

材料类专业“十三五”规划教材

材料成形测试技术

主 编 宋美娟

副主编 石端虎 张春霞 张建华

- 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



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

应用型本科 材料类专业“十三五”规划教材

材料成形测试技术

主 编 宋美娟

副主编 石端虎 张春霞 张建化



西安电子科技大学出版社

内 容 简 介

本书介绍了材料成形测试过程中常用传感器的变换原理、接口电路,常见参数测试技术的基本原理,在线检测技术及无损检测技术。具体内容包括:绪论、常用传感器及其变换原理、传感器接口电路、力参数的测量、电动机电参数和转速的测量、温度的测量、轧制过程在线检测及成形件的无损检测等。

本书是普通应用型本科院校材料工程类专业教学用书,可供材料成形及控制工程专业和材料科学与工程专业的本科生使用,也可供相关专业的研究生及生产、科研和相关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

材料成形测试技术/宋美娟主编. —西安:西安电子科技大学出版社,2018.4
ISBN 978-7-5606-4823-1

① 材… Ⅱ. ① 宋… Ⅲ. ① 工程材料—成形—测试技术 Ⅳ. ① TB3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 002726 号

策 划 高 樱

责任编辑 武翠琴

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 2018年4月第1版 2018年4月第1次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印张 13.5

字 数 313千字

印 数 1~3000册

定 价 32.00元

ISBN 978-7-5606-4823-1/TB

XDUP 5125001-1

* * * 如有印装问题可调换 * * *

西安电子科技大学出版社

应用型本科 材料类专业“十三五”规划教材

编审专家委员名单

主 任：吴其胜(盐城工学院 材料工程学院 院长/教授)

副主任：丁红燕(淮阴工学院 机械工程学院 院长/教授)

杨 莉(常熟理工学院 机械工程学院 副院长/教授)

朱协彬(安徽工程大学 机械与汽车工程学院 副院长/教授)

成 员：(按姓氏拼音排列)

陈 南(三江学院 机械学院 院长/教授)

胡爱萍(常州大学 机械工程学院 副院长/教授)

刘春节(常州工学院 机电工程学院 副院长/副教授)

卢雅琳(江苏理工学院 材料工程学院 院长/教授)

王荣林(南理工泰州科技学院 机械工程学院 副院长/副教授)

王树臣(徐州工程学院 机电工程学院 副院长/教授)

王章忠(南京工程学院 材料工程学院 院长/教授)

吴懋亮(上海电力学院 能源与机械工程学院 副院长/副教授)

吴 雁(上海应用技术学院 机械工程学院 副院长/副教授)

徐启圣(合肥学院 机械系 副主任/副教授)

叶原丰(金陵科技学院 材料工程学院 副院长/副教授)

张可敏(上海工程技术大学 材料工程学院 副院长/教授)

张晓东(皖西学院 机电学院 院长/教授)

前言

随着科学技术的不断发展,特别是材料成形新工艺、新技术的不断涌现,人们对材料成形过程中的测试技术提出了更高的要求。本书紧密结合材料成形前沿新技术,将材料成形过程在线检测 and 产品质量检测作为重点内容,突出教学内容的针对性、应用性和先进性。

本着理论联系实际、有利于培养学生应用能力的指导思想,我们在充分吸收各相关教材精华的基础上,认真研究了专业教学的要求,尽可能使本书内容接近学科前沿,力求真实地反映本学科的发展水平。

本书的内容包括材料成形测试过程中常用传感器及其变换原理、传感器接口电路、力参数的测量、电动机电参数和转速的测量、温度的测量、轧制过程在线检测、成形件的无损检测等。

本书由宋美娟担任主编,石端虎、张春霞、张建化担任副主编。其中,第1章和第7章由徐州工程学院宋美娟编写,第2章和第6章由安徽工程大学张春霞编写,第3章由徐州工程学院杨峰和张宁编写,第4章由徐州工程学院何敏编写,第5章由徐州工程学院张建化编写,第8章由徐州工程学院石端虎编写。

本书是普通应用型本科院校材料工程类专业教学用书,可供材料成形及控制工程专业和材料科学与工程专业的本科生使用,也可供相关专业的研究生及生产、科研和相关工程技术人员参考。

