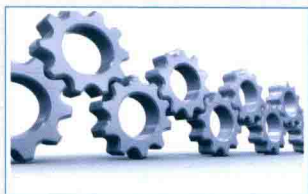


普通高等学校规划教材



杨 钢◎主 编

李 敏◎副主编

Jixie Gongcheng

Xunlian Yu Shijian

机械工程 训练与实践



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

普通高等学校规划教材

机械工程训练与实践

杨 钢 主 编
李 敏 副主编



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

内 容 提 要

本书以教育部高等学校工程训练教学指导委员会的最新指导精神和教育部颁发的“金工实习教学基本要求”为指导,并结合作者和各院校多年的教学经验编写而成。全书由切削加工基础与普通加工、数控加工、材料成型、特种加工与产品检测四篇,共 20 章组成,基本涵盖了工程训练和金工实习教学的所有内容。

本教材可作为高等学校本科机械类、近机械类和非机械类专业的工程训练教材,也可作为专科和高职院校的金工实习教材,各学校在使用本教材时可根据各专业要求和自身设备情况进行调整。本书还可作为有关工程技术人员和技术工人的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

机械工程训练与实践 / 杨钢主编. — 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2018.8

ISBN 978-7-114-14787-6

I. ①机… II. ①杨… III. ①机械制造工艺—高等学校—教材 IV. ①TH16

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 121805 号

书 名: 机械工程训练与实践

著 作 者: 杨 钢

责任编辑: 钱悦良

责任校对: 刘 芹

责任印制: 张 凯

出版发行: 人民交通出版社股份有限公司

地 址: (100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街 3 号

网 址: <http://www.ccpres.com.cn>

销售电话: (010)59757973

总 经 销: 人民交通出版社股份有限公司发行部

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京印匠彩色印刷有限公司

开 本: 787×1092 1/16

印 张: 25.25

字 数: 598 千

版 次: 2018 年 8 月 第 1 版

印 次: 2018 年 8 月 第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-14787-6

定 价: 56.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书由本公司负责调换)



前言

“教育回归工程,教学回归实践”已成为国际高等工程教育改革发展的共识,各国都在探索符合自身国情的改革道路和对策。

工程训练中心是以综合性为特点的工程实践性教学基地,工程训练是高校工程人才培养的重要实践教学环节,是给大学生以工程实践、工业制造和工程文化教育及体验的场所,具有实用性、综合性、开放性和广阔性。2013年5月,我国教育部正式组建高等学校工程训练教学指导委员会,这就意味着工程训练在高校教育教学活动中已进入了与理论教学同等重要的地位。

为了适应科学技术的发展和由传统的金工实习向工程训练转换,我们编写了本书。全书各章节除了编写必要的理论知识外,更加注重实践的安全操作与创新能力的培养,而且加强了各工种间的联系。

全书由切削加工基础与普通加工(工程材料基础、切削加工基础知识、车削加工、钳工及装配、铣削、刨削、磨削)、数控加工(数控车床、数控铣及加工中心)、材料成型(铸造、折弯机、液压机、冲压机、注塑机、焊接)、特种加工与产品检测(线切割、数控电火花、激光加工、3D打印技术、三坐标测量机)四篇共20章组成,有助于学生建立大工程意识和理论与实践知识的融合。

本教材的第1~10章、第17章由重庆交通大学杨钢编写,第11~16章、第18~20章由重庆交通大学李敏编写。杨钢任主编,李敏任副主编,全书由刘梅负责

校对。

本书引用了相关优秀教材的部分内容,在此表示衷心感谢。由于编者的经验和水平有限,书中难免有欠妥或疏漏之处,恳请广大读者批评指正,以便再版时修改和完善。

编者

2018年4月

目 录

第一篇 切削加工基础与普通加工

第1章 工程材料基础	1
1.1 常用金属材料及其性能简介	1
1.2 钢的热处理简介	5
第2章 切削加工基础知识	8
2.1 切削加工概述	8
2.2 切削加工的基本术语和定义	9
2.3 刀具材料	11
2.4 常用量具	12
2.5 零件机械加工流程	28
2.6 切削加工质量评价	29
第3章 车削加工	30
3.1 车工概述	30
3.2 车床的基本操作方法与注意事项	35
3.3 车工的常见装夹方法与主要附件	42
3.4 车削加工的常用方法与操作技巧	49
3.5 车工技能综合训练	63
普通车工安全操作规程	67
第4章 钳工及装配	68
4.1 钳工基本知识	68

