

# 郑州黄河桥不等厚对接焊缝收缩规律研究

薛长利, 车 平

(中铁宝桥集团有限公司, 陕西 宝鸡 721006)

**摘要:** 钢结构件制造中, 预留合理的焊接收缩量, 可减少不必要的加工工序。郑州黄河桥设计中存在大量不等厚钢板对接, 通过在焊接过程中对焊缝多个项点进行测量、分析, 归纳焊缝收缩量与钢板厚度的规律, 合理的预留焊接收缩量可减少工序流程, 降低成本。

**关键词:** 焊接; 不等厚对接; 焊接收缩量

中图分类号: TG407      文献标识码: A      文章编号: 1001-2303(2009)10-0024-04

## Research on shrinkage regularity of butt weld of variable thickness steel plates for Zhengzhou Yellow River Bridge

XUE Chang-li, CHE Ping

(China Railway Baoji Bridge Group Co., Ltd., Baoji 721006, China)

**Abstract:** Provided that the reasonable welding shrinkage allowance is reserved during the manufacture of steel structure products, the unnecessary machining procedure can be avoided. A lot of butt welding of variable thickness steel plates are existed in the design for Zhengzhou Yellow River Bridge. The regularity of weld shrinkage allowance and plate thickness is generalized from the measurement and analysis on welds during the welding process. The reasonable reserved welding shrinkage allowance can reduce manufacturing process and cost.

**Key words:** welding; variable thickness butt welding; welding shrinkage allowance

### 0 前言

郑州黄河公铁两用大桥铁路桥主桥 1 684 m, 是京广铁路客运专线和河南省规划的中原黄河公路大桥跨越黄河的共用通道。主桥材质 Q370qE, 用钢量约 4 000 余 t。其主桥桥跨布置示意及桥式简图如图 1 所示。

### 1 单元机加工

#### 1.1 对接坡口加工工艺

该桥采用整体节点连接, 箱型节点与腹板采用对接形成腹板单元, 大部分腹板单元为不等厚对接。对接时, 两板厚度不同, 板厚相对较小的称为薄板, 板厚相对较大的称为厚板。薄板板厚小于 36 mm 的不等厚对接时采用 V 型焊接坡口, 薄板板厚大于等于 36 mm 的不等厚对接采用 U 型焊接坡口。采用机加工焊接坡口。薄板加工时, 直接用刨边机刨出焊

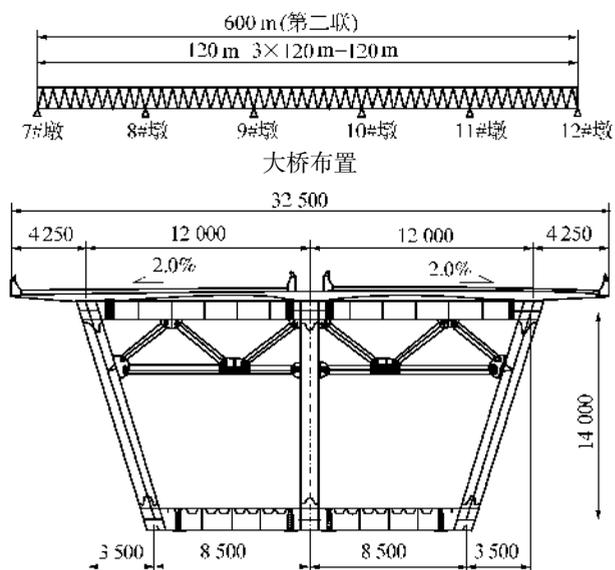


图 1 郑州黄河公铁两用桥桥式示意

缝坡口。厚板加工时, 先用斜面铣 1:8 的过渡坡口, 过渡坡口的钝边与薄板等厚后, 用刨边机刨出与薄板等角度的焊缝坡口。

收稿日期: 2009-09-18

作者简介: 薛长利(1980—), 男, 陕西武功人, 工程师, 学士, 主要从事大型钢结构生产制造技术的指导工作。

专题讨论  
——  
桥梁焊接

### 1.1 对接坡口大小参数

焊缝对接时,坡口钝边均为 6 mm,V 型焊接坡口如图 2 所示。U 型焊接坡口钝边 8 mm,坡口圆弧半径 8 mm,如图 3 所示。坡口的大小随着板厚的不同而改变,对接时,厚板的焊缝坡口大小与薄板坡口大小相同;薄板的焊缝坡口大小形式对厚板的焊缝坡口大小形式起决定性作用。现以薄板板厚为基进行归类。V 型焊接坡口参数如表 1 所示,U 型焊接坡口参数如表 2 所示。

