

电站设备及压力容器的焊接

(一)

译文集

哈尔滨焊接研究所编

第一机械工业部情报所

编 者 的 话

随着我国社会主义建设事业的蓬勃发展，焊接事业也取得很大的进步。特别是文化大革命以来，成绩更是显著；但我国还是一个发展中的国家，焊接技术尚不能适应社会主义建设的要求，与国外先进水平相比还有差距。

遵照伟大领袖毛主席“洋为中用”的指示，针对我国在锅炉电站设备及压力容器焊接质量和焊接工艺等方面存在的技术问题，我们组织编译了《锅炉电站设备及压力容器的焊接》译文集，供广大焊接工作者参考。

为了全面系统地介绍和了解国外锅炉电站设备及压力容器方面的焊接经验，本译文集拟分四册出版。第一册介绍国外电站设备及压力容器焊接的发展趋势、概况，以及钢种的应用情况等；第二册介绍管子及管板的焊接、阀门堆焊工艺、材料；第三册介绍容器、锅炉汽包的焊接；第四册重点介绍焊接检验。

由于我们的水平低，缺乏经验，这本译文集会有不少问题，希望广大读者批评指正。

编 者

一九七三年八月

目 录

QT 高强钢在日本应用的现状	1
调质高强钢在美国的使用情况	22
锅炉及压力容器用可焊高强钢的发展趋势	32
锅炉制造用钢	37
发电设备用高强钢的焊接	54
F11钢的焊接	65
焊接对铬镍和铬镍钼奥氏体钢性能的影响	70
12%铬马氏体不锈钢的焊接	77
镍-钼-钒合金热强钢的焊接冶金	83
BHW38 钢锅炉汽包破裂事故的分析	97
核电站中的焊接	109
核电站锅炉部件的焊接	115
东海村核电站反应堆压力容器的焊接	123
捷克斯洛伐克核电站反应堆压力容器的焊接问题	129

QT 高强钢在日本应用的现状

在“可焊 QT 高强钢及其在日本的应用”^{*}一文中曾详细讨论过日本最新 QT 高强钢。有关 69 年的日本 QT 高强钢的情况，本文重新引证了其化学成分和机械性能以及典型例子，制作方法，各种性能，可焊性，制作程序，焊后热处理的作用，防止脆断措施，试验与检查，以及设计和应用。但是，受篇幅所限，有关制作和应用的论述略简。

1970 年，日本生产的可焊 QT 高强钢板的总量为 292000 吨，几乎是热轧钢板总量的 1.8%。

HT60 钢的用途较广，包括压力容器，原油罐，桥梁，机械等等，而 HT80 钢主要用于球形压力容器，很少用于机械和低温设备。这是因为 HT60 钢的可焊性较好，相对其强度，它是最经济的。

高强钢最经济的用途是承受拉伸应力的部件。当部件本身的重量成为主要载荷时（像大型桥梁），弯曲和刚性不足的问题可能就限制了板材厚度的降低，因此，采用高强度钢未必是理想的。

由于 QT 高强钢可焊性的不断改善，它在日本实际应用的范围亦愈来愈广。

钢的分类

QT 钢的分类 日本可焊 QT 高强钢可分为两类：

1. 一般结构和压力容器用 HT60~HT100；
2. 低温容器用 HT50~HT80

日本目前各钢种均按 JIS，日本工业标准和 WES（日本焊接工程学会标准）执行。但 JIS 标准目前只包括 HT60 和低强钢。因此，强度大于 HT70 时，则采用其它标准。到 1970 年止，JIS 对 QT 高强钢的分类为：

JIS G 3106, SM 58Q（一般结构）

JIS G 3114, SMA 58Q（耐大气腐蚀钢）

JIS G 3115, SPV 46Q、50Q（中低温压力容器）

JIS G 3120, SQV 3（Mn—Mo—Ni 型压力容器）

这些分类原则上是以下述的 WES-135 标准为基础。

WES 标准 日本的淬火和回火可焊高强钢的非国家标准是由日本焊接工程学会提出来的 WES-135 和 WES-136 两种：

WES-135：用于焊接结构的高强钢板；

WES-136：低温用结构钢评定标准。

这两种标准于 1961 年开始草拟，以后曾进行了修订，目前为 1970 年的情况。它们对加速日本 QT 钢的发展和应用起了非常重要的作用。

WES-135 规定了可焊性标准，WES-136 规定了脆断标准。在日本，法律上已规定，甚至于 JIS 中还没有规定的任何新钢种，在实际用于压力容器之前，均应由日本焊接工程学会

^{*} QT 高强钢系指淬火及回火高强钢

表 1 日本HT60QT钢现行规格的实例

规格	WES-135		JIS G3106	JIS G3114	JIS G3120	WES-135		市 售 的 分 类	
	压 力 容 器 与 其 它	压 力 容 器 与 其 它	一 般 的 焊 接 结 构	耐 大 气 腐 蚀 的 焊 接 结 构	压 力 容 器 (Mn-Mo-Ni)	压 力 容 器 及 其 它	容 量 110000千升 筒 形 油 罐	球 形 液 化 石 油 气 罐 (容量16.5公斤/ 厘米³3000千升)	
型 号	HW 45	HW 45	SM 58 Q	SMA 58 Q	SQV 3B	HW 50	WES、HW 50	WES、HW50	
厚 度(毫米)	6~75	6~75	6~50	6~50	— — —	6~75	25~39	12, 25 26~38	
化 学 成 分	C(最大)	0.18	0.18	0.19	0.25	0.18	0.17	0.18	
	Si	*	≤0.55	≤0.75	0.15~0.30	*	0.15~0.55	0.15~0.55	
	Mn(最大)	*	≤1.50	≤1.40	1.15~1.50	*	0.90~1.50	0.90~1.50	
	P(最大)	0.035	0.040	0.040	0.035	0.035	0.030	0.030	
	S(最大)	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040	0.030	0.040	
	Cu	*	*	0.20~0.70	—	*	—	—	
	Ni	*	*	*	0.70~1.00	*	*	* < 0.60	
	Cr	*	*	0.30~1.20	—	*	*	≤ 0.30	
	Mo	*	*	*	0.45~0.60	*	*	≤ * 0.30	
	V	*	*	*	—	*	< 0.08	≤ 0.12	
	其它	*	*	Nb、Ti、Zr*	—	*	*	*	
碳当量	$t \leq 50$ 0.44	$t \leq 50$ 0.44	$t \leq 50$ 0.44	未 规 定	—	$t \leq 50$ 0.46	$t \leq 25$ 0.41	0.54	
(最大)	$50 < t \leq 75$ 0.48	$50 < t \leq 75$ 0.48	$50 < t \leq 75$ 0.48			$50 < t \leq 75$ 0.50	$25 < t \leq 39$ 0.42	(已废 WES-135, 1964)	

