



齿轮热处理

常见缺陷分析与对策

CHILUN RECHULI

CHANGJIAN QUEXIAN FENXI YU DUICE



齿轮热处理

常见缺陷分析与对策



化学工业出版社

· 北京 ·

本书主要对齿轮热处理生产中经常出现的缺陷及其产生原因作了详细分析,并叙述了齿轮热处理缺陷的影响因素、危害及检验方法等。同时,结合当前热处理新技术、新工艺、新材料及新设备等提出了防止与控制这些缺陷的方法与措施。书中还介绍了典型齿轮使用中常见的失效形式及其危害,对齿轮失效原因进行了详细分析,提出了预防与改进措施,并列举了大量生产及使用中的实例加以说明。全书注重实用性、科学性、先进性和可操作性,具有较高的使用价值。

本书可供从事齿轮热处理生产和检验的技术人员和工人等阅读,同时对从事齿轮的设计、制造、使用、管理、营销的人员及高等院校、科研单位人员也有一定的参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

齿轮热处理常见缺陷分析与对策/金荣植编著. —北京:

化学工业出版社, 2013. 9

ISBN 978-7-122-18195-4

I. ①齿… II. ①金… III. ①齿轮钢-热处理-研究
IV. ①TG162.73

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第188894号

责任编辑:刘丽宏 王清颢

文字编辑:颜克俭

责任校对:宋 玮

装帧设计:刘丽华

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:三河市延风印装厂

850mm×1168mm 1/32 印张14¼ 字数395千字

2014年1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:59.00元

版权所有 违者必究

前 言

齿轮是汽车、拖拉机、机床及其他机械装备重要的零件，主要是传递动力、变速和改变运动方向等。在其传递动力及改变速度的运动过程中，两啮合齿面之间既有滚动，又有滑动，而且齿根部分承受脉动或交变的弯曲应力。因此，齿轮应具有较高的接触疲劳和弯曲疲劳强度，以及良好的耐磨性和冲击韧性。齿轮质量的优劣，直接影响到各种机器（包括车辆、机械装备等）使用的可靠性及经济性。

在齿轮制造过程中，要获得这些良好的综合力学性能和较长的使用寿命，热处理是关键因素之一。对此，在热处理时要根据齿轮材料及其结构和技术要求，制定合适的热处理工艺并认真进行生产，以达到要求的显微组织、力学性能（包括硬度）及热处理变形等要求。然而在齿轮热处理生产过程中，由于诸多原因的影响常出现不同形式的热处理缺陷，包括被处理件达不到要求性能或状态这类质方面的缺陷，以及变形、裂纹和氧化脱碳等这类显现在外观上的缺陷。在齿轮使用过程中还会出现各种不同形式的失效（即在运行中失去设计功能，或者发生损坏失效，有时是部分失效，有时是整体失效），如齿轮折断、齿面点蚀、齿面胶合、齿面磨损及齿面塑性变形等，由此产生的经济损失十分惊人。

为了减少热处理缺陷造成的损失，首先要对这些缺陷进行具体分析，找出主要原因，并采取相应措施处理这些缺陷。在热处理生产过程中，应认真执行相关热处理技术标准，并结合当前热处理新技术、新工艺、新设备及新材料等，在工艺设计、选材、材料分析与加工、热处理规范的制定与实施、加热与冷却方式和淬火介质的

选用、组织与性能控制、热处理装备的可靠性，以及热处理质量检验等环节加以重视，并对热处理生产过程实施全面质量管理，以提高齿轮热处理质量，延长使用寿命，减少废品，降低成本。

本书对使用中失效齿轮的服役条件和受力情况、缺陷形貌特征、检验分析、缺陷原因、工艺改进及防止措施等进行了较为详细的论述。书中列举了大量实例说明了解决上述问题的科研成果、工艺装备技术改进、现场经验及热处理缺陷防止措施。

