



金相学与热处理 常 识

冶金工业出版社

25.1
269

金相学与热处理常识

李 惠 忠 編著

3k590/10

冶 金 工 业 出 版 社

金相学与热处理常識

李惠忠 編著

《根據原中国工业出版社紙型重印）

*

冶金工业出版社出版

新华书店发行

北京印刷七厂印刷

*

开本小32 印张3 3/16 字数 66 千字

1972年10月新一版 1972年10月第一次印刷

印数00,001~116,160册

統一书号: 15062·3021 定价 (科二) 0.22 元

毛主席语录

思想上政治上的路线正确与否是决定一切的。

一个粮食、一个钢铁，有了这两个东西就什么都好办了。

说学习和使用不容易，是说学得彻底，用得纯熟不容易。说老百姓很快可以变成军人，是说此门并不难入。把二者总合起来，用得着中国一句老话：“世上无难事，只怕有心人。”入门既不难，深造也是办得到的，只要有心，只要善于学习罢了。

重 印 说 明

《金相学与热处理常识》一书，是无产阶级文化大革命以前编写出版的。为了适应我国冶金工业发展的新形势，满足广大工农兵的需要，我们重印了本书。重印时作者进行了一些修改，改正个别差错。

本书简要地介绍了纯金属和合金的内部构造，外部因素（冷却条件、变形条件）对金属、合金内部结构影响的一般规律，金属的机械性能一般知识，以及有关钢热处理的基本知识。可供从事金相热处理工作的工人、技术人员阅读。

由于我们水平有限，书中可能有不少缺点错误，请同志们批评指正。

1972.4.

30289

目 录

1. 金属.....	1
2. 金相学.....	2
3. 晶体与非晶体.....	4
4. 金属的构造.....	6
5. 金属的结合.....	8
6. 液体金属的结晶过程.....	11
7. 金属在固态下的转变.....	18
8. 金属的机械性能.....	19
9. 金属在受外力时结构和性能的变化.....	28
10. 合金的结构.....	37
11. 钢的状态图.....	42
12. 热处理.....	52
13. 钢热处理的基本原理.....	54
14. 钢热处理的种类.....	65
15. 钢的化学热处理.....	84
16. 钢的热处理缺陷的形成原因及其消除方法.....	90

1. 金 属

现在人们已经发现的元素共有 103 种，其中金属元素约占五分之四，非金属约占五分之一。

常见的金属元素有铁、铜、铝、银、金、铬、镍、钨、钼、钒、钛等等，它们之间的性能都有明显的区别。例如钨的熔点达 3430°C ；水银的熔点是零下 39°C ；钒的硬度高达 264HB，锡的硬度仅 5HB 左右；银的电阻只有 1.50×10^{-6} 欧姆厘米，锰的电阻却高达 90×10^{-6} 欧姆厘米。尽管它们之间的性能有明显的区别，但是绝大多数金属元素都有着它们共同的特点，那就是它们都能够承受压力加工，以改变自己的外形，它们都具有良好的导热和导电性能，具有金属光泽。所有这些都是与非金属元素（例如硫、氧、磷、砷、硼等）不同之点。

工业上生产的金属大多数都是将原料（矿石、金属材料）通过熔炼过程，使金属液体经过浇注而成金属锭，然后把金属锭制成一定形状机器零件，或用他们再熔炼合金。在工业上，也有一部份的金属制品，不经过熔炼，而是将矿石的粉末还原，或将金属原料粉碎，然后把粉末装入压模中进行压制、烧结，最后制成成品，例如含油轴承、硬质合金刀具等。

2. 金 相 学

在沒有回答什么是金相学的問題之前，讓我們先了解一下以下一些問題。

为什么純銅比純鉄有着較好的导电性、导热性和塑性，却具有較純鉄为低的强度和硬度？可以这样简单地回答：純銅与純鉄是两种不同的元素。

但是，为什么由相同两个元素所組成的两种合金，却表现出不同的性能呢？譬如，同是两块由鉄和碳所組成的合金，一个含碳量为0.3%（鋼），它能承受錘鍛，使其塑性变形而不破裂，因而可采用鍛造或冲压的方法来制成各种零件；另一个含碳量3.0%（生鉄），不能承受任何压力加工以改变其形状，而只能采用鑄造方法来制造零件。在性能上这一显著的区别，也可能这样来回答这个問題：虽然他們都是鉄和碳合金，但他們的化学成份（含碳量）不一样，所以表现出不同的性能。

