

材料成形过程控制 原理及应用

● ● 主编 徐学东



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

材料成形过程控制 原理及应用

主 编 徐学东
副主编 姜秋月
主 审 赵洪运



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

材料成形过程控制原理及应用/徐学东主编. —武汉:武汉大学出版社,2016.2
ISBN 978-7-307-17428-3

I. 材… II. 徐… III. 工程材料—成型—高等学校—教材 IV. TB3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 321840 号

责任编辑:王亚明

责任校对:王小倩

装帧设计:吴 极

出版发行:武汉大学出版社 (430072 武昌 珞珈山)

(电子邮件:whu_publish@163.com 网址:www.stmpress.cn)

印刷:虎彩印艺股份有限公司

开本:787×1092 1/16 印张:18.75 字数:478千字

版次:2016年2月第1版 2016年2月第1次印刷

ISBN 978-7-307-17428-3 定价:39.00元

版权所有,不得翻印;凡购买我社的图书,如有质量问题,请与当地图书销售部门联系调换。

前言

自动控制技术在现代工业中得到了越来越广泛的应用。过程控制技术是自动控制技术的重要组成部分。在现代工业生产过程中,过程控制技术正在为实现各类最优的技术经济指标,提高经济效益和社会效益,提高技术竞争力发挥越来越大的作用。材料加工过程繁杂,机械化设备结构各异,对材料成形过程实施自动控制技术的要求是实现生产过程的程序控制或实现对生产过程工艺参数的自动检测和自动调节。

本书结合目前高等教育倡导的“厚基础,宽口径”培养模式,力求在较少的学时内将材料成形过程控制的基本理论、基本方法和应用实例进行系统的介绍,适用于高等院校相关专业的本科生教学,也可供从事材料成形控制工作的工程技术人员参考。

本书内容是按材料成形过程控制涉及的数字电子技术与自动控制系统的基本概念、微机原理及接口技术、材料成形过程控制常用检测技术、电机控制技术、微机控制技术、PLC 控制技术、成形设备技术和系统、机器人系统进行编排的,共 10 章。其中,第 1、2 章主要介绍材料成形过程控制的相关概念、基本理论和方法,第 3、4 章主要介绍材料成形过程控制的检测技术和控制方法,第 5~9 章主要按照材料成形控制设备中被控物理量的类别,分别介绍时间测量与控制系统、位移测量与控制系统、速度测量与控制系统、温度测量与控制系统,第 10 章主要介绍机器人基础知识及其在焊接领域的应用。本书力求理论联系实际,通过实际应用对材料成形基础理论加以说明,其中大部分控制实例来自近年来从国外引进的设备和相关科研内容。本书突出计算机控制技术在材料成形过程控制中的应用,旨在增强学生对材料成形过程控制相关知识的了解和掌握。

本书由长春工程学院徐学东担任主编,姜秋月担任副主编,董文担任参编,由哈尔滨工业大学威海分校的赵洪运教授担任主审。全书由徐学东负责统稿。

具体编写分工如下:徐学东编写了第 1、2 章,第 3 章 3.1、3.4 节,第 10 章;姜秋月编写了第 4、5、6、7 章和第 3 章 3.2、3.3、3.5 节;董文编写了第 8、9 章和第 3 章 3.6 节。

由于编者水平有限,书中难免有错误和不当之处,敬请读者批评指正。

编者

2015 年 10 月

目录

1 绪论	(1)
1.1 材料成形过程控制的特点	(1)
1.2 材料成形过程控制的基本概念	(2)
1.3 材料成形过程的测量与控制系统的特 点	(3)
2 材料成形过程控制基础	(9)
2.1 自动控制基础	(9)
2.2 微型计算机控制基本原理	(37)
2.3 微机接口基本原理	(42)
2.4 电气控制基础	(48)
2.5 可编程控制器基础	(67)
3 材料成形过程控制常用检测技术	(86)
3.1 传感器基础	(86)
3.2 压力传感器	(95)
3.3 位移传感器	(99)
3.4 温度测量及传感器	(104)
3.5 超声波测量及传感器	(136)
3.6 视觉传感器及机器视觉	(140)
4 材料成形过程控制的方法	(144)
4.1 焊接自动化中常用的控制算法	(144)
4.2 专家系统	(154)
4.3 模糊控制	(166)
5 时间测量与控制系统	(173)
5.1 概述	(173)
5.2 时间控制系统实例分析 1——数字式点焊程序控制电路分析	(175)
5.3 时间控制系统实例分析 2——微型计算机在时间控制系统中 的应用	(183)
5.4 时间控制系统实例分析 3——可编程控制器(PLC)在时间控 制系统中的应用	(186)

