وإذا كان العمودين موصلين عن طريق كبالنج فلاشة فيكون الآتى :

$$T = \frac{n \cdot \pi \cdot d\varnothing^2 \cdot qb \cdot D}{8}$$

(للمسامير) ..... (1) $\left(T = \frac{\pi}{16} f_s d^3\right)$

$$T = \frac{L \cdot b \cdot qk \cdot d}{2} \quad \text{(للخوابير)} \quad \ldots\ldots (2)$$

حيث أن : f_s = إجهاد القص على الطبقة الخارجية للعمود

، d = قطر العمود .

، n = عدد المسامير .

، db = قطر المسامير .

، D = قطر دائرة المسمار .

، qb = إجهاد القص فى المسمار .

، L = طول الخابور .

، b = عرض الخابور .

، qk = إجهاد القص فى الخابور .

• **الياءات Springs :**

الياءات هى أجسام مرنة أو أعضاء رجوعية تستخدم فى امتصاص الطاقة نتيجة الرجوعية resilience التى يمكن إعادة تخزينها عندما تكون هناك حاجة إليها وتتشوه حينما تكون تحت تأثير حمل وتعود إلى هذا الشكل الأصلى عندما يتراجع الحمل .

• **أشكال الياءات Forms of springs :**

أهم نوعين للياءات كالآتى :

(1) طبقات من الياءات الورقية .

(2) الياءات الحلزونية .

• **الياءات الطبقية أو الورقية Laminated or leafs springs :**

الياى الطبقى يتركب من عدد من الألواح المسطحة منحنية بالتقوس المطلوب . وتوصل الألواح وبطريقة بحيث أنه يمكنها أن تنزلق فوق الألواح المجاورة عندما تنحرف نتيجة لتأثير الحمل والألواح تكون مقتضبة بهذه الطريقة حيث أن معامل القطاع يكون فى تناسب طردى مع عزم الانحناء .

• **إجهاد الانحناء الأقصى Maximum bending stress :**

الحد الأقصى لإجهاد الانحناء f الذى ينشأ فى الألواح يتم تعينه كالآتى :

$$f = \frac{3\,W\,L}{2\,n\,B\,t^2}$$

• **الانحراف المركزى للياى Central deflection of springs :**

يتم تعينه كالآتى :

$$= \frac{3\,W\,L^3}{8\,E\,.\,n\,.\,b\,.\,t^3} = \frac{8\,L^2}{4\,E\,t}$$

حيث أن : f = إجهاد الانحناء الأقصى الناشى فى الألواح .

، L = بعد الياى .

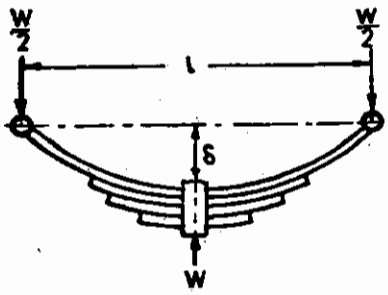
، b = عرض الألواح .

، W = الحمل المؤثر على الياى .

، E = معامل المرونة لمادة الياى .

، n = عدد الألواح .

، t = سمك الألواح .



شكل (40) ياى طبقى

• **اليايات الحلزونية Hellical springs :**

الياى الحلزونى هو عبارة عن سلك بطول معين ملفوف لف حلزونى .

وهناك نوعان من الياى الحلزونى :

(1) ياى ذو التفاف مغلق أو مقفل .

(2) ياى ذو التفاف مفتوح .

(1) الالتفاف المغلق : وهو فى اليايات التى تكـون مسـافة الخطـوة فيـها بيـن أى حلزونين متعاقبين أو لقتيـن صغـيرتين حيـث أن الخطـوة هـى المسـافة بيـن اللفتين المتعاقبتين .

(2) الالتفاف المفتوح : وهو فى اليايات التى تكون الخطـوة فيـها كبـيرة بالنسـبة لتلك التى فى يايات الالتفاف المغلق .

- **اليايات الحلزونية ذات الالتفاف المغلق Closed-coiled hellical springs :**

(1) إجهاد القص (الناتج من العزم T أو الحمل المحورى W) .

$$T = W R = \frac{f_s \pi d^3}{16}$$

$$\therefore f_s = \frac{WR \times 16}{\pi d^3}$$

(2) الانحراف أو الانعكاس فى اليای :

$$\text{الانحراف} \quad \delta = \frac{W R^2 L}{C J} = \frac{64 W R^3 N}{c d^4}$$

حيث أن : W = الحمل المؤثر على اليای .

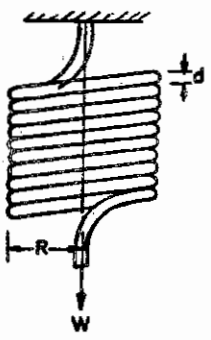
، R = نصف القطر المتوسط لملف اليای .

، L = طول سلك لياى .

، d = قطر سلك اليای .

، n = عدد اللفات فى اليای .

، c = معامل صلابة مادة اليای .



شكل (41) يلى حلزونى ذو التفاف مغلق

(3) الياى الخاضع لالتواء محورى : عدد اللفات يزيد من n إلى n`

∴ الزاوية الكلية للانحناء

$$\varnothing = 2\pi (n` - n) = \frac{M L}{E I}$$

الطاقة المخزونة فى الياى :

$$U = \frac{1}{2} M . \varnothing$$

حيث أن : M = عزم الالتواء المحورى المؤثر على الياى .

، n` = العدد المتزايد للفات نتيجة لعزم الالتواء .

، n = عدد اللفات فى الياى .

أما فى الياى الحلزونى المفتوح :

$$\delta = \frac{64\ WR^3 n\ .\ \sec\alpha}{d^4} \left[\frac{\cos^2\alpha}{c} + \frac{2\sin^2\alpha}{E}\right]$$

حيث أن : α = زاوية الحلزون

- **الأعمدة والقوائم الانضغاطية Columns and struts :**

الأعمدة : العضو الرأسى الطويل أو القضيب الرفيع الخاضع لحمل انضغاطى محورى Axial compressive load يعرف بأنه عمود .

القائم الانضغاطى : العضو الذى يكون فى أى وضع غير الرأسى الخاضع لحمل انضغاطى محورى يعرف بأنه قائم انضغاطى .

- **نسبة القضافة (الرقة) Slendeness ratio :**

نسبة طول العمود إلى نصف القطر الأدنى للتدويم gyration لمساحة مقطع العمود تعرف بنسبة القضافة (الرقة) .

- **حمل التحديب أو حمل الإعجاز Buckling load or crippling load :**

عندما يكون هناك عمود واقع عليه حمل وهذا الحمل يكون متزايد بصفة مستمرة فإن القيمة المعينة للحمل يمكن الوصول إليها عندما يكون العمود قد انحرف قليلاً أو إزاحة جانبية صغيرة سوف تحدث فيه . وعند هذه النقطة نجد

أن القوى الداخلية التى تميل لاستقامة العمود تكاد تكون مساوية للحمل المؤثر . والحد الأدنى للحمل عند الوضع الذى يميل فيه العمود لأخذ إزاحة جانبية Lateral displacement أو يميل لأن يتحدب يعرف ذلك الحمل بحمل التحدي أو حمل الإعجاز .

والتحديب Buckling يحدث حول المحور الذى له نصف القطر الأدنى للتدويم أو أقل عزم للقصور الذاتى .

• **الحمل الأمان Safe load :**

وهو الحمل الذى يكون العمود فيه خاضع لحمل فعلى وأن يكون أقل من حمل التحدي . ويتم الحصول عليه بقسمة الحمل الحرج Critical load على معامل الأمان Factor of safety .

• **الأعمدة الطويلة والقصيرة Long and short columns :**

فى بعض الأحيان الأعمدة التى لها نسبة قضافة Slendenness ratio أكبر من 80 تعرف بالأعمدة الطويلة وتلك التى لها نسبة قضافة أقل من 80 تعرف بالأعمدة القصيرة .

وتلك الأعمدة التى لها نسبة قضافة ما بين 80 إلى 120 تعرف بالحجم المتوسط أو الأعمدة المتوسطة .

• **مقاومة الأعمدة Strength of columns :**

مقاومة أو قوة لأعمدة التى تقاوم التحديب Buckling تعتمد على الآتى :

(1) نسبة القضافة (الرقة) Slenderness ratio .

(2) الحالات الطرفية للعمود End conditions of column .

والعمود الطويل ينهار بالتحديب بينما العمود القصير ينهار بالتكسير Crushing .

• **أنواع الحالات الطرفية Types of end conditions :**

العمود المحمل يمكن أن يكون له أى من الحالات الأربعة الآتية :

(1) كلا الطرفين معلقين Hinged .
(2) كلا الطرفين مثبتين Fixed .
(3) إحدى الطرفين مثبت والآخر معلق .
(4) طرف واحد مثبت والآخر حر free .

• **نظرية إيولر للعمود Euler's column theory :**

وقد بنيت هذه النظرية على أساس تحديد حمل التحديب للأعمدة الطويلة والقوائم الانضغاطية Struts . وقد استنتج أيولر Euler معادلة خاصة بحمل التحديب للأعمدة الطويلة مبنية على أساس إجهاد الانحناء Bending stress مع إهمال تأثير الإجهاد المباشر . والإجهاد المباشر فى العمود الطويل يتم إهماله بالنسبة لإجهاد الانحناء .

ومعادلة أيولر Euler لا يمكن استخدامها فى حالة الأعمدة القصيرة لأن تأثير الإجهاد المباشر يكون بدرجة كبيرة ومن هنا لا يمكن إهماله .

• **الافتراضات التى فى نظرية العمود Assumptions in column theory :**

نظرية معادلة العمود قد بنيت على أساس الافتراضات الآتية :
(1) مادة العمود تكون متجانسة تمامًا وموحدة الخواص .
(2) الحمل المستخدم يكون محورى تمامًا
(3) العمود يكون مستقيم وذو أبعاد جانبية منتظمة .
(4) طول العمود يكون كبير جدًا بالنسبة لأبعاد مقطعة .
(5) عدم تجاوز حد التناسبية .

• **جدول معادلة إيولر Limitation of Euler's formula :**

الحدود التى تستخدم عندما معادلة إيولر كالآتى :
(1) لا يؤخذ فى الاعتبار الإجهاد المباشر Direct stress وكما ذكر أعلاه أن الإجهاد المباشر فى الأعمدة الطويلة أو القوائم الانضغاطية يكون صغير والذى يكون ذو أهمية كبيرة فى حالة القوائم الانضغاطية القصيرة

أو المتوسطة . وهذا يعنى أن معادلة إيولر Euler يمكن أن تعطى حمل تحديب لمثل تلك القوائم الانضغاطية Struts بزيادة فى الحمل والتى يمكن أن تقام تحت تأثير الانضغاط المباشر .

