

· 试验研究 ·

20CrMnTiH 齿轮钢连铸坯表层纵裂的热模拟研究

刘石虹^{1,2} 武守防^{1,3} 李宏¹ 王恭亮² 梁玫² 王新华¹

(1 北京科技大学冶金与生态工程学院,北京 100083; 2 石家庄钢铁有限责任公司,石家庄 050031;

3 天津钢管集团有限公司,天津 300301)

摘要 通过 Gleeble-1500 热模拟机研究了 20CrMnTiH 齿轮钢(mm):150×150、180×220、220×300 连铸坯 600~1300℃ 的强度和塑性。试验结果表明,3 种铸坯在 650~950℃ 真实断裂强度 S_k 很低,在 950~1200℃ 随温度升高 S_k 增加,超过 1200℃ 时 S_k 降低;该钢的第 2 脆性区为 950~700℃,增加连铸坯出结晶器坯壳厚度,降低 950~700℃ 区间停留时间,有利于防止裂纹源扩展成纵裂纹。

关键词 20CrMnTiH 齿轮钢 铸坯 纵裂纹 力学性能 热模拟

A Study on Heat Simulation of Surface Longitudinal Crack of Gear Steel 20CrMnTiH Concasting Billet

Liu Shihong^{1,2}, Wu Shoufang^{1,3}, Li Hong¹, Wang Gongliang², Liang Mei² and Wang Xinhua¹

(1 Metallurgical and Ecological Engineering School, University of Science and Technology, Beijing 100083;

2 Shijiazhuang Iron & Steel Co Ltd, Shijiazhuang 050031; 3 Tianjin Pipe Group Co Ltd, Tianjin 300301)

Abstract The strength and plasticity of (mm) 150×150, 180×220 and 220×300 concasting billet of gear steel 20CrMnTiH at 600~1300℃ have been studied by Gleeble-1500 thermal simulation machine. Test results showed that the actual strength at fracture S_k of three size of billet at 650~950℃ was very low, at 950~1200℃ the S_k increased with increasing temperature, then the S_k decreased at temperature higher than 1200℃; the second brittle zone of steel was at 950~700℃. It is available to prevent crack source evolving into longitudinal crack by increasing the shell thickness of billet out of mold and decreasing holding time at 950~700℃ zone.

Material Index Gear Steel 20CrMnTiH, Concasting Billet, Longitudinal Crack, Mechanical Properties, Thermal Simulation

连铸坯表面纵裂纹是一种多发的缺陷^[1-5],石家庄钢铁公司生产的 20CrMnTiH 齿轮钢连铸坯,有时产生表面纵裂纹,影响产品质量和生产顺行。为了解表面纵裂纹产生过程的细节,本研究对该钢种 3 种断面的连铸坯表层取样,在不同温度下横向拉伸,进行了热模拟实验。

1 研究方法

3 种断面的连铸坯成分如表 1 所示。因连铸坯表面形成的纵裂纹有深有浅,严重时包括凹陷的深度可达 5~10 mm,所以按以下方法取样:在连铸坯上切下坯块,两面刨掉约 15 mm,然后沿铸坯断面的边缘切取表层,去掉黑皮再加工成轴向为连铸坯横方向的圆棒试样,直径 10 mm,长 110 mm,圆棒试样轴心距原铸坯表面约 6 mm。

实验在 Gleeble-1500 热模拟机上进行,试样实验温度为 600~1300℃。实验时升温速度为 10℃/s,到 1350℃ 后保温 5 min,然后以 3℃/s 的速度

表 1 20CrMnTiH 钢铸坯的化学成分/%

Table 1 Chemical compositions of casting billet of steel 20CrMnTiH/%

断面/ mm×mm	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ti	Als
150×150	0.20	0.27	1.02	0.013	0.007	1.17	0.084	0.021
180×220	0.19	0.26	1.03	0.015	0.007	1.21	0.078	0.022
220×300	0.23	0.24	1.05	0.017	0.010	1.17	0.070	0.023

降至测定温度,再保持 2 min 后开始拉伸。拉伸过程的变形速率 $\dot{\epsilon} = 10^{-3} \text{ s}^{-1}$,每隔 2 s 自动记录一组温度、绝对伸长、载荷和时间的数据,试样的中间部位温度偏差为 +3~-7℃。

