

工程合金的 组织和 性能

STRUCTURE AND
PROPERTIES OF
ENGINEERING ALLOYS

冶金工业出版社

工程合金的组织 and 性能

W. F. 史密斯 著

张 泉 赵公台 译
任崇信 向培森

冶 (金 1985 年 1.9 版 社

工程合金的组织 and 性能

W.F.史密斯 著

张 泉 赵公台 译
任崇信 向培森

*

冶金工业出版社出版

(北京灯市口74号)

新华书店北京发行所发行

冶金工业出版社印刷厂印刷

*

850×1168 1/32 印张 17 7/8 字数 471 千字

1984年7月第一版 1984年7月第一次印刷

印数00,001~4,270册

统一书号: 15062·4109 定价2.20元

译 者 的 话

本书译自1981年英文版“Structures and Properties of Engineering Alloys”一书。该书为美国麦格劳·希尔图书公司出版的《材料科学与工程》丛书之一。本书作者 W.F. 史密斯为美国佛罗里达州立中央大学机械工程与空间科学系工程教授，还是美国佛罗里达州和加利福尼亚州注册的职业工程师，他有多年从事研究和发展工程合金的经验，在最近的十二年间他一直在佛罗里达州立中央大学进行金属和材料方面的教学和研究工作。

W.F. 史密斯所著的这本书是供从事实际工作的工程技术人员和工业部门专业人员阅读的权威性参考读物。根据大量科研成果，作者论述了主要工程合金（包括碳钢、合金钢、铝合金、铜合金、不锈钢、铸铁、钛合金、镍合金与钴合金）的组织、性能以及它们之间的关系，并介绍了这些合金的用途。书中对各种合金领域的最新进展也做了概要的介绍。各章后面列有大量参考文献，可供进一步研究用。

书中还简要地介绍了各金属系的生产和加工方法；探讨了这些合金在不同的加工和热处理状态下的行为。书中还附有许多电子显微镜照片，以精确地说明合金的组织。

本书由赵公台（第1、3、6章）、任崇信（第2、4、11章）、张泉（第5、7、8章）、向培森（第9、10章）合译。由于译者水平所限，书中可能有不少缺点和错误，请读者批评指正。

译 者

一九八二年六月

序 言

工程合金是现代工业经济的重要组成部分，因此，了解这类材料对许多现场工程师说来特别重要。本书主要是为取得学士学位后将进入工业部门的冶金、材料和机械工程专业的高年级学生编写的。对于已经从事某项专门技术工作或已经脱离技术工作的现场工程师说来，本书是一本进修教材和参考读物。

编写本书的主旨在于：

1. 使读者熟悉各种工程合金的化学成分及其用途。尽可能说明合金中使用不同合金元素的理由。

2. 利用显微照片描述不同合金在各种加工和热处理状态下的组织。尽可能说明该组织的起源。

3. 将合金的显微组织与其主要工程性能，例如极限抗拉强度、屈服强度、伸长率、韧性和耐腐蚀性等联系起来加以说明。

4. 综述主要金属系的主要生产方法，给出一些有关这些金属主要加工工艺的资料。

5. 叙述对工程合金所进行的各种热处理以及通过这些热处理改变合金组织的情况。尽可能在本书论题范围内，对合金的性状的加以说明。还叙述了热处理对合金主要工程性能的影响。

6. 为对这些合金系作进一步深入研究，提供参考文献来源。

建议本书读者先行掌握一些有关材料科学的初步基础知识。可在大专院校进修材料科学入门课程或者自学材料科学基础教材。

本书是按照各工程合金系组织编写的。由于碳钢和合金钢在经济上是最重要的工程合金，本书前四章首先对这两类钢加以论述。以后的各章分别论述铝合金、铜合金、不锈钢、铸铁、工具钢、钛合金以及镍合金和钴合金。

本书中的材料汇集了无数科学家和工程技术人员的研制工作成果，他们对我们现今有关工程合金的认识作出了贡献。著者愿向直接献出个人论文和显微照片的那些杰出的科学家和工程技术人员致谢。

特别感谢麻省理工学院W.欧文 (Owen) 对完成本书所给予的鼓励。衷心感谢编者顾问、伊利诺斯大学C.A.沃特 (Wert) 教授和麻省理工学院的M.B.贝弗 (Bever) 教授所给予的有益建议和鼓舞。最后，衷心感谢佛罗里达州立中央大学校长 R.D. 克斯顿 (Kersten) 和B.J.克拉克 (Clark) 总编在本书编写过程中所给予的鼓励支持。