本书配有教学PPT及相关实验(附录),可登录西安电子科技大学出版社网站(<http://www.xduph.com>)下载。

限于编者水平,书中难免有不妥之处,敬请读者批评指正。

编者

2018年1月

目 录

第1章 绪论	1	2.4.3 测量电路和传感器灵敏度	44
1.1 测试技术概述	1	2.5 压磁式传感器	48
1.2 测量方法及其分类	1	2.5.1 压磁效应	48
1.3 测量仪表和测量系统	3	2.5.2 压磁式传感器的结构及 工作原理	48
1.3.1 测量仪表的功能与特性	3	2.5.3 冲片形状	49
1.3.2 测量系统的组成与特点	4	2.5.4 激励安匝数的选择	50
1.3.3 测量系统的主要技术性能指标	5	2.5.5 压磁式传感器的特点及应用	50
1.4 测试技术在材料成形中的应用	6	2.6 压电式传感器	50
1.4.1 材料成形测试技术的任务	6	2.6.1 压电效应与压电材料	50
1.4.2 材料成形测试技术经常测试的 参数	7	2.6.2 压电元件常用的结构形式	51
第2章 常用传感器及其变换原理	8	2.6.3 压电式传感器及其等效电路	52
2.1 概述	8	2.7 磁电式传感器	52
2.1.1 传感器的定义	8	2.7.1 恒磁通式传感器	52
2.1.2 传感器的分类	9	2.7.2 变磁通式传感器	53
2.1.3 传感器的命名法	10	2.8 光电式传感器	54
2.1.4 传感器的性能及要求	11	2.8.1 光电效应及光电器件	54
2.1.5 传感器的发展趋势	15	2.8.2 光电式传感器的形式	56
2.2 电阻式传感器	15	2.8.3 光电式传感器的应用	56
2.2.1 电阻应变片	16	2.9 霍尔元件传感器	57
2.2.2 热电阻及热敏电阻	24	2.10 激光式传感器	59
2.2.3 压阻式传感器	30	2.10.1 激光式传感器简介	59
2.2.4 气敏电阻	31	2.10.2 激光式传感器的应用	59
2.2.5 光敏电阻	31	2.10.3 激光式传感器的发展前景	59
2.3 电容式传感器	32	2.11 CCD图像传感器	59
2.3.1 电容式传感器的工作原理	32	2.11.1 CCD的主要特性	60
2.3.2 电容式传感器的测量转换电路	36	2.11.2 像增强器与CCD的耦合	60
2.3.3 电容式传感器的特点	36	2.11.3 CCD图像传感器的 发展趋势	61
2.3.4 电容式传感器的应用	36	习题	62
2.4 电感式传感器	37	第3章 传感器接口电路	63
2.4.1 电感式传感器的工作原理	37	3.1 传感器输出信号的特点及	
2.4.2 电感计算及特性分析	39		

处理方法	63	4.3.2 冷变形抗力的测量	108
3.1.1 传感器输出信号的特点	63	4.4 扭矩的测量	108
3.1.2 传感器输出信号的处理方法	64	4.4.1 对集电装置的技术要求	109
3.2 传感器与检测电路的一般结构形式	64	4.4.2 拉线式集电装置	109
3.3 阻抗匹配器	65	4.4.3 电刷式集电装置	110
3.4 电桥电路	66	4.4.4 采用集电装置时的组桥	111
3.4.1 直流电桥	67	4.4.5 扭矩的标定	112
3.4.2 交流电桥	69	4.5 其他力学参数的测量	114
3.5 放大电路	70	4.5.1 轧件张力的测量	114
3.5.1 反相放大器	70	4.5.2 挤压力的测量	117
3.5.2 同相放大器	71	4.5.3 拉拔力的测量	117
3.5.3 差动放大器	71	4.5.4 残余应力的测量	118
3.5.4 电荷放大器	72	4.5.5 压力机身应力的测量	119
3.5.5 传感器与放大电路配接示例	73	习题	120
3.6 传感器信号中噪声的抑制	75	第5章 电动机电参数和转速的	
3.6.1 噪声产生的原因	75	测量	121
3.6.2 噪声的抑制方法	75	5.1 直流电动机电参数的测量	121
3.7 传感器与微型计算机的连接	78	5.1.1 直流电动机的结构和工作原理	121
3.7.1 传感器与微型计算机结合的		5.1.2 直流电动机电压、电流的测量	122
重要性	78	5.1.3 直流电动机功率的测量	126
3.7.2 检测信号在输入微型计算机		5.2 交流电动机电参数的测量	127
前的处理	78	5.2.1 交流电动机的结构和	
3.7.3 A/D 接口电路	80	工作原理	127
3.7.4 模拟多路转换器与采样保持		5.2.2 交流电动机电压、电流的	
电路	82	测量	127
3.7.5 电压/频率转换电路	82	5.2.3 交流电动机功率的测量	129
3.7.6 动态应变数据采集分析系统	83	5.3 电动机转速的测量	130
习题	84	5.3.1 日光灯法测速	131
第4章 力参数的测量	85	5.3.2 闪频法测速	131
4.1 应力应变的测量	85	5.3.3 光电数字测速	132
4.1.1 应力应变的关系	85	5.3.4 电容式转速传感器测速	137
4.1.2 单一变形时应变的测量	87	5.3.5 示波器测速	138
4.1.3 复合变形时某一应变成分的		习题	139
测量	92	第6章 温度的测量	140
4.2 轧制压力的测量	94	6.1 温度测量方法	140
4.2.1 应力测量法	95	6.1.1 温标	140
4.2.2 传感器测量法	97	6.1.2 温度的标定	141
4.3 金属塑性变形抗力的测量	107	6.1.3 温度测量方法的分类	142
4.3.1 热变形抗力的测量	107		

