

金相分析技术

上海市机械制造工艺研究所主编

上海科学技术文献出版社

金 相 分 析 技 术

上海市机械制造工艺研究所 主编

上海科学技术文献出版社

金 相 分 析 技 术

上海市机械制造工艺研究所 主编

(上海永兴路515号)

*

上海科学技术文献出版社出版发行

(上海武康路2号)

新华书店经销 诸暨印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 1/16 印张: 64 字数: 1,560,000

1987年7月第1版 1987年7月第1次印刷

印数 1-10,000册

统一书号: ISBN 7-80513-030-2/T·13

定 价: (精) 17.00元

前 言

金属材料的显微组织直接影响到机械零件的性能和使用寿命,金相分析是控制机械零件内在质量的重要手段。在新材料、新工艺、新产品的研究开发中,在提高金属制品内在质量的科研工作中,都离不开金相分析技术。目前,透射电子显微镜,扫描电子显微镜,电子探针微区分析仪等电子金相技术的普遍应用,使金相分析技术有了更广阔的天地。常规的光学金相技术由于它具有观察范围大、使用方便、设备成本低、应用广泛等优点,仍然具有强大的生命力,并在不断地得到完善和发展。近年来,金相技术的发展动向大致可以归纳为以下几个方面:

1. 试样制备由手工逐渐走向半自动化和自动化;
2. 金相显微镜得到不断的改进、完善和发展;
3. 光学金相技术在很大程度上已经从一门叙述性的学科演变到一门可用精确数字来度量的科学技术,即从定性到一定程度的定量;
4. 电子金相技术逐渐趋向普及,对于材料的组织、形貌(表面或断口)以及微区成分可以进行综合分析测定。

综合金相技术的这些新发展、新成就、使金相分析的面目为之一新。《金相分析技术》的编写正是为了反映这一内容,并促进金相分析技术在材料科学、生产检验,失效分析,优化工艺等方面的广泛应用中作出更多的贡献。本书的特点是密切结合生产实际,并以较大篇幅阐述各种金属材料及其金相组织的特征;较为全面地介绍金相分析所必需的设备和仪器;对定量金相、透射电镜、扫描电镜、X光衍射在金属分析中的应用,也作了由浅入深的介绍,并引用了生产和科研中的实例;在失效分析章节中着重地介绍了各种失效类型及其机制、失效分析的步骤和方法、以及大量的失效分析案例。与此同时,本书还简述了金属学的基础知识,热处理相变、晶粒度、钢中夹杂物、缺陷组织的判别和鉴定,诸如真空和激光热处理等新工艺也有专门的章节介绍。试验报告的编写,金相试验室的布局,暗室技术等内容,亦基本俱全以满足各方面多层次的需要。

编写工作分别由下列同志承担:

第一章、第二章由上海工业大学郑学坊编写;第三章由上海市机械制造工艺研究所邱允新编写;第四章由上海市机械制造工艺研究所唐镇南编写;第五章由上海市机械制造工艺研究所任颂赞编写;第六章由上海光学仪器厂安俊敏、上海市机械制造工艺研究所程 马编写;第七章由上海第二光学仪器厂施良才、上海市机械制造工艺研究所高汉文编写;第八章由上海钢铁研究所陆关福编写;第九章由上海市机械制造工艺研究所高汉文编写;第十章、第十一章由上海市机械制造工艺研究所陈坚峰编写;第十二章由上海内燃机厂方四海、中国弹簧厂魏冬珠编写;第十三章由上海轴承研究所徐祖恩编写;第十四章由上海工具厂袁家栋、方成水编写;第十五章由上海汽轮机厂鹿道芬编写;第十六章由上海汽轮机厂徐 力编写;第十七章由上海汽车拖拉机公司施友方编写;第十八章由上海机械学院陈虎孙编写;第十九章由上海市机

