

金属工艺学

实习教材

陈文明 高殿玉 主编



机械工业出版社

金属工艺学实习教材

陈文明·高殿玉 主编



机械工业出版社

(京)新登字054号

内 容 简 介

《金属工艺学实习教材》是依据1987年《高等工业学校金工实习教学基本要求》精神,结合我们多年金工实习教学的实践经验编写的。内容包括,钢铁材料及热处理、铸造、压力加工、焊接、常用量具、车削加工、铣削加工、刨削加工、磨削加工、钳工、微机数控机床与特种加工,共计十一章。每章后都附有复习思考题。

本教材可作为高等工科院校机械类和近机类各本科专业金工实习教学的教材,也可供专科学校、成人高校选用。

金属工艺学实习教材

陈文明 高殿玉 主编

责任编辑:董连仁 版式设计:胡金瑛

封面设计:方 芬 责任校对:刘绍曾

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

北京朝阳区同兴印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

开本 787×1092 $\frac{1}{16}$ ·印张 14·插页 1·字数 336千字

1992年5月北京第一版·1992年5月北京第一次印刷

印数 00,001—10000·定价:5.25元

ISBN 7-111-03219-5/TG·706(X)

前 言

金工实习是机械类和近机类各专业重要的实践环节,是《工程材料及机械制造基础》课程教学的前提条件。本教材依据《高等工业学校金工实习教学基本要求》精神(1987年)及有关院校金工实习实际情况,并结合我们多年金工实习教学实践经验而编写的。

本教材可作为高等工科院校机械类和近机类各本科专业6~4周金工实习教学教材。其内容包括:钢铁材料及热处理、铸造、压力加工、焊接、常用量具、车削加工、铣削加工、刨削加工、磨削加工、钳工、微机数控机床与特种加工,共计十一章。每章后都附有复习思考题。在编写中,均采用最新国家标准。文字阐述上力求做到基本概念清楚、重点突出、简明扼要。从内容上比原要求增加了典型零件加工工艺分析及加工步骤,便于读者视图操作。

参加本教材编写的有:刘群山(第一、七、十一章);高殿玉(第二章);鲍雪琳(第三、八章);邱肇辉(第四、五章);陈文明(第六章);吉颢(第九、十章)。全书由陈文明、高殿玉主编。

河北机电学院李凤昌副教授主审第一至第四章;石家庄军械工程技术学院王渭方教授主审第五至第十一章。

在编写大纲的审定及教材的编写、定稿过程中,本院实习工厂谭秀珍工程师及全体指导金工实习教学的师傅均参加了讨论,提出许多宝贵意见,在此表示衷心感谢。

由于我们水平有限,书中难免出现错误和不妥之处,敬请广大读者批评指正。

编 者

1991年8月于河北机电学院

目 录

第一章 钢铁材料及热处理

§1-1 常用钢铁材料..... 1	一、热处理的主要设备..... 5
一、力学性能指标..... 1	二、常用的热处理方法..... 6
二、钢铁材料的分类、牌号、 性能和用途..... 1	三、热处理时产生的缺陷及 防止方法..... 9
三、钢铁材料的火花鉴别..... 3	四、典型零件的热处理..... 9
§1-2 钢的热处理..... 4	复习思考题..... 11

第二章 铸 造

§2-1 概述..... 12	二、炉料..... 38
§2-2 造型(芯)材料..... 13	三、冲天炉的基本操作过程..... 38
一、型(芯)砂的组成..... 13	四、冲天炉的熔化过程..... 39
二、对型(芯)砂的性能要求..... 13	§2-6 铸件的浇注、落砂、清理 及铸件缺陷分析..... 40
三、型(芯)砂的制备..... 14	一、铸件的浇注..... 40
§2-3 模样和芯盒..... 15	二、铸件的落砂和清理..... 41
§2-4 造型和造芯..... 16	三、铸件的主要缺陷及其产 生原因..... 41
一、手工造型工具..... 16	§2-7 特种铸造..... 44
二、砂型组成..... 16	一、熔模铸造..... 44
三、造型操作基本技术..... 17	二、金属型铸造..... 45
四、造型方法..... 23	三、压力铸造..... 45
五、浇注系统..... 30	四、离心铸造..... 46
六、造芯..... 32	复习思考题..... 46
七、合型..... 34	
§2-5 铸铁的熔化..... 37	
一、冲天炉的构造..... 37	

第三章 压力加工

§3-1 坯料的加热和锻件的冷却..... 47	三、手工锻造安全操作规则..... 52
一、坯料加热的目的..... 47	四、空气锤..... 52
二、加热炉及其操作..... 47	五、自由锻造的基本工序 及其操作..... 55
三、钢的加热缺陷及其防止..... 48	六、典型锻件自由锻工艺过程..... 58
四、锻造温度范围..... 49	§3-3 锤上模锻和胎模锻..... 61
五、锻件的冷却..... 49	一、锤上模锻..... 61
§3-2 自由锻造..... 50	二、胎模锻..... 62
一、手锻工具..... 50	§3-4 冲压..... 63
二、掌钳和打锤..... 51	

一、冲压设备	63
二、冲压的基本工序	64

三、冲模	65
复习思考题	66

第四章 焊 接

§4-1 手工电弧焊	67
一、焊接过程	67
二、手工电弧焊机	68
三、电焊条	69
四、焊接规范的选择	70
五、接头型式和坡口形状	71
六、焊接位置	72
七、对接平焊的操作步骤	72
八、焊接缺陷分析及防止	73
九、手工电弧焊安全技术	74

