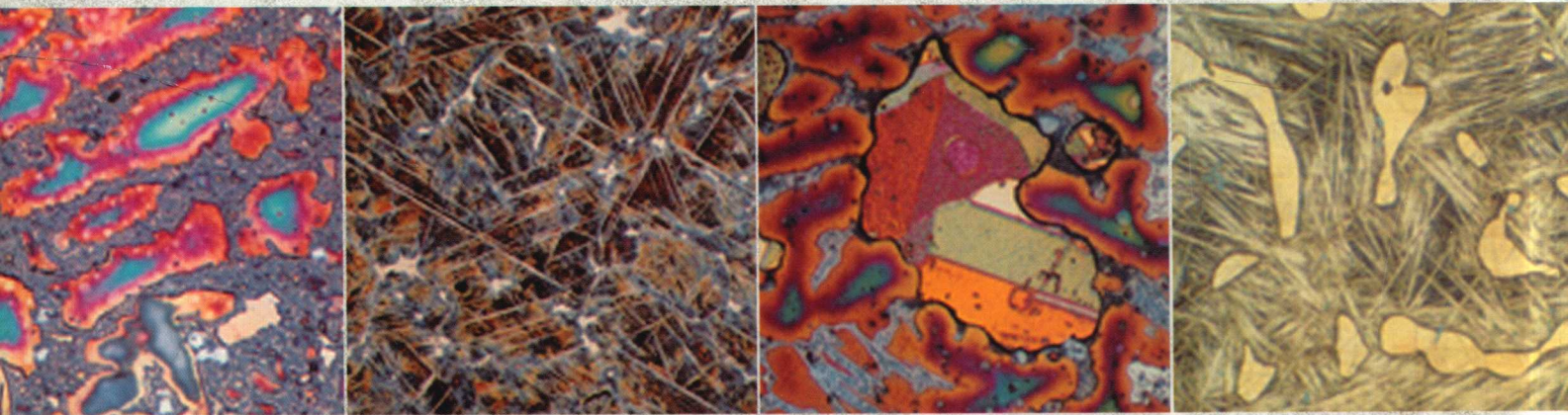


中国文化遗产研究院
文化遗产译著丛书

古代和历史时期金属制品 金相学与显微结构

[美] David A.Scott 著
田兴玲 马清林 等 译



科学出版社

中国文化遗产研究院

文化遗产译著丛书

古代和历史时期金属制品 金相学与显微结构

〔美〕 David A. Scott 著

田兴玲 马清林 等 译

科学出版社

北 京

图字: 01-2012-2060

内 容 简 介

本书是关于古代和历史时期金属制品金相技术的综述性著作,包括金属(主要为铜、青铜、钢铁、金、银等)的金属学知识、古代金属制品研究用金相样品制备、金相结构解析和制作技术推断。涉及金属、相图、合金的各种结构类型、晶粒,以及与金属学研究相关的大量名词解释(术语),并详细列举了应用这些知识的实例,如采样、制备金相观测用试样、实验观察、各种浸蚀剂配方等内容,附录了不同类型合金及其显微结构。所选案例时间和地域跨度大,代表性和典型性强,信息量大。

全书集教学性与实用性于一体,图文并茂,易于读者理解和接受。本书可供国内大学相关专业师生、文物博物馆单位从事文物研究与文物保护修复的工作人员阅读参考。

Metallography and Microstructure of Ancient and Historic Metals/David A. Scott

© 1991 J. Paul Getty Trust

First Published in English under the title Metallography and Microstructure of Ancient and Historic Metals by Getty Publications 1200, Getty Center Drive Suite 500, Los Angeles CA 90049-1682

© 2012 Chinese translation Science Press

All rights reserved.

图书在版编目 CIP 数据

古代和历史时期金属制品金相学与显微结构/(美)大卫·斯科特(David A. Scott)著;田兴玲,马清林等译. —北京:科学出版社,2012

(中国文化遗产研究院文化遗产译著丛书)

ISBN 978-7-03-035205-7

I. ①古… II. ①斯… ②田… III. ①金属器物—古器物—金相学—研究—世界 ②金属器物—古器物—显微结构—研究—世界 IV. ①K866.404

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第169048号

责任编辑:雷 英/责任校对:胡小洁

责任印制:赵德静/封面设计:谭 硕

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

中国科学院印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

2012年9月第 一 版 * 开本:889×1194 1/16

2012年9月第一次印刷 印张:12 1/4

字数:301 000

定价:180.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

盖蒂保护所简介 (The Getty Conservation Institute)

盖蒂保护所成立于1982年，是保罗·盖蒂（J.Paul Getty）信托基金运作的从事文化遗产保护研究的专门机构，其目标旨在全球范围和跨学科领域开展科学研究、人员培训及档案整理工作，通过研究所确立的项目，如田野发掘、教育培训、国际会议和出版物发行等专业活动，促进保护领域水平的提高。

中译本序

大卫·斯考特博士(Dr. David A. Scott)曾是美国盖蒂中心所属盖蒂保护所(GCI)的资深科学家,他在古代冶金学、古代金属保护和研究方面发表学术论文90余篇,主编了几种会议论文集,出版了多部有重要学术影响的研究著作,在古代金属文物研究与保护、古代颜料研究方面有极强的学术影响力。其主要著作《古代和历史时期金属制品金相学与显微结构》(Metallography and microstructure of ancient and historic metals, 1991)、《艺术品中的铜和青铜:腐蚀产物,颜料,保护》(Copper and Bronze in Art: Corrosion, Colorants, Conservation, 2002)和《艺术品中的铁和钢:腐蚀产物,颜料,保护》(Iron and Steel: Corrosion, Colorants, Conservation, 2009)已是此领域专业人员的重要参考书目。其中《艺术品中的铜和青铜:腐蚀产物,颜料,保护》获得2002年美国出版者协会美国最佳学者/艺术家图书出版奖,中译本由我院和中国国家博物馆专业人员翻译,获得全国文博考古十佳图书最佳译著奖(科学出版社,2009年)。目前,他是洛杉矶加州大学艺术史和考古系教授,负责洛杉矶加州大学/盖蒂保护所的考古学和人类学保护项目。

