

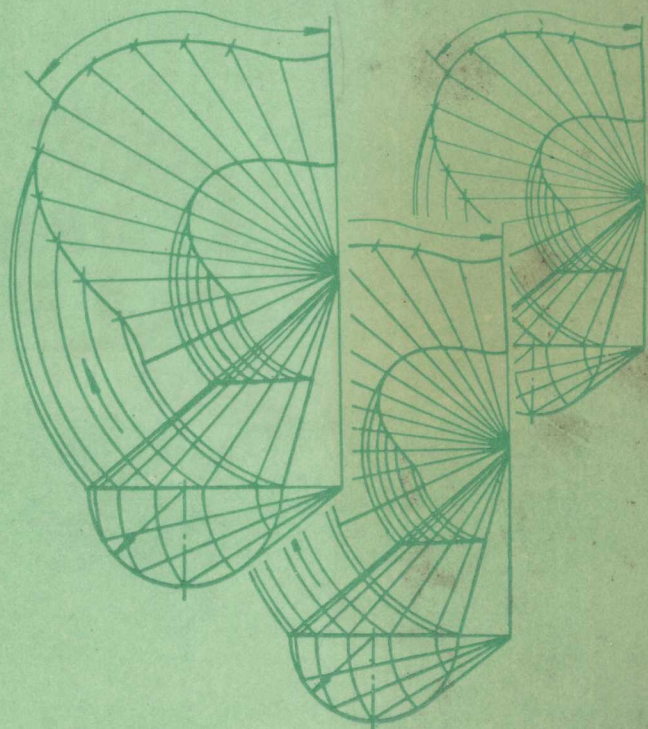


全国技工学校机械类

通用教材

铆工工艺学

第二版



中国劳动出版社

本书是根据劳动部培训司 1990 年修订的《铆工工艺学教学大纲》进行修订的,供技工学校招收初中毕业生使用的统编教材。

本书共分九章,主要包括:矫正、放样与号料、展开放样基础知识、展开放样、下料、零件的预加工、弯曲成形、联结和装配等。

本书与《铆工生产实习》配套使用。

本书也可作为青工培训和职工自学用书。

在修订过程中,得到本溪钢铁公司技工学校,大连造船厂技工学校的大力支持,在此一并致谢。

原作者:梁绍华、孟广斌、梅金林、谢正华;金仲达审稿。

本书由梁绍华、孟广斌、梅金林、金安达编写;梁绍华主编;金仲达审稿。

铆 工 工 艺 学

(第二版)

劳动部培训司组织编写

责任编辑 王绍林

中国劳动出版社出版

(北京市和平里中街 12 号)

北京市怀柔县东茶坞印刷厂印刷

新华书店总店科技发行所发行

787×1092 毫米 16 开本 15.25 印张 380 千字

1986 年 4 月北京第 1 版 1990 年 11 月北京第 2 版

1991 年 2 月北京第 6 次印刷 印数, 20000 册

ISBN 7-5045-0612-5/TG·060(课) 定价: 4.15 元

第 一 版 前 言

为了适应技工学校逐步转向以招收初中毕业生为主的教学要求，我局于一九八三年七月委托部分省、市劳动人事厅（劳动局），分别组织编写了适合初中毕业生使用的技工学校机械类通用工种各课程所需的教材。这次组织编写的有语文、数学、物理、化学、工程力学、机械基础、金属材料与热处理、电工学、机械制图（配套使用的有机械制图习题集）、车工工艺学（配套使用的有车工工艺学习题集）、车工生产实习、钳工工艺学、钳工生产实习、铸工工艺学、铸工生产实习、铆工工艺学、机械制造工艺基础等十七种。其中语文、数学、物理、化学非机械类工种也可以选用。其他课程的教材，以后将陆续组织编写。

上述十七种教材，是按照党的教育方针，本着改革的精神组织编写的。在内容上，力求做到理论与实际相结合，符合循序渐进的要求，从打好基础入手，突出机械类技工学校生产实习教学的特点，密切联系我国机械工业的生产实际，并且尽量反映工业生产中采用新材料、新设备、新技术、新工艺的成就，以便使培养出来的学生，能够具有一定的文化知识，比较系统地掌握专业技术理论和一定操作技能，为今后的进一步提高打下基础。

这次组织编写教材的工作，由于时间比较紧促，经验不足，缺点和错误在所难免，希望使用教材的同志提出批评和改进意见，以便再版时修订。

劳动人事部培训就业局

一九八四年

第 二 版 说 明

全国技工学校通用教材和配套使用的习题集，自1984年相继问世以来，对技工学校的教学和企业的工人培训发挥了重要作用，受到了广大读者的欢迎。但是通过教学实践，也反映出教材中有些内容偏多、偏深、偏难，联系生产实际不够；教材之间分工、配合与协调不够；还有某些差错。为了进一步提高教学质量，适应技工学校和职业培训的需要，我司会同劳动人事出版社组织原编审人员和有关人员教材进行了修订。

这次修订教材，强调要准确把握培养目标的基本业务技术要求；注意结合实际，精心选材；努力协调各门教材的关系，力争分工更为合理，衔接配合更为紧密；尽量减少差错。

组织修订教材的工作，和前段组织编审教材的工作一样，得到了北京、上海、天津、辽宁、黑龙江、吉林、陕西、四川、山东、江苏、湖南、湖北、广东、广西、河南、新疆等省市劳动局（厅）的大力支持和协助，我们表示感谢。