6.2 热电偶温度计	143	7.8.2 带钢表面缺陷的测定和 分类方法	185
6.2.1 热电偶测温原理	143	7.9 型钢生产过程中的自动检测	186
6.2.2 热电偶测温基本定律	145	7.9.1 轧件尺寸的在线检测	186
6.2.3 冷端补偿方法	147	7.9.2 轧件位置的检测	191
6.2.4 常用热电偶的种类和结构	149	习题	191
6.2.5 热电动势的测量方法	153		
6.2.6 热电偶安装使用的注意事项	154	第8章 成形件的无损检测	192
6.3 辐射温度计	154	8.1 射线探伤	192
6.3.1 热辐射的基本概念	155	8.1.1 射线探伤的分类	192
6.3.2 热辐射的基本定律	156	8.1.2 射线探伤的原理	192
6.3.3 辐射温度计的分类及应用	158	8.1.3 射线探伤设备	192
6.4 红外温度计	159	8.1.4 X射线照相检测技术	193
6.5 光导纤维温度计	159	8.1.5 应用实例	194
6.5.1 物性型光导纤维温度计	160	8.2 超声波探伤	195
6.5.2 结构型光导纤维温度计	160	8.2.1 超声波探伤的分类	195
6.6 材料成形生产中的温度测量	161	8.2.2 超声波探伤的原理	195
习题	162	8.2.3 超声波探伤设备	195
第7章 轧制过程在线检测	163	8.2.4 超声波探伤仪的校准	195
7.1 带钢厚度的检测	163	8.2.5 应用实例	198
7.1.1 射线式测厚仪的工作原理	163	8.3 磁力探伤	199
7.1.2 X射线测厚	164	8.3.1 磁力探伤的分类	199
7.1.3 β 射线测厚	165	8.3.2 磁粉探伤的原理	199
7.1.4 γ 射线测厚	166	8.3.3 工件的磁化及退磁方法	200
7.2 带钢宽度的检测	166	8.3.4 磁粉探伤设备的选择	201
7.2.1 热轧带钢板宽度的测定方法	166	8.3.5 磁粉检测方法	201
7.2.2 冷轧带钢板宽度的测定方法	167	8.3.6 应用实例	201
7.3 带钢长度的检测	169	8.4 渗透探伤	202
7.3.1 激光测长仪的结构和原理	169	8.4.1 渗透探伤的分类	202
7.3.2 激光测长仪的应用	170	8.4.2 渗透探伤的原理及步骤	202
7.4 带钢板形的检测	170	8.4.3 渗透探伤设备	202
7.4.1 带钢板形的概念及缺陷	171	8.4.4 应用实例	203
7.4.2 板形检测技术	174	8.5 涡流探伤	203
7.5 辊缝的检测	177	8.5.1 涡流探伤的原理	203
7.5.1 概述	177	8.5.2 涡流探伤设备	204
7.5.2 SGF型辊缝测量仪的工作原理	178	8.5.3 涡流探伤的特点	204
7.6 轧件位置的检测	179	8.5.4 应用实例	204
7.7 板材切头形状的检测	181	习题	204
7.8 带钢表面缺陷的检测	182	参考文献	205
7.8.1 带钢表面检测系统	182		

