

工程材料及其应用

[美] R. A. 弗林 合著
P. K. 特若简

陈敏熊 主译



机械工业出版社

内 容 简 介

本书是一本工程材料方面的入门著作，它以工程材料的组织结构为基础，介绍了金属（包括钢铁和有色金属）、陶瓷、塑料等材料的性能及其工业应用。

本书共十六章。第一章为概论，介绍工程材料的三大类型，材料的键合特点。第二章至第六章为金属材料。第七、八两章为陶瓷材料；第九、十两章为塑料；第十一章为复合材料。第十二、十三两章分别介绍了材料的腐蚀和失效分析；第十四至十六章则专门介绍了特殊物理性能材料，如导电材料、半导体和绝缘材料，以及磁性材料和光学材料、导热材料等。

可供高等院校《工程材料》课程的教材或主要参考书，也可作为有关工程技术人员自学参考书。

ENGINEERING

MATERIALS

AND THEIR

APPLICATIONS

Second Edition

Richard A. Flinn

Paul K. Trojan

HOUGHTON MIFFLIN COMPANY/BOSTON

1981

* * *

工程材料及其应用

〔美〕 R. A. 弗林 林 合著
P. K. 特若简

陈敏熊 主译

*

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南里一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 787×1092¹/₁₆·印张 30¹/₂·字数 741 千字

1986年10月北京第一版·1986年10月北京第一次印刷

印数 00,001—4,950·定价 7.15 元

*

统一书号：15033·6389

译者序

本书译自 R. A. 弗林 (Richard A. Flinn) 和 P. K. 特若简 (Paul K. Trojan) 合著的《工程材料及其应用》(Engineering Materials And Their Applications) 一书(1982年第二版)。全书详细地阐述了金属、陶瓷、塑料和特殊物理性能材料等的组织结构的基本概念, 以及钢铁、有色金属、非金属材料等各类材料的工业应用。该书内容广泛, 深入浅出, 通俗易懂, 图表清晰, 照片精致。书中基本内容都有例题加以说明; 每章后面都附有摘要、定义及习题可供读者复习和加深对本文的理解, 并有助于培养分析及解决实际问题的能力。

本书内容较新, 覆盖面广, 是一本较优秀的教科书, 可推荐为高等工科院校有关专业《工程材料》课程的教材或主要参考书, 也可作为有关工程技术人员的自学参考书。由于本书是一本工程材料方面的入门书, 涉及面较广, 许多具体内容是不可能进行更细致的讨论的, 当需要更多了解之时, 可参阅有关的专著及文献资料。

参加本书翻译的有天津大学金伯英(前言、第1~4章), 杨世俊(第5~8章), 张素英(第9~10章), 陈敏熊(第13~14章), 姚家鑫(第11、12、15及16章)。全书由陈敏熊主译。龚方岳同志参加了本书的第1、2、4、7、8和13章的校阅工作。

由于译者水平有限, 翻译中难免存在错误和不当之处, 请读者批评指正。

前 言

一篇好的前言应完成两项任务：首先应明确地告诉读者本书中有什么内容，并说明材料在他们从事的工程技术生涯中有什么用处；还应指出本书的要点。为了了解以后要讨论到的一些重要应用，还应说明为什么需要学习作为基础知识的一些纯理论概念。

其次，前言与教科书均提供了一个与同事们坦率交流的机会，为了增加读者的兴趣，我们改进了对题目的介绍。同时适当注意了关于许多读者如何能掌握本教科书的问题，因为需要他们去促进探索新的材料领域。

致读者

现在来探讨本书涉及的方面以及对工程技术人员的重要性。这样就容易将学术界各自强调冶金、陶瓷和塑料的重要性的论点统一起来。但如果只是为了应付以后的考试而来议论这些论点也是达不到预期效果的。取而代之的是采取精明而讲实际的工程技术人员的方法。从每一章中选出一个重要的概念或主题，从中将会看到这些概念如何使工程技术人员更好地理解，并且应用这些概念能发展新材料。

从第一章可知，所有的工程材料可分为三类：金属、陶瓷和塑料。这些材料之所以有不同性能，基本上取决于材料的分子结构，即原子排列和结合方式。

从第二章到第六章是专门解释金属结构及其性能的。第二章中最关键的概念是金属的晶粒(或晶体)，它们恰好是由形成原子面的单个分子(晶胞)所构成的。这些原子面形成金属的骨架结构，就象钢梁组成了非常高的烟囱骨架一样。这个概念初看起来似乎很抽象，但是从第三章提供的模型中能够解释应力和温度对金属的影响。因为在原子面之间由于滑移代替了断裂而使金属呈韧性。当将变形的金属加热时会发生再结晶，原有的晶粒变成新的晶粒，这就有可能将金属连续加工和变形，以得到所要求的形状。

第四章着重介绍相图。就冶金工作者向普通工程技术读者传播知识想达到的满意程度说，这不是一个简捷的方法，不过可以说“相图中的有些区域是产生新合金的基础。”然而，本书中所用的相图像地图一样简单，可以说明合金元素对基本结构的影响。例如，我们已经知道将8%Ni和18%Cr加入到铁中可改变铁在室温下的普通结构，而得到完全新的结构——奥氏体不锈钢。这个例子说明，合金中加入镍和铬并不单是由于它们的化学性能的影响，而是像相图所指出的那样，是由于它们对铁合金的结构产生了影响。

第五、六章根据同样的见解研究了重要的有色和黑色金属方面的结构和性能。

在第六章的最后可以了解到95%以上的金属材料的结构，并且可知道这些材料的性能是如何取决于结构的。在这一章中的一个优点是，有许多根据不同用途合理选择合金的例子。

接着在第七、八章着重介绍了陶瓷。这里首先要说明的是，陶瓷不仅仅是用来制造碟子的脆性材料，还因为它有共价键和离子键，所以具有高的硬度和强度，且在所有材料中的熔点最高，但它们的韧性和塑性却很低。长期以来，陶瓷一直是单独使用于一些主要部件，例如在金刚石切削刀具或混凝土中。只是在最近陶瓷才和其它材料一起使用，如烧结碳化物刀具、精致的石墨-塑料钓鱼杆和光导纤维。

