

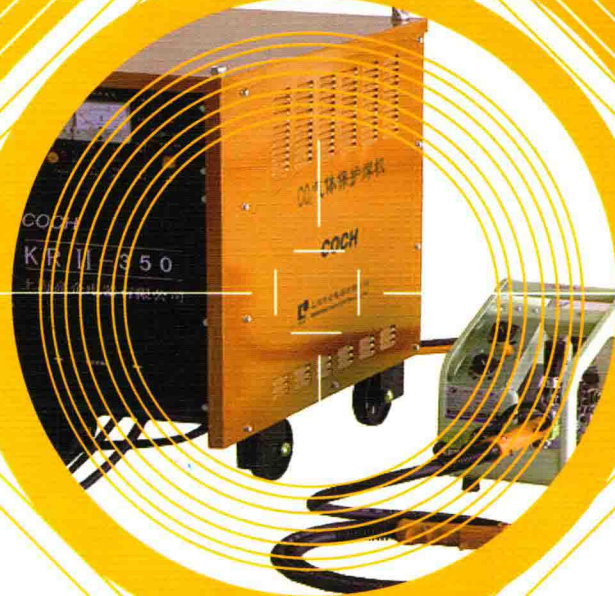


“十二五”职业教育国家规划教材
经全国职业教育教材审定委员会审定

高职高专**机械设计与制造**专业规划教材

金工实习教程 (第3版)

于文强 张丽萍 主 编
范素香 单潇辰 张俊玲 张兆明 副主编
刘元义 主 审



赠送
电子课件

本书特色

- 联合多所高职高专院校的一线实践指导教师和企业工程师编写，分析不同类型工种特点，提出切实可行的实践课题。
- 依据新的国家职业技能鉴定标准编写，有利于学生技能的提升和取得相应的职业技能等级证书，更好地适应高职教育改革的需要。
- 在本版教材中更好地融入了实践项目驱动机制，扩充实践训练项目并附加评分准则和评分记录，使教师能够更方便地按照国家职业技能评价体系对学生的技能项目做出测评。
- 配套资源交流信息平台，实现教学资源开发与共享，共同探讨教学问题、研究教学方法。

清华大学出版社

高职高专机械设计与制造专业规划教材

金工实习教程

(第3版)

于文强 张丽萍 主 编

范素香 单潇辰 张俊玲 张兆明 副主编

清华大学出版社
北 京

内 容 简 介

本书第3版在汲取了各校教学改革经验及广大读者对《金工实习教程》第2版的反馈建议和意见的基础上,修订完善了金属材料热加工和切削加工实习内容。

金工实习是机械设计制造及其相关专业教学计划中必不可少的一项重要的专业实践教学环节,在本书的修订编写过程中,参考了大量机械制造行业的相关规范。在训练项目选题的内容上,依据机械制造专业的教学和行业生产的特点,结合工作过程系统化课程结构所涉及的教育理论,在传统实习教学内容的基础上进行了适当的整合规划。本书以岗位工种作为主体线索依次介绍了钢的热处理与火花鉴别、铸造、锻压、焊接、钳工、车削、铣削、刨拉镗削、磨削、数控机床和电火花加工等内容,充分满足了机械设计制造及其相关专业的实习教学需要。

本书可以作为高等院校机械工程、机电类及其相关专业本科生或专科生的实践教学教材,也可以作为机械制造行业进行培训或职业资格鉴定的参考读物。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

金工实习教程/于文强,张丽萍主编. —3版. —北京:清华大学出版社,2015
(高职高专机械设计与制造专业规划教材)

ISBN 978-7-302-38430-4

I. ①金… II. ①于… ②张… III. ①金属加工—实习—高等职业教育—教材 IV. ①TG-45

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 260750 号

责任编辑:李玉萍 陈立静

封面设计:杨玉兰

责任校对:周剑云

责任印制:李红英

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社总机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

课 件 下 载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62791865

印 刷 者:北京富博印刷有限公司

装 订 者:北京市密云县京文制本装订厂

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:27 字 数:655 千字

版 次:2004 年 8 月第 1 版 2015 年 1 月第 3 版 印 次:2015 年 1 月第 1 次印刷

印 数:1~3000

定 价:48.00 元

产品编号:056735-01

编委会名单

主 任 李诚人 曾宪章

副主任 王平章 李 文 于小平 杨广莉

委 员 (排名不分先后):

于 涛	于小平	王平章	王 晖	王文华
王 培	田莉坤	吴勤保	韩 伟	赵俊武
韩小峰	王 莉	刘华欣	闫华明	李长本
李振东	王华杰	沈 伟	李诚人	李 文
肖调生	陈文杰	杨峻峰	邵东波	林若森
封逸彬	张信群	曾宪章	张玉英	郭爱荣
王晓江	杨永生	刘 航	关雄飞	王丽洁
张爱莲	杨广莉	王晓宏	郭新玲	高宏洋
甄瑞麟	熊 翔	黄红辉	潘建新	熊立武
王立红	于文强	魏 峥	张丽萍	张俊玲
范素香	单潇辰	张兆明	刘元义	程鹏飞
姜化凯	李先雄	南 欢	谢 刚	