(2) معادلة إيولر تكون متوافقة فقط مع القائم الانضغاطى المثالى والأحمال المؤثرة يمكن ألا تكون محورية تمامًا .

• حمل التحديب P-إيولر للحالات الطرفية المختلفة :

Euler's buckling load P for various conditions :

(1) عندما يكون كلا الطرفين معلقين (الطول المكافئ $L = \tau$) موضح فى شكل (42- أ)

$$P = \frac{\pi^2 E I}{\tau^2}$$

(2) عندما يكون كلا الطرفين مثبتين (الطول المكافئ $L = \frac{1}{2}$) موضح فى شكل (42 - ب)

$$P = \frac{4 \pi^2 E I}{\tau^2}$$

(3) عندما يكون طرف واحد مثبت والآخر معلق (الطول المكافئ $L = \frac{1}{\sqrt{2}}$) موضح فى شكل (42 - ج)

$$P = \frac{2 \pi^2 E I}{\tau^2}$$

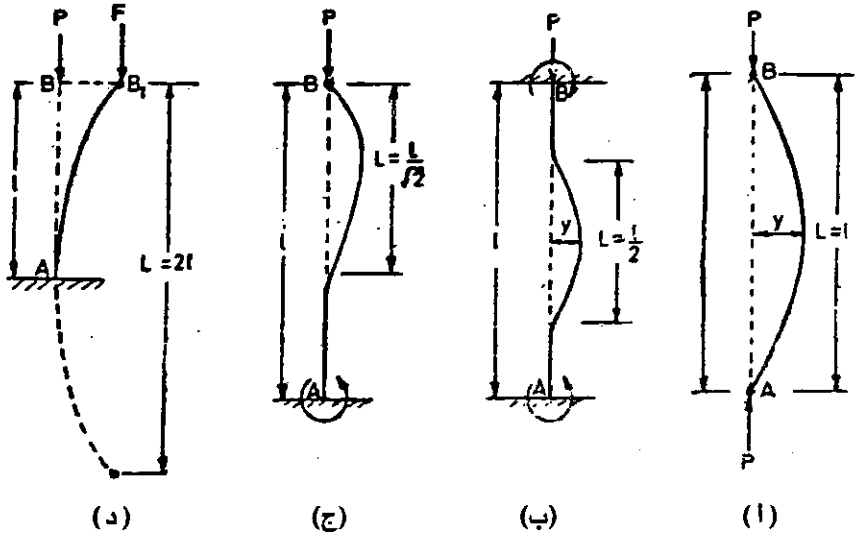
(4) عندما يكون طرف واحد مثبت والآخر حر (الطول المكافئ $L = 2 \tau$) موضح فى شكل (42 - د)

$$P = \frac{\pi^2 E I}{4 \tau^2}$$

حيث أن : E = معامل يونج لمادة العمود .

، I = العزم الأدنى للقصور الذاتى لقطاع العمود .

، τ = طول العمود .



شكل (42) الحالات الطرفية للأعمدة

• **معادلة (صيغة) رانكين جوردون Ranking Gordon formula :**

هذه المعادلة تكون ملائمة للأعمدة المتوسطة والتى تكون فيها إجهادات التحديب والإجهادات المباشرة مأخوذة فى الاعتبار ومن معادلة رانكين يمكن تعيين حمل التحديب أو حمل الإعجاز من العلاقة :

$$P = \frac{f_c A}{1 + \alpha\left(\frac{\tau}{K}\right)^2}$$

حيث أن : f_c = إجهاد التكسير لمادة العمود .

، A = مساحة مقطع العمود .

، a = ثابت رانكين .

، τ = الطول المكافئ للعمود .

، K = نصف القطر الأدنى للتدويم .

والآتى هى قيم الثابت (a) المعروفة بصفة عامة :

(1) الصلب الطرى Mild steel $a = \frac{1}{7500}$

(2) الحديد المطاوع Wrought iron $a = \frac{1}{9000}$

(3) الحديد الزهر Cast iron $a = \frac{1}{1600}$

• **معادلة جونسون للحمل الأمان على الأعمدة :**

Johnson's formulae for safe load on columns :

(1) معادلة الخط المستقيم للأعمدة :

$$P = A\left[f - n\left(\frac{L}{K}\right)\right]$$

(2) المعادلة المكافئة للأعمدة :

$$P = A\left[f - r\left(\frac{L}{K}\right)^2\right]$$

حيث أن : P = حمل الأمان على العمود .

، f = الإجهاد فى مادة العمود .

، A = مساحة مقطع العمود .

، n & r = ثوابت وتعتمد قيمتهم على مادة العمود .

أسئلة وأجوبة على مقاومة المواد
Questions and answers on strength of materials

س(1) بماذا تعرف القوة المعاد تخزينها داخل الجسم ؟

جـ : تسمى هذه القوة بالإجهاد Stress

س(2) ما هى وحدة الإجهاد بنظام وحدات القياس C.G.S ؟

جـ : وحدة الإجهاد بنظام C.G.S هى الداين لكل سم^2 (داين/سم^2) .

س(3) ما هو تعريف الانفعال Strain ؟

جـ : هو معدل التغير فى الطول بنسبة للطول الأصلى .

س(4) ما هو حد الخاصية التى يتوافق مع قانون هوك Hook's law ؟

جـ : حد المرونة Elastic limit .

س(5) عرف معامل يونج Young's modulus ؟

جـ : معامل يونج هو النسبة بين الإجهاد الطولى إلى الانفعال الطولى .

س(6) عندما يحدث تغير فى الطول بما يسمى الانفعال فى هذه الحالة ؟

جـ : يسمى الانفعال فى هذه الحالة بالانفعال الطولى Longitudinal strain .

س(7) بماذا يرمز لمعامل الحجم Bulk modulus ؟

جـ : يرمز لمعامل الحج بالرمز K .

س(8) ما هى علاقة قانون هوك من خلال الحدود التناسبية ؟

جـ : العلاقة هى أن الإجهاد ∝ الانفعال Stress ∝ strain

س(9) ما هو تعريف معامل الصلابة Modulus of rigidity ؟

جـ : معامل الصلابة هو النسبة بين إجهاد القص إلى انفعال القص

س(10) اذكر تعريف نسبة بوايسون Poisson's ratio ؟

جـ : هى نسبة الانفعال الجانبى إلى الانفعال الطولى .

س(11) ما هى وحدة قياس معامل يونج للمرونة بنظام وحدات C.G.S ؟

جـ : وحدة قياس معامل يونج للمرونة هى داين/سم^2 .

س(12) ما هى حدود قيمة نسبة بوايسون Poisson's ratio ؟

جـ : النسبة هى من −1 إلى 0.5

س(13) ما هى معادلة إيجاد معامل الصلابة لجسم خاضع لإجهاد قص ؟

جـ : المعادلة هى $C = \frac{ME}{2m+1}$ حيث أن $\frac{1}{m}$ = نسبة بوايسون ،

E = معامل المرونة

س(14) ما هى معادلة إيجاد الانفعال الحجمى لجسم مستطيل خاضع لقوة محورية ؟

جـ : المعادلة هى $e\left(1-\frac{2}{m}\right)$ حيث أن e = الانفعال الخطى ، $\frac{1}{m}$ = نسبة بوايسون

س(15) بماذا تسمى نسبة الإجهاد المباشر إلى الإجهاد الحجمى المناظر ؟

جـ : هذه النسبة تسمى بمعامل الحجم Bulk modulus .

س(16) ما هى معادلة إيجاد معامل الحجم K Bulk modulus ؟

جـ : المعادلة هى $\frac{ME}{2m+1}$ حيث أن $\frac{1}{m}$ = نسبة بوايسون .

س(17) من خلال الحد المرن عرف نسبة بوايسون Poisson's ratio ؟

جـ : هى النسبة بين الانفعال الجانبى Lateral strain إلى الانفعال الخطى Linear strain .

س(18) ما هى نسبة بوايسون Poisson's ratio للحديد الزهر Cast iron ؟

جـ : النسبة هى من 0.23 إلى 0.27

س(19) ما هى نسبة بوايسون Poisson's ratio للصلب Steel ؟

جـ : النسبة هى من 0.25 إلى 0.33

س(20) بماذا يعرف التشوه لكل وحدة طول فى اتجاه القوة ؟

جـ : التشوه لكل وحدة طول فى اتجاه القوة يعرف بالانفعال الخطى Linear strain .

س(21) عرف رجوعية الصمود Broof resilinece ؟

جـ : رجوعية الصمود هى أقصى حد لطاقة الانفعال التى يمكن اختزانها فى الجسم .

س(22) عرف ما هى الرجوعية Resilience ؟

جـ : هى الطاقة الممتصة فى الجسم عندما ينفعل من خلال حد مرونته .

س(23) بماذا تعرف الإنشاء التى يتكون من عدة قضبان مبرشمة أو ملحومة مع بعضها ؟

جـ : يعرف هذا الإنشاء بالهيكل Frame .

س(24) اذكر معادلة تحديد عدد العناصر فى الهيكل التام Perfect frame ؟

جـ : المعادلة هى $n = \frac{(3J-1)}{2}$ حيث أن n = عدد العناصر ، J = عدد الوصلات

س(25) عرف ما هو الهيكل التام Perfect frame ؟

جـ : هو الهيكل التى يكون فيه عدد العناصر كافى لجعله فى حالة توازن .

س(26) ما هو الهيكل غير الكافى Deficient frame ؟

جـ : هو الهيكل الذى يكون عدد الأعضاء فيه أقل من (3 – 2J) .

س(27) ما هى الإجهادات التى تستخدم فى إيجادها دائرة موهر Mohr's circle ؟

جـ : الإجهادات هى : الإجهادات الأساسية ، والإجهاد العادى ، والحد الأقصى لإجهاد القص وإجهاد التماس .

س(28) ما هى المعادلة التى يحسب بها الحد الأقصى لإجهاد القص من دائرة موهر ؟

جـ : المعادلة هى : $\frac{(f_x + f_y)^2}{2} + s^2$

س(29) على أى المستويات يمكن أن يؤثر إجهاد القص الأقصى ؟

جـ : إجهاد القص الأقصى يؤثر على المستويات المائلة بزاوية 60° على المستويات الأساسية .