《古代和历史时期金属制品金相学与显微结构》一书,1991年由美国盖蒂基金会出版,其目的是提供金相技术应用于古代和历史时期金属研究的大量信息,并展示各类金属结构实例,这些实例大都引自大卫·斯考特在该领域的多年研究成果。全书简要介绍了金属属性、相图、合金的各种结构类型以及运用这些知识的实际技术,如采样、制备金相观测试样、各种浸蚀剂、显微硬度和晶粒度等,在附录中用很长篇幅介绍了不同类型合金及其显微结构。可以说,在《中国古代金属材料显微组织图谱——有色金属卷》(科学出版社,2011年)问世前的20年间,此书基本上是中国研究古代金属金相学专业人员的最主要的参考手册。

《古代和历史时期金属制品金相学与显微结构》2005年初由我院田兴玲同志主动承担翻译工作。田兴玲同志勤学好问,2008年已拿出比较齐整的初稿。为保证这样一部科技类图谱性手册的科学性和准确性,2009~2011年间,先后邀请北京大学考古文博学院陈铁梅教授与陈建立副教授、科学出版社雷英参与校译,邀请中国国家博物馆文物科技保护部主任潘路研究员、北京科技大学梅建军教授和李秀辉副教授审稿。2011年,在刘曙光院长的关心下,中国文化遗产研究院将此书中译本出版列入院工作计划,并在校译和出版经费资助方面给予大力支持。在翻译过程中,北京化工大学材料科学与工程学院李志林教授,中国文化遗产研究院张治国助理研究员也给予了热情帮助。

《古代和历史时期金属制品金相学与显微结构》中译本,作为中国文化遗产研究院奉献给中国文物博物馆事业的一份礼物,包含了领导和相关领域专家学者的关怀与关注,如果此书成为中国文物博物馆事业专业人员必备研读书目,译者及出版者将倍感欣慰。

参与中文版制作的人员兹列如下:

翻译:田兴玲

校译:马清林 陈铁梅

陈建立 雷英

审稿:马清林 潘路

梅建军 李秀辉

马清林

2012年8月

序

古代和历史时期器物与艺术品的材料结构及加工信息能帮助我们探索它们的时代、产地和可能用途，同时，对于建立物品档案，确定相应的保存策略和保护措施，结构研究也非常重要。几十年来，人们持续研究史前到近代各种材质的人工制品，其中很多使用了金相技术。这些研究成果分散在各国文献中，有的不易找到，有些甚至没有发表。在国内和国际学术会议上，经常有人提出希望将某类器物或某种材质器物的研究资料汇总，建立数据库或发表，以利于共享。本书之目的是提供金相技术应用于古代和历史时期金属研究的大量信息，并展示各类金属结构的实例，这些实例大都引自大卫·斯考特（David A. Scott）在该领域的多年研究成果。

本书出版得到了盖蒂保护所副所长Frank Preusser博士指导。我们希望此书能对大学生、修复师、保护科学家以及金相技工有所帮助，特别希望能对正在探索金属结构并应用此方面知识研究古代材料的同仁们有所帮助。本书是盖蒂保护所出版计划中关于文物保护科学材料研究丛书的第一部。盖蒂保护所和盖蒂博物馆合作实施丛书计划，二者共为出版者。

Miguel Angel Corzo

盖蒂保护所所长

Marina del Rey, California

前言

本书内容来自于实验室工作笔记。作者在整理、归纳和重新编写这些资料时着眼于增强其可读性。虽然至今已有大量研究古代和历史时期金属文物的文献发表，但还是难于找到关于金相技术的综述以及专门为文物保护工作者编写的解释金属显微结构的专著。本书拟通过对金属显微结构的简要介绍来填补这一空白。从材料科学角度，本书的意义在于探索古代金工是如何利用合金的。

可以列举很多理由说明为什么需要研究金属的结构：为更好地保护金属文物，需要文物保护工作者观察器物的显微结构；为评价器物的腐蚀程度及其脆性，也需要探索性研究，因为新的保护措施有可能影响金属显微结构状态的保存。Cyril Stanley Smith认为可以在不同的凝聚水平考察金属结构的层级，而将材料研究的既往成果纳入理论框架，使材料科学更加关注显微结构对材料性能的影响，甚至是对材料艺术品质的影响。的确，金相组织无论在科学层面或艺术层面上都是有明显影响力的。金属是一种有趣的材料，因为它们的使用性能可用多种方式操控：如合金化、加热、淬火、熔化、铸造、锤打和冲压成型等。成型过程中因其塑性而变形，成型后形状长期稳定不变。

此处用几句话概括本书的结构。首先我们将简要介绍金属属性、相图和合金的各种结构类型，然后转入对这些知识的实际应用，如采样、制备金相观测试样。本书对合金相图不作定量分析。总体来说，本书尽量不涉及数学内容。实用信息包括详细介绍各种浸蚀剂、显微硬度和晶粒度等内容。附录F用很长篇幅介绍了不同类型的合金及其显微结构，这些都是作者的研究实例。当然，附录不可能包罗万象，希望读者有兴趣并有所裨益。

本书提供的分析数据未注明用哪种方法获得，在多种分析方法和技术中，如电子探针、原子吸收光谱、电感耦合等离子光谱、X射线荧光分析等，选用了其中一种或两种方法。详细讨论金属的化学组成不是本书之目的。同样，虽然腐蚀和腐蚀产物是古代金属的重要组成部分，但本书不涉及腐蚀产物性质的细节，以免篇幅过长。尽管在“词汇表”中列出了关于金属和金属加工的某些信息与术语，但也未对金属冶炼、铸造和加工作详细讨论。

致谢

非常感谢盖蒂保护所出版部对本书从手稿编辑到印刷过程的关心和安排。特别感谢Irina Averkieff自始至终的认真编辑，Janet Enriquez重新描绘插图，Dennis Keeley拍摄第十一章的有关照片，以及Marquita Stanfield的总体设计。还有项目副主任Frank Preusser和合作出版人Irina Averkieff，感谢他们的热忱和支持。