§4-2 气焊与氧气切割	75
一、气焊	75
二、氧气切割	80
三、气焊和气割的安全技术	81
§4-3 其他焊接方法简介	82
一、埋弧自动焊	82
二、气体保护焊	83
三、电阻焊	84
四、电渣焊	87
复习思考题	88

第五章 常 用 量 具

一、钢尺	89
二、卡钳	89
三、游标卡尺	90
四、千分尺	93
五、量规	94

六、直角尺	95
七、千分表	95
八、量具的保养	97
复习思考题	97

第六章 车 削 加 工

§6-1 普通车床	99
一、车床型号	99
二、车床的组成	99
三、普通车床传动系统	100
四、车床的典型机构	105
五、车床保养及安全操作规程	106
六、其他车床	106
§6-2 车刀	108
一、常用车刀材料及车刀种类	108
二、外圆车刀	108
三、车刀的安装	111
四、外圆车刀的刃磨	112
§6-3 车床附件	112
一、三爪卡盘的结构和应用	112
二、四爪卡盘的结构和应用	112
三、花盘的结构及应用	113
四、顶尖的应用	114
五、中心架与跟刀架的应用	115

六、心轴的应用	116
§6-4 各种表面的车削方法	116
一、车外圆	116
二、车端面及台阶	118
三、车槽及切断	118
四、内孔加工	119
五、锥面加工	120
六、车螺纹	121
七、车成形面	123
§6-5 典型零件的车削加工	123
一、短轴类零件的车削	123
二、长轴类零件的车削	124
三、盘类零件的车削	124
四、轴套类零件的车削	124
五、成形面的车削	128
六、手锤柄的车削	129
复习思考题	130

第七章 铣削加工

§7-1 铣床	132	§7-4 铣削方法	142
一、铣床分类	132	一、铣削方式	142
二、X62W铣床传动系统	134	二、铣平面	142
三、铣床的应用	136	三、铣斜面	143
四、铣床安全操作规程	136	四、铣台阶面	143
§7-2 铣刀	136	五、铣沟槽	143
一、铣刀种类	136	§7-5 齿形加工	146
二、铣刀的安装	136	一、齿轮种类	146
§7-3 铣床附件及其应用	139	二、铣齿轮	146
一、平口钳	139	三、滚齿	147
二、回转工作台	139	四、插齿	148
三、立铣头	139	复习思考题	149
四、分度头	140		

第八章 刨削加工

§8-1 牛头刨床	152	三、专用夹具装夹工件	158
一、牛头刨床的型号	152	§8-4 刨削方法	158
二、牛头刨床的组成部分	152	一、刨平面	158
三、B665牛头刨床的传动系统	153	二、刨垂直面	158
四、B665牛头刨床的调整与操纵	154	三、刨斜面	158
§8-2 刨刀	155	四、刨正六面体零件	159
一、刨刀的几何参数及其特点	155	五、刨T形槽	160
二、刨刀的种类及其应用	155	§8-5 其他刨削类机床	160
§8-3 工件装夹	156	一、龙门刨床	160
一、平口钳装夹工件	156	二、插床	160
二、工作台装夹工件	156	三、拉床	162
		复习思考题	163

第九章 磨削加工

§9-1 磨床	164	§9-3 磨削加工工件的安装	169
一、外圆磨床	164	一、外圆磨削时工件的安装	169
二、平面磨床	166	二、平面磨削时工件的安装	170
三、内圆磨床	167	§9-4 磨削方法	171
§9-2 砂轮	167	一、外圆磨削方法	171
一、砂轮的种类	167	二、平面磨削方法	172
二、砂轮的检查、安装、平衡和修整	168	三、磨削加工特点	172
		复习思考题	173

第十章 钳 工

§10-1 概述	174	一、攻螺纹	190
一、钳工加工特点及应用	174	二、套螺纹	191
二、钳工工作台和虎钳	174	§10-7 刮削	192
§10-2 划线	175	一、刮刀的种类和用途	192
一、划线的概念	175	二、刮削质量的检验	192
二、划线基准	175	三、刮削平面的方法和步骤	193
三、划线工具及使用方法	176	§10-8 钻削及铰削	194
四、划线步骤和实例	179	一、钻床的种类和用途	194
§10-3 铰削	181	二、钻、扩、铰所用刀具及主要特点	195
一、铰削工具及使用方法	181	三、手铰定位销孔的方法	196
二、平面铰削方法	182	§10-9 镗床及其工作	197
三、铰削操作应注意事项	183	一、卧式镗床及镗刀	197
§10-4 锯切	183	二、镗床上完成的工作	198
一、手锯及其操作方法	183	§10-10 部件拆装	198
二、圆棒、圆管、方钢、斜面的锯切方法	184	一、装配概念	198
三、锯切操作注意事项	185	二、拆装常用工具及使用方法	198
§10-5 锉削	186	三、几种零件的拆装	200
一、锉刀的种类及选择	186	四、对拆装工作的要求	201
二、锉削方法	187	五、拆装工作实例	201
三、锉削注意事项	189	§10-11 手锤的钳工工艺	201
§10-6 攻螺纹、套螺纹	190	复习思考题	203

第十一章 微机数控机床与特种加工

§11-1 微机数控机床	205	一、电火花加工	211
一、微机数控车床的组成	205	二、电火花线切割	212
二、直线和圆弧的插补原理	206	复习思考题	215
三、加工程序编制与操作	207	参考文献	216
§11-2 特种加工	211		

