



“十三五”普通高等院校规划教材

工程 训练

GONGCHENG
XUNLIAN



——金工训练

主编 钟晓峰 等



电子科技大学出版社

“十三五”普通高等院校规划教材

工程

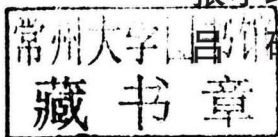
GONGCHENG
XUNLIAN

训练



——金工训练

主 编	钟晓峰	傅彩明	李 恩	杨金林
副主编	王雪峰	彭文静	周建宇	刘伟成
	赵 曜	刘 平	邹俊辉	潘翔伟
	张小玲	康铁鑫	徐家富	高 阳
	常州大学图书馆	洪志定	应 帅	



电子科技大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

工程训练：金工训练 / 钟晓锋等主编. —成都：电子科技大学出版社，2016. 12

ISBN 978-7-5647-4025-2

I. ①工… II. ①钟… III. ①金属加工—高等学校—教材 IV. ①TG

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 288483 号

工程训练—金工训练

主 编 钟晓锋等

出 版：电子科技大学出版社(成都市一环路东一段 159 号电子信息产业大厦 邮编：610051)

策划编辑：曾 艺

责任编辑：曾 艺

主 页：www.uestcp.com.cn

电子邮箱：uestcp@uestcp.com.cn

发 行：全国新华书店经销

印 刷：北京好朋友印刷有限公司

成品尺寸：185mm×260mm 印张 17.75 字数 440 千字

版 次：2017 年元月第一版

印 次：2017 年元月第一次印刷

书 号：ISBN 978-7-5647-4025-2

定 价：40.00 元

■ 版权所有 侵权必究 ■

◆ 本社发行部电话：(028)83202463； 本社邮购电话：(028)83201495。

◆ 本书如有缺页、破损、装订错误，请寄回印刷厂调换。



金工训练是高等学校工科专业一门实践性较强的技术基础课程。通过本课程的学习，能使学生认知和了解机械制造工艺的发展历程和常用的机械制造工艺手段、典型机械零件的加工方法和机械制造领域的最新进展。同时，同学学生们在进行实际训练后，能够对常用加工机床有初步了解，并能对简单机械零件进行工艺分析、材料选择、毛坯成型，利用常用加工工具和量具实现机械加工、成品检测等一系列生产流程。最后结合创新思维和创新能力的培养，能够开拓学生的工程素养、培养学生的创新意识和动手能力，为培养满足社会需求和创新需求的综合型人才打下基础。

随着现代制造技术的不断进步，新的制造方法和加工理念不断涌现，传统的金工实习课程内容已不足以体现机械制造技术领域的进步。同时，随着国家“大众创新、万众创业”战略的实施，如何在金工实习教学过程中锻炼学生的创新能力，鼓励学生在实习过程中发挥创新精神，是目前金工实习教学亟需解决的问题。近年来，各高等学校均在强化金工实习的课程建设，投入了大量的人力物力改善金工实习基地的设备，增加了大量的先进制造装备。但反映到实际的教学过程中，仍然是以传统的金工实习基础教学为主，先进制造装备更多的限于演示教学和参观教学。对应的金工实习教材，亦同样缺乏此方面的变化。

为适应本科金工实习课程向工程训练转换，我们编写了本教材，其目的是为帮助学生在进行金工训练时，从了解和正确选择机械工程材料开始，掌握量具的正确使用方法和机械零件的质量检测方法；了解切削加工过程中材料的转变过程；掌握基础的铸造、锻造、焊接、车工、钳工、铣工、磨削、刨削加工的工艺过程；了解快速成型、数控车、数控铣、加工中心、特种加工等先进加工方法和先进制造理念；最后了解和

掌握系统的创新理论和创新方法。从而使学生通过理论学习和实践操作,了解机械加工领域的发展历史和最新进展,加深专业课程的学习效果,对实际的生产过程有所认知,为后继课程的学习和今后的工作打下一定的实践基础。为体现目前企业的实际生产现状和适应 OBE 人才培养目标的需要,本教材在传统训练项目之外,增加了各种先进制造技术的讲述,同时增加了创新训练的有关章节,希望能够对选择本教材的学生有所帮助。

本书由钟晓锋、傅彩明、李恩、杨金林统稿并担任主编。本书得到了各级部门有关领导及工程训练中心全体同仁的大力支持和热忱帮助,特此致谢!

