

国外焊接锅炉管生产技术

首钢钢铁设计研究院情报科

目 录

1. 大型火力发电厂优质NiSE锅炉管的研制..... (1)
2. 锅炉和热交换器用碳钢钢管(66)
3. 锅炉和热交换器用合金钢管(74)
4. 新日本钢铁公司钢管技术部制造工艺(81)
5. 锅炉管、过热器管和热交换器管的标准对照(89)

大型火力发电厂优质 NiSE 锅炉管的研制

新日本钢铁公司

一、引言

NiSE 锅炉管(新日铁等效无缝锅炉管)已成为大型火力发电厂的高压部件。

我们为火力发电厂生产电阻焊(ERW)锅炉管的经历可以追溯到1968年。

自那时以来,我们为国内外火力发电厂生产的ERW锅炉管已超过300,000T。

钢种范围很广,从低碳钢、中碳钢、碳锰镇静钢到1%Cr—0.5%Mo合金钢(见表1);钢管规格也很多,厚壁管有外径达

4 $\frac{1}{2}$ "的管子(见表2、3)。

由于新日铁的生产设备先进,生产经验丰富,已能用优质的ERW锅炉管来代替大型火力发电厂用的无缝钢管。

材 料 和 标 准 表 1

材 料	标 准	材 料	标 准
低碳镇静钢	ASME SA 178 A 级	碳钼合金钢	ASME SA250 T1 T1a T1b级
	ASME SA 226		BS 3059 2部分 ERW243
	BS 3059 1部分 ERW 320		DIN 17175* 15Mo3
	BS 3059 2部分 ERW 360		DIN 17177 15Mo3
	AS 1836—TW1, TW2, TW5		JIS G3462 STBA12 STBA13
	DIN 17175* S:35.8	碳铬钼合金钢	BS 3059 2部分 ERW620
	DIN 17177 S:37.8		AS 1836—TW32
	JIS G3461 STB35		DIN 17175* 13CrMo44
中碳镇静钢	ASME SA 178 C 级		JIS G3462 STBA22
	AS 1836—TW9H		
	JIS G3461 STB42		
碳锰镇静钢	BS 3059 2部分 ERW440		
	AS 1836—TW 14		
	DIN 17175* S:45.8		
	DIN 17177 S:42.8		
	JIS G3461 STB52		

* 技术监督协会(西德)已批准用电阻焊制造

最小壁厚规格

表 2

壁厚	INCH	0.093	0.105	0.120	0.134	0.148	0.165	0.180	0.200	0.220	0.238	0.259	0.280	0.300									
外径	MM	21.1	24.1	26.7	29.2	30.5	33.8	34.0	34.3	35.0	37.6	38.1	40.1	41.9	43.7	47.8	50.8	51.6	53.9	60.6	65.8	72.1	76.6
INCH	MM	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1								
1-1/4	31.8	2.0																					
	34.0	2.0																					
1-1/2	38.1	2.0																					
	42.7	2.0																					
1-3/4	44.5	2.0																					
	48.6	2.0																					
2	50.8	2.0																					
	54.0	2.0																					
2-1/4	57.0	2.0																					
	60.3	2.0																					
2-1/2	63.5	2.0																					
	70.0	2.2																					
2-3/4	73.0	2.1																					
	76.2	2.1																					
3	82.6	2.5																					
	88.9	2.4																					
4	101.6	2.7																					
	114.3	3.2																					

注：1. 厚度是指最小厚度；

2. 表中的数字说明每一个外径的最小壁厚和最大壁厚。

表中未列入的规格请询问。

平均壁厚规格

表 3

壁厚	MM	2.0	2.3	2.6	2.9	3.2	3.6	4.0	4.5	5.0	5.6	6.3	7.1	8.0	8.8
外径	INCH	0.080	0.092	0.104	0.116	0.128	0.144	0.160	0.176	0.192	0.219	1/4	9/32	5/16	11/32
26.9									4.0						
30.0											5.5				
31.8											5.5				
33.7													6.6		
38.0														7.4	
42.4	2.1													7.7	
44.5														7.7	
48.3															8.6
51.0															8.6
57.0															8.6
60.3															8.6
63.5	2.1														8.6
70.0			2.4												8.6
76.1	2.3														8.6
82.5				2.8											8.6
88.9				2.7											8.6
101.6					3.0										8.6
108.0						3.5									8.6
114.3							3.4								8.6

注：1. 外径和壁厚遵照ISO/DIS1129、BS3059、DIN2458和NF A49—213。

厚度指平均壁厚。

2. 表中数字说明每一外径的最小壁厚和最大壁厚。

表中未列入的规格请询问。

二、NiSE 锅炉管的制造程序

程	序	说	明
炼 钢	钢 包 处 理	碱性氧气转炉炼钢法(250吨/炉)。 为使钢纯净，在钢包中对钢进行精炼（例如：真空脱气或钢包喷射工艺）。	
	铸 锭		
开 坯	连 铸	完全切除钢坯缩孔。在热或冷状态下用火焰清理表面缺陷。	
	热 轧		
酸 洗	板 卷 重 量：20T	全部锅炉管板卷经酸洗清除氧化皮。	
	纵 剪		
钢 管 成 型	成 型 机 由 14 个 机 架 组 成。	把板材剪成规定的宽度并检查表面缺陷和板厚精确度。	
	焊 接		
清 除 毛 刺	高 频 感 应 焊 容 量：600KW 频 率：180KHz	焊接后，用特殊切除工具自动清除钢管内外毛刺。	
	定 经 机 由 10 个 机 架 组 成。		
钢 管 定 径	为 了 便 于 控 制 轧 机，连 续 检 验 焊 缝 的 全 长。	外观检验(内毛刺外形和外表面情况)。 尺寸检验 压扁试验和扩口试验。 随工厂的选择，用显微镜检查锅炉管的焊缝。	
	轧 机 在 线 超 声 波 检 验 (UST)		
最 初 检 验	外 观 检 验 (内 毛 刺 外 形 和 外 表 面 情 况)。 尺 寸 检 验 压 扁 试 验 和 扩 口 试 验。 随 工 厂 的 选 择，用 显 微 镜 检 查 锅 炉 管 的 焊 缝。	在连续光亮退火炉里进行热处理。 某些钢管冷拔成型。	
	正 火		
矫 直	冷 拔	如果需要水压试验，根据用户的订货单说明进行。	
	(水 压 试 验)		