机 械 性 能	屈服强度 (最小) (公斤/毫米 ²)	45	$t \leq 16$ 47 $16 < t \leq 40$ 46 $40 < t$ 44	$t \leq 16$ 47 $16 < t \leq 40$ 46 $40 < t$ 44	49	50	50	L、T
	抗拉强度 (公斤/毫米 ²)	60~72	58~73	58~73	63~81	62~74	60~68	62~75
延 伸 率 (试样规格) 最小(%)	$t \leq 16$ (5) 20 $16 < t$ (5) 28 $20 < t$ (4) 20	$t < 16$ (5) 19 $16 < t$ (5) 26 $20 < t$ (4) 20	$t < 16$ (5) 19 $16 < t$ (5) 26 $20 < t$ (4) 20	$t < 16$ (5) 19 $16 < t$ (5) 26 $20 < t$ (4) 20	$t \leq 20$ (1A) 16 $20 < t \leq 40$ 16 (1A或10) $40 \leq t$ (10) 16	$t \leq 16$ (5) 19 $16 < t$ (5) 27 $20 < t$ (4) 19	$t < 13$ (5) 19 $13 < t < 21$ (5) 25 $21 < t$ (5) 25	$t < 21$ (5) 19 $21 \leq t$ (4) 19
弯 曲 角 180° (t: 厚度)	$t < 32$ 1.5 t $t \geq 32$ 2.0 t	1.5 t	1.5 t	1.5 t	1.75 t	$t < 32$ 1.5 t $t \geq 32$ 2.0 t	1.5 t	$t \leq 25$ 1.5 t $t = 36 \sim 38$ 2.0 t
(三种平均) 却 贝 - V 型 冲击功 (°C)	$t \leq 13$ 未规定 $13 < t \leq 20$ (+10°) 4.8 $20 < t \leq 32$ (-5°) 4.8 $32 < t$ (-10°) 4.8	$t > 12$ (-5°) 4.8	$t > 12$ (-5°) 4.8	$t > 12$ (-5°) 4.8	(符合试验的温度) 4.8 各 4.1	$t \leq 13$ 未规定 $13 < t \leq 20$ (+5°) 4.8 $20 < t \leq 32$ (-10°) 4.8 $32 < t$ (-15°) 4.8	L、T (0°C) 7.0 (各 5.7)	L、T (-10°) 4.8
热 影 响 区 中 最大硬度(Hv10公斤)	$t \leq 50$ 380 $50 < t \leq 75$ 400	350	未规定	未规定	未规定	$t \leq 50$ 380 $50 < t \leq 75$ 410	$t \leq 32$ 350 $32 < t \leq 39$ 360	碳当量 > 0.54 415
日期	1970年9月	1970年	1968年	1970年	1970年	1970年9月	1970年6月	1970年5月

要求超声波检验

注: (a) * 需要时可填加的元素

$$(b) \text{碳当量}(\%) = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Si}{24} + \frac{Ni}{40} + \frac{Cr}{5} + \frac{Mo}{4} + \frac{V}{14}$$

(c) 拉仲试件的形状: (4) 表示JIS No4 (JIS Z2201) 圆棒 (直径14毫米, 标长50毫米), (5) 表示长方形 (厚度×25毫米宽, 标长50毫米);

(d) 最大硬度试验只用于碳当量过多的材料。

根据 WES-135 和/或 WES-136 标准批准。

某一新的钢种一经批准，便按 WES 标准的规定进行试验。

HT60 钢（抗拉强度在 60 公斤/毫米² 以上）在 WES-135 中，根据这些钢所能达到的最低屈服强度，分成九个等级，即：HW36、HW40……HW90。QT 钢为 HW45 以上。HW45 和 HW50 可按 HT60 分类。日本 HT60 钢的各种分类的比较列于表 1。左四栏中的在强度上与 HW45 相等；而右三栏中的与 HW50 相等，在 WES-135HW45 中（最左栏内的），所规定的只有磷、碳、硫值和碳当量；其他值由钢厂标定。表 1 中的 JIS 其他分类与 WES 类似。最右栏的两种规定是市售种类的实例，一种是原油罐，另一种是在大气温度下使用的液化石油气罐。前一种规格比 WES-135 严格得多，而后一种规格几乎一样。

HT70 钢（抗拉强度超过 70 公斤/毫米²）表 2 列出了各种 HT70 钢规格的比较，其强度相当于 WES HW63。这些强度级仍未纳入在 JIS 标准中。

表 2 中的 NS63 为日本国防船用钢，相当于 HY90（屈服强度 90 公斤/毫米²）。为了保证最好的可焊性和缺口韧性，对其化学成分做了严格规定。

表 2 也包括 Numahara 水轮机蜗壳和 Nanko 桥用钢的规格。这两种用钢要求板材厚度大，一般为 42 和 50 毫米。为了在制作、压力试验或实际使用时防止任何的断裂和裂缝，要求这两种用钢具有非常好的可焊性和缺口韧性。在 Numuhara 水轮机蜗壳的却贝冲击一栏内根据 WES-136 规定了 A 一法和 G 一法：

A 一法：终止脆性断裂扩展；

G 一法：不产生断裂。

最右栏表示厂用规格的例子，其化学成分似乎比 WES-135 中所规定的更严格。

HT80 钢（抗拉强度 80 公斤/毫米² 以上）HT80 规格的例子列于表 3。它们与 WESHW70 相同，并且有专门的称呼，因为它们还没有构成 JIS 系统的一部分。

WEL-TEN80 (WT80) 与美国的 T-1 钢相同。日本的主要钢厂商有它们自己的相当于 T-1 钢的钢种，这在以前的报告中已提到。

WT80C 是一种有经济意义的 HT80 钢，这种钢不含镍。它是在原则上与 IN 处理相类似的情况下生产的，以获得甚至比含镍的 WT80 更好的缺口韧性和强度。日本多数大型球形压力容器是用 WT80 钢制作的。表 3 最右栏的 WT80C 的市售规格为在 -30℃ 下半压力乙烯球形罐用钢。采用 WES-136LT 标准的钢种制作乙烯罐。

