

上海普通高校“九五”重点教材

焊接与连接工程学导论

■ 何德孚 主编

上海交通大学出版社

焊接与连接工程学导论



415251

上海普通高校“九五”重点教材

焊接与连接工程学导论

何德孚 主编

上海市教育委员会组编



00415251

上海交通大学出版社

内 容 提 要

《焊接与连接工程学导论》以传统焊接专业三大知识板块中最具特色和活力的焊接方法为主线,同时融入焊接冶金原理、焊接应力变形等焊接力学的重要概念,阐明了焊接与连接工程学的基本理论,同时力求解决工程中的实际应用问题,使之达到理论联系实际的效果。

本书可供高等学校材料类专业本科生、研究生以及从事制造业的工程技术人员学习之用。

0750105

焊接与连接工程学导论

主编 何德孚

上海市教育委员会组编

上海交通大学出版社出版发行

上海市番禺路 877 号 邮政编码 200030

电话 64281208 传真 64683798

全国新华书店经销

常熟市印刷二厂·印刷

开本:787×1092(mm) 1/16 印张:18 字数:441 千字

版次:1998 年 12 月 第 1 版

印次:1998 年 12 月 第 1 次

ISBN 7-313-02097-X/TG·033

定价:29.00 元

本书任何部分文字及图片,如未获得本社书面同意,
不得用任何方式抄袭、节录或翻印。

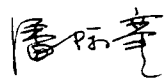
(本书如有缺页、破损或装订错误,请寄回本社更换。)

代 序

焊接与连接是现代工业生产和科学技术发展中的关键技术之一。在科学研究和生产实践过程中,凡涉及材料的研制、选择、使用等领域,几乎都有焊接或连接问题。因此,在工程技术人员尤其是高级工程技术人员的培养中,掌握必需的焊接与连接的知识与基本能力,是高等学校有关学科的重要教学内容之一。

我国高校目前正在进行学科的改造和建设,其主要目标是加强基础、拓宽专业,以期使培养的人才能适应科技现代化和市场经济要求“宽口径”人才的趋势。随着高等教育改革的深入进行,教材改革的重要性和迫切性日益显著。例如,过去的焊接专业,专业课程就有好几门(5门~9门),数百学时,相应的教材有几大册,总字数近200万。如何按照当前教改的精神,为拓宽了专业面的有关学科提供学时数不多、但又是培养高级技术人才必不可少的焊接与连接的知识教材,《焊接与连接工程学导论》一书在这方面进行了较成功的探索。本书的主要特点是:突出了各种焊接和连接方法的基本原理和应用特点,理论联系实际,避免了有关理论的过多叙述和延伸,体现了少而精。利用习题引导学生掌握要点并启发生深入思考,进一步加强了少而精的效果。此外,本书内容及习题的安排还有利于读者自学。

本书作为上海市“九五”规划重点教材,应不限于在上海使用,希望能与其他地区多多交流。相信以高校为龙头的焊接与连接技术,必将迎来更加辉煌的将来。



1997年11月26日

前 言

为了适应社会主义市场经济条件下高级工程科学技术人才的市场需求,注重工程师的基本素养、基础技能,拓宽专业面,正在成为工程技术高等教育的重要指导原则。本教材即是为拓宽专业面新建立的材料工程专业而编写的新教材。全书以传统焊接专业三大知识板块中最具特色和活力的焊接方法为主线,同时融入焊接冶金原理、焊接应力变形等焊接力学的重要概念,力求以清晰的概念阐明焊接与连接工程学的基本理论要点和处理实际工程及生产管理问题的基本原则。为此本教材删除了传统焊接专业教材中大量的资料性的内容,加强了与基础技术课程之间的联系,重视对学生求解实际问题能力的培养,每章列有习题及深入探讨的参考文献。

本教材由何德孚主编,参加编写的有:俞海良(第二、十章)、唐新华(第四、五章)、王敏(第十一章)、姚舜(第十六章)、何德孚(第一、三、六、七、八、九、十二、十三、十四、十五、十七、十八章)。最后经何德孚统稿,并由中国科学院院士、南昌大学校长、清华大学教授潘际銮,南昌大学副校长、清华大学教授吴志强担任主审。我校汪建华、唐逸民、陈立功等也审读过部分章节。

