



强度与形状



科学出版社

强度与形状

尹守山 编译

冶金工业出版社

1974

内 容 简 介

本书是中级科普读物，通俗地介绍了有关材料和强度的基本知识，涉及金属学、材料力学、结构力学、建筑学以及有关机械制造工艺等方面的内容。可供工农兵、干部、学生及知识青年阅读

强 度 与 形 状

尹守山 编 译

•
科 学 出 版 社 出 版

北京朝阳门内大街 137 号

国 营 五 二 三 厂 印 刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

•
1974 年 12 月 第 一 版 开本: 787×1092 1/32

1974 年 12 月第一次印刷 印张: 2 1/2

印数: 0001-48,860 字数: 47,000

统一书号: 15031·82

本社书号: 361·15-10

定 价、 0.22 元

目 录

物体的构成.....	(1)
单晶体和多晶体.....	(7)
材料和零件.....	(24)
零件和形状.....	(54)

34532

物 体 的 构 成

地球上的一切物体都是由不同的元素组成的，每种元素又都是由许许多多化学性质相同而体积极小的原子组成的。一个原子的体积小到什么程度呢？我们用一根头发来作比喻：假如这根头发是圆的，它的横断面无论怎样小，总是会有一个直径。像这样小的头发直径，却是原子直径的五十万倍到一百万倍，可见原子的直径是多么的小。

原子虽然这样小，但它也是由各种更加微小的“基本粒子”构成的。这些“基本粒子”中，有带正电的质子，有带负电的电子，还有不带电的中子。构成原子的这些粒子到底有多大呢？有的比原子小数千倍，只有原子数千分之一那么大；有的则比原子小数万倍，只有原子数万分之一那么大。原子中的质子总是和电子一般多。按它们的绝对值来说，质子的正电荷总是和电子的负电荷相等。正是由于这个原因，整个原子是中性的。

原子中有原子核，原子核是由质子和中子构成的，电子永恒地按着一定的轨道有规律地围绕这个原子核运动，就像天空的行星围绕着太阳运动一样。

现在我们来研究一下两个原子互相之间会发生什么作用。为了便于说明问题，假设每一个原子都是由一个质子和一个围绕着它而运动的电子构成的。

我们知道，同性的带电物体是互相排斥的，异性的带电物

体是互相吸引的。随着两个物体之间距离的增大和缩小，它们之间电的相互作用力也就随着变化：距离大，作用力小；距离小，作用力大。假设，两个原子最初的距离很大(如物质处于气体状态中)，那么，构成这些原子的各个粒子则将处于1-a图中所示的位置。处于这种位置的两个原子，其中左侧原子中的电子吸引右侧原子中质子所用的力比它的电子斥力要大，这是因为左侧原子中的电子和右侧原子中的质子之间的距离，比两个原子各个电子之间的距离小。因此，两个原子总是想互相接近。在这种情况下，两个原子不得不少许改变一下自己的形状(见1-b图)，这就叫做极化现象。右侧和左侧两个原子中的各个异性带电粒子在自己的运动中，互相之间的距离平均比同性带电粒子之间的距离要小，也就是两个原子之间的引力大于斥力，这样，两个自由原子就开始靠近起来。

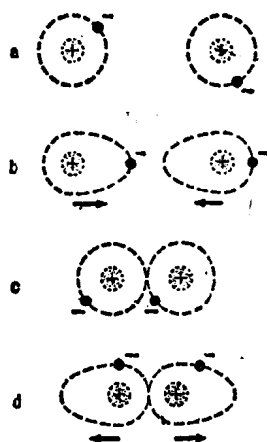


图1 两个“简化”原子之间的互相作用

最后，两个原子靠近到如此程度，以至於其中的一个电子，在某一瞬间，靠近“另一”原子的质子比“自己”原子的质子要近，并互相碰撞(见1-c图)。然后这个电子又返回“自己”的原子中去，以便以后再重新进入“另一”原子中。电子和质子之间就这样循环不停地运动。上述的这个过程叫做电子的公有化，而处于这种状态物质中的电子，叫做公

有电子。

两个原子在进一步靠近时，就开始极化(见 1-d 图)，这时，它们之间的斥力就开始大于引力，两原子互相离开。但是两个原子互相离开时，引力又重新大于斥力。就这样，上述的所有过程循环不止，两个原子永远不停地这样互相摆动着，并且随着物体温度的升高，摆动的幅度也越大。

