

目 录

绪 论	(1)
-----	-------

第1章 高强钢及超高强钢

第一节 钢强化机理	(4)
一、固溶强化	(4)
二、分散强化	(6)
三、多相强化	(7)
四、细晶强化	(8)
五、冷变形强化	(9)
六、马氏体强化	(9)
第二节 低合金高强钢(HSLA钢)	(10)
一、微合金钢	(10)
二、贝氏体钢	(12)
三、双相钢	(13)
第三节 超高强度钢	(15)
一、低合金超高强钢	(15)
二、中合金超高强钢	(17)
三、高合金超高强钢	(17)

第2章 非晶态材料和微晶合金

第一节 非晶态材料的结构特征	(26)
一、长程无序性	(27)
二、亚稳态性	(27)

三、无位错和无滑移面.....	(27)
第二节 非晶态合金的性能.....	(28)
一、非晶态合金的力学性能.....	(28)
二、非晶态合金的热学性能.....	(29)
三、非晶态合金的电学性能.....	(30)
四、非晶态合金的磁学性能.....	(30)
五、非晶态合金的化学性能.....	(31)
第三节 非晶态合金的制备工艺.....	(32)
一、熔体急冷法.....	(32)
二、离子注入法.....	(36)
第四节 非晶态合金的应用.....	(36)
第五节 微晶合金.....	(40)
一、微晶合金的成分和组织特征.....	(40)
二、块状微晶合金的性能和应用.....	(41)

第3章 超导材料

第一节 超导体的主要特点.....	(44)
第二节 超导性的本质.....	(46)
第三节 超导材料的种类.....	(46)
一、化学元素超导体.....	(46)
二、合金超导体.....	(47)
三、金属间化合物超导体.....	(48)
四、氧化物超导体.....	(50)
五、高分子超导体.....	(52)
第四节 超导材料的应用.....	(54)
一、电力系统的超导化.....	(54)
二、制造高磁场超导磁体.....	(54)
三、超导元件.....	(54)

第五节 超导材料的焊接技术.....	(55)
一、钎焊法.....	(55)
二、固相焊接.....	(55)
三、点焊.....	(58)

第4章 形状记忆合金

第一节 马氏体的可逆相变.....	(59)
第二节 形状记忆和超弹性记忆效应机理.....	(62)
第三节 形状记忆合金的种类及其特性.....	(65)
一、Ni-Ti合金.....	(65)
二、Cu-Zn-Al合金.....	(68)
三、Fe-Mn-Si合金.....	(69)
第四节 形状记忆合金的焊接工艺.....	(72)

第5章 防振和减振材料

第一节 声音传播与噪声.....	(74)
第二节 减噪材料的种类和特性.....	(75)
一、吸声材料.....	(75)
二、隔声材料.....	(76)
三、防振材料.....	(76)
四、减振材料.....	(78)
第三节 防振合金的减振机理.....	(80)
一、复合型防振合金.....	(80)
二、强磁性型防振合金.....	(81)
三、位错型防振合金.....	(82)
四、孪晶型防振合金.....	(82)
第四节 减噪金属材料的种类和应用.....	(84)
第五节 减振复合钢板的焊接工艺.....	(85)
一、电阻点焊工艺.....	(87)

二、电弧焊工艺.....	(87)
--------------	--------

第6章 超塑性合金

第一节 金属超塑性的特性.....	(89)
一、产生超塑性的条件.....	(90)
二、超塑性金属的特征.....	(91)
三、超塑性加工的优点.....	(92)
第二节 超塑性的分类.....	(93)
一、微晶超塑性(或恒温超塑性).....	(93)
二、相变超塑性(或动态超塑性).....	(95)
第三节 超塑性机理.....	(97)
一、扩散蠕变机理.....	(97)
二、扩散流动机理.....	(98)
三、位错蠕变机理.....	(98)
四、晶粒转出机理.....	(99)
第四节 金属超塑性的应用.....	(99)
一、微晶超塑性在压力加工方面的应用.....	(100)
二、相变超塑性在热处理方面的应用.....	(101)
三、相变超塑性在焊接方面的应用.....	(103)

第7章 高级陶瓷

第一节 陶瓷的分类、特性及制造.....	(106)
一、陶瓷的分类.....	(106)
二、陶瓷的特性.....	(109)
三、陶瓷的成形和烧结方法.....	(110)
第二节 陶瓷的功能及其应用.....	(112)
一、陶瓷的电磁功能.....	(112)
二、陶瓷的光学功能.....	(121)
三、陶瓷的热功能.....	(125)