表 3 所列 Nanko 桥用 50 毫米厚 HT80 类型钢要求含碳量特别低 (0.14%)，碳当量为 0.53%，并且对于母材要求采用 A 一法，对于焊缝熔合线和焊缝金属要求具有 G 一法的最好的缺口韧性。

低温钢 QT 热处理特别适于低温钢，因为它保证了极好的缺口韧性。它也可用于低温容器和受压力的或非受压力的容器。就压力容器来说，通常采用 HT60~80 钢，而用于非压力容器的，最多的是 HT50 钢。

表 4 列出了日本常用的低温钢的例子。WES-136 标准通常是做为低温性能的标准来使用的。用常用的却贝-V 型冲击试验做了缺口韧性试验。根据 A 一法或 G 一法、板材厚度、最低温度，以及设计拉伸应力，在标准中规定了试验温度。

试件必须 3 个为一组，并且脆性转变温度必须低于规定的试验温度。

对 WES-136 的化学成分不另做规定，可参考其他规格的规定，如 WES-135。所要求的

表 2 日本 HT70QT 钢现行规格的例子

规格	WES-135		NS63		DENPATSN	HANSHIN	WEL-TEN
	压力容器及其它		日本防卫厅用潜水艇		Numahara 涡轮	Nanko 桥中心跨度310米	日本国产钢 (HW63)
型号	HW63		NS 63 B、C		NS 63 D	—	WT74
厚度(毫米)	6~75		B6-12 C12-42		42~60	6~50	6~50
C(最大)	0.18		0.16		0.16	0.14	0.16
Si	*		0.15~0.40		*	≤0.55	0.15~0.55
Mn(最大)	*		≤0.80		*	≤1.50	0.80~1.30
P(最大)	0.035		0.025		0.015	0.030	0.030
S(最大)	0.040		0.025		0.015	0.030	0.030
Cu	*		≤0.25		*	*	*≤0.50
Ni	*		2.0~3.50		*	*	*≤1.00
Cr	*		0.30~1.20 0.50~1.50		*	*	≤0.80
Mo	*		0.20~		*	*	≤0.40
V	*		≤0.03		≤0.10	*	Nb + V ≤0.15
其它	*		P + S ≤0.045		*	*	B ≤0.006
碳当量(最大)	$t \leq 50$ 0.57 $50 < t \leq 75$ —		$t \leq 12$ 0.58 $12 < t \leq 42$ 0.60 0.63		$t \leq 35$ 0.54 $t > 35$ 0.52	0.49	0.60
屈服强度 (最低、公斤/毫米 ²)	63		63		63	63	63
拉伸强度(公斤/毫米 ²)	72~86		未规定		>70	70~85	74~85
延伸率(试件)(%)	$t \leq 16$ (5) 17 $16 < t$ (5) 25 $20 < t$ (4) 17		$t \leq 12$ (5) 19 (4) 20 $12 < t \leq 20$ (5) 25 $20 < t$, (4) 20 RA ≥55		WES-135	WES-135	$t < 13$ (5) 17 $13 \leq t \leq 20$ (5) 23 $21 \leq t$ (4) 17
冷弯角180° t: 厚度	$t < 32$ 1.5 t $t \geq 32$ 2.0 t		未规定		WES-135	WES-135	$t \leq 32$ 1.5 t $t > 32$ 2.0 t

(续)

规格	WES-135	NS63	DENPATSN	HANSHIN	WEL-TEN
	压力容器及其它	潜水艇	Numahara 锅壳	Nanko 桥中心跨度510米	日本国产钢 (HW63)
三种平均卸贝V型冲击 值最小 公斤/米	$t \leq 32$ 未规定 $13 < t \leq 20(0^\circ)$ 4.0 $20 < t \leq 32 (-15^\circ)$ 4.0 $32 < t (-20^\circ)$ 4.0	$t \leq 12$ 不要求 $t > 12 (-70^\circ)$ 10.0 (每7.0)	母材0°C $VTrs \leq -35^\circ C$ 接头0° $vTrs \leq 0^\circ C$	$(-15^\circ) 4.8$ $VTrs \leq -35^\circ C$ (熔合线) $vTrs \leq 0^\circ C$	$t > 12$ (-15°) 4.0
热影响区中最大硬度 (公斤·米)	$t \leq 50$ 435 $50 < t \leq 75$ —	$12 < t \leq 42$ 430 $42 < t \leq 60$ 440	Tekken试验150°C 预热无裂缝	400	$t > 12$ 435
日期	1970年9月	1968年	1969年	1970年9月	1970年

通常要求超声波检验

注: * 碳当量拉伸试样形状和最大硬度试验见表1注, $vTrs$ 表示卸贝-V型冲击断裂的转变温度。

表3 日本HT80QT钢现行规格的例子

规格	WES-135	NSC WEL-TEN SERIES	HANSHIN	PURCHASE
	压力容器与其他	压力容器、桥梁、锅壳及其他(已认可的HW70)	Nanko桥 (中心跨度510米)	球形乙烯罐(30°C) (23公斤/厘米 ² 2500米 ³)
型号	HW70	WT80C	WT80P	WT80C
厚度(毫米)	6~75	6~40	6~40	35, 36
C(最大)	0.18	0.18	0.16	0.18
Si	*	0.15~0.35	0.15~0.55	0.15~0.35
Mn(最大)	*	0.60~1.20	1.00~1.50	0.60~1.20
P(最大)	0.030	0.030	0.030	0.030
S(最大)	0.035	0.030	0.030	0.030
Cu	*	0.15~0.50	—	0.15~0.50
Ni	*	≤ 1.50	* ≤ 1.00	—
Cr	*	0.40~0.80	—	0.70~1.30
Mo	*	≤ 0.60	0.40~0.70	≤ 0.60
V	*	≤ 0.10	Nb0.02~0.05	—
其他	*	$B \leq 0.006$	$B \leq 0.005$	$B \leq 0.006$