械制造工艺研究所屠恒悦、吴永康编写；第二十章由上海粉末冶金厂傅琳珍编写；第二十一章由上海市机械制造工艺研究所高汉文编写；第二十二章由上海大隆机器厂陈质如编写；第二十三章由上海交通大学贺章编写；第二十四章、第二十五章由上海交通大学朱钰如编写；第二十六章由上海市机械制造工艺研究所唐镇南编写；第二十七章由上海材料研究所张静江编写；第二十八章由上海钢铁研究所金嘉陵编写；第二十九章由上海冶金研究所姜小龙编写；第三十章、第三十一章由上海市机械制造工艺研究所高汉文编写、第三十二章由上海工具厂方成水编写；第三十三章由上海市机械制造工艺研究所任颂赞、上海工具厂方成水编写。

参加本书各章审稿的教授、专家有二十余位，他们（按所审章节次序排列）是：

北京钢铁学院聘任涛副教授、上海交通大学李朋兴教授、安徽工学院肖治平副教授、铁道部戚墅堰机车车辆工艺研究所林华寿高级工程师、浙江大学姚鸿年副教授、上海交通大学朱钰茹副教授、上海柴油机厂邓向民高级工程师、华东工程学院魏元春副教授、上海市机械制造工艺研究所周熙高级工程师、上海工业大学史美堂副教授、周子年副教授、上海交通大学杨安静副教授、中国科学院沈阳金属研究所朱耀霄副研究员、重庆大学丁培道教授、上海交通大学吴炳荣副教授、上海市机械制造工艺研究所朱是楨高级工程师、上海工程技术大学陈友萱副教授、冶金部钢铁研究总院廖乾初高级工程师、上海交通大学陈贤芬副教授、王永瑞副教授、清华大学安志义副教授等。

本书的编写工作，是在上海市机械制造工艺研究所徐性澄所长的关怀和指导下进行。并由张钦型、张智根、王瑋、仇国民、姚伟胜、傅锡茗、任颂赞、高汉文等组成工作小组统筹安排。由高汉文负责主编。

本书承中国科学院学部委员、我国著名学者、北京钢铁学院肖纪美教授撰写序言。

在编写过程中，得到中国兵工学会金属材料学会总干事李茂山、上海市热处理工艺协会常务副理事长朱培瑜、上海市机械工程学会热处理学会秘书长何葆祥等有关同志的热情关注和大力支持；上海市机械制造工艺研究所六室主任梅志强、四室主任吴越及四室全体同志，都对本书的编写给予了很大的支持和帮助。上海市机电工业管理局教材编写组承担了墨线图的描绘贴字工作。

上海汽轮机厂、上海电机厂、上海大隆机器厂、上海工具厂、上海彭浦机器厂、上海汽车齿轮厂、上海四方锅炉厂、上海内燃机厂、上海粉末冶金厂、中国弹簧厂、上海交通大学、上海机械学院等单位为本书提供图片，在此一并表示衷心的感谢。

因编者水平所限，编写时间急促，因此不免有错漏之处，恳请广大读者批评指正。

编者 一九八七年二月

序 言

一九四八年在美國學習“金相與熱處理”這門研究生課程，通過與人事類比，深感重要：金相工作者類似於科學的算命先生，後者從對象的面貌、語言、表情等，推論人的經歷和能力，預測他的命運，前者只是改變對象，進行類似的工作；熱處理工作者則類似於教育工作者，都是因才（材）施教，適當處理。

