

材
料
科
学
与
工
程
丛
书

热加工技术 简明手册

热处理分册

崔忠圻 主编

哈尔滨工业大学出版社

材料科学与工程丛书

热加工技术简明手册

热 处 理 分 册

主编 崔忠圻

哈尔滨工业大学出版社

内容简介

《热加工技术简明手册》的热处理分册,主要介绍当前在机械行业中较成熟并卓有成效的典范工艺方法,同时也介绍了一些国内外开始应用的新的热处理工艺。主要包括:钢的退火和正火、钢的淬火、钢的回火、钢的表面淬火、钢的化学热处理和有色金属热处理。

本分册以简明、实用的特点,为广大工程技术人员提供了一本易于查阅,便于应用的必备工具书。

热加工技术简明手册

Rejiagong Jishu Jianming Shouce

热 处 理 分 册

Rechuli Fence

主编 崔忠圻

*

哈尔滨工业大学出版社出版发行

哈尔滨工业大学印刷厂印刷

*

开本 787×1092 1/32 印张 12 字数 267 千字

1997年10月第1版 1997年10月第1次印刷

印数 1—4 000

ISBN 7-5603-1254-3/TG·38 定价: 64.00 元/套

(16.00 元/册)

《热加工技术简明手册》

编写单位

主编单位:哈尔滨工业大学

参编单位:吉林工业大学

长春第一汽车集团公司 锻造厂

哈尔滨飞机制造公司

哈尔滨计量检定测试所

编委会

总主编:霍文灿

分册主编:崔忠圻 叶荣茂 霍文灿 张修智

编委(按姓氏笔画排列):

王惠光	叶广郁	包俊成	刘北兴
刘伟茜	毕维生	李伟华	吴顺达
李莉群	杨绮雯	胡连喜	姜秋华
徐欣颖	高洪明	韩文波	曾宪文
傅家骐	彭德林	魏艳红	

序 一

先进制造技术的发展是一个国家经济发展的基础,被列为国家重点发展的领域。

振兴机械、汽车工业,使之尽快成为带动整个经济增长和结构升级的支柱产业,这是我们机械制造行业的光荣而艰巨的历史使命,是全行业当前和今后一个时期的中心任务。《热加工技术简明手册》就是在这样的条件下诞生的,其使命就是为振兴机械、汽车工业而服务。

先进制造技术中的凝固技术、塑性成形技术、联接技术、热处理技术或表面工程技术均属共性的基础技术,反映这些共性的基础乃是本手册的宗旨之一。

我国近期振兴的重点领域是,对国民经济有重大影响的以电力设备为代表的重大技术装备,以轿车为代表的汽车工业,以及严重制约机械工业发展以数控机床为重点的重要基础机械和一批重要基础零部件。本手册在内容上力求在这些重点领域中给予加强的表述。

伴随电子技术、信息多媒体即将到来的 21 世纪,要求制造技术能满足产品的多品种、小批量、短周期、快变化、高性能、高可靠性和低成本的要求,还要适应新材料、新能源、新控制技术的应用发展。因之,本手册对一些方兴未艾的柔性加工技术,以及正萌芽跃放的新兴技术和边缘组合加工技术等内容也要给予适当的反映。

我国大型机械制造企业正处于提高自身的竞争能力和跻身于国际工业技术和经贸的行列的机遇,无疑,本手册在这方面会提供借鉴和启示作用的。我国一些中、小企业,以及一些乡镇企业正面临技术改造、技术专业化、提高产品质量和生产能力的艰巨任务,本手册在这方面会提供裨益作用。

本手册包括了热加工技术的共性内容,如概述、原材料准备、基本工艺和新工艺、设备及其自动化、安全和环保技术等。在铸、锻、焊、热处理各技术领域里,对量大面广的常规工艺技术,以及专用高效工艺技术都给予了恰当的表述。

本手册在内容上力求简明,力求文字、图、表、数据相配合,并力忌重复,有些内容仅向读者提供轮廓性信息,不作详述,仅起到启发性作用而已。为了便于读者应用,本手册以四个分册,即铸造、锻压、焊接和热处理的单行本问世。

愿此手册以其简捷、实用、明了的特点给广大专业技术人员带来符合实际的社会效益和经济效益。

中国工程院院士

中国机械工程学会副理事长 徐滨士
兼编辑出版委员会主任

1997年7月

序 二

哈尔滨工业大学材料科学与工程学院拥有热处理、铸、锻、焊四个博士后流动站,拥有三个国家重点学科和两个国家重点实验室,有 24 名博士指导教师和一批崭露头角的中青年专家。面对市场经济,面对学科、专业结构的调整与经济、科技、社会发展的要求相比仍相对滞后的局面,根据国家教育改革和我校面向 21 世纪教育改革的思路,该院锐意改革,实行了材料加工意义下的宽口径教育,提出了材料加工类人才培养的新模式,把拓宽专业和跟踪科学技术发展趋势结合起来,制定了适应材料加工专业人才培养的教学计划和各门课程的教学大纲,并推出了这套教材、教辅实用性丛书。

