

钢铁金相图谱

任颂赞 张静江 陈质如 编著
施友方 毛照樵 高汉文

GANG TIE

JIN XIANG TU PU

上海科学技术文献出版社

钢铁金相图谱

任颂赞 张静江 陈质如 施友方 毛照樵 高汉文 编著

GANG TIE

JIN XIANG TU PU

上海科学技术文献出版社

图书在版编目(CIP)数据

钢铁金相图谱 / 任颂赞等主编. —上海: 上海科学技术文献出版社, 2003. 6
ISBN 7-5439-2116-2

I. 钢... II. 任... III. 黑色金属—相图
IV. TG141-64

中国版本图书馆CIP数据核字(2003)第015941号

责任编辑: 忻静芬
封面设计: 何永平

钢铁金相图谱

任颂赞 张静江 陈质如 编著
施友方 毛照樵 高汉文

*

上海科学技术文献出版社出版发行
(上海市武康路2号 邮政编码200031)

全国新华书店经销
江苏常熟人民印刷厂印刷

*

开本 889×1194 1/16 印张 63.5 字数 1 966 000

2003年6月第1版 2003年6月第1次印刷

印数: 1-3 100

ISBN 7-5439-2116-2/T·720

定价: 258.00元

内 容 提 要

本图谱由长期从事材料、热处理、失效分析工作的专家共同编著。由典型组织、碳素钢、低合金钢、高合金钢、粉末冶金、表面淬火热处理、表面化学处理、铸铁、焊接、低倍组织和非金属夹杂物、断口分析、失效分析等 12 章 2100 余帧图片组成。每帧图片配有材料、工艺、浸蚀条件及详细的组织说明,不仅有常见材料、常规工艺的介绍,还介绍新材料、新工艺。在失效分析中,有 104 个失效案例,涉及轴类、齿轮类、管道容器等各类失效,内容详实,贴近生产实际。为便于读者使用,配有钢号索引,失效分析案例索引。

本图谱可供从事金相热处理、焊接、铸锻、金属材料试验研究的有关人员参考,也可作为有关院校教学参考书。

序

金相分析对检测材料组织,保证产品质量是不可或缺的重要手段。钢铁中具有多种相变,使钢铁金相绚丽多彩。由于工业需要,钢中相变迄今仍受科学界关注(见 S. E. Offerman, et. , Science, 2002, 298:1 003 ~ 1 005)。钢铁材料在本世纪依然会在工业材料中昂首首位,如以家用汽车为例,钢铁所占重量百分数自 1978 年的 74% 至 1997 年降为 67%,但同一时期,其所用高强度钢却由 4% 升至 9%(见 R. A. Heimbuch, in 40th Mechanical Working and Steel Processing Conference Proceedings, Vol. XXXVI, Iron and Steel Society (ISS), Warrendale, PA, 1998, pp. 3 ~ 10),其增长之快是汽车用材中没有任何材料所能比拟的。这类高强度钢都呈复相组织,因此,钢中奥氏体分解动力学及显微组织演变的研究和制模已成为优化钢铁质量和生产工艺至关重要的任务(见 M. Militzer, Science, 2002, 298:975 ~ 976)。上世纪 80 年代曾有《钢铁材料金相图谱》(李炯辉、施友方、高汉文编著,周志宏院士作序,1981 年上海科技出版社)出版,很受读者欢迎,早已脱售。鉴于目前对这方面资料的需要,由上海市机械制造工艺研究所有关科技人员牵头,组织长期从事材料金相热处理专业和失效分析的一些专家,在上海科技文献出版社支持下,共同编著一本工具书《钢铁金相图谱》,计划于 2003 年作为重点书目在全国公开发行。

《钢铁金相图谱》由典型组织、碳素钢、低合金钢、高合金钢、粉末冶金、表面淬火热处理,表面化学热处理、铸铁、焊接、低倍组织和夹杂、断口分析、失效分析(内含 100 余件案例)共十二章组成。本书内容较充实,相应图片有浸蚀条件及组织的说明,并有相关工艺及有关金属学知识的阐明。希望这本图谱的出版有助于金相工作者从事的钢铁组织分析工作,促进我国工业发展。

