

小口径热轧管在锅炉制造应用中的性能优势

韩 强

(山西应用科技学院, 山西 太原 030021)

摘 要:从原材料的机械性能、尺寸公差和表面质量出发,结合行业调研结果以及热轧管在锅炉中的实际应用,全面分析了热轧管在锅炉应用中的可行性。研究表明,热轧管在多个方面均表现出优异的性能,适用于锅炉制造的要求。因此,推荐同行在锅炉设计和制造中可考虑采用热轧管。

关键词:小口径;热轧管;锅炉;冷拔管

中图分类号: TG335.7

文献标识码: A

文章编号: 1672-1152(2024)11-0036-05

0 引言

某锅炉制造企业每年用于制造炉膜式壁和蛇形管的小口径热轧管的使用量超过 2.5 万 t。为保证锅炉膜式壁和蛇形管的制造质量,一直以来均使用冷拔管。近年来随着小口径热轧管制造工艺的不断成熟,小口径热轧管的最小直径已覆盖至 $\Phi 38$ mm,因热轧管制造工序相比冷拔管少,因此其相对冷拔管具有明显的价格优势。随着锅炉市场竞争越来越激烈,价格优势决定产品的竞争力^[1-3]。因此,为了降本增效,该锅炉制造企业委托山西应用科技学院一起来研究小口径热轧管在锅炉膜式壁和蛇形管制造中的应用。

经过调研,山西应用科技学院了解到该锅炉制造企业使用的小口径冷拔管的规格主要有 $\Phi 38$ mm、 $\Phi 42$ mm、 $\Phi 51$ mm 和 $\Phi 60$ mm。由于热轧管和冷拔管是两种不同的钢管类型,它们在生产工艺、性能特点、外观及应用领域等方面存在显著的差异,主要对热轧管和冷拔管从制造工艺、性能、公差等方面分别进行对比和分析^[4-5]。

1 热轧管和冷拔管比较和分析

1.1 热轧管和冷拔管的制造工艺比较

热轧管和冷拔管是两种常见的无缝钢管制造工艺,它们在生产过程和产品特性上有所不同。

热轧管的制造工艺为:原材料检验→下料→加热→穿孔→连轧→张力减径→中检→切割→热处理→表面处理→理化性能检验→矫直→无损检测→台检→标记、测长称重→打包→入库。

冷拔管的制造工艺为:原材料检验→下料→冷定心→加热→穿孔→毛管检验→制头软化退化→表面处理→中间修磨→磷化→皂化→冷拔→中间退火→热处理→理化性能检验→表面处理→矫直→切割→无损检测→台检→标记→打包→入库。

从热轧管和冷拔管的制造工艺可以看出,冷拔管的制造工序相对热轧管更为复杂,因此其制造成

本较高,而热轧管的制造工序少,工序要求高,必须在热轧状态下使管子的各项性能、尺寸和外观达到标准要求^[6-10]。

1.2 热轧管和冷拔管力学性能比较

从 GB/T 5310—2017 高压锅炉用无缝钢管、GB/T 3087—2022 低中压锅炉用无缝钢管标准中可以看到,热轧管和冷拔管的力学性能没有区别。

1.3 热轧管和冷拔管外形尺寸比较

1.3.1 按 GB/T 5310—2017 热轧管和冷拔管尺寸公差比较

按照 GB/T 5310—2017 高压锅炉用无缝钢管标准,对热轧管和冷拔管尺寸公差(外径和壁厚)外径偏差进行比较。表 1、表 2 是 GB/T 5310—2017 高压锅炉用无缝钢管标准。

表 1 热轧管和冷拔管尺寸公差比较(外径和壁厚)

单位: mm

制造方式	钢管尺寸		允许偏差	
			普通级	高级
热轧	公称外径 D	< 57	± 0.40	± 0.30
		≥ 57	$\pm 0.75\%D$	$\pm 0.5\%D$
	公称壁厚 S	≤ 4.0	± 0.45	± 0.35
		> 4.0	$-10\%S \sim +12.5\%S$	$\pm 10\%S$
冷拔	公称外径 D	$> 25.4 \sim 40$	± 0.20	—
		$> 40 \sim 50$	± 0.25	—
		$> 50 \sim 60$	± 0.30	—
		> 60	$\pm 0.5\%D$	—
	公称壁厚 S	> 3.0	$\pm 10\%S$	$\pm 0.75\%S$