由于编者水平有限,书中难免有欠妥或错误之处,敬请批评指正。

编 者

2016 年 8 月



第一篇 工程材料与切削加工基础

第 1 章 机械工程材料基础	2
1.1 机械工程材料概述	2
1.2 金属材料基础认知	2
1.3 常用机械工程材料认知	8
第 2 章 切削加工基础	18
2.1 切削加工概述	18
2.2 切削加工的基本术语及定义	18
2.3 刀具材料及其几何角度	22
2.4 常用切削加工机床	26
2.5 零件切削加工步骤安排	29
第 3 章 切削加工质量评价及常用工具	34
3.1 切削加工质量概述	34
3.2 切削加工质量及检测方法	36
3.3 常用量具使用	39

第二篇 材料成型基础

第 4 章 铸造	57
4.1 铸造概述	57

4.2	砂型铸造工艺	58
4.3	合金的浇注	66
4.4	铸造技术训练实例	68
第5章	锻造	72
5.1	锻造概述	72
5.2	金属的加热与锻件的冷却	74
5.3	锻造设备	76
5.4	自由锻造	78
5.5	模型锻造	82
5.6	锻造技术训练实例	84
第6章	焊接	86
6.1	焊接概述	86
6.2	手工电弧焊	87
6.3	其他焊接方法简介	94
6.4	焊接技术训练实例	98
第7章	快速成型与逆向工程	100
7.1	快速成型与逆向工程概述	100
7.2	快速成型技术	100
7.3	逆向工程技术	106
7.4	快速成型训练实例	112

第三篇 传统机械加工

第8章	普通车削加工技术	117
8.1	普通车削加工的概述	117
8.2	车削刀具及车床附件	122
8.3	普通车削加工工艺	125
8.4	普通车床操作与加工实例	129
第9章	钳工	133
9.1	概述	133
9.2	划线、錾削、锯削和锉削	134
9.3	钻孔、扩孔和铰孔	141

9.4	攻螺纹和套螺纹	144
9.5	装配	146
9.6	钳工训练实例	149
第 10 章	铣削加工	152
10.1	概述	152
10.2	铣床及其附件	154
10.3	铣刀及其安装	158
10.4	主要铣削工作	160
10.5	齿形加工方法	161
10.6	铣削训练实例	164
第 11 章	磨削和刨削	167
11.1	磨削	167
11.2	刨削	173
11.3	磨削及刨削训练实例	177

第四篇 数控技术

第 12 章	数控车削加工	182
12.1	数控车削加工概述	182
12.2	数控车床的加工工艺	186
12.3	数控车床编程基础	194
12.4	数控车床 (FANUC Oi Mate 系统) 操作	202
12.5	数控车削加工的综合实例	205
第 13 章	加工中心 (数控铣)	209
13.1	数控铣床的加工概述	209
13.2	加工中心概述	213
13.3	数控铣削加工工艺	215
13.4	数控铣削编程基础	226
13.5	数控铣削加工实例	239
第 14 章	特种加工	242
14.1	特种加工概述	242
14.2	电火花加工	242

14.3	激光加工技术	247
14.4	其他特种加工技术	250
14.5	激光切雕加工训练实例	254
第 15 章	综合与创新训练	259
15.1	综合与创新训练概述	259
15.2	项目管理与产品创新	260
15.3	综合与创新训练实例	271
参考文献		276



第一篇

工程材料与切削加工基础



第1章 机械工程材料基础

教学目的和要求：在现代工业体系中，材料科学的作用举足轻重。材料性能的优劣直接决定了相关产品性能的好坏。一个合格的机械工程技术人員应该掌握基本的机械工程材料基础知识，只有充分了解材料的力学性能、化学性能以及工艺加工性能，才能根据实际情况，合理地选用材料、经济地规划工艺，生产出经济合格的产品。本章分别讲述金属材料基础知识和常用机械工程材料基础知识，使学生了解金属材料的结构、钢的热处理方法的原理、分类及应用，掌握常用的机械工程材料的分类、性能和选择、应用方法。