序

编写目的

目前,随着教育的不断深入,高等职业教育发展迅速,进入到一个新的历史阶段。高等职业教育的学校规模之大,数量之众,专业设置之广,办学条件之好和招生人数之多,都大大地超过了历史上任何一个时期。然而,作为高职院校核心建设项目之一的教材建设,却远远滞后于高等职业教育发展的步伐,以至于许多高职院校的学生缺乏适用的教材,这势必影响高职院校的教育质量,也不利于高职教育的进一步发展。

目前,高职教材建设面临着新的契机和挑战。

(1) 高等职业教育发展迅猛,相应的教材在编写、出版等环节需要在保证质量的前提下加快步伐,跟上节奏。

(2) 新型人才的需求,对教材提出了更高要求,教材必须充分体现科学性、先进性和实用性。

(3) 高职高专教育自身的特点是强调学生的实践能力和动手能力,教材的取材和-content设置必须满足不断发展的教学需求,突出理论与实践的紧密结合。

(4) 新教材应充分考虑一线教师的教学需要和教学安排,并提供配套的教学资源。

有鉴于此,清华大学出版社在相关主管部门的大力支持下,组织部分高等职业技术学院的优秀教师以及相关行业的工程师,推出了一系列切合当前教育改革需要的、高质量的、面向就业的职业技术实用型教材。

特点

为了完善高等职业技术教育的教材体系,全面提高学生的动手能力、实践能力和职业技术素质,特意聘请有实践经验的高级工程师参与系列教材的编写,采用了一线工程技术人员和在校教师联合编写的模式,使课堂教学与实际操作紧密结合。本系列丛书的特点如下。

(1) 打破以往教科书的编写套路,在兼顾基础知识的同时,强调实用性和可操作性。

(2) 突出概念和应用,相关教材配有上机指导及习题,帮助读者对所学内容进行总结和提高。

(3) 设计了“注意”、“提示”、“技巧”等带有醒目标记的特色段落,使读者更容易得到有益的提示与应用技巧。

(4) 增加了全新的、实用的内容和知识点,并采取由浅入深、循序渐进、层次清楚、步骤详尽的写作方式,突出了实践技能和动手能力。

读者定位

本系列教材针对职业教育,主要面向高职高专院校,同时也适用于同等学力的职业教育和继续教育。本系列教材以三年制高职教育为主,同时也适用于两年制高职教育。

本系列教材的编写和出版是高职教育办学体制和运作机制改革下的产物,在后期的推广使用过程中仍将紧紧跟随职业技术教育发展的步伐,不断汲取新型办学模式、课程改革的思路和方法,为促进职业培训和继续教育的社会需求奉献我们的一分力量。

我们希望通过本系列教材的编写和推广应用,不仅有利于提高职业技术教育的整体水平,而且有助于加快改进职业技术教育的办学模式、课程体系和教学培训方法,形成具有特色的职业技术教育的新体系。

教材编委会

前 言

本次修订是在《金工实习教程》第2版(2010年)的基础上进行的,经过近4年的发行,本书已经广泛被大专院校理工科学生作为生产实习指导教材使用,教学效果反馈优良。书中的实践操作项目丰富且针对性强,工艺分析思路清晰,无论在发行量还是在社会评价方面都取得了显著的成绩,为金工实习的规范、教材体例的创新做出了较大贡献。

本书第3版在汲取了各校教学改革经验及广大读者对《金工实习教程》第2版的反馈建议和意见的基础上,修订完善了金属材料热加工和切削加工实习内容。在本书的编写过程中,参考了大量机械制造行业的有关规范和新标准,规范了名词术语、符号、单位等内容。在实习项目内容的选题上,依据机械设计制造专业的教学和行业生产特点,结合工作过程系统化课程结构所涉及的教育理论,在传统实习教学内容的基础上进行了适当的整合规划。本书以岗位工种作为主体线索,依次介绍了钢的热处理与火花鉴别、铸造、锻压、焊接、钳工、车削、铣削、刨拉镗削、磨削、数控机床加工、电火花加工等内容。

为了更好地适用于专业实践教学,本次修订的特点及思路如下。

(1) 更好地将实践项目驱动机制融入教材,扩充实践训练项目并附加评分准则和评分记录,使教师能够更方便地按照国家职业技能评价体系对学生的技能项目做出测评。

(2) 重点参阅最新的国家职业技能鉴定标准,这将有利于学生技能的提升和取得相应的职业技能等级证书,更好地适应高职教育改革的需要。

(3) 建立资源交流信息平台,实现教学资源开发与共享。《金工实习》省级精品课程网站地址: <http://210.44.176.183/jgsx/index.html>。

(4) 联合多所高职院校的一线实践教学指导教师和企业工程师,分析车、铣、刨、磨、钳、锻、焊、热处理等不同类型工种特点,提出切实可行的实践课题,侧重技能和工艺问题的解决。

(5) 本书创建QQ群:39024033,用于专业教师及同行探讨问题、研究教学方法、交流教学资源,同时为本书提供课件下载。

本书由山东理工大学于文强、潍坊工程职业学院张丽萍担任主编,华北水利水电大学范素香、山东钢铁股份有限公司莱芜分公司能源动力厂单潇辰、淄博市技术学院张俊玲、滨州市技师学院张兆明担任副主编;山东理工大学程鹏飞、姜化凯参加了本书的编写工作,书稿在编写过程中还得到了各兄弟院校众多专业老师的帮助和支持,在此表示感谢!

