

典型机械零件**热**处理

齐齐哈尔第一机床厂
齐重数控装备股份有限公司

热处理厂/编著

兵器工业出版社

典型机械零件 热处理

齐齐哈尔第一机床厂 热处理厂 编著
齐重数控装备股份有限公司

兵器工业出版社

内 容 简 介

本书主要介绍了机床典型零件的热处理工艺,大型锻件、铸钢件、铸铁件的热处理工艺,热处理质量检验方法及常见缺陷的防止,并选取了硬度对照表、常用钢材化学成分表、设备规格与参数等。本书可供在企业中从事热处理专业的生产、技术人员、质量检验人员阅读和参考。

图书在版编目(CIP)数据

典型机械零件热处理/齐齐哈尔第一机床厂,齐重数控装备股份有限公司热处理厂编著. —北京:兵器工业出版社, 2005. 11

ISBN 7-80172-489-5

I. 典... II. ①齐... ②齐... ③热... III. 机械元件—热处理 IV. TG162.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 114006 号

出版发行:兵器工业出版社

发行电话:010-68962596, 68962591

邮 编:100089

社 址:北京市海淀区车道沟 10 号

经 销:各地新华书店

印 刷:北京市后沙峪印刷厂

版 次:2005 年 11 月第 1 版第 1 次印刷

印 数:1-1250

责任编辑:刘燕丽

封面设计:底晓娟

责任校对:王 绛

责任印制:赵春云

开 本:880×1230 1/32

印 张:9.625

字 数:263 千字

定 价:21.80 元

(版权所有 翻印必究 印装有误 负责调换)

《典型机械零件热处理》编委会

主 任 刘建荣

副 主 任 石志民 郭长城

委 员 王志翔 王晶琦

主 编 李瑞彬

副 主 编 王廷广 李景春 李 强

编写人员 王家行 吕长君 刘永信

米萍萍 周有良

前 言

随着科学技术的迅速发展，机械制造业发展很快，机床向着高速、高精度、重载荷、复合化趋势发展，其精度保持性好坏与关键零件的制造精度、装配精度有直接关系，热处理工艺起着至关重要的作用。

本书共分四章及附录。第一章机床典型零件的热处理；第二章大型锻件的热处理；第三章铸钢件和铸铁件的热处理；第四章常见热处理质量检验和常见缺陷的防止；附录选列了硬度对照表、常用钢材的化学成分、设备规格与参数。书中一部分实例结合了机床厂热处理设备现状对机床零件、大型锻件、铸钢件、铸铁件的热处理工艺进行了详细介绍，由理论到实践，深入浅出；另一部分实例则是对填补国内热处理工艺空白进行的大胆探索，同时对热处理生产中的变形、开裂等问题做了详细分析。

本书归纳总结了齐齐哈尔第一机床厂、齐重数控装备股份有限公司热处理厂自建厂以来，几代热处理技术人员和工人通过理论与实践相结合积累的丰硕成果，为企业今后从事热处理工作的技术人员、生产工人进一步提高工作水平奠定了一定基础。

本书在编写工作中，得到了齐齐哈尔第一机床厂厂长兼总工程师、齐重数控装备股份有限公司董事长刘建

荣，齐齐哈尔第一机床厂常务副厂长、齐重数控装备股份有限公司副总经理石志民、齐齐哈尔第一机床厂副厂长、齐重数控装备股份有限公司总经理郭长城，齐齐哈尔第一机床厂副总工程师王志翔、副总工程师王晶琦给予的正确领导。黑龙江省热处理协会秘书长贾玉山，中国热处理协会秘书长佟晓辉，兵器工业新技术推广研究所吕德龙高级工程师，在我们组织、编写和出版本书的工作中给予了有力的指导、极大的支持和热情的帮助，在此我们表示诚挚的谢意。同时也对多年来关心和支持齐齐哈尔第一机床厂、齐重数控装备股份有限公司热处理厂进步与发展的企业工程技术人员和工人师傅及社会各界人士表示衷心的感谢。在此书中如有理论观点不精确，实践总结不精辟的方面，恳请广大读者给予指正。

