

高等学校教材

安徽省高等学校“十一五”省级规划教材

安徽省高等学校省级本科精品课程配套教材

工程训练

GONGCHENG XUNLIAN

郑红梅 主编

(非机械类用)



配电子教案



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

本书是安徽省高等学校“十一五”省级规划教材。

本书是根据教育部机械基础课程教学指导分委员会金工课程教学指导小组制定的《普通高等学校工程材料及机械制造基础系列课程教学基本要求》编写的。全书包括机械工程材料及热处理、铸造、锻压、焊接、机械加工、钳工、数控加工、特种加工和电气线路基本知识等九章,并附有复习思考题。

书中内容力求精简,内容和插图讲求科学、系统、先进、实用。

本书可作为高等院校理工科非机械类各专业的工程训练(原金工实习)教材,也可供专科、职业技术学校、成人教育学校等教学人员和有关工程技术人员参考。

本书配有电子教案,凡一次性购书 30 本以上者免费赠送一份电子教案。请与本书责任编辑余茂祚联系(联系电话 010-88379759,邮箱 yumao-zuo@163.com)

图书在版编目(CIP)数据

工程训练/郑红梅主编. —北京:机械工业出版社,
2009. 1

高等学校教材. 安徽省高等学校“十一五”省级规划
教材. 安徽省高等学校省级本科精品课程配套教材. 非机械类用
ISBN 978-7-111-25925-1

I. 工… II. 郑… III. 机械制造工艺-高等学校-教材
IV. TH16

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 210639 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:余茂祚 版式设计:霍永明 责任校对:姚培新
封面设计:马精明 责任印制:邓 博
北京京丰印刷厂印刷
2009 年 2 月第 1 版 · 第 1 次印刷
184mm × 260mm · 10.25 印张 · 248 千字
0 001—4 000 册
标准书号:ISBN 978-7-111-25925-1
定价:18.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
销售服务热线电话:(010) 68326294
购书热线电话:(010) 88379639 88379641 88379643
编辑热线电话:(010) 68354423
封面无防伪标均为盗版

前 言

“工程训练”(原金工实习)是一门综合性和实践性很强的技术基础课,是工程基础教育和创新能力培养的主要教学环节。

随着国内经济的飞速发展,社会对“基础厚、专业面宽,具有工程实践能力和创新精神的高素质人才”的需求在不断地增长,“工程训练”已逐步成为工科、理科、医科和经管等非机械类专业的实践课;随着科学技术的快速发展,“新材料、新技术、新工艺”层出不穷,使“金工实习”教学内容不断丰富,外延不断拓展,教学要求不断提高,“金工实习”课程逐步过渡成为“工程训练”课程。各高等院校纷纷投入大量资金进行工程训练教学基地、教学设备和仪器等硬件环境建设。在课程建设、教学方法、教学手段、教学管理、师资队伍建设和教学研究等方面也取得了很多可喜的成绩。本书是根据教育部机械基础课程教学指导分委员会金工课程教学指导小组制定的《普通高等学校工程材料及机械制造基础系列课程教学基本要求》,并结合我国工业发展现状和当前高校教改的实际情况编写的。

非机械类专业数量多、差异大,教材内容既应有一定的覆盖面,能满足“工程训练”课程的基本要求,又应能突出重点,做到主次分明;既介绍工程材料和机械制造的基本知识,又适当兼顾本学科的理论基础和最新发展,力求科学、系统、先进、实用。

本书采用法定计量单位;名词术语和工艺参数尽量采用最新国家标准及行业标准。

本书由合肥工业大学郑红梅主编,潘昌实和杨沁任副主编。全书由郑红梅统稿并定稿。各章节分工如下:绪论由郑红梅编写;第一章由高正一、郑红梅和杨沁共同编写;第二章由郑红梅编写;第三、四、九章由潘昌实编写;第五章的第一、二、七、八节由郑红梅编写;第五章的第三、四、五、六节由杨沁编写;第六章由张祖芳编写;第七章的一、二、三节由郑红梅编写,第四节由杨沁编写;第八章由李小蕴编写。

本书在编写过程中得到了合肥工业大学工业培训中心的赵荣忠、范晓晶、王志平、朱建中、孟军、张文祥等老师的热情帮助,在此深表感谢!

由于编者水平有限,而且时间仓促,书中难免有不妥或错误之处,恳请广大读者批评指正。

编 者

目 录

前言		
绪论	1	
第一章 机械工程材料	2	
第一节 概述	2	
第二节 金属材料	2	
第三节 钢的热处理	10	
第四节 钢铁的表面处理	12	
第五节 非金属材料 and 复合材料	14	
第六节 工程材料的发展趋势	16	
复习思考题	17	
第二章 铸造	19	
第一节 概述	19	
第二节 砂型铸造	20	
第三节 铸造工艺	28	
第四节 金属的熔炼	31	
第五节 浇注、落砂和清理	32	
第六节 常见的铸造缺陷	33	
第七节 特种铸造	34	
第八节 常用铸造方法的综合比较	37	
第九节 铸造技术现状和发展趋势	38	
复习思考题	39	
第三章 锻压	40	
第一节 概述	40	
第二节 金属的加热和锻件的冷却	41	
第三节 自由锻造	43	
第四节 模锻和胎模锻	45	
第五节 板料冲压	47	
第六节 锻压技术发展概况	51	
复习思考题	53	
第四章 焊接	54	
第一节 概述	54	
第二节 焊条电弧焊	55	
第三节 气焊与气割	60	
第四节 其它常用焊接方法	63	
第五节 焊接质量	66	
第六节 焊接和切割技术的新发展	69	
复习思考题	71	
第五章 机械加工	73	
第一节 机械加工的基础知识	73	
第二节 车削加工	78	
第三节 刨削加工与拉削加工	87	
第四节 铣削加工	92	
第五节 插齿与滚齿加工	97	
第六节 磨削加工	97	
第七节 典型零件机械加工工艺过程的制定	100	
第八节 切削加工技术的新发展	103	
复习思考题	105	
第六章 钳工	106	
第一节 概述	106	
第二节 钳工的基本操作	106	
第三节 装配与拆卸	117	
复习思考题	121	
第七章 数控加工	122	
第一节 数控机床及其加工特点	122	
第二节 数控机床编程基础	124	
第三节 数控车削加工	128	
第四节 数控铣削加工	134	
复习思考题	138	
第八章 特种加工	139	
第一节 概述	139	
第二节 电火花加工	140	
第三节 数控电火花线切割加工	141	
第四节 激光加工	144	
第五节 等离子弧切割	145	
第六节 快速原型制造技术	145	
复习思考题	146	
第九章 电气线路基本知识	147	
第一节 概述	147	
第二节 电工工具	147	
第三节 电工材料	148	
第四节 安全用电	148	
第五节 低压电器	149	
第六节 机床控制线路	153	
复习思考题	155	
参考文献	156	