编 者

1997 年 12 月 于上海交通大学

目 录

第一章 引论	1
1.1 现代制造工业和工程建设中的焊接与连接	1
1.1.1 钢管和型材	1
1.1.2 汽车和铁路车辆	6
1.1.3 舰船和海洋工程结构	6
1.1.4 航空和航天飞行器	6
1.1.5 压力容器和石油化工设备	11
1.1.6 电站设备	16
1.1.7 重型机械制造	20
1.1.8 桥梁和高层建筑钢结构	21
1.1.9 电子器件和系统制造	21
1.1.10 家用电器	23
1.2 焊接与连接工程学的学科内涵及其基础和相关学科	23
1.2.1 焊接与连接方法	24
1.2.2 焊接冶金学	24
1.2.3 焊接力学	24
1.3 焊接与连接方法的基本原理、分类及发展简史	25
1.3.1 原理及分类	25
1.3.2 发展简史	27
1.3.3 问题和前景	30
参考资料	31
习题	31
第二章 焊接电弧和手工电弧焊接	33
2.1 焊接电弧的物理基础	33
2.1.1 气体导电机理	33
2.1.2 电弧的构造及电特性	35
2.1.3 电弧的热源特征	36
2.2 手工电弧焊的基本特征	38
2.2.1 手工电弧焊的过程和应用特征	38
2.2.2 手工电弧焊的操作要领和参数	38
2.2.3 手工电弧焊机-弧焊电源	39
2.2.4 电焊条	44

2.3 手工电弧焊的接头设计及质量控制·····	46
2.3.1 手工电弧焊的接头设计·····	46
2.3.2 焊接变形与应力及其防止方法·····	48
2.3.3 焊接缺陷及预防措施·····	51
参考资料·····	53
习题·····	53
第三章 埋弧自动焊 ·····	55
3.1 埋弧自动焊的基本特征·····	55
3.1.1 埋弧自动焊的过程特征·····	55
3.1.2 焊剂、焊丝及其选配·····	56
3.1.3 埋弧自动焊的冶金特点·····	57
3.2 埋弧焊的焊丝熔化和弧长控制·····	61
3.2.1 焊丝的加热和熔化速度·····	61
3.2.2 弧长自动调节·····	62
3.2.3 等速送丝埋弧焊自身调节系统·····	64
3.2.4 电弧电压反馈变速送丝调节系统·····	68
3.2.5 焊接电流反馈变速送丝调节系统·····	72
3.2.6 埋弧自动焊机的结构组成·····	72
3.3 埋弧自动焊的接头设计和焊缝质量控制·····	75
3.3.1 焊缝成形特征及其控制因子·····	75
3.3.2 埋弧焊的接头设计及质量控制·····	77
参考资料·····	81
习题·····	81
第四章 熔化极气体保护焊 ·····	85
4.1 熔化极气体保护电弧焊的基本特征·····	85
4.1.1 过程特征及分类·····	85
4.1.2 保护气体·····	85
4.1.3 电弧的热源及电特征·····	90
4.1.4 熔滴的脱落和过渡·····	91
4.1.5 熔滴过渡形态对焊缝成形的影响·····	95
4.2 脉冲可控过渡熔化极气保护焊·····	95
4.2.1 脉冲可控过渡的特点·····	95
4.2.2 自由过渡脉冲控制·····	96
4.2.3 短路过渡脉冲控制·····	99
4.3 送丝系统和电源特性·····	101
4.3.1 送丝机构·····	101
4.3.2 送丝速度的稳定性及其影响因素·····	103

4.3.3	调速控制电路	104
4.3.4	熔化极气体保护弧焊电源的特性	104
4.4	MIG/MAG 焊的接头设计及特殊形式	105
4.4.1	常规 MIG/MAG 焊接接头设计	105
4.4.2	窄间隙熔化极气体保护焊	105
4.4.3	管状焊丝 CO ₂ 气体保护焊	106
4.4.4	垂直气电焊	107
4.4.5	高速旋转电弧熔化极气体保护焊	107
	参考资料	108
	习题	109
第五章	非熔化极气体保护焊	110
5.1	非熔化极气体保护焊的过程特征	110
5.1.1	基本过程特征	110
5.1.2	GTAW 的主要特点	110
5.1.3	钨棒的材质和形状	111
5.1.4	GTAW 的保护气体	112
5.2	GTAW 过程控制参数和焊机组成特征	112
5.2.1	直流 GTAW	112
5.2.2	交流 GTAW	113
5.2.3	脉冲 GTAW	115
5.2.4	GTAW 电源特性及结构类型	118
5.2.5	GTAW 的引弧方式	119
5.3	接头设计、提高生产率和自动化途径	121
5.3.1	GTAW 的接头形式	121
5.3.2	提高钨极氩弧焊焊接生产率的几种途径	121
5.3.3	GTAW 的自适应控制	122
	参考资料	123
	习题	123
第六章	等离子弧焊接	125
6.1	等离子弧的基本特征及等离子弧焊炬	125
6.1.1	等离子弧的形成及应用特征	125
6.1.2	等离子弧焊炬和割炬	127
6.1.3	双弧现象及其防止	130
6.2	等离子弧焊接控制参数及接头设计	131
6.2.1	穿孔型等离子弧焊接	131
6.2.2	熔入型等离子弧焊接	134
6.2.3	微束等离子弧焊接	134

