

应用型本科 材料类专业“十三五”规划教材

材料基础及 成型加工实验教程

主编 孙德勤

- 内容新颖：新知识、新技术、新工艺
- 特色鲜明：突出“应用、实践、创新”
- 定位准确：面向工程技术型人才培养
- 质量上乘：应用型本科专家全力打造

应用型本科 材料类专业“十三五”规划教材

材料基础及成型加工 实验教程

主 编 孙德勤

西安电子科技大学出版社

内 容 简 介

本书按照应用型本科教育的培养目标设计,强调理论与实践的有机结合;在内容编排上实现了课程实验教学、综合实验解析、专业技能培养、实践能力提升等的有效整合;同时强调科研反哺教学,将科研工作的部分成果补充为实践教学的内容。

本书共七章,主要包括实验技术基础知识、基础性实验、金属材料的性能及其测试实验、材料热处理及表面强化工艺实验、材料成型加工工艺实验、综合性实验、创新性实验等内容。

本书适用于应用型本科院校金属材料工程、材料成型及控制工程等专业的实践教学,也可作为高职高专院校相关专业实践教学的参考用书,或者作为工业生产中金属材料类技术改进或新工艺新技术研发类岗位工作人员的参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

材料基础及成型加工实验教程/孙德勤主编. —西安:西安电子科技大学出版社,2016.3

应用型本科材料类专业“十三五”规划教材

ISBN 978-7-5606-4047-1

I. ① 材… II. ① 孙… III. ① 工程材料—实验—高等学校—教材

② 工程材料—成型加工—实验—高等学校—教材 IV. ① TB3-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 040170 号

策 划 马 琼

责任编辑 马 琼 陈 婷

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路2号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

网 址 www.xduph.com 电子邮箱 xdupfxb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西大江印务有限公司

版 次 2016年3月第1版 2016年3月第1次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印张 16

字 数 377千字

印 数 1~1000册

定 价 32.00元

ISBN 978-7-5606-4047-1/TB

XDUP 4339001-1

* * * 如有印装问题可调换 * * *

本社图书封面为激光防伪覆膜,谨防盗版。

前 言

金属材料工程或材料成型及控制工程专业作为传统的基础学科,是国家经济建设的支柱,学科内容体系包括了材料设计与制备的基本原理和材料加工的基础理论知识,对材料成型的形状控制、组织结构控制、性能控制和生产过程控制,模具设计及制造,材料成型计算机仿真与控制,以及新材料、新产品工艺的开发等。高校中,该类专业的教育特别注重理论和实践的结合,本专业学生不但需要系统掌握宽广的技术理论基础知识,还要有很强的工程实践能力,同时工艺设计与操作等基本技能也必不可少。而实验能够将书本知识和社会实际融合在一起,很好地培养学生解决问题的能力 and 实际动手能力,因此专业教学与能力培养需要有充分的实验基础条件作为支撑,同时也需要系统的专业实验基础资料作为指导。

本书是作者在多年实践教学经验的基础上,参考了国内外相关书籍及文献等资料编写而成的。本书按照金属材料工程和材料成型及控制工程专业的培养计划要求,突出实践性和创新性,合理编排教学内容,实现专业知识教育与专业能力培养的有效结合,具有相对的独立性和针对性。本书旨在培养学生的实验动手能力、专业实践技能和实验设计与创新能力,全书以“知识学习、知识应用”为核心,每个实验内容基本由三部分构成:基础知识引导、实验内容与要求、知识拓展。本书注重基础知识与工程实际的结合,有利于拓展学生的自主学习空间,营造个性发展的环境,促进学生整体素质的提高。同时,本书在整体内容编排上,注重与课堂教学内容的衔接,强化综合性实验内容,将基础知识和专业学习有效地串接为一个整体,促进理论教学与实践教学的相互补充;在具体内容选择上,加强了工程实践案例的引入,以期提高学生利用所学知识分析问题与解决问题的能力,以及提高创新实践活动的效果。在全书的体例格式上,采用了常用的实验教材格式,详细介绍了实验原理及实验过程要求,并配有思考题供学生课后复习与巩固知识,针对性和实用性较强。除此之外,本书引入了大量科研范例,以激发学生实践创新的兴趣,使课程内容与现代工程技术相结合,以体现其时代性与前沿性。

