

中国造船工程学会人才与教育学术委员会
教材建设学组推荐

船舶工人培训丛书

CHUANBO GONGREN PEIXUN CONGSHU

船体火工中级工培训教程

主编 刘雪梅

船舶工业教材编审室审

哈尔滨工程大学出版社



船体火工中级工培训教程

主 编 刘雪梅

哈尔滨工程大学出版社

内 容 简 介

本书是船体火工中级工培训教材,主要介绍了船体火工加工知识、型钢火工加工知识、板材热弯加工知识和火工矫正知识等。火工加工部分重点介绍了水火弯板的原理及参数选择;型钢部分重点介绍了角钢、槽钢、工字钢、球扁钢几种型钢的弯制成形方法;板材部分重点介绍了典型船壳板、一般薄板壳体、压力容器封头热弯成形工艺;火工矫正部分重点介绍了部件、分段、船台大合拢中变形的矫正。教材内容理论联系实际,通俗易懂。

本培训教材可作为技术学校火工专业教材,也可供船厂其他工种的工人和有关技术人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

船体火工中级工培训教程/刘雪梅主编. —哈尔滨:哈尔滨
工程大学出版社,2007
ISBN 978-7-81073-933-7

I. 船… II. 刘… III. 造船-金属材料-热处理-技术
培训-教材 IV. U671.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 014815 号

出版发行 哈尔滨工程大学出版社
社 址 哈尔滨市南岗区东大直街 124 号
邮政编码 150001
发行电话 0451-82519328
传 真 0451-82519699
经 销 新华书店
印 刷 肇东粮食印刷厂
开 本 787mm × 1 092mm 1/16
印 张 6.25
字 数 148 千字
版 次 2007 年 4 月第 1 版
印 次 2007 年 4 月第 1 次印刷
印 数 1—2 000 册
定 价 15.00 元

<http://press.hrbeu.edu.cn>

E-mail: heupress@hrbeu.edu.cn

前 言

本书是根据 1997 年 12 月劳动部、中国船舶工业总公司颁发的《中华人民共和国职业技能鉴定规范(考核大纲)》中的“船体火工(中级)”部分编写的,适用于船体技术工人培训使用,也可供有关专业技术人员参考。

本书以中级船体火工人才的培养为出发点,始终围绕火工的特点,注重内容的实用性,具有较强的针对性。在内容的编写上,紧扣大纲,深度、广度适中,体现了理论和实践的结合。编写过程中编者对渤海船舶重工有限责任公司、上海江南造船厂、沪东造船厂等国内几大造船企业进行了调研,结合了这些船厂现在的生产实际及新工艺,在编写时还考虑到一些小型造船企业的现状。

全书共四章,重点介绍了水火弯板的原理及参数选择、型钢的火工加工、板材热弯加工、火工矫正等。力求结合造船厂的生产实际,体现国内外船体火工的新工艺、新技术、新材料和新设备。

本书由渤海船舶职业学院刘雪梅任主编,编写了第二章和第三章;渤海船舶重工有限责任公司职工教育培训中心牛亚超为副主编,编写了第四章;渤海船舶重工有限责任公司柴海林编写第一章。

本书在编写过程中得到了很多同行、专家、教授、工人师傅的帮助和支持,在这里致以深深的谢意!

另外,本书在编写过程中,借鉴了其他专业教材的有益内容和船体技术工人技能鉴定方面的成功经验,但由于编者水平有限,疏漏与错误之处在所难免,竭诚欢迎读者批评指正,从而使本教材得到进一步的改进和完善。

编 者

2007 年 3 月

目 录

第一章 火工加工知识	1
第一节 火工加工工艺因素的选择	1
第二节 水火弯板知识	3
第二章 型钢火工加工知识	9
第一节 型钢单向、双向热弯加工知识	9
第二节 各种方框、圆箍、一般异形件热弯知识	17
第三章 板材热弯加工知识	37
第一节 复杂线形外板加工知识	37
第二节 典型船体壳板热加工知识	42
第三节 受压力容器封头热加工知识	49
第四节 一般薄板壳体热加工知识	56
第四章 火工矫正知识	60
第一节 部件变形矫正知识	60
第二节 分段变形矫正知识	76
第三节 船台大合拢变形矫正知识	80
第四节 上层建筑变形矫正知识	86
参考文献	94

第一章 火工加工知识

火工是指钢材在加热到一定温度后再进行加工或矫正成形的工艺过程。它包括火工加工和火工矫正两个方面。

火工加工分为局部加热弯曲和整体加热弯曲两种方法。目前局部加热弯曲常用的加工工艺有火焰弯板和水火弯板。火焰弯板是采用氧-乙炔焰,对工件表面进行局部加热,利用钢材热胀冷缩原理,使工件弯曲成形;水火弯板是在对工件表面进行局部加热的同时,浇水冷却使工件弯曲成形。整体加热弯曲是将工件放在加热炉内进行整体或分区加热,利用钢材加热后强度下降、塑性增大的特性,强制工件弯曲成形。