当今科学技术发展迅速,金相分析技术也不例外,如应用同步源 X 射线显微镜摄录快速相变过程中的组织变化,应用具有高达几个纳米的纵向分辨率的原子力显微镜可测量 TRIP 钢中贝氏体,残余奥氏体及马氏体等组织的高度,以分别检定其复合组织等。希望我国金相同仁们与时俱进,共同促使出版繁荣,事业进步,为复兴中华继续贡献力量。

徐祖耀
2003年11月3日

前 言

铁器的使用是人类文明进化的重要里程碑,时至今日 IT 时代,钢铁材料仍居工程材料之首。人类为不断提高钢材质量,为适应各种服役条件下的钢种开发、升级而进行的研究从未停止过。其中钢铁材料组织形态与材质、工艺、性能之间关系的研究是人类百年来为之努力不懈的一大课题。而组织形貌的识别、分析(即金相分析)是一门实践性很强的学科,需要实践经验及借鉴、参考。在过去的几十年中,出版过许多金相图谱,包括《钢铁材料金相图谱》(李炯辉、施友方、高汉文编著),对材质及工艺控制、新材料及新工艺的开发研究起到了可贵的推动作用。当前,由于有关金相图谱较为缺少,同时为反映材料、工艺、技术、标准的新进展,由上海市机械制造工艺研究所的有关科技人员牵头,组织长期从事材料、金相热处理和失效分析的一些专家共同编著这本《钢铁金相图谱》。本书不是科学前沿的著作,而是奉献给广大材料分析研究的科技工作者的一本参考工具书。本书内容主要是编著者在长期工作中积累的资料,这些资料紧密结合生产实际,不仅有大量的基础件、常规钢铁材料资料,也有成熟的新材料、新工艺方面的资料。这是一种基础工作层面上的努力,希望能对当前的“创新”有所促进。

本图谱由典型组织、碳素钢、低合金钢、高合金钢、粉末冶金、表面淬火热处理、表面化学热处理、铸钢、焊接、低倍组织和非金属夹杂物、断口分析、失效分析等十二章组成。章节的划分基本按照传统的钢材分类方法和工艺分类方法。全书包括 2 000 多幅图片,对应每幅图片有材料、工艺情况、浸蚀方法及较为详细的组织说明,并有相关的金属学原理的阐述。独立成章的“断口分析”和“失效分析”部分篇幅较大,内容充实,失效分析案例多达 100 余件,可以适应失效分析日益受到重视和广泛得到应用的趋势。希望这些具体的实例能给读者提供较丰富的借鉴和有益的启发。

金相组织的分析,不仅有组织识别还有评定,既有定性又有定量、半定量的检测,其依据是相关的国家标准或行业标准。本书在组织说明中应用相关标准,说明其判定的原理或原则。其标准选用目前的最新标准,由于标准有时效性,读者在具体应用时请注意标准的有效性。

书中图片对应的钢材,凡是国家标准钢种,在附录一中可查阅到相关的标准成分范围;一些非标准钢种则在具体图片说明中列出其成分范围。为便于读者查阅,本书编排了钢号索引和失效分析案例索引。

我国著名冶金学家周志宏教授生前曾经说过:“出色的金相图片是科学与艺术的相互辉映,令人爱不释手。”而“优秀的金相图片,无一不需金相工作者付出大量的精力和心血”,同时也与优良的金相显微镜相关。金相显微镜的改进、完善和发展必然会推动金相分析技术的进步。世界著名金相显微镜制造商德国徕卡公司不仅致力于金相显微镜的生产、开发,还关心其产品对生产、技术的推动及产品的新需求,并对本书的编著出版给予了热情支持和赞助,在此谨表谢意。