6 位移测量与控制系统	(189)
6.1 位移测量与控制系统概述	(189)
6.2 位移测量与控制系统的组成	(193)
6.3 位移测量与控制系统实例分析	(194)
7 速度测量与控制系统	(204)
7.1 概述	(204)
7.2 直流电动机晶闸管整流器调速系统	(211)
8 温度检测与控制技术	(220)
8.1 材料加工中测温技术应用示例	(220)
8.2 智能化集成温度传感器的原理与应用	(226)
8.3 温度检测控制系统	(234)
9 材料成形控制系统中的数字控制技术	(244)
9.1 数字控制技术概述	(244)
9.2 位移控制系统中的数字控制技术	(244)
9.3 时间控制系统中的数字控制技术	(248)
9.4 热加工电源控制系统中的数字控制技术	(251)
10 焊接机器人控制系统	(259)
10.1 焊接机器人概述	(259)
10.2 工业机器人原理	(261)
10.3 焊接机器人技术的研究现状	(269)
10.4 点焊机器人	(271)
10.5 弧焊机器人	(277)
10.6 机器人焊接智能化技术	(284)
10.7 焊接机器人的发展趋势	(290)
参考文献	(294)

1 绪 论

1.1 材料成形过程控制的特点

材料成形主要是指需要材料被加热才能够完成成形的工艺过程,如金属材料的铸造、锻压、焊接和热处理等。

经常提到的材料成形四大工艺是指材料(金属材料,下同)的塑性成形工艺、轧制成形工艺、焊接成形工艺与液态成形工艺。

塑性成形工艺包括模型锻压工艺、模型冲压工艺、模型挤压工艺与自由锻造工艺。

轧制成形工艺主要包括热轧成形工艺和冷轧成形工艺。

焊接成形工艺包括电弧焊接成形工艺、电阻焊接成形工艺、钎焊接成形工艺、电子束焊接成形工艺、激光束焊接成形工艺、摩擦焊接成形工艺等。

电弧焊接成形工艺按常见电弧的种类又可分为混合保护气体电弧焊工艺、电子束焊接成形工艺、氩气保护电弧焊工艺、等离子弧焊工艺、CO₂ 气体保护电弧焊工艺。如果按焊枪中的电极是否熔化来分类,电弧焊接成形工艺又有熔化极电弧焊工艺与非熔化极电弧焊工艺之分。

按被焊工件(连接)接头形式的不同,电阻焊接成形工艺可细分为点焊成形工艺、焊缝成形工艺、凸焊成形工艺与闪光对焊成形工艺。

液态成形工艺按型模种类可分为金属型模液态成形工艺、砂型模液态成形工艺、敷层型模液态成形工艺;按液态成形过程中是否加外力可分为重力浇铸成形工艺、压力浇铸成形工艺、离心浇铸成形工艺。

材料成形过程工艺复杂,影响成形质量的因素较多,劳动强度大,操作者容易疲劳,效率低。人工操作以经验为主,质量不稳定,加工过程在高温下完成,因此实现材料成形生产过程的自动控制具有重要意义。

材料成形过程控制的基本特点有如下几个方面:

- ① 为多变量控制系统,建模困难。
- ② 干扰因素相当多。
- ③ 加工过程复杂。
- ④ 被控对象多样化。
- ⑤ 传感方式多样化。
- ⑥ 执行机构多样化。
- ⑦ 动态响应速度小。
- ⑧ 惯性大。

1.2 材料成形过程控制的基本概念

1.2.1 材料成形过程控制系统的基本组成

对于一个过程控制系统而言,无论其结果简单还是复杂,无论其用途和所需要完成的任务单一还是多样化,其都是由一些具有不同职能的基本元件(或单元)组成。最简单的过程控制系统的组成如图 1-1 所示。

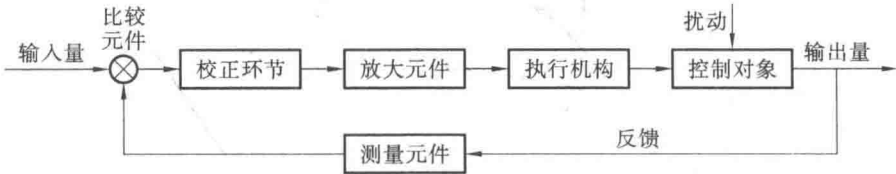


图 1-1 过程控制系统的组成

1.2.2 基本概念

(1) 自动控制(automatic control)

自动控制是指在没有人直接参与的情况下,利用控制装置使被控对象的某些物理量(或状态)自动地按照预定的规律去运行。

(2) 被控对象

被控对象是指过程控制系统所要控制的对象,即过程控制系统中需要予以控制的机器、设备或生产过程。被控对象是过程控制系统的主体,如火箭、锅炉、机器人、电冰箱等。控制装置则是指对被控对象起控制作用的设备总体,有测量变换部件、放大元件和执行机构。

(3) 被控参数

被控参数是指在过程控制系统中需要控制的物理量,如温度、压力等。

(4) 开环控制(open loop control)

开环控制是最简单的一种控制方式。它的特点是:按照控制信息传递的路径,控制量与被控制量之间只有前向通路而没有反馈通路。也就是说,控制作用的传递路径不是闭合的,故称为开环。

(5) 闭环控制(closed loop control)