س(30) ما هى معادلة تعيين قيمة إجهاد التماس الأقصى من خلال دائرة موهر ؟

جـ : المعادلة هى : $\frac{p_1 - p_2}{2}$ ، حيث أن : p_1 = إجهاد الشد الأكبر ، p_2 = إجهاد الشد الأصغر

س(31) ما هى معادلة تعيين الإجهاد العادى للقطاع المائل لجسم عندما يكون خاضع لإجهاد مباشر فى مستوى واحد ؟

جـ : المعادلة هى : $pn = p \cos \theta$ حيث أن : p = الإجهاد فى الاتجاه ، θ = زاوية القطاع المائل/الإجهاد

س(32) فيما تستخدم الأسطوانات الرفيعة Thin cylinders ؟

جـ : تستخدم الأسطوانات الرفيعة لإمكانياتها فى اختزان الغاز Gas ، والبخار steam والسوائل liquid .

س(33) كم يعادل الإجهاد الطولى فى الأسطوانة الرفيعة من الإجهاد الطوقى ؟

جـ : الإجهاد الطولى يعادل نصف الإجهاد الطوقى .

س(34) ما الذى يسبب الإجهاد الطوقى Hoop stress ؟

جـ : الذى يسبب الإجهاد الطوقى هو القوة المؤثرة على طول المحيط .

س(35) متى تستخدم نظرية الأسطوانات السميكة ؟

جـ : تستخدم نظرية الأسطوانات السميكة عندما يكون : $\frac{r_2}{r_1} > 1.2$

حيث أن : r_1 ، r_2 هما نصفى القطر الداخلى والخارجى للأسطوانة .

س(36) ما اسم الإجهادات الواقعة عند أى نقطة فى الأسطوانة السميكة ؟

جـ : الإجهادات هى الإجهادات الأساسية Principal stresses .

س(37) ما نوع الانفعال الطولى عند أى نقطة فى السمك ؟

جـ : الانفعال يكون ثابت Constant .

س(38) ما هى الإجهادات التى تقع عند أى نقطة فى السمك ؟

جـ : الضغط النصف قطرى والشد الطوقى والإجهاد الطولى .

س(39) ما هى معادلة لام Lam فى حالة الشد الطوقى Hoop tension ؟

جـ : المعادلة هى : $f_t = \frac{b}{r^2} + a$ حيث أن b ، a ثوابت ، r هى المسافة لأى نقطة من المحور المركزى .

س(40) ما هى الطريقة سابقة الإجهاد المستخدمة من أجل الحصول على توزيع منتظم نسبيًا للإجهادات على سمك الأسطوانة ؟

جـ : الطريقة هى التطويق الذاتى Self-hooping .

س(41) ما هى الضغوط النصف قطرية والشد الطوقى فى حالة الضغوط الداخلية ؟

جـ : هذه الإجهادات تكون فى حدها الأقصى عند السطح الداخلى وتقل فى اتجاه السطح الخارجى .

س(42) ما هى الطريقة المستخدمة تجاريًا لزيادة مقاومة أسطوانات الجدار السميك للضغط الداخلى ؟

جـ : بالطريقة سابقة الإجهاد اللدنة Plastic prestressing .

س(43) بماذا يسمى الإجهاد الناتج من تأثير قوى متساوية ومتضادة على جسم ويعمل على استطالته ؟

جـ : الإجهاد يسمى إجهاد الشد Tension stress .

س(44) بماذا تسمى المواد التى لها نفس الخصائص فى جميع الاتجاهات ؟

جـ : هذه المواد هى المواد الموحدة Isotropic materials .

س(45) عند الوصول إلى حد المرونة ماذا يحدث لانفعال الشد ؟

جـ : يتزايد انفعال الشد بسرعة أكبر فى هذه الحالة .

س(46) ما الذى يحدث عندما يكون المستوى الأساسى خاضع لأقصى إجهاد أساسى ؟

جـ : سوف لا يكون هناك تأثير لإجهاد القص .

س(47) بماذا تسمى المسافة التى بين مركزين لبرشمين متتابعين فى نفس الصف ؟

جـ : هذه المسافة تسمى الخطوة Pitch .

س(48) بماذا تسمى الوصلة التى تكون المسافة بين المسامير فيها تبادلية بحيث يكون كل برشام فى منتصف المسمارين اللذين فى الصف المضاد ؟

جـ : هذه الوصلة بتلك الطريقة تسمى وصلة برشمة متسلسلة .

س(49) بماذا تسمى الوصلة التى يكون كل برشام صف فيها مضاد للبرشام الآخر فى الصف الخارجى ؟

جـ : هذه الوصلة تسمى وصلة برشمة متسلسلة .

س(50) فى أى نوع من الوصلات يمكن تجهيز البرشمة المنحرفة ؟

جـ : يمكن تجهيز هذه البرشمة فى الوصلات التناكبية فقط Butt joint .

س(51) بما تعرف الوصلة الذى يقل فيها عدد البرشام كلما اقتربت من الصف الداخلى إلى الصف الخارجى ؟

جـ : هذه الوصلة تسمى وصلة البرشمة المنحرفة .

س(52) متى يحدث انهيار failure للوصلة المبرشمة Riveted joint ؟

جـ : إما عند انهيار البرشام أو انهيار الألواح plates أو فض للبرشام أو تمزق عند حافة اللوح .

س(53) كيف يمكن تجنب التمزق عند حافة الذى يسبب الانهيار ؟

جـ : يمكن تجنب ذلك بجعل مركز البرشام الأقرب من حافة اللوح يكون عند مسافة على الأقل تساوى 1.5d حيث أن : d = هى قطر مسمار البرشام .

س(54) عرف كفاءة الوصلة المبرشمة .

جـ : كفاءة الوصلة المبرشمة هى النسبة بين الحد الأدنى للمقاومات الثلاثة للوصلة إلى مقاومة طول خطوة اللوح المصمت .

س(55) ما هى معادلة تحديد مقاومة البرشام بالنسبة للتحميل ؟

جـ : المعادلة هى : $P = f_b \times t \times d$ حيث أن : d هو قطر المسامير بالسنتيمتر (سم) ، t هى سمك اللوح الرئيسى بالسنتيمتر (سم)

س(56) اذكر معادلة تحديد عدد مسامير البرشام (N) عند تصميم وصلة مبرشمة .

جـ : المعادلة هى $\frac{P}{R_v}$ حيث أن P = الجذب ، R_v = قيمة البرشام .

س(57) ما الذى يجب أن تقاومه سامير البرشام فى الوصلة المرفقية المبرشمة ؟

جـ : مسامير البرشام يجب أن تقاوم الإجهادات الخطية مثل مقاومة الازاحات الدورانية .

س(58) كم يجب أن يكون سمك لوح التغطية الأحادى لكى تتساوى مقاومة التمزق لألواح التغطية مع تلك لألواح التى يتم توصيلها ؟

جـ : سمك اللوح يجب أن يكون $1\frac{1}{8}t$ حيث t = سمك اللوح الرئيسى .

س(59) ما هى النقطة التى يقع عندها مركز ثقل الطبقة المنتظمة ؟

جـ : مركز الثقل يكون عند نقطة منتصف محوره .

س(60) ما هى المسافة التى يقع عندها مركز ثقل نصف الكرة المصمت على نصف القطر المركزى ؟

جـ : المسافة تكون $\frac{3r}{2}$ من قاعدة المستوى أو المسطح .

س(61) أين يقع مركز ثقل C.G المثلث ؟

جـ : مركز ثقل المثلث يقع عند نقطة تقاطع الأضلاع القطرية .

س(62) ما هو الارتفاع الذى يقع عنده مركز ثقل المخروط المصمت على المحور ؟

جـ : مركز الثقل يكون عند $\frac{3}{4}$ الارتفاع الكلى أعلى القاعدة .

س(63) ما هى معادلة المحور المتوازى لمساحة المستوى ؟

جـ : المعادلة : $I_y = I_x - Ar^2$ حيث أن r هى المسافة بين المحاور XX ، YY .

س(64) ما هى وحدة عزم القصور الذاتى إذا كان قياس كتلة الجسم بالكيلو جرام والمسافة بالمتر ؟

جـ : عزم القصور الذاتى للكتلة سيكون كجم.متر مربع (كجم/م^2) .

س(65) اذكر معادلة تعيين عزم القصور الذاتى لأسطوانة دائرية قائمة نصف قطرها r وكتلتها M حول محورها ؟

جـ : المعادلة هى : Mr^2 .

س(66) ما هى معادلة عزم القصور الذاتى لمساحة دائريـة نصف قطرها d حـول محور عمودى على المساحة ويمر من خلال مركزها ؟

جـ : المعادلة هى : $\frac{\pi d^4}{32}$.

س(67) ما هى معادلة عزم القصور الذاتى لمساحة مستطيل بقـاعدة b وارتفـاع d حول المحور X ؟

جـ : المعادلة هى : $\frac{b d^3}{4}$.

س(68) مركز ثقل نصف الكرة الأجوف أين يكون موقعه ؟

جـ : مركز الثقل C.G يكون فى منتصف نصف القطر المركزى .

س(69) ما مقدار عزم الانحناء الأقصى لعتب ذات تدعيـم بسيط يقـع عليـه حمل موزع بانتظام على طوله ؟

جـ : هو عزم الانحناء الأقصى حيث أن W الحمل المنتظم ، L طول العتب .

س(70) ما مقدار الحد الأقصى لعزم الانحناءات لعتب تدعيم بسيط مع حمل مثلثى W يتراوح من صفر عند طرف واحد إلى الحد الأقصى عند الطرف الآخر ؟

جـ : المقدار هو $\frac{W L}{q\sqrt{3}}$.

س(71) ما مدى عزم الانحناء الـذى سيكون لعتـب تدعيـم بسيط عليـه حمل فـى مركز العتب Beam .

جـ : عزم الانحناء سيكون بالحد الأقصى عند المركز .

س(72) ما مقدار عزم الانحناء عندما تكون قوة القص بطول القطاع صفر ؟

جـ : عزم الانحناء إما سيكون عند الحد الأقصى أو الحد الأدنى .

س(73) متى يكون عزم الانحناء عند الحد الأقصى ؟

جـ : عزم الانحناء يكون عند الحد الأقصى عندما تغير قوة القص الأثر .

س(74) فـى العتـب ذات المقاومـة المنتظمـة وذات العمق الثابت مـا الـذى يتغـير تناسبيًا مع العرض ؟

جـ : سوف يتغير العرض فى التناسب مع M حيث أن M = عزم الانحناء .

س(75) ما نوع التخطيط البيانى لعتب كابولى عليه حمل مركز عند طرف العتب ؟

جـ : سيكون التخطيط البيانى مثلثى .

