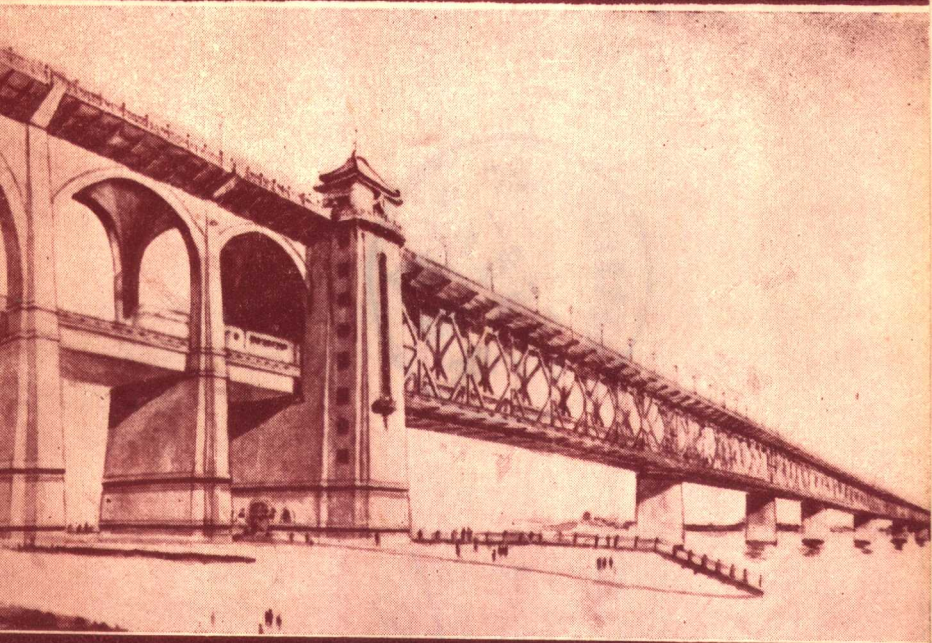


材料強度的科学

〔苏联〕Ю.М.巴格达諾夫 著



中華全國科學技術普及協會出版

材料強度的科学

(苏联) Ю. М. 巴格達諾夫著

王謙生 沈实初译

中華全國科学技術普及協會出版

1956年·北京

出版編號: 253

材料强度的科学

НАУКА О ПРОЧНОСТИ

原 著 者: Ю.М. БОГДАНОВ
原出版社: ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО ТЕХНИКО-ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

譯 者: 王 謙 生 沈 实 初
校 閱 者:
責任編輯: 刘 玉 佩
出 版 者: 中華全國科学技術普及协会

(北京市文津街3號)

北京市書刊出版業營業許可證出字第053號

發 行 者: 新 華 書 店
印 刷 者: 北 京 市 印 刷 一 厂

(北京市西便門南大街乙1號)

開本: 31×43 1/4 印張: 1 1/2 字數: 27,600
1956年4月第1版 印數: 15,500
1956年4月第1次印刷 定價: (7)1角7分

目 次

緒論	1
到金屬內部去遊覽	2
为什么固体不散开	3
怎样測定內力	6
內力强度的測定	8
拉力試驗	11
刀刃和湿土塊	14
根据材料的硬度來決定强度	22
应力可以看得見嗎	24
安全系数	27
兩種簡單形变的相同点和不同点	31
弯曲	33
型式節約了材料	35
弯曲变为拉伸和壓縮	38
渦輪机的軸	41
冲击强度	44
金屬也会「疲劳」嗎	47
金屬蠕動	52

緒 論

本書敘述了有关材料强度的基本科学知識，也就是关于材料力学方面的基本知識。材料力学能帮助科学家和工程师們能建造坚固、耐用和輕巧的机器和建筑物。國民經濟各部門的結構工程师在自己的工作中，都遵循着材料力学的定律。

第十九次党代表大会在关于 1951——1955 年苏联發展國民經濟的第五个五年計劃的指示中，向苏联机器制造者提出了一个任务，就是制造出來的新机器，不僅要質量高，而且要重量小。如果減輕机器的重量就可以为國家節省大量的金屬材料，同时，使机器更經濟，效能更高。例如：汽車造得愈輕，它运載的有效承載量就愈大。減輕机器的重量必須和提高質量相結合起來。但是完成这个任务並不是这样簡單的。强度是一切机器的重要性質之一。机器的另件可以造得足够的大，但这种机器就变得很笨重，而且工作效率亦会更差。正因为如此，所以在整个机器制造發展史上，一直为制造輕巧而坚固的車床、發动机、火車头和其他机器進行着斗争。材料力学就是这