凡是将系统的输出量反馈至输入端,对系统的控制作用产生直接影响控制系统,都称为闭环控制系统或反馈控制(feedback control)系统。这种自成循环的控制作用,使信息的传递路径形成了一个闭合的环路,故称为闭环。

(6) 复合控制(compound control)

复合控制是开、闭环控制相结合的一种控制方式。

(7) 被控量(controlled variable)

被控量是指被控对象中要求保持给定值,按给定规律变化的物理量。被控量又称输出量、输出信号。

(8) 给定值 (set value)

给定值是指作用于自动控制系统的输入端并作为控制依据的物理量。给定值又称输入信号、输入指令、参考输入。

(9) 干扰 (disturbance)

除给定值之外,凡能引起被控量变化的因素都是干扰。干扰又称扰动。

1.3 材料成形过程的测量与控制系统的特点

1.3.1 各种形式的加热热源测量与控制系统占据主导地位

在材料成形四大工艺中,都要利用热源对工件进行加热,因此材料成形四大工艺常被习惯称为材料热加工或材料热加工工程。

材料热加工工程中,使用着迄今为止人类开发的所有可控、高效加热热源形式。

① 电弧热源,如三相交流电弧炉和气体保护电弧焊。

② 高能粒子束热源,包括电子束和等离子束热源。

③ 激光光束热源。

④ 中高频感应加热热源,如中高频感应加热用感应圈。

⑤ 焦耳电阻热热源。焦耳电阻热热源是利用通过具有一定电阻值导体的电流所产生的热效应来工作的热源形式,被广泛用于材料加热用的各种电阻加热炉及利用工件自身电阻产热的电阻焊。

⑥ 燃料能源,其利用各种固体、液体和气体燃料的燃烧来产生热量。

对上述所有热源形式的最重要要求是热源必须可控。所谓可控,首先是指热源输出功率的可控,并且控制方法要方便、可靠。尽管热源形式多样,但对热源输出功率的控制最终都归结于对热源供电电源的控制。例如,对电弧热源输出功率进行控制,是通过对电弧电源的控制来实现的。

对电子束热源、等离子束热源、激光光束热源、中高频感应加热热源、焦耳电阻热热源等的控制,也都是通过对相关供电电源的控制来实现的。为满足材料热加工工程对热源控制的多样要求,材料成形过程中加热热源测量与控制系统有下述特点。

1.3.2 加热热源测量与控制系统的控制功能多,精度高

从供电电源的控制角度看,不同的能源形式有不同的电负载形式。其中,最复杂的电负载形式当属电弧。电弧是一种气体放电现象。为了有效利用和控制电弧,必须先对电弧电源控制系统的电弧引燃过程、稳定放电状态的电弧、动态放电状态的电弧、交流电流电弧、直流电流电弧、脉冲电流电弧、熔化极电弧、非熔化极电弧、不同气体介质中的电弧等电弧物理现象有较充分的了解,再将掌握的理论运用于电弧电源控制系统中。正是由于上述原因,产生了对焊接电弧电源自动控制系统的多控制功能要求。这里,经简略综合,可列出如下常见焊接电弧电源控制系统:

① (电弧)电源输出伏安特性控制系统。

② 电源脉冲调制功能控制系统。

③ 电源恒压、恒电流控制系统。

其他几种电负载形式对电源自动控制系统有与电弧电源控制系统同样高的要求,而且针对各自负载的性质有各自不同的控制要求。

1.3.3 注重改善工作环境与操作人员的劳动保护

材料成形的四大工艺与冷加工工艺的主要不同在于,它们都属于热加工工艺。在材料成形热加工工程中,使用着各种大功率和特大功率的加热热源。因此,材料成形热加工工程中,常伴随着高温热辐射、强烈的光辐射、高能粒子溅射、有害气体的溢出及烟气粉尘的逸散。总之,材料成形热加工工程多伴随着恶劣的劳动环境。

对于铸件浇铸成形、进热轧机前钢锭的浇铸成形,生产线上都要使用各种金属材料熔炉。常用的熔炉有电阻炉、可燃气体熔化炉、电弧炉等。这些熔炉多为耗电、燃料的“大户”。这些熔炉产生的热辐射可使炉体周围环境的温度升至人体无法承受的程度。显而易见,必须采用全自动化控制系统,才能确保安全、高效生产。而熔炉全自动化要使用进出料系统、炉温控制系统、全系统的状态监测和安全警报系统等控制系统。

例如,摩托车发动机缸体制造主要采用轻合金材料液态成形工艺。海南省新大洲本田摩托有限公司在1992年引进了摩托气缸体制造的无人生产线。该生产线上,从型模制造到型模传送、材料熔化、材料浇铸、模内液态成形控制、开模脱模等工序,全部实现了自动化控制,从而摆脱了液态成形工艺中经常所处的高温、粉尘恶劣工作环境。

在材料焊接成形工程中,最常见的工艺方法是电弧焊成形工艺与电阻焊成形工艺。

无论哪种焊接成形工程,在焊接过程中,电弧本身都会产生高温和强烈的光辐射。其中,强烈的光辐射和紫外线会对人眼造成伤害。激光焊接时的散射激光也会对人眼造成伤害,而对人眼危害较大的当属等离子弧焊。

因此,电弧焊接成形工艺过程中,除采用防护玻璃外,对等离子弧焊和切割常采用水下防护作业。当然,最好的防护还是整个系统实现无人操作的全盘自动化。

除此之外,在电弧焊过程中会产生一些对人体有害的烟尘、粉尘,还会产生温度较高的“金属飞溅”。

1.3.4 注重改善供电电网的供电质量

供电电网的供电质量与用电设备自动控制系统间有何关系?