س(76) ماذا سيكون شكل انحناء لعتب ذات قطاع ثابت وخاضع فى كل جزء فى طوله لعزم انحناء منتظم ؟

جـ : سيكون شكل الانحناء قوس دائرى .

س(77) ماذا سيكون شكل التخطيط البيانى لقوة القص لعتب كابولى واقع عليه حمل موزع بانتظام فوق كل طوله ؟

جـ : شكل التخطيط البيانى سيكون مثلث .

س(78) ماذا سيكون شكل التخطيط البيانى للعزم لعتب كابولى طرفه الحر خاضع لعزم انحناء ؟

جـ : شكل التخطيط البيانى للعزم سيكون مستطيل .

س(79) ماذا سيكون شكل التخطيط البيانى للعزم لعتب كابولى يكون خاضع لحمل موزع بانتظام ؟

جـ : سيكون شكل التخطيط البيانى للعزم منحنى مكافئ .

س(80) ماذا سيكون شكل التخطيط البيانى للعزم لعتب كابولى واقع ليه حمل خطى يكون صفر عند الطرف الحر والحد الأقصى عند الطرف الثابت ؟

جـ : شكل التخطيط البيانى للعزم سيكون مكافئ تكعيبى .

س(81) ما مدى عزم الانحناء فى عتب عند نقطة تكون فيها قوة القص بالحد الأقصى ؟

جـ : عزم الانحناء سيكون فى الحد الأقصى .

س(82) ما هو البعد الذى يحدث عنده عزم الانحناء صفر فى عتب مثبت وعليه حمل موزع بانتظام ؟

جـ : العتب من النوع المثبت وذات توزيع منتظم للحمل .

س(83) ما هو البعد الذى يكون عنده عزم الانحناء صفر فى حالة العتب المثبت وعليه حمل مركزى فى المنتصف .

جـ : عزم الانحناء الصفر سيكون على بعد $\frac{\tau}{4}$ حيث أن τ = طول العتب .

س(84) ما هو العتب ذات المقاومة المنتظمة ؟

جـ : هو العتب الذى يكون فيه إجهاد الانحناء هو نفسه فى كل قطاع من العتب بطول المحور .

س(85) ما مقدار الحد الأقصى لعزم الانحناء لعتب كابولى ذات حمل موزع بانتظام W فوق طوله الكلى ؟

جـ : الحد الأقصى لعزم الانحناء سيكون $\frac{WL}{2}$.

س(86) فى أى جزء من المادة أو الجسم ينشأ الحد الأقصى للإجهاد الانضغاطى عندما يكون عتب مستطيل محمل عرضيًا .

جـ : عند الألياف العليا من المادة .

س(87) ما هى المعادلة التى تحدد الحد الأقصى للانحراف فى كابول الناتج من عزم انحناء خالص m عند طرفه ؟

جـ : المعادلة هى : $\frac{M L^2}{3 E I}$.

س(88) ما مقدار الحد الأقصى للإجهاد فى قطاع دائرى ؟

جـ : الحد الأقصى للإجهاد يكون $\frac{3}{4}$ مرة مثل الإجهاد المتوسط .

س(89) ما هى الطريقة التى يمكن بها إيجاد الانحدار والانحراف عند نقطة فى كابول أو عتب محمل ؟

جـ : الطريقة هى طريقة ماكولاى Macaulay .

س(90) ما هو نوع القوى التى مجموعها الجبرى يساوى عزم الانحناء عند أى نقطة ؟

جـ : المساوية لعزم الانحناء عند أى نقطة هو المجموع الجبرى لعزوم القوى عند كل جانب للنقطة .

س(91) ما هى القوة التى مجموعها الجبرى يساوى قوة القص عند أى نقطة ؟

جـ : هى القوة التى على كل جانب للنقطة .

س(92) أين ينشأ الحد الأقصى لعزم الانحناء والحد الأقصى لقوة القص ؟

جـ : ينشأ الحد الأقصى لعزم الانحناء والأقصى لقوة القص عند الطرف المثبت .

س(93) ماذا تسمى العتب الذى يكون محمل بحيث يكون خاضع لعزوم انحناء ثابتة وغير مصحوبة بأى قوة قص ؟

جـ : يسمى العتب بعتب ذات انحناء بسيط .

س(94) متى يكون الانحراف عند الحد الأقصى بالنسبة للانحدار ؟

جـ : الحد الأقصى للانحراف يكون عندما يكون الانحدار صفر .

س(95) ما الذى يحدث للعمود الذى يكون خاضع لوصلتين متساويتين ومتضادتين من خلال محوره ؟

جـ : العمود سوف يحدث له التواء .

س(96) بماذا يسمى الربط أو الوصل الذى يسبب التواء العمود ؟

جـ : يسمى هذا الوصل بعزم الالتواء .

س(97) ما هو توزيع إجهاد القص فى عمود خاضع لشد ؟

جـ : إجهاد القص سيكون هو نفسه عند كل النقاط المتساوية البعد من المركز .

س(98) ما الذى يحدثه التوصيل المقارن فى العمود ؟

جـ : يحدث إجهاد فى العمود .

س(99) ما هى النسبة المتراوحة لقيمة إجهاد القص الذى يحدث فى العمود نتيجة للتوصيل المقارن ؟

جـ : النسبة تكون من صفر عند المركز إلى الحد الأقصى عند المحيط .

س(100) ما هى معادلة العزم فى العمود المصمت ؟

جـ : المعادلة هى : $T = \frac{\pi}{16} f_s \, d^3$.

س(101) ما هى علاقة إجهاد القص مع مسافته من المركز ؟

جـ : يتناسب إجهاد القص تناسبًا طرديًا مع مسافته من المركز .

س(102) ما هى معادلة العزم القطبى للقصور الذاتى للعمود المصمت الذى قطره = d ؟

جـ : المعادلة هى : $J = \frac{\pi}{32} \, d^4$.

س(103) ما هى ميزة العمود المجوف الذى له نفس مساحة المقطع التى للعمود المصمت ؟

جـ : العمود المجوف له قدرة على مقاومة عزم أكثر .

س(104) ما هى معادلة عزم القصور الذاتى للأعمدة الدائرية ؟

جـ : المعادلة هى : $I = \frac{\pi}{64} d^4$ حيث أن d = قطر العمود .

س(105) ما هى معادلة الحصول على القدرة الحصانية (H.P) المترية التى يتم نقلها عن طريق العمود ؟

جـ : المعادلة هى : $\frac{2 \pi n t}{4500}$ ، T = العزم ، n = عدد لفات العمود .

س(106) ما هو اسم الخاصية التى تجعل المواد تستطيل بطريقة كافية قبل الكسر عندما تكون خاضعة لحمل متزايد تدريجيًا .

جـ : الخاصية هى المطلولية Ductility .

س(107) ما هى خاصية المطاوعة Maleability ؟

جـ : هى أن المادة تستطيل بطريقة كافية قبل أن تنكسر عندما تكون خاضعة لحمل متزايد تدريجيًا .

س(108) لماذا يكون الصلب أكثر مرونة من المطاط ؟

جـ : الصلب أكثر مرونة من المطاط لأن الصلب له معامل يونج أكبر الخاص بالمرونة .

س(109) ما هى خاصية المادة التى تقلل من مقاومتها عندما يكون الجسم خاضع لارتداد من الإجهادات ؟

جـ : اسم الخاصية هو تعب أو كلل المعادن Fatigue of metals .

س(110) ما هى أساسيات مقارنة المرونة للمواد المختلفة ؟

جـ : الأساسيات للمقارنة هى إيجاد إجهادها عند حد المرونة أى إيجاد إجهاد هذه المواد عند حد المرونة .

س(111) ما هو الفرض الذى يتم عند إيجاد إجهاد القص فى العمود الدائرى الذى يكون خاضع للى Torsion ؟

جـ : (أ) الالتواء عبر العمود يكون منتظم .

(ب) مساحة المقطع العادية للعمود والذى كان مستوى ودائرى قبل الالتواء يظل مستوى ودائرى بعد الالتواء .

(ج) مادة العمود تكون منتظمة فى كل مكان فيه .

س(112) بماذا يسمى الإجهاد الأقصى الذى ينشأ فى المادة قبل أن تنكسر إذا كانت هناك عينة من هذه المادة محملة بالطريقة الذى يتزايد فيها الحمل تدريجيًا ؟

جـ : يسمى هذا الإجهاد بإجهاد الشد الأقصى .

س(113) عندما تكون هناك مادة خاضعة لإجهاد إلى ما وراء نقطة الخضوع ، ما الذى يحدث للمادة بعد ذلك ؟

جـ : تفقد المادة بعد ذلك قابليتها للعودة إلى شكلها الأصلى .

س(114) ما هى العوامل التى يعتمد عليها العزم الكلى المنقول بواسطة العمود المركب والذى يتقاسمه العمودين ؟

جـ : العوامل هى القطر وخصائص المرونة لكلا العمودين .

س(115) إلى أى نوع من الإجهاد يخضع كل قطاع فى الياى الحلزونى ذات الالتفاف المعلق ؟

جـ : يخضع كلا القطاعين لإجهاد قص نتيجة للعزم وقص مباشر نتيجة للحمل load .

س(116) إذا كانت R هى نصف قطر الملف إلى خط المركز ، n هى عدد الالتفافات فى الياى الجلزونى ذات الالتفاف المغلق ، فكم يساوى طول سلك الياى ؟

جـ : طول سلك الياى يكون مساوية : $2\pi r \times n$.

س(117) فى الياى الحلزونى ذو الالتفاف المغلق الذى يكون نصف قطره للملف هو R وزاوية الالتواء الكلية فى الطول الكلى هى θ ، ما هو مقدار الانحراف deflection ؟

جـ : الانحراف deflection = $R \times \theta$.

س(118) مما يتكون الياى الطبقى ؟

جـ : ينكون الياى الطبقى من أى عدد من الألواح التى يتم ثنيها بالتقوس المطلوب .

س(119) فى حالة تواجد القوى فى عناصر الهيكل ، فما هو الافتراض الذى يتم ؟

جـ : يكون الهيكل Frame محمل فقط عند الوصلة Joint .

س(120) اذكر الإجهادات التى يخضع لها قطاع مائل فى جسم والتى يمكن تحديدها بدائرة موهر Mohr's circle ؟

جـ : الإجهادات هى :

(أ) إجهادات مباشرة فى اتجاهين عموديين تبادليين .

(ب) إجهادات مباشرة فى مستوى واحد مصحوب بإجهاد قص بسيط .

(ج) إجهادات فى اتجاهات عمودية متبادلة مصحوبة بإجهاد قص بسيط .