绪 论

工程训练（原金工实习）属于工程材料及机械制造基础系列课程，它涉及机械制造的全过程。机械制造过程从工艺准备开始，将原材料经过成形制造变成毛坯；然后将毛坯经过机械加工（或插入必要的热处理、表面处理）成为零件；零件再经过清洗、检验，与电器元件一起装配；最后进行调试、验收、涂装和包装成为合格的机电产品，可用图 0-1 表示。

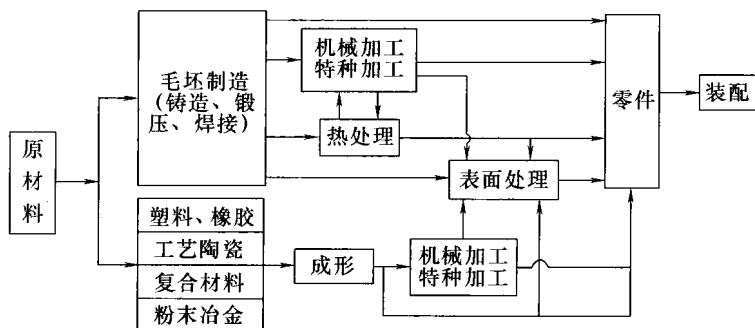


图 0-1 机械制造过程示意图

本教材涵盖工程材料、机械制造基础和电气线路基础知识等内容，是针对非机械类专业不单独开设工程材料及机械制造基础等课程编写的。

本教材还结合生产实际和专业需要，力争使学生在初步掌握工程材料和机械制造的基本理论、基本知识和基本技能的基础上，提高综合分析能力和实践能力，同时尽量反映新材料、新技术和新工艺，因而，突出了科学性、系统性、实用性和新颖性。

第一章 机械工程材料

目的和要求

1. 了解金属材料的基础知识。
2. 了解常用金属材料的牌号、性能及用途。
3. 了解常用非金属材料 and 复合材料的种类及用途。
4. 了解普通热处理工艺（即退火、正火、淬火及回火）。
5. 了解钢铁材料常用的表面处理工艺。

第一节 概 述

用以制造各种机电产品的材料，统称为机械工程材料。机械产品正朝着大型、成套、精密、高效、高速等方向发展，因而对机械工程材料要求越来越高。掌握各种机械工程材料的性能，可合理地选用材料，正确地制订制造工艺。

机械工程材料一般分为金属材料、非金属材料 and 复合材料三大类。

金属材料包括钢铁材料（黑色金属） and 非铁金属材料（有色金属）两种。金属材料来源丰富，性能优良，约占各种机器设备用材量的 80% ~ 90% 以上，是最重要的机械工程材料。

非金属材料包括高分子材料和陶瓷材料等，具有金属材料所不具备的某些特性，如耐腐蚀、隔声、减振和耐热等，而且价廉、易成形。非金属材料是近些年发展最迅速的材料。

复合材料是由两种或两种以上性质不同的材料合成的新材料。不同的非金属材料可以相互复合，非金属材料与金属材料可以复合，不同的金属材料之间也可以相互复合。复合材料不但保留了各组成材料的优点，而且可得到单一材料无法比拟的综合性能。

第二节 金属材料

一、金属材料的性能

金属材料的性能分为使用性能和工艺性能两大类。使用性能是金属材料在使用过程中表现出来的性能，主要有力学性能、物理性能（密度、熔点、导电性、导热性、磁性等） and 化学性能（耐酸性、耐碱性、抗氧化性等）。工艺性能是金属材料在制造加工过程中表现出来的性能。

（一）力学性能

金属材料的力学性能是金属材料在外力作用下所表现出来的特性。它是设计零件，以及选用、鉴定和验收材料的重要依据。常用的力学性能有：强度、硬度、塑性、韧性等。

1. 强度 强度是指抵抗永久变形和断裂的能力。常用的强度判据有屈服强度 R_e 和抗拉强度 R_m ，可由拉伸试验测定，图 1-1 为低碳钢的拉伸试验曲线。

屈服强度是材料开始产生明显塑性变形时的最低应力值，用 R_e 表示，单位为 MPa。抗拉强度是材料在拉断前所能承受的最大应力值用 R_m 表示，单位为 MPa。

R_e 和 R_m 是零件设计时的主要强度依据，也是评定金属材料强度的重要指标。材料除了承受拉伸载荷外，还有可能受到压缩、弯曲和剪切等载荷作用，因而分别对应有抗压强度、抗弯强度和抗剪强度等。

2. 塑性 塑性是指断裂前材料产生不可逆永久变形的能力，常用的塑性判据是断后伸长率 A (%) 和断面收缩率 Z (%)，也由拉伸试验测定。

材料的断后伸长率 A 和断面收缩率 Z 值越大，则其塑性越好。良好的塑性是塑性成形（如锻造、轧制、冲压等）不可缺少的条件，还可以缓和应力集中和防止突然脆断。

3. 硬度 硬度是材料抵抗局部变形，特别是塑性变形、压痕或划痕的能力。硬度是衡量金属软硬的判据，也是力学性能的一项综合指标。生产中常用的硬度判据有布氏硬度和洛氏硬度等，采用不同的硬度试验计测定。

(1) 布氏硬度。用一定直径 D 的硬质合金球作为压头，以规定的压力 F 将其压入被测金属材料的表面，保持一段时间后卸载，然后测量并计算金属表面的压痕的面积 S 。以压痕单位面积上承受的压力 F/S 作为布氏硬度值。布氏硬度的单位为 MPa，但习惯上只标硬度值不标单位。布氏硬度数值用 HBW 表示（如 550HBW）。