在第九、十章中研究了第三种材料——塑料。这里的要点是应该懂得塑料是由聚合物的分子替代了晶胞。塑料有两大类。在热固塑料类中，像玩滚木球戏中的球一样，是由碳、氢、氧组成的坚硬而刚强的大分子制成的。在其它类型中，如制造聚乙烯袋子时，可把一堆分散的大颗粒原料利用加热来液化和成型。

现在我们已了解到金属、陶瓷和聚合物的结构性能及一些应用。但是没有谈到未来的工程材料。研究者总是想：“找一种最好的塑料来应用，但什么是最好的材料呢？”因此，需要结合不同材料进行比较。这是本书最后的任务。第十一章讨论复合材料；第十二章研究腐蚀对材料的影响；第十三章分析材料失效的方式和怎样防止失效；最后在第第十四、十五和十六章中分别对材料的电、磁、热和光学性能进行研究。可以发现这些性能像抗拉强度和硬度一样与结构有关。

在本节最后还应提出下列各点：读者们如何通过这本书更好地培养处理专业问题的能力？首先应当能根据一定的用途较好地选择材料的规格。假如材料是经过焊接、喷丸、弯曲、浸蚀或热处理等操作的，便能根据已掌握的结构知识预言当强度和硬度大大超过手册上的数据时将发生什么情况。如果发生失效，他们能分析原因，并提出改进材料或工艺的建议。最后，为了发展新材料他们应有一个牢固的基础。

致同事们

在此首先向其他学校的同事们致意。在编写过程中承蒙他们热忱的支持，提供了一本理论和应用兼备的有关材料的书。在本书中也遵循了同样的原则，在书的前面部分仅包括那些理论原理，并且我们相信，在根据这些原理使用材料时，对专业工程技术人员是有益的。

在编写第二版的初期，我们把“意见书”寄给了使用过第一版的读者。询问他们对个别章节分类的意见，并请他们提出希望增添的题目。按照他们的意见我们作了如下的变动。

新增加了两章：复合材料和失效分析与预防。在后一章中也包括许多关于疲劳的新内容。

在第十四章中关于半导体和器件；第五章中关于金属的加工和第十一章中关于混凝土和木材也都增加了许多新的内容。

在如何选材方面也增添了许多新的例题。书中把复习题的数量增加了一倍。为了说得更清楚还对全书进行了修改。

正如书中所说，增加的内容无需作过多的描述。这些新的内容只是表明在选材上的更新，致使本书成为一本较好的参考书。

最后关于考试问题说几句话。学生们经常诉苦，认为课程涉及的内容太多，以及为应及考试不知道应学习什么内容。为了缓和这个问题，应从这样的前题出发，即只要学生在考试时记住最重要的内容，在四次测验的每一次之前两三天把简略的考试提纲发给学生。提纲集中考虑了大部分重要的题目。接着在学生们参加考试之后，再从头至尾修改，使他们复习了关键性的内容，从而变成他们自己的专业基础知识。当然，这种方法为学生-教师之间的关系创造了奇迹，而且实际上对学生也有益处。

致谢。下略

R. A. F.

P. K. T.

目 录

前言	
第一章 材料的选择和发展	2
§ 1.1 总的规划	2
§ 1.2 材料的三大类别: 金属、陶瓷、 聚合物	2
§ 1.3 材料的结构	3
§ 1.4 不同材料的结合力	5
§ 1.5 本书概要	8
内容提要	9
定义	10
本章复习题及思考题	10
第二章 金属的晶体结构; 晶胞	13
§ 2.1 综述	13
§ 2.2 金属原子	13
§ 2.3 周期表	17
§ 2.4 晶体和晶粒	20
§ 2.5 晶胞	21
§ 2.6 晶胞的数据与密度测量的相互关系	25
§ 2.7 其它晶胞参数的计算: 原子半径、 面密度和线密度	26
§ 2.8 密排六方结构金属	28
§ 2.9 利用 x 射线衍射法测定晶体结构	30
§ 2.10 相的定义; 金属中固态相变	32
§ 2.11 加入其它元素对纯金属 晶体结构的影响	34
§ 2.12 固溶体	34
§ 2.13 新相, 中间相	35
内容提要	37
定义	37
本章复习题及思考题	38
第三章 应力和温度对单相金属结构的 影响	43
§ 3.1 概述	43
§ 3.2 应力对金属结构的影响	43
§ 3.3 塑性变形, 永久变形, 滑移	45
§ 3.4 塑性变形时的临界切应力	45
§ 3.5 孪生	46
§ 3.6 工程应力-应变曲线	47
§ 3.7 真实应力-真实应变关系	52
§ 3.8 位错	54
§ 3.9 冷加工和加工硬化	56
§ 3.10 加工硬化的方法	56
§ 3.11 硬度试验	57
§ 3.12 硬度, 抗拉强度和冷加工的关系	59
§ 3.13 固溶强化	60
§ 3.14 疲劳	60
§ 3.15 冲击试验和低温影响	62
§ 3.16 高温对加工硬化组织的影响	64
§ 3.17 回复, 再结晶, 晶粒长大	66
§ 3.18 退火温度的选择	67
§ 3.19 晶粒尺寸对性能的影响	67
§ 3.20 冷变形和退火在工程上的应用	68
§ 3.21 热加工, 热轧, 锻造, 挤压	68
§ 3.22 单相合金的性能	70
§ 3.23 蠕变和消除应力	71
内容提要	72
定义	73
本章复习题及思考题	74
第四章 金属中多相组织的控制; 平衡 组织 (相图); 不平衡组织 (析出反应)	81
§ 4.1 概述	81
§ 4.2 多相合金的相图	83
§ 4.3 相图	83
§ 4.4 相组成成分	86
§ 4.5 相的数量	87
§ 4.6 存在相作为温度的函数, 其相对量的 比值曲线图	89
§ 4.7 相律	90
§ 4.8 复杂相图	91
§ 4.9 三元相图	93
§ 4.10 三元相图中温度的表示	94
§ 4.11 不平衡状态	95
§ 4.12 扩散现象	95
§ 4.13 扩散方程; 菲克 (Fick) 第一定律	96

