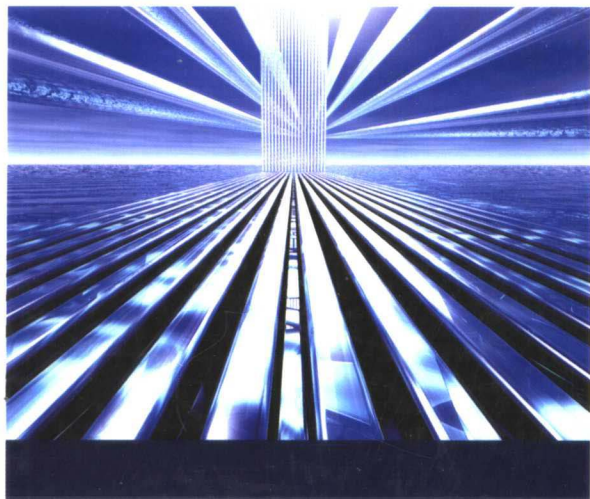


金属表面技术丛书

表面淬火技术

姜 江 彭其凤 编著



Chemical Industry Press



化学工业出版社

材料科学与工程出版中心

金属表面技术丛书

表面淬火技术

姜 江 彭其凤 编著



化学工业出版社
材料科学与工程出版中心

· 北 京 ·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

表面淬火技术/姜江, 彭其凤编著. 北京: 化学工业出版社, 2005.10

(金属表面技术丛书)

ISBN 7-5025-7752-1

I. 表… II. ①姜…②彭… III. 表面淬火
IV. TG156.33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 123330 号

金属表面技术丛书

表面淬火技术

姜 江 彭其凤 编著

责任编辑: 丁尚林

文字编辑: 张燕文

责任校对: 郑 捷

封面设计: 潘 峰

*

化学工业出版社 出版发行
材料科学与工程出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

购书咨询: (010) 64982530

(010) 64918013

购书传真: (010) 64982630

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销
化学工业出版社印刷厂印装

开本 850mm×1168mm 1/32 印张 9 $\frac{3}{4}$ 字数 256 千字

2006 年 1 月第 1 版 2006 年 1 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-7752-1

定 价: 22.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

出版者的话

表面工程是包括经表面预处理后,通过表面强化处理,改变金属表面化学成分、组织结构以及应力状态,再进行后处理,以获得工件所需要的表面性能的系统工程。随着社会经济和科学技术的不断发展,零构件的服役条件日益苛刻,对不同服役条件下磨损、腐蚀与断裂,特别是疲劳断裂的抗力要求不断升级,对具有特殊功能的表面又提出越来越高的要求,而且人们对生活用品的耐用度和装饰性能的要求也在不断提高。社会需求的扩展和高新技术的发展极大地推动了表面技术的发展。表面技术在传统的表面强化技术和防护技术基础上,引入了一些科学新成就,如激光、电子束和等离子等,逐渐形成新的科学体系。表面工程是工程与科学技术中的一个非常活跃、成果突出,并与生产实践紧密相结合的科学,已经成为表面强化、表面防腐、机械修复,制作新材料、复合材料、功能材料以及表面装饰等的重要工艺手段,广泛应用于工业及科学技术领域。

表面工程是一个正在发展中的新学科,其科学体系仍处于逐步完善过程中,许多问题尚不明确,需要继续研究。为了适应表面技术学科的形成和发展,我社组织了表面工程行业内专家共同编写了《金属表面技术丛书》。本套丛书包括以下几个分册:

表面熔融凝固强化技术——热喷涂与堆焊技术

表面淬火技术

化学热处理技术

水溶液沉积技术

表面涂层与涂饰

金属涂装前处理技术

丛书的分册将分别阐述不同的表面技术、预处理技术、涂层表

面机械加工和表面分析技术等。在选材上力求先进、全面，内容上尽量做到具有一定理论深度，概念准确，重点放在提高耐磨性、耐腐蚀性及疲劳强度的应用方面。

本丛书不仅适合于从事金属材料表面技术的科研与工程技术人员参考，也适合于从事陶瓷及聚合物表面改性的科研工作者参考。

化学工业出版社

2005年6月

前 言

随着经济和生产技术的飞速发展，汽车、拖拉机、航空、仪表、冶金、国防等工业对零件的要求越来越高。热处理可以提高零件性能，延长使用寿命，因此，在国民经济中起着重要的作用，并成为生产过程中一个不可缺少的环节。