(%) 碳当量(最大)	($t \leq 50$) 0.63 ($50 < t \leq 75$)	($t > 12$) 0.62	($t > 12$) 0.62	($t > 12$) 0.60	0.53	0.62
屈服强度(最小) (公斤/毫米 ²)	70	70	70	70	70	70
拉伸强度 (公斤/毫米 ²)	80~95	80~95	80~95	80~95	80~95	80~90
延伸率(试件)(最小) (%)	($t \leq 16$) (5) 16 ($16 < t$) (5) 24 ($20 < t$) (4) 16	($6 \leq t < 13$) ($13 \leq t < 21$) ($21 \leq t$)	(JIS No5) 16 (JIS No5) 22(1964 WES) (JIS No4) 16(WES)		(工厂自定) (WES-135)	($t = 10$, No5) 16 ($t = 35$, 36) (No4) 16
冷弯角180° (t : 厚度)	($t < 32$) 1.5 t ($t \geq 32$) 2.0 t	($t \leq 32$) ($t > 32$)	1.5 t 2.0 t		(工厂自定) (WES-13)	($t = 10$) 1.5 t ($t = 35$, 36) 2.0 t
(三种平均) 卸贝-V型 冲击功(°C)(最小) (公斤·米)	($t \leq 13$) 未规定 ($13 < t \leq 20$) (-5°) 3.6 ($20 < t \leq 32$) (-15°) 3.6 ($32 < t$) (-20°) 3.6	($t > 12$) (-15°C)	3.6		(母材) (-15°) 4.8和VTrs -35°C (熔合线) vTrs $\leq 0^\circ\text{C}$	(frans, t, b) ($t = 10$) — ($t = 35$, 36) (-45°) 一半能量
热影响区中最大硬度 (HV10公斤)	($t \leq 50$) 450 ($50 < t \leq 75$)	450	450	430	420	450
日期	(修改) 1970年9月	1970年	1970年	1970年	1970年9月	1970年10月

一般要求超声波检验

注: * 碳当量、拉伸试件形状和最大硬度试验见表1的注解, vTrs表示卸贝-V冲击断裂的转变温度。

表4 日本低温QT钢现行规格

规格		WES-136	JIS G3115		NSCN-TUF	ASTM A553	WES-135
		低温评定标准	中温压力容器		低温容器	压力容器 (QT)	加 WES-136
型 号		LT	SPV 500	SPV 500	N-TUF 33	QT 9Ni	—
厚度(毫米)		6~50	6~50	6~40	6~50	≤50	—
化 学 成 分 (铸 勺 (%)	C(最大)	在WES-136中 未规定(任选一种, WES-135, 等等)	0.18	0.18	0.14	0.13	多 数 WES HW 45 ~ H W 70 (HT60 ~ HT80) 已被WES- 136作为LT 钢承认, 并 已被广泛应 用于半压力 低温容器。
	Si		0.15~0.75	0.15~0.75	0.15~0.35	0.15~0.30	
	Mn(最大)		≤1.60	≤1.60	1.00~1.50	0.90	
	P(最大)		0.035	0.035	0.030	0.035	
	S(最大)		0.040	0.040	0.030	0.040	
	Cu		*	*	—	—	
	Ni		*	*	—	8.50~9.50	
	Cr		*	*	—	—	
	Mo		*	*	—	—	
	V		*	*	—	—	
	其他		*	*	—	—	
碳当量(最大)		—	0.44	0.45	—	—	
机 械 性 能	屈服强度(最小) (公斤/毫米 ²)	应保证 σ_r	($t \leq 40$) 46 ($40 < t$) 44	50	33	59.8	
	抗拉强度 (公斤/毫米 ²)	—	58~71	62~75	45~57	70.3~84.4	
	延伸率(试件) (最小)(%)	见注解	($t \leq 16$)(5)19 ($16 < t$)(5)26 ($20 < t$)(4)20	($t \leq 16$)(5)18 ($16 < t$)(5)25 ($20 < t$)(4)19	($t < 21$)(5) $9.4 + \sqrt{25t}$ ($t \geq 21$)(4)22	(2吋) 20	
	冷弯角180° (t : 厚度)	($28 < \sigma_r < 80$) $1.5t$ ($\sigma_r \geq 80$) $2.0t$	$1.5t$	$1.5t$	$1.5t$	(2~3) t	
(三种平均) 却 贝-V 冲击功(°C)(最小) (公斤·米)		见注解	(长) ($t > 12$) (-10°) 4.8 (每2.8)	(长) ($t > 12$) (-10°) 4.8 (每2.8)	($t \leq 32$) G - 应用 ≥ -80° A - 应用 ≥ -40°	(-196°)3.5	
热影响区中最大硬度 (Hv10公斤)		—	未规定	未规定	—	—	
时 间		1969	1968	1968	1965	1968	

注: a. LT: $\sigma_r \geq 32$ 公斤/毫米²时, 延伸率(最小) = $360/(\sigma_r - 8) + 50\sqrt{A/L} - 5$;

b. LT: 却贝-V见WES-136;

c. *、碳当量和拉伸试件, 见表1注解。

WES-135 (1970年) 却贝-V型冲击功可从 WES-136 (LT) 中得知 (假定日本的最低工作温度为 -10°C)。

表4中的 N-TUF33 钢在非压力低温容器中的实际应用已有详细叙述, 特别是 -45°C下液化石油气容器。N-TUF33 是一种镀铝的 QT 钢, 氮含量比其他 QT 钢略高, 它具有非常好的缺口韧性, 并已得到日本焊接工程学会的如下承认:

G—法: -80°C以上, 厚度 ≤ 50毫米;

A—法: -60°C以上, 厚度 ≤ 26毫米;

-40℃以上, 厚度 ≤ 32 毫米。

最右栏列出了QT9%镍钢, 它相当于ASTM A553。日本的9%镍钢、QT钢, 是根据ASTM规定炼制的。

焊接材料 在**高强钢**的JISZ3212涂料焊条中(D50 $\times\times$, D55 $\times\times$ 和D60 $\times\times$), 规定这种涂料焊条的抗拉强度为50、55和60公斤/毫米², 并且规定了涂料的类型、机械性能、却贝-V型冲击值和扩散氢的总量。

另一方面, 高强钢涂料焊条(DK56 $\times\times$ 、DK63 $\times\times$ 、DK70 $\times\times$ 、DK80 $\times\times$ 和DK90 $\times\times$)的WES-156分类标准, 是一种非国家分类标准, 由日本焊接工程学会(WES)制定的, 屈服强度为56~90公斤/毫米²。它规定了机械性能、却贝-V型冲击值和扩散氢量, 以及涂料的类型。

