



基于“校企合作”人才培养模式
机械制造及自动化示范专业教改新教材

机械零件加工 工艺编制

JIXIE LINGJIAN JIAGONG GONGYI BIANZHI

武友德 吴伟◎主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



基于“校企合作”人才培养模式
机械制造及自动化示范专业教改新教材

机械零件加工工艺编制



机械工业出版社

本书共分为“轴类零件加工工艺编制”、“盘套类零件加工工艺编制”、“螺纹加工方法及丝杠的加工工艺编制”、“箱体类零件加工工艺编制”、“圆柱齿轮的加工工艺编制”、“零件的特种加工工艺”、“零件的数控加工工艺编制”等7个课题。

每个课题的内容均按照“机械零件加工岗位职业标准”，分析本课题承担的培养任务，选择合适的载体，并基于零件加工的工作流程，将实际生产案例有机地融入到教材中，做到了生产实际与课堂教学的有机结合。

本书可以作为高等职业院校机械制造及自动化专业学生用书，也可作为企业工艺技术人员参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

机械零件加工工艺编制/武友德, 吴伟主编. —北京: 机械工业出版社, 2009.8

基于“校企合作”人才培养模式机械制造及自动化示范专业教改新教材
ISBN 978-7-111-27886-3

I. 机… II. ①武…②吴… III. 机械元件—加工—专业学校—教材
IV. TH16

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 129261 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑: 汪光灿 版式设计: 霍永明 责任校对: 陈延翔

封面设计: 王伟光 责任印制: 洪汉军

北京外文印刷厂印刷

2009 年 11 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·15 印张·367 千字

0001—3000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-27886-3

定价: 26.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心: (010) 88361066

门户网: <http://www.cmpbook.com>

销售一部: (010) 68326294

教材网: <http://www.cmpedu.com>

销售二部: (010) 88379649

读者服务部: (010) 68993821 封面无防伪标均为盗版

前 言

“机械零件加工工艺编制”课程是机械制造及自动化专业的一门主干课程。为建设好该课程，本校组建了由省级教学名师、机械类专业带头人、课程带头人等8名骨干教师、7名兼职教师组成的校企合作课程开发团队。教材的编写实行双主编与双主审制，由四川省教学名师、四川工程职业技术学院机械制造及自动化专业带头人武友德教授和东方电气集团东方电机股份有限公司工艺处高级工程师吴伟专家联合担任教材主编，由中国重装基地知名工艺师李先跃和中国第二重型机械集团公司工艺处专家李珊莉教授级高工联合担任主审。

为了使“机械零件加工工艺编制”课程符合高技能人才培养目标和专业相关技术领域职业岗位的任职要求，课程开发团队按照“行业引领、企业主导、学校参与”的思路，制订了“机械加工岗位职业标准”，该标准已通过四川省经委组织的由有关行业、企业专家组成的鉴定组的评审鉴定。依据本标准，明确课程内容，并基于工作过程对课程内容进行了组织。

本书的编写始终以“机械加工岗位职业标准”所确定的该门课程所承担的典型工作任务为依托，以基于工厂“典型零件”的真实加工过程为导向，结合企业生产实际零件制造的工作流程，分析完成每个流程所必需的知识和能力结构，归纳了“机械零件加工工艺编制”课程的主要工作任务，选择合适的载体，构建主体学习单元；按照任务驱动、项目导向，以职业能力培养为重点，将真实生产过程和产品融入教学全过程。

本书共分为“轴类零件加工工艺编制”、“盘套类零件加工工艺编制”、“螺纹加工方法及丝杠的加工工艺编制”、“箱体类零件加工工艺编制”、“圆柱齿轮的加工工艺编制”、“零件的特种加工工艺”、“零件的数控加工工艺编制”等7个课题。