1.1 机械工程材料概述

机械工程材料，按用途可以分为结构材料和功能材料。结构材料是用以提供机械基础的力学性能的材料，需要满足机械产品的强度、硬度、塑性、冲击韧性等力学性能；而功能材料用以提供机械的功能，以声、光、电、磁、热等物理、化学性能为主。本章主要以介绍结构材料为主。

机械工程材料按成分可分为金属材料和非金属材料，其中金属材料是目前制造业使用最为广泛的材料，它具有许多优良的综合性能，如物理性能、化学性能、力学性能、工业性能等，因此广泛应用于现代科技和日常生活中，可采用各种加工方法制成各种形状和性能的零件。因此，本章以一节的篇幅重点介绍金属材料分类、结构、成分、热处理等基础知识，另一节则整体介绍常用的机械工程材料相关知识，使同学们对常用的机械工程材料有一个基础认知，方便后续加深学习。



1.2 金属材料基础认知

1.2.1 金属材料的结构

1. 金属的晶体结构

根据原子在空间中排列方式的不同，自然界中的固体物质可以分为两种。

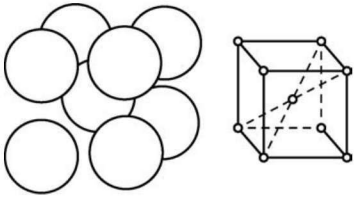
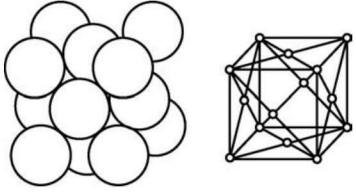
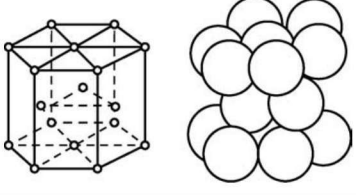
(1) 原子在空间中不规则排列所形成的物体，称为非晶体。如玻璃、松香等物体都是非晶体；

(2) 原子在空间中规则排列所形成的物体，称为晶体。一般情况下，金属材料都

是晶体。

晶体中原子的分布和排列方式称为晶体结构，它对金属材料的性能起着重要作用。因此，为了了解金属材料的性能，必须首先研究金属材料的晶体结构。在金属材料晶体中，金属原子按照一定的规律重复排列，如果我们把其中每个原子抽象为空间中的一个点，并用假象的直线将每个点连接起来，使之形成空间网格，则该网格被称为晶格，原子所占据的点称为结点。由于组成金属晶格的元素不同，晶格的结构也不相同，常见的有三种形式，如表 1-1 所示。

表 1-1 常见金属及其晶格形式

晶格类型	常见金属	晶格与晶胞示意图
体心立方晶格	属于这种晶格类型的金属有： α -Fe、(912℃ 以下的纯铁)、铬 (Cr)、钼 (Mo)、钨 (W)、钒 (V) 等。这类金属具有较好的强度和塑性	
面心立方晶格	属于这种晶格类型的金属有： γ -Fe (温度在 912 ~ 1394℃ 的纯铁)、铝 (Al)、铜 (Cu)、金 (Au)、银 (Ag)、镍 (Ni) 等。这类金属的塑性都很好	
密排六方晶格	属于这种晶格类型的金属有：铍 (Be)、镁 (Mg)、锌 (Zn)、 α -钛 (Ti)、 β -铬 (Cr) 及 α -钴 (Co) 等	

- 由于金属晶体内部原子按照一定的规律整齐排列，导致其晶体表现出以下特点。
- (1) 金属晶体具有一定的熔点。例如 Fe 的熔点为 1538℃、Cu 的熔点为 1083℃、Al 的熔点为 660℃。而非晶体没有固定熔点。
 - (2) 金属晶体具有各向异性。由于金属原子在晶格中的排列位置关系，沿晶格对角线方向的金属性能和沿晶格单边方向的金属晶体性能具有显著差异。
 - (3) 金属晶体具有规则的几何外形。当液态金属向金属晶体变化时，若金属原子在堆积的过程中不受阻碍，则可以形成有规则的几何外形。