§ 4.14 菲克第二定律.....	97	§ 6.7 钢——不平衡反应.....	151
§ 4.15 温度的影响.....	99	§ 6.8 奥氏体转变.....	151
§ 4.16 其它扩散现象.....	100	§ 6.9 珠光体形成.....	153
§ 4.17 形核和生长.....	100	§ 6.10 贝氏体形成.....	154
§ 4.18 偏析.....	102	§ 6.11 马氏体转变.....	155
§ 4.19 不平衡反应强化.....	103	§ 6.12 小结.....	157
§ 4.20 控制液体到固体的转变.....	103	§ 6.13 时间-温度-转变 (TTT)	
§ 4.21 控制固态析出反应.....	104	曲线的应用.....	157
§ 4.22 多相金属中强化机理小结.....	107	§ 6.14 回火.....	158
内容提要.....	108	§ 6.15 分级淬火.....	159
定义.....	109	§ 6.16 等温淬火.....	160
本章复习题及思考题.....	110	§ 6.17 碳对奥氏体转变和转变产	
第五章 常用工程合金, 有色金属——		物的影响.....	160
铝、镁、铜、镍和锌	117	§ 6.18 合金钢的淬火及其必要性.....	163
§ 5.1 概述.....	117	淬透性; 普通碳钢和低合金钢的性能	165
§ 5.2 工艺方法.....	118	§ 6.19 概述; 零件钢材的选择.....	165
铝合金	121	§ 6.20 淬透性.....	165
§ 5.3 概述.....	121	§ 6.21 典型低合金钢的成分和性能.....	168
镁合金	126	§ 6.22 合金钢和非共析钢的回火.....	169
§ 5.4 概述.....	126	§ 6.23 高强度低合金钢 (HSLA 钢).....	170
铜合金和镍合金	128	高合金钢及超合金	171
§ 5.5 铜合金概述.....	128	§ 6.24 概述.....	171
§ 5.6 固溶体铜合金.....	129	§ 6.25 高合金钢的相图.....	171
§ 5.7 多相锻造铜合金.....	130	§ 6.26 不锈钢.....	173
§ 5.8 铸造铜合金.....	131	§ 6.27 沉淀硬化钢和马氏体时效钢.....	174
§ 5.9 普通镍合金.....	132	§ 6.28 工具钢.....	174
§ 5.10 铸造镍合金.....	134	§ 6.29 高锰钢.....	176
钛合金、锌合金和其它合金	134	§ 6.30 超合金概述.....	176
§ 5.11 钛合金.....	134	§ 6.31 典型超合金的高温性能.....	177
§ 5.12 锌合金.....	135	白口铁、灰铸铁、球墨铸铁和可锻铸铁	178
§ 5.13 稀有金属, 贵金属.....	135	§ 6.32 概述; 高碳合金的重要性.....	178
内容提要.....	136	§ 6.33 白口铁、灰铸铁、球墨铸铁和可锻	
定义.....	136	铸铁之间的关系.....	179
本章复习题及思考题.....	137	§ 6.34 白口铁.....	183
第六章 钢、超合金、灰铸铁、球墨		§ 6.35 灰铸铁.....	183
铸铁、可锻铸铁	142	§ 6.36 球墨铸铁.....	184
§ 6.1 铁合金概述.....	142	§ 6.37 可锻铸铁.....	184
§ 6.2 Fe-Fe ₃ C 状态图和有关的各种相.....	143	内容提要.....	185
普通碳素钢和低合金钢: 平衡组织	146	定义.....	186
§ 6.3 钢.....	146	本章复习题及思考题.....	187
§ 6.4 亚共析钢.....	146	第七章 陶瓷的结构和性能	200
§ 6.5 过共析钢.....	148	§ 7.1 陶瓷及有关材料.....	200
§ 6.6 技术要求.....	150	§ 7.2 玻璃制品概述.....	200

§ 7.3 玻璃工艺与玻璃产品	204	§ 9.11 填料	267
§ 7.4 陶瓷晶体材料概述	206	聚合物的加工	267
§ 7.5 键合力	206	§ 9.12 塑料的加工	267
§ 7.6 晶胞	207	内容提要	270
§ 7.7 固溶体	218	定义	270
§ 7.8 缺陷结构, 空位	219	本章复习题及思考题	271
§ 7.9 陶瓷的一些性能	220	第十章 塑料的性能和应用	284
§ 7.10 简单陶瓷材料	222	§ 10.1 概述	284
内容提要	228	§ 10.2 温度和时间的影响	284
定义	229	§ 10.3 聚合物的机械性能	293
本章复习题及思考题	229	§ 10.4 其它性能: 密度、透明度、膨胀系数	293
第八章 陶瓷工艺, 技术要求和应用	234	§ 10.5 合成橡胶	295
§ 8.1 概述	234	§ 10.6 特种塑料制品	295
§ 8.2 成形和煨烧	235	§ 10.7 聚合物在工业上的应用	296
§ 8.3 化学键合	236	内容提要	300
§ 8.4 单晶体	237	定义	301
§ 8.5 水泥及水泥制品	237	本章复习题及思考题	301
Portland水泥和高铝水泥	237	第十一章 复合材料、混凝土和木材	307
§ 8.6 固体中堆积	238	§ 11.1 概述	307
陶瓷制品	240	§ 11.2 人工合成复合物	307
§ 8.7 砖和瓦	240	§ 11.3 弥散和粒子强化的复合物	308
§ 8.8 耐火材料和绝缘材料	241	§ 11.4 纤维强化	308
§ 8.9 粗陶、炆器、瓷器、耐热陶和瓷	241	§ 11.5 混凝土概述	314
§ 8.10 磨料	244	§ 11.6 混凝土的成分	314
§ 8.11 金属铸件用模型材料	244	§ 11.7 混凝土的性能	318
§ 8.12 残余应力和收缩	245	§ 11.8 特殊混凝土	320
内容提要	246	§ 11.9 钢筋混凝土和预应力混凝土	322
定义	247	§ 11.10 混凝土的配合比	323
本章复习题及思考题	247	§ 11.11 沥青	326
第九章 塑料(高聚物)——结构、聚合		§ 11.12 木材概述	327
反应类型、加工方法	252	§ 11.13 木材的宏观结构	327
§ 9.1 引言	252	§ 11.14 木材的微观结构	329
聚合方法	255	§ 11.15 木材的性能	331
§ 9.2 结构单元——链节的综述	255	§ 11.16 木材中缺陷的作用	333
§ 9.3 键的强度	257	内容提要	334
§ 9.4 链节上键的位置、官能度	258	定义	335
§ 9.5 聚合机理	258	本章复习题及思考题	336
§ 9.6 聚合物结构	260	第十二章 材料的腐蚀	340
§ 9.7 结晶度	263	§ 12.1 引言	340
§ 9.8 共聚物、共混、增塑剂	265	§ 12.2 金属的腐蚀	340
§ 9.9 玻璃化温度 T_g 和熔化温度 T_m	266	化学原理	341
§ 9.10 合成橡胶	266	§ 12.3 金属是否发生反应	341

