

热处理手册

第2版

第2卷

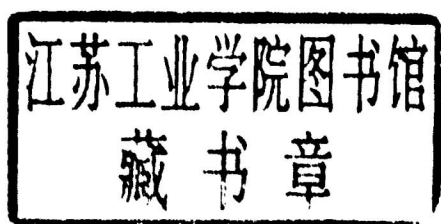
机械工业出版社

热 处 理 手 册

第 2 版

第2卷 典型零件的热处理

中国机械工程学会热处理专业学会
《热处理手册》编委会编



机 械 工 业 出 版 社

(京)新登字054号

热处理手册是一部热处理的大型综合性专业工具书。本版为第2版，共4卷。第1卷为工艺基础，第2卷为典型零件的热处理，第3卷为热处理设备，第4卷为热处理质量控制与检验方法。

本卷为第2卷，共18章，内容包括齿轮、滚动轴承零件、弹簧、紧固件、汽车、拖拉机及柴油机零件、金属切削机床零件、气动工具及钻探机械零件、农机具典型零件、大型锻件、轧辊、电站设备锻件、石油化工机械零件、液压元件的零件、工具、模具、量具、手表、自行车、缝纫机、纺织机械、飞机零件的热处理，涉及国内外现状和发展。

本书可供热处理工程技术人员和车间班组使用，也可供高校和中专金属材料及热处理专业师生参考。

热 处 理 手 册

第 2 版

第 2 卷 典型零件的热处理

中国机械工程学会热处理专业学会

《热处理手册》编委会编

责任编辑：丁文华 韩会民 责任校对：韩 晶
封面设计：刘 代 版式设计：胡金瑛
责任印制：卢子祥

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)
(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

机械工业出版社京丰印刷厂印刷
新华书店北京发行所发行·新华书店经售

开本 787×1092¹/₁₆·印张38¹/₂·插页2·字数936千字

1978年10月北京第一版

1991年12月北京第二版·1991年12月北京第三次印刷

印数 98,801—102,800·定价：29.00元

ISBN 7-111-02355-2/TG·560

中国机械工程学会热处理专业学会 《热处理手册》第2版编委会 名单

顾 问 周志宏 周惠久
主任委员 孙大涌
副主任委员 雷廷权 章守华 樊东黎
委 员 孙大涌 雷廷权 章守华 樊东黎 于 恒 朱沅浦 裘 汲
刘 迨 邓 洋 戚正风 宋余九 侯增寿 徐佐仁 丁文华
郦振声 沈百全 许长生
《热处理手册》总主编
朱沅浦 侯增寿 邹康宏
本 卷 主 编 朱沅浦 火树鹏

序

热处理是机械制造业中关键工艺之一，对发挥材料潜力、节约用材、延长机器零件使用寿命起着重要的作用。为了促进技术交流，推广先进经验，指导正确的工艺操作，1972年由原一机部机械研究院组织有热处理专业的院校教师、研究院所和部分企业的有经验的技术人员共同编写了《热处理手册》，出版后曾两次印刷，深受广大读者欢迎。

但是，第1版《热处理手册》从编写至今已逾十年，这十多年里国内外热处理技术发展很快，我国自改革、开放以后，又引进了许多先进技术及装备，在这种情况下，如不对《热处理手册》进行修订，将不能满足生产和技术发展的要求，起不到工具书的作用。有鉴于此，机械工业出版社会同中国机械工程学会热处理专业学会负责组织国内专家、学者按照实用性、可靠性、先进性、科学性的原则，从速改写、修订，达到能正确指导生产，促进技术进步的作用。

此次改写虽与第1版有一定的继承性，但在内容上根据近年来国内外在热处理技术上的发展状况，结合我国企业应用的现状作了切合实际的介绍，增加了较多的新内容。一些参数大多来自工厂和科研单位的实用数据，是比较可靠的，对于一些过时的工艺则作了必要的删节，成为一本目前适用的热处理工具书，这必将对机械工业提高产品质量，发展新产品起到应有的作用。

陆燕萍

前 言

1972年受一机部的委托由原一机部机械研究院组织了全国各地44个工厂、高校、科研单位的一百余位工程技术人员开始编写和审定我国自编的第一部综合性的热处理专业手册。出版后,深受广大读者的欢迎。

手册第1版的编写与出版毕竟是在特殊历史条件下完成的。由于种种条件的限制和在编写思想上的束缚,有许多不尽如人意之处,加之近十余年来热处理技术的飞速发展,手册第1版的许多内容已使人感到过时和陈旧。因此,根据机械工业出版社的倡议,中国机械工程学会热处理专业学会第二届第三次理事会决定,组成手册编辑工作委员会开展对《热处理手册》重新编写和修订工作。由于参加第1版编写人员的工作性质和单位多有变化,只得重新组织手册第2版的编写工作班子。经过本行业各方面的专家五十余人,近四年的共同努力,完成了四卷书稿的编写和审定工作。

本版的主要读者对象明确规定为从事热处理生产的工程技术人员,编写的指导思想是以总结国内先进生产实践经验和科研成果为主,同时吸收国外先进技术,所列数据和选用资料必须具有实用性、可靠性,科学性和先进性。本版和第1版相比在以下方面作了一系列重要调整和改动。