由表 1、表 2 可见, $\Phi 42$ mm 规格的高级热轧管的外径允许偏差比冷拔管大 0.05 mm。然而,由于 $\Phi 42$ mm 管主要用作屏类膜式壁,且对管屏宽度要求相对不高,因此这个微小的偏差在实际应用中是可以接受的^[11-15]。同样,蛇形管对管子外径偏差的要求也不高,所以高级热轧管在外径偏差方面可以

收稿日期: 2024-08-28

作者简介: 韩 强(1973—),男,内蒙古赤峰人,毕业于河南工业大学机械设计及制造专业,山西应用科技学院教师,高级工程师,主要从事锅炉制造工艺的研发工作。

表2 热轧管和冷拔管常用规格尺寸公差比较(常用规格)
单位:mm

制造方式	钢管尺寸		允许偏差	
			普通级	高级
热轧	公称外径 D	38	± 0.40	± 0.30
		42	± 0.40	± 0.30
		51	± 0.40	± 0.30
		60	± 0.45	± 0.30
	公称壁厚 S	4	± 0.45	± 0.35
		5	$-0.5 \sim +0.625$	± 0.5
		6	$-0.6 \sim +0.75$	± 0.6
冷拔	公称外径 D	38	± 0.20	—
		42	± 0.25	—
		51、60	± 0.30	—
	公称壁厚 S	4	± 0.4	± 0.3
		5	± 0.5	± 0.375
		6	± 0.6	± 0.45
		7	± 0.7	± 0.525

满足其使用要求。

再比较 $\Phi 51$ mm、 $\Phi 60$ mm 高级热轧管与冷拔管, $\Phi 51$ mm 和 $\Phi 60$ mm 高级热轧管的外径允许偏差与冷拔管相同。这表明在较大管径的情况下,高级热轧管和冷拔管在外径控制上达到了相同的精度,都能满足使用要求。

1.3.2 按 GB/T 5310—2017 热轧管和冷拔管尺寸公差规定的壁厚偏差比较

按照 GB/T 5310—2017 高压锅炉用无缝钢管标准,热轧管和冷拔管尺寸公差规定的壁厚偏差比较情况:

1) 以壁厚为 4 mm 的钢管为例:4 mm 的冷拔管壁厚允许偏差比高级热轧管大 0.05 mm。然而,对于膜式壁和蛇形管的制造来说,壁厚偏差并没有直接影响其性能或质量。因此,尽管高级热轧管的壁厚允许偏差较小,但这一差异在实际应用中并不会产生显著影响^[16-20]。

2) 以壁厚为 5~7 mm 的钢管为例:5~7 mm 的冷拔管壁厚允许偏差与高级热轧管相同。这进一步证明了在较厚壁厚的管材中,高级热轧管和冷拔管在壁厚控制上能达到相同的标准。

综上所述,无论是从外径偏差还是壁厚偏差的角度来看,高级热轧管的要求都能满足屏类膜式壁和蛇形管的使用要求。在实际应用中,可以根据具体需求和场景选择合适的管材类型,同时确保产品的质量和性能符合预期。

1.3.3 按 GB/T 3087—2022 热轧管和冷拔管尺寸公差比较

按照 GB/T 3087—2022 低中压锅炉用无缝钢管

的标准,热轧管和冷拔管尺寸公差(外径和壁厚)比较如表3、表4所示。

表3 热轧管和冷拔管尺寸公差比较(外径和壁厚)

制造方式	钢管的壁厚允许偏差
热轧	$\pm 12.5\%S$ 或 ± 0.40 ,取其中较大者
冷拔	$-10\%S \sim +12.5\%S$

表4 热轧管和冷拔管常用规格尺寸公差比较(常用规格)
单位:mm

外径 D	壁厚 S	外径允许公差		壁厚允许公差	
		热轧	冷拔	热轧	冷拔
38	4	± 0.5	± 0.38	± 0.5	$-0.4 \sim +0.5$
	5			± 0.625	$-0.5 \sim +0.625$
	6			± 0.75	$-0.6 \sim +0.75$
42	4	± 0.5	± 0.42	± 0.5	$-0.4 \sim +0.5$
	5			± 0.625	$-0.5 \sim +0.625$
	6			± 0.75	$-0.6 \sim +0.75$
51	4	± 0.51	± 0.51	± 0.5	$-0.4 \sim +0.5$
	5			± 0.625	$-0.5 \sim +0.625$
	6			± 0.75	$-0.6 \sim +0.75$
60	4	± 0.6	± 0.6	± 0.5	$-0.4 \sim +0.5$
	5			± 0.625	$-0.5 \sim +0.625$
	6			± 0.75	$-0.6 \sim +0.75$