一九五七年歸國後三十年，在北京鋼鐵學院從事材料方面的教學和科研工作以及人才的培訓工作。教學相長，在實踐中，加深對“金相熱處理”這個學科領域重要性的認識。

一九八三年我曾對現代化的材料定義如下：“可為人類接受而又能經濟地製造有用器件的物質，叫作材料。”這個定義中，具有長久意義的內涵是“有用”和“製造”：所謂“有用”，是材料具有能為人類服役的“使用性能”；所謂“製造”，是材料具有較好的“工藝性能”。在材料性能的分析方法中，非材料專業的科技工作者所採用的“黑箱法”，不需要知道材料內部的結構，從輸入和輸出的實驗關係來定義和理解性能。材料專業的科技工作者為了深入理解從而更好地控制和改造性能，所採用的“相關法”和“過程法”都離不開材料的內部結構：相關法建立性能與結構參量之間的相关關係；過程法則從外因（環境）及內因（結構）的辯證關係以及性能的表现過程去深入地理解性能的本質。因此，材料專業的科技工作者自覺或不自覺地採用：

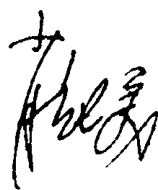
設備 $\Rightarrow$ 工藝 $\Rightarrow$ 結構 $\Rightarrow$ 性能

這條思路去控制或改造性能，即設備保證工藝，工藝決定結構，結構決定性能。在這裡，“結構”是慣用的“成分、組織、結構”的簡稱，需要用現代的《金相分析技術》來測定；“工藝”包括各式各樣

的“热处理”。上述思路中，工艺和结构是中心环节，这就加深了我对“金相热处理”重要性的认识。

上海市机械制造工艺研究所为了适应广大材料科技工作者的迫切需要，组织长期从事科研、教育和生产的材料科技人员，编写了这本大型工具书《金相分析技术》，全面介绍和论述了现代金相技术、设备、仪器和分析方法共十五章（第4至10章，第26至33章）；改变金相的热处理工艺共四章（第11章，第17至19章）；各类材料的金相共十一章（第12至16章，第20至25章），基础共三章（第1至3章）。

我相信，本书为广大的材料科技工作者提供了有效工具。通过金相的测定，判断金属材料的能力和遭遇，使之更好地为我国四个现代化服务，作出应有的贡献。



1987年6月于北京钢铁学院

目 录

第 一 章 金属学基础

第一节 金属和合金的结构	(1)
一、几种典型的金属结构	(1)
二、晶体学知识简介	(2)
三、元素的晶体结构	(5)
四、金属的原子半径	(5)
五、金属键和结合能	(5)
第二节 固溶体	(5)
一、固溶体类型	(5)
二、代位固溶体及其规律	(6)
三、填隙固溶体的晶体结构	(7)
四、有序固溶体	(7)
第三节 金属化合物	(8)
第四节 金属材料中的各种缺陷	(10)
一、点缺陷	(10)
二、线缺陷——位错	(11)
三、位错的结构	(11)
四、位错的运动和切割	(14)
五、位错的弹性性质	(16)
六、位错增殖	(19)
七、位错的产生和直接观察	(19)

第 二 章 二元合金相图

第一节 纯金属相图	(22)
第二节 二元合金相图	(22)
第三节 匀晶相图	(23)
一、相图形成条件及其特征	(23)
二、结晶过程	(23)
三、杠杆定理	(24)
第四节 共晶相图	(25)
一、相图形成条件及其特征	(25)
二、结晶过程举例	(25)
第五节 包晶相图	(27)
一、相图形成条件及其特点	(27)

二、结晶过程及组织产物	(28)
第六节 共析相图	(28)
第七节 铁碳合金相图	(29)
一、铁碳合金的组成	(30)
二、铁碳合金中的相	(30)
三、相图中的重要点和线	(31)
第八节 几个典型铁碳合金的平衡结晶过程	(31)
一、工业纯铁 ($C \leq 0.0218\%$)	(31)
二、共析钢 ($C = 0.77\%$)	(32)
三、亚共析钢 ($0.0218\% < C < 0.77\%$)	(33)
四、过共析钢 ($0.77\% < C < 2.11\%$)	(33)
五、共晶白口铸铁 ($C = 4.3\%$)	(34)
六、亚共晶白口铸铁 ($2.11 < C < 4.3\%$)	(35)
七、过共晶白口铸铁 ($4.3\% < C < 6.69\%$)	(36)
八、Fe-Fe ₃ C相图的应用和局限性	(36)