全书由山东理工大学刘元义教授担任主审工作。在教材的编写校对过程中,山东理工大学雷岩同学完成了大量的文字和图表处理任务,全体编写成员在此深表谢意。

由于编者水平有限,书中不足之处在所难免,恳请广大读者批评指正,作者邮箱: yju2000@126.com。

编 者

目 录

第 1 章 钢的热处理与火花鉴别 1

1.1 钢的热处理.....2

1.1.1 钢的退火和正火.....2

1.1.2 淬火和回火.....4

1.1.3 钢的表面热处理.....5

1.1.4 热处理设备.....7

1.1.5 专项技能训练课题.....10

1.2 钢材的火花鉴别.....11

1.2.1 火花鉴别法常用的设备 及操作方法.....11

1.2.2 火花的组成和名称.....11

1.2.3 碳钢火花的特征.....13

1.2.4 专项技能训练课题.....14

1.3 实践中常见问题的解析.....15

1.3.1 过热与过烧.....15

1.3.2 氧化与脱碳.....16

1.3.3 变形与开裂.....17

1.4 拓展训练.....18

1.4.1 车床主轴的热处理工艺.....18

1.4.2 圆拉刀的热处理工艺.....19

1.4.3 汽车变速箱齿轮的渗碳 热处理工艺.....21

1.5 热处理操作安全规范.....24

1.5.1 热处理工人的一般安全规范.....24

1.5.2 盐浴炉操作安全规范.....24

1.5.3 箱式电阻炉和井式电阻炉 操作安全规范.....25

1.5.4 气体渗氮热处理操作安全 规范.....25

1.5.5 感应加热表面淬火热处理操作 安全规范.....25

1.5.6 火焰加热表面淬火热处理操作 安全规范.....26

本章小结.....26

思考与练习.....26

第 2 章 铸造.....27

2.1 砂型铸造.....27

2.1.1 常用造型工模具28

2.1.2 造型材料33

2.1.3 造型和造芯方法35

2.1.4 浇注与熔炼39

2.1.5 落砂和清理42

2.1.6 专项技能训练课题44

2.2 特种铸造工艺.....46

2.2.1 金属型铸造46

2.2.2 压力铸造48

2.2.3 低压铸造49

2.2.4 离心铸造50

2.2.5 熔模铸造50

2.2.6 专项技能训练课题52

2.3 实践中常见问题的解析.....53

2.3.1 铸造缺陷分析53

2.3.2 铸件缺陷鉴别55

2.4 拓展训练.....57

2.4.1 支承轮刮板造型57

2.4.2 压力机飞轮60

2.5 铸造操作安全规范.....63

本章小结.....64

思考与练习.....64

第 3 章 锻压.....66

3.1 锻造.....67

3.1.1 自由锻与胎模锻67

3.1.2 模锻74

3.1.3 专项技能训练课题79

3.2 冲压.....82

3.2.1	冲压设备.....	82	4.4.4	咬边	136
3.2.2	冲模结构与冲压基本工序.....	84	4.4.5	未焊透	137
3.2.3	专项技能训练课题.....	86	4.4.6	未熔合	137
3.3	实践中常见问题的解析.....	87	4.4.7	夹渣	138
3.3.1	材料加热缺陷及其防止措施.....	87	4.4.8	焊瘤	138
3.3.2	自由锻件的缺陷及其产生原因.....	88	4.4.9	塌陷	139
3.3.3	模锻件的缺陷及其产生原因.....	88	4.4.10	凹坑	139
3.3.4	常见冲压件废品和缺陷的主要形式及产生的原因.....	89	4.4.11	烧穿	139
3.4	拓展训练.....	90	4.4.12	夹钨	140
3.5	锻压操作安全规范.....	96	4.5	拓展训练.....	140
3.5.1	自由锻实训的安全技术.....	96	4.5.1	骑座式管板角接手弧焊	140
3.5.2	模锻实训的安全技术.....	97	4.5.2	小管径对接手工钨极氩弧焊	142
3.5.3	冲压实习的安全技术.....	97	4.5.3	中厚板对接 CO ₂ 气体保护焊	144
本章小结.....		97	4.5.4	中厚板对接埋弧焊	145
思考与练习.....		98	4.6	焊接操作安全规范.....	147
第4章 焊接.....		99	4.6.1	电弧焊操作安全规范	147
4.1	手工电弧焊.....	99	4.6.2	气焊气割操作安全规范	148
4.1.1	焊接设备与焊接材料.....	99	本章小结.....		148
4.1.2	常用焊接工具.....	104	思考与练习.....		149
4.1.3	焊接工艺.....	105	第5章 钳工.....		150
4.1.4	焊接方法与操作.....	108	5.1	划线.....	150
4.1.5	专项技能训练课题.....	112	5.1.1	划线工具及使用	150
4.2	气焊与气割.....	115	5.1.2	划线操作	156
4.2.1	设备与工具.....	116	5.1.3	专项技能训练课题	159
4.2.2	气焊的焊接工艺与操作.....	119	5.2	锯、锉、錾削.....	160
4.2.3	气割原理与操作.....	121	5.2.1	锯削	160
4.2.4	专项技能训练课题.....	123	5.2.2	锉削	163
4.3	其他焊接方法.....	123	5.2.3	錾削	168
4.3.1	埋弧自动焊.....	123	5.2.4	专项技能训练课题	174
4.3.2	气体保护焊.....	125	5.3	钻、扩、铰、铰孔加工.....	175
4.3.3	压焊与钎焊.....	127	5.3.1	加工设备	175
4.3.4	专项技能训练课题.....	131	5.3.2	钻孔与扩孔、铰孔、铰孔操作	180
4.4	实践中常见问题的解析.....	134	5.3.3	专项技能训练课题	182
4.4.1	焊缝表面尺寸不符合要求.....	134	5.4	攻丝和套丝.....	184
4.4.2	焊接裂纹.....	134	5.4.1	攻丝和套丝的工具	184
4.4.3	气孔.....	136			