然而，为什么同一化学成份的鉄水，一个浇注在砂模中，另一个浇注在金屬模中；前者的断口呈暗灰色，后者的断口呈銀白色；前者脆性較小，不易摔断，后者脆性很大，容易打断；前者的强度較大，硬度較低，能进行切削加工，后者的强度很小，很难进行切削加工。

再如含碳量同为0.8%的两块鋼，一块加热到高温（800℃左右）后，在爐中緩慢冷却下来，另一块加热到同

样温度后，在水中急冷下来。結果前者的硬度較低，后者的硬度較高。前者可用做被切削的工件，而后者却可用來制造切削用的刀具。

同一成份的合金，在室溫条件下經不同程度的压力加工使其变形，則得到性能不同的制件：变形程度大者，制件的硬脆性高；变形程度較小者，硬脆性低。

显然，回答上面的几个問題，单以化学成分的差別作为理由是很不充分的，这就要讓我們更深入地考虑除化学成份外，还有什么因素对金屬或合金的性能起着作用。探討金屬或合金的内部結構，便成为考虑这一問題主要途径。

因为在上述的情况下，化学成份对金屬或合金性能的影响已远不如結構对金屬或合金性能的影响来得更为重要。如果具有不同的内部結構的金屬或合金，显示出不同的机械性能和工艺性能，那末，改变金屬或合金的結構也就能改变他們的性能。

金相学就是研究金屬或合金内部結構的一門科学。不仅如此，它还研究当外界条件或內在因素改变时，对金屬或合金内部結構的影响。所謂外界条件就是指溫度，加工变形，浇注情况等。所謂內在因素主要是指金屬或合金的化学成份。唯有当我们了解金屬或合金的内部結構以及他們变化的規律，才能切实控制和改善金屬或合金的性能，才能正确对金屬和合金进行加工处理，以及为合理地选择金屬材料提供理論基础和实际知識。研究金屬和合金的成份、結構和性能，以及它們三者之間的关系，則屬於金屬学范围。至于金相学，它主要是以研究金屬和合金的内部結構及影响結構的因素为主。在本書中，或多或少將金屬或合金的成份和結構

联系起来。

3. 晶体与非晶体

一切物質，包括金屬在內，都是由原子构成的。物質的这些基本粒子—原子，是由更小的微粒，也就是由原子核和圍繞原子核的电子組成的。电子所帶的負电荷等于原子核中質子所帶的正电荷，所以原子是呈中性的。不同的元素，它們的原子核中的質子所帶的电荷是不同的。同样，核外的电子数目也不相同。这就使得元素的物理和化学性質上产生差別。例如，鉄的質子数目和电子数目各为 26，銅为 29（图 1）。正由于此，他們的性能才有前面提到的显著差別。

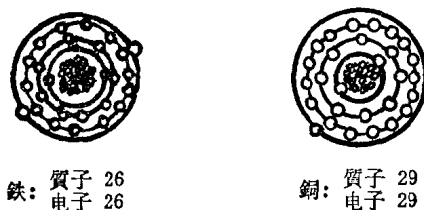


图 1 銅和鉄的原子結構

电子在原子核外围有一定的排列和运动方式。物質內部的原子排列有不同的方式。

根据原子在物質內部的排列秩序，可以把一切物質分为两大类：非晶体和晶体。

凡是原子在物質內部作不規則即处于混亂状态排列的物

体，叫做非晶体。例如玻璃、松香、树胶、蜡燭等，都属于非晶体。

凡是原子在物質内部作有規則有次序排列的物体，叫做晶体。例如冰、盐、石墨。

由于原子在物質内部的排列位置不同，这就决定了非晶体与晶体在性質上的显著差别。

在冬季将一块坚硬的树胶放在平台上，当夏天来临时，它就逐渐软化，我們很难测定它是在多高的溫度下软化的，这一点說明非晶体沒有固定的熔点。此外，若将几块体积相同而且正在软化的圓形树胶，在不同的方向施加拉力，可以看到，在断裂前，树胶向各方向伸长的长度几乎一样，并且拉断它們所需的力量也不相上下。这就是說，非晶体的性能并不随方向而发生变化——所謂无向性。

但是晶体却表现了与非晶体完全不同的性能。首先，晶体都有一定的熔点，例如純鉄的熔点是 1535°C ，銅是 1083°C ，鉛是 327°C 等。此外，由于質点在晶体的不同方向上，它們之間的距离和結合能力相差很大，所以它們的性質随方向的不同也发生变化，下面就是說明这个特性的几个例子。