首先,作为材料成形工艺控制技术人员,应对材料成形设备中电负荷的性质及用电特点有深层次的了解。

① 材料成形工程中的设备都属于单台大功率与特大功率的电负载。

例如,汽车整车与汽车零件制造业中常见的电阻焊设备,包括电阻点焊设备、电阻缝焊设备、电阻凸焊设备、电阻闪光对焊设备及电阻焊机器人等,都使用大功率的焊接变压器,其功率范围多为 $50\sim 600\text{ kV}\cdot\text{A}$,焊接变压器二次侧的焊接电流可达 $10000\sim 50000\text{ A}$ 。

用于钢材连轧生产线的大型闪光设备——德国产的闪光对焊焊机的焊接变压器容量为 $1000\text{ kV}\cdot\text{A}$,其焊接变压器二次侧中出现的闪光对焊电流可达 150000 A 。

在材料塑性成形工程中,特别是在以模锻成形工艺为主的零部件生产线上,如汽车前、后桥模锻生产线,目前多采用大功率晶闸管逆变器构成的中频感应加热炉。单台大功率晶闸管

逆变器的功率多在 $500 \text{ kV} \cdot \text{A}$ 以上。

这些大功率中频感应加热方式也常用于对某些大型工件进行高效、快速加热的场合,如大型工件的热处理、焊前预热、焊后为消除应力的退火处理等。

在钢材加热、冷轧制生产线上,为热、冷轧制机轧辊驱动的大功率直流电动机晶闸管变流器调速系统的单台容量为 $500 \sim 5000 \text{ kV} \cdot \text{A}$ 。

综上所述,材料成形工程设备中的电负载都属于“用电大户”。

如果一个企业以材料成形生产为主,那么该企业必须全面考虑材料成形工程设备用电量大的特点。这就需对配电网容量、长级配电站、车间配电房作出科学规划。

② 材料成形工程中设备的电负载多为阻感性负载。

综合考察材料成形工程中设备的电气控制部分,可发现其电气控制部分主电路中使用最多的电力电子器件是各种类型、各种容量的晶闸管器件。而主电路的电路结构形式主要为晶闸管整流器、晶闸管交流调压器和晶闸管逆变器三种。

从电力电子学的相关理论中得知,上述三种形式主电路的基本工作原理都是一种,即晶闸管器件的开、关与相控调压原理。

三种主电路的电负载:电阻焊机中晶闸管交流调压器的负载是焊接变压器,轧钢机中晶闸管整流器的负载是大功率直流电动机,中、高频感应加热炉中晶闸管逆变器的负载是感应线圈。

从电工学的基本理论中得知,变压器、直流电动机及感应线圈都属于含有一定电感成分的阻感性负载。

又从理论电工学“阻感性负载晶闸管开关电路中的过渡过程分析”中得知,凡是主电路可归结为上述理论范畴的,都会产生负载电流的过渡过程。

由于过渡过程中的电流可达到正常电流的几倍乃至几十倍,因此过渡过程中的电流会对电网产生很大的电网冲击。电网冲击的危害很大,轻则使配电路中的过流继电器经常“跳闸”,重则使电网设备与用电设备损坏。

电网波形畸变带来的危害是使网内设备互相干扰,即产生所谓的“扰邻”和“邻扰”故障。“扰邻”和“邻扰”故障表现为多台设备,特别是用计算机控制装置的设备,没有规律地失控,严重时使生产线不能工作。

解决上述问题的技术措施主要有:

① 为解决“扰邻”和“邻扰”问题,在每台阻感性负载晶闸管开关电路中一般加装滤波网络,以防止本台设备产生的干扰波形电流窜入电网,也可防止电网上的干扰波形电流窜入本台设备的主电路与控制电路中。

② 对电阻焊机来说,即便是单点电焊机,因为其阻感性负载晶闸管开关主电路的容量太大,加之其工作方式是频繁的开、关过程,即晶闸管开关主电路中的交流调压过渡过程成为主要的工作方式,所以近代的电阻焊机控制系统中,基本上都采用以微机为控制平台的无过渡过程电流冲击的“软启动”自动开关技术。由于这种控制技术是所有类型电阻焊机的核心控制技术,故从事电阻焊设备的设计、管理、采购和操作相关工作的工程技术人员都应对其有所了解。