本书由学校与行业、企业合作编写，在2年前开发出的工学结合的《机械零件加工工艺编制》活页教材的基础上，经过专业教学指导委员会的多次论证和修改，最终编写而成。

本书由四川工程职业技术学院武友德教授、东方电气集团东方电机股份有限公司吴伟高级工程师担任主编。武友德编写课题7，东方电机股份有限公司吴勤提供相关资料，并协助编写；苏珉、杨保成合作编写课题1，中国第二重型机械集团公司李珊琳提供相关资料，并协助编写；蒲亨前编写课题2，东方汽轮机厂钟成明提供相关资料，并协助编写；杨金凤编写课题3，中国第二重型机械集团公司徐斐提供相关资料，并协助编写；杨顺田副教授编写课题4，东方电机股份有限公司吴伟提供相关资料，并协助编写；郑立新编写课题5，东方电机股份有限公司罗大兵提供相关资料，并协助编写；冷真龙编写课题6，中国第二重型机械集团公司杨松凡提供相关资料，并协助编写。

本书由中国重装基地知名工艺师李先跃和中国第二重型机械集团工艺处专家李珊琳教授级高工联合担任主审。

本书的编写属于国家高职示范性院校建设项目，由于编者水平有限，书中难免有不妥之处，敬请读者批评赐教。

编 者

2009. 2

目 录

前言

课题一 轴类零件加工工艺编制 1

-  1-1 机械加工工艺认识 2
-  1-2 零件分析 7
-  1-3 材料、毛坯及热处理方式选择 8
-  1-4 轴类零件的常见加工表面及
加工方法 22
-  1-5 轴类零件加工车刀的选择 47
-  1-6 轴类零件加工机床的选择及
工件的装夹 59
-  1-7 基准及其选择 66
-  1-8 加工阶段划分与工序顺序安排 ... 67
-  1-9 加工余量和工序尺寸的确定 69
-  1-10 机械加工工时定额的制定 73
-  1-11 填写工艺文件 77

课题二 盘套类零件加工工艺编制 81

-  2-1 零件分析 82
-  2-2 材料、毛坯及热处理方式选择 ... 82
-  2-3 套类零件的常见加工表面及
加工方法 83
-  2-4 盘套类零件的加工方案 108
-  2-5 盘套类零件的加工工艺编制 110

课题三 螺纹加工方法及丝杠的加工 工艺编制 112

-  3-1 螺纹的分类及技术要求 112
-  3-2 螺纹的加工方法 113
-  3-3 丝杠的加工工艺编制 115

课题四 箱体类零件加工工艺编制 118

-  4-1 零件分析 119
-  4-2 材料、毛坯及热处理方式选择 ... 120
-  4-3 箱体类零件的加工方法 121
-  4-4 制定箱体类零件加工工艺过程的
共性原则 146
-  4-5 箱体类零件加工定位基准的
选择 147
-  4-6 箱体类零件加工工艺过程的
制定 149

课题五 圆柱齿轮的加工工艺编制 151

-  5-1 零件分析 151
-  5-2 材料、毛坯及热处理方式
选择 153
-  5-3 齿轮的加工方案 154
-  5-4 圆柱齿轮的齿形加工方法 156
-  5-5 圆柱齿轮的加工工艺过程
编制 165

课题六 零件的特种加工工艺 170

-  6-1 电火花成形加工 170
-  6-2 数控电火花线切割加工 189
-  6-3 超声加工 202

课题七 零件的数控加工工艺编制 204

-  7-1 数控车削加工工艺编制 204
-  7-2 数控镗铣、加工中心加工工艺
编制 216

参考文献 232

图 1-1 传动轴

要完成该零件的加工,在车间接受任务后,首先由工艺人员审查零件图、分析零件结构和要求;选择或根据给定的零件材料,确定毛坯以及分析应采用哪些热处理方式、各种表面的加工方法;根据企业生产人员技术水平、设备和装备状况,选择加工设备、工装和确定零件精度检验手段及相关检测工具;查阅有关技术手册和相关资料,编制加工工艺文件,然后操作人员按照工艺文件的加工顺序及要求,完成零件的加工。可以说工艺文件是指导加工的重要技术文件,所编制的工艺文件是否科学合理,直接影响到零件的加工质量和生产效率。



1-1

机械加工工艺认识

一、机器的生产过程和工艺过程

1. 生产过程

所谓生产过程是将原材料变为成品之间各个相互关联的劳动过程。机器的生产过程包含:

- 1) 生产技术准备过程。这个过程主要完成产品投入生产前的各项准备工作,如产品设计、工艺设计、工装设计制造等。
- 2) 毛坯的制造。
- 3) 零件的各种加工过程。
- 4) 产品的包装过程。
- 5) 原材料、半成品和工具的供应、运输、保管以及产品的发运等。

2. 机械加工工艺过程

机械加工工艺过程是由很多工序组成的,工序包含若干个安装、工位、工步和进给。

(1) 工序 所谓工序,是指一个或一组工人,在一个工作地点,对同一个或同时对几个工件所连续完成的那一部分工艺过程称为工序。划分工序的主要依据是工作地点是否变动和工作是否连续。

(2) 安装 工件经一次装夹后所完成的那一部分工序称为安装。在一道工序中,工件可能被装夹一次或多次才能完成加工。

(3) 工位 为了完成一定的工序部分,一次装夹工件后,工件与夹具或设备的可动部分一起相对刀具或设备的固定部分所占据的每一个位置,称为工位。

(4) 工步 在加工表面和加工工具不变的情况下,所连续完成的那一部分工序内容称为工步。划分工步的依据是加工表面和工具是否变化。

(5) 进给 在一个工步内,若被加工表面需切去的金属层很厚,可分几次切削,每切削一次为一次进给。一个工步可以包括一次或数次进给。

二、生产类型及其工艺特征

1. 生产纲领

生产纲领是指企业在计划内应当生产的产品产量和进度计划。计划期常定为1年,因此

生产纲领常称为年产量。

零件生产纲领要计入备品和废品的数量，可按下式计算：

$$N = Qn(1 + \alpha)(1 + \beta) \quad (1-1)$$

式中 N ——零件的年产量，单位为件/年；

Q ——产品的年产量，单位为台/年；

n ——每台产品中该零件的数量，单位为件/台；

α ——备品的百分率；

β ——废品的百分率。

2. 生产类型

生产类型是指企业（或车间、工段、班组、工作地）生产专业化程度的分类，一般分为单件生产、成批生产和大量生产三种类型。

生产类型和生产纲领的关系见表 1-1。

表 1-1 生产类型和生产纲领的关系

生产类型		生产纲领（单位为台/年或件/年）		
		重型零件（30kg 以上）	中型零件（4 ~ 30kg）	轻型零件（4kg 以下）
单件生产		≤ 5	≤ 10	≤ 100
成批生产	小批生产	$> 5 \sim 100$	$> 10 \sim 150$	$> 100 \sim 500$
	中批生产	$> 100 \sim 300$	$> 150 \sim 500$	$> 500 \sim 5000$
	大批生产	$> 300 \sim 1000$	$> 500 \sim 5000$	$> 5000 \sim 50000$
大量生产		> 1000	> 5000	> 50000

3. 各种生产类型的工艺特征

生产类型不同，产品和零件的制造工艺、所用设备及工艺装备、采取的技术措施、达到的技术经济效果等也不同。各种生产类型的工艺特征见表 1-2。

表 1-2 各种生产类型的工艺特征

生产类型 工艺特征	单件小批生产	中批生产	大批量生产
加工对象	经常变换	周期性变换	固定不变
零件的互换性	无互换性，钳工修配	普遍采用互换或选配	完全互换或分组互换
毛坯	木模手工造型或自由锻，毛坯精度低，加工余量大	金属模造型或模锻毛坯，精度中等，加工余量中等	金属模机器造型、模锻或其他高生产率毛坯制造方法，毛坯精度高，加工余量小
机床及布局	通用机床按“机群式”排列	通用机床和专用机床按工件类别分工段排列	广泛采用专用机床及自动机床，按流水线排列
工件的安装方法	划线找正	广泛采用夹具，部分划线找正	夹具
获得尺寸方法	试切法	调整法	调整法或自动加工
刀具和量具	通用刀具和量具	通用和专用刀具、量具	高效率专用刀具、量具
工人技术要求	高	中	低
生产率	低	中	高
成本	高	中	低

(续)

生产类型 工艺特征	单件小批生产	中 批 生 产	大批量生产
夹具	极少采用专用夹具和特种工具	广泛使用专用夹具和特种工具	广泛使用高效率的专用夹具和特种工具
工艺规程	机械加工工艺过程卡	较详细的工艺规程, 对重要零件有详细的工艺规程	详细编制工艺规程和各种工艺文件