本书综合了金属材料工程和材料成型及控制工程专业的相关实验内容,学生可在学习完“材料科学基础”等课程的内容后,结合课程教学要求参考本书开

展实训实验。而且,可随着学习“材料工程基础”、“热处理原理”等课程,阶段性利用本书开展相关实验。本书内容共七章。第一章为实验技术基础知识,介绍了实验过程中的数据获取、数据分析以及数据统计的基本方法,以及实验开展过程中的基本步骤与要求,由常熟理工学院孙德勤副教授编写;第二章和第三章为基础实验部分,主要包括材料组成、结构与性能测试的相关实验,由常熟理工学院孙德勤副教授和袁婷实验师共同编写;第四章为材料热处理及表面强化工艺实验,由常熟理工学院王剑讲师编写;第五章为材料成型加工工艺实验,主要涉及材料制备与成型技术方面的实验,由常熟理工学院戴军副教授编写;第六章和第七章为综合性实验和创新性实验,主要是培养学生综合能力的实验项目,由常熟理工学院孙德勤副教授编写。全书由孙德勤副教授统稿。

本书在编写的过程中,得到了常熟理工学院很多老师的支持与帮助,得到了系列教材编写委员会专家的精心指导,同时作者也参考了许多专家和学者的著作和研究成果,在这里一并向他们表示衷心的感谢!

鉴于作者的水平有限,书中的不妥之处在所难免,敬请读者批评指正。

作 者

2015 年 12 月

目 录

第一章 实验技术基础知识	1
1.1 测量与误差	1
1.2 测量数据的记录及处理	3
1.3 实验方案的设计	5
1.4 实验过程的实施与要求	6
第二章 基础性实验	8
实验一 金相样品的制备	8
实验二 光学金相显微镜的使用	13
实验三 定量金相分析方法	17
实验四 二元合金相图的绘制	20
实验五 扫描电子显微镜的结构及图像观察	22
实验六 结晶过程的观察	25
实验七 铁碳合金的平衡组织	26
实验八 金属的塑性变形与再结晶	31
实验九 铸铁显微组织观察与分析	35
实验十 有色金属的显微组织观察与分析	37
实验十一 碳钢不平衡组织	40
实验十二 合金钢的显微组织观察	42
实验十三 粉末的制取和成型实验	45
实验十四 溶胶-凝胶法制备纳米 TiO_2 光催化剂	46
第三章 金属材料性能及其测试实验	49
实验一 合金化学成分测定	49
实验二 金属拉伸实验及断口分析	53
实验三 金属材料的压缩实验	59
实验四 金属材料 $\sigma_{0.2}$ 的测定	63
实验五 金属薄板拉伸试验	64
实验六 金属材料的硬度实验	67
实验七 材料的显微维氏硬度测试	72
实验八 稳态法测量导热系数	75

实验九 金属线膨胀系数的测定	78
实验十 金属材料的冲击实验	79
实验十一 金属疲劳实验	82
实验十二 金属材料扭转实验	86
实验十三 金属的摩擦磨损实验	88
实验十四 盐雾腐蚀实验	92
实验十五 重量法测定金属的腐蚀速度	95
实验十六 极化曲线的测定	97
第四章 材料热处理及表面强化工艺实验	101
实验一 碳钢的热处理	101
实验二 碳钢退火、正火后的组织观察与分析	106
实验三 碳素工具钢的热处理组织与性能比较	108
实验四 合金钢热处理组织及组织缺陷的观察	110
实验五 钢的奥氏体晶粒度的测定	112
实验六 钢淬透性的测定	119
实验七 铸铁热处理	122
实验八 铝合金的固溶与时效	126
实验九 钢的渗碳及性能测试	128
实验十 高频感应加热表面淬火	132
实验十一 化学镀镍磷(Ni-P)实验	134
实验十二 钢的常温磷化	138
实验十三 微弧阳极氧化实验	141
实验十四 热喷涂实验	144
第五章 材料成型加工工艺实验	147
实验一 铸造合金流动性的测定	147
实验二 铝硅(ZL102)合金的熔炼	149
实验三 焊接接头组织金相分析	152
实验四 焊缝的内部裂纹超声波检测实验	155
实验五 碳钢的氩弧焊工艺实验	157
实验六 碳钢的二氧化碳气体保护焊工艺实验	161
实验七 手工电弧焊实验	163
实验八 焊接变形的测量与分析	165
实验九 镦粗工艺实验	166
实验十 冷轧薄板工艺实验	169
实验十一 铝的冲裁与拉深工艺实验	171
实验十二 塑料的注塑成型工艺实验	174
实验十三 有机玻璃的制备	179