W.F.史密斯

目 录

译者的话

序言

第一章 铁-碳合金 (一)	1
1-1 纯铁	1
1-2 Fe-Fe ₃ C合金系	2
Fe-Fe ₃ C相图 Fe-Fe ₃ C相图中的固相 Fe-Fe ₃ C相图中的无变度反应 临界温度 共析、亚共析和过共析普通碳素钢	
1-3 普通碳素钢的缓慢冷却	8
共析普通碳素钢 亚共析普通碳素钢 过共析普通碳素钢	
1-4 共析普通碳素钢的等温转变	15
1-5 奥氏体到珠光体的转变	18
机理和形态学 温度的影响 晶粒度的影响 珠光体的强度	
1-6 奥氏体到马氏体的转变	27
普通碳素钢中马氏体相变的特点 Fe-C合金中马氏体的形态 普通碳素钢中马氏体形成的机理 普通碳素钢中马氏体转变的动力学 Fe-C合金中马氏体的强度和硬度	
思考题	43
参考文献	45
第二章 铁-碳合金 (二)	46
2-1 奥氏体向贝氏体的转变	46
上贝氏体 下贝氏体 表面浮凸现象	
2-2 非共析普通碳素钢的等温转变	50
2-3 普通碳素钢的连续冷却转变	51
共析钢连续冷却转变图 亚共析普通碳素钢连续冷却转变	
2-4 普通碳素钢的退火和正火	59
冷加工和退火 退火中发生的显微组织变化 冷加工状态 回复再结晶和晶粒长大 正火	
2-5 普通碳素钢的淬火硬化	65

2-6	普通碳素钢的回火	67
	回火工艺过程 回火过程中普通碳素钢内发生的显微组织变化	
	回火对普通碳素钢硬度的影响	
2-7	晶粒度的影响	76
	晶粒度的表示方法 晶粒度对低碳钢性能的影响 奥氏体晶粒度	
	对先共析铁素体形态的影响	
2-8	等温淬火和马氏体等温淬火	79
	等温淬火 马氏体等温淬火 (分级淬火)	81
	思考题	83
	参考文献	85
第三章	碳钢	86
3-1	现代炼钢工艺	86
	生产成品钢材的主要步骤 炼钢工艺	
3-2	铸锭	91
	单个钢锭的浇注 连续铸钢	
3-3	钢锭组织的类型	93
	沸腾钢的钢锭组织 加盖钢的钢锭组织 半镇静钢钢锭组织 镇	
	静钢的钢锭组织	
3-4	普通碳素钢的分类	96
	普通碳素钢的 AISI-SAE 分类法 ASTM 分类法 其它分类	
	法	
3-5	在普通碳素钢中其它元素的影响	98
	锰 硫 磷 硅	
3-6	碳钢的热加工和冷加工	99
	初轧 热轧 酸洗 冷轧压下	
3-7	非热处理的低碳钢薄板	103
	化学成分 脱氧操作 低碳钢薄板的热处理和显微组织 低碳钢	
	薄板的连续退火 低碳钢薄板的机械性能	
3-8	碳钢的淬火时效和应变时效	108
	淬火时效 应变时效	
3-9	可淬火的碳素钢	111
	含碳0.10~0.25%的低碳钢 含碳0.25~0.55%的中碳钢 含碳	
	0.55~1.00%的高碳钢	

3-10 微合金化钢	116
热轧微合金化钢的沉淀机理 Nb、Ti和V的碳化物和氮化物的沉淀 微合金化钢通过亚晶粒和晶粒细化的强化	
思考题	126
参考文献	128
第四章 合金钢	129
4-1 合金钢的分类	129
4-2 合金元素在合金钢中的作用	130
合金元素在钢中的一般作用 合金元素在合金钢中的分布 合金元素对钢的共析点的影响	
4-3 淬透性	135
定义 Grossmann法测定钢的淬透性 Jominy法测定钢的淬透性	
4-4 锰钢	143
化学成分和用途 组织 机械性能	
4-5 低合金铬钢	148
化学成分和典型用途 组织 机械性能	
4-6 钼钢	153
化学成分和典型用途 组织 机械性能	
4-7 铬-钼钢	158
化学成分和典型用途 组织 机械性能	
4-8 镍-铬-钼钢	162
化学成分和典型用途 组织 机械性能	
4-9 镍-硅-铬-钼钢	168
4-10 低合金钢的回火脆性	169
第一类回火脆性 第二类回火脆性	
4-11 马氏体时效钢	174
成分 马氏体的形成 时效硬化	
思考题	179
参考文献	181
第五章 铝合金	182
5-1 铝的生产	183
还原 主要加工工序	
5-2 铝合金的分类与状态代号	185

