

JINSHUCAI LIAO  
JIRECHULI

金属材料及热处理

山西人民出版社

# 金属材料及热处理

马家骏 编

山西人民出版社

# 金属材料及热处理

马家骏

•

山西人民出版社出版 (太原并州路七号)

山西省新华书店发行 山西新华印刷厂印刷

•

开本: 850×1168 1/32 印张: 13 $\frac{1}{2}$  字数: 321千字

1981年11月第1版 1981年11月太原第1次印刷

印数: 1—6,500册

•

书号: 15088·130 定价: 1.75元

# 目 录

绪 论	( 1 )
第一节 金属材料及热处理在工业生产中的作用	( 1 )
第二节 金属材料和热处理的发展	( 2 )
第一章 钢铁材料基本知识	( 6 )
第一节 钢的分类	( 6 )
第二节 钢的牌号表示方法	( 8 )
第三节 钢的机械性能试验	( 14 )
一、硬度试验	( 15 )
二、拉力试验	( 20 )
三、冲击试验	( 23 )
四、抗压试验	( 24 )
五、疲劳试验	( 25 )
第二章 热处理理论基础知识	( 27 )
第一节 钢的内部组织	( 27 )
一、晶体、晶格、晶粒与晶界的概念	( 27 )
二、纯铁的同素异构转变	( 29 )
三、铁碳合金序的组织	( 30 )
第二节 铁碳合金状态图	( 33 )
一、状态图的分析	( 34 )
二、碳对钢组织和性能的影响	( 39 )
第三节 钢在加热时的转变	( 40 )
一、共析碳钢加热时奥氏体的形成过程	( 40 )
二、奥氏体晶粒的长大	( 42 )
三、碳及合金元素对加热转变的影响	( 43 )

第四节	钢在冷却时的转变	( 46 )
一、	奥氏体等温转变	( 47 )
二、	奥氏体在连续冷却时的转变	( 53 )
第三章	钢的热处理	( 55 )
第一节	钢的退火和正火	( 55 )
一、	退火和正火的目的	( 55 )
二、	退火的种类及其应用	( 56 )
三、	正火的应用	( 62 )
第二节	钢的淬火	( 63 )
一、	淬火加热温度的选择	( 64 )
二、	保温时间的确定	( 65 )
三、	钢的淬透性	( 67 )
四、	淬火冷却剂	( 71 )
五、	淬火方法及其应用	( 74 )
第三节	淬火钢的回火	( 76 )
一、	回火的目的	( 76 )
二、	钢在回火时组织和性能的变化	( 77 )
三、	回火加热温度的选择	( 79 )
四、	回火保温时间和冷却方法	( 80 )
五、	冷处理和时效处理	( 81 )
第四节	合金钢的热处理	( 82 )
一、	合金元素在普通合金钢中的存在形式	( 83 )
二、	合金元素对加热的影响	( 84 )
三、	合金元素对冷却转变的影响	( 86 )
四、	合金元素对回火转变的影响	( 88 )
第五节	热处理常见缺陷	( 90 )
一、	过热与过烧	( 90 )
二、	氧化与脱碳	( 90 )
三、	钢的淬火应力和变形开裂	( 91 )

四、淬火软点与硬度不足	(92)
<b>第四章 钢的表面淬火</b>	(94)
<b>第一节 火焰表面淬火法</b>	(94)
一、火焰淬火的基本原理	(94)
二、火焰淬火的种类	(94)
三、火焰淬火的工艺参数	(96)
<b>第二节 感应加热表面淬火法</b>	(97)
一、感应加热基本原理	(98)
二、电流频率的选择	(98)
三、淬火温度	(99)
四、感应加热装置	(100)
五、感应加热表面淬火用钢及技术条件	(102)
六、感应加热表面淬火零件的回火	(103)
七、防止变形开裂的工艺措施	(105)
<b>第三节 电解液加热表面淬火</b>	(106)
<b>第四节 浴炉加热表面淬火</b>	(107)
<b>第五章 钢的化学热处理</b>	(109)
<b>第一节 钢的渗碳</b>	(110)
一、固体渗碳	(111)
二、气体渗碳	(114)
三、液体渗碳	(117)
四、工件非渗碳部位的防护	(118)
五、渗碳后的组织与渗碳后的热处理	(119)
<b>第二节 钢的氮化</b>	(121)
一、氮化工件的预备热处理	(123)
二、结构钢的强化氮化	(123)
三、辉光离子氮化	(124)
四、镀锌氮化	(128)
<b>第三节 钢的氰化(碳氮共渗)</b>	(128)