程	序	说	明
	检验线涡流试验 (ECT)	能自动记录全部钢管试验结果。	
	↓		
	检验线超声波试验 (UST)	4—8个旋转探头,能自动记录全部钢管的试验结果。	
	↓		
	切管和平头		
	↓		
	抗拉和机械试验	根据用户订货单说明,进行拉伸试验,硬度试验,挤压试验,压扁试验,卷边试验,展平(反向压扁)试验等等。	
	↓		
	最后检验	尺寸和外观检验。	
	↓		
	标记和涂层	根据用户选择,用树脂或石蜡(黄蜡)涂层。	
	↓		
	包装	按照新日铁的标准。	
	↓		
	外运		

三、君津厂研制优质电阻焊
锅炉管所采用的先进技术

1. 优质电阻焊管要求纯度高的原料

为使NiSE 锅炉管可靠性达到100%,钢必须进行特殊的全脱氧处理。采用这类钢能

防止焊接缺陷形成,同时确保高温性能优良。

由于使用最先进的炼钢技术,新日铁为制造NiSE 锅炉管专门研制成一类优质镇静钢。这类特殊优质钢实际上不含非金属夹杂物和其它杂质。因此,新日铁锅炉管的特点是焊接性良好。这些钢管能以多种规格来满足专业用户的需要(见图1)。

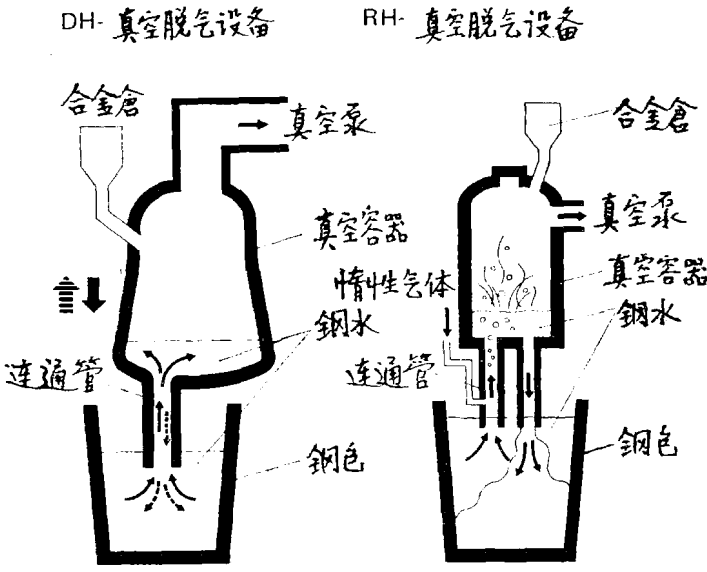


图1 真空脱气设备

2. 君津电阻焊管厂

表4列出了君津高级优质电阻焊管厂的主要设备。该厂的特点介绍如下：

(1) 一台刚性大的成形轧机和一台容量大的焊接机。

电阻焊管质量取决于成形设备和焊接设备，以及焊缝质量控制。成形机架（轧辊轴径5"）是以大的刚性要求来进行设计的，以便为厚壁管准确成型提供适宜条件。焊接机的最大容量为600KW，以保证稳定的焊接温度。

制造厂有各种工艺规程，能经济地生产以前认为只能用无缝管工艺制造的厚壁管。

君津电焊管制造厂所使用的全部板卷都经酸洗、纵剪以后，送进轧机。为给焊接做好准备，需通过刮削和滚边把管坯边缘修光。

尤其对低碳钢，焊接区要用纯的惰性气体完全隔离。焊合后，清除内外毛刺，特别是管内壁光洁度要很高，焊缝要经过超声波仔细检验。切断后，有焊接缺陷的钢管要分选出来。

(2) 大型连续热处理炉

正火或回火是常规的工艺程序，但是对于低合金钢，如1%Cr—0.5%Mo钢，要进行等温处理或正火一回火热处理。

热处理过程中，钢管不能与火焰接触，而是通过辐射来加热钢管。

炉内始终充以纯N₂气体。

保护气体的露点要控制在一定的程度内。这能使钢管的内外表面完全避免氧化和脱碳。再则，低碳钢的焊接热影响区(HAZ)和基体金属形成均匀的铁素体和珠光体组织。冷却区是由吹N₂冷却区和水套冷却区组成。在吹N₂冷却期间能控制冷却速度，以调节细晶粒组织或机械性能。