个斗争的武器。

制造步行式挖土机长臂的历史就是一个很好的例子。在65公尺长臂的一端要装置着一个沉重的土斗，土斗和所装载的泥土重量共约45吨。计算指出，在这样长的长臂和这样大的载重情况下，长臂的重量当不小于90吨，而这样的重量就会使挖土机翻倒。

为了增加挖土机的稳定性，就要加上一个平衡锤。然而，这样就大大地增加了机器的重量。我们要制造更轻便而且坚固的步行式挖土机的长臂。乌拉尔机器制造厂的工程师们利用了材料力学的定律，制成了一种重60吨的新颖的长臂结构。在减轻重量方面取得胜利，不但节约了金属材料，还使机器更加灵活，效能更高。

为了弄清楚控制挖土机长臂的钢材，砌造房屋墙壁的砖及桥拱内混凝土的作用的规律，就必须研究这些材料的性能。建筑材料种类非常多。在我们这本小册子里不可能叙述他们所有的性能。因此，我们仅介绍金属的某些性能。仅仅为了了解：当机器和建筑物受到各种力而发生作用时，金属本身如何变化的知识。

到金属内部去游览

用特制的显微镜在金属的表面，可以看见许多互相紧密地毗连着、各种形状和大小不同极细小的颗粒。这是什么颗粒呢？它们的性能又是怎样的呢？

X射线（波长极短的电磁波）可以帮助我们揭露金属的本质。

X 射綫和別的光一樣在通過各種介質的時候能夠折射、被吸收和反射。此外，它還能透過一般光綫所不能透過的物體。

我們把一塊不大的金屬薄片放在照相底片上。使 X 射綫的平行光束照在薄片上。X 射綫穿透金屬層被物質的原子擴散，並落在照相底片上。

假使金屬薄片內的原子分布得毫無規則，那末，X 射綫的擴散就和透過毛玻璃的光綫的擴散一樣。但從顯影後的底片上可以看出，透過金屬的 X 射綫畫出清晰的圖形。這張圖正說明顆粒中的原子排列得並不紊亂，且在相互間一定的距離上有着嚴密的次序。

原子有規則地分布可以作為結晶體的特徵。所以在顯微鏡下看到的顆粒是結晶體，而金屬是結晶體的物質。

為什麼固體不散開

為什麼固體不散開呢？為什麼結晶體內原子的分布有一定的距離呢？這是由於在結晶體內原子之間有互相吸引和互相排斥的力起着作用（相互作用力）。只要稍微改變原子間的距離，那末相互作用的力就發生了變化。

固體內有些分子常是這樣分布的，它們之間的相互作用力等於零，也就是吸引力和排斥力互相平衡。如果使一部分分子接近，排斥力就增加，排斥力要使分子恢復其原來的位置。反之，如果要使一部分分子分開，相互間的吸引力就增加。但結晶體內原子的吸引力和排斥力具有電的性質*。

* 詳見國立技術出版社出版科學大眾叢書，A.И.基達伊高拉斯基教授著「結晶體」。

請你把鋼尺輕輕地彎一下。在你的力量作用下鋼尺就改變自己的形狀。這是由於原子間距離的改變，鋼的結晶體內就發生原子的相互作用力。在彎鋼尺時，我們感到這種力量在反抗彎曲。

所有物體的大小或形狀的改變（包括直尺的彎曲）稱為變形。變形時物體受兩種力的作用——內力和外力的作用。變形時原子間發生的力稱為內力。而像我們的手作用在尺外面的力稱外力。

在外力作用下所有的固體物質都改變自己的形狀，只是改變的程度不同。固體的變形到處都能見到。例如：貨物的重量使起重機的鋼索伸長，不過肉眼看不見。氣體的壓力沖擊活塞時，發動機的連杆發生壓縮。牆內的磚頭在受房屋上層部分重量的作用下受到壓縮。壓力機的壓力將薄鋼板剪成鋼條。水壓力轉動渦輪機情況下，使水力發電機的軸發生扭轉。汽車的萬向軸把能量從發動機傳到主輪時，萬向軸也發生扭轉。在車身的重量和車廂里的貨物的重量作用下，汽車的彈簧發生彎曲。在車床上旋軸時，切削刀刃的壓力使軸發生彎曲。

