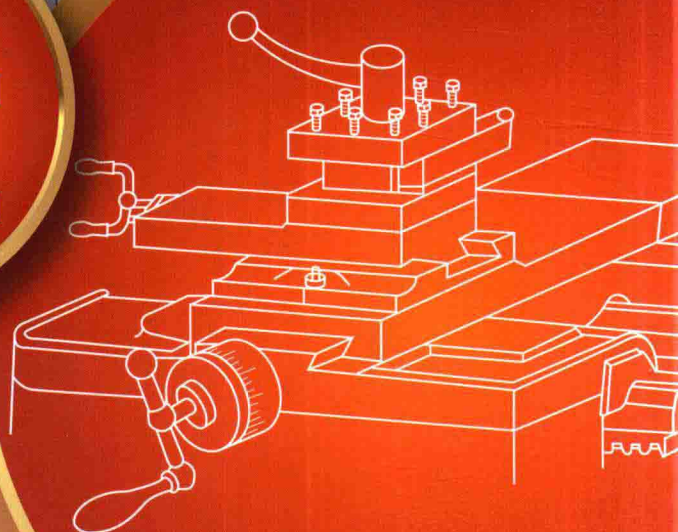
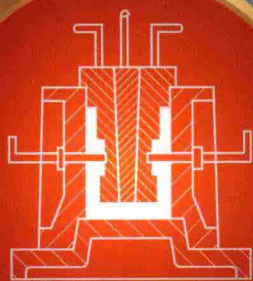
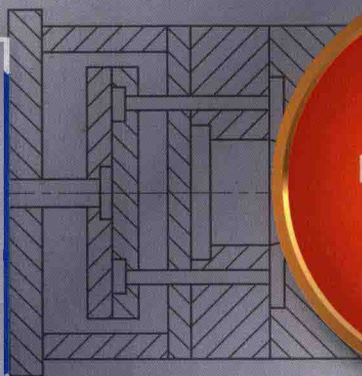


普通高等教育“十三五”规划教材

金工实习教程

JINGONG SHIXI JIAOCHENG

● 叶 云 郝晓东 周慧珍 主编



化学工业出版社

普通高等教育“十三五”规划教材

金工实习教程

叶 云 郝晓东 周慧珍 主编



化学工业出版社

· 北 京 ·

《金工实习教程》根据国家级精品课程“机械制造实习”内容以及各高校金工实习课程实际执行教学大纲编写而成。目的是让学生在进入生产实习之前，先对理论知识有所了解，在实习过程中把实物与理论相结合。内容涵盖了钢的热处理、铸造、焊接、车削加工、铣削加工、钳工、数控加工技术和金工实习作业报告等。

《金工实习教程》可作为机械、材料、化工、安全、电气、自动化等专业学生的教材，也可供相关领域工程技术人员参考使用。

图书在版编目（CIP）数据

金工实习教程/叶云，郝晓东，周慧珍主编. —北京：化学工业出版社，2016.6
普通高等教育“十三五”规划教材
ISBN 978-7-122-26981-2

I. ①金… II. ①叶… ②郝… ③周… III. ①金属加工-实习-高等学校-教材 IV. ①TG-45

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2016）第 094163 号

责任编辑：刘俊之	文字编辑：吴开亮
责任校对：边 涛	装帧设计：刘丽华

出版发行：化学工业出版社（北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011）
印 装：三河市延风印装有限公司
787mm×1092mm 1/16 印张 10 字数 250 千字 2016 年 8 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询：010-64518888（传真：010-64519686） 售后服务：010-64518899
网 址：http://www.cip.com.cn
凡购买本书，如有缺损质量问题，本社销售中心负责调换。

前言

本书是根据国家级精品课程“机械制造实习”内容以及各高校金工实习课程实际执行的教学大纲来编写的，适用于机械、材料、化工、安全、电气、自动化等专业的本科教学，也可供工程技术人员参考使用。

全书的内容涵盖了钢的热处理、铸造、焊接、车削加工、铣削加工、钳工、数控加工技术和金工实习作业报告等内容，目的是让实习学生在进行生产实习之前，先对理论知识有个了解，使学生在生产实习的过程中，把实物与理论相结合，加以融会贯通。

参加本书编写的人员有：郝晓东（第1、2章）、叶云（第3、4、5、6章）、周慧珍（第7、8章，金工实习报告作业部分）。

由于编者水平有限，并且编写时间仓促，书中难免有疏漏之处，衷心希望读者批评指正。

编者

2016年3月

第1章 总论	1
1.1 金工实习的基本要求	1
1.2 金工实习的主要内容	2
1.3 金工实习的相关制度	4
第2章 钢的热处理	6
2.1 热处理基本知识	6
2.2 钢的普通热处理	7
第3章 铸造	15
3.1 金属的铸造性能	15
3.2 型砂铸造	17
3.3 铸件的结构设计	20
3.4 常用铸件的生产	21
3.5 特种铸造	23
第4章 焊接	28
4.1 概述	28
4.2 手工电弧焊	29
4.3 其他焊接方法	35
第5章 车削加工	42
5.1 切削用量三要素	42
5.2 卧式车床	43
5.3 车刀及其刃磨与安装	49
5.4 工件的安装及所用附件	53
5.5 基本车削工件	57
5.6 典型零件车削工艺	67
第6章 铣削加工	71
6.1 概述	71

