控轧控冷技术在J55套管连轧生产中的应用*

王增海,王 栋,米永峰,汪 超,吕洪礼,温 博

(内蒙古包钢钢联股份有限公司钢管公司,内蒙古 包头 014010)

摘 要: 随着管材应用环境变化,对J55套管产品冲击性能和晶粒度等要求不断提升。通过在炼钢工序的微钛处理,控制了加热过程的晶粒长大。在热轧无缝钢管连轧机上,通过运用控轧控冷技术,改变了铁素体析出形状,进而提升产品性能。

关键词: J55套管; 冲击功; 再结晶; 控轧控冷; 连轧机

中图分类号: TG331 TG335.7 **文献标识码:** B **文章编号:** 1009-5438(2019)04-0022-04

DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2019.04.006

Applications of Controlled Rolling and Controlled Cooling Technology in Continuous Rolling Production of J55 Casing

Wang Zeng-hai, Wang Dong, Mi Yong-feng, Wang Chao, Lv Hong-li, Wen Bo

(*Steel Tube Co. of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*)

Abstract: With the change of application environment for tubular products, the requirements for impact energy and grain size of J55 casing are continuously increased. The growth of grain size during heating is controlled through the micro Ti processing during steel making. The shape of precipitation of ferrite is changed through applying the controlled rolling and controlled cooling technology with tandem mill of hot-rolling seamless pipe so that the product performances are improved.

Key words: J55 casing; impact energy; recrystallization; controlled rolling and controlled cooling; tandem mill

近年来,随着石油开采行业的开采质量结构调整和升级,中石油公司和中石化公司对J55钢级石油套管性能方面提出了比标准API 5CT更高的要求。以往我公司按照API 5CT标准生产的钢管,无法满足客户对性能的要求。鉴于这种情况,采用控轧控冷工艺调整J55石油套管性能。

1 控轧控冷技术

控制冷却技术的基本原理就是控制热轧条件,经过相变过程在奥氏体的基体上,形成高密度的铁素体晶核,从而在相变后,达到细化钢材的组织结构。经过研究发现铁素体的形核位置通常在奥氏体的相界面、由热变形和变形带造成的退火孪晶的内界面[1]。而控制奥氏体结构变化的关键因素是相变温度,在普通的热轧中,由于不涉及任何形式的控制轧制,基本是根据产品断面的形状进行轧制,精轧后的温度通常在900~1 050 ℃之间,则生产的钢材奥氏体晶粒粗大。经过大量研究表明,在精轧道次

* 收稿日期:2019-06-05

作者简介:王增海(1982-),男,河北省河间市人,高级工程师,主要从事无缝钢管生产工艺和质量管理工作。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

温度控制在 800 ~ 950 ℃，钢材奥氏体晶粒发生再结晶，在结晶后的奥氏体相转变生成铁素体，则达到细化晶粒的目的。通过进一步研究表明，细化奥氏体晶粒的方法是把轧制尽量安排在奥氏体的非再结晶温度范围内，在这一范围内，由于奥氏体的再结晶点和 Ar_3 温度点接近，范围较窄，生产中并没有取得多大的效果。而通过添加合金元素铌(Nb) ，能够升高再结晶点 100 ℃，同时又发现铁素体形核点不是在奥氏体的相界上，而是在由于再结晶点上升而造成的非再结晶区温度范围内缩减造成的孪晶晶界和变形带上，这些界面作为铁素体形成核场所的内界面[2]。因此，在铌钢的精轧中，对产品进行金相分析显示轧制产品中存在结晶区有相当部分的奥氏体晶粒被细化[3]。而在 900 ~ 950 ℃进行轧制，则没有再结晶的发生。

2　热连轧无缝管主要生产工序

环形炉工序: 根据轧制节奏，由装钢机将管坯夹起并送到炉底的指定位置，装钢机退回原始位置完成装料。装料炉门关闭后，传动装置驱动炉底机械旋转相应的角度，入炉管坯也随炉底一起转动相同的角度，每装(出) 一根管坯，炉底转动一个角度。如此间隔布料，炉底一步步转动，直至将入炉管坯输送到出料炉门轴线上，而管坯在随炉底转动过程中亦由常温加热到 1 250 ~ 1 280 ℃。此时出料炉门打开，出料机伸入炉内把加热好的管坯从炉内夹出，放到出料辊道上，然后送往穿孔机进行轧制。