§ 12.4 阳极和阴极反应(半电池反应).....	341	§ 13.5 应力集中	376
§ 12.5 原电池电位	342	§ 13.6 需要有断裂力学	379
§ 12.6 氢半电池	343	§ 13.7 格里菲斯理论:玻璃的断裂力学.....	379
§ 12.7 不同溶液中的电池电势	344	§ 13.8 断裂力学在金属中的应用	380
§ 12.8 腐蚀速度	345	§ 13.9 试样厚度对断裂韧性的影响	381
§ 12.9 缓蚀剂	348	平面应力和平面应变	381
§ 12.10 钝化.....	348	§ 13.10 断裂力学与设计.....	382
腐蚀现象	349	§ 13.11 断裂韧性与屈服强度.....	382
§ 12.11 腐蚀的类型.....	349	§ 13.12 延迟失效:疲劳和应力腐蚀开裂.....	386
§ 12.12 腐蚀单位.....	350	§ 13.13 疲劳裂纹的形成.....	386
§ 12.13 电偶腐蚀.....	350	§ 13.14 疲劳裂纹的扩展.....	388
§ 12.14 选择性腐蚀(脱锌等等).....	355	§ 13.15 应力腐蚀断裂.....	392
§ 12.15 氢损伤.....	355	检查零件失效的试验方法	392
§ 12.16 氧浓差电池,水线腐蚀.....	355	§ 13.16 常用方法,无损检测法.....	393
§ 12.17 小孔腐蚀和缝隙腐蚀.....	356	§ 13.17 断口形貌概述.....	395
§ 12.18 机械-腐蚀的综合作用	357	§ 13.18 破坏分析法.....	396
腐蚀介质	358	§ 13.19 确定残余应力.....	397
§ 12.19 概述.....	358	加工过程造成的缺陷和各向异性	398
§ 12.20 大气腐蚀.....	358	§ 13.20 加工缺陷.....	398
§ 12.21 水.....	358	§ 13.21 金属加工时产生的缺陷.....	400
§ 12.22 化学药品腐蚀.....	359	§ 13.22 焊接缺陷.....	402
气体中的腐蚀	359	§ 13.23 热处理缺陷.....	403
§ 12.23 概述.....	359	§ 13.24 磨损和磨粒磨损.....	404
§ 12.24 氧化皮形成的类型.....	359	§ 13.25 耐磨材料的组合.....	405
§ 12.25 氧化皮形成的机理.....	361	§ 13.26 耐磨粒磨损.....	405
§ 12.26 氧化速度.....	362	内容提要	406
§ 12.27 不起皮材料.....	362	定义	406
§ 12.28 特殊情况.....	362	本章复习题及思考题	407
陶瓷和塑料的腐蚀	363	第十四章 材料的电学性能	411
§ 12.29 概述.....	363	§ 14.1 概述	411
§ 12.30 大气.....	363	导电性	411
§ 12.31 水.....	364	§ 14.2 导体和载流子	411
§ 12.32 化学介质.....	364	§ 14.3 载流子的类型	412
§ 12.33 防腐措施简述.....	365	§ 14.4 金属、半导体和绝缘体中的电导率.....	413
内容提要	366	§ 14.5 应用	415
定义	366	§ 14.6 导电玻璃	416
本章复习题及思考题	367	§ 14.7 超导性	416
第十三章 失效分析和预防	375	§ 14.8 半导体概述	417
§ 13.1 概述	375	§ 14.9 半导体和绝缘体	417
§ 13.2 断裂韧性和断裂力学	376	§ 14.10 杂质半导体和本征半导体.....	418
§ 13.3 什么是断裂韧性	376	§ 14.11 $p-n$ 结,整流	420
§ 13.4 断裂能	377	§ 14.12 太阳能电池.....	421