6.2	铣床	73
6.3	铣刀	74
6.4	铣床附件及工件安装	76
6.5	铣削方法	80

第7章 钳工

82

7.1	概述	82
7.2	划线	83
7.3	锯削	87
7.4	锉削	89
7.5	钻孔、扩孔和铰孔	91
7.6	攻螺纹和套螺纹	96
7.7	刮削	98
7.8	装配	101

第8章 数控加工技术

104

8.1	概述	104
8.2	数控加工的一般过程与要求	106
8.3	数控加工工艺的主要内容	107
8.4	数控机床与编程实习应用举例	114

金工实习报告作业部分

139

钢的热处理实习报告（1）	139
钢的热处理实习报告（2）	140
铸造实习报告（1）	141
铸造实习报告（2）	142
铸造实习报告（3）	143
铸造实习报告（4）	144
铸造实习报告（5）	145
铸造实习报告（6）	146
锻造实习报告	147
焊工实习报告	148
车工实习报告（1）	149
车工实习报告（2）	150
钳工实习报告	151
铣工实习报告	152
数控实习报告	153

参考文献

154

第1章

总论

金工实习是一门实践性的技术基础课,是机械类各专业学生学习机械制造的基本工艺方法、培养工程素质的重要必修课。金工实习以实践教学为主,学生必须进行独立操作,在保证贯彻教学基本要求的前提下,尽可能地结合生产进行。

① 使学生了解机械制造的一般过程;熟悉机械零件的常用加工方法、所用主要设备的工作原理和典型机构、工夹量具以及安全操作技能;了解机械制造的基本工艺知识和一些新工艺、新技术在机械制造中的应用。

② 完成工程基本训练,为学习后续课程及从事机械设计工作奠定一定的实践基础。同时初步具有对零件进行工艺分析和选择加工方法的能力。在主要工种上应具备独立完成简单零件加工制造的实践能力。

③ 培养学生的劳动观点、创新精神和理论联系实际的科学作风。初步建立市场、信息、质量、成本、效益、安全、环保等工程意识。

1.1 金工实习的基本要求

(1) 基本知识要求

金工实习是重要的实践教学环节,其基本要求是:按照教学大纲,完成车工、铣工、钳工、铸工、焊工、热处理以及数控加工等各工种的基本操作,同时学习相关的金属工艺基础知识,使学生了解机械制造的一般过程,熟悉机械零件的常用加工方法、所用设备的结构原理及工卡量具的使用方法,具有独立完成简单零件加工的能力;使学生通过简单零件加工,巩固和加深机械制图知识及其应用,学会对工艺过程的分析;培养学生的劳动观点、理论联系实际的工作作风和经济观点;实习总结、实习报告是金工实习质量考核的形式之一。

(2) 能力培养要求

加强对学生专业动手能力的培养;促使学生养成发现问题、分析问题、运用所学过的知识和技能解决问题的能力 and 习惯;鼓励并着重培养学生的创新意识和创新能力;结合教学内容,注重培养学生的工程意识、产品意识和质量意识,提高其工程素质。

(3) 安全操作要求

在金工实习全过程中,始终强调安全第一的观点,进行入厂安全教育,宣传安全生产规则,教育学生遵守劳动纪律和严格执行安全操作规程。没有进行安全教育的学生坚决不许入厂实习,其实习成绩以零分处理。

1.2 金工实习的主要内容

1.2.1 铸造

(1) 基本知识

① 熟悉铸造生产工艺过程、特点和应用。

② 砂型铸造。

造型材料：了解型（芯）砂具备的主要性能（强度、透气性、耐火性、退让性等）及其对铸件质量的影响；型（芯）砂的主要组成（原砂、黏结剂、附加物）与性能的关系，以及型（芯）砂的配比、混制和造型等与性能的关系。