(2) 洛氏硬度。用顶角为 120° 的金刚石圆锥体或直径为 1.588mm 的淬火钢球作压头，在规定的载荷下压入被测金属材料的表面，卸载后，通过测定的压痕深度计算出洛氏硬度值，用符号 HR 表示。试验时选用的压头和总试验力不同，洛氏硬度的测量尺度也就不同。常用的洛氏硬度标尺有 A、B、C 三种，其中，应用最多的是 HRC（如 65HRC）。一般淬火钢、调质钢、工具等的硬度都用 HRC 表示。

洛氏硬度 HRC 与布氏硬度 HBW 大约为 1:10 的关系。例如 40HRC 相当于 400HBW。

硬度是设计机械零件时必须考虑的技术指标和选择加工工艺的依据。硬度试验设备简单，操作方便，对被测零件基本无损坏，是生产中常用的检验手段。

4. 冲击韧性 冲击韧性是金属材料抵抗冲击载荷的能力。冲击韧性是用冲击韧度或冲击吸收功来表示的。冲击韧度指冲击试样缺口底部单位截面积上承受的冲击吸收功；冲击吸收功是规定形状和尺寸的试件在冲击试验力一次作用下折断时所吸收的功，用符号 A_K (J) 表示。目前冲击韧性多用冲击吸收功 A_K 表示。金属材料的冲击韧性通常在摆锤冲击试验机上，用一次冲击弯曲试验来测定。锻锤锤头、冲模以及风动工具等，在外载荷的冲击作用下所引起的变形与应力，比承受静载荷时大得多，而且分布不均匀。因此，对受冲击载荷作用的零件，不能仅考虑静载荷强度指标，必须考虑材料的冲击韧性。

一般将冲击韧性低的材料称为脆性材料，冲击韧性高的材料称为韧性材料。前者在断裂前无明显的塑性变形，断口较平整，呈晶状或瓷状，有金属光泽；后者在断裂前有明显的塑

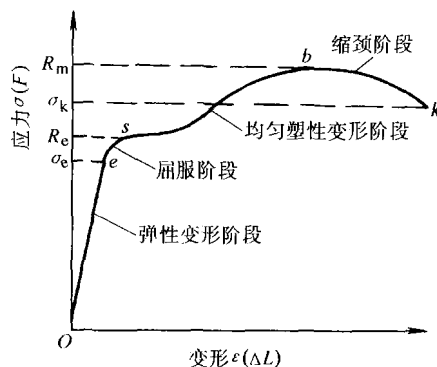


图 1-1 低碳钢的拉伸试验曲线

F —试验力 ΔL —绝对伸长量

σ_e —弹性极限 σ_k —断裂应力

性变形，断口呈纤维状，无光泽。

（二）工艺性能

金属材料对某种制造工艺所表现的适应性称为工艺性能，金属材料主要是经过铸造、压力加工、焊接、切削加工等工艺形成零件，因而金属材料的工艺性能主要有：铸造性能、锻造性能、焊接性能、切削加工性能和热处理性能等。

二、钢与铸铁

钢、铸铁是以铁为基体，含有不同碳的质量分数的合金，故统称为铁碳合金。它们是现代工业中应用最广泛的金属材料。

（一）钢的分类、牌号和用途

1. 钢的分类

（1）按化学成分分类。可分为碳素钢和合金钢两类。

1) 碳素钢。是碳质量分数小于 2.11% 的铁碳合金。实际使用的碳素钢中除含有铁和碳两种主要元素外，还存在有锰、硅、硫、磷等杂质元素。其中。锰和硅有时是炼钢时为脱氧而加入的元素，硫和磷是从炼钢原料中带入的有害杂质。

按碳的质量分数大小，碳素钢又可分为低碳钢 ($w(C) \leq 0.25\%$)、中碳钢 ($0.25\% < w(C) \leq 0.6\%$) 和高碳钢 ($w(C) > 0.6\%$) 三种。

2) 合金钢。为了提高钢的某些性能或获得某些特殊性能，炼钢时特意加入某一种或几种合金元素，得到的钢称为合金钢。

按合金元素含量多少可分为低合金钢（合金元素总的质量分数小于 5%）、中合金钢（合金元素总的质量分数为 5% ~ 10%）和高合金钢（合金元素总的质量分数大于 10%）三种。

（2）按品质分类

1) 普通钢， $w(P) \leq 0.045\%$ ， $w(S) \leq 0.05\%$ 。

2) 优质钢， $w(S, P) \leq 0.035\%$ 。

3) 高级优质钢， $w(P) \leq 0.03\% \sim 0.035\%$ ， $w(S) \leq 0.02\% \sim 0.03\%$ 。

（3）按用途分类

1) 结构钢，用于制造工程构件及机器零件。

2) 工具钢，用于制造刀具、量具和模具等。

3) 特殊性能钢，如不锈钢、耐热钢和耐磨钢等。

4) 专业用钢，如桥梁用钢、航空用钢、焊条用钢、船用钢和锅炉用钢等。

2. 钢的牌号和用途

（1）碳素钢

1) 碳素结构钢。牌号由屈服强度的“屈”字汉语拼音首位字母“Q”、屈服强度数值、质量等级符号和脱氧方法符号按顺序组成。钢的质量等级分为四级，用字母 A、B、C、D 表示，其中，A 级钢硫的质量分数不大于 0.050%，磷的质量分数不大于 0.045%；B 级钢的硫、磷的质量分数均不大于 0.045%；C 级钢硫、磷的质量分数均不大于 0.040%；D 级钢硫、磷的质量分数均不大于 0.035%。沸腾钢在钢的牌号尾部加“F”，半镇静钢的牌号尾部加“b”，镇静钢不加字母。如 Q235—AF，“Q”表示屈服强度，“235”表示屈服强度值为 235MPa，“A”表示质量等级较低，“F”表示脱氧方法（沸腾钢）。

碳素结构钢 $w(C) = 0.06\% \sim 0.38\%$ ，钢中的有害杂质和非金属夹杂物较多。

2) 优质碳素结构钢。牌号用二位数字表示，这二位数字以万分数表示钢中碳的平均质量分数。如 45 钢和 08 钢分别表示平均 $w(C) = 0.45\%$ 和 $w(C) = 0.08\%$ 的优质碳素结构钢。若为沸腾钢，则在牌号后加“F”符号，如 08F。若较高含锰量的优质碳素结构钢($w(Mn) = 0.7\% \sim 1.2\%$)，则在数字后加“Mn”符号，如 25Mn、45Mn 等。