一、中温液体氮化	(129)
二、中温气体氮化	(130)
三、气体软氮化	(131)
四、液体软氮化	(133)
第四节 碳氮硼三元共渗	(134)
一、盐浴加热三元共渗	(134)
二、滴注式气体碳氮硼三元共渗	(138)
第五节 钢的渗铝	(139)
一、固体渗铝	(139)
二、液体渗铝	(141)
第六节 钢的渗铬	(141)
一、固体渗铬	(142)
二、气体渗铬	(143)
第六章 热处理常用设备	(144)
第一节 电阻炉	(145)
一、箱式电阻炉	(149)
二、车底式电阻炉	(150)
三、井式电阻炉	(150)
四、井式气体渗碳电阻炉	(150)
第二节 盐浴加热炉	(151)
一、坩埚式盐浴炉	(152)
二、电极式盐浴炉	(153)
第三节 可控气氛加热炉	(157)
第七章 碳钢	(159)
第一节 钢中常存杂质的影响	(159)
第二节 普通碳素结构钢	(161)
一、甲类钢	(161)
二、乙类钢	(164)
三、特类钢	(164)

第三节 优质碳素结构钢	(164)
一、低碳钢	(165)
二、中碳钢	(165)
三、高碳钢	(165)
第八章 合金结构钢	(173)
第一节 合金结构钢概述	(173)
一、合金元素的作用	(174)
二、我国合金结构钢的特点	(174)
三、合金结构钢的工艺要求	(175)
四、合金结构钢的合理选用	(177)
第二节 普通低合金钢	(178)
一、普通低合金钢的特点	(179)
二、合金元素在普通低合金钢中的作用	(179)
三、普通低合金钢的分类、钢号和性能	(181)
四、普通低合金钢的焊接工艺性能	(181)
第三节 合金结构钢	(189)
一、锰钢组	(205)
二、硅锰钢组	(205)
三、锰钒钢组	(206)
四、铬钢组	(206)
五、铬硅钢组	(207)
六、铬锰钢组	(207)
七、铬锰硅钢组	(208)
八、铬钒钢组	(208)
九、铬锰钒钢组	(209)
十、钼钢组	(209)
十一、铬钼钢组	(209)
十二、铬锰钼钢组	(210)
十三、铬钼钒钢组	(211)



十四、铬铝、铬铝铝及铬钨钒铝钢组	(211)
十五、硼钢组	(212)
十六、铬镍钢组	(212)
<b>第四节 弹簧钢</b>	(213)
一、概述	(213)
二、钢号性能数据	(228)
三、耐热弹簧钢	(229)
四、冷拉弹簧钢丝	(229)
五、影响弹簧使用寿命的因素	(229)
六、提高弹簧质量的主要措施	(237)
<b>第五节 滚动轴承钢</b>	(238)
一、概述	(238)
二、合金元素的作用	(238)
三、质量及工艺要求	(243)
<b>第九章 工具钢</b>	(247)
<b>第一节 性能要求</b>	(247)
一、使用性能的要求	(247)
二、工艺性能的要求	(248)
<b>第二节 碳素工具钢</b>	(248)
<b>第三节 合金工具钢</b>	(251)
一、刃具用钢	(251)
二、模具用钢	(252)
三、量具用钢	(261)
<b>第四节 高速工具钢</b>	(261)
一、中红硬性高速钢	(263)
二、高红硬性高速钢	(263)
<b>第五节 提高工具使用寿命的方法</b>	(265)
一、低温氰化	(265)
二、高温氰化	(267)