3. 清除内毛刺

图2表示焊缝的外形，从纵缝可以看出，在焊缝两侧壁厚略有增加。

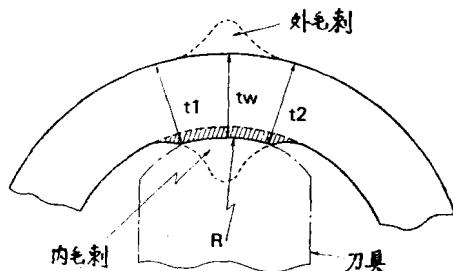


图2 焊缝示意图

图3表示钢管横断面。通过特殊加工，毛刺清除后的焊缝壁厚(tw)不小于基体金属壁厚(t3)，并且该部位的内表面很光滑。

阴影部分表示壁厚的增加量。

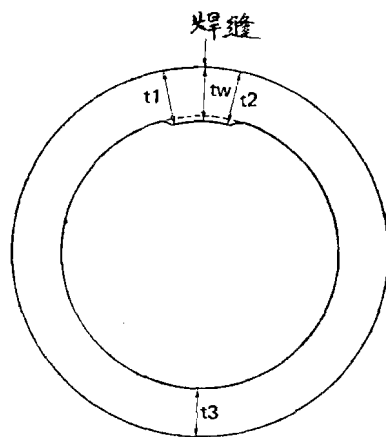


图3 横断面的示意图

增量约0.10mm—0.15mm，并于焊接前由特殊成形辊加工而成。

新日本钢铁公司对毛刺高度作如下规定。

$$\{t1 \text{ 或 } t2 - tw\} \leq \alpha$$

α : 根据用户的技术要求而定

4. 君津电阻焊管厂的无损检验

在君津电阻焊管厂，为无损检验装备了4台超声波探伤仪和2台涡流探伤仪（见表5）。其中大部分是由新日本钢铁公司

君津电阻焊管厂的主要设备

表 4

设 备		技 术 规 格		台 数
成型机和定径机		尺寸	外径34.0~114.3mm	1
		厚度	2.0~8.6mm	
		成型辊轴	外径5"	
		轧辊机架	29	
		传动电机	DC总667KW	
焊接机		容量	600KW	1
		频率	180KHz	
		自动焊接温度控制		
热处理炉		类型	连续光亮退火炉	1
		容量	10T/H	
		热处理 正火、退火、正火一回火、等温处理		
		最高温度	1000℃	
		冷却速度控制	N ₂ 喷吹冷却	
		气氛	高纯度N ₂ 气体	
		温度的自动控制精度 ±10℃(±18°F)		
		燃料油	软质油	
		尺寸	长度=71m 宽度=1880mm	
无 损 探 伤 仪	轧机线超声波试验	频率	5MHz	2
		类型	带有焊缝跟踪装置，表面波动多探头	
		扫描区	焊缝	
	检验线超声波试验	频率	5MHz	3
		类型	旋转多探头	
		扫描区	焊缝和基体金属	
		探头旋转分类	1500rpm或3000rpm 自动分类	
	检验线涡流试验	频率	0.5~16KHz	1
		传感器	差动线圈和环状线圈型	
		扫描区	焊缝和基体金属	
分类		自动分类		
用于生产控制的AOL电子计算机(新日本钢铁公司研制)		中心计算机		2
		终端控制台		4
		终端指示器		4
		打印装置		7

(NSC) 研制的。2 台超声波探伤仪安装在轧机线上，其它 2 台超声波探伤仪和 2 台涡流探伤仪安装在检验线中。

通过这两个检查系统（见图 4），焊缝和基体金属中的全部缺陷都能检查出来，并作了分选，确保了产品质量。

(1) 轧机线上的超声波探伤仪

焊接后，清除内外毛刺，并用两种超声波探伤仪检验焊缝。其中一台是有很多探头和焊缝跟踪器的角波束超声波试验仪，用来检验钢管全长的焊缝。另一台是表面波超声波探伤仪，用来检验在钢管全长上焊缝周围的表面伤痕。

(2) 检验线上的超声波探伤仪

钢管经热处理和矫直后，输向 3 台超声

波试验仪。超声波束是由以 1500 转/分围绕钢管旋转的探头穿水传播的（见图 5）。这一检验能探测全部缺陷。缺陷几乎全是非金属夹杂和夹层。

(3) 检验线上的涡流探伤仪

涡流探伤仪是让钢管穿过一磁性饱和线圈进行探伤的。这种探伤仪能有效地检查表面缺陷，如结疤和凹陷。

通过这种无损探伤法所分选出来的次管能自动地打上标记，并置于一旁。对于重要工程的钢管，其笔录卡贮存在无损探伤仪的存储器里。无损探伤仪由约 30 名得到许可的检验人员操作。还保留一个研究中心研究检验技术。

无 损 探 伤 设 备 的 技 术 说 明 表 5

	设 备	技 术 说 明	检 验 项 目	检 验 面 积	台 数
轧 机 线	轧机线上的表面波 超声波探伤仪	表 面 波	焊缝周围的表面裂 纹		1
	轧机线上的角波束 超声波探伤仪	角波束，带有焊缝 跟踪装置的多探头	焊缝的缺陷		1
检 验 线	检验线上的超声波 探伤仪	角波束，多探头， 探头旋转数 1500或3000rpm	焊缝的缺陷和基体 金属中的夹杂及夹 层		3
	检验线上涡流探伤 仪	差动线圈和环状线 圈	表面缺陷如结疤和 凹痕		1