三、工艺文件

将工艺文件的内容，填入一定格式的卡片，即成为生产准备和施工依据的工艺文件。常用的工艺文件的格式有下列几种：

1. 机械加工工艺过程卡

这种卡片以工序为单位，简要地列出整个零件加工所经过的工艺路线（包括毛坯制造、机械加工和热处理等）。它是制订其他工艺文件的基础，也是生产准备、编排作业计划和组织生产的依据。在这种卡片中，由于各工序的说明不够具体，故一般不直接指导工人操作，而多作为生产管理方面使用。但在单件小批生产中，由于通常不编制其他较详细的工艺文件，而就以这种卡片指导生产。机械加工工艺过程卡片见表 1-3。

表 1-3 机械加工工艺过程卡片

机械加工工艺 过程卡片		产品型号				零件图号				共 页 第 页			
		产品名称				零件名称							
材料 牌号		毛坯 种类		毛坯外 形尺寸		每毛坯 可制件数		每台 件数		备注			
工序 号	工序 名称	工序内容			车间	工段	设备	工艺装备		工时			
										准终	单件		
描图													
审核													
底图号													
装订号													
						设计 (日期)	审核 (日期)	标准化 (日期)		会签 (日期)			
	标记	处数	更改文件号	签字	日期								

2. 机械加工工艺卡片

机械加工工艺卡片是以工序为单位，详细地说明整个工艺过程的一种工艺文件。它是用来指导工人生产和帮助车间管理人员和技术人员掌握整个零件加工过程的一种主要技术文件，是广泛用于成批生产的零件和重要零件的小批生产中。机械加工工艺卡片内容包括零件的材料、重量、毛坯种类、工序号、工序名称、工序内容、工艺参数、操作要求以及采用的设备和工艺装备等。机械加工工艺卡片格式见表1-4。

表 1-4 机械加工工艺卡片

工 厂			机械加工工艺卡片			产品型号				零（部）件图号				共 页	
						产品名称				零（部）件名称				第 页	
材料 牌号				毛坯 种类		毛坯外 形尺寸				每毛坯 件数		每台 件数		备注	
工 序	装 夹	工 步	工序 内容	同时加 工零 件数	切削用量			设备 名称 编号	工艺装备 名称及编号			技术 等级	工时定额		
					背吃刀量 /mm	切削速度 /m·min ⁻¹	进给量 /mm·r ⁻¹		夹具	刀具	量具		单件	准终	
						编制（日期）		审核（日期）		会签（日期）					
标记	处数	更改文件号		签字	日期										

3. 机械加工工序卡片

机械加工工序卡片是根据机械加工工艺卡片为一道工序制订的，它更详细地说明整个零件各个工序的要求，是用来具体指导工人操作的工艺文件。在这种卡片上要画工序简图，说明该工序每一工步的内容、工艺参数、操作要求以及所用的设备及工艺装备。一般用于大批大量生产的零件。机械加工工序卡片格式见表 1-5。

表 1-5 机械加工工序卡片

机械加工工序卡片		产品型号		零件图号		共 页			
		产品名称		零件名称		第 页			
				车间	工序号	工序名称		材料牌号	
				毛坯种类	毛坯外形尺寸	每件毛坯可制件数		每台件数	
				设备名称	设备型号	设备编号		同时加工件数	
				夹具编号		夹具名称		切削液	
				工位器具编号		工位器具名称		工序工时	
								准终	单件
工步号	工步内容	工艺装备	主轴转速 $/r \cdot \min^{-1}$	切削速度 $/m \cdot \min^{-1}$	进给量 $/mm \cdot r^{-1}$	背吃刀量 $/mm$	进给次数	工步工时	
								准终	单件
描图									
描校									
底图号									
装订号									
			编制 (日期)		审核 (日期)		标准化 (日期)		会签 (日期)
标记	处数	更改文件号	签字	日期					

