

付荣柏 付琼 编著

# 钢结构变形 火焰矫正



机械工业出版社



ISBN 7-111-05061-4/TG·1052

ISBN 7-111-05061-4



9 787111 050612 >

定 价： 16.00 元

# 钢结构变形火焰矫正

付荣柏 付琼 编著



机械工业出版社

本书系统地阐述了火焰矫正变形的机理和变形规律以及火焰矫正加工对钢结构质量的影响。书中从钢结构组成的板件、型钢、半成品件以及成品件介绍了各种变形的火焰矫正工艺和实际操作方法，并以典型实例说明。

本书适用于从事钢结构生产制造、维修的科技人员、铆工技师、焊工技师高级焊工、高级铆工学习参考。本书也可做为铆焊工培训教学用书。

## 图书在版编目(CIP)数据

钢结构变形火焰矫正/付荣柏编著. —北京:机械工业出版社, 1996.1

ISBN 7-111-05061-4

I. 钢… II. 付… III. 钢结构-构造变形-矫正 IV.

TG941

中国版本图书馆CIP数据核字 (95) 第23908号

出版人: 马九荣(北京市百万庄南街1号 邮政编码100037)

责任编辑: 武江 版式设计: 霍永明 责任校对: 姚培新

封面设计: 姚毅 责任印制: 王国光

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

1996年10月第1版第1次印刷

787mm×1092mm<sup>1</sup>/<sub>32</sub>·9.75印张·214千字

0 001—2 500册

定价: 16.00元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

## 前 言

钢结构焊接变形是焊接生产中不可避免的问题，是影响焊接产品质量的关键因素之一。虽然很早以前就有火焰矫正变形技术的应用，但迄今为止发表这方面文章的不多，较系统的著作更为少见。目前在实际生产中仍多凭工人的经验摸索去干，往往由于经验不足造成废品，或由于火焰矫正规范不佳而影响产品质量。因此许多科技人员和从事钢结构生产的铆焊工都渴望能读到这方面资料，以便掌握火焰矫正技术，用于生产实践。在作者1991年编著的《起重机钢结构制造工艺》一书发行后，许多读者建议作者再编写有关火焰矫正方面的书。作者根据读者的愿望把自己从事钢结构生产30多年对火焰矫正技术的研究和经验，并收集国内外有关火焰矫正资料编写成这本书。

这本书较系统地阐述了火焰矫正变形的机理和变形规律以及火焰矫正加工对钢结构质量的影响等。本书从钢结构组成的板件、型钢、半成品件以及成品件介绍了各种变形的火焰矫正工艺和实际操作方法，并以典型实例加以说明。同时本书又对生产中出现的各种钢结构变形提出了不同的矫正方法，以挽救废品，修复产品变形，具有显著的经济效益。

本书适用于从事钢结构生产的科技人员、铆焊工和从事钢结构焊接专业教学和科研人员参考。

本书编写后得到郑恩贵（大连铁道学院教授、中科院研究员）、罗宇（大连铁道学院教授）、洪国荣（大连起重机

器厂副总工艺师高级工程师)邢元超(大连起重机器厂高级教师)和曹吉峰(大连起重机器厂技师)等同志的帮助,在此表示衷心的感谢。

由于作者水平有限,书中难免有些问题,请读者批评指正。

付荣柏

1995年8月

# 目 录

## 前言

<b>第一章</b>	<b>气体火焰加热对金属材料性能的影响</b> .....	1
第一节	钢结构种类及变形 .....	1
第二节	钢加热冷却的金相组织变化 .....	6
第三节	钢材加热冷却的内应力及变形 .....	21
第四节	火焰加热对材料性能的影响 .....	33
第五节	钢结构设计特点及火焰矫正加热位置的选择 .....	46
第六节	火焰矫正加热特点及应用范围 .....	56
<b>第二章</b>	<b>火焰加热采用的气体及器具</b> .....	61
第一节	火焰加热气体性质及燃烧比 .....	61
第二节	乙炔发生器回火防止器和气瓶 .....	68
第三节	减压器和火焰加热烤炬 .....	87
第四节	火焰矫正使用的机具和胎具 .....	96
<b>第三章</b>	<b>火焰矫正的基本理论</b> .....	109
第一节	火焰矫正原理及变形规律 .....	109
第二节	加外力对火焰矫正的影响 .....	125
第三节	火焰矫正基本参数选择 .....	131
第四节	火焰矫正的加热方法 .....	143
第五节	火焰矫正的注意事项 .....	165
<b>第四章</b>	<b>钢板、型钢、钢管和半成品零件火焰矫正</b> .....	173
第一节	板件、型钢和钢管弯曲及扭曲变形的矫正 .....	173
第二节	板材及板格变形矫正 .....	188
第三节	半成品结构件火焰矫正 .....	200
<b>第五章</b>	<b>梁柱变形火焰矫正</b> .....	214

