

钢件的热处理变形及控制

甘肃人民出版社

GANGJIANDE
RECHULI
BIANXINGJYONGZHI

TG162
4
3

钢件的热处理变形及控制

姚善长

6x46/02



甘肃人民出版社

637940

内 容 简 介

本书较系统地叙述了工件热处理变形的原因和影响因素；工件热处理变形的规律及对热处理变形的控制；最后简单介绍了变形工件的一些矫正方法。

本书可供从事热处理工作的工人和技术人员参考，也可供热处理专业的学生和冷加工技术人员阅读。

钢件的热处理变形及控制

姚善长

甘肃人民出版社出版

(兰州庆阳路230号)

甘肃省新华书店发行 兰州新华印刷厂印刷

开本787×1092毫米 1/32 印张9.75 字数206,000

1979年8月第1版 1979年8月第1次印刷

印数：1—2,525

书号：15026·32 定价：0.78元

前 言

热处理是保证机械产品质量，延长使用寿命，充分发挥材料潜力的重要手段。随着我国工农业生产和科学技术的飞跃发展，热处理在社会主义建设中发挥着越来越大的作用。

工件在热处理过程中发生的体积，形状的变化，通称为热处理的变形。这种变形给机械零件和工模具的制造带来了很大的麻烦，往往由于工件在热处理后尺寸变形超出了公差范围而需要花费大量的工时去进行矫正和修复，有时甚至因无法挽救而报废。因此，探索和掌握工件热处理变形的原因、规律和控制方法对于提高产品质量，多快好省地建设社会主义有着十分重要的意义。

建国以来，我国从事热处理的广大工人在与热处理变形的斗争中也取得了丰硕的成果，积累了许多可贵的经验。事实证明，只要我们在生产实践中能做到对具体工件作具体分析，从研究其变形的原因和掌握变形的规律着手，抓住造成具体工件变形的主要矛盾，采取相应的技术措施，虽然不能根本消除热处理变形，但是可以在很大程度上减少和控制热处理变形。

由于编者思想水平不高，专业知识有限，并缺乏实践经验，书中一定存在不少缺点和错误。恳切希望广大读者提出宝贵意见。

编 者

目 录

第一章 工件热处理变形的原因	(1)
第一节 热处理变形的形式.....	(1)
第二节 热处理过程中的体积效应.....	(4)
第三节 热处理过程中的内应力.....	(21)
本章小结.....	(30)
第二章 影响工件热处理变形的因素	(32)
第一节 工件材料对变形的影响.....	(32)
第二节 工件尺寸大小和几何形状对变形的影响.....	(59)
第三节 热处理工艺对变形的影响.....	(63)
第四节 热处理操作对变形的影响.....	(89)
本章小结.....	(96)
第三章 工件热处理变形的规律	(100)
第一节 工件热处理变形的基本规律.....	(100)
第二节 工件热处理时体积变化的规律.....	(102)
第三节 轴杆类工件的变形规律.....	(107)
第四节 套环类工件的变形规律.....	(128)
第五节 其它形状工件的一些变形规律.....	(153)
本章小结.....	(160)
第四章 工件热处理变形的控制方法	(162)
第一节 工件设计时有利于控制热处理 变形的工艺性考虑.....	(162)

第二节	合理安排冷热加工工艺	(176)
第三节	合理的锻造和预先热处理	(183)
第四节	采用合理的热处理工艺	(200)
第五节	热处理操作中的措施	(263)
	本章小结	(282)
第五章	变形工件的矫正	(286)
第一节	冷压校直法	(286)
第二节	热点校直法	(291)
第三节	反击校直法	(294)
第四节	淬火校直法	(298)
第五节	回火校直法	(302)
	本章小结	(305)

第一章 工件热处理变形的原因

工件在热处理过程中发生的体积、形状的变化，通称为热处理变形。这是热处理过程中很难避免的一种缺陷。为了减少和控制工件在热处理过程中的变形，首先应该了解导致工件热处理变形的原因。

第一节 热处理变形的形式

工件在热处理过程中产生的变形有两种形式：一种是体积的变化，一种是形状的变化。

体积的变化即是材料的比容发生变化。一般来说，体积的变化总是造成工件尺寸在各个线度方向上均匀的改变（胀大或缩小）。如图 1—1 的(a)、(b)所示，(a)为体积胀大，(b)为体积缩小。

