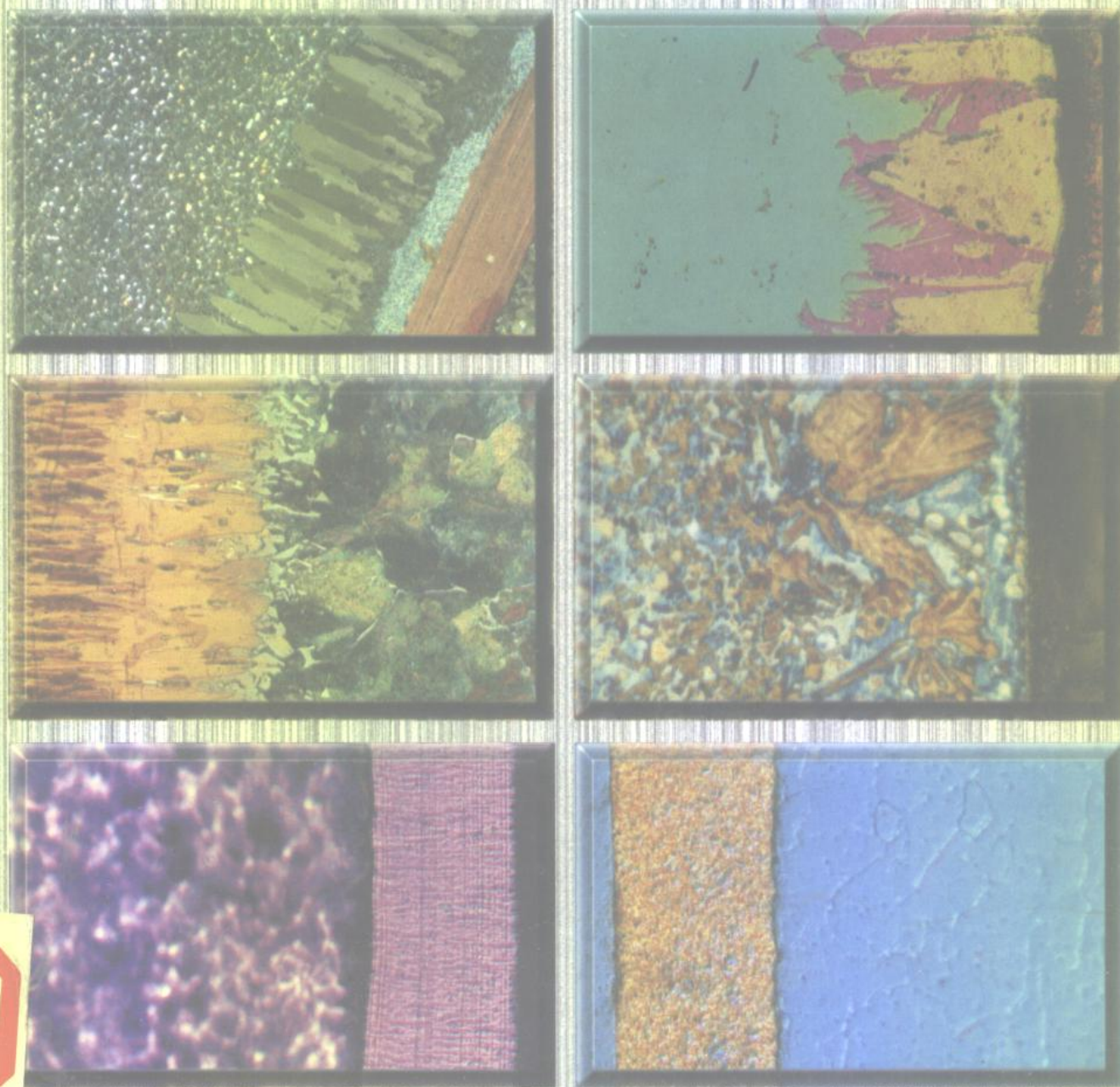


金属表面渗层与 覆盖层金相组织图谱

林丽华 章国英 滕清泉 等 编著



机械工业出版社

机械工业出版社出版基金资助项目

金属表面渗层与覆盖层 金相组织图谱

林丽华 章国英 滕清泉 等编著



机械工业出版社

本书较系统地叙述了各种化学热处理层、激光和电子束合金化层、热喷涂和喷焊层、电镀层的显微组织形貌、特点及其制样方法和显示方法；阐明了各种渗层和覆盖层的功能及其用途；并分别采用彩色金相显示方法和黑白金相显示方法揭示其显微组织特征。每幅图片均附有材料类别、处理工艺、显示方法及组织分析。全书内容丰富，图文并茂，实用性强。

本书可供从事金相、化学热处理、热喷涂、电镀工作的工程技术人员参考使用，也可供科研单位及高等院校有关人员阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

金属表面渗层与覆盖层金相组织图谱/林丽华 章国英
滕清泉等编著. —北京：机械工业出版社，1998.6
ISBN 7-111-06071-7

I. 金… II. 林… III. 金属材料-热处理-表面层-金相
组织-图谱 IV. TG115.21-64

中国版本图书馆 CIP 数据核字(98)第 01335 号

出 版 人：马九荣(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)
责任编辑：李书全 版式设计：张世琴 责任校对：张 佳
封面设计：姚 毅 责任印制：王国光

三河市宏达印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

1998 年 7 月第 1 版第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16 8.5 印张·16 插页·200 千字

0 001-2500 册

定价：36.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

序

对金属材料进行技术和经济的综合考虑,在许多服役条件下,使我们认识到,它们美中不足。在机电行业中,广泛地采用“金属表面覆盖层技术”,解决了这个问题。但是,检验及考核这类工艺质量的金相技术,尚无系统的规律可循。