第一节	箱形梁、工字梁和柱弯曲变形火焰矫正 .....	214
第二节	箱形梁、工字梁扭曲变形火焰矫正 .....	232
第三节	工字梁、箱形梁腹板波浪变形火焰矫正 .....	240
第四节	工字梁、箱形梁翼缘板角变形火焰矫正 .....	248
第五节	工字梁、箱形梁综合变形的火焰矫正 .....	252
第六节	桁架结构火焰矫正 .....	267
第六章	大型组合焊接结构件火焰矫正 .....	277
第一节	钢结构变形的分析 .....	277
第二节	火焰矫正施工方案和施工程序 .....	282
第三节	实例 .....	290
参考文献	.....	305



# 第一章 气体火焰加热对金属材料性能的影响

## 第一节 钢结构种类及变形

钢结构是由钢板和型钢（角钢、槽钢、工字钢、T字钢和钢管）等钢材，采用焊接、铆接和栓接等方法联接而成的。

钢结构的材质通常是热轧的碳素结构钢或低合金结构钢，其含碳量较低，钢材淬硬倾向小，焊接性好。

### 一、钢结构种类

钢结构按联接方法可分为焊接结构、铆接结构和栓接结构，每种各有其特点。

#### （一）焊接结构

1. 焊接结构与铆接结构相比，可节省大量金属材料。例如起重机采用焊接结构，其重量往往可减轻15%~20%。

2. 焊接结构不必钻铆钉孔，材料截面得到充分利用。

3. 焊接结构生产可采用先进的自动焊，生产效率比铆接结构高。

4. 焊接劳动条件较铆接好，如噪声小和劳动强度较小等。

5. 焊接结构有较大的焊接应力和焊接变形。虽然焊接结构设计中考虑到焊接应力，即选取一定的许用应力计算，可以保证焊接结构承载的强度和刚度。但焊接结构施工中出

现的最大问题是焊接变形，尽管施工中，采取措施防止焊接变形，但由于影响焊接变形因素较多，出现焊接变形是难以避免的。因此在焊接结构制造中，矫正焊接变形是不可避免的。

## (二) 铆接结构

铆接结构的应用早于焊接结构，由于铆接结构接头要钻孔，其接头截面比相应的焊接结构截面大。另外采用铆接使制造烦琐，生产效率低、劳动条件差、噪声大，所以一般铆接结构被焊接结构代替。但铆接接头也有焊接所不能代替的特点。

1. 铆接接头在承受冲击时能吸收一定的能量，有缓冲作用。当结构在载荷的作用下发生变形时，可减小接头局部应力。

2. 铆接接头的应力集中系数比某些焊接接头的应力集中系数低，对疲劳强度有利。

3. 铆接接头在结构中形成的内应力比焊接结构的内应力低，而焊接接头的内应力往往达到屈服限。

4. 铆接结构有较高的止裂性，如果在铆接结构上发生局部断裂，裂纹扩展到铆接孔上时，就不能再继续扩展。如果在焊接结构上发生局部断裂，裂纹可以穿过焊缝扩展到另外部分导致结构整体破坏。