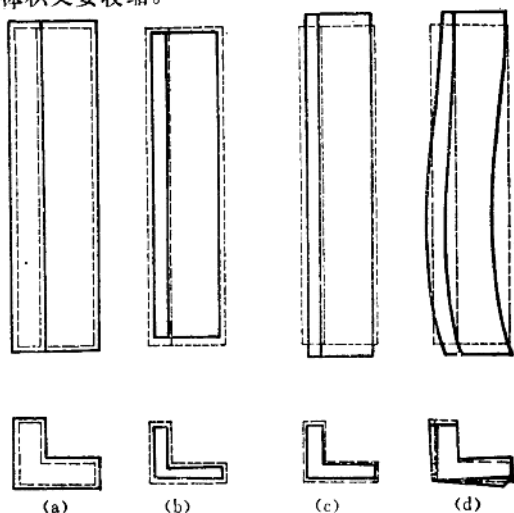
形状的变化是指工件的尺寸在某些线度上胀大，而在另一些线度上缩小，即体积的重新分布。如图 1—1 的(c)、(d)所示，(c)的形状变化较为规则 and 对称，(d)的形状变化很不规则，通常也称为扭曲变形。

一、体积的变化

工件在热处理过程中产生体积变化的原因有两个：

(一)热胀冷缩引起的体积变化

众所周知，金属受热就膨胀，受冷就收缩，故工件在整个热处理过程中体积要发生变化。由于热胀冷缩的作用，使工件从低温加热至高温时，体积要膨胀；而从高温冷却至低温时，体积又要收缩。



体积的变化 形状的变化

虚线——工件热处理前的轮廓
实线——工件热处理后的轮廓

图 1—1 变形的形式

但是，由于热处理前后工件的温度是相同（都是室温）的，故热胀冷缩引起工件的体积变化在热处理后很少显现出来，而仅在热处理过程中才有显现。因此可以说，热胀冷缩作用对工件热处理后的体积变化并无明显影响。但通过下面的叙述我们将了解它是导致工件产生形状变化的重要原因。

(二)组织转变引起的体积变化

金属在热处理过程中要发生组织转变。而不同的组织其比容是不相同的，故工件在热处理过程中因组织的转变体积也要发生变化。

因工件热处理前后组织的变化而引起的体积变化必然要在热处理后保留下来。这是工件热处理后体积变化的主要原因。

二、形状的变化

热处理时工件的形状变化是由于内应力和外加应力的作用而引起的。

在加热和冷却过程中，工件各部位上的温度是不相同的。例如表面的受热和冷却要比心部快，这就会造成热胀冷缩的不均匀和组织转变的不同步，因而就在工件内部引起瞬时的内应力。热胀冷缩的不均匀性引起的内应力叫热应力；组织转变的不同步性引起的内应力叫组织应力。对一些形状复杂、厚薄悬殊、尺寸较大的工件来说，其各部位上的温度更不易均匀，故在热处理过程中产生的内应力也就更大些。

由于在高温下材料的屈服强度较低，抵抗变形的能力低，如果这些内应力超过了在相应温度下材料的屈服强度，就会产生塑性变形而引起工件形状的变化。如果内应力更大乃至超过了相应温度下的断裂强度，那将导致工件开裂。

此外，工件在前面加工工序中存留下来的残余应力在加热过程中的松弛（即应力的消除和重新分布），以及在加热、冷却过程中的某些附加应力，例如大型工件的自重影响、操作中的不当等，也会引起形状的变化。

综上所述，工件在热处理过程中产生的变形有体积变化和形状变化两种。但是，这两种形式，在实践中又往往是难以区分的。例如一个模具的型腔经热处理后胀大或缩小了，这既与形状的变化有关，也与体积的变化有关，二者都通过尺寸的变化而表现出来。