有鉴于此,机械工业技术发展基金委员会下达了这方面的“机械工业发展基金资助的科研项目”,由机械部材料研究方面的三个权威单位——北京机电研究所、上海材料研究所、武汉材料保护研究所合作承担。它们组织了有丰富经验的金相高级工程师,通过对电镀、热喷涂、化学热处理三大行业中的64种表面覆盖层,经过103种工艺处理后的试样,进行了金相组织显示技术的研究,探索并总结了适用的显示方法7种、侵蚀剂27种,编制了416幅金相图片。

1991年12月3日,我参加了上述科研项目的鉴定会;鉴定会认为,他们的丰硕成果具有创新性。

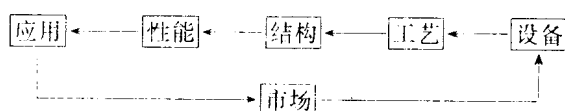
在科研成果的基础上,他们精选了255幅金相图片,编著了《金属表面渗层与覆盖层金相组织图谱》。喜闻得到机械工业技术发展基金委员会及机械工业出版社的大力支持,即将出版,嘱为作序。学习书稿后,除陈述成书过程外,增添4点管见。

(1) 在材料学领域内,组织与结构可并称为结构(S),因为它们都是组元的集合(E)和组元间关系集合(R)的总合:

$$S = \{E, R\} \quad (1)$$

“金相组织”的 E 是“相”,本书提供了显示金相组织中 E 和 R 的“技术”,以及这些组织的“图谱”,这些技术和图谱,主要是他们的科研成果,所以本书是名符其实的“编著”。

(2) 在市场经济体制下,材料学者惯用如下思路,思考材料的宏观问题:



本书结合“工艺”,研究“结构”(组织)这个核心环节,方向是可取的,因而反映在书中的研究结果对生产和科研中指导工艺参数的调整,提高工艺研究的水平,缩短工艺研究周期,检验工艺产品的质量,预测表面覆盖层的使用性能,都将起到重要的参考和指导作用。显然本书的出版具有显著的社会效益和间接的经济效益。

(3) 在微观材料学领域内,人们尝试建立结构(S ,包含组织)、服役环境(e)和性能(P)之间的经验或理论关系式:

$$P = f(S, e) \quad (2)$$

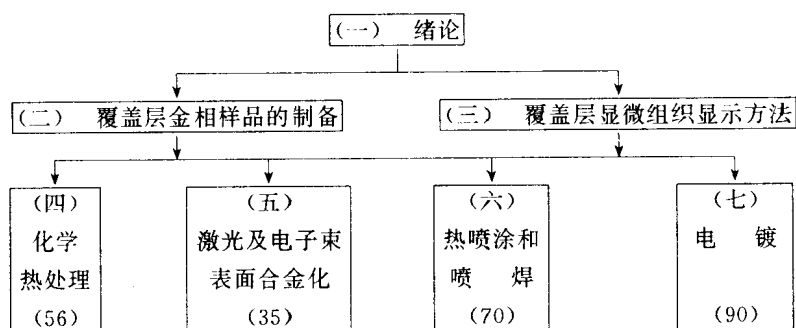
当 e 不变时,则

$$P_e = F(S) \quad (3)$$

有经验的工程师或科学家,可从 S 计算或估算 P 。

(4) 本书结构(S)合理:第一章绪论扼要介绍了表面渗层和覆盖层的重要性、定义和划分、

组织特点和显示技术；第二及第三章分别评述了这类表面层试样的制备及显微组织的显示技术；随后四章分别汇集了对于四种工艺的研究成果。本书内容丰富，对于每一个图，均表列出材料与工艺、组织说明和显示方法，便于查阅。正如式(3)所示： S 合理， E 丰富，预期该书的功能(P)应高。看来，系统的功能、人才的才能、材料的性能可以类比，可依据式(2)及式(3)，从事物变化的内因(S)和外因(e)来确定变化的结果(P)。



中国科学院院士、北京科技大学教授 肖纪美

1997年11月

前 言

涉及表面强化处理的诸多工艺技术在机械制造部门和有关产品使用、维修部门得到了广泛的应用和发展,对充分发挥材料潜力,节约材料,提高产品质量,延长产品使用寿命起了重要作用,取得了显著经济效益。但由于表面覆盖层存在组分特殊、结构复杂、合金相多、层次多、金相组织难以显示、难以鉴别等特点,成为掌握、控制和推广应用表面处理工艺和技术的重大障碍。为此,机械工业技术发展基金委员会于1989年确立了《金属覆盖层金相组织显示技术的研究》专题研究项目,经过机械工业部北京机电研究所、上海材料研究所和武汉材料保护研究所有关人员共同努力,于1991年底完成了这一课题,并取得了重要成果,本图谱就是其中主要的研究成果之一。图谱除了应用传统的黑白金相显示方法以外,主要采用化学沉积干涉膜、真空镀膜、恒电位侵蚀、光学显示等彩色金相技术,显示了各种化学热处理层、激光和电子束合金化层、热喷涂和喷焊层、电镀层的显微组织形貌,大大提高了渗层和覆盖层中相的衬度和鉴别率,这对正确判定组织、优化表面处理工艺、控制和稳定产品质量将起到重要的促进作用。本书的内容和编著出版在国内尚属首次。为了将科研成果及时服务于生产,服务于社会,经北京科技大学教授、中国科学院院士肖纪美,中国科协副主席孙大涌,机械工业部机械科学研究院总工程师雷慰宗三位专家的鼎力推荐和机械工业出版社的支持,编著者在科研工作成果的基础上,对图谱重新进行了调整、增删和修改,使其更具有系统性、科学性和实用性。