感谢“Summer Schools”出版社对本书第一版文本的帮助。

如果没有下列同仁慷慨提供样品或做出努力，不少照片是不可能在本书中发表或引用的。这方面要特别感谢：伦敦考古研究所材料科学和保护科学部前主任Nigel Seeley博士，现为国民信托基金文物保护调查员；伦敦国际学术项目成员James Black；伦敦材料科学和保护科学部前助理研究员Rodney Clough博士，以及该系以前的学生Noël Siver, Heather Burns, Bob Haber, Warangkhan Rajpitak博士, Naylour Ghandour, Abdulrasool Vatandoost-Haghighi 博士和Jane Porter等。我还要感谢考古研究所的南美史前考古讲师Warwick Bray博士、摄影部主任Peter Dorrell和高级摄影师Stuart Laidlaw。

感谢盖蒂保护所成员：我的秘书 Ruth Feldman，她为准备本书手稿做了大量文字输入及编校工作，特别项目主任Neville Agnew博士和助理科学家Michael Schilling。还要感谢盖蒂博物馆古物保护部主任Jerry Podany和装饰艺术与雕塑保护处助理保护师Linda Strauss。

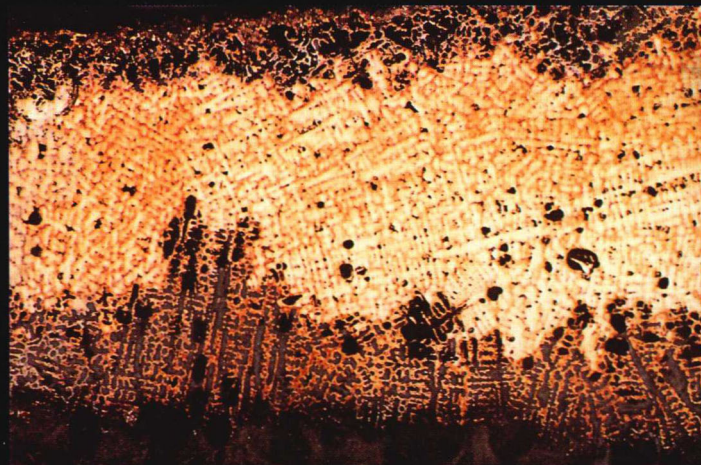
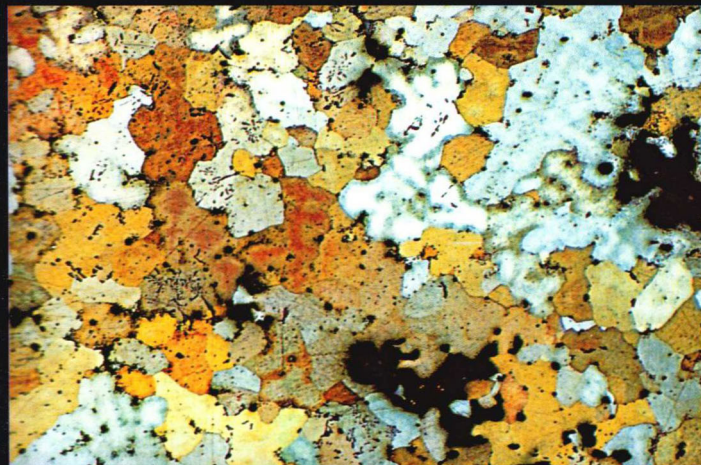
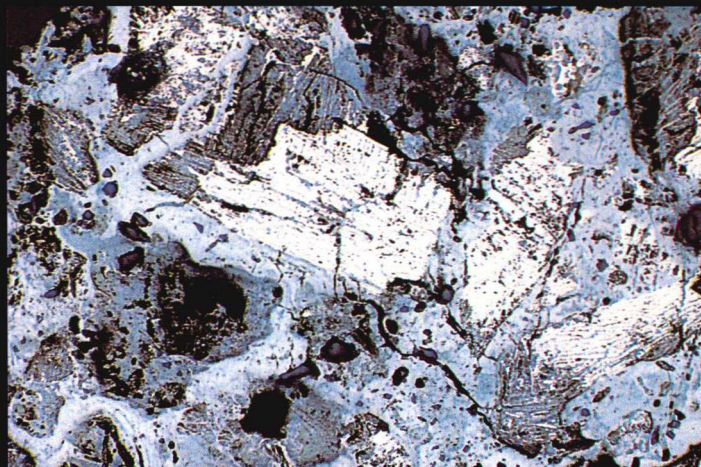
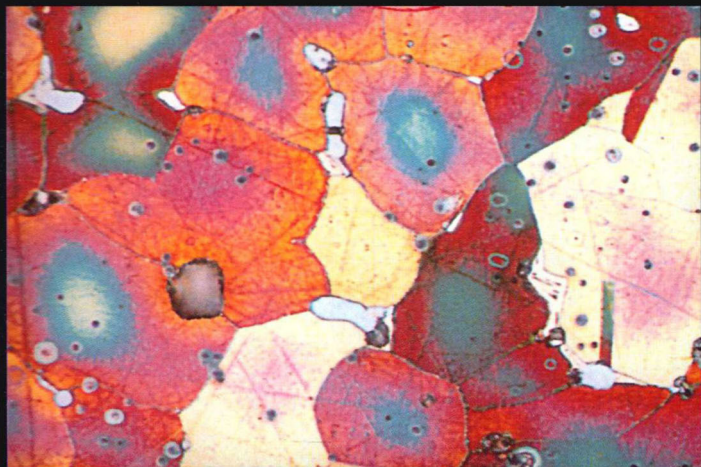
David A. Scott博士
盖蒂保护所
博物馆藏品保护服务处主任

彩版1 卢里斯坦剑柄截面。用硫代硫酸盐/醋酸盐彩色浸蚀剂浸蚀，显示剑柄部有正六方体晶粒和孪晶，该部位因铸接剑柄而部分退火。可见晶粒边界和硫化铜夹杂，后者呈浅灰色。如果用三氯化铁浸蚀，不能揭示存在于退火结构中的晶内偏析。
×150（参见图112、图113）