س(121) ما هى الفروض التى تم استنتاجها والتى ترتب بنظرية الانحناء البسيط ؟

جـ : الافتراضات هى :

(أ) القطاع العرضى للعتب يظل مستوى قبل وبعد الانحناء .

(ب) مادة العتب يجب أن تكون موحدة ومتجانسة .

(ج) الجذب أو الشد المحصلة على القطاع العرضى للعتب يكون صفر .

س(122) إذا كان العرض والسمك لكل لوح فى الياى الطبقى هما b ، t على التوالى ، فما هو مقدار وعزم القصور الاذتى فى لوح واحد ؟

جـ : عزم القصور فى لوح واحد = $\frac{b\,t^3}{12}$.

س(123) فى الياى الطبقى بماذا يسمى الحمل الذى يجعل الياى مسطح ؟

جـ : الحمل الذى يجعل الياى مسطح هو إجهاد الصمود .

س(124) ما هى العلاقة التناسبية لمعامل القطاع فى اللوح فى الياى الطبقى ؟

جـ : معامل القطاع يكون فى تناسب طردى مع عزم الانحناء .

س(125) العضو الإنشائى الخاضع لقوة انضغاطية محورية ما هو الاسم الذى يطلق عليه؟

جـ : يطلق على هذا العضو القائم الانضغاطى Strut .

س(126) بما تعرف النسبة لطول العمود إلى الحد الأدنى لنصف قطر التدويم لمساحة مقطع العمود ؟

جـ : تعرف هذه النسبة بنسبة القضافة Slenderness ratio .

س(127) بماذا تسمى الأعمدة التى لها أطوال أقل من قطرها 8 مرات ؟

جـ : هذه الأعمدة تسمى الأعمدة القصيرة .

س(128) بما تسمى النسبة بين الطول المكافئ للعمود إلى الحد الأدنى لنصف قطر التدويم ؟

جـ : هذه النسبة تسمى معامل التحديب Buckling factor .

س(129) بماذا يعرف الحد الأدنى للحمل الذى يكون عنده العمود له قابلية أن يكون له إزاحة جانبية ؟

جـ : هذا الحمل يسمى حمل التحديب والحمل الحرج أو حمل الإعجاز .

س(130) ما هو تصنيف الأعمدة التى تكون نسبة قضافتها أكبر من 120 ؟

جـ : تسمى هذه الأعمدة بالأعمدة الطويلة long columns .

س(131) ما هى العوامل التى تتوقف عليها مقاومة العمود لمقاومة التحديب ؟

جـ : العوامل هى :

(أ) نسبة القضافة Slenderness ratio .

(ب) الحالات الطرفية للأعمدة End-conditions .

س(132) ما هى نسبة القضافة للأعمدة القصيرة ؟

جـ : النسبة هى اقل من 32 .

س(133) ما الذى يحدث عندما تزيد نسبة القضافة بالنسبة للقوة الانضغاطية للأعمدة ؟

جـ : فى هذه الحالة تقل المقاومة الانضغاطية للأعمدة .

س(134) ما هو الإجهاد الذى يقاوم والذى تصمم عادة من أجله الأعمدة الطويلة ؟

جـ : هذه الأعمدة تقاوم إجهاد التحديب فقط .

س(135) ما هى الافتراضات التى بنيت على أساسها نظرية معادلة العامود ؟

جـ : الافتراضات هى :

(أ) الحمل الانضغاطى يكون محورى تمامًا ويمر بالمركز المتوسط لقطاع العمود

(ب) القائم الانضغاطى يكون مستقيم مبدئيًا وأن يكون ذو أبعاد جانبية منتظمة .

(ج) مادة القائم الانضغاطى تكون متجانسة تمامًا وموحدة .

(د) وصلات البنوز تكون لا احتكاكية والأطراف المثبتة تكون ذات صلابة تامة .

س(136) ما هى نسبة القضافة التى لا تصلح معها معادلة أيولر بالنسبة لعمود الصلب الطرى ؟

جـ : النسبة هى بين 120 إلى 200 .

س(137) ما هى الأعمدة التى تتطابق معها جيدًا معادلة أيولر ؟

جـ : معادلة أيولر Euler تتطابق جيدًا فقط مع الأعمدة الطويلة .

س : ما هى أنواع خامات الحديد Iron ores ؟

جـ : أنواع خام الحديد هى كالآتى :

(1) الهيماتيت Hemtite .

(2) ليمونيت (أكسيد الحديد المائى) Limonite .

(3) مجنيتيت Magnetite .

(4) بيريت Pyrite .

(5) السيدريت Siderite .

س : ما هو التركيب الكيميائى لكل من خامات الحديد الآتية :
الهيماتيت والليمونيت والمجنتيت والبيريت والسيدريت ؟

جـ : التركيب الكيميائى لخامات الحديد كالآتى :

(1) الهيماتيت Hemtite : Fe_2O_3

(2) ليمونيت Limonite : $2\,Fe_2O_3 . 3\,H_2O$

(3) مجنيتيت Magnetite : Fe_3O_4

(4) بيريت Pyrite : FeS_2

(5) السيدريت Suderite : $FeCO_3$

س : ما هى النسبة المئوية للحديد فى خاماته الآتية :
الهيماتيت والليمونيت والمجنتيت والبيريت والسيدريت ؟

جـ : النسبة المئوية للحديد فى خاماته كالآتى :

(1) الهيماتيت Hemtite : يحتوى على حوالى من 65 إلى 70٪ حديد .

(2) الليمونيت Limonite : يحتوى على حوالى 60٪ حديد .

(3) المجنيتيت Magnetite : يحتوى على حوالى 70 إلى 73٪ حديد .

(4) بيريت Pyrite : يحتوى على حوالى من 45 إلى 47٪ حديد كحد أقصى .

(5) السيدريت Suderite : يحتوى على 40٪ حديد كحد أقصى .

س : ما هو الثقل النوعى Specific gravity لخامات الحديد الآتية :
الهيماتيت والليمونيت والمجنتيت والبيريت والسيدريت ؟

جـ : الثقل النوعى Specific gravity لخامات الحديد كالآتى :

(1) الهيماتيت Hemtite : الثقل النوعى له يتراوح من 4.5 إلى 5.3 ولونه يكون أسود أو رمادى .

(2) المجنيتيت Magnetite : والثقل النوعى له يتراوح من 4.90 إلى 5.20 ولونه أسود

(3) البيريت Pyrite : والثقل النوعى له يتراوح من 4.80 إلى 5.10 ولونه يكون أصفر برونزى أو أصفر باهت .

(4) الليمونيت Limonite : والثقل النوعى له يتراوح من 3.60 إلى 4 ولونه يكون بنى أو بنى مائل للصفار أو أصفر .

(5) السيدريت Suderite : والثقل النوعى له يتراوح من 3.70 إلى 3.90 ولونه إما يكون أصفر باهت أو أحمر مائل إلى البنى أو أسود مائل للبنى .

س : ما هى العمليات الثلاثة المتداولة فى عملية تصنيع تماسيح الحديد Pig-iron ؟

جـ : العمليات الثلاثة المتداولة فى عملية تصنيع تماسيح الحديد كالآتى :

(1) التهذيب أو التسوية Dressing .

(2) الصهر Smelting .

(3) التحميص Calcination or roasting .

س : ما هى الأجزاء الأساسية والمعدات فى الفرن العالى Blast furnace ؟

جـ : الأجزاء الرئيسية للفرن العالى هى كالآتى :

(1) الحلق أو الزور Throat وهو منطقة التغذية أو فم الفرن .

(2) المدخنة Stack وهى تمتد من الزور إلى الأسطوانة .

(3) الأسطوانة أو البرميل Cylinder وجوانبها تكون متوازية .

(4) بوش Boch وهى منطقة الحرق فى الفرن .

(5) قلب الفرن Hearth ويعرف أيضًا بالبوتقة وهى الجزء السفل للفرن .

(6) القصبة Tuyere وهى فونية تصريف الهواء وموقعها يكون فى منطقة الحرق فى الفرن .

(7) تجهيزات التغذية Feeding arrangement .

س : ما هى التفاعلات الكيميائية التى تحدث بين الكربون وأول أكسيد الكربون وخام الحديد لتكوين الحديد ؟

جـ : التفاعلات التى تحدث كالآتى :

$3\ Fe_2O_3$ (هيماتيت) + C (كربون)

= CO (أول أكسيد الكربون) + ($2Fe_2O_4$ (مجنتيت)

، مجنتيت (Fe_3O_4) + 4 كربون (4C)

= 3 حديد (3 Fe) + 4 أول أكسيد الكربون (4 CO)

، 3 هيماتيت ($3Fe_2O_3$) + أول أكسيد الكربون (CO)

= 2 مجنتيت ($2\ Fe_3O_4$) + ثانى أكسيد الكربون (CO_2)

، مجنتيت (Fe_3O_4) + 4 أول أكسيد الكربون (4 CO)

= 3 حديد (3 Fe) + 4 ثانى أكسيد الكربون ($4\ CO_2$)

س : ما هى خصائص تماسيح الحديد Pig-iron ؟

جـ : خصائص تماسيح الحديد هى كالآتى :

(1) لا تصدأ

(2) من الصعب ثنيها .

(3) ذات صلادة وهشة .

(4) لا يمكن لحامها أو برشمتها .

(5) لا يمكن أن تمغنط .

(6) يمكن صلادتها ولكن لا تطبع .

(7) لها مقاومة عالية للانضغاط .

(8) ليست مطولية ولا مطاوعة .

(9) تنصهر بسهولة ودرجة حرارة انصهارها هى 1200°م .

س : ما هى أنواع تماسيح الحديد ؟

جـ : أنواع تماسيح الحديد هى كالآتى :

(1) تماسيح بسمر .
(2) التماسيح الرمادى .
(3) التماسيح البيضاء .
(4) التماسيح المنقطة .

س : ما هى أنواع الحديد الزهر ؟

جـ : أنواع الحديد الزهر كالآتى :

(1) حديد الزهر المنقط .
(2) حديد الزهر الأبيض .
(3) حديد الزهر الرمادى .
(4) حديد الزهر المطاوع .
(5) حديد الزهر ذات المتانة .
(6) حديد الزهر الميرد .

س : ما هى خصائص الحديد الزهر ؟

جـ : خصائص الحديد الزهر كالآتى :

(1) قابل للصهر .
(2) ذات صلادة ولكنه هش أيضًا .
(3) غير مطولى ولذلك لا يمكن تهيئته لامتصاص الصدمات .
(4) درجة انصهاره تكون حوالى 1250°م ويتقلص بالتبريد .
(5) مكونه الإنشائى يكون حبيبى أو بللورى مع لون أبيض أو رمادى خفيف .
(6) الثقل النوعى له يكون 7.5 .
(7) لا يصدأ بسهولة .
(8) لا يمكن مغنطته .
(9) يمكن صلادته بواسطة التسخين والتبريد المفاجئ ولكنه لا يطبع .
(10) إذا وضع فى ماء مالح يصبح رخو .