四、陶瓷的机械功能.....	(127)
第三节 陶瓷的焊接工艺.....	(129)
一、陶瓷焊接的要求和类型.....	(130)
二、陶瓷与金属焊接的特点.....	(130)
三、陶瓷焊接的方法及其特点.....	(134)

第8章 高分子材料

第一节 工程高分子材料.....	(139)
一、工程塑料.....	(139)
二、胶粘剂.....	(146)
三、高分子涂料.....	(147)
第二节 功能高分子材料.....	(151)
一、液晶高分子材料.....	(151)
二、压电高分子材料.....	(152)
三、导电性高分子材料.....	(153)
四、高分子分离膜.....	(155)

第9章 复合材料

第一节 复合材料的种类和特点.....	(159)
一、复合材料的种类.....	(159)
二、复合材料的特点.....	(164)
第二节 结构复合材料.....	(167)
一、结构复合材料的复合原理.....	(168)
二、树脂基复合材料 (PMC)	(170)
三、金属基复合材料 (MMC)	(172)
四、陶瓷基复合材料 (CMC)	(187)
五、结构复合材料的应用.....	(193)

第三节	结构复合材料的焊接工艺	(195)
一、	铝基复合材料的焊接	(195)
二、	镍基复合材料的焊接	(206)
第四节	功能复合材料	(207)
一、	压电功能复合材料	(208)
二、	屏蔽功能复合材料	(209)
三、	自控发热功能复合材料	(209)

第10章 仿生材料

第一节	仿生材料的必要条件	(211)
一、	仿生材料的生物学条件	(211)
二、	仿生材料的力学条件	(213)
第二节	仿生金属材料	(214)
第三节	仿生陶瓷材料	(216)
第四节	仿生高分子材料	(218)
第五节	仿生复合材料	(221)
第六节	仿生材料的发展动向	(223)

第11章 材料表面改性技术

第一节	表面改性的目的及方法	(226)
第二节	表面改性用的材料	(226)
第三节	物理气相沉积(PVD)法	(232)
一、	真空镀膜	(233)
二、	离子注入法	(237)
三、	离子镀膜	(242)
四、	离子溅射法	(244)
第四节	化学气相沉积(CVD)法	(249)
一、	CVD系统的构成	(250)

二、CVD法的特点	(253)
三、CVD法的应用	(254)
第五节 等离子喷涂法	(254)
一、等离子热源的特点及应用	(255)
二、等离子喷涂原理	(257)
三、等离子喷涂特点	(258)
四、喷涂材料的种类	(259)
五、喷涂工艺	(259)
六、喷涂的适用范围	(262)
第六节 表面扩散渗透法	(263)
一、表面扩散渗透法概述	(263)
二、表面扩散渗透法分类	(265)
三、等离子非金属元素渗透法	(266)
四、硼化渗透法	(276)
五、金属元素渗透法	(279)
第七节 激光表面改性处理	(280)
一、激光种类及其特点	(281)
二、激光表面改性的方法	(281)
三、激光表面改性处理的特点	(283)
四、激光固相加热法的表面改性	(284)
五、激光熔化法的表面改性	(286)
六、激光蒸发处理	(290)

第12章 新型材料的展望

第一节 新型材料发展的必然性	(293)
第二节 新型材料发展的特点	(295)
第三节 新型材料发展的趋势	(295)
参考文献	(303)

绪 论

人类在与自然界的长期斗争中，已生产了数以万种的材料，同时，又推动了生产技术的发展。但是，随着生产的不断发展及人类对自然界认识的逐步深入，对材料又提出了许多新的、更高的要求。例如，要发展计算机，就要有半导体新材料；要发展火箭和航天飞机，就需超高温超高强的新材料等等。由此可见，新型材料是高科技进步的重要关键，而且，未来技术的发展在很大程度上也取决于新型材料的开发。一个国家生产及使用材料的品种和数量，是衡量其科学技术和经济发展水平的重要标志。

什么是新型材料 (advanced materials)? 这是进入80年代后使用的概念。到目前为止，对新型材料还未有明确统一的定义，一般是指那些新近发展或正在发展，比传统材料具有优异功能的材料。新型材料的功能，大体上可分为七大类：机械功能、热学功能、化学生物功能、电性电子功能、磁性功能、光学功能以及放射性功能。对材料表面改性，因可得到原基体无法比拟的性能，所以，同样可创造出具有各种表面功能的新型材料。

