



普通高等教育机电类规划教材

焊接方法与机电一体化

吉林大学 赵熹华 主编



机械工业出版社
China Machine Press

普通高等教育机电类规划教材

焊接方法与机电一体化

赵熹华 主编

吴 林 陈立功 主审



机械工业出版社

本书系统阐述了电弧焊、电阻焊、激光焊等易于实现机电一体化的重要焊接方法的基本原理、工艺和设备选用,总结了其适用范围和常用金属材料、典型零件的焊接技术特点。并在此基础上重点介绍了焊接工艺装备、焊接过程自动化技术基础、焊接机器人、焊接生产线,焊接自动无损检测等焊接机电一体化新技术。全书理论联系实际,注重思路和能力的培养,并适当反映了国内外新成就和发展趋势,书中许多图表引自最新的国内外标准和典型企业成熟经验,可供实际生产中选用,具有体系新、综合性及工程应用性强、紧密适应社会主义市场经济发展需要等明显特点,是一本面向 21 世纪的新型教材。

本书为高等工业学校材料成形与控制工程专业、材料加工工程专业主干课教材,亦可供从事焊接机电一体化等工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

焊接方法与机电一体化/赵熹华主编. —北京:机械工业出版社, 2001.7

普通高等教育机电类规划教材

ISBN 7-111-08488-8

I. 焊… II. 赵… III. ①焊接工艺-高等教育-教材②机电一体化-高等教育-教材 IV. TG44

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 58456 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑:董连仁 版式设计:霍永明 责任校对:韩 晶

封面设计:方 芬 责任印制:郭景龙

中国农业出版社印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2001 年 3 月第 1 版·第 1 次印刷

1000mm×1400mmB5·10.25 印张·398 千字

0 001~3 000 册

定价:24.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话 (010) 68993821、68326677-2527

前 言

本教材系全国高校焊接专业教学指导委员会审定通过的“九五”规划教材。具有体系新、综合性及工程应用性强,紧密适应专业调整和教改需要并符合社会主义市场经济发展要求等明显特点,是一本面向21世纪的新型教材。

根据指委会的要求,本书系统阐述了电弧焊、电阻焊、激光焊等易于实现机电一体化的重要焊接方法的基本原理、工艺和设备选用,总结了其适用范围和常用金属材料、典型零件的焊接技术特点。并在此基础上重点介绍了焊接工艺装备、焊接过程自动化技术基础、焊接机器人、焊接生产线、焊接自动无损检测等焊接机电一体化新技术。

在编写过程中,力求理论联系实际,归纳和突出焊接方法与机电一体化的基本问题,注重思路和能力的培养,适当反映国内外的新成就和新的发展趋势。书中许多图表均引自最新的国内外标准和典型企业成熟经验,故可供实际生产中选用。

本教材编审人员及分工:

主编:赵熹华教授(吉林大学),全书统稿并编写了第一、三、六(二、四节)、七、八章等。

参编:宣兆志副教授(吉林大学),编写第二、六(一、三节)章;胡建东教授(吉林大学),编写第四章;李桂中副教授(吉林大学),编写第五章;刚铁教授(哈尔滨工业大学),编写第九章;张炯教授(哈尔滨工业大学),参加了第七章编写工作。

主审:吴林教授(哈尔滨工业大学);陈立功教授(上海交通大学)。

对在立项及编写过程中,提出过许多宝贵意见并给予大力支持的原吉林工业大学教务处、吉林大学211工程办公室、全国高校焊接专业教学指导委员会及援引的参考文献作者,一并致以深切的谢意。

