

齐宝森 于新友 等编著

齿轮热处理 200例

CHILUN RECHULI
200 LI



化学工业出版社

齐宝利

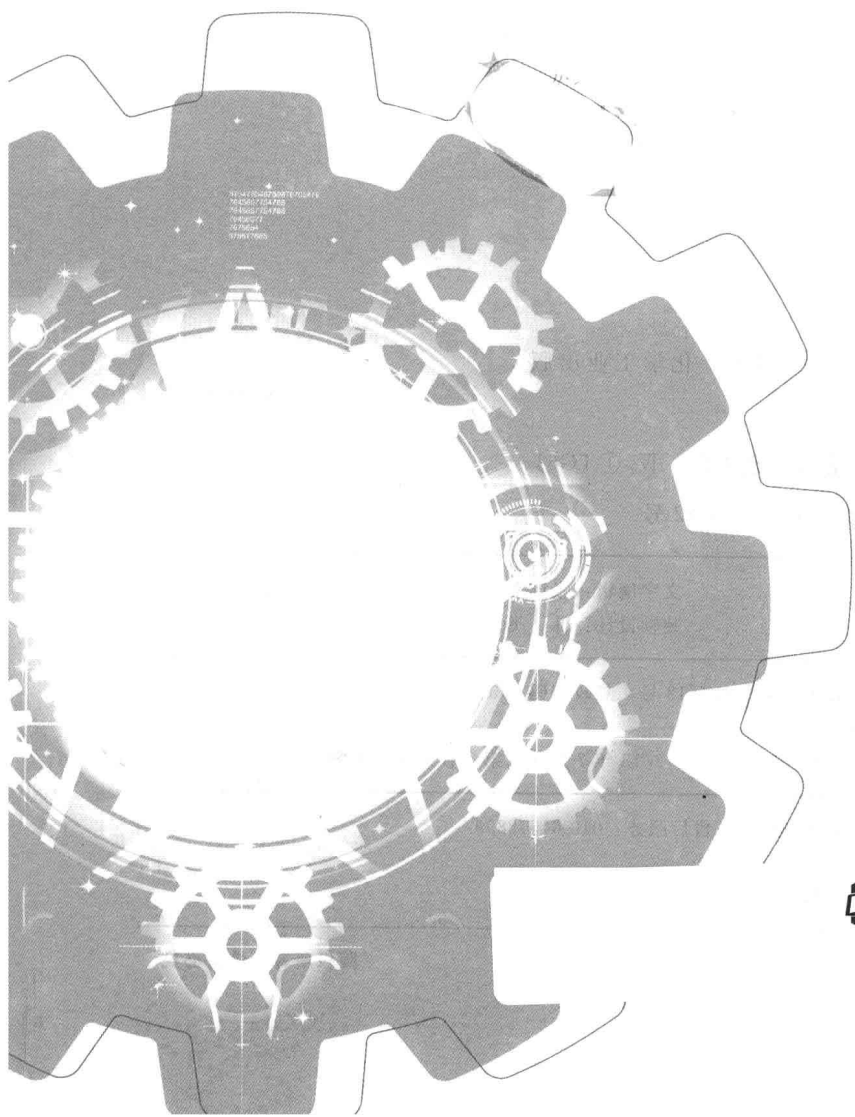
齿轮热处理

200

例

CHILUN RECHULI

200 LI



化学工业出版社

· 北京 ·

本书在简要介绍齿轮零件的服役条件、失效分析、性能要求,以及齿轮热处理基础知识的基础上,按照齿轮产品的使用场合,分类而且重点以实例分析为主介绍了齿轮的失效分析、选材和热处理特点等。

全书以实例分析为主,突出齿轮零件的失效分析与热处理特点,取材力求新颖、务实,能反映当前工业生产实际,编写力求通俗易懂、理论联系实际,图文并茂,深入浅出,简明实用,以满足广大机械工业生产一线的科技工作者、技术工人和管理人员的迫切需要。同时,本书也可供机械、材料类专业的工程专业院校的师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

齿轮热处理 200 例/齐宝森等编著. —北京:化学工业出版社, 2013.5
ISBN 978-7-122-16533-6

I. ①齿… II. ①齐… III. ①齿轮加工-热处理 IV. ①TG61

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 029232 号

责任编辑:邢 涛
责任校对:陈 静

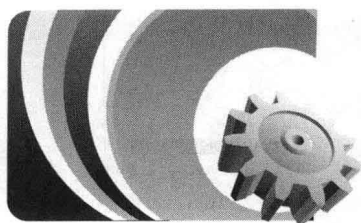
文字编辑:张燕文
装帧设计:韩 飞

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)
印 装:大厂聚鑫印刷有限责任公司
787mm×1092mm 1/16 印张 34½ 字数 1016 千字 2013 年 7 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899
网 址: <http://www.cip.com.cn>
凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:138.00 元

版权所有 违者必究



齿轮是机械传动中应用最为广泛的一类零件，是先进制造业的基础之一。齿轮产品的质量直接影响到各种机械装备使用的安全性、可靠性和经济性，也从一个方面反映了一个国家基础工业的发展水平。

伴随着改革开放的深入发展，国际、国内交流日益增多，新技术、新工艺、新产品的不断涌现，为了更好地适应生产一线工厂企业的实际需要，特编写了本书。

本书归纳、总结了我国面向生产一线的广大科技工作者、工程技术人员和技术工人多年来特别是近年来在齿轮热处理生产第一线的试验研究成果和实践经验，收集了大量宝贵的实例和技术资料，谨此向他们致以诚挚谢意！