由表3、表4可见, $\Phi 42$ mm 热轧管的外径允许偏差比冷拔管大 0.08 mm。然而,由于 $\Phi 42$ mm 管主要用作屏类膜式壁(水冷屏、过热屏和再热屏),且对管屏宽度要求相对不高,这一偏差在实际应用中是可以接受的。同样,蛇形管对管子外径偏差的要求也不高,因此热轧管在外径偏差方面的性能可以满足膜式壁和蛇形管的使用要求。

$\Phi 51$ mm、 $\Phi 60$ mm 热轧管与冷拔管比较:对于 $\Phi 51$ mm 和 $\Phi 60$ mm 的热轧管,它们的外径允许偏差与冷拔管相同^[21-23]。这进一步证明了在较大管径的情况下,热轧管和冷拔管在外径控制上能够达到相同的精度。

1.3.4 按 GB/T 3087—2022 热轧管和冷拔管壁厚偏差比较

按照 GB/T 3087—2022 低中压锅炉用无缝钢管的标准,热轧管和冷拔管壁厚偏差比较:

上偏差:冷拔管壁厚允许公差的上偏差与热轧管相同。这意味着在壁厚的上限控制上,热轧管和冷拔管具有相同的标准。

下偏差:冷拔管壁厚允许公差的下偏差比热轧管小 $2.5\%S$ (S 为壁厚)。这意味着冷拔管在壁厚的下限控制上更为严格,有利于确保产品的最小壁厚,从而避免在使用过程中因壁厚过薄而导致的性能问题。

1.4 对膜式壁及蛇形管制造的影响

虽然壁厚偏差对膜式壁及蛇形管的制造无直接

影响,但会影响产品的重量。在需要精确控制产品重量的应用中,如成本核算或运输限制等,壁厚偏差的严格控制就显得尤为重要。因此,在壁厚偏差方面,需要满足冷拔管的要求,以确保产品的重量满足预期^[24]。

综上所述,热轧管在外径偏差方面可以满足膜式壁和蛇形管的使用要求,但在壁厚偏差方面需要参照冷拔管的标准进行控制,以确保产品的重量和性能符合预期。在实际应用中,应根据具体需求和场景选择合适的管材类型。

1.5 脱碳层的比较

热轧管和冷拔管脱碳层的比较如表 5 所示。

表 5 GB/T5310—2017 高压锅炉用无缝钢管标准

制造方式	脱碳层厚度
热轧	标准无要求。参照东方锅炉企标,外表面全脱碳层深度≤0.3 mm;内表面全脱碳层深度≤0.4 mm;两者之和≤0.6 mm
冷拔	外表面全脱碳层深度≤0.2 mm;内表面全脱碳层深度≤0.3 mm;内外表面全脱碳层深度之和≤0.4 mm