1. 第1卷为“工艺基础”,针对本版规定的读者对象,这一卷的提纲重新进行了编排,删去了一些不必要的原理内容,增添了“加热”一章;把钢的化学热处理分为“奥氏体状态”和“铁素体状态”化学热处理;增加了“表面热处理”和“其它热处理”的份量,把原来“磁性和弹性合金的热处理”扩大为“功能合金的热处理”,使手册内容更符合“实用性”和“先进性”的要求。

2. 在第2卷“典型零件的热处理”中,除合理调整原有各章内容外,增加了“飞机零件的热处理”和“手表、自行车、缝纫机和纺织机械零件的热处理”两章,在各章内容中对于零件的热处理畸变和控制给予了足够的重视。举出的例子不是照搬某厂的现行工艺,而是通过分析比较国内外先进工艺而优选出来的。

3. 在第3卷“热处理设备”中把电阻炉,尤其是真空热处理炉和可控气氛发生设备作为重点,增补了热处理质量的自动控制和检测的内容,对表面热处理、离子热处理、高密度能热处理和表面沉积设备也给予了必要的重视,增加了不少近代先进设备类型,在车间设计一章中增补了近代的设备设计思想和方法。

4. 第4卷为“热处理质量控制与检验方法”。从第一版的以质量检验方法为主,改为以质量控制为中心,增添了“热处理质量管理与控制”一章。把“钢的火花鉴别”一章扩大为“金属材料化学成分检验与鉴别”,把“宏观和微观组织检验”分为“宏观”和“微观”两章。在“力学性能试验”和“相变相分析方法”等章节中补充了大量近代的先进方法。把原附录中的部分有关数据在作了大量补充、编排与处理之后专门增列为一章,更便于读者查考。

由此可见,手册第2版实际上绝大部分内容是重新编写,而不是简单的修改补充,因而其内容将更为先进和实用,对生产、科研和教学一定会起到更大的作用。

《热处理手册》编辑工作委员会是一个常设机构。按照热处理专业学会第二届第三次理事扩大会议决议,手册将一版一版地修订下去,不断修改过时落后的内容,补充最新的实践经验和科研成果,使《热处理手册》永远保持为推动热处理生产技术不断进步的有力手段。

为了明确对所编写内容的责任和对编写者劳动的承认,编委会决定第2版在每卷各章署上编写者单位和作者姓名。第1版由于历史原因,未列出编写者姓名,只有编写单位名称,编写第2版时又大多易人,为了弥补这一缺陷,编委会决定将参加第1版编写的人员名单列出如下:

第1版全书主编 孙大涌 副主编 樊东黎 雷廷权

第二分册编写负责人 樊东黎 孙大涌

编写人员: 姚 枚 王中玉 高天仁 周 熙 汤锡斌 赵连成 李一平 沈焕祥

纪洪年 李必治 火树鹏 李善有 曲传江 王德尊 李志方 金达义 李惠友

肖茂名 阳春芳 李之强 彭其凤 戴贵根 雷仲眉 樊东黎

手册的编写得到了机电部科技司、机电部机械科学研究院、机电部北京机电研究所、机电部机械情报所和机械工业出版社各级领导和有关同志的大力支持,在此一并致谢。

一些为手册第1版尽过力的同志,因时隔过久难免漏记,编委会对这些同志诚挚地致歉并恳请鉴谅。

中国机械工程学会热处理专业学会
《热处理手册》第2版编委会

常用符号名称对照表

符号	名 称	单 位	符号	名 称	单 位
A	奥氏体		F	1. 铁素体	
a	1. 厚度	mm, cm	F	2. 面积	mm ² , cm ²
	2. 面积	mm ² , cm ²	f	挠度	mm
	3. 点阵常数	Å, kx	G	切变弹性模量	MPa
	4. 裂纹长度	mm			(≈0.1kgf/mm ²)
Ac ₁	加热下临界点	°C	G	石墨	
Ac ₃	亚共析钢加热上临界点	°C	H	1. 磁场强度	A/m (≈ $\frac{4\pi}{1000}$ Oe)
Ac _{cm}	过共析钢加热上临界点	°C		2. 高度	mm, cm
A _k	冲击功	J (≈0.1kgf·m)	h	高度	mm, cm
a _k	冲击韧度(冲击值)	J/cm ² (≈0.1kg·m/cm ²)	Hc	矫顽力	A/m (≈ $\frac{4\pi}{1000}$ Oe)
Ar ₁	冷却下临界点	°C	Hm	达到饱和磁感应强度时的磁场强度	A/m (≈ $\frac{4\pi}{1000}$ Oe)
Ar ₃	亚共析钢冷却上临界点	°C	HB	布氏硬度值	
Ar _{cm}	过共析钢冷却上临界点	°C	HK	努氏硬度值	
B	贝氏体		HRA	洛氏A标度硬度值	
B	1. 磁感应强度	T (特斯拉)	HRB	洛氏B标度硬度值	
		≈10 ⁴ Gs	HRC	洛氏C标度硬度值	
	2. 宽度	mm, cm	HV _{xx}	维氏硬度值, 下角注数字为载荷千克数	
B _上	上贝氏体		K	应力水平因子	
B _下	下贝氏体		K _σ	临界应力水平因子	
Br	剩余磁感	T (特斯拉)	K _{1σ}	平面应变断裂韧性	
		≈10 ⁴ Gs	L	液态相	
Bs	1. 贝氏体转变开始点	°C	L	长度	mm, cm, m
	2. 饱和磁感	T (特斯拉) ≈ 10 ⁴ Gs	M	马氏体	
C	碳化物		Md	形变诱发马氏体转变开始点	°C
c	1. 比热	J/(kg·K)	Me	金属元素代号	
	2. 点阵常数		Mf	马氏体转变终止点	°C
c _p	定压比热	J/(kg·K)	Ms	马氏体转变开始点	°C
C _v	定容比热	J/(kg·K)	N	循环次数	
COD	裂纹尖端张开位移	mm	N	牛顿	
D	1. 外径	mm, cm	n	转速	r/min, r/s, r/h
	2. 扩散系数	m ² /s			