造型工艺：熟悉砂型的结构，分型面的选择；掌握整体模、分离模、挖砂、活块等造型的工艺流程、特点及应用；了解三箱造型及刮板造型的特点及应用。

型芯制造：了解型芯的作用，提高型芯强度及透气性所采用的措施；了解整体、对开及可拆卸型芯盒的制芯过程；了解型芯头及型芯座，以及型芯在简化外形及分型面的应用。

浇注系统：掌握浇注系统的作用及组成；典型浇注系统的组成及其主要作用；内浇口开设要点。

铸造工艺图：掌握浇注位置、分型面位置、拔模斜度、机械加工余量、铸造圆角、型芯头和型芯座以及收缩率的确定及其表示方法；了解木模、铸件及零件的主要区别。

铸造合金的熔炼：了解熔炼设备的结构及铸铁、铝合金的熔炼工艺流程，以及熔炼用的炉料、作用及其要求。

铸件的浇注：了解浇注用量、浇注温度、浇注速度和浇注方法及安全。

铸件的落砂及清理：了解铸件落砂及清理工作的意义、落砂时间、清理内容及方法。

铸件的缺陷：了解铸件常见缺陷（气孔、砂眼、缩孔、偏心、错箱、粘砂、浇不足、裂纹等）的特征、产生原因及防止方法。

③ 特种铸造。了解熔模铸造、金属模铸造、压力铸造及离心铸造的方法、特点及应用。

④ 了解铸造生产安全技术、环境保护，并能进行简单的经济分析。

(2) 基本技能

① 掌握手工两箱造型（整模、分模、挖砂等）的操作。

② 能在金工实习指导教师指导下制造较复杂的小型零件的砂型，并能合理地选择分型面、设置浇注系统，同时具有一定的修型能力。

③ 完成金工实习产品的砂型制造，并能对铸件进行初步的工艺分析。

1.2.2 锻压

(1) 基本知识

① 了解锻压生产的过程、特点和应用。

② 自由锻造。了解坯料加热、非合金钢的锻造温度范围。了解空气锤的结构、工作原理及基本动作。了解轴类和盘类零件的自由锻造工艺流程。了解锻件的冷却及常见锻造缺陷。

③ 胎模锻造。了解胎模锻造的特点、胎模结构及其制造生产过程。

④ 板料冲压。了解板料冲压基本工序（落料、冲孔、弯曲、拉伸）及冲压件的冲压

过程。

⑤ 了解锻压生产安全技术、环境保护，并能进行简单的经济分析。

(2) 基本技能

初步掌握自由锻造的操作技能，并能对自由锻件进行初步工艺分析。

1.2.3 焊接

(1) 基本知识

① 熟悉焊接生产的工艺的过程、特点及应用。

② 焊条电弧焊。熟悉焊条电弧焊对电源设备（电焊机）的要求。了解焊条电弧焊机的种类和焊条的主要技术参数。了解电焊条及其作用、电焊条的分类及其表示方法、酸性和碱性焊条的特点和应用。熟悉焊接工艺参数及其对焊接质量的影响。了解常见焊接缺陷。了解常见焊接头（对接、搭接、角接、T字接）和坡口形式，以及焊缝所处的不同空间位置的焊接特点。

③ 气焊。了解气焊原理、特点及应用，以及气焊用设备的简单工作原理及操作。了解气焊火焰的构造、种类、调节及应用，气焊用焊丝和焊粉的作用及选用，气焊规范（焊丝直径、焊炬型号、焊嘴的大小、焊嘴倾角）的选择。

④ 其他焊接方法。了解埋弧自动焊、气体保护焊、电阻焊、氩弧焊等焊接方法的特点及应用。

⑤ 了解焊接生产安全技术、环境保护，并能进行简单的经济分析。

(2) 基本技能

正确操作交流弧焊机或直流弧焊机，能正确选择焊接电流及调整火焰。熟悉起弧的两种方法，掌握焊条电弧焊、气焊的平焊操作。能够分辨焊接表面可见缺陷（气孔、未焊透、咬边、夹渣、热裂纹等）。

1.2.4 热处理

(1) 基本知识

了解金属材料热处理生产工艺过程、特点及应用。

(2) 基本技能

了解金属材料淬火、退火、回火的工艺过程与机械性能的关系。

1.2.5 钳工

(1) 基本知识

① 了解钳工工作在机械装配和维修中的作用、特点和应用。

② 熟悉钳工主要工作（划线、錾削、锯割、锉削、钻孔、扩孔、铰孔、刮削、攻螺纹、套螺纹）的基本操作方法。

③ 熟悉装配的概念，简单部件的装拆方法及工具、量具的使用。

④ 熟悉钳工车间的安全技术。

(2) 基本技能

① 完成中等复杂程度零件的划线工作。

- ② 钳工基本工作的操作训练，独立完成钳工作业件。
- ③ 完成简单部件的装拆工作。

1.2.6 机械加工

(1) 基本知识

- ① 了解金属切削加工的基本概念。
- ② 了解常用金属切削机床的组成、基本工作原理及使用范围，以及所有量具、工具、主要附件的大致结构和使用方法。
- ③ 了解普通卧式车床的传动系统及主要调整方法。
- ④ 熟悉车刀的主要角度、安装和刃磨方法。了解其他常用刀具的结构特点和应用。
- ⑤ 熟悉常用切削加工方法的工艺特点和应用范围。
- ⑥ 熟悉常见典型零件表面的加工方法。
- ⑦ 了解切削加工对零件结构的要求。
- ⑧ 了解加工零件表面缺陷的类型及其产生原因。
- ⑨ 了解数控车床、加工中心、电火花加工设备的机械结构和加工原理。
- ⑩ 熟悉普通机械加工车间、数控加工车间的安全技术和安全操作规程。

(2) 基本技能

- ① 独立刃磨与安装普通外圆车刀，正确使用工量卡具。在车床上独立完成车外圆、车螺纹、镗内孔、切断、车锥面的加工工作。
- ② 在牛头刨床上正确安装刀具与工件，完成平面、垂直面的加工。
- ③ 在铣床上正确安装刀具、工件，完成铣平面、铣键槽的工作。了解分度头的结构原理和分度方法。
- ④ 在外圆磨床或平面磨床上正确安装工件，独立完成磨外圆或平面工作。