表面淬火是热处理的一种工艺，仅对零件的表面进行处理，以达到改善零件表面的性能，而保持心部的性能不变。正确选择表面淬火工艺必须了解零件的工作情况和服役条件，零件的结构、形状以及使用的材料等各个方面，从生产和使用角度去考虑解决方案。原则是从实际出发且经济有效。

为了适应当前国民经济和生产技术的发展，节省能源和材料的消耗，提高产品质量发挥积极作用，我们编写本书，以满足设计、技术和生产管理人员的需要，以便进一步提高产品质量。

当前，表面淬火技术的理论和应用技术发展很快。在基础研究方面，最活跃的领域是应用计算机模拟计算感应加热温度场、磁场的变化等，在这方面已取得了许多成果，发表了大量的文献。同时我国从国外引进了大量的表面淬火设备、技术和软件等，使我国的表面淬火技术水平得到了很大的提高。今后，如果能够将感应加热的热效应和温度场、磁场等随时间变化，并结合表面加热相变、冷却相变、残余应力分布、零件变形与性能预测等用软件统一起来，应用于生产领域，必然也会推动其他表面淬火技术的进步，表面淬火技术将会发展到一个更高的层次。但本书的重点仍然放在表面淬火技术的基础理论和当前工程领域的实际应用方面，选材力求先进、全面，内容上尽量做到具有一定理论深度，概念准确。既有传统的工艺技术，又有先进的工艺技术。本书内容包括感应加热表面淬火、火焰加热表面淬火、电解液加热表面淬火、火花放电加热表

面淬火、激光加热表面淬火、电子束加热表面淬火、离子束加热表面淬火、电接触加热表面淬火、脉冲电流感应加热淬火、太阳能加热表面淬火等。文字表述通俗易懂，便于自学。本书在编写过程中，参考了许多学校、研究单位和有关单位（工厂）的内部资料和数据，在此表示感谢。

本书由姜江、彭其凤编著，朱维平主审。由于作者知识水平有限，经验阅历不多，书中不足在所难免，诚请广大读者批评指正。

编者

2005 年 9 月

内 容 提 要

本书重点从工艺及应用实例两个方面介绍了感应加热（高频、中频）表面淬火、火焰加热表面淬火、电解液加热表面淬火、火花放电加热表面淬火、激光加热表面淬火、电子束加热表面淬火、离子束加热表面淬火、电接触加热表面淬火、脉冲电流感应加热表面淬火、太阳能加热表面淬火等。尤其是对感应加热表面淬火技术进行了充分阐述。

本书特别注意理论与实际结合，既有基本理论、基本知识，又有实际操作：既有表面淬火所需要的设备或装置，又有工艺操作实例。适用于从事机械零件、金属材料表面处理的企业设计人员、工程技术人员及操作人员使用，也可供大专院校、职业技术学院师生参考。