吉林大学赵蕾讲师代为制备了全书大部分图表,谨此致谢。

由于编者水平所限,疏漏和错误肯定存在,恳切希望使用本教材的教师和读者批评指正。

编 者

2000年7月

基本符号表

符 号	代表内容	符 号	代表内容
A	焊透率、吸收率、发射常数	R	电阻 (平均值)、半径、玻尔兹曼常数
a	热扩散率、振动幅值	r	电阻 (动态)、半径、坐标轴
b	焦深、宽度	S	视在功率、面积、边距、位移
c	比热容、声速、光速	T	热力学温度、周期
C'	压痕深度	T_M	熔点
E	弹性模量、电场强度、能量	t	时间, 摄氏温度
e	点距、偏心距	U	电压 (有效值)、不清晰度
F	力、载荷	u	电压 (瞬时值)
f	频率、焦距、静摩擦因数	U_w	逸出电压
G	重力	v	速度
g	重力加速度	α	控制角、入射角、热扩散率
H	高度	β	折射角、衰减系数
h	深度、普朗克常数	λ	热导率、波长
I	电流 (有效值)、射线强度	δ	厚度
i	电流 (瞬时值)	Δ	留量
j	电流密度、正离子流密度	θ	导通角、发散角
K	系数	ρ	电阻率、密度
L	距离、电感	σ	张力
l	长度	τ	时间常数
M	力矩、放大倍数	ϵ_0	真空介电常数
m	趋表效应系数	ω	(角) 频率
N	疲劳循环次数	μ	线衰减系数、动摩擦因数
p	压强、压力	η	动力粘度、效率
Q	热量		

目 录

基本符号表

前 言

第一章 总论	1
一、焊接方法及其在现代工业中的应用	1
二、机电一体化的基本概念和特点	3
三、学习本课程的目的和要求	6
第二章 电弧焊	8
第一节 焊接电弧	8
一、电弧的形成与组成区域	8
二、电弧气氛对电弧的影响	9
三、电弧的静特性	10
四、焊接电弧力	11
第二节 氩弧焊	14
一、概述	14
二、钨极氩弧焊	16
三、熔化极氩弧焊	24
第三节 CO ₂ 气体保护电弧焊	32
一、CO ₂ 焊的特点与焊接材料的选择	32
二、CO ₂ 焊的熔滴过渡	35
三、减少 CO ₂ 焊飞溅的措施	38
第四节 气体保护焊设备的选择	40
一、钨极氩弧焊设备的选择	40
二、熔化极气体保护焊设备的选择	47
第三章 电阻焊	52
第一节 电阻焊的加热	53
一、电阻点焊的加热	53
二、闪光对焊的加热	58
三、高频对接缝焊的加热	60
第二节 电阻点焊	62
一、概述	62
二、电阻点焊焊接循环	64
三、电阻点焊焊接参数及其相互关系	64

四、常用金属材料的电阻点焊·····	67
第三节 闪光对焊·····	72
一、概述·····	72
二、闪光对焊焊接循环·····	72
三、闪光对焊焊接参数及选择·····	73
四、常用金属材料的闪光对焊·····	76
五、典型零件的闪光对焊·····	77
第四节 高频对接缝焊·····	80
一、概述·····	80
二、高频对接缝焊焊接参数及选择·····	80
三、高频直缝焊管·····	83
四、高频螺旋缝焊管·····	84
第五节 电阻焊设备的选择·····	84
一、电阻点焊设备的选择·····	84
二、闪光对焊设备的选择·····	91
三、高频对接缝焊设备的选择·····	94
第四章 激光焊·····	97
第一节 激光·····	97
一、激光的性质·····	97
二、激光的模式·····	97
第二节 激光焊原理·····	98
一、激光焊特点·····	98
二、小孔效应·····	99
三、等离子体屏蔽效应·····	100
第三节 激光焊设备·····	102
一、激光器·····	102
二、导光装置·····	105
三、加工机·····	109
第四节 激光焊工艺参数·····	110
一、激光束的调整·····	110
二、焊接速度的调整·····	112
三、激光功率的调整·····	112
四、保护气体的选择·····	113
五、接头形式的选择·····	114
第五节 常用金属材料的激光焊·····	115
一、钢的激光焊·····	115
二、不锈钢的激光焊·····	116
三、铝合金的激光焊·····	116