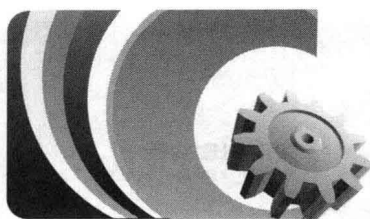
全书以实例分析为主线索和落脚点，突出齿轮零件的失效分析与热处理特点，在取材上力求新颖、务实，能反映当前工业生产实际；在编写上力求通俗易懂、理论联系实际，图文并茂，深入浅出，简明实用，以满足广大机械工业生产一线的科技工作者、技术工人和管理人员的迫切需要。

全书共分为7章。第1章齿轮热处理概述，从齿轮零件的服役条件、失效分析、性能要求入手，概述了齿轮零件的选材、各种热处理的特点及应用实例，还突出介绍了热处理新技术、新工艺的特点及应用等。第2~7章则按照齿轮产品的使用场合，以实例分析为依托，分门别类地介绍了机床齿轮、车辆（包括汽车、拖拉机和摩托车）和工程机械（包括工程机械和农业机械）齿轮、能源（包括风电、火电和核电设备齿轮）和航空齿轮、轨道交通（包括电力、蒸汽机车、轨道车等）装备齿轮及冶金、矿山（煤矿和其他矿山设备）、石油化工机械和建材设备齿轮与船舶和海洋工程装备齿轮的失效分析、热处理工艺特点以及如何防止变形开裂等。

本书由齐宝森、于新友编写并定稿，参加编写工作的还有刘西华、李玉捷、王忠诚。由于编者水平所限，书中难免出现一些疏漏或不足之处，恳请广大读者和专家批评和斧正。

编者

2013年1月

**1 齿轮热处理概述****1**

1.1 齿轮的服役条件、失效形式与性能要求	1
1.1.1 服役条件分析	1
1.1.2 齿轮常见的失效形式	2
1.1.3 失效类型和原因的统计分析	3
1.1.4 齿轮失效分析的方法	4
1.1.5 主要性能要求	5
1.1.6 齿轮失效分析典型案例	6
[实例1] 某45钢齿坯裂纹分析	6
[实例2] 某主减速器齿轮轮齿断裂的失效分析	7
[实例3] 某产品高低机和方向机主齿轮塌齿(严重变形)的失效分析	9
[实例4] SCM420H曲轴齿轮的失效分析	10
[实例5] 40Cr齿轮断齿失效分析	13
1.2 齿轮用材的合理选择	15
1.2.1 对齿轮用钢的要求	15
1.2.2 齿轮常用钢材的选择	17
1.2.3 齿轮用铸铁	20
1.2.4 齿轮用有色金属合金	21
1.2.5 粉末冶金齿轮	21
1.2.6 齿轮用非金属材料	22
1.2.7 齿轮合理用材典型案例	22
[实例6] X53T铣床、T618镗床主传动箱齿轮的选材分析	22
[实例7] 载货汽车变速器齿轮材料的合理选用	22
[实例8] 重载齿轮的结构设计与热处理分析	24
[实例9] 材料选择不合理而造成的40Cr钢制齿轮崩齿	25
1.3 齿轮热处理零件的结构工艺性与加工工艺流程	26
1.3.1 齿轮热处理零件的结构工艺性	26
1.3.2 齿轮的热处理与其他机械加工工艺的相互配合	28
1.3.3 齿轮零件的机械加工工艺安排	30
1.3.4 齿轮热处理零件的结构工艺性案例分析	31
[实例10] 某减速器齿轮结构在热处理中的工艺性分析	31

[实例 11] 20CrMnTi 齿轮轴热处理与切削加工性的关系	32
1.4 齿轮零件预备热处理工艺	34
1.4.1 齿轮零件的预备热处理工艺特点	34
1.4.2 齿轮坯料预备热处理工艺案例	38
[实例 12] 变速箱齿轮锻件正火预备热处理工艺	38
[实例 13] 转向器齿轮冷挤压锻件几种预备热处理工艺 比较	39
[实例 14] 一汽大众 250 变速箱齿轮等温正火预备热处理 工艺	40
[实例 15] 轿车变速箱齿轮锻件等温正火预备热处理工艺	44
1.5 齿轮最终热处理工艺特点及应用案例	45
1.5.1 齿轮的调质及其应用案例	45
[实例 16] 45 钢齿轮的调质最终热处理工艺方案	47
[实例 17] 液力偶合器泵轮 30CrMoV9 的调质最终热处理	50
[实例 18] 低合金铸钢大齿轮粗机械加工后的调质处理工艺 特点	51
[实例 19] 改进型 42CrMo4V 大型齿轮锻坯的热处理工艺 特点	52
1.5.2 齿轮的淬火+低温回火及其应用案例	54
[实例 20] 基于工装保护内孔弧齿圆锥齿轮最终热处理新 工艺	55
1.5.3 齿轮的表面淬火强化及其应用案例	56
[实例 21] 40Cr 圆柱直齿轮的高频淬火表面强化	65
[实例 22] 40Cr 双联齿轮和锥齿轮的高频淬火表面强化	67
1.5.4 齿轮的渗碳和碳氮共渗表面强化	69
[实例 23] 20CrMnTi 锥齿轮的渗碳热处理强化	81
[实例 24] 一种减少 20CrMnTi 大弧齿锥齿轮渗碳淬火变形的 方法	83
1.5.5 齿轮的渗氮和氮碳共渗及应用案例	84
[实例 25] 38CrMoAl 齿轮的气体渗氮表面强化	94
[实例 26] 42CrMo 行星大齿圈的渗氮与离子渗氮热处理 工艺	95
[实例 27] 柴油机小齿轮的气体氮碳共渗热处理工艺	96