彩版2 中国铸铁狮子锈蚀残片。氧化铁外壳保存了原始金属结构的某些细节。抛光截面显示有斯氏体和残存的渗碳体。×200

彩版3 普拉特·汉密尔顿（Pratt Hamilton）室外青铜雕塑截面，显示铸造合金为铅黄铜。可见铸造晶粒结构，在某些清晰的树枝晶部位有显著的晶内偏析。暗色孔洞是树枝晶的晶间空隙。三氯化铁盐酸酒精溶液浸蚀。部分偏振光照明。×65

彩版4 拉·彼鲁兹（La Perouse）号沉船黄铜勋章残片。该船于1726年沉没于澳大利亚海岸。样品用三氯化铁盐酸酒精溶液轻度浸蚀，显示出明显的铸造黄铜树枝晶结构。铜和锌都因腐蚀而流失，腐蚀深入金属内部。腐蚀导致黄铜中锌流失很常见，但此件样品出现了树枝晶区域的铜流失现象，铜腐蚀产物占据了树枝晶间的空间。×70

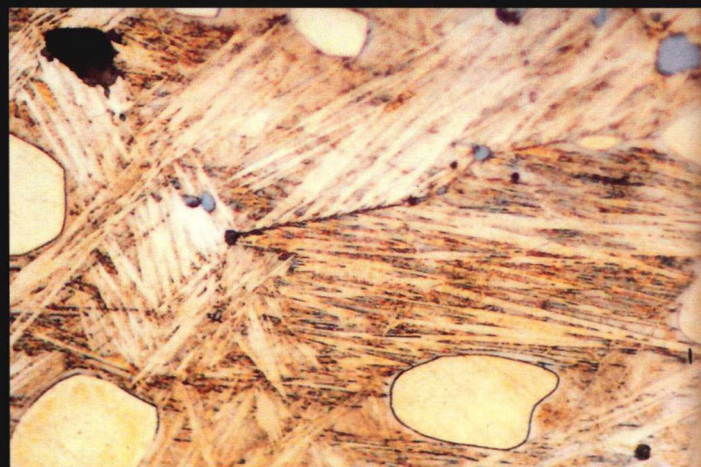
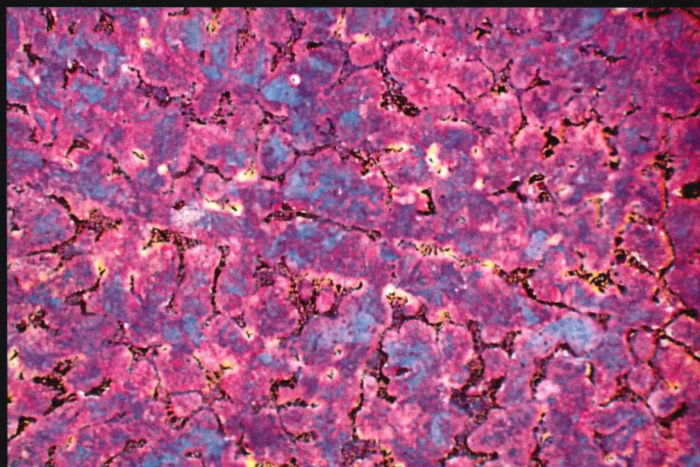
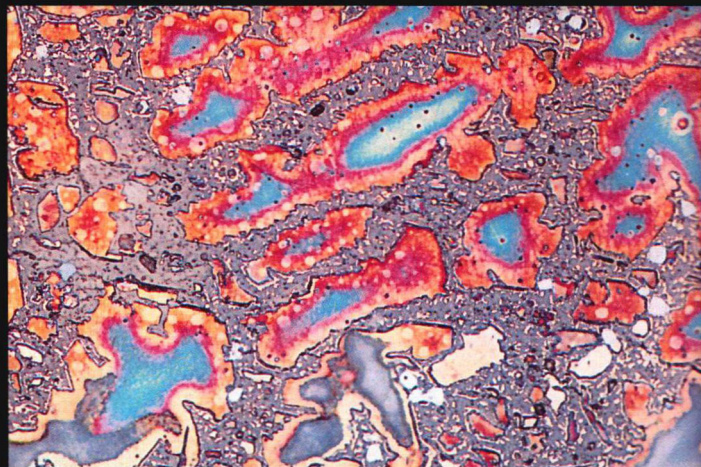
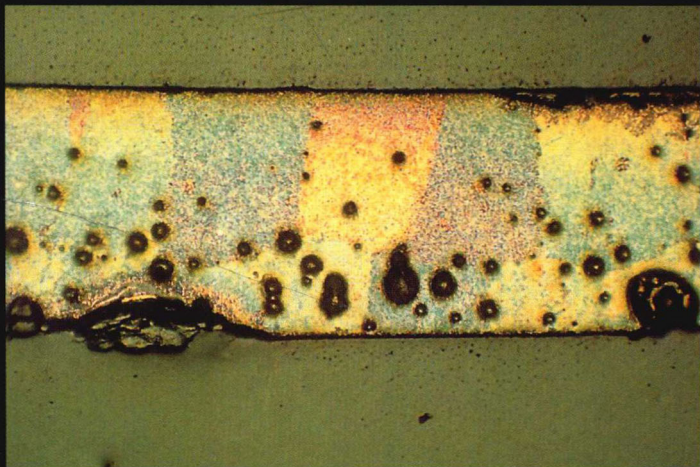


彩版5 坎特伯雷 (Canterbury) 出土的罗马铜镜。一些罗马时代的镜子用高锡铅青铜制成，系铸造后部分淬火以分解 $\alpha + \delta$ 共析体。此面镜子含铅5%、锡19%和铜73%，是在很浅的模具里铸造的。铅因重力偏析在铸型的底部富集，在镜子内均可见很大的晶粒。由于快速冷却，在每颗晶粒内都生成 δ 相和部分发生魏氏体转化的细小结构。三氯化铁盐酸酒精溶液浸蚀。 $\times 64$

彩版6 1世纪罗马香炉的腐蚀截面。硫代硫酸盐/醋酸盐浸蚀。富铜的树枝晶未腐蚀，呈现为浅蓝色中心和橘色的边界。 $\alpha + \delta$ 共析体大多腐蚀，显现灰色。截面中可见未被腐蚀的呈明亮金属光泽的再沉积铜。 $\times 350$