分类 状态代号

5-3	工业纯铝	187
	化学成分和典型用途 组织 机械性能	
5-4	铝—锰合金	189
	化学成分和典型用途 组织 机械性能	
5-5	铝镁合金	193
	化学成分和典型用途 组织 机械性能	
5-6	铝铜合金	197
	化学成分和用途 铝铜二元合金 工业变形铝铜合金	
5-7	铝铜镁合金	206
	化学成分和典型用途 组织 机械性能	
5-8	铝镁硅合金	211
	化学成分和典型用途 组织 机械性能 耐腐蚀性能	
5-9	铝锌镁合金和铝锌镁铜合金	218
	化学成分和典型用途 组织 机械性能	
5-10	铸造铝合金	224
	化学成分和典型用途 铝硅铸造合金 铝硅镁铸造合金 铝铜铸造合金 机械性能	
	思考题	236
	参考文献	238
第六章	铜和铜合金	240
6-1	铜的生产	240
6-2	铜和铜合金的分类	242
6-3	变形铜	242
	电解精铜 (ETP型, CDA110) 无氧铜 脱氧铜	
6-4	铜锌合金 (黄铜)	251
	化学成分和典型用途 组织 机械性能 黄铜的腐蚀	
6-5	铜锡合金	269
	铜锡系相图 加工锡青铜 铸造锡青铜	
6-6	铜铝合金	274
	化学成分和典型用途 组织 机械性能	
6-7	铜硅合金	282
	化学成分和典型用途 组织 机械性能	

6-8 铜铍合金.....	285
化学成分和用途 组织 机械性能	
6-9 铜镍合金.....	290
化学成分和用途 组织 机械性能和电学性能	
6-10 铜镍锌(镍银)	294
化学成分和用途 组织 机械性能和腐蚀性能	
思考题	297
参考文献	299
第七章 不锈钢	300
7-1 铁铬合金.....	300
γ 相圈的形成 σ 相的形成	
7-2 铁铬碳合金.....	301
7-3 铁铬镍碳合金.....	303
7-4 形变不锈钢的分类.....	303
7-5 铁素体不锈钢.....	305
化学成分和典型用途 显微组织 脆化机理 机械性能	
耐腐蚀性能	
7-6 马氏体不锈钢.....	315
化学成分和典型用途 显微组织 热处理 机械性能 耐腐蚀性能	
7-7 奥氏体不锈钢.....	326
化学成分和典型用途 显微组织 机械性能 耐腐蚀性能	
7-8 沉淀硬化不锈钢.....	337
半奥氏体型 马氏体型	
思考题	347
参考文献	349
第八章 铸铁	350
8-1 铸铁的分类.....	350
白口铸铁 灰口铸铁 可锻铸铁 延性铸铁 高合金铸铁	
8-2 铁-碳-硅系.....	354
8-3 灰口铸铁.....	355
灰口铸铁的分级 亚共晶灰口铸铁的缓慢凝固过程 化学成分对灰口铸铁显微组织的影响 凝固时的石墨化过程 显微组织 工	

程性能	
8-4 延性铸铁	370
延性铸铁的凝固过程 化学成分对延性铸铁组织和性能的影响	
热处理和显微组织 工程性能	
8-5 可锻铸铁	380
可锻铸铁的类型 热处理和显微组织 工程性能	
8-6 耐磨合金铸铁	387
冷硬铸铁 白口铸铁	
8-7 耐蚀铸铁	390
高硅铸铁 高铬铸铁 高镍铸铁	
8-8 耐热合金铸铁	395
铬铸铁 高硅铸铁 高镍铸铁	
思考题	401
参考文献	403
第九章 工具钢	404
9-1 工具钢的分类	404
9-2 水淬工具钢(W型)	405
化学成分及典型用途 热处理及显微组织	
9-3 耐冲击工具钢(S型)	409
化学成分和典型用途 热处理和显微组织	
9-4 冷加工(油淬)工具钢(O型)	412
化学成分和典型用途 热处理和显微组织	412
9-5 冷加工(中合金、空气淬火)工具钢(A型)	415
化学成分和典型用途 热处理和显微组织	
9-6 冷加工(高碳、高铬)D型工具钢	417
化学成分和典型用途 热处理和显微组织	
9-7 热加工工具钢(H型)	422
化学成分和典型用途 热处理 显微组织	
9-8 钼钢和钨钢的二次硬化	429
二次硬化概论 钼钢的二次硬化 钨钢的二次硬化	
9-9 高速工具钢(T和M型)	433
化学成分和典型用途 高速工具钢的发展 钨型高速工具钢 钼型高速工具钢	