(续)

符号	名 称	单 位	符号	名 称	单 位
d	1. 直径 2. 内径 3. 滴	mm, cm mm, cm	P P	珠光体 1. 压强 2. 外加载荷	MPa $N(\approx 0.1 \text{ kgf})$
E	正弹性模量	MPa($\approx 0.1 \text{ kgf/mm}^2$)	R	1. 半径 2. 电阻 3. 相对缩短率	mm, cm Ω %
r	1. 半径 2. 转数	mm, cm	λ	1. 热导率	$W/(m \cdot K)$ $\left(= \frac{1}{418.68} \text{ cal}/(\text{cm} \cdot \text{s} \cdot K) \right)$
RE	稀土族元素			2. 波长	$\lambda, \mu\text{m}, \text{cm}$
S	面积	mm^2, cm^2	μ	磁导率	H/m
S	索氏体		ρ	1. 密度 2. 电阻系数	kg/m^3 $\Omega \cdot \text{m}$
s	真应力	MPa		泊松比	
T	托氏体		ν	σ 相	
T	1. 温度 2. 扭矩	K, $^{\circ}\text{C}$ $N \cdot \text{m}(\approx 0.1 \text{ kgf} \cdot \text{m})$	σ	应力	MPa
t	时间	h, min, s	σ	光滑试样对称弯曲试验时的疲劳极限	MPa
V	电压		σ_{-1}	永久变形为 0.2% 时的屈服强度	MPa
V	体积	$\text{cm}^3, \text{m}^3, \text{mm}^3, \text{L}$	$\sigma_{0.2}$	抗拉强度	MPa
v	1. 速度 2. 加热速度	m/s, km/h $^{\circ}\text{C/h}, ^{\circ}\text{C/min}, ^{\circ}\text{C/s}$	σ_b	抗弯强度	MPa
v_0	蠕变速度	%/h	σ_{bb}	抗压强度	MPa
W	1. 功率 2. 宽度	W, kW mm, cm	σ_{bb}	弹性极限	MPa
α	α 相		σ_e	齿根弯曲应力	MPa
β	1. β 相 2. β 射线		σ_F	齿面最大接触应力	MPa
γ	1. γ 相 2. γ 射线		σ_H	循环周次为 N 时的疲劳极限	MPa
δ	δ 相		σ_N	比例极限	MPa
δ	1. 延伸率 2. 厚度	% mm, cm	σ_p	屈服强度	MPa
δ_5	5倍试样的延伸率	%	τ	1. 切应力 2. 时间	MPa s, min, h
δ_{10}	10倍试样的延伸率	%	ϕ	直径	mm, cm
ε	1. ε 相 2. 应变	mm/mm, %	ψ	断面收缩率	%