2. 合金及其结构

虽然纯金属具有良好的导电性、导热性和塑性，但由于纯金属制取较为困难，价格较高，同时其机械性能，如强度、硬度及耐磨性普遍较差，因此工业应用时更多以合金为主。

在一种金属元素中加入另外的元素（可以加入一种或多种元素、金属元素或非金属元素）所形成的具有金属特性的物质称为合金。在实际应用中，通过改变组成合金元素的成分，可以显著改变合金材料的性能，使其除了具备纯金属的基本性能外，还具备比纯金属更好的机械性能或其他特殊性能。例如工业上常用的碳素钢就是铁和碳

两种元素为主形成的合金，其不但具备纯铁的导电、导热等性能，还同时拥有更好的力学性能，因此被广泛应用于生产生活的方方面面。

组成合金的元素称为组元，由两种组元组成的合金称为二元合金，由三种组元组成的合金称为三元合金，以此类推。合金的结构比纯金属更加复杂，按照各组元原子的存在方式不同，可以将合金分为两大类，即固溶体和金属化合物。

(1) 固溶体 在固态下组元互相溶解而形成的均匀的合金称为固溶体。在固溶体中，组成元素占比较高的组元称为溶剂，占比较低的组元称为溶质。由于溶质原子在固溶体晶格中存在的位置不同，可以将固溶体分为间隙固溶体和置换固溶体。当溶质原子存在于溶剂原子形成的晶格的间隙内时，这种固溶体称为间隙固溶体。若溶质原子直接和溶剂原子直接之比小于 0.59 时，易形成此类固溶体。当溶质原子占据溶剂晶格结点位置时，即溶质原子将原结点处的溶剂原子置换了，这种固溶体称为置换固溶体。若溶质原子直接和溶剂原子直接之比在 0.85~1.15 时，易形成此类固溶体。

(2) 金属化合物 当组成合金的元素原子结构和性能相差较大以及溶质元素量超过固溶体的溶解度时，合金各组元之间相互作用而生成金属化合物。金属化合物既可以由金属和金属元素组成，也可以由金属和非金属元素组成。例如铁碳合金中铁和碳可以组成晶格复杂的碳化物——渗碳体 (Fe_3C)。由于金属化合物的结构复杂，滑移系、滑移面和滑移方向少，所以金属化合物很少能够进行塑性变形，脆性很大。

3. 铁碳合金

钢铁是现代工业中应用最广泛的金属材料，其基本组成元素是铁和碳，故钢铁又被统称为铁碳合金。

合金的结构远比纯金属复杂。为了更好地研究和使用的合金，就必须了解合金中各种组织与成分之间的变化规律。合金状态图就是研究这些规律的有效工具。合金状态图是通过实验制作出来的。它用图解的方法表示合金的状态、组织、温度和成分之间的变化规律。最为典型的是铁碳合金状态图，如图 1-1 所示。

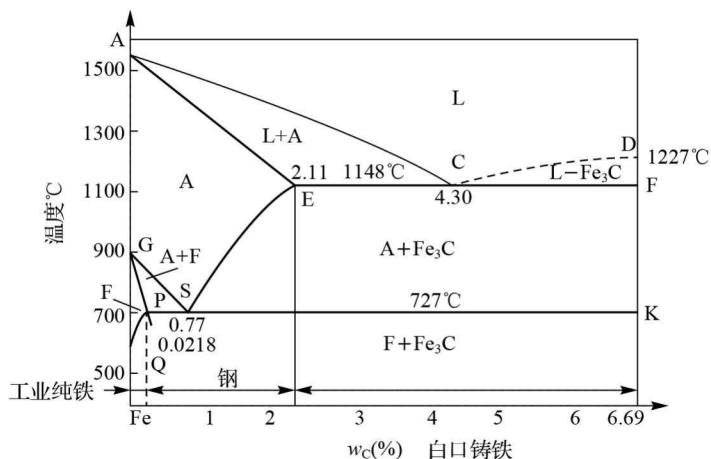


图 1-1 铁碳合金状态图

(1) 铁碳合金的基本组织 (如表 1-2 所示)

