

高 职 高 专 规 划 教 材

JINSHU CAILIAO REJIAGONG JISHU

金属材料热加工技术

甄丽萍 主编



冶 金 工 业 出 版 社
Metallurgical Industry Press

高职高专规划教材

金属材料热加工技术

甄丽萍 主编

北 京

冶 金 工 业 出 版 社

2009

内 容 提 要

本书适用于高等职业学校机械制造、机电一体化和数控技术及相关专业的教学使用,理论教学课时 52~60 学时。主要包括:金属材料的铸造设备和铸造工艺以及工艺实例;金属材料的锻压、冲压设备和工艺以及工艺实例;金属材料的焊接方法和焊接设备及工艺实例;金属材料的热处理设备、方法和工艺以及工艺实例;金属材料的热轧设备和工艺以及工艺实例等五个部分。

本书也可供工程技术人员和高级技术工人参考。

图书在版编目(CIP)数据

金属材料热加工技术/甄丽萍主编. —北京:冶金工业出版社, 2009. 9
高职高专规划教材
ISBN 978-7-5024-4983-4

I. 金… II. 甄… III. 金属材料—热加工—高等学校: 技术学校—教材 IV. TG306

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 149620 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 postmaster@cnmip.com.cn

责任编辑 李枝梅 美术编辑 李 新 版式设计 张 青

责任校对 石 静 责任印制 李玉山

ISBN 978-7-5024-4983-4

北京百善印刷厂印刷;冶金工业出版社发行;各地新华书店经销

2009 年 9 月第 1 版, 2009 年 9 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16; 17.25 印张; 457 千字; 262 页; 1-3000 册

37.00 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(100711) 电话:(010)65289081

(本书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)

前 言

本书是按照教育部高职高专教育专业人才培养目标,依据冶金行业高等院校“十一五”教材建设规划和内蒙古机电职业技术学院材料与能源教学指导委员会审定的“金属材料热加工技术”教学大纲,在总结多年教学经验并征求相关企业技术人员意见的基础上编写而成。

“金属材料热加工技术”作为冷加工各专业的基础课程之一,其教学的基本目的是:使学生了解常用钢铁材料的各种热加工设备;熟悉钢铁材料的各种热加工技术的原理、工艺和方法;具有在生产一线操作的基本知识和能力;具有采用新工艺、新设备、新技术的初步能力。本书重点介绍各种热加工方法的基本工艺和实际应用,也适当介绍较成熟的先进生产技术。本书可满足机械类和近机械类各专业教学的不同需求。

金属材料是支撑人类社会发展及现代工业、农业、国防、科学技术的重要物质基础。制造各种机器设备、船舶、车辆、仪器仪表,都需要使用大量的金属材料,以满足人类生产和生活的需要。钢铁材料具有通过适当的热加工工艺,提高和改变其使用性能和加工工艺性能的特性,所以钢铁材料是应用最广、发展速度最快的金属材料之一。

全书共五篇。铸造篇(第1~6章)主要介绍金属材料的常用铸造设备、方法和工艺,由内蒙古机电职业技术学院冶金与材料工程系的孙志敏老师编写;锻压篇(第7~10章)介绍的是金属的常用锻压、冲压设备与工艺,由内蒙古机电职业技术学院冶金与材料工程系的云璐老师编写;焊接篇(第11~14章)介绍的是金属材料的常用焊接设备、方法和工艺,由内蒙古机电职业技术学院冶金与材料工程系的张丽虹老师编写;轧钢篇(第15、16章)介绍的是钢材的常用热轧设备、方法和工艺,由上海电气内蒙古电缆厂李丕显老师编写;热处理篇(第17~19章)介绍的是金属材料的热处理方法和工艺,重点讨论热处理工艺对钢铁材料性能的影响,由内蒙古机电职业技术学院冶金与

