

李惠友 等 编著

● 高耐磨

● 高抗蚀

● 微变形

QPQ

盐浴复合处理技术

机械工业出版社

TG 156.32
L 25

432423

高耐磨 高抗蚀 微变形

QPQ 盐浴复合处理技术

李惠人(执笔) 罗德福
林小敏 周王 编著



机械工业出版社



1722/13
本书叙述了高耐磨、高抗蚀、微变形的 QPQ 盐浴复合处理新技术的特点、基本原理、组织性能、现场操作及实际应用等内容,书后附有关此技术的若干问题解答。本书可供从事这项技术的工程技术人员和有关实际操作和检测人员阅读,也可供欲采用这项技术的有关人员和广大金属热处理工作者和金属表面处理工作者参考。

图书在版编目(CIP)数据

高耐磨高抗蚀微变形 QPQ 盐浴复合处理技术/李惠友等编著.-北京:机械工业出版社, 1997.2

ISBN 7-111-03530-6

I. 高... I. 李惠友 II. 淬火硬化-盐-热处理-工艺 I243.6156.2
中国版本图书馆 CIP 数据核字(97)第 02851 号

出版人:马九荣(北京市百万庄南街1号 邮政编码 100037)

责任编辑:张星明 版式设计:张星明

封面设计:姚毅

通县长凌营印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

1997年3月第1版·1997年3月第1次印刷

787mm×1092mm1/32·9.125印张·185千字

0.001-5000册

定价:15.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

新华书店
PDG

序 言

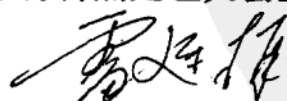
材料技术是 21 世纪重点发展的关键技术之一。现代机器制造业及其它许多行业的发展对金属材料提出了更高的要求。金属材料科学技术的发展比较迅速。其中金属表面强化改性技术的发展尤为重要。

QPQ 技术就是近年来发展起来的新的金属表面强化改性技术之一。它可以起到热处理和表面防腐的双重作用,较之常规方法能更有效地提高耐磨性和抗蚀性。这种技术在国外已被大量应用,如美国通用电器、德国大众及日本本田、丰田等大公司均已采用。这项技术的核心,即无公害的盐浴配方,则由德国迪高沙(Degussa)公司独家垄断。

机械部成都工具研究所的李惠友等同志经过十多年的不懈努力,独立开发了这项新技术,并已在全国大面积推广,取得了很好的社会效益,使我国在金属盐浴表面强化改性技术领域达到了国际先进水平。他们从事的研究工作为“九五”国家级重点推广项目,在替代国外引进技术,提高产品的耐磨性和抗蚀性,解决产品变形难题,以及消除环境污染等方面,具有广泛的应用前景,已经成为我国发展汽车、摩托车等产业不可缺少的高新技术。

本书作者根据多年研究开发 QPQ 技术的丰富经验和积累的大量试验数据,并且查阅了众多文献,对这项技术的发展过程、基本原理、生产实践和应用实例等进行了较为详细的阐述,对在国内进一步推广 QPQ 技术定会起到良好的促进作用。

国际材料热处理大会主席



1996 年 12 月

前 言

QPQ 盐浴复合处理技术是一种可以同时大幅度提高金属表面耐磨性和抗蚀性的新的金属表面强化改性技术,在国外已大量应用,但其技术核心,即盐浴配方由德国迪高沙公司(Degussa)独家垄断。

作者经过十多年的试验研究,不仅独立开发了成份独特的盐浴配方,而且形成了成套专用技术。专家鉴定确认作者开发的技术达到了国际先进水平,无公害水平优于国外技术。现在用户已达数百家,并向几十家工厂进行了成套技术转让。该项目为“九五”期间国家级重点推广项目,并获四川省科技进步一等奖,国家科技进步二等奖。

作者总结了十多年来 QPQ 盐浴复合处理技术的大量试验数据和丰富的现场经验,并查阅了近 30 年来国内外有关文献,作为在数据上和理论上的补充和提高。本书写作的目的首先是希望对应用此项技术的厂家,在生产上有一定的指导作用,同时也希望能对金属热处理和表面处理工作者,特别是对有可能应用此项技术的工程技术人员能有一定的参考价值。