四、铜合金的激光焊	117
五、高温合金的激光焊	117
六、镀锌钢板的激光焊	117
七、异种金属的激光焊	118
八、激光焊缝组织和常见缺陷	118
第五章 焊接工艺装备	121
第一节 焊接工艺装备的分类及选用	121
一、焊接工艺装备的分类	121
二、焊接工艺装备的选用	122
第二节 工件的定位与夹紧	123
一、工件的定位	123
二、工件的夹紧	129
第三节 装焊夹具	135
一、通用装焊平台	135
二、专用装焊胎架	136
第四节 焊接变位机械	137
一、焊件变位机械	137
二、焊机变位机械	151
第六章 焊接过程自动化技术基础	156
第一节 焊接控制中的微机	156
一、微机可编程序控制器	156
二、单片微型计算机	161
第二节 计算机辅助焊接技术基础	167
一、焊接专家系统	167
二、人工神经网络在焊接中的应用	172
三、模糊推理技术在焊接中的应用	178
四、智能混合系统在焊接中的应用	183
第三节 电弧焊自动控制技术	185
一、弧焊电源输出特性控制	186
二、电弧焊的自动跟踪控制	188
三、电弧焊过程参数的适应控制	194
第四节 电阻焊质量监控技术	196
一、电阻焊质量监控技术现状	196
二、电阻焊质量监控系统举例	198
第七章 焊接机器人	208
第一节 机器人基础	208
一、概述	208
二、机器人构成及工作原理	210

三、机器人的示教、编程及语言	215
四、机器人操作状态描述	218
第二节 点焊机器人	219
一、点焊机器人概述	219
二、点焊工艺对机器人的基本要求	220
三、点焊机器人焊接系统	222
四、点焊机器人实例	224
第三节 弧焊机器人	229
一、弧焊机器人概述	229
二、弧焊工艺对机器人的基本要求	231
三、弧焊机器人焊接系统	232
四、弧焊机器人实例	234
第四节 焊接机器人的选择	242
一、焊接机器人的选型	242
二、焊接机器人主要生产厂商	243
三、焊接机器人选择实例	245
四、焊接机器人的操作与安全	250
第八章 焊接生产线	252
第一节 焊接生产线基础	252
一、焊接结构生产现状及发展方向	252
二、焊接生产的类别及特点	253
三、焊接生产线基本组成	254
第二节 刚性焊接生产线	256
一、主要特点	256
二、中直径管体焊接生产线	256
三、轻型 H 型钢焊接生产线	261
第三节 柔性焊接生产线	264
一、主要特点	264
二、焊接柔性制造单元 (WFMC)	264
三、汽车车身自动化装焊生产线	273
第四节 焊接生产线设计	274
一、汽车车身及其装焊车间	275
二、车身装焊生产线设计若干问题	278
三、车身装焊生产线中的先进技术	282
第九章 焊接自动无损检测技术	284
第一节 自动超声检测技术	284
一、超声波检测基本原理	284
二、自动超声检测方法	286

三、自动超声检测中的关键技术	290
四、自动超声检测技术的应用	291
第二节 自动射线检测技术	295
一、射线检测基本原理	295
二、自动射线检测方法	296
三、自动射线检测中的关键技术	298
四 自动射线检测技术的应用	300
第三节 声发射检测技术	302
一、声发射检测的基本原理及特点	302
二、声发射检测定位方法及检测系统	305
三、声发射检测技术的应用	307
第四节 焊接自动无损检测技术的发展	310
一、无损检测机器人及遥控检测技术	311
二、CT 射线检测系统	312
三、智能化信息处理技术	313
四、焊接自动无损评价技术	316
参考文献	317