本书内容主要包括：齿轮热处理概述、齿轮热处理典型缺陷分析与对策、齿轮的普通热处理缺陷分析与对策、齿轮的调质热处理缺陷分析与对策、齿轮的化学热处理缺陷分析与对策、齿轮的感应热处理缺陷分析与对策、齿轮的失效原因分析与对策。

本书由金荣植编著，陈云生、刘志儒、李圣姬、白云富、任维斗为本书的编写提供了大量帮助。此外，在本书编写过程中，笔者参阅了许多有关热处理方面的文献资料，主要文献列于书后，在此谨向这些作者表示衷心感谢。

由于笔者水平有限，书中不足之处难免，恳求读者批评指正。

编著者

目 录

第 1 章 齿轮热处理概述	1
1.1 齿轮类别及其性能要求	1
1.1.1 齿轮的类别	1
1.1.2 齿轮的性能要求	3
1.2 典型齿轮材料及其热处理方法	5
1.2.1 齿轮用钢的选择	7
1.2.2 典型齿轮材料及其热处理方法	9
1.3 齿轮热处理设备和生产用材料简介	27
1.3.1 齿轮热处理设备	27
1.3.2 齿轮热处理生产使用的材料及其分类	49
1.4 齿轮热处理常见缺陷一览	56
第 2 章 齿轮热处理典型缺陷分析与对策	58
2.1 齿轮热处理加热缺陷分析与对策	58
2.1.1 齿轮氧化与脱碳缺陷分析与对策	58
2.1.2 齿轮欠热、过热和过烧缺陷分析与对策	60
2.1.3 齿轮晶粒粗化与混晶缺陷分析与对策	62
2.1.4 齿轮脱碳、过热与过烧的检验	64
2.2 齿轮热处理冷却缺陷分析与对策	64
2.2.1 齿轮淬火硬度及淬硬层深度缺陷分析与对策	65
2.2.2 齿轮热处理变形缺陷分析与对策	66
2.2.3 齿轮热处理裂纹缺陷分析与对策	68
2.3 齿轮热处理变形与裂纹的检测	72
2.3.1 齿轮热处理变形的检测	72
2.3.2 齿轮热处理裂纹的检测	73
2.4 齿轮热处理力学性能缺陷分析与对策	75

2.4.1	抗拉强度缺陷分析与对策	75
2.4.2	疲劳强度缺陷分析与对策	76
第3章	齿轮的普通热处理缺陷分析与对策	79
3.1	齿轮的退火与正火缺陷分析与对策	80
3.1.1	退火缺陷分析与对策	80
3.1.2	正火缺陷分析与对策	81
3.2	齿轮退火及正火的质量检验项目及要求的	86
3.2.1	表面质量	86
3.2.2	表面硬度	86
3.2.3	变形量	87
3.2.4	金相检验	87
3.3	齿轮的淬火与回火缺陷分析与对策	87
3.3.1	中碳钢和中碳合金钢齿轮淬火与回火硬度缺陷 分析与对策	92
3.3.2	中碳钢和中碳合金钢齿轮淬火与回火金相组织缺陷 分析与对策	97
3.3.3	中碳钢和中碳合金钢齿轮淬硬层缺陷分析与对策	101
3.3.4	中碳钢和中碳合金钢齿轮淬火与回火其他缺陷分析与对策	102
3.3.5	中碳钢和中碳合金钢齿轮淬火变形分析与对策	102
3.3.6	中碳钢和中碳合金钢齿轮淬火裂纹分析与对策	110
3.4	齿轮淬火与回火的质量检验项目与要求	117
3.4.1	外观检查	117
3.4.2	表面硬度	117
3.4.3	金相组织	118
3.4.4	变形	119
第4章	调质齿轮的热处理缺陷分析与对策	120
4.1	常用调质齿轮钢材及其热处理	120
4.1.1	合金结构钢	120
4.1.2	优质碳素结构钢	121
4.1.3	铸造碳钢及合金铸钢	121
4.2	调质齿轮硬度缺陷分析与对策	127
4.2.1	调质齿轮硬度低原因分析与对策	127
4.2.2	调质齿轮硬度不均原因分析与对策	130