编 者

2005 年 11 月

目 录

第一章 机床典型零件的热处理	1
第一节 预备热处理——正火、退火和调质	1
第二节 钢的淬火和回火	19
第三节 感应加热热处理	50
第四节 火焰表面加热淬火	82
第五节 化学热处理	87
第二章 大型锻件的热处理	125
第一节 大型锻件的热处理	125
第二节 压力容器件的热处理	155
第三节 叶轮的热处理	162
第四节 轧辊的热处理	170
第三章 铸钢件和铸铁件的热处理	178
第一节 铸钢件热处理的一般问题	178
第二节 铸钢件的热处理工艺	181
第三节 铸铁件及其热处理	190
第四章 常见热处理质量检验和常见缺陷的防止 ...	205
第一节 预备热处理零件的质量检验及缺陷 防止	205
第二节 最终热处理零件的质量检验及缺陷 防止	210

第三节	表面热处理零件的质量检验及缺陷防止	218
第四节	化学热处理的质量检验及控制	223
第五节	实例	234
附录 1	硬度对照表	262
附录 2	常用钢材的化学成分	266
附录 3	设备规格与参数	286
参考文献		298

第一章 机床典型零件 的热处理

机床典型零件的热处理工艺分两类，即预备热处理和最终热处理。预备热处理的目的在于消除先前加工所造成的某些缺陷，如钢材晶粒粗大、带状组织等，为后来的冷加工工序及最终热处理做好组织准备。最终热处理包括淬火、回火、表面热处理和化学热处理，满足机床零件在使用条件下的性能要求。

第一节 预备热处理——正火、 退火和调质

一、正火

正火是将钢材或钢件加热到 Ac_3 （或 Ac_{cm} ）以上适当温度，保温适当时间后在空气中冷却，得到珠光体类组织的热处理工艺。通过正火可以细化组织晶粒或消除过共析钢的网状渗碳体，改善零件的切削加工性能，增加零件尺寸稳定性，减少淬火变形及开裂倾向，改善焊缝及焊接热影响区的组织和力学性能，为最终热处理做好组织准备。

（一）工艺规范

1. 加热温度

常用钢材的正火加热温度见表 1-1、表 1-2。

2. 保温时间

电炉加热保温时间 = 零件有效厚度 × 保温系数 × 装炉系数，不同钢种的保温系数见表 1-3。

典型机械零件热处理

表 1-1 常用结构钢退火及正火工艺规范

钢 号	临界点 (°C)			退 火			正 火	
	Ac ₁	Ac ₃	Ar ₁	加热温度 (°C)	冷却	硬度 (HB)	加热温度 (°C)	硬度 (HB)
08				960 ~ 1000				≤131
15							910 ~ 940	≤143
35	724	802	680	850 ~ 880	炉冷	≤187	860 ~ 890	≤191
45	724	780	682	800 ~ 840	炉冷	≤197	840 ~ 870	≤226
45Mn2	715	770	640	810 ~ 840	炉冷	≤217	820 ~ 860	187 ~ 241
20MnVB							880 ~ 900	143 ~ 187
40MnB	730	780	650	820 ~ 860	炉冷	≤207	850 ~ 900	197 ~ 207
40CrNi	731	769	660	820 ~ 850	炉冷 <600 °C		870 ~ 900	≤250
40CrNiMoA	732	774		840 ~ 880	炉冷	≤229	890 ~ 920	
65Mn	726	765	689	780 ~ 840	炉冷	≤229	820 ~ 860	≤269
60Si2Mn	755	810	700	760 ~ 780		179 ~ 229	830 ~ 860	≤254
50CrV	752	788	688	830 ~ 850		179 ~ 229	850 ~ 880	≤288
20	735	855	680				890 ~ 920	≤156
20Cr	766	838	702	860 ~ 890	炉冷	≤179	870 ~ 900	≤207
40Cr	743	782	693	830 ~ 850	炉冷	≤207	850 ~ 870	≤250
35CrMo	755	800	695	830 ~ 850	炉冷	≤229	850 ~ 870	≤241
20CrMnTi	740	825	650				950 ~ 970	156 ~ 207
20CrMnMo	710	830	620	850 ~ 870	炉冷	≤217	870 ~ 900	
20CrNi2Mo							910 ~ 930	≤220
18Cr2Ni4W							940 ~ 950	经 680 °C 高温回火 后 ≤250
2Cr13				860 ~ 880	炉冷	≤187		
42SiMn							860 ~ 880	
42CrMo							850 ~ 900	