目 录

绪论	1
第 1 章 感应加热表面淬火	4
1.1 概述	4
1.2 感应加热基本原理	5
1.2.1 电磁感应	5
1.2.2 感应加热中产生的感应电流的基本特性	8
1.3 钢感应加热时的相变特点	17
1.3.1 对奥氏体形成的影响	17
1.3.2 对奥氏体均匀化的影响	19
1.3.3 对奥氏体晶粒长大的影响	19
1.4 真空管式感应加热设备结构原理	20
1.4.1 真空管式高频感应加热设备的基本组成	20
1.4.2 真空管式高频感应加热设备的电气原理	22
1.4.3 真空管式高频感应加热过程	37
1.5 真空管式感应加热设备电气原理结构分析	37
1.5.1 设备的整流部分	37
1.5.2 电子管振荡回路	40
1.5.3 电子管式感应加热设备电控及运行程序	44
1.6 真空管式感应加热设备的安装和调试	47
1.6.1 安装前的准备工作	47
1.6.2 感应加热设备的安装	48
1.6.3 感应加热设备的调试	49
1.6.4 感应加热设备在调试过程中易遇到的问题及其排除方法	57
1.7 真空管式感应加热设备安全规程及维护	59
1.7.1 安全规程	59
1.7.2 设备的维护	61
1.8 真空管式感应加热设备常见故障及排除	62

1.8.1	设备电控部分	63
1.8.2	整流部分	64
1.8.3	振荡系统	65
1.9	中频感应加热设备	66
1.9.1	机械式中频发电机组	66
1.9.2	可控硅逆变电源	67
1.10	工频感应加热设备	71
1.11	感应加热表面淬火后的组织与性能	73
1.11.1	感应加热表面淬火后的组织	73
1.11.2	感应加热表面淬火后的应力状态	75
1.11.3	感应加热表面淬火后的性能	83
1.12	感应加热表面淬火工艺	88
1.12.1	零件技术条件的合理性	89
1.12.2	感应加热表面淬火工艺参数选择	96
1.13	感应器设计	129
1.13.1	感应器设计的一般知识	129
1.13.2	感应器形状和基本尺寸选择原则	137
1.13.3	感应器设计	141
1.13.4	典型零件淬火感应器设计	178
1.14	典型感应加热表面淬火装置及辅助设备	183
1.14.1	典型感应加热表面淬火装置	183
1.14.2	感应加热表面淬火辅助装置	185
1.15	感应加热表面淬火实例	188
1.15.1	轴类零件	188
1.15.2	齿轮	192
1.16	感应加热表面淬火质量检查	194
1.16.1	硬化区尺寸测量标准	194
1.16.2	零件硬化区及局部硬化层深度与零件形状的关系	195
1.16.3	硬化层深度测定	201
1.16.4	零件硬化层金相组织检查规定	201
1.16.5	感应加热淬火零件变形检查	202
1.16.6	返修零件的质量检查	202
1.17	感应加热表面淬火所产生的缺陷及防止方法	202

1.17.1	缺陷种类	202
1.17.2	造成缺陷原因	203
1.17.3	缺陷及防止方法实例	205
第2章	火焰加热表面淬火	211
2.1	概述	211
2.2	火焰的组成与调整	212
2.3	火焰加热表面淬火设备	215
2.3.1	热源	215
2.3.2	火焰加热设备	215
2.3.3	淬火及其他辅助设备	218
2.4	火焰淬火方法及影响表面淬火质量的因素	218
2.4.1	火焰淬火方法	218
2.4.2	影响表面淬火质量的因素	221
2.5	火焰淬火喷嘴的结构设计及喷射器选择	222
2.5.1	喷嘴的结构设计	222
2.5.2	喷嘴结构	225
2.6	火焰加热表面淬火工艺及操作	225
2.6.1	钢种选择	225
2.6.2	预先热处理	225
2.6.3	硬化层深度	226
2.6.4	回火温度和回火时间	228
2.6.5	工艺设计和规程的制定	228
2.6.6	工艺操作	229
2.7	火焰加热表面淬火变形分析	230
2.8	火焰加热表面淬火实例	232
2.8.1	齿轮	232
2.8.2	轴类	234
2.8.3	链轮与滑轮	235
2.8.4	扁平零件	235
2.8.5	刀片刃	235
2.9	火焰加热表面淬火质量检查	237
第3章	其他低能密度的表面淬火	238
3.1	盐浴、铅浴加热表面淬火	238