第一章 钢铁材料及热处理

钢铁材料具有一定的力学性能和工艺性能，并能通过热处理等工艺方法改变其内部组织结构，从而改善和提高性能，可满足在不同使用条件下对零件的要求，达到提高产品质量，延长使用寿命的目的。因此，钢铁材料是机器制造中使用最广泛的金属材料。

§ 1-1 常用钢铁材料

一、力学性能指标

金属力学性能通常是指材料抵抗外力作用的能力。力学性能指标是通过特定的力学试验测得的，它是选择材料的重要依据。常用的金属力学性能指标及其涵义见表1-1。

表 1-1 常用的金属力学性能指标及其涵义

力学性能	性能指标			涵 义 说 明
	名 称	代 号	单 位	
强 度	抗拉强度	σ_b	MPa	材料拉断前的最大应力。当材料单位面积上受的力 $\geq \sigma_b$ 时，就会被拉断
	屈服点	σ_s	MPa	材料对微量塑性变形的抵抗能力。当材料单位面积上受的力 $\geq \sigma_s$ 时，出现塑性变形
硬 度	布氏硬度	HB	习惯不写	试样单位压痕面积上所受的载荷。用于较软材料的硬度测试
	洛氏硬度	HRC	—	据特定载荷下的压痕深度来衡量，压痕愈浅，硬度愈高。用于测试较硬的材料
塑 性	伸长率	δ	—	试样纵向相对伸长的变形量， δ 愈大材料的塑性愈好
	断面收缩率	ψ	—	试样横向相对收缩的变形量， ψ 愈大，材料的塑性愈好
韧 性	冲击韧度	α_k	J/cm ²	冲断试样时，单位面积上消耗的冲击吸收功， α_k 愈大，材料的韧性愈好

二、钢铁材料的分类、牌号、性能和用途

钢和铁都是以铁(Fe)和碳(C)为主要成分组成的合金。通常把含碳量小于0.02%的铁碳合金称为纯铁；含碳量2%以上的称为铸铁；含碳量在0.02%~2%之间的称为钢（常用钢的含碳量为0.08%~1.2%）。钢和铁中除含Fe、C元素外，还含有冶炼过程中残留下来的少量杂质如硫(S)、磷(P)、硅(Si)、锰(Mn)等。其中，S、P是钢铁中的有害元素，要严格限制其含量。

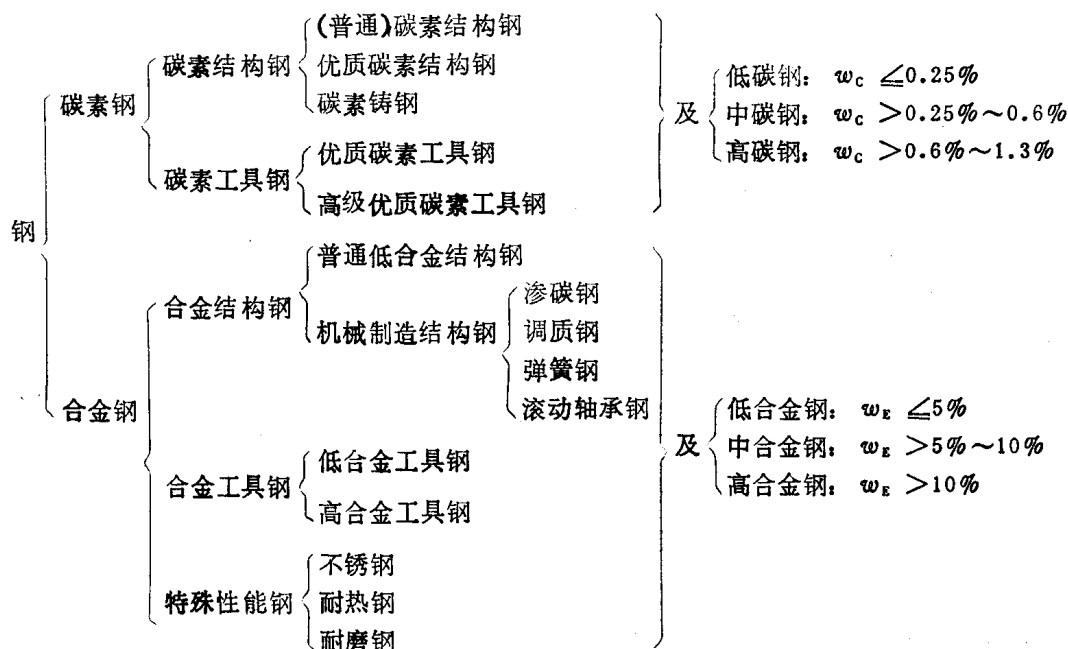
由于纯铁的含碳量很少，强度、硬度较低，在机械行业中应用不太多。钢具有较好的力学性能，可以满足一般机械零件的使用性能要求，而且还能锻造、轧制、焊接和切削加工，

因此获得广泛应用。一般情况下,随含碳量的增高,钢的强度、硬度升高,塑性、韧性降低。如果在碳钢的基础上加入一定量的合金元素,如锰($w_{Mn}>0.8\%$)、硅($w_{Si}>0.4\%$)、铬(Cr)、镍(Ni)、钼(Mo)、钨(W)等,就可形成合金钢。由于合金元素的作用,使钢具有更高的强度、硬度和塑、韧性,有的合金钢还具有较高的耐磨性、耐热性、耐蚀性等特殊性能。

工业上所用铸铁的含碳量一般在2.5%~4%之间,另外含有一定量的Si, S、P杂质含量也比钢高些。铸铁的性能是硬而脆,不能锻造和轧制,难以焊接。但它具有良好的铸造性能、减振性能、耐磨性和切削加工性,所以也获得广泛应用。