目 录

序

前言

常用符号名称对照表

第一章 齿轮的热处理

第一节 齿轮工作时的受力情况及其损坏特征

一、啮合齿面间的摩擦力及齿面磨损

二、齿轮齿面的接触应力及接触疲劳

三、齿轮的弯曲应力及弯曲强度

第二节 齿轮材料

一、齿轮用钢

二、齿轮用铸铁和非铁金属

第三节 齿轮的热处理工艺

一、齿轮的调质

二、齿轮的表面淬火

第四节 齿轮的化学热处理

一、齿轮的渗碳和碳氮共渗

二、齿轮的渗氮和氮碳共渗

第二章 滚动轴承零件的热处理

第一节 一般用途滚动轴承零件的热处理

一、铬钢滚动轴承零件的一般热处理

二、铬钢滚动轴承零件的感应热处理

三、一般铬钢轴承零件在各种设备中热处理的工艺

四、渗碳钢制中小型轴承零件的热处理

五、中碳合金钢轴承零件的热处理

第二节 特大、特小、特轻精密轴承零件的热处理

一、特大及重大型轴承零件的热处理

二、微型轴承零件的热处理

三、精密轴承零件的热处理

四、超轻、特轻轴承套圈的热处理

五、铁路车辆轴承零件的热处理

第三节 特殊用途轴承零件的热处理

一、耐腐蚀轴承零件的热处理

二、耐高温轴承零件的热处理

三、防磁轴承零件的热处理

第四节 其他轴承零件的热处理

一、保持架、铆钉等零件的热处理

二、冲压滚针轴承套圈等零件的热处理

第三章 弹簧的热处理

第一节 弹簧的分类、工作条件和性能要求

一、弹簧的分类

二、弹簧的工作条件

三、对弹簧的性能要求

第二节 弹簧用钢

一、热轧弹簧钢

二、弹簧钢丝和钢带

三、不锈钢弹簧钢

第三节 弹簧的最终热处理

一、弹簧的一般热处理

二、弹簧的其他强化处理

第四节 弹簧的特殊处理

一、喷丸处理

二、弹簧应力松弛和强压处理

第五节 耐热弹簧的热处理

第四章 紧固件的热处理

第一节 螺纹紧固件

一、通用螺纹紧固件

二、专用螺纹紧固件

第二节 垫圈、挡圈、销和铆钉

一、弹簧垫圈($\phi 2 \sim \phi 48$)

二、销

三、铆钉

第三节 质量检查和控制

一、脱碳与渗碳

二、硬度、强度、保证应力

三、再回火试验

第五章 汽车、拖拉机及柴油机零件的热处理

第一节 活塞环

一、技术要求和使用材料

二、活塞环的热处理工艺	177	二、履带板的热处理工艺	230
三、质量检验要求	179	三、质量检验	232
第二节 活塞销	181	第六章 金属切削机床零件的热处理	
一、技术要求和使用材料	181	第一节 机床导轨热处理	233
二、热处理工艺	182	一、服役条件及失效形式	233
三、质量检验要求	185	二、铸铁导轨的感应淬火	233
四、常见缺陷的预防及补救方法	185	三、铸铁导轨的火焰淬火	238
第三节 连杆	186	四、铸铁导轨接触电阻加热淬火	238
一、技术要求和使用材料	186	五、镶钢导轨热处理	244
二、热处理及其他强化工艺	187	六、机床导轨用材的发展	246
三、质量检验要求	189	第二节 机床主轴热处理	247
四、常见缺陷的预防及补救方法	190	一、服役条件及失效形式	247
第四节 曲轴	191	二、主轴的材料选择和热处理要求	247
一、制造曲轴的材料	191	三、主轴热处理工艺	249
二、热处理工艺	192	第三节 机床丝杠热处理	253
第五节 凸轮轴	198	一、丝杠的功能及材料和热处理	
一、制造凸轮轴的材料	198	的选择	253
二、凸轮轴的感应热处理	199	二、梯形螺纹丝杠的热处理	255
三、凸轮轴的化学热处理	201	三、滚珠丝杠的热处理	258
四、球墨铸铁凸轮轴的热处理	202	四、特殊条件下工作的丝杠	260
五、凸轮轴的其他强化方法	202	第四节 机床铸件稳定化处理	262
第六节 气门挺杆	203	一、概述	262
一、气门挺杆材料	203	二、天然稳定化处理	262
二、钢制气门挺杆的热处理	204	三、热稳定化处理	263
三、合金铸铁气门挺杆的热处理	206	四、振动稳定化处理	264
第七节 排气阀	209	第五节 机床其他零件热处理	267
一、技术要求及使用材料	210	一、机床附件热处理	267
二、排气阀的热处理工艺	211	二、机床离合器零件热处理	269
三、排气阀的热处理质量检验	215	三、弹簧卡头的热处理	270
四、排气阀热处理常见缺陷的预防		第七章 气动工具及钻探机械零件的热处理	
及补救方法	215	第一节 凿岩机活塞	273
第八节 半轴	215	一、工作条件及失效形式	273
一、技术要求及使用材料	216	二、制造活塞的材料	273
二、半轴的热处理工艺	217	三、20CrMnMo钢活塞的热处理	274
三、半轴热处理质量检验	222	四、35CrMoV钢活塞的热处理	276
四、半轴热处理常见缺陷的预防		五、钒钢活塞的热处理	277
及补救方法	222	第二节 凿岩机主要渗碳件的热处理	279
第九节 油泵柱塞副和喷油嘴偶件	223	一、工作条件及失效形式	280
一、技术要求及使用材料	223	二、技术条件及使用材料	281
二、柱塞副和喷油嘴偶件的热处理		三、制造工艺路线	282
工艺	224	四、热处理工艺	282
第十节 履带板	229	五、渗碳件热处理的质量检验	283
一、技术要求及使用材料	229	六、热处理常见缺陷及防止方法	284