5.4.2 攻丝和套丝的操作.....	186	6.1.4 专项技能训练课题.....	224
5.4.3 专项技能训练课题.....	187	6.2 槽的加工和工件的切断.....	225
5.5 刮削与研磨.....	188	6.2.1 刀具与切削参数.....	226
5.5.1 刮削用工具.....	189	6.2.2 槽的车削和切断方法.....	229
5.5.2 刮削操作.....	191	6.2.3 专项技能训练课题.....	233
5.5.3 研具与研磨剂.....	193	6.3 螺纹与圆锥面车削.....	234
5.5.4 平面的研磨方法.....	195	6.3.1 设备与刀具.....	234
5.5.5 专项技能训练课题.....	196	6.3.2 螺纹的车削与测量.....	237
5.6 校正与弯曲.....	197	6.3.3 圆锥车削加工方法.....	243
5.6.1 手工校正工具.....	197	6.3.4 专项技能训练课题.....	251
5.6.2 校正的基本方法.....	198	6.4 偏心与特型面的加工.....	253
5.6.3 弯曲前毛坯尺寸计算.....	199	6.4.1 偏心车削加工方法.....	253
5.6.4 弯形的方法.....	201	6.4.2 特型面的车削方法.....	258
5.6.5 专项技能训练课题.....	202	6.4.3 专项技能训练课题.....	262
5.7 实践中常见问题的解析.....	203	6.5 实践中常见问题的解析.....	263
5.7.1 锯条损坏、锯削质量问题 及产生原因分析和预防.....	203	6.5.1 外圆车削加工的注意事项.....	263
5.7.2 铣削质量问题及产生原因 分析.....	203	6.5.2 平面车削的注意事项.....	263
5.7.3 钻孔质量问题及原因.....	204	6.5.3 孔加工的常见问题.....	264
5.7.4 刮削质量问题及产生原因 分析.....	204	6.5.4 圆锥车削加工容易产生的问题 和注意事项.....	265
5.8 拓展训练.....	205	6.5.5 车螺纹时的注意事项.....	265
5.8.1 燕尾配合件制作.....	205	6.5.6 偏心车削加工的注意事项.....	265
5.8.2 铣削项目训练.....	206	6.5.7 滚花加工注意事项.....	266
5.8.3 铰孔、铰孔项目训练.....	206	6.6 拓展训练.....	266
5.9 钳工操作安全规范.....	207	6.6.1 球状手柄加工.....	266
5.9.1 钻床安全操作规程.....	207	6.6.2 螺纹车削项目.....	267
5.9.2 钳工常用工具安全操作 规程.....	207	6.7 车工操作安全规范.....	267
5.9.3 设备维修安全技术规程.....	209	6.7.1 人身安全注意事项.....	267
本章小结.....	209	6.7.2 设备安全注意事项.....	268
思考与练习.....	210	本章小结.....	268
第6章 车削加工.....	211	思考与练习.....	269
6.1 内、外圆与端面的车削.....	211	第7章 铣削加工.....	270
6.1.1 设备与工具.....	211	7.1 平面铣削.....	270
6.1.2 外圆与端面车削方法.....	219	7.1.1 设备与刀具.....	271
6.1.3 内圆表面加工方法.....	221	7.1.2 平面铣削方法.....	274
		7.1.3 专项技能训练课题.....	278
		7.2 铣斜面.....	280
		7.2.1 附件与刀具.....	280