2 机床齿轮的热处理强化

99

2.1 机床齿轮材料及热处理概述	99
2.1.1 机床齿轮的服役条件、失效形式与性能要求	99
2.1.2 机床齿轮材料的选用	99
2.1.3 机床齿轮的热处理	101

2.1.4	典型机床齿轮的机械加工工艺流程与加工余量	107
2.2	一般机床齿轮的热处理强化典型案例	108
2.2.1	齿轮的感应淬火强化及减少变形开裂措施案例分析	108
[实例 28]	某车床主轴箱齿轮的高频感应淬火热处理强化	108
[实例 29]	C616 车床变速箱传动齿轮的高频感应淬火表面 强化	110
[实例 30]	C630 车床主轴箱齿轮高频淬火后的变形规律	112
[实例 31]	减小 C616 车床齿轮高频淬火内孔变形的的方法	112
[实例 32]	铣床 6036 齿轮轴断裂的失效分析及改进方法	114
[实例 33]	某机床主轴箱花键齿轮的感应淬火表面强化 工艺	115
[实例 34]	大模数齿轮、齿条单齿中频淬火质量改进	117
[实例 35]	42CrMo 端齿盘的超音频感应淬火表面强化	118
[实例 36]	45 钢薄壁齿轮的超音频感应淬火表面强化	120
2.2.2	齿轮火焰淬火热处理表面强化典型案例分析	121
[实例 37]	大型立车齿圈单齿火焰淬火热处理工艺的优化	121
2.2.3	齿轮调质热处理强化典型案例分析	122
[实例 38]	某加工机床齿条的调质热处理强化	122
2.3	机床齿轮的渗氮化学热处理强化典型案例	123
2.3.1	渗氮与离子渗氮齿轮的热处理表面强化实例分析	123
[实例 39]	LC280A 车床某薄片齿轮的气体渗氮热处理表面 强化	123
[实例 40]	车床变速箱拨叉齿轮的气体渗氮工艺	124
[实例 41]	车铣床主轴箱齿轮轴及小齿轮的气体渗氮工艺	126
[实例 42]	控制薄壁齿轮轴气体渗氮变形	128
[实例 43]	38CrMoAl 齿轮轴的离子渗氮化学热处理表面 强化	129
[实例 44]	38CrMoAlA 渗氮钢端齿盘的离子渗氮化学热处理 强化	131
[实例 45]	38CrMoAl 机床齿轮离子渗氮的畸变控制	132
[实例 46]	40Cr 高速中载机床变速箱齿轮的复合热处理工艺 研究	134
2.3.2	齿轮的氮碳共渗热处理表面强化典型案例分析	135
[实例 47]	45 钢机床齿条的氮碳共渗表面强化	135
2.3.3	高精度数控机床齿轮的真空热处理强化	136
[实例 48]	高精度数控铣床齿轮的微变形真空热处理	136
2.4	特定工况机床齿轮的热处理强化典型案例	138
2.4.1	齿轮的渗碳化学热处理表面强化典型案例分析	138
[实例 49]	铣床传动机构弧齿锥齿轮的渗碳化学热处理表面 强化	138
[实例 50]	渗碳钢端齿盘的渗碳化学热处理表面强化	140
[实例 51]	数控铣床螺旋锥齿轮渗碳淬火的变形研究	142

[实例 52]	控制带有内花键的花键轴渗碳淬火变形的工艺措施	144
[实例 53]	万能分度头蜗杆的气体渗碳化学热处理表面强化	146
2.4.2	齿轮的碳氮共渗热处理表面强化典型案例分	148
[实例 54]	机床分度头蜗杆的稀土碳氮共渗表面强化	148

3 车辆齿轮的热处理强化

154

3.1	车辆齿轮材料及其热处理概述	154
3.1.1	车辆齿轮的服役条件、失效形式与性能要求	154
3.1.2	车辆齿轮钢材料	154
3.1.3	车辆齿轮的热处理工艺	156
3.1.4	典型车辆齿轮的机械加工工艺流程	160
3.2	汽车齿轮及其热处理强化实例分析	160
3.2.1	汽车变速箱类齿轮热处理强化实例分析	160
[实例 55]	汽车变速箱齿轮的渗碳化学热处理表面强化	160
[实例 56]	载重汽车变速箱第二轴倒挡齿轮的滴注式气体渗碳表面强化	161
[实例 57]	JN-150 型载重汽车变速箱二轴齿轮的渗碳淬火表面强化	164
[实例 58]	某汽车变速器一档从动齿轮最终热处理工艺的改进	165
[实例 59]	20CrMnTi 同步器齿环的稀土渗碳热处理工艺优化	167
[实例 60]	别克轿车变速器主减速太阳轮轴的低压真空渗碳表面强化	169
[实例 61]	SAE8620RH 解放牌汽车变速器三速齿轮的渗碳工艺	171
[实例 62]	汽车变速器主动轴五挡齿轮渗碳淬火热变形的控制	176
[实例 63]	19MnCr5G 轿车变速箱齿套的碳氮共渗及压淬关键技术	177
[实例 64]	20CrMnTi 汽车变速齿轮碳氮共渗黑色组织的分析及预防	180
[实例 65]	40Cr 变速器内齿圈的氮碳共渗	182
[实例 66]	20CrMo 汽车变速箱齿轮轴的氮碳共渗复合热处理表面强化	185
3.2.2	汽车驱动桥类齿轮热处理强化实例分析	187
[实例 67]	20CrMnTiH 汽车后桥从动锥齿轮的稀土快速渗碳工艺	187
[实例 68]	20CrMnTi 从动螺旋锥齿轮的 BH 催渗渗碳热处理表面强化	190