第1章 绪 论

1.1 测试技术概述

测试技术是一门随现代科学技术的发展而迅速崛起的科学技术。一方面,现代科学技术的发展离不开测试技术,并不断对测试技术提出新的要求,刺激着测试技术不断向前发展。另一方面,各种科学领域的新进展(新材料、微电子学和计算机技术等)也常常首先在测试方法和测试仪器的改进中得到反映。测试技术总是从其他相关科学中吸取营养而得到发展。

在材料成形的科学实验和工业生产中,为了及时了解实验进展情况和生产过程的控制情况,为生产过程自动化提供信息,人们要经常对某些物理量,如质量、力、速度、位移、温度、功率、电流、电压等参数进行测量。这时就要选择合适的测量仪表,采用一定的测试方法进行测量。

测试技术这门学科所涉及的内容比较广泛,它从被测物理量的实际出发,首先探讨能够应用什么物理原理,将被测物理量(其中绝大部分是非电量,例如力能参数——压力、拉力、扭矩等,热工参数——温度、流量、液位等,机械量参数——位移、速度、加速度、形状、尺寸等)转换成便于传输和处理的物理量(如电压、电流、压力等);其次研究信号的放大和加工变换方法,以便于信号远距离传输;进而研究信号的接收与显示方法;最后还要研究数据的处理方法以及相应的技术措施。

学习和掌握了测试技术,就能够在科学研究和工业生产中正确地选择测量原理和方法,正确地选择测试所需的技术工具(如传感器、变换器、传输电缆、显示仪表和数据处理装置等),组成恰当的测量系统,完成测试任务。

1.2 测量方法及其分类

测量就是在某一特定条件下,通过实验的方法,将被测的物理量与所规定的标准量进行比较的过程。如测量轧件长度,就是用米尺与轧件长度进行比较,得到轧件长度的数值。

测量过程中,会遇到许多被测物理量及其标准量不能直观看到,也不容易将它们放在一起进行比较的情况,这时就需要采用比较复杂的方法进行转换。

对于测量方法,从不同的角度出发,有不同的分类方法:按测量的方式分,有直接测量、间接测量和联立测量;按测量的读数方式分,有偏差式测量、零位式测量和微差式测量。除此以外,还有许多其他的分类方法,如接触式测量和非接触式测量、静态测量和动态

测量、主动式测量和被动式测量等。

1. 按测量的方式分

1) 直接测量

被测的物理量可直接与标准量进行比较的测量方法称为直接测量,如用米尺测量长度、用测力计测量力值、用温度计测量温度等。

2) 间接测量

被测的物理量不能够或不易于直接与标准量进行比较,但与几个有关变量呈函数关系,可对这几个有关变量直接测量,然后再代入函数式中,求出被测的物理量,这种测量方法称为间接测量。例如,测量导线的电阻率 ρ ,必须先对导线的长度 l 、直径 d 、电阻 R 进行直接测量,然后再通过下式计算:

$$\rho = \frac{\pi d^2}{4} \frac{R}{l}$$

间接测量是生产过程和实验研究中用得最多的测量方法。

3) 联立测量(组合测量)

若被测物理量必须经过求解联立方程组,才能得到最后结果,则称这样的测量为联立测量。进行联立测量时,一般需要改变测试条件,才能获得一组联立方程所需要的数据。解联立方程组后,才可求得最后所需要的结果。

联立测量的测量过程中,操作步骤复杂,花费时间长,是一种特殊的精密测量方法,只适用于科学实验等特殊场合。

在测量过程中,应从实际出发,经过具体分析后,再决定选用哪种测量方法。

2. 按测量的读数方式分

1) 偏差式测量(直读法)

在测量过程中,可以通过测量仪表指针的偏转或位移直接读出被测物理量的数值,这种测量方法称为偏差式测量,如用电流表测量某支路的电流。

2) 零位式测量(零读法)

在测量过程中,用已知的标准量与被测量进行比较,并调节平衡,使仪表指针指零位,由该已知的标准量读出被测量值,这种测量方法称为零位式测量,如用平衡电桥测量电阻。

3) 微差式测量

微差式测量是综合了偏差式测量和零位式测量的优点而提出的测量方法。这种方法是将被测的未知量与已知的标准量进行比较得出差值,然后用偏差法测得此差值。因此,在测量过程中不需要调整标准量,而只需测量两者的差值。

