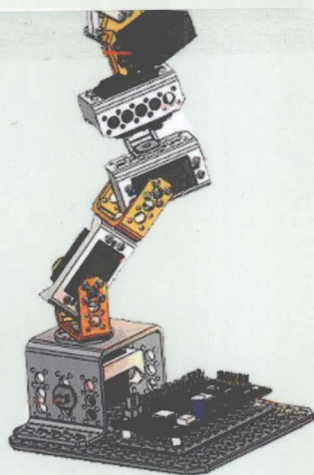


高等学校规划教材
GAODENG XUEXIAO GUIHUA JIAOCAI

机械工程实验综合教程

常秀辉 李宗岩 主编



冶金工业出版社
Metallurgical Industry Press

高等学校规划教材

机械工程实验综合教程

主 编	常秀辉	李宗岩		
副主编	李运红	杜明华		
参 编	张习加	于 江	姚桂艳	王家金
	冯丽艳	裴未迟	林艳华	
主 审	李占贤			

北 京

冶金工业出版社

2010

内 容 提 要

本书为适应高层次创新人才培养的需要,按照教育部新世纪高等教育教学改革工程的要求,在教学改革和实践的基础上撰写而成。

书中系统地介绍了机械工程的基本实验技术,每一章节均对实验理论和实验方法做了比较系统的论述,对实验中常用的仪器,尤其是新型仪器设备的原理、构造、操作规程都有较详细的介绍。内容包括机械工程基础实验、专业实验,增加了创新设计性实验和综合性实验内容,且附有一些常用的国标、图表和数据,使学生(读者)可以方便掌握查找文献、数据的方法。

本书可作为高等工科院校机械类、近机类及非机类各专业的实验综合教材,也可供成人高等工科院校师生及有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械工程实验综合教程/常秀辉,李宗岩主编. —北京:
冶金工业出版社, 2010. 7
高等学校规划教材
ISBN 978-7-5024-5320-6

I. ①机… II. ①常… ②李… III. ①机械工程—
实验—高等学校—教材 IV. ①TH-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 131683 号

出 版 人 曹胜利

地 址 北京北河沿大街嵩祝院北巷 39 号, 邮编 100009

电 话 (010) 64027926 电子信箱 yjchs@cnmip.com.cn

责任编辑 李枝梅 美术编辑 李 新 版式设计 葛新霞

责任校对 刘 倩 责任印制 牛晓波

ISBN 978-7-5024-5320-6

北京兴华印刷厂印刷; 冶金工业出版社发行; 各地新华书店经销

2010 年 7 月第 1 版, 2010 年 7 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16; 16.75 印张; 446 千字; 258 页

32.00 元

冶金工业出版社发行部 电话:(010)64044283 传真:(010)64027893

冶金书店 地址:北京东四西大街 46 号(100010) 电话:(010)65289081(兼传真)

(本书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)

前 言

21 世纪要求高等工科院校培养更多高素质、高能力、有开拓进取精神的创新型人才,而实验教学是不可或缺的重要手段之一。

科学实验是人们认识客观世界的重要手段,是揭示研究对象的物理本质及周围因素对研究对象影响规律的具体方法。因此,实验教学不仅仅是学生获得知识的重要途径,而且对培养学生的学风、实际工作能力、科学研究能力和创新能力及工程师应具备的基本素质都具有十分重要的作用。

本书在收集了国内有关院校大量资料的基础上,并结合河北理工大学实验教学的经验和改革成果编写而成。按照教育部新世纪高等教育教学改革工程的要求,在教材的编写过程中,力求立意新颖,框架结构、章节层次安排合理,重点、难点处理得当。此外,还在处理好与理论课关系的前提下,建立了独立的实验教学体系,并大多自成章节,同时加大了设计性、综合性和创新性实验的比例。每一章,都对实验理论和实验方法做了比较系统的论述,对实验中常用的仪器,尤其是新型仪器设备的原理、构造、操作规程有较详细的介绍,且附有一些常用的国标、图表和数据,使学生既可以掌握查找文献、数据的方法,又可以在今后的工作中将本书作为参考书使用。

书中内容分为四部分:(1)机械工程基础实验部分;(2)机械工程专业实验部分;(3)机械工程综合实验部分;(4)机械工程创新设计实验部分,共 12 章。实验总学时约为 150 学时,从本科生二年级第一学期到四年级的第一学期分四学期开设。

