

扁坯窄面鼓肚变形的分析和避免措施

谢长川 李富帅

(中冶连铸技术工程有限责任公司, 武汉 430073)

摘要 扁坯由于厚度较薄,理论上一般不会出现窄面鼓肚的问题,但是实际生产中这种情况时有发生。本文通过研究分析,发现当铸坯宽面夹持辊间距过大引起铸坯鼓肚后,鼓肚的铸坯通过下一对宽面夹持辊时,由于坯壳角部的扭转变形会造成铸坯窄面出现明显的鼓肚。高碳钢连铸过程中,当二次冷却比水量不合适时,也有可能导致铸坯的窄面鼓肚,同时产生三角区、中间裂纹。通过分析两个钢厂出现的问题,给出了相应的解决方法,可以为同类连铸机的设计、维护起到一定的参考作用。

关键词 扁坯 窄面鼓肚 连铸机

Analysis of Deformation of Narrow Surface Bulging and Avoiding Measures

Xie Changchuan and Li Fushuai
(CCTEC Engineering Co., Ltd, Wuhan 430073)

Abstract Because the thickness of flat bloom is thin. In theory, there is no problem of narrow-face bulging. But in real production this happens all the time. Through the research and analysis, it is found that when the spacing between the wide surface clamping roller is too large, A bulge will appear. When the casting billet of the drum is passed through the next pair of wide-face clamping rolls, due to the torsion deformation of the blank shell, it can cause obvious bulge in narrow side. When the high carbon steel is casting, if the secondary cooling ratio is not timely, it is possible to cause the bulging in narrow surface of the flat bloom and produce the middle crack in the triangle area. By analyzing the problems of two steel mills, the corresponding solutions are given, which can serve as a reference for the design and maintenance of similar continuous casting machines.

Material Index Flat Bloom, Narrow-Face Bulging, Continuous Casting Machine

扁坯一般是指宽厚比超过 1.5,同时铸坯厚度较薄,一般小于 180 mm 的矩形坯。这种铸坯一般拉速在 1.5~2.5 m/min,这种拉速下在铸坯窄面应该不会出现明显的鼓肚问题。但在实际生产中,不同的钢厂都出现过窄面鼓肚的现象,在处理上往往是在窄面增加夹持辊或调整二冷水量,但仍然难以解决该问题。本文对 A、B 两个钢厂出现的不同窄面鼓肚问题进行分析、研究,并给出相应的解决方案。

1 窄面鼓肚现象

本文中 A 厂铸机仅生产扁坯, B 厂该铸机同时还要生产 320 mm × 420 mm 的矩形坯,其连铸机基本参数见表 1,出现窄面鼓肚的铸坯钢种成份见表 2。

A 厂在生产断面为 165 mm × 280 mm,钢种为 Q195,拉速达到 2.2 m/min,铸坯的窄面出现了明显的鼓肚现象。B 厂生产断面为 160 mm × 250 mm,钢种为重轨钢,拉速达到 1.6 m/min,铸坯窄面鼓肚同时有大量内部的裂纹,如图 1 所示。

从图 1 可见,两块铸坯都出现了明显的窄面鼓

表 1 A 和 B 钢厂连铸机的基本工艺参数
Table 1 Basic process parameters of continuous casting machine at A and B steel mill

项目	技术参数	
	A 钢厂	B 钢厂
基本半径/m	8	12
铸坯断面/mm	165 × 280、165 × 330	160 × 250、320 × 420
铜管长度/mm	850	850
结晶器足辊	1 排 2 对	2 排 4 对
扁坯内外弧总夹持长度/m	11.5	2.2
二冷方式	全水冷却	全水 + 气水冷却
二冷区长度/m	9 (窄面仅足辊区有冷却)	8 (四面均有冷却)
设计拉速/ (m · min ⁻¹)	1.8 ~ 2.2	1.5 ~ 2.0
电磁搅拌	-	结晶器电搅
轻压下	-	采用
浇铸钢种	碳素结构钢、 低合金钢	低合金钢、轨道钢、 弹簧钢、齿轮钢、轴承钢

肚现象,其中 A 厂铸坯宽面较平,未见明显内部裂纹,这与其生产的钢种有一定的关系。B 厂的铸坯宽面出现了一定的凹陷,而且三角区、中间裂纹非常

严重,铸坯质量不合格。两个厂都认为这是铸坯窄面的支撑不够,导致铸坯的窄面鼓肚。想采用增加窄面夹持辊的方法来解决,但这种扁坯现有的二冷夹持段又很难实现窄面夹持,在短时间内无法解决以上问题。