§ 14.13 电流放大	422	§ 15.10 陶瓷磁性材料	447
§ 14.14 霍耳效应	423	内容提要	450
§ 14.15 晶体管生产	424	定义	450
§ 14.16 温度对导电性的影响	425	本章复习题及思考题	451
其他电学性能	426	第十六章 材料的光学和热学性能	456
§ 14.17 介电性	426	§ 16.1 引言	456
§ 14.18 介电常数	427	光学性能	456
§ 14.19 钛酸钡——典型电介质 (铁电体)	429	§ 16.2 辐射	456
§ 14.20 电-机效应(压电耦合)	431	§ 16.3 吸收	459
§ 14.21 热电偶和热电势	431	§ 16.4 反射	460
内容提要	432	§ 16.5 透射	460
定义	432	§ 16.6 折射	462
本章复习题及思考题	434	热学性能	462
第十五章 材料的磁性	438	§ 16.7 引言	462
§ 15.1 概述	438	§ 16.8 热容量	463
§ 15.2 磁回路和主要的磁学性能	438	§ 16.9 热导率	463
§ 15.3 磁导率	440	§ 16.10 热膨胀	464
§ 15.4 铁磁性金属的原子结构	441	内容提要	466
§ 15.5 磁畴	443	定义	467
§ 15.6 温度对磁化的影响	445	本章复习题及思考题	468
§ 15.7 饱和磁感应强度	445	附录一 部分元素的物理性能	470
§ 15.8 剩余磁感应强度	445	附录二 转换因子和常用常数	471
§ 15.9 金属磁性材料	446	附录三 转换为我国法定单位	472
		参考文献	472



图 1-0

第一章 材料的选择和发展

本章前图1-0照片介绍了适合于工业上应用的三种重要材料——金属材料，如钢和银；陶瓷材料，如玻璃和瓷器；塑料或聚合物，如聚乙烯和木材等。

为预测上述材料在使用条件下的实际性能，必须对这几种材料的结构有一基本的了解，这正是本章所要讨论的主题。“结构”一词的意义包括如下内容：（1）组成该材料的原子性质；（2）原子（对聚合物来说是“分子”）在“晶胞”结构单元中的排列；（3）由“晶胞”聚集成的晶粒或晶体。

§ 1.1 总的规划

在踏上新的旅途前，经验丰富的徒步旅行家或乘独木舟航行的水手总是要首先研究地形，并计划好时间和所需要的物资。即使后来在旅途中遇到一些艰难险阻，他（或她）仍会为光明前景和总的奋斗目标所鼓舞而继续前进。

同样，通过第一章来说明学习工程材料的途径和方法。正象攀登某山峰并非是攀登的唯一目标一样，还要通过攀登来开阔人的眼界并增长知识。我们确信，读者通过显微镜亲眼目睹材料的微观结构和晶体生长的奇妙景象，对材料科学的兴趣将会倍增。为向读者介绍本书的指导思想，有下列三点重要说明：

1. 可用的材料虽有成千上万种，但把它们分为三种简单类型却颇为有益，即：金属、陶瓷和聚合物（塑料、木材等等）。
2. 这样分类是因为同一类材料中的原子间结合力（取决于材料内原子的基本排列）是相似的，它便于了解某种材料的性质。因此，将要讨论这些材料在结合力方面所存在的差异。
3. 基于以上两点，就能够说明贯穿全书的指导思想。首先从介绍金属开始，然后是陶瓷和塑料，最后讨论有关材料共性的专题：失效分析、腐蚀、材料的电学性能和磁学性能。

§ 1.2 材料的三大类别：金属、陶瓷、聚合物

本章图1-0的照片介绍了材料的三大类别以及它们之间竞相媲美的情况。实际使用材料的工程师们很快就会发现不存在适用于各种用途的理想材料。他们认识到，一旦确信有了一种满意的材料，其它材料就会与之竞争以便取而代之，这也是必然的规律。

例如，从本章封面的照片可分别看到六只杯子的优缺点。

人们对威尼斯红玻璃杯都很熟悉，它的特点是经久耐用。对于冲压成型的金属杯，在其杯口弯曲处用一根韧性的钢丝加固，并用一圈环形钢丝构成手把。这种开口式手把使用很方便。这种杯子的缺点是导热性高，以致使用者未尝到汤时就烫了嘴唇。

第二种金属杯是采用另一种成型工艺制造。这种银碗是用手锤制做的。手把也是用银单

独铸成的，并将其用铜焊固定在杯子上。这种银杯和威尼斯红玻璃杯具有相同的基本特性，即耐蚀性较高。然而，银杯的缺点是不适合旅游者使用。

英国有一种含有骨质的瓷杯，用起来舒适且艺术水平也很高。缺点是：若经常在洗碟机中清洗易使装璜褪色；这种陶瓷杯的制造费用比金属杯要贵的多，因为它必须首先用湿粘土制成型，再在高温下加热焙烧，冷却后用釉彩绘画再焙烧；这种瓷杯不便携带。

玻璃器皿能够承受洗碟机的清洗，透明并能制成各种美观的外形。缺点是：玻璃具有和陶瓷结构相同类型的结合键，因其脆性容易损坏。

现在让我们转向两种聚合材料。塑料和木材都是由碳链和氢及其它添加元素形成的高分子所组成的。

塑料杯是以聚苯乙烯为原料制成的，该材料的成本低且属于热塑性材料，即在较低温度下就熔化成液体并喷射到金属模中。这种生产方法唯一的美中不足是在杯子的底部留有一小块凸出面积。由于塑料的熔点低，使这杯的使用温度受到了限制。此外它不象金属那样耐用，与陶瓷相比很容易被刮伤。

木质杯以现成的材料切削而成(在车床上旋出)。它的优点是耐久性。缺点有两个：(1) 木材具有明显的各向异性，即它的性能有方向性。(对比之下玻璃是各向同性的，即在各个方向上性能相同。)因此，木材在垂直于其纹理方向上的性能与顺着纹理方向的性能是大不相同的；(2) 当大气湿度增加时，木质的体积增加1%，膨胀量因方向而异。上述两种情况促使杯子开裂，当杯子在架子上简单存放时，会在木器中形成纵向裂纹。另一方面，通过把木材切成薄片，或在控制环境的湿度下使用可以防止开裂。

§ 1.3 材料的结构

我们曾把做杯子的材料分为三种主要类型。用类似方法可把所有材料归到这几类以及它们的组合之中。为更好的了解所有材料，必须对材料的知识和选用各种性能指标，如强度、韧性、导热性、耐蚀性的理由有一个更深入地展开。