4.3	齿轮调质深度不足原因分析与对策	131
4.4	大模数齿轮的开齿调质工艺	133
4.5	焊接齿轮的调质处理	134
4.6	调质齿轮淬火裂纹分析与对策	134
4.7	齿轮调质处理的质量检验	139
4.7.1	调质齿轮的检验项目、内容及方法	139
4.7.2	调质齿轮的力学性能及淬透性检验	140
4.7.3	调质齿轮的金相组织检验	141
第5章	齿轮的化学热处理缺陷分析与对策	144
5.1	齿轮的渗碳热处理缺陷分析与对策	145
5.1.1	齿轮的气体 and 固体渗碳热处理缺陷分析与对策	145
5.1.2	齿轮的气体碳氮共渗缺陷分析与对策	194
5.1.3	齿轮的渗碳热处理变形分析与对策	212
5.1.4	齿轮的渗碳热处理裂纹分析与对策	247
5.1.5	渗碳齿轮的质量检验项目、内容及方法	266
5.2	齿轮的渗氮热处理缺陷分析与对策	273
5.2.1	气体渗氮齿轮材料及其热处理	274
5.2.2	气体渗氮齿轮硬度缺陷分析与对策	276
5.2.3	气体渗氮齿轮金相组织缺陷分析与对策	283
5.2.4	气体渗氮齿轮渗层深度缺陷分析与对策	288
5.2.5	气体渗氮齿轮其他热处理缺陷分析与对策	291
5.2.6	气体渗氮齿轮的质量检验项目及要求	295
5.2.7	离子渗氮齿轮热处理缺陷分析与对策	303
5.2.8	齿轮离子渗氮的质量检验项目、内容及要求	314
5.2.9	齿轮的气体氮碳共渗缺陷分析与对策	316
5.2.10	齿轮气体氮碳共渗的质量检验项目及要求	323
5.2.11	渗氮齿轮热处理变形分析与对策	324
5.2.12	渗氮齿轮表面裂纹分析与对策	333
第6章	齿轮的感应热处理缺陷分析与对策	337
6.1	感应淬火齿轮材料及其热处理方法	338
6.2	感应淬火齿轮硬度缺陷分析与对策	339
6.2.1	感应淬火齿轮表面硬度不足和出现软点或软带原因 分析与对策	340

6.2.2	感应淬火齿轮表面硬度过高或过低原因分析与对策	346
6.2.3	感应淬火齿轮表面硬度不均原因分析与对策	347
6.3	感应淬火齿轮金相组织缺陷分析与对策	350
6.4	感应淬火齿轮硬化层缺陷分析与对策	352
6.4.1	感应淬火齿轮硬化层过浅或过深原因分析与对策	354
6.4.2	感应淬火齿轮硬化层不均原因分析与对策	356
6.4.3	感应淬火齿轮硬化层深度变化超过要求范围原因 分析与对策	358
6.5	感应淬火齿轮其他热处理缺陷分析与对策	358
6.5.1	防止感应淬火齿轮淬硬区域不符合要求的措施	358
6.5.2	感应淬火齿轮局部烧熔麻点原因分析与对策	359
6.5.3	感应淬火齿轮硬化层或尖角剥落原因分析与对策	360
6.5.4	感应淬火齿轮硬化区分布不合理及硬度低原因 分析与对策	360
6.5.5	齿轮感应淬火加热不均匀原因分析与对策	361
6.6	感应淬火齿轮的返修	362
6.7	齿轮的感应淬火变形原因分析与对策	362
6.7.1	齿轮的感应淬火变形原因分析	362
6.7.2	减小与控制齿轮感应淬火变形的措施	365
6.7.3	齿轮的其他感应淬火变形控制方法	383
6.8	齿轮的感应淬火裂纹原因分析与对策	388
6.8.1	齿轮材料不良造成的感应淬火裂纹原因分析与对策	388
6.8.2	齿轮设计或机械加工不当造成的感应淬火裂纹原因 分析与对策	390
6.8.3	齿轮淬火加热温度过高或加热不均造成的感应淬火裂纹 原因分析与对策	391
6.8.4	齿轮淬火冷却条件不良造成的感应淬火裂纹原因 分析与对策	392
6.8.5	操作不良造成的齿轮感应淬火裂纹原因分析与对策	394
6.9	高频淬火齿轮产生废品原因分析与对策	396
6.10	感应淬火齿轮的质量检验项目及要求的	397
第7章	齿轮的失效原因分析与对策	406
7.1	齿轮的失效形式	406