彩版7 19世纪天平的铸铁残片。用有色彩效应的（正）硒酸浸蚀。铸造形态清晰可见，石墨片在树枝晶间生成。铸铁基体由铁素体和珠光体组成。 $\times 150$

彩版8 泰国高锡青铜容器截面。显示了淬火形成的 β 针状体，截面中黄色小岛状物为残留的 α 相，表明锡含量低于24%，这为分析数据所证实，实测锡含量为21.6%。照片中蓝灰色颗粒为硫化物夹杂。此样品表明泰国古代金匠已掌控高锡青铜合金的技能，他们一般将700℃左右淬火作为加工流程的最后步骤。三氯化铁盐酸酒精溶液浸蚀。 $\times 450$

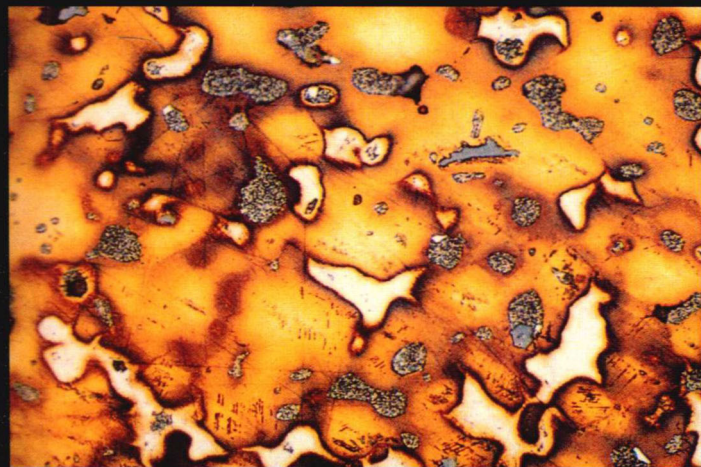
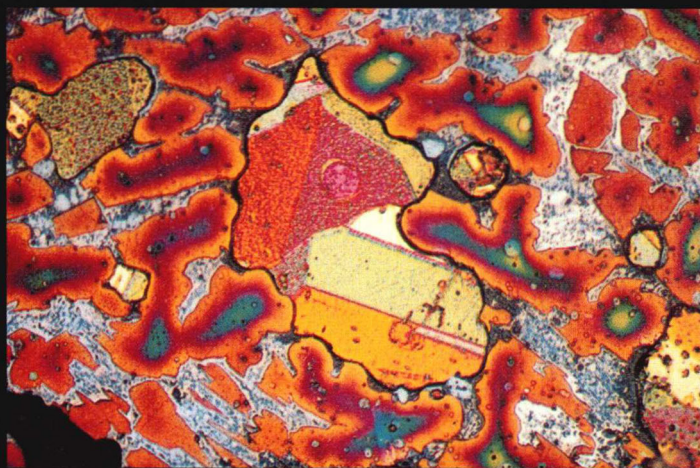
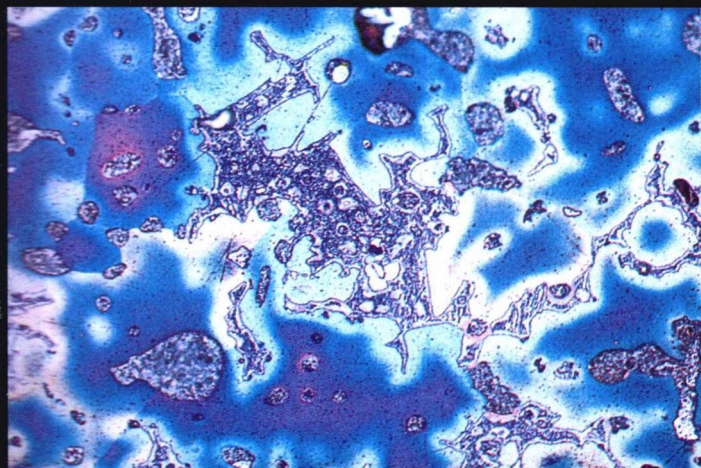


彩版9 约公元前120年的希腊人物雕像（Greek Herm）截面。用铜68.5%、锡11.5%和铅18.5%的合金铸造。硫代硫酸盐/醋酸盐浸蚀。 $\alpha + \delta$ 共析体部位染成浅紫色，而 α 相为蓝到紫色，铅球粒未受影响。颜色的变化，特别是 $\alpha + \delta$ 共析体周围颜色变化显示了合金中的偏析。 $\times 240$

彩版10 伊朗铁器时代剑柄。含锡约13.5%、铜约83.6%，硫代硫酸盐/醋酸盐彩色效应浸蚀剂浸蚀。其结构表明剑柄为树枝晶偏析的铸造青铜，树枝晶枝干富铜并有晶内偏析。 $\alpha + \delta$ 共析体呈蓝灰色。中间部位的大孪晶属再沉积铜，它们取代了 $\alpha + \delta$ 共析体，后者优先腐蚀。 $\times 420$ （见图112、图113）

彩版11 伊朗东部呼罗珊（Khorasan）省制造的伊斯兰墨水水瓶截面，属12世纪晚期到13世纪早期。该合金组成为铜65%、锡5%、锌20%和铅10%。其结构为晶内偏析铸造。圆形铅粒呈灰色斑纹状，而浅色斑块对应铜-锡-锌体系的 γ 相。 $\times 200$ （见图90~图93）

彩版12 18世纪伦敦塔锈蚀铸铁炮弹截面。石墨结核部位呈暗黑色，因为石墨片作为阴极其周围腐蚀严重。基体富磷，可见大斑块的三元共晶磷化物。在灰口铁截面中可见条状渗碳体。未浸蚀。 $\times 85$