文献[6]提出,圆棒试样静态拉伸实验中,最大载荷点 B 后发生颈缩,颈缩部分内部产生显微裂纹,之后颈缩继续进行直至断开。根据这一观点,可以把铸坯表面裂纹的形成分成两个阶段:(1)从承载到 B 点为裂纹源形成段;(2)从 B 点到断开为裂

纹扩张段。实验结果表明,随着温度的升高,载荷-伸长曲线在最大载荷点 B 前的弹性变形/均匀塑性变形段逐渐缩短,而 B 点后的集中塑性变形段逐渐延长,对于裂纹源形成和裂纹扩展所需要的绝对伸长、拉伸功都有影响,因此,本文除断面收缩率 ψ 和抗拉强度 σ_b 、真实断裂强度 S_k 之外,还考察了 B 点前后两段的绝对伸长 l_b 和 l_k 、拉伸功 W_b 和 W_k 与温度 t 的关系。 ψ 、 σ_b 、 S_k 的计算方法见文献[6], B 点前后的拉伸功 W_b 和 W_k 按照式(1)和式(2)计算:

$$W_b = \sum_{i=0}^b (P_i + P_{i+1}) (l_{i+1} - l_i) / 2 \quad (1)$$

$$W_k = \sum_{i=b}^k (P_i + P_{i+1}) (l_{i+1} - l_i) / 2 \quad (2)$$

式中: P_i - 在 i 点的拉伸载荷; l_i - 在 i 点试样的绝对伸长; b 和 k - 分别为最大载荷点和断开点在横坐标上的投影; W_b 、 W_k - B 点前后拉伸功/(N·m)。

2 实验结果与讨论

2.1 断面收缩率与温度的关系

由图 1 可见,3 种铸坯表层试样的 ψ - t 曲线均有 3 个脆性区,并且曲线相互交叉、间隔大。比较这 3 种试样的断面收缩率,150 mm × 150 mm 铸坯的最高,折线的最低点也接近 50%,而 180 mm × 220 mm 铸坯和 220 mm × 300 mm 铸坯,折线的最低点都 < 40%,因而有可能在此温度区间产生纵裂纹^[7]。为改善后两种铸坯的高温韧性,避免表面纵裂纹产生,应调整其生产条件接近 150 mm × 150 mm 铸坯的条件。

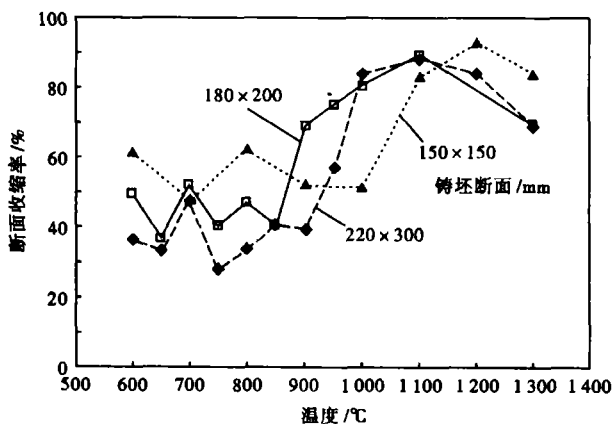


图 1 温度对 20CrMnTiH 齿轮钢断面收缩率的影响
Fig. 1 Effect of temperature on reduction of area of gear steel 20CrMnTiH

2.2 抗拉强度、真实断裂强度与温度的关系

由图 2 可知,3 种铸坯试样的 σ_b - t 关系很接近,

表明生产条件对 σ_b 的影响很小, σ_b 随着温度的升高而降低。3 种铸坯试样的 S_k 在 600 °C 时相当于 σ_b 的 2 倍,表明此温度下抗断裂能力很大,但在 650 ~ 950 °C 时很小,950 °C 以上 S_k 逐渐升高,在 1 200 ~ 1 300 °C 时又有下降的趋势。图 2 从材料强度角度说明,试样抵抗裂纹源形成的能力随温度升高而逐渐降低,而 650 ~ 950 °C 时抵抗裂纹扩展成断口的能力非常弱。