设 N 为标准量, X 为被测量, Δ 为二者之差,则 $X=N+\Delta$,即被测量是标准量与偏差值之和。由于 N 是标准量,其误差很小,并且 $\Delta \leq N$,因此,可选用灵敏度高的偏差式仪表测量 Δ ,即使测量 Δ 的精度较低,但因 $\Delta \leq X$,故总的测量精度仍较高。

微差式测量法的优点是反应快、测量精度较高,特别适合在线控制参数的检测。

1.3 测量仪表和测量系统

在工业生产控制和科学实验研究过程中都离不开测试。在测试任务面前,首先应考虑用怎样的测量原理,采用何种测量方法进行测量。在解决了测量原理、测量方法之后,还要正确地选择测试所需的技术工具,即测量仪表。

广义上的测量仪表包括传感器、变换器、运算器、显示器、数据处理器等。测量仪表的好坏直接影响测量结果的可信性。了解测量仪表的功能和构成原理,有助于正确选用仪表。

测量系统是测量仪表的有机组合,对于比较简单的测量工作,只需一台仪表就可以解决问题。但是,对于比较复杂的、要求比较高的测量工作,往往需要使用多台测量仪表,并且按一定规则将它们组合起来,构成一个有机整体——测量系统。

在现代化的生产过程和实验中,过程参数的检测都是自动进行的,即测试任务是由测试系统自动完成的。因此,研究和掌握测量系统的功能和构成原理是十分必要的。

1.3.1 测量仪表的功能与特性

1. 测量仪表的功能

测量过程中测量仪表要完成的主要任务有:物理量的变换、信号的传输和测量结果的显示。因此,测量仪表的功能主要有以下三项。

1) 变换功能

在工业生产和科学实验中经常会碰到各种各样的物理量,其中大多数是非电量,例如热工参数中的温度、压力、流量,机械量参数中的转速、力、位移、扭矩,物性参数中的酸碱度、比重、成分含量等。对于这些物理量,想通过与其对应的标准量进行比较,直接得到测量结果,往往非常困难,有时甚至是不可能实现的。为了解决实际测量中的这种困难,在工程上解决的办法是依据一定的物理定律,将难以直接同标准量“并列”比较的被测物理量经过一次或多次的信号能量转换,变换成便于处理、传输和测量的信号能量形式。在工程上,电信号(电流、电压)是最容易处理、传输和测量的物理量。因此,往往将被测非电量按一定的物理定律,严格地转换成电量,然后再对变换得到的电量进行测量和处理。例如,在测量加热炉炉膛温度时,经常利用热电偶的热电效应将被测温度转换成直流毫伏(热电势)信号进行传输和显示。

变换分为两类:

(1) 单形态能量变换。这种变换的特点是变换时所需要的能量取自被测介质,不需外界补充能量,但要求变换器中消耗的能量尽量少。

(2) 双形态能量变换。这种变换的特点是变换时所需要的能量不是从被测对象取得的,而是从附加的能源(参比电流源)取得的。

研究仪表的变换功能机理是很重要的课题,设法将新发现的物理定律引入传感器中,作为物理量变换的依据,往往会产生崭新的传感器和测量方法。

2) 传输功能

经变换的被测量信号,要经过一定距离的传输后,才能进行测量,显示出最后结果,即

仪表在测量过程中要完成的第二个功能就是将信号进行一定距离的传输。

随着生产的发展和自动化水平的不断提高,集中控制和现场检测越来越普遍。一般地,生产现场与中央控制室的距离较远,位于现场的传感器及变送器将被测参数变换与放大后,经过较长距离的传输才能将信号送到控制室。工业上应用比较多的是有线传输,即用电缆或导线传输电压或电流信号。在信号的传输过程中要解决信号的失真和抗干扰问题。

3) 显示功能

测量的最终目的之一是将测量的结果用人眼能够观察的形式表示出来,这就要求测量仪表能完成显示功能。仪表的显示方式可概括为模拟显示和数字显示两大类。模拟显示包括指针显示和记录曲线等,数字显示包括数码显示和数字式打印记录等。

2. 测量仪表的特性

测量仪表的特性,一般分为静特性和动特性两种。

当测量仪表进行测量的参数不随时间而变化或随时间变化很慢,可不必考虑仪表输入量与输出量之间的动态关系,而只需考虑输入量与输出量之间的静态关系时,联系输入量与输出量之间的关系式是代数方程,不含时间变量,这就是所谓的静特性。

