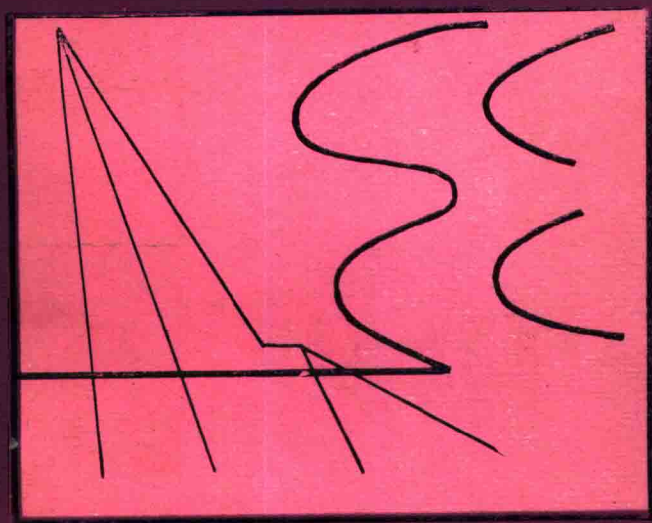


钢热处理变形的控制

姚禄年 编著



机械工业出版社

钢热处理变形的控制

姚禄年 编著

白德忠 审校



机械工业出版社

本书主要介绍了各种工具钢和工模具在热处理过程中的应力和变形的一般规律，通过大量生产实例阐述了控制变形的方法及利用变形来调整零件尺寸的措施；同时对影响变形的各种因素及其特点作了详细的论述。

本书是作者根据多年从事工具热处理工作的实践经验而写成的。实例多，实用性强。

本书可供热处理专业人员和大专院校热处理专业的师生阅读；也可作为本专业科研人员的参考资料。

钢热处理变形的控制

姚禄年 编著

白德忠 校核

责任编辑：丁文华

封面设计：刘代

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出字第117号）

中国农业机械出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

开本 787×1092 1/32·印张 7 1/8·字数 153 千字

1987年10月北京第一版·1987年10月北京第一次印刷

印数 0,004—56,730·定价：1.75 元

统一书号：15033·6860

前 言

热处理工艺是使钢铁材料获得良好性能和提高产品可靠性的重要手段之一。因此，如何提高热处理技术水平的问题，日益为人们所重视。热处理新技术、新工艺、新设备的不断出现，将在实现产品优质、高产、低成本方面发挥很大的作用。

钢件热处理时的变形是热处理过程的主要问题之一，对于一些精密零件和工、模、量具等，常因热处理变形而耗费大量的工时进行校正和修磨，甚至由于变形引起形状变化，尺寸超差而报废。因此，变形一直成为国内外热处理生产中的关键问题。多年来虽然采取各种办法加以控制，但尚未彻底解决。特别是某些精密件及工、模具等，如何减少热处理变形和提高使用寿命，仍是热处理工作者的一项重要研究课题。

减少变形最主要的途径是研究和掌握各种零件在各种不同热处理条件下，各种因素对变形的影响特点，认识产生变形的实质和规律，进而找到控制和预防变形的办法。

钢的热处理不可避免地使钢件内部产生热应力和组织应力。但其中最易造成变形的是淬火过程，因为淬火过程中加热温度高，组织比容变化大，冷却激烈等导致变形的因素较多。

介绍钢件热处理变形的理论书籍虽很多，但从实践出发，通过典型的实例来阐述变形规律的书却不多。这本书就

是从实践出发,通过典型零件实例来阐述变形的规律和介绍行之有效的防止变形的办法。本书对各种不同的工具钢零件在热处理中变形的特点进行了较详细的归纳,同时也对影响变形的各种因素和变形机理做了较为系统的分析和论述。

考虑到便于读者分析和应用,本书除按钢种类别阐明其变形特点外,对每个影响变形的因素都用具体实例加以说明。

热处理变形虽然是热处理的主要缺陷,但是,如果掌握得好,在某种程度上还可用变形来调整零件的某些尺寸精度,即通过胀大或收缩变形可使工、模具的尺寸达到一定要求,挽救某些废品,为生产服务。

在编写本书过程中,有关领导给予很大的支持和帮助,内蒙古机械工程学会热处理专业委员会的同志以及黄建洪、刘培景、西靖亚工程师等也给了许多帮助,书中许多实践数据和试验结果也是在同事们参与下完成的。姚鉴春高级工程师对书稿提出了宝贵的意见,在此表示感谢。