1. 钢的分类

通常,钢可按化学成分(碳素钢、合金钢),质量(普通钢、优质钢、高级优质钢)和用途(结构钢、工具钢、特殊性能钢)进行分类。实际使用中,常采用综合分类法,例如:



2. 常用碳素钢的牌号、性能和用途

(1) (普通)碳素结构钢 一般 $w_c < 0.3\%$,性能特点是塑性、韧性较高,强度、硬度较低。典型牌号是Q235-A,主要用于制造型钢(钢板、角钢、槽钢、钢管等)和不重要的机械零件(如螺钉、小轴、销子等)

(2) 优质碳素结构钢 这类钢的牌号用两位数字标出,表示平均含碳量的万分之几。如45钢,其平均含碳量为0.45%。

10、15、20钢属低碳钢,强度、硬度较低,塑、韧性较高,具有良好的冷变形能力和焊接性能,常用来制造冲压件、焊接件。当这类钢配以渗碳热处理时,可获得表面硬、中心韧的性能,用于既要求耐磨又受冲击的零件,如活塞销、齿轮等。

30、35、40、45、50钢属中碳钢,配以调质热处理后,可获得优良的综合力学性能。其中以45钢应用最为广泛,常用于制造轴、连杆、丝杠、齿轮等零件。

55、60、65钢含碳量较高,进行淬火加中温回火热处理后,可获得较高的强度和弹性,主要用于制造弹簧、轧辊、钢丝绳等。

(3) 碳素工具钢 这类钢的牌号用T (“碳”)表示,其后面的数字表示平均含碳量的千分之几,如T8表示 $w_c \approx 0.8\%$ 的优质碳素工具钢。高级优质碳素工具钢是在最后标注“A”,如T10A。随含碳量的增加,硬度、耐磨性提高,而塑、韧性降低。当配以淬火加低温回火热处理后,可用来制造手动切削工具和不太重要的模具,如锉刀、手锯条、冲头、垫子等。

3. 常用合金钢的牌号、性能和用途

合金钢的牌号较多,工业上应用较广的有:

16Mn,属普通低合金结构钢,低碳、低合金,具有优良的冷变形能力和焊接性能,常用于制造冲压件和焊接件,如桥梁、船舶、压力容器等。

20CrMnTi,属合金渗碳钢。其中 $w_c \approx 0.2\%$,其他各合金元素含量均小于1.5%。当配以渗碳+淬火+低温回火处理后,可获得表面硬中心韧的性能,主要用于制造受冲击的耐磨件,如汽车变速箱中的齿轮等。

40Cr,属合金调质钢。其 $w_c \approx 0.4\%$, $w_{Cr} < 1.5\%$ 。当配以调质热处理后,可获得更优良的综合力学性能,用于制造较重要的轴、连杆、连杆螺栓等。

60Si2Mn,属合金弹簧钢。其 $w_c \approx 0.6\%$, $w_{Si} \approx 2\%$, $w_{Mn} < 1.5\%$ 。配以淬火+中温回火热处理后,可获得较高的弹性、屈强比(σ_s/σ_b)和耐疲劳性能,用于制造重要的弹簧,如汽车板簧。

9SiCr,属低合金工具钢。其中 $w_c \approx 0.9\%$ 。其他各合金元素含量均小于1.5%。适当热处理后可获得较高的硬度和耐磨性,主要用于制造丝锥、板牙、铰刀等低速切削工具。

W18Cr4V,属高合金工具钢,又称高速钢。其 $w_c \approx 0.75\%$, $w_W \approx 18\%$, $w_{Cr} \approx 4\%$, $w_V < 1.5\%$ 。因合金元素含量较高,故硬度及耐磨性很高,可用于制造车刀、钻头、铣刀、拉刀、齿轮刀具等高速切削工具。

4Cr13,属不锈钢。其 $w_c \approx 0.4\%$, $w_{Cr} \approx 13\%$ 。由于Cr的作用,使钢具有优良的耐大气腐蚀的能力,并具有一定的硬度,主要用于制造医疗工具,如手术刀、手术剪等。

ZGMn13,属耐磨钢。其 $w_c \approx 1.2\%$, $w_{Mn} \approx 13\%$,铸态下硬而脆,通过水韧处理(类似于淬火操作),使钢硬度降低,便于加工。当使用时,受高压或冲击作用后立即硬化,从而达到耐磨的目的。主要用于制造坦克履带板、碎石机鄂板等零件。

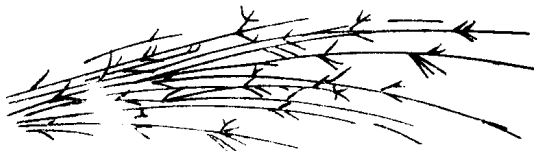
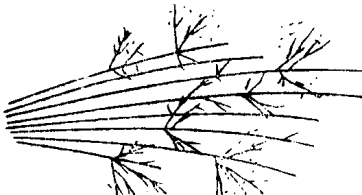
4. 铸铁的分类及应用

生产上常用的铸铁件,其碳主要是以石墨的形式存在的。据石墨的形状不同,可分为灰铸铁(石墨以片状形式存在)、可锻铸铁(石墨以团絮状形式存在)、球墨铸铁(石墨以球状形式存在)。由于石墨本身力学性能很低,相当于钢的基体中存在空隙一样,尤其是灰铸铁,石墨片存在尖角作用,造成其力学性能降低很多,塑性很低,呈脆性。然而,也正因为石墨的存在,才使铸铁具有耐磨、耐压、减振、缺口敏感性低等优良性能。并且,批量生产时成本低。所以,广泛用来制造机床床身、支架、底座以及其它要求耐磨的机械零件。