材料工程系的甄丽萍老师编写。

本书力求体现职业技术教育特色，注重以职业（岗位）需求为依据，贯彻“必需、够用”的原则，理论结合实际，并尽可能对新材料、新工艺、新技术进行介绍，充实了必要的基础知识。叙述上由浅入深，理论联系实际，内容充实，标准规范，实用性强。本书可以作为高职高专学历教育的教学用书，也可作为职业资格和岗位技能培训教材。

本书由内蒙古机电职业技术学院教师甄丽萍担任主编，全书由甄丽萍负责统稿、整理和审定。本书在编写和审稿过程中，得到了内蒙古机电职业技术学院领导、同事和一些相关企业的工程技术人员的积极支持和帮助，提出了许多建设性的意见和建议，使本书的内容更加严谨，在此一并表示衷心的感谢。对所有为本书提供资料、建议和帮助的各方人士，也表示诚挚的谢意。

由于编者水平所限，书中若存在不足，恳请读者批评指正。

编 者

2009年7月

目 录

0 绪论	1
------------	---

铸 造 篇

1 铸造基本概念	6
1.1 铸造生产的工艺过程、特点及其重要性	6
1.1.1 铸造生产的工艺过程	6
1.1.2 铸造生产的特点	6
1.2 金属的铸造性能	7
1.2.1 金属的流动性	7
1.2.2 金属的收缩	8
思考题	8
2 砂型铸造	9
2.1 型砂与芯砂	9
2.1.1 型（芯）砂的组成	9
2.1.2 型（芯）砂应具备的性能	10
2.1.3 型砂与芯砂的制备	10
2.2 砂型的制备	11
2.3 砂芯的制备	15
2.4 铸型的合型	17
思考题	17
3 铸造工艺及工装设计	18
3.1 铸造工艺设计	18
3.1.1 设计依据	18
3.1.2 设计内容	18
3.1.3 设计程序	20
3.2 铸造工艺方案的确定	20
3.2.1 零件结构的铸造工艺性	20
3.2.2 铸件浇注位置的选择	23
3.2.3 铸型分型面的选择	24
3.2.4 砂芯的设计	27
3.3 铸造工艺参数的选择	28

3.4 铸造工艺装备的应用	30
3.4.1 模样	30
3.4.2 模板	31
3.4.3 芯盒	32
3.4.4 砂箱	33
3.5 浇注系统和冒口、冷铁的设计	34
3.5.1 浇注系统	34
3.5.2 冒口和冷铁	36
3.6 铸造工艺实例分析	37
3.6.1 滑动轴承的铸造工艺和模样结构示例	37
3.6.2 轴架零件铸造工艺分析	37
思考题	39
4 铸铁、铸钢的浇注	41
4.1 概述	41
4.2 浇注	41
4.2.1 浇注前准备工作	41
4.2.2 浇注工艺	42
4.2.3 浇注操作过程	43
思考题	43
5 铸件的落砂、清理、检验和缺陷分析	44
5.1 铸件的落砂与清理	44
5.1.1 铸件的落砂	44
5.1.2 铸件的清理	44
5.2 铸件的检验和缺陷分析	45
5.2.1 铸件的检验	45
5.2.2 铸件常见缺陷的分析与防止	46
思考题	47
6 特种铸造与铸造新技术	48
6.1 特种铸造	48
6.1.1 熔模铸造	48
6.1.2 金属型铸造	49
6.1.3 压力铸造	51
6.1.4 低压铸造	52
6.1.5 离心铸造	53
6.1.6 其他铸造方法	54
6.2 铸造新技术	55