四、编制工艺规程的原则及方法

1. 编制工艺规程的原则

- (1) 制订工艺规程的原则：保证产品质量，提高生产效率，降低成本。
- (2) 注意的问题：技术上的先进性，经济效益要高，良好的劳动环境。

2. 编制工艺规程的原始资料

在编制工艺规程时，首先要收集以下原始资料。

- (1) 产品的装配图和零件图。
- (2) 质量验收标准。
- (3) 生产纲领。
- (4) 毛坯资料。
- (5) 本厂的生产技术条件。
- (6) 有关的各种技术资料。

五、编制工艺规程的步骤

- (1) 分析零件。
- (2) 选择毛坯的制造方法。
- (3) 拟订工艺路线, 选择定位基准。
- (4) 确定各工序尺寸及公差。
- (5) 确定各工序的工艺装备。
- (6) 确定各工序的切削用量和工时定额。
- (7) 确定各工序的技术要求和检验方法。
- (8) 填写工艺文件。

1-2 零件分析

零件的工艺性分析主要是指分析零件的技术要求、零件的结构和零件的结构工艺性。

1. 零件的技术要求分析

轴类零件的技术要求主要有以下几个方面:

(1) 直径尺寸精度和几何形状精度 轴上支承轴径和配合轴径是轴的重要表面, 其直径尺寸精度通常为 IT5 ~ IT9 级, 形状精度 (圆度、圆柱度) 控制在直径公差之内, 形状精度要求较高时, 应在零件图样上另行规定其公差, 如图 1-1 所示。

(2) 相互位置精度 轴类零件中的配合轴颈 (装配传动件的轴颈) 对于支承轴颈的同轴度是相互位置精度的普遍要求。普通精度的轴, 配合轴颈对支承轴颈的径向圆跳动一般为 0.01 ~ 0.03mm, 高精度轴为 0.001 ~ 0.005mm。

此外, 相互位置精度还有内外圆柱面间的同轴度、轴向定位端面与轴心线的垂直度要求等。

(3) 表面粗糙度 根据机器精密程度的高低、运转速度的大小不同, 轴类零件表面粗糙度要求也不相同。支承轴颈的表面粗糙度 R_a 值一般为 0.16 ~ 0.63 μm , 配合轴颈 R_a 值为 0.63 ~ 2.5 μm 。

2. 零件的结构分析

轴类零件是机器中常见的零件, 也是重要的零件, 其主要功用是支承传动零部件 (如齿轮、带轮等) 和传递转矩。

零件的结构分析主要是弄清零件由什么表面构成, 各表面的尺寸大小如何。如图 1-1 所示, 轴类零件是旋转体零件, 其长度大于直径, 加工表面通常有内外圆柱面、圆锥面, 以及螺纹、键槽、横向沟、沟槽等。根据轴上表面类型和结构特征的不同, 轴可分为多种形式, 如光轴、空心轴、半轴、阶梯轴、花键轴、十字轴、偏心轴、曲轴、凸轮轴和齿轮轴等。

3. 零件的结构工艺性分析

零件的结构工艺性分析, 主要分析零件结构的合理性, 看零件在结构上是否符合机械加工要求。

1-3

材料、毛坯及热处理方式选择

一、轴类零件的材料

机械加工中常用到铁碳合金材料, 铁碳合金是以铁为基础的合金, 也是钢和铸铁的统称, 它是现代工业中应用最广泛的合金。钢和铸铁虽然是多组元的复杂合金, 但铁和碳是它的两个最基本的组元。

(一) 铁碳合金的基本组织

纯铁具有良好的塑性, 但强度、硬度较低, 很少用它制造机械零件。在纯铁中加入少量的碳, 组织和性能就会发生显著的变化, 其原因是铁和碳相互结合, 形成了不同的合金组织。在固态铁碳合金中, 铁和碳的基本结合方式有两种: 一种是碳溶于铁的晶格中形成固溶体, 另一种是铁和碳形成金属化合物。此外, 也可以由固溶体和金属化合物组合成机械混合物。铁碳合金的基本组织有铁素体、奥氏体、渗碳体和珠光体等。

1. 铁素体

碳溶于 α -Fe 中形成的间隙固溶体称为铁素体, 用符号 F 表示。它仍保持 α -Fe 的体心立方晶格, 其原子排列如图 1-2 所示。由于体心立方晶格原子间的空隙较小, 所以碳在 α -Fe 中的溶解度也较小, 在 727°C 时为 0.0218%; 在室温时约为 0.0008%。铁素体的性能与纯铁相似, 即具有良好的塑性和韧性, 较低的强度和硬度。