表 1-2 铁碳合金的基本组织、结构类型及性能特点

基本组织	结构类型	性能特点
铁素体	铁溶于 α -Fe 中形成的间隙固溶体。常用符号 F 或 α 表示	它仍保持 α -Fe 的体心立方晶格。碳在 α -Fe 的溶解度很小，在 727℃ 时的溶解度为 $\omega_c = 0.0218\%$ 。随着温度的降低，碳在 α -Fe 中的溶解度下降，在室温时只能溶解微量的碳，因此其性能接近于纯铁，塑性、韧性较好，强度、硬度较低。可用于冷变形加工
奥氏体	碳溶于 γ -Fe 中形成的间隙固溶体。常用符号 A 或 γ 表示	它仍保持 γ -Fe 的面心立方晶格。由于面心立方晶格的间隙较大，因而奥氏体的溶碳能力较强，在 1148℃ 时可溶碳 $\omega_c = 2.11\%$ ，在 727℃ 时能溶碳 $\omega_c = 0.77\%$ 。奥氏体的强度、硬度较低，塑性很好，适于压力加工。钢大多数加热到奥氏体温区进行锻造
渗碳体	铁与碳形成的金属化合物 Fe_3C	它具有不同于铁和碳的复杂晶体结构，其含碳量为 $\omega_c = 6.69\%$ 。渗碳体的硬度很高，脆性很大，塑性、韧性极差。渗碳体在钢中主要起强化作用，随着钢中含碳量的增加，渗碳体的数量增多，钢的强度、硬度提高，而塑性和韧性下降
珠光体	铁素体和渗碳体组成的机械混合物，用符号 P 表示	珠光体中软而韧的铁素体和硬的渗碳体层片相间，使珠光体具有较高的强度，又有较好的塑性和韧性，其综合力学性能较好

(2) 铁碳合金的分类及其组织转变过程

1) 铁碳合金的分类

根据铁碳合金状态图， $\omega_c > 2.11\%$ 的铁碳合金为铁， $\omega_c < 2.11\%$ 的为钢。其中钢分为：亚共析钢— ω_c 在 0.0218%~0.77% 之间；共析钢— ω_c 为 0.77%；过共析钢— ω_c 在 0.77%~2.11% 之间。白口铁可分为：亚共晶白口铁— ω_c 在 2.11%~4.3% 之间；共晶白口铁— ω_c 为 4.3%；过共晶白口铁— ω_c 在 4.3%~6.69% 之间。

2) 铁碳合金的组织转变过程

现以 ω_c 为 0.4%、0.77%、1.2% 的三种钢为例，说明在缓慢冷却过程中钢的组织转变过程。

ω_c 为 0.4% 的亚共析钢，在高温时组织为奥氏体，冷却到 GS 线时，开始析出铁素体。当冷却到 PSK 线时，发生共析转变，余下的奥氏体全部转变为珠光体。因此，亚共析钢在室温时的组织为铁素体和珠光体。 ω_c 为 0.77% 的共析钢高温组织为单一奥氏体，冷却到 S 点时，奥氏体发生共析转变，全部转变为珠光体。故室温时共析钢的组织为珠光体。 ω_c 为 1.2% 的过共析钢在高温时组织也为单一奥氏体，当冷却到 ES 线时，开始从奥氏体中析出渗碳体。随着温度的下降，析出的渗碳体增加，余下的奥氏体减少。当冷却到 PSK 线时，发生共析转变，剩余的奥氏体转变为珠光体。因此室温下过共析钢的组织为渗碳体和珠光体。

用分析钢的方法可同样分析白口铁的组织变化。室温时亚共晶白口铁的组织为珠光体、二次渗碳体和莱氏体；共晶白口铁的组织为珠光体和渗碳体，过共晶白口铁的组织为一次渗碳体和莱氏体。

在 1148℃~727℃ 的冷却过程中，由于奥氏体中碳的溶解度不断减少，所以在此温度区要从奥氏体中不断析出渗碳体。为区别直接从液态合金中析出的渗碳体和从奥氏

体中析出的渗碳体，把前者称为一次渗碳体，后者称为二次渗碳体。

1.2.2 钢的常用热处理

在机械零件制造过程中，为了提高和获得金属材料的物理、化学以及力学性能，人们常常采取一定的工艺方法，通过对材料的表面或内部进行加工处理，从而获得与基体材料不同的各种特性。