[实例 69]	20CrMnTi STR 主动锥齿轮的渗碳淬火热处理工艺改进	194
[实例 70]	提高 20CrMnTiH 汽车后桥从动锥齿轮渗碳压淬合格率的措施	196
[实例 71]	20CrMoH 汽车后桥从动齿轮断齿和齿面损伤的失效分析	201
[实例 72]	20CrMnTiH 载重汽车后桥圆锥齿轮失效分析及改进措施	203
[实例 73]	SAE8822H 重型卡车车桥大直径盘式锥齿轮渗碳淬火畸变的控制	207
[实例 74]	8620H 轻型车从动锥齿轮渗碳淬火平面度变形控制的试验	209
[实例 75]	汽车后桥螺旋锥齿轮热处理变形的影响因素与控制	213
[实例 76]	20CrMnTi 汽车后桥被动锥齿轮渗碳淬火变形的研究	215
[实例 77]	20CrMnTi 汽车后桥被动齿轮碳氮共渗热处理变形的预防措施	216
[实例 78]	20CrMnTi 汽车主减速器主、从动齿轮的热处理工艺	218
[实例 79]	22CrMoH 重载汽车主减速器大模数齿轮渗碳淬火的致裂因素	220
3.2.3	其他类型汽车齿轮热处理强化实例分析	223
[实例 80]	20CrMnTi 渗碳淬火大模数齿轮磨削裂纹原因	223
[实例 81]	渗碳淬火齿轮磨削烧伤成因分析及改善措施	225
[实例 82]	8620RH 汽车太阳轮热处理工艺探讨	227
[实例 83]	20CrMnTi 重载汽车内齿圈碳氮共渗和淬火变形的控制	229
[实例 84]	20CrMnTiH 汽车行星和半轴齿轮热处理工艺的改进	231
[实例 85]	42CrMo 钢制 Y10T 输出齿轮轴的感应淬火表面强化	234
[实例 86]	27MnCr5 轿车发动机曲轴平衡箱小齿轮的离子渗氮表面强化	236
[实例 87]	40Cr 高速柴油机凸轮轴双联齿轮的盐浴氮碳共渗表面强化	239
3.3	拖拉机、农业机械与摩托车齿轮的热处理强化实例分析	241
3.3.1	拖拉机变速箱齿轮的失效分析与热处理强化典型案例	242
[实例 88]	20CrMnTi 拖拉机主动弧齿锥齿轮的早期磨损失效分析	242
[实例 89]	18CrMnTi 拖拉机二轴齿轮接触疲劳损坏的研究	244

[实例 90]	20CrMnTi 拖拉机变速箱齿轮的预氧化低温气体渗碳	247
[实例 91]	20CrMnTi 拖拉机变速箱二轴齿轮的热处理工艺改进	249
[实例 92]	20Cr 小四轮拖拉机变速箱齿轮的热处理工艺研究	252
3.3.2	拖拉机其他类型齿轮的失效分析与热处理强化典型案例	254
[实例 93]	20CrMnTi 拖拉机主减速器齿轮的失效分析	254
[实例 94]	奥贝球铁拖拉机最终传动从动齿轮的热处理工艺优化	256
[实例 95]	45 钢拖拉机发动机飞轮齿圈的中频淬火表面强化	260
3.3.3	农业机械类齿轮的热处理强化实例分析	261
[实例 96]	20CrMnTiH 农用三轮车变速箱四轮曲轴齿轮断裂的失效分析	261
[实例 97]	20CrMnTi 耕整机变速箱三轴离合齿轮的热处理工艺	264
3.3.4	摩托车齿轮的热处理强化实例分析	265
[实例 98]	125 摩托车齿轮的气体碳氮共渗工艺	265
[实例 99]	125 摩托车主轴五挡齿轮点蚀磨损的改善	267
[实例 100]	提高 BEST110 型摩托车发动机离合器齿轮精度的措施	269
[实例 101]	40Cr 摩托车主驱动齿轮的低真空变压氮碳共渗	272
3.4	工程机械传动齿轮的热处理强化实例分析	275
3.4.1	驱动桥类齿轮的热处理强化实例分析	275
[实例 102]	20CrMnTi 装载机驱动桥主动锥齿轮的失效分析	275
[实例 103]	振动压路机驱动桥弧齿准双曲面齿轮的失效分析	279
[实例 104]	水泥搅拌车底盘驱动桥主动锥齿轮加工工艺设计	282
[实例 105]	20CrMoH3 工程车辆轮边减速器内齿圈的渗碳淬火变形控制	283
[实例 106]	S48CV 大功率推土机齿轮感应淬火裂纹的探讨	286
3.4.2	变速器及其他类型齿轮的热处理强化实例分析	289
[实例 107]	20CrMo 起重机械变速箱用斜齿轮的热处理工艺研究	289
[实例 108]	20CrMnTi 叉车变速箱输入齿轮的热处理强化	291
[实例 109]	工程机械提梁机发动机中间齿轮的失效分析	294
[实例 110]	搅拌系列减速机螺旋锥齿从动轮的渗碳淬火畸变及控制	297
[实例 111]	大型养路机械车轴齿轮箱用带内花键双联齿轮的优化设计	299
[实例 112]	8620RH 大型机械齿轮轴的热处理工艺优化	302
[实例 113]	SCSiMn2H 钢挖掘机链轮的中频淬火表面强化	304