4.2	划线	71
4.3	锯削与錾削	75
4.4	锉削	80
4.5	钻孔与攻丝	86
4.6	钳工装配	93
4.7	钳工技能综合训练	97
4.8	钳工创新训练	102
	钳工安全操作规程	102
第5章	铣削	104
5.1	铣削加工的工作特点和基本内容	104
5.2	铣床基本知识	106
5.3	铣刀基本知识	112
5.4	铣床常用附件	113
5.5	铣削技能综合训练	115
5.6	铣工创新训练	118
	铣削安全操作规程	119
第6章	刨削	120
6.1	刨削基本知识	120
6.2	牛头刨床的操作与刨平面	124
6.3	刨削技能综合训练	126
6.4	刨工创新训练	129
	刨削安全操作规程	129
第7章	磨削	130
7.1	概述	130
7.2	磨外圆	135
7.3	磨平面	137
	磨床安全操作规程	140

第二篇 数控加工

第8章	数控车床	142
8.1	数控车削概述	142
8.2	数控车床编程基础	147

8.3 数控车床工艺基础	155
8.4 华中数控系统(HNC-21T)介绍	160
8.5 典型数控车床零件工艺分析及编程	166
8.6 数控车工创新训练	172
数控车床安全操作规程	173
第9章 数控铣及加工中心	174
9.1 数控铣及加工中心生产工艺过程、特点和加工范围	174
9.2 数控系统及编程基础	185
9.3 数控铣削加工工艺的制订	189
9.4 数控铣床及加工中心基本操作	203
9.5 典型零件的数控铣削加工工艺分析	208
9.6 数控铣工创新训练	212
数控铣床安全操作规程	212

第三篇 材料成型

第10章 铸造	213
10.1 铸造概述	213
10.2 砂型铸造	214
10.3 铸造合金的熔炼与浇注	223
10.4 铸件的落砂与清理	225
10.5 常见铸造缺陷及分析	226
10.6 特种铸造	227
10.7 铸造生产的技术经济分析	229
铸造安全操作规程	230
第11章 折弯机	231
11.1 折弯成型概述	231
11.2 折弯成型基础知识	232
11.3 数控折弯加工工艺的制订	235
11.4 数控折弯加工编程基础	238
11.5 数控折弯加工实例	241
折弯机安全操作规程	243
第12章 液压机	245

12.1 液压机概述	245
12.2 液压机的主要应用	245
12.3 液压机的类型及基本组成	247
12.4 YN32-630 型液压机	248
液压机安全操作规程	253
第 13 章 冲压机	254
13.1 冲压机概述	254
13.2 冲压成型基础知识	254
13.3 冲压机加工工艺的制订	257
冲压机安全操作规程	261
第 14 章 注塑机	263
14.1 注塑机概述	263
14.2 注塑机操作面板介绍	266
14.3 注塑机操作界面及功能介绍	270
注塑机安全操作规程	278
第 15 章 焊接	279
15.1 概述	279
15.2 手工电弧焊	280
15.3 气焊	287
15.4 切割	290
15.5 其他焊接方法	292
15.6 焊接技术发展趋势	312
15.7 焊接缺陷	313
焊接安全操作规程	315

第四篇 特种加工与产品检测

第 16 章 线切割	317
16.1 线切割加工基本原理、特点及应用范围	317
16.2 线切割机床的型号与主要结构	319
16.3 线切割机床的操作	320
16.4 线切割机床操作系统介绍	325
16.5 线切割创新训练	332