初稿完成后,承蒙白德忠高级工程师对全书进行审阅,并为本书写了前言,在此深表谢意。

本书是根据笔者从事本专业多年的实践经验和积累的实践资料写成的,虽几经补充、整理和改写,力求完善,但由于作者水平有限,缺点和错误定所难免,望广大读者批评指正。

作者

目 录

前言

第一章 内应力的产生和变形表现形式	1
第一节 变形表现形式	1
一、内应力塑性变形	1
二、比容变形	3
第二节 内应力作用和变形的实践	4
一、内应力的作用	4
二、常见的内应力变形实例	5
第三节 内应力的产生和应力塑性变形	10
一、热应力的形成	11
二、热应力塑性变形	14
三、组织应力和组织应力变形	16
四、零件的体积变形和总变形	19
第四节 内应力变形方向性	23
第二章 碳素结构钢变形规律	29
第一节 碳素钢水淬的变形规律	29
第二节 变形规律分析	32
第三节 影响中碳钢及中碳低合金钢淬火变形的因素	39
一、零件的截面尺寸	39
二、淬火加热温度	44
三、淬火冷却方式	45
四、回火对变形的影响	47
第四节 淬火胀大变形的控制	49
第三章 碳素工具钢变形的控制	51
第一节 淬火变形的一般规律	51

一、淬火变形特点	51
二、模具变形实例	52
第二节 影响变形的主要因素	54
一、淬火加热温度对T10A、T12A钢变形的影响	54
二、淬火加热温度对T8A钢变形的影响	63
三、硝盐淬火时的变形	66
四、回火对变形的影响	72
第三节 防止变形的办法	74
一、淬火前的准备	74
二、加热与冷却	76
三、回火工艺选择及其它措施	77
四、防止变形典型实例	78
第四节 调质处理对淬火变形的影响	80
一、对T12A钢的试验	81
二、对中碳钢和合金工具钢的试验	83
第四章 过共析低合金工具钢变形的控制	86
第一节 钢的特性	86
第二节 淬火加热温度的影响	87
一、过剩碳化物的作用	87
二、淬火变形试验	88
三、淬火变形实例	91
第三节 淬火冷却方法的影响	93
一、常用冷却方式特点分析	94
二、贝氏体区等温淬火的变形	97
三、马氏体转变区等温淬火的变形	102
第四节 回火时的变形	105
一、回火时的变形特点	105
二、回火变形试验	106
三、回火变形规律及其实质	108
第五节 预防变形的工艺选择	109

一、选择热处理工艺的依据	109
二、控制变形的工艺实例	111
第五章 高合金工具钢的变形	114
第一节 高铬合金工具钢变形的控制	114
一、淬火加热温度对变形的影响	115
二、冷却方法对变形的影响	119
三、回火对变形的影响	125
四、带状碳化物分布对变形的影响	127
五、热处理变形的工艺控制	132
第二节 高速钢的变形	136
一、刀具变形的一般表现	137
二、淬火变形试验	138
三、淬火变形控制实例	139
四、变形规律及实质	140
第三节 热锻模热处理变形	142
一、变形表现特征	142
二、热处理工艺分析	145
三、淬火变形原因	147
四、热处理工艺选定	150
第六章 渗碳和渗碳零件淬火变形	153
第一节 渗碳变形	153
一、收缩或胀大变形	153
二、不对称形状零件渗碳变形	155
三、渗碳变形分析试验	156
四、渗碳收缩变形实质	158
第二节 渗碳零件的淬火变形	159
一、渗碳层对淬火变形的影响	159
二、影响淬火变形的因素	162
第三节 不对称渗碳状态的淬火变形	166
一、淬火变形表现特征	166

二、淬火变形原因	168
第四节 渗碳零件淬火变形控制	169
一、合理选择渗碳零件用钢	169
二、合理确定零件渗碳前的加工余量	169
三、淬火加热温度和冷却方式	170
四、注意挽救变形的方便性	171
第七章 零件的畸形变形	173
第一节 弯曲变形	173
一、水淬弯曲变形	173
二、弯曲变形的实质	175
三、碳素钢零件硝盐淬火弯曲变形	177
四、合金钢不对称零件的弯曲变形	179
五、多方向性弯曲变形	180
六、影响弯曲变形的因素	182
第二节 孔型零件的畸形变形	188
一、畸形变形表现特征	188
二、变形实质和规律	189
第三节 零件畸形变形的预防	190
一、采用分段加热或缓慢加热	190
二、覆盖保护	191
三、局部预冷	192
四、控制入水方向和冷却方式	193
五、采用硝盐或碱浴淬火	193
六、等温淬火	193
第四节 零件局部淬火变形	195
第五节 高频表面淬火变形	199
一、高频表面淬火变形实例	199
二、淬火变形原因	201
第八章 变形挽救方法	203
第一节 常用校正变形方法	203