6.2.4	脉冲等离子弧焊接	134
6.2.5	熔化极等离子弧焊接	134
6.2.6	交流(变极性)等离子弧焊接	134
6.2.7	等离子弧焊接设备	135
6.3	空气等离子弧切割	136
6.3.1	等离子弧切割特征及可控参数	136
6.3.2	切割质量	137
	参考资料	137
	习题	137
第七章	电渣焊	138
7.1	电渣焊的基本特征	138
7.1.1	电渣焊接过程和应用特征	138
7.1.2	热源及冶金特征	139
7.1.3	可焊材料及焊接材料	140
7.2	电渣焊过程控制参数及设备组成	140
7.2.1	控制参数	140
7.2.2	电渣焊设备组成	141
7.2.3	电渣焊接头及施工设计	142
	参考资料	145
	习题	145
第八章	电子束焊接	146
8.1	电子束焊接的基本特征	146
8.1.1	电子束焊接的过程	146
8.1.2	电子束焊接的应用特点	147
8.2	电子束焊机结构原理及电子束焊接过程控制	148
8.2.1	电子束焊机结构原理	148
8.2.2	电子束焊接的过程控制参数	150
8.3	电子束焊接的接头设计、质量控制及应用实例	152
8.3.1	电子束焊接的接头设计	152
8.3.2	电子束焊可焊接材料	152
8.3.3	应用	153
	参考资料	154
	习题	154
第九章	激光焊接及切割	155
9.1	激光及其焊接应用的基本特征	155
9.1.1	激光及工业激光发生器	155

9.1.2 激光的焊接应用特征	159
9.2 激光工业加工设备及过程控制参数	160
9.2.1 激光工业加工设备	160
9.2.2 激光加工过程控制参数	161
9.2.3 激光焊接接头设计、质量控制及应用实例	162
参考资料	164
习题	164
第十章 气焊和气割	165
10.1 燃气火焰的基本特征	165
10.1.1 燃气种类及其特征	165
10.1.2 热源特征和应用特点	165
10.1.3 回火及其防止	166
10.2 气焊	167
10.2.1 焊炬	167
10.2.2 焊接火焰	168
10.2.3 气焊的应用	168
10.3 气割	169
10.3.1 割炬	169
10.3.2 气割质量和速度提高途径	170
10.3.3 气割自动化	170
参考资料	171
习题	171
第十一章 电阻焊	172
11.1 电阻焊的基本过程特征	172
11.1.1 电阻焊的基本过程	172
11.1.2 电阻焊的加热及其特点	173
11.1.3 接头形成过程特征	182
11.2 电阻焊的过程参数	184
11.2.1 点焊	184
11.2.2 凸焊	188
11.2.3 缝焊	191
11.2.4 电阻对焊	193
11.2.5 闪光对焊	194
11.3 电阻焊机及控制设备的选型	196
11.3.1 电阻焊机的分类和组成	196
11.3.2 电阻焊机的选型	202
11.3.3 电阻焊的接头设计及应用	203