第一章 机床典型零件的热处理

续表

钢 号	临界点 (°C)			退 火			正 火	
	Ac ₁	Ac ₃	Ar ₁	加热温度 (°C)	冷却	硬度 (HB)	加热温度 (°C)	硬度 (HB)
40MnVB							860 ~ 900	经 680 ~ 720 °C 回火后 179 ~ 229
38CrMoAlA	800	940	730	840 ~ 870	炉冷	≤187	930 ~ 970	经 700 ~ 720 °C 回火后 179 ~ 229

表 1-2 常用工具钢退火及正火工艺规范

钢 号	临界点 (°C)			退 火			正 火	
	Ac ₁	Acm	Ar ₁	加热温度 (°C)	等温温度 (°C)	硬度 (HB)	加热温度 (°C)	硬度 (HB)
T8、T8A	730		700	740 ~ 760	650 ~ 680	≤187	760 ~ 780	241 ~ 302
T10、T10A	730	800	700	750 ~ 770	680 ~ 700	≤197	800 ~ 850	255 ~ 321
T12、T12A	730	820	700	750 ~ 770	680 ~ 700	≤207	850 ~ 870	269 ~ 341
9Mn2V	736	765	652	760 ~ 780	670 ~ 690	≤229	870 ~ 880	—
9SiCr	770	870	730	790 ~ 810	700 ~ 720	197 ~ 241	—	—
CrWMn	750	940	710	770 ~ 790	680 ~ 700	207 ~ 255	980	经 680 °C 回火后 ≤270
GCr 6				780 ~ 800	700 ~ 730	179 ~ 229		
GCr15	745	900	700	790 ~ 810	710 ~ 720	207 ~ 229	900 ~ 950	270 ~ 390
GCr15SiMn							900 ~ 930	270 ~ 390
Cr12MoV	810	—	760	850 ~ 870	720 ~ 750	207 ~ 255	—	—
W18Cr4V	820	—	760	850 ~ 880	730 ~ 750	207 ~ 255	—	—
W6Mo5Cr 4V2				850 ~ 870	740 ~ 750	≤255	—	—
5CrMnMo	710	760	650	850 ~ 870	~ 680	197 ~ 241	—	—
5CrNiMo	710	770	680	850 ~ 870	~ 680	197 ~ 241	—	—
3Cr2W8	820	1100	790	850 ~ 860	720 ~ 740	—	—	—

典型机械零件热处理

表 1-3 电炉加热的保温系数

钢 种	保温系数 (min/mm)	
	退 火	正 火
碳素结构钢	1.5 ~ 1.8	1.0 ~ 1.5
合金结构钢	1.8 ~ 2.0	1.2 ~ 1.8
合金工具钢	2.0 ~ 3.0	

(1) 有效厚度

① 圆棒形零件以直径为有效厚度。

② 扁平零件以其截面厚度为有效厚度。

③ 实心圆锥体以距大端 $1/3$ 处直径为有效厚度。

④ 套类零件高度不大于 1.5 倍壁厚时，以高度为有效厚度；当高度大于 1.5 倍壁厚时，以 1.5 倍壁厚为有效厚度；外径与内径比值大于 7 而内径小于 50 mm 时，以外径为有效厚度。

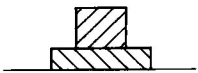
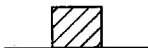
⑤ 阶梯轴或截面大小突变的零件，以较大直径或较厚截面为有效厚度，但加热系数选用下限；如截面尺寸相差太大，可以直径或截面的平均值为有效厚度。

⑥ 当零件形状较复杂时，以零件的主要部分为有效厚度。

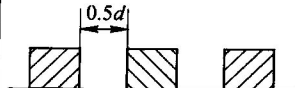
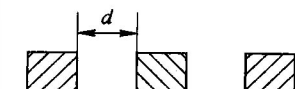
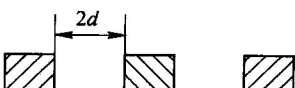
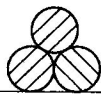
⑦ 球体以球径 $\times 0.6$ 为有效厚度。

(2) 装炉系数 按工件不同的装炉方式选用不同的加热系数。根据装炉量及装炉方法的不同，装炉系数是不一样的，装炉量增多，保温时间适当延长；密集堆放的要比有间隙放置的保温时间长些。装炉系数一般在 1~4 之间，见表 1-4。