本书由常秀辉、李宗岩担任主编,李运红、杜明华担任副主编,李占贤教授审稿。

参加本书编写的作者有:杜明华(第 1 章、第 8 章、第 11 章),常秀辉(第 2 章、第 11 章),姚桂艳(第 3 章、第 11 章),李宗岩(第 4 章、第 7 章、第 11 章、第 12 章),裴未迟(第 5 章),李运红(第 6 章、第 12 章),王家金(第 8 章),张习加(第 9 章),于江(第 10 章、第 12 章),冯丽艳(第 12 章),林艳华(第 12 章)。

系统地编写实验综合教材,对于我们也是新的尝试,书中不成熟、不完善之处在所难免,在此请专家、学者和读者给予批评指正。

编 者
2010 年 4 月

目 录

I 机械工程基础实验

1 工程材料及热加工工艺基础实验	1
1.1 概述	1
1.2 铁碳合金显微组织分析	1
1.3 铸造应力的测定	3
1.4 焊接接头的组织及性能分析	5
2 机械零件几何精度的测量与分析实验	7
2.1 概述	7
2.2 机械零件几何精度的基本概念	7
2.3 长度的测量	11
2.4 形状和位置误差的测量	14
2.5 螺纹测量	18
2.6 表面粗糙度的测量	22
3 机械运动和动力参数的测试与分析实验	24
3.1 概述	24
3.2 机械原理展示开放实验	24
3.3 机构运动简图的测绘实验	25
3.4 回转构件的动平衡实验	26
4 机械性能和工作能力的测试与分析实验	30
4.1 概述	30
4.2 机械设计展示开放实验	30
4.3 带传动实验	31
4.4 齿轮传动效率的测定实验	34
4.5 滑动轴承油膜压力分布及摩擦特性的测定实验	37
4.6 万向联轴器及链条传动回转不匀率的测定实验	40
5 微型计算机原理及应用实验	44
5.1 概述	44

5.2 汇编语言程序实验	45
5.3 PC 系列微机硬件电路实验	52
6 测试信号处理实验	79
6.1 概述	79
6.2 典型信号频谱分析	79
6.3 典型信号相关分析	86
6.4 数字滤波分析	90
6.5 周期信号波形的合成和分解	93
6.6 窗函数及其对信号频谱的影响	98
6.7 加速度传感器振动测量实验	104
6.8 速度传感器振动测量实验	108
6.9 光电传感器转速测量实验	111
6.10 电涡流传感器轴心轨迹测量实验	116
6.11 磁电传感器转速测量实验	120
6.12 声传感器噪声测量	124
6.13 力传感器标定及称重实验	128
6.14 电涡流开关铁磁性物体检测实验	131
6.15 红外传感器产品计数实验	135
6.16 红外对射传感器传输速度测量实验	137
6.17 色差传感器物体表面颜色识别实验	140

II 机械工程专业实验

7 液压传动实验	145
7.1 概述	145
7.2 液阻特性实验	145
7.3 液压泵性能实验	147
7.4 节流调速回路性能实验	148
7.5 溢流阀静、动态性能实验	150
7.6 压力形成实验	153
8 机械制造技术基础实验	154
8.1 概述	154
8.2 CA6140 型普通车床的剖析	154
8.3 机床静刚度测定	155

8.4	测绘制作外圆车刀	158
8.5	切削变形的测定分析	160
8.6	主切削力 F_z 经验公式的建立	161
8.7	车刀的磨损与刀具寿命测定	164
8.8	精密加工与精密测量实验	166
8.9	CG1107 单轴自动车床剖析	169
9	机电一体化系统实验	172
9.1	概述	172
9.2	机电一体化系统认知和基本操作实验	172
9.3	机器人认知实验	176
9.4	交流伺服电机控制方式及伺服驱动原理与特性实验	182
9.5	开环系统反向间隙补偿实验	187
9.6	可编程控制器实验	190
9.7	堆垛机仓储系统运动控制实验	193
9.8	频率特性实验	196
9.9	二阶系统特征参量对过渡过程的影响	198
10	人机工程学实验	200
10.1	概述	200
10.2	反应时间测定实验	200
10.3	反应时、运动时实验	202
10.4	曲线形成实验	203
10.5	环境噪声测量实验	204
10.6	空间位置与记忆广度测试实验	206
10.7	速示反应实验	208
10.8	劳动强度与疲劳测定实验	209

III 机械工程综合实验

11	机械工程综合实验	211
11.1	碳素钢的热处理及硬度测定综合实验	211
11.2	齿轮参数的综合测量	214
11.3	机械运动参数的测定综合实验	221
11.4	减速器的拆装测绘综合实验	226
11.5	机械加工精度测量与分析综合实验	228
11.6	Y3150E 型滚齿机的调整	232