我们以上研究的是两个“简化”原子的互相作用。实际上，物质的原子（氢除外）不只有一个质子，而是有好几个质子；也不只有一个电子，而是有好几个电子。这些原子的极化过程是比较复杂的。不同化学元素的两个原子以及各种化合物两个分子之间的相互作用，比上述的情况要复杂得多，但是，无论它们之间发生什么样的相互作用，物质的两个原子或者两个分子总是互相之间来回摆动。分子或原子之间这种摆动存在着一种平均间距。一般来说，当温度升高时，这个间距就开始增大，这就是物体受热而膨胀的原因。

固体物质原子之间的相互作用的这些特点以及原子的大小，构成了物体的各种粒子的排列顺序。

根据原子在物质内部的排列秩序，可以把一切物质分为非晶体和晶体两大类。凡是原子在物质内部处于混乱状态排列的物体，叫非晶体，如玻璃、树胶、松香等；凡是原子在物质内部作有规则有次序排列的物体，叫晶体，如石墨、盐等。

假定，物质中的第三个原子开始接近另外两个已经靠近的原子，而这些原子又有一种性能，就是每三个原子中的任何



图2 各种物质晶体的构成情况

一个原子都能够和另外两个结合在一起。第四个原子则根据晶体内各原子的不同性能首先靠近最初的三个原子并占据三个位置中的一个位置(见图2)。这些原子和这些晶体核进一步结合的方法是各有不同的。尽管原子的结合方式各有不同,但是,每一种结晶物质的各种粒子,在空间上,必然要按某一种方式有规则的周期性排列。

图3-a 是原形石英结构图。由图可以看出,只要我们知道了粒子在晶体某一地方的排列方式,也就知道了另外一些粒子在晶体任何地方的排列方式。这样,我们在晶体中观察到的是一种粒子的远排列顺序。

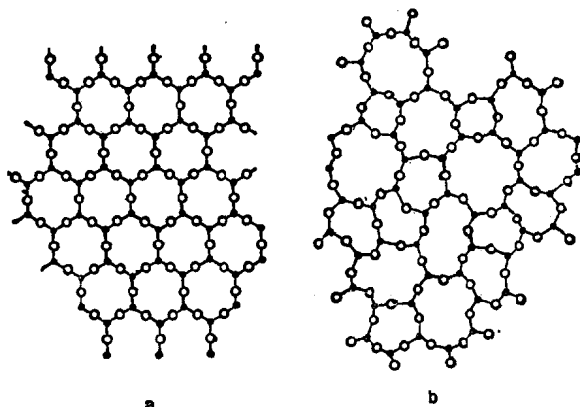


图3 石英结构图

如果我们将石英熔化,然后将它迅速冷却,那么熔化了了的石英粒子的排列就是另一种形式了(见图 3-b)。在这种情况下,石英原子的邻居是多少呢?和以前一样,没有发生变化,但是,原子的排列顺序和以前却不一样了,已经不能根据一个地方的原子排列顺序来判断另一地方的原子排列顺序了。只有在熔化过后迅速冷却的石英中可以观察到这种粒子的近排列顺序。

如果在某种物体中只能够观察到粒子的近排列顺序,这种物体就叫做非晶形物体。

晶格的结构不仅与物质本身的化学成份有关系,而且外来的因素如温度、压力等,都会对晶体的结构发生影响。

当温度升高时,构成物体的各种粒子就开始强烈地热运动,晶格的排列顺序也就会发生变化。例如,金属是机械制造业中最广泛应用的一种材料,它就是经过熔化、冷却、凝固后得到的。在室温时,铁的晶格是体心立方体的(见图 4-a),这种结构的铁叫做 α -铁。当温度为 906°C 时,由于粒子的