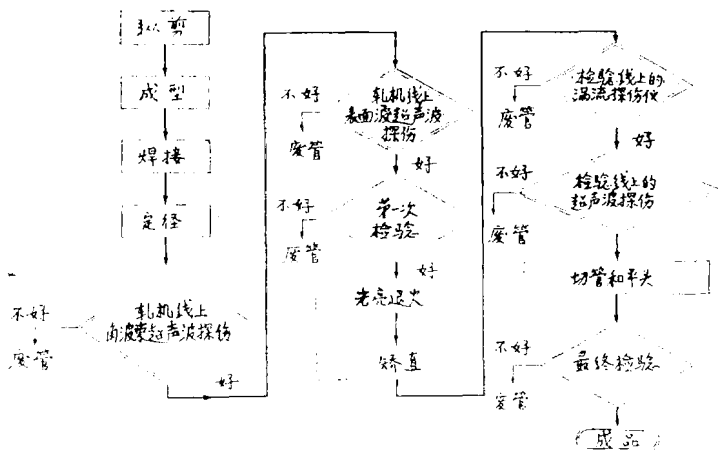


图4 君津电阻焊管厂的检验程序

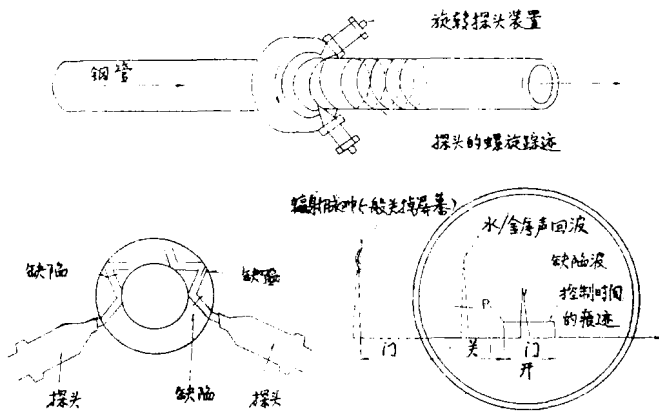


图5 旋转探头式的超声波探伤原理

6)。

四、NiSE锅炉管的质量数据

1. 材料

用于NiSE锅炉管的材料如下(见表

2. 显微组织

NiSE 锅炉管显微组织 的一些实例如

下:

(1) ASME SA 178 A级(见图6)。

锅炉管用碳钢和低合金钢的化学成分实例

表 6

材 料		化 学 成 分 (%)								标 准
		C	Si	Mn	P	S	Al	Cr	Mo	
低 碳 镇 静 钢	BS3059 1部 分 ERW320	0.16 最 大	—	0.30 0.70	0.050 最 大	0.050 最 大	—	—	—	ASME SA 178 A级
	指标成分	0.11 0.15	0.15 最 大	0.35 0.55	0.030 最 大	0.020 最 大	0.010 0.050	—	—	ASME SA 226 BS3059 1部分 ERW 320
	BS3059 2部 分 ERW360	0.17 最 大	0.35 最 大	0.40 0.80	0.045 最 大	0.045 最 大	—	—	—	BS3059 2部分 ERW 360
	指标成分	0.09 0.14	0.10 0.30	0.40 0.60	0.030 最 大	0.020 最 大	0.010 最 大	—	—	JIS G3461 STB 35
	DIN17177 St 37.8	0.17 最 大	0.35 最 大	0.40 0.80	0.040 最 大	0.040 最 大	—	—	—	DIN 17175 St 35.8
	指标成分	0.11 0.16	0.10 0.30	0.55 0.75	0.030 最 大	0.020 最 大	0.010 最 大	—	—	DIN 17177 St 37.8
	ASME SA178 C级	0.35 最 大	—	0.80 最 大	0.050 最 大	0.060 最 大	—	—	—	ASME SA 178 C级
	指标成分	0.16 0.23	0.10 0.30	0.55 0.80	0.030 最 大	0.010 最 大	0.010 最 大	—	—	JIS G 3461 STB 42
	BS 3059 2部分 ERW440	0.12 0.18	0.10 0.35	0.90 1.20	0.040 最 大	0.035 最 大	—	—	—	BS 3059 2部分 ERW 440
	指标成分	0.12 0.17	0.10 0.30	0.95 1.15	0.030 最 大	0.010 最 大	0.010 最 大	—	—	DIN 17175 St45.8 DIN 17177 St42.8
中碳 硅镇静 钢	JIS G3461 STB 52	0.25 最 大	0.35 最 大	1.00 1.50	0.035 最 大	0.035 最 大	—	—	—	相等 ASME SA 210 C级
	指标成分	0.16 0.23	0.15 0.35	1.20 1.50	0.030 最 大	0.010 最 大	0.010 最 大	—	—	
低合 金 硅 镇 静 钢	DIN 17177 15 Mo3	0.12 0.20	0.10 0.35	0.40 0.80	0.035 最 大	0.035 最 大	—	—	0.25 0.35	DIN 17175 15Mo 3
	指标成分	0.14 0.19	0.15 0.35	0.60 0.80	0.030 最 大	0.010 最 大	0.010 最 大	—	0.25 0.35	DIN 17177 15Mo 3
	ASME SA250 钢号T ₁	0.10 0.20	0.10 0.50	0.30 0.80	0.045 最 大	0.045 最 大	—	—	0.44 0.65	ASME SA250 T ₁ 级
	指标成分	0.11 0.15	0.15 0.35	0.45 0.65	0.030 最 大	0.010 最 大	0.010 最 大	—	0.45 0.65	JIS G3462 STBA12

续表

材 料		化 学 成 分 (%)								标 准
		C	Si	Mn	P	S	Al	Cr	Mo	
低合金镇静钢	BS 3059 2 部分 ERW620	0.10 0.15	0.10 0.35	0.40 0.70	0.040 最 大	0.040 最 大	0.020 最 大	0.70 1.10	0.45 0.65	BS 3059 2 部分 ERW620
	指标成分	0.11 0.15	0.15 0.35	0.45 0.65	0.030 最 大	0.010 最 大	0.010 最 大	0.80 1.05	0.45 0.60	
										JIS G3462 STBA22