全书由李惠友高级工程师(教授级)执笔,并总校阅。蔡松、邹丹二同志参加了部分试验和推广工作。作者谨向在这项技术开发和推广过程中曾给予大力支持和帮助的同志致以真诚的谢意。

由于作者水平所限,谬误之处在所难免,敬请同行专家和读者批评指正。

1996 年 12 月于成都工具研究所

目 录

第一章 QPQ 盐浴复合处理技术的发展过程	1
一、绪言	1
二、QPQ 盐浴复合处理技术的发展过程	7
1. 气体渗氮法(渗氮技术的起源)	7
2. 氰盐渗氮法	8
3. 活性氰盐渗氮法(盐浴软氮化法)	9
4. 气体软氮化法	13
5. 无公害盐浴复合处理法	14
6. QPQ 盐浴复合处理技术	19
三、作者技术的开发过程	22
1. 盐浴配方的开发	22
2. 工艺参数、渗层性能系统试验和生产应用	28
3. 成套设备技术的开发	30
四、与相关技术的比较	31
1. 与高频淬火、整体淬火比较	32
2. 与渗碳和碳氮共渗比较	34
3. 与气体软氮化、离子渗氮比较	35
4. 与气体渗氮比较	37
5. 与电镀抗蚀技术比较	39
参考文献	41
第二章 QPQ 盐浴复合处理技术的基本原理	43
一、盐浴中的化学反应及渗层的形成	43
1. 基本工艺过程	43
2. 工艺过程中的基本化学反应	44
3. 渗层的形成	46
二、渗层形貌及特征	51
1. 化合物层	52
2. 扩散层	56
3. 氧化膜	62

4. 疏松层	65
三、渗层形成的影响因素	68
1. 氮化温度的影响	69
2. 氮化时间的影响	70
3. 氰酸根的影响	72
4. 基体材料及预先热处理的影响	73
5. 淬火高速钢短时间氮化渗层的影响因素	82
四、典型零件的基体材料与工艺参数	87
1. 刀具类	87
2. 模具类	89
3. 各种耐磨结构件	90
4. 各种抗蚀件	90
参考文献	93
第三章 QPQ 盐浴复合处理技术的渗层性能	94
一、耐磨性	94
1. 磨损机理与 QPQ 盐浴复合处理技术	94
2. 渗层耐磨性的试验方法	100
3. QPQ 盐浴复合处理渗层的耐磨性	102
二、抗蚀性	110
1. 国外的试验数据及应用	110
2. 作者的试验数据及应用	114
三、耐疲劳性	119
1. 基体材料及其状态的影响	120
2. QPQ 盐浴复合处理工艺参数的影响	124
3. 疲劳强度试验方法的影响	125
四、强度和韧性	127
1. 强度	128
2. 韧性	130
五、尺寸形状和表面粗糙度	132
1. 尺寸形状的变化	132
2. 表面粗糙度的变化	136
参考文献	139

第四章 QPQ 盐浴复合处理技术的实际操作	140
一、QPQ 盐浴复合处理设备	140
1. 基本设备	140
2. 德国迪高沙公司的设备	141
3. 作者开发的专用设备	143
二、炉前操作程序	146
1. 预热前的清洗工序	147
2. 预热工序	150
3. 氮化工序	152
4. 氧化工序	157
5. 氧化后的清洗工序	159
6. 操作注意事项	160
三、前后加工工序	161
1. 前加工工序	161
2. 后加工工序	165
四、质量检验及质量缺陷分析	167
1. 工件外观检验	167
2. 渗层硬度检验	168
3. 渗层深度检验	170
4. 渗层致密度和脆性的检验	173
5. 质量缺陷分析	176
参考文献	186
第五章 QPQ 盐浴复合处理技术的实际应用	187
一、应用概况	187
二、刀具的应用	188
1. 刀具表面强化处理的现状	188
2. 刀具材料与表面强化	189
3. 刀具表面强化的最佳效果	190
4. 刀具应用实例	193
三、模具的应用	199
1. 挤压模具	199
2. 热锻模具	200