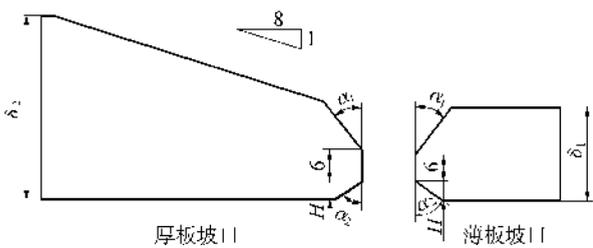


图 2 对接焊缝 V 型坡口示意

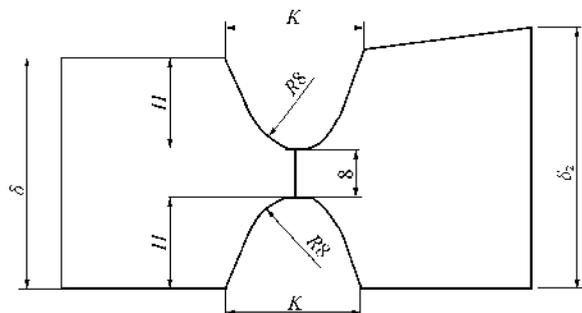


图 3 对接焊缝 U 型坡口示意

表 1 V 型坡口参数

薄板板厚 $\delta_1/\text{mm}$	厚板板厚 $\delta_2/\text{mm}$	角度 $\alpha_1/(\text{°})$	角度 $\alpha_2/(\text{°})$	$H/\text{mm}$
16	16,20,24,28,40	—	—	—
20	20,24,28,32,36,40,44	37.5	45	4
24	24,28,32,36,40,44,48,50	40.0	40	6
28	28,32,36,40,44,48,50	32.5	41	8
32	32,36,40	32.5	39	10

表 2 U 型坡口参数

薄板板厚 $\delta_1/\text{mm}$	厚板板厚 $\delta_2/\text{mm}$	$K/\text{mm}$	$H/\text{mm}$
36	36	22	15
40	40,48,50	24	17
44	44,50	26	19
50	50	28	22

## 2 对接板单元的组拼及焊接前、后数据记录

### 2.1 板单元的组拼

为了防止板单元在组装过程中出现厚度方向

上的错台现象,板单元组拼在简易平台上进行。组拼时以厚板非过渡坡口侧为基准,将厚板摆放在简易平台上。组拼薄板时,对接坡口要与厚板对接坡口相对应,坡口深度较小侧朝下。板单元对接示意如图 4 所示。

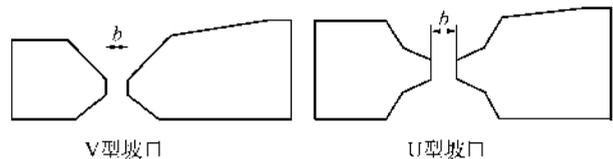


图 4 板单元对接示意

### 2.2 板单元组拼后钝边间隙数据测量

组装时控制焊缝间隙尤为重要,《郑州黄河桥制造规则》要求对接焊缝间隙  $b \leq 1 \text{ mm}$ 。工厂制造 98% 以上的都能控制在 1 mm 范围内。对不同板厚板单元对接焊缝间隙用塞尺进行测量统计,以对接薄板的厚度为准,对数据进行归类。对各种板厚间隙  $b$ ,数据记录超过 30 组,将记录的数据取其平均值,并按  $b \geq 1 \text{ mm}$ 、 $1 \text{ mm} > b \geq 0.5 \text{ mm}$  和  $b < 0.5 \text{ mm}$  归类,具体数值如表 3 所示。