第二节 热处理过程中的体积效应

工件在热处理过程中要发生体积的膨胀或缩小，也即是材料的比容要发生变化。这种金属在热处理过程中由于比容的改变而引起体积变化的现象又称为体积效应。

金属在热处理过程中产生体积效应的原因有两个：

一、温度变化引起的线性膨胀和收缩

从金属学的知识知道，在固态的金属或合金中，其内部原子的排列是有规则的。由于原子之间的引力和斥力的共同作用结果，使各原子之间保持着一平衡距离 R_0 ，这样的原子排列是紧密的，每个原子都相对地在自己的平衡位置上作微小的振动。

金属加热时，由于内部原子获得了一定的额外能量，活动能力增加，振动振幅加大，有离开它原来平衡位置的趋势，使原子间距增加，故引起了体积的增加。这种金属受热而产生体积增大的现象称热膨胀性。

相反，当金属从加热状态下冷却下来时，原子活动能力减弱，又有回到原来平衡位置的趋势，故体积又会缩小。

金属的热膨胀性常以膨胀系数来表示。物体温度升高一

度所增加的长度与原来长度之比值叫做线膨胀系数。各种不同的金属和合金，在不同的温度范围内都有一定的膨胀系数。而且随着组织中各组成相的变化，膨胀系数也会变化。

对所有的金属和合金来说，在无组织转变的情况下，膨胀系数总是随着温度的升高而连续地增加的。也即是随着温度的升高，金属的比容增加，体积增大。

但是，在实践中发现，金属的比容并不是始终随着温度的升高而连续地增加的。如图 1—2 示出了纯铁在加热时的比容变化。从图 1—2 可看出在 910℃ 和 1390℃ 时纯铁的比容有二个急剧的变化。这就要归结于下面谈及的第二个导致金属比容变化的原因——组织转变而引起的比容变化。

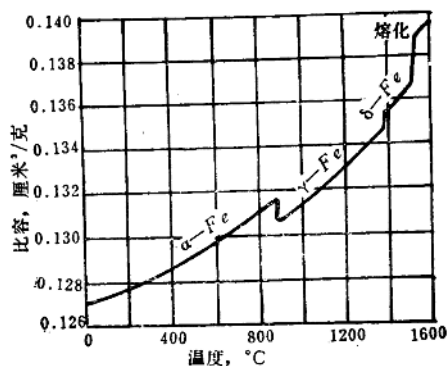


图 1—2 加热时铁的比容的变化

二、组织转变引起的比容变化

热处理是改变金属性能的一种手段。而这种性能的改变又是通过内部组织的改变来达到的。因此，在热处理过程中

一定要发生组织的变化。

(一) 钢铁材料在不同状态下的组织变化

钢铁材料与其它合金一样，在不同的化学成份和温度、压力条件下具有不同的组织。在平衡状态下，它的组织可由大家熟悉的铁—碳平衡图来判别。如图 1—3 为铁—碳平衡图。它示出了在平衡或接近于平衡的状态（即无限缓慢的加热或冷却）下不同成份的铁碳合金在不同的温度所具有的组织。铁—碳平衡图对热处理工作者来说是很重要的，它是制定铸、锻、热处理等热加工工艺的重要依据之一。