3. 压铸模具	201
4. 橡胶、塑料模具	202
5. 玻璃模具	203
四、汽车、摩托车零件的应用	205
1. 曲轴	205
2. 凸轮轴	207
3. 气门	208
4. 摩托车连杆	209
5. 摩托车齿轮	210
五、纺织机械零件的应用	211
1. 弹力丝机热轨	211
2. 络筒机零件	212
3. 梳棉机零件	213
4. 罗拉	214
六、机床零件的应用	215
1. 丝杠	215
2. 摩擦片	216
3. 机床电器铁心	218
七、齿轮、蜗杆的应用	218
1. 内齿圈	219
2. 汽车齿轮	220
3. 重型齿轮	220
4. 蜗杆	221
八、枪械零件的应用	222
九、粉末冶金件的应用	224
十、易变形件的应用	226
十一、尚待开发的用途	228
参考文献	232
附录一 QPQ 盐浴复合处理技术问题解答	234
1. QPQ 盐浴复合处理是一种什么样的技术？它的主要用途是什么？	234
2. 这项技术的先进性如何？它是在什么背景下发展起来的？	

.....	235
3. 这项技术在国内的应用情况如何?	236
4. 作者是如何独立开发这项技术,打破德国迪高沙公司独家垄断的?	237
5. 这项技术是否达到了德国迪高沙公司的水平?	238
6. 作者技术比德国迪高沙公司的有哪些改进和创新? 哪些地方更先进?	239
7. 作者技术已在哪些国外引进产品上取代了德国迪高沙公司的技术?	240
8. 这项技术有哪些特点?	241
9. 这项技术的基本原理是什么? 渗层组织的结构如何?	243
10. 这项技术与软氮化有什么本质区别? 为什么它的耐磨性比软氮化和离子氮化高得多?	243
11. 为什么说这项技术完全无公害?	244
12. 德国迪高沙公司氮化盐浴要通压缩空气,这项技术取消了压缩空气系统,为什么也可以达到同样效果?	245
13. 作者为什么采用简化的开放式设备,在设备设计上有什么独到之处?	246
14. QPQ 盐浴复合处理以后渗层表面的硬度有多高?	247
15. QPQ 盐浴复合处理以后渗层有多深?	248
16. 这项技术可以比普通热处理成 10 倍地提高钢的耐磨性吗?	249
17. 这项技术的抗蚀性比镀铬高得多吗?	250
18. 这项技术对零件的疲劳强度、整体强度和韧度有何影响?	251
19. 这项技术适用于哪些材料? 如何选材?	252
20. 这项技术适用于哪些行业? 哪些产品?	253
21. 这项技术实际应用规模有多大?	254
22. 这项技术可以代替哪些表面硬化和表面抗蚀方法? 它可以同时起到硬化和防腐双重作用吗?	256
23. QPQ 盐浴复合处理以后工件的变形情况如何?	257
24. QPQ 盐浴复合处理以后工件表面粗糙度变化情况如何?	

处理后工件是否一定要抛光?	258
25. 这项技术是否容易掌握? 操作是否复杂?	258
26. 这项技术的安全性如何? 现场的废物如何处理?	259
27. 这项技术投产必须具备哪些条件?	260
28. 在大量生产条件下,生产消耗和生产成本情况如何?	261
29. 作者技术主要设备有哪些规格? 成套技术转让包括哪些 内容?	262
30. 成套技术转让及盐的价格与国外相比如何? 欲进一步了 解有关情况如何联系?	263
附录二 各种材料 QPQ 盐浴复合处理后的渗层形貌 ...	264
1. 纯铁	264
2. Q235-B(A ₃)钢	264
3. 20 钢	265
4. 15CrNiMo 钢	265
5. 20CrMnTi 钢	266
6. 35CrMo 钢	266
7. 38CrMoAl 钢	267
8. 45 钢	267
9. 40Cr 钢(退火)	268
10. 40Cr 钢(调质)	268
11. 50CrV 钢	269
12. 65Mn 钢	269
13. 60Si2Mn 钢	270
14. 5CrMnMo 钢	270
15. 3Cr2W8V 钢	271
16. H13 钢	271
17. 012Al 钢	272
18. T8 钢	272
19. 9SiCr 钢	273
20. GCr15 钢	273
21. Cr12Mo 钢	274
22. W6Mo5Cr4V2 钢	274