第一章 实验技术基础知识

在现代社会中,人们使用的物品材料多种多样,但是在工业生产和日常生活中,最为常见的就是金属材料制作而成的物品,所以金属材料的分析与测试在现代社会的工业生产和日常生活中发挥着越来越重要的作用。

材料的性能包括力学性能、物理化学性能、工艺性能等,这些性能指标都可以通过对材料的各种物理实验或化学实验所获得的数据进行综合分析而获得,比较经典的如拉伸、冲击、硬度实验等。一般希望通过实验获取被测量量的真实值,但由于各种因素的影响,如测量仪器、测量方法、测量条件、测量人员等因素的限制,测量结果总是与被测量量的真实值不一致,即任何测量都不可避免地存在着测量误差。所以需要对测量结果的可靠性做出评价,对其误差范围作出估计,以期能更准确地表达实验结果。

为了减小甚至消除测量误差对测量结果的影响,首先需要研究和了解测量误差及测量不确定度。这些知识不仅在每个实验中都会被用到,而且是科学实验工作者所必须了解和掌握的基础知识。

1.1 测量与误差

1. 测量

测量就是借助仪器用某一计量单位把待测量量的大小表示出来。根据测量方法的不同,测量可分为直接测量和间接测量。由仪器或量具可以直接读出测量值的测量称为直接测量,如用米尺测量长度,用天平称质量;测量结果需要依据待测量和某几个直接测量值的函数关系通过数学运算获得,这种测量称为间接测量,如用伏安法测电阻,已知电阻两端的电压和流过电阻的电流,依据欧姆定律求出待测电阻的大小。

一个被测物理量,除了用数值和单位来表征它外,还有一个很重要的表征参数,即对测量结果可靠性的定量估计值。设想如果得到一个测量结果的可靠性几乎为零,那么这种测量结果还有什么价值呢?因此,从表征被测量这个角度来说,对测量结果可靠性的定量估计与其数值和单位至少具有同等的重要性,三者是缺一不可的。

2. 误差

误差存在于一切测量之中,测量与误差形影不离,分析测量过程中产生的误差,将其影响降到最低程度,并对测量结果中未能消除的误差做出估计,是实验测量中不可缺少的一项重要工作。

绝对误差。由于受测量方法、测量仪器、测量条件以及观测者水平等多种因素的限制,测量结果与真值之间总有一定的差异,即总存在测量误差。设测量值为 N , 相应的真

值为 N_0 ，则测量值与真值之差

$$\Delta N = N - N_0$$

称为测量误差，又称为绝对误差，简称误差。

相对误差。绝对误差与真值之比的百分数叫做相对误差，用 E 表示为

$$E = \frac{\Delta N}{N_0} \times 100\%$$

由于真值无法知道，所以计算相对误差时常常用 N 代替 N_0 。在这种情况下， N 可能是公认值，或高一级精密仪器的测量值，或测量值的平均值。相对误差用来表示测量的相对精确度，用百分数表示，一般保留两位有效数字。

3. 误差的分类

根据误差的性质和产生的原因，误差可分为三类：系统误差、随机误差和粗大误差。

1) 系统误差

系统误差是指在同一条件(指方法、仪器、环境、人员)下多次测量同一物理量时，结果总是向一个方向偏离，其数值一定或按一定规律变化。系统误差的特征是具有一定的规律性。

系统误差的来源包括以下几个方面：

(1) 仪器误差。它是由于仪器本身的缺陷或没有按规定条件使用仪器而造成的误差。

(2) 理论误差。它是由于测量所依据的理论公式本身的近似性，或实验条件不能达到理论公式所规定的要求，或测量方法不当等所引起的误差。

(3) 个人误差。它是因观测者本人生理或心理特点造成的误差，如有人用秒表测时间时，总是使之过快。

(4) 环境误差。它是指受外界环境(如光照、温度、湿度、电磁场等)的影响而产生的误差。如环境温度升高或降低，使测量值按一定规律变化。

2) 随机误差

在相同测量条件下，多次测量同一物理量时，误差的绝对值时大时小，其符号时正时负，以不可预测的方式变化着，这样的误差称为随机误差，有时也叫偶然误差。

引起随机误差的原因有很多，除了与仪器精密度和观察者感官灵敏度有关外，无规则的温度变化、气压的起伏、电磁场的干扰、电源电压的波动等都会引起测量值的变化。这些因素不可控制又无法预测和消除。