第三节 凿岩用钎头.....	285	二、大锻件的扩氢计算.....	317
一、工作条件及失效形式.....	285	三、大锻件的晶粒细化问题.....	319
二、技术条件及使用材料.....	285	四、锻后热处理工艺制订原则与 工艺参数.....	319
三、制造工艺路线.....	286	五、大锻件锻后热处理的基本工艺类型 与典型工艺曲线.....	319
四、热处理工艺.....	286	第二节 大型锻件的最终热处理.....	325
第四节 凿岩机钎尾及成品钎杆的热 处理.....	286	一、大锻件淬火、正火时的加热.....	325
一、工作条件及失效形式.....	286	二、大锻件淬火、正火时的冷却.....	328
二、技术条件和使用材料.....	287	三、大锻件的回火.....	336
三、制造工艺路线.....	288	四、大锻件最终热处理工艺举例.....	341
四、热处理工艺.....	289	五、大锻件热处理后的力学性能.....	343
五、技术要求和质量检验.....	289	第三节 大锻件的化学热处理.....	346
第五节 其他气动工具零件的热处理.....	290	一、大型重载齿轮的深层渗碳.....	346
第六节 牙轮钻机三牙轮钻头.....	292	二、大锻件的渗氮处理.....	347
一、工作条件及失效形式.....	292	第四节 大锻件的其他热处理工艺.....	347
二、技术条件和使用材料.....	292	一、锻件切削加工后的去应力退火.....	347
三、制造工艺路线.....	293	二、锻件矫直加热与回火工艺.....	348
四、热处理工艺.....	293	三、电渣焊接件的热处理工艺.....	349
五、质量检验.....	294	第十章 轧辊的热处理.....	
第七节 钻探机械钻具的热处理.....	295	第一节 热轧辊的热处理.....	351
一、工作条件及损坏形式.....	295	一、热轧辊的种类及技术要求.....	351
二、技术条件和使用材料.....	296	二、热轧辊制造工艺路线.....	352
三、钻具的制造工艺路线.....	296	三、锻后热处理(正火+回火).....	352
四、钻具的热处理.....	296	四、调质.....	352
五、钻具热处理的质量检验.....	299	第二节 冷轧工作辊的热处理.....	353
六、钻具热处理常见缺陷及防止方法.....	299	一、冷轧工作辊的种类和技术要求.....	353
第八章 农机具典型零件的热处理.....		二、冷轧工作辊用钢.....	354
第一节 耕作机械典型零件的热处理.....	301	三、冷轧工作辊制造工艺路线.....	354
一、犁铧材料及其热处理.....	301	四、锻后热处理.....	354
二、犁壁材料及其热处理.....	303	五、调质.....	355
三、圆盘材料及其热处理.....	304	六、淬火与回火.....	356
四、锄铲材料及其热处理.....	306	第三节 支承辊的热处理.....	362
五、旋耕刀材料及其热处理.....	307	一、支承辊的种类和技术要求.....	362
第二节 收割机刀片材料及其热处理.....	307	二、支承辊用钢.....	363
第三节 畜牧机械典型零件热处理.....	309	三、支承辊制造工艺路线.....	363
一、粉碎机锤片材料及其热处理.....	309	四、锻后热处理.....	364
二、粉碎机筛片材料及其热处理.....	310	五、预备热处理.....	364
三、环模材料及其热处理.....	311	六、最终热处理.....	365
四、剪毛机刀片材料及其热处理.....	311	第十一章 电站设备锻件的热处理.....	
第四节 小农具材料及其热处理.....	313	第一节 汽轮机转子和汽轮发电机转子 的热处理.....	367
第九章 大型锻件的热处理.....		一、汽轮机转子和汽轮发电机转子	
第一节 大型锻件的锻后热处理.....	315		
一、大锻件中的白点与氢脆.....	315		

对材料性能的要求.....	367	第二节 齿轮泵零件的热处理.....	421
二、汽轮机转子和汽轮发电机用钢.....	368	一、齿轮的热处理.....	421
三、汽轮机转子和汽轮发电机转子的热处理.....	372	二、齿轮泵轴的热处理.....	422
第二节 汽轮发电机无磁性护环的热处理.....	377	三、泵体的热处理.....	422
一、护环对材料性能的要求.....	377	第三节 叶片泵零件的热处理.....	424
二、护环用钢.....	377	一、转子的热处理.....	424
三、护环的热处理.....	378	二、定子的热处理.....	425
第三节 汽轮机叶轮的热处理.....	380	三、叶片泵轴的热处理.....	425
一、汽轮机叶轮对材料性能的要求.....	380	四、叶片的热处理.....	425
二、汽轮机叶轮用钢.....	380	五、配油盘的热处理.....	425
三、叶轮的热处理.....	381	第四节 柱塞泵零件的热处理.....	428
第四节 电站锻件的质量检验.....	383	第五节 液压阀零件的热处理.....	430
一、超声波探伤.....	383	一、滑阀的热处理.....	430
二、转子的中心孔检查.....	383	二、阀座的热处理.....	431
三、残余应力测量.....	383	三、提动阀和提动阀座的热处理.....	431
四、FATT试验.....	384	第六节 液压元件的零件热处理的质量检验.....	432
第十二章 石油化工机械零件的热处理		第十四章 工具的热处理	
第一节 泥浆泵零件的热处理.....	386	第一节 工具用钢.....	434
一、液缸的热处理.....	386	一、工具用钢的选择.....	434
二、缸套的热处理.....	387	二、工具钢的技术条件.....	436
三、阀体与阀座的热处理.....	390	第二节 工具的热处理工艺.....	437
四、活塞杆的热处理.....	391	一、碳钢工具的热处理.....	437
第二节 钻机绞车零件的热处理.....	392	二、合金钢工具的热处理.....	441
一、刹车鼓的热处理.....	392	三、高速钢工具的热处理.....	444
二、石油钻机链条的热处理.....	394	第三节 工具热处理后的金相检验.....	453
第三节 钻采工具的热处理.....	397	一、碳钢工具显微组织的检验.....	453
一、吊环的热处理.....	397	二、合金钢工具显微组织的检验.....	453
二、吊卡的热处理.....	400	三、高速钢工具显微组织的检验.....	455
三、钻杆接头的热处理.....	401	四、工具热处理缺陷显微检验举例.....	459
四、抽油杆的热处理.....	403	第四节 工具热处理举例.....	460
五、公母锥的热处理.....	404	一、铰刀的热处理.....	460
第四节 钻机齿轮的热处理.....	406	二、手用锯条的热处理.....	461
一、石油钻机螺旋锥齿轮.....	406	三、手用丝锥的热处理.....	461
二、转盘齿轮的热处理.....	407	四、圆板牙的热处理.....	462
第五节 化工机械零件的热处理.....	409	五、手用铰刀的热处理.....	463
一、压力容器的热处理.....	409	六、搓丝板的热处理.....	464
二、典型容器的热处理.....	415	七、圆滚模的热处理.....	465
三、压缩机阀片的热处理.....	417	八、车刀的热处理.....	466
四、低温压缩机壳体的热处理.....	418	九、拉刀的热处理.....	467
第十三章 液压元件的零件热处理		十、齿轮刀具的热处理.....	470
第一节 概述.....	421	十一、小型高速钢刀具的热处理.....	471
		十二、高速钢对焊刀具的热处理.....	473