7.2 齿轮齿面的失效原因分析与对策	408
7.2.1 齿轮齿面磨损原因分析与对策	408
7.2.2 齿轮齿面塑性变形原因分析与对策	411
7.2.3 齿轮齿面胶合原因分析与对策	413
7.2.4 齿轮齿面点蚀原因分析与对策	414
7.2.5 齿轮硬化层剥落（或称深层剥落、硬化层压碎）原因 分析与对策	417
7.3 齿轮断裂原因分析与对策	420
7.4 齿轮的其他失效原因分析与对策	424
7.4.1 齿轮轮齿崩齿原因分析与对策	424
7.4.2 齿轮轮齿的末端损坏原因分析与对策	426
7.5 中重型载货汽车弧齿锥齿轮失效原因分析与对策	426
7.5.1 弧齿锥齿轮制造问题造成的失效原因分析与对策	427
7.5.2 弧齿锥齿轮装配及使用问题造成的失效原因分析 与对策	429
附录	435
附录 A 侵蚀剂	435
附录 B 热处理相关标准目录	438
附录 C 国内外常用结构钢对照表	441
附录 D 不同布氏硬度试验条件下施加的试验力（GB/T 231.1—2009 《金属布氏硬度试验 第1部分：试验方法》）	443
附录 E 洛氏硬度标尺及适用范围（GB/T 230.1—2009《金属洛氏硬度 试验 第1部分：试验方法》）	443
附录 F 维氏硬度负荷与试验力	444
参考文献	445

第 1 章 齿轮热处理概述

1.1 齿轮类别及其性能要求

1.1.1 齿轮的类别

(1) 齿轮分类

齿轮的种类很多，常见的分类方法有以下几种。

① 按照齿轮的形状分类 通常分为圆柱齿轮和圆锥齿轮两大类。在其每一大类中，按齿长方向的歪斜程度又可分为直齿轮 [即正齿轮，图 1-1(a)]、斜齿轮 [图 1-1(b)] 及圆弧齿轮 [图 1-1(c)] 三种。其中，圆弧齿轮只应用于圆锥齿轮中。



图 1-1 几种典型齿轮

② 按照齿轮轮齿的齿廓曲线分类 可以分为渐开线齿轮、摆线齿轮及双曲线齿轮等几种。

③ 按照齿轮在工作时的圆周速度 v 分类 可以分为低速、中速及高速齿轮三种。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 按照齿轮的服役条件分类 一般可分为两类，一类为传递运动，另一类为传递动力。传递运动的齿轮一般用有色金属或塑料等材料制造；而传递动力承载齿轮则通常用钢铁来制造，这类齿轮用于重载服役条件下。目前，在高参数硬齿面齿轮制造中，渗碳淬火是主流的工艺方式。

⑥ 按照热处理工艺分类 按照热处理工艺的不同可将齿轮大致分为四类：渗碳齿轮、感应淬火或火焰淬火齿轮、调质齿轮、正火齿轮。

a. 渗碳齿轮和感应或火焰淬火齿轮。由于高的表面硬度和良好的心部韧性这两个优点很好地得到结合，齿轮具有耐磨、耐疲劳和耐点蚀等良好的特性。目前，大多数齿轮属于此类。