组拼完成后,在焊缝两侧用冲钉打眼,两眼间的距离 300 mm,每块对接荒料上打三对眼,组焊间隙也是在两冲钉眼的焊缝区测量的,如图 5 所示。

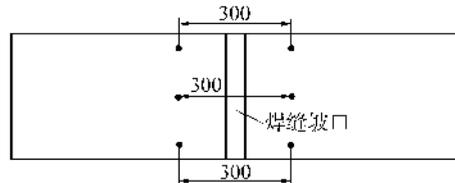


图 5 焊接前冲钉眼在荒料焊缝上的分布

### 2.3 板单元焊接

根据焊接工艺评定试验,荒料对接采用埋弧自动焊,焊丝 H08Mn2E,直径  $\varphi 5 \text{ mm}$ 。为了保证熔透,一般先焊接完大坡口侧,清根小坡口侧,最后完成小坡口侧的焊接。第一道焊接时,为了防止焊穿钝边,采用小电流焊接,焊接电流  $I=650 \pm 30 \text{ A}$ ,电压  $U=30 \pm 1 \text{ V}$ ,焊接速度  $v=21.5 \text{ m/h}$ 。焊接第二道至最后一道,采用正常焊接参数,焊接电流  $I=680 \pm 30 \text{ A}$ ,电压  $U=32 \pm 2 \text{ V}$ ,焊接速度  $v=21.5 \text{ m/h}$ 。焊接过程中,每一道焊接前焊缝温度控制在  $150 \text{ °C}$  以内。

小坡口焊接前,按照工艺要求清根处理,工厂清根采用直径  $\varphi 8 \text{ mm}$  的碳弧棒。由于所有板单元对接时焊接钝边均为 6 mm,清根清掉钝边的深度一般为 4 mm,不受板厚的影响。根据现场操作实际来

专题讨论——桥梁焊接

表 3 板单元组装焊缝间隙及焊后数据记录

薄板板厚 $\delta_1/\text{mm}$	厚板板厚 $\delta_2/\text{mm}$	$b \geq 1 \text{ mm}$		$1 \text{ mm} > b \geq 0.5 \text{ mm}$		$b < 0.5 \text{ mm}$	
		组装间隙	焊后距离	组装间隙	焊后距离	组装间隙	焊后距离
16	16	1.08	297.2	0.63	297.4	0.25	297.5
	20	1.14	297.3	0.58	297.6	0.36	297.6
	24	1.11	297.0	0.74	297.4	0.29	297.5
	28	1.06	297.4	0.81	297.0	0.41	297.4
	40	1.08	297.0	0.66	297.5	0.35	297.5
20	20	1.04	296.9	0.82	297.1	0.40	297.3
	24	1.15	296.8	0.72	297.0	0.36	297.4
	28	1.13	296.7	0.68	297.2	0.44	297.2
	32	1.08	297.2	0.70	297.0	0.38	297.2
	36	1.09	297.0	0.62	296.9	0.29	297.5
24	40	1.04	297.1	0.77	297.0	0.37	297.2
	44	1.06	297.0	0.72	296.9	0.41	297.5
	24	1.12	296.6	0.65	296.7	0.40	297.0
	28	1.09	297.1	0.73	296.8	0.37	297.1
	32	1.07	296.7	0.69	296.8	0.42	297.2
28	36	1.14	296.8	0.88	296.7	0.30	297.0
	40	1.10	296.9	0.85	296.6	0.44	297.2
	44	1.08	296.6	0.73	296.8	0.41	297.1
	48	1.05	296.7	0.82	296.9	0.35	297.3
	50	1.10	296.6	0.81	296.6	0.43	296.9
32	28	1.12	296.5	0.84	296.6	0.37	296.9
	32	1.09	296.7	0.77	296.7	0.43	297.0
	36	1.11	296.7	0.81	296.6	0.39	296.9
	40	1.05	296.5	0.73	296.7	0.40	296.8
	44	1.07	296.4	0.68	296.6	0.31	297.0
36	48	1.08	296.6	0.82	296.5	0.36	296.8
	50	1.13	296.5	0.59	296.5	0.37	296.8
	32	1.10	296.3	0.68	296.4	0.44	296.6
40	36	1.04	296.4	0.58	296.4	0.39	296.7
	40	1.07	296.4	0.72	296.5	0.40	296.7
44	36	1.10	296.2	0.75	296.4	0.39	296.6
	40	1.09	296.2	0.77	296.2	0.41	296.4
	48	1.07	296.3	0.68	296.3	0.38	296.6
50	50	1.07	296.2	0.71	296.5	0.43	296.4
	44	1.10	295.9	0.77	296.1	0.43	296.2
50	50	1.12	296.0	0.70	296.2	0.42	296.3
50	50	1.13	295.6	0.59	295.8	0.38	296.1