参考资料·····	203
习题·····	204
第十二章 高频电阻焊·····	205
12.1 高频电阻焊接过程及应用特征·····	205
12.1.1 高频电阻焊和高频电流的集肤和邻近效应·····	205
12.1.2 高频电阻焊的类型及应用特征·····	206
12.2 高频电阻焊设备及过程控制参数·····	207
12.2.1 高频电阻焊设备组成特征·····	207
12.2.2 高频电阻焊的过程控制参数·····	209
12.3 高频电阻焊的应用·····	210
12.3.1 高频电阻焊管·····	210
12.3.2 高频电阻焊的其他应用·····	211
12.3.3 高频电阻焊接过程的自动控制·····	211
参考资料·····	211
习题·····	211
第十三章 摩擦焊·····	212
13.1 摩擦焊接过程特征·····	212
13.1.1 摩擦焊接过程及基本分类·····	212
13.1.2 摩擦焊的应用特征·····	213
13.2 摩擦焊机及过程控制参数·····	213
13.2.1 摩擦焊机的组成·····	213
13.2.2 摩擦焊接的过程控制参数·····	214
13.2.3 摩擦焊接过程的质量控制·····	216
13.3 摩擦焊接头设计及应用·····	217
13.3.1 摩擦焊接头设计·····	217
13.3.2 应用实例·····	219
参考资料·····	219
习题·····	219
第十四章 超声波焊接·····	220
14.1 超声波焊接过程特征·····	220
14.1.1 超声波焊接过程及分类·····	220
14.1.2 超声波焊接的应用特征·····	222
14.2 超声波焊接设备及过程控制参数·····	222
14.2.1 超声波焊接设备组成概要·····	222
14.2.2 超声波焊接过程控制参数·····	223
14.2.3 超声波焊接应用实例·····	224

参考资料·····	224
习题·····	225
第十五章 爆炸焊接·····	226
15.1 爆炸焊接过程的基本特征·····	226
15.1.1 爆炸焊接机理·····	227
15.1.2 爆炸焊接的过程控制参数·····	227
15.1.3 爆炸焊接可焊接性窗口·····	229
15.2 爆炸焊接的接头设计和应用特色·····	230
参考资料·····	232
习题·····	232
第十六章 钎焊·····	234
16.1 钎焊过程特征·····	234
16.1.1 钎焊特点·····	234
16.1.2 钎焊接头形成过程·····	234
16.2 钎焊接头设计·····	238
16.2.1 接头形式及钎接长度·····	238
16.2.2 钎焊接头应力控制·····	239
16.2.3 接头间隙·····	239
16.2.4 钎焊接头设计的其他注意事项·····	240
16.3 钎焊材料·····	241
16.3.1 钎料·····	241
16.3.2 钎剂·····	242
16.3.3 钎焊保护气氛及作用机理·····	246
16.4 钎焊方法·····	248
16.4.1 火焰钎焊·····	248
16.4.2 炉中钎焊·····	249
16.4.3 电阻钎焊·····	251
16.4.4 感应钎焊·····	252
16.4.5 盐浴钎焊·····	253
16.4.6 微电子工业中的钎焊方法·····	254
参考资料·····	259
习题·····	259
第十七章 扩散焊接·····	260
17.1 扩散焊接的过程特征·····	260
17.1.1 扩散焊接过程及其分类·····	260
17.1.2 扩散焊的应用特征·····	261

17.2 扩散焊接设备及过程控制参数·····	262
17.2.1 扩散焊接设备组成·····	262
17.2.2 扩散焊过程控制参数·····	262
17.2.3 扩散钎焊的过程控制参数·····	263
17.2.4 扩散钎焊应用实例·····	263
参考资料·····	264
习题·····	264
第十八章 胶接 ·····	265
18.1 胶接的基本过程特征·····	265
18.1.1 胶接和胶粘剂·····	265
18.1.2 胶粘过程特征·····	266
18.2 胶接过程的质量控制及应用·····	268
18.2.1 胶接接头设计·····	268
18.2.2 胶接过程的质量控制及参数·····	269
18.2.3 胶接的应用·····	269
参考资料·····	271
习题·····	272

第一章 引 论

1.1 现代制造工业和工程建设中的焊接与连接

早在远古的铜、铁器时代,当人类刚开始掌握金属冶炼并用来制作简单的生产和生活器具时,火烙铁钎焊、锻接等简单的金属连接方法就已为古人所发现而得到应用。但本书所讨论的以电弧焊、电阻焊、电子束焊、激光焊等为代表的现代焊接与连接工程技术则是 19 世纪末到 20 世纪初的世界第一次工业革命孕育并在 20 世纪 30 年代后逐渐发展起来的。它既是现代工业和科学技术发展的产物,又是现代工业制造技术的一个重要的基本组成部分。据国外权威机构统计,目前,各种门类的工业制品中,半数以上都得采用一种或多种焊接与连接技术才能制成。钢铁、汽车和铁路车辆、舰船、航空和航天飞行器、原子能反应堆及水力或火力发电站、石油化工设备、机床和工程施工机械、电机电器、微电子产品、家电等众多现代工业产品以及桥梁、高层建筑、城市高架或地铁、石油或天然气的远距离输送管道、高能粒子加速器等许多重大工程建设中,焊接与连接都占据着十分重要的地位。下面仅择要举例加以论述。