本书承中国科学院院士、上海交通大学教授徐祖耀先生撰写序言,由衷地表示感谢。

本书的编写工作得到上海市机械制造工艺研究所、上海汽车工业质量检测研究所、上海大隆机器厂的关心和支持。在编写中得到周子年教授以及沈虹、张佳蓉、史妙英、张玉虎、陈善珠、王福坤等同志的关心和帮助。尤其是上海市机械制造工艺研究所理化室的陈德华、王建华、王琦、熊一啸、钱中美等同志对全书的编写给予极大的支持和热情的帮助。书中有些资料来自有关文献或手册,对参考文献的作者以及上述有关人士在此一并致谢。

如同许多作者一样,对已付印的一些图片、文字总感有不够完善的遗憾。同时由于编著者水平有限,书中错漏之处恳请广大读者批评指正。

作者
2003 年元月

金相与金相显微镜技术

——写在《钢铁金相图谱》出版之际

自从第一台实用的金相显微镜问世以来已经历了 60 多年的发展历程,这是材料科学与金相显微镜相互促进发展的历程。特别是近年来,突飞猛进的计算机技术和数字图像技术给现代金相显微镜发展开创了一个新世界。随着材料科学的高速发展,各种新材料层出不穷,对材料结构强度和抗疲劳强度的要求越来越高,对金相显微镜检测中定量分析的精度要求、多样化和自动化提出了新的挑战,因此,现代金相显微镜技术不仅局限于光学和机械方面的新技术,而且与机械、光学、计算机技术和电子图像分析等领域新技术的综合应用和优化组合水平密切相关。金相工作中,最重要的就是获得高质量的金相图像,近十年来,徕卡公司在金相显微镜中引入先进技术方面不断取得新的进展,使金相显微镜操作更简单,精度更高,图像更完美。采用的新技术主要体现在以下几方面:

一、采用最优化组合光学系统 HCS(Harmonic Component System)。不仅对适用于所有显微镜衬映技术的无限远消色差的物镜进行“最优化”设计,而且对与它相配的所有不同类型和种类的光学镜头参数进行“最优化组合”设计,保证每一种组合的光学系统的图像质量达到最优,获得最高清晰度、最高对比度的图像。

二、采用开放的系统,可在基本的成像光路中随时附加任何应用领域的特殊技术。使用者可根据不同的需要选择不同的功能模块和不同种类的部件,使显微镜比以往任何时候更个性化,还可根据今后使用要求的变化增配模块和部件。使用者可增加高温热台,测量高温下的相变;可增加显微硬度测量装置;还可增加激光拉曼光谱仪,测量材料的化学成分,等等。

三、采用先进的电子技术和数字图像技术。徕卡金相显微镜可选配多种自动化电子装置,可用电脑进行自动化操作,如物镜自动转换、照相条件自动编辑等。

自动化的现代金相显微镜都有连接电脑的 RS232C 接口,实现电脑对显微镜的自动化操作。数字图像资料、图片档案可以上网,畅通无阻地与世界各地进行交流。配置的多种金相材料分析软件可以满足金相分析各种要求。

本书作为金相图谱的参考工具书,必将对广大金相工作者的工作提供一个良好的使用工具,徕卡公司作为金相显微镜的技术领先者非常高兴能参与其中的工作,并将继续为广大用户提供进一步的技术咨询。本公司希望通过对金相显微镜不断改进及发展,能为广大金相工作者不断献上更精美的金相图片。