为了解材料结构，需知：(1) 原子表现出什么性质；(2) 它们是怎样结合的。可用简单的晶胞来表示原子的分布，如含有几个原子的立方或六方结构。成千上万个晶胞配置在一起组成了材料的晶粒。晶粒可用显微镜观察到。如黄铜门把晶粒很大，通常可用肉眼看到。

在了解原子结构、晶胞结构和显微组织的基本概念以后，就能够将千万种材料归结为几种典型的结构类型及其组合型。

为简单起见，在使用“结构”这一术语时，通常指上述某个概念或全部内容。例如讨论镍对铁结构的影响时，是指镍对合金中原子相互作用的影响，对晶胞尺寸的影响，以及对显微组织和宏观组织改变的影响。当然，必要时将要详细讨论每种影响。

在了解这些结构概念以及应力、温度、电势和磁场对其产生何种影响之后，不仅对这些材料的特定性能有一充分了解，而且还可预言特殊条件下其表现出的特性。

这里暂时避开本题，先用实例来说明材料的组织和单纯的化学成分之间的基本区别。由钢丝制成的一个衣架(图1-1)，能足以支承一条重的裤子。现将衣架加热至红色(大约910℃)并缓慢冷却，发现化学成分没有变化，但是组织发生了变化，这点可从显微照片上看到，结

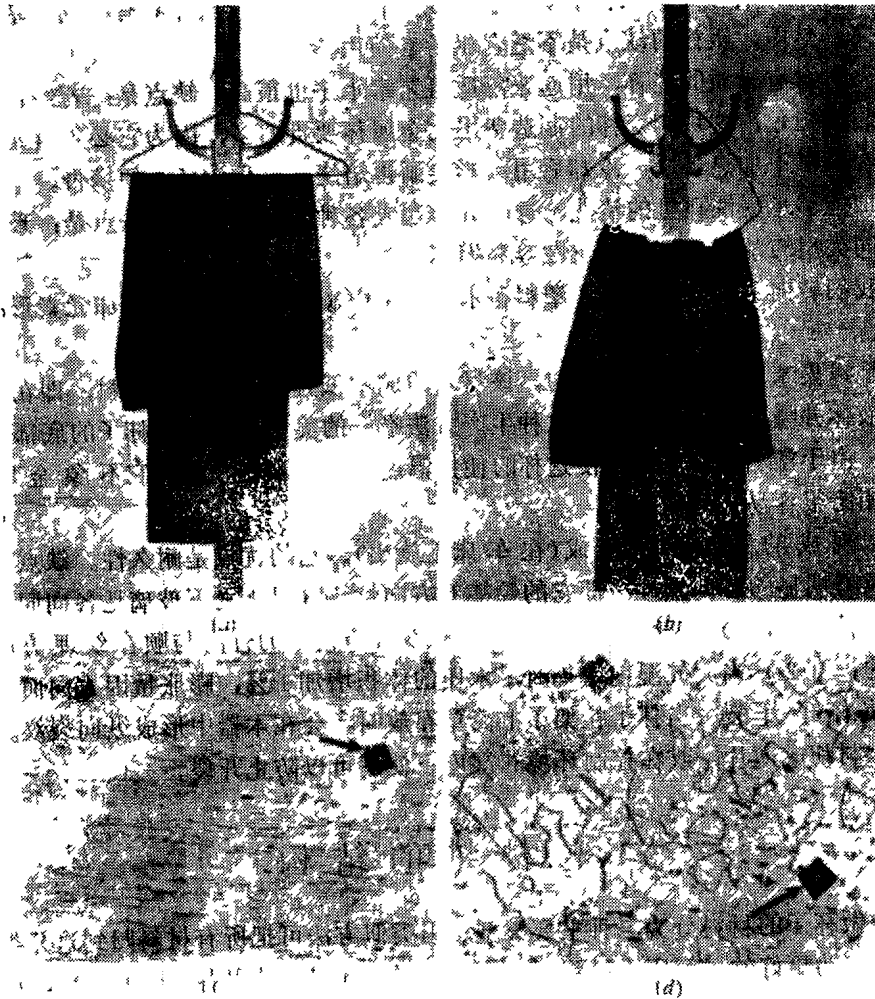


图1-1 退火和冷加工对衣架显微组织和使用性能的影响

a) 冷加工衣架的正常形状，钢丝经模子拉拔使晶粒沿拉拔方向伸长 b) 退火的衣架，粗大等轴晶粒组织使衣架变软易于变形 c) 正常衣架钢丝的维氏硬度H V173~183，500×，2%硝酸酒精溶液浸蚀 d) 衣架经910°C退火 $\frac{1}{2}$ h，硬度H V108~118，500×，2%硝酸酒精浸蚀。

上述晶粒组织取自纵向试样，即沿钢丝的纵向切下取样，然后磨制抛光并用2%硝酸酒精浸蚀。“正常”衣架经冷拔加工硬化。这种钢丝经加工，形成了比较软的新晶粒。维氏硬度的测定采用25gf轻载荷以四方锥形金刚石压头压入个别的晶粒（如箭头所指处）

果导致了衣架的失效。将在第三章详细介绍材料加热时所发生的组织变化、在第六章将通过考查七种显微组织的变化，从而了解上千种不同钢种的性能。

这种新的结构分类方法的优点之一是极为简化。与原来的结构分类方法相比，新分类法可使人们在手册中查阅到有关的机械性能。然而，如果将某种钢经焊接或轧制制成一种构件，若能掌握显微组织变化的基础知识，就可很容易地预料其对性能有何影响，而根本不必采用手册中查到的数据。此外，在磨损、冲击、疲劳等复杂的使用条件下，要分析构件的成功与否，通过观察使用过程组织结构的变化，便可发现重要的信息。下面考察各种工程材料