当测量次数很多时，随机误差就表现出明显的规律性。实践和理论都已证明，随机误差服从一定的统计规律(正态分布)，其特点有：

(1) 单峰性：绝对值小的误差出现的概率比绝对值大的误差出现的概率大。

(2) 对称性：绝对值相等的正负误差出现的概率相同。

(3) 有界性：绝对值很大的误差出现的概率趋于零。

(4) 抵偿性：误差的算术平均值随着测量次数的增加而趋于零。

因此，增加测量次数可以减小随机误差，但不能完全消除。

3) 粗大误差

由于测量者过失，如实验方法不合理，用错仪器，操作不当，读错数值或记错数据等

引起的误差,是一种人为的过失误差,不属于测量误差,只要测量者采用严肃认真的态度,过失误差是可以避免的。在数据处理中要把含有粗大误差的异常数据加以剔除,剔除的准则一般为 3σ 准则或肖维勒准则。具体如下:

(1) $3\sigma_x$ 准则。统计理论表明,测量值的偏差超过 $3\sigma_x$ 的概率小于 1%。因此,可以认为偏差超过 $3\sigma_x$ 的测量值是其他因素或过失造成的,为异常数据,应当剔除。剔除的方法是对多次测量所得的一系列数据,算出各测量值的偏差 Δx_i 和标准偏差 σ_x ,把其中最大的 Δx_j 与 $3\sigma_x$ 比较,若 $\Delta x_j > 3\sigma_x$,则认为第 j 个测量值是异常数据,舍去不计。剔除 x_j 后,对余下的各测量值重新计算偏差和标准偏差,并继续审查,直到所有偏差均小于 $3\sigma_x$ 为止。

(2) 肖维勒准则。假定对一物理量重复测量了 n 次,其中某一数据在这 n 次测量中出现的频次不到半次,即小于 $\frac{1}{2n}$,则可以肯定这个数据的出现是不合理的,应当予以剔除。

根据肖维勒准则,应用随机误差的统计理论可以证明,在标准误差为 σ 的测量列中,若某一个测量值的偏差等于或大于误差的极限值 K_σ ,则此值应当剔除。不同测量次数的误差极限值 K_σ 见表 1.1。

表 1.1 肖维勒系数表

n	K_σ	n	K_σ	n	K_σ
4	1.53σ	10	1.96σ	16	2.16σ
5	1.65σ	2.00σ	11	17	2.18σ
6	1.73σ	2.04σ	12	18	2.20σ
7	1.79σ	2.07σ	13	19	2.22σ
8	1.86σ	2.10σ	14	20	2.24σ
9	1.92σ	2.13σ	15	30	2.39σ

1.1.1 测量数据的记录及处理

测量结果的处理就是对测量数据进行整理、计算、分析,从而去粗取精、去伪存真,最终的测量结果通常用数字、图表或曲线图形等表示。

1. 有效数字及舍入

通常规定测量数据所含误差的大小不得超过末位数字单位的一半,按此规定表示的测量数据,即近似值。从测量数据左边第一个非零数字起,到右边最后一位数字为止,称为有效数字。有效数字的末位是欠准数字,而除末位外的其他各位数字都是可靠数字。

根据所需的有效数字的位数,需对测量数据进行舍入,规则如下:

- (1) 当要舍去的最高位的数字大于或等于 5 时,所取有效数字的末位数上应加 1。
- (2) 当要舍去的最高位上的数字小于 5 时,所取有效数字的末位数不变。

2. 算术平均值

一般在剔除明显的坏值以后,取几组测量数据并计算其算术平均值,作为测量结果

即可。

3. 列表法

列表法就是将一组实验数据和计算的中间数据依据一定的形式和顺序列成表格。列表法可以简单明确地表示出物理量之间的对应关系,便于分析和发现资料的规律性,也有助于检查和发现实验中的问题,这就是列表法的优点。设计记录表格时要做到:

(1) 表格设计要合理,以便于记录、检查、计算和分析。

(2) 表格中涉及的各物理量,其符号、单位及量值的数量级均要表示清楚。但不要把单位写在数字后。

(3) 表中数据要正确反映测量结果的有效数字和不确定度。除原始数据外,计算过程中的一些中间结果和最后结果也可以列入表中。

(4) 表格要加上必要的说明。实验室所给的数据或查得的单项数据应列在表格的上部,说明写在表格的下部。

4. 作图法

作图法是在坐标纸上用图线表示物理量之间的关系,揭示出物理量之间的内在联系。作图法简明、形象、直观,便于比较研究实验结果,同时它也是一种最常用的数据处理方法。

作图法的基本规则是:

(1) 根据函数关系选择恰当的坐标纸(如直角坐标纸,单对数坐标纸,双对数坐标纸,极坐标纸等)和比例,画出坐标轴,标明物理量符号、单位和刻度值,并写明测试条件。

(2) 坐标的原点不一定是变量的零点,可根据测试范围加以选择。坐标分格最好使最小数字的一个单位可靠数与坐标最小分度相当。纵横坐标比例要恰当,以使图线居中。

(3) 描点和连线。根据测量数据,用直尺和笔尖使函数对应的实验点准确地落在坐标相应的位置。需要在一张图纸上画几条实验曲线时,每条图线应用不同的标记符号如“+”、“×”、“·”、“△”等标出,以免混淆。连线时,既要顾及到数据点,又要使曲线光滑(含直线),并使数据点均匀分布在曲线(直线)的两侧,且尽量贴近曲线。个别偏离过大的点要重新审核,属过失误差的应剔除。

(4) 标明图名,即做好实验图线后,应在图纸下方或明显的空白处,写上图的名称、作者和作图日期,有时还要附上简单的说明,如实验条件等,使读者一目了然。作图时,一般将纵轴代表的物理量写在前面,横轴代表的物理量写在后面,中间用“~”连接。

(5) 最后将图纸贴在实验报告的适当位置,便于教师批阅。

5. 图解法

实验图线做出来以后,可以由图线求出经验公式。图解法就是根据实验数据作好的图线,用解析法找出相应的函数式。实验中经常遇到的图线包括直线、抛物线、双曲线、指数曲线、对数曲线等,特别当图线是直线时,采用此方法更为方便。

由实验图线建立经验公式的一般步骤是:

(1) 根据解析几何知识判断图线的类型;

- (2) 由图线的类型判断公式的可能特点;
- (3) 利用半对数、对数或倒数坐标纸,把原曲线改为直线;
- (4) 确定常数,建立经验公式,并用实验数据检验所得公式的准确程度。

由实验图线建立经验公式的原理和过程比较复杂,可参阅其他资料,本教材不作详细介绍。

1.3 实验方案的设计

实验方案是进行课题研究的具体设想和工作框架,合理的实验方案是保证实验研究顺利进行的必要条件,也是实验质量的重要保证。

1. 实验方案的内容构成

1) 实验内容及要求

此部分主要说明要做这个实验的原因,通过实验能够有哪些收获。学习者或实验者最好查阅有关资料,了解实验过程所对应的基础知识和专业知识,因为无论是验证型实验还是创新型实验,实验人员均能够利用相应设备,设计合理的实验方法与步骤,真正通过实验促进对基础和专业理论知识的理解。

2) 理论依据

理论依据即实验内容所涉及的基础和专业知识,拟采用的方法、设备等内容的基本原理,使实验过程有一定的理论依据,从而更加合理。

3) 实验方法及控制

实验方法即实验过程中所采用的方法和措施,主要包括:实验过程所需的设备、材料、仪器等;设备的操作要求及注意事项;实验步骤的设计与实施要点;实验结果的表征等。实验过程可有多种方法,需要根据研究对象、研究内容来选取恰当的研究方法,也可以几种方法并用,或以一种方法为主,其他方法为辅。研究方法还应包括数据的统计分析方法,如计算机处理、常规的统计计量方法等。

其中应说明用以检验结果的设计思路和程序,以便获得足够的信息进行重复实验来验证结论。需要说明的信息包括:实验对象、实验方法、仪器设备、研究材料和工具等。

4) 实验数据的收集

数据的收集是指通过操控实验变量,按照实验设计在实验中获取并记录各种实验结果。要通过设置控制点、测量手段等获取实验数据,需要收集哪些类型的数据,在实验方案中都要有所表述;检测的项目、工具、方法、次数和插入点等都最好写在方案中,以便于操作。

5) 实验变量及其控制

实验是按一定的计划,在控制条件下对实验对象施加可控的影响,并观察其变化,以此推断这些影响与效果之间的因果联系。因此在实验过程中会涉及许多可变的因素,称为“变量”。实验中的变量有:

(1) 自变量,即实验者加于实验对象的实验因子,由实验者操控,以了解它与实验结果之间的因果关系。

(2) 因变量,即实验前假定存在因果关系的结果变量,它随自变量的变化而变化。

(3) 无关变量,即会影响实验结果但又不是自变量的一切变量,对无关变量的控制也是实验成败的关键。

2. 实验设计

实验设计可分为实验方法设计、实验过程的实施、收集整理和分析试验数据等步骤。而实验方法设计是影响实验成功与否的最关键环节,是提高实验质量的重要基础。

实验设计是在实验开始之前,根据实验目的和要求,制定实验进程计划和具体的实施方案,其主要内容是研究如何安排实验并取得数据,然后进行综合的科学分析,从而尽快获得最优结果。如果实验安排得合理,就能用较少的次数,在较短的时间内达到预期的目标。

目前,已建立起许多实验设计方法,如我们大家比较熟悉的单因素设计方法和多因素设计方法。单因素实验设计方法包括黄金分割法、分数法、交替法、等比法、对分法和随机法等,这些方法同时也为多因素实验水平范围的选取提供了重要依据,并在生产中取得了显著成效。而多因素实验设计方法有正交实验设计、均匀实验设计、稳健设计、完全随机化设计、随机区组实验设计、回归正交实验设计、回归正交旋转实验设计等。

1.4 实验过程的实施与要求

1. 实验的方法与步骤

一般情况下实验的方法与操作步骤包括:

(1) 实验方法包括:实验的设计,观测指标的确定,无关变量的控制,检测工具的运用,实验仪器的名称和使用,统计方法的选用等。

(2) 措施:包括实验措施、操作过程的注意事项及要求等。

(3) 过程:包括研究时间、每个阶段要完成的任务以及所要达到的目标等。

(4) 步骤:包括实验前、实验中、实验后要做哪些准备工作,操作程序的安排方法等。

这部分内容,在表达上要有理论高度和科学性,做法上要写得具体,步骤和程序必须清楚准确,语言要精炼,操作要简易可行,便于别人重复验证。

2. 实验结果

实验结果包括:

(1) 表述内容:包括详实数据、典型事例以及实验结果与实验假设的关系说明等。

(2) 表达方式:多数以图表和经过统计处理的数据组成形式呈现。

(3) 表达要求:结果所列内容来自实验所得的统计数据,它是纯粹的原始材料,经过加工处理,并作为客观事实呈现给读者。

3. 实验分析

实验分析可以与实验结果一起写,也可以单独写。具体如下:

(1) 分析的内容包括:图表及其说明,个别典型事例的观察记录,实验的操作过程记录,实验过程中产生的各种现象,研究方法,调控措施,控制变量,实验产生的效果与假

设、措施的关系等。

(2) 表达要求: 分析中要做多方面的比较, 要有量和质的分析, 力求质和量、事实和数字相互印证。

4. 实验结论

实验结论说明实验结果证明了或否定了哪些假设, 或有哪些新的发现。表述要求措辞要严谨, 逻辑要严密, 文字要简明具体, 不能模棱两可、含糊其词。结论必须恰当, 不可夸大或缩小, 要反映本实验的真实结果, 它是实验报告的中心归宿。表达格式及层次有三种:

- (1) 在某一实验背景下发生某种实验效果。
- (2) 在实验范围内, 证明了自变量和因变量的因果关系。
- (3) 对实验工作进行简要评价, 指出实验中存在的主要问题和今后的努力方向。

5. 问题与建议

问题与建议是对实验研究结果的含义和意义的评价, 要求根据研究的客观事实和结论, 结合实验要求和实验者的认识与理解, 讨论和分析与实验结果相关的问题, 可以从理论上加深对实验过程的认识, 还可以对结果中不够完善之处进行补充说明。

对实验结果进行讨论的基本内容包括:

- (1) 对实验结果进行理论上的分析和论证。
- (2) 对本实验研究方法的科学性和局限性进行探讨。
- (3) 提出可供深入研究的问题, 或本实验尚待进一步解决的问题。
- (4) 对未来的研究方向及如何推广研究成果提出建议。
- (5) 其他, 如回答实验过程中教师提出的问题等。

第二章 基础性实验

材料是企业进行工业生产的物质基础,是企业生产优质产品的最基本保障,也是企业生产高质量产品的前提条件。对材料进行测试,能够为材料生产厂家研制和开发新材料、改进材料质量、发挥材料最大限度潜力(选用适当的许用应力)、分析材料制件故障提供理性的科学依据。对材料使用厂家来说,材料测试能够为其提供购买标准和依据。