埋弧焊、二氧化碳气体保护焊、熔化极气体保护焊、气电焊和电渣焊用的其他一些焊接材料尚未完全编在国家JIS标准中, 因此目前在日本使用的是专用商品名称和制造厂的标准。

原油贮罐

使用情况 用QTHT60钢制作容量30000千升以上的大型储油罐的壁壳在日本已使用了好几年。如果采用碳钢或非QTHT50钢势必要提高板材的厚度, 那么采用HT60钢, 可以大大降低成本和钢的重量。1970年油罐用HT60钢, 几乎占31%。

现在日本是世界上第三个最大的油消耗者, 1970年约输入2亿千升, 其中99%由中东输入。因为是用巨型油船把油运往日本, 在日本海岸的原油贮罐的容量目前迅速地提高到每一贮罐为150000千升。发展可焊性、塑性、成形性好、强度高的QTHT60厚钢板, 才有可能实现这种大型罐的制作。

1970年在日本建造了150000千升原油贮罐(容量150000千升, 直径98米, 高度22米, 侧板HT60, 最大厚度42毫米)。此罐的厚壁壳是用气电焊和埋弧焊焊制的。在1970年第12期“溶接技术”杂志发表的文章中曾简略论述过此罐的制作, 并叙述了使用HT60钢的下述优点:

1. 大大降低了厂内和现场制造的成本;
2. 简化了油面、温度等中心控制系统;
3. 减少了管道设施、防火和其他一些附属设施的费用。

另一原油贮罐的典型例子是容量117000千升的大型油罐, 其下半部分设在地坑里。罐的内径是61米, 总高度41.4米, 地面部分的高度是21.9米。与其他的普通油罐相比, 它是细长形的, 这样可以大大减少用地面积。最下面的壁壳是用47毫米厚的HT60钢板制作的。下面的三层板是在临时的现场工厂中用埋弧焊焊成的。然后, 在现场采用气电焊焊纵缝, 用手工焊焊横缝。缺口韧性、硬度和强度的要求全部满意。

设计 “焊制贮油罐”现行标准JIS B8501(1966)有些过时了(不包括壳体用钢HT60 QT钢), 目前正在修订。事实上, 大型罐的设计一般按照API650规格或其他标准进行, HT60钢亦在考虑之列。

制作 某150000千升罐的大厚度壁壳是HT60钢焊接的。(内径98米, 高度22米)虽然按照API标准进行制作的, 但底壁壳(第一节)的42毫米厚度超过了API650标准所规定

的厚度界限。

纵缝采用电渣焊，横缝用埋弧焊。由于焊接热输入量的提高，焊接区的却贝-V型冲击功一般是下降的，如图1所示；为了限制焊接热输入量低于200000焦耳/厘米，选择图2所示的

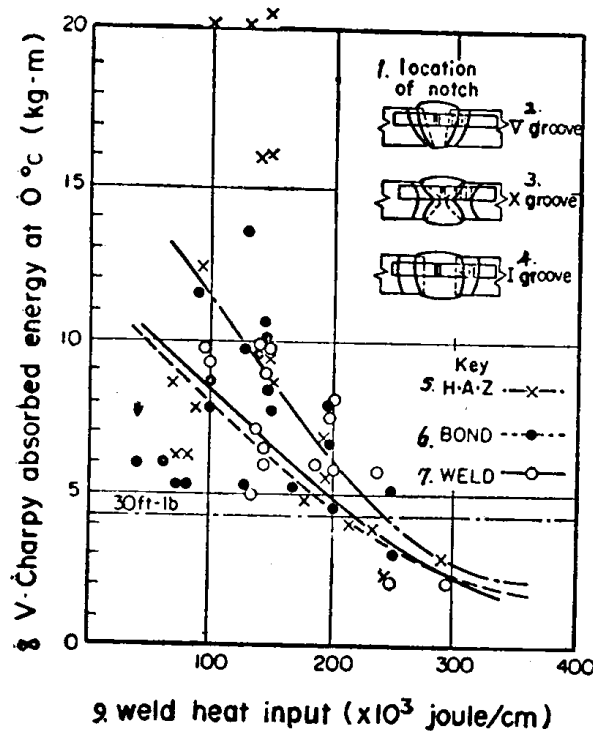


图1 焊接热输入量对 HT60钢的气电焊焊缝区的却贝-V型冲击值的影响

1—缺口位置；2、3、4—坡口；5—热影响区；6—熔合线；7—焊缝；8—却贝-V型冲击值；9—焊接热输入量 ($\times 10^3$ 焦耳/厘米)

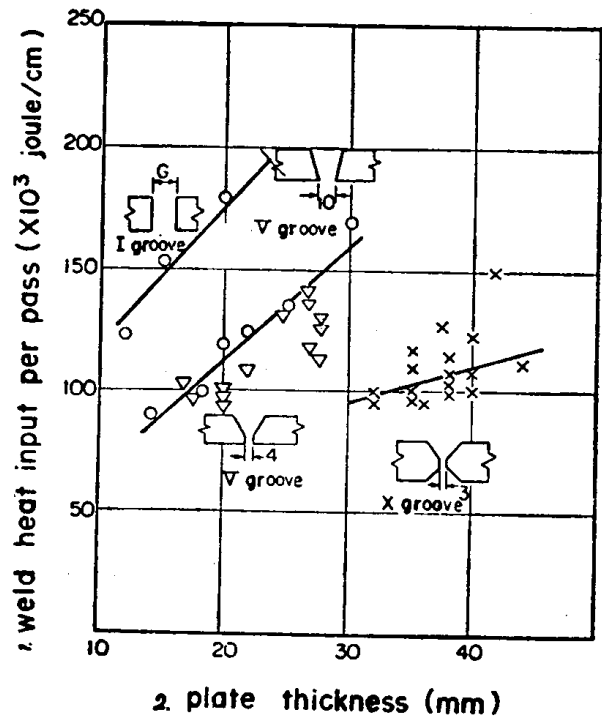


图2 在各种厚度板材的气电焊中，所用坡口形式和焊接热输入量

1—每焊道焊接热输入量 ($\times 10^3$ 焦耳/厘米)；
2—板材厚度 (毫米)