3) 碳素工具钢。牌号用符号“T”（“碳”字的汉语拼音字首）和数字表示。数字以千分数表示碳的平均质量分数，若为高级优质碳素工具钢，则在牌号后加“A”符号。

常用碳素钢的牌号、性能及应用见表 1-1。

表 1-1 常用碳素钢牌号、性能及应用

种 类	牌 号	性 能	应用举例
碳 素 结构钢	Q195、Q215A、Q215B	塑性好，强度一般	板料、型材等，制造钢结构、螺钉、螺母、铆钉
	Q235A、Q235B、 Q235C、Q235D	强度较高	拉杆、心轴、链条、焊件等
	Q255A、Q255B、Q275	强度更高	工具、主轴、制动件、轧辊等
优质碳 素结构钢	08	含碳量低，塑性好、强度低、 焊接性好	垫片、冲压件和强度要求不高的焊接件
	10、15、20、25	含碳量低、塑性好、焊接性 好	薄钢板、各种容器、冲压件和焊接结构件、 螺钉、螺母、垫圈等
	30、35、40、45、50	含碳量中等、强度较高，韧 性、切削加工性好	经淬火、热处理后，用于制成轴类、齿轮、 丝杠、连杆、套筒等
	55、60、70	含碳量较高、较高的弹性	经淬火处理后，用于制造各种弹簧、轧辊 和钢丝等
碳 素 工具钢	T7、T8	硬度中等、韧性较高	冲头、凿子等
	T9、T10、T11	硬度高、韧性中等	丝锥、钻头
	T12、T13	硬度高、耐磨性好、韧性差	量具、锉刀等

(2) 合金钢

1) 低合金高强度结构钢。牌号由屈服强度的“屈”字汉语拼音首位字母“Q”、屈服强度数值、质量等级符号按顺序组成。如 Q390A，“Q”表示屈服强度，“390”表示屈服强度值为 390MPa，“A”表示质量等级较低的普通级。低合金高强度结构钢目前大量用于桥梁、船舶、车辆、高压容器、管道、建筑物等。

2) 合金结构钢。牌号由“二位数字 + 化学元素符号 + 数字”表示。前面两位数字以万分数表示的碳的平均质量分数，中间的元素符号表示合金钢中所含的合金元素，元素后面的数字表示合金元素平均质量分数（%），若合金元素平均质量分数小于 1.5% 时，牌号中只标明元素，不标出含量；当其平均质量分数为 1.5% ~ 2.49%、2.5% ~ 3.49%、3.5% ~ 4.49%、…时，则元素符号后相应标出 2、3、4、…。如 15Cr 钢，表示其平均 $w(C) = 0.15\%$ 、平均 $w(Cr) < 1.5\%$ 。

常用合金结构钢的牌号、性能及应用见表 1-2。

表 1-2 常用合金结构钢牌号、性能及应用

种 类	牌 号	性 能	应 用 举 例
普通低合金结构钢	Q345、Q390	强度较高，塑性、韧性、焊接性和耐磨性较好	桥梁、钢结构、压力容器等
渗碳钢	20Cr、20MnV、 20CrMoTi、20CrNi4A	含碳量低，塑性、韧性较好	轴、齿轮、活塞销、蜗杆等
调质钢	40Cr、42CrMo、 40MnB、38CrMoAl	强度高，塑性、韧性好，有良好的力学性能	机械零件，如齿轮、轴、连杆等
弹簧钢	65Mn、60Si2Mn、 50CrVA、60Si2CrVA	强度高	各种弹簧、板簧等

3) 合金工具钢。它的牌号组成和合金结构钢相似，只是最前面的数字以千分数表示碳的平均质量分数，且当平均 $w(C) \geq 1.0\%$ 时，不标明数字。如 3Cr2W8V，表示该合金工具钢中平均 $w(C) = 0.3\%$ ，平均 $w(Cr) = 1.5\% \sim 2.49\%$ ，平均 $w(W) = 7.5\% \sim 8.49\%$ ，平均 $w(V) < 1.5\%$ 。合金工具钢广泛用来制造各种刀具、量具、模具，如钻头、铰刀、量块和冲模等。

3. 铸钢 铸钢按化学成分可分为铸造碳钢和铸造合金钢二类。

(1) 铸造碳钢。铸造碳钢中用得最多的是中碳铸钢，占铸钢件总产量的 80% 以上。因为中碳铸钢具有良好的性能，而低碳铸钢铸造性能差，高碳铸钢的塑性、韧性差。铸造碳钢用于制作飞轮、机架、水压机工作缸等。

铸造碳钢的牌号用符号“ZG”和二组数字表示，其中“ZG”为“铸”和“钢”的汉语拼音首位字母，二组数字表示力学性能，第一组数字表示屈服强度最低值，第二组数字表示抗拉强度最低值。例如 ZG270—500，表示 $R_e \geq 270\text{MPa}$ ， $R_m \geq 500\text{MPa}$ 的铸造碳钢。

(2) 铸造合金钢。是在铸造碳钢的基础上加入某些合金元素，其强度、耐热性、耐磨性和耐蚀性等比铸造碳钢有显著提高。一般用来制造需要热处理强化的机械零件，如齿轮、叶片、喷嘴等。铸造合金钢按合金元素含量的多少可分为低合金铸钢和高合金铸钢。

铸造合金钢的牌号与一般合金钢的编号方法基本相同，区别处仅前面加“ZG”符号。“ZG”后面一组数字以万分数表示碳的平均质量分数，但当 $w(C) \geq 1\%$ 时，不标出数字。合金元素符号后面数字表示该元素的平均质量分数 (%)。但平均 $w(Mn) < 0.9\%$ 时，在牌号中不标元素符号；平均 $w(Mn) = 0.9\% \sim 1.4\%$ 时，只标符号不标含量。其它合金元素平均质量分数为 $0.9\% \sim 1.4\%$ 时，在该元素符号后面标注数字 1，如 ZG30MnSi1。

(二) 铸铁的分类、牌号和用途

铸铁是碳 $w(C) > 2.11\%$ 、杂质含量比钢多的铁碳合金。工业上常用铸铁的化学成分一般是： $w(C) = 2.5\% \sim 4.0\%$ ， $w(Si) = 1.0\% \sim 3.0\%$ ， $w(Mn) = 0.5\% \sim 1.4\%$ ， $w(P) \leq 0.2\%$ ， $w(S) \leq 0.15\%$ 。有时为了提高铸铁的性能，还需要加 Mn、Cr、Cu、Mo、V 等合金元素，制成合金铸铁，如耐磨铸铁、耐热铸铁、耐蚀铸铁等。铸铁具有优良的铸造性能、切削加工性能、减摩性和减振性，而且熔炼工艺与设备比较简单，成本低廉，因而应用广泛。