1.3 金工实习的相关制度

在金工实习中，学生应尊敬指导人员和教师，虚心向他们学习；严格遵守工厂安全操作规程及有关规章制度；严格遵守劳动纪律，加强组织纪律性；爱护国家财产；加强团结，互相帮助；培养劳动观点和严谨的科学作风，认真、积极、全面地完成实习任务。为此，特作如下规定。

(1) 遵守安全制度

① 学生实习期间必须遵守工厂的安全制度和各工种的安全操作规程，听从车间安全员和指导人员的指导。

② 在各车间实习时，均不准穿凉鞋、戴围巾。女同学必须戴工作帽，不准穿裙子。

③ 实习时必须按工种要求佩戴防护用品。

铸工浇注：必须穿劳保皮鞋，戴安全帽及防护眼镜。

电焊：必须穿劳保皮鞋，围围裙，穿护袜，戴电焊手套和电焊面罩。

机工（包括钻工钻孔）：必须戴防护眼镜，不准戴手套。

④ 不准违章操作。未经同意，不准启动或扳动任何非自用的机床、设备、电器、工具、附件、量具等。

⑤ 不准在车间内追逐、打闹、喧哗。

⑥ 操作时必须精神集中，不准与别人谈话，不准阅读书刊、背诵外文单词和收听广播。

⑦ 违反上述规定的要批评教育；不听从指导或多次违反的，要令其检查或暂停实习；情节严重和态度恶劣的，实习成绩不予通过，并报校、院（系）给予行政处分。

（2）遵守组织纪律

① 学生必须严格遵守实习的考勤制度。实习中一般不准请事假，特殊情况要请事假的，须经院（系）教务科批准，经指导人员允许后方可离开。事假当日无成绩。事假超过总实习时间四分之一的，不给实习成绩。已有单工种成绩保留，待实习补齐后再给总成绩。

② 病假要持校医院证明及时请假，特殊情况（包括在校外生病）必须尽早补交正式的证明，否则以旷课论（每天按七学时计）。病假当日无成绩。病假超过总实习时间三分之一的，不给实习成绩。已有单工种成绩保留，待实习补齐后再给总成绩。

③ 不许迟到、早退。对于迟到、早退者，除批评教育外，在评定当天实习成绩时要酌情扣分。

④ 考试不准作弊。作弊者不论情节轻重、态度好坏，成绩均以零分统计。

（3）按时完成作业

必须按时完成实习报告，并按时交给指导人员批改。对于不认真完成实习报告的同学要要求其重做；凡不做实习报告或未做完的，最后不得参加综合笔试，也不予评定实习总成绩。

第 2 章

钢的热处理

2.1 热处理基本知识

(1) 什么叫钢的热处理

钢的热处理是为了改变钢材内部的组织结构，以满足对零件的加工性能和使用性能的要求所施加的一种综合的热加工工艺过程。它包括三个环节：

- ① 加热到预定的温度（加热）。
- ② 在预定的温度下适当保温（保温），保温的时间与工件的尺寸和性能有关。
- ③ 以预定的冷却速度冷却（冷却）。

例如，橡胶机械中的挤出机和注射机中的螺杆等轴类零件的常用材料 40Cr（中碳、低合金结构钢），为满足不同的加工和使用性能的要求，须进行不同的热处理，如图 2-1 所示。

① 炉冷 得到珠光体（片）+先共析 F，HB207，易切削的硬度，满足了切削加工的性能的要求。

② 空冷 得到细片状 P（720~740MN/m²）+先共析 F，HB250，Jb：72~74kg/mm²。

③ 油冷回火 得到粒状 F [$\sigma_b > 100\text{kg/mm}^2$ ， $a_k > (6\text{kg/cm}^2) 60\text{J/cm}^2$] +粒状 Fe₃C。

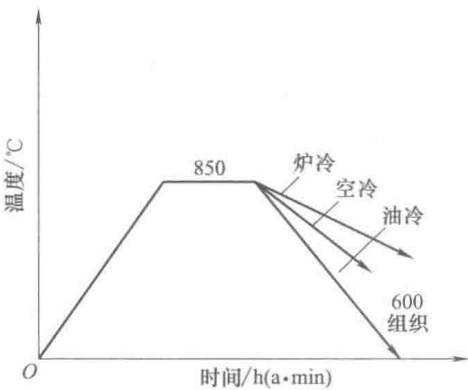


图 2-1 热处理工艺曲线的示意图

强韧性好，从而能够满足这类零件的耐磨损、耐冲击、耐疲劳等性能的要求。

可见，通过热处理可以改变钢的组织 and 性能，充分发挥材料的潜力，调整材料的机械性能，满足机械零件在加工和使用过程中对性能的要求。所以，在实际生产中凡是重要的零部件都必须经过适当的热处理。