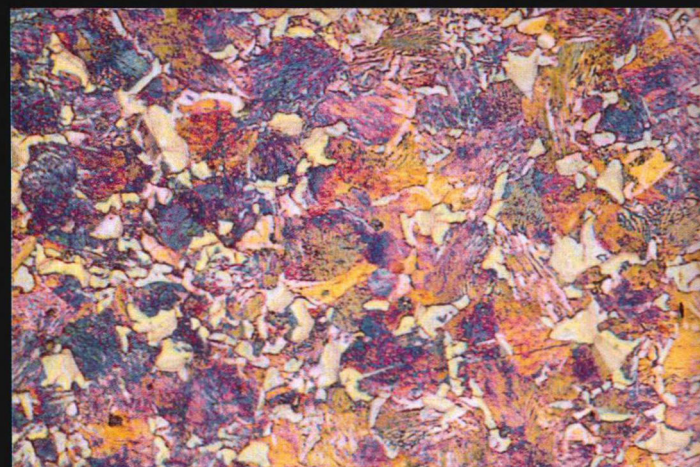
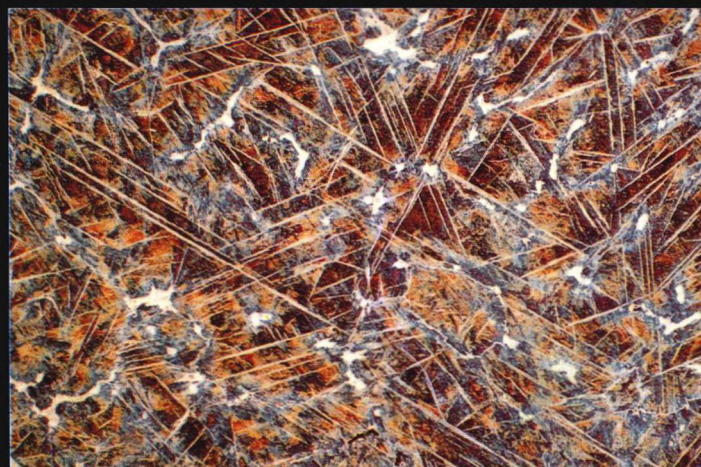


彩版13 Sandal城堡铸铁炮弹高放大倍数显微照片。可见大的石墨片和珠光体，珠光体中的铁素体和渗碳体组分可分辨。硫代硫酸盐/醋酸盐彩色效应浸蚀剂浸蚀。 $\times 500$ （见图118~图120）

彩版14 爪哇高锡青铜镜截面。其时代可能至公元前数个世纪。三氯化铁盐酸酒精溶液浸蚀。锡含量为22.5%，其结构表明，青铜镜曾经淬火，保存了 β 相的针状结构。截面中实心的黄色斑块为残留的 α 相。 $\times 150$

彩版15 印度德干地区乌兹钢小钢锭截面，可能属历史时期早期制品。截面用苦醇浸蚀后，再用偏亚硫酸钾和硫代硫酸钠染色浸蚀。乌兹钢有珠光体基体中长针状渗碳体组成的铸造产物结构。截面中也存在一些磷化物，表现为一些不规则分布的白色颗粒物。珠光体浸蚀的深度很大程度上受珠光体在此类高碳钢（1%~1.2%）中的定向和间距的影响。 $\times 200$ （见图56）

彩版16 日本剑剑锋截面。取样位置距含马氏体的刃部边缘3~4mm，显示主要为珠光体组织，由铁素体和珠光体组成。截面用正硒酸彩色浸蚀，紧密排列的珠光体呈紫色，而黄色部位排列不很紧密。截面中的铁素体晶粒未浸蚀。 $\times 230$

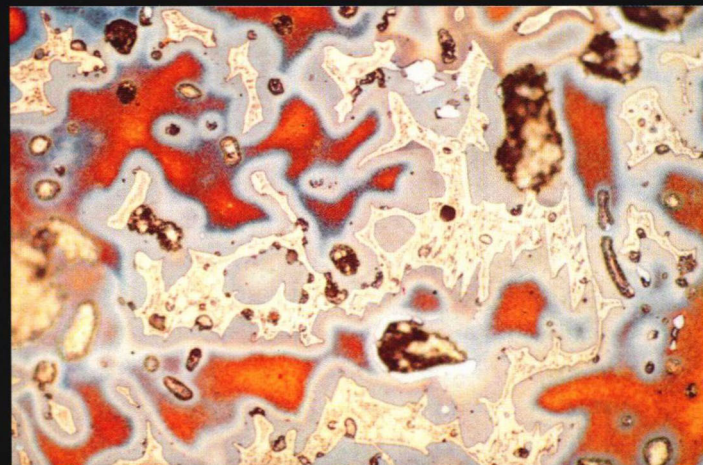
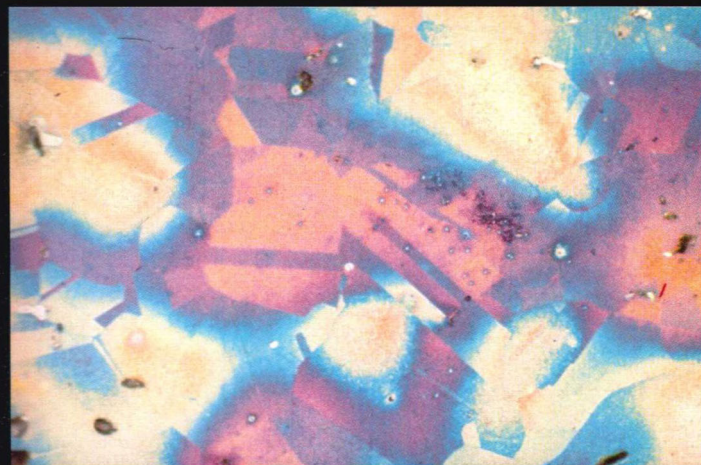
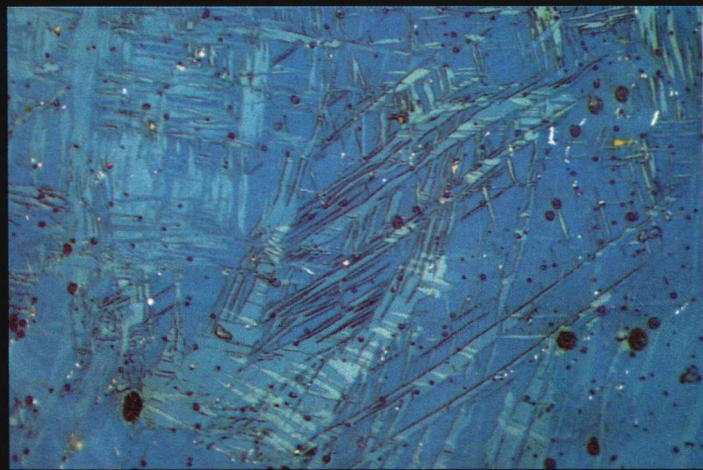
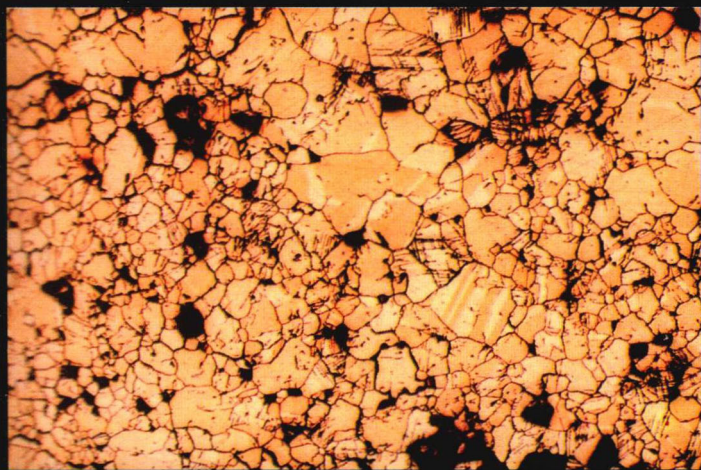