按碳在铸铁中存在的形式和石墨形态的不同，铸铁可分为五种，其中四种铸铁的石墨形态如图 1-2 所示。

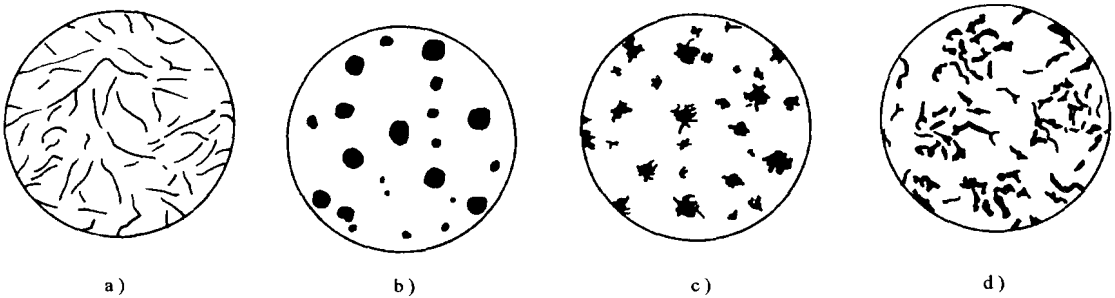


图 1-2 铸铁中不同石墨形态的比较
a) 灰铸铁（片状石墨） b) 球墨铸铁（球状石墨） c) 可锻铸铁（团絮状石墨）
d) 蠕墨铸铁（蠕虫状石墨）

1. 白口铸铁 碳主要以碳化物 Fe_3C 形式存在，断口呈银白色。白口铸铁硬而脆，难以加工，很少用来制造零件。但有时利用其硬度高、耐磨性好的优点制造某些耐磨零件。
2. 普通灰铸铁 碳主要以片状石墨形态存在（见图 1-2a），断口呈灰色。虽然灰铸铁的抗拉强度低，塑性、韧性很差，但铸造性能和切削加工性能很好，减摩性和减振性也很好，缺口敏感性小，在工业中应用很广。

灰铸铁的牌号以符号“HT + 三位数字”来表示。其中“HT”为“灰铁”的汉语拼音首位字母，后面三位数字表示 $\phi 30\text{mm}$ 试棒的最低抗拉强度值（MPa）。灰铸铁的牌号和应用见表 1-3。

表 1-3 灰铸铁的牌号和应用

类 别	牌 号	应用举例
普 通 灰 铸 铁	HT100	负荷很小的不重要零件或薄壁件，如手轮、防护罩、盖板、支架、底座等
	HT150	承受中等负荷的零件，如支柱、机座、箱体、泵体、阀体、带轮、缝纫机零件等
	HT200	承受中等负荷的重要零件，如机床床身、齿轮、气缸、齿条、飞轮、机体、中等压力阀体等
孕 育 铸 铁	HT250	要求较高的强度、耐磨性、减震性及一定密封性的零件，如气缸、油缸、齿轮、衬套等
	HT300	承受高负荷、高耐磨和高气密性的重要零件，如重型机床的床身、压力机床床身、高压油缸、泵体、齿轮、凸轮等
	HT350	

3. 球墨铸铁 在碳、硅含量稍高的铁液内加入适量的球化剂（如稀土镁合金）和孕育剂（如硅铁）进行球化处理和孕育处理，促进球状石墨结晶，就可得到球墨铸铁。球墨铸铁中的碳全部或大部分呈球状石墨形态存在（见图 1-2b）。

球墨铸铁的强度远远超过灰铸铁，甚至能与中碳钢媲美。疲劳极限较高，有较好的塑性及冲击韧性，焊接性、热处理性能也比灰铸铁好。具有良好的减振性、铸造性能、切削加工性能，缺口敏感性小。

球墨铸铁的牌号是以“球铁”的汉语拼音首位字母“QT”及其后面的两组数字表示，两组数字分别表示其最低抗拉强度值和断后伸长率。如 QT400—15，表示 $R_m \geq 400\text{MPa}$ ， $A \geq 15\%$ 的球墨铸铁。球墨铸铁的牌号和应用见表 1-4。

表 1-4 球墨铸铁的牌号和应用

牌 号	应用举例
QT400—18、QT400—15	承受冲击、振动的零件，如汽车、拖拉机底盘零件
QT450—10、QT500—7、QT600—3	负荷大、受力复杂的零件，如汽车和拖拉机的曲轴、连杆、凸轮轴等
QT700—2、QT800—2、QT900—2	高强度齿轮，如汽车后桥螺旋锥齿轮、大减速齿轮等

4. 可锻铸铁 可锻铸铁中的碳主要以团絮状石墨形态存在（见图 1-2c）。它是用碳、硅含量较低的铁液先浇注成白口铸铁件，再将白口铸铁件在固态下经较长时间高温退火（50~70h），使之生成团絮状石墨而成。它同灰铸铁相比不但有较高的强度，而且有一定的塑性和韧性，可锻铸铁也因此而得名，其实它是不可锻造的。

可锻铸铁的牌号是以“可铁”的汉语拼音字首“KT”及其后面两组数字表示，两组数字分别表示最低抗拉强度值和断后伸长率。按国家标准 GB/T 9440 和 GB/T 5612 的规定，黑心可锻铸铁在“KT”后加符号“H”，珠光体可锻铸铁加符号“Z”。常用可锻铸铁的牌号及应用见表 1-5。

表 1-5 可锻铸铁的牌号及应用

类 别	牌 号	应用举例
黑 心 可锻铸铁	KTH300—06、KTH330—08、 KTH350—10、KTH370—12	承受冲击、振动及扭转负荷的零件，如汽车和拖拉机的后桥壳、轮壳、转向机构壳体、机床附件；各种低压阀门、管件、纺织机和农机零件
珠光体 可锻铸铁	KTZ450—06、KTZ550—04、 KTZ650—02、KTZ700—02	负荷较高和耐磨损零件，如曲轴、连杆、齿轮、凸轮轴等