徕卡(LEICA)仪器有限公司

2003 年元月

目 录

第一章 钢铁典型金相组织	1
第二章 碳素钢	39
第一节 低碳碳素钢金相组织	39
第二节 中碳碳素钢金相组织	54
第三节 高碳碳素钢金相组织	79
第四节 铸造碳素钢金相组织	91
第五节 碳素钢和铸造碳素钢的缺陷组织	103
第三章 低合金钢	112
第一节 低合金结构钢金相组织	112
第二节 弹簧钢金相组织	164
第三节 轴承钢金相组织	181
第四节 低合金工具钢金相组织	196
第五节 低温用钢金相组织	207
第四章 高合金钢	223
第一节 高合金工模具钢金相组织	223
第二节 高锰钢金相组织	239
第三节 高速工具钢金相组织	243
第四节 耐酸不锈钢金相组织	257
第五节 耐热不锈钢金相组织	295
第五章 粉末冶金	309
第一节 铁基粉末冶金金相组织	309
第二节 硬质合金金相组织	326
第六章 表面淬火处理	335
第一节 表面感应淬火处理金相组织	335
第二节 表面激光淬火处理金相组织	348
第七章 表面化学热处理	360
第一节 渗碳处理金相组织	360
第二节 碳氮共渗处理金相组织	398
第三节 渗氮处理金相组织	419
第四节 渗硼处理金相组织	447
第五节 其他渗镀处理金相组织	454
第八章 铸铁	465
第一节 灰铸铁金相组织	465
第二节 球墨铸铁金相组织	502
第三节 可锻铸铁金相组织	530
第四节 蠕墨铸铁金相组织	535
第五节 合金铸铁金相组织	542

第九章 焊接	554
第一节 碳钢焊接金相组织.....	554
第二节 合金钢焊接金相组织.....	575
第三节 堆焊层金相组织.....	596
第十章 低倍组织和非金属夹杂物	613
第一节 低倍组织缺陷.....	613
第二节 铸件低倍组织.....	645
第三节 非金属夹杂物.....	655
第十一章 断口分析	680
第一节 韧性断口.....	680
第二节 解理断口及准解理断口.....	689
第三节 疲劳断口.....	702
第四节 氢致开裂断口和应力腐蚀断口.....	712
第五节 其他断口和有关裂纹.....	719
第十二章 失效分析	736
第一节 轴杆类失效分析案例.....	736
第二节 齿轮及轮类构件失效分析案例.....	810
第三节 管道容器类失效分析案例.....	838
第四节 基础件失效分析案例.....	874
第五节 其他类构件失效分析案例.....	930
附录一 常用钢号及成分	971
附录二 钢号索引	997
附录三 失效分析案例索引	1001
主要参考文献	1005