IV 机械工程创新设计实验

12 机械工程创新设计实验	239
12.1 概述	239
12.2 机床床头箱的拆装、测绘与反求设计创新实验	240
12.3 机构创新设计实验	242
12.4 创意之星模块化机器人创新设计实验	247
12.5 轴系结构创新设计实验	249
12.6 人机工程创新设计实验	254
12.7 汽油发动机的拆装实验	256
参考文献	258

机械工程基础实验

1 工程材料及热加工工艺基础实验

1.1 概述

工程材料通常指用于工程结构和机械零件的材料,包括金属材料、高分子材料、无机材料和复合材料四大类。金属材料是主要的工程材料,尤以钢铁材料应用最广,特别是在机械工程中目前仍占绝对优势。因此,本章侧重于金属材料及其组织性能检测和实验方法。

材料的性能是由其内部的化学成分和组织结构所决定的,改变材料的化学成分或组织结构,可以改善和调整材料的性能。认识这些性能和变化规律,对于材料选择、材料处理以及故障诊断分析极为重要。而要认识这些规律,实验方法和手段则是必不可少的。

金属热加工方法有很多种,如铸造、锻造、焊接等。铸造目前主要用于制造毛坯和精度、表面质量要求不高的机械零件。铸造的实质是液态金属逐步冷却凝固而成形,它具有可以铸造出内腔、外形很复杂的毛坯,工艺灵活性大,铸件成本低等优点。因而在工业生产中得到广泛的应用。在机械工业中,铸件所占比重很大。

焊接是现代工业生产中不可缺少的一种金属连接方法。它是利用加热或加压使分离的两部分金属靠得足够近,原子互相扩散,形成原子间的结合。它主要用于制造金属结构,也用来制造机械零件、部件和工具等。

为了加强学生的动手操作能力,启发学生自己组织实验工作,在本章中重点介绍每个实验的测量原理和实验方法,要求学生在实验时根据具体情况自拟实验参数,从而使学生掌握实验的主动权,充分发挥独立工作能力。

本章的实验内容主要有铁碳合金显微组织分析,铸造应力的测试,焊接接头的组织和性能分析。

1.2 铁碳合金显微组织分析

1.2.1 实验目的

- (1) 观察和了解铁碳合金在平衡状态下的显微组织。
- (2) 分析含碳量对铁碳合金显微组织的影响,从而加深理解成分、组织和性能之间的相互关系。
- (3) 学会使用金相显微镜。

1.2.2 金相显微镜的结构和工作原理

由于被观察的物体是不透明的金属表面,因此,金相显微镜设有人工光源进行试样表面的照明,如图 1-1 所示。

由灯泡 1 发出一束光线,经过聚光镜 2 及反光镜 7 被汇聚在孔径光阑 8 上,随后经过聚光镜 3、视场光阑 9 再度将光线聚集在物镜 6 的后焦面上,最后,光线通过物镜,用平行光照明标本,使其表面得到充分均匀的照明。从物体反射回来的光线复经物镜 6、辅助透镜 5、半反射镜 4、辅助透镜 10 以及棱镜 11、12,造成一个物体的倒立放大实像,该像被场镜 13 和接目镜 14 所组成的目镜放大。