其中，将固态金属或合金，采用适当的方式进行加热、保温和冷却，改变材料内部组织结构，从而获得改善材料性能的工艺，这种方式称之为金属材料的热处理。其工艺过程通常可以用温度-时间坐标的工艺曲线来表示。钢常用的各种热处理工艺规范如图 1-2 所示。

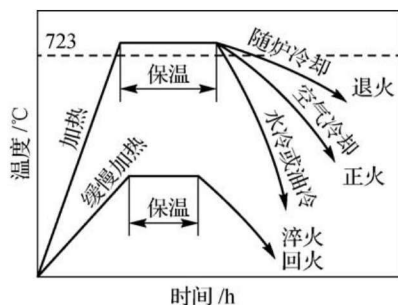


图 1-2 钢的各种热处理工艺规范

热处理工艺按其工序位置可分为预备热处理和最终热处理。预备热处理可以改善材料的加工工艺性能，为后续工序做好组织和性能的准备。最终热处理可以提高金属材料的使用性能，充分发挥其性能潜力。因此，热处理得到了广泛的应用。根据热处理的要求和工艺方法的不同，热处理可以按以下方法分类：

热处理	{	整体热处理：退火、正火、淬火、回火、调质等
		表面热处理 { 表面淬火：感应加热淬火、火焰加热淬火 化学热处理：渗碳、渗氮等
		其他热处理：形变热处理、超细化热处理、真空热处理等

由于钢是使用热处理最典型的材料，同时使用范围也最广，故下面介绍几种常用的钢的热处理工艺方法。

1. 退火与正火

(1) 退火退火是将金属或合金加热到适当的温度，保持一定的时间，然后缓慢冷却的热处理工艺。

退火的目的：①降低硬度，改善切削加工性；②消除残余应力，稳定尺寸，减少变形与裂纹倾向；③细化晶粒，调整组织，消除组织缺陷。

在生产过程中，退火工艺应用很广泛。根据工件要求退火的目的不同，退火的工艺规范有多种，常用的有完全退火、球化退火和去应力退火等。

(2) 正火正火是将钢加热到 A_{c3} （亚共析钢）或 A_{cm} （共析、过共析钢）以上 $30^{\circ}\text{C} \sim 50^{\circ}\text{C}$ ，保温一定时间后，在静止的空气中冷却的热处理工艺方法。

正火的目的：①对于力学性能要求不高的碳钢、低合金钢结构件，可作最终热处理。②对于低碳钢可用来调整硬度，避免切削加工中的“粘刀”现象，改善切削加工

性。③对于共析、过共析钢，正火可以消除网状二次渗碳体，为球化退火做准备。

正火的冷却速度比退火快，得到的组织较细，工件的强度和硬度比退火高。对于高碳钢的工件，正火后硬度偏高，切削加工性能变差，故宜采用退火工艺。从经济方面考虑，正火比退火的生产周期短，设备利用效率高，生产效率高，节约能源，降低成本以及操作简便，所以在满足工作性能及加工要求的条件下，应尽量以正火代替退火。

退火和正火可以在电阻炉或煤、油、煤气炉中进行，最常用的是电阻炉。电阻炉是利用电流通过电阻丝产生的热量来加热工件，同时用热电偶等电热仪表控制温度，操作简单、温度准确。在加热过程中，由于工件与外界介质在高温下发生化学反应，当加热温度和加热速度控制不当或装炉不合适时，会造成工件氧化、脱碳、过热、过烧及变形等缺陷。因此要严格控制加热温度和加热速度等。图1-3为退火和正火的加热温度范围。

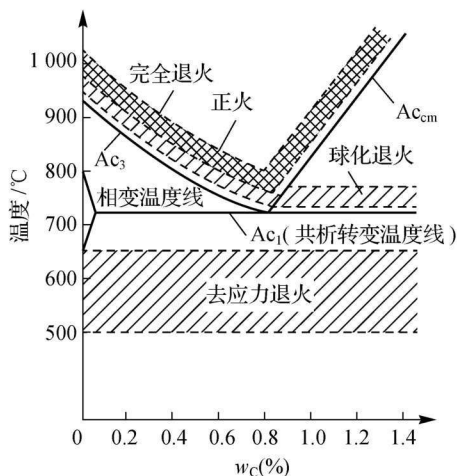


图1-3 退火和正火的加热温度范围

2. 淬火

淬火是将工件加热到 Ac_1 或 Ac_3 以上某一温度，保温一定时间使其奥氏体化，然后以一定的冷却速度冷却，从而获得马氏体（或贝氏体）的热处理工艺方法（马氏体为C在 α -Fe中的过饱和固溶体）。