线切割训练安全操作规程·····	332
第 17 章 数控电火花 ·····	333
17.1 电火花成型加工的基本原理及工艺指标·····	333
17.2 电火花加工机床的操作与编程·····	340
17.3 数控电火花典型零件加工·····	348
电火花成型加工安全操作规程·····	349
第 18 章 激光加工 ·····	350
18.1 激光加工的基本原理、特点及应用范围 ·····	350
18.2 激光加工的主要应用领域·····	352
18.3 激光加工的精度控制·····	354
18.4 激光雕刻软件的基本操作·····	355
18.5 激光雕刻机的使用·····	363
激光切割机安全操作规程·····	365
第 19 章 3D 打印技术 ·····	367
19.1 3D 打印技术概述 ·····	367
19.2 3D 打印机及切片软件的操作 ·····	369
19.3 3D 打印创新训练 ·····	379
3D 打印机安全操作规程 ·····	379
第 20 章 三坐标测量机 ·····	380
20.1 三坐标测量机概述·····	380
20.2 三坐标测量机的典型结构及分类·····	381
20.3 Aberlink 3D 测量软件的使用 ·····	383
三坐标测量机安全操作规程·····	392
参考文献 ·····	394

第一篇 切削加工基础与普通加工

第1章 工程材料基础

教学目的

本章的教学目的是使读者对常用金属材料的基础知识有一定的掌握,为后续的理论学习和实训操作打下基础。

教学要求

- (1) 了解常用金属材料的分类与性能。
- (2) 掌握常用碳素钢、合金钢、铸铁、有色金属的牌号和应用范围。
- (3) 掌握常用金属热处理的工艺与适用范围。

1.1 常用金属材料及其性能简介

材料是人类赖以生存和发展的物质基础。20 世纪 70 年代,人们把信息、材料和能源誉为当代文明的三大支柱。20 世纪 80 年代以高技术群为代表的新技术革命,又把新材料、信息技术和生物技术并列为新技术革命的重要标志。材料除了具有重要性和普遍性以外,还具有多样性。由于材料多种多样,分类方法也就没有一个统一标准。

机械加工工程所接触到的物质也都是由不同的材料组成,因此,掌握材料的性质是加工制造的前提条件。由于材料的种类太多,本节只简要介绍金属材料的性能。

1.1.1 常用工程材料的分类

按照化学成分的不同,工程材料可分为金属材料、非金属材料 and 复合材料三大类,如图1-1所示。随着科学技术的不断发展,非金属材料 and 复合材料的应用也更加广泛(特别是在航空、军事等领域),对于这两类材料的加工制造和工艺也是各国研究的重点。