5. 铆接结构变形小，结构的几何尺寸容易保证。

6. 有些合金结构钢，焊接易裂纹，采用铆接接头较好。

由于上述特点，某些钢结构现在还保留部分铆接接头。

## (三) 栓接结构

栓接结构比焊接和铆接结构制造麻烦，成本高。目前只限于焊接结构与焊接结构的接头联接，采用螺栓连接能够拆

卸。为保持接头的刚度，现在采用高强螺栓接头较多。

## 二、钢结构的基本形式

1. 由型钢组装焊接成的桁架梁和柱，如铁路、公路的桥梁、起重机的主梁、建筑的房架梁和安装用的抱杆等。

2. 由钢板焊接成矩型截面的梁和柱，如桥梁、起重机主梁和门式起重机的支腿等。

3. 由钢板卷制成的圆管和圆筒结构。如焊接钢管、压力容器和起重运输机械的卷筒等。

4. 异型截面的结构件，如焊接球体和轮船的壳体等。

这些基本结构形式，可单独存在，也可几种在一起组装焊成较复杂的钢结构。

## 三、钢结构的变形

1. 运输安装和使用中的变形。这种变形是不规则的，难于预料的。通常出现的是弯曲、扭曲和结构表面凸凹变形等。

2. 焊接结构焊后的残余变形，主要可分下列六种：

(1) 纵向收缩变形：构件焊后在焊缝方向发生收缩，如图1-1中的 $\Delta L$ 。焊接结构焊后出现的收缩变形是难以修复的，必须在构件下料时加余量。

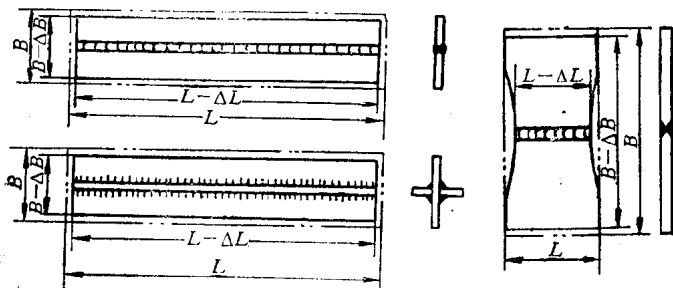


图1-1 纵向和横向收缩变形

(2) 横向收缩变形：构件焊后在垂直焊缝方向发生收缩，如图1-1中的 $\Delta B$ 。同样焊后出现这种收缩变形是难以修复的，应在构件下料时加余量。

(3) 弯曲变形：构件焊后发生弯曲，如图1-2。弯曲变形是由焊缝的纵向收缩引起如图1-2a和由焊缝横向收缩引起如图1-2b。

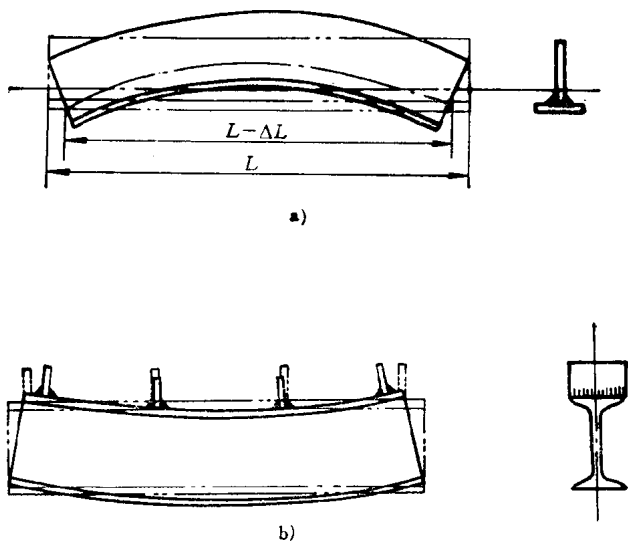


图1-2 弯曲变形

这种焊接变形是由于结构上的焊缝不对称或焊件断面形状不对称，焊缝的纵向收缩和横向收缩而产生的变形。

(4) 角变形：焊后构件的平面围绕焊缝产生的角变形，常见的角变形如图1-3。主要由于焊缝截面形状不对称或施焊层次不合理致使焊缝在厚度方向上横向收缩量不一致所产生的。

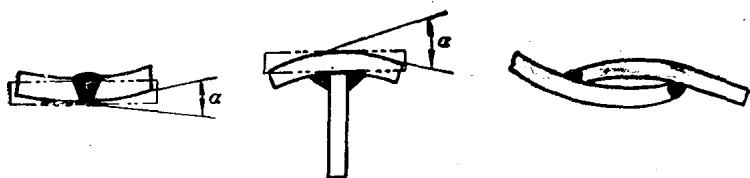


图1-3 角变形

(5) 波浪变形：焊后构件呈波浪形，如图1-4。这种变形在薄板焊接时容易发生。产生原因是由于焊缝的纵向收缩和横向收缩在拘束度较小结构部位造成较大的压应力而引起的变形；或由几条相互平行的角焊缝横向收缩产生的角变形而引起的组合变形；或由上述两种原因共同作用而产生的变形。