十三、常用五金和木工工具的热处理.....	474	四、量块热处理.....	527
第十五章 模具的热处理		五、螺纹环规和塞规的热处理.....	528
第一节 冷作模具的热处理.....	477	第十七章 手表、自行车、缝纫机及纺织机	
一、冷作模具的类别及工作条件.....	477	械零件的热处理	
二、冷作模具用钢.....	477	第一节 手表零件的热处理.....	530
三、冷作模具的热处理工艺.....	479	一、手表零件用材与一般热处理工艺.....	530
第二节 热作模具的热处理.....	487	二、手表零件的典型热处理	
一、热作模具的工作条件.....	487	工艺.....	533
二、热作模具的主要失效形式.....	487	三、手表零件热处理质量检验要求.....	537
三、热作模具用钢的选用.....	488	四、手表零件热处理质量问题分析.....	537
四、热作模具的热处理工艺.....	489	第二节 自行车零件的热处理.....	540
第三节 成形模具的热处理.....	500	一、自行车零件的热处理工艺.....	542
一、成形模具的工作条件.....	500	二、自行车零件热处理后质量检验.....	547
二、成形模具的硬度要求.....	501	第三节 缝纫机零件的热处理.....	548
三、成形模具用钢.....	501	一、家用缝纫机零件的热处理.....	548
四、成形模具的热处理工艺.....	502	二、工业用缝纫机零件的热处理.....	554
第四节 模具的热处理畸变.....	506	第四节 纺织机械典型零件的热处理.....	560
一、模具热处理的畸变方式.....	507	一、工作条件及材料选择.....	560
二、控制和减少热处理畸变的措施.....	508	二、热处理工艺.....	565
三、模具的允许畸变量.....	511	三、热处理质量检验.....	568
第五节 模具热处理常见缺陷,产生的原因		四、常见的热处理缺陷及防止方法.....	569
及防止措施.....	511	第十八章 飞机零件的热处理	
第六节 高强韧模具材料、强韧化处理		第一节 飞机零件材料及性能要求.....	571
及表面强化工艺的应用.....	512	一、对材料性能的要求.....	571
一、高强韧模具材料的应用及效果.....	512	二、飞机零件常用材料及热处理.....	571
二、模具的强韧化处理及应用效果.....	514	第二节 典型零件的热处理.....	576
三、模具的表面强化及应用举例.....	514	一、飞机起落架零件.....	576
第十六章 量具的热处理		二、导轨.....	578
第一节 量具用钢.....	517	三、航空发动机涡轮盘.....	579
一、对量具用钢的要求.....	517	四、TC11钛合金压机盘.....	580
二、量具常用钢种.....	517	五、叶片.....	580
第二节 量具热处理工艺.....	519	六、行星齿轮.....	583
一、制造工艺路线简介.....	519	七、轴.....	584
二、预备热处理.....	519	八、接头.....	585
三、最终热处理.....	520	九、60Si2MnA钢弓形弹簧.....	585
四、原材料和热处理与磨削加工		十、油泵活门与衬套.....	586
的关系.....	522	第三节 热处理质量控制.....	587
五、对量具热处理后硬度和显微组织		一、材料的质量控制.....	587
的要求.....	523	二、设备的质量控制.....	588
第三节 典型量具热处理.....	524	三、工艺的质量控制.....	590
一、百分表零件热处理举例.....	524	索 引	593
二、游标卡尺零件热处理举例.....	525		
三、千分尺零件热处理举例.....	526		