新型材料如同传统材料，有不同的分类方法。

按化学性质分，有金属材料、无机材料（主要指硅酸盐）和有机材料（主要是高分子合成材料）。

按结构状态分，有单晶材料、多晶材料、非晶态材料以

及复合材料。

按物理性质分，有高强材料、超硬材料、导电材料、超导材料、透光材料、绝缘材料、磁性材料……。

按功能作用分，有铁电材料、激光材料、压电材料、电光材料、热电材料、变色材料、磁光材料……。

按用途目的分，有结构材料、光学材料、感光材料、耐酸材料、电子材料、耐磨材料、装饰材料……。

各国对新型材料的研制和生产极为重视。日本于1981年生产的新型材料产值约5 000亿日元，预计到2000年可增加10倍。至1986年，有170家公司生产了870种新型材料。美国约有三分之一的科技人员投入新材料的研究工作。法国的科研经费中约三分之一用于新材料的研制。苏联和东欧对新材料的研制也给予了足够重视。我国的研制工作也有所进展。

高强钢及超高强钢

随着现代化工业的高速发展，特别是航空、航海的开发以及在原子能等尖端技术领域中，普通的低碳钢已远远不能满足要求，即使是一些合金钢，无论是它的强度还是使用温度，也同样不能满足要求。例如，固体火箭发动机外壳，不仅需用高强度的材料，而且，希望它的重量有所减轻，即所谓比强度（强度与比重之比）要大。又如像巨型油轮、高炉、桥梁、压力容器等一类大型结构，既要求轻又要求强度高。

如果钢的强度提高了，表明它所能承受的负荷也增加，同时也可以减轻其重量。钢的强度是指抗变形或抗破坏的能力，而变形几乎都是由晶体内位错的运动造成的。因此，开发和发展高强钢或超高强钢，将是今后钢铁工业的发展方向。

高强钢和超高强钢，目前还未有统一严格的定义。一般说，钢的屈服强度大于294MPa或抗拉强度在490MPa以上者称低合金高强钢，而屈服强度在1026MPa或抗拉强度在980MPa以上者称超高强钢(ultra high strength steels)。

要满足钢的高强度要求，必须对钢进行强化处理。强化钢的手段，一般可通过调质，加入微量合金元素(V、Nb、Ti等)析出强化，控制轧制及冷却等方法。这些方法的强化机理有固溶强化、分散强化、多相强化、细晶强化、相变强化、冷变形强化等。实质上，通过这些强化手段达到减少

位错或阻止位错运动，以提高钢的强度。

第一节 钢强化机理

一、固溶强化

固溶强化是将合金元素加入到金属基体中形成固溶体以强化金属的方法。一般说，固溶体总是比组成基体的纯金属有更高的屈服强度，对低碳钢和低合金钢来说，虽然合金元素（即溶质元素）含量比较低，但钢屈服强度的增加与合金元素浓度变化之间大体成线性关系，如图1-1所示。

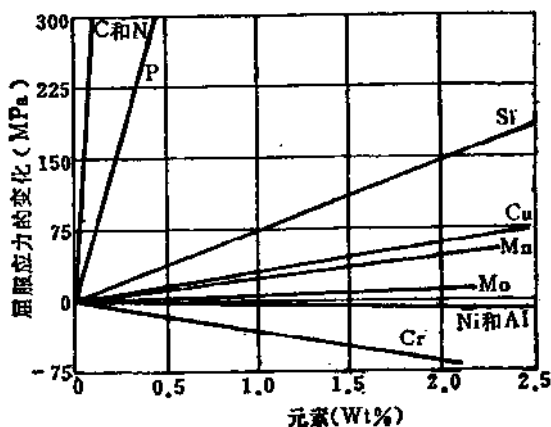


图1-1 各种溶质原子的固溶强化效果

固溶强化理论，大致有三种：位错钉扎机理，摩擦机理和位错结构机理。

位错钉扎机理是指位错被运动的溶质原子钉扎住而造成强化。也就是说，当滑移面上运动着的位错线遇到有溶质原子（即掺入的合金元素）分布时，就像被钉子扎住一样。这时，位错线要继续运动，必然要付出更大的力才能克服阻力。显然，金属要被破坏，就必须做更大的功，因为金属的抗变能力（即强度）提高了。