1.2.3 实验原理

铁碳合金的平衡组织是指铁碳合金在极为缓慢的冷却条件下所得到的组织。可以根据铁碳相图来分析铁碳合金在平衡状态下的显微组织。

铁碳合金主要包括碳钢和白口铸铁,其室温组成相由铁素体和渗碳体这两个基本相组成。由于

含碳量不同,铁素体和渗碳体的相对数量、析出条件及分布状况均有所不同,因而呈现出各种不同的组织形态,见表 1-1。

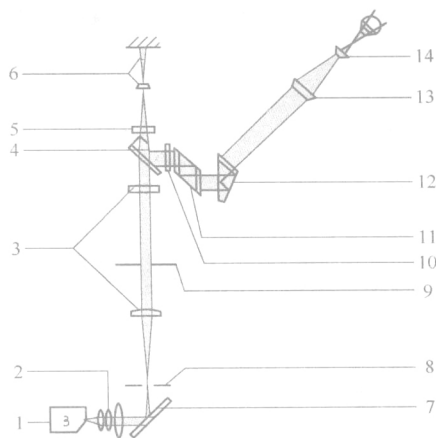


图 1-1 金相显微镜的光学系统

1—灯泡;2,3—聚光镜;4—半反射镜;5,10—辅助透镜;
6—物镜;7—反光镜;8—孔径光阑;9—视场光阑;
11,12—棱镜;13—场镜;14—接目镜

表 1-1 各种铁碳合金在室温下的显微组织

类 型		含碳量(质量分数)/%	显 微 组 织
碳 钢	亚共析钢	0.02 ~ 0.77	铁素体 + 珠光体
	共析钢	0.77	珠光体
	过共析钢	0.77 ~ 2.11	珠光体 + 二次渗碳体
白口铸铁	亚共晶白口铁	2.11 ~ 4.3	珠光体 + 二次渗碳体 + 莱氏体
	共晶白口铁	4.3	莱氏体
	过共晶白口铁	4.3 ~ 6.69	莱氏体 + 一次渗碳体
工 业 纯 铁		< 0.02	铁素体

注:以上试样均由 4% 硝酸酒精溶液侵蚀。

从表 1-1 中看出,铁碳合金在金相显微镜下具有下面四种基本组织:

(1) 铁素体(F):它是碳溶解于 α -Fe 中的间隙固溶体。铁素体是体心立方晶格,有磁性,塑性好,硬度低。工业纯铁试样在金相显微镜下观察,可见白色等轴晶粒。随着含碳量的增加,铁素体减少,增加了新的组织(珠光体),铁素体呈块状分布。当碳的含量接近共析钢的质量分数时,铁素体呈断续的网状分布在珠光体周围。

(2) 渗碳体(Fe_3C):它是碳与铁形成的化合物,其碳的质量分数为 6.69%,质硬而脆,耐腐蚀,显微镜下呈亮白色,而铁素体呈灰白色。渗碳体可以有多种形态:一次渗碳体直接由液

体中结晶出,呈粗大的片状;二次渗碳体是由奥氏体中析出,常呈网状分布在珠光体的边界上;此外,还有球粒状、小条块状等形态的渗碳体,它们的硬度高,是硬而脆的相,强度和塑性差。

(3)珠光体(P):它是铁素体和渗碳体的机械混合物。渗碳体中包括共晶渗碳体和二次渗碳体。两者相连无界线,无法分辨开。

(4)莱氏体(L'):在金相显微镜下观察,莱氏体的组织特征是在亮白色的渗碳体上分布着许多黑色点状或条状的珠光体。莱氏体硬度高,性脆。一般存在于碳的质量分数大于2.1%的白口铸铁中,高合金钢的铸造组织中也出现。在亚共晶白口铸铁中,莱氏体基体上分布着黑色树枝状和豆粒状的珠光体,其周围常有一圈白亮的二次渗碳体,但与L'中的渗碳体混为一体,分辨不清。在过共晶白口铸铁中,莱氏体基体上分布着宽直白条状的一次渗碳体。

根据含碳量及组织特点的不同,铁碳合金分为工业纯铁、钢和铸铁三大类。

1.2.4 实验内容

(1)用金相显微镜观察表1-2所列试样的显微组织。

(2)在 $\phi 36\text{mm}$ 圆内绘制观察到的金相组织图,标明组织构成物名称,注明侵蚀剂名称、放大倍数。

表1-2 碳钢和白口铸铁的显微样品

序号	材 料	热处理	组 织 说 明
1	工业纯铁	退火	铁素体(白色等轴晶为铁素体,黑色网格为晶界)
2	亚共析钢 45	退火	铁素体及珠光体(白色晶粒为铁素体,黑色块状为片状珠光体,由于放大倍数不够,珠光体的片状结构不明显)
3	共析钢 T8	退火	珠光体(白色铁素体与黑色渗碳体成层状排列)
4	过共析钢 T12	退火	珠光体与二次渗碳体(黑白相间的层片状基体为珠光体,晶界上的白色网格为二次渗碳体)
5	亚共晶生铁	铸态	珠光体与二次渗碳体及莱氏体(斑点状基体为莱氏体,黑色枝晶为珠光体,成大块黑色。二次渗碳体与莱氏体中的渗碳体连成一片,均为白色,不能分辨)
6	共晶生铁	铸态	共晶莱氏体(黑色圆粒及长条为珠光体,二次渗碳体与共晶渗碳体均为白色,连在一起,无法分辨)
7	过共晶生铁	铸态	一次渗碳体和共晶莱氏体(白色粗大的板条状为一次渗碳体,黑白相间的斑点状基体为共晶莱氏体)