1.6 表面质量的比较

GB/T 5310—2017 高压锅炉用无缝钢管标准中规定的热轧管和冷拔管表面质量的要求如表 6 所示。

表 6 热轧管和冷拔管表面质量比较

制造方式	钢管内外表面直道允许的的深度
热轧	不大于壁厚的 5%,且最大为 0.4 mm
冷拔	不大于壁厚的 4%,且最大为 0.2 mm

GB/T 3087—2022 低中压锅炉用无缝钢管标准中规定的热轧管和冷拔管钢管内外表面直道允许的深度的要求如表 7 所示。

表 7 GB/T 3087—2022 规定的热轧管和冷拔管内外表面直道允许的深度的比较

制造方式	钢管内外表面直道允许的的深度
热轧	不大于壁厚的 5%,且最大为 0.5 mm
冷拔	不大于壁厚的 4%,且最大为 0.3 mm

2 试验验证

首先在该公司循环流化床锅炉 QXF116—1.6/130/90-M 水冷膜式壁和蛇形管上采用 20G/GB/T5310 热轧管进行试验。

2.1 采购

依据 Q/T GJ02.1220.02《高压锅炉用无缝钢管采购规范》,其中关于热轧管的公称外径、壁厚和表面质量等按标准中冷拔管的要求执行。

2.2 原材料检查和工艺试验

2.2.1 原材料检查

外观质量检查详见表 8。

外径检测具体数据详见表 9。

内径检测具体数据详见表 10。

壁厚检查具体数据详见表 11。

表 8 热轧管外观质量

规格/mm	抽样数量/个	质量要求	检测值	结果
Φ51×5	54	1.管子内外表面不应有裂纹、折叠、结疤、轧折和离层;2.管子内外表面直道的允许深度(低于表面)不大于壁厚的 4%,且最大为 0.2 mm;3.管子内外表面无氧化皮	1.内外表面未见裂纹、折叠、结疤、轧折和离层;2.外表面无明显直道,内表面个别管有肉眼可见直道,触摸无明显痕迹;3.表面无氧化皮	合格
Φ42×3.5	30	1.内外表面未见裂纹、折叠、结疤、轧折和离层;2.外表面无明显直道,内表面肉眼可见直道,部分钢管触摸有明显痕迹;3.表面无氧化皮	1.内外表面未见裂纹、折叠、结疤、轧折和离层;2.外表面无明显直道,内表面肉眼可见直道,部分钢管触摸有明显痕迹;3.表面无氧化皮	合格

表 9 热轧管外径检测

序号	规格/mm	抽样数量/个	公差要求/mm	公差实测值/mm	结果
1	Φ51×5	54	±0.4	-0.2~+0.2	合格
2	Φ42×3.5	30	±0.4	-0.2~+0.1	合格

表 10 热轧管内径检测

序号	规格/mm	抽样数量/个	对接边缘要求/mm	内径偏差/mm	结果
1	Φ51×5	54	≤1	0~+0.3	无需内削
2	Φ42×3.5	30	≤0.85	0~+0.5	无需内削

表 11 热轧管壁厚检测

序号	规格/mm	抽样数量/个	公差要求/mm	公差实测值/mm	结果
1	Φ51×5	54	±0.5	-0.1~+0.2	合格
2	Φ42×3.5	30	±0.35	0~0.3	合格

2.2.2 工艺试验

2.2.2.1 弯管试验

按照 GB/T 16507.5—2022 附录 A 进行单管弯头及管屏成排弯工艺试验,所得试验结果如表 12、13、14 所示。

表 12 热轧管弯管外观质量

序号	规格/mm	弯曲半径/mm	弯头数量/个	检验内容	目测	结果
1	Φ51×5	R120	3	外表面质量无表面瘪痕、机械损伤,内表面波浪度	内外表面无瘪痕、机械损伤及内表面无波浪度	合格
2	Φ42×3.5	R80	3			
3	Φ51×5 节距 100	R300	1(成排弯)			

表 13 热轧管弯头数据测量

规格/mm	弯曲半径/mm	试件数量/个	最小壁厚/mm	弯头最大减薄率(标准值≤15%)/%	最大圆度(标准值≤12%)/%	结果
Φ51×5	R120	3	4.69	6.2	10.5	合格
Φ42×3.5	R80	3	3.12	10	7	合格
Φ51×5 节距 100(成排弯)	R300	1	4.6	8	5.26	合格

表 14 热轧管弯头无损检测结果

弯头规格/mm	检测数量	结果
Φ51×5/R120	3个	100%MT 合格
Φ51×5/R300,3管2扁钢	1屏,8条角焊缝及3弯头	100%MT 合格

2.2.2.2 对接试验

根据 NB/T 47014—2011《承压设备焊接工艺评定》进行试件焊接(自动焊),并进行相关性能试验。试验结果如表 15、16、17、18 所示。

表 15 热轧管对接坡口角度检测结果

规格/mm	试件数量/对	公差要求/(°)	实测值/(°)	结果
Φ42×3.5	5	37±2.5	37~38	合格

表 16 热轧管对接错口值检测结果

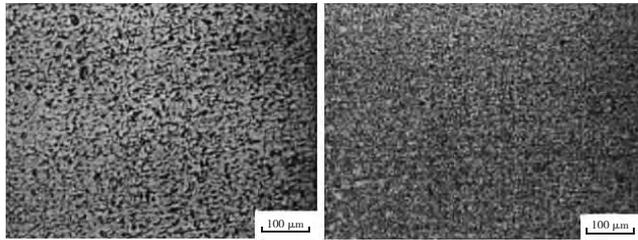
规格/mm	试件数量/对	对接边缘偏差要求/mm	实测值/mm	结果
Φ42×3.5	5	≤0.85	0~0.2	合格