第一章 钢铁典型金相组织

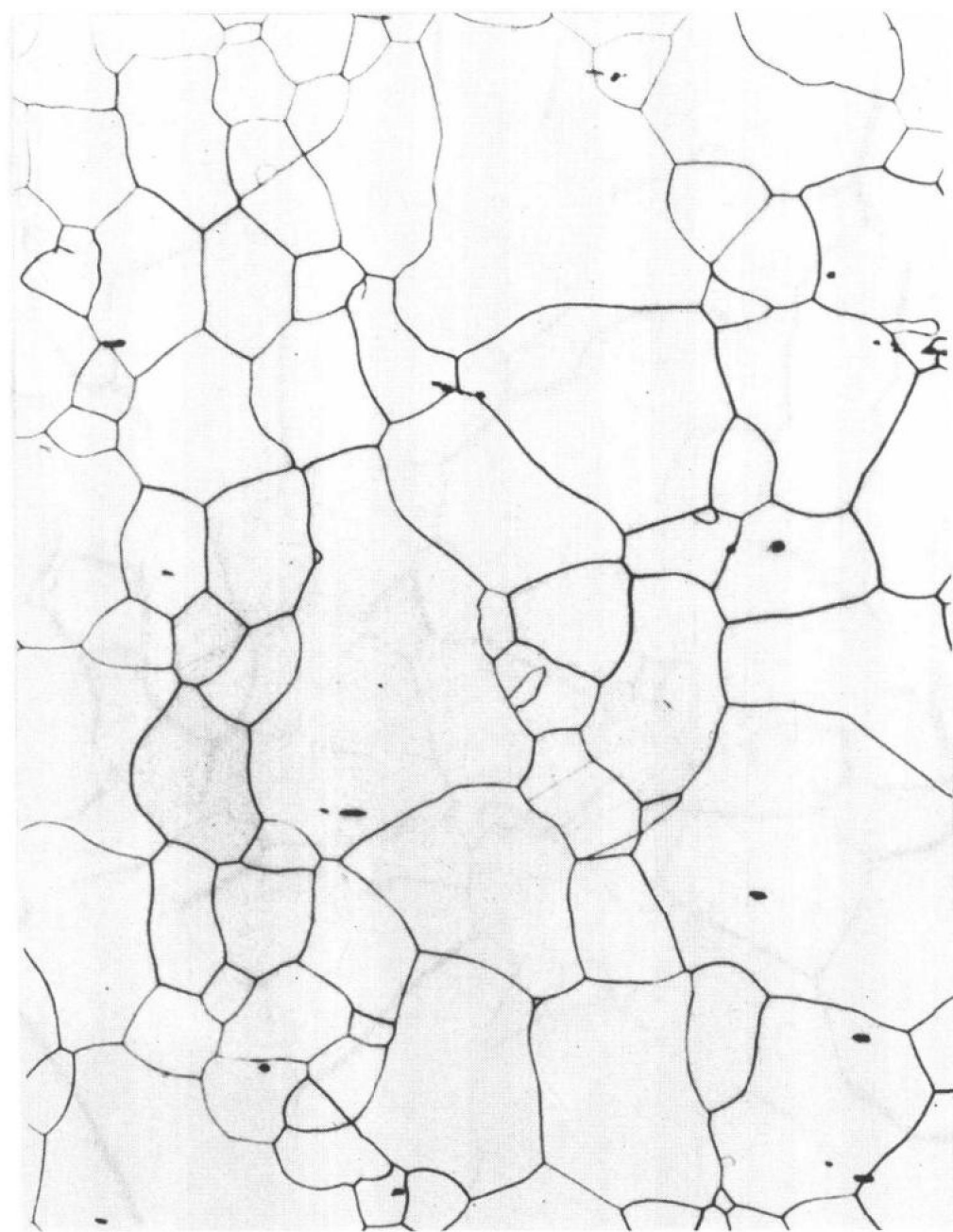


图1-1

500 ×

图 号：图1-1

材 料：纯铁

工艺情况：退火状态

浸蚀方法：苦味酸酒精溶液浸蚀

组织说明：白色颗粒状为铁素体，明显黑色曲折线条为晶界，其上黑色小点为氧化物。



图 1-2

500 ×

图 号：图 1-2

材 料：10 钢

工艺情况：退火状态

浸蚀方法：4% 硝酸酒精溶液浸蚀

组织说明：白色颗粒状为铁素体，晶界处白色线条和颗粒状为三次渗碳体。

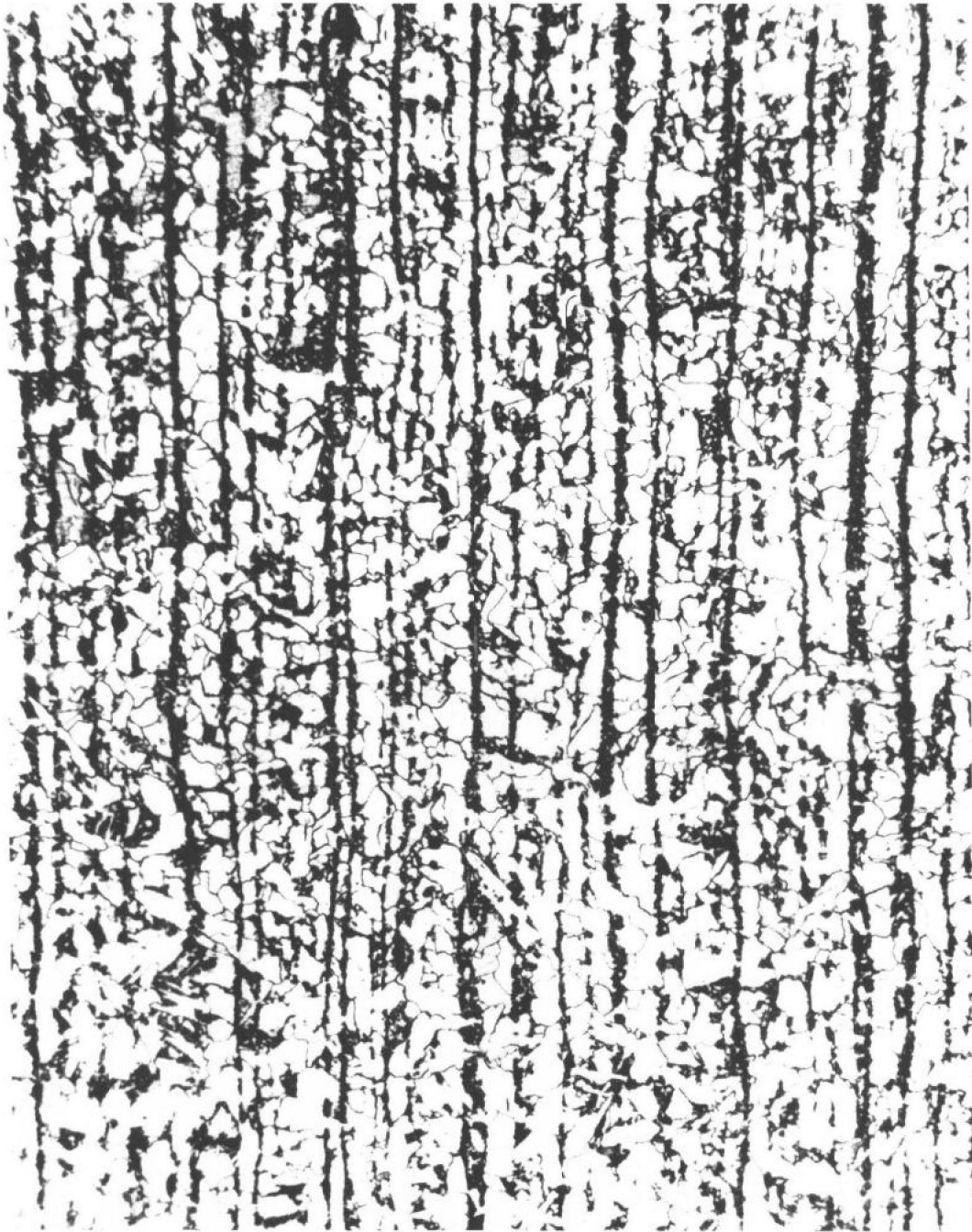


图 1-3

100 ×

图 号：图 1-3

材 料：16Mn

工艺情况：热轧状态

浸蚀方法：4% 硝酸酒精溶液浸蚀

组织说明：铁素体与珠光体沿轧延变形方向交替成带状分布。



图1-4

250 ×

图 号：图1-4

材 料：1Cr18Ni9Ti

工艺情况：固溶处理

浸蚀方法：盐酸、硝酸、甘油混合溶液浸蚀

组织说明：均一的奥氏体组织，部分晶粒呈孪晶分布，其上黑色小点为碳化物，多边形小块状为氮化物。



图1-5

500 ×

图 号：图1-5

材 料：T8

工艺情况：退火

浸蚀方法：4%硝酸酒精溶液浸蚀

组织说明：层片状珠光体。层片状珠光体是一种双相结构的组织，是一层铁素体和一层渗碳体的混合物。它是由高温奥氏体冷却到723℃共析反应后所得到的产物，含碳量为0.77%。

