

水平连铸工艺对40Cr钢Φ150 mm管坯中间裂纹的影响

刘纲¹ 朱荣¹ 钟春生² 刘剑辉¹ 周振华¹ 王慧霞¹

(1 北京科技大学冶金与生态工程学院,北京 100083; 2 湖南衡阳钢管公司技术中心,衡阳 421001)

摘要 采用射钉试验、红外测温等方法研究了40Cr钢Φ150 mm管坯水平连铸时拉速和中间包钢水过热度对坯壳厚度和铸坯中间裂纹的影响,以及结晶器冷却水参数对铸坯中间裂纹的影响。结果表明,当拉速1.99 m/min,浇铸温度1544℃,中间包钢水过热度45℃时,结晶器进水温度29.3℃,出水温度63.4℃,铸坯液芯长17.47 m,铸坯的中间裂纹≤0.1级,中心疏松和中心裂纹≤1.5级,满足产品要求。

关键词 水平连铸 40Cr钢 圆坯 拉坯工艺 中间裂纹

Effect of Horizontal Casting Process on Middle Crack of Φ150 mm Tube Blank of Steel 40Cr

Liu Gang¹, Zhu Rong¹, Zhong Chunsheng², Liu Jianhui¹, Zhou Zhenhua¹ and Wang Huixia¹

(1 School of Metallurgical and Ecological Engineering, University of Science and Technology, Beijing 100083; 2 Technical Center, Hunan Hengyang Steel Tube Co, Hengyang 421001)

Abstract Effect of casting speed, super-heating degree of liquid steel in tundish on middle crack of cast blank and effect of mold cooling water technical parameters on shell thickness and center crack of cast blank for 40Cr steel Φ150 mm tube blank during horizontal casting process have been studied by using pin shooting and infrared measuring temperature etc methods. Results showed that with casting speed 1.99 m/min, casting temperature 1544℃, super-heating degree of liquid steel in tundish-45℃, and mold intake water temperature 29.3℃, outlet water temperature 63.4℃, the liquid core length of cast billet was 17.47 m, the rating of middle crack ≤0.1, and the rating of center porosity and center crack of cast billet was ≤1.5 to meet the requirement of products.

Material Index Horizontal Casting, Steel 40Cr, Round Billet, Casting Process, Middle Crack

水平连铸工艺生产Φ150 mm 40Cr钢种时,中间裂纹的发生制约了生产的顺利进行。本文研究了水平连铸的拉坯速度、中间包钢液的过热度及结晶器的换热效率即冷却强度对40Cr圆坯凝固传热的影响。

1 40Cr钢化学成分及圆坯生产工艺

40Cr为中碳合金结构钢,其化学成分见表1。

表1 40Cr钢的化学成分/%

Table 1 Chemical composition of steel 40Cr/%

C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr
0.40	0.20	0.62	0.010	0.009	0.08	0.03	0.88

水平连铸40Cr圆坯的生产工艺流程:30 t EAF→30 t LF+RH→精炼炉→喂线→浇铸→水平连铸(Φ150 mm)。

水平连铸中间包容量为15 t,中间包钢液温度为1549℃,过热度 $\Delta T=50$ ℃。结晶器采用多段多级式结构,结晶器内壁前段为铍钴铜,后段为石墨。前段为钢液凝固段,后段为坯壳增厚段。结晶器总

长1466 mm,铜套长140 mm,入口直径152 mm,出口直径150 mm。水平连铸二冷区为空气冷却。

为保证40Cr管坯的纯净度,电弧炉冶炼原材料为优质废钢,精炼工段采用复合脱氧、LF+RH精炼等工艺技术控制钢的纯净度,40Cr钢液T[O]($6.3\sim 12.5$) $\times 10^{-6}$,钢中电解夹杂总量($18.0\sim 34$) $\times 10^{-6}$,非金属夹杂物A类≤2.0级,B、C类≤1.0级。钢坯低倍组织检验要求为:中间裂纹≤2.0级,中心裂纹≤2.0级,缩孔≤3.0级,疏松≤2.0级,无近表面裂纹;管坯的椭圆度不得大于公称直径的4.5%,管坯每米弯曲度不得大于4 mm,总弯曲度不得大于总长度的0.6%。

2 试验结果与讨论

2.1 拉速对中间裂纹的影响

图1(a)依据射钉实验得出拉速与铸坯坯壳厚度之间的关系。随着拉坯速度的提高,坯壳厚度减小,铸坯中间裂纹的级数增加。当拉速 $V=1.99$ m/min时,液芯长度 $L=17.47$ m,中间裂纹为1.5级。

根据射钉试验的分析,随着拉速的提高,铸坯坯

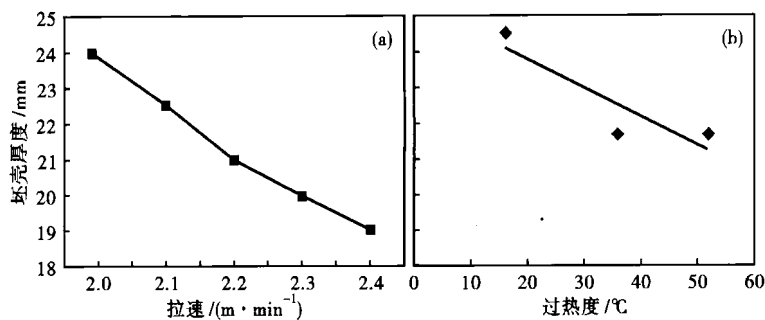


图1 水平连铸拉速(a)和中间包钢水过热度(b)对40Cr钢 $\Phi 150$ mm 铸坯坯壳厚度的影响

Fig. 1 Effect of horizontal casting speed (a) and super-heating degree of liquid steel in tundish (b) on shell thickness of $\Phi 150$ mm billet of steel 40Cr