注:表中试样所用侵蚀剂均为4%硝酸酒精溶液。

1.3 铸造应力的测定

1.3.1 实验目的

(1)熟悉铸造应力的测定方法。

(2)了解铸造应力的形成和分布。

(3) 熟悉铸造应力对铸件质量的影响和减小铸造应力的方法。

1.3.2 实验内容

测定铝合金应力框铸件的残余应力,其尺寸见图 1-2。

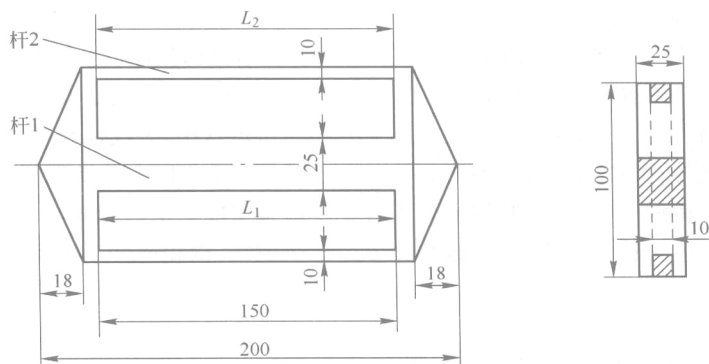


图 1-2 应力框铸件图

1.3.3 实验原理

应力框外侧两杆 2 截面积较小,中间杆 1 截面积较大。冷却时,杆 2 率先进入弹性阶段,后进入弹性阶段的杆 1 收缩受到杆 2 的阻碍,于是,铸件内产生了残余应力,杆 1 受拉应力,杆 2 受压应力。如果将杆 1 从中间锯开,铸件内相互平衡受到破坏,应力框会产生变形,断口间隙加大。通过测量锯断前后的变形量,可近似地计算出杆 1 的拉应力和杆 2 的压应力。

1.3.4 实验方法和步骤

- (1) 测量应力框的有关尺寸。
- (2) 在杆 1 上锯两个缺口,测量两个缺口之间的距离 l_0 。
- (3) 用钢锯锯断杆 1,再测量两缺口之间的距离 l_1 。
- (4) 计算应力框的应力值。

若杆的变形量为 Δl ,则有:

$$\Delta l = l_1 - l_0$$

即变形量为杆 1 收缩量与杆 2 伸长量叠加之和,故总的应变量为:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{L_1 + L_2}$$

式中 L_1 ——杆 1 的长度;

L_2 ——杆 2 的长度。

由图可知:

$$L_1 = L_2$$

则

$$\Delta l = \varepsilon_1 L_1 + \varepsilon_2 L_2$$

因为 $\varepsilon = \frac{\sigma}{E}$,所以上式可以写成: $\Delta l = \frac{\sigma_1}{E_1} L_1 + \frac{\sigma_2}{E_2} L_2$,而 $E_1 = E_2$,因此:

$$E \Delta l = \sigma_1 L_1 + \sigma_2 L_2 \quad (1-1)$$

当应力框中的残余应力处于平衡状态时:

$$\sigma_1 F_1 = 2 \sigma_2 F_2 \quad (1-2)$$

式中 F_1 ——杆 1 横截面积;

F_2 ——杆 2 横截面积。

由方程(1-1)和方程(1-2)联立解得:

$$\sigma_1 = E \frac{2F_2 \Delta l}{L(2F_2 + F_1)}$$

$$\sigma_2 = E \frac{2F_1 \Delta l}{L(2F_2 + F_1)}$$

式中 E ——弹性模量,对于铝合金, $E = 68000 \sim 82000 \text{ MPa}$ 。

1.4 焊接接头的组织及性能分析

1.4.1 实验目的

- (1) 了解焊接接头试样的制作方法。
- (2) 观察低碳钢焊接接头组织形态,熟悉焊接接头的性能。

1.4.2 实验原理

熔化焊是局部加热的过程,焊缝及其附近的母材都经历了一个加热和冷却的过程。焊接加热过程将引起焊接接头的组织和性能的变化,从而影响焊接质量。在焊接加热和冷却过程中,焊接接头上某点的温度随时间变化的过程,称为热循环。焊接接头上不同位置的点所经历的热循环是不同的,主要是最高加热温度、加热速度不同,导致焊接接头各区域的组织不同。

焊接接头组织由焊缝金属和热影响区两部分组成。现以低碳钢为例,根据焊缝横截面积的温度分布曲线,结合铁碳合金相图(图 1-3),对焊接接头各部分的组织和性能变化加以说明。