这套《材料科学与工程》丛书是具有“总结已有、通向未来”,“面向世界、面向 21 世纪”特色的“优化教材链”,以给培养材料科学与工程人才提供一个捷径为原则,力求简明、深入浅出,既利于教、又利于学。这套丛书包括本科生教材、教辅和研究生学位课教材及与之相适应的实用性工具书。且已由 1995 年南京全国出版局会议确定为“九·五”国家重点图书选题。

《热加工技术简明手册》的热处理分册就是其中的一本实用性工具书。热处理工艺在机械制造工业中占有十分重要的地位,它对于提高产品质量、延长其使用寿命、降低生产成本起着重要作用。随着机械工业生产过程的现代化和质量管理现代化的发展,热处理工艺的重要性必将与日俱增。编写《热

加工技术简明手册》热处理分册的目的是将目前国内外成熟的有关热处理工艺的各种资料汇集成册,为从事热处理工艺工作的科学研究人员和工程技术人员提供一本易于查阅和便于应用的简明手册。书中除了当前较成熟的各种经典工艺外,还包含相当一部分国内外开始应用的新工艺。

本分册共七章,内容包括概述、钢的退火和正火、钢的淬火、钢的回火、钢的表面淬火、钢的化学热处理和有色金属热处理。由于篇幅限制,对于热处理的基本理论,书中只作了扼要介绍,但在书末提供了可进一步阅读的有关资料。

参加本分册编写工作的有刘北兴(编写第1、2、3、4章),傅家骐和刘伟茜(编写第5、6章)、包俊成(编写第7章)。本分册由哈尔滨工业大学崔忠圻主编,李仁顺主审。

由于我们水平有限,不妥之处在所难免,敬希广大读者批评指正。

哈尔滨工业大学出版社

1997年7月

目 录

第 1 章 概述	(1)
1.1 热处理的作用及分类	(1)
1.1.1 热处理在机械制造行业中的作用及意义	(1)
1.1.2 热处理工艺分类	(2)
1.2 热处理与 Fe-Fe ₃ C 合金状态图	(5)
1.2.1 热处理与 Fe-Fe ₃ C 合金状态图	(5)
1.2.2 热处理与 Fe-Fe ₃ C 状态图的关系	(9)
1.3 过冷奥氏体的转变	(13)
1.3.1 钢的过冷奥氏体等温转变曲线	(13)
1.3.2 过冷奥氏体连续冷却转变曲线	(18)
1.4 钢热处理后获得的组织与性能	(25)
1.4.1 珠光体组织与性能	(25)
1.4.2 贝氏体的组织与性能	(27)
1.4.3 马氏体的组织与性能	(27)
1.4.4 钢的回火组织与性能	(29)
第 2 章 钢的退火与正火	(31)
2.1 扩散退火	(31)
2.2 完全退火	(35)
2.3 不完全退火	(37)
2.4 等温退火	(42)
2.5 球化退火	(45)
2.5.1 一次球化退火工艺(工艺 1)	(45)
2.5.2 球化等温退火(工艺 2)	(49)

2.5.3	循环球化退火(工艺 3)	(49)
2.5.4	低温球化退火(工艺 4)	(50)
2.5.5	形变球化退火(工艺 5)	(50)
2.6	再结晶退火	(54)
2.7	去应力退火	(56)
2.8	去氢退火(预防白点退火)	(59)
2.8.1	白点的形成	(59)
2.8.2	去氢退火	(60)
2.9	正火	(66)
第 3 章	钢的淬火	(71)
3.1	完全淬火	(71)
3.1.1	加热温度	(72)
3.1.2	保温时间	(73)
3.2	不完全淬火	(76)
3.3	钢的淬透性	(79)
3.3.1	淬透性的基本概念及评定标准	(79)
3.3.2	影响淬透性的因素	(81)
3.3.3	淬透性的实验测定方法	(84)
3.4	淬火介质	(91)
3.4.1	淬火介质应具备的特性	(91)
3.4.2	常用淬火介质的冷却特性	(93)
3.5	工件的淬火缺陷	(108)
3.5.1	氧化与脱碳	(108)
3.5.2	淬火应力、变形及开裂	(110)
3.6	减小变形的淬火工艺	(119)
3.6.1	马氏体分级淬火	(119)
3.6.2	贝氏体等温淬火	(122)
3.6.3	双液淬火	(126)
3.6.4	预冷淬火	(128)