2. 奥氏体

碳溶于 γ -Fe 中形成的间隙固溶体称为奥氏体, 用符号 A 表示。它仍保持 γ -Fe 的面心立方晶格, 其原子排列如图 1-3 所示。奥氏体的碳溶解能力比铁素体要大, 在 1148°C 时溶

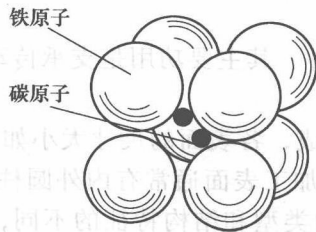


图 1-2 铁素体中原子排列示意图

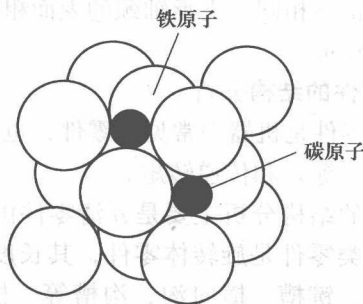


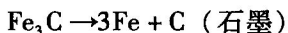
图 1-3 奥氏体中原子排列示意图

解度最大达 2.11%；温度降低，溶解度也降低，在 727℃ 时溶解度为 0.77%。奥氏体一般存在于 727℃ 以上的高温范围内，具有较低的硬度和良好的塑性，易于锻压成形。

3. 渗碳体

渗碳体是铁和碳形成的一种间隙化合物，其分子式为 Fe_3C ，可以符号 C_m 表示。渗碳体的碳的质量分数为 6.69%，它是一个高碳相，熔点约为 1227℃。其硬度极高，脆性很大，而塑性和冲击韧性几乎等于零。因此渗碳体不能单独使用，在钢中总是和铁素体混在一起，是钢中的主要强化相，渗碳体的数量、形状、大小和分布状况对钢的力学性能影响很大。

渗碳体在一定条件下可以分解形成铁和石墨状态的自由碳：



这一分解过程对铸铁具有重要意义。

4. 珠光体

珠光体是铁素体和渗碳体组成的机械混合物，用符号 P 表示。在珠光体中，铁素体和渗碳体各自保持着自己原来的晶格类型。

珠光体的平均碳的质量分数为 0.77%。由于它是硬的渗碳体和软的铁素体两相组成的混合物，所以它的力学性能介于铁素体和渗碳体之间。它的强度较高，硬度适中，具有一定塑性。

在铁碳合金的几种基本组织中，铁素体、奥氏体、渗碳体都是单相组织，称为铁碳合金的基本相。而珠光体则是由基本相组成的机械混合物，表 1-6 列出了铁碳合金的基本组织的力学性能。

表 1-6 铁碳合金的基本组织的力学性能

名 称	符 号	定 义	HBW	σ_b/MPa	δ (%)
铁素体	F	碳在 $\alpha\text{-Fe}$ 中的间隙固溶体	80	250	50
奥氏体	A	碳在 $\gamma\text{-Fe}$ 中的间隙固溶体	170 ~ 220	>400	40 ~ 60
渗碳体	C_m	铁与碳形成的金属化合物	800	30	≈ 0
珠光体	P	铁素体和渗碳体的层片状机械混合物	100 ~ 280	800 ~ 850	20 ~ 25

注：表中奥氏体的性能数据为高温力学性能。

（二）轴类零件的常用材料

一般轴类零件的材料常用 45 钢；中等精度而转速较高的轴类零件可选用 40Cr 等合金结构钢；精度较高的轴可选用轴承钢 GCr15 和弹簧钢 65Mn 等；高速、重载等条件下工作的轴可以选用 20CrMnTi、20Cr、38CrMoAl、42CrMo 等。

二、轴类零件的毛坯选择

轴类零件的毛坯常用的有棒料、锻件和铸件三种。光轴和直径相差不大的阶梯轴毛坯一般以棒料为主。外圆直径相差较大的轴或重要的轴（如主轴）宜选用锻件毛坯，既节省材料、减小切削加工的劳动量，又改善其力学性能。结构复杂的大型轴类零件（如曲轴）可采用铸件毛坯。