三、氮化	(267)
四、硫化	(268)
五、镀铬	(270)
六、蒸汽处理	(271)
第六节 各种常用工具所选用的材料和热处理技术 要求	(271)
<b>第十章 特殊性能钢</b>	(288)
第一节 不锈钢	(288)
一、对不锈钢的技术要求	(288)
二、合金元素在不锈钢中的作用	(289)
三、不锈钢的分类	(290)
第二节 耐热钢	(292)
一、合金元素的作用	(297)
二、耐热钢的分类	(300)
三、无镍少镍耐热钢	(301)
第三节 高锰钢	(303)
<b>第十一章 铸铁和铸钢</b>	(310)
第一节 一般概念	(310)
一、铸铁的性能特点	合金元素总高... 重(310)
二、铸铁的分类	合金元素总高... (312)
三、影响铸铁石墨化的因素	(312)
第二节 灰口铸铁及其热处理	(316)
一、灰口铸铁的组织性能和用途	(316)
二、变质铸铁(孕育铸铁)	(318)
三、灰口铸铁的牌号及应用	(318)
四、灰口铸铁的铸造性能	(318)
五、灰口铸铁件的热处理	(321)
第三节 可锻铸铁	(323)
一、可锻铸铁的组织性能和用途	(323)

二、可锻铸铁的生产	(325)
三、可锻铸铁的铸造性能及工艺特点	(327)
<b>第四节 球墨铸铁及其热处理</b>	<b>(328)</b>
一、球墨铸铁的组织性能和用途	(328)
二、球墨铸铁的热处理	(331)
三、球墨铸铁的铸造性能及工艺特点	(336)
<b>第五节 合金铸铁及合金球墨铸铁</b>	<b>(339)</b>
一、高强度合金球墨铸铁	(340)
二、高韧性球墨铸铁	(343)
三、耐磨合金铸铁(球铁)	(343)
四、耐热合金铸铁	(343)
<b>第六节 白口铸铁和冷硬铸铁</b>	<b>(346)</b>
一、强韧白口铸铁	(347)
二、冷硬铸铁	(349)
<b>第七节 铸钢</b>	<b>(351)</b>
一、碳素铸钢	(351)
二、合金结构铸钢	(353)
三、铸造高合金钢	(358)
<b>第十二章 有色金属合金</b>	<b>(360)</b>
<b>第一节 铝及其合金</b>	<b>(360)</b>
一、纯铝	(360)
二、铝合金	(362)
<b>第二节 铜及其合金</b>	<b>(374)</b>
一、纯铜	(374)
二、黄铜	(375)
三、青铜	(376)
<b>第三节 轴承合金</b>	<b>(383)</b>
一、锡基轴承合金(锡基巴氏合金)	(384)
二、铅基轴承合金	(386)

三、铜基轴承合金·····	(386)
四、铝基轴承合金·····	(387)
五、铁基轴承合金·····	(387)
第四节 粉末冶金·····	(388)
一、概述·····	(388)
二、粉末冶金生产工艺·····	(389)
三、制品及应用·····	(393)
四、特殊粉末材料和制品·····	(402)
附录一 压痕直径与布氏硬度对照表·····	(403)
附录二 各种硬度值对照表·····	(407)
后 记·····	(411)

# 绪 论

## 第一节 金属材料及热处理在 工业生产中的作用

机械产品在设计和制造过程中经常会遇到金属材料及热处理方面的问题，能否合理地选用金属材料和妥善地进行热处理，对产品的质量、性能都有很大影响。因此说金属材料及热处理在工业生产中的地位是十分重要的。

金属材料的应用非常广泛，如工业用的各种机器、设备和仪表；农业用的拖拉机、收割机和各种农具；交通用的各种飞机、船舶和车辆；国防用的火箭、坦克和枪炮子弹以及日常生活用品等等，都离不开金属材料。

为什么金属材料有这样广泛的用途呢？这是由于和非金属材料相比，它有许多突出的优点。除了金属矿在自然界中有丰富的蕴藏量，工业上能够大量生产，价格比较便宜外，更重要的是：第一、金属材料（特别是钢材）具有优良的机械性能，即高的强度和韧性。因此，凡是要承受较高载荷以及传递较大动力的机器零件都要用金属材料来制造。例如，汽车和机车上的传动轴与齿轮要传递几百马力到几千马力的巨大功率，它的主轴、机架等主要零件若使用非金属材料是不行的。第二、金属材料具有良好的物理、化学性能。这主要是指优良的导电性、导热性、磁性和耐腐蚀性等，如输送电流的导线要由具有优良导电性的铝、铜材料制成；电机、变压器中的铁芯由具有优良磁性的硅钢片来冲制；而化工容器则应用不锈钢来制造。第三、金属材料具有优良的加