3.7 少、无氧化加热淬火	(130)
3.7.1 盐浴加热淬火	(131)
3.7.2 可控气氛淬火	(136)
3.7.3 真空淬火	(140)
3.8 形变淬火	(146)
3.8.1 低温形变淬火	(147)
3.8.2 高温形变淬火	(152)
3.8.3 余热淬火	(158)
3.9 冷处理	(160)
第4章 钢的回火	(165)
4.1 低温回火	(165)
4.2 中温回火	(168)
4.3 高温回火	(171)
4.4 调质	(175)
第5章 钢的表面淬火	(178)
5.1 感应加热表面淬火	(178)
5.1.1 高频感应加热表面淬火	(180)
5.1.2 中频感应加热表面淬火	(184)
5.1.3 感应加热表面淬火时的加热和冷却方法	(186)
5.2 火焰加热表面淬火	(194)
5.2.1 工艺特点及应用范围	(194)
5.2.2 火焰加热用燃料及器具	(195)
5.2.3 火焰表面加热淬火机床	(196)
5.3 激光加热表面淬火	(199)
5.3.1 表面加热淬火	(199)
5.3.2 表面合金化	(203)
5.4 电接触加热表面淬火	(205)
5.5 电子束加热表面淬火	(207)
5.6 电解液加热表面淬火	(211)

第6章 钢的化学热处理	(213)
6.1 渗碳	(213)
6.1.1 固体渗碳	(214)
6.1.2 气体渗碳	(220)
6.1.3 液体渗碳	(228)
6.1.4 真空渗碳	(229)
6.1.5 零件渗碳后的热处理	(237)
6.1.6 渗碳零件的质量检验	(239)
6.1.7 常见渗碳零件缺陷、形成原因及预防、返修措施	(243)
6.2 渗氮	(245)
6.2.1 渗氮用钢及其热处理	(246)
6.2.2 渗氮工艺	(249)
6.2.3 其他渗氮工艺	(259)
6.2.4 渗氮零件的质量检验	(261)
6.2.5 渗氮零件常见缺陷	(263)
6.3 中温碳氮共渗	(265)
6.3.1 中温气体碳氮共渗	(265)
6.3.2 中温液体碳氮共渗	(271)
6.3.3 中温固体碳氮共渗	(273)
6.3.4 中温碳氮共渗后的热处理	(274)
6.3.5 零件中温碳氮共渗后的质量检验、常见缺陷及其预防措施	(275)
6.4 低温碳氮共渗(软氮化)	(277)
6.4.1 低温气体碳氮共渗	(278)
6.4.2 低温液体碳氮共渗	(281)
6.4.3 低温固体碳氮共渗	(284)
6.4.4 离子低温碳氮共渗	(284)
6.4.5 低温碳氮共渗层的组织和性能	(285)

6.4.6 低温碳氮共渗常见缺陷及防止措施	(288)
6.5 渗硼	(290)
6.5.1 固体渗硼	(291)
6.5.2 液体渗硼	(292)
6.5.3 气体渗硼	(294)
6.5.4 渗硼层的组织和性能,以及渗硼零件的质量检验	(295)
6.5.5 渗硼零件的常见缺陷、产生原因、防止措施	(296)
6.6 渗金属	(297)
6.6.1 渗铬	(297)
6.6.2 渗铝	(300)
6.6.3 渗锌	(303)
第7章 有色金属热处理	(305)
7.1 铝及铝合金的热处理	(305)
7.1.1 铝及铝合金的化学成分及其分类	(305)
7.1.2 铝及铝合金的退火	(313)
7.1.3 变形铝合金的淬火和时效	(325)
7.1.4 铆钉线材的热处理	(338)
7.1.5 铸造铝合金的热处理	(340)
7.1.6 铝合金热处理缺陷及其消除方法	(344)
7.2 铜及铜合金的热处理	(349)
7.2.1 铜及铜合金的化学成分及分类	(349)
7.2.2 铜及铜合金的退火	(355)
7.2.3 铜合金的淬火与时效	(360)
7.2.4 黄铜的热处理	(362)
7.2.5 青铜的热处理	(364)
参考文献	(367)

第 1 章 概 述

1.1 热处理的作用及分类

1.1.1 热处理在机械制造业中的作用及意义

热处理是将钢在固态下加热到预定的温度,保温一定的时间,然后以预定的方式冷却到室温的一种热加工工艺。其目的是为了改变钢的内部组织结构,从而改善其工艺性能和使用性能。

热处理是一种重要的热加工工艺,在机械制造行业中被广泛地应用着。例如,在机械制造业中 60%~70%的零件要进行热处理,在汽车、拖拉机制造业中 70%~80%的零件要进行热处理,而工模具和滚动轴承则 100%要进行热处理。总之,重要的机器零件都要经过热处理才能使用。采用合理的、先进的热处理工艺对于充分发掘金属材料的性能潜力、改善零件的使用性能、节省材料和能源、提高产品质量和延长其使用寿命具有重要的意义。