機器和建築物的零件常承受各式各樣的，有時是非常複雜的變形。正像十個（1, 2, 3……）數目字的各种組合可以表示任何數字一樣。最複雜的變形可以看做為幾個簡單變形的總和。拉伸、壓縮、剪移、扭轉和彎曲都是簡單變形（圖1）。但是所有簡單的變形都是兩個基本的變形的各种組合。這兩種基本變形是直線方向的伸長、縮短、和角度的改變。這由簡單的試驗可以證明。

取一塊橡皮，並在上面画上許多點子（如圖2上）。我們

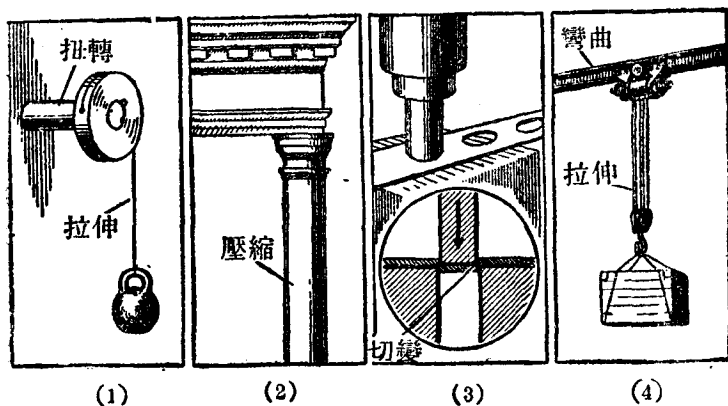


圖1 最簡單的变形种类。

把橡皮拉長，点子所組成的正方形变成了長方形(如圖2下)。这种現象發生的原因，是由於材料在縱向伸長，而在橫向收縮。

現在請看註有①②和③④字样的兩個斜行。从圖中可以看

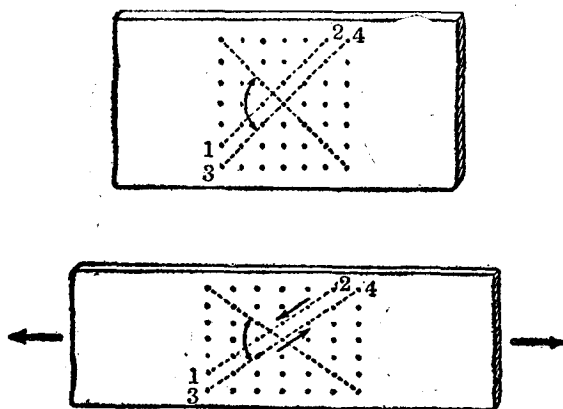


圖2 板的拉伸引起縱向的伸長，橫向的縮短及斜向的切變。對角綫相交的直角变为銳角証明有切變的存在。

出，在变形以前这两排的点子擺成象棋盤式的陣局。拉長破坏了这种陣局；这两个排列在下圖箭头所示的方向發生了相对的錯动。

在上面的圖中可以明顯看出，正方形对角綫相交成直角。变形后則成銳角。根据角的变化可以判定錯动的大小，錯动愈大，角变化也愈大。注意：水平綫和垂直綫所成的直角在变形时沒有改变，因为無論在縱向或橫向都沒有切变。

不管机器或建筑物的零件發生什么变形——扭轉或拉伸、压縮或弯曲——零件的材料不僅有拉伸或压縮，而且还有錯动。这两种基本的变形总是互相伴随着的。

怎样測定內力

內力是由於外力作用於固体引起任何的变形的經常的伴随者。

我們已經知道內力是材料原子間的相互作用力。怎样來測定这些力量呢？难道能数清或測出每一个原子和無數鄰近原子的相互作用力嗎？

不能，由於力学的基本定律和簡單实验的結果可以幫助我們來決定內力的大小。其中一些实验，讀者可以毫無困难地親自進行。

我們現在來解一个最簡單的求內力的題目。在工程現場上常常遇到类似的問題。几乎在每一个多層建筑中都可以看見塔式起重機把磚籠、梁、板、屋頂和其他重的东西吊到几層樓高。起重機鈎子上套着掛有重2噸多的鋼筋混凝土板的繩子。重物吊在鋼纜上以后，小旗一揮，板就平穩地向上升起。板的重量