6.2.1 铸造过程计算机数值模拟技术	55
6.2.2 快速成形技术	55
思考题	56

锻 压 篇

7 锻前加热和锻件冷却	58
7.1 金属的锻前加热	58
7.1.1 金属坯料加热的目的	58
7.1.2 加热方法	58
7.1.3 锻造温度范围	60
7.2 加热时产生的缺陷及防止措施	60
7.2.1 氧化	60
7.2.2 脱碳	61
7.2.3 过热	62
7.2.4 过烧	62
7.3 锻件的冷却	63
7.3.1 锻件在冷却过程中的内应力	63
7.3.2 锻件的冷却方法	63
思考题	64
8 自由锻造工艺	65
8.1 自由锻工序特点及锻件分类	65
8.1.1 自由锻工序	65
8.1.2 自由锻件分类	66
8.2 自由锻造的基本工序及设备	69
8.2.1 自由锻造的基本工序	69
8.2.2 自由锻设备	71
8.3 典型零件和工具的锻造过程实例	73
8.3.1 锻件图的确定	74
8.3.2 确定坯料的重量和尺寸	74
8.3.3 自由锻造设备吨位计算与选择	76
8.3.4 制定自由锻工艺规程举例	77
思考题	79
9 模锻工艺	80
9.1 常用模锻设备及其工艺特点	80
9.1.1 锤上模锻	80
9.1.2 曲柄压力机上模锻	81

9.1.3 摩擦压力机上模锻	82
9.2 模锻件分类及模锻工艺	82
9.2.1 模锻件分类	83
9.2.2 模锻件图设计	84
9.2.3 模锻变形工步的确定	86
9.2.4 坯料尺寸的确定	88
9.2.5 锻压件结构设计	88
9.3 模锻后续工序及锻造工艺的经济性分析	90
9.3.1 模锻后续工序	90
9.3.2 锻造工艺的经济性分析	91
思考题	92
10 冲压	93
10.1 冲裁	93
10.1.1 冲压设备	93
10.1.2 冲裁力	94
10.1.3 卸料力、推件力与顶件力的计算	95
10.1.4 材料的经济利用	96
10.1.5 冲裁工艺方案的确定	99
10.2 冲裁模	100
10.2.1 单工序冲裁模	100
10.2.2 复合模	102
10.3 冲压的基本工序	104
10.3.1 冲裁	104
10.3.2 弯曲	105
10.3.3 拉深	106
10.3.4 成形	106
10.4 典型冲压件生产过程示例	108
思考题	110

焊 接 篇

11 常用焊接方法	113
11.1 焊条电弧焊	113
11.1.1 焊接电弧	113
11.1.2 电焊条	113
11.1.3 焊接工艺参数	115
11.1.4 焊条电弧焊的焊接过程	116

11.2 二氧化碳气体保护焊	116
11.2.1 CO ₂ 焊的实质及应用	117
11.2.2 CO ₂ 焊设备	118
11.2.3 CO ₂ 焊焊接材料	120
11.2.4 CO ₂ 焊工艺参数	120
11.3 埋弧焊	121
11.3.1 埋弧焊的焊接过程及特点	121
11.3.2 埋弧焊机	122
11.3.3 焊接材料	122
11.3.4 焊接工艺参数及选择	123
11.4 气焊与气割	124
11.4.1 气焊、气割用气体及设备	124
11.4.2 焊丝和气焊溶剂	125
11.4.3 气焊工艺参数	126
11.4.4 气割	126
11.5 其他焊接方法	127
11.5.1 氩弧焊	127
11.5.2 电阻焊	128
11.5.3 钎焊	128
11.5.4 等离子弧焊接	129
11.5.5 电子束焊接	130
思考题	130
12 常用金属材料的焊接	131
12.1 金属材料的焊接性	131
12.1.1 金属焊接性概念及试验内容	131
12.1.2 焊接性的评定及试验方法	131
12.2 碳钢的焊接	133
12.2.1 碳钢的分类	133
12.2.2 碳钢的焊接性	133
12.2.3 碳钢焊接举例	134
12.3 合金结构钢的焊接	136
12.3.1 合金结构钢的分类	136
12.3.2 合金结构钢的焊接性	136
12.3.3 合金结构钢焊接举例	137
12.4 不锈钢及耐热钢的焊接	138
12.4.1 不锈钢及耐热钢的分类	138
12.4.2 不锈钢及耐热钢的焊接性	138
12.4.3 不锈钢及耐热钢焊接举例	139