7.2.2 斜面铣削方法.....	281	8.2 镗削加工.....	317
7.2.3 专项技能训练课题.....	282	8.2.1 镗削设备与刀具	317
7.3 直角沟槽、键槽和阶台的铣削.....	283	8.2.2 镗削操作	319
7.3.1 切削用量与刀具.....	283	8.2.3 专项技能训练课题	323
7.3.2 直角沟槽、键槽和阶台的铣削 工艺与方法.....	284	8.3 实践中常见问题的解析.....	324
7.3.3 专项技能训练课题.....	288	8.3.1 刨平面中常出现的问题 及解决方法	324
7.4 圆柱齿轮铣削.....	290	8.3.2 镗削加工时应避免出现的 问题	326
7.4.1 齿轮成型的方法与加工 机床.....	291	8.4 拓展训练.....	326
7.4.2 成型法铣直齿圆柱齿轮的 齿形.....	292	8.4.1 刨削轴上键槽	326
7.4.3 专项技能训练课题.....	293	8.4.2 阀体镗削实例	328
7.5 实践中常见问题的解析.....	295	8.5 刨削、镗削加工操作安全规范.....	329
7.5.1 平面和斜面铣削的质量 分析.....	295	8.5.1 刨削操作安全规范	329
7.5.2 铣削阶台、直角沟槽的质量 分析.....	296	8.5.2 镗削操作安全规范	330
7.5.3 铣削直齿圆柱齿轮的质量 分析.....	297	本章小结.....	330
7.5.4 铣削斜齿圆柱齿轮的质量 分析.....	297	思考与练习.....	330
7.5.5 提高铣削加工平面质量的 途径.....	297	第9章 磨削加工	332
7.6 拓展训练.....	298	9.1 平面磨削.....	332
7.6.1 铣角度面.....	298	9.1.1 平面磨床	332
7.6.2 铣削外花键.....	299	9.1.2 砂轮的特征要素	334
7.7 铣工操作安全规范.....	300	9.1.3 平面磨削操作	337
7.7.1 安全技术.....	300	9.1.4 专项技能训练课题	338
7.7.2 铣床安全操作规程.....	301	9.2 外圆磨削.....	339
7.7.3 文明生产.....	301	9.2.1 外圆磨削设备	339
本章小结.....	302	9.2.2 外圆磨削操作	340
思考与练习.....	302	9.2.3 专项技能训练课题	342
第8章 刨、拉、镗削加工.....	304	9.3 内圆磨削.....	343
8.1 刨削加工.....	304	9.3.1 内圆磨削设备	343
8.1.1 刨削插削设备与刀具.....	304	9.3.2 内圆磨削操作	344
8.1.2 刨削操作.....	309	9.3.3 专项技能训练课题	345
8.1.3 拉削简介.....	314	9.4 实践中常见问题的解析.....	345
8.1.4 专项技能训练课题.....	315	9.4.1 平面磨削常见缺陷产生的 原因	345
		9.4.2 外圆磨削常见缺陷产生的 原因	347
		9.4.3 内圆磨削常见缺陷产生的 原因	350

9.5 拓展训练.....	351	本章小结.....	385
9.5.1 薄阀片磨削.....	351	思考与练习.....	385
9.5.2 连杆双端面磨削.....	352	第 11 章 电火花加工.....	387
9.5.3 精密细长轴磨削.....	352	11.1 数控电火花加工.....	387
9.5.4 薄壁套零件的磨削.....	353	11.1.1 电火花加工原理.....	387
9.6 磨工操作安全规范.....	354	11.1.2 电火花加工设备.....	388
本章小结.....	355	11.1.3 电火花成型加工的操作.....	390
思考与练习.....	355	11.1.4 专项技能训练课题.....	392
第 10 章 数控机床加工.....	357	11.2 数控线切割加工.....	393
10.1 数控铣削加工.....	357	11.2.1 数控线切割加工设备.....	393
10.1.1 数控铣床概述.....	357	11.2.2 数控线切割加工的操作.....	394
10.1.2 数控铣床坐标系.....	358	11.2.3 专项技能训练课题.....	396
10.1.3 数控铣床编程基础.....	361	11.3 实践中常见问题的解析.....	398
10.1.4 专项技能训练课题.....	364	11.3.1 电火花成型加工质量分析.....	398
10.2 数控车削加工.....	368	11.3.2 线切割加工质量分析.....	398
10.2.1 数控车床概述.....	368	11.4 拓展训练.....	398
10.2.2 数控车床坐标系.....	371	11.4.1 电机转子冲孔落料模的	
10.2.3 数控车削加工中的装刀		电火花加工.....	398
与对刀.....	372	11.4.2 半圆形孔样板切割.....	400
10.2.4 数控车床编程基础.....	373	11.5 操作安全规范.....	400
10.2.5 专项技能训练课题.....	376	本章小结.....	401
10.3 实践中常见问题的解析.....	377	思考与练习.....	401
10.3.1 数控加工质量分析.....	377	附录 常用计量器具.....	402
10.3.2 螺纹加工常见问题解析.....	378	附录 A 游标卡尺.....	402
10.3.3 数控机床常见故障排除.....	378	附录 B 千分尺.....	403
10.4 拓展训练.....	379	附录 C 百分表及杠杆百分表.....	405
10.4.1 UG NX 数控车削锥孔零件		附录 D 内径百分表.....	407
实例.....	379	附录 E 万能角度尺.....	408
10.4.2 UG NX 平面铣削加工		附录 F 塞规及卡规.....	411
实例.....	382	附录 G 量块.....	413
10.5 操作安全规范.....	384	参考文献.....	417
10.5.1 数控机床的安全操作.....	384		
10.5.2 数控机床使用注意事项.....	385		