表 1-4 方钢坯与圆钢坯在炉中的安排方式与加热系数的关系

钢坯安排方式	加热系数	钢坯安排方式 (间距同左图)	加热系数
	1		1
	1.4		1

续表

钢坯安排方式	加热系数	钢坯安排方式 (间距同左图)	加热系数
	4		2
	2.2		1.4
	2		1.3
	1.8		1.8

3. 冷却方式

正火应在空气中散开冷却，不允许堆放或置于潮湿的地上冷却，大件或要求硬度高的零件可放在流动空气或其他介质中冷却；为消除网状碳化物的正火，允许在油中冷却到 700 °C 左右再转入空冷。

(二) 加热设备

① 正火主要采用箱式或井式加热炉。对光坯件、加工余量小的工件和返修件也可采用气体渗碳炉或盐浴炉。

② 在加热设备正常装炉量的情况下，有效加热区内的温度允许偏差最大值为 ± 25 °C。

③ 燃料加热炉的火焰不能直接与零件接触。

④ 热电温度测定仪表的读数总偏差应不超过表 1-5 的范围。

典型机械零件热处理

表 1-5 热电测温仪表测温时允许的最大偏差

给定温度 T (°C)	温度总偏差 (°C)
≤ 400	± 4
> 400	$\pm T/100$

(三) 操作方法及注意事项

① 零件装炉时，必须放置于预先确定的有效加热区内。装炉量、装炉方式及堆放形式的确定，应以保证零件均匀加热和冷却，且不造成有害缺陷为原则。装箱退火时，箱间距离应大于 100 mm。

② 装炉后需检查零件与电热元件电阻丝、热电偶等确无接触时，方可送电升温，在加热过程中，不得随意打开炉门。

③ 零件的升温速度主要根据化学成分、几何形状等因素来确定。对于高碳、高合金钢断面较大或形状复杂的零件，以及装箱退火零件，应采用低温装炉，加热到 500 ~ 550 °C 保温一段时间后再加热到规定温度。

④ 保温时间是从炉温达到规定温度时算起，但装炉量大时，应适当延长，对于装箱退火，通常应增加 2 ~ 3 h。

⑤ 细长与薄板零件，装炉出炉时需特别小心，以免变形。

二、退火

退火是将组织偏离平衡状态的金属或合金加热到适当的温度，保持一定时间，然后缓慢冷却以达到接近平衡状态组织的热处理工艺。通过退火可以均匀化学成分，降低硬度，消除加工硬化或内应力等，并为零件最终热处理准备合适的内部组织。其分类及应用见表 1-6。

表 1-6 钢的退火工艺分类及应用

类别	主要目的	工艺特点	应用范围
扩散退火	成分均匀化	加热至 $A_{c3} + 150 \sim 200$ °C 长时间保温后缓慢冷却	铸钢件及具有成分偏析的锻轧件等

第一章 机床典型零件的热处理

续表

类别	主要目的	工艺特点	应用范围
完全退火	细化组织, 降低硬度	加热至 $Ac_3 + 30 \sim 50\text{ }^{\circ}\text{C}$, 保温后缓慢冷却	铸、焊件及中碳钢和中碳合金钢、锻轧件等
不完全退火	细化组织, 降低硬度	加热至 $Ac_1 + 40 \sim 60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 保温后缓慢冷却	中、高碳钢和低合金钢锻轧件等 (细化程度低于完全退火)
等温退火	细化组织, 降低硬度	加热至 $Ac_3 + 30 \sim 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ (亚共析钢) 或 $Ac_1 + 20 \sim 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ (共析钢或过共析钢), 保持一定时间, 随炉冷至稍低于 A_{r1} 进行等温转变, 然后空气冷却 (简称空冷)	中碳合金钢和某些高合金钢 (组织与硬度比完全退火更为均匀)
球化退火	碳化物球状化, 降低硬度, 提高塑性	加热至 $Ac_1 + 20 \sim 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 或 $A_{cm} - 20 \sim 30\text{ }^{\circ}\text{C}$, 保温后等温冷却或直接缓慢冷却	工模具及轴承钢件、结构钢冷挤压件等
再结晶退火或中间退火	消除加工硬化	加热至 $Ac_1 - 50 \sim 150\text{ }^{\circ}\text{C}$, 保温后空冷	冷变形钢材和钢件
去应力退火	消除内应力	加热至 $Ac_1 - 100 \sim 200\text{ }^{\circ}\text{C}$, 保温后空冷或炉冷至 $200 \sim 300\text{ }^{\circ}\text{C}$ 再出炉空冷	铸钢件、焊接件及锻轧件