石膏和云母，可以沿一定的方向裂成薄片。

将圆柱形的单晶体錫棒浸入酸中，经过一定時間，圆柱体逐渐变成多面体的形状。这个实验告訴我們，晶体在各个方向的溶解速度是不同的。

在云母薄片上涂一层蜡，并以烧热的金屬針尖端接触它，此处周围的蜡即行熔



图 2 云母片上蜡的熔化面

化，而熔化的蜡所成的面呈椭圆形（图2）。这个实验说明云母的传热速度在不同方向是各不相同的。

经过轧制的钢件，不同方向的性能也不相同。

4. 金属的构造

金属的原子有一定的排列规则，形成了所谓空间晶格如图3。这种有规则排列的样式，在各种金属中都不相同，就是在同一种金属中，当存在的条件（例如温度）改变时，也会有不同的晶格出现。

金属晶格最常见有三种：体心立方晶格，面心立方晶格和六方晶格。

图4就是从体心立方晶格中取出来的一个单位立方晶格。它的三个相互垂直的边长都相等，除在这立方体中八个顶角各有一个原子外，在立方体中心还有一个原子，像钒、铌、钾、钠、钼、锡都属于体心立方晶格。

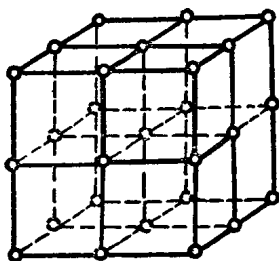


图3 空间晶格

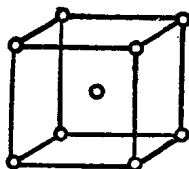


图4 体心立方晶格

图 5 是从面心立方晶格中取出来的单位立方晶格，除立方体的八个顶角各有一个原子外，在立方体的六个面中心处各有一原子。像铜、银、金、镍、铂等都属面心立方晶格。

六方晶格是一个立方柱体（图 6）。除去上下两正六方面的各顶点上及面的中心处各有一原子外，在六方柱体中心还有三个原子。属于这种晶格类型的有铍、镁、锌、镉等。

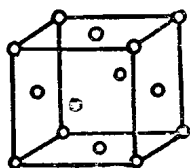


图 5 面心立方晶格

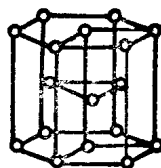


图 6 六方晶格

至于我们最常用的金属铁是什么晶格呢？铁属于立方晶格，并且它既从属于体心立方晶格：又从属于面心立方晶格。但是在不同的温度条件下，铁只有一种晶格。

纯铁在平常温度（ 18°C ）是体心立方晶格，当温度升高到 910°C ，体心立方晶格就变成面心立方晶格，转变后的面心立方晶格可一直保持到 1390°C ，到达 1390°C 时，面心立方晶格又重新转变为体心立方晶格，然后一直保持它到熔化温度（ 1535°C ）。

铁的晶格这一变化，具有极其重要的实际意义。在以后我们将会看到为什么钢和铁能进行热处理，为什么通过不同方式的热处理能使钢的性能有很大的改变。人们就是掌握了钢铁内部结构这一变化规律，从而使钢铁为人类服务的。

在上面提到的金属内部晶体构造中，我们切勿误认单位

立方晶格的每一稜边之长比原子本身的直径大得很多。其实，原子像相互接触的球体一样，并且排列得很紧密。所有晶体的晶格的稜边之长大致在 $2.5 \sim 5.5$ 埃（1 埃 $=10^{-8}$ 厘米，即亿分之一厘米）范围内，而原子半径一般为 $1.3 \sim 2.5$ 埃，这足以说明金属晶格很像紧密排列的球体了。

以铁为例，在常温下，铁的原子半径约为1.24 埃，单位体心立方晶格的边长约2.87 埃，即比铁的原子直径（ 2×1.24 埃）稍大一点。在每一边长只有1 微米立方体积内，就将近有100 万万单位立方晶格！这是多么巨大的一个数目。

5. 金属的结合

在金属内部有无数个原子和单位晶格，但是，是什么力量使原子在金属内部作紧密而又规则的排列呢？如果我们破坏这个力量，金属将处于怎样的状态？回答这些问题，对进一步了解金属的性能有很大的帮助。

前面我们已谈到原子是由原子核和外围的电子所组成，电子在外壳的各层上围绕原子核作旋转运动，就像行星围绕太阳旋转一样。其中最外层的电子离原子核最远，与原子核的结合力也最小，它很容易脱离原来的原子，在晶体内部随意流动。这些脱离原来电子的电子就称为自由电子。我们把金属中各原子的自由电子集合而成的电子团叫“电子气”。电子气带负电荷。