23. 1Cr13 钢	275
24. 1Cr18Ni9Ti 钢	275
25. 0Cr18Ni12Mo2Ti 钢	276
26. 4Cr9Si2 钢	276
27. 5Cr21Mn9Ni4N(21-4N)钢	277
28. 灰口铸铁	277
29. 球墨铸铁	278
30. 粉末冶金件	278



第一章 QPQ 盐浴复合处理 技术的发展过程

一、绪 言

QPQ 盐浴复合处理技术是一种可以同时大幅度提高金属表面的耐磨性、抗蚀性,而工件几乎不变形的新的金属表面强化改性技术。

随着现代机器制造业的发展,对金属材料的性能提出了更高的要求,同时在能耗和环保方面的限制也更加严格。特别是 20 世纪 70 年代中期,由于在世界范围内对环保的严格限制,很多老的盐浴表面强化方法由于采用氰化物等原因造成环境污染而纷纷被淘汰。而此时汽车等工业的迅速发展,不仅不能缺少这类技术,而且迫切要求开发一种耐磨性更高,抗蚀性更好的新的金属盐浴表面强化技术。

以热处理设备和热处理技术见长的世界著名的德国迪高沙公司(Degussa)利用其在盐浴技术方面的丰富经验和强大的技术实力,率先开发出了原料中完全不含氰化物的盐浴配方,并增加了一道可以彻底分解残余氰根的氧化工序,这样就形成了新的无公害的盐浴复合处理技术。

新的盐浴复合处理技术不仅做到了原料无毒,不污染环境,而且使金属表面的耐磨性、抗蚀性有更大幅度的提高。

美国科林公司(Kolene)引进了这一技术,并加以改进,工件处理以后增加了一道抛光工序,抛光后再氧化一次。这样可

以使工件表面粗糙度大大降低,外观赏心悦目,同时还可以使金属表面的抗蚀性、耐磨性进一步提高,这就是 QPQ 技术。

“QPQ”为英文 Quench—Polish—Quench 的字头缩写。原意为淬火(快冷)—抛光—淬火(快冷),从专业技术来讲,这种说法不够确切,但在国际上已习惯性地沿用下来,并为大家所接受,故本书也采用“QPQ”一词。

为了叙述方便,本书把不加抛光工序的盐浴复合处理和增加了抛光工序的 QPQ 技术结合起来统称为 QPQ 盐浴复合处理技术,除需特别说明之处,不再对两者加以区分。

QPQ 盐浴复合处理技术的核心是其无公害的盐浴配方。该盐浴配方由德国迪高沙公司独家垄断,且极为保密。该公司可以提供成套专用设备,长期向用户供盐,不提供盐浴配方的方式向世界各国进行成套技术转让。

该技术开发以后,世界上一些著名大公司率先从德国引进了成套技术。美国的通用电器公司(GE)用这项新技术成功地取代了内燃机车柴油机缸套的镀硬铬工艺,消除了六价铬对环境的污染。美国康明斯 8t 柴油车发动机利用此项技术解决了进、排气门的耐磨抗蚀问题。德国大众轿车的凸轮轴,奥地利斯太尔重型汽车驱动桥减速器的内齿圈也采用了这项技术。该技术几乎被日本所有汽车厂家所采用。其中以本田公司最有代表性,该公司有 5 座大型自动化设备分设于国内外,处理零件达 150 多种,年处理量达 6 万 t。丰田和日产公司月处理量达数百 t。

该项技术在汽车行业已形成相当规模。据 1990 年统计,在世界范围内有代表性的几种汽车零件应用量为:

曲 轴 230 万件

凸轮轴 575 万件
气 门 34500 万件
气 簧 6900 万件
扭转盘 7500 万件

此外还有很多汽车零件也采用了这项技术,如座位滑动器、刹车控制系统、保险杠、螺旋齿轮、传动齿轮、轴套、门锁、挡风玻璃摇臂、气簧活塞、悬杆支架活塞、发动机冷却风扇、风扇电机、扬声器、防晒传动器等。