本书共分七章,第一、四、五章由机械工业部北京机电研究所教授级高级工程师林丽华撰写,第三、六章由机械工业部上海材料研究所高级工程师章国英、舒文芬撰写,第二、七章由机械工业部武汉材料保护研究所高级工程师滕清泉撰写,最后由林丽华进行了全书的统编工作。

西安理工大学安运铮教授对书稿进行了审阅,提出了许多宝贵的意见。中国科学院院士肖纪美教授在百忙中还为本书写了序。此外,许多单位和个人为本书提供了部分试样和照片,在此,作者仅向他们表示衷心感谢。

限于作者水平,以及时间紧迫,本书难免有不妥和错误之处,敬请读者指正。

编 著 者

1997年8月于北京

目 录

序

前言

第一章 绪论	1
第一节 金属表面渗层和覆盖层的分类	1
第二节 金属表面渗层和覆盖层组织特点	3
第三节 金属表面渗层和覆盖层组织显示	4
参考文献	6
第二章 金属覆盖层金相试样的制备	7
第一节 取样	7
第二节 镶嵌	8
第三节 磨光	11
第四节 抛光	13
参考文献	15
第三章 金属覆盖层显微组织显示方法	16
第一节 电化学(化学)侵蚀法	16
第二节 干涉薄膜显示法	18
第三节 光学法	23
参考文献	25
第四章 化学热处理及其组织	26
第一节 概述	26
第二节 化学热处理的类别与渗入元素的作用	26
第三节 化学热处理层的组织及显示方法	27
第四节 化学热处理层组织图例及说明	35
参考文献	46
第五章 激光及电子束表面合金化层及其组织	47
第一节 激光及电子束表面合金化及其目的	47
第二节 常用合金粉末的组成及其作用	47
第三节 合金化层的组织结构与性能	48
第四节 合金化层显微组织显示	50
第五节 激光及电子束表面合金化层组织图例及说明	51
参考文献	58
第六章 热喷涂层及其组织	59
第一节 概述	59
第二节 常用热喷涂材料种类	60

第三节 热喷涂层的组织与性能	63
第四节 热喷涂和喷焊层显微组织显示	65
第五节 热喷涂和喷焊层组织图例及说明	66
参考文献	92
第七章 电镀层及其组织	94
第一节 电镀的概念及目的	94
第二节 电镀层的分类	94
第三节 金属的电结晶	95
第四节 电镀层的表面生长形态及其金相组织	96
第五节 影响镀层组织的因素	97
第六节 镀层的组织结构与其性能的关系	99
第七节 电镀层显微组织显示	99
第八节 电镀层组织图例及说明	100
参考文献	128

第一章 绪 论

随着现代工业的发展,机械产品的质量要求越来越高,服役条件也越来越苛刻。机械零件长期在高温、高压、高速和有腐蚀介质的条件下工作,表面经常产生磨损、腐蚀、高温氧化或疲劳裂纹等现象,迫使整个零件报废或甚至停产,因此,强化金属表面是防止机件破坏和早期失效的有效措施。近年来,为了进一步提高机械零件的可靠性,延长其使用寿命,世界上许多国家的科研人员都致力于研究、开发和应用各种能赋予零件表面特殊性能的新技术、新工艺(如渗各种金属或非金属元素、物理气相沉积、化学气相沉积、激光表面强化或合金化、热喷涂和喷焊、电镀、刷镀、化学粘涂等)和新的表面分析技术(如微观形态、晶体结构、原子组分和状态、超精细物理化学结构等),这些表面技术已被列为当代世界关键技术之一,是表面工程学科的重要组成部分。

金属表面渗层和覆盖层是指通过上述各种表面强化技术所获得的组织结构、化学成分都与原来材料有别且具有多种特殊性能的表面层,其厚度在几微米到几毫米间变化,虽然很薄,但对材料的整体性能有很大的影响。因此,本书对工程中常用的一些渗层和覆盖层的组织特点及其显示方法做了详尽的研究,得出相应的数据和图片。

第一节 金属表面渗层和覆盖层的分类

目前表面强化技术正处于蓬勃发展过程中,种类繁多,其改性层的结构多种多样,分类方法亦各不相同,有按应用对象、工艺过程、涂层材料、涂层功能等分的,也有按学科特点分的,但相比之下,按工艺过程特点进行分类更为合适。常用的可分以下五类:化学热处理层、气相沉积层、激光和电子束表面合金化层、热喷涂和喷焊层、电镀层。

一、化学热处理层

化学热处理是最实用、最普及的一种表面技术,其处理过程一般遵循分解→吸收→扩散三个基本程序,即由化学渗剂加热分解出活性原子,活性原子被灼热的钢件表面吸收,然后由表至里向钢件内部扩散,致使钢件表层化学成分与组织都发生变化,从而达到改善和提高钢件表层的性能。

化学热处理可以单元渗,也可多元共渗,如渗碳、渗氮、渗硼、渗铬、渗钒、渗铌、渗铝、渗锌和碳氮共渗、硅铝共渗、铬铝共渗、硫氮碳共渗等等。其渗层组织一般由化合物层和扩散层组成(渗碳、碳氮共渗层例外,它们的化合物一般呈块状或网状分布,不连续,有时没有化合物)。化合物层一般很薄(0.005~0.19mm),根据渗入的元素不同,与基材中的碳、铁及其他合金元素化合形成各种碳化物、氮化物、硼化物或金属间化合物,这些化合物硬度很高,耐磨、耐蚀、抗氧化等性能都很好,是主要的表面强化相。扩散层以固溶强化为主,合金元素扩散到钢中,有的形成间隙固溶体(如C、N、B元素),有的形成置换固溶体(如Cr、V、Nb、Al等元素),使铁的晶格发生畸变,从而起到固溶强化的效应。由此可见,化学热处理层组织是成分和工艺因素综合反应的结果,即它既取决于渗入的工艺因素和最终的热处理方法,