下面介绍两个热处理中常见的概念。

① 热处理工艺 热处理时的加热温度、保温时间和冷却速度等工序的总和称为热处理工艺。

② 热处理工艺曲线 热处理工艺参数标示在温度-时间坐标图上，得到的曲线即为热处理工艺曲线。

前面图 2-1 所给出的就是热处理工艺曲线的示意图。

(2) 常见的热处理方法

根据热处理时加热和冷却方法的不同，常用的热处理方法大致分类如图 2-2 所示。



图 2-2 常用热处理方法的大致分类

2.2 钢的普通热处理

普通热处理是将工件整体进行加热、保温和冷却，以使其获得均匀的组织 and 性能的一种操作。它包括退火、正火、淬火和回火。

2.2.1 钢的退火与正火

实际生产中，各种工件在制造过程中有不同的工艺路线，如：铸造（或锻造）→退火（正火）→切削加工→成品；或铸造（或锻造）→退火（正火）→粗加工→淬火→回火→精加工→成品。可见，退火与正火是应用非常广泛的热处理。为什么将其安排在铸造或锻造之后，切削加工之前呢？原因如下：

- ① 在铸造或锻造之后，钢件中不但残留有铸造或锻造应力，而且还往往存在着成分和组织上的不均匀性，因而机械性能较低，还会导致以后淬火时的变形和开裂。经过退火和正火后，便可得到细而均匀的组织，并消除应力，改善钢件的机械性能，为随后的淬火做了准备。
- ② 铸造或锻造后，钢件硬度经常偏高或偏低，严重影响切削加工。经过退火与正火后，钢的组织接近于平衡组织，其硬度适中，有利于下一步的切削加工。
- ③ 如果对工件（如铸件、锻件或焊接件等）的性能要求不高时，退火或正火常作为最终热处理。

(1) 钢的退火

退火是将工件加热到临界点以上或在临界点以下某一温度并保温一定时间后，以十分缓慢的冷却速度（炉冷、坑冷、灰冷）进行冷却的一种操作。

根据钢的成分、组织状态和退火目的不同，退火工艺可分为：完全退火、等温退火、球化退火、去应力退火等。

① 完全退火和等温退火 用于亚共析钢成分的碳钢和合金钢的铸件、锻件及热轧型材，有时也用于焊接结构。其目的在于细化晶粒、降低硬度、改善切削加工性能。

a. 完全退火工艺。将工件加热到 A_{c3} 以上 $30\sim 50^{\circ}\text{C}$ ，保温一定时间后，随炉缓慢冷却到 500°C 以下，然后在空气中冷却。这种工艺过程比较费时间。为克服这一缺点，产生了等温退火工艺。

b. 等温退火工艺。将工件加热到 A_{c3} 以上 $30\sim 50^{\circ}\text{C}$ ，保温一定时间后，先以较快的冷速冷却到珠光体的形成温度等温，待等温转变结束再快冷。这样就可大大缩短退火的时间。

② 球化退火 主要用于共析或过共析成分的碳钢及合金钢。其目的在于降低硬度，改善切削加工性，并为以后的淬火做准备。

而其实质则是通过球化退火，使层状渗碳体和网状渗碳体变为球状渗碳体。球化退火后的组织是由铁素体和球状渗碳体组成的球状珠光体。

球化退火工艺：将钢件加热到 A_{c1} 以上 $30\sim 50^{\circ}\text{C}$ ，保温一定时间后随炉缓慢冷却至 600°C ，然后出炉空冷。同样为缩短退火时间，生产上常采用等温球化退火，它的加热工艺与普通球化退火相同，只是冷却方法不同。等温的温度和时间要根据硬度要求，利用 C 曲线确定。可见球化退火（等温）可缩短退火时间。

③ 去应力退火（低温退火） 主要用于消除铸件、锻件、焊接件、冷冲压件（或冷拔件）及机加工的残余内应力。这些应力若不消除会导致工件在随后的切削加工或使用中变形开裂，从而降低机器的精度，甚至会发生事故。

去应力退火工艺：将工件随炉缓慢加热（ $100\sim 150^{\circ}\text{C}/\text{h}$ ）至 $500\sim 650^{\circ}\text{C}$ （ $<A_1$ ），保温一段时间后随炉缓慢冷却（ $50\sim 100^{\circ}\text{C}/\text{h}$ ），至 200°C 后出炉空冷，在去应力退火中不发生组织转变。

在保温过程中（ $500\sim 650^{\circ}\text{C}$ ）部分弹性变形转变为塑性变形，使内应力下降。退火温度愈高，内应力消除越充分，退火所需的时间越短。

(2) 钢的正火

正火是将工件加热到 A_{c3} 或 A_{cm} 以上 $30\sim 80^{\circ}\text{C}$ ，保温后从炉中取出在空气中冷却的一种工艺。

正火与退火的区别是冷速快、组织细、强度和硬度有所提高。当钢件尺寸较小时，正火后组织为 S，而退火后组织为 P。钢的退火与正火工艺参数如图 2-3 所示。

正火的应用：

- ① 用于普通结构零件，作为最终热处理，细化晶粒以提高机械性能。
- ② 用于低、中碳钢，作为预先热处理，得到合适的硬度便于切削加工。
- ③ 用于过共析钢，消除网状 $\text{Fe}_3\text{C}_{\text{II}}$ ，有利于球化退火的进行。