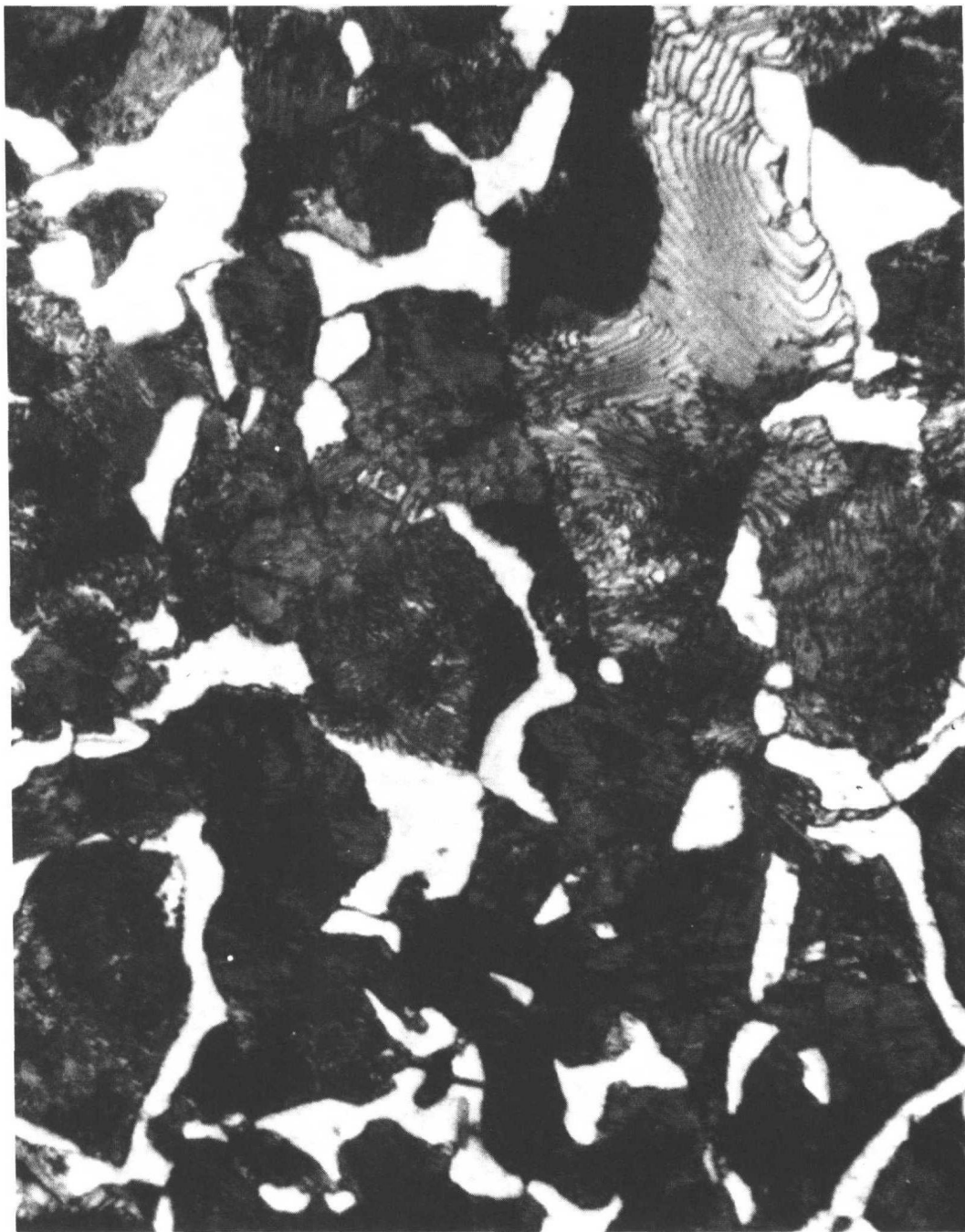


图 1-6

850 ×

图 号：图 1-6

材 料：50 钢

工艺情况：正火处理

浸蚀方法：4% 硝酸酒精溶液浸蚀

组织说明：黑色细片状珠光体、灰色粗片状珠光体及白色条块状铁素体混合分布。

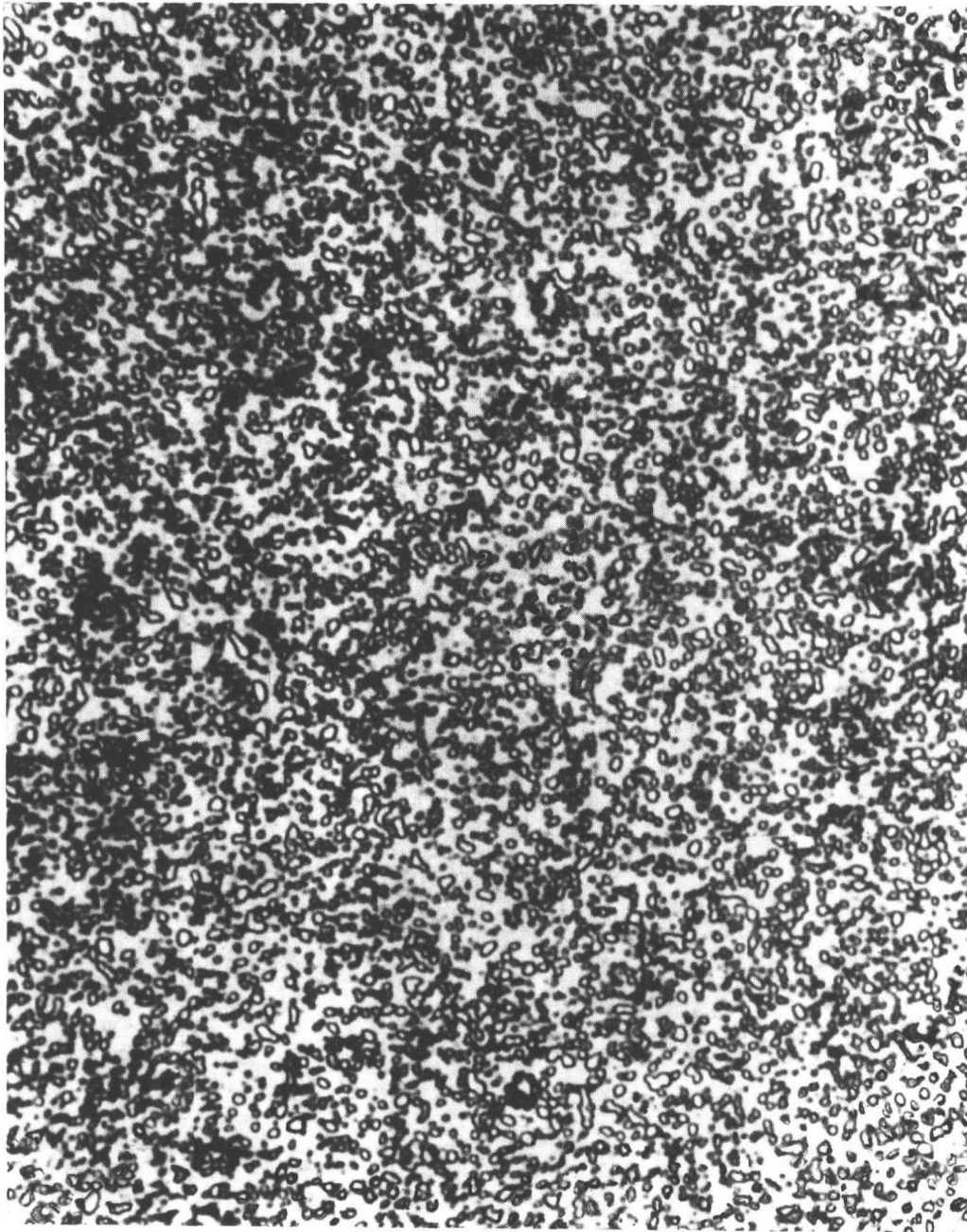


图 1-7

500 ×

图 号: 图 1-7

材 料: GCr15

工艺情况: 球化退火

浸蚀方法: 4% 硝酸酒精溶液浸蚀

组织说明: 球粒状珠光体。通过正常球化退火工艺,促使碳化物呈均匀的球粒状分布在铁素体基体上,从而降低了硬度,改善了轴承钢的切削性能,并且利于淬火时不易造成过热现象。



图 1-8

500 ×

图 号：图 1-8

材 料：T10

工艺情况：加热至 860℃ 保温后炉冷

浸蚀方法：4% 硝酸酒精溶液浸蚀

组织说明：黑色基体为细片状珠光体，沿晶界分布的白色细网络为二次渗碳体。在奥氏体转变为珠光体之前，二次渗碳体从晶界析出，根据二次渗碳体沿晶界分布可以勾划出奥氏体的晶粒度。