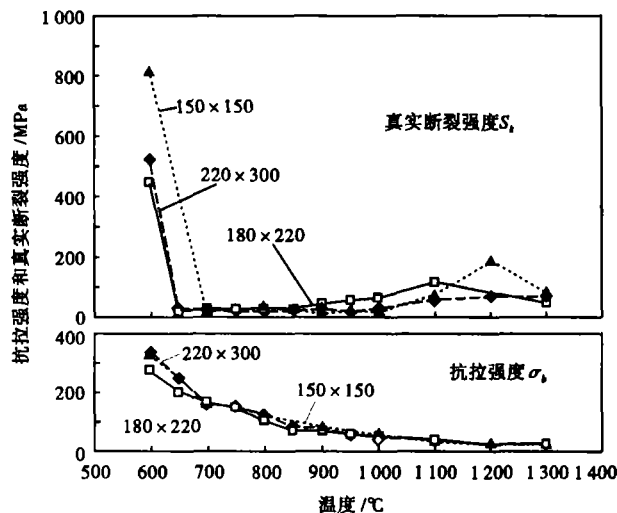


图 2 温度对 20CrMnTiH 钢抗拉强度、真实断裂强度的影响
Fig. 2 Effect of temperature on tensile strength and actual strength at fracture of gear steel 20CrMnTiH

2.3 绝对伸长与温度的关系

拉伸与裂纹的形成有因果关系,全过程的绝对伸长与断面收缩率大致对应,但是断面收缩率不能分解出 B 点前后两个阶段的塑性差别。

图 3 给出了最大载荷点 B 前后两段 3 种铸坯试样的 l_b/F_0 - t 、 l_k/F_0 - t 关系。 l_b/F_0 大,表明裂纹源难以形成, l_k/F_0 大,表明裂纹源难以扩展成断口。

由图 3 可见,B 点前高温端的 l_b/F_0 小,B 点后高温端的 l_b/F_0 大,B 点前, l_b/F_0 大致以 950 °C 为界前后不同,低于此温度时 l_b/F_0 高一些,即裂纹源不容易形成,如果定量描述,950 °C 以下绝对伸长量达 2 ~ 5 mm/cm² 才会形成裂纹源,而在 1 200 ~ 1 300 °C,绝对伸长有 1 ~ 3 mm/cm² 就会形成裂纹源,而且趋势显示温度越高越容易形成裂纹源。B 点后也是大致以 950 °C 为界,低于此温度时 l_k/F_0 小一些,特别是在 950 ~ 700 °C,明显地与图 1 的第 2 脆性区相对应,容易形成裂口。

2.4 拉伸功与温度的关系

图 4 给出了最大载荷点 B 前后两段 3 种铸坯试

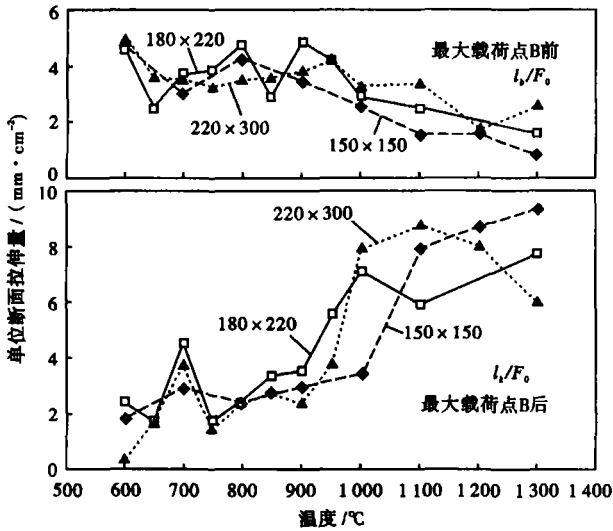


图 3 温度对 20CrMnTiH 钢绝对伸长的影响

Fig. 3 Effect of temperature on absolute elongation of gear steel 20CrMnTiH

样的 W_b/F_0-t 、 W_k/F_0-t 关系。 W_b/F_0 大,表明裂纹源难以形成, W_k/F_0 大,表明裂纹源难以扩展成断口。

由图 4 可见,B 点前 3 种铸坯试样的 W_b/F_0 数据差别比较小,表明生产条件的影响不显著。图 4 中曲线显示,600~650 °C 时 W_b/F_0 急剧减小,650~800 °C 有一个变化平缓但有波动的区域,800~900 °C 有一个明显的低点,900 °C 以上平缓下降。比较承载开始到产生裂纹源所需的 W_b/F_0 ,1 100 °C 时相当于 1 200 °C 和 1 300 °C 时的 2 倍,900 °C 时则达到 1 200 °C 和 1 300 °C 时的 7 倍左右。B 点以后 3 种铸坯试样的数据不像 B 点前那么接近,表明生产条件