第一章 齿轮的热处理

机电部郑州机械研究所 陈国民

第一节 齿轮工作时的受力情况及其损坏特征

齿轮在传递动力及改变速度的运行过程中，一对啮合齿面之间既有滚动，又有滑动，而且轮齿根部还将受到脉动或交变弯曲应力的作用。齿面和齿根在上述不同应力作用下导致不同的失效形式。这些应力中主要有三种：（1）摩擦力，（2）接触应力，（3）弯曲应力。

一、啮合齿面间的摩擦力及齿面磨损

齿面上实际存在着凹凸不平，局部会产生很大的压强，引起金属塑性变形或嵌入相对表面，导致金属直接接触和粘着，当啮合齿面相对滑动时，产生了摩擦力，齿面磨损就是由于相互摩擦的结果。齿轮磨损的种类、受力及损坏特征列于表2-1-1。提高齿轮耐磨性的方法视磨损类型而有不同，大致分为两种类型，分述如下。

表2-1-1 齿轮的磨损种类、受力及破坏特征

磨损类型	载荷及运行情况	表面破坏特征	齿轮类型举例
氧化磨损	各种大小载荷及各种滑动速度	氧化膜不断形成，又不断剥落，但磨损速度小，一般为0.1~0.5μm/h；齿面均匀分布着细致磨纹	各类齿轮
冷咬合磨损	高载荷、低滑动速度，一般V<1m/s	局部金属直接接触，粘着，不断从齿面撕离；磨损速度较大，一般为10~15μm/h；齿面有严重伤痕	低速重载齿轮
热胶合磨损	高载荷，高滑动速度，一般V>3~4m/s	高的摩擦热使润滑油膜失效，金属间直接接触，发生粘着和撕离；磨损速度一般为1~5μm/h；齿面伤痕重	高速重载齿轮
磨粒磨损	各种大小载荷及各种滑动速度	各种磨粒进入啮合齿面，嵌入形成切刃或直接切削齿面，磨损速度0.5~5μm/h；齿面有磨粒刮伤纹	矿山、水泥、农机等齿轮，各类开式齿轮

（1）减少非热影响引起的磨损，诸如氧化磨损、磨粒磨损和冷咬合磨损的关键是提高轮齿表面的塑变抗力，即提高齿面的硬度。工业中常以中硬齿面（≥320~380HB）代替软齿面（220~270HB），也常采用表面硬化处理。其中渗碳（包括碳氮共渗）和渗氮（包括氮碳共渗）处理可使齿面具有更好的耐磨性。

（2）减少摩擦热而引起的胶合磨损的关键是降低啮合齿面间的摩擦，亦即降低齿面之间的摩擦系数。为此，可以提高齿轮基体硬度，并在表面形成软层以减少摩擦系数，如在碳氮共渗，渗碳，渗氮，氮碳共渗后，再在齿面上进行镀铜或镍铜合金等处理方法。

二、齿轮齿面的接触应力及接触疲劳

齿轮的接触疲劳破坏是由于作用在齿面上的接触应力超过了材料的疲劳极限而产生的，

在齿轮的使用过程中可以看到, 软齿面齿轮往往以麻点破坏为主, 硬齿面齿轮则以疲劳剥落为主。

(一) 几种剥落形式

1. 表层麻点剥落

麻点的形成与表面金属的塑性变形密切相关, 而且由于摩擦力的存在, 疲劳裂纹大多在表面萌生, 裂纹的扩展则是由于润滑油的挤入而产生油楔入作用的结果。对于麻点的产生, 目前尚未建立其力学判据, 然而, 提高齿面硬度, 改善齿面接触状态, 可以有效地提高形成麻点抗力。

2. 浅层剥落

当接触面下某一点的正交切应力大于某一数值, 就可产生疲劳裂纹而引起剥落。

3. 硬化层的深层剥落

这是由于齿轮经表面硬化处理后, 表层产生的残余应力与接触应力叠加的结果。往往在硬化层与心部交界处形成切应力与抗切强度之比达到最大, 就成为薄弱环节, 从而产生深层剥落。