1.1.2 金属材料的性能

金属材料的性能主要包括使用性能、工艺性能和经济性能,如图 1-2 所示。

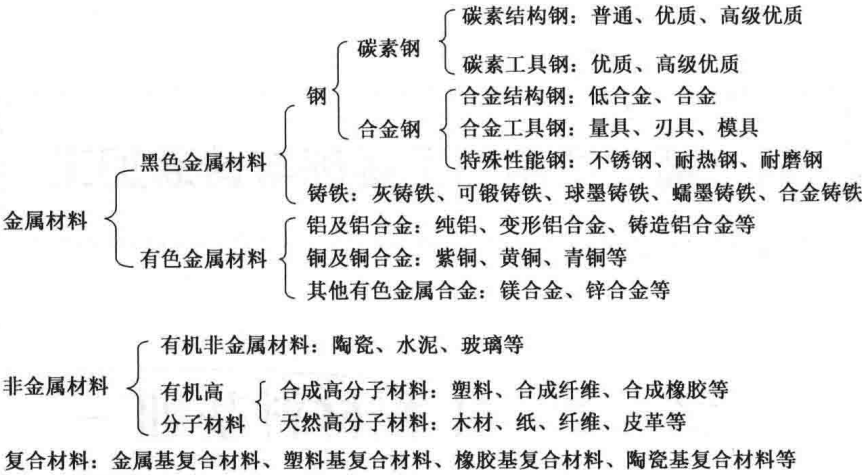


图 1-1 工程材料的分类

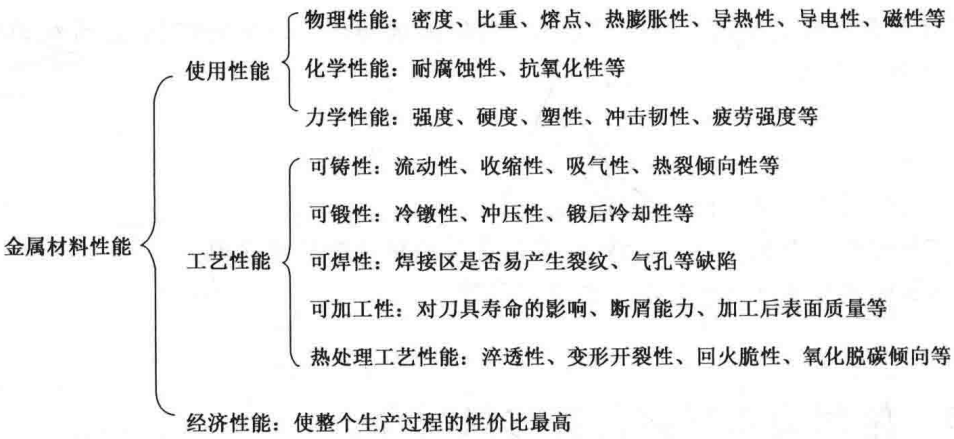


图 1-2 金属材料的性能

1.1.3 常用金属材料的牌号、应用及说明

1. 碳素钢

碳素钢是指含碳量小于 2.11% 的铁碳合金。碳钢的价格低廉、工艺性能良好、广泛应用于机械加工。常用碳素钢的牌号、主要特性和应用范围如表 1-1 所示。

常用碳素钢的牌号、主要特性和应用范围

表 1-1

名称	牌号	主要特性	应用举例
碳素结构钢	Q215	具有较高的韧性、塑性和焊接性能,以及良好的压力加工性能,但强度低	用于制造铆钉、垫圈、地脚螺栓、薄板、拉杆、烟筒等
	Q235	具有高的韧性、塑性和焊接性能、冷冲压性能,以及一定的强度和好的冷弯性能	广泛应用于制造一般要求的零件和焊接件,如受力不大的拉杆、连杆、销、轴、螺钉、螺母、支架、基座等

续上表

名称	牌 号	主 要 特 性	应 用 举 例
优质碳素结构钢	15	强度低,塑性、韧性很好,焊接性能优良,无回火脆性。容易冷热加工成型,脆透性很差,正火或冷加工后切削性能好	用于制造机械上的受力不大,形状简单,但韧性要求较高或焊接性能较好的中小结构件、螺栓、螺钉、法兰盘等
	45	综合力学性能和切削性能均较好,用于强度要求较高的重要零件	主要用于制造强度高的运动件,如活塞、轴、齿轮、齿条、蜗杆、曲轴、传动轴、齿轮、连杆等
铸造碳钢	ZG200-400	有良好的塑性、韧性和焊接性能,用于受力不大、要求韧性较好的各种机械零件	如机座、变速箱壳等

2. 合金钢

所谓合金钢是指在优质碳素结构钢的基础上适当加入一种或几种合金元素(如硅、锰、铬、镍、钼、钒以及稀土元素等)炼制而成的钢种。合金钢具有屈服强度高、韧性和塑性好、淬透性好、耐腐蚀、耐低温、高磁性、高耐磨性等优点。常用合金钢的牌号、主要特性和应用范围如表 1-2 所示。