修订后的教材还可能存在缺点和不足，欢迎使用教材的同志和读者提出意见。

劳动部培训司

1989年8月

绪 论

将金属板材、管材及型材，在基本不改变其断面特征的情况下，加工成各种金属结构制品的综合工艺称为铆工。铆工是机器制造业中的主要工种之一。

在金属结构中，按所用的材料不同可分为钢结构、有色金属结构和混合结构（由黑色金属材料与有色金属材料混合制成的结构）。其中，钢结构为数较多，有色金属结构较少，而混合材料结构则更少。所谓钢结构，就是由钢板和型钢等钢材，用铆、焊、螺栓等联接而成的结构。

钢结构具有如下的特点：产品具有较高的强度和刚度，较低的结构重量；加工简便，所用设备简单；坯料允许以小拼大可以制成各种复杂的或大型的结构；材料利用率高，产品的废品率低；结构设计的灵活性大，壁厚可以相差很大，这与铸锻件相比，具有很大的优越性；可接受力和工作情况，在不同的部位选用不同强度和不同耐磨、耐腐蚀、耐高温等性能的材料；钢结构件外形平整，加工余量少，可以简化铸锻件的结构，从而可以减轻重量，缩短生产周期，降低成本。例如，江南造船厂制作的12000吨水压机的下横梁，采用钢结构件的重量为260吨，若用铸钢件则重达470吨。可见在具有相同的强度和刚度时，钢结构件比铸锻件可大大地减轻重量，降低成本。因此，钢结构件将越来越多地取代铸、锻件。

金属结构的主要形式有桁架结构、容器结构、箱体结构和一般构件结构。桁架结构是以型材为主体制造的结构，如屋架、桥梁等；容器结构是以板材为主体制造的结构，如油罐、锅炉等；箱体结构和一般构件结构是以板材和型材混合制造的结构，如船舶、箱形梁、机架等。金属结构的联接方法主要有：铆接、焊接、铆焊混合联接和螺栓联接四种。此外，还有胶接、咬口联接、胀管联接等。目前，由于科学技术的发展和国民经济建设的需要，特别是近几十年来焊接技术的高度发展，采用焊接结构的越来越多，单独采用铆接的金属结构逐渐减少。

金属结构产品遍及国民经济的各个部门，例如冶金工业中的高炉炉壳、炼焦设备；机械工业中的制氧机、起重机、大型压力机机架；电力工业中的锅炉、冷凝器、铁塔；交通运输业中的飞机、机车、汽车、船体；建筑业中的屋架、桥架；石油化工业中的塔、器、罐等。金属结构产品在农业、轻工业以及国防工业等部门也得到广泛应用。

铆工操作的基本工序有矫正、放样、号料、切割、弯曲、装配、焊接或铆接等。按工序性质可分为备料、放样、加工成形和装配联接四大部分。

备料主要指原材料和零件坯料的准备。其中包括材料的矫正、除锈、检验和验收等。如果零件的坯料尺寸比原材料大，还需要进行拼接，此时备料工作还包括划线、切割等。

放样是根据产品的零件图画出放样图，再根据放样图确定产品或零件的实际形状和尺寸制作样板，利用样板在原材料上划出加工线和各种位置线。对简单构件可直接进行放样。

加工成形就是沿加工线用割（气割或等离子切割）、剪、冲等方法，把坯料从原材料上割下，然后将坯料加工成一定的形状。按零件成形的方法分弯曲、压制和特种成形等。按成形时坯料是否加热又分冷加工和热加工。冷加工就是金属材料在常温下加工成形，优点是不

需加热，操作方便。热加工就是金属材料全部或局部加热后加工成形，如热压或热弯成形等。优点是金属的塑性好，容易变形。

装配联接是将成形的零件组装成部件或产品，并用适当的方法（焊接、铆接或螺纹联接等）连成整体。

由上述可知，铆工既有冷加工又有热加工，在机器制造业中，铆工仍应属于热加工工种。

随着工业生产和科学技术的不断发展，铆工已由笨重的手工操作逐渐向机械化和自动化发展。如爆炸成形，大型的剪板机、辊板机和压力机，利用电子计算机放样，自动下料，用自动钻铆机铆接等新技术、新工艺、新设备，已在铆工作业中逐步采用。

铆工在作业过程中必须与电焊工、气割工密切协作，才能进行金属结构的生产和。因此，作为一个技术熟练的铆工，除必须牢固地掌握本工种的基础理论知识外，还须熟悉其他专业的有关知识，以便更好地指导自己的生产实践。

目 录

绪 论	1
第一章 矫 正	1
§ 1.1 矫正原理	1
§ 1.2 机械矫正	3
§ 1.3 手工矫正	5
§ 1.4 火焰矫正	6
§ 1.5 高频热点矫正	11
习 题	12
第二章 放样与号料	13
§ 2.1 放 样	13
§ 2.2 号 料	22
习 题	25
第三章 展开放样基础知识	26
§ 3.1 求线段实长	26
§ 3.2 截交线	33
§ 3.3 相贯线	38
§ 3.4 断面实形及其应用	44
习 题	49
第四章 展开放样	52
§ 4.1 展开的基本方法	52
§ 4.2 基本形体展开法	57
§ 4.3 弯头展开法	60
§ 4.4 过渡接头展开法	64
§ 4.5 相贯构件展开法	68
§ 4.6 不可展曲面近似展开法	76
§ 4.7 板厚处理	81
§ 4.8 钢材弯曲料长计算	85
§ 4.9 钢材的重量计算	96
习 题	98
第五章 下 料	103
§ 5.1 剪 切	103
§ 5.2 气 割	110
§ 5.3 等离子弧切割概述	117
习 题	118