注:表中的焊后是指焊接完成后测量冲钉眼之间的距离。

看,清掉钝边的最大宽度与板单元对接的薄板厚度有关,薄板为 16 mm 的不等厚对接,不用清根可以保证熔透。现将每种板厚所记录 200 组以上的数据取其平均值四舍五入整理归类,具体数值如表 4 所示。

表 4 焊接熔透清根槽口宽度 mm

板厚	槽口宽	板厚	槽口宽	板厚	槽口宽
16	0	28	8.8	40	9.2
20	8.4	32	9.0	44	9.3
24	8.7	36	9.0	50	9.4

### 2.4 焊接后数据量取

焊接完成后,磨掉焊缝余高,按照如图 5 所示方式对两冲钉之间的距离进行测量,同样按照组装间隙的大小对其取平均值后进行整理,如表 3 所示。

## 3 数据分析

### 3.1 焊接收缩量与板厚的关系

由表 3 可知,对接中厚板的板厚值对焊后值影响很小,而对接中的薄板板厚对焊后值影响很大。现以对接中薄板板厚对其归类,不考虑厚板厚度,对焊后值取其平均值,依照  $b \geq 1 \text{ mm}$ 、 $1 \text{ mm} > b \geq 0.5 \text{ mm}$  和  $b < 0.5 \text{ mm}$  进行数据分组,得出曲线如图 6 所示。

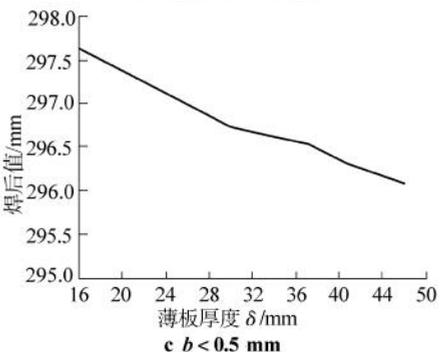
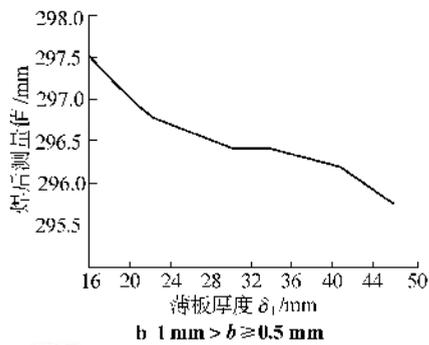
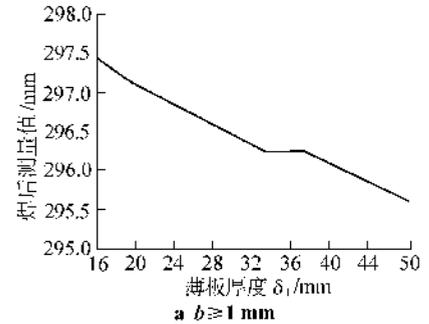


图 6 焊后测量值与薄板板厚关系

由图 6 可知,焊后的收缩值随对接中薄板的板厚增大而增大。制造中,对接坡口的截面面积随板厚的增加而增加。但是,不等厚对接时,坡口的截面面积取决于薄板板厚,焊接坡口截面面积随着对接薄板板厚增加而增加。对接坡口截面面积越大,焊接填充量越大,所引起的焊接收缩越大,所以焊后测量值越小。