12.5 铸铁的焊接	140
12.5.1 铸铁焊接性分析	140
12.5.2 铸铁焊接工艺	140
12.6 常用有色金属及其合金的焊接	141
12.6.1 铝及铝合金的焊接	141
12.6.2 铜及铜合金的焊接	142
思考题	144
13 焊接结构设计	145
13.1 焊接结构件材料的选择	145
13.2 焊接接头的工艺设计	145
13.2.1 接头形式的选择与设计	145
13.2.2 焊接结构的合理设计	146
思考题	148
14 焊接缺陷及检验	149
14.1 常见的焊接缺陷	149
14.2 常用焊接缺陷的检验方法	151
思考题	152

轧 钢 篇

15 轧制的特点及基本方法	154
15.1 轧制理论基础	154
15.1.1 金属的构造	154
15.1.2 弹性变形和塑性变形	154
15.1.3 作用于物体上的应力	155
15.1.4 单晶和多晶体的变形	157
15.1.5 变形与回复和再结晶	157
15.1.6 金属在变形中的相变	159
15.1.7 影响变形的因素	159
15.2 板、带材轧制	160
15.2.1 变形量和变形区	161
15.2.2 轧辊咬入轧件的必要条件	162
15.2.3 轧制压力	162
15.2.4 轧制设备	163
15.2.5 影响轧制过程的因素	167
15.3 型材轧制	171
15.3.1 孔型的分类及应用	172

15.3.2 轧辊孔型设计	174
15.3.3 热轧型钢的品种规格	176
15.3.4 型钢生产的基本工艺参数和规格	177
15.4 管材轧制	178
15.4.1 钢管轧制方法	178
15.4.2 常用轧管设备	180
15.4.3 钢管生产的工艺	181
15.5 特殊轧制	182
15.5.1 连铸连轧	182
15.5.2 连续铸轧（液态轧制，也称亨特法）	186
15.5.3 粉末轧制	188
15.5.4 热连轧带钢设备及新技术的特点	189
思考题	191
16 热轧钢板生产工艺	192
16.1 中厚板生产	192
16.1.1 轧钢坯料规格及设备	192
16.1.2 金属的加热规范	193
16.1.3 中厚板的生产工艺	193
16.2 锅炉钢板生产	196
16.3 不锈钢钢板生产	198
思考题	199

热处理篇

17 金属的加热	202
17.1 金属加热的传热过程及影响因素	202
17.1.1 传热分类及工件内部的热传导过程	202
17.1.2 热处理加热时间的确定及影响因素	203
17.2 金属加热过程中的氧化和脱碳以及加热介质选择	205
17.2.1 金属加热过程中的氧化和脱碳	205
17.2.2 加热介质的选择	206
17.3 热处理加热设备简介	208
17.3.1 常用电阻炉	208
17.3.2 常用真空热处理炉	211
17.3.3 常用浴炉	213
17.3.4 可控气氛热处理炉	215
17.3.5 金属材料的表面加热设备	218

思考题.....	219
18 钢的普通热处理	220
18.1 钢的退火和正火	220
18.1.1 钢的退火	220
18.1.2 钢的正火	226
18.1.3 退火、正火的选用	227
18.1.4 退火、正火的缺陷	228
18.2 钢的淬火和回火	229
18.2.1 钢的淬火	230
18.2.2 钢的回火	243
18.2.3 淬火、回火应用举例	245
18.2.4 淬火新工艺简介	246
18.2.5 淬火加热缺陷及其防止	248
思考题.....	249
19 钢的其他类型热处理	250
19.1 钢的表面淬火	250
19.1.1 感应加热表面淬火	250
19.1.2 火焰加热表面淬火	251
19.2 钢的化学热处理	254
19.2.1 钢的渗碳	254
19.2.2 钢的渗氮	256
19.2.3 钢的碳氮共渗	257
19.2.4 钢的渗硼	258
19.3 形变热处理	259
思考题.....	260
参考文献	261

0 绪 论

金属材料加工技术是研究金属材料加工工艺的一门综合性学科,包括热加工技术和冷加工技术两部分。其中属于热加工部分的加工工艺有铸造、锻造、焊接、轧制和热处理等,属于冷加工部分的加工工艺有切削加工和冷锻压等。本书只介绍金属材料的热加工工艺。