第六章 零件的预加工	119
§ 6.1 孔的加工	119
§ 6.2 攻丝与套丝	126
§ 6.3 开坡口	130
§ 6.4 磨 削	133
习 题	134
第七章 弯曲成形	136
§ 7.1 弯曲加工基础知识	136
§ 7.2 压 弯	140
§ 7.3 滚 弯	148
§ 7.4 压 延	153
§ 7.5 水火弯板	160
§ 7.6 其他成形方法	163
习 题	165
第八章 联 接	166
§ 8.1 铆 接	166
§ 8.2 螺纹联接	171
§ 8.3 焊 接	176
习 题	189
第九章 装 配	191
§ 9.1 装配的基本条件和定位原理	191
§ 9.2 装配中的测量	193
§ 9.3 装配夹具	201
§ 9.4 装配的基本方法	205
§ 9.5 简单部件的装配	213
§ 9.6 典型结构的装配	218
§ 9.7 装配的质量检验	223
习 题	224
附 录	226
表 1 热轧厚钢板品种 (GB709—65)	226
表 2 热轧等边角钢	226
表 3 热轧不等边角钢	229
表 4 热轧普通槽钢	231
表 5 热轧普通工字钢 (GB706—65)	232
表 6 型材最小弯曲半径计算公式	233
表 7 板材最小弯曲半径	235
表 8 管材最小弯曲半径	235

表 1.1 钢板表面波形允许翘曲度

钢板厚度 (mm)	3~5	6~8	9~11	>12
允许翘曲度 (mm/m)	3.0	2.5	2.0	1.5

型钢的不直度、角钢两边的不垂直度、槽钢、T 字钢、工字钢翼板的不垂直度，允许偏差如图 1.1 所示，图中 f 为型钢挠度， Δ 为偏差值。

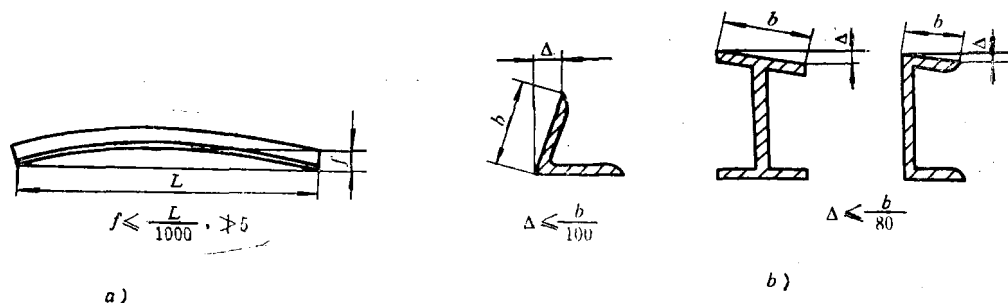


图 1.1 型材的允许偏差

a) 挠度 b) 不垂直度

结构在装配焊接后的形状和尺寸的允许偏差，随结构的类型、用途、性能要求而不同，通常在图样或其他技术文件中规定。

三、金属变形的实质和矫正方法

钢材和构件虽然由于各种原因产生不同形式的变形，但无论那一种变形，都是由于钢材各个部分存在不同的残余应力。其中一部分纤维较长，受到周围的压缩，一部分纤维较短，受到周围的拉伸。矫正的目的，就是通过施加外力或局部加热，使较长的纤维缩短，较短的纤维伸长，最终使各层纤维趋于一致，达到矫正变形的目的。实际上，任何矫正的过程都是造成新的方向相反的变形以抵消钢材或构件原有的变形。

矫正的方法很多，根据矫正时的温度分冷矫正和热矫正两种。冷矫正是在常温下进行的矫正。通过锤击延展等手段进行的冷矫正将引起冷作硬化，并消耗材料的塑性储备，所以，只适用于塑性较好的钢材。对于变形十分严重或脆性材料一般不能用冷矫正。普通钢材在严寒低温下也要避免使用。热矫正是将钢材加热至 $700 \sim 1000^{\circ}\text{C}$ 高温时进行。在钢材变形大、塑性差或缺少足够动力设备情况时应用。工件大面积加热可利用地炉，小面积加热则使用烤炬。

根据矫正时力的来源和性质分机械矫正、手工矫正、火焰矫正和高频热点矫正。机械矫正的机床常见的有多辊钢板矫正机、型钢矫直机、板缝辗压机、圆管矫直机，普通液压机和三辊弯板机可用于矫正。手工矫正是使用大锤、手锤、板手、虎钳等简单工具，通过锤击、拍打、扳扭等手工操作，矫正小尺寸钢材或工件的变形。火焰矫正和高频热点矫正的矫正力则来自金属局部加热时的热塑压缩变形。