材料基础性实验主要是针对材料的组成、结构与性能之间的关系而开展的相关实验。内容包括材料的显微结构与性能分析、相平衡及相图、扩散与固相反应动力学等验证型或设计型实验。

实验一 金相样品的制备

一、实验目的

- (1) 掌握金相样品制备的一般方法(机械抛光和化学浸蚀)。
- (2) 了解金相样品制备的其他方法。

二、实验设备及材料

- (1) 金相显微镜、试样切割机、镶嵌机、预磨机、抛光机等。
- (2) 碳钢试样、抛光液、金相砂纸、玻璃板。
- (3) 浸蚀剂、酒精、玻璃器皿、竹夹子、脱脂棉、滤纸等。

三、实验原理及相关知识

金相试样制备是金相研究中非常重要的一部分,它包括试样的截取、试样的镶嵌、试样的磨光、试样的抛光、金相显微组织的显示等内容。

1. 金相样品的准备

选择合适的、有代表性的试样是进行金相显微分析极其重要的一步,包括选择取样部位、检验面及确定截取方法、试样尺寸等。具体如下:

(1) 取样部位及检验面的选择。取样部位和检验面,应根据检验目的选取有代表性的部位。例如:分析金属的缺陷和破损原因时,应在发生缺陷和破损的部位取样,同时也应在完好的部位取样,以便对比;检测脱碳层、化学热处理的渗层、淬火层、晶粒度等时,应取横向截面;研究带状组织、冷塑性变形工件的组织 and 夹杂物的变形情况时,则应取纵向截面。

(2) 试样的截取方法。试样的截取方法根据金属材料的性能不同而异。对于软材料,

可以用锯、车、刨等方法；对于硬材料，可以用砂轮切片机切割或线切割等方法；对于硬而脆的材料，如白口铸铁，可以用锤击方法；在大工件上取样，可用氧气切割等方法。在用砂轮切割或电火花切割时，应采取冷却措施，以减少材料由于受热而引起的试样组织变化。试样上由于截取而产生的变形层或烧损层必须在后续工序中去掉。

(3) 试样尺寸和形状。根据所要观察的部位要求切取样品，不能太大太重，以便于操作及置于显微镜载物台上。另外，金相试样的大小和形状以利于握持、易于磨制为准，通常采用直径 15~20 mm、高 15~20 mm 的圆柱体或边长 15~20 mm 的立方体。

对于特小、特薄或特细的样品，以及检查表层组织(如化学热处理)的样品，需要进行镶嵌。镶嵌过程适用于对不是整形、不易握持的微小金相试样用热固性塑料进行压制镶嵌，如线材、细小管材、薄板、锤击碎块等。在磨光时若样品不易握持，也可用镶嵌方法镶嵌成标准大小的试块，然后进行切割、抛光等。

切割好的试样，需要用砂轮或锉刀进一步磨平，以得到平坦的磨面，并消除或减小切割时表面产生的变形。软的金属材料用细锉刀锉平或用显微切片机切割，不得用砂轮磨平。

2. 金相样品的磨光

经截取镶嵌好的试样，由于表面粗糙，形变层厚，因此需要在显微镜观察之前，经过磨光与抛光处理。

磨光时所用砂纸为先粗后细(砂纸顺序为先小后大)逐号磨光。将砂纸平铺在玻璃板上，一手将砂纸按住，一手将试样磨面压在砂纸上，并向前推行，进行磨光。在磨光的回程中最好将试样提起拉回，使之不与砂纸接触。在试样施加压力时应力求均衡，使磨面与砂纸完全接触，这样才能使整个磨面被均匀地磨削。磨光操作每更换细一号砂纸时，为了便于观察前一道砂纸留下的较粗磨痕的消除情况，磨面磨削的方向应该与前一号砂纸磨痕方向成 90° 或 45° ，且确保完全磨去前一号砂纸遗留下来的磨痕。

磨光制样过程的不规范可能带来的不良影响如下：

(1) 通过磨光能够获得具有相当细小均匀划痕的样品表面，但也可能产生具有一定深度的塑性变形表面，这层变形金属与真实的样品在显微结构上存在显著差别，出现人为的虚假组织结构。非立方晶体结构的金属(如锌)在塑性变形层还容易产生相当深度的形变孪晶；低熔点金属(如锡和铅)即使在室温下在变形层中也会发生再结晶，产生细小的晶粒，而且越靠近表面，晶粒越细。