③ 为解决多台电阻焊机并联对电网造成的冲击,对全车间的用电设备实行电网负荷优化管理。

所谓分时切入中断管理,是在多台电阻焊机并联于一个电网电源变压器时,为了避免可能

出现的多台电阻焊机同时“申请”通电,即电阻焊机的工作程序可能同时进入“焊接”通电程序,就按管理一级计算机“分时切入中断管理”程序,对“申请”通电的电阻焊机进行切入电网的“分批分时”通电管理。由电阻焊工艺设备的相关理论可知,对大多数的单点电焊机、多点电焊机来说,“焊接”通电程序时的电流周波数只有 $10\sim 50$ 个。也就是说,通电时间最长的只有 1 s 。因此,对电阻焊机进行切入电网的“分批分时”通电管理时,针对每台设备,就好像单独切入电网一样。

对轧钢机的大功率直流电动机晶闸管变流调速系统而言,由于轧制过程中直流电动机的工作状态时刻处于启动→加速→减速→停转→换向等过渡过程中,因此调速系统过渡过程对电网的冲击是非常大的。

目前,在轧钢机的大功率直流电动机晶闸管变流调速系统中,都有完善的计算机优化PID调速控制系统、计算机故障监测与报警系统、连轧线的计算机管理系统等,从而可确保轧钢生产线的正常运行与电网的安全。

1.3.5 高新技术和新兴学科在材料成形领域中的广泛应用

近代高科技领域中某些学科与工程的飞速发展,如计算机科学与工程、航空航天科学与工程、生物医学工程、电力电子科学与工程、核动力科学与工程等,必然首先伴随着材料成形科学与工程的发展,因为上述工程中的所有硬件必须由材料成形工程提供。

从这些硬件的尺寸看,有50万吨级的游轮;有长达 120 m 、直径达 10 m 的核潜艇,其核反应堆的单季发电量就达10万千瓦级;有直径达 20 m 、单机总质量达 400 t 的水轮机组;有表面机组有网球场大小、总质量达 600 t 的大坝船闸闸门。这些巨大硬件的问世离不开材料热加工成形工程,特别是焊接成形工程。在这些焊接成形工程中,采用了很多的焊接成形自动化控制系统。

这些硬件中,小的有微电子技术行业中的大、中、小规模支撑电路芯片,有现代生物学所用微型手术器械、高精度微型机械手,有航空航天领域内多种微型精密传感器器件等。这些属于微精加工领域的产品,也离不开特殊的材料热加工成形工艺。其中,值得指出的有激光熔敷、激光热处理。完成上述成形工艺的设备,没有一台不使用自动控制技术。因为对微加工来说,不使用微型工件的定位、装夹自动控制技术,成形质量监控技术和微小热能输入自动控制技术等是无法想象的。

现对由瑞典ESAB公司生产,具有世界焊接高技术水平,可用于特大壁厚工件加工的窄间隙埋弧自动焊机机头作如下介绍。

为了对钢材厚度达 250 mm 、焊缝最大宽度只有 28 mm 的工件施焊,焊头部分必须有一套完善的焊缝自动跟踪系统,以及使焊头焊前潜入深度达 250 mm 的窄间隙中并使之自动居于中心位置的焊头自动预调整机构。

因为采用埋弧自动焊工艺,所以焊接过程中会产生“渣壳”。但在深 250 mm 的窄间隙空间底层处清除“渣壳”并不容易。为此,该自动焊设备中设计了熔剂自动回收系统。

该窄间隙埋弧自动焊机采用所谓“鱼鳞状焊道”的特殊焊接工艺。为此,焊机机头采用属专利技术的焊嘴偏摆机电一体化装置。

为有效控制电弧电压、焊接电流、焊接速度三个对焊接质量有较大影响的焊接参数,焊机采用了有数字设定与数码显示功能的焊接电源及焊接速度控制单元。

为使一台窄间隙埋弧自动焊机既可焊接纵缝,又可焊接环缝,整套自动焊机设备除包括一台可由 360° 旋转的立柱、最大伸出距离为 8 m 横梁组成的主机外,还配套使用一台由主直流电动机驱动的、可防工件侧扭的双主动轮的轮胎。

为协调全机各组成系统的运行,一台控制计算机管理“焊前调试”与“正常焊接”两种运行方式,并控制全机的各分系统,如机械系统的立柱旋转驱动与立柱定位,横梁高度的升降驱动与水平移动驱动,送丝系统的送进与回抽驱动,焊剂送给与回收系统,焊接电源控制系统,焊头的焊缝跟踪系统,重要焊接参数设定与监测数值显示系统等。

1.3.6 机器人控制系统的大量推广、应用

在材料成形加工制造领域,特别是在钢结构构件的冲压与焊接联合加工制造业内,如轿车车身部件总成、载重汽车的驾驶室总成及车箱总成、摩托车架总成的成形加工中,以及品种繁多的汽车零部件生产线上,大量的工业机器人取代了人类,完成上下料、焊接等繁重操作。国外早在 20 世纪 80 年代就广泛以电阻焊接机器人为主体的,构成车身部件总成柔性加工生产线。