3.1.1 盐浴加热表面淬火	238
3.1.2 铅浴加热表面淬火	240
3.2 电解液加热表面淬火	240
第4章 火花放电加热表面淬火	245
4.1 概述	245
4.2 硬化层	246
4.2.1 结构	246
4.2.2 组织与性能	247
4.3 火花放电过程的硬化机理	248
4.3.1 火花放电的物理过程——产生强大的瞬时热源	248
4.3.2 火花放电的物理化学过程——形成熔化区	248
4.3.3 火花放电的冶金过程——形成硬化层、热影响层	249
4.4 工艺参数	251
4.5 应用实例	252
第5章 激光加热表面淬火	257
5.1 概述	257
5.2 淬火装置	258
5.3 激光束模式	262
5.4 工艺参数	263
5.5 应用实例	265
第6章 电子束加热表面淬火	270
6.1 概述	270
6.2 淬火装置	271
6.3 工艺参数	272
6.4 应用实例	273
第7章 离子束加热表面淬火	275
7.1 概述	275
7.2 淬火装置	276
7.3 工艺参数	277
7.4 应用实例	280
第8章 其他高能密度加热表面淬火	282
8.1 电接触加热表面淬火	282
8.1.1 基本原理	282

8.1.2	淬火组织	283
8.1.3	工艺参数	284
8.1.4	应用实例	285
8.2	高频脉冲电流感应加热表面淬火	286
8.2.1	基本原理	286
8.2.2	电路原理	287
8.2.3	组织与性能	288
8.2.4	高频脉冲电流感应加热淬火与高频感应加热淬火的比较	288
8.2.5	高频脉冲电流感应加热淬火实例	289
8.3	太阳能加热表面淬火	289
8.3.1	基本原理	289
8.3.2	淬火设备	290
8.3.3	工艺参数	290
8.3.4	组织与性能	291
参考文献		292

绪 论

长期运转的机械零件由于早期失效使能源与材料的消耗十分惊人。许多机械零件的失效发生在表面，或者从表面开始。例如，磨损所引起的失效都是发生在零件表面，疲劳引起的失效也是从零件表面开始，逐渐向内部扩展，最后导致断裂。因此，提高零件的表面性能对延长其使用寿命和发挥材料潜力起着重要作用。然而，对大部分零件企图只通过单一处理而获得既有表面的高硬度和耐磨性，又有心部的高强度、韧性和塑性，以符合使用条件（如磨损工况或疲劳运动）下的需要是十分困难的。即使通过选用高级材料，并通过单一处理也不能使表面和心部的性能兼顾。例如，变速箱齿轮在运行过程中经受冲击和磨损，如选用一般结构钢，经淬火和回火后有较高塑性和韧性可抗冲击断裂，但结构钢淬火回火后齿面的硬度较低，容易磨损和疲劳破坏。许多情况下，采用表面淬火处理能够较理想地解决表面和心部性能要求不一致的矛盾，即既能改善表面强度、硬度和耐磨性，又能保持心部大塑性和韧性，使材料的潜力得到充分的发挥，满足生产技术要求。

表面淬火是利用金属固态相变，通过快速加热方法对零件表面进行淬火。

表面淬火是提高零件承受一定冲击负荷、抵抗磨损和抵抗疲劳的有效方法。

表面淬火的方法很多，可以有不同的分类方法。

(1) 根据加热时所具有的供热方法

可以分为：感应加热表面淬火、火焰加热表面淬火、盐（铅）浴加热表面淬火、电解液加热表面淬火、电接触加热表面淬火、高

频脉冲电流感应加热表面淬火、激光加热表面淬火、电子束加热表面淬火、离子束加热表面淬火和太阳能加热表面淬火。

(2) 根据能量密度

可以分为：较低能量密度加热和高能量密度加热。

较低能量密度加热包括感应加热表面淬火、火焰加热表面淬火、盐（铅）浴加热表面淬火、电解液加热表面淬火。

高能量密度加热包括电接触加热表面淬火、高频脉冲电流感应加热表面淬火、激光加热表面淬火、电子束加热表面淬火、离子束加热表面淬火和太阳能加热表面淬火。

(3) 根据能量来源

可以分为：内热源加热和外热源加热。

内热源加热包括感应加热表面淬火、脉冲电流感应加热表面淬火。

外热源加热包括火焰加热表面淬火、盐（铅）浴加热表面淬火、电解液加热表面淬火、电接触加热表面淬火、激光加热表面淬火、电子束加热表面淬火、离子束加热表面淬火和太阳能加热表面淬火。