三、钢铁材料的火花鉴别

钢铁材料的品种繁多,为便于识别,通常在材料的端面涂上各种规定的颜色;对于小断面捆轧材料,则系上打有印记的金属标牌。在生产中,常会遇到无标记钢料或废旧料的情况,这时可使用简易的火花鉴别法,即利用不同种类钢铁材料,在砂轮上磨削时所产生不同形式的火花原理,可大致确定其材料的成分和牌号,见表1-2。

表 1-2 常用钢铁材料的火花特征

材 料	火 花 特 征	火 花 形 状
20钢	浅黄带微红色。流线长、尾部稍粗，火花量少且在火束的中部区域出现	
45钢	黄亮色。流线较细长、尾部稍粗，火花在火束中部区域出现	
T10	橙红。流线很多、很细、挺直，火花布满整个火束，火束短而粗	
40Cr	白亮色。流线稍粗、量多，火花附近有明亮节点，火束较大	
W18Cr4V	暗红色。首端、中部为断续流线、尾部膨胀下垂，火束细长，火花极少	
灰铸铁	暗红色。尾部为黄亮色。流线细、挺直，尾部变粗，有羽毛状尾花，火束短	

§ 1-2 钢的热处理

热处理就是将钢件通过加热、保温和冷却，以改变其内部组织，从而获得所需性能的工艺方法。由此，可以充分发挥其材料性能潜力，延长钢件的使用寿命，并能改善加工性能，对节约钢材和提高产品质量具有重要意义。所以，大多数的机械零件都要进行热处理。

热处理的方法很多，常用的有退火、正火、淬火、回火以及表面淬火和化学热处理。热处理过程，可以用热处理工艺曲线表示，如图1-1所示。不同的热处理工序，常穿插在零件制造过程中的各个热、冷加工工序中进行。加工工序之间的热处理称为中间热处理或预先热处

理，主要用来消除上道工序遗留下来的某些缺陷，为下道工序准备好条件。最后的热处理称为最终热处理，它主要用来进一步改善材料的性能，从而充分发挥材料的潜力，延长使用寿命，达到零件的使用要求。

一、热处理的主要设备

据热处理工艺和生产的需要，一般热处理车间的常用设备有如下类别。

1. 加热炉及控温仪表

热处理加热炉主要有各种规格的箱式电阻炉、井式电阻炉和盐浴炉。

(1) 箱式电阻炉 中温箱式电阻炉的结构如图1-2所示。炉子型号可用字母加数

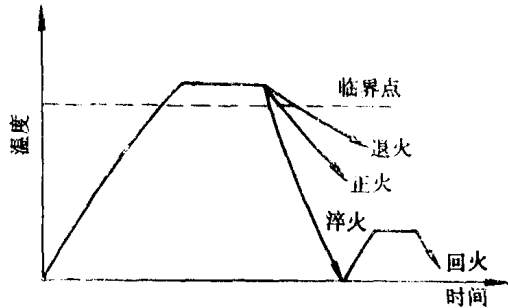


图1-1 热处理工艺曲线示意图

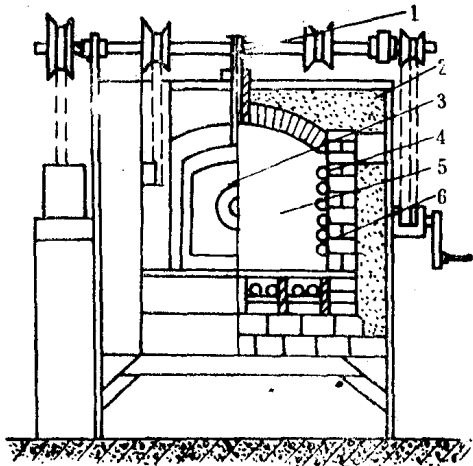


图1-2 RX型中温箱式炉

1—热电偶 2—炉壳 3—炉门 4—电阻丝
5—炉膛 6—耐火砖

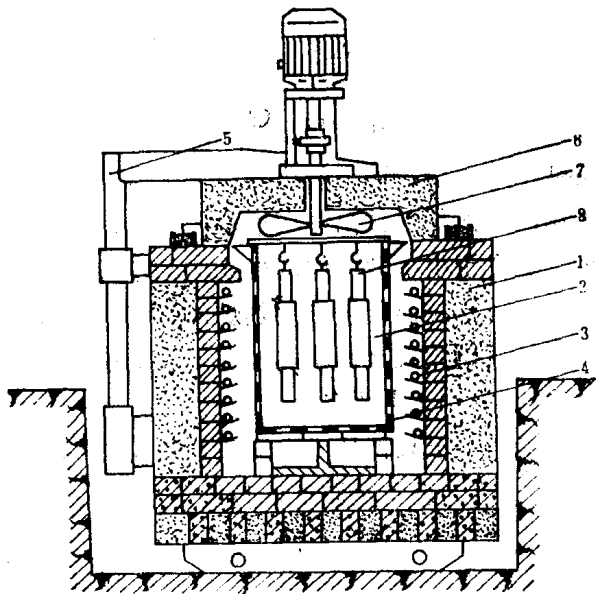


图1-3 RJ型低温井式炉

1—炉体 2—炉膛 3—电热元件 4—料筐 5—炉盖升降机构 6—炉盖 7—风扇 8—热处理件

字来表示，如RX30-9。其中R表示电阻炉，X表示箱式，第一组数字30表示炉子的额定功率为30kw，第二组数字表示炉子的最高使用温度为950℃。箱式炉可用来加热除长轴类零件之外的其它形状的热处理件。