第一章 总 论

科学技术是第一生产力。现代新技术的发展离不开焊接，而现代焊接技术又受惠于其它新技术的支托。

一、焊接方法及其在现代工业中的应用

焊接 (welding)^①，是通过加热或加压，或两者并用，并且用或不用填充材料，使工件达到结合的一种方法。其实质就是通过适当的物理—化学过程，使两个分离表面的金属原子接近到晶格距离 (0.3~0.5nm) 形成金属键，从而使两金属连为一体。

焊接方法 (welding process) 是指某特定的焊接方法，如埋弧焊、气保护焊等，其含义包括该方法所涉及的冶金、电、物理、化学及力学原则等内容。对焊接方法的分类可见表 1-1，采用二元坐标法是以焊接热源为一类 (元)，在横坐标上分层列出其主次特征；又以焊接时物理冶金过程特征为另一类 (元)，在纵坐标上分层列出其主次特征。

在纵坐标中，主要是以两材料发生结合时的物理状态为焊接过程的特征，即原子之间是在什么条件下互相结合，不仅可反映焊接过程的最终本质，而且还用来预测和判断焊接接头的微观组织和结合的质量，以及可能发生的缺陷和对母材产生的影响等；其次，在纵坐标中以焊接过程中材料是否熔化，是否加压力或其它特征作为第二特征。

在横坐标中，对于热源类型宜按其强度大小，依次分为高能束、电弧热、电阻热、化学反应热、机械能、间接热能等类别，并按其各自特征又划分为若干细类。如在电阻热大类中，可分为熔渣电阻热及固体电阻热两类；固体电阻热又分为工频和高频，接触式和感应式等分支。

在实际中，对使用的某一焊接方法往往称呼其全名。例如，二氧化碳气体保护焊、脉冲闪光对焊、连续激光焊等。

据统计，1999 年已拥有焊接方法为：电弧焊 18 种、硬钎焊 11 种、软钎焊 8 种、电阻焊 9 种、固态焊接 9 种、氧乙炔焊 4 种、其他焊 10 种等。而新的焊接方法仍在不断出现，如最近英国焊接研究所 (TWI) 发明的摩擦搅转焊 (friction stirring welding) 方法，不仅可焊接铝、锌、镁、铜，而且已经成功焊接了

① 引自《GB/T 3375—94 焊接术语》，本书中所有焊接名词术语除特别注明者外，均引自此国家标准。

表 1-1 焊接方法分类(二元坐标法)

25mm 的钢板,是一个很有吸引力的新方法;又如,最近报导的俄罗斯汽车工业科学研究所发明的氩灯焊接新工艺,为金属、非金属材料焊接提供了广泛的可能性,其生产成本远低于激光焊。

众所周知,机械制造工业是国民经济的基础工业,它决定着一个国家的工业生产能力和水平,而焊接技术则是机械制造工业中的关键技术之一。根据国家的发展规划,许多工业部门均对焊接技术提出新的要求:

(1) 钢铁工业 钢铁工业是焊接技术发展的基础,工业发达国家的焊接结构用钢均在钢产量的一半以上。我国亦将有 6000 万 t 钢用于制造用途不同的焊接结构,对焊接质量和自动化水平都会有更高的要求。

(2) 能源工业 能源工业包括诸多领域,如石油、天然气、煤炭等,这些工业中都需制造大量的化工容器、分馏装置和各种管线,焊接加工占有重要地位,各类采油平台和炼油设备不仅焊接量大,而且技术要求也高;同时,据预测,到 2000 年我国能源生产将达 12,000~13,000 亿 kWh,需要发电设备装机容量 25,000 万 kW 以上,无论是核能发电装备还是热能发电装备,焊接都是最主要、最关键的技术。在这里,现代焊接方法——MAG/MIG、TIG、CO₂ 焊、电子束焊、激光焊等获得广泛应用。

(3) 造船工业 2000 年我国将达 250 万 t 船舶产量,为完成此项目标,造船行业要大力发展焊接技术,向机械化、自动化和高效化方向发展。例如,造船焊接高效化将上升到 80%,其中 CO₂ 焊上升到 40%;自动化及半自动化程度提高到 45%。