摩擦机理是指运动的位错受到不动溶质原子引起内应力场的阻碍，从而增加了位错运动的阻力（即内摩擦力）。也就是说，溶质原子在位错的整个运动过程中都起着阻碍作用。

位错结构机理是指溶质原子通过对合金中位错结构的影响，主要增加了位错密度，从而增加了位错运动所需的应力。而强度与位错密度的平方根成正比。

设金属流变所需应力为 σ_d ，位错密度为 N ，则

$$\sigma_d = \sigma_0 + kN^{1/2} \quad (1-1)$$

式中： σ_0 ——其它强化机理造成的流变应力；

k ——与切变模量和柏氏矢量有关的参数。

以上理论，只能从某一方面说明某些固溶强化的现象，而且往往只符合部分实验的事实。

固溶强化过程，简单说是这样，当溶质原子溶入溶剂晶格后，会使点阵发生畸变，由此造成的应力场与位错周围的强应力场交互作用，使溶质原子移向位错线附近。即小于基体原子的溶质原子移向位错周围的受压区域，而大于基体原子的溶质原子则移向受张区域，形成一种科垂耳(cottrell)

“气团”。这样便减少了点阵的畸变，从而降低了位错的能量状态。此时，位错的运动，一方面要克服“气团”的钉扎，另一方面又要克服溶质原子对位错运动的摩擦阻力，从而使强度提高。

二、分散强化

当第二相以细小弥散的微粒均匀分布于基体中时，将产生显著的强化作用，这叫分散强化。分散强化包括沉淀强化和弥散强化。如果材料经时效处理后，沉淀析出细小弥散的第二相粒子，这种强化作用称沉淀或时效强化。如果第二相微粒是借粉末冶金方法加入起强化作用，则称弥散强化。

通常将微粒分为“不可变形”和“可变形”两类。弥散强化中的第二相微粒是属于不可变形的。这种微粒对位错运动起着阻碍作用（图1-2）。

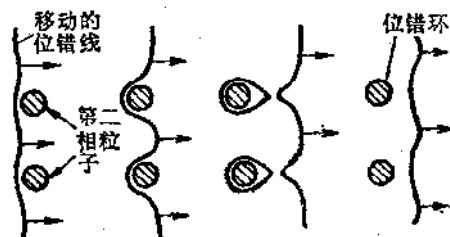


图1-2 位错绕过第二相粒子

当移动的位错与不可变形微粒相遇时，受到粒子阻挡，使位错线绕着它发生弯曲。随着外加应力的增大，位错线受阻部分的弯曲越剧烈，以致围绕粒子的位错线在左右两边相遇形成位错环，而位错线的其余部分便越过粒子继续移动。如果位错线弯曲愈厉害，则强化作用就愈大。所以，粒子愈细和愈多，位错线就不易弯曲，强化作用就会降低。同样，若粒子聚集到一定尺寸，使位错线难通过时，也会降低强化作用。

若第二相微粒为可变形粒子时，则位错线可切过第二相粒子移动（图1-3）。这时，被切割的第二相微粒也将随着基体发生塑性流动，同时增大母相与粒子间的相界面，从而增加了界面能。但是，必须在更大的切应力作用下才能产生

这种现象。所以，这种强化作用可看作是界面能增加引起的。时效析出的沉淀粒子多数属于可变形的粒子。



图1-3 位错切过第二相粒子

三、多相强化

合金是由两相或多相组成的。实际应用的金属材料许多是两相合金。合金中的第二相可以是纯金属，也可以是固溶体或化合物。这个第二相是与母相晶粒尺寸很相近的大块组织，它与分散强化合金中的第二相没有严格的区别界限，只不过前者的第二相较较大较多，在光学显微镜下可以观察到，后者却不能。

母相合金中的第二相，一般有四种情况：

- (1) 第二相比基体软且延性好（如黄铜中的铅）；
- (2) 第二相比基体硬但延性好（如 α - β 铜中的 β 相）；
- (3) 第二相比基体脆但比较软（如铸铁中的石墨）；
- (4) 第二相比基体硬而脆（如钢中渗碳体）。