4.1 风电齿轮用材及其热处理强化概述	308
4.1.1 风电齿轮的服役条件、失效形式与性能要求	308
4.1.2 风电齿轮箱齿轮用钢	309
4.1.3 风电齿轮的热处理工艺	310
4.1.4 风电齿轮热处理畸变及其控制	311
4.1.5 典型风电齿轮的机械加工工艺流程	312
4.2 风电齿轮的热处理强化实例分析	312
4.2.1 风电齿轮箱齿轮的热处理强化实例分析	312
[实例 114] 18CrNiMo7-6 大功率风电齿轮箱增速齿轮断裂 分析	312
[实例 115] 风电齿轮箱二级传动结构某齿轮断齿的失效 分析	314
[实例 116] 42CrMoA 2MW 风电齿轮箱内齿圈的热处理 工艺改进	317
[实例 117] 消除风电增速箱行星齿轮内孔磨削烧伤的 工艺改进	318
[实例 118] 风电系统中加速器齿轮的微动磨损失效分析	320
[实例 119] 风电齿轮齿面的微点蚀现象及其重要性	321
4.2.2 风电齿轮箱齿轮轴、偏航减速器齿轮的热处理强化实例 分析	324
[实例 120] 42CrMo 风电机组偏航减速器小齿断裂的失效 分析	324
[实例 121] 42CrMo 偏航齿圈的离子渗氮表面强化	327
[实例 122] 20CrMnTi 风电齿轮轴带状组织的消除及工艺 改进	329
4.3 火电与核电设备齿轮的热处理强化实例分析	331
4.3.1 火电设备齿轮的热处理强化实例分析	331
[实例 123] VH2-280 减速器第二级小齿轮的失效分析及 改进	331
[实例 124] 17Cr2Ni2MoA 主汽轮机减速器齿轮渗碳淬火变形 的控制	333
[实例 125] 45CrNiMoVA 燃气轮机减速箱齿轮的断齿失效 分析	335
4.3.2 核电设备齿轮的热处理强化实例分析	338
[实例 126] 压水堆核电站循环冷却水泵行星减速器齿轮的选材 与热处理	338
[实例 127] 大亚湾核电站循环冷却水泵减速齿轮的失效分析 与改进	341
4.4 航空齿轮用材及其热处理强化概述	342
4.4.1 航空齿轮的服役条件、失效形式与性能要求	342

4.4.2	高性能的航空齿轮钢	342
4.4.3	航空齿轮钢的热处理工艺	344
4.4.4	典型航空齿轮零件的机械加工工艺流程	344
4.4.5	常见航空齿轮热处理缺陷及预防补救措施	345
4.4.6	航空齿轮热处理强化实例分析	345
[实例 128]	12Cr2Ni4A 某型号发动机锥齿轮的断齿失效分析	345
[实例 129]	9310 钢某型飞机主减速器太阳轮轮齿表面损伤失效分析	348
[实例 130]	16Ni3CrMoE 发动机尾减输入齿轮的疲劳失效分析	351
[实例 131]	18CrMnTi 航空发动机 HK-III 齿轮的微裂纹分析及消除措施	355
[实例 132]	16CrNi4MoA 环形齿轮渗碳淬火畸变的控制	357
[实例 133]	12Cr2Ni4A 传动齿轮在碳氮共渗和淬火中的畸变控制	360
[实例 134]	20CrMo 主减齿轮的渗碳淬火畸变控制	362
[实例 135]	30Cr3MoA 航空发动机转子组件内花键的离子渗氮表面强化	364

5 轨道交通装备齿轮及其热处理强化

367

5.1	牵引齿轮——现代轨道交通机车的纤维	367
5.1.1	机车牵引齿轮的服役条件、失效形式与性能要求	367
5.1.2	机车牵引齿轮的材料选用	368
5.1.3	机车牵引齿轮的热处理工艺	370
5.2	轨道交通机车牵引齿轮的热处理强化典型案例	371
5.2.1	机车牵引齿轮的失效实例分析	371
[实例 136]	20CrMnMoA 薄壁牵引主动齿轮的失效分析及工艺改进	371
[实例 137]	20CrMnMoA 内燃机车牵引主动齿轮断裂失效原因分析	374
[实例 138]	SDD ₈ 型机车用牵引主动齿轮的合理设计	376
[实例 139]	SS ₄ G 型机车从动齿轮的齿根惯性裂纹失效分析	381
5.2.2	机车牵引齿轮的热处理强化实例分析	384
[实例 140]	18CrNiMo7-6 机车牵引主动齿轮的渗碳热处理强化	384
[实例 141]	机车牵引齿轮的直接淬火热处理工艺试验研究	387
[实例 142]	18CrNiMo7-6 重载机车齿轮的喷丸工艺参数选择	390
[实例 143]	机车牵引齿轮的热处理工艺	392