火工矫正是利用钢材热胀冷缩的特性,对工件进行局部加热,加热区域的膨胀受到周围较冷区域的阻碍产生压缩塑性变形,以达到矫正的目的。

第一节 火工加工工艺因素的选择

一、火焰性质

燃料在燃烧时由于氧气供给量的不同,产生下列三种火焰。

1. 氧化火焰:氧气比燃烧所需的量多时,即富氧燃烧,生成的火焰比较明亮,而且比较短,边界也很清楚,这种火焰叫做氧化火焰。由于氧气过多,在加热物表面很容易产生一层薄的氧化皮。这样不仅会减薄工件的厚度,也给下道工序带来困难,如果处理不好,将影响工件的加工质量。

2. 还原火焰:氧气比燃烧所需的量少时,即贫氧燃烧,生成的火焰呈暗红色,火焰尖端有清楚的黑烟,这种火焰叫做还原火焰。由于氧气过少,造成燃料的燃烧不充分,工件的温度升高很慢或不能升高。这样不仅降低了生产效率,同时造成了燃料的浪费。

3. 中性火焰:氧气正好等于燃烧所需的量时,生成的火焰呈鲜红而透明的颜色,这种火焰叫做中性火焰。中性火焰温度高,加热时间短,工件烧得均透,氧化皮产生量较少,节约燃料,因而最适合于钢材加热,但这种火焰在实际操作时较难控制。

综上所述,在火工加工时,应尽量采用中性火焰,避免采用氧化火焰。

二、加热温度

加热温度根据工件厚度和加工方法而定。整体加热弯曲的加热温度应比局部加热弯曲的加热温度高。钢材的最高加热温度为 1100°C ,最低加热温度为 500°C 。压制时的终压温度不应低于 850°C 。

船体上常用的钢材,当加热温度逐渐升高到 $200^{\circ}\text{C} \sim 300^{\circ}\text{C}$ 时,材料的极限强度和屈服强度达到最大值,塑性显著地降低,处于蓝脆温度。在该温度,凡是发生变形的钢材,无论在受热状态还是完全冷却到室温,材料性质都会变脆。因此钢材的温度在 $200^{\circ}\text{C} \sim 300^{\circ}\text{C}$ 左右的情况下是不允许加以捶击加工的,一般在 500°C 以下是不能进行热加工的。钢材受热超过 500°C 以后,随着温度的升高,性质会逐渐变软,极限强度和屈服强度有很大降低,从而

可以很方便地进行加工。

在加热过程中,如果温度过高(大于 950 ℃),会形成粗大的晶粒,使钢材性能显著降低,这种现象称为“过热”,过热钢材的性能可通过合理的热处理工艺如退火得到改善。若钢材加热到更高温度或长时间处于高温状态(例如多次重复加热),则氧气会渗入到钢内组织,使钢材的晶粒结构遭到破坏,这种现象称为“过烧”。低合金钢的过烧敏感性比低碳钢大,钢材产生过烧后将丧失使用性能,一般情况下难以挽救。但若温度过低,会使变形抗力增大,加工困难。因此正确掌握和测定加热温度,对保证加工质量、提高生产效率有很大作用。加热温度的测定和判别,可参照表 1-1 和表 1-2。

表 1-1 常用测温方式

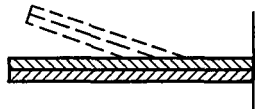
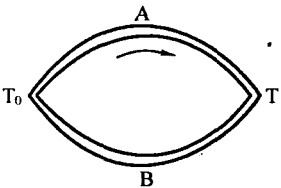
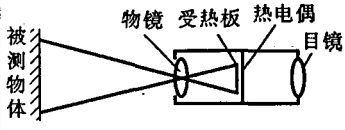
测温方式	温度计或传感器类型	制作原理	测温范围 /℃	精度	特点	原理示图
接触式	热膨胀式	水银 利用水银的体积变化与温度变化成线性关系	- 50 ~ 650	0.1% ~ 1%	简单方便,易损坏	略
		双金属 利用两种热膨胀系数不同的金属箔组合而成,一端固定,另一端自由,当温度变化时,由于两者伸缩不一致而发生弯曲,自由端将产生位移			结构紧,牢固可靠	
	热电偶	铂铑-铂 利用两种不同导体串接成一闭合电路,如果两接合点温度不同,在这回路中就有电流产生	0 ~ 1 600	0.2% ~ 0.5%	种类多,适应性强,结构简单,经济方便,应用广泛	
	热电阻	铂 镍 铜 利用导体或半导体的电阻值随温度变化而变化的性质	- 260 ~ 600	0.1% ~ 0.3%	精度与灵敏度较高,但需注意环境温度的影响	略
			- 50 ~ 300	0.2% ~ 0.5%		
			0 ~ 180	0.1% ~ 0.3%		
非接触式	辐射温度计	当物体温度高于绝对零度(- 273 ℃)时,都将有一部分能量向外辐射,物体温度越高,则辐射到周围空间的能量越多,同时一般物体也具有吸收外界辐射热的能力。当被测物体的辐射热由物镜聚焦到受热板时,受热板吸热后温度升高,通过接在受热板上的热电偶或热敏电阻来显示,借助目镜可以观察测定的结果	800 ~ 3 500	1%	非接触测温,不干扰被测温度场;应用简便,但不能用于低温	