(4) 汽车工业 2000 年我国生产汽车达到 280 万辆,生产中将采用大量的先进焊接技术,如机器人电阻焊及电弧焊、激光切割及焊接。同时,CAD/CAM 和 CIMS 等技术也会得到很大发展。

(5) 航空航天工业 由于运载工具要求尽可能高的推力重量比,必须采用各种轻型材料和结构,因而要采用一些特殊的现代焊接方法,如电子束焊、激光焊、钎焊、超塑成形—扩散连接等。

此外,在电子工业中广泛采用的表面组装技术(SMT),其核心内容之一就是微电子软钎焊连接。

二、机电一体化的基本概念和特点

近年来,世界上发达工业国家竞相发展机电一体化,以提高制造技术水平,实现生产系统向柔性化、智能化发展。这不仅给传统的机械产业带来了革命性的变革和惊人的效益,也使产业结构、生产方式和管理体制发生深刻的变化。简言之,机电一体化是当今世界机械工业技术和产品发展的主要趋势,也是我国机械工业发展的必由之路。

1. 机电一体化基本概念

机电一体化 (mechatronics)^①, 它的一般含义包括技术和产品两方面: 技术方面是机械工程和电子工程、机械技术和电子技术合成的产物 (指在机构的主功能、动力功能、信息处理功能和控制功能上引入电子技术, 并将机械装置和电子设备以及软件等有机结合起来构成的产品或系统); 产品方面一般是在机械产品的基础上采用电子技术、控制技术和计算机技术等, 通过相互渗透和融合所产生的新一代产品和系统。

我国一般认为, 机电一体化是机电一体化技术及其产品的统称, 还将柔性制造系统 (FMS) 和计算机集成制造系统 (CIMS) 等自动化生产线和自动化制造工程也包括在内, 这是对机电一体化含义的延拓。它概括了机电一体化的六大共性关键技术: 精密机械技术 (机电一体化技术的基础); 伺服传动技术 (机电一体化系统的核心部分); 传感检测技术 (闭环系统的关键部件); 信息处理技术 (控制的基础技术); 自动控制技术 (计算机控制的关键技术); 系统总体技术 (包括系统的总体设计和接口技术, 即用跨学科的思维能力来进行系统集成)。

2. 机电一体化的系统工程观念和方法

机电一体化是一门综合技术, 是一项由多级别、多单元组成的系统工程。根据其服务对象不同, 所涉及到的单元技术略有差别, 因此其系统构成也有所差别。机电一体化产品及其系统的分类概况如图 1-1 所示。作为一个典型机电一体化