9-10 硬质合金	446
定义和用途 生产 分类 显微组织 工程性能	
思考题	453
参考文献	455
第十章 钛及钛合金	456
10-1 钛的生产	456
海绵钛的提炼 钛锭的制备 主要加工	
10-2 纯钛	460
重要的物理性能 变形性能	
10-3 钛合金系及相图	462
α 稳定系 β 稳定系	
10-4 钛合金的分类	468
10-5 工业纯钛	469
化学成分和典型用途 显微组织 机械性能	
10-6 α 钛合金	473
化学成分和典型用途 显微组织 机械性能	
10-7 近 α 钛合金	481
化学成分和典型用途 显微组织 机械性能	
10-8 $\alpha + \beta$ 钛合金	485
化学成分和典型用途 显微组织 热处理 机械性能	
10-9 β 钛合金	501
化学成分和典型用途 显微组织 (Ti-13%V-11%Cr-3%Al)	
机械性能	
思考题	507
参考文献	509
第十一章 镍合金和钴合金	510
11-1 镍的生产	510
11-2 工业纯镍	511
化学成分和典型用途 显微组织和性能	
11-3 镍-铜合金(蒙奈尔)	514
化学成分和典型用途 显微组织和性能	
11-4 镍-铬合金	517
相图 化学成分和典型用途 显微组织和性能	

11-5	镍基高温合金	523
	化学成分和典型用途 显微组织 碳化物 高温应力断裂性能 热处理对应力断裂性能的影响 高温腐蚀	
11-6	镍-铁基高温合金	540
	化学成分和典型用途 显微组织 高温应力断裂性能	
11-7	钴基高温合金	547
	化学成分和典型用途 显微组织 高温应力断裂强度	
	思考题	556
	参考文献	558

第一章 铁-碳合金(一)

铁是所有金属中最便宜的一种，它在地壳中储量仅次于铝居第二位。世界上百分之九十左右的金属产品是由铁和各种类型的铁合金制成的。纯铁只在较少的特殊情况下才使用。大部分的铁都是以普通碳素钢的形式，即以含少量其它元素的铁和碳的合金形式加以使用的。

1978年美国生产了一亿三千七百万吨钢^①，其中普通碳素钢占85.3%。普通碳素钢之所以如此重要是由于它有足够的强度、韧性和塑性并且是一种廉价的材料。它可以进行铸造、压力加工、切削，而且可以通过热处理使其性能在很宽的范围内变化。遗憾的是，普通碳素钢的耐大气腐蚀能力较差。但是它可以用涂漆、上珐琅或电镀的方法得到保护。没有一种其他工程材料能够象普通碳素钢这样在如此低廉的价格下提供如此良好的综合性能。从本质上讲，世界上各高度工业化国家确实仍然生活在“铁器时代”，并且在可以预见的将来仍将如此。

在这本关于工程合金的书中，铁和钢的内容占全部讨论内容的一半以上，从铁基合金的重要性的观点来看，这是合理的。本书第一、二章阐述的是铁-碳合金的组织 and 热处理的基本概念。第三章阐述普通碳素钢的组织 and 性能。第四章是合金钢。第七、八、九章分别是不锈钢、铸铁和工具钢。

1-1 纯铁

很纯的铁仅小量生产并且主要用于研究工作。用区域熔炼法可以制成纯度达99.99%的铁。这种铁的屈服强度很低，大约是7500磅/英寸²（表1-1）。工业上生产的铁纯度稍低（99.9%），这种

① 根据“1978 Annual Statistical Report”，American Iron and Steel Institute, Washington, D.C., 1979.