矫正变形的各种方法经常结合使用，例如，在火焰矫正的同时对工件施加外力，在机械矫正时用火焰进行局部加热或在机械矫正之后辅以手工矫正。都可以取得较好的矫正效果。

目前,大量钢材的矫正一般是在钢材预处理阶段由专门工段进行。成批生产的小型构件和各种梁常在大型液压机或撑床上进行,各种类型的焊接结构主要采用火焰矫正。

§ 1.2 机 械 矫 正

一、钢板的矫正

板材的变形一般在多辊矫平机上矫正。矫平机的工作部分由上下两列轴辊组成,如图1.2所示,通常有5~11个工作轴辊,下列为主动辊,由轴承固定在机床上,由电动机带动

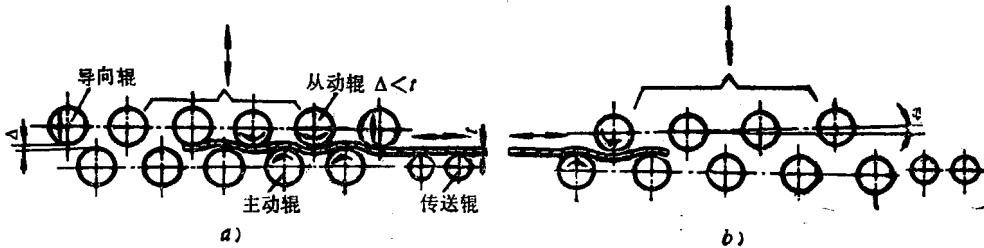


图 1.2 多辊矫平机

a) 上下辊列平行矫平机 b) 上辊列倾斜矫平机

旋转,但不能作任何调节。从动辊可用手动螺杆或电动升降装置作径向调节,改变上下辊列的距离,以适应不同厚度钢板的矫正。矫平时,钢板随着轴辊的转动而啮入,并在上下轴辊之间受到方向相反力的作用,使钢板产生小曲率半径的交变弯曲,当弯曲应力超过材料的屈服极限时就产生了塑性变形,使钢板中长度不相等的纤维在受到反复的拉伸和压缩中趋于一致,从而达到矫正的目的。

根据轴辊的排列形式和调节辊的位置,常用的矫平机有两种。

1. 上下辊列平行矫正机 当上下辊列的间隙略小于被矫正钢板的厚度时,钢板通过时就发生反复弯曲。上列两边的两个轴辊为导向辊,它不起弯曲作用,而是引导钢板进入矫正辊中,或把钢板引出矫正辊(图1.2a)。由于导向辊受力不大,其直径较小。导向辊能单独作上下调节,有的还作成能单独驱动。导出辊的高低应保证钢板的最后弯曲得以调平。通常在矫平机上要反复来回滚动多次,才能获得较高的矫正质量。

2. 上列辊倾斜矫平机 上下辊列的轴心连线成一很小的夹角 φ ,上辊除能作垂直方向的升降调节外,还可借转角机构改变倾角,使辊列间的间隙向出口端逐渐增大(图1.2b)。当钢板在辊列中通过时,弯曲曲率逐渐减小,到最后一个辊轴前,钢板的变形已接近于弹性弯曲,因此不必装置可单独调节的最后一个轴辊。钢板矫正时,前几对轴辊进行的是钢板的基本弯曲,其余各对轴辊则产生拉力,使钢板中产生一定的附加拉应力,可提高矫正效果。这类矫平机多用于薄板的矫正。

一般来说,钢板愈厚、矫正愈容易。薄板容易变形,矫正也比较困难。厚度在3mm以上的钢板,通常在五辊或七辊矫平机上矫平。厚度在3mm以下的薄板,必须在九辊、十一辊或更多辊的矫平机上矫平。

对于凹凸变形严重的钢板,可以根据变形情况选择大小和厚度合适的低碳钢板条(厚度

0.5~1.0mm), 垫于需要矫正的部位, 以提高矫平效果。

钢板制件, 由于剪切时的挤压或气割时边缘受到高温而产生变形, 需要进行二次矫正。此时, 只要把厚度相同的零件放在作衬垫的厚钢板上通过矫平机, 零件翻身后再通过一遍便能矫平。

3. 在液压机上矫正 在缺少专用钢板矫正机的情况下, 厚板弯曲变形也可以在液压机上矫正。矫正时, 使钢板的凸起面朝上, 并用厚度相同的扁钢在凹面两侧支撑工件, 使工件在强力作用下发生塑性变形, 以达到矫正的目的, 如图 1.3 所示。在对厚板凸起处施压时, 要顶过少许, 使钢板略呈反变形, 以备除去压力后钢板回弹。当工件受力点下面空间高度较大时, 应放上垫铁, 垫铁厚度要低于支撑点的高度。若钢板间时存在两种变形时, 应先矫正扭曲变形, 后矫正弯曲变形。改变垫铁和施压的位置即可矫正厚板的各种变形。

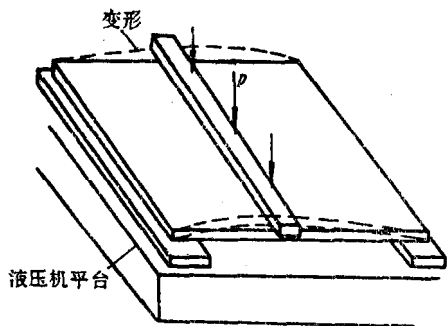


图 1.3 在液压机上矫正厚板

4. 拼接薄板的矫正 薄板拼接后容易产生波浪变形, 可用专门的辗压滚轮矫正。如图 1.4 所示。这种变形是由焊缝的纵向收缩引起的。用滚轮施加一定压力在焊缝上反复辗压, 使焊缝及其附近的金属延伸而消除波浪变形。

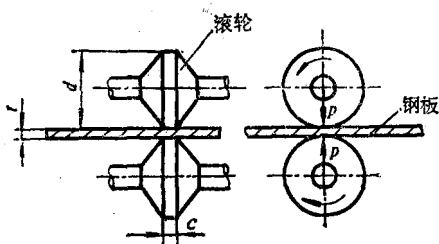


图 1.4 滚辗法矫正拼接板的变形

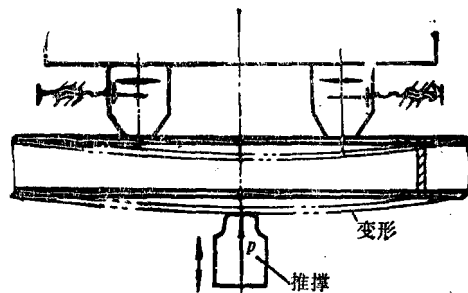


图 1.5 型钢矫直机

二、型钢和焊接梁的矫正

1. 型钢矫直机矫正 采用反向弯曲的方法, 矫正型钢和各种焊接梁的弯曲变形。矫直机运动件成水平布置, 有单头和双头两种, 双头矫直机两面对称, 可同时工作。矫直机的工作部分如图 1.5 所示, 型钢置于推撑和支撑之间, 可以左右移动, 支撑间距可由操纵手轮调节, 以适应型钢不同情况的弯曲。推撑由电动机驱动作水平往复运动时, 便周期性地对被矫正的型钢施加推力, 使其产生反向弯曲而达到矫正的目的。推撑的初始位置也可调节, 以改变推力, 控制变形量。矫直机两侧设滚轮, 承受型钢重量, 减小型钢往复移动的阻力。