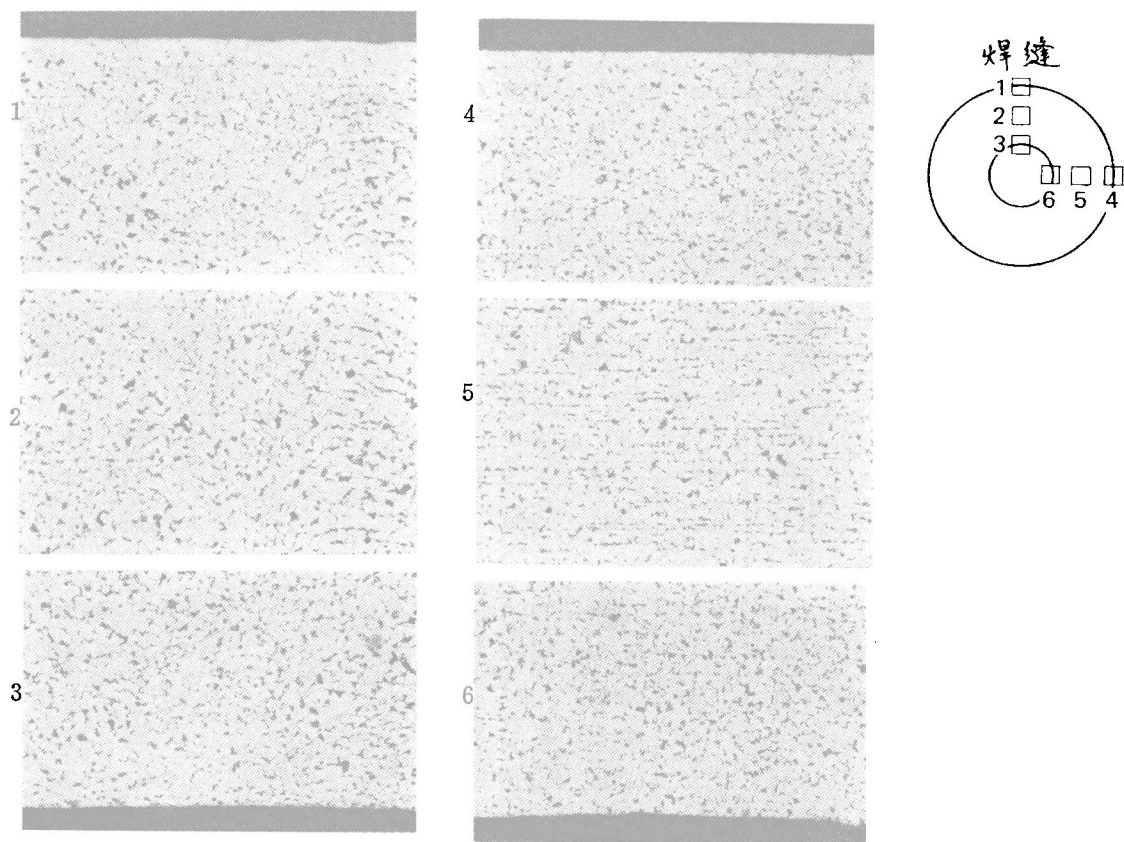
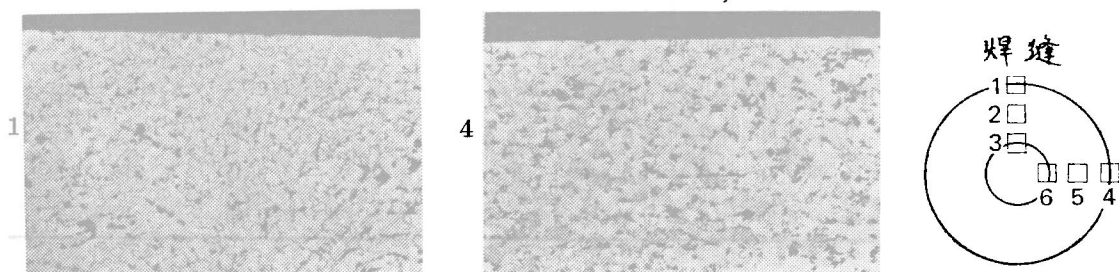


图 6 低碳镇静钢

(2) BS 3059 1 部分 ERW 320 (见图 7)



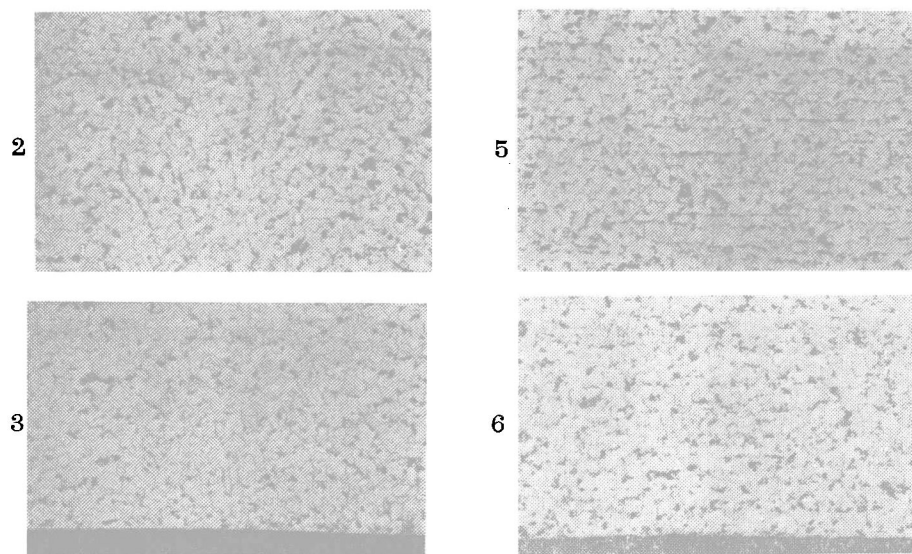


图7 低碳镇静钢

(3) ASME SA 178 C级 (见图8)