(11) ضعيف فى الشد وقوى فى الانضغاط ومقاومات الشد والانضغاط للحديد الزهر تكون على التوالى هى 150 نيوتن/مم^2 ، 600 نيوتن/مم^2 .

(12) تنقصه اللدونة ولذلك فهو غير ملائم لأعمال الطرق .

(13) لا يمكن توصيل قطعتين من الحديد الزهر سواء بعملية البرشمة أو اللحام .

س : ما هى استخدامات الحديد الزهر ؟

جـ : استخدامات الحديد الزهر كالآتى :

(1) يستخدم فى تجهيز الكراسى الحديدية .

(2) يستخدم فى تجهيز الأدوات الزراعية .

(3) يستخدم فى تصنيع عناصر الانضغاط مثل الأعمدة فى الأبنية وقواعد الأعمدة .

(4) يستخدم فى صنع أجزاء الآلات التى لا تكون خاضعة للصدمات الشديدة .

(5) يستخدم فى المصبوبات الزخرفية مثل الأقواس والبوابات وأعمدة الإنارة ودرجات السلالم الحلزونية .

(6) يستخدم فى عمل القمائن ومواسير المياه ومجارى الصرف وأغطية فتحات الصرف .

س : ما هى أنواع المصبوبات أو المسبوكات ؟

جـ : أنواع المسبوكات هى :

(1) المسبوكات الرملية .

(2) مسبوكات الطرد المركزى .

(3) المسبوكات المبردة .

(4) مسبوكات القوالب .

(5) المسبوكات الرملية الرأسية .

(6) المسبوكات الجوفاء .

س : ما هى خصائص المصبوبات الجيدة ؟

جـ : خصائص المصبوبات الجيدة هى :

(1) حافات وأركان هذه المصبوبات يجب أن تكون حادة وتامة ونظيفة .

(2) يجب أن تكون هذه المصبوبات خالية من فقاعات الهواء والشروخ إلى آخره .

(3) يجب أن تكون هذه المصبوبات رخوة بطريقة كافية للثقب أو القطع بالأجنة .

(4) يجب أن تكون هذه المصبوبات منتظمة فى الشكل ويجب أن تكون متوافقة مع متطلبات التصميم .

س : ما هى عيوب المصبوبات ؟

جـ : العيوب التى تكون فى المصبوبات كالآتى :

(1) النخروبية Honey combing : صهر الرمل السطحى يسبب هذا العيب فى المصبوبة .

(2) الفتحات : إذا كانت فتحات التهوية غير كافية فيصبح الهواء والغازات محصورين وتؤدى إلى مصبوبة مسامية مع الفتحات .

(3) القشور : وفى هذا النوع من العيوب يمكن ملاحظة الطبقات القشرية على المصبوبة وهذا يحدث عندما يكون الرمل ثقيل جداً ويلتصق بالمصبوبة .

(4) التورم : عند يتم ضغط النماذج بطريقة غير صحيحة يحدث تورم للمصبوبة .

(5) السحب : فى هذا النوع من العيب يصبح المعدن مصمت قبل أن يتم ملئ النموذج تماماً ويمكن أن يحدث هذا إما نتيجة لحالة المائع الغير كافية للمعدن أو نتيجة الممر غير الكافى لدخول المعدن إلى داخل النموذج .

(6) عدم قابلية التشغيل على البارد : هذا العيب يحدث عندما يكون هناك اتصال بين عدد اثنين مسار يتقابلان للمعدن المنصهر . وإذا

لم تتحد هذه المسارات بطريقة صحيحة فيتكون القصيف عند نقطة الاتصال .

س : ما هى العمليات الأساسية التى يتضمنها تصنيع الحديد المطاوع ؟

جـ : العمليات هى أربع عمليات يتضمنها صنع الحديد المطاوع

(1) التنقية Refining .
(2) التسويط Puddling .
(3) التسقيف Shingling .
(4) الدلفنة Rolling .

س : ما هى خصائص الحديد المطاوع ؟

جـ : خصائص الحديد المطاوع كالآتى :

(1) يقاوم التآكل بطريقة جيدة .
(2) درجة انصهاره هى حوالى 1500°م .
(3) ثقله النوعى يكون حوالى 7.8 .
(4) الحد الأقصى للمقاومة (الانضغاطية خو حوالى 200 نيوتن/مم^2) .
(5) لا يتأثر بالماء الملحى .
(6) مرن بطريقة متوسطة .
(7) مطولى ومطاوع ومتين .
(8) ينصهر بصعوبة ولذلك فهو غير ملائم فى عمل المصبوبات .
(9) يمكن استخدامه لتكوين مغناطيسيات مؤقتة ولكن لا يمكن أن يتمغنط بطريقة دائمة .
(10) يصبح الحديد المطاوع رخو عند الحرارة البيضاء ويمكن لحامه وطرقه بسهولة .
(11) حد مقاومته الأقصى للشد يكون حوالى 400 نيوتن/مم^2 .

س : ما هى عمليات تصنيع الصلب ؟

جـ : يصنع الصلب بواسطة العمليات الآتية :

(1) عملية بسمر Bessemer process .
(2) عملية السمنتة Cementation process .

(3) عملية صلب البوتقة Crucible steel process .

(4) العملية المزدوجة Duplex process .

(5) العملية الكهربائية Electric process .

(6) عملية القلب المفتوح Open-hearth process .

(7) عملية لنز ودوناويتز L.D. process .

س : ما هى ميزات العملية الكهربائية فى صناعة الصلب ؟

جـ : من ميزات العملية الكهربائية فى صناعة الصلب هو الآتى :

(1) يمكن إمداد الحرارة بسرعة كما أنها يمكن أن تصل إلى معدل كبير من درجات الحرارة .

(2) هذه العملية تعطى تشغيل دقيق ونظيف .

(3) كمية الخبث المتكونة تكون صغيرة .

(4) درجة الحرارة يمكن التحكم فيها بطريقة صحيحة .

(5) عدم تواجد الرماد والدخان .

س : ما هى عيوب عملية لنز ودوناوينز L.D. ؟

جـ : عيوب عملية لنزودونا ينز فى صناعة الصلب هى كالآتى :

(1) مطلوبة وحدة أكسجين لتحضير الأكسجين .

(2) هذه العملية لا يمكنها معالجة كل درجات وأنواع تماسيح الحديد .

(3) لا يمكن التحكم بدقة فى درجة الحرارة .

س : ما هى ميزات عملية القلب المفتوح فى صنع الصلب ؟

جـ : الميزات هى كالآتى :

(1) الخبث القاعدى الذى يتم الحصول عليه فى عملية القلب المفتوح يحتوى على فوسفور وهذا الخبث يكون على شكل مسحوق ولذلك يمكن أن يستخدم كمخصب جيد .

(2) يمكن تحقيق اقتصاد أكبر بواسطة تجهيز غرف إعادة التوليد على كل جانب للقلب .

(3) التشغيلات التى تشملها العملية تكون بسيطة .
(4) هذه العملية تجعل من الممكن استخدام نسبة مئوية عالية من الخردة وهذه الخردة يمكن تحويلها إلى صلب نافع جديد بهذه العملية .
(5) الوقت المطلوب لإزالة الشوائب قصير .
(6) الصلب المصنع بهذه العملية يكون متجانس .

س : ما هى العوامل التى تؤثر على الخصائص الطبيعية للصلب ؟

جـ : العوامل هى كالآتى :
(1) نسبة احتواء الكربون .
(2) تواجد الشوائب .
(3) عمليات المعالجة الحرارية .

س : ما هى العيوب التى توجد فى الصلب ؟

جـ : العيوب هى كالآتى :
(1) التجويفات أو التجويفات الغازية .
(2) عدم قابلية التشغيل على البارد .
(3) الانعزال Segregation .

س : من هى الأشكال التسويقية للصلب القياسية التى يمكن الحصول عليها ؟

جـ : الأشكال التسويقية القياسية للصلب هى كالآتى :
(1) القطاعات الزاوية . (2) الألواح
(3) القطاعات ذات المجرى .
(4) القطاعات التى على شكل حرف I .
(5) القضبان المسطحة . (6) القضبان المستديرة .
(7) القضبان المربعة .
(8) القطاعات التى على شكل T
(9) الألواح المموجه .
(10) القضبان المضلعة . (11) المعدن الممدد .

س : ما هى ميزات القضبان الصلب المضلعة ؟

جـ : الميزات هى كالآتى :

(1) يمكن ثنى هذه القضبان من درجة قدرها 180° بدون حدوث أى شروخ أو تصدعات على سطحها الخارجى .

(2) من الممكن لحام نوع معين من القضبان الصلب المضلعة باللحام التناكبى بواسطة الوميض الكهربى أو لحام القوس .

(3) هناك توفير إجمالى فى تكاليف التقوية لامتداد حوالى من 30 إلى 40٪ عند استخدام هذه القضبان .

(4) هذه القضبان لها خصائص إنشائية أفضل من القضبان الدائرية المستوية العادية ولذلك يمكن تصميمها بإجهادات عالية .

(5) هذه القضبان لها خصائص ترابط ممتازة ولذلك غير مرغوب فى الخطافات الطرفية .

(6) يمكن استخدام هذه القضبان فى جميع أنواع الإنشاءات الخرسانية المقواه .

(7) يمكن لهذه القضبان أن تقوم بتقوية اقتصادية وكفء للخرسانة .

(8) عند استخدام هذه القضبان تكون عمليات الترابط والتثبيت والتداول مبسطة لدرجة كبيرة وينتج عن ذلك تكاليف عمالة أقل .

س : ما هى التشغيلات التى تتضمنها المعالجة الميكانيكية للصلب ؟

جـ : التشغيلات هى كالآتى :

(1) الدرفلة أو الدحرجة Rolling .

(2) السحب Drawing .

(3) الطرق Forging .

(4) الكبس Pressing .

س : ما هى أهداف المعالجة الحرارية ؟

جـ : الأهداف من المعالجة الحرارية كالآتى :

(1) زيادة صلادة السطح .
(2) زيادة مقاومة الحرارة والتآكل الكيميائى .
(3) تغيير مكون الصلب .
(4) تعديل الخصائص المغناطيسية والكهربائية للصلب .
(5) لتغيير المقاومة والصلادة .
(6) لجعل الصلب قابل للتشغيل بسهولة .