第 1 章 钢的热处理与火花鉴别

学习要点

本章介绍钢材的退火、正火、淬火、回火以及表面热处理和钢材火花鉴别的方法，同时对热处理常用设备进行扼要讲解，对热处理在实践中常见的问题和缺陷原因进行深入剖析；重点介绍淬火、回火等热处理工艺，并通过工程实例介绍常见零件的热处理工艺规程。

技能目标

通过本章热处理项目的技能操作训练，掌握基本的热处理方法。

钢的热处理是指将钢在固态下，通过加热、保温和冷却，以获得预期组织和性能的工艺。热处理与其他加工方法(如铸造、锻压、焊接和切削加工等)不同，它只改变金属材料的组织和性能，而不以改变其形状和尺寸为目的。

知识链接：含碳量 $W_c < 2.11\%$ 的铁碳合金称为钢，按化学成分可分为碳素钢和合金钢；含碳量 $W_c > 2.11\%$ 的铁碳合金称为铸铁，根据碳的存在形式不同，可将铸铁分为白口铸铁和灰口铸铁两大类。

热处理的作用日趋重要，因为现代机器设备对金属材料的性能不断地提出新的要求。热处理可以提高零件的强度、硬度、韧性及弹性等，同时还可以改善毛坯或原材料的切削加工性能，使之易于加工。可见，热处理是改善金属材料工艺性能、保证产品质量、延长使用寿命和挖掘材料潜力不可缺少的工艺方法。据统计，在机床制造中，热处理件占 60%~70%；在汽车、拖拉机制造中，热处理件占 70%~80%；在刀具、模具和滚动轴承制造中，几乎全部零件都需要进行热处理。

热处理的工艺方法很多，大致可分为以下 3 大类。

(1) 普通热处理：包括退火、正火、淬火、回火等。

(2) 表面热处理：包括表面淬火和化学热处理(如渗碳、氮化等)。

(3) 特殊热处理：包括形变热处理和磁场热处理等。

各种热处理都可以用温度、时间为坐标的热处理工艺曲线来表示，如图 1-1 所示。

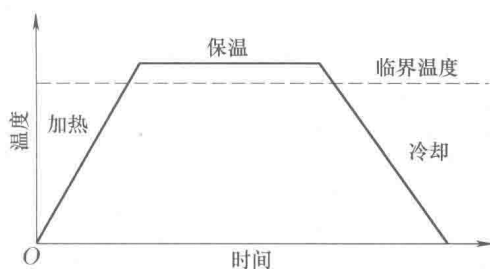


图 1-1 热处理工艺曲线示意图

1.1 钢的热处理

1.1.1 钢的退火和正火

退火和正火是生产中应用广泛的预备热处理工艺,安排在铸造、锻造之后,切削加工之前,用以消除前一道工序所带来的某些缺陷,为随后的工序做准备。例如,经铸造、锻造等热加工以后,工件中往往存在残余应力,硬度偏高或偏低,组织粗大,成分偏析等缺陷,这样的工件其力学性能低劣,不利于切削加工成型,淬火时也容易造成变形和开裂。经过适当的退火或正火处理,可以消除工件的内应力,调整工件的硬度,以改善切削加工性能,使组织细化、成分均匀,从而改善工件的力学性能并为随后的淬火做准备。对于一些受力不大、性能要求不高的机器零件,也可做最终热处理。

知识链接: 硬度是指金属材料抵抗比它更硬的物体压入其表面的能力。常用的硬度指标有布氏硬度和洛氏硬度。

① 布氏硬度。布氏硬度的测定方法是,用一定的载荷将直径为 D 的淬硬钢球压入被测金属的表面,保持规定的时间后,卸除载荷,测出金属表面上的凹痕直径后,从硬度换算表上查出布氏硬度值。布氏硬度用 HBS 表示。

② 洛氏硬度。洛氏硬度的测定方法是,用一定的载荷将顶角为 120° 的金刚石圆锥或直径为 1.588mm 的淬硬钢球压入被测表面,通过凹痕深度来确定硬度值。硬度值直接从硬度计的刻度盘上读出,非常方便。洛氏硬度用 HRA、HRB 或 HRC 表示,常用的为 HRC。

1. 退火

退火是指将钢加热、保温,然后随炉或埋入导热能力较差的介质(如灰)中,使其缓慢冷却的热处理工艺。由于退火的具体目的不同,其具体工艺方法有多种,常用的有以下几种。

(1) 完全退火:完全退火是将亚共析钢加热到铁素体向奥氏体转变的实际临界温度 Ac_3 以上 $30\sim 50^\circ\text{C}$,保温后缓慢冷却,以获得接近平衡状态的组织。完全退火主要用于铸钢件和重要锻件。因为铸钢件在铸态下晶粒粗大,塑性、韧性较差,锻件因锻造时变形不均匀,致使晶粒和组织不均,且存在内应力。完全退火可以改善铸钢和锻件的组织状态,还可降低硬度,改善切削加工性。