(2) 井式电阻炉 据额定温度不同，井式电阻炉分为高温、中温、低温炉三类，其中低温井式电阻炉的结构如图1-3所示。炉子型号也用字母加数字来表示，如RJ36-6。其中，R表示电阻炉，J表示井式，第一组数字36表示炉子的额定功率为36kw，第二组数字6表示炉子的最高使用温度为650℃。井式炉可用来加热长轴类零件，一般是垂直吊装，以防工件因自身重量在加热时变形。其它形状零件可先装入料筐后再放入炉内。

(3) 盐浴炉 按加热形式不同，可把盐浴炉分为外热式和内热式两种。外热式盐浴炉的结构如图1-4所示，主要有炉体和坩埚组成，电热元件安装在炉膛内壁搁砖上，炉盖可以手动对开。内热式盐浴炉又叫电极式盐浴炉，其结构如图1-5所示。它的加热元件就是插入盐浴中

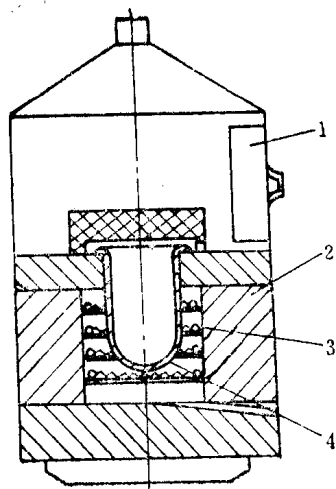


图1-4 外热式盐浴炉
1—炉盖 2—炉体 3—电热元件 4—坩埚

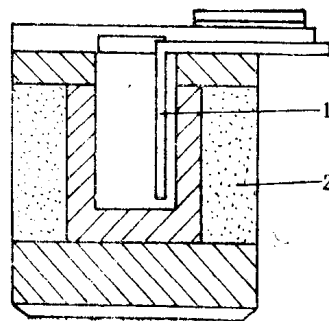


图1-5 内热式盐浴炉
1—电极 2—炉衬

的电极，盐在电压作用下电离，电流在两极间流动，电阻热将盐加热呈液态。盐浴炉所用的熔盐主要有氯化钠、氯化钾和氯化钡及其它盐类。盐浴炉内熔盐熔化并达到预定温度后进行保温，将热处理件吊挂在熔盐中加热。盐浴炉加热速度快、均匀，且温度准确、氧化和脱碳小，适合于中小型零件的热处理。不过，有的熔盐蒸气对人体有害，故应注意要有良好通风。

(4) 控温仪表 加热炉的温度测量和控制，主要是利用热电偶、温度控制仪表及开关器件，其精度直接影响热处理工艺的正常进行和热处理质量。

2. 专用工艺设备

专门用于某种具体热处理工艺的设备，如气体渗碳炉、井式回火炉及高频淬火装置等。

3. 冷却设备及质量检验设备

冷却设备主要有水槽、油槽等。质量检验设备主要有检验硬度的硬度计、测量变形的检弯机、检验内裂纹的探伤仪、检验内部组织的金相显微镜等。

二、常用的热处理方法

1. 钢的退火

退火是将钢加热到一定的温度，保温一定的时间，然后缓慢冷却下来的热处理操作，缓冷方法通常采用随炉冷却或等温冷却方式。生产上常用的退火方法有完全退火、球化退火和去应力退火。

45钢的完全退火工艺是将钢件加热到 850°C 左右，进行保温（保温时间由工件大小、加热炉类型等因素确定），然后随炉冷至室温（称为普通退火）；或先快速冷至 $600\sim 650^{\circ}\text{C}$ 保温，内部组织转变完后再出炉空冷至室温（称为等温退火）。钢件经完全退火，可以细化晶粒、均匀组织、降低硬度、消除内应力，便于机加工，并为最终热处理作好组织准备。

球化退火主要应用于含碳量较高的钢件热处理，它可以使内部组织中的碳化物球化，以降低硬度，改善切削加工性，并为淬火作好组织准备。

去应力退火的加热温度较低（一般为 $500\sim 600^{\circ}\text{C}$ ），保温后随炉缓冷至室温。它可以消除铸件、锻件、焊接件等零件的残余内应力，以稳定工件尺寸，避免工件在使用过程中因内应力而发生变形。

2. 钢的正火

正火是将钢加热到一定温度（45钢的加热温度为 850°C ），进行保温，然后出炉空冷至室温的热处理操作。由于冷却速度比退火快，所以，正火件比退火件的硬度、强度稍高些，而塑性、韧性稍低。对不重要的零件可作为最终热处理。

低碳钢正火后的硬度适中，更适合切削加工，又由于正火冷却时不占炉子，可使生产率提高、成本降低，故多用正火来代替退火。中碳钢用正火作为中间热处理时，可消除过热组织，细化晶粒，改善切削加工性能，并为淬火作组织准备。高碳钢和部分合金钢正火后硬度较高，不利于切削加工，但可消除晶界上的碳化物，为球化退火作组织准备。

3. 钢的淬火

淬火是将钢件加热到一定温度（碳钢件通常加热到 $760^{\circ}\text{C}\sim 850^{\circ}\text{C}$ ）保温，然后出炉快速冷却的热处理操作。