又取决于基材的成分和状态,因此,对渗层组织的分析与研究无论在理论上,还是在生产实践中,都是非常重要的。

二、气相沉积层

气相沉积是近年来发展最快的一种新技术,它分物理气相沉积(PVD),和化学气相沉积(CVD),最近又发展了复合的物理化学气相沉积(PCVD)。物理气相沉积是利用真空蒸发、离子溅射、离子镀等方法沉积成膜;化学气相沉积则是利用镀层材料的挥发性化合物气体分解或化合的反应产物而沉积成膜;物理化学气相沉积即等离子体加化学气相沉积。采用这种方法可以镀金属膜、合金膜、陶瓷膜或金刚石膜等。

目前在刀具、模具上用的最多的是沉积一层高硬度、高耐磨及抗腐蚀的 TiC、TiN、 Al_2O_3 或 TiCN 复合膜。这些镀层均很薄,实用厚度一般只有 $3\sim 7\mu\text{m}$ 。而在一般机器零件上可达 $10\sim 20\mu\text{m}$ 。TiN 的硬度为 $1800\sim 2000\text{HV}$,呈金黄色;TiC 的硬度为 $2500\sim 3200\text{HV}$,呈暗灰色; Al_2O_3 的硬度为 3000HV ,它们与基材之间均具有牢固的冶金结合。对于机械磨损(低速切削)来说,抗磨顺序依次是 $\text{TiC} > \text{TiCN} > \text{TiN} > \text{Al}_2\text{O}_3$,但对于热磨损(如高速切削)其抗磨顺序正好相反。气相沉积不仅可以提高刀具、模具、机件的使用寿命,而且还使产品获得优美的外观色彩。

三、激光和电子束表面合金化层

激光和电子束作为热源用于材料表面改性,是从 70 年代开始的。由于它们具有能量密度高、加热冷却速度快、热影响区小、零件改性效果好等高能速表面处理技术的一切优点,而且又不需要在真空室内进行,操作比较灵活,故发展速度很快。激光和电子束表面改性技术主要包括三种类型:即相变硬化处理,熔凝处理和表面合金化与涂敷,本书着重介绍表面合金化处理及其覆盖层组织。

激光和电子束表面合金化过程,实质上是一个表面冶金过程,即通过高密度能束与基材表面涂层合金相互作用,使其发生物理冶金和化学变化,从而达到表面强化的目的。

目前用于钢件表面合金化的元素和碳化物很多,归纳起来有 W、Cr、Ni、Mo、Co、Ti、Si、B 及 WC、 Cr_3C_2 、TiC 等,可根据工件表面所要求的性能来选择和确定。

钢件表面经合金化后,其组织状态按受热条件不同分为合金化区,热影响区(过热)和基材组织三部分。合金化区一般呈铸态枝晶状组织,在马氏体和残留奥氏体基体上分布各种共晶碳化物相,起到强化作用。热影响区(包括扩散层)一般晶粒比较粗大,有的含 Ni、Cr 成分比较高的扩散层,残留奥氏体量多,马氏体亦不易显示,常呈一条白带处于合金化层底部。总之,采用激光表面强化技术可以在更宽的范围内改变硬化层的结构与性能。

四、热喷涂和喷焊层

热喷涂和喷焊技术作为一种新的表面防护、维修和强化方法在近 20 年中得到了飞速的发展。所谓热喷涂就是利用某种热源(氧-乙炔火焰、电弧、等离子弧等)将欲喷涂的材料加热,借助气流把熔化或半熔化的雾状微粒通过喷嘴高速喷射到预先经过处理的工件表面上,形成附着牢固的涂层。

热喷涂和喷焊技术有一系列优点:

(1) 工艺简单,用氧-乙炔火焰即可工作;

(2) 选材范围广,喷涂材料可以任意配制,不受相图限制、可用钴基、镍基、铁基、铜基自熔合金,也可用各种碳化物和氧化物陶瓷(WC、 Cr_3C_2 、TiC、 Cr_2O_3 、 Al_2O_3 、 TiO_2 等),或各种

高分子材料；

(3) 实用性强，不仅可以用来维修、装饰产品，而且还用来制造不同性能的产品零件（如耐磨、耐蚀、耐热、抗振、隔热、密封、润滑、绝缘、导电、辐射等），因而得到广泛的应用。

热喷涂和喷焊层的组织取决于选用材料的成分和喷涂工艺。以上述自熔合金为例，它们均含有许多金属与非金属元素，如 C、B、Si、Cr、Fe、Ni、Co、Cu、W、Mo、Mn 等，所以喷焊后其覆盖层的组织很复杂，相很多，形态各异，很难一一鉴别，只有采用彩色金相、电子探针、能谱、X 射线衍射等分析手段，进行综合分析后才能分辨清楚，详见第六章。

五、电镀层

电镀是金属防腐的重要手段。近年来通过不断的革新和开发，出现了许多新工艺和新方法，如：特种电镀（包括非晶态电镀、非金属电镀、复合电镀、合金电镀、电刷镀）；化学镀（镍-磷、镍-硼）；热渗镀（包括离子、气体、液体、固体渗镀）等。这些镀层的出现，使钢件表面抗腐蚀能力明显提高，同时，还赋予钢件表面某种特殊功能（如提高耐磨性、导电性、磁性、高温抗氧化性等等）。