第三章 合金元素在钢中的作用

第一节 概述	(38)
第二节 合金元素与铁、碳的相互作用	(38)
一、合金元素在钢中的溶解度	(38)
二、合金元素与铁的相互作用	(38)
三、合金元素与碳的相互作用	(40)
第三节 合金元素对铁碳相图的影响	(41)
第四节 合金元素对钢加热时奥氏体转变的影响	(42)
一、对奥氏体形成速度的影响 ($P \rightarrow A$)	(42)
二、对奥氏体均匀化的影响	(43)
三、合金元素对加热时奥氏体晶粒大小的影响	(43)
第五节 合金元素对钢冷却时转变的影响	(43)
一、合金元素对珠光体转变的影响	(43)
二、合金元素对贝氏体转变的影响	(44)
三、合金元素对马氏体转变的影响	(44)
四、合金元素对过冷奥氏体等温转变曲线 (TTT曲线) 的影响	(45)
第六节 合金元素对钢的淬透性的影响	(46)
第七节 合金元素对淬火钢回火的影响	(47)
一、合金元素对回火转变过程的影响	(47)
二、回火时的二次硬化现象	(48)
三、合金元素对回火时 α 相的回复、再结晶的影响	(49)
四、回火脆性	(49)
第八节 合金元素对合金结构钢性能的影响	(50)
一、合金元素对低合金结构钢性能的影响	(50)

二、合金元素在渗碳钢中的作用	(51)
三、合金元素对调质钢性能的影响	(52)
第九节 合金元素对工具钢性能的影响	(52)
一、高速钢	(53)
二、高铬钢	(53)

第 四 章 钢的宏观检验

第一节 酸浸试验	(55)
一、热酸浸试验设备	(57)
二、试片的取样和制备	(57)
三、热酸浸试验及其操作	(58)
四、常见的一些组织和缺陷	(60)
第二节 冷酸浸试验	(72)
第三节 断口试验	(74)
一、试样的制备	(74)
二、断口试样的分类	(74)
三、断口试样的操作	(74)
四、断口缺陷的鉴别	(75)
第四节 塔形试验	(77)
第五节 硫印试验	(79)
一、硫印的基本原理	(79)
二、试验方法	(79)

第 五 章 金相试样的制备

第一节 金相试样的选取原则	(81)
第二节 金相试样的截取	(82)
第三节 金相试样的镶嵌与夹持	(84)
一、金相试样的夹持	(84)
二、金相试样的镶嵌	(85)
第四节 金相试样的磨光	(88)
一、粗磨	(89)
二、细磨	(90)
第五节 金相试样的抛光	(92)
一、机械抛光	(92)
二、电解抛光	(99)
三、化学抛光	(104)
第六节 显微组织的显示	(104)
一、化学浸蚀	(105)
二、电解浸蚀	(107)

三、几种特殊显示组织的方法.....	(107)
--------------------	---------

第 六 章 金相显微镜

第一节 概述.....	(118)
一、金相显微镜简述.....	(118)
二、金相显微镜的分类.....	(118)
三、金相显微镜的组成.....	(119)
第二节 光学基本原理.....	(120)
一、光的特性、单色光、复色光.....	(120)
二、光的反射和折射.....	(120)
三、反射镜和棱镜.....	(122)
四、透镜.....	(122)
五、光学系统的象差.....	(124)
六、金相显微镜的光学系统和特点.....	(126)
第三节 金相显微镜的基本知识.....	(127)
一、显微镜常用几何尺寸.....	(127)
二、放大率.....	(129)
三、数值孔径和分辨率.....	(130)
四、实际视场.....	(132)
第四节 金相显微镜的基本组成.....	(133)
一、物镜.....	(133)
二、目镜.....	(135)
三、照明系统.....	(136)
四、滤色片.....	(140)
五、光栏.....	(141)
六、显微镜镜架.....	(142)
第五节 金相显微镜几种观察方法的基本原理及使用.....	(145)
一、明场.....	(145)
二、暗场.....	(145)
三、相衬.....	(146)
四、诺曼尔斯基式微分干涉相衬 (D I C).....	(146)
五、偏光.....	(147)
第六节 典型金相显微镜介绍及保管.....	(150)
一、4XA金相显微镜.....	(150)
二、XJL—02型立式金相显微镜.....	(152)
三、MeF3型广视场万能金相显微镜.....	(153)
四、XJG—05型卧式金相显微镜.....	(154)
五、Neophot—30型卧式金相显微镜.....	(155)