表 1-2 钢材加热温度与颜色对照表

颜 色	温度/℃	颜 色	温度/℃
黑 色	470 以下	亮樱红色	800 ~ 830
暗 褐 色	520 ~ 580	亮 红 色	830 ~ 880
赤 褐 色	580 ~ 650	黄 赤 色	880 ~ 1 050
暗樱红色	650 ~ 750	暗 黄 色	1 050 ~ 1 150
深樱红色	750 ~ 780	亮 黄 色	1 150 ~ 1 250
樱 红 色	780 ~ 800	黄 白 色	1 250 ~ 1 300

注:以黑暗处观察为准。

三、炉内加热时间

炉内加热时间的确定以使工件表面温度与内部温度趋于均衡为原则。薄的板材容易达到表面温度与内部温度相同,而厚的板材就不容易做到这一点。这是因为加热时总是表面先受热,只有当这些热量逐渐传递到板材内部时,才能使内外温度相同。板材越厚;需要热量越多,所需的时间也就越长。单靠提高板材表面温度来缩短使板材内外温度相同的时间是不恰当的。板材通常在专用炉内进行加热,当加热到一定温度时,关闭炉门,停止进风,根据板材厚度,采用保温一段时间的办法,以达到板材内外温度一致。如果在地炉上加热,通常加“盖火板”,即用厚度为 3 mm ~ 4 mm 的旧钢板盖在加热物的加热部位上,它可以防止热量扩散。当板材加热到一定温度时减小进风量,尽量不使板材表面温度升高或使它升高很慢,而使板材内部的温度迅速升高,停留一定时间后再取出,但这种操作较难掌握。

如果加热技术不好,板材内外加热温度还不一致就进行加工,则因板材的温度不均匀软硬不一,将给加工带来困难,甚至影响加工成形的质量。

第二节 水火弯板知识

一、水火弯板的工作原理

由图 1-1 可知,当钢材局部加热到 600 ℃ ~ 700 ℃ 以上时,由于热场的局限性,受热金属的膨胀受到较冷金属的限制,即产生压缩塑性变形,在钢材冷却时,便形成收缩。在一般情况下,此种收缩变形在钢材的整个厚度方向都存在,但由于水火弯板时,加热火焰的移动速度较快,所以在加热钢材的厚度方向存在较大的温差,加热面的温度高于背面的温度,这样加热面形成的压缩塑性变形量大于背面,形成的收缩变形也比背面大,因而形成角变形。火焰弯板就是利用局部受热后钢材所产生的角变形及横向收缩来达到弯曲的目的。一般的火焰弯板方法所造成的角变形量较小,用水冷却则可以提高冷却速度,增加厚度方向的变形梯度,使角变形量增加,从而更好地达到弯板的目的。

二、水火弯板的参数选择

水火弯板的参数见表 1-3 所示。

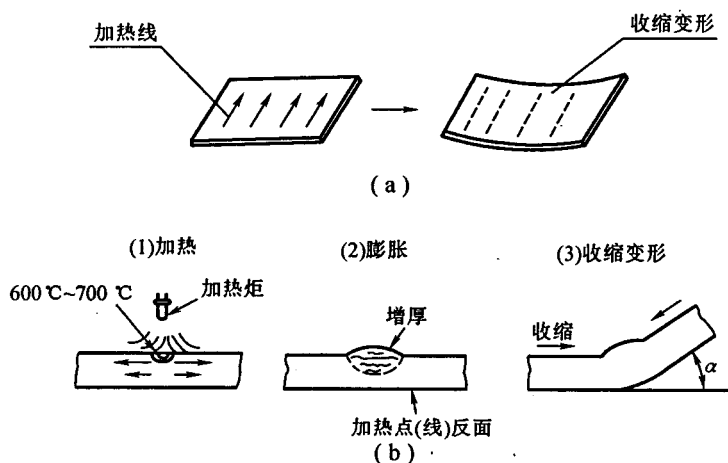


图 1-1 水火弯板的工作原理图

表 1-3 水火弯板的参数

项 目		板厚/mm			
		< 3	3 ~ 5	6 ~ 12	> 12
烘嘴号码		1	2	2,3	4
火焰性质(氧炔比)		1.0 ~ 1.2			
加热温度/℃		< 600	650 ~ 700	750 ~ 800	750 ~ 850
最小水火距/mm	低碳钢	30 ~ 50	50 ~ 70	70 ~ 100	100 ~ 120
	低合金钢	50 ~ 70	70 ~ 90	90 ~ 120	130 ~ 150
加热速度/(mm/s)		20 ~ 30	10 ~ 25	7 ~ 20	4 ~ 10
加热深度/mm		(0.6 ~ 0.8)δ δ 为板厚			
加热宽度/mm		12 ~ 15			
氧气压力/MPa		0.2 ~ 0.3	0.3 ~ 0.4	0.5 ~ 0.7	
乙炔气压力/MPa		0.04 ~ 0.08			
焰心距板面距离/mm		2 ~ 3			

注:表中水火距是正面跟踪水冷却的数值。

三、各种工艺因素对成形效果的影响

(一)加热线对成形效果的影响

水火弯板时,加热线的位置、疏密和长短对板材成形效果影响极大。加热线的位置主要影响板材是否能正确成形;加热线的疏密和长短主要影响成形效果,一般来说,加热线越密、越长,那么产生的变形则越大。但应注意,加热线不可跨越构件横剖面的中和轴,否则会影响成形效果。