淬火时的冷却介质称为淬火剂，常用的淬火剂有油、水和盐水。油的冷却能力较低，通常不能使碳钢件心部淬硬，故多用于合金钢淬火。水的冷却能力较强，多用于碳钢件淬火。盐水的冷却能力更强，多用来处理较大尺寸的碳钢件。但是，冷却速度愈快，愈易造成工件内部冷却不均，产生较大内应力，致使工件变形，甚至出现裂纹。所以，在同样满足淬硬要求的前提下，应尽量选用冷却能力小的淬火剂。

把加热保温后的钢件浸入水或油中冷至室温，这种淬火方法叫单液淬火。有的工件为保证既淬硬又不因冷速过大而变形或开裂，采用双液淬火，又称水淬油冷。它是将保温后的钢件取出后先在水中快速冷却，当温度降到约 300°C 左右时，立即从水中取出再放入油中，冷却至室温。这种方法对高碳钢件或尺寸较大的合金钢件，效果较好。

淬火操作时，要注意淬火工件浸入淬火剂的方式。如果浸入方式不正确，可能使工件各部分冷却速度不一致，造成很大的内应力，使工件变形甚至产生裂纹或局部淬不硬。几种常见工件淬火时浸入淬火剂的方式如图1-6所示。

淬火可以显著地增加钢的硬度，提高钢的耐磨性。当与回火热处理配合时，可使钢的力学性能在很大范围内得到调整，并能减小或消除淬火产生的内应力，降低钢的脆性。

4. 钢的回火

回火是将淬火后的钢重新加热到某一温度（大大低于淬火加热温度），保温一定时间，然后空冷或油冷至室温的热处理操作。依回火时的加热温度不同，可把回火分为低温回火、中温回火和高温回火。

低温回火的加热温度为 $150\sim 250^{\circ}\text{C}$ 。它可以部分地消除淬火造成的内应力，降低钢的脆性，提高钢的韧性，同时仍保持高硬度。故多用来对工具、量具、刀具进行处理。

中温回火的加热温度为 $350\sim 500^{\circ}\text{C}$ 。淬火件经中温回火后，可消除大部分内应力，提高钢的韧性和强度，尤其是使钢获得了高弹性，但硬度稍有降低。一般用于处理弹簧、锻模等

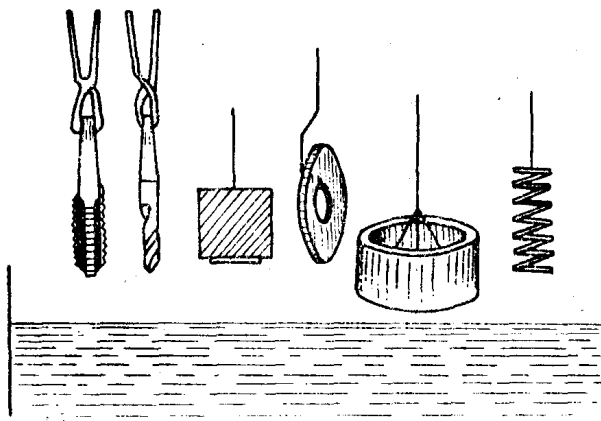


图1-6 工件浸入淬火剂的方式

零件。

高温回火的加热温度为 $500\sim 650^{\circ}\text{C}$ 。高温回火后,可以完全消除内应力,使零件具有高强度与韧性相配合的良好的综合力学性能,这也是很多机械零件如轴、连杆、曲轴等所要求的性能,故在热处理行业中常用。工件淬火后经高温回火,合称为调质处理。

5. 钢的表面淬火

表面淬火是利用快速加热使钢件表面迅速达到淬火加热温度,在热量还来不及传到钢件中心时,就快速冷却下来的热处理操作。表面淬火可以保持心部原来的强度和韧性,而使表层获得高硬度、高耐磨性。主要用于承受冲击载荷,而且表面又耐磨的零件,如齿轮、凸轮、传动轴等零件的处理。常用的表面淬火方法分为感应加热表面淬火和火焰加热表面淬火。

感应加热表面淬火如图1-7所示。它是将热处理工件放在铜管制成的感应器内,给感应器通以一定频率的交流电,在感应器周围产生交变磁场,通过电磁效应在工件内产生同频率的感应电流——涡流。由集肤效应可知,感应电流在工件截面上的分布是不均匀的,表层电流密度大,中心部分几乎为零。依靠电流在钢件内的电阻热效应,使工件表层在几秒钟内就被加热到淬火加热温度,而钢件心部电流很小,产生的热很少,表层热量又来不及传到中心,所以温度不高。随后工件下移,喷水套喷出的水(淬火剂)使表面淬火。

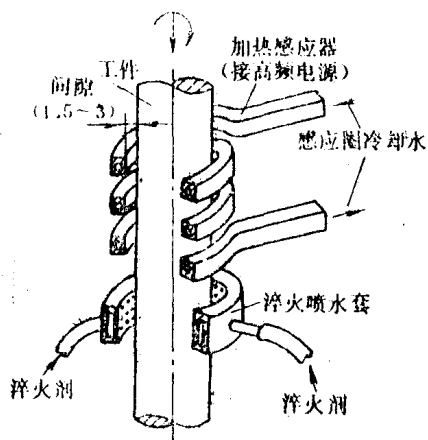


图1-7 感应加热表面淬火示意图

感应器通入交流电时,自身也会产生电阻热,故需通水冷却。为使工件圆周方向上加热均匀,防止淬火后硬度不一致,工件还需要自转。

工件的淬硬层深度取决于电流频率。频率愈高,工件内的感应电流愈集中于表层,所得淬硬层愈浅。按电流频率高低不同,感应加热表面淬火分为高频($>100\text{kHz}$)、中频($500\text{Hz}\sim 10\text{kHz}$)和工频(50Hz)。生产上常用的是高频($200\sim 300\text{kHz}$)淬火,淬硬层深度为 $0.5\sim 2\text{mm}$ 。