5.3 轨道交通机车其他齿轮的热处理强化典型案例	395
5.3.1 轨道交通机车其他齿轮的失效案例分析	395
[实例 144] 42CrMo 机车从动齿轮的断裂失效分析	395
[实例 145] 20CrMnTi 重型机车齿轮的失效分析及工艺改进	397
5.3.2 轨道交通机车其他齿轮的热处理强化实例分析	398
[实例 146] 稀土渗碳工艺在机车齿轮上的应用	398
[实例 147] 东风机车大直径重载齿轮的渗碳淬火变形有效控制	400
[实例 148] 淬火温度对 20CrMnTi 渗碳钢组织及性能的影响	402
[实例 149] 渗碳齿轮的盐浴淬火热处理强化	405
[实例 150] 20CrMnTi 内燃机车柴油机齿轮的碳氮共渗热处理强化	409
[实例 151] 东风 11 准高速内燃机车变速箱齿轮的气体碳氮共渗表面强化	412

6 冶金、矿山、石油化工及建材设备齿轮的热处理强化

415

6.1 冶金机械类齿轮及其热处理强化实例分析	415
6.1.1 概述	415
6.1.2 冶金机械齿轮的失效分析典型案例	416
[实例 152] 20CrMnMoA 轧钢机重载齿轮的断裂失效分析	416
[实例 153] 惯量齿轮驱动装置传动齿轮的损伤失效分析及改进	418
[实例 154] 17Cr2Ni2Mo 热连轧机齿轮轴的断裂失效分析	421
[实例 155] ZG35CrMo 大型感应淬火铸钢齿轮的异常断裂失效分析	424
[实例 156] 斗轮取料机用减速器末级大齿轮的失效分析及国产化	427
6.1.3 冶金机械齿轮的热处理强化实例分析	431
[实例 157] 20CrNi2MoA 大型齿圈的热处理工艺及畸变控制	431
[实例 158] 20CrMnMo 大齿宽双联齿圈的热处理渗碳淬火畸变控制	434
[实例 159] 17Cr2Ni2Mo 大模数齿轮轴的渗碳淬火热处理工艺优化	435
[实例 160] 650 轧钢机大型锥齿轮轴锻件的热处理工艺	437
[实例 161] 65t 转炉倾动减速机大齿轮的热处理、焊接及机械加工工艺研究	439
6.2 矿山机械设备齿轮及其热处理概述	442

6.2.1	矿山机械设备齿轮的工作条件、失效形式及性能要求	442
6.2.2	矿山机械设备齿轮的选材	445
6.2.3	矿山机械设备齿轮的热处理特点	446
6.3	矿山机械设备齿轮及其热处理实例分析	448
6.3.1	煤矿机械齿轮的失效分析典型案例	448
[实例 162]	42CrMo 单驱动辊式破碎机传动齿轮的失效分析	448
[实例 163]	18Cr2Ni4WA 采煤掘进机渗碳齿轮轴的纵裂失效分析	450
[实例 164]	17Cr2Ni2Mo 采煤机行走轮的失效与热处理强化	452
6.3.2	煤矿机械齿轮的热处理强化实例分析	454
[实例 165]	采掘机械重载齿轮钢 15CrNi3MoA 的热处理工艺	454
[实例 166]	18Cr2Ni4WA 采煤机齿轮的复合等温淬火工艺	456
[实例 167]	采煤机焊接齿轮的热处理工艺研究	458
[实例 168]	40t 刮板运输机齿轮的微氮中温气体渗碳热处理研究	459
[实例 169]	20Cr2Ni4A 采煤机双联齿轮的真空离子碳氮共渗表面强化	462
6.3.3	矿山机械齿轮的失效分析典型案例	464
[实例 170]	挖掘卷扬机减速器行星齿轮的破碎失效分析	464
[实例 171]	矿井提升绞车减速器二级齿轮的早期开裂失效分析	467
6.3.4	矿山采掘机械齿轮的热处理强化实例分析	469
[实例 172]	20CrNi2MoA 矿采机械重载齿轮的渗碳热处理强化	469
[实例 173]	矿山机械大型齿轮的热处理工艺改进	472
[实例 174]	20CrMnTi 双联齿轮的碳氮共渗热处理强化	473
[实例 175]	35CrMoVA 掘进机大模数重载齿轮的表面热处理强化	474
[实例 176]	ZG42CrMo 大型球磨机大齿轮的热处理工艺	475
[实例 177]	矿山机械磨机大模数开式齿轮的热处理技术改造	478
6.4	石油、化工机械齿轮及其热处理强化实例分析	480
6.4.1	石油机械齿轮的失效分析典型案例	480
[实例 178]	抽油机减速器人字齿轮的失效分析	480
[实例 179]	变速器齿轮故障(失效)的频谱分析诊断	481
6.4.2	石油机械齿轮的热处理强化实例分析	484
[实例 180]	20CrMnTi 油田柱塞泵减速箱齿轮的热处理工艺改进	484
[实例 181]	42CrMo 石油钻机弧齿锥齿轮的渗氮热处理工艺优化	485
[实例 182]	钻井泵小齿轮轴的选材与加工	487