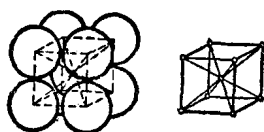


图 4-a 温度为 906°C 以下
铁的晶体结构

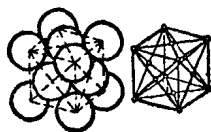


图 4-b 温度高于 906°C
时铁的晶体结构

强烈热运动,晶格开始重新排列转变成成为面心立方体的晶格(见图 4-b)。这种变形的铁叫做 γ -铁。

液体金属在冷却到熔点的过程中,开始出现一些结晶核,围绕着结晶核的一些小晶体开始长大。如果金属冷却得很缓慢,这些晶体就会成长相当大。如果冷却得相当快,那末,随着晶体的长大,在液体金属中会出现大量的新的结晶核,并且形成的晶体很小。随着温度的降低、晶体的长大,它们就开始互相发生影响,这种影响并使晶体的形状发生畸变。最后形成的这些晶粒,就构成了金属多晶体的内部结构,虽然这些晶粒可能会具有某些偶然的不规则的形状。这些晶粒叫做微晶体。

微晶体的大小是与金属从液体状态到固体状态的冷却速度有关。冷却速度如果很高,微晶体就很细,其大小可能仅有几微米,甚至更小;相反,如果冷却速度很慢,微晶体就大,而且这些微晶体会串连成组,他们的奇怪形状象冬季玻璃窗上形成的冰晶体一样。在金属中形成的这种好像树枝形状的微晶体,叫做树枝状结晶。有的大型金属铸件在低速冷却后,所产生的树枝状结晶,它的大小有时可达数十厘米。钢的微晶体一般只有数百分之一到数千分之一毫米大小。

某些结晶物质,由于外部各种因素的作用(如温度、压力、介质条件等),它们的晶格能够转变成为各种类型的晶格,能够发生这种转变的晶体叫做多晶型晶体。由一种状态到另一种状态的转变,叫做多晶型转变。

多晶型这种现象几乎所有结晶物质都可以观察到。

根据这种现象我们可以知道,某一结晶物质具有不同形状的晶格,就具有不同的性能。石墨是碳的一种存在形态

(见图5)，金刚石也是碳的一种存在形态(见图6)。扁平的石墨片互相之间很容易滑移，人们根据石墨这种

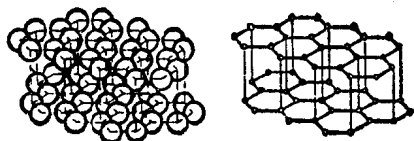


图5 石墨形态的碳结构

性能，应用它来做固体润滑剂。但是，石墨约在5万个大气

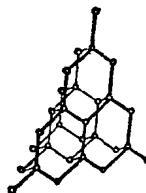
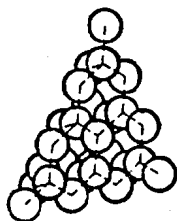


图6 金刚石形态的碳结构

压和 1300°C 的条件下，可变为金刚石晶体，它的性能却完全不同于石墨，人们为了把它的某一部份对另一部份互相移动一下，就必须破坏构成金刚

石晶格的各种粒子之间为数很多而又强度很高的结合键。这就是为什么金刚石不仅具有很高的强度，而且具有很高硬度的一个原因。人们利用它的这种性能，制成探矿的钻头和磨具等，应用于生产上。

单晶体和多晶体

首先我们来研究具有立方体晶格的单晶体截面。假定我们用两个相反方向的力去拉伸这个单晶体(如图7那样)，这时构成晶体的各个方向的粒子开始互相离开，同时，粒子之间开始产生引

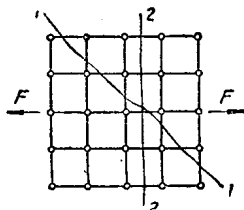


图7 拉伸时单晶体的变形情况

力，也就是晶体为了抵抗拉力而产生的力。此时，似乎是沿 1-1 线移动原子比沿 2-2 线使原子互相离开要容易。图 8 是单晶锡丝在被拉伸时其晶体各部位发生变化的情形。



图 8 用强力拉伸的单晶体锡丝

变形的单晶锡丝经过研究后证明，相邻各部位粒子之间和每一部位内部粒子之间的结合键是一样的。一些部位和另外一些部位之间发生的切变是通过变换结合键的方法实现的。并且一个部位的某一个粒子和另一个部位粒子中的一个粒子的结合键被破坏了之后，就马上和另一相邻粒子结合起来(见图 9)。