使鋼纜受拉而變形。

割斷鋼纜並用測力計連接割斷部分，就很容易測定鋼纜的內力(圖3)。測力計的指針告訴我們鋼纜割斷處內力的大小。但鋼纜並不一定要被切斷，我們可以想像地把它切斷。現在我們應用力學上的一個基本定律：物體處在靜止或等速運動的狀態時，所有作用於這物體上的外力互相平衡。我們把這個定律用在鋼纜切斷截面以下的部分。

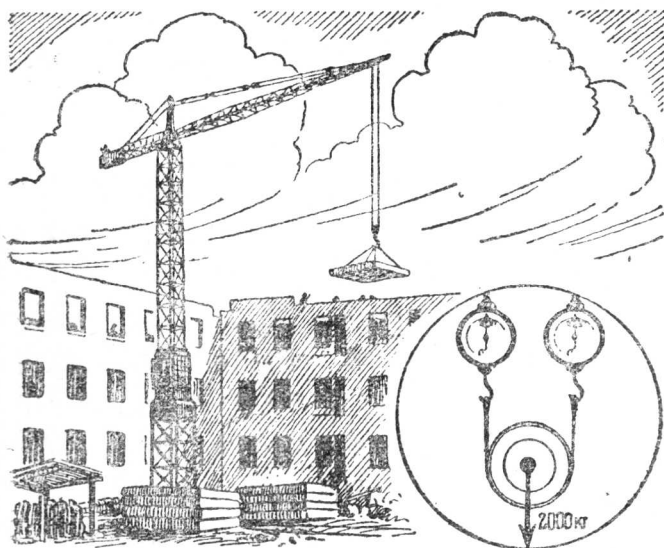


圖3 當提昇 2000 公斤的重量時，起重機的每根鋼纜的橫截面內有 1000 公斤的內力。

板以 2 噸的力量拉鋼纜，這個力量和左右兩根鋼纜的內力互相平衡。很容易理解，左右兩根鋼纜的內力相等，否則，鋼纜就要在掛鉤的滑輪里滑動。因此，每根鋼纜有着等於板重的

一半（即 1000 公斤）方向向上的內力。

利用力的平衡定律可以決定，受各種不同荷重的機器或建築物各部分的內力。

上述的方法很簡單，但是單靠這種方法並不經常都能滿足。關於材料強度的科學——材料力學——給工程師許多其他的解決辦法。關於這些解決辦法，因為它們比較複雜，我們在這裡將不再敘述。

求出內力的大小以後，還要確定材料會不會被這些力所破壞。不然，機器和建築物的可靠性如何，就沒有把握了。

內力強度的測定

我們已經說明，內力是由無數原子之間的相互作用力所產生。因此，按內力的性質來看，內力是分布的力，就像作用在機器活塞上的蒸汽壓力一樣。

然而，內力與壓力相似之處除此就再沒有了。活塞表面上任何一部分的蒸汽壓力都相等，但我們在後面所遇到的內力則相反，它隨變形（拉伸、扭轉和彎曲等）的性質以各種不同的形式分布在截面上。為了考慮內力的分布，就要測定「分布的密度」，也就是這個內力的強度。

內力強度的大小稱為應力，換句話說，就是單位面積上內力的大小稱為應力。

顯然，力可以用公斤(kg)來衡量，面積用平方公分來衡量。因此應力可用分布在一平方公分(cm^2)面積上的公斤數來衡量。

應力的大小可根據內力的大小，截面的大小和應力分布的特徵來確定。

应力同内力和外力一样，也根据大小与方向來区别。

垂直於截面（成 90° 角）的应力称垂直应力。假使应力的方向与截面平行（角度等於零），將应力称为切应力。垂直应力是拉伸和压缩变形的必然伴随者。切应力發生在有剪应变的地方（圖4）。