完全退火的原理是:钢件被加热到 Ac_3 以上时,呈完全奥氏体化状态,由于初始形成的奥氏体晶粒非常细小,缓慢冷却时,通过“重结晶”使钢件获得细小晶粒,并消除了内应力。必须指出,应严格控制加热温度,防止温度过高,否则奥氏体晶粒将会急剧增大。

(2) 球化退火:球化退火主要用于过共析钢件。过共析钢经过锻造以后,其珠光体晶粒粗大,且存在少量二次渗碳体,致使钢的硬度高、脆性大,进行切削加工时易磨损刀具,且淬火时容易产生裂纹和变形。

球化退火时,将钢加热到珠光体向奥氏体转变的实际临界温度 Ac_1 以上 $20\sim 30^\circ\text{C}$,此

时,初始形成的奥氏体内及其晶界上尚有少量未完全溶解的渗碳体,在随后的冷却过程中,奥氏体经共析反应析出的渗碳体以未熔渗碳体为核心,呈球状析出,分布在铁素体基体之上,这种组织称为“球化体”。它是人们对淬火前过共析钢最期望的组织,因为车削片状珠光体时容易磨损刀具,球化体的硬度低,从而减少刀具磨损。必须指出,对二次渗碳体呈严重网状的过共析钢,在球化退火前应先进行正火,以打碎渗碳体网。

(3) 去应力退火:去应力退火是指将钢加热到 $500\sim 650^{\circ}\text{C}$,保温后缓慢冷却。由于加热温度低于临界温度,因此钢未发生组织转变。去应力退火主要用于部分铸件、锻件及焊接件,也可用于做切削加工时的精密零件,使其通过原子扩散及塑性变形消除内应力,防止钢件产生变形。

知识链接: 塑性是指金属材料仅产生塑性变形而不断裂的能力。常用的指标有伸长率 δ 和断面收缩率 ψ 。 ψ 和 δ 值越大,说明材料的塑性越好;反之,则塑性越差。钢和有色金属的塑性较好,而铸铁的塑性很差。

2. 正火

正火是指将钢加热到铁素体向奥氏体转变的实际临界温度 A_{c3} 以上 $30\sim 50^{\circ}\text{C}$ (亚共析钢)或渗碳体向奥氏体转变的实际临界温度 A_{cm} 以上 $30\sim 50^{\circ}\text{C}$ (过共析钢),保温后在空气中冷却的热处理工艺。

正火和完全退火的作用相似,也是将钢加热到奥氏体区,使钢进行重结晶,从而解决铸钢件、锻件的晶粒粗大和组织不均等问题。但正火比退火的冷却速度稍快,形成了索氏体组织。索氏体比珠光体的强度、硬度稍高,但韧性并未下降。

正火主要用于以下几种情况。

(1) 取代部分完全退火。正火是在炉外冷却,占用设备时间短、生产率高,故应尽量用正火取代退火(如低碳钢和含碳量较低的中碳钢)。必须看到,含碳量较高的钢,正火后硬度过高,使切削加工性变差,且正火难以消除内应力。因此,中碳合金钢、高碳钢及复杂件仍以退火为宜。

(2) 用于普通结构件的最终热处理。

(3) 用于过共析钢,以减少或消除二次渗碳体呈网状析出。

如图 1-2 所示为几种退火和正火的加热温度范围示意图。

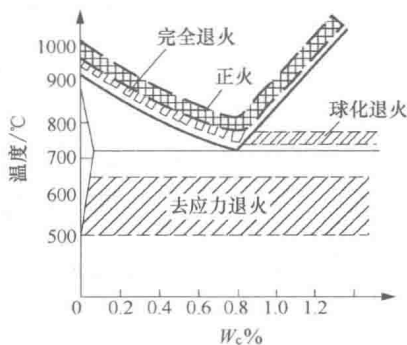


图 1-2 几种退火和正火的加热温度范围

知识链接: 冲击韧度是指金属材料抵抗冲击载荷作用而不破坏的能力。不少机械零件如活塞销、冲模、锻模等是在冲击载荷的作用下工作的,对于这类工件,必须考虑它们在冲击载荷作用下的性能,即冲击韧度。冲击韧度常用一次摆锤冲击试验机测定。其测定方法是,将被测的金属材料制成带缺口的标准试样,用摆锤将试样一次冲断,以试样破断所消耗的功(单位为 J)除以试样缺口处的截面积(单位为 cm^2)来表示冲击韧度值,用 α_k 表示。

1.1.2 淬火和回火

淬火和回火是强化钢最常用的工艺。通过淬火,再配以不同温度的回火,可以使钢获得所需的力学性能。

1. 淬火

淬火是指将钢加热到 A_{c3} 或 A_{c1} 以上 $30\sim 50^\circ\text{C}$ (见图 1-3),保温后在淬火介质中快速冷却,以获得马氏体组织的热处理工艺。淬火的目的是提高钢的强度、硬度和耐磨性。淬火是钢件强化最经济有效的方法之一。