车身部件总成柔性加工生产线一次性投资巨大,但是柔性加工生产线所产生的经济效益是十分突出的。它在具有较高生产率的同时,还能长期保持产品质量的稳定。

在轿车车身需不断改型以适应市场需求的今天,采用以电阻焊接机器人为主体的车身部件总成柔性加工生产线,配合车身部件的计算机辅助设计系统,可使轿车车身的改型制造周期由原来的“三十年一贯制”缩短至两年,而样车的出型可缩短至一年甚至更短时间。

目前,为增加国产轿车的市场竞争力,尽早实现车身部件总成加工生产线柔性化的思想已为国内几家大型汽车生产集团所接受。据相关资料统计,目前,国内通用型机器人总产量的 90% 在经焊接成形工艺与设备的二次技术开发后,被用在汽车车身或其他焊接成形结构生产线上。

在国内,很多汽车生产集团已对传统的只使用悬挂式半自动人工握钳的点焊机、固定式多点焊机的车身生产线进行技术改造,全面增设电阻焊机器人与电弧焊机器人。

例如,“一汽”集团公司于 20 世纪 90 年代末开始对传统的车身生产线进行大规模技术改造。仅据 1994 年的统计,在车身生产线上共引进点焊机器人 52 台套、CO₂ 气体保护焊机器人 20 台套,从而使“一汽”集团公司成为国内率先将车身部件总成柔性加工生产线用于载重汽车车身部件总成及轿车车身部件总成生产的大型综合性汽车生产企业。

武汉“神龙”公司的“神龙富康”轿车车身生产线上,有从国外引进的点焊机器人 80 台套、CO₂ 气体保护焊机器人 30 台套,现在已在富康轿车车身外形的不断翻新上发挥了巨大作用。

在海南新大洲摩托车车架总成柔性加工生产线上,使用 8 台套大阪电器生产的 CO₂ 气体保护焊机器人后,最大限度地减少了人工焊接时容易产生的车架变形、焊接质量不稳定等关键技术上的缺陷,从根本上提高了摩托车车架总成质量。

在汽车车身生产线上引进焊接机器人的优势主要有以下几点。

① 在汽车车身改型生产及中小批量生产中体现出了极大优势。采用固定式单点焊机、固定式多点焊机和稍显灵活的悬挂式单点焊机生产线的最大缺点是:设计出的生产线只能用于一种车型车身的制造。要想改变车身外形,固定式生产线上的所有电焊工位都必须从电极加压系统(一般悬挂式单点焊机、固定式单点焊机多选用气动加压系统,而多点焊机多采用液压系统)到焊接变压器的二次供电系统(包括焊接变压器的二次侧电缆线,焊接变压器的二次侧

焊接电流、电压及其他焊接参数的测量系统,所有电极、二次电缆线、焊接变压器内部、焊接主电路总的大功率晶闸管等的冷却系统及控制系统)做全盘变动,这实际上是很困难的。

这就是为什么以前多采用固定式生产线的“一汽”生产的“解放”载重汽车、“二汽”生产的“东风”载重汽车总是“三十年一贯制”的老面孔。

现在,由于焊接机器人生产线是柔性的,故用计算机辅助设计(CAD)系统设计出的样车车身焊点、焊缝分布图样,或生产中途做出的焊点、焊缝位置更改,都可直接下至点焊机器人及焊缝机器人工位,只需输入焊接机器人计算机控制软件中相关的焊枪位置数据及焊接参数等,就可马上投入生产。

有些较先进的焊接机器人计算机控制软件中,还备有“焊接专家系统”。这使得焊接机器人工位的机器人运动参数和焊接参数设定更方便,焊接质量更为稳定、可靠。

显而易见,柔性焊接机器人生产线特别适用于汽车车身的中小批量生产,可使汽车样车车身的制作周期变得很短。柔性焊接机器人生产线的这一突出技术优势,从一个侧面说明了为什么全世界机器人总产量的60%以上用于汽车产业。

② 保持产品(汽车车身)质量稳定的优势。焊接机器人的焊接质量主要取决于焊接技术参数。这些焊接技术参数都是从大量焊接工艺试验、焊接技术质量管理的第一手资料,熟练操作人员的实际经验中得出的。这些焊接技术参数再经计算机管理软件的优化,制成焊接技术参数数据库,存储于焊接机器人的控制计算机中备用。

又由于焊接机器人不会像人那样有体力和操作技术水平上的差异,因此可长久地保持焊接质量的稳定性。汽车车身部件总成这种先采用钢板冲压工艺再采用焊接工艺完成的部件,保证其质量稳定性的关键因素是焊接变形控制。焊接机器人焊接技术参数体系和一旦调好变形就较小的焊接程序可长久不变,因此能保证汽车车身质量的稳定性。

③ 保持汽车车身生产线长期稳定工作(不停线)的优势。以往的生产线只采用固定式单点、多点焊机,一旦发生故障,就会造成局部停线或漏焊。漏焊可由技术人员在产品上做记号跟踪,然后在汽车车身生产线上设置的补焊工位上补焊,但停线就会严重影响生产。而在机器人柔性生产线上,一旦某工位上的焊接机器人发生故障,车间管理一级的计算机立即将发生故障焊接机器人的任务传送给线上的某台替补工位上的焊接机器人,这样生产线就不会停线。