第二节 胀大变形的收缩处理	204
一、在 A_{c1} 温度下加热急冷法	204
二、铁皮或石棉覆盖淬火收缩内孔法	210
三、高温奥氏体区急冷收缩法	211
四、渗碳法	213
五、高频表面加热收缩法	213
第三节 收缩变形的胀大处理	214
一、淬火胀大法	214
二、冷处理和残余奥氏体转变的回火	215
三、其它方法	215
后记	216
参考文献	217

第一章 内应力的产生和变形表现形式

第一节 变形表现形式

在生产实践中，热处理变形的表现形式是多种多样的，有体积和尺寸的胀大和收缩变形，也有弯曲、歪扭、椭圆、翘曲等畸形变形。但就其产生的根源来说，可分为内应力造成的应力塑性变形和比容变化引起的体积变形（以下简称比容变形）两大类。

一、内应力塑性变形

1. 内应力变形的特点 钢件热处理过程中，加热冷却的不均匀和相变的不等时性等，都会引起内应力的作用，在钢件一定塑性条件的配合下，就会产生内应力塑性变形。内应力塑性变形有很明显的表现特征：

（1）变形常有明显的方向性，即由于零件形状的不同，零件上应力分布存在着特定的作用方向，因而常使零件沿固定方向产生规律性的胀大或收缩；或者是由于零件上各部分应力的不平衡而产生的各种不同规律性的畸形变形，如产生弯曲和椭圆等。

（2）内应力引起的塑性变形通常不改变零件的体积大小，只改变零件的外形结构和形状。在内应力作用下，可使零件沿某一方向延伸，同时，在另一方向收缩；也可能使零件沿某一方向产生凹凸的弯曲或其它的畸形变形，但不会使零件的体积发生变化。

（3）内应力塑性变形的最明显表现特征是：零件每经

过一次热处理内应力的作用，都要产生一次塑性变形，零件总变形量的大小随内应力作用次数的增加而增大。这也是内应力塑性变形区别于比容变形的标志之一。

2. 内应力塑性变形分类 内应力塑性变形按其应力产生根源和表现特征的不同，分为热应力塑性变形和组织应力塑性变形。

(1) 热应力塑性变形 零件在加热冷却过程中，表面和心部及各不同截面区之间，由于加热速度和冷却速度不一致形成温差，进而产生不同的热胀冷缩量差而形成热应力。在一定塑性条件下，内应力超过钢的屈服强度即形成热应力塑性变形。

热应力塑性变形最容易在淬火冷却时的 M_s 点上方区域产生，这时奥氏体的塑性条件好，且淬火冷速较快，奥氏体又有较大的热膨胀系数和低的导热性。截面厚度差别大的零件加热速度快时也容易引起热应力塑性变形。在 A_{c1} 温度下方加热急冷产生的变形，基本上也是纯热应力塑性变形。一般来讲纯热应力变形在实践中是可以获得的。

(2) 组织应力塑性变形 钢件加热冷却过程中，表面与心部及不同截面区之间的相变不等时性所产生的组织应力，在一定塑性条件配合下，应力超过钢的屈服强度后产生的应力塑性变形，即为组织应力塑性变形。

由于组织应力是比容变化引起的，所以组织应力塑性变形和比容变形常常同时表现出来。两者间虽有密切关系，但不能将组织应力塑性变形和单纯的比容变形等同起来，因为它们是有区别的。从宏观角度观察，凡是应力塑性变形的产生过程，都存在两个受力方向，胀大或收缩的一方对收缩或胀大的另一方，或者是胀大或收缩大的一方对胀大或收缩小

的另一方，互相之间产生着方向相反的拉应力或压应力，此时任意一方的塑性条件较好则被对方拉伸或压缩。在拉伸或压缩变形之后多数都又继续发生相变产生比容变形。

在生产实践中的一定条件下，采用相应的热处理工艺方法，可获得比较单纯的比容变形，而要获得单纯的组织应力变形却是不可能的。通过计算方法可以从总的变形量中推算出属于组织应力塑性变形所占的变形量。