除汽车、摩托车行业外,在机车、工程机械、轻化工机械、农业机械、仪器仪表、枪械以及工模具等行业都得到了大量应用。

目前该技术已有德国、美国、英国、法国、瑞士、奥地利、俄罗斯、日本、印度、中国的香港、台湾地区及内地等 40 多个国家和地区的 800 多家用户所采用。

我国的威墅堰机车车辆厂、山东潍坊柴油机厂、杭州汽车发动机厂等先后以 60~90 万美元从迪高沙公司引进了成套设备技术,分别用于处理内燃机车柴油机缸套、柴油机曲轴和汽车发动机曲轴。后来上海大众汽车厂、天津缝纫机公司也采用和引进了这项技术。在这些厂引进之前,还有一些工厂从德国引进了未能完全消除公害的老工艺。从德国引进技术的工厂必须长期高价向迪高沙公司购进生产专用盐。

机械工业部成都工具研究所以本书作者为主的专门课题组,经过长期大量试验,终于在 1985 年独立开发了成份独特的盐浴配方,其无公害水平优于德国迪高沙公司,氮化盐浴中的氰根含量仅为迪高沙公司的 1/10,可以控制在 0.2% 以下。

盐浴配方开发以后对渗层形貌、组织性能、工艺参数等进

行了全面系统的试验研究,并在大量生产应用过程中解决了生产实践中产生的大量技术难题。经过十多年的艰苦努力,终于使这项技术扎根于生产实际中。

作者开发的技术于1987年开始技术转让。在技术转让的同时还开发了成套专用设备,制定了用于指导生产的详细的工艺文件,建立了对用户进行技术培训和进行外协加工的生产实习基地。实现了包括提供成套专用设备、成套工艺文件、免费技术培训、现场技术服务等内容的成套技术转让。

该技术的用户已有200多家,已在全国各地建立40多条QPQ盐浴复合处理技术生产线。接产方很多是用于处理国外引进产品,如从日本引进的五十铃汽车曲轴,纺织机械的络筒机件,摩托车齿轮、连杆;从德国引进的纺织机械的弹力丝机热轨件、机床电器铁心;从美国引进的重型汽车柴油发动机气门等。这些产品的渗层指标都超过了国外产品要求的指标,并都经过了台架或装机试验,产品性能达到要求以后大量投入生产。投产后生产质量稳定,应用规模不断扩大。

该技术还为用户处理了大量工具、模具、齿轮、轴类,以及各种各样的耐磨、耐蚀件。经QPQ盐浴复合处理后,各种高速钢刀具可以提高寿命2倍以上,高者达4倍,甚至更高;挤压模、压铸模、拉伸模、橡塑模、玻璃模等各种模具均可提高寿命2倍以上。该技术还解决了大量常规热处理方法难以解决的技术难题,为纺机、烟机、印刷机械、照相机等行业解决了易变形件硬化变形的技术难题。

该项目经有关方面组织的专家鉴定,确认达到了国际先进水平,达到了德国迪高沙公司的水平,无公害方面则优于迪高沙公司的水平。该项目已被批准为国家级重点新产品,并已

列入“九五”国家级重点推广计划,在国内外多次获奖。

作者独立开发的 QPQ 盐浴复合处理技术有以下优点:

(1)成本低廉

结合国情开发的专用设备,简便实用,国内用户成套设备技术费用不到国外引进费用的 1/10。专用盐的售价也不到德国迪高沙公司盐价的 1/10。

(2)成套性强

向用户提供成套主体设备和辅助设备,全套工艺文件,免费技术培训,到用户现场服务达到稳定投产,用户满意。

(3)技术有独创

独立开发的盐浴配方,成份独特,并加有特殊添加剂,因此氮化炉可以不用像迪高沙公司那样采用压缩空气系统通空气。由于开发了一种氧化盐老化后的活化方法,因此氧化盐浴中也不必加离心泵。本设备中的高灵敏度的气相漏盐报警仪在国内外均未见报道。

作者开发的 QPQ 盐浴复合处理技术有以下特点:

(1)良好的耐磨性,耐疲劳性能

大量生产应用及试验证明,该技术可以提高工模具寿命 2 倍以上。严格的滚动和滑动磨损试验说明,45 钢、40Cr 钢经 QPQ 盐浴复合处理后其耐磨性比高频淬火高 15 倍以上;比 20 钢渗碳淬火高 10 倍以上;比镀硬铬和离子渗氮高 2 倍以上。

调质的 45 钢经 QPQ 盐浴复合处理以后疲劳强度提高 40%。

(2)极好的抗蚀性

45 钢经 QPQ 盐浴复合处理以后在大气和盐雾试验中的