2. 液压机矫正 型钢、焊接梁和小型基座的弯曲或扭曲变形也可在液压机上矫正。操作时根据工件尺寸和变形情况考虑工件和垫板的合适位置, 有时还需按型钢形状加放衬铁, 使工件受力合理。

三、钢材预处理流水线

目前,大量使用板材的工厂已将钢板的矫正、表面清理和防护一起组成钢材预处理流水线,它包括钢板的吊运、矫正、清理、喷涂和烘干等工艺过程。

钢板由传送滚道成平置状态送入多辊矫平机矫平,再进入预热室使钢板温度达到 $40\sim 60^{\circ}\text{C}$,以利于除去表面的水分、油垢,并使氧化皮和锈斑疏松,然后进入抛风室,由卧式抛风机进行双面抛风除锈,再由传送滚道送入喷漆室,通常用高压无气喷涂机,对钢板进行自动双面喷涂保养底漆,接着进入烘干室烘干。处理完毕的钢板,最后由滚道直接送到号料场进行号料、切割等作业。采用板材预处理流水线不仅能大幅度提高劳动生产率、降低成本,并能保证钢板的矫正、除锈和喷涂质量。

§ 1.3 手工矫正

无专用的矫正机床,或对于小尺寸的板材、型材、零件和构件也常用手工矫正各种变形。

手工矫正最为常见的是使用大锤或手锤锤击工件的某些部位,使该处金属延展,纤维伸长,达到矫正的目的。薄板中部凸起俗称“臃包”,这是由于钢板四周紧、中间松造成的,矫正时可由凸起处的边缘开始向四周锤击,越接近板边,锤击密度越大,锤击力越重,使各部分材料得到不同程度的伸长,使凸起变形消除(图1.6a)。

如果薄板四周呈波浪形,矫正时由四周向中间锤击,锤击点向中间逐渐加密,锤击力向中间逐渐加大(图1.6b)。

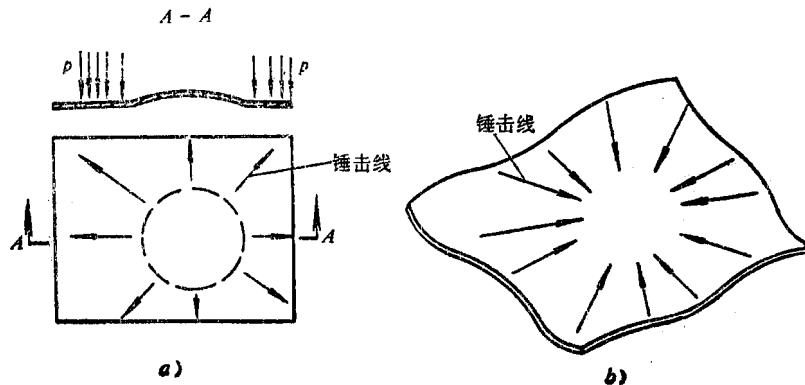


图 1.6 薄板的手工矫平

a) 中间凸起

b) 边缘成波浪形

扁钢、角钢、圆管的弯曲变形也可以用锤击延展的方法矫正,如图1.7所示。锤击部位



图 1.7 型材、管材的锤击矫正

在工件凹入的一侧，图中箭头表示锤击和材料伸展的方向。

型钢的弯曲、扭曲的矫正，可在平台、圆敦、虎钳上用手锤、板手矫正，利用锤击时的冲击力造成的弯矩使工件产生反向弯曲。手工矫正的操作方法将在生产实习中详细介绍。

§ 1.4 火焰矫正

一、火焰矫正的原理与特点

1. 火焰矫正原理 火焰矫正时，要对变形钢材或构件上伸长部分的金属进行有规则的火焰集中加热，并达到一定的温度。冷却后，该部分金属就获得不可逆的压缩塑性变形，使变形的工件得到矫正。所以，火焰矫正是利用金属局部加热后所产生新的变形抵消原来变形而达到矫正的目的。

金属具有热胀冷缩的特性。局部加热时，被加热的金属膨胀，由于周围温度低，膨胀受到阻碍，加热部分金属受到压缩应力，当加热温度达到 $600\sim 700^{\circ}\text{C}$ 时，应力超过屈服极限，就产生塑性变形。一般低碳钢当温度在 $600\sim 650^{\circ}\text{C}$ 时，屈服极限就接近于零。停止加热后，金属冷却，加热处金属纤维比原先缩短。现在以长板条一侧非对称加热的情况为例加以说明。如图1.8所示，用电阻丝作为热源对狭长板条的一侧迅速加热。此时，在板条中产生对横截面成不对称分布的非均匀热场，图中温度曲线 T 。

为了便于说明，假设金属板条是由若干互不相连的小窄条组成，那么，每一小窄条都可以按各自不同的温度自由膨胀，其结果使单位长度板条端面出现和温度曲线对应的阶梯形变形（图1.9a）。实际上，所假设的小窄条都是互相牵连和约束整体中的一部分，结果，板条沿