5. 蠕墨铸铁 它是在一定成分的铁液中加入适量的蠕化剂（如镁钛合金等）和孕育剂，从而获得蠕虫状石墨的铸铁（见图 1-2d）。它的抗拉强度和屈服强度都很好，且有一定的韧性和较高的耐磨性以及较好的导热性和铸造性能，常用来代替高强度灰铸铁、合金铸铁、铁素体球墨铸铁和黑心可锻铸铁，制造复杂的大型铸件。

三、非铁金属材料

除钢铁等黑色金属以外的其它金属，统称为非铁金属材料，如铝、铜、镁、锌、钛、铅、锡等及其合金。非铁金属材料具有钢铁材料所不具备的某些特殊性能，如密度小、色泽艳丽、导电、耐热、耐蚀或良好的加工性能等，因而是现代工业中不可缺少的材料。尤其在空间技术、原子能及计算机等新型工业部门中，非铁金属材料的应用更为广泛。

非铁金属材料种类繁多，下面只介绍工业中常用的铜及铜合金、铝及铝合金。

（一）铜及铜合金

1. 纯铜 纯铜呈紫红色，又称紫铜。它具有良好的导电性、导热性、耐蚀性和塑性。

工业纯铜牌号为“T+数字”组成，其后的数字表示纯度，数字越大，纯度越低，其导电性能越差。

2. 铜合金 铜合金按化学成分可分为黄铜（铜锌合金）、青铜及白铜。按加工方法又可分为压力加工铜合金及铸造铜合金两类。应用较广的为黄铜和青铜。

（1）黄铜。是以锌为主要合金元素的铜合金，分为普通黄铜和特殊黄铜。

1) 普通黄铜是铜锌二元合金，分为普通加工黄铜和普通铸造黄铜。

普通加工黄铜通过压力加工成型材。普通加工黄铜塑性和强度最好，是工业上应用最多

的铜合金。其牌号为“H + 两位数字”，“H”表示黄铜，其后数字表示平均铜的质量分数。

普通铸造黄铜多铸造成形。普通铸造黄铜具有优良的力学性能、铸造性能、切削加工性能，也可以焊接。其牌号为“Z + Cu + 元素符号 + 数字”，“Z”表示铸造，“Cu”表示铜，“元素符号”为加入的合金元素，“数字”为加入元素的平均质量分数（%）。

2) 特殊黄铜是在普通黄铜中加入其它合金元素（如 Sn、Pb、Al、Si、Mn、Fe 等）所组成的铜合金。可提高强度和耐蚀性以及改善工艺性能。分为特殊加工黄铜和特殊铸造黄铜。

特殊加工黄铜的牌号为“H” + 主加元素符号 + 铜的平均质量分数（%） + 主加元素的平均质量分数（%）。如 HPb89-2 表示铜的平均质量分数为 89%，Pb 的平均质量分数为 2%，余量为 Zn 的铅黄铜。

特殊铸造黄铜的牌号为“Z” + “Cu” + 主加元素符号 + 主加元素的平均质量分数（%） + 其它元素符号 + 其它元素的平均质量分数（%）。如 ZCuZn33Pb2，平均 $w(\text{Zn}) = 33\%$ ，平均 $w(\text{Pb}) = 2\%$ ，其余为铜。

(2) 青铜。是除 Zn、Ni 为主加合金元素以外的铜合金。它也分为锡青铜和特殊青铜。

1) 锡青铜是指以锡为主加元素的铜合金。按加工方法可分为加工锡青铜和铸造锡青铜。

加工锡青铜中锡的质量分数 $w(\text{Sn}) < 8\%$ ，具有良好的塑性和一定的强度，适于压力加工。其牌号为“青”的汉语拼音字首“Q” + 主加元素符号 + 主加元素的质量分数（%） + 其它元素符号 + 其它元素的平均质量分数（%）（按规定，合金中若还有其它添加元素，则只写添加元素的平均质量分数（%）），如 QSn7-02 表示平均 $w(\text{Sn}) = 7\%$ ，平均 $w(\text{P}) = 0.2\%$ 的加工锡青铜。

铸造锡青铜中锡的平均质量分数 $w(\text{Sn}) > 10\%$ ，塑性差，只适于铸造。铸造锡青铜的牌号和其它铸造铜合金表示方法一样，如 ZCuSn10P1 表示平均 $w(\text{Sn}) = 10\%$ ，平均 $w(\text{P}) = 1\%$ ，余为铜的铸造锡青铜。

2) 特殊青铜是指不含锡的青铜。常用的为加工铝青铜（如 QAl7、QAl9-4 等）和加工铍青铜（如 QBe2、QBe1.9-0.1 等）。此外还有铸造铝青铜（如 ZCuAl9Mn2）和铸造铅青铜（如 ZCuPb30）等。大多数特殊青铜都比锡青铜具有更高的力学性能、耐磨性与耐蚀性。

(3) 白铜。是以 Ni 为主加合金元素的铜合金。主要有普通白铜（如 B19 等）、铝白铜（如 BA113-3 等）和锰白铜（如 BMn3-12 等）等。白铜耐蚀性好、电阻率高，多用来制造船舶仪器零件、化工机械零件和医疗器械等。

常用铜和铜合金牌号及应用见表 1-6。

表 1-6 常用铜和铜合金的牌号及应用

类 别	牌 号	用 途
工业纯铜	T1、T2、T3	板材、带材、棒材、管材和线材等
普通加工黄铜	H68、H62	弹壳、螺栓、螺母、弹簧、轴套等
特殊加工黄铜	HPb59-1	切削加工及冲压加工的各种结构零件，如销子、垫片、衬套等
铸造锡青铜	ZCuSn10P1、ZCuSn5Zn5Pb5	轴瓦、轴套、涡轮、轴承、丝杠、螺母等

(二) 铝及铝合金

铝及铝合金的应用仅次于钢铁，而且铝的蕴藏量居四大金属铝、铁、镁、钛之首，是我

国优先发展的重要非铁金属。

1. 纯铝 纯铝的主要特点是质轻、熔点低，具有良好的塑性、耐蚀性、导热性和导电性，且价格相对低廉，但其强度和硬度均低，主要用以制作电线、电缆、耐蚀器皿和生活用具以及配制各种铝合金。