2 材料成形过程控制基础

2.1 自动控制基础

2.1.1 自动控制系统的基本概念

在人不直接参与的情况下,利用控制装置使被控对象自动地按照预定的规律运行和变化,这种控制称为自动控制。

能够对被控对象的工作状态进行自动控制的系统称为自动控制系统。

自动控制系统的功能和组成是多种多样的,结构也是有简有繁的。自动控制系统可以是一个具体的工程系统,也可以是一个抽象的社会系统、生态系统和经济系统。本章研究的是一个具体的工程系统——工业机电自动控制系统。

自动控制理论是研究自动控制共同规律的技术科学。

自动控制理论在发展初期是以反馈控制理论为基础的自动调节原理。

随着工业生产和科学技术的发展,形成了以传递函数为基础的经典控制理论。它主要研究的是单输入-单输出、线性定常系统的分析和设计。

现代应用数学和计算机技术的发展和运用,使自动控制理论又进入了一个新的阶段,即现代控制理论阶段。它主要研究的是具有高性能、高精度的多变量变参数系统的最优控制问题。

2.1.2 开环控制系统和闭环控制系统

(1) 开环控制系统

在开环控制系统中,控制装置与被控对象之间只有顺向作用,而没有反向联系。系统既不需要对输出量进行测量,也不需要将输出量反馈到输入端与给定输入量进行比较,故系统的输入量就是系统的给定值。

图 2-1 所示为晶闸管-电动机速度开环控制系统。

图 2-1 中的电动机是被控对象。转速 n 是要求实现自动控制的输出量,称为被控量。转速的给定电压 U_g 为系统的输入量。作用于被控对象(电动机)的量 U_d 为控制量。作用于被控对象(电动机)的负载转矩 T_L 称为扰动量。

当系统输入端给定一个电压 U_g (输入量)时,电动机就对应有一个转速 n (输出量)。

当给定电压 U_g 增大时,通过触发器 CF 使晶闸管整流装置的控制角 α 减小,晶闸管整流装置的输出电压 U_d 增高,电动机的转速 n 增加。

从理论上讲,所有使被控量即转速偏离期望值(给定值)的因素都是扰动。如电源电压的波动、电动机励磁电流的变化等因素在转速给定电压值 U_g 不变时,都将引起被控量(转速 n)的变化。

为了分清主次,将各种扰动分为主扰动和次扰动。系统分析时主要考虑主扰动。

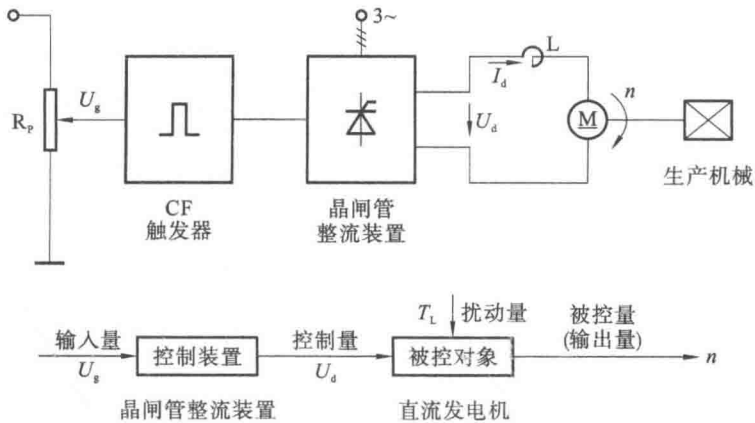


图 2-1 晶闸管-电动机速度开环控制系统

图 2-1 所示的系统是按给定量控制的开环控制系统。如果是按扰动量控制的开环控制系统,则要用仪表来测量其扰动,使系统按照扰动量来进行控制,以减小或抵消扰动对输出的影响。这种开环控制系统称为前馈控制系统。

前馈控制系统利用可测量的扰动量产生一种补偿作用,能针对扰动迅速调整控制量,使被控量及时得到调整,以改善抗扰动的性能和提高控制精度。

按给定量控制的开环控制系统虽然结构简单、调整方便、成本低,但系统的抗扰动性能差,控制精度低,往往不能满足生产的要求。

如果将开环控制系统用于刨床,则在加工生产中,机械转矩的变化会产生不同的转速降,从而引起转速波动,造成刨床加工精度不高,不能满足生产要求。

在开环控制系统中,每一个给定的输入量有一个相应的固定输出量(期望值)。但是,当系统出现扰动时,这种输入量与输出量之间的一一对应关系将被破坏,系统的输出量将不再是期望值,两者之间有一定误差。开环控制系统不能减小这个误差,一旦此误差超出了允许范围,系统将不能满足实际控制要求。因此,开环控制系统不能实现自动调节。