工工艺性能，这是指金属材料能够通过铸造、压力加工、焊接和切削加工等方法制成各种形状和要求精度不同的产品。此外大多数金属材料还可以通过热处理使其性能得到进一步改善和提高，使之满足各种设计和使用的要求。

热处理是将金属的半成品或成品加热到一定温度并在这个温度下保持一定时间，然后以不同速度进行冷却的一种工艺操作方法。金属材料通过热处理能改变其本身组织结构或化学成份，这不仅可以改进加工工艺性能，更重要的是能提高机械产品质量。正确地选择材料和合理地进行热处理，可以成倍甚至几十倍地提高零件的使用寿命，使一个零件顶几个用，一台机器顶几台用，这就能大量节约材料。随着宇航、原子能等尖端技术的发展，就更需要研究新材料和提高材料的性能。总之，要实现四个现代化，必须大力发展新材料、推广先进的热处理技术。

机械制造厂的工人或工程技术人员，在工作中经常会遇到金属材料 and 热处理方面的问题。设计一个零件，选用哪些材料和热处理技术要求，制定工艺路线，热处理安排在哪一道工序，搞技术革新和工具改革也都离不开金属材料 and 热处理方面的知识。因为我们的工作对象绝大多数是金属材料，如果我们缺乏有关金属材料 and 提高材料性能的基本知识，就会使工作处于盲目状态；就不能根据材料的性质和使用的要求，去正确选用材料和合理进行热处理；就不能充分发挥材料的作用，做到物尽其用，更谈不上提高产品质量。

学习金属材料及热处理这方面知识的目的，就是要了解金属材料的特点，熟悉金属材料的各种性能，掌握并理解材料性能与组织结构之间的关系，能运用这些规律合理地选用材料，正确地编制热处理工艺和推广应用热处理新技术。

## 第二节 金属材料 and 热处理的发展

中国是世界文明发达最早的国家之一，金属材料 and 热处理在

我国有悠久的历史。

从新石器时代仰韶文化阶段(距今6000年)开始,我国先民就会冶炼黄铜,到商代和西周(距今3000多年),青铜冶铸技术达到了鼎盛时期。青铜工具和农具的使用促进了奴隶社会生产力的发展。大量出土文物不仅反映了当时精巧的冶铸技术,而且体现了丰富多采的古代文化艺术。如在河南安阳出土的司母戊大鼎是商代晚期的器具,它用含铜84.77%、锡11.64%、铅2.79%的青铜铸成,重达875公斤,尺寸大到一米多,造型瑰丽,花纹美观,西周大盂鼎(距今3100年)内铸有铭文291个字,字迹清晰。热处理技术在我国也是由来已久,如安阳商代中期遗址出土的金箔,厚度仅0.01毫米,是经过再结晶退火处理的。在周礼《考工记》中,总结了铜锡合金的“六齐”规律,是世界上最早的合金工艺总结,也是符合材料使用要求和铸造工艺要求的。根据“六齐”规律的记述和出土文物的实际分析,铜、锡百分比范围见表1。

表1 铜锡合金“六齐”规律

合金名称	铜和锡之比	含铜量(%)	含锡量(%)
钟鼎之齐	5:1—6:1	83.3—86	16.7—14
斧斤之齐	4:1—5:1	80—83	20—17
戈戟之齐	3:1—4:1	75—80	25—20
大刃之齐	2:1—3:1	66.7—75	33.3—25
削、杀、矢之齐	3:2—5:2	60—71	40—29
鉴燧之齐	~1:1	~50	~50

在奴隶制崩溃和封建制产生的社会变革时期,铁器登上了历史舞台,作为生产力的标志的青铜器开始逐渐被铁器代替。我国冶铁兴起于春秋末期或更早一些(距今约2600年),开始时采用