(二) 影响接触疲劳强度的某些物理冶金因素

1. 钢中非金属夹杂物

一般说来塑性夹杂物影响较小, 脆性夹杂物危害最大, 球状夹杂物的影响介于二者之间, 故采用净化冶炼钢材可提高齿轮的接触疲劳寿命。

2. 钢材的纤维流向

表2-1-2的试验数据给出了钢材纤维流向对接触疲劳寿命的影响。

表2-1-2 钢材的纤维流向与接触疲劳寿命的关系

类 型	工作面与纤维流向夹角	寿 命 比
I	0°	2.5
II	45°	1.8
III	90°	1.0

据此, 应当重视齿轮锻造或压延毛坯的纤维流向分布。

3. 齿面脱碳

渗碳齿轮失效分析表明, 当齿面贫碳层为0.2mm, 表面碳含量为0.3~0.6%时, 70%左右的疲劳裂纹起源于贫碳层。

4. 黑色组织

黑色组织是齿轮在渗碳和碳氮共渗处理时容易产生的一种缺陷组织。当其深度达到一定程度时, 就会对接触疲劳寿命产生不利影响, 表2-1-3所列是试验结果。

5. 碳化物

渗碳或碳氮共渗齿轮表层中的碳化物形态、大小及分布状况对接触疲劳寿命的影响很大, 表2-1-4可以充分说明这一点。

6. 齿面喷丸强化

渗碳齿轮表面采用合适的喷丸工艺可以延长接触疲劳寿命, 表2-1-5是其一例。

表2-1-3 黑色组织对接触疲劳寿命的影响

碳氮共渗层深 (mm)	黑色组织层深 (mm)	在3600MPa的应力下 出现麻点的周次N
0.92~0.95	0	55.9×10^6
0.8	0.025	7.7×10^6
1.0~1.1	0.07~0.08	0.46×10^6

表2-1-4 碳化物对渗碳接触疲劳寿命的影响

碳化物形态及分布	平均寿命(h)	寿命比
大块和粗粒带状碳化物	183.1	1
聚集的颗粒带状碳化物	262.8	1.43
较分散的颗粒带状碳化物	399.5	2.18

表2-1-5 喷丸工艺对汽车变速箱渗碳齿轮弯曲疲劳及接触疲劳性能的影响

喷丸工艺	弯 曲 疲 劳 试 验			接 触 疲 劳 试 验		
	寿命范围周次 ($\times 10^6$)	平均寿命周次 ($\times 10^6$)	寿 命 比	寿命范围周次 ($\times 10^6$)	平均寿命周次 ($\times 10^6$)	寿 命 比
不 喷 丸	0.167~1.83	0.75	1.00	3.15~4.41	3.85	1.00
一般喷丸	2.16~2.76	2.46	3.28	1.88~2.21	2.08	0.54
加强喷丸	2.19~4.41	3.24	4.32	4.89~5.20	5.06	1.31

注：1. 喷丸工艺：喷丸在转台喷丸机上进行，铁丸尺寸为 $\phi 0.6 \sim 1.0\text{mm}$ ，喷射速度为 58.3m/s ，转台每转一圈将零件转 90° ，一般喷丸共喷四圈，强化喷丸喷八圈。

2. 齿轮用 $20\text{Mn}_2\text{TiB}$ 钢制造，经气体渗碳(层深 $1.0 \sim 1.3\text{mm}$)、淬火及回火。

3. 试验在封闭式变速箱试验台上进行，中间轴挂一档作运转试验，以中轴一档齿轮的损坏为寿命的标准。第一轴转速 1450r/min ，第一轴扭矩：作弯曲疲劳试验时为 $441\text{N}\cdot\text{m}$ ，作接触疲劳试验时为 $362.6\text{N}\cdot\text{m}$ 。

三、齿轮的弯曲应力及弯曲强度

齿轮在受载运行中，齿根部受到最大振幅的脉动或交变弯曲应力的作用。提高轮齿弯曲疲劳强度的基本途径是提高齿根处材料的强度(硬度)。图2-1-1所示为齿轮材料的硬度与双向和单向弯曲疲劳极限之间的关系。

影响轮齿弯曲疲劳强度的一些物理冶金因素如下：

(1) 非金属夹杂物 作为微形缺口，引起应力集中，而使弯曲疲劳强度降低。

(2) 表面脱碳 将使弯曲疲劳极限降低，特别对于表面硬度高的齿轮，可使弯曲疲劳极限降低 $1/2 \sim 2/3$ 。表2-1-6是三种合金结构钢表面脱碳对弯曲疲劳的影响。

(3) 马氏体 只有经过适当回火的马氏体才有良好的疲劳强度。

(4) 非马氏体组织 淬火钢表层含有5%非马氏体组织时，弯曲疲劳极限将降低10%。图2-1-2是非马氏体组织对弯曲疲劳极限的影响。

(5) 残余应力 试验表明，当材料中已经存在微细裂纹时，残余压应力可抑制裂纹的扩展；而当残余压应力层深约为裂纹深度的5倍时，即可消除裂纹的影响，如图2-1-3所示。

齿根喷丸强化可以有效地提高弯曲疲劳强度，这与形成压应力层有密切关系。

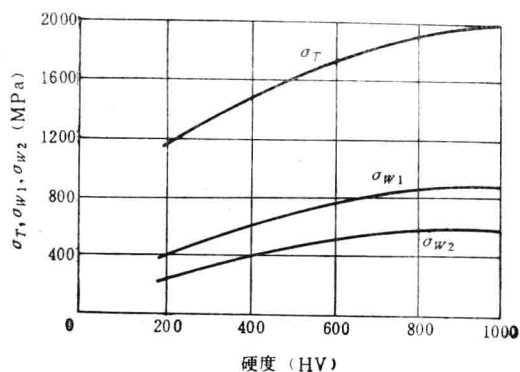


图2-1-1 齿轮材料的硬度与双、单向弯曲疲劳极限之间的关系

σ_T —实际断裂应力 σ_{W1} —单向弯曲疲劳强度

σ_{W2} —双向弯曲疲劳强度