表 5

厚度 (毫米)	化 学 成 分 (铸钢) (%)									屈服强度 σ_s (公斤/毫米 ²)	抗拉强度 σ_r (公斤/毫米 ²)	延 伸 率 JIS No4 (%)	V型却贝 冲击值 (公斤·米)
	碳	硅	锰	磷	硫	铬	钒	钼	碳当量				
42	0.14	0.42	1.08	0.016	0.003	0.18	0.04	0.20	0.43	53	64	27	(0°C) 15.6
25	0.13	0.44	1.10	0.017	0.006	0.23	0.03	—	0.38	56	68	44	(-5°C) 19.8
焊丝	0.10	0.33	1.63	0.018	0.018	0.14	Ni 0.70	0.18	—	—	67	27	(-10°C) 6.5

厚 度 (毫米)	坡口	焊道	焊丝 直径 (毫米)	焊 接 规 范				焊 接 接 头			硬度(维氏)，最小/最大			却 贝 V 型 冲 击 值 (0°C)(公斤·米)		
				电流 安	电压 伏	焊速 毫米/分	热输入量 焦耳/厘米	抗拉强度 公斤/毫米 ²	侧弯	自由弯	母材	热影响区	焊缝金属	焊缝金属	熔合线	热影响区
42	X	内	3.2	500	32	70	137000	65.8	良好	良好	180/ 255	185/265	210/240	5.8	5.3	14.5
		外	3.2	550	34	83	133000									
25	V	单	3.2	590	35	100	129000	68.3	良好	良好	188/ 220	183/236	193/225	5.9	8.8	15.2

注：回火温度：690°C；焊丝：管状（直径：3.2毫米）；CO₂ 气体流量：25升/分；却贝-V冲击值：3~9个试件的平均值；延伸率：4.2公斤·米、JISNo4（直径14毫米，标距50毫米）。

坡口形状。对于30毫米以上的厚度，采用X型坡口两面焊。

厚42毫米和25毫米 HT60 钢板的气电焊焊接接头的性能列于表5。尽管热输入量大到130000焦耳/厘米，抗拉强度值、却贝-V型冲击值和硬度都是满意的。

即使是42毫米厚的壁壳板不必采用回火处理消除应力，因为母材和焊接区的缺口韧性非常好。

球形和筒形压力容器

使用情况 球形和筒形压力容器的结构是理想的。QT 高强钢最适于这种结构，因其结构和受力条件比其他结构简单，并采取高屈服强度作为设计的许用应力。球形特别适于静止的、容量大的罐。本章主要论述球形压力容器。

HT60 和 HT80 这两种钢一般用于球形压力容器。然而当考虑钢、容器的制作、基础和占地面积等各种成本时，HT60 钢一般说来比 HT80 钢更经济一些。可是，在厚度超过38毫米的情况下，按原国家标准，对在现场焊接的接头要求进行消除应力处理，因此必须用 HT80 钢代替 HT60 来减少厚度。这就是日本大型球形罐是用 HT80 钢制作的主要原因之一。但是，新修改的标准 KHKS0201 (1969年11月) 规定：厚度超过38毫米时，对 WES-135 钢的现场焊接接头不要求消除应力处理，就钢的等级来说是低于 HW70 (HT80)。

HT80 钢最适于球形压力容器。日本的第一个球形容器建造于1955年，采用从美国进口的 HT80 T-1 钢。球体内径33.7米，工作压力为5公斤/厘米²。

此后，日本又用进口的 T-1 钢制作了最初的35个球体。然而，不久就用国产的 HT80 钢，特别是用 WT80 C，代替了 T-1 钢。

城市用气体容器（罐）是 HT60 和 HT80 钢球形压力容器的典型例子。由于工业和市民的气体用量日益增长，以及大城市中的陆地面积逐渐减少，单个球体的容积量近年来明显增长。例如，城市用容量为200000米³的大型气体罐（内径35.56米，压力8.5公斤/厘米²，大气温度，壁厚35毫米，材料WT80 C）和三个容量为100000米³的罐（T-1）。壳体板为 WT80 C 钢，并已得到 WES 的承认，与 WES-135 的 HW70 钢相似。现场焊接采用手工焊，采用的工艺在以前的报告中曾讨论过。

当大型球体难以进行水压试验时，法律上已特别承认，如果壳体板与 WES-135 HW70 (HT80) 钢相似，气压试验达到设计压力的1.25倍，可代替普通的水压试验。

液化石油气的球形压力容器是用大量的 HT60 和 HT80 钢制成的。

储氢的球形压力容器，容积50米³，内径4.5米，压力57.4公斤/厘米²，1961年制成，采用厚31毫米 HT80 钢板。水压试验达到81.6公斤/厘米²，为设计压力的1.5倍。

HT100 钢与 WES-HW90 相似，在 WES-135 标准中强度最高，可以焊制球形压力容器。如在大气温度下使用的14400米³甲烷容器，内径为10.5米，压力24公斤/厘米²。壳体板材为经过 IN 处理过的 WT100 N 钢，厚度为22毫米，制成于1964年。由于采用这种结构，所以它的使用性能是满意的，焊接 HT100 厚板有些困难，因此，目前 HT100 钢在日本很少用于球形压力容器。

筒形压力容器作运输用。如液化石油气体油船中的筒形压力容器（HT80 钢），（内径5.8米，长度10.9米，压力18公斤/厘米²，壳体板材 HT80 钢厚21毫米）为这种类型容器的例子，它是在车间用埋弧焊法焊成的。

设计 日本的球形压力容器的设计是遵照实际推荐的 KHKS0201 设计进行的。

KHKS0201 用于下述两类球形压力容器：

- ① 大气温度容器 (0°C 以上 $\sim 50^{\circ}\text{C}$ ，而周围的温度在 -10°C 以下)；
- ② 低温容器 (-50°C 以上 $\sim 0^{\circ}\text{C}$)。

所规定的容纳气体为液化石油气、可燃气体、阴离子气、液化气和压缩气体等。

至于在球形壁结构中必须采用的材料，有 QTHT60~HT80 钢，但不包括 HT90 和 HT100。而对低温用途来说，在 WES-136 标准中所规定的 LT 标准是可以考虑的。