这样看来，晶格结点上的原子由于丢失了电子，使得它

本身所具备的正负电荷失去了平衡。所以晶格结点上的原子不再是中性了，而变为带正电荷的离子。

金属的晶体就是由带正电荷的正离子和带负电荷的电子气所组成（图7）。电子气中的电子从某些正离子流向另一

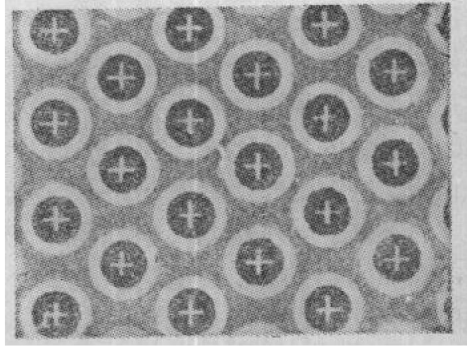


图 7 金属构造示意图

在晶格结点上为正离子；在晶格结点间隙处为自由电子

些正离子；一会儿围绕这个正离子旋转，一会儿又围绕另一个正离子旋转。它们并不从属于某一个正离子，而是为整个晶体中的正离子所共有。

金属之所以结合得如此牢固，就是依靠正离子与电子气的作用力。如果改变正离子之间的距离，就将引起作用力性质的变化。例如正离子相互接近，正离子与正离子之间，以及电子层中的电子之间都将产生排斥力，力图使正离子恢复到原来的平衡位置。反之，如果正离子分开，正离子与电子气之间又将产生吸引力，使正离子回复到原来位置。

这样看来，为了抵消正离子之间的吸引力或排斥力，只

有当正离子之間保持一定的距离，并作有規則排列，才能保持平衡的位置。这就是說明金屬形成晶体的原因。

由于电子气的自由电子处于自由的运动状态，如果在—金屬导綫的两端存在电势差，自由电子就开始向一定的方向流动，这时就产生电流。

金屬之所以能够承受压力加工，进行塑性变形，也直接与它的內部結構有密切关系。金屬內部的結構使得各层离子在外力的作用下，容易作相对的滑动，而不发生破断，因为正离子虽然改变了它本来的位置，但它与周围的电子气仍然保持联接。但是，这一变形只能发生在一定限度之內。如果无限地变形下去，离子排列的次序便被破坏，最后导致产生裂紋和破断。

金屬的內部的原子結構这一特点还可以使我們解釋金屬其它許多性質，如导热性、热电性等，在这里不作一一介紹了。

在了解金屬內部結構以后，使我們知道晶格結点上的微粒，严格地說，并不是原子，乃是正离子。但是在习惯上，我們仍将晶格上的質点看作是原子。

在晶格結点上的原子，并不是固定不动的，由于在周围正离子和运动着的电子相互作用的影响，原子常围绕某一固定的位置作輕微的振动。随着溫度的升高，振动的范围也增大，因而晶格有了膨胀。这从金屬的长度和体积在加热时都有增加而得到証实。

随着溫度的繼續升高，原子的振动能量增大很快。一般每增高 15°C ，振动能量就增大一倍。如果振动太大，原子之間的相互吸引力就无法維持原有的晶格状态，就有一部份

原子跳出了它本来的位置，或挤塞在晶格空隙处，或填入晶体中的缺陷，这就使原来的位置形成了“空穴”，而在他处出现“脱位”的原子。

固态金属随温度的升高，晶体内部出现空穴和脱位原子的数目增多的现象是金属很重要的一个特性。在以后我们将会看到原子在晶体内部移动——扩散——对改变金属的性能是起多么重要的作用。

温度升高到一定程度之后，原子的振动范围很大，而且全部脱离原有的位置，此时，整个金属则成为液体。

6. 液体金属的结晶过程

液体金属从高温降低到凝固温度时，原子之间的相互吸引力逐渐增大，也就是使原子的活动能力逐渐减小。当温度降低到凝固温度以下时，原子之间的吸引力已大到足以制服混乱运动的力量。原子重新各就各位，开始进行有规则的排列，即所谓熔液结晶了。

我们怎么知道灼热的液体金属是在结晶呢？并且，金属的结晶温度是怎样测定的呢？让我们通过下面一个简单的实验来解决这两个问题。

将锡块放入坩埚里，并插入水银温度计，加热坩埚到 350°C ，这时锡块已经熔化。然后将坩埚周围用石棉粉包围起来，目的是使温度下降的速度缓慢，这时我们可以看到温度是以均匀的速度下降的。当到达某一温度时，下降突然缓慢，这时若用一玻棒触及坩埚里的金属，还可发现它是处在