正确的热处理工艺还可以消除铸造、锻压、焊接等热加工工艺造成的各种缺陷,如魏氏组织、带状组织、成分偏析等,可以细化晶粒、降低内应力,使钢的组织 and 性能更加均匀。

1.1.2 热处理工艺分类

热处理工艺的分类方法很多,根据加热条件和特点以及工艺效果和目的,可以把热处理分为整体热处理、表面热处理和化学热处理三大类。这三大类又可区分为若干门类,如表1.1所示。

表 1.1 金属热处理工艺分类

类别	工艺名称	工艺特点	目的
整体热处理	再结晶退火	加热温度较低(以再结晶温度为准)	消除加工硬化效应
	扩散退火	加热温度高、保温时间长	消除铸件中的晶内偏析
	去应力退火	加热温度低于临界点	消除工件中的内应力
	石墨化退火	加热温度高,保温时间长	消除铸铁中的共晶或共析碳化物
	退火	加热温度高于临界点,随炉缓冷	改善金属组织,提高塑性,改善加工性能
	正火	加热温度比退火稍高,空冷或风冷	改善低碳钢的加工性能,使中碳钢获得一定强韧性,消除过共析钢的网状碳化物
	淬火及固溶热处理	加热温度高于临界点,在适宜的介质中快速冷却	获得某种过饱和固溶体或其他不平衡组织,使金属具有特定的使用性能,或与回火(时效)配合,使金属具有特定的强韧性
	回火及时效处理	淬火后在临界点以下保温	与淬火配合使金属获得预期的强韧性或消除淬火时产生的内应力

续表 1.1

类别	工艺名称	工艺特点	目的
整体热处理	其他方法		
	形变淬火	热塑性变形与淬火相结合	提高金属的强韧性
	形变时效	形变与时效相结合	提高时效强化效果
	磁场退火	加热后在磁场中缓冷	提高软磁性材料的磁性, 细化金属晶粒
	磁场淬火	在磁场中加热或在磁场中冷却	提高钢的强韧性
表面热处理	磁场回火	在磁场中保温	提高钢的强韧性
	循环热处理	反复多次加热和冷却	细化钢的组织
	火焰加热表面淬火	使用火焰快速短时加热	使钢制工件表面耐磨而中心具有较高的韧性
	感应加热表面淬火	用高频或中频感应电流快速短时加热	使钢制工件表面耐磨而中心具有较高的韧性
	激光加热表面淬火	用激光快速短时加热	使钢制工件表面耐磨而中心具有较高的韧性
	电子束加热表面淬火	用电子束快速加热	使钢制工件表面耐磨而中心具有较高的韧性
	激光上光	用激光快速加热, 使薄的表层熔化	使工件表层变为非晶态物质
	激光共晶化	用激光快速加热, 使薄的表层熔化	使工件表层形成共晶组织
	电解液加热表面淬火	在电解液中通电快速加热	提高工件表面的耐磨性
	化学气相沉积	通过热解合成过程在工件表面形成沉积层	使工件表面耐磨、耐蚀
	物理气相沉积	通过真空蒸发真空溅射在工件表面形成的沉积层	使工件表面耐磨、耐蚀
	等离子体化学气相沉积	在低压等离子体中通过气固相化学反应, 形成沉积层	使工件表面耐磨、耐蚀

续表 1.1

类别	工艺名称	工艺特点	目的
奥氏体状态化学热处理	渗碳	在能够提供活性碳原子的介质中加热奥氏体化后保温	提高钢制工件表层的碳含量并使之在淬火后具有高硬度
	碳氮共渗	在能够同时提供碳氧活性原子的介质中加热奥氏体化后保温	提高钢制工件表层碳氮含量并使之在淬火后具有高硬度
	渗其他非金属(B、Si等)	在能够提供渗入元素活性原子的介质中加热保温	提高材料耐磨性及耐蚀性
	渗金属(Cr、Al、V等)	在能够提供渗入元素活性原子的介质中加热保温	提高材料耐磨性及耐蚀性
铁素体状态化学热处理	渗氮	在能够提供活性氮原子的介质中加热至临界点以下保温	使工件在变形较小的条件下具有高耐磨性、抗咬合性及耐蚀性
	氮碳共渗	在能够提供活性氮碳原子的介质中加热并保温,加热温度比渗氮稍高	使工件在变形较小的条件下具有高耐磨性、抗咬合性及耐蚀性
	渗硫	在能提供活性硫原子的介质中加热保温	使工件耐磨和抗咬合
	渗锌	在能提供活性锌原子的介质中加保温	提高钢的抗大气腐蚀性能
多元共渗	多元共渗	同时渗入多种元素	提高工件表面耐磨、耐蚀或抗热等性能