b. 调质齿轮。适合于用作中小型、中等载荷和轻载荷齿轮。

c. 正火齿轮。以前主要用作船用大型低噪声齿轮。其重点设计是防止噪声，为了使齿面保持良好的接触状态，可经镀铜后使用。由于齿面耐磨性差，目前较少使用。

⑦ 按照齿轮传动的工作条件分类 可以分为闭式传动齿轮、开式传动齿轮及半开式传动齿轮三种。

单级的圆柱和圆锥齿轮只能实现小的传动比，较大的传动比需要多级传动，蜗杆传动具有较大的单级传动比。

直齿轮制造比较简单，在传动机构中应用最多。但是直齿轮传动时，由于每对轮齿都同时接触和脱开，容易产生冲击和噪声，因此传动平稳性较差。要使传动比较平稳，有时就采用斜齿轮传动。人字齿轮相当于两个方向相反的斜齿轮，主要用于重型机械中传递大功率用。

(2) 大型齿轮分类

一般大型齿轮可分为软齿面齿轮、中硬齿面齿轮和硬齿面齿轮三种。

① 软齿面齿轮 20 世纪 50 年代的大型低速重载齿轮大多采用正火或调质的软齿面齿轮，齿面硬度为 260HBW 左右。目前，各

类齿轮的参数要求越来越高,因而广泛采用硬齿面齿轮。根据强度计算,合金结构钢调质到 300HBW 的许用接触应力为 850MPa,许用弯曲应力为 300MPa;而渗碳淬火硬度达到 60HRC 的许用接触应力和弯曲应力分别达到 1600MPa 和 500MPa。

② 中硬齿面齿轮 随着切削加工技术(主要指铣齿刀具技术)的进步,20 世纪 50 年代末中硬齿轮齿面硬度为 320~360HBW。

③ 硬齿面齿轮 20 世纪 60 年代初,国外有硬齿面的大型低速重载齿轮,其齿面硬度达 56HRC 以上,使其承载能力提高 5 倍以上,即第三代重载齿轮——渗碳或碳氮共渗淬火硬齿面齿轮。由于渗碳淬火齿轮具有承载能力高、使用寿命长的优点,汽车齿轮、拖拉机齿轮、工业齿轮中的高速齿轮,大型成套设备中的低速重载齿轮以及机床齿轮也改用渗碳淬火。因此,渗碳淬火已经成为齿轮的主导热处理工艺。

1.1.2 齿轮的性能要求

(1) 齿轮的性能要求

齿轮的抗弯疲劳能力、抗接触疲劳能力及齿轮的啮合精度三大要素决定了齿轮的使用寿命。

① 为了满足齿轮弯曲疲劳强度及接触疲劳强度指标,齿轮首先要硬化到一定的硬度,以保证接触疲劳强度。高的接触疲劳强度、表面硬度和耐磨性,可以防止齿面损伤。与此同时,要使齿轮表面获得一定的残留压应力以利于弯曲疲劳强度。高的弯曲疲劳强度,特别是齿根处要有足够的强度,使齿轮运行时所产生的弯曲应力不至于造成疲劳断裂。

为了避免齿轮发生疲劳破坏,齿轮的基本要求是其硬化层的强度分布要高于应力分布,即设法提高强度曲线,尤其是在硬化层过渡区的位置,而且需要有一定的安全系数。为此,有以下两个主要途径:一是增加渗层或硬化层深度;二是提高齿轮基体硬度。

② 要求齿轮具有耐冲击、耐振动、噪声尽量小、强度高、耐磨性好,以及具有优良的抗接触疲劳和抗弯曲疲劳等综合性能,即要求齿轮表面硬度高、强度高、心部韧性好、硬化层分布合

理。足够高的齿轮心部强度和冲击韧度，可以防止齿轮过载与冲击断裂。

③ 良好的工艺性能。使齿轮易于切削加工，热处理性能好，淬火变形要小，以获得较低的表面粗糙度和较高的加工精度，使齿轮抗磨损能力提高，并得到低的噪声。

④ 高的原材料质量。原材料材质要纯净，断面经侵蚀后，不得有肉眼可见的空隙、气泡、裂纹、非金属夹杂物及白点等缺陷，其疏松、偏析和非金属夹杂物等级应符合有关标准规定的要求。