### 3.2 焊接收缩量与组装间隙的关系

现将表 3 中按照间隙归类,不考虑对接板厚,按照  $b \geq 1 \text{ mm}$ 、 $1 \text{ mm} > b \geq 0.5 \text{ mm}$  和  $b < 0.5 \text{ mm}$  取其焊后平均值,做出曲线如图 7 所示,由图 7 可知,焊后测量值随着间隙的增大而减小。在一定条件下,组装间隙大时,填充量相对较大,焊后值就小,焊接收缩量就相对较大。

### 3.3 焊接收缩量与清根槽口宽度的关系

为了保证熔透焊接,需要进行熔透清根处理。从表 4 可知,板厚越厚,清根槽口宽度越大,清根量就越大。由表 3 可知,组装间隙相同时,焊后的测量值随着板厚的增大而减小。即对接时,板厚越大,焊接熔透清根量就越大,焊接填充量也就越大,焊接

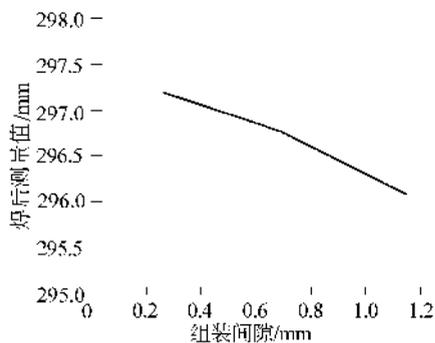


图 7 焊后测量值与组装间隙的关系

收缩量就越大,焊后测量值就越小。

## 4 结论

(1)不等厚对接中,焊缝的焊接收缩量受对接时薄板板厚影响较大。焊缝的焊接收缩量随薄板板厚的增加而增大。

(2)不等厚对接时,焊缝的焊接收缩量随组装间隙的增大而增加。

(3)不等厚对接时,焊缝的焊接收缩量随着熔透清根量的增大而增加。



Page 10 接头处应力峰值,对各接头的效果与震源布置和强度有关,其效果可能不如豪克能时效(目前发展了三维震动时效对消除残余应力水平有所提高),优点是处理效率高。豪克能时效是利用大功率豪克能推动以 2 万次/s 以上的频率冲击金属表面局部区域,以减少该处的应力集中(如焊趾、咬边、微裂等),提高表层强度以提高启裂寿命,同时去除表层拉应力而转换成压应力更是提高了启裂寿命。焊接结构的启裂往往就是由这些局部细节开始,因此提高局部细节的疲劳寿命就能提高整个焊接结构的疲劳寿命。根据国家级检测中心——国家机械质量监督检测中心对 120 t 铸钢转炉体焊接残余应力豪克能处理前后的实测结果表明,焊接残余应力消除程度达 98% 以上,表层基本上转化成压应力。根据国家级试验室——东风汽车有限公司焊接试验室试验表明,13 t 级汽车后桥壳总成(不加加强环)经过豪克能处理后的疲劳寿命由 50 多万次提高到 278 万次。

①西南交通大学,为《焊接接头强度匹配》《桥梁钢宽板试验研究》等项目鉴定提出的研究报告摘编。

### 5.5 豪克能处理在桥梁上的应用

提高桥梁的疲劳寿命是一个特别重要的问题,对高速铁路桥梁显得更为重要。2008 年某桥梁公司在建一公铁两用桥时要求对腹杆连接板端部、下悬杆节点板圆弧焊缝端部、受拉上悬杆平联连接板焊缝端部要求焊后进行豪克能处理,所用设备为 HY2050 型,并制定了工艺指导书<sup>①</sup>。

## 6 结论

(1)高速铁路不适用使用钢桥的观点未必合理,高速铁路钢桥仍有其应有的地位。

(2)材料的试验温度不能等同于设计使用温度,应由材料强度、板厚、应力结构综合确定。

(3)焊接接头的不均质性、应力集中敏感性和残余应力应深入研究,并作最优控制和后处理。

### 参考文献:

[1] 王元良,陈辉.焊接科学与工程[M].四川:西南交通大学出版社,2008.