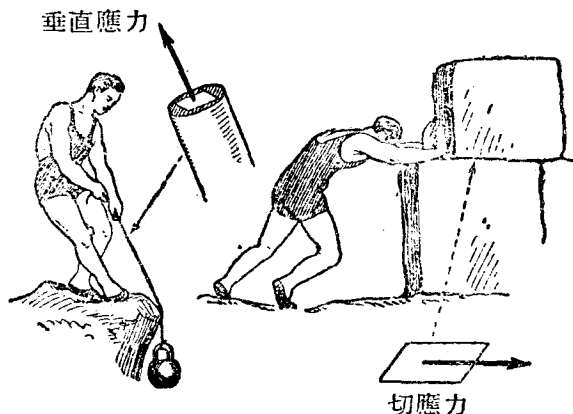


圖4 垂直应力和切应力。

未來的機器和建築物的零件受外力作用時，零件會發生什麼应力呢？這個問題

對結構工程師來說是

很重要的。在我們的

算例中，已經定出起

重機鋼纜橫斷面內力

的大小和方向（見圖3）。但我們還不知道鋼纜將承受什麼应力。現在來做一個簡單的試驗以解決這個問題。

取一塊橡皮，在橡皮上畫幾條等距離的橫綫（圖5）橡皮

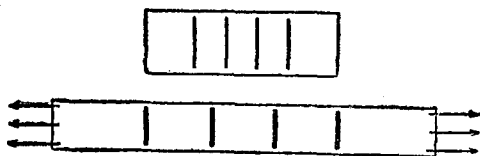


圖5 拉应变。

被拉長以後，我們看見綫與綫之間的距離增加了。但和以前一樣還是幾條橫的直綫，這意味着橡皮的表面所有縱向纖維的伸長是相同的。自然也能假定橡皮內部所有縱向纖維的伸長也相同。因此，可以得出結論：當橡皮受拉時內力均勻地分布在橫截面上，也就是說截面上各點的應力相等。不難理解，在這種情況下求應力時，只要把內力除以橫截面面積就行了，即利用簡單的公式就可以求得受拉鋼纜橫截面上的應力。

$$\text{應力} = \frac{\text{內力}}{\text{橫截面面積}} \quad \text{kg/cm}^2$$

我們假定起重機鋼纜的橫截面面積為 2 平方公分（見圖 3）則：

$$\text{應力} = \frac{1000 \text{ kg}}{2 \text{ cm}^2} = 500 \text{ kg/cm}^2$$

根據應力的方向我們知道這是垂直應力，即應力的方向垂直於截面。

用這個公式可以求得受內拉力或內壓力作用（平均分布）的機器和建築物的各種零件的應力。只不過必須考慮到受壓時易彎的構件（細長的構件）可能發生彎曲。像把細長的尺豎放着，用手在上面壓，尺就生彎曲。當發生這種彎曲時我們的公式就不適用了。

我們已經求出鋼纜橫截面上的應力大小。但它還不能說明鋼纜的強度。鋼纜能不能經受這個應力呢？沉重的板對鋼纜來說可能是不能勝任的荷重，那末，受拉後鋼纜就斷了。這正像一根弦綫甚至連把重物提高地面都不可能一樣。也可能相反， 500 kg/cm^2 的應力也許沒有發揮鋼纜的效能，那麼不就应该選用

更細，更輕便，價格更低廉的鋼纜。

材料強度與材料其他性質的一些知識回答了工程師在設計時所發生的這一些和其他許多的問題。這些知識在專門試驗室中用試驗方法而獲得。

拉力試驗

研究材料強度的試驗室和工廠的車間有些相像。在試驗室里也放置着許多各種不同的試驗機和儀器。其中有能力達到數十噸的水壓機，也有小而靈敏的儀器——能觀測萬分之一公厘變形的伸長計和光學設備，這些設備能攝制複雜桁架構件內的應力分布的明晰的照片。

機器的種類很多，它們的用途也各不相同，但它們都幫助完成共同的任務——確定材料的機械性能。這些性能工程師在以后設計機器或建築物時必須要用的。

根據金屬試件的拉力試驗，能確定金屬的最重要的機械性能。這種試驗在專門的壓力機上進行。現在各地都採用萬能螺旋壓力機（圖6）。這種壓力機的創造是俄國著名的研究家安得烈·格里戈爾耶維奇·加加林的功績。這種壓力機是最好的試驗機之一。利用這種壓力機不僅能試驗材料的抗压強度，只要裝上簡單的裝置，就又能試驗抗拉強度、抗撓強度、抗扭強度。例如：試驗試件的抗拉強度時，只要裝上逆轉裝置（如圖6左上角所示）就行了。