常用铸铁的牌号、主要特性和应用范围

表 1-2

牌 号	主 要 特 性	应 用 举 例
45MnB	可用来代替 40Cr、45Cr 钢,制造较耐磨的中、小截面的调质件和高频淬火件等	机床上的齿轮、曲轴齿轮、花键轴和套、钻床主轴等
40Cr	调质后有良好的综合力学性能,用于较重要的调质零件,如在交变负荷下工作的零件、中等转速和中等负荷的零件、表面淬火后可用作负荷及耐磨性较高、而无很大冲击的零件。表面淬火硬度可达 48~55HRC	齿轮、套筒、轴、曲轴、销、连杆螺钉、螺母、进气筒等
20CrMo	强度好、韧性较高,在 500℃ 以下有足够的高温强度,焊接性能好	轴、活塞连杆等
42CrMo	淬透性比 35CrMo 高,调质后有较高的疲劳极限和抗多次冲击能力,低温冲击韧性好,表面淬火硬度可达 54~60HRC	牵引用的大齿轮、增压器传动齿轮、发动机气缸、石油探井钻杆接头与打捞工具等

3. 铸铁

铸铁是一种以 Fe、C、Si 为基础的复杂多元合金,其含碳量在 2.0%~4.0% 之间。铸铁具有优良的铸造性、减振性和耐磨性,且价格低廉,在制造业使用相对广泛。铸铁的种类有灰铸铁、球墨铸铁和可锻铸铁三类,常用铸铁的牌号、主要特性和应用范围如表 1-3 所示。

常用铸铁的牌号、主要特性和应用范围

表 1-3

名称	牌号	主要特性	应用举例
灰铸铁	HT100	铸造性能好、工艺简单、铸造应力小、不用人工时效处理、减振性好	用于负荷低,对摩擦和磨损无特殊要求的场合,如外罩、手轮、支架等
	HT200	强度、耐磨性、耐热性均较好,铸造性能好,需进行人工时效处理	用于承受较大应力(弯曲应力 $<29.4\text{MPa}$),摩擦面间单位应力 $<0.459\text{MPa}$ 条件下受磨损的零件,如气缸、机床床身与床面、制动轮、联轴器、活塞环等
球墨铸铁	QT400-15 QT400-18	焊接性和切削性能好,常温下冲击韧性高,脆性转变温度低	汽车、拖拉机轮毂,驱动桥、离合器、差速器、减速器等壳体。通用机械的 $1.6^{\circ}\sim 6.4\text{MPa}$ 气压阀门的阀体、阀盖,压缩机上承受一定温度的高低压汽缸、电动机机壳等
	QT450-10	焊接性、切削性均较好,韧性略低于QT400-18,强度和小能量冲击力优于QT400-18	
可锻铸	KTH300-06	黑心可锻铸铁强度高、韧性和塑性好,抗冲击,有一定耐腐蚀性,切削性能好	管路配件(弯头、三通、管体)、中低压阀门、农机中一般零件等
	KTZ450-06 KTZ550-4 KTZ650-02 KTZ700-2	珠光体可锻铸铁韧性较低、强度大、硬度高、耐磨性好,可替代中低碳钢,低合金钢及有色合金等耐磨性和强度要求较高的零件	曲轴、传动箱体、凸轮轴、活塞环、犁刀、齿轮、连杆等

4. 有色金属

有色金属的种类繁多,虽然其产量和使用不及黑色金属,但是由于它具有某些特殊性能,现已成为当今工业生产中不可缺少的材料。常用有色金属的牌号、主要特性和应用范围如表 1-4所示。

常用有色金属的牌号、主要特性和应用范围

表 1-4

名称	牌号	主要特性	应用举例
纯铜	T1、T2	有良好的导电、导热、耐蚀和加工性能,可焊接和钎焊	电线、电缆、导电螺钉、化工用蒸发器、各种管道等
黄铜	H62、H63	有良好的力学性能,热态下塑性良好,可加工性好,易钎焊和焊接,耐蚀,但易产生腐蚀裂纹,应用广泛	各种拉伸和和折弯的受力零件,如销钉、铆钉、螺母、导管、气压表弹簧、散热器零件等
铝合金	2A11	是应用最为广泛的一种硬铝,一般称为标准硬铝。它具有中等强度,在退火、刚淬火和热态下的可塑性较好,可热处理强化,在淬火和自然时效状态下使用,点焊焊接性能良好	用作各种中等强度的零件和构件,冲压的连接部件,如螺栓、铆钉等