电镀过程一般来说，是一个电化学的氧化还原过程，即利用电解的方法使金属的化合物还原为金属，沉积在金属或非金属制品表面，形成一层平滑而致密的金属覆盖层。由于电镀层通常都是在低温下通过电沉积的方式形成的（热渗镀除外），所以它与基体金属之间没有扩散关系，因此也没有扩散层，只有一条明显而平直的分界线，故结合力不如其他工艺好。

第二节 金属表面渗层和覆盖层组织特点

金属表面渗层和覆盖层的组织具有组分特殊、合金相多、结构复杂、组织超细、层次多、层薄等特点。

(1) 组分特殊。表面处理（如激光合金化、热喷涂、离子注入等）可使零件表面获得整体材料和一般热处理方法很难、甚至无法得到的超浓度、超饱和固溶体，而且还可获得各种合金成分、陶瓷以及高分子材料层。

(2) 合金相多。例如化学热处理可以向金属材料表面渗入多种合金元素，这些元素渗入钢件后，又与其中的碳或合金元素化合，形成各种各样的固溶体和化合物相。再如激光表面合金化层和热喷焊层，它们都是用多种元素组成的合金粉末经过快速熔化和冷凝而成的，其中的相组成非常复杂，一般都有 3~4 种以上，有的多达 7~8 种相。

(3) 结构复杂。覆盖层在特殊条件下可获得微晶或非晶态结构，其中化合物的晶体结构亦多种多样，晶体形貌各异，有等轴晶、树枝晶、包状晶、柱状晶等等。

(4) 组织超细。如电镀层、激光淬火层的组织均极细，呈微晶态，远非一般组织可比。

(5) 层次多。特别是化学热处理层，不仅包含的相多，而且层次也多，因为它的化学成分从表至里是变化的，表面浓度高，往往形成化合物层，其下是扩散层，内层是基材组织。经常在化合物层中还分许多层，如氮化物层就分 $\epsilon(\text{Fe}_{2-3}\text{N}) \rightarrow \epsilon + \gamma'(\text{Fe}_4\text{N}) \rightarrow \gamma'$ 三层；如硼化物层分 $\text{FeB} \rightarrow \text{Fe}_2\text{B}$ 两层；渗铬层分 $(\text{Cr} \cdot \text{Fe})_{23}\text{C}_6 \rightarrow (\text{Cr} \cdot \text{Fe})_7\text{C}_3 \rightarrow (\text{Cr} \cdot \text{Fe})_3\text{C}$ 三层等。

(6) 层薄。表面覆盖层一般都很薄，特别是渗金属（如 Cr、Nb、V、Ti）层，气相沉积层（TiC、TiN 等）更薄，一般只有几微米到十几微米厚，鉴别该层组织时需放大 2000~3000 倍以上才能清晰分辨。

由于金属表面渗层和覆盖层组织具有上述诸多特点,对其显微组织形态,相的组成与结构,化学成分以及各相之间或各相与基体之间的相互作用的描述与分析提出了更高的要求。因此,有选择地综合应用各种研究方法,直接或间接地揭示表面层组成相的物理、化学和力学行为是现代金相研究的主要特征。

第三节 金属表面渗层和覆盖层组织显示

随着科学技术的进步,显微镜的类型和用途不断更新和发展,近年来,特别是扫描隧道显微镜(STM)和表面扫描电镜(SEM)的发明(前者实际分辨率可达 0.01nm 。可看到表面原子图像,后者的分辨率已突破 0.8nm ,其图像分辨率经过数字图像处理,亦能达到原子尺度的水平),对表面微观形态分析都发挥了重大的作用。但是,目前在生产实践中最实用,最普及、最经济的分析手段还是光学显微镜和金相分析技术,因为它既直观、又简便,只要采用的显示方法得当,分析结果真实可靠,且能指导生产工艺和控制产品质量。

金相分析技术的关键在于组织显示技术,传统的金相显示方法是通过化学试剂的侵蚀作用,使金属表面产生凹凸不平,然后,利用反射光的强弱不同所引起的黑白衬度来鉴别组织或相,这种方法所提供的信息是不够的,往往不能满足上述那些既复杂又特殊表面合金组织的要求。

彩色金相是近20年来新发展起来的一项专门技术,它主要是通过一些物理或化学的方法,在试样表面上沉积一层特殊性质的薄膜,利用光的薄膜干涉效应,使金属及合金的显微组织呈现出不同的颜色。由于人的眼睛对彩色的差异非常敏感,应用彩色衬度来区分合金组织和相,既准确又可靠,从而在试样上可以获得比黑白金相要多得多的有用信息。

目前用于合金组织的显示方法,可分为以下几种:

- (1) 化学和电化学显示方法——化学侵蚀、电解侵蚀、恒电位侵蚀、热氧化成膜;
- (2) 物理显示方法——真空蒸镀膜、离子溅射成膜;
- (3) 光学方法——偏振光,相衬、微差干涉、斜照明、暗场。