大多数零件是先用铸造、锻压或焊接等方法制成毛坯,再经过切削加工而成。为了改善金属材料的某些性能,常需对金属进行热处理。

在不同的机械制造行业中,各种金属加工方法所占比例有很大不同,如在压力容器制造和造船业中,焊接工艺是主要的加工方法;机床行业中,铸造工艺是主要的加工方法;家电行业中,锻压又成为主要的加工方法等。

A 铸造

铸造是世界历史上最悠久的加工工艺之一。我国的铸造技术已有近 6000 年的历史,是世界上较早掌握铸造技术的文明古国之一。我国自周朝末年开始就有了铸铁,且铁制农具发展很快;秦、汉以后,我国农田耕作大都使用了铁制农具,如耕地的犁、锄、镰、锹等,表明我国当时已具备有相当先进的铸造生产水平,到宋朝我国已使用铸造铁炮和铸造地雷。2500 多年以前(公元前 513 年)就铸出重达 270kg 的铸铁刑鼎。

从商朝起,我国就已创造了灿烂的青铜文化,所谓“钟鸣鼎食”,成了当时贵族权势和地位的标志。1978 年,湖北省随县曾侯乙墓出土战国早期(距今 2400 年前)最大的编钟组,一套达 64 件之多,编钟分为八组,包括辅件在内用铜达 5t。铸造精巧,钟面铸有变体龙纹和花卉纹饰,有的细如发丝,钟上共铸有错金铭文 2800 多字,标记音名、音律。每钟发两音,一为正鼓音,一为右鼓音。音律准确和谐,音色优美动听,铸造水平极高,可称得上是我国古代青铜铸造的代表作。

我国最大的钟是明朝永乐大钟,现存于北京大钟寺内,铸于明朝永乐年间(公元 1418 ~ 1422 年),全高 6.75m,钟口外径 3.3m,钟唇厚 0.185m,重 46.5t。据考证,钟体铸型为泥范,芯分七段。先铸成钟钮,然后再使钟钮与钟体铸接成一体。钟体的内外铸满经文,约 227000 余字。大钟至今完好,声音幽雅悦耳,声闻数十里,是世界上罕见的古钟之一。我国古代的钟、鼎等文物,有不少是用熔模铸造的,其工艺复杂、铸工精湛、铸件精美,不难看出,我国古代熔模铸造工艺已达到相当高的水平。

新中国成立以来,铸造业的发展取得了辉煌成就。2004 年,我国铸件产量达 2300 万 t,居世界第一位,已经成为我国重要的基础工业之一。近年来,生产出了一些技术难度大的铸件,如三峡水力发电机水轮导叶,每片重 13t;直径 2.6m、长 8m 的大型离心球墨铸铁管;毛坯重 480t、钢液 700t、外形尺寸 15.3m×4.7m×2.2m 的厚板轧机机架;最薄壁厚为 3.5mm 的汽车发动机灰铸铁件等。

计算机的广泛应用正从各方面推动着铸造业的发展和变革,它不仅可以提高生产效率和降低生产成本,同时又能促使新技术和新工艺的不断出现,使铸造生产从主要依靠经验走向科学理论指导生产的阶段。

我国铸造工业的生产规模、铸件的产量、品种等已处于世界前列,今后应继续走优质、高效、低耗、清洁、可持续发展的道路,使我国由铸造大国变为铸造强国。

B 锻压

锻压和冶金工业中的轧制、拔制等都属于塑性加工，或称压力加工，但锻压主要用于生产金属制件，而轧制、拔制等主要用于生产板材、带材、管材、型材和线材等通用性金属材料。

人类在新石器时代末期，已开始以锤击天然红铜来制造装饰品和小用品。我国约在公元前2000多年，已应用冷锻工艺制造工具，如甘肃武威皇娘娘台齐家文化遗址出土的红铜器物，就有明显的锤击痕迹。商代中期用陨铁制造武器，采用了加热锻造工艺。春秋后期出现的块炼熟铁，就是经过反复加热锻造，以挤出氧化物夹杂并成形的。