球体壳板的厚度可按下述公式计算：

$$t = \frac{PD}{100f\eta - P} + C \quad (1)$$

式中 t ——壳体厚度 (毫米)；

P ——设计应力 (公斤/厘米²)；

D ——内径 + $2c$ (毫米)；

C ——腐蚀全量 (毫米)；

f —— $\sigma_y(3.4-2r)$ ，式中 σ_y 为屈服应力， r 为屈服比值，对于低于 0.7 的 r ，取常数为 0.7。

η 焊接接头系数，见表 6。

在上面公式 (1) 中，许用应力 σ_s 用下式求出：

$$\sigma_s = \frac{1}{4} f = \frac{34-2r}{4} \quad (2)$$

表 6 球形压力容器中的对接接头的强度系数

检 验 范 围 接 头 型 式	X — 射 线 检 验		
	A	B	C
	100%	20% 以上	无
相应质量的单面焊或双面焊	1.00	0.95	0.70
不拆去衬垫的单面焊	0.90	0.85	0.65
无衬垫的单面焊	—	—	0.60

许用应力与屈服应力的比值如图 3 实线所示，因为塑性随强度的提高而降低，所以规定许用应力与屈服应力之比例要逐渐降低。在 ASME 标准和 BS1515 规格中也看出了这种相同的考虑，但是德国 AD 规格采用了一恒定的比值，即 $\sigma_s/\sigma_y = 2/3$ ，不考虑钢的强度。

根据接头型式和 X 射线检验范围大小而定的对接接头强度系数列于表 6。只有对采用双面焊和全部做了 X 射线照像的对接接头，其接头强度系数才能取 1。任何单面焊接接头，无论是背面完全熔透的接头，或是背面用机械平正，或背面经过磨光的接头，其接头强度系数都可按双面焊时处理。氮气的腐蚀全量规定为 1 毫米以上，氯气为 5 毫米以上，而其他材料为 1 毫米以上。规定了手工焊对接焊坡口的标准形状，但是如果经过焊接工艺试验，任何其他形状的坡口均可采用半自动或自动焊。

设计时，须注意避免任何的应力集中。接管或人孔接头的标准形状示于图 4。当壳体厚度为 25 毫米以上，使用 HT60 钢和较低等级的钢种，同时其最小直径超过 100 毫米时；以及

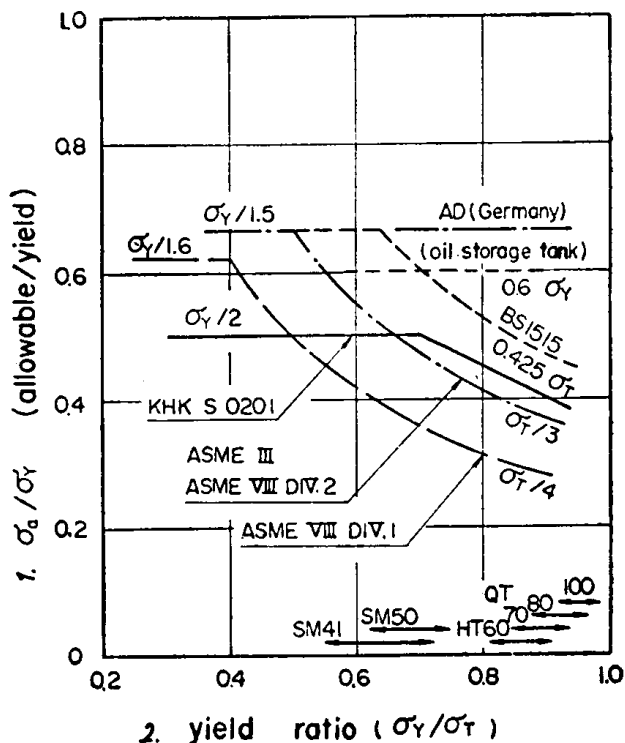


图3 不同标准中的许用应力的比较

1— σ_a/σ_y (许用的/屈服); 2—屈服比 (σ_y/σ_t)

① 德国; ② 油罐

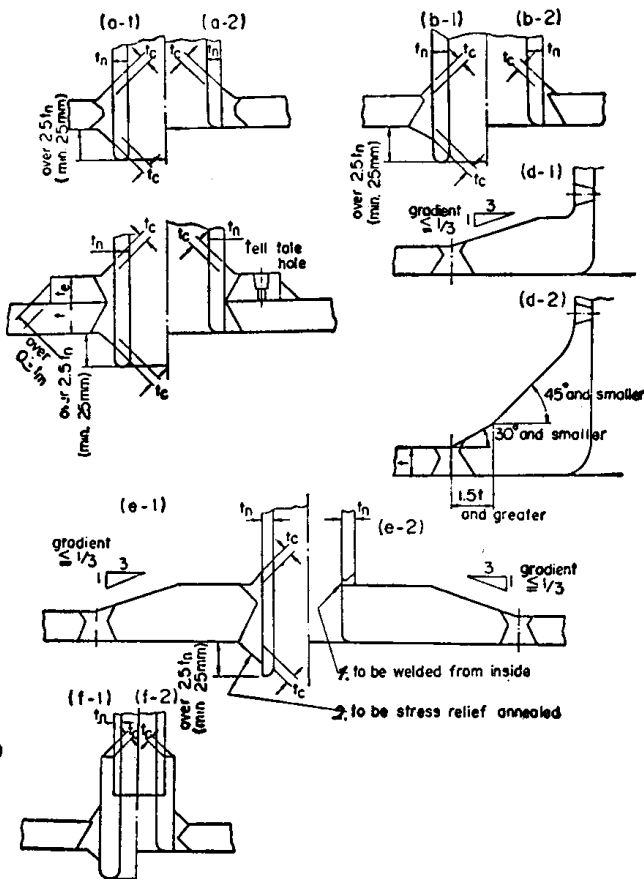


图4 接管和人孔接头的标准形状

(KHK2 S0201)

① 从内侧焊; ② 退火消除应力

壳体板材采用 HT70 和 HT80 钢时, 接头的形状或者是 (d-1), (d-2), 或是 (e-1), (e-2), 如图 4 所示。

焊缝中心线之间的间隔距离的规定如图 5 所示。这种距离的目的是要降低由于焊接所造成的残余应力和变形。

工地焊接的 QT 钢不要求应力消除回火, 因为 QT 钢及其焊接接头的缺口韧性非常好。然而, 厚度超过 25 毫米的 HT 50 和 HT60 及厚度 19 毫米以上的 HT70 和更高等级的封头壳体, 当其上焊有接管和人孔时, 必须在车间内消除应力。在低温容器中, 甚至采用 HT60 钢, 厚度在 19 毫米以上者, 就需对封头板进行应力消除处理。