纯铝中含有铁、硅等杂质，随着这些杂质含量的增加，其性能下降。根据 GB/T 3190—1996 规定，工业高纯铝的牌号为 1A99、1A97、1A93、1A90、1A85 等，其中“1”表示纯铝，“A”表示原始纯铝，最后两位数字表示铝的纯度。工业纯铝的牌号为 1070A、1060、1050A 等。后面的两位数字直接表示铝的纯度。末位字母“A”表示优质纯铝。

2. 铝合金 为提高铝的强度，常加入一定量的其它元素制成铝合金，用以制造承受载荷的零件。

用于制作铝合金的元素分为主加元素和辅加元素，主加元素有铜、锰、硅、镁、锌等，一般具有高溶解度并能起显著强化作用。辅加元素有铬、铁、锆等是用以细化铝合金晶粒和改善热处理性能。

根据铝合金的成分和工艺特点，可分为变形铝合金和铸造铝合金。

(1) 变形铝合金。变形铝合金的牌号以 $2 \times \times \times$ 、 $3 \times \times \times$ 、 $\dots$ 、 $9 \times \times \times$ 表示。如 2A11，“2”表示以铜为主加元素，“A”为原始铝合金，“11”为标准硬铝。又如 2A12 表示以铜为主加元素、高强度硬铝的原始铝合金。

工业上常用的变形铝合金有防锈铝、硬铝、超硬铝和锻铝等。

(2) 铸造铝合金。铸造铝力学性能不如变形铝合金，但因其铸造性能好，故适于铸造成形，生产形状复杂的零件。铸造铝合金的种类很多，主要有 Al-Si 系、Al-Cu 系、Al-Mg 系和 Al-Zn 系，其中以 Al-Si 系应用最广。例如 ZL102 表示 2 号 Al-Si 系铸造铝合金。若为优质铸造铝合金，则在代号最后面加“A”。

第三节 钢的热处理

钢的热处理就是将固态钢加热、保温和冷却以获得所需要的组织结构与性能的工艺方法。可用图 1-3 所示的温度—时间关系曲线来描述其基本过程。与铸造、锻造、焊接、切削加工等加工方法不同，热处理只改变金属材料的组织和性能，而不改变其形状和大小。

热处理可改善或提高金属材料的力学性能与工艺性能，是挖掘金属材料潜力的重要手段。据统计，需要热处理的零件，在机床制造中约占 70% 左右，各类工具、弹簧和滚动轴承则是 100% 需要热处理。

一、钢的普通热处理

钢的普通热处理主要有退火、正火、淬火及回火四种。

(一) 退火

退火是将钢加热到适当温度，保持一定时间后，随炉或埋入导热性差的介质中缓慢冷却的热处理工艺。根据钢的成分、退火目的和加热温度的不同，可分为完全退火、球化退火和

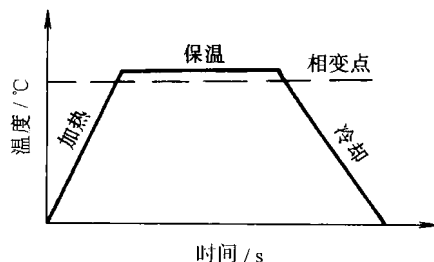


图 1-3 热处理工艺曲线示意图

去应力退火。

完全退火主要用于铸件、锻件、热轧型材等，使其晶粒细化、组织均匀和消除内应力，可作为不重要零件的最终热处理或重要零件的预先热处理。

球化退火主要用于降低高碳钢的硬度和提高韧性，改善切削加工性能。

去应力退火主要用于消除铸件、锻件或焊件的内应力及由粗切削加工所引起的内应力。

（二）正火

将钢件加热到适当温度，保温一定时间后，在空气中冷却的热处理工艺。

正火目的与退火相似，但冷却速度比退火快，因此同样的钢件在正火后的强度、硬度比退火后的高。正火冷却较快、操作简便、生产率高，所以在满足要求的情况下，应尽量采用正火。普通钢的结构件常用正火作为最终处理。

（三）淬火

淬火是将钢件加热到适当温度，保温一定时间后，在水中或油中快速冷却的热处理工艺。

淬火目的是提高钢的硬度和耐磨性，是钢重要的强化方法。但淬火后钢的脆性大、内应力大，为降低淬火钢的脆性，减小内应力，获得所需性能，淬火后必须进行回火。

（四）回火

回火是把淬火后的钢重新加热到某一温度，保温一定时间后，冷却到室温的热处理工艺。根据零件性能要求和加热温度不同，回火可分为低温回火、中温回火和高温回火。

1. 低温回火 加热温度为 $150 \sim 250^{\circ}\text{C}$ 。其目的是保持淬火后钢的高的硬度和耐磨性，降低淬火应力和脆性。低温回火多用于各种工具、量具、冷冲模和渗碳或表面淬火零件。

2. 中温回火 加热温度为 $350 \sim 500^{\circ}\text{C}$ 。其目的是降低钢的淬火硬度，提高钢的弹性、屈服强度以及韧性。中温回火多用于各种弹簧和热锻模。

3. 高温回火 加热温度为 $500 \sim 650^{\circ}\text{C}$ 。其目的是使淬火后钢的硬度降得更低，得到强度、塑性、韧性都较好的综合力学性能。高温回火多用于轴、齿轮和连杆等重要机械零件。淬火后再经高温回火的全过程称为调质。

二、表面热处理

有些零件的工作表面要求具有高的硬度和耐磨性，而心部要求有足够的塑性和韧性，如齿轮、曲轴等，这些零件大多需要表面热处理。钢的表面热处理分为以下两类：

（一）表面淬火

表面淬火是仅对工件表层进行淬火的工艺。表面淬火的快速加热方法很多，有感应、火焰、电接触、浴炉、电解液、脉冲能量等加热方法，目前生产中常用的是感应加热和火焰加热，如图 1-4 所示。

（二）表面化学热处理

将钢置于一定温度的活性介质中保温，使一种或几种元素渗入它的表层以改变其化学成分、组织和性能的热处理工艺，称为表面化学热处理。化学热处理的方法很多，常见的有渗碳、渗氮、渗铝和渗铬等，用以调整零件的表层的力学性能或改善一些价廉易得材料的性能，以代替某些比较贵重的材料。