1.2 钢的热处理简介

金属热处理是机械制造中的重要工艺之一,与其他加工工艺相比,热处理一般不改变工件的形状和整体的化学成分,而是通过改变工件内部的显微组织,或改变工件表面的化学成分,以使工件达到其相应的技术指标。

为使金属工件具有所需要的力学性能、物理性能和化学性能,除合理选用材料和各种成型工艺外,热处理工艺往往是必不可少的。钢铁是机械工业中应用最广的材料,钢铁显微组织复杂,可以通过热处理予以控制,所以钢铁的热处理是金属热处理的主要内容。另外,铝、铜、镁、钛等及其合金也都可以通过热处理改变其力学、物理和化学性能,以获得不同的使用性能。

热处理工艺一般包括加热、保温、冷却三个过程,有时只有加热和冷却两个过程。这些过程互相衔接,不可间断。

加热是热处理的重要工序之一,加热温度则是其中重要工艺参数之一,选择和控制加热温度,是保证热处理质量的主要问题。加热温度随被处理的金属材料 and 热处理的目的不同而异,但一般都是加热到相变温度以上,以获得高温组织。

为保证显微组织转变完全,当金属工件表面达到要求的加热温度时,还须在此温度保持一定时间,使内外温度一致,这段时间称为保温时间。当采用高能密度加热和表面热处理时,加热速度极快,一般就没有保温时间,而化学热处理的保温时间往往较长。

冷却也是热处理工艺过程中不可缺少的步骤,冷却方法因工艺不同而不同,主要是控制冷却速度。

金属热处理工艺大体可分为整体热处理、表面热处理和化学热处理三大类。根据加热介质、加热温度和冷却方法的不同,每一大类又可区分为若干不同的热处理工艺。同一种金属采用不同的热处理工艺,可获得不同的组织,从而具有不同的性能。钢铁是工业上应用最广的金属,而且钢铁显微组织也最为复杂,因此钢铁热处理工艺种类繁多。

1.2.1 整体热处理

整体热处理是对工件整体加热,然后以适当的速度冷却,获得需要的金相组织,以改变其整体力学性能的金属热处理工艺。钢铁整体热处理大致有退火、正火、淬火和回火四种基本工艺。

1. 退火

退火是将工件加热到适当温度(相变或不相变),保温后缓慢冷却,目的是消除应力降低硬度,获得良好的工艺性能和使用性能,或者为进一步淬火作组织准备。

退火的方式较多,如扩散退火、完全退火、不完全退火、等温退火、球化退火、去应力退火、锻后余热等温退火等。

2. 正火

正火是将工件加热至 A_{c3} 或 $A_{cm} + 40 \sim 60^{\circ}\text{C}$,保温一定时间,达到奥氏体化和均匀化后在自然流通的空气中均匀冷却的方式。正火能调整钢件的硬度、细化组织及消除网状碳化物,

并为淬火做好组织准备。正火常用于改善材料的切削性能,有时也用于对一些要求不高的零件作为最终热处理。

3. 淬火

淬火是将工件加热至 A_{c3} 或 $A_{c1} + 20 \sim 30^{\circ}\text{C}$, 保温一定时间后, 在水、油或其他无机盐、有机水溶液等淬火介质中快速冷却, 以获得均匀细小的马氏体组织和粒状渗碳体混合组织。淬火可提高钢件硬度和耐磨性, 但同时也会变脆, 因此, 一般淬火后要经中温或高温回火, 以获得良好的综合力学性能。

淬火的方式一般有单液淬火、双液淬火、分级淬火、等温淬火等。

4. 回火

回火是将淬火后的钢件重新加热到至 A_{c1} 以下某一温度, 保温一定时间, 再进行冷却的工艺。回火具有降低钢件脆性、消除内应力、减少工件的变形和开裂、提高塑性和韧性、稳定工件尺寸的作用。