淬火的目的是提高钢的强度和硬度，增加耐磨性，并通过回火处理可获得既有较高的强度、硬度，又有一定弹性、韧性的具有优良综合力学性能的工件。

淬火的冷却介质称为淬火剂。常用的淬火剂有水 and 油两种。水通常用于一般的碳钢零件的淬火。在水中加入食盐或碱，可以提高冷却速度。淬火时也常用植物油或矿物油作淬火剂。油作淬火剂时，冷却能力较水低，可防止工件产生裂纹等缺陷，适用于合金钢淬火。但油易燃，价格较高，且易老化。

淬火操作时，应注意淬火工件浸入淬火剂的方式。如果浸入方式不正确，则可能因工件各部分的冷却速度不一致而造成极大的内应力，使工件发生变形、裂纹或产生局部淬不硬等缺陷。浸入方式的根本原则是保证工件最均匀地冷却，具体操作如图1-4所示。

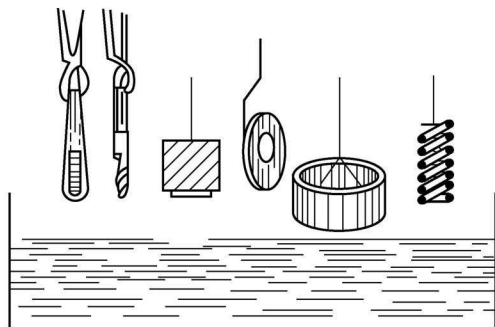


图 1-4 工件浸入淬火剂的正确方法

厚薄不均的工件，厚的部分应先浸入淬火剂中；细长的工件，如钻头、锉刀、轴等，应垂直地浸入淬火剂中；薄而平的工件，如圆盘铣刀等，不能平着放入而必须立着放入淬火剂中；薄壁环状工件，必须沿其轴线垂直于液面方向浸入；截面不均匀的工件，应斜着浸入淬火剂中，使工件各部分的冷却速度接近。

3. 回火

回火是将淬火后的钢重新加热到 A_{c1} 以下的某一温度范围（大大低于退火、正火和淬火时的加热温度），保温后在空气、油或水中冷却的热处理工艺。回火的目的是减小或消除工件在淬火时产生的内应力，降低淬火钢的脆性，使工件获得较好的强度、韧性、塑性、弹性等综合力学性能。

根据回火温度的不同，回火分为低温回火、中温回火和高温回火。

1) 低温回火回火温度为 $150^{\circ}\text{C} \sim 250^{\circ}\text{C}$ 。低温回火可以部分消除淬火造成的内应力，降低钢的脆性，提高韧性，同时保持较高的硬度。故广泛应用于要求硬度高、耐磨性好的零件，如量具、刀具、冷变形模具及表面淬火件等。

2) 中温回火回火温度为 $300^{\circ}\text{C} \sim 450^{\circ}\text{C}$ 。中温回火可以消除大部分内应力，硬度有显著的下降，但仍有一定的韧性和弹性。中温回火主要应用于各类弹簧、高强度的轴、轴套及热锻模具等工件。

3) 高温回火回火温度为 $500^{\circ}\text{C} \sim 650^{\circ}\text{C}$ 。高温回火可以消除内应力，使工件既具有良好的塑性和韧性，又具有较高的强度。淬火后再经高温回火的热处理工艺称为调质处理。对于大部分要求较高综合力学性能的重要零件，都要经过调质处理，如轴、齿轮等。



1.3 常用机械工程材料认知

按化学成分，机械工程材料可以大致分为金属材料和非金属材料，其中金属材料作为使用时间最长、使用范围最广的材料，在整个机械工程材料领域占据主要地位。随着材料科学的飞速发展，非金属材料的性能和质量也不断提高，在现代机械工程领域的应用不断扩大，金属与非金属的相互渗透和发展，形成了现代机械工程材料体系，如图 1-5 所示。