表2 A、B钢厂钢种化学成分/%
Table 2 Chemical composition of casting steel grades at A mill and B mill / %

钢厂	钢种	C	Si	Mn	P	S	Cu
A	Q195	0.010	0.30	0.45	≤0.030	≤0.020	-
B	U71Mn	0.071	0.32	1.40	≤0.020	≤0.015	-

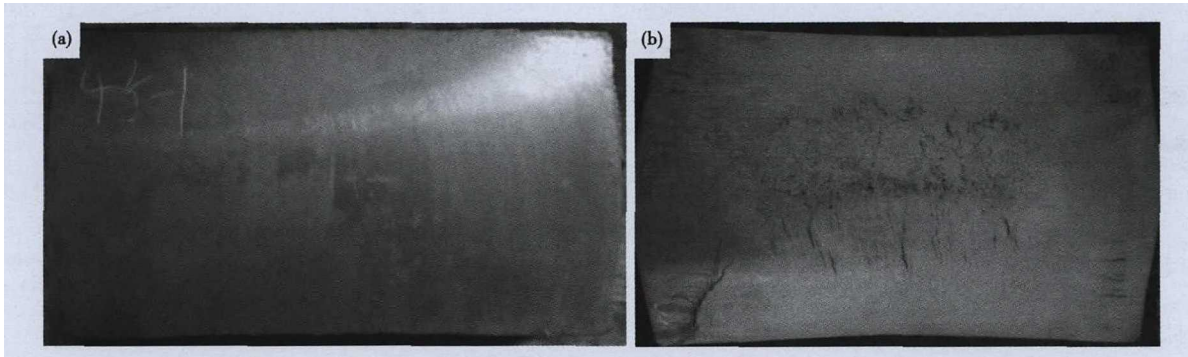


图1 A厂165 mm×280 mm(a)和B厂160 mm×250 mm(b)连铸坯低倍形貌

Fig.1 Morphology of macrostructure of 165 mm×280 mm flat bloom at A mill (a) and 160 mm×250 mm flat bloom at B mill (b)

2 窄面鼓肚情况分析

A厂、B厂的情况有一定的相似之处,同时又有各自的特点。A厂的连铸机只生产扁坯,其连铸机在二冷区的宽面夹持段长度较长。虽然窄面只有足辊区的冷却,铸坯应该也不会出现这么大的鼓肚量。B厂铸坯宽厚比更小,窄面更不应该出现鼓肚。就两个厂的具体情况分别讨论如下。

2.1 A厂情况分析

首先针对该连铸机原设计的辊列夹持情况,在生产Q195钢种,拉速达到2.2 m/min,比水量1.0 L/kg。计算正常情况下的铸坯鼓肚量,可以由式(1)计算^[1-2],由于其铸坯宽面夹持辊间距为175 mm,计算出的鼓肚量最大值为0.26 mm,窄面只有一对足辊夹持,其最大鼓肚量值为0.5 mm。

$$\delta = \frac{\eta\alpha Pl^4}{32E_e S^3} \sqrt{t} \quad (1)$$

式中: P - 钢水静压力/Pa; l - 辊距/mm; S - 坯壳厚度/mm; α - 板坯宽度的形状系数; η - α 修正系数,一般而言, $\eta\alpha = 1$; E_e - 修正的等价弹性模量, $E_e = \frac{T_{sol} - T_m}{T_{sol} - 100} \times 10^6$, N/cm²; T_{sol} - 钢水凝固温度/K; T_m - 坯壳的平均温度,取板坯表面温度与凝固温度的平均值/K; t - 板坯经过辊距的时间/min, $t = \frac{1}{\nu}$; ν - 拉速/(m·min⁻¹)。

但是在实际生产中,A厂为了便于更换结晶器,

拆除了夹持段的第一对宽面夹持辊,由于取消了第一对夹持辊,第二对夹持辊和足辊间的辊缝间距达到了350 mm。此时坯壳厚度只有15 mm,计算出的此处两对夹持辊间的铸坯单边宽面鼓肚量达到1.2 mm,而后部辊间距较小,鼓肚量在0.3 mm以内,如图2所示。