6.4.3	化工机械齿轮的失效分析及热处理强化实例分析	489
[实例 183]	搅拌器减速机齿轮轴和齿轮的断裂失效分析	489
[实例 184]	离心设备用 ZG80 行星齿轮箱的失效分析	492
[实例 185]	大型减速器齿轮断裂失效分析及改进措施	494
[实例 186]	螺杆压缩机同步齿轮的失效分析及改进设计	496
[实例 187]	34CrNi3Mo 主风机高速双圆弧齿轮的深层离子渗氮强化	498
6.5	建材设备齿轮及其热处理强化实例分析	500
6.5.1	建材设备齿轮的失效分析典型案例	500
[实例 188]	KMPS675 立磨减速机齿轮断齿的失效分析及预防措施	500
[实例 189]	YT10 液压振动压路机驱动桥弧齿准双曲面齿轮的失效分析	504
6.5.2	建材设备齿轮的热处理强化实例分析	507
[实例 190]	ZG35CrMo 水泥机械剖分式特大型齿轮的加工防变形措施	507
[实例 191]	ZG35CrMo 回转窑大齿圈变形的热校正	508

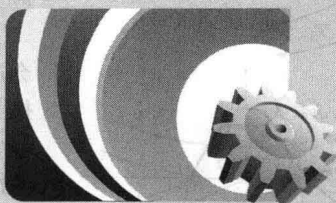
7 船舶与海洋工程装备齿轮的热处理强化

510

7.1	船舶装备用高速齿轮的热处理强化实例分析	510
7.1.1	船舶装备用高速齿轮的失效分析典型案例	510
[实例 192]	20CrMnMo 船用输出渗碳重载齿轮的表面裂纹失效分析	510
7.1.2	船舶装备用高速齿轮的热处理强化实例分析	513
[实例 193]	二次正火法在 20CrMnMo 齿轮轴晶粒细化中的应用	513
[实例 194]	舰船齿轮的渗碳变形及其控制	514
[实例 195]	20CrMnMo 重载齿轮的高效节能渗碳复合热处理工艺	517
[实例 196]	G42CrMo4 升船机驱动机构大型齿条的中频感应淬火强化	520
[实例 197]	42CrMo 船舶起重机浮吊传动件齿条的热处理变形防止措施	522
[实例 198]	MWM 系列高速柴油机凸轮轴齿轮的氮碳共渗热处理强化	523
7.2	海洋工程装备齿轮的热处理强化实例分析	526
[实例 199]	自升式平台升降系统齿轮的失效分析	526
[实例 200]	34CrNi1Mo 海洋工程用大型人字齿轮的热处理及其制造技术	529

参考文献

531



齿轮热处理概述

齿轮是机械传动中应用最为广泛的零件之一，它担负着传递扭矩、调整速度及改变运动方向的任务，在切削机床、汽车、拖拉机、矿山、冶金机械、化工机械、农业机械、航空、仪表等诸多工业领域中均有着广泛的应用。齿轮是机械工业中重要的基础零件。

齿轮的种类很多，常见的分类方法有以下几种。

① 按照齿轮的形状通常分为圆柱齿轮、圆锥齿轮、多联齿轮、内齿轮等，在每类中，按齿长方向的歪斜程度又可分为直齿轮（即正齿轮）、斜齿轮和圆弧齿轮三种，其中圆弧齿轮只应用于圆锥齿轮中。

② 按照齿轮轮齿的齿廓曲线的不同，可分为渐开线齿轮、摆线齿轮和双曲线齿轮等几种。

③ 按照齿轮在工作时的圆周速度 v 的不同，可分为低速、中速和高速齿轮三种。一般认为，低速传动 $v < 3\text{m/s}$ ，中速传动 $v = 3 \sim 15\text{m/s}$ ，高速传动 $v > 15\text{m/s}$ 。

④ 按照齿轮的制造精度分类：标准齿轮 3~5 级精度；精密机床、仪器齿轮 5~6 级精度；一般机床、机械齿轮 6~7 级精度；汽车、拖拉机传动齿轮 7~8 级精度。

⑤ 按照齿轮传动的工作条件，可分为闭式传动、开式传动和半开式传动三种。闭式传动封闭在箱壳内能保证良好润滑。开式传动是外露的，不能保证良好润滑。现大多为闭式传动。

⑥ 按照齿轮热处理工艺的不同，大致可分为四类：正火与调质齿轮，表面淬火齿轮，渗碳与碳氮共渗齿轮，渗氮与氮碳共渗齿轮。

⑦ 按照齿轮产品使用场合以及未来发展趋势，大致可分为如下几类：机床齿轮；车辆与工程、农业机械齿轮；能源与航空齿轮；轨道交通装备齿轮；冶金、矿山、石油机械及建材设备齿轮；船舶及海洋工程装备齿轮等。