(6) 扭曲变形：  
焊后沿构件的长度出现螺旋形变形，如图1-5。这种变形是由



图1-4 波浪变形

于装配不良，施焊程序不合理，致使焊缝纵向收缩和横向收缩没有一定规律而引起的变形。



图1-5 扭曲变形

以上几种类型的变形，在焊接结构生产中往往并不是单独出现的，而是同时出现，互相影响。

焊接变形是焊接结构生产中经常出现的问题。比较复杂

的变形，矫正的工作量比焊接工作量还要大。如果矫正不当，会造成废品。

3. 焊接变形的影响 焊接变形不但影响结构的尺寸的准确和外形美观，而且有可能降低结构的承载能力，引起事故。例如图1-6中所示的圆球容器的焊接角变形，将在结构上引起附加的弯曲应力，曾经因此造成多起中等强度钢容器的破坏。结构件的变形直接影响着结构的正常使用。例如，桥式起重机的桥架变形会引起车轮啃道、打滑和电机烧损等事故。对于有安装机械部件的焊接结构件，更需几何尺寸的准确度，有的接合面要机械加工。因此钢结构部件的几何尺寸，一般都有一定的尺寸公差要求，如《铁路钢桥制造规则》和通用桥式起重机制造的技术条件等标准，超过标准是不允许的。

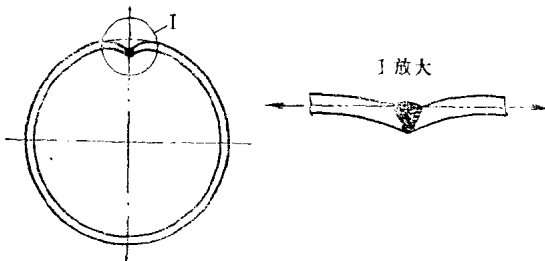


图1-6 角变形引起的不圆正度

对钢结构变形国内外最广泛的矫正方法是气体火焰矫正。

## 第二节 钢加热冷却的金相组织变化

### 一、铁碳合金状态图

#### (一) 铁碳合金（碳钢部分）中的基本组织

不同含碳量的碳素钢，在不同温度时，形成不同的显微组织。基本上有以下四种组织：

1. 铁素体（符号F） 碳溶解于 $\alpha$ -Fe中的固溶体称为铁素体，铁素体的晶体结构呈体心立方晶格，它是碳进入体心立方晶格的间隙中而形成的间隙式固溶体。铁素体在室温时的组织和力学性能近似于纯铁，具有低的强度和硬度，良好的塑性和韧性： $\sigma_b=250\text{MPa}$ 、 $\sigma_s=120\text{MPa}$ 、 $\delta=50\%$ 、 $\varphi=80\%$ 、 $A_{kv}=300\text{J}$ 、 $\text{HB}=80$ 。大多数碳素钢的常温组织主要是铁素体，它在钢中约占80%以上。

2. 奥氏体（符号A） 碳溶解于 $\gamma$ -Fe中的固溶体称为奥氏体，奥氏体晶体结构呈面心立方晶格，它是碳原子进入面心立方晶格的间隙中所形成的间隙式固溶体。由于 $\gamma$ -Fe是在高温时（723℃以上）才存在的高温组织，故奥氏体也为高温组织，奥氏体的强度和硬度较低，但具有良好的塑性，钢材的屈服极限接近于零值，火焰矫正加热到这个温度，产生压缩塑性变形最大。

3. 渗碳体（符号C） 铁与碳形成的化合物( $\text{Fe}_3\text{C}$ )称为渗碳体，渗碳体晶体结构呈复杂的斜方晶格，它是由93.3%的铁和6.67%的碳形成的碳化铁化合物。固态时的渗碳体没有同素异型转变。渗碳体的性质与铁素体相反，硬度很高 $\text{HB}>800$ ，脆性很大，塑性几乎等于零，通常是钢中的强化相。钢中含碳量愈高，则渗碳体的数量也愈多，钢材的性能也就趋向于硬和脆。一般室温下碳素钢中渗碳体的含量根据钢中含碳量的不同约占1.5%~20%。