(3) 退火和正火的选择

从前面的学习中已经知道，退火与正火在某种程度上有相似之处，在实际生产中又可替代，那么，在设计时根据什么原则进行选择呢？从以下三方面予以考虑。

① 从切削加工性上考虑 切削加工性又包括硬度、切削脆性、表面粗糙度及对刀具的磨损等。一般金属的硬度在 $\text{HB}170\sim 230$ 范围内，切削性能较好。高于这一数值的工件过硬，难以加工，且刀具磨损快；过低则切屑不易断，造成刀具发热和磨损，加工后的零件表面粗糙度很大。对于低、中碳结构钢以正火作为预先热处理比较合适，高碳结构钢和工具钢则以退火为宜。至于合金钢，由于合金元素的加入，使钢的硬度有所提高，故中碳以上的合金钢一般都采用退火以改善切削性。

② 从使用性能上考虑 如工件性能要求不太高，随后不再进行淬火和回火，那么往往用正火来提高其机械性能，但若零件的形状比较复杂，正火的冷却速度有形成裂纹的危险，应采用退火。

③ 从经济上考虑 正火比退火的生产周期短、耗能少，且操作简便，故在可能的条件

下，应优先考虑以正火代替退火。

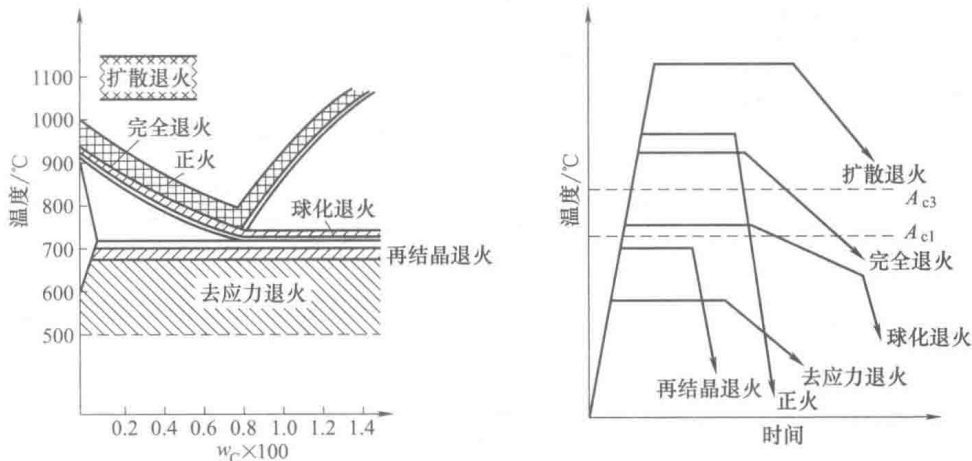


图 2-3 钢的退火与正火工艺参数

2.2.2 钢的淬火

(1) 淬火的目的

淬火就是将钢件加热到 A_{c3} 或 A_{c1} 以上 $30\sim 50^{\circ}\text{C}$ ，保温一定时间，然后快速冷却（一般为油冷或水冷），从而得到马氏体的一种操作。因此淬火的目的是获得马氏体。但淬火必须和回火相配合，否则钢件淬火后虽然得到了高硬度、高强度，但韧性和塑性低，不能得到优良的综合机械性能。

(2) 钢的淬火工艺

淬火既是一种复杂的热处理工艺，又是决定产品质量的关键工序之一。淬火后要得到细小的马氏体组织又不至于产生严重的变形和开裂，就必须根据钢的成分，零件的大小、形状等，结合 C 曲线合理地确定淬火的加热和冷却方法。

① 淬火加热温度的选择 马氏体针叶大小取决于奥氏体晶粒大小。为了使淬火后得到细而均匀的马氏体，首先要在淬火加热时得到细而均匀的奥氏体。因此，加热温度不宜太高，只能在临界点以上 $30\sim 50^{\circ}\text{C}$ 。淬火的工艺参数如图 2-4 所示。

对于亚共析钢： $A_{c3} + (30\sim 50^{\circ}\text{C})$ ，淬火后的组织为均匀而细小的马氏体。

对于过共析钢： $A_{c1} + (30\sim 50^{\circ}\text{C})$ ，淬火后的组织为均匀而细小的马氏体、颗粒状渗碳体及残余奥氏体的混合组织。如果加热温度过高，渗碳体溶解过多，奥氏体晶粒粗大，会使淬火组织中马氏体针叶变粗，渗碳体量减少，残余奥氏体量增多，从而降低钢的硬度和耐磨性。