以下各章即按齿轮产品使用场合而依次进行分类加以列举实例分析介绍。

1.1 齿轮的服役条件、失效形式与性能要求

齿轮工作的好坏直接影响着整个机械的工作，故齿轮材料的正确选择及热处理的高质量，对提高齿轮的承载能力，降低齿轮噪声，延长齿轮使用寿命是非常重要的环节。

1.1.1 服役条件分析

图 1.1 所示为一渐开线齿轮在工作运转中轮齿的工作情况。在驱动力矩 T_1 作用下，主动齿轮以转速 n_1 逆时针方向回转，轮齿 1 将受到法向压力 F_n 和摩擦力 f_{Fn} 作用。在 F_n 作用下，轮齿在表面接触处产生接触应力 σ_H ，齿根产生弯曲应力 σ_F 。轮齿在啮合过程中接触点的位置是变化的，且啮合时才受力，脱离啮合时不受力，所以齿面接触应力 σ_H 和齿根弯曲应力 σ_F 都是变化的。交变

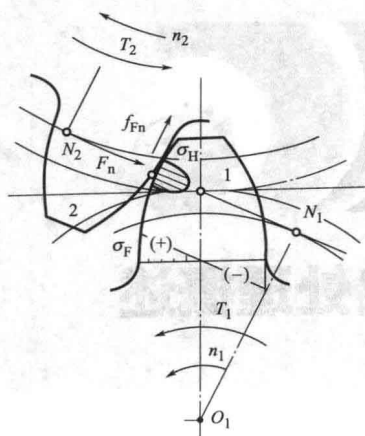


图 1.1 轮齿啮合工作情况

应力过大会产生疲劳破坏。

交变应力是轮齿失效的主要原因，接触应力过大，齿面会产生疲劳点蚀；弯曲应力过大，齿根会发生折断。齿面摩擦力是引起齿面磨损和胶合的主要原因。另外，由于运转过程中的换挡、启动或啮合不均匀，齿轮的齿部还会承受一定的冲击力作用；齿面有相互滚动和滑动摩擦的摩擦力作用等。

由于齿轮的服役条件和受载情况是相当复杂、繁重的，因而其失效形式也是多种多样的。

1.1.2 齿轮常见的失效形式

各种机械零件（例如齿轮）及构件，都具有一定的功能。当由于某种原因丧失其应有的功能时，即称为该零件失效。齿轮常见的主要失效形式如下。

(1) 断齿（主要是齿根折断以及崩角）

除因超载（主要是冲击载荷过大）而产生脆性折断（多发生在轮齿淬透的硬齿面齿轮或脆性材料制造的齿轮上）外，大多数情况下的断齿都是由于传递动力时，在齿根部产生的弯曲疲劳应力造成的。

轮齿受力后，齿根弯曲应力最大，而且有应力集中。当轮齿多次重复受力后，齿根处会产生疲劳裂纹并逐渐扩展，最终导致轮齿断裂，这种断裂称为弯曲疲劳断裂（见图 1.2）。直齿圆柱齿轮齿根裂纹一般从齿根沿齿向扩展，发生整齿折断 [见图 1.2(a)]。斜齿圆柱齿轮和人字齿轮，由于轮齿接触线与齿向倾斜，齿根裂纹往往从齿根向齿顶方向扩展，发生局部折断即崩角 [见图 1.2(b)]。此外，轮齿受到短时过载或冲击载荷时也可能引起轮齿折断。轮齿折断均起始于拉应力一侧。

因此，提高齿轮弯曲疲劳强度的根本途径是提高齿根处材料的强度及改善应力状态。影响齿轮弯曲疲劳强度的因素有非金属夹杂物、表面脱碳、金相组织、残余压应力、心部硬度等。非金属夹杂物的存在和表面脱碳使弯曲疲劳强度降低。非马氏体组织的存在使弯曲疲劳强度降低，马氏体经回火的组织提高弯曲疲劳强度。残余压应力可抑制裂纹的产生和发展，齿根喷丸强化可提高弯曲疲劳强度。心部硬度的提高也可提高弯曲疲劳强度。

(2) 齿面接触疲劳破坏（也称麻点剥落或点蚀）

它是润滑良好的闭式齿轮传动的常见失效形式。齿轮运转时，当齿面接触交变应力大小和交变次数均达一定值时，在靠近节线的齿根表面上会出现若干疲劳小裂纹，封闭在小裂纹的润滑油在外加压力的作用下，形成较大的油压，加速了裂纹的扩展，从而导致齿面贝壳状小片的剥落而形成麻点（见图 1.3），这种损坏现象称为齿面接触疲劳破坏即点蚀。若点蚀继续扩展，将严重影响齿轮传动的平稳性，并产生振动和噪声，导致齿轮传动不能正常工作。

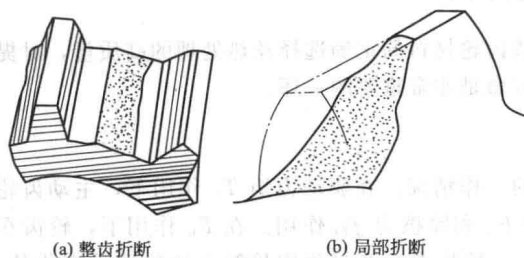


图 1.2 轮齿折断示意

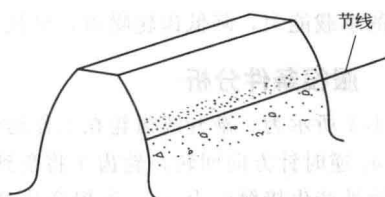


图 1.3 齿面点蚀（麻点）示意