采用公式(1)计算的铸坯鼓肚量,相当于某一工况静态下各夹持辊间的铸坯鼓肚量,用于对夹持辊间距的大小进行校核,并未考虑鼓肚的铸坯在辊缝间通过时的变形过程。实际上,当宽面发生较大的鼓肚后,铸坯的厚度大于下一对夹持辊的辊缝值,铸坯在通过该辊缝时,坯壳将受到挤压。通过ANSYS软件可以模拟计算这种情况,宽面、窄面的变形计算结果如图3所示,铸坯窄面出现了明显的鼓肚。

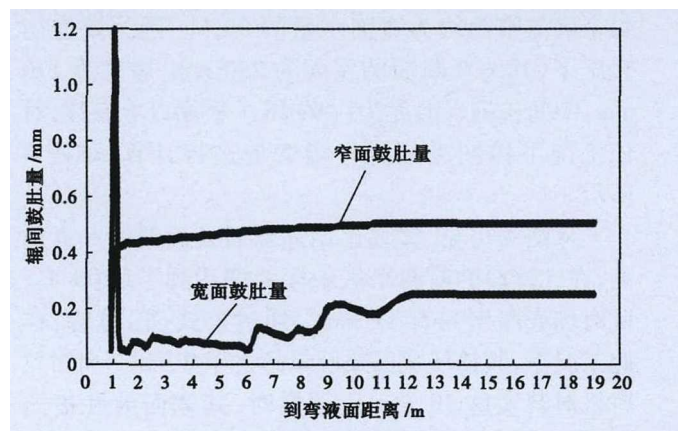


图2 A厂铸坯鼓肚量计算结果

Fig.2 Calculation results of bulging of A factory's flat bloom

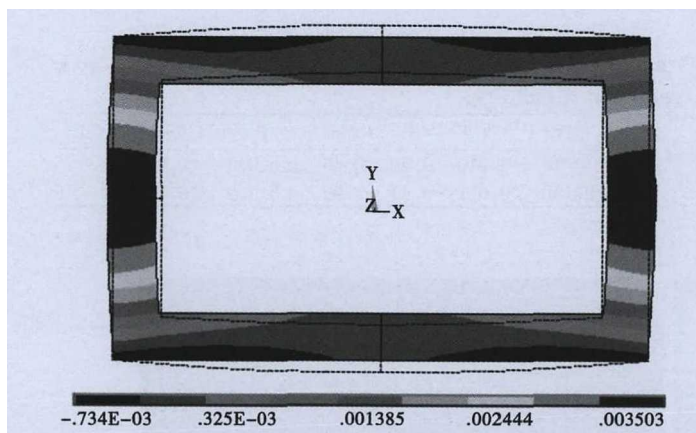


图 3 铸坯宽面、窄面变形的模拟计算结果

Fig. 3 Simulation results of wide and narrow surface deformation of flat bloom

因为铸坯此时只是四周为固态,中心仍然为液态,当宽面受到挤压,而窄面又没有夹持辊时,铸坯的坯壳会在角部发生扭转,在这种力的作用下,窄面鼓肚量将明显增大,达到 4 mm。与这种现象类似的,在薄板坯连铸连轧生产时,通过弯曲段液芯压下对铸坯减薄时,铸坯窄面也会出现明显的鼓肚现象^[3]。

在 A 厂实际生产中,其窄面只有足辊区喷水冷却,导致铸坯的表面温度较高,高温强度较低。而且窄面鼓肚变形后,在蠕变的作用下^[4],其还有进一步加大的趋势,从而导致了这种窄面明显鼓肚的情况。由以上分析可见,夹持段取消第一对铸坯宽面夹持辊,以及窄面坯温过高,是 A 厂的铸坯出现窄面鼓肚的直接原因。

2.2 B 厂情况分析

B 厂生产的扁坯宽厚比较小,其二冷夹持段宽面有 3 对夹持辊,但辊间距达到了 418 mm,窄面一对夹持辊。在生产 U71Mn 钢时,拉速为 1.6 m/min,比水量为 0.3 L/kg。其铸坯宽、窄面的二冷水不能单独调节,通过喷嘴的型号不同来自然分配,每个区的窄面均为宽面水量的 66%。因为要使用轻压下,其铸坯断面的宽面为 250 mm,厚度为 170 mm,中间包钢水温度为 1 499 ℃。根据以上参数,对该工况下铸坯冷却过程温度场进行计算,如图 4 所示。