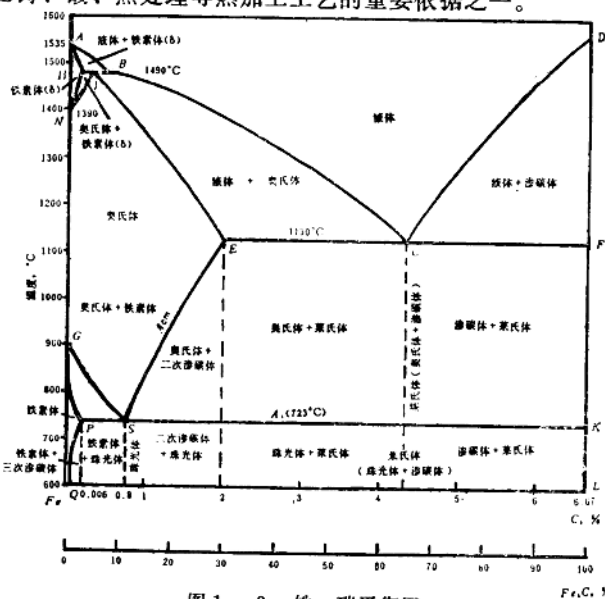


图 1—3 铁—碳平衡图

实际上，当钢铁工件进行热处理时，组织的转变并不按

照平衡图上的临界点进行。这是由于实际生产中的加热和冷却不可能无限缓慢，而常常是在一定的过热或过冷情况下进行的，故其临界点的位置有一定的偏移。特别是钢件加热至奥氏体状态后的冷却速度和冷却方式对最后得到的组织有很大的影响。冷却的速度和方式不同，得到的组织也就不同。在实际冷却条件下，奥氏体虽冷到了临界点 A_1 以下，但不会立即发生转变，这种情况下存在的奥氏体称为过冷奥氏体。当过冷奥氏体冷却到低于 A_1 点以下的某一温度将发生分解而转变为其它组织。

在实践中，还广泛地应用着奥氏体等温转变曲线，一般也称C曲线。它也是制订热处理工艺的重要依据。C曲线是将加热到奥氏体的钢迅速冷却至 A_1 温度以下，然后在不同的温度和时间等温转变而得到各种不同组织的曲线。如图1—4为共析碳钢的奥氏体等温转变曲线。从图1—4可以看出，在不同的过冷度下进行奥氏体等温转变，其产物是不同的。如图所示，将依次得到粗层状珠光体（ A_1 —650℃）、淬火索氏体（650—600℃）、淬火屈氏体（600—550℃）、上贝氏体（500—400℃）、下贝氏体（400—250℃）。如用很大的冷速将奥氏体过冷至马氏体转变点 M_s 点以下，将得到马氏体的组织。

在实际生产中，钢的冷却又常常是以连续冷却的方式进行的。此时奥氏体的转变是在一个温度范围内进行，因此得到的是混合式的组织，例如珠光体+索氏体，索氏体+屈氏体，屈氏体+马氏体等。

由上述的叙述可知，钢件经过不同的热处理后，其组织是不同的。科学试验证明，钢中各种组织的比容是不同的，其中以马氏体的比容最大，铁素体+渗碳体（包括珠光体、

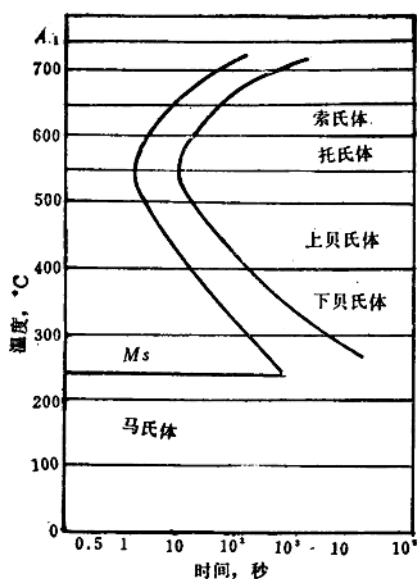


图 1—4 共析碳钢的奥氏体等温转变曲线

索氏体、屈氏体和贝氏体)次之,而奥氏体的比容最小。图 1—5 示出了钢中各种组织在室温下的比容。

(二)钢铁材料的内部构造

所有的固态金属或合金都是晶体。由结晶学的知识知道,在晶体中所有的质点(原子、离子或分子)都是以特有的规则排列在空间的,表现为相同的质点在空间有周期性的重复出现。这些质点在空间的规则排列称为空间点阵。为了方便起见,常以直线将质点联结成为空间格子,空间格子中每一个结点有相同的环境。在空间点阵中可以取一单位体