化学和电化学显示方法中,又分成两种情况:一种是样品表面受侵蚀而不形成干涉膜,显示结果其组织呈黑白衬度,如传统的化学侵蚀和电解侵蚀。另一种是样品表面受侵蚀并同时形成干涉膜,这就是彩色金相法,其薄膜的形成亦依赖于合金表面与试剂(这种试剂与传统的不同)之间的化学或电化学反应,其反应速度和反应产物都受到金属或合金显微区域中成分和组织结构的影响,因此,在不同成分和不同相的表面将形成不同性质和不同厚度的薄膜(称之为非均厚膜),在显微镜光源发出的白光照射下,通过“空气→薄膜”界面与“薄膜→金属”界面的反射、折射、再反射及再折射,就发生薄膜干涉现象,使不同的相呈现出不同的彩色衬度。化学成膜法对各种组织结构因素尤为敏感,故显微组织的色彩更为丰富和鲜艳,但操作要求高,由于化学沉积薄膜法无需任何复杂的设备条件,操作简便、效果好,应用广泛,因此是本图谱采用的主要显示方法之一;恒电位侵蚀沉积法能够做到精确控制,相的色彩重复性好,区分比较可靠,但试验方法很繁琐;热氧化成膜法简便易行,颜色饱和度高,但对于有些组织不稳定的试样不能应用,该方法有一定的局限性。

物理显示法是把一些具有高折射率的物质(如 ZnS 、 ZnSe 等),蒸镀或溅射到金相试样表面上,形成一层均厚的干涉膜,由于不同的合金相其光学常数不同,经薄膜干涉后将产生不

同的彩色衬度。因而是最精确的一种方法。物理成膜法还有一个很重要的优点，就是试样不需要进行化学侵蚀，这对于那些化学稳定性极高的非金属材料(如陶瓷、复合材料)、或者由各种化学性质相差悬殊材料组成的结合体(如焊缝、涂层、双金属、合金化层、硬质合金等)来说，是一种很好的组织显示方法。但缺点是需要具备较昂贵的真空镀膜或离子溅射设备，而且在某种情况下，颜色的变化也不十分敏感。

光学“显示”法是利用显微镜上不同的照明方式使图像的反差得到增强，其中偏振光，微差干涉与彩色金相直接有关，而暗场、相衬和斜照明多半用于增强黑白衬度，有时也用于彩色金相。这些功能在普通光学显微镜上都能实现，而且具有操作简便，不需要特殊的侵蚀剂等特点，偏振光亦是本图谱中采用比较多的显示方法之一。

偏振光法，实际上是通过显微镜中的起偏镜和检偏镜来实现的，前者使试样上的入射光偏振，后者鉴别从试样上反射的光线，检偏镜可以从 0° 旋转到 90° ，如果起偏镜与检偏镜成 90° 正交时(除非光作用在试样的细微组织上使其偏振面转动)，光线则完全被消除。如果这个时候在起偏镜和检偏镜中间插进一个用来检测双折射的光学片，称为灵敏色片，那么双折射的稍微变动就可引起完全不同的色彩。

偏振光在金相中的应用，是基于光学上的各向异性金属，带各向异性薄膜的各向同性金属，复相合金的各相、非金属夹杂物及试面上的高低差别等所引起的不同着色效应。

以上显示方法各有特色，除偏振光外(只对各向异性的金属或薄膜起作用)，其他几种彩色金相方法在选用时都没有严格的限制，同一种材料和组织状态，同一种渗层或覆盖层可以选用多种方法显示，其得到的结果是差不多的，只有特殊材料，需选用特定的方法。本图谱中，如有一些渗硼、渗铌层、激光合金化层和喷焊铁基、钴基合金层就是选用了不同的方法显示后摄制而成的，可供读者比较。

彩色金相最大的特点是提高光学金相的鉴别能力，传统黑白金相无法分辨的组织 and 无法看到的组织细节，它都能够观察得到。例如：激光合金化层中成分不均匀分布；渗碳、碳氮共渗层中马氏体含碳量高低的区分；扩散层与基体组织中的马氏体、贝氏体、残余奥氏体的区分；渗金属、渗硼、热喷涂和喷焊层中不同类型的碳化物，硼化物，金属间化合物的区分；热浸渗铝、热浸渗锌层的多相组织区别等，仅靠灰度差、形态差往往是无法区分的。采用彩色金相显示方法其形态和灰度相近的一些不同相，可以通过色调差而明显的区别开来，一些被细密组织所掩盖的相、如残余奥氏体，也因颜色不同而被分开、尤其是在黑白金相中都是白色颗粒或白亮层的复杂碳化物，在彩色金相中可以染成不同颜色，使不同类型碳化物区分开来。这是彩色金相非常突出的一个优点，由于它能提供鲜明的颜色衬度，为复杂相的鉴别，为精确的定量金相分析打下了基础，也为进一步作电子探针或能谱、波谱相成分分析，提供了准确的位置，显著地提高了分析测试的效益和水平。

然而在现阶段，彩色金相技术还未普及，许多厂矿仍然采用以黑白衬度为主的金相方法，因为传统的显示方法应用的时间已很长，积累了不少很成熟的试剂，显示一般的组织清晰度还可以。因此，在目前的情况下，彩色金相的作用，主要是弥补传统黑白显示方法的不足，即在某些情况下，当传统的显示方法对某些组织的区分无能为力时，彩色金相才有可能发挥作用。为此本图谱中同时提供了彩色和黑白两种显示方法和两种图片，供读者参考和选用。