表面淬火是表面强化处理的一种，它可以充分发挥材料的潜力。例如，许多轴类零件使用碳素结构钢经过正火或调质预先热处理后具有良好的综合力学性能（即较高的强度和良好的塑性、韧性），再用表面淬火于摩擦部位（如轴颈）得到高硬度，这样就使表面获得高耐磨性和高疲劳强度。

激光表面淬火和电子束表面淬火可在表面获得非晶态组织，并显著提高零件的疲劳强度和耐磨性。

表面淬火的优点：采用局部加热淬火，零件的变形小，特别在采用高能密度（激光或电子束）加热时，甚至实现无变形淬火；加热速度快，生产效率高；加热时间短，表面氧化脱碳极微，特别是采用高能密度（激光或电子束）加热时，几乎没有氧化脱碳现象，故具有高质量；处理费用低，可靠性好，容易实现无公害和省能源。

感应加热表面淬火后的硬化层分布对零件性能起着十分重要的影响。为了得到合理的硬化层分布，研究出超音频感应加热，即在250kHz的高频加热装置中增加了50~65kHz的超音频部分，对模数 $m=3\sim5$ 的45钢齿轮进行表面淬火得到良好的硬化层分布。此外，对模数 $m=5\sim7$ 齿轮，采用双频感应加热淬火法，即先用中频电流加热齿轮的齿根和齿间，后用高频电流加热齿顶，淬火后，使整个齿轮获得均匀分布的硬化层。还有采用工频一次加热和中频连续加热结合的双频感应加热，可使 $\phi 850\text{mm}\times 600\text{mm}$ 大型轧辊，获得超过20mm的均匀分布的硬化层。

目前，采用感应加热表面淬火来部分代替周期长、能源消耗大的渗碳，此项工艺技术较成熟，已经被许多生产部门所接受。如选用低淬透性钢55DTi、60DTi和65DTi制作齿轮，经感应加热高频淬火后获得良好的力学性能，可部分代替汽车、拖拉机厂承受较重负荷的渗碳齿轮。

第1章 感应加热表面淬火

1.1 概述

感应加热表面淬火是利用电磁感应的原理,使零件在交变磁场中切割磁力线,在表面产生感应电流,又根据交流电集肤效应,以涡流形式将零件表面快速加热,而后急冷的淬火方法。它在热处理领域中占有重要地位,这一技术已经在我国被广泛应用。

感应加热表面淬火的使用频率不同,可以分为超高频(27MHz)、高频(200~250kHz)、中频(2500~8000Hz)和工频(50Hz)。由于电流频率不同,加热时感应电流透入深度不同。使用高频时,感应电流透入深度很小(约0.5mm),主要用于小模数齿轮和小轴类零件的表面淬火;使用中频时,感应电流透入深度(约5~10mm),主要用于中、小模数的齿轮、凸轮轴、曲轴的表面淬火;使用超高频时,感应电流透入深度极小,主要用于锯齿、刀刃、薄件的表面淬火;使用工频时,电流透入深度较大(超过10mm),主要用于冷轧辊表面淬火。

感应加热表面淬火是表面淬火方法中比较好的一种,因此,受到普遍的重视和广泛应用。与传统热处理相比,它有以下的特点。

① 感应加热属于内热源直接加热,热损失小,因此加热速度快,热效率高。

② 加热过程中,由于加热时间短,零件表面氧化脱碳少,与其他热处理相比,零件废品率极低。

③ 感应加热淬火后零件表面的硬度高,心部保持较好的塑性和韧性,呈现低的缺口敏感性,故冲击韧性、疲劳强度和耐磨性等