块炼铁和生铁两种生产工艺。战国初（距今2500年）产生了铁柔化技术，使硬而脆的白口铁变为展性铸铁，从而更适于制作工具和农具。到西汉中期（距今2100年），出现了铸造性能好的灰口铸铁。在汉魏时期（距今约1800年）的铁器中，还出现了与现代球墨铸铁金相组织极为相似的球状石墨组织。我国生铁冶铸技术比世界各国要早1900多年，生铁柔化技术比西方要早2300多年。如我国西汉时期（公元前100多年）已推广铁犁、铁铧、耨车等农具。而美国到1797年才获得铸铁犁的第一个专利。

在生铁冶铸技术继续发展的同时，在战国后期产生了最古老的炼钢方法——块炼渗碳钢及其淬火工艺。两汉时期铸铁脱碳钢、炒钢和百炼钢兴起，两晋、南北朝时期又有了灌钢。

随着钢铁冶铸的发展，热处理技术也开始被人们掌握。在战国时期劳动人民就掌握了淬火、正火和渗碳工艺。如燕下都出土战国晚期钢宝剑曾经过淬火处理；出土的钢矛挺也经过了正火处理；出土的铁器中也有采用块炼渗碳钢的；河北满城刘胜墓出土的书刀，是经过表面渗碳的。

明朝宋应星著的《天工开物》一书中记载了从铁水直接炼成熟铁（低碳钢）的连续生产工艺。还叙述了我国劳动人民独创的用生铁液灌注熟铁的“灌钢”冶炼法，及其在明代的新发展。《冶铸》卷中讲到明代炼铁曾使用轻便灵巧可以进行连续鼓风的话塞风箱，比欧洲要早100多年。在炼锌方面，我国劳动人民独创的加热法克服了炼锌中的困难，使中国成为当时世界上唯一能大规模炼锌的国家。又如对工具和武器强化金属表面、提高硬度的“生铁淋口”技术，也是我国劳动人民的独特创造，至今在土法生产农具中仍很经济实用。在《锤锻》卷中还介绍了我国劳动人民对金属热处理的许多创造，如“水火健法”（即淬火），“生铁淋口”，以及表层渗碳处理等。

但是，在封建社会制度下，生产力长期处于停滞状态，技术发展缓慢。1840年鸦片战争后，我国又遭受帝国主义侵略，在三



座大山压迫下，工业非常落后。1949年解放初期，我国钢产量只有15万吨，热处理更可以说是个空白点，一些工厂和作坊中仅仅依靠个别人的祖传手艺进行热处理，或者用煤炉、焦炭炉加热进行一些简单的热处理。

解放三十年来，我国工业有了飞速的发展，初步建成了独立的工业体系。冶金、机械制造等工业部门都有了很大的发展，许多工厂建立了热处理车间、工段或小组；培养建立了一支从生产到科研的热处理工人和技术人员队伍；掌握和发展了各种热处理新工艺、新技术。

山西省金属材料 and 热处理战线也取得了许多可喜成果。如太原钢铁公司为我国第一台高能加速器研制成高纯度工业纯铁；太原重型机器厂研究出黑色金属挤压模具用的新钢种和挖掘机推压齿轮快速整体淬火新工艺；太原矿山机器厂、太原工学院和山西省机械设计研究所共同研制成辉光离子氮化所需的新工艺装备和海绵钛催渗氮化新工艺；太原工学院和经纬纺织机械厂共同试验成功半奥氏体沉淀硬化不锈钢的热处理新工艺，使化纤设备计量泵齿轮的耐磨性和抗无氧酸腐蚀能力提高了34倍；临汾动力机厂和山西省机械设计研究所合作在东方红——30拖拉机球铁曲轴上采用气体软氮化工艺，寿命由1500小时提高到5000小时，抗疲劳强度也有很大提高等等。

根据我国热处理技术发展的历史与现状，结合国外的先进经验，展望今后的发展趋势是：

1. 广泛应用无氧化、无脱碳热处理方法。
2. 减少热处理变形和防止淬火开裂。
3. 提高零件表面耐磨性、疲劳强度和抗腐蚀性。
4. 发展能同时提高材料强度和韧性的热处理方法。
5. 提高热处理的自动化程度。
6. 减少热处理的燃料、电力消耗（节省能源）。
7. 采取防止环境污染的措施。