表 17 热轧管对接环缝射线检测结果

规格/mm	焊缝数量	结果合格率/%
Φ42×3.5	5道口	100

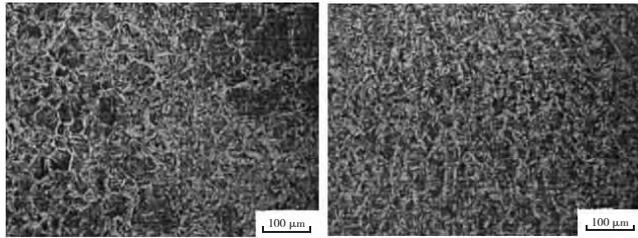
表 18 热轧管对接环焊缝拉伸、弯曲、金相检测结果

序号	规格/mm	项目	试样数量/件	结果
1	Φ42×3.5	拉伸	2	511 MPa, 499 MPa
2		面弯	2	完好
3		背弯	2	完好
4		金相	1	见图 1



1-1 母材

1-2 热影响区



1-3 熔合区

1-4 焊缝

图 1 金相检测结果

2.2.3 管屏焊接试验

根据 NB/T 47014—2011《承压设备焊接工艺评定》、GB/T 16507.5—2013《水管锅炉第 5 部分:制造》进行试件焊接(自动焊),并进行相关性能试验。试验结果如表 19、表 20 所示。

表 19 角焊缝磁粉检测结果

管屏规格	数量	结果
Φ51 mm×5 mm, 3 管 2 扁钢	1 屏, 8 条角焊缝	100%MT, 合格

表 20 角焊缝宏观表象结果

检验项目	规格/mm	试件数量/件	结果
焊角	Φ51×5+δ5	5	合格
熔深	Φ51×5+δ5	5	合格

3 试验结果

3.1 膜式壁尺寸检查结果

3.1.1 自动焊管管对接外观检查结果

自动焊管管对接外观检查结果如表 21 所示。

表 21 对接外观检查结果

规格/mm	对接边缘偏差检查			焊缝检查		
	试件数量/对	对接边缘偏差要求/mm	对接边缘偏差实测值/mm	结果	接口数量/个	RT 一次合格率/%
Φ51×5	10	1	0~+0.3	合格	51	100

3.1.2 自动焊检查结果

焊前实测管子外径 Φ51 mm ± Φ0.2 mm, 与冷拔管相近;扁钢宽度为 48.8 mm ± 0.1 mm, 无需精整。单元屏尺寸检查结果如表 22 所示。

表 22 单元屏尺寸检查结果

序号	规格	理论宽度/mm	试件数量/件	平均检测值/mm		
				起弧	中	收弧
1	[-5-]	549	3	-2.2	-0.4	-0.5
2	[5]	451	2	0.1	0.3	0.6
3	[-4-]	449	1	0	-0.2	0.3
4	[-3-]	349	1	1	0.1	0.7
5	[3]	251	1	-0.7	-0.1	-0.3
6	[-2-]	249	2	-1.1	-0.8	-0.9
7	[2]	151	3	0.3	0.6	0.93

组屏宽度检查结果如表 23 所示。

表 23 组屏宽度检查结果

管屏数量/个	实测管屏宽度范围/mm	管屏宽度公差要求/mm	结果
33	±3	±6	合格

3.1.3 门孔装对

跟踪管管对接过程,无对接边缝超差的部件。

3.1.4 水压试验

G9122-019 所有膜式壁已水压试验完毕,未发现异常^[13]。

3.2 蛇形管尺寸检查结果

3.2.1 管管对接自动焊检查结果

管管对接自动焊检查结果如表 24 所示。

表 24 蛇形管自动焊对接检查结果

规格/mm	对接边缘偏差检查			焊缝检查		
	试件数量/对	对接边缘偏差要求/mm	对接边缘偏差实测值/mm	结果	接口数量/个	RT 一次合格率/%
Φ42×3.5	18	≤0.85	0~0.3	合格	884	98.2

3.2.2 弯头表面

在弯管后目视检验弯头的表面,未发现缺陷。

3.2.3 水压试验

G9122-019 所有蛇形管已水压试验完毕,未发现异常。

4 结论

在 G9122-019 项目中,热轧管以其卓越品质成为膜式壁与蛇形管的首选材料。所有焊缝均达到高标准合格率,确保产品出厂时满足既定质量规范。同时,热轧管在外形尺寸上的精准控制,进一步巩固了其产品质量,使得无论是膜式壁门孔的精确装配,还