彩版17 巴勒斯坦青铜时代晚期青铜剑。含锡8.2%。三氯化铁盐酸酒精溶液浸蚀。显示加工和退火的晶粒结构。可见一些孪晶，晶粒大小不一，另有一些孔洞，呈深色，系腐蚀所致。也见一些晶间裂痕，反映可能存在过度加工。×120

彩版18 印度中世纪晚期锌币抛光和浸蚀截面。使用Palmerton浸蚀剂，反射偏振光照相。放大60倍能清楚地看到锌孪晶，据此可以认为锌币还是铸造的，再冲压成钱币。

彩版19 伊朗卢里斯坦礼仪用斧截面，抛光后用正硒酸浸蚀以产生着色效应。浸蚀不仅揭示了青铜的重结晶和孪晶，而且颜色变化显示了晶内偏析。本样品中铜和锡的非均匀分布通过色彩变化显现出来。一些小粒的硫化物夹杂未浸蚀，呈浅灰色。×110（见图70）

彩版20 公元前125年希腊人物雕像基底内部试样截面。铅青铜铸造，含铅18.5%、锡11.5%和铜68.5%。其结构表明该人物雕像系铸造而成。用硒沉积着色的方法浸蚀，清楚地显示出铸造青铜的晶内偏析。富铜部位呈橘色而富锡部位呈蓝灰色。因为含锡量高，白色 $\alpha + \delta$ 共析体呈网状分布于金属基体。×220



目 录

中译本序

序

前言

第一章 金属	(1)
第二章 古代金属的显微结构	(5)
第三章 两种物相的材料	(11)
第四章 锡青铜显微结构	(25)
第五章 碳钢结构解析	(31)
第六章 低碳钢里的马氏体	(33)
第七章 马氏体的回火	(35)
第八章 铸铁的结构和性能	(37)
第九章 腐蚀样品的显微结构	(43)
第十章 反射偏振光显微镜法	(49)
第十一章 古代金属的晶粒度	(51)
第十二章 古代金属的金相学	(57)
第十三章 金相样品采样	(61)
第十四章 金相样品的镶嵌和制备	(63)
第十五章 金相观测结果记录	(67)
第十六章 金相浸蚀与浸蚀剂	(69)
第十七章 金相样品的镶嵌树脂	(79)
第十八章 金属显微硬度测量	(81)
附录A 常见金属显微结构形态	(83)
附录B 锈蚀金属的显微结构	(85)
附录C 不同金属与合金的显微硬度值	(86)
附录D 古代合金类型	(89)
附录E 古代金属加工技术和术语	(91)
附录F 金相学研究实例	(94)
附录G 相图	(129)
词汇表	(145)
参考书目	(165)

插图目录

图1 密排六方晶胞单元	(1)
图2 面心立方晶胞单元	(1)
图3 体心立方晶胞单元	(1)
图4 应力-应变关系图	(2)
图5 FCC, BCC, CHP金属和填隙材料的应力-应变关系图	(2)
图6 刃位错	(3)
图7 刃型位错滑移	(3)
图8 树枝状结晶	(5)
图9 古代哥伦比亚Darien型胸饰的抛光未浸蚀截面	(6)
图10 哥伦比亚Tairona地区小青蛙铸件的抛光截面	(6)
图11 面心立方晶体固溶体的某些显微特征	(7)
图12 面心立方金属单相结构间关系	(8)
图13 伊朗铜合金斧头截面孪晶	(9)
图14 金-铜合金片中的孪晶	(9)
图15 印度锌币中的孪晶面	(10)
图16、17 锌中的孪晶面	(10)
图18 金-银合金相图	(11)
图19 银-铜合金共晶相图	(12)
图20 共晶型显微结构	(13)
图21 银60%、铜40%铸造合金中树枝状 α 晶	(13)
图22 重铬酸钾浸蚀银60%、铜40%铸造合金	(13)
图23 银60%、铜40%铸造合金中共晶填充	(13)
图24 印度乌兹钢锭	(13)
图25 α 和 β 相显微结构	(14)
图26 α 和 β 共晶体	(14)
图27 共晶体和树枝晶	(15)
图28 两相合金中的纤维结构	(15)
图29 α 和 δ 共析体	(16)
图30 铁-碳相图	(16)
图31 铁-碳系中 γ 晶粒的分解	(17)
图32 渗碳体和珠光体	(17)
图33 铜-锡相图	(18)
图34 α 和 β 包晶	(18)
图35 ϵ 相晶粒	(18)