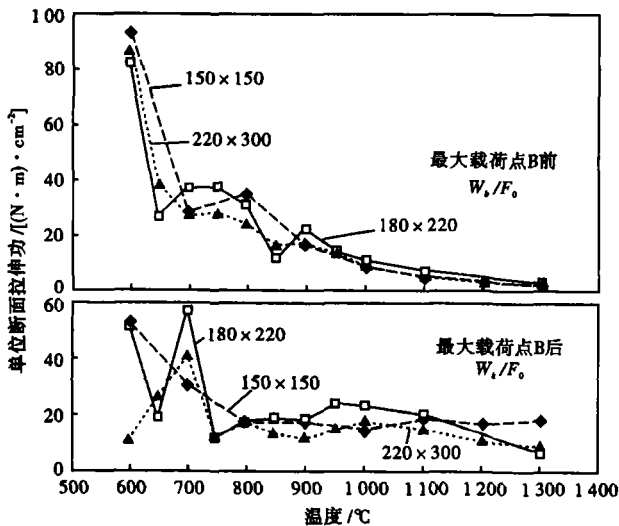


图 4 温度对 20CrMnTiH 齿轮钢拉伸功的影响

Fig. 4 Effect of temperature on tensile energy of gear steel 20CrMnTiH

的影响在这个阶段比较显著。

2.5 讨论

结合实际生产情况判断,20CrMnTiH 钢在 950 °C 以上容易形成裂纹源,温度越高越容易;在 950~700 °C 裂纹源容易扩展成纵向裂口。当凝固过程中表层受到横向拉伸时,坯壳越薄,形成裂纹源和其扩展成纵向裂口所需要的绝对伸长量和拉伸功越小。因此,结晶器内坯壳刚形成的地方容易形成裂纹源。在结晶器里坯壳薄的时候,铸坯表层横向稍微延伸形成裂纹源是可能的,但其后再横向延伸产生纵向裂口则可能受到结晶器的约束,因此这个过程应在结晶器出口以下进行;特别是坯壳薄的时候,温度在 950~700 °C 时,产生纵向裂口的可能性更大。控制连铸坯出结晶器时的坯壳厚一些,减少 950~700 °C 受力,裂纹源就不易扩展成裂口。

3 结论

(1) 150 mm × 150 mm 铸坯断面收缩率较高,而 180 mm × 220 mm 和 220 mm × 300 mm 铸坯的高温断面收缩率最低点 ≤ 40%,易产生裂纹。为改善后两种铸坯的高温韧性,避免表面纵裂纹产生,应调整其连铸工艺,使之接近 150 mm × 150 mm 连铸坯的冶金状况。

(2) 结晶器内坯壳刚形成的地方最容易产生裂纹源,从裂纹源扩展成裂口应在出结晶器以后,因此,控制结晶器出口时的坯壳厚一些,减少 950~700 °C 受力,裂纹源就不易扩展成裂口。

参考文献

- 1 Billany T J H, Normanton A S, Mills K C. Surface Cracking in Continuously Cast Products. *Ironmaking and Steelmaking*, 1991, 18(6): 403
- 2 杨桂荣. 唐钢连铸坯表面纵裂的研究. *炼钢*, 1999, 15(3): 50
- 3 刘明华, 刘正, 王海川. 连铸坯表面凹陷和纵裂分析. *炼钢*, 2000, 16(6): 55
- 4 张立, 徐国栋, 王新华, 等. 集装箱用钢连铸坯表面纵裂纹的研究. *钢铁*, 2002, 37(1): 19
- 5 周有预, 罗德信. 连铸板坯表面纵向裂纹的形成原因. *钢铁研究学报*, 2004, 16(5): 75
- 6 束德林. 金属力学性能. 北京: 机械工业出版社, 2001(第二版)
- 7 Barrie Mintz. The Influence of Composition on the Hot Ductility of Steels and to the Problem of Transverse Cracking. *ISIJ International*, 1999, 39(9): 833

刘石虹(1959-),男,石家庄钢铁有限公司总工程师,《特殊钢》编委,1982年河北矿冶学院毕业,从事特殊钢冶炼、非调质钢工艺研究。