回火的方式有低温回火、中温回火和高温回火三种。

退火、正火、淬火、回火是整体热处理中的“四把火”, 随着加热温度和冷却方式的不同, 又演变出不同的热处理工艺, 读者可查阅相关资料。

1.2.2 表面热处理

表面热处理仅对工件表面进行热处理, 以改变其组织和性能的热处理工艺, 其中表面淬火应用最为广泛。

表面淬火是通过加热感应线圈使工件表面迅速加热升温到临界温度以上, 然后快速冷却的热处理工艺。由于表面淬火只改变工件表层一定深度的组织和性能, 并未改变表层与心部的化学成分, 因此, 对于需要表面具有较高硬度和耐磨性、心部要求具有足够塑性和韧性的零件就需要用表面淬火工艺, 如凸轮轴、曲轴、床身导轨等。

按照加热方式的不同, 表面淬火主要有感应加热表面淬火、火焰加热表面淬火和激光加热表面淬火等。

1. 感应加热表面淬火

利用感应电流使零件表面在交变磁场中产生感应电流和集肤效应, 以涡流形式将零件表面快速加热, 而后急冷的淬火方法。根据感应电流的使用频率不同, 可以分为超高频 (27MHz)、高频 (200 ~ 250kHz)、中频 (2500 ~ 8000Hz) 和工频 (50Hz) 四种方式。

感应加热表面淬火的特点是:

- (1) 加热速度快, 热效率高。
- (2) 零件表面氧化脱碳少, 与其他热处理相比, 废品率极低。
- (3) 零件脆性小, 表面的硬度高, 心部能保持较好的塑性和韧性, 同时还能提高零件的力学性能。
- (4) 不仅应用于零件的表面淬火, 还可以用于零件的内孔淬火。
- (5) 生产过程清洁、无高温、设备紧凑、占地面积小、使用简单、劳动条件好。

2. 火焰加热表面淬火

利用氧-乙炔气体或可燃气体 (天然气、石油气、焦炉煤气等) 以一定比例混合进行燃烧,

形成强烈的高温火焰,将零件迅速加热至淬火温度,然后急速冷却(用水或乳化液做冷却介质)的工艺。

火焰加热表面淬火的特点是:

- (1)设备简单、使用方便、加工零件的大小不受限制。
- (2)加热温度高、加热快、零件表面容易过热,适用于处理硬化层较浅的零件。
- (3)表面温度不宜控制,表面硬化层深度不易控制。

3. 渗碳

将工件置入具有活性渗碳介质中,加热到 $900 \sim 950^{\circ}\text{C}$ 的单相奥氏体区,保温足够时间后,使渗碳介质中分解出的活性碳原子渗入钢件表层,从而获得表层高碳心部仍保持原有成分的化学热处理工艺。

渗碳工件的材料一般为低碳钢或低碳合金钢(含碳量 $< 0.25\%$)。渗碳后钢件表面的化学成分可接近高碳钢。工件渗碳后还要经过淬火,以得到高的表面硬度、高的耐磨性和疲劳强度,并保持心部有低碳钢淬火后的强韧性,使工件能承受冲击载荷。渗碳工艺广泛用于飞机、汽车和拖拉机等机械零件,如齿轮、轴、凸轮轴等。

按含碳介质的不同,渗碳可分为气体渗碳、固体渗碳、液体渗碳和碳氮共渗(氰化)。

4. 渗氮

渗氮是在一定温度下将零件置于渗氮介质中加热、保温,使活性氮原子渗入零件表层的化学热处理工艺。零件渗氮后表面形成氮化层,氮化后不需要淬火,钢件的表面层硬度高达 $950 \sim 1200\text{HV}$,并能在 $560 \sim 600^{\circ}\text{C}$ 的工作环境下不降低,因此,具有很好的热稳定性、高的抗疲劳和耐腐蚀性,广泛应用于精密零件的最终热处理,如各类主轴、丝杠、曲轴、齿轮和量具等。