随着上述彩色显示方法的普及和彩色摄影、冲洗放大技术的实用化，深信在不久的将来，用彩色金相技术取代传统的黑白显示方法是势在必行，因为它代表了现代光学金相的发展方

向, 且为古老的传统光学金相技术注入了活力, 其前景是很广阔的。

参 考 文 献

- 1 赵文轶等. 金属表面工程新技术的特点与作用. 机械工程材料. 1995, 19(3): 55~58
- 2 赵文轶. 表面工程新技术在节材中的应用. 机械工程材料. 1995, 19(4): 10~14
- 3 徐滨士. 马世宁. 表面工程及其未来发展. 机械热加工科学的未来. 国家自然科学基金委员会. 1988
- 4 廖乾初. 材料科学中表面技术的进展和有关表面研究的问题. 材料科学与工程. 1988, 1: 28
- 5 王颢. 表面合金及新兴表面热处理技术的发展. 金属材料研究. 1988, 14(1): 55~58
- 6 E. BERAHA, B. SHPIGLER 著. 彩色金相. 林慧国译. 北京: 冶金工业出版社, 1984
- 7 《彩色金相技术》编写组著. 彩色金相技术(原理及方法). 北京: 国防工业出版社, 1987
- 8 《彩色金相技术》编写组著. 彩色金相技术(应用图册). 北京: 国防工业出版社. 1991
- 9 Hans Gahm Franz Jegutsch Erwin M, Horl. 沉淀侵蚀生成的化学沉积薄膜结构的研究. 佟金译. 国外技术资料. 吉林工业大学. 1984(3): 50~58

第二章 金属覆盖层金相试样的制备

金属覆盖层一般均属于高合金材料或有色合金材料,许多性能与其基体存在着极大的差异,因而其金相试样的制备与一般金属材料金相试样的制备有许多不同之点,其技术难度较高。例如试样在制备时,如果不附加特有的保护措施而采用一般金属材料试样的制备方法,便会在试样的重点观察分析部位——表层产生倒角或崩裂,使试样失去正常的金相磨面,导致观察分析及显微拍照工作难以进行甚至无法进行;即使采用某种保护措施,但操作不当也会带来不良后果。例如在采用机械镶嵌保护试样时,若夹具与试样之间或试样与试样之间存在着空隙,便会产生倒角或残留侵蚀剂污染试样而造成假象;当夹具或垫片的硬度与试样的硬度差别很大时,也会造成倒角或凹陷缺陷。

与一般金属材料相比,在侵蚀试样时,金属覆盖层金相试样不仅受到表层中各相电位的相互影响,还将受到基材中各相电位的影响,从而增加了侵蚀试样的难度。

通常,金属覆盖层金相试样制备需经过以下几个步骤:取样、镶嵌、磨光、抛光和侵蚀,每个步骤都必须细心操作,因为任何阶段上的失误与不当都会影响下一步的正常进行。不正确的制样将会造成伪组织,从而给组织分析带来困难或得出错误的结论。例如经氮碳共渗并在表面形成 $2\sim 3\mu\text{m}$ 化合物层的试样,若在抛光时边缘产生倒角,此时在显微镜下将观察不到已形成的极薄的化合物层。这种制样的失误,对碳钢零件来说,就会被误判为工艺处理不良,需要返修,但对高速钢刀具来说,则会误判为优良产品。二者都是由于试样制备不当而造成的错误结论。

本章仅就试样制备的前四项步骤分别进行介绍。组织的侵蚀显示方法较多,将在第三章详细讨论。

第一节 取 样

取样是表面处理层金相试样制备的第一道工序。选择合适的、有代表性的金相试样,并采用正确的截取方法,才能获得正确的分析结论,反之则达不到试验的目的。

一、选取试样的原则

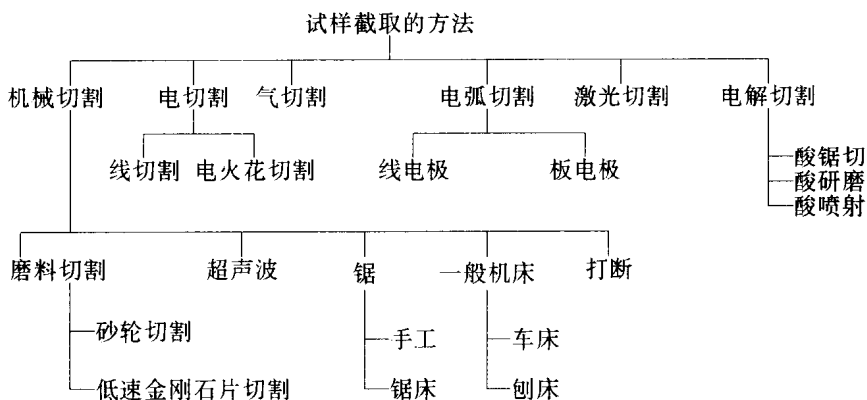
(1) 根据不同的检验目的,可选取在加工工艺上以及使用过程中的工作面上具有代表性部位,如是随其工艺过程处理的试样,其材质和加工工艺必须与工件完全相同。

(2) 由于许多表面处理层在工件或试样的不同部位具有不同的厚度和不同的组织,例如电镀件其边缘及顶角处的镀层厚度往往大于其他部位,有时组织也有明显的区别;化学热处理件顶角处其渗入元素的浓度往往大于其他部位而具有不同的组织,渗碳齿轮就属此种情况。因而在以估计工件使用寿命,推测表面发生失效的可能性作为检测目的时,应在工件的薄弱环节处选取试样,检测分析其内在质量。

(3) 作为失效分析的金相试样,应在失效工件的腐蚀、磨损、断口或裂纹处直接取样以检验分析其失效原因,以便找出相应的对策。

二、截取试样的方法

金相试样截取的方法可根据零件的大小、材料的性能、现场实际条件等进行选择。目前截取试样的方法总结起来有下表所列的几种，其中最常用的是砂轮切割。



由于切割试样时会引起变形层,而这一变形层对金相显微组织的显示又有很大的影响,要获得表面处理层的真实组织,这一变形层必须在后续工序中逐步去掉。为使后续工序顺利进行,根据实际选取变形层较浅的切割方法是十分重要的。

