

· 工艺技术 ·

奥氏体不锈钢板坯连铸结晶器锥度的优化

王宝峰 丁 国
(内蒙古科技大学, 包头 014010)

赵建伟 张建国
(太原钢铁公司技术中心, 太原 030003)

摘 要 针对奥氏体不锈钢连铸中的质量问题, 对太钢三炼钢 1 260 mm × 160 mm 板坯结晶器的锥度进行了分析。通过不锈钢铸坯在结晶器内收缩的计算和拉坯速度、过热度等工艺参数对铸坯收缩影响的分析, 得出采用双锥度结晶器比单锥度结晶器更符合铸坯在结晶器内的收缩规律: 液面附近 80 ~ 200 mm 区域采用较大锥度, 液面下 200 ~ 800 mm 的结晶器下部, 采用较小锥度, 并在此基础上设计了曲线锥度结晶器。生产试验表明, 双锥度设计显著改善了铸坯质量, 消除了窄面鼓肚和中间凹陷等缺陷。

关键词 奥氏体不锈钢 板坯 连铸 结晶器锥度

Optimum of Mould Taper Design for Slab Casting of Austenite Stainless Steel

Wang Baofeng and Ding Guo
(Inner Mongolia University of Science and Technology, Baotou 014010)

Zhao Jianwei and Zhang Jianguo
(Technical Center, Taiyuan Iron and Steel Co, Taiyuan 030003)

Abstract In accordance with the quality problem of austenite stainless steel during concasting, the taper of mould for 1 260 mm × 160 mm slab casting at No3 steelmaking shop, Taiyuan Iron and Steel was analyzed. It is obtained that to adopt two taper mould, that is to use larger taper at 80 ~ 200 mm near liquid surface and use minor taper at mould bottom 200 ~ 800 mm from liquid surface, is more suitable for the law of shrinkage of casting slab in mould than single taper mould by calculation of shrinkage of stainless steel casting slab in mould and analysis of effect of process parameters such as casting speed, degree of molten steel overheating on shrinkage of casting slab. Based on this foundation the curve taper mould has been designed, and the production test showed that the quality of casting slab was obviously improved by two taper mould design to eliminate narrow face bulging and concave of slab.

Material Index Austenite Stainless Steel, Slab, Concasting, Taper of Mould

结晶器的传热是控制连铸坯产量和质量的关键所在。而坯壳与结晶器内壁面之间所形成的气隙, 尺寸虽小, 但其热阻却可以占到整个热阻的 80% 以上^[1]。因此在质量和产量并重的今天, 结晶器的锥度设计也就越来越为生产者所关注。本文研究了在奥氏体不锈钢板坯连铸过程中, 铸坯在结晶器内的坯壳收缩规律, 在此基础上设计了新的结晶器锥度, 并在生产中投入使用, 收到良好的效果。

1 板坯结晶器锥度带来的问题

过大的锥度会造成结晶器对坯壳的挤压, 导致角部和中间凹陷, 坯壳与结晶器的摩擦增加, 加剧结晶器的磨损, 还会出现表面增铜。在角部区域由于气隙的作用会形成热点, 造成坯壳减薄和

裂纹, 严重时会诱发漏钢事故, 同时窄面铜板挤压宽面坯壳导致纵向凹陷的产生, 并拌生中间裂纹。板坯结晶器窄面锥度太小, 铸坯容易产生偏离角纵裂, 使气隙增大, 热流减小, 坯壳减薄, 容易发生漏钢; 另外锥度过小会使角部转动加剧, 诱发皮下裂纹; 所以对铸坯窄面的锥度要进行优化。

理想的窄面铜板的锥度应当恰好抵消铸坯在结晶器内向下运动时坯壳在宽面上的收缩。太钢三炼钢立式连铸机上采用单锥度的铜板, 在结晶器的上部, 坯壳与结晶器铜板之间形成的空隙大, 窄面热流下降很快, 而在接近结晶器出口处, 窄面铜板挤压在窄面坯壳上, 极易形成角部和中间凹陷。前者是因为在窄面使用单锥度时结晶器上部锥度太小, 后者是因为在结晶器出口处窄面锥度太大。所以窄面铜板应考虑采用多锥度: 在结晶

器的上部应采用较大锥度,而在下部应放小锥度,拉速高时,应采用抛物线锥度。

2 计算方法

结晶器锥度设计合适与否关键在于结晶器热流的确定和钢种高温下物性参数的选择。坯壳的生长、收缩和结晶器铜板的变形直接关系到结晶器的锥度设计。铸坯在结晶器内的温度场和坯壳凝固、生长以及收缩的数学模型基于以下的条件:

(1) 结晶器的温度信号来自于工厂试验中所采集的大量的温度信号的平均值,利用反问题的数学模型^[4]求得热流分布和结晶器铜板的温度分布。

(2) 根据结晶器的热流分布,利用 Chandra^[2,3]的 Shrinkage 模型计算结晶器内的坯壳生长和收缩情况。

(3) 对于板坯连铸机,由于采用板式组合结晶器,影响锥度的主要因素是铸坯在结晶器内的收缩,可以忽略结晶器铜板变形对锥度的影响。

2.1 结晶器传热模型(Inverse)

结晶器的热流是控制钢液在结晶器内凝固和坯壳生长的外部条件。在过去的 20 年当中,英属哥伦比亚大学的研究人员通过 30 多次的工业实验,对结晶器在各种条件下的热响应进行了广泛而深入的研究。测试各种连铸参数变化时(如钢种、拉速、坯的规格)结晶器的温度变化规律;以此为基础,利用反问题模型计算出结晶器与钢液接触面上的热流分布及结晶器温度场^[4]。

2.2 钢坯在结晶器内坯壳生长和收缩程序(Shrinkage)

此程序根据美国钢铁局所提供的不锈钢的热物理参数,如线膨胀系数、导热系数、比热等,计算了铸流在结晶器内坯壳生长和收缩情况。

新的结晶器锥度设计原则是,在拉铸时,高温变形下的结晶器壁面应和收缩的坯壳表面贴合在一起。利用该套软件,系统地模拟分析奥氏体不锈钢板坯连铸过程中,铸机工艺参数如拉速、钢种和过热度对气隙的影响。

3 计算结果的分析 and 讨论

利用上述的数学模型和计算机程序,以 AISI304 不锈钢为例,计算了不同条件下奥氏体不锈钢板坯在结晶器内的坯壳生长和收缩情况。计算

的条件如下:

结晶器长度/mm	800
液面高度/mm	80
过热度/℃	40, 50
坯型/mm × mm	1 260 × 160
速度/m·min ⁻¹	0.65, 0.70, 0.80

3.1 坯壳在结晶器内的收缩

在连铸速度为 0.65 m/min, 0.70 m/min, 0.80 m/min 时结晶器内坯壳的收缩分别为:

(1) 在 0.65 m/min 连铸速度下,当钢水的过热度为 40 ℃和 50 ℃时,在结晶器的出口处,铸坯宽面尺寸分别为 624.38 mm 和 624.65 mm,分别收缩了 5.62 mm 和 5.35 mm;在距结晶器顶部 200 mm 处,坯壳的宽度分别为 628.28 mm 和 628.49 mm,即收缩了 1.72 mm 和 1.51 mm;

(2) 在 0.70 m/min 连铸速度下,当钢水的过热度为 40 ℃和 50 ℃时,在结晶器的出口处,铸坯宽面尺寸分别为 624.36 mm 和 624.69 mm,分别收缩了 5.64 mm 和 5.31 mm;在距结晶器顶部 200 mm 处,坯壳的宽度分别为 628.29 mm 和 628.53 mm,即收缩了 1.71 mm 和 1.47 mm;

(3) 在 0.80 m/min 连铸速度下,当钢水的过热度为 40 ℃和 50 ℃时,在结晶器的出口处,铸坯宽面尺寸分别为 625.00 mm 和 625.22 mm,分别收缩了 5.00 mm 和 4.78 mm;在距结晶器顶部 200 mm 处,坯壳的宽度分别为 628.54 mm 和 628.71 mm,即收缩了 1.46 mm 和 1.29 mm。

表 1 列出了连铸拉速(m/min)在 0.65, 0.70, 0.80 时所计算的结晶器锥度值和铸坯收缩。

表 1 在不同拉速时计算的结晶器锥度值和奥氏体不锈钢板铸坯(半宽 630 mm)收缩

Table 1 Calculated mould taper and austenite stainless steel casting slab shrinkage (half width 630 mm) at different casting speed

至结晶器顶部距离/mm	过热度/℃	拉速/m·min ⁻¹					
		0.65		0.70		0.80	
		半宽/mm	锥度/%·m ⁻¹	半宽/mm	锥度/%·m ⁻¹	半宽/mm	锥度/%·m ⁻¹
80~200	40	628.28	2.26	628.29	2.26	628.54	1.92
	50	628.49	1.99	628.53	1.93	628.71	1.70
200~800	40	624.38	1.03	624.36	1.03	625.00	0.93
	50	624.65	1.01	624.69	1.01	625.22	0.92