② 淬火冷却介质 淬火冷却

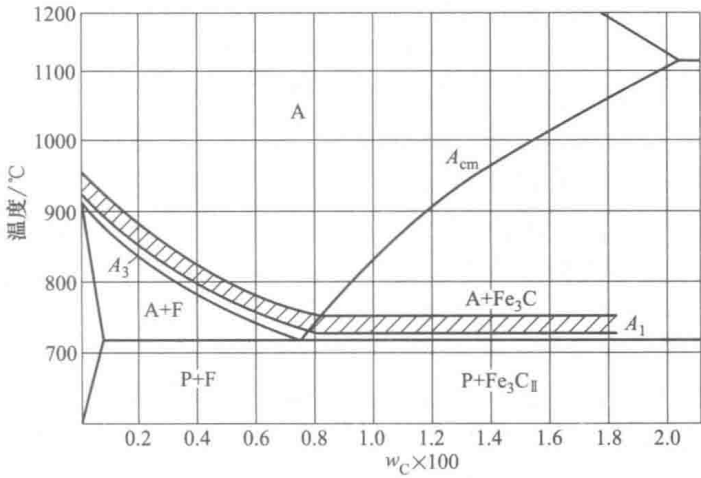


图 2-4 淬火工艺参数的选择

是决定淬火质量的关键,为了使工件获得马氏体组织,淬火冷却速度必须大于临界冷却速度 $V_{\text{临}}$,而快冷会产生很大的内应力,容易引起工件的变形和开裂。所以既不能冷速过快又不能冷速过慢,理想的冷却速度应是如图 2-5 所示的速度,但到目前为止还没有找到十分理想的冷却介质能符合这一理想的冷却速度的要求。

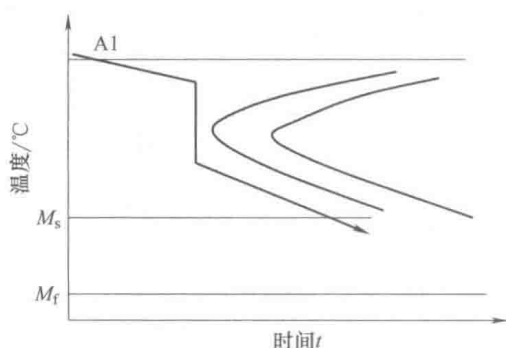


图 2-5 淬火理想的冷却速度

最常用的冷却介质是水和油,水在 $650 \sim 550^{\circ}\text{C}$ 范围内具有很快的冷却速度 ($>600^{\circ}\text{C/s}$),可防止珠光体的转变,但在 $300 \sim 200^{\circ}\text{C}$ 时冷却速度仍然很快 (约为 270°C/s),这时正发生马氏体转变,如此高的冷速必然会引起淬火钢件的变形和开裂。若在水中加入 10% 的盐 (NaCl) 或碱 (NaOH),可将 $650 \sim 550^{\circ}\text{C}$ 范围内的冷却速度提高到 1100°C/s ,但它在 $300 \sim 200^{\circ}\text{C}$ 范围内的冷却速度基本不变,因此水及盐水或碱水常被用作碳钢的淬火冷却介质,但都易引起材料变形和开裂。而油在 $300 \sim 200^{\circ}\text{C}$ 范围内的冷却速度较慢

(约为 20°C/s),可减少钢在淬火时的变形和开裂倾向,但它在 $650 \sim 550^{\circ}\text{C}$ 范围内的冷却速度不够快 (约为 150°C/s),不易使碳钢淬火成马氏体,只能用于合金钢。常用淬火油为 10 号、20 号机油。

此外,还有硝酸盐浴 ($55\% \text{KNO}_3 + 45\% \text{NaNO}_2$ 另加 $3\% \sim 5\% \text{H}_2\text{O}$)、碱浴 ($85\% \text{KOH} + 15\% \text{NaNO}_2$, 另加 $3\% \sim 6\% \text{H}_2\text{O}$)、聚乙烯醇水溶液 (浓度为 $0.1\% \sim 0.3\%$) 和三硝水溶液 ($25\% \text{NaNO}_3 + 20\% \text{KNO}_3 + 20\% \text{NaNO}_2 + 35\% \text{H}_2\text{O}$) 等淬火冷却介质,它们的冷却能力介于水与油之间,适用于油淬不硬、而水淬开裂的碳钢零件。

③ 淬火方法 为了使工件淬火成马氏体并防止变形和开裂,单纯依靠选择淬火介质是不行的,还必须采取正确的淬火方法。最常用的淬火方法如图 2-6 所示。

a. 单液淬火法。将加热的工件放入一种淬火介质中一直冷却到室温。这种方法操作简单,容易实现机械化和自动化,如碳钢在水中淬火、合金钢在油中淬火。其缺点是不符合理想淬火冷却速度的要求,水淬容易产生变形和裂纹,油淬容易产生硬度不足或硬度不均匀等现象。

b. 双液淬火法。将加热的工件先在快速冷却的介质中冷却到 300°C 左右,然后立即转入另一种缓慢冷却的介质中冷却至室温,以降低马氏体转变时的应力,防止变形开裂。如形状复杂的碳钢工件常采用水淬油冷的方法,即先在水中冷却到 300°C 后在油中冷却;而合金钢则采用油淬空冷,即先在油中冷却后在空气中冷却。

c. 分级淬火法。将加热的工件先放入温度稍高于 M_s 的硝酸盐浴或碱浴中,保温 $2 \sim 5\text{min}$,使零件内外的温度均匀后,立即取出在空气中冷却。这种方法可以减少工件内外的温差和减慢马氏体转变时的冷却速度,从而有效地减少内应力,防止产生变形和开裂。但由于硝酸盐浴或碱浴的冷却能力低,只能适用于零件尺寸较小、要求变形小、尺寸精度高的工件,如模具、刀具等。