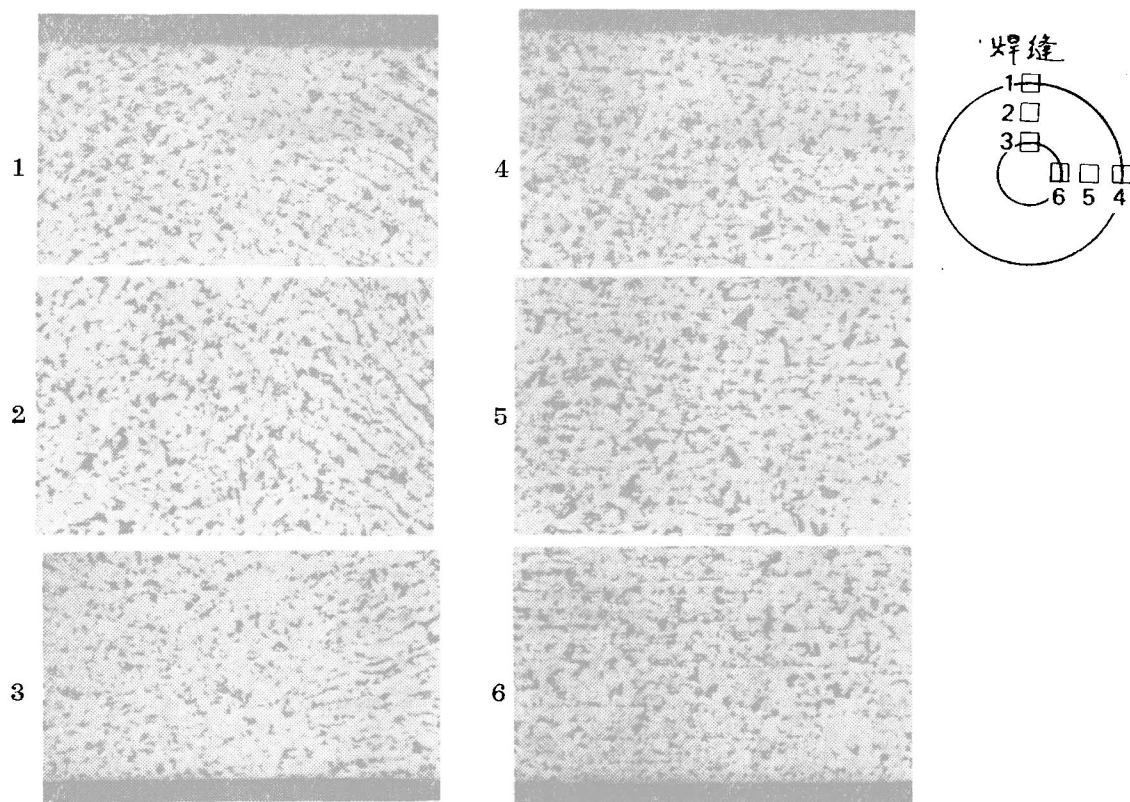


图8 中碳硅镇静钢

(4) BS 3059 2 部分 ERW440 (见图9)

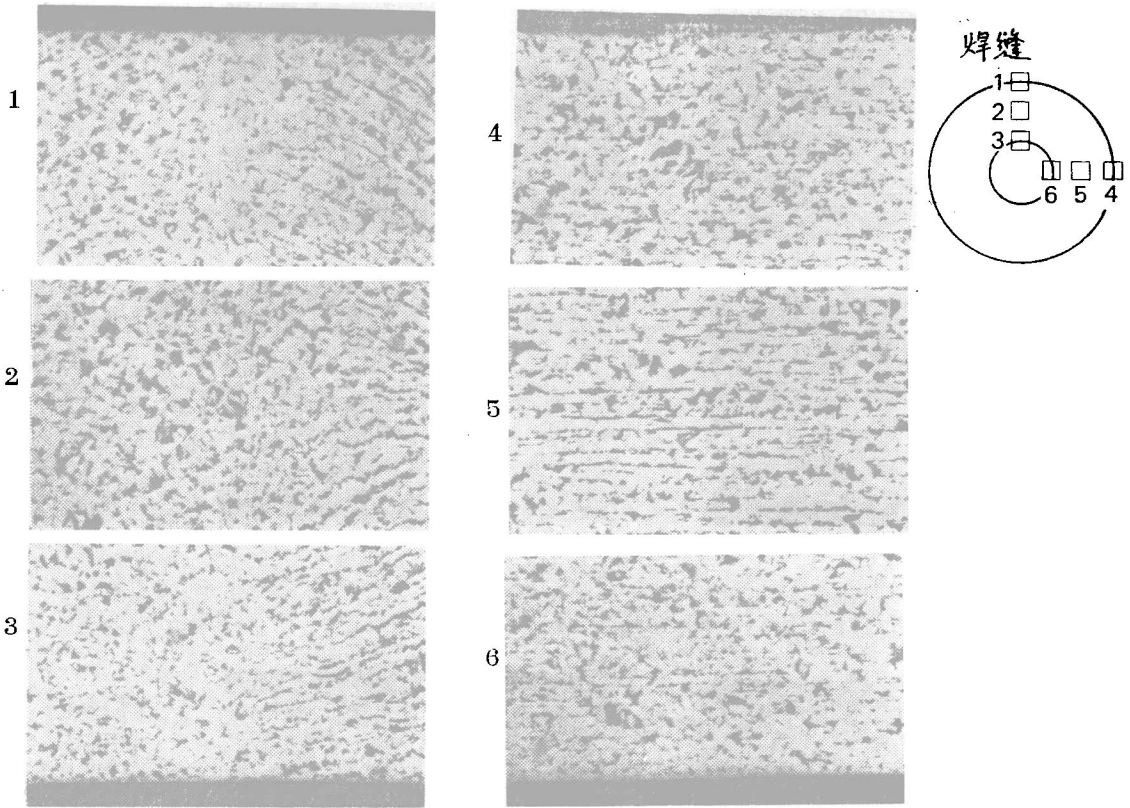
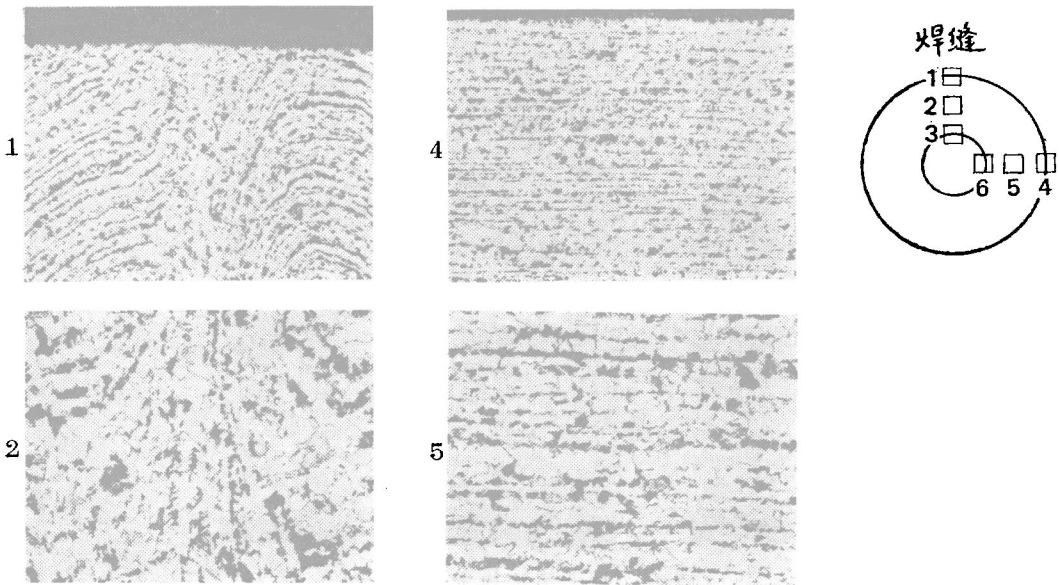
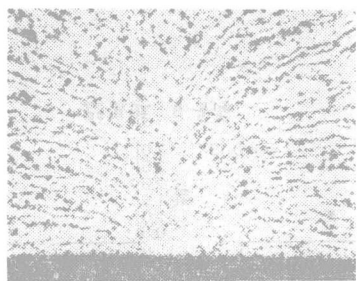