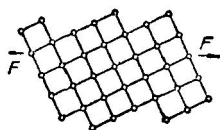


图 9 单晶体变形时，在切变部位的单晶体结构未被破坏

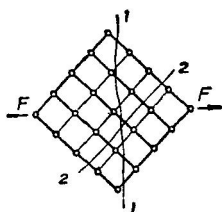


图 10 为了把晶体按图所示那样拉伸，需要与前不同的力

如果我们沿晶格对角线加上两个作用方向相反的力来拉伸单晶体(见图 10)，那么，如同图 7 一样，切变将要发生在沿 2-2 方向，而不是沿 1-1 方向。由此，可以得出结论，晶体在不同的方向具有不同的强度。除此以外，在不同的方向，不仅机

机械性能不同,而且晶体的热物理性能、电性能、磁性能以及光学性能都不同。晶体的这种性能叫做各向异性。

如果我们知道了切变部位互相作用的粒子数,也知道了一个部位的每一个粒子和另一个部位所有粒子之间的作用力,那么,晶体各部位互相之间的切变所需要的力也就可以计算出来了,晶体的理论强度也就可以计算了。

晶体的强度可用专门的仪器来测定。这种仪器是通过测量加在晶体上的力来计算的。

大多数晶体的强度在理论上都计算过,在实验中都测定过。其结果发现了一个矛盾,就是理论数据和实验数据的矛盾,即实际测量的晶体强度比理论计算的同一晶体的强度要低数百倍。

许许多多实验室中从事材料机械试验的工作者,多少年来,在创造和改进测量仪器方面以及探寻晶体强度新的试验方法方面做了大量的工作。同时,为了避免试验当中的偶然误差,同样的晶体采用不同方法在不同的仪器上进行多次试验,结果证实,测量晶体实际强度的误差不超过数千分之一到数百分之一。

试验工作者也一次又一次地审查并验证晶体理论强度的计算方法。对晶体的强度进行理论上的计算是很复杂的,这是因为构成晶体的各个粒子在不断地以不同的方式摆动着。每一个粒子不仅与相邻的各个粒子互相作用,而且也与比较远的粒子互相作用着,围绕着某一晶格的所有粒子又对这个晶格内部各粒子的相互作用产生影响。但是,试验人员终于

克服了一切困难，研究出了晶体强度的计算方法，保证了计算的精确度。可是最后还是证明，一些晶体的实际强度比晶体理论强度要低数百倍。

这个矛盾，理论强度和实际强度之间这个巨大的差别，已经成为一种主要的推动力量，促使人们对固体结晶物质的性能和结构进行新的研究：既然知道了晶体的实际强度比它的应有的理论强度低，那么，是不是可以用某种方法来提高它的强度呢？提高材料的强度能够降低机器和结构工程的重量。如果我们有可能把现在在机械制造中所应用的钢材强度不是提高很多，而是只提高十倍，那么，就可以把机械的零件重量降低到二十分之一到三十分之一，或者更多。这样，机器本身的质量也会大大提高。正是由于这个原因，在许多的试验室中，试验人员正在从事此项研究工作，研究如何提高材料的强度，尽可能地使它接近于理论强度。

为了缩小晶体实际强度和理论强度的距离，首先需要知道是由于什么原因而存在这种巨大的差别的。

让我们来看一看一些具体的试验结果吧！

在试验中发现，晶体的强度与它的体积有关：结晶物体的体积越小，强度越高。比方说，用同样的单晶体切下两根棒，其中一根棒的截面积比另外一个大十倍。是不是粗棒比细棒的强度也应高十倍呢？可是，多次精确的试验发现，与我们的想象相反，细棒比粗棒反而能承受更大的应力*。例如：拉断

* 应力是物体单位面积所承受的力。应力的单位为公斤/厘米²或者公斤/毫米²。

一根截面积为 1 毫米^2 的食盐棒，需要 0.5 公斤 的作用力，而拉断一根截面积为 10 毫米^2 同样的食盐棒，却不需要 5 公斤 的作用力。对化学纯铁的细单晶丝进行试验的结果也证明，这些单晶丝可以承受 $200,000 \text{ 公斤/厘米}^2$ 的应力，也就是说，这些单晶丝的强度比直径为 $5 \text{ 到 } 10 \text{ 毫米}$ 同样的铁棒极限强度大 100 倍 。

除此以外，也发现在晶体的表面上有用肉眼看不见的显微裂纹，这些裂纹似乎是晶体开始破裂的地方。这些微小的裂纹能够起多大作用呢？

为了回答这个问题，试验人员曾经做过有趣而简单的试验。

在食盐单晶体上悬挂一个重力锤，在它的作用下食盐棒没有断裂(见图 11)。食盐棒周围有流动的热水，食盐棒就在其中溶化。溶化的过程相当迅速，原来在食盐表层微小的裂纹被流动的热