的不同结构。

§ 1.4 不同材料的结合力

在掌握结构概念的同时，探讨一下金属、陶瓷和聚合物的键有何不同，这些不同如何影响性能？

金属键 从基础化学中已经知道，任何元素的原子结构都是由电子以不同距离围绕一个带正电荷的原子核旋转而组成的。原子序数等于像“行星”那样运动的电子数，并把这些电子看成是处于不同能级的（称为“电子层”或“环形轨道”）。例如，镁的原子序数为12，第一层有2个电子（距原子核最近），第二层有8个电子，最外层有2个电子（图1-2 a）。

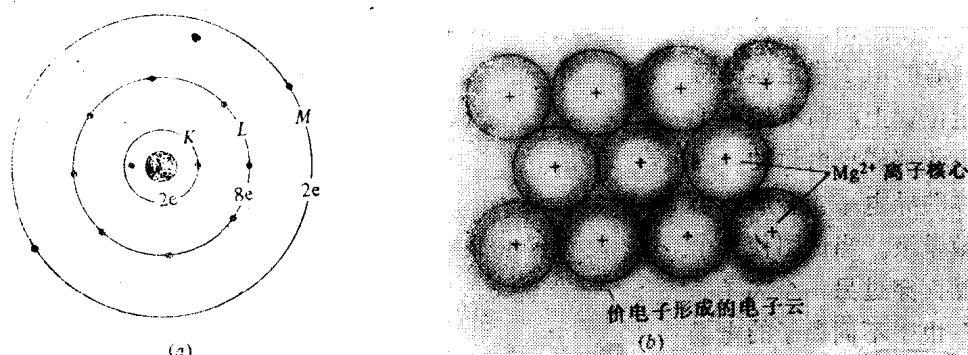


图 1-2

a) 镁原子及其电子层 b) 被电子云包围的固态镁中的原子（离子）

金属元素的共同特征是它们的最外层电子数仅为一、二或三个。这是形成金属键结构的关键。当一种元素的最外层电子数只有一、二或三个时，这些电子与原子核的结合相当松散。因此，当把一些镁原子与镁金属块放在一起时，最外层的电子离开了各自的原子而进入到公共的“电子云”中（图1-2 b），因而使这种原子变成 Mg^{2+} 离子。它们互相排斥，但由于负电子被正离子吸引着，使镁金属块仍旧保持在一起。最终的结果是 Mg^{2+} 离子规则排列在一起，如图1-2 b) 模型所示。该图为离子在镁晶体的一个平面内的排列情况。它表示由一群相同尺寸的球体，尽可能的最密集的堆积。假如我们摇晃一盒网球，就可以得到这种排列。许多其它金属也有类似的结构。现在对金属结构的讨论暂时告一段落，下面讨论这种极简单的模型是如何帮助理解金属的某些性能的。

首先，它说明金属具有高导电率。如果让电压通过晶体，则电子云中的电子（它们是松散结合的）将很容易运动，就产生电流。其次还可了解金属的塑性，即断裂前的变形能。应当注意到原子在平面上是密集堆积的。如果按图 1-3 方向施加切应力，则一个晶面将在另一个晶面上滑移并不断裂，这是因为原子在移动一个原子间距后，原子间仍然保持移动前同样大小的力。本章后面将讨论金属结构的其它特征。

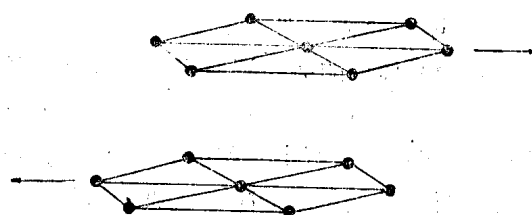


图1-3 镁的密排原子面间的滑移

相比之下，陶瓷和塑料含有离子键、共价键和范德瓦耳 (Van der Waals) 键[⊖]。

离子键 这种键发生在金属和非金属元素之间(图1-4 a)。从化学理论可知，非金属比金属元素的最外层有更多的电子。例如氯原子的最外层含有七个电子，极易吸引一个电子形成由八个电子组成的稳定电子层结构。当钠(一个价电子)与氯(七个价电子)作用时，钠提供一个电子使氯形成了稳定的外电子层，因而得到了 Na^+ 和 Cl^- 离子，并由于它们的电荷相反而相互吸引，所以称为离子键。如果氯化钠溶解于水中，则离子在溶液中独立存在。然而在氯化钠晶体中，离子则按照电平衡结构排列，晶体结构如图1-4 b)所示。

将这种结构的性能与金属结构的性能相比较发现，由于前者的电子稳定地保持在一定位置上，而不像电子云的电子那样自由运动，因而固体的导电率较金属要小许多数量级。当试图使一个离子晶面穿过另一个离子晶面时，由于不同离子的电场是相反的，所以晶体是以脆性方式断裂的。而且实际断裂是沿着离子以一定规律排列的解理面(如图1-4 b所示)进行的。

共价键 许多陶瓷材料具有共价键。这种键的特点是两原子的共有电子牢固地保持在一起，并由提供电子的原子所共有。一个典型的例子是金刚石晶体(图1-5

a)，这种晶体中的每个碳原子处于四面体的中心，且与相邻原子共有它的四个电子。在很多情况下，如二氧化硅(SiO_2)只有部分键是共价的，而且需在妥善解决了共有电子完全平衡的吸引(如在金刚石中)和强离子吸引力(如氯化钠)之间的关系时才能发生。对于二氧化硅，硅的四个外层电子同四个氧原子的每一个外层的电子形成了八个电子的稳定电子层结构。因而每个硅原子被四个氧原子形成的四面体所包围。每个氧原子在两个硅原子之间，并在每边共有一个电子(图1-5 b)。这种键是部分的离子性。因为氧原子比硅原子电负性略大且倾向于更强烈地吸引电子。二氧化硅的一种形式是石英，这种键导致高硬度和低导电率。其它形式键也有高硬度和低导电率的。但是其数值决定于它们所具有的那种形式。