⑤ 齿轮钢材价格低廉，来源充足。

(2) 大直径重载齿轮的性能要求

大型齿轮在冶金、矿山、建材、起重及运输等重型机械传动中占有重要的地位。高速与重载齿轮已经成为汽车与机车行业成套设备的关键部件，其绝大部分采用硬齿面齿轮，齿轮的圆周速度最高可达 150m/s ，传递功率最高达 40000kW ，齿轮精度等级达 $5\sim 6$ 级，最高为 4 级。目前已具备设计高速齿轮，其最大功率达 44000kW ，高圆周速度为 156m/s ，齿轮制造精度为 $4\sim 5$ 级；重载齿轮最大功率达 6000kW ，最大传递转扭矩 $2000\text{kN}\cdot\text{m}$ ，圆周速度为 $30\sim 50\text{m/s}$ ，齿轮精度达 $5\sim 6$ 级。

大直径重载齿轮的性能基本要求根据齿轮的工作条件不同，一般应满足以下几个基本要求。

① 轮齿表面层要有足够的硬度和耐磨性。

② 对于承受交变载荷和冲击的齿轮，齿轮基体要有足够的弯曲强度和韧性。

③ 良好的工艺性能，易于切削加工且热处理性能好。

一般大型齿轮工作时承受较重载荷，对齿面耐磨性、齿根疲劳强度、齿面接触部分耐腐蚀性及齿顶强度要求较高。这些性能和齿轮淬火后硬化层的深度、硬度、强度及变形状况密切相关。硬齿面大型齿轮可以减小传动所需功率，增大承载能力，降低成本，提高使用寿命。

1.2 典型齿轮材料及其热处理方法

齿轮所使用的材料各种各样,如各种铸铁、钢材、粉末冶金材料、非铁合金及非金属材料都可用来制作齿轮,其中钢材是使用最广泛的材料。由于钢材强度与重量的比值大,价格相对便宜,如调质钢(如45钢、中碳SiMn钢、SiMnMoV钢、40MnB、40Cr、35CrMo、42CrMo钢等,一般调质后进行高频或中频淬火处理)、渗碳钢及渗氮钢(如20钢、20Cr、20CrMnTi、20CrMnMo、20CrMo、22CrMo、20CrNiMo、18Cr2Ni4W、20Cr2Ni4A及38CrMoAlA、30CrMoSiA钢等)、铸钢(如ZG310-570、ZG340-640、ZG42SiMn、ZG50SiMn、ZG35Cr、ZG40Cr1、ZG35CrMnSi等)、铸铁(各种灰铸铁、球墨铸铁和可锻铸铁等)等,在腐蚀环境下用不锈钢或镍基合金钢齿轮,而在高温条件下可用工具钢、高温合金齿轮。

对钢铁材料齿轮进行热处理,其目的是为了能够提高钢的使用性能,充分发挥材料的能力,同时也能够改善钢材的切削性能,提高齿轮加工质量,延长齿轮的使用寿命。钢铁制造的齿轮常用热处理工艺有普通热处理(包括淬火、正火等)、表面淬火处理(包括感应淬火、火焰淬火及激光淬火等)、化学热处理(包括渗碳、碳氮共渗、渗氮及氮碳共渗等)及调质处理等。表1-1为齿轮的常用热处理。

表 1-1 齿轮的常用热处理

工艺名称	标注举例	热处理概括	使用目的
淬火	C62(淬火后,回火至60~65HRC) Y35(油冷淬火后回火至30~40HRC)	将钢件加热到钢材临界温度以上并使之奥氏体化,然后急剧冷却,以获得马氏体组织	1. 提高齿轮硬度和强度 2. 提高齿轮耐磨性能