d. 等温淬火法。将加热的工件放入温度稍高于 M_s 的硝酸盐浴或碱浴中,保温足够长的时间使其完成 B 转变。等温淬火后获得 B 下组织。

下贝氏体与回火马氏体相比,在含碳量相近、硬度相当的情况下,前者具有较高的塑性与韧性,适用于尺寸较小、形状复杂、要求变形小且具有高硬度和强韧性的工具、模具等。

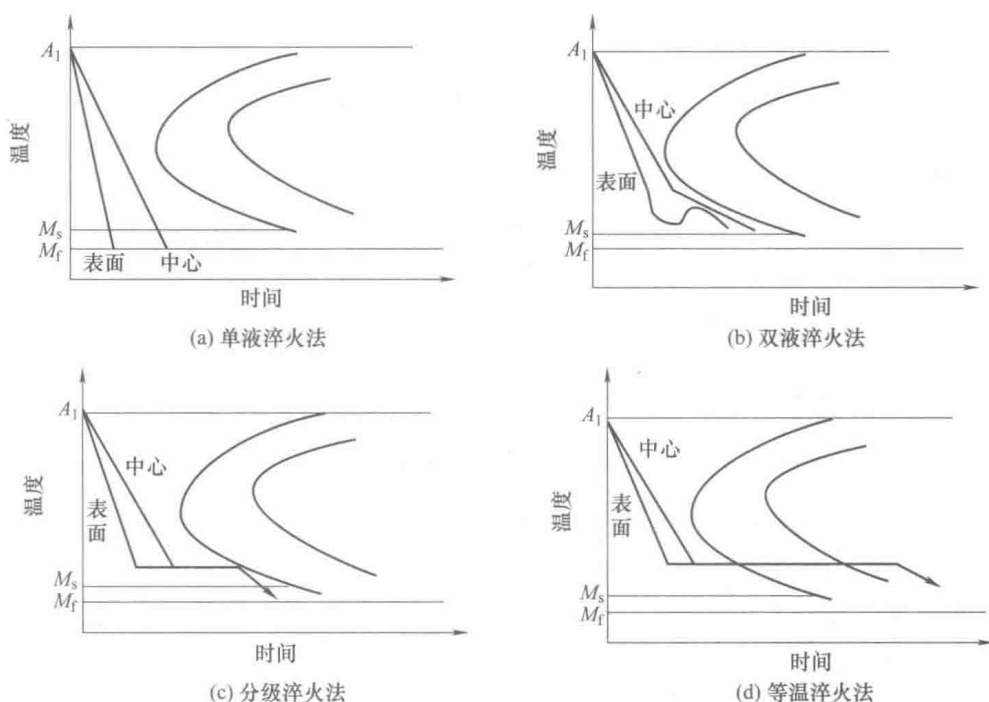


图 2-6 常用的淬火方法示意图

(3) 钢的淬透性

① 淬透性的概念 所谓淬透性是指钢在淬火时获得淬硬层的能力。淬硬层一般规定为工件表面至半马氏体（马氏体量占 50%）之间的区域，它的深度叫淬硬层深度。不同的钢在同样的条件下淬硬层深度不同，说明不同的钢淬透性不同，淬硬层较深的钢淬透性较好。

淬硬性是指钢以大于临界冷却速度冷却时，获得的马氏体组织所能达到的最高硬度。钢的淬硬性主要决定于马氏体的含碳量，即取决于淬火前奥氏体的含碳量。

② 影响淬透性的因素。

a. 化学成分。C 曲线距纵坐标愈远，淬火的临界冷却速度愈小，则钢的淬透性愈好。对于碳钢，钢中含碳量愈接近共析成分，其 C 曲线愈靠右，临界冷却速度愈小，则淬透性愈好，即亚共析钢的淬透性随含碳量增加而增大，过共析钢的淬透性随含碳量增加而减小。除 Co 和 Al (>2.5%) 以外的大多数合金元素都使 C 曲线右移，使钢的淬透性增加，因此合金钢的淬透性比碳钢好。

b. 奥氏体化温度。温度愈高，晶粒愈粗，未溶第二相愈少，淬透性愈好。因为奥氏体晶粒粗大使晶界减少，不利珠光体的形核，从而避免淬火时发生珠光体转变。

c. 淬透性的表示方法及应用。钢的淬透性必须在统一标准的冷却条件下测定和比较，其测定方法很多。过去为了便于比较各种钢的淬透性，常利用临界直径 D_c 来表示钢获得淬硬层深度的能力。

所谓临界直径就是指圆柱形钢棒加热后在一定的淬火介质中能全部淬透的最大直径。

对同一种钢 $D_{c油} < D_{c水}$ ，因为油的冷却能力比水差。目前国内外都普遍采用“顶端淬火法”测定钢的淬透性曲线，比较不同钢的淬透性。

顶端淬火法——国家规定试样尺寸为 $\phi 25\text{mm} \times 100\text{mm}$ ；水柱自由高度 65mm；此外应注意加热过程中防止氧化和脱碳。将钢加热至奥氏体化后，迅速喷水冷却。显然，在喷水端冷却速度最大，沿试样轴向的冷却速度逐渐减小。因此，末端组织应为马氏体，硬度最高，