铁有较高的屈服强度 (10000~20000磅/英寸²)。微量元素如碳、锰、磷、硫可以使纯铁的强度大大提高。一些完全退火的铁的机械性能列于表1-1, 其化学成分列于表1-2。

表 1-1 在21°C时一些完全退火的铁的机械性能^①

铁的牌号	抗拉强度 磅/英寸 ²	屈服强度 磅/英寸 ²	伸长率, %
区域熔炼的铁	28000	7000	
电解铁 (经过真空熔炼)	35000~40000	10000~20000	40~60
工业纯铁 (阿姆科铁)	41000	18000	47

① 数据摘自Metals Handbook, vol.1: "Properties", p.211, American Society for Metals, Metals Park, OH, 1961.

表 1-2 一些比较纯的铁的化学成分⁽²⁾

铁的牌号	化学成分, %								
	C	Mn	P	S	Si	Cu	Ni	O ₂	N ₂
阿姆科工业纯铁	0.012	0.017	0.005	0.025	痕量				
电 解 铁	0.006		0.005	0.004	0.005				
H ₂ 精炼铁	0.005	0.028	0.004	0.003	0.0012			0.003	0.0001

纯铁存在三个同素异晶形态: α -铁、 γ -铁和 δ -铁。图1-1给出纯铁的典型冷却曲线, 并标出了在大气压力下上述三种结晶形态稳定的温度范围。从室温到910°C, 纯铁具有体心立方 (BCC) 的晶体结构, 称为 α -铁。 α -铁是铁磁性的。加热到 768°C (居里点) 时, α -铁的铁磁性消失, 但仍保持原来的晶体结构。非铁磁性的 α -铁直到910°C都是稳定的。超过这个温度 α -铁转变成成为面心立方 (FCC) 的 γ -铁。当加热到1403°C时, γ -铁又转变成成为体心立方结构, 但称为 δ -铁。直到纯铁的熔点1535°C, δ -铁都处于稳定状态。高温的体心立方铁具有比 α -铁更长的立方体边。表1-3总结了纯铁的结晶性能。

1-2 Fe-Fe₃C合金系

含有从痕量到大约1.2%碳 (简略为1.2%C) 并且仅含有少

量其它元素的Fe-C合金被称为普通碳素钢。然而本章旨在把普通碳素钢基本上做为二元Fe-C合金来对待，而其它合金元素和杂质的影响将在以后各章中陆续加以讨论。

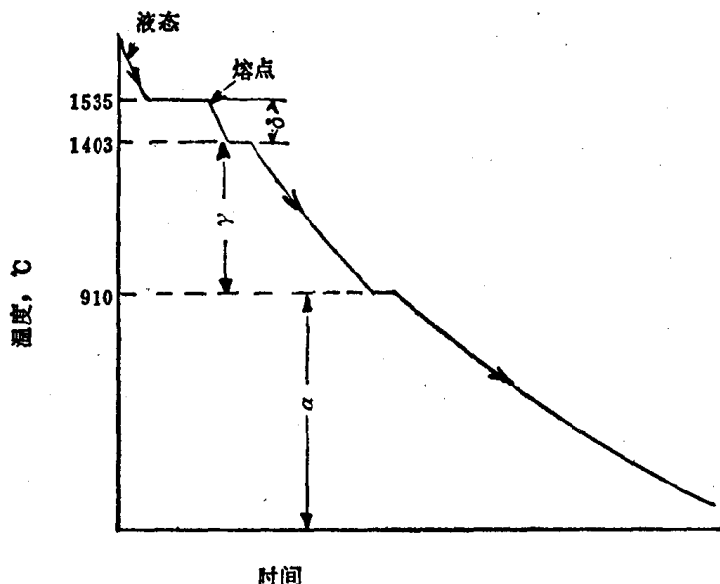


图 1-1 在大气压力下纯铁的典型冷却曲线

表 1-3 纯铁的结晶性能^[2]

同素异晶形态	结晶形态	单位立方体边长 Å	温度范围
α -铁	体心立方	2.86(70°F)	室温~910℃ (1670°F)
γ -铁	面心立方	3.65(1800°F)	910~1403℃ (1670~2557°F)
δ -铁	体心立方	2.93(2650°F)	1403~1535℃ (2557~2795°F)
密度7.868克/厘米 ³		熔点1535℃ (2795°F)	沸点3000℃ (5432°F)

Fe-Fe₃C相图

将含0~6.67%C的Fe-C合金很缓慢地冷却时，在各个不同温度范围存在的相示于图1-2的相图中。这个相图不是真正的平衡相图，因为金属间化合物——碳化铁 (Fe₃C) 或者叫做渗碳体不是真正的平衡相。在一定条件下渗碳体会分解成为更稳定的