最初，人们靠抡锤进行锻造，后来出现通过人拉绳索和滑车来提起重锤再自由落下的方法锻打坯料。14世纪以后，出现了畜力和水力落锤锻造。

1842年，英国的内史密斯制成第一台蒸汽锤，使锻造进入应用动力的时代。以后陆续出现锻造水压机、电动机驱动的夹板锤、空气锻锤和机械压力机。夹板锤最早应用于美国内战（1861~1865年）期间，用以模锻武器的零件，随后在欧洲出现了蒸汽模锻锤，模锻工艺逐渐得到推广。到19世纪末，已形成近代锻压机械的基本门类。

20世纪初期，随着汽车开始大量生产，热模锻迅速发展，成为锻造的主要工艺。20世纪中期，热模锻压力机、平锻机和无砧锻锤逐渐取代了普通锻锤，提高了生产率，减小了振动和噪声。随着锻坯少，无氧化加热技术、高精度和高寿命模具、热挤压、成形轧制等新锻造工艺和锻造操作机、机械手以及自动锻造生产线的发展，锻造生产的效率和经济效果不断提高。

锻压可以改变金属组织，提高金属性能。铸锭经过热锻压后，原来的铸态疏松、孔隙、微裂等被压实或焊合；原来的枝状结晶被打碎，使晶粒变细；同时改变了原来的碳化物偏析和不均匀分布，使组织均匀，从而获得内部密实、均匀、细微、综合性能好、使用可靠的锻件。锻件经热锻变形后，金属是纤维组织；经冷锻变形后，金属晶体呈有序性。

未来锻压工艺将向提高锻压件的内在质量、发展精密锻造和精密冲压技术、研制生产率和自动化程度更高的锻压设备和锻压生产线、发展柔性锻压成形系统、发展新型锻压材料和锻压加工方法等方面发展。

提高锻压件的内在质量，主要是提高它们的力学性能（强度、塑性、韧性、疲劳强度）和可靠度。这需要更好地应用金属塑性变形理论，应用内在质量更好的材料，正确进行锻前加热和锻造热处理，更严格和更广泛地对锻压件进行无损探伤。

少、无切削加工是机械工业提高材料利用率，提高劳动生产率和降低能源消耗的最重要的措施和方向。锻坯少、无氧化加热，以及高硬、耐磨、长寿模具材料和表面处理方法的的发展，将有利于精密锻造、精密冲压的扩大应用。

C 焊接

焊接技术是随着金属的应用而出现的，古代的焊接方法主要是铸焊、钎焊和锻焊。中国商朝制造的铁刃铜钺，就是铁与铜的铸焊件，其表面铜与铁的熔合线蜿蜒曲折，接合良好。春秋战国时期曾侯乙墓中的建鼓铜座上有许多盘龙，是分段钎焊连接而成的。经分析，所用的材料与现代软钎料成分相近。

战国时期制造的刀剑、刀刃为钢，刀背为熟铁，一般是经过加热锻焊而成。据明朝宋应星所著《天工开物》一书记载：中国古代将铜和铁一起入炉加热，经锻打制造刀、斧；用黄泥或筛细的陈久壁土撒在接口上，分段锻焊大型船锚。中世纪，在叙利亚大马士革也曾锻焊制造兵器。

古代焊接技术长期停留在铸焊、锻焊和钎焊的水平上，使用的热源都是炉火，温度低、能

量不集中,无法用于大截面、长焊缝工件的焊接,只能用以制作装饰品、简单的工具和武器。

19 世纪初,英国的戴维斯发现电弧和氧乙炔焰两种能局部熔化金属的高温热源;1885 ~ 1887 年,俄国的别纳尔多斯发明碳极电弧焊钳;1900 年,又出现了铝热焊。