是蛇形管在水压试验以及管管对接的自动化焊接过程,均完美展现了热轧管在锅炉制造领域的强大可行性与适应性。此项目的成功实施,无疑为热轧管在高端锅炉制造中的广泛应用树立了典范,可为同行企业提供借鉴。

参考文献

- [1] 全国钢标准化技术委员会. 高压锅炉用无缝钢管:GB/T5310—2017[S].北京:中国标准出版社,2017.
- [2] 国家市场监督管理总局,国家标准化管理委员会. 低中压锅炉用无缝钢管:GB/T 3087—2022[S].北京:中国标准出版社,2022.
- [3] 国家市场监督管理总局,国家标准化管理委员会. 水管锅炉:GB/T 16507.5—2022[M].北京:中国标准出版社,2022.
- [4] 梅启钟. 焊接工艺学[M].北京:机械工业出版社,1992.
- [5] 中国特种设备检测研究院. 承压设备焊接工艺评定:NB/T 47014—2011[S].北京:中国标准出版社,2011.
- [6] 李亚江. 焊接缺陷分析与对策[M].北京:化学工业出版社,2011:30-35.
- [7] 郑应国. 焊工工艺学[M].北京:中国劳动出版社,2004.
- [8] 张士相. 焊工[M].北京:中国劳动和社会保障出版社,2004.
- [9] 熊腊森. 焊接工程基础[M].北京:机械工业出版社,2005.
- [10] 田锡唐. 焊接结构[M].北京:机械工业出版社,1982.
- [11] 赵熹华. 焊接检验[M].北京:机械工业出版社,2001.
- [12] 雷世明. 焊接方法和设备[M].北京:机械工业出版社,2004.
- [13] 邓洪军. 焊接结构生产[M].北京:机械工业出版社,2005.
- [14] 张文钺. 焊接冶金学(基本原理)[M].北京:机械工业出版社,2001.
- [15] 英若采. 熔焊原理和金属材料焊接[M].北京:机械工业出版社,2005.
- [16] 梅启钟. 焊接工艺学[M].北京:机械工业出版社,1992.
- [17] 暴日辉. 高铬合金堆焊管在CFB锅炉水冷管上的应用[J]. 大氮肥,2022(5):305-309.
- [18] 张永生,袁亚亮,林立超,等. 自动化熔覆堆焊在锅炉水冷壁维修中的应用[J]. 安装,2022(6):26-27.
- [19] 卢常飞. 堆焊 Inconel 625 合金的 15CrMoG 膜式壁性能[J]. 现代制造技术与装备,2019(12):166-169.
- [20] 朱成钢. 垃圾焚烧锅炉膜式壁管屏制造工艺技术[J]. 锅炉制造,2019(2):54-55.
- [21] 田松亚,桂鹏千,傅强,等. 膜式水冷壁锅炉自动堆焊机器人机构的逆设计方法[J]. 焊接学报,2018(6):61-66.
- [22] 吴建平,胡雄,何家胜. CFB 锅炉屏式过热管爆管失效分析[J]. 特种设备安全技术,2017(3):7-9.
- [23] 王晓梁,仇彬. 15CrMoG 耐热钢焊接接头工艺研究[J]. 装备制造技术,2016(4):259-260.
- [24] 孙焕焕,刘爱国,孟凡玲. 堆焊 Inconel625 合金的锅炉膜式水冷壁组织和性能[J]. 材料热处理学报,2013(S2):96-99.

(编辑:武倩倩)

The Performance Advantages of Small-caliber Hot-rolled Tubes in Boiler Manufacturing Applications

Han Qiang

(Shanxi College of Applied Science and Technology, Taiyuan Shanxi 030021, China)

Abstract: Based on the mechanical properties, dimensional tolerances, and surface quality of raw materials, combined with industry research results and the practical application of hot-rolled tubes in boilers, this paper comprehensively analyzes the feasibility of hot-rolled tubes in boiler applications. The research results indicate that hot-rolled tubes exhibit excellent performance in multiple aspects and are suitable for the requirements of boiler manufacturing. Therefore, this paper recommends that peers consider using hot-rolled tubes in boiler design and manufacturing.

Key words: small-diameter; hot-rolled tubes; boilers; application analysis