图 1-2 所示是几种不同形状构件在水火弯板时的加热线的位置和方向,图中虚线表示

在板的背面加热,箭头方向表示加热方向,为避免构件边缘收缩时起皱,加热线的终止点距板边缘应有适当的距离,其值约为 80 mm ~ 120 mm,加热线的长度一般为 150 mm 左右,加热线的宽度为 12 mm ~ 15 mm 左右。在实际水火弯板操作中,加热线的位置、疏密和长短一般由操作人员按经验而定,尚无理论规律可循。

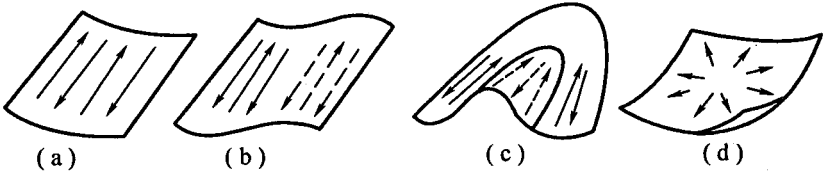


图 1-2 水火弯板时加热线的位置与方向
(a)柱形板;(b)正反弯板;(c)轴壳板;(d)球形板

(二)加热参数对成形效果的影响

加热参数主要指加热速度、烘嘴口径、加热温度、加热深度和水火距(即浇水点至火焰点的距离)。它们对水火弯板成形效果的影响见表 1-4,其中加热速度是一个主要参数,对成形效果影响较大,应特别注意,尽量选用与板厚对应的最佳加热速度,以提高成形效果。同时又要注意不要使一次成形的角度过大(以不大于 3°为宜),以免使板面出现折角,影响板面的光滑与美观。

表 1-4 各种加热参数对成形效果的影响

加热参数	对水火弯板成形效果的影响	
	横 向 收 缩	角 变 形
加热速度 (决定加热量)	速度越慢,收缩量越大。在同一加热速度下,薄板收缩大于厚板	在一定的速度范围内,速度越快,角变形越大。但速度过快时,板面加热不足,角变形反而减小。故对应于每一板厚有一最佳加热速度,在该速度时角变形达到峰值。通常随着单位线热能(单位加热线长度上钢材所得到的热量)的增加,薄板较厚板更快达到峰值
烘嘴口径 (决定火焰功率)	烘嘴口径越大,单位线热能越强,横向收缩量越大	烘嘴口径越大,角变形越大
加热温度	随温度升高而增大,当温度超过 900 ℃时,收缩量增大不显著	随温度升高而增大。薄板到达一定温度(约 750 ℃)后,角变形的增大不显著
加热深度	收缩量随深度增加而略有增大	在 1/2 板厚内,角变形随深度增加而增大;超过 1/2 板厚,随深度继续增加而逐渐减小
水火距 (决定冷却速度)	收缩量随水火距的增大而增大。达到某一峰值后,继续增大水火距,则收缩量减小	角变形随水火距的增大而减小

(三)冷却方式对成形效果的影响

水火弯板的冷却方式有自然冷却、正面跟踪水冷却和背面跟踪水冷却三种。

自然冷却是构件加热后在空气中自然冷却的一种工艺方法,如图 1-3 所示。优点是操作简单;缺点是成形速度慢,而且在产生角变形的同时会产生不必要的纵向挠度。

正面跟踪水冷却是冷水直接喷射到加热钢板加热面上进行冷却的一种工艺方法,如图 1-4 所示。它加快了金属的收缩,成形效果较自然冷却好,设备简单,操作方便,是目前最常用的冷却方式,环状水冷却更适用于薄板。

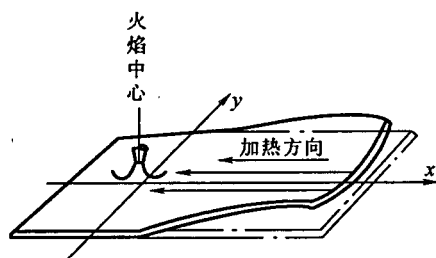


图 1-3 自然冷却

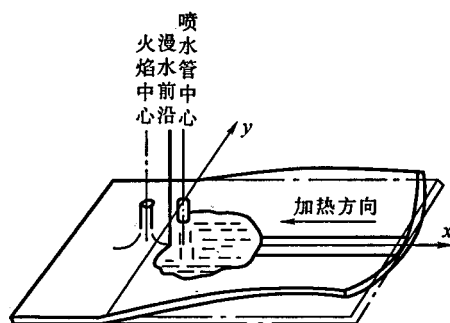


图 1-4 正面跟踪水冷却

背面跟踪水冷却是在构件正面用烘炬加热,而在背面用冷水跟踪热源进行强制冷却的一种工艺方法,如图 1-5 所示。它的角变形大,成形效果好,但所用设备复杂,操作不便,在实际生产中一般不采用,仅用于个别厚度很大的大曲率板。