三、轴类零件的热处理

（一）钢的热处理基础

钢的热处理是指将钢在固态下采用适当的方式进行加热、保温和冷却以获得所需要的组

织结构与性能的工艺方法。热处理方法虽然很多,但任何一种热处理工艺过程都可在温度—时间坐标系中用曲线图形来表示,如图 1-4 所示。此曲线称为热处理工艺曲线。

通过热处理,可以显著提高钢的力学性能,充分挖掘钢材的强度潜力,改善零件的使用性能,提高产品质量,延长使用寿命。

此外,热处理还可改善毛坯件的工艺性能,为后续工序作好组织准备,以利于各种冷、热加工。据统计,现代机床工业中有 60%~70% 的零件要进行热处理;而在刀具、量具、模具等的制造中,则 100% 的需进行热处理。因此,热处理在机械制造业中占有十分重要的地位。

根据加热和冷却方法不同,常用的热处理方法大致分类如下:

热处理分为普通热处理和表面热处理两大类,其中普通热处理包括退火、正火、淬火、回火 4 种方法;表面热处理又分成表面淬火(感应加热、火焰加热、激光加热)和化学热处理(渗碳、渗氮、碳氮共渗和其他)。

热处理之所以能使钢的性能发生变化,其根本原因是钢在加热和冷却过程中,发生了组织与结构变化的结果。钢在加热时的组织转变,钢的热处理,首先需进行加热,大多数机械零件的热处理都需要加热到临界温度以上,使其全部或部分转变为均匀的奥氏体,以便采用适当的冷却方式,获得所需要的组织。

在铁碳合金状态图中, A_1 、 A_3 、 A_{cm} 是钢在极其缓慢加热和冷却时的临界温度。但在实际的加热和冷却条件下,钢的组织转变总有“滞后”现象,即此时的临界温度与状态图所示平衡临界温度有一定的偏离,通常在加热(冷却)时要高于(低于)状态图所示临界温度。为了区别起见,通常把加热时的临界温度分别用 Ac_1 、 Ac_3 、 Ac_{cm} 表示;冷却时的各临界温度用 Ar_1 、 Ar_3 、 Ar_{cm} 表示,如图 1-5 所示在加热和冷却时 Fe-Fe₃C 状态图上各临界点的位置。

由铁碳合金状态图可知,任何成分的碳钢加热到临界温度 Ac_1 以上,都会发生珠光体向奥氏体的转变。热处理时进行 Ac_1 温度以上加热的目的,就是为了得到奥氏体,通常把这一组织转变过程称为奥氏体化。

退火和正火经常作为预先热处理工序,安排在锻造或铸造之后、机械(粗)加工之前,旨在消除前道工序造成的某些缺陷,为随后的切削加工和最终热处理作好准备。对一些普通铸件、焊接件以及一些性能要求不高的工件,也可作为最终热处理工序。

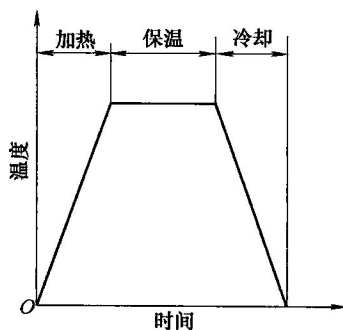


图 1-4 热处理工艺曲线

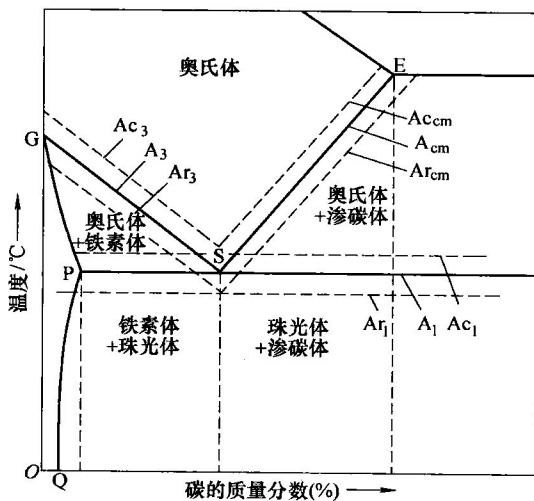


图 1-5 在加热和冷却时 Fe-Fe₃C 状态图上各临界点的位置

1. 退火

将钢加热到适当温度，保持一定时间，然后缓慢冷却的热处理工艺，称为钢的退火。根据钢的成分、退火工艺与目的不同，退火常分为完全退火、等温退火、球化退火和去应力退火等。