第 七 章 显微硬度计

第一节 显微硬度试验及其应用	(158)
一、硬度的定义	(158)
二、显微硬度试验	(158)
三、显微硬度计	(158)
四、显微硬度试验的优缺点及应用	(159)
第二节 压入头类型及其试验法	(160)
一、维氏 (Vickers) 硬度试验法	(160)
二、努普 (Knoop) 硬度试验法	(161)
三、努普硬度试验法相对维氏硬度试验法的优缺点	(162)
第三节 常用显微硬度计	(162)
一、台式显微硬度计	(163)
二、哈纳门 (Heneman) 型显微硬度计	(166)
第四节 显微硬度计的使用要点	(167)
一、“零位”的校正	(167)
二、负荷的选择	(168)
三、试样的表面状态	(169)
四、正确的测量方法	(169)
五、硬度值对比原则	(169)
六、其它注意事项	(170)
第五节 显微硬度在金相研究中的应用	(170)
一、合金中各组成相的性能研究	(170)
二、研究热处理对合金性能的影响	(175)
三、金属的表面研究	(175)
四、微细制品的硬度测定	(177)
五、其它方面的应用	(177)
第六节 显微硬度计故障分析	(178)
一、硬度值偏差	(178)
二、异常压痕	(179)
三、压痕位置失调	(180)
四、测量显微镜故障	(181)
五、升降系统故障	(182)
第七节 显微硬度计的维护保养	(182)

第 八 章 钢中非金属夹杂物的金相鉴定

第一节 钢中非金属夹杂物的种类及形态	(184)
一、按夹杂物的化学成份分类	(184)
二、按夹杂物的可塑性分类	(187)
三、按夹杂物的来源分类	(188)
第二节 夹杂物对钢的性能的影响	(189)
一、夹杂物和裂纹的形成及应力集中	(189)

二、夹杂物对钢的塑性和韧性的影响	(192)
三、夹杂物对钢的疲劳性能的影响	(196)
四、夹杂物对钢的热脆性的影响	(198)
五、夹杂物对钢的切削性能的影响	(199)
六、夹杂物对钢的电磁性能的影响	(199)
第三节 夹杂物的鉴定方法概述	(200)
一、夹杂物定性的方法	(200)
二、夹杂物定量的方法	(202)
第四节 夹杂物的金相鉴定	(205)
一、样品的制备	(205)
二、夹杂物的主要特征	(206)
三、非金属夹杂物的鉴别程序	(207)
四、钢中夹杂物的预推测方法	(210)

第九章 钢的缺陷金相组织

第一节 概述	(218)
第二节 显微组织的缺陷分析	(218)
一、带状组织	(218)
二、带状碳化物	(222)
三、网状碳化物	(225)
四、碳化物液析	(226)
五、非金属夹杂物	(227)
六、球化不良	(238)
七、过热, 过烧组织	(241)
八、钢表面的脱碳	(246)
九、三次渗碳体	(246)