三种冷却方式中,背面跟踪水冷却的成形效果最好,但操作比较复杂,因此在造船生产中应用较少。

目前常用的是正面跟踪水冷却,因为它的成形效果比自然冷却好,并且还具有操作方便的优点。

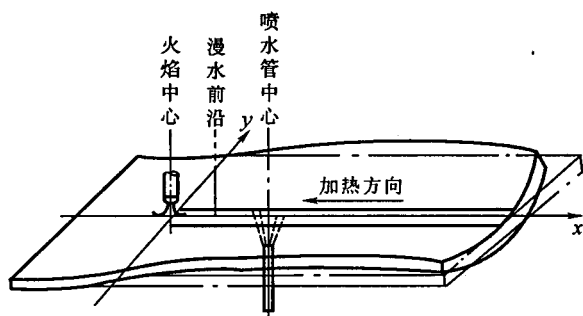


图 1-5 背面跟踪水冷却

四、水火弯板的主要工艺要求

1. 根据工件的成形要求和厚度,来选择合适的加热参数。过高的加热温度对质量和成形效果均无好处,应尽量避免。

2. 操作以前,应根据工件成形要求,在钢板上预先划出加热线的位置和长度,以便正确掌握加热位置和加热面积。加热线的起点不宜在同一直线上,应相互错开。

3. 形状左右对称的零件,两边加热线的数量、位置和长度应完全一致,操作也必须对称进行。

4. 在操作过程中,应保持加热嘴的移动速度均匀一致。

5. 尽量避免在同一部位重复加热太多,对低合金钢更应严格控制。一般情况下,重复加热次数不应超过三次。

6. 为提高成形效果,在操作中可对工件辅以必要的夹件压紧。

7. 加工完毕后,应认真检查工件表面有无裂缝、熔融、起鳞、气泡等缺陷。

8. 新钢种的水火弯板,需经试验鉴定后方可进行。

五、水火弯板的发展趋势

目前国内一些研究部门和船厂正在合作研究数控水火弯板,在外板展开计算时,根据弯曲形状,对加热线进行计算,同时提供各加热线的加热温度及时间,在数控切割钢板的同时,将水火弯板加热的焰道位置线表示在钢板上。

早在 20 世纪 60 年代中期,有的国家就开始研究和试验数控水火弯板机。其原理是根据数学放样所得出的船体外板形状,再考虑其他因素,由电子计算机算出热源运动路线,冷却水量及其他参数,编制出程序,再由类似于数控气割机的水火弯板机自动地把钢板弯成所要求的形状。这种方法效率高,精度好,但是由于影响成形的因素太复杂,所以用于实际生产困难较大。

六、低合金钢和高强度钢水火弯板知识

钢是一种非常重要的船用材料,按化学成分分为碳素钢和合金钢两大类。在碳素钢中按碳的含量又可分为低碳钢($\omega_c < 0.25\%$)、中碳钢($\omega_c = 0.25\% \sim 0.60\%$)和高碳钢($\omega_c > 0.60\%$);在合金钢中按合金元素的总含量又可分为低合金钢($\omega_{Me} < 5\%$)、中合金钢($\omega_{Me} = 5\% \sim 10\%$)和高合金钢($\omega_{Me} > 10\%$)。

钢材,特别是合金钢,经高温速冷,会变得又脆又硬,使钢材失去了应有的韧性,严重影响产品质量,这种又脆又硬的性质称为脆性。钢材脆化度的变化如图 1-6 所示。

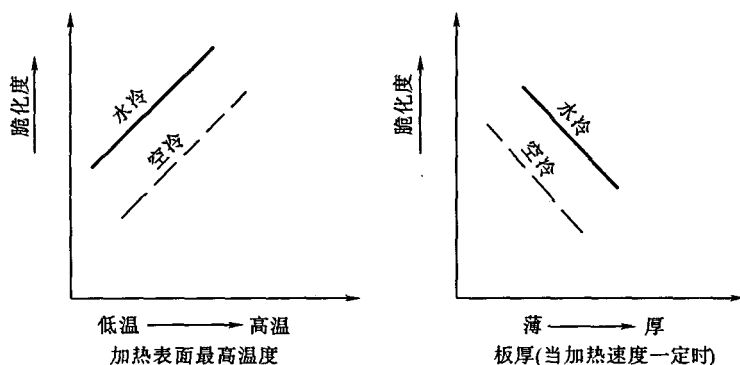


图 1-6 钢材脆化度的变化

从图 1-6 中可以看出:空冷比水冷不容易脆化;厚板不容易脆化;加热表面温度低的不容易脆化。但在实际生产中为了提高水火弯板或火工矫正的效率,总希望加快加热温度及冷却速度,这是与防止材质的脆化相矛盾的,因此在水火弯板或火工矫正时,我们必须认真根据钢种、板厚和结构等因素决定加热方法,控制加热量和冷却方法。

一般情况下各种船用低碳钢和低合金钢(如 902、16Mn、15MnTi 等),均可使用水冷,而且对其加热区金属的金相组织和机械性能没有影响或影响不大,当一次加热矫形没有达到目的时,可进行第二次矫形,但应该在第一次加热完全冷却后再进行。低碳钢的重复加热次数一般不宜超过 5 次,低合金钢不宜超过 3 次,否则将使钢材表面质量恶化,性能下降。而一些高强度钢的加热温度一般不宜过高,并且不宜水冷,可采用施加外力的方法进行弯制或矫正。