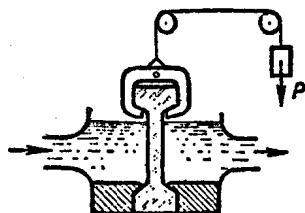


图 11 用流动热水溶化食盐晶体的试验

水消除了，新的微小裂纹还来不及形成。食盐棒在流动的热水中逐渐地溶化，逐渐地变细。最后断裂了。根据断裂时食盐棒的厚度以及重力锤的重量，计算出了破坏这个棒的应力。计算出来的应力比在空气中食盐棒断裂时所需的应力要大得多。在空气中使食盐单晶体棒断裂的应力不超过 0.5 公斤/毫米^2 ，而在流动的热水试验中，食盐单晶体棒断裂的应力为 160

公斤/毫米²，也就是比在空气中用普通断裂方法的应力要大300多倍。

这个试验的结果说明：缩小晶体体积的同时会提高断裂应力；在表面微小裂纹的影响下，会大大地降低晶体的强度。这两个结果似乎又是互相矛盾的。要知道，棒的截面积增大三倍，它的表面积（长度不变）却只增大一倍（见图12），这样在

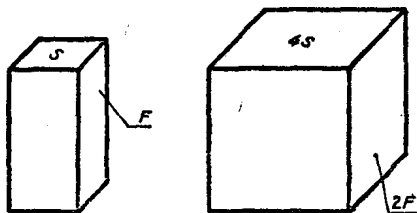


图12 把棒的截面积增大三倍，它的表面积却仅仅增大一倍

粗棒单位截面上微小裂纹的数目要少。由此，是否可以得出结论：这些微小裂纹对粗棒强度的影响要比细棒小，粗棒就应该比细棒承受更大的应力。可是无数的

实验证明，结果正相反，细棒比粗棒却能够承受更大的应力。这些矛盾可以说明不仅在单晶体的表面有缺陷，而且在单晶体的内部也有。内部有什么缺陷呢，这些缺陷在单晶体中是怎样形成的呢？

我们来研究一下上述食盐的晶体结构（见图13）。食盐是氯和钠的化合物。一个带负电的氯原子被六个带正电的钠原子包围着，或者说，一个钠原子被六个氯原子包围着。带异性电的钠原子和氯原子是互相吸引的。带同性电的任何两个氯原子和任何两个钠原子都互相排斥。

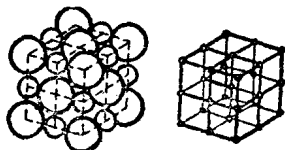


图13 食盐晶体的结构

食盐晶体的这种排列顺序，是因为其中两种粒子相互作用的结果。构成晶体的原子是很小很小的，在大小像一个标点符号这样的一小块食盐晶体中，大约有 400 亿亿个钠原子和氯原子。

这样小小的晶体是由溶液或者由分解液在以几分之一秒的极短时间内形成的。很明显，这样庞大数量的粒子，在极短的时间内，是不可能在全晶体内按应有的顺序排列。在晶体结构中存在缺陷这种现象，可以用它的单晶体在破坏时所表现的动态来说明。如果晶体中没有结构缺陷，那么在施加外力时，晶体只产生弹性变形，除掉外力以后，晶体就又恢复到原来的形状和原来的体积。

金属的实际晶体和以上的情形是不同的。开始在比较小的力的作用下，晶体产生不很大的弹性变形，以钢为例，长度的弹性变化不会超过 0.2—0.3%。

当外力继续增大时，就会产生不可逆的变形。在这个时候，改变晶体的形状和体积，就不需要再明显地增大外力。不需要增大载荷而可使物体产生变形，叫做材料的屈服性，材料开始屈服的那一点所达到的应力，叫做屈服极限。此后晶体强度又有少许增高。

再进一步增大载荷时，晶体就开始出现裂纹，这个增大的应力，叫做材料的强度极限。这时，在不增加外力，甚至外力有些降低的情况下，晶体开始破坏。晶体的最后破坏是在比强度极限小的应力下开始的，这个极限，我们常常叫做瞬时强度极限。