1.1.1 钢管和型材

1996 年我国产钢 1 亿吨,据世界第一位。其中钢管近 1 千万吨(世界各国钢管产量一般占钢材产量的 10%~16%,这一比例高低也反映着一个国家的工业化发展水平)。焊接钢管和穿孔轧制钢管是钢管的两种主要生产方式。图 1-1 为穿孔轧制钢管的生产流程。焊接钢管因生产

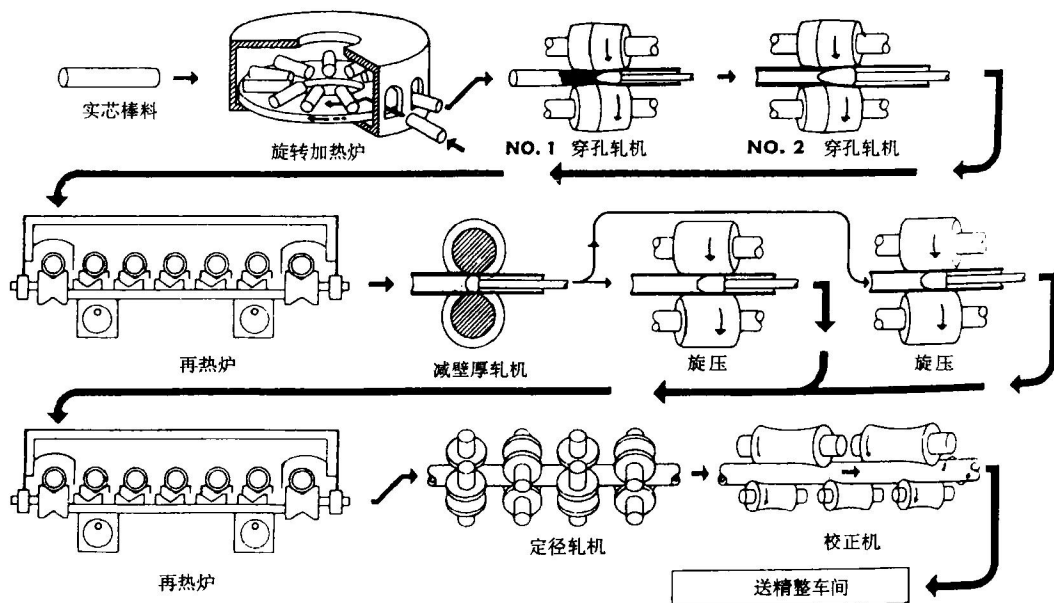


图 1-1 穿孔钢管的轧制生产过程

成本低、生产设备和生产过程简便、产品适应面广等优点,20 世纪 70 年代以后已成为世界所有工业化国家钢管生产的主导方法,产量均占各国钢管年产量的 50%~70% 以上。我国现已建各类大小焊管工厂 600 多家,焊管机组多达 2 千余套,焊管生产已成为一种重要的钢材产业。图 1-2~图 1-3 为焊管生产的三种主要方式:其中连续滚轧成形直缝焊管主要用于生产