20 世纪初,碳极电弧焊和气焊得到应用,同时还出现了薄药皮焊条电弧焊,电弧比较稳定,焊接熔池受到熔渣保护,焊接质量得到提高,使手工电弧焊进入实用阶段,电弧焊从 20 年代起成为一种重要的焊接方法。

在此期间,美国的诺布尔利用电弧电压控制焊条送给速度,制成自动电弧焊机,从而成为焊接机械化、自动化的开端。1930 年,美国的罗宾诺夫发明使用焊丝和焊剂的埋弧焊,焊接机械化得到进一步发展。20 世纪 40 年代,为适应铝、镁合金和合金钢焊接的需要,钨极和熔化极惰性气体保护焊相继问世。

1951 年,苏联的巴顿电焊研究所创造电渣焊,成为大厚度工件的高效焊接法。1953 年,苏联的柳巴夫斯基等人发明二氧化碳气体保护焊,促进了气体保护电弧焊的应用和发展,如出现了混合气体保护焊、药芯焊丝气渣联合保护焊和自保护电弧焊等。

1957 年,美国的盖奇发明等离子弧焊;20 世纪 40 年代德国和法国发明的电子束焊,也在 50 年代得到实用和进一步发展;60 年代又出现激光焊;等离子、电子束和激光焊接方法的出现,标志着高能量密度熔焊的新发展,大大改善了材料的焊接性,使许多难以用其他方法焊接的材料和结构得以焊接。

国家体育场“鸟巢”钢结构焊接工程所涉及的 14 项焊接技术,基本覆盖了建筑钢结构焊接工程的全部焊接技术。同传统焊接技术相比较,在技术和理论上有一定建树和突破,因此代表了当今建筑钢结构焊接技术的发展趋势,具有较大的推广应用价值。

D 轧制

钢材的轧制始于 19 世纪时的德国,当时轧钢机的生产率很低,技术也很落后,不能用板坯来生产钢板,更没有钢板精整设备。进入 20 世纪后,轧钢技术有了飞跃发展,轧钢生产也逐步走向自动化控制。德国的钢材加工设备和技术一直处于世界先进水平。

板带材及型材是在热轧钢材的基础上发展起来的。美国在 1920 年第一次成功地轧制出宽带钢,并很快由单机不可逆轧制跨入单机可逆式轧制,轧钢机的小时生产率得到显著的提高。1926 年,阿姆柯公司巴特勒工厂建成四机架冷连轧机。

1920 年以后,在俄罗斯轧钢受到重视,伊利奇冶金工厂使用四辊式轧机,用单张的热轧板做原料,轧制薄钢板。1938 年,查波罗什工厂开始安装从国外引进的三机架 1680mm 可逆式冷连轧机,生产厚度 0.2 ~ 0.5mm、宽度为 1500mm 的钢板,1951 年独立制造安装了一套 2030mm 全连续式五机架冷连轧机,年产 250 万 t 钢板。20 世纪 50 年代后,由于装备制造业、军事工业和其他部门的需求,冶金工业有了长足的发展,钢铁生产进入世界前列。

日本 1938 年在东洋钢板松下工厂,安装了第一套可逆式冷轧机,使用热轧板卷轧制薄板。1940 年在新日铁建造了第一套四机架 1420mm 冷轧机。之后,钢铁业有了较大进步,轧机的制造精度以及自动化控制逐步进入世界先进水平。20 世纪 60 年代后,开始大量输出设备和技术。

我国 1960 年前已能生产热轧板卷,20 世纪 70 年代开始引进国外先进的连轧机,采用一整套先进的自动化控制系统,由计算机控制实施,轧件在几架轧机上同时轧制,大大提高了生产效率和质量。之后,首先建立了 1700mm 单机可逆式冷轧机,1970 年后期投产了 1700mm 连续式五机架和 2030mm 连续式冷轧机。目前我国投入生产的宽带轧钢机有 35 套,窄带轧钢机有 1000 套。进入新世纪以来,钢铁工业持续增长,2008 年钢材产量达到 58488.1 万 t,可以轧制常见的汽车