3.2 分析

图 1(a)和(b)是不同工艺条件下铸坯在结晶

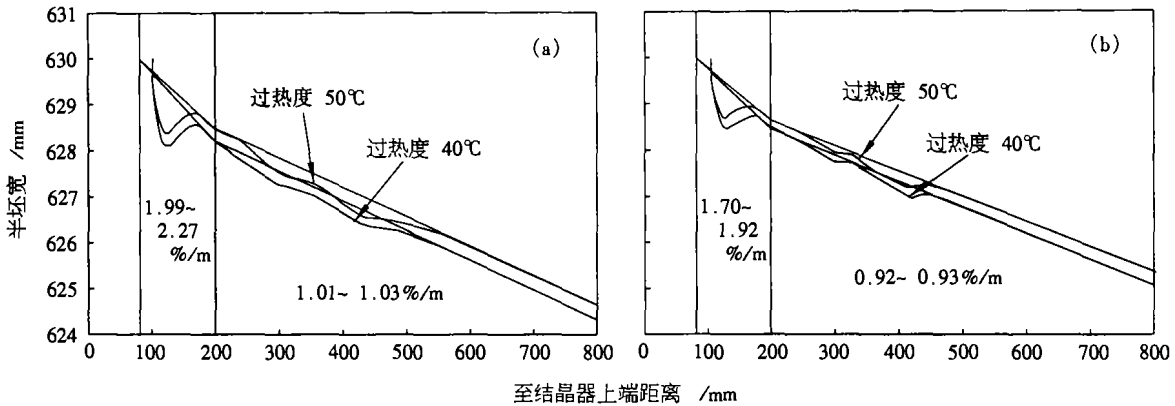


图 1 不锈钢铸坯收缩曲线:(a) 拉速 0.65 m/min;(b) 拉速 0.80 m/min

Fig.1 Shrinkage Curves of stainless steel casting slab at casting speed 0.65 m/min (a) and 0.80 m/min (b)

器内的收缩情况。计算表明,坯壳在结晶器内的收缩呈现明显的上大下小的趋势。在结晶器液面附近,坯壳生长初期收缩很快。这是由于在液面附近热流很大,坯壳温度下降很快,加之高温下,钢的线胀系数较大,所以在弯月面附近,坯壳收缩大。在收缩曲线上还可以看到一个回弹,这是因为坯壳一旦形成就伴随有较大的体积收缩,在弯月面附近形成了气隙,使热流迅速下降,坯壳平均温度回升,出现了所看到的回弹。在结晶器的下部,坯壳长厚,热阻增大温度下降变缓,坯壳收缩速度下降。因此,结晶器的锥度呈现了上大下小的规律。

计算还表明,当拉速从 0.65 m/min 增至 0.85 m/min 时,尽管拉速增高导致热流增加,由于驻留时间缩短,坯壳收缩减小,降低了对锥度的要求。

过热度对锥度的影响也比较显著,较大的过热度导致在液面附近坯壳生长被延迟,也使得在结晶器的下部,坯壳的温度较高,收缩减缓。

3.3 现场试验

针对现场的实际情况,设计了两锥度的窄面铜板并进行了现场试验。对于 304、316、321 等钢种,在拉速为 0.65~0.70 m/min,过热度为 40℃和 50℃的范围内使用同一种锥度设计,当铸坯宽为 1 260 mm,铸坯在结晶器内的收缩量为 12.3 mm,其中上部收缩较大,为 4 mm。新锥度的结晶器铜板与单锥度铜板相比,出口磨损显著减轻。铜板使用寿命延长 30%。由于上口锥度偏小所引起的窄面鼓肚基本消除,而由于出口锥度偏大所导致的中部纵向凹陷也不再出现,显著改善了铸坯

质量。

4 结论

(1) 过热度增加,坯壳收缩变小,结晶器的锥度变浅,过热度对铸坯收缩的影响主要体现在结晶器的上部。

(2) 拉坯速度对坯壳收缩影响显著,生产同一规格板坯时应尽可能减小速度波动。

(3) 采用双锥度比单锥度更加符合板坯在结晶器内的收缩规律:液面附近 80~200 mm 的区域采用较大锥度,200~800 mm 结晶器下部,采用较小的锥度。

(4) 现场试验表明,双锥度设计显著改善了铸坯的质量,避免了如窄面鼓肚和中间凹陷等缺陷的产生。

参考文献

- 1 Samasekera I V, Brimacombe J K. "The Pursuit of Steel Billet Quality", *Iron & Steel*. 1994(3): 53
- 2 Wang B, Walker B N, Samarasekera I V. Shell Growth, Surface Quality and Mould Taper Design for High Speed Casting of Stainless Steel Billets, *Canadian Metallurgical Quarterly*, 2000, 39(4): 441
- 3 Chandra S. "Heat Transfer, Oil Lubrication and Mould Taper in Steel Billets Casting Machines", Ph. D Thesis, UBC, 1992
- 4 王宝峰, Samarasekera I V. 不锈钢高效连铸结晶器热流的计算. 包头钢铁学院学报, 2000, 19(2): 28

王宝峰,男,39岁,教授,1988年北京科技大学硕士毕业,1999年加拿大英属哥伦比亚大学毕业。从事连铸关键技术和质量控制及钢铁材料微观组织工程的研究。