图9 低碳高锰硅镇静钢

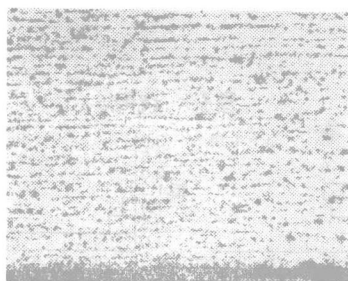
(5) JIS G 3461 STB52(相等于ASME SA210 C级。)(见图10)



3



6

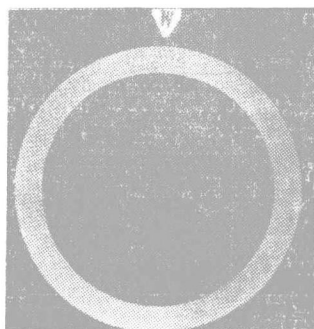


注: 1、2、4、6×100; 2、5×300

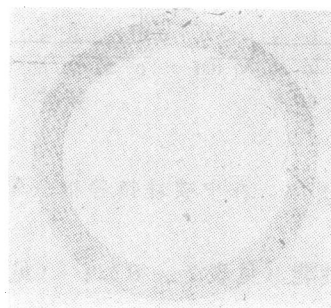
图10 中碳高锰硅镇静钢

3. 宏观组织和硫印

NiSE锅炉管的宏观组织和硫印的典型实例如下(见图11)。



宏观组织



硫印

图11 ASME SA178 C级的宏观组织和硫印(钢管直径: 76.2×6.7mm)

4. 非金属夹杂

NiSE管的非金属夹杂的一些实例(按照ASME E45方法A)如下(见图12、13)。

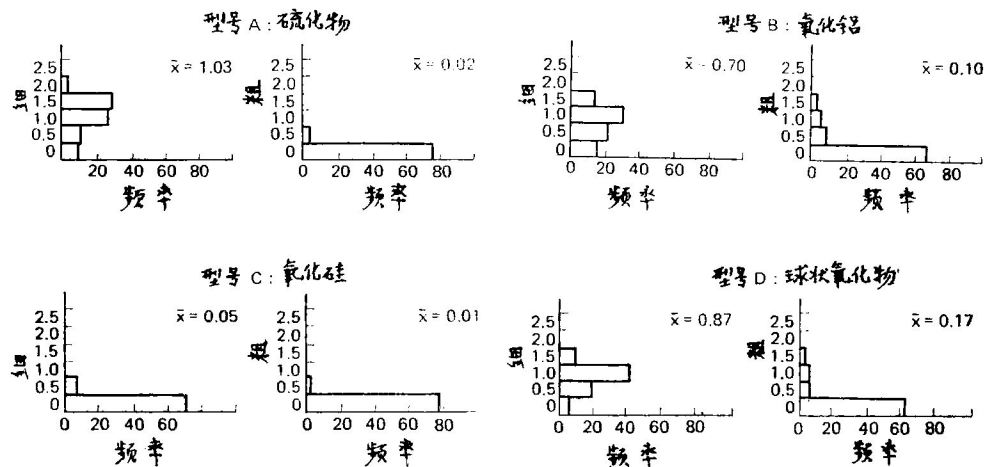


图12 在低碳铝镇静钢 (ASME SA178C级) 中的非金属夹杂

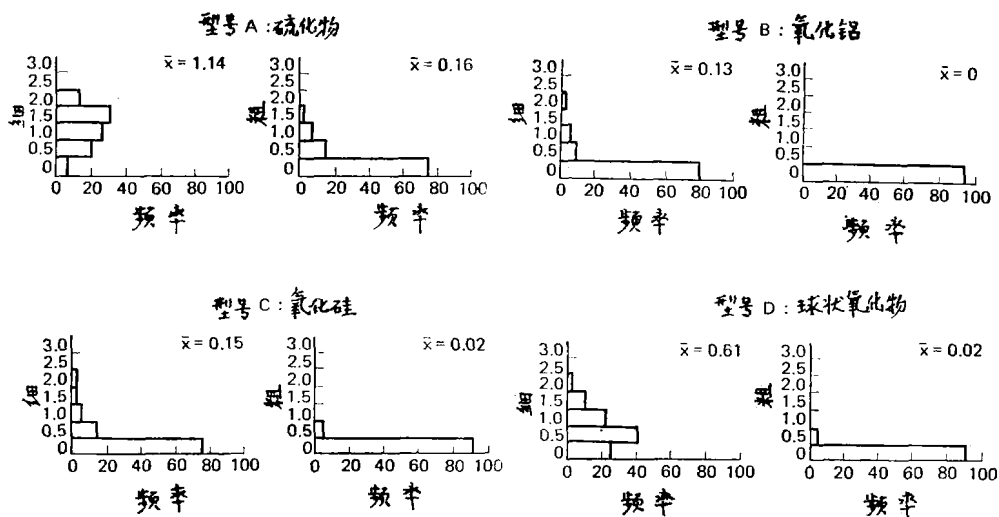


图13 在中碳硅镇静钢 (ASME SA178C级) 中的非金属夹杂物

5. 拉伸性能 (见表 7、8) ; (见图14、15、16、17)