从预防或控制组织应力变形和比容变形出发，弄清这两种变形的产生原因，相互关系和本质区别是十分必要的，因为只有这样，才能用恰当的工艺方法来控制这两种变形。

组织应力变形与钢的淬透性、零件截面尺寸、钢的 M_s 点温度的高低、淬火冷却方法等有密切关系。

二、比容变形

钢在热处理过程中，因各种相结构的组织比容不同，在相变时发生的体积和尺寸变化为比容变形。

比容变形的特点是没有明显的方向性，如果钢的组织结构均匀的话，比容变形表现在各个方向上是相同的。比容变形不会因热处理次数的增加而不断地改变零件的体积和尺寸。

单纯的比容变形在热处理实践中并不常出现，但在下列情况下的变形基本上属于单纯的比容变形。

(1) 奥氏体稳定性高的高合金钢零件，当采用较缓慢的加热方式加热，并在淬火冷却时采用多次分级或完全的等温淬火时，此时的热应力和组织应力塑性变形量很小，可以忽略不计，零件的变形基本上是比容变形。

(2) 球形体零件在加热和冷却时，虽然会因表面和心部之间温差引起热应力和组织应力，但如果球体各个方向加

热冷却均匀时，各个方向的应力是平衡的，此时球体零件淬火后的变形也基本上是单纯的比容变形，球体也不会因每淬火一次直径或体积变化一次。

(3) 截面尺寸很小的超小型零件，加热冷却时不论如何激冷激热，总是不会形成明显的内外温差和相变的不等时进行，热应力和组织应力很不明显，此时该类零件的变形也基本上是单纯的比容变形。

然而，在生产实践中，形状结构、尺寸大小不同的各种零件，淬火加热或冷却都不可能不产生热应力和组织应力，因此零件热处理后的最终变形，大多数都包含着热应力塑性变形、组织应力塑性变形和单纯的比容变形。只是因零件形状、尺寸大小及热处理工艺方法不同，在每个具体零件上各种变形的表现程度不同而已。

比容变形一般只与奥氏体中碳和合金元素的含量、游离相碳化物、铁素体的多少，淬火前后组织比容变化差和残余奥氏体量的多少及钢的淬透性等因素有关。

可是，内应力塑性变形与零件形状、截面尺寸、材料的原始组织状态、零件加工过程、表面状态、热处理工艺操作方法、淬透状况等很多因素有关。加之在热处理过程中热应力和组织应力塑性变形与比容变形又都掺在一起，而且变形方向各不相同。因而要比较系统地弄清热处理过程中内应力变形的规律和特点，需要进行大量的试验研究和反复的实践过程。

第二节 内应力作用和变形的实践

一、内应力的作用

热处理时的变形多数是内应力作用的结果。对各类零件

在各种条件下的变形状况和特点进行反复试验和分析，就可以逐步摸清在各种情况下每一种形状零件的应力作用规律和表现特征，进而找出变形产生的根源、防止办法和控制变形措施。还可以进一步利用内应力的作用来校正或挽救变形的零件，使其变害为利，为生产服务。

二、常见的内应力变形实例

最常见的几种简单形状零件的变形，明显地反应了内应力作用的效应，如图1-1所示。

例1 图1-1 a 所示套筒，是典型的简单形状零件，但用几种不同的材料制造时，淬火变形却截然不同。用45钢制造时，840℃加热，水淬油冷透后，内径为125mm，外径为160mm套筒的胀大量为0.70~0.80mm。用T10A或T12A钢制造时，800℃加热，水淬油冷后，内径和外径却收缩0.20~0.40mm。用15钢制造时，经渗碳后，在800℃下加热，水淬油冷后，内径和外径的收缩量增加至0.60~0.80mm。

例2 图1-1 b 和 c 所示长轴和丝杆，材料均是40Cr钢，外径为40mm，但两种零件的表面形状结构不同，零件b是表面光滑的轴，零件c是表面加工呈方扣的丝杆。两种零件都在840℃加热，水淬油冷淬火后，两种零件出现的变形状况却完全相反。长为400mm，表面光滑的轴伸长了2mm左右，而表面加工成槽形方扣的丝杆却缩短约0.80mm。

钢的含碳量不同，零件形状相同，采用同样的冷却方法淬火，变形状况却不同；材料相同，热处理工艺操作方法相同，仅表面状态不同的零件，淬火后的变形状况有明显的差别；这都是在热处理过程中内应力的不同作用的结果。