图36 铜-锌相图	(19)
图37 铜-锌合金中的 β 晶粒	(21)
图38 银-铜合金中的不连续析出	(22)
图39 铜-金相图	(23)
图40 铜-铅相图	(24)
图41 伊朗肘针铸件	(27)
图42 19世纪中国青铜铸造香炉	(27)
图43 苏门答腊岛 β 淬火青铜小镜	(28)
图44 爪哇的高锡青铜镜	(28)
图45 含锡22%、铅6%、铜72%的高锡含铅青铜铸件	(28)
图46 实验室淬火的含锡24%、铜76%合金	(28)
图47~50 日本剑剑锋残段	(29)
图51 局部魏氏体钢	(31)
图52 亚晶特征的晶界组织	(31)
图53 刀体刀部的晶粒度	(31)
图54 淬火剑刃中的带状结构	(32)
图55 Fe-Fe ₃ C相图局部	(32)
图56 印度德干地区出土乌兹钢坩埚盖上的钢颗粒	(35)
图57 英国苏塞克斯Ardingley中世纪刀锋刃部	(35)
图58 印度小波纹短剑显微照片	(36)
图59、60 18世纪法国切削钢珠横截面	(36)
图61 铸铁的Fe-Fe ₃ C相图局部	(40)
图62 铸铁中的石墨形态	(41)
图63 18世纪铸铁天平	(42)
图64 伦敦塔铸铁炮弹	(42)
图65 不同锈蚀程度金属的表面细节	(44)
图66 一些青铜残片的镶嵌和抛光截面	(45)
图67 青铜棒残段横断面示意图	(45)
图68 金-铜合金腐蚀的例子	(46)
图69、70 卢里斯坦的礼仪用斧	(47)
图71 厄瓜多尔鎏金礼仪铜斧腐蚀残片截面	(47)
图72 晶粒度诺莫图	(51)
图73 钢中(奥氏体)晶粒度评估的典型标准图	(52)
图74 退火黄铜、青铜和镍银晶粒度评估的典型标准图	(53)

图75 镶嵌小试样·····	(54)
图76 研磨镶嵌试样·····	(54)
图77 抛光镶嵌试样·····	(55)
图78 试样储存柜·····	(55)
图79 偏振光显微镜检测·····	(56)
图80 倒置台式金相显微镜·····	(56)
图81 截取斧头试样的两个理想位置·····	(58)
图82 金属丝或棒的不同方向镶嵌·····	(58)
图83 小试样固定·····	(64)
图84 小试样镶嵌·····	(65)
图85 低碳钢中铁素体形态·····	(83)
图86 描述显微结构的常用术语·····	(83)
图87 ~ 89 印度西部银-铜合金硬币 ·····	(94)
图90 ~ 93 铜-锡-锌-铅合金铸造的伊斯兰风格嵌饰墨水罐 ·····	(95)
图94 ~ 96 巴勒斯坦青铜箭头铸件·····	(96)
图97 ~ 99 巴勒斯坦青铜剑·····	(96)
图100 罗马熟铁 ·····	(97)
图101 ~ 103 哥伦比亚金-铜合金片 ·····	(98)
图104、105 厄瓜多尔铜合金鼻饰·····	(99)
图106 ~ 108 厄瓜多尔砷-铜铸斧 ·····	(100)
图109、110 中国青铜香炉·····	(101)
图111 泰国青铜铸钟 ·····	(101)
图112、113 卢里斯坦剑柄·····	(102)
图114、115 泰国青铜容器残片·····	(103)
图116、117 哥伦比亚Sinú耳饰铸件 ·····	(103)
图118 ~ 120 Sandal城堡铸铁炮弹 ·····	(104)
图121、122 英国汉普郡青铜时代铜锭·····	(105)
图123 ~ 125 罗马黄铜硬币·····	(105)
图126、127 泰国青铜容器残片·····	(106)
图128 ~ 130 哥伦比亚金项链珠子·····	(107)
图131 ~ 133 金合金钉和金耳轴·····	(107)
图134、135 刀柄和刀片截面·····	(108)
图136、137 铁刀·····	(109)
图138 罗马铜合金硬币 ·····	(109)

图139、140 罗马铁钉·····	(110)
图141~144 北美大湖区自然铜·····	(110)
图145~147 伊朗的栓钉头·····	(111)
图148~151 爪哇铁刀片·····	(112)
图152、153 伊朗青铜斧残片·····	(113)
图154、155 实验室铸60:40黄铜·····	(113)
图156~159 约旦鍍金银耳环·····	(114)
图160、161 澳大利亚黄铜勋章残片·····	(115)
图162~164 Sinú小耳饰铸件残片·····	(115)
图165 罗马镜残片·····	(116)
图166 罗马青铜雕像·····	(117)
图167 罗马青铜显微结构·····	(116)
图168 热那亚文艺复兴时期银盆·····	(117)
图169 文艺复兴时期银盆口沿修复残留焊药滴·····	(118)
图170 文艺复兴时期银盆局部截面·····	(118)
图171 银盆空心钻柱全貌·····	(118)
图172 酸性重铬酸钾浸蚀的部分银片·····	(118)
图173 泰国手镯截面·····	(119)
图174 泰国手镯经氯化铁酒精溶液浸蚀后的结构·····	(119)
图175 高倍放大后的泰国手镯显示的自由铜沉积、硫化铜夹杂和青铜基体·····	(119)
图176 罗马青铜碗截面, 三氯化铁盐酸酒精溶液轻微浸蚀·····	(120)
图177 中世纪早期黄铜板, 经三氯化铁盐酸酒精溶液和重铬酸钾溶液浸蚀·····	(121)
图178 青铜钉再结晶和深度加工的晶粒结构·····	(121)
图179 罗马-希腊铁箭头的显微结构·····	(122)
图180 拜占庭青铜刀的不常见腐蚀模式·····	(122)
图181 拜占庭叶形青铜刀深度浸蚀图·····	(122)
图182 中世纪不列颠腐蚀铁刀片·····	(123)
图183 铁刀刃显示数种不同的铁被锻接在一起·····	(123)
图184 中世纪铁刀的低碳钢区·····	(123)
图185 排箫截面·····	(124)
图186 拜占庭铁剑锋残片·····	(124)
图187 Victorenius时代罗马钱币全貌·····	(125)
图188 Victorenius时代罗马钱币晶粒结构·····	(125)
图189 20世纪早期灰口铁结构·····	(126)