火焰加热表面淬火,是用氧—乙炔火焰或氧—煤气火焰将工件表面迅速加热到淬火温度,然后喷水冷却,如图1-8所示。这种方法设备简单、投资少,但质量不够稳定,一般用于单件小批生产及大件的局部表面淬火。

6. 钢的化学热处理

化学热处理是将热处理工件放在某些化学介质中,加热到一定温度并保温一定时间,使一种或几种元素的活性原子渗入工件的表层,以改变表层的化学成分和组织的热处理操作。它可以更大程度地提高零件表面的硬度、耐磨性、耐热性和耐蚀性,而心部仍保持原有的性能。化学热处理方法是按渗入元素种类命名的,最常用的是渗碳、渗氮、碳与

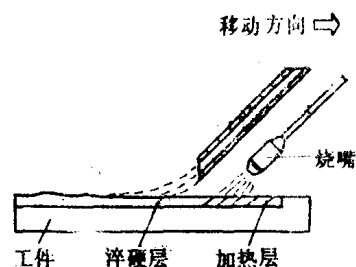


图1-8 火焰加热表面淬火示意图

氮共渗。

按渗碳剂不同, 渗碳方法可分为固体渗碳、液体渗碳和气体渗碳。生产上常用的是气体渗碳。它是将工件装入密封的井式气体渗碳炉中, 如图1-9所示, 加热至 $900\sim 950^{\circ}\text{C}$, 滴入煤油, 煤油分解出活性[C]原子, 进而被工件表面吸附, 并向内扩散。风扇的作用是使工件加热均匀, 工件各处均被活性[C]包围。多余的气体从废气管中溢出, 并要点燃, 以防污染环境。渗碳适用于低碳钢或合金渗碳钢件的热处理, 可使零件表层 $1\sim 2\text{mm}$ 厚度内的含碳量提高到 $0.8\%\sim 1.2\%$ 。当渗碳钢件淬火并回火后, 可获得表层高硬度和高耐磨性, 心部高韧性的效果。主要用来处理承受冲击力和在强烈摩擦条件下工作的零件, 如活塞销、凸轮轴、汽车齿轮等。

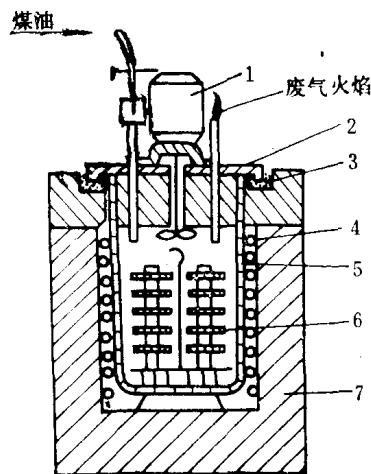


图1-9 气体渗碳示意图

1—风扇电动机 2—炉盖 3—砂封 4—电阻丝
5—耐热罐 6—工件 7—炉体

渗氮也叫氮化。常用的气体渗氮方法是将工件加热到 550°C 左右通入氨气, 分解出活性[N], 被工件表面吸附, 在工件表层形成极硬的氮化物薄层。它可以大大提高表面硬度和耐磨性, 还具有一定的耐热性、耐蚀性。

因加热温度低, 工件变形很小。主要用于处理高精度的受冲击载荷不太大的耐磨件, 如精密机床主轴、镗床镗杆、高速传动齿轮等。

渗碳与渗氮相比, 渗碳层厚、承载能力大、处理时间短, 但加热温度高、工件变形大; 渗氮层薄、承载较小、处理时间长, 但加热温度低、工件变形小。当把活性[C]、[N]原子同时渗入工件时, 称为碳氮共渗。低温下(550°C 左右)的碳氮共渗又称气体软氮化。它主要以渗氮为主, 又兼有渗碳的优点, 虽然渗层薄, 但硬度很高且不脆, 具有较高的抗咬合和防擦伤能力, 广泛用于模具、量具和耐磨件的处理。

三、热处理时产生的缺陷及防止方法

热处理过程中, 若工艺参数选择不佳、仪表误差过大或操作不当, 就会使工件产生缺陷。常见的缺陷有: 过热、过烧、氧化、脱碳、硬度不足、硬度不均、变形及裂纹等。

退火、正火、淬火的加热温度主要取决于钢的化学成分, 保温时间则应以零件心部组织得以完全转变为准。加热温度太低, 保温时间太短, 达不到钢的组织全部转变的目的, 其结果是退火退不软、淬火淬不硬或硬度不均; 加热温度过高, 保温时间太长, 会使钢的晶粒变粗(称为过热)导致塑性和韧性显著降低。当加热温度高到近熔点时, 会使一部分杂质熔化或严重氧化(称为过烧)造成工件报废。另外, 若加热温度过高, 在加热和保温时, 炉内的氧化性气氛会使工件表面的金属氧化、钢中碳原子烧损(称为脱碳)。因此, 要想防止或减少这些缺陷。必须严格控制加热温度和保温时间。

在淬火时, 冷却速度很快, 若工件冷却不均, 工件内会产生很大的内应力, 甚至引起变形和裂纹。因此, 要选择合适的淬火剂和淬火方法, 以及正确的操作。

四、典型零件的热处理

1. 锤头