结构 在 KHK S 0201 标准中已详细规定了球形压力容器的结构, 某些重要部分介绍如下。

在制作之前, 须进行试验, 以证实所推荐的钢种、焊接材料和焊接工艺的满意的性

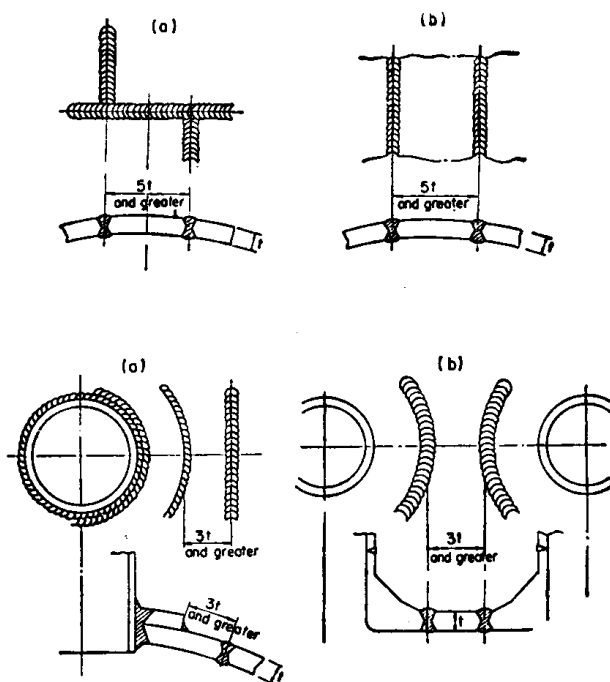


图5 焊缝中心线之间的间隔距离

(KHK S0201)

能和可适用性。

1. 焊接 所规定的可允许的对接焊坡口的标准尺寸如下:

坡口角度 $\pm 5^\circ$, 钝边 ± 2 毫米, 根部间隙 ± 2 毫米, 错边允许 $0.10t$ 以下(t 为厚度), 而当 $t \leq 15$ 毫米时, 允许错边 1.5 毫米。

推荐的焊接次序示于图 6, 焊工分布如图 7。

根据手工焊的标准温度, 规定了防止高强钢焊缝区冷裂缝所必须的预热温度, 如表 7 所列。然而, 在大拘束接头的情况下, 诸如接管或人孔嵌封头板的焊接, 或在冬天环境温度降到

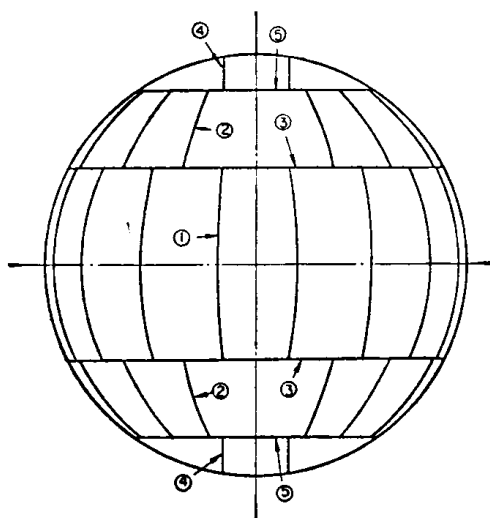


图 6 焊接顺序

①、②、④ 立焊; ③、⑥ 横焊

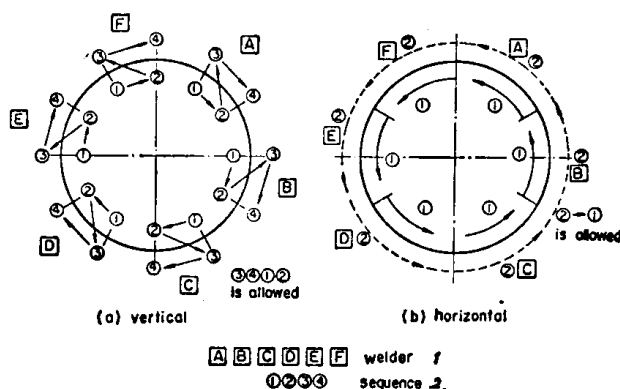


图 7 焊工焊接的次序和分布

A、B、C、D、E、F—为焊工; 1、2、3、4—数字为焊接顺序 a—立焊; b—横焊

5°C以下时, 推荐采用较厚板材的预热温度。

每侧上的预热区的宽度应是板材厚度的三倍, 或 100 毫米以上, 甚至更大些。应在距离坡口边 50 毫米的板表面上进行温度测量。

用自动焊时, 预热温度可低于表 7 中所列数值 (假若这些温度在试验时是满意的)。高强钢焊缝熔合线的缺口韧性随着焊接热输入量的提高而降低, 如图 1 所示, 并且在图 9 中将再一次说明。由于钢强度的提高, 这种缺陷变得更加明显。因此, 为了防止焊缝熔合线的脆性破坏, 一般要把焊接的热输入量限制在一定的范围之内。在熔合线区容易在焊后出现氢引起的冷裂缝。焊接热输入量的限制应通过焊接工艺试验来确定, 试验时, 在适当的范围内改变热输入量。这种限制因钢种而异, 并且已实际推荐的 KHK S 0201 的标准中未规定标准值。当在 -10°C 以上的温度下使用时, 日本钢铁学会推荐了日本的 HT80 钢的下述值:

厚度 (毫米): 6~13 13~19 19~26 26~40

焦耳/厘米: 25000 35000 45000 48000

至于壳体板材对接焊缝的加强高的限度, 在板材厚度低于 25 毫米时, 此限度低于 2.5 毫米, 板厚超过 25 毫米时, 加强高为 3.0 毫米。

在下述天气情况下不应进行现场焊接: 中雨至大雨、风速超过 10 米/秒、周围温度低于 -10°C 以及相对湿度在 90% 以上。但是, 如果焊接是用适当准备的保护方法进行的, 这些限制就没必要了。

2. 角变形 高强钢壳体板对接接头中过大的角变形是非常危险的。在对已制成的球体