第二章 型钢火工加工知识

型钢火工加工(热加工)弯曲分为单向弯曲、双向弯曲和角钢开拢尺加工三种。型钢热弯时常用专用炉、地炉、氧-乙炔焰和中频感应加热,大多是采用大火加热(炉内加热)弯曲工艺,也有少量采用小火加热(火焰加热)弯曲工艺。

第一节 型钢单向、双向热弯加工知识

型钢单向弯曲是指型钢只有一个方向的弯曲,也称平面弯曲;型钢双向弯曲是指型钢有两个或两个以上方向的弯曲,型钢弯曲后是一个空间曲面;角钢开拢尺加工是指角钢两边 90° 夹角经加工后成为大于 90° (俗称开尺)或小于 90° (俗称拢尺)的加工。

一、型钢热变形规律

型钢热加工成形的原理:通过外力的作用或由于型钢局部加热后热胀冷缩的作用,使型钢沿中和轴内侧发生压缩的塑性变形和沿中和轴外侧发生拉伸的塑性变形,从而弯曲成形。

图2-1所示为钢板、角钢、T形钢在加热中和加热后的变形情况,图中三角形为加热区域,由于受热处的金属在冷却后会缩短,所以型钢必然向加热一侧发生弯曲变形。

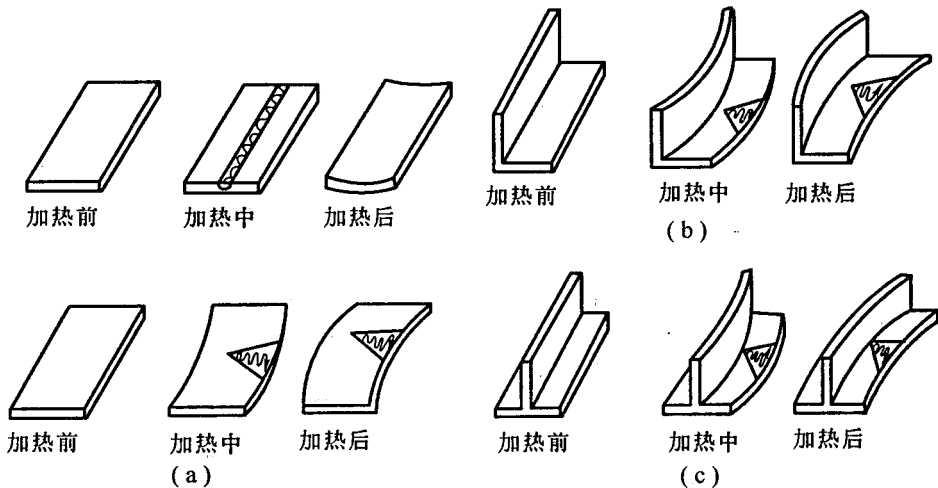


图2-1 型钢在加热过程中的变形

(a)钢板;(b)角钢;(c)T形钢

为了使型钢加热弯曲成形后,型钢的长度既不太长也不太短,以免造成返工,在型钢加热弯曲之前,必须对型钢的展开尺寸进行精确地计算。在弯曲变形中只有中和轴的长度在弯曲后既不伸长也不缩短,因此中和轴的展开长度就是型钢的展开长度。对于在弯曲方向

剖面对称的型钢,其中和轴在弯曲宽度的中心,如图 2-2 所示。

对于在弯曲方向剖面不对称的型钢,其中和轴位置就不在弯曲宽度的中心,具体的位置可通过计算方法求得,也可通过查表得到。

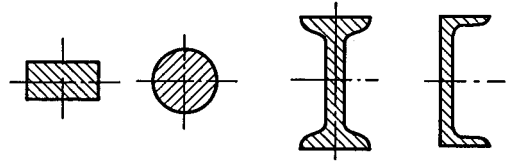


图 2-2 对称型钢的中和轴

型钢加热后在自由冷却的过程中产生变形,主要表现在型钢冷却后长度的缩短,影响成形尺寸的正确性。一些剖面不对称的型钢,由于其表面冷却速度不同,出现向表面积较大的一边弯曲的变形,这些变形的数值通常根据经验来判断。为防止变形,一般在制造模具时适当加放反变形加工余量及坯料下料时加放加工余量,或在加热时控制各部位的加热温度,以保证工件冷却后的尺寸与形状的正确性。

二、型钢冷加工常用方法

(一)逆直线加工法

一般弯曲的型钢在加工时要根据弯曲的型值(对数控肋骨冷弯机来说)或弯曲加工样板(对自由成形的弯曲工艺来说)进行弯曲。如果采用自由成形工艺弯曲型钢,还可采用逆直线加工法。如果在弯曲的型钢上作一条或几条直线(图 2-3(a)),将这根型钢矫直后,这些直线就成了曲线(图 2-3(b)),反之,如果在未弯曲加工的直型钢上作出弯曲的准线,经过加工后,这些弯曲的准线分别变成直线,同样可以据此获得准确的弯曲形状,这就是逆直线的原理。