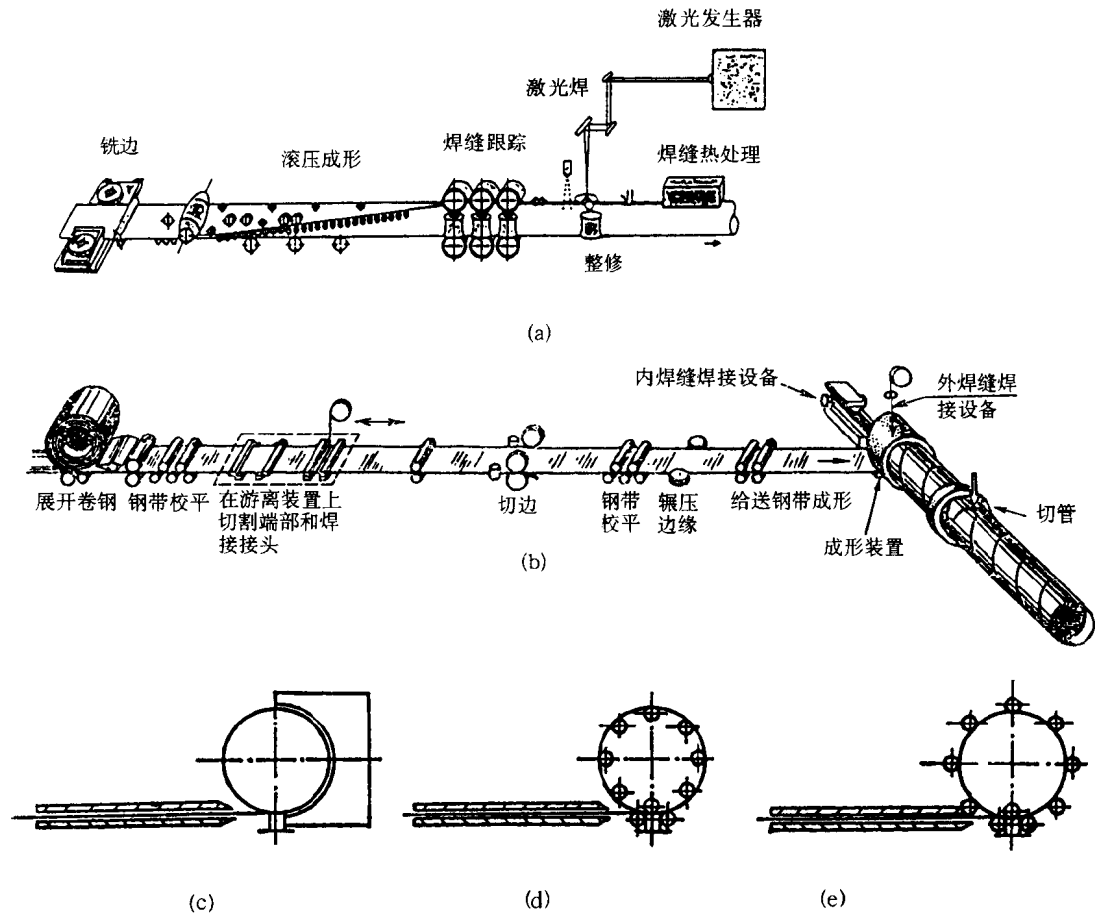


图 1-2 连续焊管的生产流程

(a) 直缝连续焊管;(b) 螺旋连续焊管;(c)~(e) 螺旋焊管成形方式

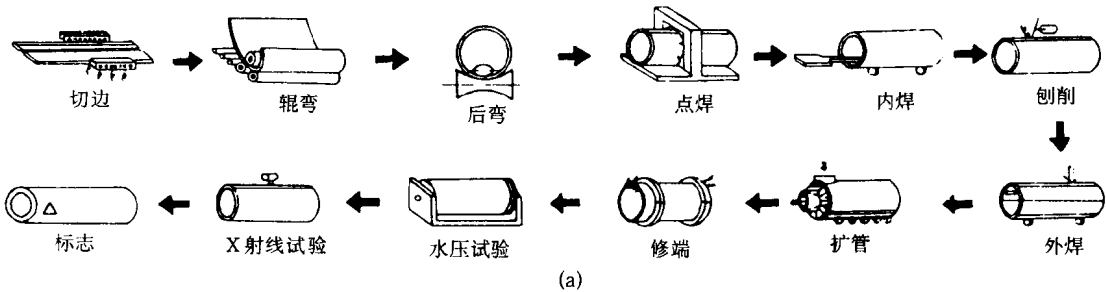
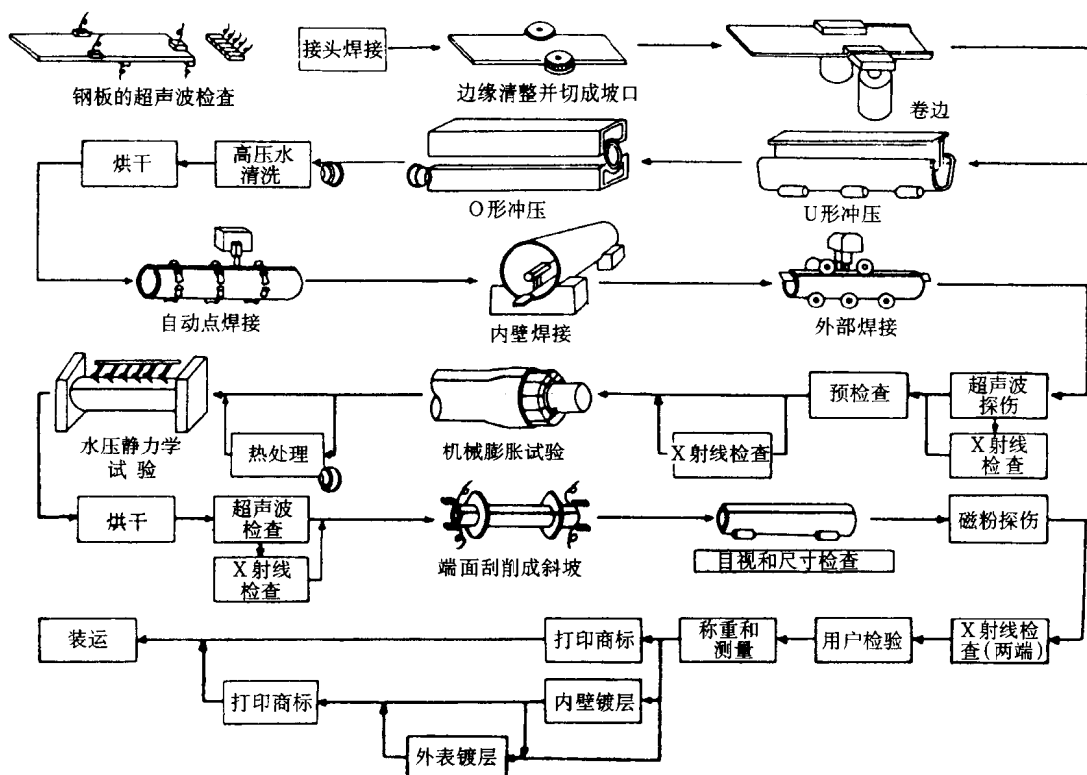