例1-1 画出一个 SO_4^{2-} 离子中价电子的结构简图。

⊖ 一般称为范德华力——译者注。

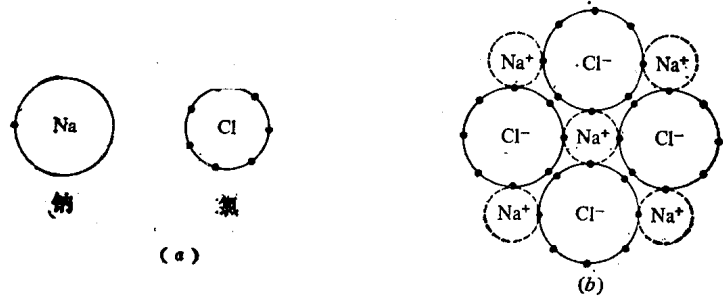


图1-4 氯化钠离子键的形成

a) 未离子化的钠原子和氯原子 b) 离子化的钠离子和氯离子(在氯离子上八个外层电子处于不同的能级和不同的距离)，钠的价电子与氯离子相结合，为了简单起见仅表示了最外层的电子层

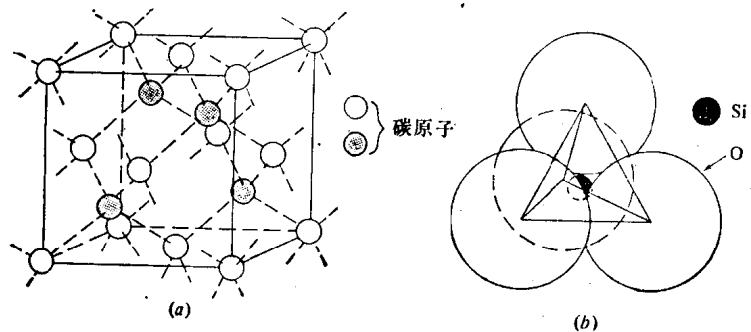
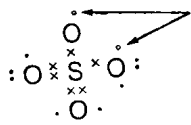


图 1-5

a) 金刚石晶胞中碳原子的共价键。在四面体中心的原子是画阴影线的
b) 一个 SiO_4^{4-} 离子的四面体结构。把Si-O键与金刚石予以比较

答：假如硫和氧的价电子相互作用并且是共有的。在图中，原子中的电子分别用符号·和×来表示，以便说明电子是属于哪个母体元素的，然而必须懂得，在电子共有过程中已失去了单位性。（硫和氧当未离子化状态时在它们的最外层都有六个电子。）



由两个外来电子来满足八个电子结构的要求。（外来电子可来自Na原子，这样它就变成成为 Na^+ ，并形成化合物 Na_2SO_4 。）

范德瓦尔 (Van der Waals) 键 对各种材料，在一定程度上都会出现这种形式的键，但在塑料或高聚合物中尤其重要。其分子是由以共价键形式结合的原子做主链骨架，而其它原子（如氢、氮、氟、氯、硫和氧）则在侧面与其它的碳键相连（见图1-6）。

在分子中共价键是很强的，只有在极端情况下才断裂。正是由于分子间键的作用，才允许分子之间滑移（直到最终断裂），这一点是很重要的。而这些键就称为“范德瓦尔力”，还需要对它单独讨论。

甚至在存在离子键和共价键时，分子中的电荷仍有不平衡存在。例如简单的水分子中的氢原子以 104.5° 键角与氧原子结合可以证明这一点。在分子的富氢一端表现为阳性，而在另一端表现为阴性（图1-7）。结果，分子间彼此吸引。正是这种力使水分子以液态形式聚积在一起。下面用这些概念来解释某些塑料性能。

当分子变得更大时，分子之间总的范德瓦尔力增加。例如在聚乙烯分子中，能够得到像

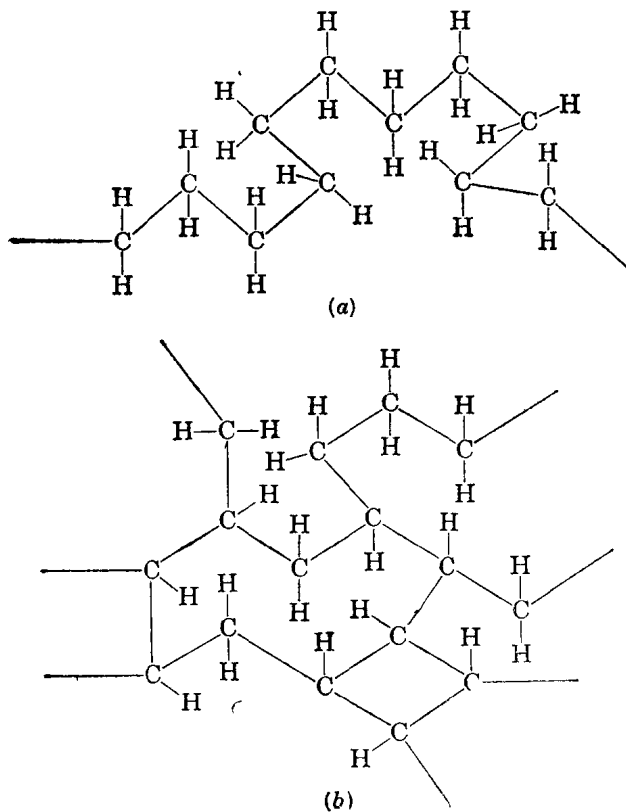


图 1-6

a) 线型聚合物(热塑性塑料)中碳的主链 b) 热固性聚合物中碳的网状链

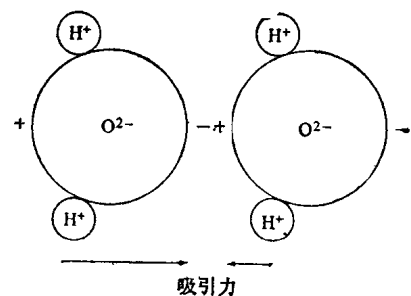


图1-7 水分子之间的范德瓦尔力