壳厚度减小,液芯变长,铸坯热应力与拉应力增加,在二力的共同作用下加速导致铸坯中间裂纹形成^[1,2]。

2.2 中间包钢液过热度对中间裂纹的影响

试验表明,中间包钢液过热度 ΔT 为 $45\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,铸坯的中心疏松为 1.5 级,中心裂纹为 1.5 级,钢等轴晶率为 25% ~ 32%,满足 40Cr 连铸坯生产要求。通过对不同拉坯工艺取样分析,中间包过热度 ΔT 为 $65\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右时的试样分析得,铸坯夹杂物控制超标,椭圆形变加大,液芯增长,中间裂纹为 3 级等铸坯质量缺陷发生。图 1(b) 依据射钉实验得出中间包过热度与铸坯坯壳厚度之间的关系。当水平连铸控制钢水过热度为 $\Delta T = 20 \sim 40\text{ }^{\circ}\text{C}$,可以有效控制水平连铸管坯中间裂纹的产生和改善连铸坯的表面质量及椭圆形变的发生。但过低的过热度不适当当前高效连铸及水平连铸工艺生产要求^[3,4]。

水平连铸高的过热度加速了中间包耐火材料的损耗,铸坯夹杂物的增多,铸坯液芯增长^[5,6]。图 2 为高过热度条件下的铸坯试样电镜相片。

2.3 结晶器冷却强度对中间裂纹的影响

结晶器冷却强度:进水温度 $29.3\text{ }^{\circ}\text{C}$,出水温度 $63.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和水量为 $72\text{ m}^3/\text{h}$ 时,40Cr 管坯中间裂纹为 1 级,钢中等轴晶率为 28%,中间裂纹发生得到有效控制。结晶器冷却强度增大会加快钢液的凝固,但将会促使结晶器内初生坯壳因受骤冷而促使钢中柱状晶的增多等轴晶的减少并最终导致铸坯中间裂纹的增多^[7,8]。

3 结论

(1) 随着拉坯速度的提高,铸坯中间裂纹的缺陷也更为严重;当拉速 $V = 1.99\text{ m}/\text{min}$ 时,液芯长度为 $L = 17.47\text{ m}$,中间裂纹为 1.5 级,拉速对水平连

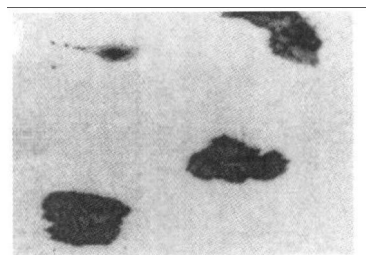


图2 40Cr 钢 $\Phi 150$ mm 铸坯中夹杂物形貌, $\times 5000$

Fig. 2 Morphology of inclusions in $\Phi 150$ mm cast billet of steel 40Cr, $\times 5000$

铸 40Cr 产生中间裂纹的影响较为明显。

(2) 中间包钢液过热度 ΔT 为 $45\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,铸坯的中心疏松为 1.5 级,中心裂纹为 1.5 级,钢等轴晶率为 25% ~ 32%,满足 40Cr 连铸坯生产要求。

(3) 控制结晶器进水温度 $29.3\text{ }^{\circ}\text{C}$,出水温度 $63.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和水量为 $72\text{ m}^3/\text{h}$ 时,40Cr 管坯中间裂纹为 1 级,钢中等轴晶率为 28%,提高了铸坯质量。

参考文献

- Seshadri V, Da Silva C A, Silva I A, et al. A Tundish to Mold Model for Grade Change during Ladle Change-over in Continuous Casting. *Iron and Steel Making*, 2006, 2: 499
- Griffiths, William David, Kayikci Ramazan. The Effect of Varying Chill Surface Roughness on Interfacial Heat Transfer during Casting Solidification. *Journal of Materials Science*, 2007, 42: 4036
- 栗 伟,朱国森,王万军,等.连铸坯液相穴长度的测定研究. *北京科技大学学报*, 2003(4): 315
- Blase T A, Guoa Z X. A 3D Conjugate Heat Transfer Model for Continuous Wire Casting. *Materials Science and Engineering*, 2004 (A365): 318
- You Bong Sun, Yim Chang Dong, Kim Su Hyeon. Solidification of AZ31 Magnesium Alloy Plate in a Horizontal Continuous Casting Process. *Materials Science and Engineering A*, 2005, 413: 139
- Mahmoudi J, Nabati H. An Experimental Study on Productivity and Quality Improvement of Horizontal Continuous Casting Process. *International Journal of Green Energy*, 2006, 3: 185
- Shi Sheng-Li, Huang Zhi-Qiang, Wang Hai-Sheng. Research on Process and Equipment for Cast Iron Small Bar with Double-current Horizontal Continuous Casting. *Zhuzao Jishu/Foundry Technology*, 2005, 26: 14
- Lerner V S, Lerner Y S. Solidification Modeling of Continuous Casting Process. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 2005, 14: 258

刘 纲(1982-),男,硕士研究生,2006年武汉科技大学毕业,连铸工艺研究。

收稿日期:2008-11-18