设两相合金的强度为 σ_b ，它与两相强度 σ_a^0 、 σ_b^0 及其体积分数 f^a 、 f^b 有如下关系：

$$\sigma_b = f^a \cdot \sigma_a^0 + f^b \cdot \sigma_b^0 \quad (1-2)$$

式中： $f^a + f^b = 1$

由上式可知，合金的强度随较强相的体积分数的增加而线性增加。

四、细晶强化

晶界是位错运动的障碍。晶粒愈细，晶界也愈多，从而使金属强度提高，并改善塑性和韧性。屈服强度 σ_s 与晶粒尺寸关系可用Hall-Petch公式描述，即

$$\sigma_s = \sigma_i + kd^{-1/2} \quad (1-3)$$

式中： σ_i ——晶粒中阻碍位错运动的摩擦力；

k ——材料常数；

d ——晶粒平均直径。

细晶强化是利用价值最高且最优异的强化方法，它还可降低脆性转变温度 T_c 。

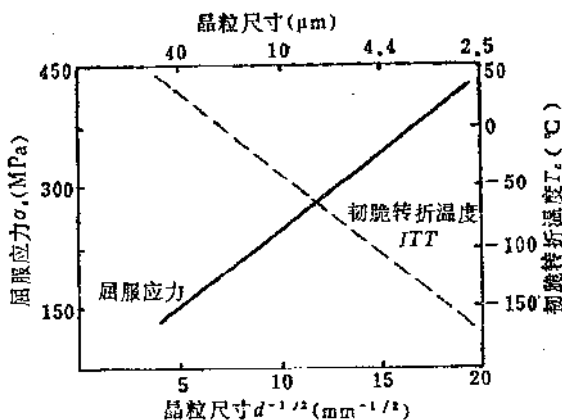


图1-4 低碳钢的 σ_s 、 T_c 与晶粒尺寸的关系

σ_s 与 T_c 、 d 的关系如图1-4所示。由图可知，屈服强度 σ_s 和脆性转变温度 T_c 与晶粒直径 $d^{-1/2}$ 之间都存在线性关系。

五、冷变形强化

冷变形强化是通过冷作加工过程（即冷作硬化）以提高金属强度的一种重要手段。冷作硬化是一种很复杂的现象。由于冷作过程产生的冷变形，必然使位错密度增加，并引起位错间剧烈的交互作用和相互缠结，从而形成胞状结构，达到强化钢的目的。所以，又叫位错强化。

冷变形强化在生产上得到了较广泛的应用，如冷轧钢板、冷拔钢丝、喷丸处理等。但必须指出，冷变形强化的缺点是消耗掉一部分塑性和韧性达到提高强度，因而会给以后的加工带来困难，所以，需采用中间退火等措施。

六、马氏体强化

马氏体强化又叫相变强化。将钢淬火成马氏体是强化钢最有代表性和最常用的一种手段。马氏体强化，实际上包含着多种强化机理（细晶强化、位错强化和固溶强化）的综合结果。

马氏体相变是一种无扩散的相变，相变产物中会形成细小的孪晶。孪晶界面间距约为 $100\text{\AA}$ ，因而使有效晶粒度大大减少，从而达到强化，相当于细晶强化。

马氏体相变结果无疑会使位错的数量增多，因此，马氏体内的位错密度很高（ $10^{12}/\text{cm}^2$ 以上），使位错结构发生了变化，相当于位错强化。

钢中的马氏体是碳原子过饱和的 $\alpha\text{-Fe}$ 固溶体。而马氏体中的碳原子是位于体心点阵的八面间隙中，使点阵产生不对称的四方畸变，造成非常大的应力场，严重阻碍位错运动，从而使钢强化，这相当于固溶强化。应该说，固溶强化

是一般马氏体强化的主要原因，但对低碳马氏体来说，细晶强化和位错强化却是马氏体强化的决定因素。

碳是强化马氏体的有效元素，但它对钢的韧性不利。因此，最近出现了一种马氏体强化的特殊方式，即利用相变诱发塑性（TRIP: Transformation Induced Plasticity）既可使钢强化，又能提高钢的塑性。采用此种方法得到的钢，称作TRIP钢。

第二节 低合金高强钢（HSLA钢）

为提高低碳钢的强度加入少量合金元素制成的钢，称作低合金高强钢（HSLA钢: High Strength Low Alloys）。这类钢除具有足够高的强度（主要指屈服强度）外，还具有良好的加工性、可焊性和耐蚀性等。所以，广泛应用于汽车、机车、造船、输油管道、桥梁等制造业。目前，新近发展的钢种主要有微合金钢、贝氏体钢和双相钢。

一、微合金钢

这类钢只加入微量合金元素（V、Zr、Nb、B、RE等）。它们在钢中的含量一般为 $10^{-3} \sim 10^{-1}\%$ 范围。但它们在钢中可形成弥散的氮化物或碳化物微粒，使钢在热轧或正火状态下得到细晶组织，从而使强度提高到 $1\,000 \sim 2\,000$ MPa，并显著地改善了钢的低温韧性。

微合金元素对钢组织和性能的影响，列于表1-1。

新近发展的微合金钢有低碳微合金高强钢，中碳微合金非调质高强钢以及含铜钢（ASTM A242）。