标准要求的拉伸性能

表 7

	抗拉强度	最小屈服强度	最小延伸率	热处理
ASME SA178 A级	48 KSi (34kgf/mm ²) 最小	30 KSi (21kgf/mm ²)	35%	在900℃ (1650°F)或 更高温正火
ASME SA226	48 KSi (34kgf/mm ²) 最小	30 KSi (21kgf/mm ²)	35%	
ASME SA178 C级	60 KSi (42kgf/mm ²) 最小	37 KSi (26kgf/mm ²)	30%	
BS3059 1部分 ERW320	320~480 46.9~69.7 KSi N/mm ² (33~49kgf/mm ²)	195 28.4 KSi N/mm ² (20kgf/mm ²)	25%	在880°~ 920℃正火 (1615~1690 °F)
BS3059 2部分 ERW360	360~500 52.6~72.5 KSi N/mm ² (37~51kgf/mm ²)	215 31.3 KSi N/mm ² (22kgf/mm ²)	24%	
BS3059 2部分 ERW440	440~580 64.0~83.7 KSi N/mm ² (45~59kgf/mm ²)	245 35.6KSi N/mm ² (25kgf/mm ²)	21%	
JIS G3461 STB52 (等于ASME SA210C级)	52kgf/mm ² (74KSi) 最小	30 kgf/mm ² (42.7KSi) 最小	25%	

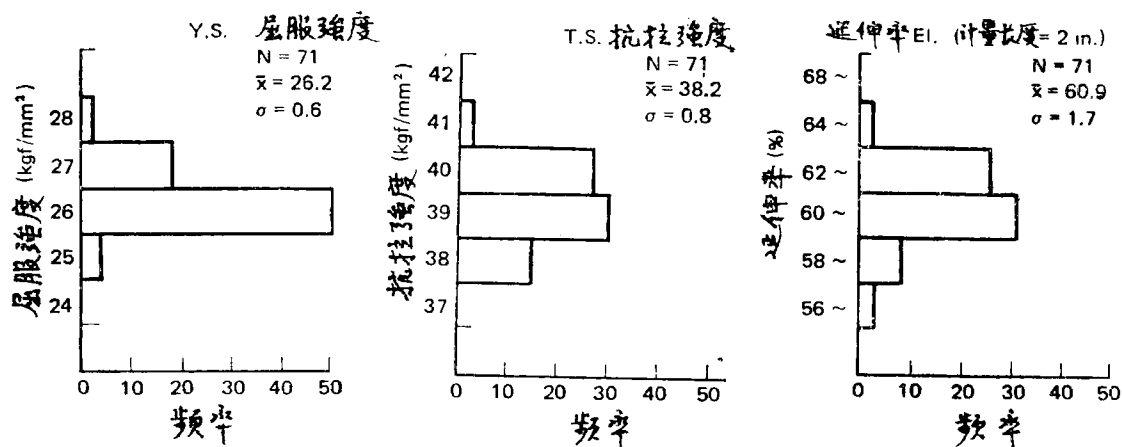


图14 低碳铝镇静钢 (ASME SA178A级) 的抗拉强度

钢管尺寸: $50.8 \times 3.2\text{mm}$

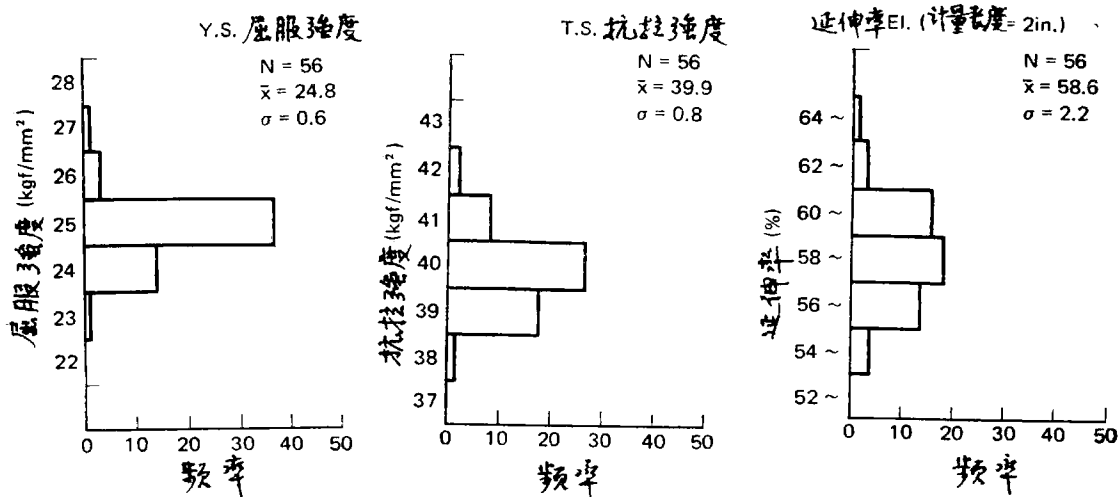


图15 低碳硅镇静钢 (BS 3059 2部份ERW360) 的拉伸性能

钢管尺寸: $38.1 \times 4.0\text{mm}$