一 擰開電門通電以後，電動機轉動壓力機的大螺帽。旋在螺帽里的螺旋就下降，並壓着按上鋼試件的逆轉裝置。被試驗的試件就拉長了。自動裝制記錄壓力機所達到的力量和試件的

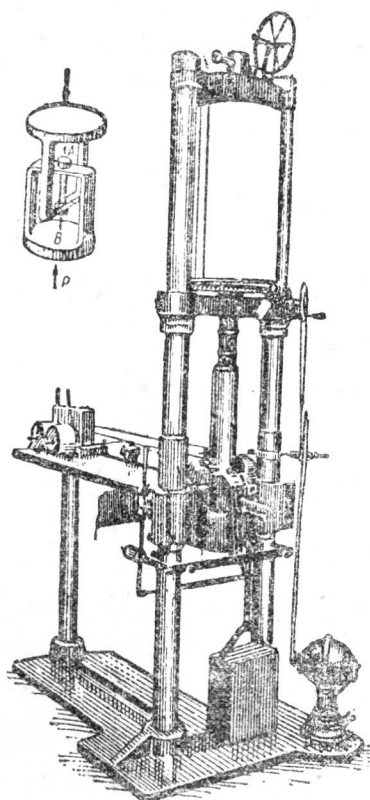


圖6 加加林式万能螺旋压力机。
小圖中是夾在逆轉裝置上的試件。

形变。在螺帽上装着一个捲筒，筆尖在捲筒周圍的紙上画出表示力和形变相互变化的曲綫。在試驗时自动画出的圖形称为拉伸圖。伸長愈大，捲筒的旋轉就愈快，压力机發出的压力愈大，筆尖的上昇愈快。这样，筆尖上下地移动着，就在紙上画出一条曲綫，此曲綫准确地記

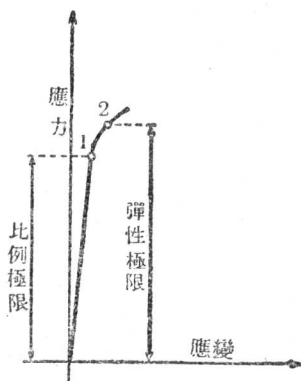


圖7 拉伸圖上的比例極限及彈性極限。

錄出試驗时所發生的應力和形变的变化。

你們在圖7上所看見的直綫表示應力与形变按正比增加。形变愈大，應力也就愈大，即随着應力的增加也即随着荷載的增加，形变也相应的增大了。顯然材料的應力和形变的大小是

互相緊密地連系着的。

現在我們來看，在試驗過程中所畫出的曲綫。金屬的形變在增加，應力也同時增加。當捲筒還轉得很少的時候，而筆尖已經差不多昇到紙條的一半高度，畫出一條筆直向上的直綫。

我們舉例來說明這個現象。旋工旋軸的時候，在車刀的壓力下配件發生彎曲。机床工加大進刀時，刀刃壓在配件上的壓力也就增加。這樣，壓力增加一倍，軸的撓曲也增加一倍。壓力增加兩倍，撓曲也增加同樣的倍數。這種規律性也反映在圖中的向上延伸的直綫。荷載增加，形變也按比例增加。

但圖形突然改變了。在①點直綫開始彎曲。這是應力與形變間正比關係破壞的標誌。應力與形變間比例規律失效時的應力稱為比例極限。各種材料的比例極限的數值都不相同。

當應力尚未超過比例極限時，應力與伸長率* 的比值是常數。這個比例常數稱為材料的彈性模量。

彈性模量是材料非常重要的特徵。它表示材料的剛性，也就是金屬抵抗荷載的變形作用的能力。彈性模量愈大，材料的剛性就愈大。我們用鋼及銅兩種材料來說明這一點。

在試驗鋼和銅的時候，可以發現在同樣應力時，鋼條的伸長率只有銅的一半。這就意味着要讓鋼產生形變比較難，也就是說，鋼比銅的剛性大。的確，鋼的彈性模量比銅的彈性模量約大一倍。鋼是非常剛硬的材料。甚至當試件的應力已經達到比例極限時，試件的伸長还是非常小，眼睛是完全不會看見的。

* 試件受拉時發生的伸長和原長度的比值稱為伸長率。換句話說，這是試件每長一分的伸長。