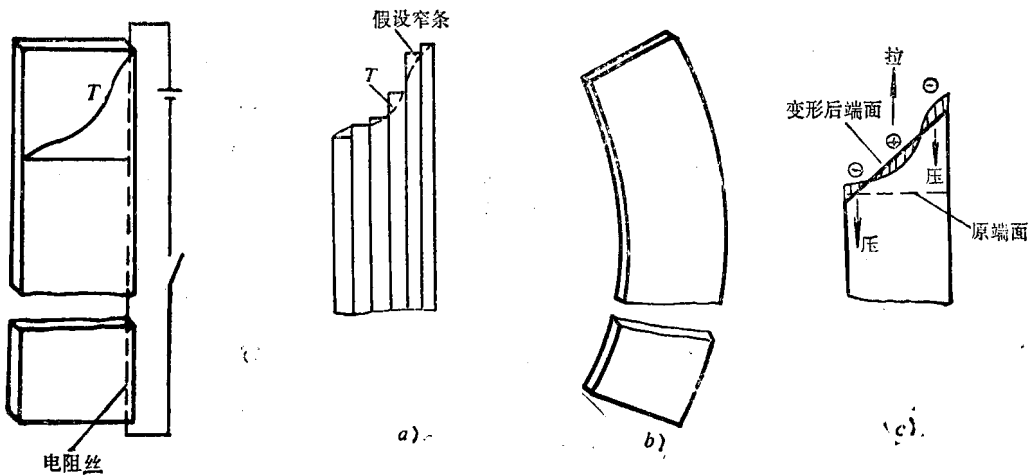


图 1.8 长板条一侧加热

图 1.9 板条一侧加热时的应力与变形

a) 板条的假想变形 b) 端面的实际变形 c) 应力分布

长度方向出现弯曲变形（图1.9b）。板条的可见变形既有端面的横移，又有角变形。根据内应力平衡条件，其内应力分布如图1.9c所示。在应力超过屈服极限的部分就产生压缩塑性变形。冷却时，板条恢复到初始温度，加热时受到塑性压缩的部分收缩，板条也就产生残余变

形,其情况和加热时相似,只是应力分布和弯曲方向和加热时相反,如图1.10所示。

当用烤炬在长板条的一侧加热,从钢板上气割长板条,或在长板条的一侧焊接时,和电阻丝在一侧加热相似,均会产生相似的变形,板条向加热一侧弯曲。

2. 火焰矫正的特点

(1) 火焰矫正能够获得相当大的矫正力,矫正效果明显,对于低碳钢,只要有 1cm^2 面积的金属加热到塑性状态,冷却后就能产生约 24kN 的矫正力,工件上若有 0.01m^2 的材料加热面积在矫正时达到塑性状态,冷却后就会产生 2450kN 的矫正力。所以,火焰矫正可以用来矫正不同尺寸、不同形式和不同刚性的各种结构的变形。

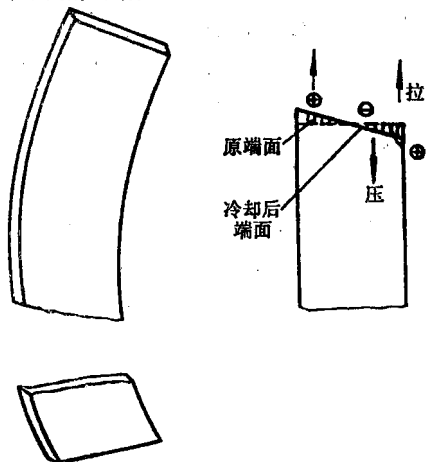


图 1.10 板条冷却后的应力与变形

(2) 火焰矫正设备简单、方法灵活、操作方便,不仅在材料准备工序中用于钢板和型钢的矫正,更广泛地被用于矫正金属结构在制造过程中产生的各种变形,如船舶、车辆、重型机架,大型容器和箱体等。

(3) 火焰矫正和机械矫正一样,也要消耗材料的一部塑性储备,对于特别重要的结构、脆性或塑性很差的材料要谨慎使用。加热温度要适当控制,温度若超过 850°C 时金属晶粒增大,机械性能下降。温度过低又会降低矫正效率。对于有淬火倾向的材料采用喷水冷却、火焰加热要特别慎重。

二、影响火焰矫正效果的因素

影响火焰矫正效果的因素主要有以下几方面。

1. 工件的刚性 采用相同的加热方式,加热位置和火焰热量时,所获得反变形的大小和工件本身的刚性有关,工件刚性越大,变形越小;刚性越小,变形越大。

2. 加热位置 火焰在工件上加热的位置对矫正效果有很大影响,不同的加热位置可以矫正不同方向的变形。由于加热部位金属冷却以后都是收缩的,所以一般的规律总是将加热位置选在金属纤维较长的部位。错误的加热位置非但不能起到矫正的作用,还可能加剧原有的变形。此外,加热处离结构中中性轴越远,矫正效果越显著。

3. 火焰热量 用不同火焰热量加热,可以获得不同矫正变形的能力。若火焰热量不足,势必延长加热时间,不能在工件上迅速建立起足够大的温度梯度。由于受热范围扩大,加热处和周围金属温差减小,影响矫正效果。对于厚度较大的钢材,厚度方向温差的减小还会明显影响角变形的量值。

4. 加热面积 火焰矫正所获得的矫正力和加热面积成正比。达到热塑状态的金属面积越大,得到的矫正力越大。所以,工件的刚性和变形越大,加热面积也越大。必要时,可以多次重复加热。