从图 4 可见,铸坯出结晶器后表面温度一直很高,在二冷段的前两个区表面温度达到了 1 200 ℃,此时坯壳厚度只有 11 mm。通过公式(1)计算,在此工况下,其铸坯宽面鼓肚量超过了 2 mm。而当拉矫机对其实施 10 mm 压下量时,其宽面鼓肚被压平,但窄面的鼓肚量会进一步增加,铸坯表现为图 1 中的形态。

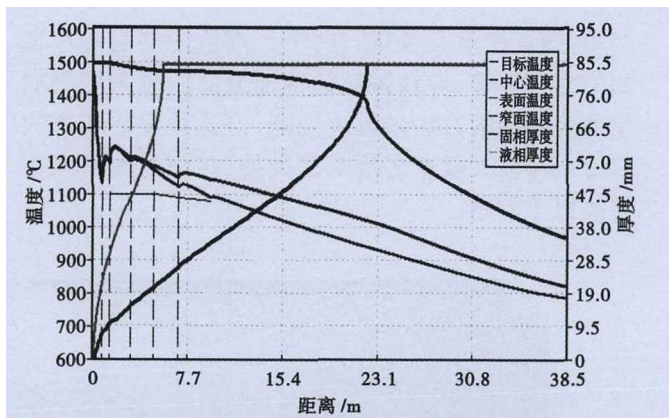


图 4 U71Mn 钢 170 mm × 250 mm 铸坯温度场计算结果,拉速 1.6 m/min 中间包钢水温度 1 499 ℃

Fig. 4 Calculation results of 170 mm × 250 mm flat bloom temperature field of steel U71Mn, casting speed 1.6 m/min, temperature of liquid in tundish 1 499 ℃

根据康伟等学者对 U71Mn 钢的高温力学性能的研究^[5], 925 ~ 1 030 ℃ 为其脆性区,当温度高于 1 075 ℃ 时,该钢种的抗拉强度急剧下降,进入其高温脆性区。由于该铸机设定的二冷水量较小,铸坯表面温度过高,整个二冷区,铸坯表面温度高于 1 150 ℃,处于高温脆性区。当发生鼓肚时,以及鼓肚的铸坯通过夹持辊时,其坯壳都会承受相应的应力,就会在柱状晶间开裂,在铸坯窄面的三角区出现明显的裂纹。而处于拉矫机区域的铸坯,在实施矫直、轻压下的过程中,如果拉矫机压下位置的铸坯中心固相率较低,正好处于脆性区的铸坯出现了中间裂纹。

可以认为,B 厂铸坯,由于二冷水量过小,坯温过高,坯壳的强度过低,导致铸坯在二冷区出现单边 2 mm 鼓肚、三角区裂纹。拉矫机实施压下时,铸坯出现中间裂纹,窄面鼓肚量进一步增加。

3 处理措施

根据以上分析的结果,对 A 厂、B 厂的连铸机给出相应的处理措施来解决当前的问题。

A 厂恢复夹持段的第一对宽面夹持辊,避免宽面出现大的鼓肚量。同时增加窄面二冷区上部的冷却区长度达到 2.0 m,将窄面温度控制在 1 100 ℃ 以下,提高窄面的坯壳强度。通过采用上述两方面的处理,铸坯形状规则,未出现鼓肚现象。

B 厂增加二冷水量,比水量达到 0.7 L/kg,逐步降低铸坯的表面温度到 1 050 ℃ 左右,将铸坯在二冷区宽面单边的鼓肚量控制在 0.6 mm 以内。同时要调整窄面喷嘴型号,降低后部两个区窄面分配的水量,尽量使铸坯的表面温度均匀,降低热应力。