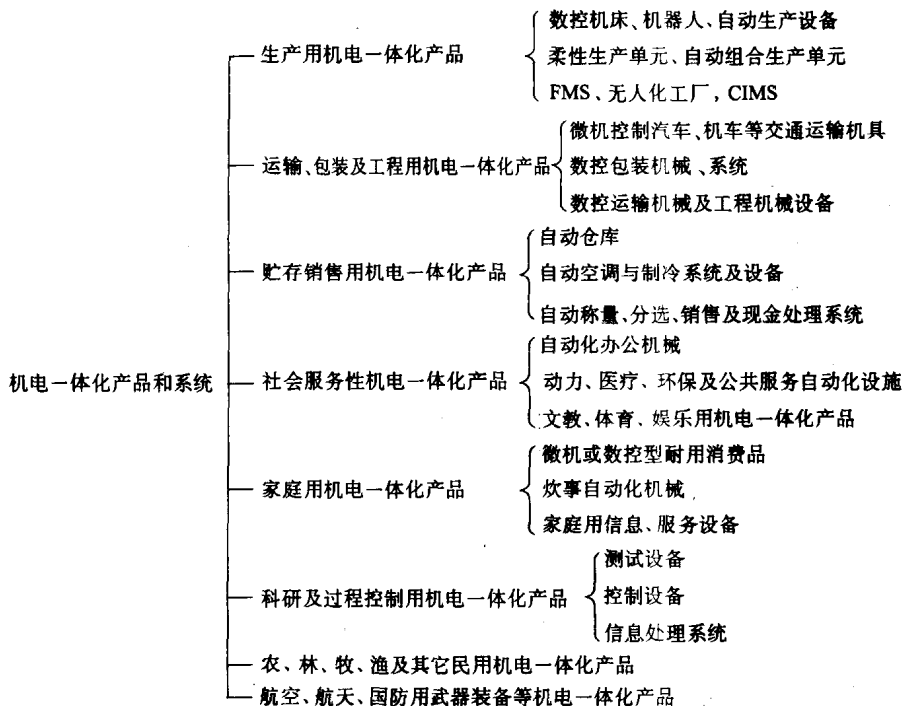


图 1-1 机电一体化产品和系统的分类概况

① 引自《机电一体化技术词典》条目号 1000, 1991 年, 机械工业出版社。

化产品例子，图 1-2 列出了工业机器人所涉及的系统技术。

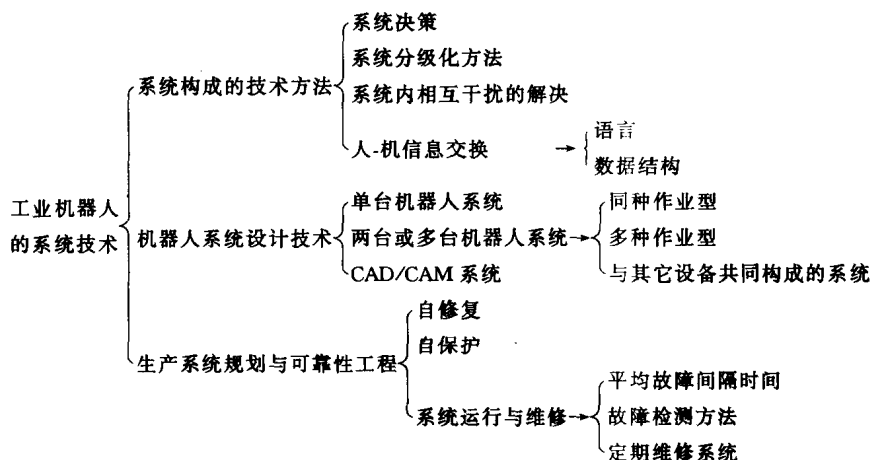


图 1-2 工业机器人的系统技术

应该注意，机电一体化产业具有人材密集、知识密集和资金密集的特点，也与国家政策密切相关，这些因素构成了机电一体化发展的支持系统或称作外部影响；而将机电一体化产品本身所涉及到的各单元技术作为内部因素，二者相互关系如图 1-3 所示。