5. 冷却方式 火焰加热时若喷水急冷,可提高矫正效率,这种方法称为水火矫正。它适于低碳钢和部分低合金钢(水火矫正对材料的机械性能并不会产生影响)。但对于厚度较大又比较重要的结构,淬硬倾向较大的钢材不宜采用。水火之间的距离应注意控制,矫正4~

6mm钢板，一般为25~30mm左右。有淬硬倾向的材料距离还应大些。水冷的主要作用是在加热区建立较大的温度梯度，以造成较大的温度应力，同时还可以缩短重复矫正的时间间隔。一般来说，金属冷却的速度对矫正效果并无明显影响。

三、火焰的加热方式

根据加热区的形状通常有点状加热、线状加热和三角形加热三种方式。

1. 点状加热 用火焰在工件上作圆环状游动，均匀地加热成圆点状，俗称火圈。火圈在板材上多呈梅花式布置，如图1.11所示，在圆管或其他型材上成直线布置。火圈直径 d 和间距 a 由板厚和变形情况确定。

$$d = 8\delta + 10 \quad (1.1)$$

$$a = d - 4f + 150 \quad (1.2)$$

式中 δ —板厚，mm；

f —板材弯曲挠度，mm。

d 一般不少于15mm， a 则在100mm左右。图中数字表示加热顺序。

2. 线（条）状加热 火焰在一定方向沿直线移动，或同时作横向摆动，形成有一定宽度的条状加热，如图1.12所示。线状加热时，横向收缩大于纵向收缩，其收缩量随加热线宽度的增加而增加，加热线宽度通常取板厚的0.5~2.0倍，一般约15~30mm。加热线长度和间距由工件尺寸和变形情况确定。线状加热多用于矫正刚性和变形较大的结构。

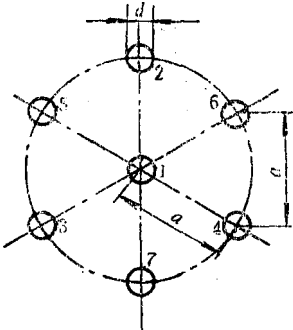


图 1.11 点状加热

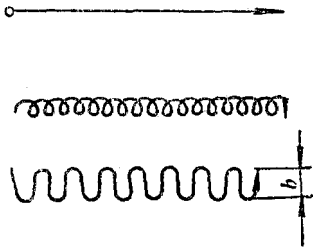


图 1.12 线状加热

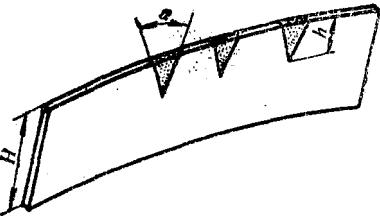


图 1.13 三角形加热

3. 三角形加热 借火焰摆动使加热区呈三角形，三角形底边在被矫正钢板的边缘，顶端向内，如图1.13所示。由于三角形加热面积大，收缩量也较大，而且沿三角形高度方向的加热宽度不相等，越靠近板边，收缩越大。所以，三角形加热法常用来矫正厚度和刚性比较大的构件变形，如型钢和焊接梁的弯曲变形，或用于矫正板架结构中钢板自由边缘的变形。加热

三角形顶角约为30°，用来矫正型材或焊接梁时，三角形高度约为腹板高度的1/2~2/3。

四、火焰矫正工艺要领

用火焰加热矫正变形是金属结构制造中经常用到的，为提高矫正效率和工件的矫正质量，操作时应注意以下几点：

1. 预先了解结构材质及其特点,以确定能否使用火焰矫正,并根据不同材质正确掌握矫正过程中的温度,避免因火焰矫正而导致材料机械性能的严重下降。

2. 分析结构的变形情况,考虑加热方式、加热位置和矫正步骤,选择最佳的矫正方案。

3. 加热火焰一般采用中性焰,如要求加热深度浅避免造成较大的角度形,也可采用氧化焰。

4. 矫正尺寸较大的复杂板架结构时,将会有局部变形,又有总体变形;既有板的变形,又有骨架的变形,各种变形互相影响、互相制约。矫正时应掌握变形规律、灵活运用,尽量减小矫正工作量,保证质量、提高效率。

5. 进行火焰矫正,也可同时对结构施加外力,例如利用大型结构自身重量和加压重物以造成附加弯矩,或利用机具牵、拉、顶、压。

五、火焰矫正实例

1. 钢板变形的矫正 当薄板中间部分凸起而四周比较平整时,将钢板置于平台上,四周用卡子夹紧,再用点状加热凸起处,其顺序如图 1.14a 中数字所示。这种凸起也可用线状加热矫正,其顺序是从凸起的边缘向中间围拢,如图 1.14b 所示。当板材边缘松弛成波浪形