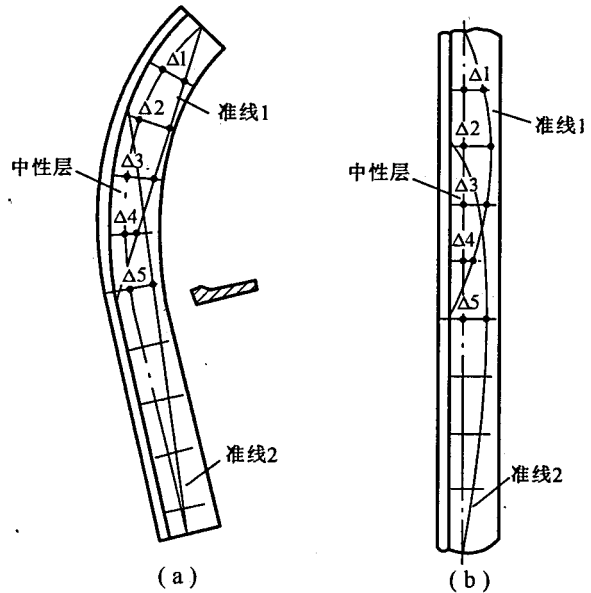


图 2-3 逆直线加工法

逆直线的型值,可以用手工作图法求得,也可采用计算机进行计算,特别是采用数学放样的船厂,可直接由计算机得出肋骨型线数据。现以图 2-3 所示肋骨为例,说明逆直线草图的作法,其步骤如下。

(1)在肋骨型线图上以对应的肋骨型线为型钢的边线,根据所用型钢的规格得出其中和轴距边线的尺寸,从而划出中和轴的位置线。

(2)划出一条或几条直准线。

(3)等分中和轴实长线,并过等分点作中和轴实长线的法线(垂线)。

(4)沿着这些法线量出中和轴到准线的距离 $\Delta_1, \Delta_2, \Delta_3, \dots$ 。

(5)在草图上划出直型钢并作出中和轴线且等分,过各等分点作中和轴线的垂线,在垂线上对应截取 $\Delta_1, \Delta_2, \Delta_3, \dots$,得到各准线点,将这些点连接起来即为逆直线的准线。

按照以上划成的逆直线草图,在加工前的型钢上划出逆直线,可以取代肋骨加工样板。但应注意,在绘制逆直线加工草图或按草图在型钢上划准线时,必须以型钢的中和轴为依据。在型钢弯曲度不大时,其中和轴长度和型钢边线的长度相差不大,则可以近似地以边线为划线依据。如果型钢弯曲度比较大,可以用两条或两条以上的准线交叉,但是这样做精度较差。如果型钢弯曲度很大(也就是弯曲半径很小),这时要用到热加工,由于加热温度不均匀容易造成中和轴位置偏离,这时就不能使用逆直线法了。

(二)数控加工法

1. 逐段进给式

图 2-4 所示是三支点逐段进给式肋骨冷弯机工作示意图。在冷弯某一段时,安装在固定夹头两侧的可动夹头连同所夹持的型材一起作如图 2-4 所示的进退和旋转运动,对型材施加外力,将型材弯成所需要的形状。

两可动夹头之间的距离 A 主要取决于型材高度 H , 一般情况下 $\frac{H}{A} = \frac{1}{3} \sim \frac{1}{4}$ 。

型材弯曲分为内弯和外弯两种,由于所受弯矩方向不同,所以内弯弯曲后出现下挠现象,外弯弯曲后出现上拱现象。产生的拱挠曲度则由中间固定夹头的垂向液压装置加垫片予以矫正,或预先给以反变形。

一段弯好后,再进给一段,这样逐段冷弯出整根肋骨。弯曲时,夹头上的夹紧装置将型材腹板夹紧,防止型材在弯曲过程中产生翘曲和皱折。现在很多船厂已实现数字程序控制,能自动弯制出各种形状不同的肋骨。

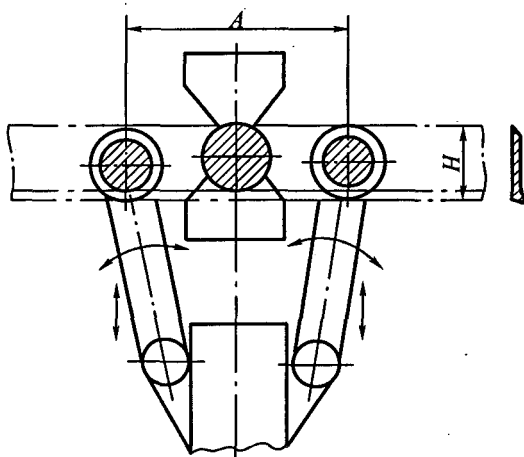


图 2-4 三支点肋骨冷弯机工作示意图

2. 一次成形式

如图 2-5 所示,是应用拉弯原理设计制造的一种能一次把肋骨加工成形的多模头数控肋骨拉弯机。该拉弯机的各个模头可用数控方法调整成所需要的肋骨形状。放上型钢,将其两端分别夹住,由拉伸缸施加拉力,并稍微超过材料的屈服强度,操纵模头,即可加工 S 形肋骨。