积（通常是六面体）作为点阵的组成单位，这个单位体积称

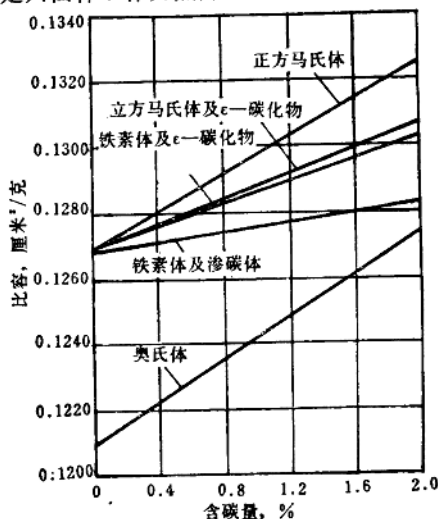


图 1—5 钢中不同组织的比容及与含碳量的关系

为晶胞。故点阵即是由大小、形状和位向相同的晶胞所组成，是晶胞的重复体。因此，晶体实际上是一个空间点阵。空间点阵和晶胞的示意图见图 1—6。

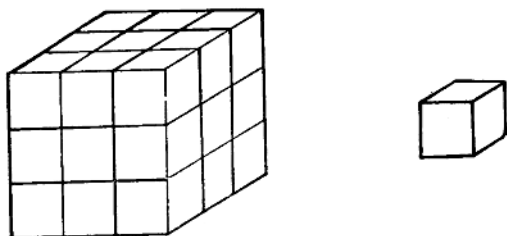


图 1—6 空间点阵和晶胞

下面再来看看铁碳合金的内部构造。研究指出，纯铁的原子排列有两种结晶点阵形式。一种是体心立方晶格，又称 α -Fe，如图1—7所示，其特征是铁原子的排列成立方体，在立方体的八个顶点和中心各有一个铁原子；一种是面心立方晶格，又称 γ -Fe，如图1—8示，其特征是铁原子的排列也成立方体，在立方体的八个顶点和六个面中心各有一个铁原子。

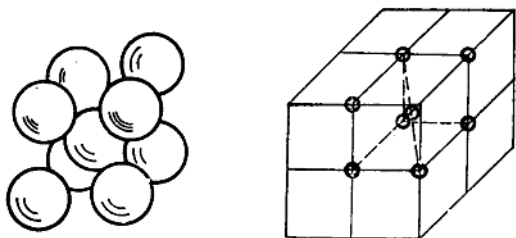


图1—7 体心立方晶格

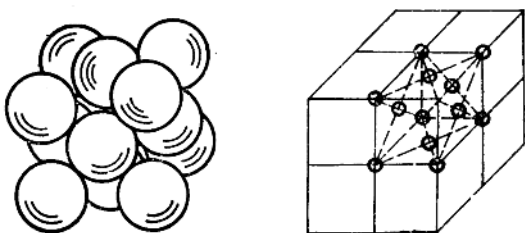


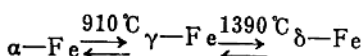
图1—8 面心立方晶格

从图1—7和图1—8可以看出，面心立方晶格的原子排列比体心立方晶格要密。在科学研究中常用配位数和原子致密度来表示晶格中原子排列的疏紧情况。所谓配位数即为

点阵中某一原子的邻近原子数目；所谓原子致密度即为晶胞内原子所占体积与晶胞总体积之比。体心立方晶格的原子配位数为8，原子致密度为0.68；面心立方晶格的配位数为12，原子致密度为0.74。

在一定的温度和压力下，铁原子的排列形式能由一种结晶点阵转变为另一种结晶点阵，即原子排列发生变化。这种在固态下由于温度和压力的变化而引起结晶点阵的改变通常称为金属的同素异构转变或多形性相变。

从铁—碳平衡图可知，纯铁在常压下加热（或从高温下冷下来）时会发生二次同素异构转变：



即纯铁由室温加热至910℃时，它的原子排列就会由体心立方晶格的α—Fe变为面心立方晶格的γ—Fe。而当继续加热至1390℃时，它又会由面心立方晶格的γ—Fe变为体心立方晶格的δ—Fe。从此，我们也可解释图1—2上为什么纯铁加热至910℃时比容会有急陡的下降。实验测定，当铁在加热时由α—Fe变成γ—Fe时的体积收缩约为0.80%左右。当加热至1390℃时，γ—Fe又变得不稳定，要变成δ—Fe，由于此转变与热处理过程的关系不大，在此也就不多叙述了。

上面所述是纯铁的情况，钢中的情况又有不同。在钢中随着含碳量的不同铁原子和碳原子将发生不同的作用，通常表现为两种状态，即形成固溶体和碳化物。

由于纯铁在不同温度下存在着异构性，所以碳可以溶解于α—Fe中，也可溶解于γ—Fe中，形成两种不同的固溶