第十章 钢的晶粒度大小测定

第一节 晶粒度的概念	(254)
第二节 晶粒的显示	(255)
一、奥氏体本质晶粒度的显示	(255)
二、实际晶粒度的显示	(258)
三、氢气脱碳法测定晶粒度	(262)
第三节 晶粒度的评定和表示方法	(264)
一、用比较法测定晶粒度	(264)
二、用弦计算法测定晶粒度	(264)
三、综合判断法	(265)
四、铁素体晶粒度的评定	(266)

第十一章 钢在热处理时的几种基本转变

第一节 钢在冷却时的组织转变、组织形态	(276)
---------------------	---------

一、过冷奥氏体的等温转变曲线 (T T T 曲线)	(276)
二、过冷奥氏体连续冷却转变曲线 (C C T 曲线)	(277)
三、珠光体型相变	(278)
四、马氏体相变	(281)
五、贝氏体相变	(285)
第二节 钢的退火、正火、淬火、回火状态的组织转变、组织判断	(288)
一、钢的退火状态的组织转变、组织判断	(288)
二、钢的正火状态的组织转变、组织判断	(290)
三、钢在淬火状态的组织转变、组织判断	(290)
四、钢在回火状况的组织转变、组织判断	(292)

第十二章 调质钢与弹簧钢及其金相分析

第一节 调质钢的分类、成分、性能、工艺和用途	(296)
一、选材	(296)
二、工艺选择	(297)
第二节 调质钢组织分析	(301)
一、调质钢淬火组织	(302)
二、调质钢的回火组织	(304)
三、调质钢的原始组织	(306)
第三节 40Cr 钢连杆螺栓金相检验 标准	(311)
一、铁素体含量评定级别图	(312)
二、粒状碳化物含量评定级别图	(313)
第四节 弹簧和弹簧钢	(314)
一、弹簧	(314)
二、弹簧材料的技术要求	(315)
三、弹簧钢的分类、牌号和机械性能	(316)
四、弹簧钢的热处理及其金相分析	(318)
第五节 弹簧钢供应状态的金相分析	(328)
一、热轧供应状态的金相组织	(328)
二、冷拉状态弹簧钢及其金相组织	(328)
三、弹簧钢丝及其金相组织	(328)
四、弹簧钢热处理及金相组织	(330)
五、弹簧钢金相标准	(331)
第六节 弹簧钢的缺陷组织和失效实例	(337)
一、材料常见的表面缺陷	(337)
二、显微组织缺陷	(337)
三、失效实例	(340)

第十三章 轴承钢及其金相分析

第一节 轴承钢的成分与冶金质量	(343)
一、化学成份	(343)

二、低倍组织缺陷	(344)
三、显微组织检验	(344)
第二节 轴承钢加热和冷却时的组织转变	(347)
一、轴承钢在加热过程中的组织转变	(348)
二、轴承钢在冷却过程中的组织转变	(348)
第三节 轴承钢的热处理	(350)
一、正火及金相组织	(350)
二、球化退火及金相组织	(350)
三、淬火回火及金相组织	(356)
第四节 轴承零件的磨削烧伤组织	(361)
第五节 轴承钢在柴油机燃油系统三对精密偶件的应用	(362)

第十四章 工具钢及其金相分析

第一节 概述	(365)
第二节 碳素工具钢的金相检验	(366)
一、原材料的金相检验	(366)
二、热加工工序制品的金相检验	(370)
三、热处理的金相检验	(370)
第三节 合金工具钢的金相检验	(376)
一、原材料的金相检验	(376)
二、热加工工序制品的金相检验	(383)
三、热处理的金相检验	(383)
第四节 高速工具钢的金相检验	(386)
一、原材料的金相检验	(387)
二、热加工工序制品的金相检验	(397)
三、热处理的金相检验	(399)
第五节 工具钢的缺陷分析及其防止方法	(411)
一、材质不良引起的开裂	(411)
二、制坯工艺不当引起的开裂	(414)
三、热处理不当造成的开裂	(416)
四、结构、形状与表面状态不良造成的开裂	(418)
五、其他因素引起的开裂	(418)