不论采用何种方式取样,都必须防止因温度升高而引起组织变化或因受力过大而产生塑性变形。如淬火马氏体因温度升高而转变为回火马氏体;裂纹处因受热而使其扩展;某些锌、锡等低熔点金属,因受热而使其再结晶;低碳钢、奥氏体类钢和某些有色金属,因受力过大而引起塑性变形,使滑移线增多或出现形变孪晶,诸如此类都使试样原来的组织发生变化,而导致错误的检验结论。因此在取样中务必注意冷却和润滑,特别是采用氧乙炔气割的试样,一定要除去大于 20mm 的热影响区。

第二节 镶 嵌

与一般金属材料的金相试样不同,由于金属覆盖层金相试样的观察分析重点在于试样的表层,因而制取金相磨面的金属覆盖层试样必须进行镶嵌,否则会使试样在抛磨过程中产生“倒角”现象,即试样磨面的边缘为一弧形,致使试样磨面的边缘不呈平面状态。因而在金相观察分析及显微拍照时难以对整个表面处理层统一聚焦而产生模糊不清的组织。有时甚至由于倒角现象很严重而观察不到极薄的表面处理层而产生错误的分析结论。

当表面处理的金相试样为丝、带、管、片等尺寸很小或形状不规则时,由于不便握持操作,此时也需采用镶嵌的方法,得到尺寸适当、外形规则的试样,以利下步工序的进行。常用的镶嵌方法有机械夹持法、塑料镶嵌法、低熔点合金镶嵌法和特殊镶嵌法等。

一、机械夹持法

机械夹持法分板形式夹具和圆环式夹具两种。板形式夹具,采用 5mm×50mm×20mm 两块钢板或其他金属材料,每块板上各钻制二个对称的 $\phi 5 \sim \phi 6$ mm 的圆孔,然后用 $\phi 5 \sim \phi 6$ mm 的螺钉固紧夹具和试样。此种夹持方法,适用于有一个或多个具有平面金属覆盖层的试样;

圆环式夹具,可采用钢管、铜管或其他金属管料制成。圆环形的尺寸,可根据被检验的试样的大小而定,一般采用外圆直径为 20~50mm、高度为 15~20mm、壁厚为 4~8mm 的管

料,随后在圆环上攻一内螺纹,选用 M6 螺钉一只来固紧试样。此种夹具适合于具有圆弧形表面的试样。

夹持试样时,夹具和试样之间,试样和试样之间应垫上厚度为 0.3~0.5mm 且具有一定塑性的金属薄片,一般应选用电极电位高于试样的金属薄片,以免在试样侵蚀时该薄片参与化学反应而影响组织显示。

常用的金属在氯化钠水溶液中的电极电位顺序见表 2-1。

表 2-1 常用金属在氯化钠水溶液中的电极电位

金属种类	Mg	Al	Mo	Cr	Zn	Fe	Cd	Co
电极电位	-2.34	-1.67	-1.05	-0.71	-0.67	-0.44	-0.40	-0.27
金属种类	Ni	Sr	Pb	H ₂	Cu	Ag	Au	
电极电位	-0.25	-0.14	-0.13	0	+0.35	+0.80	+1.42	

根据不同金属覆盖层的金相试样,参考上表列出的电极电位,可选用适当的垫片。例如,对于铁基镀锌试样,选取高于其电位的镍片或铜片为宜。

夹持试样时,还应注意以下几点。夹具必须贴紧试样表面,以便使夹具和试样连为一个整体,使之没有空隙。夹具的硬度应大致与试样的硬度相等,如果夹具硬度太低,在抛磨时则会在试样与夹具之间造成台阶,致使试样边缘产生倒角,使夹具起不到保护作用;反之,如果夹具硬度过高,则试样基体一侧过早产生塌陷,使表层和基体不在同一平面上,二者在显微镜下难以统一聚焦,使金相观察和拍照产生困难。

二、塑料镶嵌法

塑料镶嵌法分热镶和冷镶两种。热镶是在专用的镶嵌机上进行,冷镶是采用环氧树脂在室温下进行。

(一) 热镶

所用的镶嵌材料有热凝性和热塑性塑料两大类。热凝性塑料如胶木粉(电木粉),它是酚醛树脂,不透明,有各种不同的颜色。其特点是质地较硬,但抗酸碱侵蚀能力较差。镶嵌时在压模内加热至 130~150℃,同时加压到 17.0~21.0MPa,保温 10min 左右,然后冷却至 70℃左右脱模。

热塑性塑料的种类较多,常用的有聚氯乙烯,它是透明或半透明的塑料,其特点是质地较软,但抗酸碱侵蚀能力较强。镶嵌操作与热凝性塑料基本相同,但加热温度为 140~170℃,压力为 17.0~25.0MPa。

对于电抛光的试样,镶嵌时可以加入铜铝等金属填料,使之具有导电性,也可从露出金属试样的镶料背面焊上导线使之导电。如果试样硬度较高,镶嵌时还可以加入耐磨填料,如氧化铝、碳化硅等,从而提高镶料的硬度及耐磨性,以免试样在磨制过程中产生倒角现象而影响显微观察及拍照。

对于具有淬火马氏体组织以及再结晶温度较低的试样不宜采用热镶,因为加热会导致组织的改变,同时,对于性软的金属及合金,如铅、锡、轴承合金等,因加压易引起塑性变形,改变了试样原有的正常状况,因此也不宜采用热镶。

(二) 冷镶

冷镶采用的材料为环氧树脂加固化剂等。固化剂主要是胺类化合物,其用量应适当,用