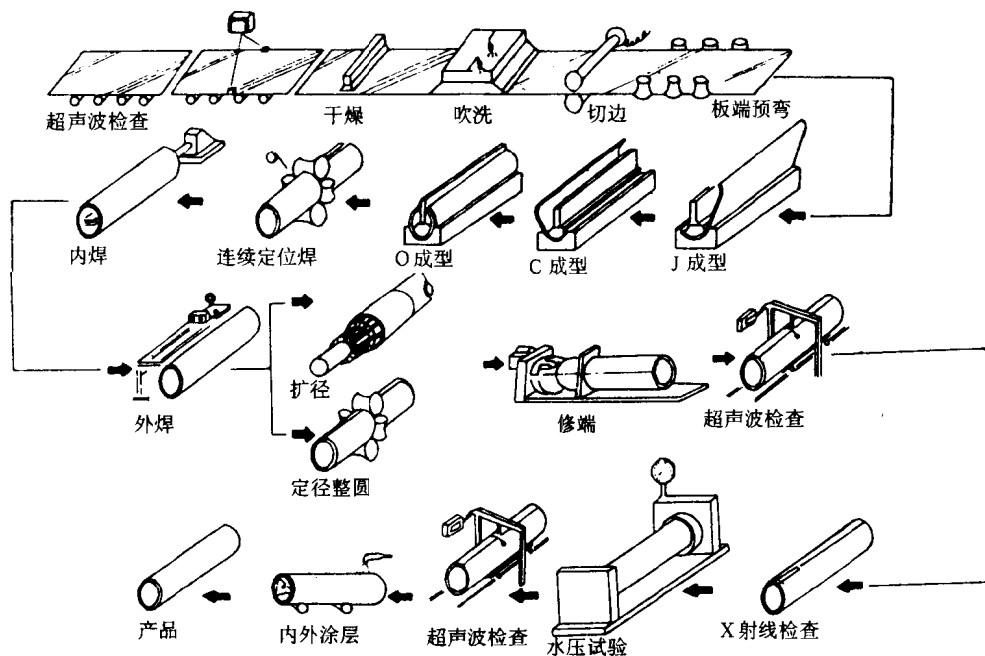
图 1-3 分段直缝焊接钢管的生产流程

(a) RBE 成形法;(b) UOE 成形法;(c) TCOE 成形法



(b)

图 1-3 (续 1)



(c)

图 1-3 (续 2)