穿孔工序: 将管坯运送到环形炉内，通过 1 000 ℃以上加热后进行轧制，轧为中空的毛管; 其过程是通过斜轧将实心管坯轧制为中间空心的毛管; 其设备被称为斜轧穿孔机。穿孔工艺技术的特点是: 穿孔机轧制出的毛管几何精度高、外径均匀、几何公差小。轧制后毛管的外观不得有划伤、裂纹等缺陷，要较平滑均匀。外表面无螺旋和结疤。对穿孔机要求有高速度的节拍和线速度，以较快的生产节奏满足生产需求，使出口的终轧温度能满足下一工序的需求[4]。

连轧机工序: 连轧工序的主要任务是将毛管的壁厚进一步的减小; 按照原设计和下一个机组减径量设定本机组荒管的壁厚值。对轧管工艺的要求是: 一是将壁厚较大的毛管，轧制成为荒管时首先要确保荒管的壁厚公差较小; 二是荒管的内外外观质量要没有缺陷。

定减径工序; 相应的设备为定(减) 径机。定减径生产的工艺要求在低于设备极限的情况下，通过减径将毛管轧制成为不同规格的成品，同时保证椭圆度满足合同需求。

3　J55 石油套管的性能要求

客户要求 J55 石油套管力学性能应符合表 1 的规定，并按此规定进行验收。同一根管体上不同位置的力学性能数值波动应控制在检测结果的 8% 范围内(检测结果需在标准范围内) 。

表 1　J55 钢级性能要求

钢级	屈服强度/MPa		抗拉强度/MPa	伸长率/%	冲击功/J		晶粒度/级
	最小	最大	最小		横向	纵向	
J55	390	552	517	≥20	≥22	≥32	≥6

4　钢种化学成分设计

在钢中加入微量元素后可以阻止加热时奥氏体晶粒的长大[5]。由于微量元素形成高度弥散的碳氮化合物小颗粒，可以对奥氏体晶界起到固定作用，从而阻止奥氏体晶界迁移，阻止奥氏体晶粒长大[6]。当铌、钛含量在 0. 10% 以下时，可以提高奥氏体粗化温度到 1 050 ~ 1 100 ℃，作用明显，而且钛的效果大于铌的效果[7]。钒含量在 0. 10% 以下时，阻止晶粒长大的效果不明显，在 950 ℃左右奥氏体晶粒就开始粗化了。

当铌和钛的含量大于 0. 10% 时，随合金含量的增多粗化温度继续提高，当含量达到 0. 16% 时则趋于稳定，粗化温度不再提高。此时含铌和钛钢的奥氏体粗化温度为 1 180 ℃。

化学成分应符合表 2 的规定。

非金属夹杂物微观检验结果限定值应符合表 3 的规定。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

表2 化学成分要求(质量分数) %

钢级	C		Mn		Si		P	S
	最小	最大	最小	最大	最小	最大	最大	最大
J55	0.3	0.34	1.20	1.50	0.15	0.35	0.30	0.30

表3 非金属夹杂物微观检验结果限定值

A		B		C		D		DS	总合
粗系	细系	粗系	细系	粗系	细系	粗系	细系		
≤1.0	≤1.5	≤1.5	≤2.0	≤1.0	≤1.0	≤1.5	≤2.0	≤2.0	≤8.0

在脱氧前加足够量的铝,在脱氧后不加铝,但要保证熔炼成分最终铝含量控制在0.02%~0.05%(低于0.02%可接收),铝含量在质保书中体现。精炼加热结束前5~8 min加入90 kg钛铁(9小包,每包10 kg),精炼后期不加钛,钛含量需在质保书中体现。