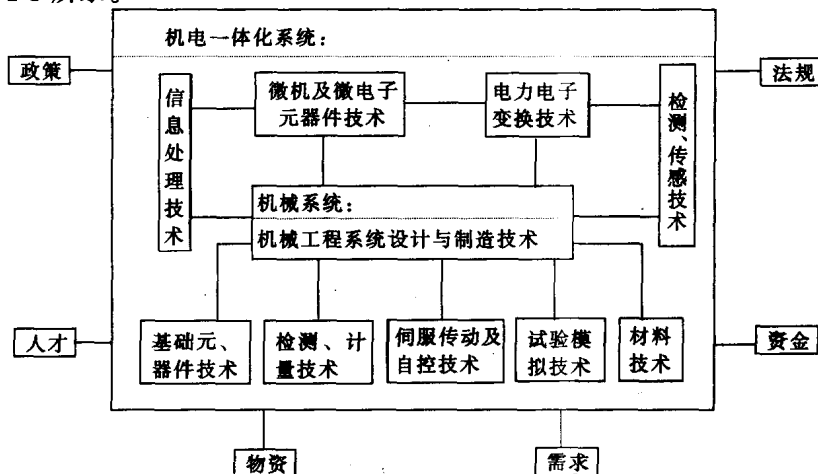


图 1-3 机电一体化系统的内部联系与外部影响示意图

3. 机电一体化的主要技术手段和技术途径

- (1) 自动化 降低产品使用的复杂程度，减员增效，稳定生产过程。
- (2) 高速度 实现系统高速化，不仅要求计算机及软件有很高的信息处理速度，而且要求系统各运动部件和驱动控制均具有高速响应特征与相应的速度匹配性。
- (3) 监测监控 通过实时测量反馈，提高系统控制精度，保证工作质量和系

统的安全性。

(4) 计算机信息化 利用工控机、单片机等作为信息处理和核心控制单元,构成软件程序化系统并发挥软件技术优势,简化硬件结构,降低成本,加快产品开发生产周期。

(5) 柔性化 提高产品应用功能的灵活性,适应用户多样化的使用要求。例如,刚性生产线仅能在单一品种的大批量生产中发挥效益;若采用机器人和加工中心及物料传送系统等柔性生产线,则能通过程序控制对生产过程作必要的调整、修改,迅速完成产品变换,满足中小批量、多品种生产特点,适应市场需求的变化。

(6) 模块化 模块化产品结构便于组织设计、制造和调试,并可充分满足不同用户的选择性功能要求。同时,通过功能模块的更新来达到产品更新换代的效果。

(7) 标准化和通用化 系统结构的标准化和选用芯片的通用化有利于系统扩展、技术兼容,提高了产品的通用性和可维修性,提高了进入市场的竞争力。

(8) 专用化 有利于实现系统最优匹配和最优设计,提高系统集成度和可靠性。

(9) 智能化 将多信息融合技术和智能工程引入机电一体化系统,使其能够高质量、高效率地进行复杂环境下的工作。例如,智能机器人是典型的智能化产品。

(10) 节能化 采用低能耗的电力电子驱动和电子控制系统最佳调节,提高设备的能源利用率等。

(11) 集成化 包括结构集成和功能系统集成等。例如,CIMS将成为今后占主导地位的新型生产方式。

(12) 优化 根据强化功能、简化结构、减少成本等目标函数,优化结构设计,优化参数选择,达到整体优化或最佳产品目标。

三、学习本课程的目的和要求

1. 课程背景

焊接方法(电弧焊、压力焊等)是焊接专业最主要的骨干课之一,焊接机电一体化是机电一体化在焊接领域的应用和发展。早在1996年10月全国高校焊接专业教学指导委员会哈尔滨会议上,交流并研讨本科生、研究生教学改革和“九五”规划教材建设工作中,许多院校就提出了应编写“焊接方法与机电一体化”新教材作为教改后主干课的想法,认为它可为机电一体化技术在焊接领域的应用与推广打下良好基础,适应了社会主义市场经济条件下对复合型人才的需要,也与拓宽专业的教改方向相符合。因此,在1997年4月全国高校焊接专业教学指导委员会北京会议上,审定通过了由原吉林工业大学(现吉林大学)主编的《焊

接方法与机电一体化》为“九五”规划教材。

2. 学习本课程目的

通过本课程学习，使同学较好掌握主要焊接方法及机电一体化在焊接领域中应用的诸要素，提高多学科融合的思维能力，成为社会主义市场经济需要的高层次复合型人才。

3. 课程要求

1) 掌握电弧焊、电阻焊、激光焊基础理论，并结合常用金属材料及典型零件焊接特点的分析，培养拟制相应焊接工艺及解决有关实际生产问题。

2) 掌握机电一体化基本概念及其在焊接领域实际应用的诸要素（工艺装备、自动化技术基础、焊接机器人、焊接生产线、自动无损检测等）系统组成、应用特点、选择原则等。

3) 初步掌握系统设计原理和综合集成技巧，进行总体方案的分析和设计。