س : ما هى العوامل التى تعتمد عليها المعالجة الحرارية بوجه عام ؟

جـ : العوامل التى تعتمد عليها المعالجة الحرارية كالآتى :
(1) معدات التحكم فى درجة الحرارة .
(2) نوع أو تصنيف الصلب .
(3) معدل التسخين والتبريد .
(4) وسائط التسقية .
(5) الطرق المستخدمة فى تسخين وتبريد نوعية معينة من الصلب .
(6) وسيط التسخين .
(7) الأفران المستخدمة

س : ما هى العمليات الرئيسية فى المعالجة الحرارية للصلب ؟

جـ : العمليات الرئيسية فى المعالجة الحرارية للصلب كالآتى :
(1) التلدين Annealing .
(2) التطبيع Tempering .
(3) المعادلة Normalizing .
(4) النتردة Nitriding .
(5) التصليد Hardening .
(6) التصليد بالتغليف Case hardening .
(7) السمنتة Cementing .
(8) السيندة Cyaniding .

س : ما هى الاحتياطات التى تتخذ فى عمليات التصليد بالتغليف ؟

جـ : الاحتياطيات التى تتخذ فى عملية التصليد بالتغليف هى كالآتى :

(1) الأداة التى يتم معالجتها يجب أن تكون نظيفة وخالية من القاذورات والشحومات والزيت إلى آخره .

(2) إذا كانت الأدوات من الصلب السبائكى فيحب تقسيتها فى الزيت .

(3) التسقية من الأفضل يجب أن تكون فى الماء ولكن للأدوات التى تكون ذات أشكال أو سمك غير متساوى أو غير مستوى يحب أن تكون التسقية بالزيت .

(4) يجب أن توضع الأداة بمثل تلك الطريقة بحيث يمكنها أن تتمدد بحرية فى جميع الاتجاهات .

(5) الصندوق التى يتم إجراء العملية فيه يجب أن يكون مسمنت بالطفال الحرارى .

(6) سمك الطبقة المكربنة يحب أن يكون 25 مم على الأقل حول كل الأداة .

س : ما هى عيوب السيندة ؟

جـ : العيوب كالآتى :

(1) الأدخنة المتكونة غير صحية ولذلك مطلوب الحرص والحذر عند تداول العملية .

(2) السائل المتكربن يمكن أن يحدث صلادة سطحية أفضل .

(3) هناك خطورة من انتشار الأملاح السامة .

س : ما هى عيوب التسقية بالزيت ؟

جـ : عيوب التسقية بالزيت كالآتى :

(1) معدل التبريد يكون منخفض نسبيًا .

(2) قابلية الزيت لزيادة سمكه أو يصبح لاصق فى الدورة الزمنية .

(3) الزيت له قدرة عالية فى سرعة الالتهاب .

س : ما هى ميزات النتردة Nitiriding ؟

جـ : ميزات النتردة كالآتى :

(1) التشوه والشروخ يكونا فى الحد الأدنى عندما تستبعد التسقية .

(2) أثبتت هذه العملية أنها اقتصادية فى جملة الإنتاج .

(3) الأجزاء المنتردة تحتفظ بصلادة حتى درجة 500°م .

(4) تعطى هذه العملية مقاومة جيدة للتآكل .

(5) تعتبر عملية افضل من التكربن .

(6) هذه العملية تساعد فى الحصول على صلادة سطحية عالية .

(7) هذه العملية بصفة عامة تجنب الميكنة والتشطيب للمنتج .

س : ما هى عيوب النتردة ؟

جـ : عيوب النتردة هى كالآتى :

(1) هناك أكسدة نتيجة لزمن التسخين الطويل .

(2) أنواع الصلب السبائكى المحدودة المحتوية فقط على الألومنيوم والكروم والفاناديوم والموليبدنوم يمكن أن تكون نتريدات جيدة .

(3) تحتاج هذه العملية زمن طويلة للتشغيل حوالى 100 ساعة بعمق 0.38 مم .

(4) هذه العملية غير اقتصادية إلا إذا كانت هناك معدات خاصة متاحة .

س : ما هى خصائص الصلب الطرى Mild steel ؟

جـ : خصائص الصلب الطرى كالآتى :

(1) يمكن أن يمغنط بصفة دائمة .

(2) مقاومات الشد الأقصى والقص تكون حوالى من 60 إلى 80 كيلو.نيوتن/سم^2 .

(3) الحد الأقصى لمقاومة الانضغاط يكون حوالى من 80 إلى 120 كيلو.نيوتن/سم^2 .

(4) الثقل النوعى للصلب الطرى يكون 7.80 .

(5) درجة انصهاره تكون حوالى 1400°م .
(6) يمكن أن يصدأ بسهولة وبسرعة .
(7) يستخدم فى جميع أنواع العمل الانشائى .
(8) يعتبر أكثر متانة وأكثر مرونة عن الحديد المطاوع .
(9) ليس من السهل مهاجمته بالمياه المالحة .
(10)يعتبر مطاوع ومطولى .
(11) له تكوين ليفى .
(12) لا يتم صلادته وتطبيعه بسهولة .
(13) يمكن طرقه ولحامه .

س : ما هى خصائص الصلب الصلد ؟

جـ : خصائص الصلب الصلد كالآتى :

(1) لا يمكن طرقه أو لحامه .
(2) يمكن أن يمغنط بصفة دائمة .
(3) يمكن صلادته وتطبيعه بسهولة .
(4) له مكون حبيبى .
(5) ليس من السهل أن يهاجم بالماء المالح .
(6) ذات متانة ومرونة أكثر من الصلب الطرى .
(7) يسدأ بسهولة وبسرعة .
(8) درجة انصهاره حوالى 1300°م .
(9) ثقله النوعى هو 7.90 .
(10) الحد الأقصى لمقاومته الانضغاطية يكون حوالى من 140 إلى 200 كيلو.نيوتن/سم^2 .
(11) الحد الأقصى لمقاومته للقص يكون حوالة 110 كيلو.نيوتن/سم^2 .
(12) مقاومة الشد الأقصى تكون حوالى من 80 إلى 110 كيلو.نيوتن/سم^2 .

س : ما هى خصائص الألومنيوم ؟

جـ : خصائص الألومنيوم هى :

(1) الألومنيوم رخو جدًا .

(2) خفيف فى الوزن ومطاوع ومطولى .

(3) نادرًا ما يتم مهاجمته بواسطة حامض النيتريك أو حامض عضوى أو الماء .

(4) هو مادة غير مغناطيسية .

(5) هو معدن أبيض فضى مع أزرق خفيف .

(6) هو معدن موصل جيد للحرارة والكهرباء .

(7) ينصهر عند درجة 660°م ودرجة غليانه تكون 2056°م .

(8) له متانة ومقاومة شد كبيرة .

(9) يمكن أن يذوب فى حامض الهيدروكلوريك .

(10) ثقله النوعى يكون حوالى 2.70 .

س : ما هى استخدامات معدن الألومنيوم ؟

جـ : استخدامات الألومنيوم كالآتى :

(1) يستخدم فى صنع الدهانات فى شكل مسحوق .

(2) يستخدم فى عمل الموصلات الكهربائية .

(3) يستخدم فى صب الصلب .

(4) يستخدم فى عمل سبائك الألومنيوم وبدن السيارات وأجزاء المحركات والأجهزة الجراحية .

(5) يستخدم كعامل مختزل فى صناعة الصلب .

س : ما هى خصائص الكوبالت ؟

جـ : خصائص معدن الكوبالت هى :

(1) ينصهر عند درجة حرارة 1480°م ودرجة غلياته 2900°م .

(2) ثقله النوعى يكون 8.90

(3) لا يهاجم بواسطة القلويات .

(4) لا يتأثر بالجو الخارجى عند درجة الحرارة العادية .
(5) معدن مطاوع ومطولى .
(6) معدن مغناطيسى ويمكن أن يحتفظ بخصائصه المغناطيسية حتى درجة حرارة تصل إلى حوالة 1100°م .
(7) معدن أبيض لامع .
(8) إذا تم تسخينه إلى درجة الإحمراء فيتحول إلى بخار .

س : ما هى خصائص النحاس (النحاس الأحمر Copper) ؟

جـ : خصائص النحاس كالآتى :
(1) ينصهر عند درجة حرارة 1083°م ودرجة غليانه تكون 2300°م .
(2) ثقله النوعى يكون 8.92 .
(3) معدن مطاوع ومطولى ورخو بدرجة كبيرة .
(4) لا يهاجم بواسطة الماء عند أى درجة حرارة .
(5) لا يهاجم بواسطة الهواء الجاف ولكن الهواء الرطب يؤدى إلى تغطيه سطح النحاس بطبقة خضراء .
(6) يمكن أن يهاجم بواسطة البخار عند حرارة التبخير .
(7) موصل جيد للحرارية والكهرباء .
(8) يمكن أن يعمل فى الحالة الساخنة أو الباردة ولكن لا يمكن لحامه .
(9) يصير هش بمجرد الوصول إلى الدرجة التى قبل درجة انصهاره مباشرة .
(10) له لون بنى مائل للإحمراء متميز .

س : ما هى خصائص الرصاص ؟

جـ : خصائص الرصاص هى :
(1) لا يهاجم بواسطة الهواء الجاف ولكن الهواء الرطب يأخذ البريق المعدنى اللامح وينتج عن ذلك طبقة واقية داكنة على سطح المعدن .
(2) يتحول إلى لثارج (أول أكسيد الرصاص) عندما يتم تسخينه بدرجة كبيرة مع تواجد الهواء أو الأكسجين .

(3) هو معدن لامع بلون رمادى مائل إلى الزرقة .
(4) ينصهر عند درجة حرارة 327.5°م ودرجة غليانه هى 1620°م .
(5) يترك أثر على الورق .
(6) يمكن قطعه بسكين .
(7) له استعصاء بسيط .
(8) يمكن ذوبانه فى حامض النيتريك المخفف .
(9) معدن رخو جداً ولدن وغالبًا يكون مجرد من المرونة .
(10) ثقله النوعى يكون 11.36 .

س : ما هى خصائص المغنيسوم ؟

جـ : خصائص المغنسيوم كالآتى :

(1) إذا تم تسخيه بدرجة كبيرة فيمكن أن يتحول إلى بخار .
(2) إذا كان على شكل جزيئات دقيقة فيكون على استعداد للحرق وبسهولة .
(3) ينقل الحرارية بعيداً بسهولة .
(4) هو معدن أبيض فضى له لمعان عالى .
(5) معدن مطولى ومطاوع .
(6) لا يتأثر بالقلويات .
(7) درجة انصهاره هى 651°م ويغلى عند درجة 1110°م .
(8) له معامل تمدد حرارى عالى .
(9) يحترق عندما يتم تسخينه فى الهواء مع ضوء أبيض مائل للزرقة وهو غنى بدرجة كبيرة بالأشعات فوق البنفسجية .