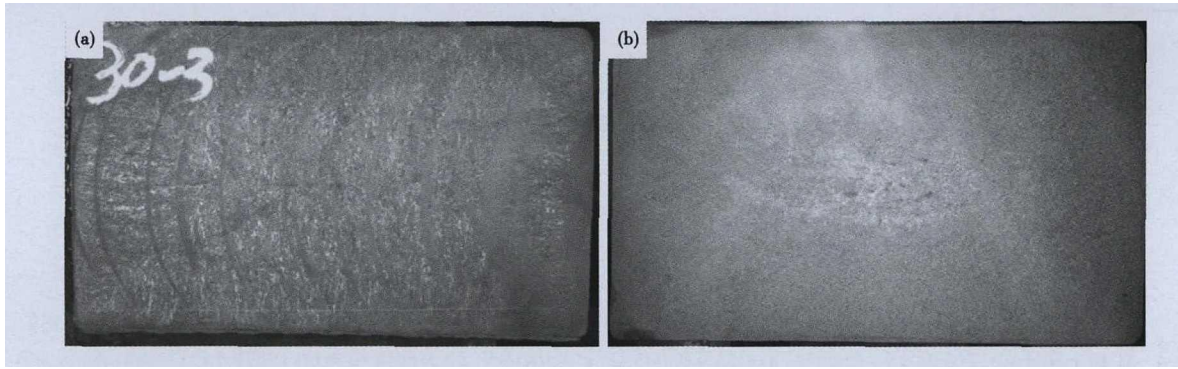


图5 连铸机改进后 A 厂 165 mm × 280 mm (a) 和 B 厂 160 mm × 250 mm (b) 连铸坯低倍形貌

Fig. 5 Morphology of macrostructure of 165 mm × 280 mm flat bloom at A mill (a) and 160 mm × 250 mm flat bloom at B mill (b) after improvement

采用上述改进措施后, A、B 两厂生产的铸坯形状规则, 内部质量良好, 重轨钢 U71Mn 的铸坯低倍达到了碳偏析 0.5 级, 如图 5 所示。

4 结论

(1) 扁坯的窄面鼓肚与铸坯在二冷区前部区域的宽面夹持状态有较大的关系, 控制铸坯的宽面单边鼓肚量在 0.6 mm 以内, 可以避免窄面鼓肚的出现。

(2) 当拉速较高时, 扁坯的窄面冷却区长度要增加, 避免铸坯窄面温度过高, 一般应控制在 1 100 °C 以下。

(3) 铸坯的二冷强度要与其高温力学性能相匹配, 要将铸坯表面温度控制在合适的范围, 不能单纯理解为高碳钢就要采用弱冷, 处于高温脆性区的铸坯容易导致裂纹的出现。

(4) 扁坯在二次冷却区的后部, 其窄面与宽面的水量比例应该适当降低, 保证铸坯表面温度的均

匀性, 避免热应力导致三角区裂纹。

参考文献

- [1] 杨拉道, 黄进春, 李淑贤, 等. 直弧形板坯连铸机设备[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2017: 326.
- [2] Miyazawa K and Schwerdtfeger K. Computation of Bulging of Continuously Cast Slabs with Simple Bending Theory[J]. Ironmaking and Steelmaking, 1979(2): 68-74.
- [3] 张立, 王迎春, 徐宏伟. 薄板坯连铸连轧液芯压下工艺研究[J]. 宝钢技术, 2009, 42(4): 6-12.
- [4] 徐荣军. 板坯连铸鼓肚变形行为分析[J]. 重型机械, 2012(1): 17-21.
- [5] 康伟, 董方. U71Mn 重轨钢高温力学性能研究[J]. 包钢科技, 2016, 42(6): 55-62.

谢长川(1976-), 男, 博士(2010年北京科技大学), 教授级高级工程师, 1997年武汉科技大学(本科)毕业, 连铸新技术研发。E-mail: xiechangchuan@sohu.com

收稿日期: 2018-04-03

下 期 要 目

- | | |
|---|------|
| 180 t 转炉超音速射流和聚合射流与炼钢熔池作用的水模型实验研究 | 吕国成等 |
| 自耗电冶金质量对 G20CrNi2Mo 轴承钢电渣锭洁净度的影响 | 李世健等 |
| 18 t 三流非对称中间包流场数值模拟 | 李哲等 |
| HRB400 钢 Ti 微合金化和轧后冷却工艺优化的生产实践 | 卓伟伟等 |
| 60 t 电渣炉结晶器冷却水流速计算-设计优化和重熔不锈钢的应用 | 杨传浩等 |
| 135 t 转炉半钢增硅热补偿技术研究及应用 | 陈均等 |
| 0.9C-9Mn-2Cr-Mo 中锰耐磨钢的冲击滚动复合磨损性能 | 赵海燕等 |
| C、Si 含量和冷轧压下率对低碳钢 Q195 冷轧板力学性能的影响 | 王新宇 |
| 热处理工艺对硬质合金带锯条背材 RM80 钢组织和性能的影响 | 匡旭光等 |