开环控制系统的特点为:

- ① 系统中无反馈环节,不需要反馈测量元件。
- ② 系统开环工作,稳定性性能好。
- ③ 系统不能实现自动调节,对干扰引起的误差不能自行修正,故控制精度不高。

因此,开环控制系统适用于输入量与输出量之间固定且内扰和外扰较小的场合。为了保证一定的控制精度,开环控制系统必须使用高精度控制元件。

(2) 闭环控制系统

闭环控制系统是反馈控制系统,其控制装置与被控对象之间既有顺向作用,又有反向联系。它将被控对象的输出量送回输入端,然后与给定输入量进行比较,形成偏差信号,再将偏差信号作用到控制器上,使系统的输出量趋向于期望值。

图 2-2 所示为晶闸管整流供电的直流电动机闭环控制系统。

测速发电机 TG 与电动机 M 同轴,从测速发电机 TG 中引出转速负反馈电压 U_{fn} ,此电压与电动机的转速成正比。将该转速负反馈电压 U_{fn} 与给定电压 U_g 进行比较,其偏差值 $\Delta U_i = U_g - U_{fn}$ 。经调节放大后,输出控制电压 U_c ,再经 CF 触发器控制晶闸管整流器的输出电压

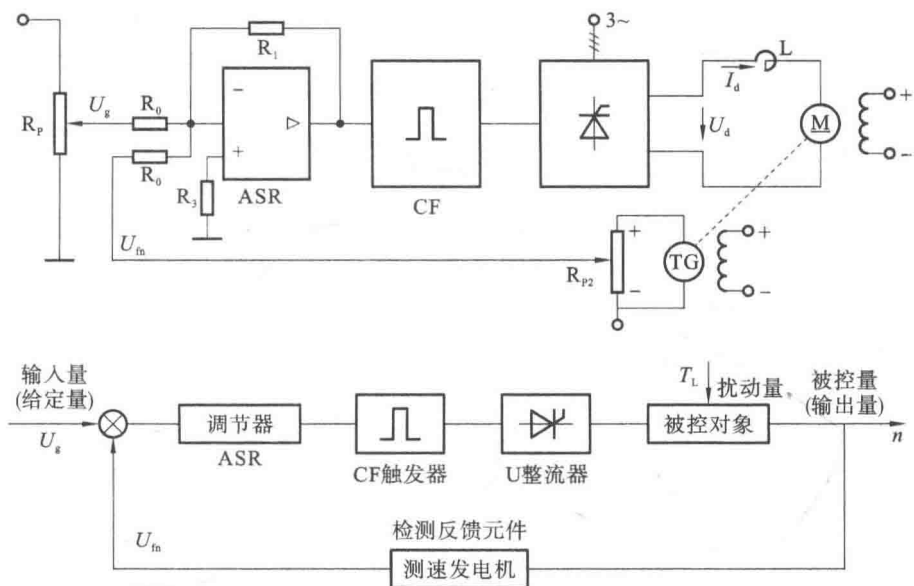


图 2-2 晶闸管整流供电的直流电动机闭环控制系统

U_d , 从而控制电动机的转速 n , 使转速 n 与转速给定值趋于一致。

当负载增加时, 电动机因负载增加而转速下降, 则转速负反馈电压 U_{fn} 减小。由于转速给定电压 U_g 不变, 故偏差电压 $\Delta U_i = U_g - U_{fn}$ 增大。经放大后使晶闸管整流器的输出电压 U_d 增大, 从而电动机的转速 n 回升。

该调节过程可以表示为: $T_L \uparrow \rightarrow I_d \uparrow \rightarrow n \downarrow \rightarrow U_{fn} \downarrow \rightarrow \Delta U_i (= U_g - U_{fn}) \uparrow \rightarrow U_c \uparrow \rightarrow \alpha$ (控制角) $\downarrow \rightarrow U_d \uparrow \rightarrow n \uparrow$ 。

由此可见, 当 U_g 不变而电动机转速 n 由于扰动原因产生变化时, 可通过转速负反馈自动调节电动机转速 n 而维持稳定, 从而提高了控制精度。

将闭环控制系统与开环控制系统相比较, 可看出: 两者之间最大的差别在于闭环控制系统存在一条从被控量(转速 n) 经过检测反馈元件(测速发电机)到系统输入端的通道。这条通道称为反馈通道。

闭环控制系统有以下三个重要功能:

- ① 检测被控量。
- ② 将通过检测被控量的实际值而得到的反馈量与给定值进行比较, 得到偏差值。
- ③ 根据偏差值来对被控量进行调节。

闭环控制系统的特点:

- ① 能补偿控制过程中各种扰动因素的影响, 并可自动调节。
- ② 反馈环节的存在会出现稳定问题, 可能会使系统的稳定性变差, 甚至可能造成系统不稳定。
- ③ 系统必须具备由反馈元件组成的反馈环节。

2.1.3 自动控制系统的分类

如前所述, 自动控制系统的组成千差万别, 所完成的控制任务也不尽相同, 但可以按不同