第十五章 耐热钢和耐热合金的金相分析

第一节 概述	(420)
第二节 耐热材料的特性	(420)
一、热强性	(420)
二、组织稳定性	(421)
三、抗氧化性	(421)
第三节 耐热钢的金相分析	(422)
一、耐热钢的分类、化学成份及用途	(422)

二、耐热钢的热处理及力学性能	
三、耐热钢的金相分析	(424)
第四节 耐热合金的金相分析	(431)
一、耐热合金的分类和化学成分	(431)
二、合金元素的基本作用	(431)
三、耐热合金中的常见相	(432)
四、耐热合金金相分析	(436)
第五节 金相分析方法	(439)
一、试样制备	(439)
二、组织显示	(440)

第十六章 不锈钢及其金相分析

第一节 概述	(443)
第二节 马氏体不锈钢	(444)
一、马氏体不锈钢热处理后的组织与性能	(445)
二、马氏体不锈钢的耐腐蚀性能	(452)
三、马氏体不锈钢的金相检验	(455)
第三节 奥氏体不锈钢	(456)
一、奥氏体不锈钢热处理后的组织和性能	(457)
二、奥氏体不锈钢的耐腐蚀性能	(461)
三、奥氏体不锈钢的金相检验	(464)
第四节 铁素体不锈钢	(465)
一、铁素体不锈钢的组织和性能	(465)
二、铁素体不锈钢的耐腐蚀性能	(468)
第五节 沉淀硬化不锈钢	(468)
一、半奥氏体型沉淀硬化不锈钢	(470)
二、马氏体型沉淀硬化不锈钢	(471)

第十七章 渗碳、碳氮共渗、氮化的金相分析

第一节 渗碳热处理后金相分析	(473)
一、渗碳用钢	(473)
二、渗碳的基本原理	(473)
三、渗碳钢中合金元素的作用	(476)
四、渗碳浓度、深度对性能的影响	(478)
五、渗碳层的显微组织	(480)
第二节 碳氮共渗后的金相分析	(502)
一、碳氮共渗用钢	(602)
二、碳氮共渗工艺简介	(502)
三、碳氮共渗层的显微组织	(503)
四、碳氮共渗层深度的测量	(505)

五、碳氮共渗层的缺陷分析	(506)
第三节 氮化金相组织分析	(508)
一、气体氮化后的金相分析	(508)
二、软氮化后的金相分析	(519)

第十八章 钢的渗金属及其金相分析

第一节 钢的渗铬	(527)
一、渗铬的原理与工艺	(527)
二、渗铬层的金相组织与性能	(530)
第二节 钢的渗铝	(534)
一、渗铝的原理与工艺	(534)
二、渗铝层的金相组织与性能	(536)
第三节 钢的渗钒	(538)
一、盐浴渗钒	(538)
二、渗钒层的金相组织与性能	(539)
第四节 钢的渗锌	(540)
一、渗锌的方法	(540)
二、渗锌层的金相组织与性能	(542)
第五节 钢的渗硼	(544)
一、渗硼的原理与工艺	(544)
二、渗硼层的金相组织与性能	(547)
第六节 钢的渗硅	(551)
一、渗硅方法	(551)
二、渗硅层的金相组织与性能	(552)
第七节 金属表面的气相沉积	(554)
一、气相沉积的原理与工艺	(554)
二、沉积层的金相组织与性能	(557)

第十九章 真空热处理、激光热处理及其组织和性能

第一节 真空热处理及其组织和性能	(562)
一、真空方面的基本概念	(562)
二、真空在热处理中的金属学效果	(563)
三、真空热处理的优点	(565)
四、真空热处理的组织和性能	(566)
五、真空热处理实际应用举例	(569)
第二节 激光热处理及其组织和性能	(572)
一、激光热处理的特点	(572)
二、激光器的概况	(573)
三、激光表面处理技术的内容	(575)
四、激光表面淬火和组织特征	(576)