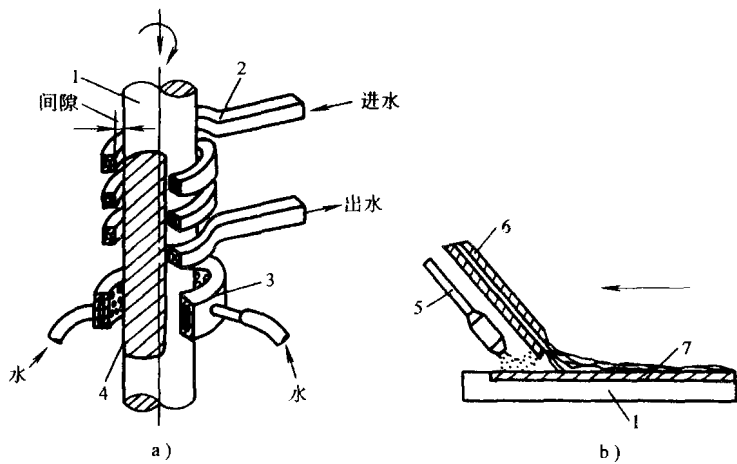


图 1-4 表面淬火示意图

a) 感应加热 b) 火焰加热

1—工件 2—加热感应器 3—淬火喷水套 4—加热淬火层
5—烧嘴 6—喷水管 7—淬硬层

(三) 热处理新工艺

为提高热处理的质量和生产率以及减少能耗、降低成本和减少环境污染，出现了很多热处理新工艺和新技术，例如真空热处理、形变热处理和激光束或电子束加热表面淬火等。

第四节 钢铁的表面处理

一、概述

表面处理是通过各种不同的工艺方法对零件表面进行处理，以改善工件表面层的力学、物理或化学性能的加工方法，包括电镀、化学镀、热喷涂等。

表面处理有如下特点：

- 1) 可提高零件使用性能，延长其使用寿命。
- 2) 可降低成本，提高经济效益。
- 3) 可获得光滑如镜，各种绚丽多彩的装饰表面。

表面处理技术已渗入信息技术、新材料技术、新能源技术和航空航天技术等多学科领域。在机械、军工、轻工、化工、仪器仪表、电子电器、建筑、航空航天、船舶、车辆等部门得到了广泛的应用。表面处理技术的应用见表 1-7。

表 1-7 表面处理技术的应用

涂（镀）层类别	性 能	应用举例	处 理 方 法
防护功能	耐水气、盐、化工介质（酸、碱等）、硫及氧等气体腐蚀	大气及清水、海水中钢结构、制品、化工设备	大部分的表面处理方法
装饰功能	不同光亮度、色彩、花纹等要求	各种室内外装饰品、电器、汽车外壳等	涂装、电镀、热烫印等

(续)

涂(镀)层类别		性能	应用举例	处理方法
耐磨损功能		工件表面涂覆耐磨涂(镀)层	各种轴类、模具、轧辊等	热喷涂(熔)、电镀、堆焊、真空法、超硬膜技术等
特殊功能	耐热	耐高温氧化, 高温涂层性能不变	发动机零件、热处理炉、高炉风口等	热喷涂、电镀、真空镀
	电磁特性	磁性介质静态特性及磁盘(带)等磁性存储器动态特性	磁盘、磁带、磁性存储器	电镀、真空镀、化学镀
	阻燃性	阻燃性能	室内四壁阻燃处理、电视台演播室阻燃处理	涂装、电镀
	光学特性	防反射性、光选择吸收性、光反射性	汽车和照相机零件、太阳能吸收面、反射镜	电镀、涂装、化学转化处理、真空镀

二、钢铁材料常用的表面处理方法

1. 电镀 电镀是用电解的方式, 在工件(金属或非金属)表面沉积一层不同于基体的金属或合金镀层或复合镀层等的工艺方法。

根据实际需要, 可以有不同的电镀目的, 如提高金属的抗腐蚀性、反光性、导电性、导磁性、焊接性, 增加表面硬度和耐磨性, 修复磨损零件, 防止局部渗碳、渗氮等。镀层金属通常是一些在空气和溶液里不易起变化、硬度较大的金属(如镍、铬、锌、铜等)及合金(如铜锌合金、铜锡合金等)。电镀分为镀前处理、电镀过程、镀后处理三个工艺过程。

镀前处理: 表面整平——脱脂(除油)——酸洗(除锈)——浸蚀(活化表面)。

电镀过程: 电镀是一种电化学过程, 也是一种氧化还原过程。电镀时, 将金属制件(成品或半成品)作为阴极, 所镀金属或合金作为阳极, 分别挂于铜或黄铜制的极棒上浸入含有镀层成分的电解液中, 并通入适当大小的直流电, 电镀开始, 在阴极和阳极间发生一系列化学反应, 结果工件表面上形成一层厚度均匀、结晶致密、平滑光亮的镀层。

镀后处理: 清洗——钝化——漂白——清洗等, 视不同的镀层, 安排不同的镀后处理。

电镀工艺过程较长, 一般适用于大批量生产, 通常能在工件全部表面形成镀层。应用于修复轴瓦、套类等零件的磨损表面, 强化、改性和装饰零件表面等。

2. 氧化处理 钢铁材料的氧化处理, 也称发蓝处理或煮黑处理, 是通过化学或电化学等方法, 在钢铁表面生成一层厚度为 0.5 ~ 1.5 μm 的氧化膜, 膜的主要成分为 Fe_3O_4 (即磁性氧化铁)。

氧化膜很薄, 对零件尺寸精度不会有显著影响, 由于氧化处理工艺条件及工件成分不同, 氧化膜一般为蓝黑色或深黑色。含硅较高的工件氧化膜呈灰褐色和黑褐色。

生产中目前一般用碱性化学氧化法, 其工艺流程是:

有机溶剂脱脂——化学脱脂——热水清洗——流动冷水清洗——酸洗(工业盐酸)——流动冷水清洗——化学氧化——回收槽浸洗——流动冷水清洗——钝化处理(质量分数为 3% ~ 5% 的肥皂液, 温度 80 ~ 90 $^{\circ}\text{C}$, 时间 3 ~ 5min; 或质量分数为 0.2% 铬酐 + 0.1% 磷酸, 温度 60 ~ 70 $^{\circ}\text{C}$, 时间 0.5 ~ 1min)——热水清洗(70 ~ 100 $^{\circ}\text{C}$)——热风吹干或室温干燥——检验——浸油(在全损耗系统用油、锭子油或变压器油中浸 3 ~ 5min, 温度 105 ~ 110 $^{\circ}\text{C}$)。