(2) 中高含碳量钢在磨样不当或冷却不足的情况下，会因过热而导致再硬化马氏体表面层，并伴随着回火层的出现。

(3) 对非常软的金属(如铅或高纯铝)，砂纸上脱落的磨粒很容易嵌入到样品表面，并且难于鉴别。

(4) 烧结制成的硬质合金，组织中通常含有特别硬的相和相对较软的相，硬度差别大，试样制备比较困难，很容易出现浮雕现象。

(5) 表面氧化物层结构通常对研究氧化物层的孔隙率、裂纹等非常重要，而氧化物本身是脆性的，对样品制备过程十分敏感，易碎裂和脱落，特别是含石墨的铸铁，脆性石墨相在制样过程中容易剥落，形成曳尾和空孔。

因此,在制样过程中应当注意以下几个方面:

① 对于易变形合金,每一道砂纸磨光前应该去除前一道砂纸磨光中人为造成的虚假结构层,这远比去除前一道磨样上的划痕要花费更多的时间。

② 对于再加热可能引起结构变化的合金系统,应该保证提供充足的液体冷却剂,避免干磨造成的过热。

③ 对于软金属,避免磨粒碎屑嵌入样品表面的方法是在砂纸上涂蜡,使得磨粒碎屑嵌入软蜡中。软金属的样品也可用切片机制割,以获得高质量表面。

④ 对于硬度差别大的复相合金,需要使用金刚石磨料或金刚石研磨膏。金刚石磨料对软相和硬相都适用,几乎都能快速磨削,也能避免浮雕出现。

⑤ 对于脆性材料,特别是易于发生解理的材料,最好用松散磨料滚压磨光,而不该用固定磨料的砂纸磨光。具体作法是将磨料糊浆置于玻璃板上,试样在其上移动磨光,这样磨光,磨削速度快,而且表面所产生的脆性裂纹缺陷层浅薄。所用磨料可以是氧化铝粉或碳化硅粉,粒度号按砂纸的级别可选用 240 号、320 号或 400 号。

3. 金相样品的抛光

抛光后的表面在 200 倍显微镜下观察应基本上没有磨痕和磨坑。抛光的方法主要有机械抛光法、化学抛光法及电解抛光法等。

(1) 机械抛光法。机械抛光法为常用的一种方法,是在专用的金相样品抛光机上进行的,抛光机转速一般以 200~500 转/分为宜。在抛光盘上织物的选择方面,抛光较硬的材料(如钢铁),一般粗抛用帆布、呢料或无毛呢绒等,细抛则用短毛细软呢绒或毡呢等,尤其是检验钢中有夹杂物或铸铁中含石墨时,不宜用长毛呢绒,以免夹杂物或石墨被去除;一般软的金属和合金要用很软的织物抛光。常用的抛光磨料是粒度为 Al_2O_3 的粉末或人造金刚石研磨膏,这两者都具有很高的抛光效能。

抛光时要适当地保持抛光织物的湿润度,一般以试样上的湿润膜(当从抛光盘上拿起来时)能在 2~5 秒钟干燥为宜。抛光织物太干,会引起抛光样品发热氧化;而太湿且长时间抛光,又会引起抛光样品发生坑蚀,出现麻点。

(2) 化学抛光和化学机械抛光。化学抛光是依靠化学试剂对样品的选择性溶解作用将磨痕去除的一种方法,例如用 1~2 g 草酸、2~3 ml 氢氟酸、40 ml 过氧化氢、50 ml 蒸馏水的化学抛光剂,对碳钢、一般低合金钢的退火、淬火组织进行化学抛光(擦试法),效果较好。此法适用于没有机械抛光设备的条件。

化学抛光的结果一般不是太理想的,若和机械抛光结合,一边利用化学抛光剂腐蚀一边机械抛光,可以提高抛光效能。

(3) 电解抛光。电解抛光是在一定的电解液中进行的,最简单的电解抛光机(或自行组合的装置)如图 2.1 所示。试样为阳极,选用耐蚀金属材料为阴极(如不锈钢、铂、铅等)。在接通直流电源后,阳极表面开始选择性溶解,逐渐消去阳极表面的刨磨痕。

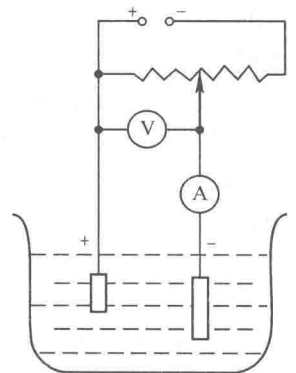


图 2.1 电解抛光示意图