当测量参数随时间变化很快,必须考虑测量仪表输入量与输出量之间的动态关系时,联系输入量与输出量之间的关系式是微分方程,含有时间变量,这就是所谓的动特性。

静特性与动特性彼此并不是孤立的。当静特性显示出非线性和随机性质时,静特性会影响动态条件下的测量结果。这时描述动特性的微分方程将变得十分复杂,甚至在工程上无法求解,例如干摩擦、间隙、磁滞回线等都能使静特性出现非线性和带有随机性,遇到这种情况只能做工程上的近似解。

1.3.2 测量系统的组成与特点

“测量系统”是测试技术发展 to 一定阶段的产物。随着科技和生产的发展,当只有用多台测量仪表有机组合才能完成检测任务时,测量系统便初步形成了,尤其是自动化生产出现以后,要求生产过程参数的检测能自动进行,这就产生了自动检测系统。

1. 测量系统的组成

一个完善的测量系统应包括被测参数的获取、转换、处理和显示等几部分。以非电量电测法为例,它包括传感器、测量电路、信号调理电路、显示与记录装置等。它们之间的组成关系如图 1-1 所示。



图 1-1 测量系统的组成

1) 传感器

传感器的作用是将感受到的非电量转换成电量,以便进一步放大、显示或记录。传感器由两部分组成:一部分是直接承受非电量作用的机械零件或专门设计的弹性元件;另一部分是敏感元件(如应变片等)。

2) 测量电路

测量电路的作用是把传感器的输出量变成电压或电流信号,以便能显示或记录。测量

电路的类型常由传感器的类型而定,如电阻式传感器需要采用电桥电路把电阻值变换成电压或电流信号输出,所以电桥电路就是信号的转换部分。

3) 信号调理电路

信号调理电路的作用是对测量电路输出的微弱电信号进行放大、补偿(线性、温度、材质等)、数学运算(四则运算、对数函数、三角函数等)、模数转换等信号调理工作。信号调理电路是靠各种模拟电路来实现的,微处理器问世以来多采用以微处理器为主的电路。

4) 显示与记录装置

显示与记录装置用于模拟量的显示和记录(各种数字显示和屏幕显示),显示出经信号调理电路处理后的被测量的数值,并用曲线记录或用数字打印。输出数值有的用被测量的绝对值表示,有的用被测量与给定值的差值(即偏差)表示。

2. 测量系统的特点

以非电量电测法为例,测量系统的特点主要有以下几个方面:

(1) 灵敏度高。在整个测量范围内,测量系统应有足够大的输出信号。例如,用应变片和电阻应变仪目前可测到 5 个微应变(即 5×10^{-6}),甚至可以精确到 1 个微应变。

(2) 精度高。例如,在一般条件下,常温静态应变测量可达到 1% 的测量精度。

(3) 尺寸小、重量轻。例如,应变片基长最短者只有 0.3 mm,基宽最窄只有 1.4 mm,中等尺寸的应变片为 0.1~0.2 g。对于测量的试件来说,可以认为应变片没有惯性,故把它粘贴在试件表面上之后,不影响试件的工作状态和应力分布。

(4) 频率响应快。由于应变片的重量很轻,在测量运动件时,其本身的机械惯性可以忽略,故可认为对应变的反应是同步的。可测量的应变频率范围很广,从静态应变到数十万赫兹的动态应变乃至冲击应变都可测量。

(5) 测量范围广。例如,应变片不仅能测量应变,而且能测量力、位移、速度等;不仅能测量静止的零件,而且能测量旋转件和运动件。

(6) 能多点、远距离、连续测量和记录,易于实现自动化、数字化和遥测。

1.3.3 测量系统的主要技术性能指标

1. 仪表的量程

量程是表示仪表测量范围的指标(上、下限范围),如 100~1250 T(指力的大小)、0.1~8 mm(指尺寸)。

2. 准确度

准确度又称精度,它是表示仪表测量误差大小的性能指标。目前有三种表示方法。

1) 绝对误差

绝对误差是指仪表的量程范围内各点测量值和其真值的测量误差都不超过某一个值。例如,测径仪的误差小于 ± 0.01 mm,测长仪的误差小于 0.1 mm。这种表示方法很容易换算成相对额定误差。