板、桥梁钢、锅炉钢、管线钢、螺纹钢、钢筋、电工硅钢、镀锌板、镀锡板等，板带比首次突破40%。由于钢板在整个轧钢产品中居于首要地位，其生产过程也较为复杂，总结钢板生产的实际经验就有重要的意义。从钢板的需求量方面看，在造船业、机车制造业和锅炉制造业中，中板和厚板的应用在逐年增长。在桥梁制造业，重型和特殊机械制造业中，这两种钢板的用量也很多。

总结近几年来轧钢技术的进步，大致归纳为以下几个方面：

(1) 薄板坯连铸连轧生产线建设速度和产能已经位居世界第一。产能达3500万t/年，其中国产化的ASP连铸连轧生产线4条，引进的生产线有10条。这一流程在生产高效化，产品高档化，装备与相关技术自主开发等方面取得了重大进展，使得我国在这一高新技术领域跻身于世界先进行列。

(2) 连续式冷、热连轧已经成为板带生产的主体，酸洗—冷连轧联合机组已成为我国冷连轧机建设的主流，并且在鞍钢首先实现了1780mm酸洗—冷连轧机组的国内独立设计，实现了首条国产化的机组建设。

(3) 连续式棒、线材轧机已成为棒、线材生产的主体，连续式、半连续式棒材和高速线材轧机的数量大为增加，在建筑行业需求的拉动下，棒材和螺纹钢及钢筋的总产量已占钢产量的40%以上。连续式棒、线材轧机制造已基本实现国产化。

先进装备的投产大大提高了轧制产品的尺寸精度和质量。但与发达国家相比，我国仍有一定的差距，主要表现在高附加值产品种类及质量与国际先进水平仍有差距或尚不能生产，需要进口。先进钢铁材料产品所占的比例偏低，劳动生产率偏低；能耗、环境负荷高的问题显著；缺乏原始的技术及自主研发的核心技术。板带材冷、热轧的先进装备及控制技术仍然主要依靠从国外引进，具有自主知识产权的热轧、冷轧中厚板装备与技术的推广应用速度仍然缓慢，因此在轧制技术、设备、产品质量和品种等方面还有很大的提升空间。

E 热处理

热处理工艺在我国已有悠久的历史，其工艺出现在铁器时代，1974年在洛阳出土的战国时代的铁铤、铁铲就是由白口铁脱碳退火制成。我国古人炼钢是采用铸铁脱碳退火并反复锻打进行的，所谓“百炼成钢”。1974年，在河北省易县战国时代燕都遗址出土了大量钢铁兵器，据分析，发现有些兵器在当时曾采用了淬火、正火、渗碳等工艺处理。在西安出土的秦兵马俑佩带的长剑，经分析发现当时已经出现铜合金的复合材料，并且古人还掌握了表面保护处理方法。到西汉时，我国热处理技术已发展到相当水平，除能进行一般的热处理外，还能进行局部热处理、化学热处理如渗碳和碳氮共渗等工艺。

从汉代开始，我国就有热处理工艺技术的文字记载，内容包括一般的淬火技术、淬火介质和渗碳工艺等，几乎涉及热处理技术的各个方面。我国明代科学家宋应星在《天工开物》一书中对渗碳工艺已有详细记载，工艺相当成熟。大量事实证明，我国曾是世界上发展和应用热处理技术最早，而且技艺高超的国家，在当时这是其他国家所不及的。但是长期的封建统治，阻碍了我国科学技术的进步，在相当长的时间里，我国热处理技术的发展处于停滞状态，有的技术甚至失传。直至解放以后，热处理技术在我国才又重新迅速发展起来，并出现了许多新工艺，新设备。但和当代世界先进水平相比，我国的热处理技术仍较落后，还需要广大的热处理工作者积极创新，为祖国的现代化建设做出新的贡献。

在高职高专院校中，金属材料热加工技术是一门专业基础课。学习本课程的主要目的在于，使学生对于常用金属材料零件的加工方法及工艺有一个全面的了解，为以后学习专业课，打下必要的基础。