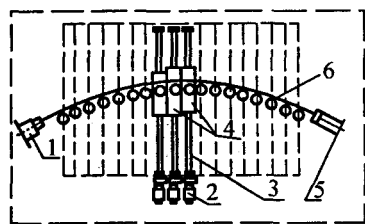


图 2-5 多模头一次成形数控肋骨拉弯机冷弯肋骨示意图

1—夹头;2—直流电机;3—位置调节螺杆;4—模具夹头;5—夹头及拉伸油缸;6—型钢

这种加工方法从自动化角度来看比较简单,因为它一定要适应船体肋骨的最大长度,所以设备庞大,投资多。由于不易预计型钢弯曲时的回弹量,因而对于高腹板的船体肋骨型钢要准确地弯成所需要的曲线形状,必须经过反复修正。

三、型钢热加工常用方法

(一)大火热弯法

大火热弯法是过去船体肋骨弯曲的常用方法,由于这种方法不仅要耗费较多的燃料,而

且生产条件差,工艺落后,现在只有一些小型船厂还在使用。

型钢热弯时,先将按肋骨线预先准备好的铁样(或靠模)固定在铸铁平台上,从加热炉中取出已加热好的型钢(一般在加热炉中将型钢加热到 $900^{\circ}\text{C} \sim 1100^{\circ}\text{C}$ 左右),将其一端固定在铁样(或靠模)的相应位置上,然后用羊角或风动锤(或大锤)弯曲型钢,逐段使其与铁样(或靠模)相吻合,如图2-6所示。在热弯过程中还必须随时用平锤等工具矫正型钢的翼板和腹板上产生的皱折及角变形(开拢尺)。

肋骨热弯成形后,在冷却过程中仍会产生变形,应进行精度检验和矫正。

(二)中频感应加热法

这种新工艺是将弯曲和淬火合为一道工序,在一台中频加热弯曲淬火机床上完成。中频弯曲淬火工艺对弯曲某些低合金钢环形肋骨的效果很好。

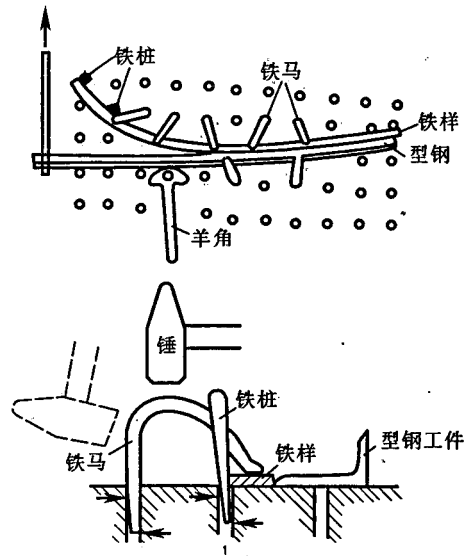


图2-6 大火热弯法热弯型钢构件

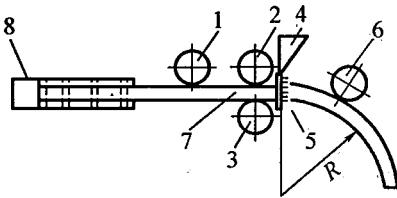


图2-7 中频感应加热弯曲肋骨

1—滚轮;2—压紧轮;3—主动轮;4—感应器;5—喷水圈;6—下压滚轮;7—球扁钢;8—进料托架

中频感应加热法的工作原理是,利用频率为 2500 Hz 的电流通过感应器产生一个交变磁场,当肋骨以一定的速度($2\text{ mm/s} \sim 3\text{ mm/s}$)从感应器中穿过时,钢在交变磁场下产生大量的热(在 10 s 左右可达到 $900^{\circ}\text{C} \sim 950^{\circ}\text{C}$),把肋骨局部加热到淬火温度。在高温下,钢的塑性增大,由于弯曲机床下压轮的作用,在这个加热区的狭窄带上发生弯曲,随后进行喷水淬火,固定成形,如图2-7所示。

中频弯曲淬火机床的主要作用是送进肋骨、弯曲肋骨和淬火。主动轮3因压紧轮2的作用而产生摩擦力,从而带动肋骨以一定速度进给。滚轮1作为固定支点,承受肋骨弯曲变形时的反作用力,并作进料导向用。部件6是下压滚轮,改变其位置即可得到所需要的肋骨弯曲半径。下压滚轮由梯形螺杆改变位置并配有限位装置。肋骨由左方经过进料托架8送入,与前根正在弯曲的肋骨相焊接;肋骨弯曲淬火后连续送出,弯制一定长度后在焊缝处用割炬割开,整个生产形成一条流水线。

肋骨经弯曲淬火后,具有很高的强度,但塑性和冲击韧性降低,可焊性差,有淬火内应力。因此,应放进大型回火炉进行回火,回火温度及保温时间视肋骨型号和因堆放松紧而造成导热的难易程度而定,也与材质中合金元素的含量变化和淬火后机械性能的具体情况有关。经过回火的肋骨,最后在液压机上进行矫正。

四、角钢开拢尺加工

角钢的开拢尺一般应用在铆接结构中,角钢起到连接的作用。在船体建造中,虽然大多数的结构为焊接结构,但是到目前为止,有些船舶的某些部位还采用角钢的铆接结构。