① 钢材的退火温度见表 1-1、表 1-2。

② 有效厚度见正火工艺。

③ 保温时间见正火工艺。

④ 退火冷却速度见表 1-7。

表 1-7 退火冷却速度表

钢 种 \ 冷 速	退火冷却速度 ($^{\circ}\text{C}/\text{h}$)	随炉冷却温度至 ($^{\circ}\text{C}$)	出炉
碳素钢	$\leq 100 \sim 200$	500 ~ 550	空冷
合金钢	$\leq 50 \sim 100$	500 ~ 550	空冷
高合金钢	$\leq 20 \sim 60$	500 ~ 550	空冷

三、调质

调质处理是指淬火后进行高温回火的工艺方法。回火后的组织是回火索氏体，它主要目的是获得既有一定强度、硬度，又有良好冲击韧性的综合机械性能。调质处理能得到细致、均匀的组织——回火索氏体，它作为预备热处理，可为随后的最终热处理如局部（感应）淬火、渗氮、渗碳等作好预备。调质后的硬度（HRC23~30）还可以进行机械加工，并获得较好的表面粗糙度。由于调质处理可得到良好的综合机械性能，能满足很多零件的机械设计要求，所以又可以作为最终热处理来进行使用。

（一）工艺规范

1. 常用钢材调质处理规范

常用钢材调质处理规范见表1-8。

表1-8 常用钢材调质处理规范

钢号	淬火		回火		调质后硬度 (HB)
	温度(℃)	冷却介质	温度(℃)	冷却介质	
35	840~860	水	550~600	空气	220~250
45	820~840	水	600~640	空气	200~230
			580~620		220~250
			540~570		250~280
50	820~840	水	580~620	空气	220~250
40Cr	820~860	油	640~680	空气	200~230
			600~640		220~250
			560~600		250~280
35SiMn	850~870	油	600~650	空气或油	220~250
42SiMn	840~860	油	640~660	空气或油	200~230
			610~630		220~250
60Si2Mn	840~860	油	650~700	空气	220~250

第一章 机床典型零件的热处理

续表

钢号	淬火		回火		调质后硬度 (HB)
	温度 (°C)	冷却介质	温度 (°C)	冷却介质	
35CrMo	850 ~ 870	油	600 ~ 660	空气	250 ~ 280
38CrMoAl	930 ~ 950	油	620 ~ 690	空气	240 ~ 300
45MnB	840 ~ 860	油	630 ~ 670	空气或油	200 ~ 230
			600 ~ 650		220 ~ 250
			550 ~ 600		250 ~ 280
40MnVB	830 ~ 850	油	600 ~ 650	空气或油	200 ~ 230
			580 ~ 620		220 ~ 250
			550 ~ 600		250 ~ 280
50Mn2	820 ~ 840	油	550 ~ 600	油、水	250 ~ 280
65Mn	810 ~ 830	油	630 ~ 680	空气	220 ~ 250
T8A	780 ~ 800	水	630 ~ 680	空气	200 ~ 230
T10A	800 ~ 820	水→油	630 ~ 680	空气	200 ~ 230
T12A	800 ~ 820	水→油	630 ~ 680	空气	200 ~ 230
GCr15	840 ~ 860	油	650 ~ 700	炉冷→空气	207 ~ 255
9Mn2V	800 ~ 820	油	630 ~ 650	空气	220 ~ 250
CrMn	850 ~ 870	油	680 ~ 700	炉冷→空气	197 ~ 241
CrWMn	840 ~ 860	油	650 ~ 700	炉冷→空气	197 ~ 241
W18Cr4V	920 ~ 950	油	700 ~ 720	炉冷→空气	≤270
Cr12MoV Cr12Mo	1020 ~ 1050	空气	680 ~ 720	炉冷→空气	207 ~ 241
2Cr13	1000 ~ 1050	油、空气	600 ~ 700	炉冷→空气	220 ~ 250

注：炉冷→空气是随炉冷到 500 °C 以下出炉空冷；T10A、T12A 钢需长时间回火

(1) 保温时间的计算 根据零件的材料、有效厚度、加热介质、装炉方式、装炉量等具体情况而定。淬火保温时间可按下列公式计算：

$$T = KaD$$