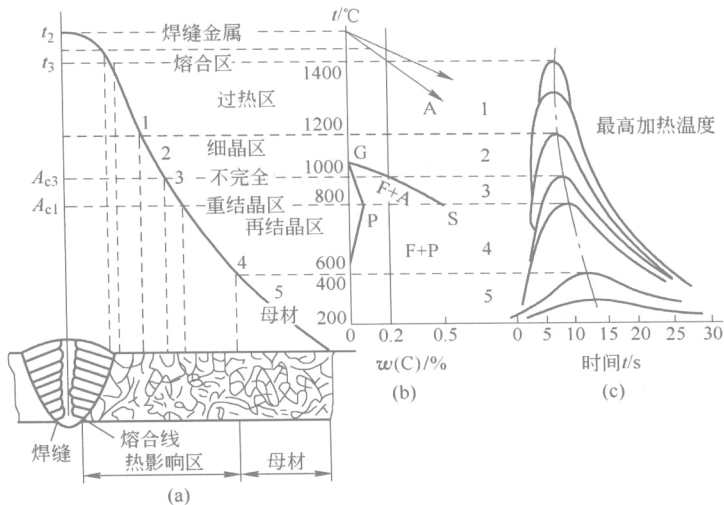


图 1-3 冷轧低碳钢焊接接头温度分布和各区划分

(a) 接头组织图; (b) 铁碳相图; (c) 温度分布曲线

1.4.2.1 焊缝金属

焊缝金属的结晶是从熔池底壁上许多未熔化的半个晶粒开始的。因为结晶时各个方向冷却速度不同,垂直于熔合线方向冷却速度最大,所以晶粒由垂直于熔合线方向向熔池中心生长,最终呈柱状晶。

1.4.2.2 热影响区

在热影响区,由于各点的热循环不同,又分为熔合区、过热区、正火区和部分相变区。

A 熔合区

熔合区是焊缝金属和基体金属的交界区,相当于加热到固相线和液相线之间的区域。由于该区域温度高,基体金属部分熔化,所以也称半熔化区,熔化的金属凝固成铸态组织,未熔化的金属因温度过高而长大成粗晶粒。熔合区一般为2~3个晶粒宽。该区域虽窄,但强度、塑性和韧性都有所下降;同时,此处接头断面变化,将引起应力集中,它在很大程度上决定着焊接接头的性能。

B 过热区

它是加热温度在1100℃以上至固相线温度区间的区域,该区域在焊接时,由于加热温度高,奥氏体晶粒急剧长大,形成过热组织,也称粗晶区,冷却后形成粗大的铁素体和珠光体组织。因而使该区域的塑性和韧性大大降低。对渗透性好的钢材,过热区冷却后易得到淬火马氏体,脆性更大。所以它是热影响区中力学性能最差的部位。

C 正火区

它是指加热温度在 A_{c3} 到1100℃之间的区域,该区域温度虽较高,但加热时间短,晶粒不易长大,焊后空冷,金属将发生重结晶,得到晶粒较细的正火组织,所以称正火区或细晶区。该区的组织比退火(或轧制)状态的母材组织细小,其力学性能优于母材。

D 部分相变区

它是指加热温度在 A_{c1} 至 A_{c3} 之间的区域。焊接加热时,首先珠光体向奥氏体转变,随着温度的进一步升高,部分铁素体逐步向奥氏体中溶解。温度愈高,溶入愈多,至 A_{c3} 时,全部转变为奥氏体。焊接加热时,由于时间短,该区只有部分铁素体溶入奥氏体。而未溶的铁素体则晶粒长大,变成粗大的铁素体组织。焊后空冷,该区域得到由经过重结晶的细小铁素体和珠光体与未经重结晶的铁素体组成的不均匀组织,所以也称为不完全重结晶区。该区域由于组织不均匀,力学性能稍差。

不同焊接方法热影响区的平均尺寸见表1-3。

表1-3 不同焊接方法热影响区的平均尺寸

焊接方法	过热区宽度/mm	热影响区宽度/mm
手工电弧焊	2.2~3.5	6.0~8.5
气焊	21	27

1.4.3 实验方法及步骤

(1)取一块焊条电弧焊的焊接接头,沿焊缝横向取样,经过磨削、抛光、腐蚀,制成显微组织试样。

(2)把制好的试样放在金相显微镜下,观察各个小区的显微组织的形态。

(3)画出焊接接头各区域显微组织。

(4)标出每个区域的名称,并对显微组织加以说明。

(5)分析影响焊接接头性能的因素。

2 机械零件几何精度的测量与分析实验

2.1 概述

机械零件几何精度测量的基本内容包括长度测量、角度测量、形位误差测量、表面粗糙度测量、螺纹测量和齿轮测量。

在机械零件加工过程中以及在机械零件加工完成后,需要对机械零件的几何精度进行测量,其主要目的是:

(1)检查零件是否符合本工序或零件成品相关技术条件的要求,即评定零件是否合格。

(2)获取机械零件几何精度的原始数据,为工艺能力的分析、机械零件的质量控制等提供依据。

(3)在线测量得到的数据为机械加工系统的实时调整提供反馈信息。

另外,在机械零件的实物测绘、机械产品的鉴定等诸多场合,也需要对零件的几何精度进行测量。

机械零件几何精度的测量属于几何量测量的范畴。近年来几何量测量技术发展较快,主要表现在以下几个方面:

(1)光栅技术、磁栅技术、感应同步技术的应用。光栅、磁栅、感应同步器是新型的长度和角度基准元件,同时以其为基础,可组成长度和角度传感器,广泛用于长度量和角度量的静、动态测量。

(2)激光干涉技术的应用。激光干涉技术的应用使得长度测量的精度提高了1~2个数量级。

(3)计算机技术的应用。计算机技术的应用使得测量技术在众多方面发生深刻的变化。如计算机用于测量数据的处理,测量过程的自动控制,设计、加工和测量的集成。计量仪器的微机化已成趋势,虚拟仪器亦有望在几何测量中得到应用。三坐标机作为精密机械技术、测量技术、计算机技术的集成产品,其应用日益普及。

(4)现代传感技术、信号处理技术、显示技术得到应用。机械零件几何精度的测量日益向动态测量、在线测量、综合测量的方向发展,现代传感技术、信号处理技术、显示技术得到了应用,如光电转换技术、超声传感技术、CCD传感技术、图像处理技术、无线电信号传输技术、数字显示技术等。

机械零件几何精度的测量技术在生产、质检、计量、科研等部门有着广泛的应用。了解机械零件几何精度的基本概念,掌握其基本的方法和实验技能是十分必要的。

本章介绍机械零件几何精度的基本概念,长度测量、形位误差测量、表面粗糙度测量、螺纹测量的典型实验。

2.2 机械零件几何精度的基本概念

2.2.1 测量和测量要素

测量是确定被测对象的量值的实验过程,具体地说,是将被测量与一个作为测量单位的标准

量进行比较,求其比值的过程。一个完整的测量过程应包含四个要素,即测量对象和被测量、测量单位和标准量、测量方法、测量精度。

2.2.1.1 测量对象和被测量

机械零件几何精度的测量对象是多种多样的,不同的测量对象有不同的被测量。如孔和轴的主要被测量是直径;箱体零件的被测量有长、宽和高以及孔间距等;螺纹零件的被测量有螺距、中径、牙型半角等;复杂的零件还有复合的被测量,如丝杠和滚刀的螺旋线误差等。但不论被测的参数如何复杂,从本质来说,均可归结为长度和角度以及它们的组合。

2.2.1.2 测量单位和标准量

几何量测量中常用的长度单位有米(m)、毫米(mm)、微米(μm),角度单位有度、分、秒。在实际应用中,还必须建立光波长度基准到各种测量器具直至工件的尺寸传递系统,其中,量块和线纹尺(实物基准)是尺寸传递的媒介。对于角度来说,一个圆周 360° 是自然基准,任何精确等分圆周的实物,如各种角度块、多面棱体、光学度盘、光栅盘、磁栅盘、多齿分度盘、玛盘均可作为角度基准。

2.2.1.3 测量方法

测量方法是指完成测量任务所用的方法、量具或量仪,以及测量条件的总和。当没有现成的量具和量仪时,需要自行拟定测量方法,这就需要根据被测对象和被测量的特点(形体大小、精度要求等),确定标准量,拟定测量方案,工件的定位,读数和瞄准方式及测量条件(如温度和环境要求等)。

2.2.1.4 测量精度

由于在测量过程中不可避免地总会存在或大或小的测量误差,使测量结果的可靠程度受到一定的影响。测量误差大,则测量结果的可靠性低;测量误差小,则测量结果的可靠性高。因此,不知道测量精度的测量结果是没有意义的。所以,对每一测量结果,特别是精密测量,都应给出一定的测量精度。