(1) 完全退火 完全退火的工艺是把亚共析钢加热到 A_{c3} 以上 $30 \sim 50^{\circ}\text{C}$ ，保温一定时间，随之缓慢冷却。

由于完全退火加热温度在 A_{c3} 以上，实现了亚共析钢的完全奥氏体化，缓慢冷却是保证奥氏体在珠光体转变区的上半部完成组织转变，如图 1-6 所示。因此，完全退火后的组织是接近平衡状态的组织，即铁素体 + 珠光体。由于钢在完全退火时，其内部组织经历了一次完全重结晶过程故又称为重结晶退火。重结晶使晶粒细化和均匀化，从而使中碳以上的钢软化以利于后续加工，且充分消除了内应力。

一般情况下，退火工件随炉冷却，即可满足所要求的冷却速度。实际操作时，可随炉缓冷至 $500 \sim 600^{\circ}\text{C}$ 以下后再在空气中冷却，也可埋在干砂、石灰中冷却。

完全退火主要用于亚共析成分钢的铸件、锻件及热轧型材，有时也用于焊接结构件。其目的是细化晶粒、消除内应力与组织缺陷、降低硬度、改善切削加工性能等。表 1-7 为碳的质量分数为 0.3% 的铸钢件进行完全退火后与原始铸态的性能比较。可见，铁素体晶粒尺寸在退火后大为减小，故强度、塑性均明显提高。

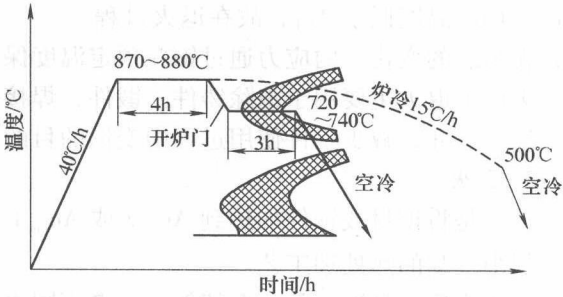


图 1-6 高速钢的等温退火（虚线表示）与完全退火的比较

表 1-7 碳的质量分数为 0.3% 铸钢件铸态和完全退火后性能比较

状 态	铁素体晶粒尺寸 ($1/\text{mm}^3$)	σ_b/MPa	σ_s/MPa	$\delta (\%)$	$\psi (\%)$
铸态	7.5×10^{-5}	473	230	14.6	17
850°C 退火后	1.4×10^{-5}	510	280	22.5	29

过共析钢不宜采用完全退火，因为加热到 A_{cm} 以上温度再缓慢冷却时，二次渗碳体会以网状沿奥氏体晶界析出，使钢的冲击韧度显著降低。

(2) 等温退火 等温退火是把钢件或毛坯加热到高于 A_{c3} （或 A_{c1} ）温度，保持适当时间后，较快地冷却到珠光体温度区间的某一温度并等温保持使奥氏体转变为珠光体型组织，然后在空气中冷却的退火工艺。与完全退火有着相似的目的，但等温退火可以有效地缩短退火时间，提高生产率；且因工件内外处于同一温度下发生组织转变，故可获得均匀的组织 and 性能。

图 1-6 所示为高速钢的完全退火与等温退火工艺比较。完全退火需要 $15 \sim 20\text{h}$ 以上，而等温退火所需时间则大为缩短。

(3) 球化退火 球化退火主要用于共析或过共析成分钢的刀具、量具、模具等。其目的在于球化渗碳体（或碳化物），以降低硬度，改善切削加工性，并为淬火作好组织准备。

一般球化退火的工艺是把钢加热到 A_{c1} 以上 $10 \sim 20^{\circ}\text{C}$ ，保温一定时间，然后缓慢冷却