2) 相对额定误差

$$\text{相对额定误差} = \frac{\text{绝对误差的最大值}}{\text{仪表的量程范围}} \times 100\%$$

3) 相对误差

相对误差是指某点的绝对误差和该点的真实值之比,可表示为

$$\text{相对误差} = \frac{\text{绝对误差}}{\text{真实值}} \times 100\%$$

由于测量值与真实值相差不多,因此计算相对误差时可采用测量值。用相对误差表示的仪表精度,是指在全部测量的量程范围内(或某挡量程范围内)各点相对误差都不超过某个值。例如,测厚仪的误差小于测量值的 $\pm 1\%$ 。

仪表的相对误差和相对额定误差数值相同的两台仪表,前者要比后者高很多。例如,相对额定误差为 1% 的仪表,被测值为满量程时相对误差为 1% ,而被测值为满量程的 20% 时相对误差明显上升,最大可达 5% 。

3. 灵敏度

灵敏度是指仪表的输出量与输入量之比,比值越大灵敏度越高。灵敏度的定义为

$$S = \frac{dy}{dx}$$

式中, S 为灵敏度, y 为输出量, x 为输入量。

如果输出量与输入量是线性关系,则灵敏度为常数;如果输出量与输入量是非线性关系,则灵敏度为变量。

4. 噪音

噪音是指仪表输入量为零时,仪表的显示器指示值围绕零点抖动的宽度,即在工作中仪表本身所产生的电信号的波动,例如多少毫伏。

5. 稳定性

稳定性定义为仪表的输入量为零时,在某段时间内,仪表的指示值偏离零点的误差。稳定性有时也称为漂移。

6. 重复性

重复性表示在仪表的输入量不变且短时间内对仪表输出做多次重复测量时,每次测量值之间的误差。

7. 响应时间

响应时间是动态性能指标,表示仪表测量速度的快慢,是一项十分重要的性能指标。特别是用作自动控制生产过程的机械量过程仪表,一般多要求测量速度快。响应时间的定义不统一,原则上定义为从测量开始到仪表显示出被测量值为止的一段时间。

8. 平均无故障间隔时间

为了表征仪表的全面质量,应当规定平均无故障间隔时间。

1.4 测试技术在材料成形中的应用

1.4.1 材料成形测试技术的任务

材料成形测试技术的任务主要有以下几点:

(1) 摸清现有材料成形设备的负荷水平,在保证设备安全运转的条件下,充分发挥现有设备的潜力,以达到高产、优质、低成本之目的。

(2) 通过对现有设备和新安装设备主要部件的受力状态、运动规律的测试,判断该设备的性能是否符合设计要求。

(3) 利用现代的测试手段研究和鉴别生产过程中发生的物理现象,以对现有工艺、设备、产品质量等进行剖析,明确进一步改进的方向。

(4) 通过对测试结果的综合分析,可为科研人员验证现有理论和建立新理论,为设计人员确定最佳设计方案,为工艺人员确定最佳工艺参数等提供科学依据。

(5) 在自动化生产过程中,通过对力能参数的检测来调节和控制生产过程。

(6) 在材料成形过程中进行质量检测,可以及时纠正材料成形缺陷的继续产生;对材料成形成品的检测,可以真实而准确地检查出成品是否合格,杜绝废品出厂。

1.4.2 材料成形测试技术经常测试的参数

材料成形测试技术经常测试的参数主要有以下几项:

(1) 力参数。包括力、力矩、张力等。

(2) 工艺参数。包括轧件的宽度、长度、厚度和温度等。

(3) 电参数。包括电流、电压和电功率等。

(4) 运动参数。包括设备及轧件的运行速度、加速度和位置等。

(5) 检测产品有无缺陷,并确定其位置、性质以及尺寸大小等。

第2章 常用传感器及其变换原理

传感器是一种常见的却又很重要的器件,它是感受规定的各种被测量并按一定规律将其转换为有用信号的器件或装置。传感器是系统中信息的源头,能否获取信息及获取的信息正确与否,关系到整个测试精度或控制系统的成败。作为各种信息的感知、采集、转换、传输和处理的功能器件,传感器已经成为自动检测、自动控制系统中不可缺少的核心部件。

2.1 概 述

2.1.1 传感器的定义

在国家标准 GB7665—1987《传感器通用术语》中,对传感器(Transducer/Sensor)下的定义是“能感受规定的被测量并按照一定的规律转换成可用信号输出的器件或装置,通常由敏感元件和转换元件组成”。

从该定义可知:

- (1) 传感器是测量装置,能完成检测任务。
- (2) 传感器的输入量是某一被测量,可能是物理量(如位移、温度、力、电、时间、光、磁等),也可能是化学量(如 pH 值)、生物量(如血压、脉搏)等。
- (3) 传感器的输出量是某种物理量,这种量要便于传输、转换、处理、显示等,可以是气、光、电量,但主要是电量。
- (4) 传感器的输出与输入有一定的对应关系,且应有一定的精确度。

关于传感器,我国曾出现过多种名称,如发送器、传送器、变送器、换能器等,近年来趋向统一。

传感器一般由敏感元件、转换元件、转换电路及其他辅助元件组成。图 2-1 为传感器的组成框图。

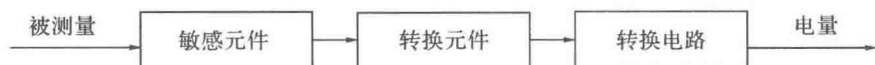


图 2-1 传感器的组成

(1) 敏感元件:直接感受被测量并按照一定的规律将被测量转换成与之有确定关系的容易测得的量的元件。敏感元件一般由具有某些特殊功能的材料构成,如压电材料可将力或振动信号转换为电信号,光电材料可将测量信号转换为光信号再转换为电信号。

(2) 转换元件:将敏感元件的输出转换成可用电量信号的元件,又称变换器。如差动变压器式压力传感器并不感受压力,只是感受与被测压力对应变化的衔铁位移量,然后转换

为电信号输出。

(3) 转换电路: 把转换元件输出的电量信号转换为便于处理、显示、记录或控制的有用电信号的电路。转换电路的类型与被测量、测量原理以及转换元件有关, 常用的电路是电桥, 也可以使用一些特殊的转换电路, 如振荡器、阻抗变换器、相敏检波电路等。为了便于显示和记录, 大多数转换电路还包括放大器。

实际上, 有些传感器很简单, 最简单的传感器由一个敏感元件(兼转换元件)组成, 它感受被测量时直接输出电量, 如热电偶是直接感知温度变化的敏感元件, 但它又直接将温度转换为电量, 因而又同时是转换元件。许多光电传感器都是敏感元件和转换元件合为一体的传感器。所以说敏感元件和转换元件之间并无严格的界限。

有些传感器很复杂, 转换元件不止一个, 要经过若干次转换。有些传感器由敏感元件和转换元件组成, 没有转换电路, 如压电式加速度传感器。大多数传感器是开环系统, 也有些是带反馈的闭环系统。

2.1.2 传感器的分类

各生产领域中被测量的对象千差万别, 使用的传感器各不相同。根据传感器的应用对象、测量范围、周围环境等不同, 有各种各样的传感器。传感器的分类方法有很多, 常用的分类方法有如下几种。

1. 按被测量分类

(1) 热工量传感器: 温度、热量、比热容、热流、热分布传感器, 压力、压差、真空度传感器, 流量、流速、风速、物位传感器, 等等。

(2) 机械量传感器: 位移、尺寸(长度、宽度、厚度、角度)、形状传感器, 力、力矩、应力、重量、质量传感器, 转速、线速度、振动、加速度、噪声传感器, 等等。

(3) 状态传感器: 颜色、透明度、磨损量、裂纹、缺陷、泄露、表面质量传感器等。

(4) 物性传感器和成分量传感器: 成分量(化学成分、浓度等)传感器, 酸碱度、盐度、浓度、黏度传感器, 密度传感器, 等等。

2. 按传感器的原理分类

(1) 物理型传感器: 利用某些变换元件的物理性质以及某些功能材料的特殊物理性能制成的传感器, 如电阻传感器、电感传感器、压电传感器、光电传感器、射线式传感器等。

(2) 化学型传感器: 利用电化学反应原理制成的传感器, 如气敏传感器、湿度传感器、离子传感器等。

(3) 生物型传感器: 对生物物质敏感并将其浓度转换为电信号的传感器, 如酶传感器、免疫传感器等。

3. 按传感器输出信号的性质分类

(1) 开关型传感器: 输出为开关量(“1”和“0”或“开”和“关”)。

(2) 模拟型传感器: 输出为模拟量。

(3) 数字型传感器: 输出为脉冲或代码。

4. 按传感器的构成原理分类

(1) 结构型传感器: 基于物理学中场的定律构成, 包括动力场的运动定律、电磁场的电