续表

工艺名称	标注举例	热处理概括	使用目的
表面淬火	H54(火焰淬火后, 回火至 52~58HRC) G52(高频淬火后, 回火至 50~55HRC)	用火焰或高频电流将钢件表面迅速加热到淬火温度, 然后迅速冷却, 仅使表面获得淬火组织	齿轮表面具有较高的硬度, 而心部具有一定的韧性。使轮齿表面既耐磨又能承受冲击载荷
渗碳淬火	S0.5~C59(渗碳层深度 0.5mm, 淬火后, 回火至 56~62HRC)	在渗碳气氛中加热到 900~950℃ 并进行渗碳, 然后预冷, 最后淬火及回火	1. 提高齿轮表面的硬度和耐磨性 2. 提高材料的疲劳强度 3. 轮齿心部具有一定韧性
调质	T235(硬度 220~250HBW)	钢件加热并淬火后, 在 450~650℃ 进行高温回火	可以完全消除内应力, 并获得较高的综合力学性能
渗氮	D0.3~900(渗氮层深度 0.3mm), 表面硬度 >850HV	渗氮是向钢件表面渗入氮原子的化学热处理过程	提高轮齿表面的硬度、耐磨性、疲劳强度和耐腐蚀性
正火	Z	将钢件加热到临界温度以上进行完全奥氏体化, 然后在空气(或风)中冷却, 以得到珠光体组织	1. 细化晶粒, 提高强度和韧性 2. 对力学性能要求不高的齿轮, 常用正火作为最终热处理 3. 改善低碳钢的切削性能 4. 中碳钢正火可代替调质处理, 为感应淬火做好组织准备

表 1-2 为常用的齿轮材料及其力学性能。

表 1-2 常用的齿轮材料及其力学性能

材料	钢号	热处理	力学性能				
			硬度	抗拉强度 s_b /MPa	屈服强度 s_s /MPa	疲劳强度 s_{-1} /MPa	循环次数 N_0
碳钢	35	调质	190~230HBW	650	350	270	10^7
	45	正火	170~200HBW	610~700	360	260~300	
		调质	220~250HBW	750~900	450	320~360	
		整体淬火	40~45HRC	1000	750	430~450	$(3\sim4)\times 10^7$
		表面淬火	45~50HRC	750	450	320~360	$(6\sim8)\times 10^7$

续表

材料	钢号	热处理	力学性能				循环次数 N_0
			硬度	抗拉强度 s_b/MPa	屈服强度 s_s/MPa	疲劳强度 s_{-1}/MPa	
合金钢	35SiMn	调质	200~260HBW	750	500	380	10^7
	40Cr	调质	250~280HBW	900~1000	800	450~500	
	42SiMn	整体淬火	45~50HRC	1400~1600	1000~1100	550~650	$(4\sim6)\times 10^7$
	40MnB		表面淬火	50~55HRC	1000	850	
	20Cr	渗碳淬火	56~62HRC	800	650	420	$(9\sim15)\times 10^7$
	20SiMn						
	20MnB						
	20CrMnTi						
	20MnVB	渗碳淬火	56~62HRC	1150	950	550	
	12NiCr	渗碳淬火	56~62HRC	950	—	500~550	
铸钢	ZG270-500	正火	160~210HBW	550	320	240	10^7
	ZG310-570		180~210HBW	600	350	260	
	ZG340-640						
铸铁	HT200	去应力	170~230HBW	200	—	100~120	10^7
	HT300	退火	190~250HBW	300		130~150	
	QT400	正火	156~200HBW	400	300	200~220	10^7
	QT600		200~270HBW	600	420	240~260	

1.2.1 齿轮用钢的选择

确定齿轮用钢及其热处理工艺，主要根据齿轮的传动方式（开式或闭式）、载荷性质与大小（齿面接触应力与冲击载荷等）、传动速度和精度要求等工作条件而定。同时还要考虑，依据齿轮模数和截面尺寸提出的钢材淬透性及齿面硬化要求、齿轮副的材料及硬度值的匹配等问题。

现在绝大多数齿轮选用渗碳钢或调质钢系列。它们经表面强化处理后，表面具有较高的强度和硬度，心部具有良好韧性，能够满足使用性能要求。此外，这类钢的工艺性能好，易于切削且热处理