4. 珠光体（符号P） 铁素体和渗碳体组成的机械混合物称为珠光体。珠光体的平均含碳量为0.8%，珠光体是由呈片状的铁素体和渗碳体交替相间成层状分布构成的，珠光

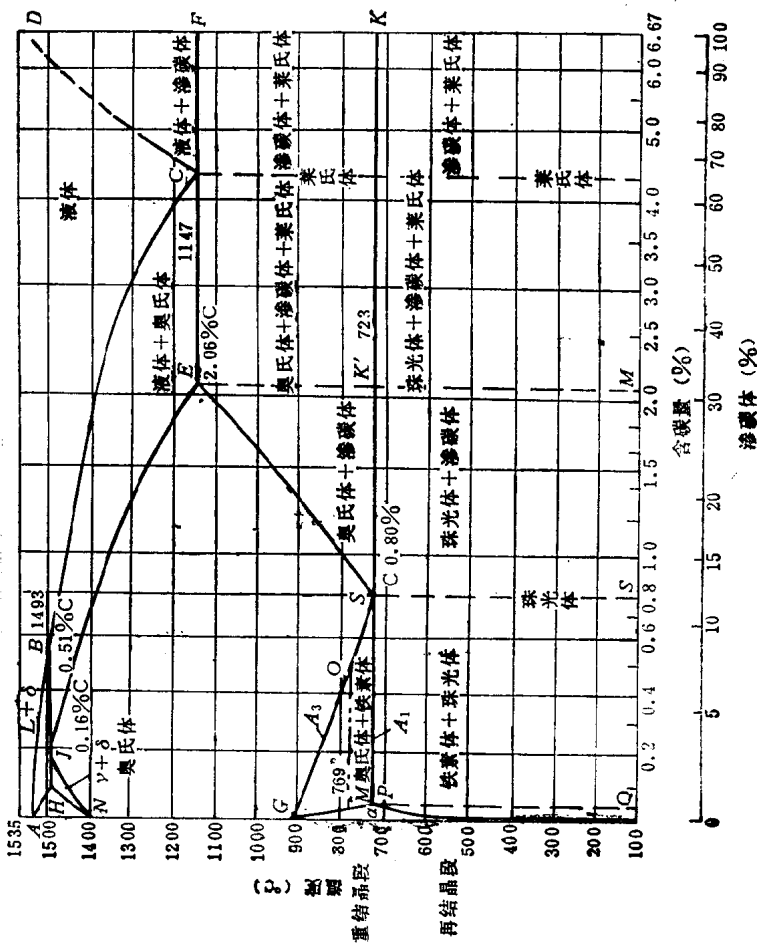


图1-7 铁碳合金状态图



体的力学性能也就介于铁素体和渗碳体之间，既有较高的强度和硬度，又有相当的塑性，不致很脆。珠光体的性能为： $\sigma_s = 750 \sim 800 \text{MPa}$ 、 $\delta = 15\% \sim 20\%$ 、 $\varphi = 30\%$ 、 $\text{HB} = 160 \sim 280$ 。

## (二) 铁碳合金状态图

铁碳合金状态图是由一系列不同成分的铁碳合金被加热到液态，然后以极其缓慢的速度冷却，根据冷却时测得的组织变化及其温度绘制成的。铁碳合金状态图如图1-7所示。

图上的纵坐标表示温度，横坐标表示碳的含量，即铁碳合金中碳的百分含量。

从图的左上端可以看出，工业纯铁（含碳量小于0.02%的铁碳合金）的熔点是 $1535^\circ\text{C}$ 。ABC线为液相线，钢加热到此线表示的相应温度时，全部变成液体；而冷却到此线时，开始结晶成固相。AHJE线为固相线，钢加热到此线表示的相应温度时，开始出现液体；而冷却到此线时，全部转变成固体。

图中有四个单相区。ABC以上为液相区；AHN区为 $\delta$ 铁素体区；NJESG区为奥氏体区；GPQO区为 $\alpha$ 铁素体区。在相邻两个单相区之间都夹有双相区。ABJH为 $\delta$ 铁素体与液相共存区；HJN区为 $\delta$ 铁素体与奥氏体共存区；JBCE区为液相与奥氏体共存区；GSP区为奥氏体与铁素体共存区；EK'S区为奥氏体与渗碳体共存区。图中S点成分相当于C0.8%。当含C0.8%的奥氏体冷至PSK水平线所表示的温度（ $723^\circ\text{C}$ ）时，将从奥氏体中同时析出铁素体和渗碳体，两者互相交替层状排列成的机械混合物，即是珠光体在S点成分的钢，室温下组织全部是珠光体。图中P点的成分相当于C0.02%。当温度下降时，由于碳在铁素体中的溶解度随着