当对上述现象的实质，经过反复试验和实践，加以认识之后，就可以在零件热处理时有效地利用内应力的作用解决

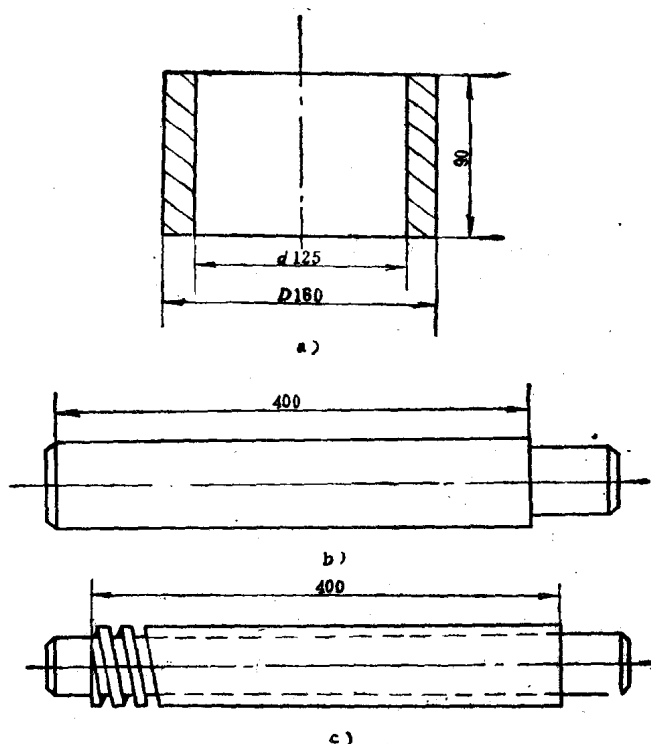


图1-1 内应力变形的典型零件

零件热处理过程中的许多问题，发挥内应力在热处理过程中的作用。现用如图1-2所示的零件举例说明。

例3 图1-2 a 所示零件是测量锯齿形花键轴用的量规，材料为 CrMn 钢，内孔径尺寸比与花键轴配套的花键套的孔径要小 $0.20 \sim 0.25\text{mm}$ ，加工该内孔花键量规时，使用了拉制花键套的拉刀，因而花键量规的内孔加工后孔径比要求的尺寸大 0.25mm 。热处理时利用了内应力的作用原理，采用 730°C 加热尔后水冷的方法，反复进行 $2 \sim 3$ 次后，孔径 30mm 、

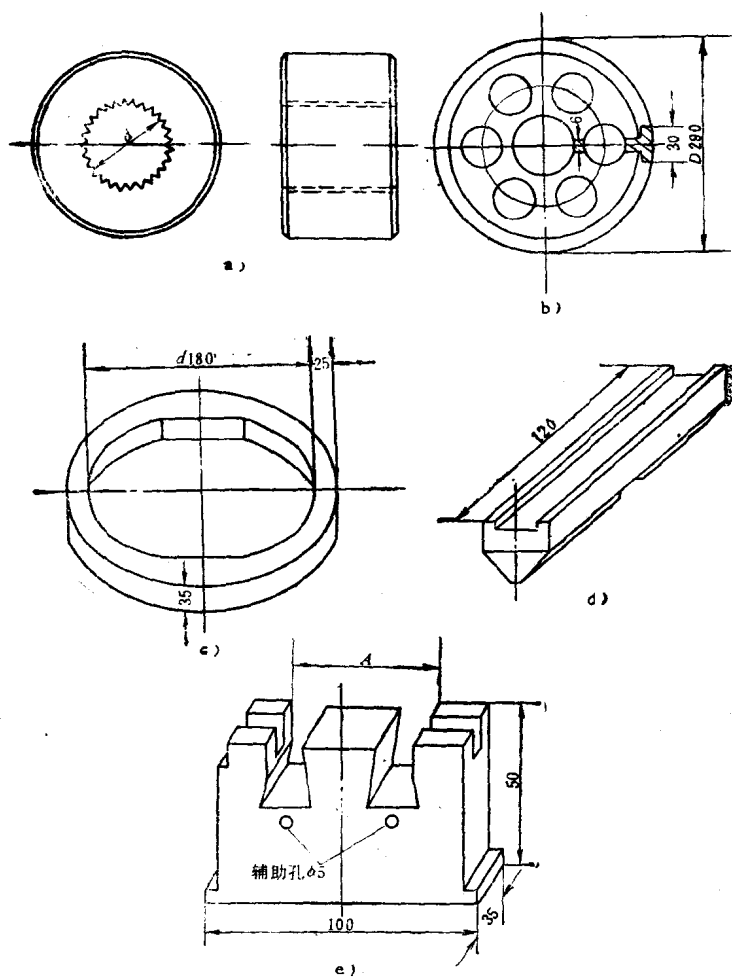


图1-2 内应力作用的具体应用实例