س : ما هى خصائص النيكل ؟

جـ : خصائص النيكل كالآتى :

(1) هو معدن أبيض رمادى لامع .
(2) لا يهاجم بواسطة القلويات المنصهرة .
(3) هو معدن صلد ومطاوع ومغناطيسى .

(4) ذات مقاومة متوسطة لعوامل الجو الخارجى ويصبح عاتم بعد فترة طويلة .
(5) له إمكانية أخذ صقل عالى ويمكن لحامه بسهولة .
(6) إذا كان شكل مسحوق دقيقة فيمكن أن يمتص الـهيدروجين لدرجـة تصل حوالة 17 مرة مثل حجمه .
(7) إذا تم تسخين النيكل للإحمرار فيمكن أن يتحول إلى بخار .
(8) هو فى الدرجة الأقل من الحديد من حيث الموصلية الكهربية .
(9) له درجة حالية فى مقاومته للتآكل الكيميائى .
(10) ثقله النوعى 8.90 وينصهر عند درجـة 1452°م ودرجـة غليانـه هـى 2900°م .

س : ما هى خصائص القصدير ؟

جـ : خصائص القصدير كالآتى :
(1) يقاوم التآكل الكيميائى الناتج من الأحماض .
(2) ثقله النوعى هو 7.31 .
(3) معدن رخو ومطاوع .
(4) لا يهاجم بالماء النقى .
(5) لا يتأثر بالهواء الجاف .
(6) يذوب فى حامض الهيدروكلوريك فى وجود الهيدروجين .
(7) معدن أبيض مع لمعان براق .
(8) ينصهر عند درجة 231.5°م ويغلى عند درجة 2260°م .
(9) عند تسخينه إلى درجة حرارة حوالى 200°م يصبح هش .

س : ما هى خصائص الزنك ؟

جـ : خصائص الزنك هى :
(1) يهاجم بدرجة تتلفه وتدميره يكون بواسطة الحامض والمـاء السـاخن والماء المالح .
(2) يحب أن يكون خالى من الجير والمواد الكالسيه .

(3) يحدث التأثير الجلفانى ويبدأ ويدمر الزنك بسرعة عندما يتلامس مع الحديد والنحاس أو الرصاص مع تواجد الرطوبة .

(4) ثقله النوعى 7.14 .

(5) يقاوم التآكل الكيميائى .

(6) لا يتأثر بالماء النقى .

(7) لا يتأثر بالهواء الجاف .

(8) موصل جيد للحرارة والكهرباء .

(9) يكون هش عند درجة الحرارة العادية .

(10) معدن لونه أبيض مائل للزرقة .

(11) ينصهر عند 419.4°م ويغلى عند درجة 907°م .

(12) يمكن سحبه إلى أسلاك ويدلفن إلى ألواح فى معدل درجة حرارة من 100°م إلى 150°م .

(13) يحترق بلهب ذات لون أبيض مائل للأخضر عندما يتم تسخينه فى الهواء .

س : ما هى مكونات سبيكة الألومنيوم ديورالومين ونسبه المئوية ؟

جـ : مكنات السبيكة بالنسبة المئوية كالآتى :

ألومنيوم	٪94.00
نحاس	٪4.00
مغناسيوم	٪0.5
منحنيز	٪0.5
سيليكون	٪0.5
حديد	٪0.5
الإجمالى :	٪100

س : ما هى مكونات سبيكة Y بالنسبة المئوية ؟

جـ : مكونات سبيكة Y بالنسب المئوية كالآتى :

ألومنيوم	٪92.5
نحاس	٪4.00
نيكل	٪2.00
مغنسيوم	٪1.5
الإجمالى	٪100

س : ما هى أهم سبائك الألومنيوم ؟

جـ : سبائك الألومنيوم هى :

(1) الدورال Aldural .
(2) برونز الألومنيوم .
(3) ديورالومين .
(4) سبيكة Y .

س : ما هى مكونات سبيكة الفضة مع النيكل بالنسب المئوية ؟

جـ : مكونات سبيكة الفضلة والنيكل بالنسبة المئوية هى :

نحاس	من	50	إلى	٪80
زنك	من	10	إلى	٪30
نيكل	من	20	إلى	٪30

س : ما هى أهم أنواع سبائك الصلب الشائعة ؟

جـ : أنواع سبائك الصلب الشائعة هى :

(1) صلب المولبيدنوم والكروم .
(2) صلب الآستينلس ستيل النيكل والكروم .
(3) صلب النيكل والكروم .
(4) صلب الكروم .
(5) صلب الفاناديوم والكروم .
(6) صلب الكوبالت .
(7) صلب النحاس .
(8) صلب المنجنيز .
(9) صلب المولبيدنوم .

(10) صلب الموليبدنوم والكروم والنيكل .
(11) صلب الموليبدنوم والنيكل .
(12) صلب النيكل
(13) صلب التنجستين .
(14) صلب الفاناديوم .

س : ما هى خصائص الزجاج ؟

جـ : خصائص الزجاج هى :

(1) يمكن تعديل أو تغيير بعض من خصائصه مثل الانصهارية والصلادة ليناسب الأغراض المختلفة .
(2) ليس من السهل أن يهاجم بواسطة الوسائط الكيميائية العادية .
(3) لا يتأثر عادة بالهواء أو الماء .
(4) الزجاج هش بدرجة كبيرة .
(5) يمكن تشغيله بطرق عديدة ويمكن نفخه وسحبه أو كبسه .
(6) سلوكه أكثر كمادة مصمتة عن معظم المواد المصمته الأخرى التى لها نفس المرونة . ولكن عندما يزيد حد المرونة فإنه ينكسر بدلاً من أن يتشوه .
(7) يمكن الحصول بألوان جميلة .
(8) عازل ممتاز للكهرباء عند درجات الحرارة العالية نتيجة لأن الزجاج يعتبر سائل أيونى .
(9) يتأثر بالقلويات .
(10) ليس له درجة انصهار عالية .
(11) ليس له تكوين بللورى محدد .
(12) يمتص ويعكس وينقل الضوء .
(13) يمكن الحصول على أنواع من الزجاج بخصائص مختلفة .
(14) من الممكن لحام أجزاء الزجاج بواسطة الصهر .

(15) عندما يسخن الزجاج فإنه يصبح رخو ويزيد من الرخوة مع ارتفاع درجة الحرارة . وعند الدرجات القصوى يمكن أن يتحول إلى سائل . وهذا السائل عندما يسمح له بأن يبرد يمر بكل درجات السيولة . وهذه الخاصية للزجاج تجعل عملية تصنيعه سهلة . ويمكن أيضًا تشكيله لأدوات بالشكل المطلوب .

(16) نتيجة للتقدم فى علم إنتاج الزجاج أصبح من الممكن صنع زجاج أخف من الفلين أو أكثر ليونة من القطن أو أقوى من الصلب .

الفهرس Index

الموضوع	رقم الصفحة
- تصنيف المعادن (المعادن الحديدية وغير الحديدية والسبائك)	3
- صناعة الحديد والصلب	5
- التفاعلات التى تحدث فى الفرن العالى وتحليل عينة لتماسيح الحديد .	6
- عملية القلب المفتوح	7
- عملية بسمر والعمليات الحديثة	8
- الحديد الزهر ـ الميتالورجيا المبسطة للصلب والحديد الزهر	11
- الحديد المطاوع واستخداماته والسبائك الثنائية للحديد	14
- أنواع الصلب الكربونى	15
- أنواع الصلب السبائكية	17
- أنواع الصلب	20
- تأثير العناصر السبائكية على درجة حرارة التحويل ومعدل درجة التبريد الحرجة	21
- المعادن غير الحديدة والسبائك	22
- التخطيط البيانى لتوازن الحديد والكربون	26
- المعالجة الحرارية للصلب	27
- التلدين والغرض من التلدين	28
- المراجعة الحرارية والتصليد والتطبيع	29
- التكور والمراجعة الشديدة والحماية السطحية فى المعالجة الحرارية ...	30
- المعالجة الحرارية لأنواع الصلب سريع القطع	34
- المواد غير المعدنية	35
- خصائص المواد	40
- اختبارات المعادن	43
- العوامل التى تؤثر فى درجة حرارة التحول ـ اختبار الزحف والكلل	52
- أنواع انعكاس الإجهاد	55
- الاختبارات غير المدمرة	56
- تشكيل المعادن	59
- لحام المعادن	61
- الفرق بين اللحام بالنحاس واللحام بالسبيكة والقطع بالغاز	68
- خصائص المواد التى تدخل فى تصنيع الصلب سريع القطع	70
- جداول تحليلات الصلب	71
- خصائص المعادن والسبائك	72

الموضوع	رقم الصفحة
- أسئلة موضوعية وأجوبة عما سبق شرحه	73
- مقاومة المواد	83
- أنواع انفعالات	86
- المرونة وحد المرونة ، قانون هوك ، معامل يونج للمرونة	89
- الإجهادات فى القضبان المركبة	90
- الإجهادات الحرارية والانفعال	91
- نسبة بواسون ، العلاقة بين ثوابت المرونة	93
- دائرة موهر	95
- الرجوعية	96
- الخصائص الميكانيكية للمعادن	98
- سلوك المعادن المطولية	99
- مراكز الثقل والعزوم	101
- نظرية المحور المتوازى وعزوم القصور الذاتى	102
- نظرية المحاورة المتعامدة	103
- عزوم الانحناء وقوى القص والأعتاب	104
- أنواع التحميل	106
- الهيكل وتصنيف الهياكل	109
- طرق إيجاد القوى وإجهادات الانحناء فى العتب	110
- الانحدار	113
- مسامير البرشام والوصلات المبرشمة	115
- أنواع انهيار وصلة البرشمة	119
- تصميم الوصلة المبرشمة	121
- نظرية نظرية لأم للأسطوانات السميكة ، اللى فى الأعمدة	123
- مقاومة العامود	125
- القص الالتوائى والانحناء المركب فى القضبان المستديرة والأعمدة	127
- اليايات	128
- الأعمدة والقوائم الانضغاطية	131
- نظرية أيولر للعامود	133
- معادلة رالكين جوردون	135
- معادلة جونسون للحمل والأمان	136
- أسئلة وأجوبة على مقاومة المواد	137
- أسئلة عامة وأجوبتها	153