$\phi 500\text{mm}$ 以下中小直径焊管,连续螺旋焊管用于生产 $\phi 400\text{mm}$ 以上大直径焊管,分段焊制的直缝焊管主要用于生产大直径厚壁焊管,最大规格为 $\phi 1422\text{mm} \times 44\text{mm} \times 18900\text{mm}$,是用图 1-3 中的 UOE 法生产的,RBE 法、JCOB 法可生产焊管的直径 $\times$ 壁厚 $\times$ 长度均要小一些。上述所有各种焊管生产方法国际上大都是在 20 世纪 60 年代以后发展起来的,目前正在向高度自动化方向发展。图 1-4 为国外已经研究成功的一种直缝连续焊管自动控制系统方框结构,它通过导像光纤用热像仪实时检测焊接区加热形态特征,用计算机进行分析识别后,对焊管过程进行自动控制。

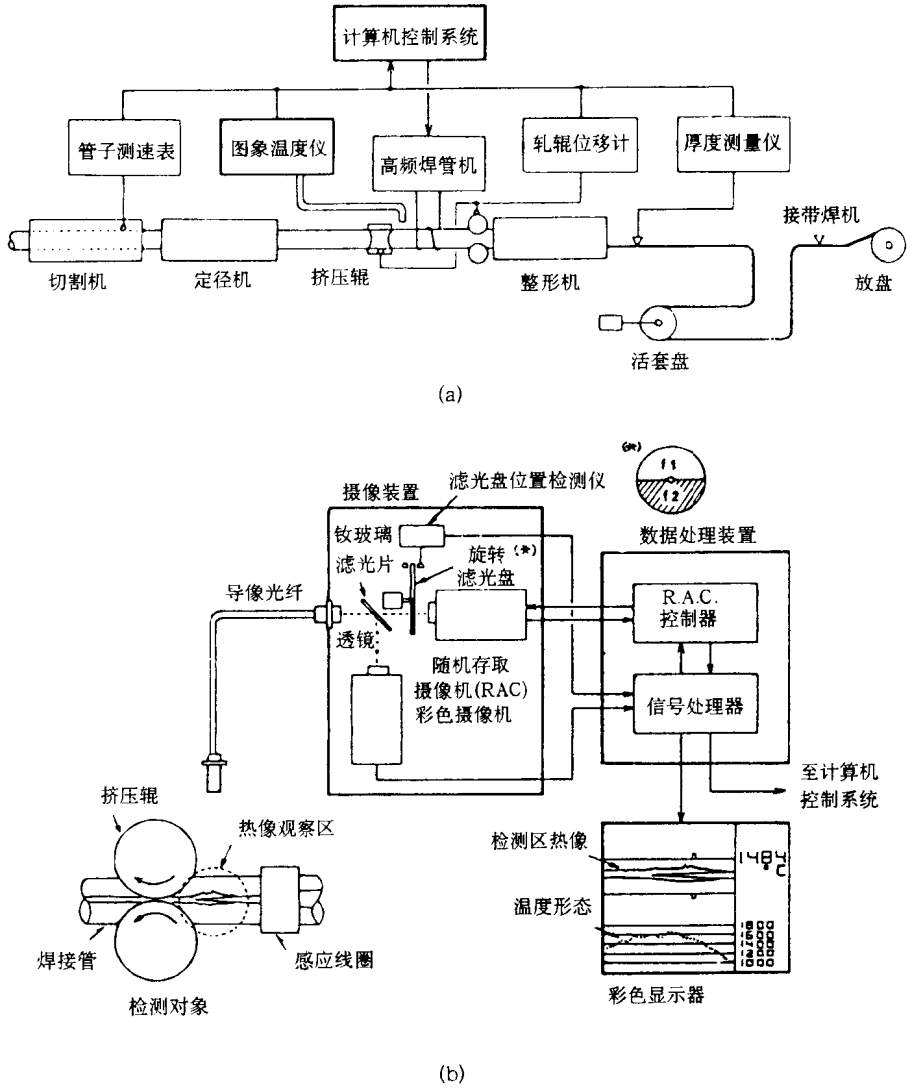


图 1-4 连续焊管的计算机控制系统(a) 及热像检测系统(b)

焊管生产中采用的焊接方法因所焊钢材成分不同而异,主要有高频电阻焊、高频感应电阻焊、埋弧自动焊、氩弧自动焊、等离子弧焊,也有少数采用电子束、激光焊的。除了各种钢管外,铝、铜、钛及合金管也可以焊制。此外,上述方法还可以连续生产轻型型材,图 1-5 为轻型工字钢焊接生产线,其上、下翼板可为等厚或不等厚的板材。