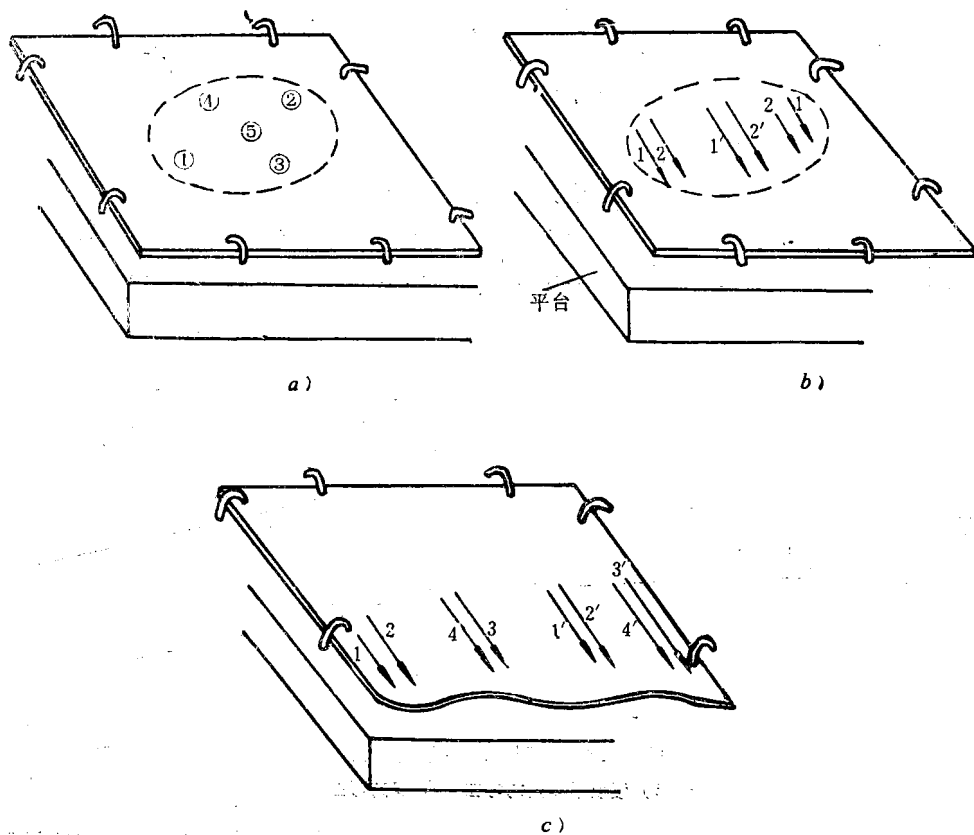


图 1.14 薄板变形的矫正

a) 中间凸起点状加热 b) 中间凸起线状加热

c) 边缘波浪变形

时,先用卡子将钢板三边夹紧在平台上,使变形尽量集中在钢板的一边,从凸起的两侧向中间用线状加热,顺序如图 1.14c 所示。加热线的长度和间距视变形大小而定。

厚板较常见的是弯曲变形,矫正时,将其凸起朝上置于平台上,在其最高处进行线状加热,加热深度约为板厚的 $\frac{1}{3}$,造成厚度方向的不均匀收缩,使之矫平。

薄板对接后接缝处有纵向波浪变形和横向角变形时,先沿焊缝方向在其两侧用线状加热,矫正其纵向弯曲,如图 1.15a 所示。再垂直于焊缝方向在焊缝两侧用线状加热以矫正角变形,如图 1.15b 所示。

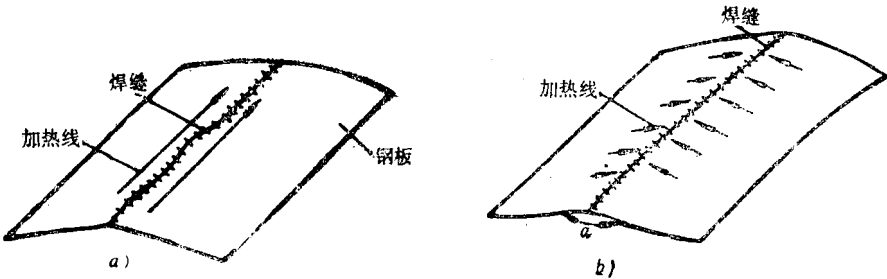


图 1.15 对接薄板的矫正
a) 纵向变形矫正 b) 角变形矫正

2. 型材、焊接梁的矫正 型材和各种焊接梁较常见的是弯曲变形,有时也产生扭曲。图 1.16a 为用三角形法加热腹板的自由边,图 b 为用线状法加热翼板,都是为矫正 T 字梁在腹板平面内不同方向的弯曲变形。图 1.16c 所示为 T 字梁在腹板和翼板平面内双向弯曲的矫正情况,图中 f 为弯曲的挠度。槽钢、工字梁,箱形梁的矫正方法与此相似。

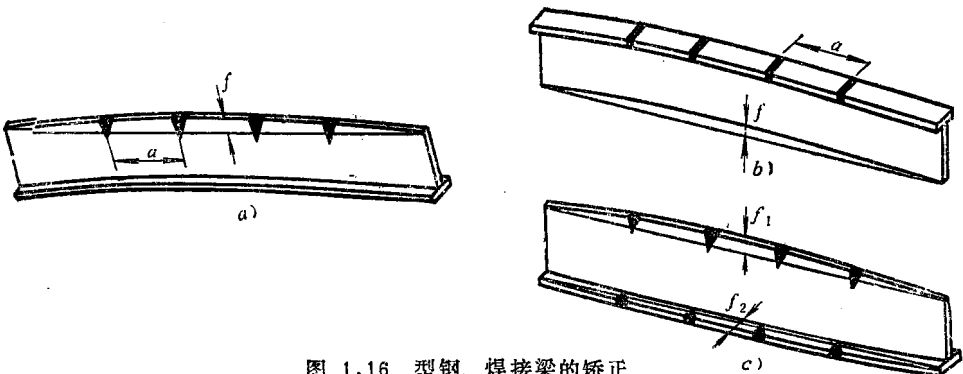


图 1.16 型钢、焊接梁的矫正
a、b) 腹板平面内的弯曲 c) 双向弯曲

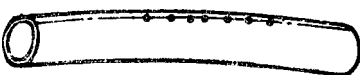


图 1.17 圆管和轴的矫正

大直径圆管和轴的弯曲可用点状加热法矫正,如图 1.17 所示。

3. 板架变形的矫正 由板材和型材构成的大型板架结构,在装配焊接后往往产生各种