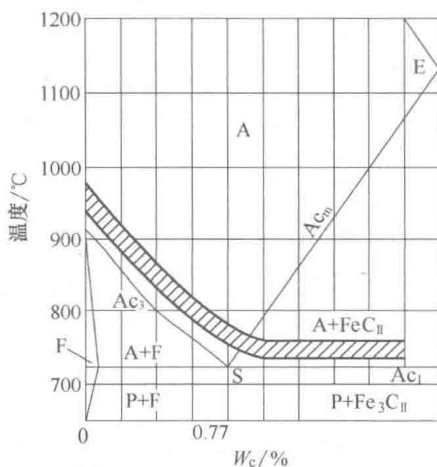


图 1-3 碳钢的淬火加热温度范围

知识链接: 强度是指金属材料在外力的作用下,抵抗塑性变形和断裂破坏的能力。常用的强度指标有屈服极限和强度极限两种。

- ① 屈服极限: 金属材料在外力作用下,刚开始出现塑性变形时的应力,用 σ_s 表示。
- ② 强度极限: 金属材料在拉断前所能承受的最大应力,用 σ_b 表示。

由于马氏体形成的过程伴随着体积膨胀,造成淬火件产生了内应力,而马氏体组织的脆性通常又较大,这使得钢件在淬火时容易产生裂纹或变形。为防止上述淬火缺陷的产生,除应选用适合的钢材和正确的结构外,在工艺上还应采取如下措施。

(1) 严格控制淬火加热温度。对于亚共析钢,若淬火加热温度不足,会因未能完全形成奥氏体,致使淬火后的组织中除马氏体外,还残存少量铁素体,使钢的硬度不足;若加

热温度过高, 会因奥氏体晶粒长大, 淬火后的马氏体组织也粗大, 增加钢的脆性, 致使钢件裂纹和变形的倾向加大。对于过共析钢, 若超过图 1-3 所示的温度, 不仅会使钢的硬度并未增加, 而且会使裂纹、变形倾向加大。

(2) 合理选择淬火介质, 使其冷却速度略大于临界冷却速度 V_k 。淬火时钢的快速冷却是依靠淬火介质来实现的。水和油是最常用的淬火介质: 水的冷却速度大, 使钢件易于获得马氏体, 其主要用于碳素钢; 油的冷却速度较水慢, 用它淬火钢件的裂纹、变形倾向小。合金钢因淬透性较好, 以在油中淬火为宜。

(3) 正确选择淬火方法。生产中最常用的是单介质淬火法, 它是在一种淬火介质中连续冷却到室温, 由于操作简单, 便于实现机械化和自动化生产, 故应用最广。对于容易产生裂纹、变形的钢件, 有时采用先水后油双介质淬火法或分级淬火等其他淬火法。

2. 回火

将淬火的钢重新加热到 A_{c1} 以下某温度, 保温后冷却到室温的热处理工艺, 称为回火。回火的主要目的是消除淬火内应力, 以降低钢的脆性, 防止产生裂纹, 同时也使钢获得所需的力学性能。

淬火所形成的马氏体是在快速冷却的条件下被强制形成的不稳定组织, 因此具有重新转变成稳定组织的自发趋势。回火时, 由于被重新加热, 原子的活动能力加强, 所以随着温度的升高, 马氏体中过饱和碳将以碳化物的形式析出。总的趋势是回火温度愈高, 析出的碳化物愈多, 钢的强度、硬度下降, 而塑性、韧性升高。

根据回火温度的不同(参见 GB/T 7232—1999), 可将钢的回火分为以下 3 种。

(1) 低温回火(250°C 以下): 目的是降低淬火钢的内应力和脆性, 但基本保持淬火所获得的高硬度($56\sim 64\text{ HRC}$)和高耐磨性。淬火后低温回火用途最广, 如各种刀具、模具、滚动轴承和耐磨件等。

(2) 中温回火($250\sim 500^{\circ}\text{C}$): 目的是使钢获得高弹性, 保持较高硬度($35\sim 50\text{ HRC}$)和一定的韧性。中温回火主要用于弹簧、发条和锻模等。

(3) 高温回火(500°C 以上): 淬火并高温回火的复合热处理工艺称为调质处理。它广泛地应用于承受循环应力的中碳钢重要件, 如连杆、曲轴、主轴、齿轮和重要螺钉等。调质后的硬度为 $20\sim 35\text{ HRC}$ 。这是由于调质处理后其渗碳体呈细粒状, 与正火后的片状渗碳体组织相比, 在载荷作用下不易产生应力集中, 从而使钢的韧性显著提高。因此经调质处理的钢可获得强度及韧性都较好的综合力学性能。

1.1.3 钢的表面热处理

机械中的许多零件都是在弯曲和扭转等交变载荷、冲击载荷的作用或强烈摩擦的条件下工作的, 如齿轮、凸轮轴和机床导轨等, 要求金属表层具有较高的硬度以确保其耐磨性和抗疲劳强度, 而心部具有良好的塑性和韧度以承受较大的冲击载荷。为满足零件的上述要求, 生产中采用了一种特定的热处理方法, 即表面热处理。

表面热处理可分为表面淬火和化学热处理两大类。