2.2.2 测量方法分类

可以从不同的角度对测量方法分类。

2.2.2.1 绝对测量与相对测量

(1)绝对测量:由仪器的示值读出被测量的整个量值。例如用游标卡尺、千分尺、测长仪等测量零件尺寸。

(2)相对测量:由仪器的示值只能读出被测量对某一标准量的偏差。由于标准量已知,因此被测量的整个量值就等于标准量与仪器示值的代数和。例如用量块调整比较仪零点后,测量零件直径,所得示值与量块尺寸的代数和,即为零件直径。

2.2.2.2 直接测量与间接测量

(1)直接测量:用仪器或量具直接测得被测量的整个量值或相对于标准量的偏差,无须进行其他换算。例如,用游标卡尺测量零件直径大小,用比较仪测量直径相对于量块尺寸的偏差,都是直接测量。

(2)间接测量:先测量与被测量有函数关系的其他量,然后经过换算,得出被测量的大小。例如欲测圆弧的半径,可先测量圆弧的弦长和对应的弦高,然后算出圆弧的半径。当被测量不便直接测量时,可用间接测量。

2.2.2.3 单项测量与综合测量

(1)单项测量:对一个多参数零件的各个参数,分别单独地进行测量。例如,分别测量螺纹

的中径、螺距和牙型半角。

(2)综合测量:对多参数零件,测量某几个参数的综合效果。例如,用螺纹量规检查螺纹。这时,检查的是螺纹是否在规定的极限轮廓范围内。又如检查齿轮的运动误差,就是测量齿轮各参数对齿轮运动精度的综合影响。

2.2.2.4 接触测量与非接触测量

(1)接触测量:测量时仪器的测头与被测零件表面直接接触。接触测量时,应根据被测表面的形状选择不同形式的测头。

(2)非接触测量:测量时量仪的测量元件与被测零件的表面之间不发生机械接触,没有机械测量力存在。如用光学投影法、气动法进行测量就属于不接触测量。

接触测量时,有机械测量力存在,会对测量结果产生影响,测头会磨损,零件表面可能损伤。不接触测量无测量力引起的误差,也不会损伤被测工件的表面。

2.2.2.5 被动测量和主动测量

(1)被动测量:零件加工完以后进行测量。

(2)主动测量:在零件加工过程中进行测量。可根据主动测量的结果来控制加工过程,防止废品的产生。

2.2.2.6 静态测量和动态测量

(1)静态测量:测量时,被测表面与测量元件之间相对静止,例如用千分尺测量零件直径。

(2)动态测量:测量时,被测表面与测量元件之间有相对运动,例如,齿轮运动误差的测量,机床传动链传动误差的测量。动态测量能提高测量效率,获取较多的零件精度信息。

2.2.3 量具、量仪的基本度量指标

度量指标是选择量具、量仪的依据,基本的度量指标如下。

(1)刻线间距:量具、量仪标尺上两相邻刻线中心间的距离(对于圆周刻度为圆周弧度)。一般量仪的刻线间距在1~2.5mm。

(2)刻度值(分度值):量具、仪器标尺上一个刻线间距所代表的量值。如百分表的刻度值为0.01mm,千分表的刻度值为0.001mm。

(3)示值范围:量具、量仪上所能显示的最低值到最高值的范围。如机械式比较仪的示值范围为 $\pm 0.1\text{mm}$ 。

(4)测量范围:在允许的误差限内,量具、量仪所能测量的被测量值的范围。

(5)放大比(灵敏度):量仪指针或刻度标尺的移动量与引起此移动量的被测尺寸增量之比,亦即刻线间与刻度值之比。

(6)测量力:测量时量具、量仪的测头与被测表面之间的接触压力。

(7)示值误差:量具和量仪的指示数与被测量的真值之差。

(8)示值稳定性(示值变动):在外界条件不变的情况下,对同一尺寸进行多次重复测量,量具或仪器指示数值的最大变动范围。

(9)示值允许误差:量具或仪器的检定规程中所允许的最大示值误差。

(10)灵敏限:能引起量仪示值可察觉变化的被测尺寸的最小变动量。它决定于量仪传动元件的间隙、元件接触处的弹性变形及摩擦阻力。

(11)回程误差:被测量不变时,在相同条件下,量仪沿正、反行程在同一点上测得值之差的绝对值。它主要是由量仪传动机构中的间隙和惯性引起的。

(12)校正值:与示值误差值相等而符号相反,用以校正量具和量仪某点的示值。