5 控轧控冷技术研究

5.1 控制轧后冷却速度

正常工艺的基础上,定径后增加五组冷却水环。出定径机钢管温度由860~880 ℃,降低到780~800 ℃。工艺路线如图1。



图1 方案一示意图

5.2 控制终轧温度

连轧机组以前工序正常执行,在连轧机后对荒管进行控冷30 s,定径前温度由900~950 ℃,降低到850~900 ℃。工艺路线如图2。

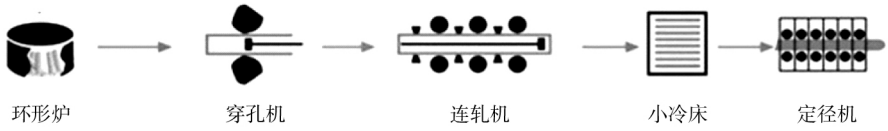


图2 方案二示意图

5.3 控轧连轧机轧制温度

如图3,首先降低环形炉加热温度40 ℃,并在连轧机前台等待7 s,进一步降低毛管温度,控制连轧轧制后温度1 030~1 050 ℃。

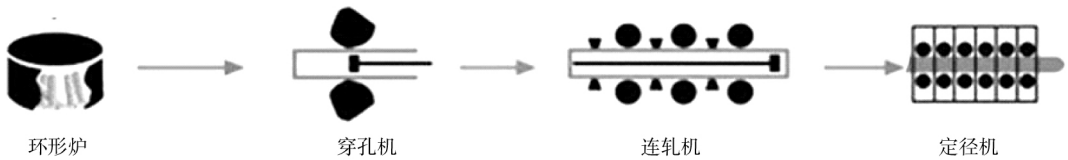


图3 方案三示意图

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

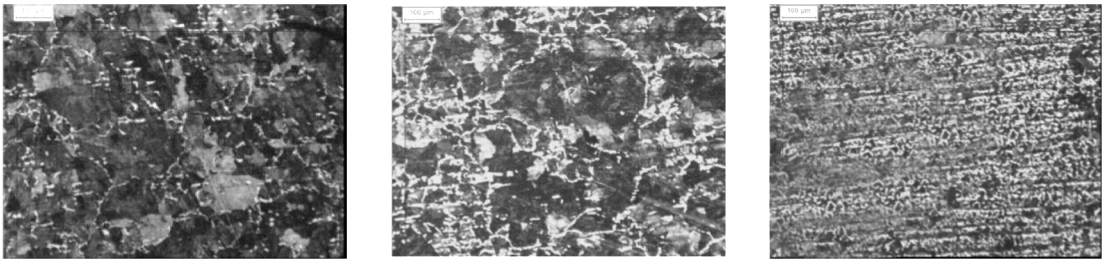
6　产品性能对比分析

三种不同的工艺路线后，对试验数据批量采集，见表 4，金相组织对比见图 4。

表 4　三种方案数据采集

工艺	节奏 /s	穿后温度 /℃	连轧后温度 /℃	定径前温度 /℃	定径后温度 /℃	冲击 /J	晶粒度 /级
方案一	48	1 200 ~ 1 220	1 060 ~ 1 100	900 ~ 950	780 ~ 800	16，17，22	5
方案二	48	1 200 ~ 1 220	1 060 ~ 1 100	850 ~ 900	700 ~ 780	15，18，19	5.5
方案三	55	1 150 ~ 1 180	1 030 ~ 1 050	850 ~ 900	700 ~ 780	36，45，40	6

通过对比可以看出，方案一和方案二冲击功均不满足标准要求，晶粒度度小于 6 级，从图 4 可以看出，金相组织不均匀，存在粗大晶粒。方案三冲击功满足标准要求，且较标准有较大余量，金相组织状态稳定均匀。



（a）方案一　　（b）方案二　　（c）方案三

图 4　金相图对比

7　结语

控轧控冷技术在钢管连轧机上的应用较少。通过多种控轧控冷工艺的尝试，最终采取控制环形炉加热温度，并对连轧机控温轧制后的铁素体形状变化明显，通过力学性能测试，J55 石油套管产品可以满足市场需求[8]。

参　考　文　献

[1] 乔馨. X65 管线钢显微组织与力学性能的研究[D]. 鞍山: 辽宁科技大学，2007.

[2] 严泽生，孙强，庄钢. PQF 生产工艺[J]. 钢管，2006，35(1)：37 - 42.

[3] 李翔. X70 管线钢针状铁素体组织形成机理研究[D]. 武汉: 武汉科技大学，2010.

[4] 蔡开科. 连续铸钢 500 问[M]. 北京: 冶金工业出版社，2002.

[5] 陈康. 高级别管线钢热处理工艺研究[D]. 郑州: 郑州大学，2014.

[6] 刘宗昌. 材料组织结构转变原理[M]. 北京: 冶金工业出版社，2006.

[7] 沈卓. 显微组织及硫含量对管线钢力学性能和抗硫化氢性能的影响[D]. 沈阳: 沈阳理工大学，2008.

[8] 袁泽喜，李翔，万亮. 热加工对管线钢针状铁素体组织形成的影响[J]. 武汉科技大学学报，2010，33(03)：37 - 41.

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net