

DOI: 10.13228/j.boyuan.issn1005-4006.20190080

小方坯高拉速足辊长度设计探讨

郭春光¹, 钱 亮², 彭灿锋¹, 李富帅², 谢长川², 韩占光², 周干水²

(1. 阳春新钢铁有限责任公司, 广东 阳春 529600; 2. 中冶南方连铸技术工程有限责任公司, 北京冶金技术研究院, 北京 100028)

摘 要: 针对小方坯高拉速, 足辊长度的设计会对铸坯尺寸、质量及生产带来关键影响。基于中冶南方连铸三维蠕变有限元鼓肚计算模型及小方坯高拉速实践结果, 给出了确定小方坯足辊长度的具体方法和标准。针对小方坯, 足辊长度确定标准为2 m非夹持鼓肚量小于0.87 mm; 155 mm×155 mm小方坯要满足5 m/min拉速, 足辊结束位置距离结晶器弯月面应为1.18 m, 需要二排足辊。现场实践证明, 试验确定足辊长度的方法和标准完全可以满足小方坯高拉速的设计和生

关键词: 小方坯; 高拉速; 足辊长度; 夹持长度; 鼓肚

文献标志码: A **文章编号:** 1005-4006(2020)02-0072-05

Discussion on foot roll length design of high speed for billet

GUO Chun-guang¹, QIAN Liang², PEN Can-feng¹, LI Fu-shuai², XIE Chang-chuan²,
HAN Zhan-guang², ZHOU Gan-shui²

(1. Yangchun New Iron and Steel Co., Ltd., Yangchun 529600, Guangdong, China; 2. Beijing Metallurgical Technology Research Institute, WISDRI CCTEC Engineering Co., Ltd., Beijing 100028, China)

Abstract: For billet with high casting speed, the design of foot roll length will have a key impact on billet size, quality and production. Based on the three-dimensional creep finite element bulging calculation model of WISDRI CCTEC and the practice results of billet high casting speed, the specific method and standard for determining the length of billet foot roll are given. For billet, the standard of determining the length of foot roll is 2 m non-clamping bulge less than 0.87 mm; 155 mm×155 mm billet should meet 5 m/min casting speed, and the end position of foot roll should be 1.18 m from the meniscus of mould, corresponding to two rows of foot roller. Field practice proves that the method and standard for determining the length of foot roll given can fully meet the design and production of billet with high casting speed.

Key words: billet; high casting speed; foot roll length; clamping length; bulge

小方坯的定义并没有严格的划分, 随着技术和实践的认识也在不断发生变化, 在蔡开科教授等主编的1994年第1版《连续铸钢原理与工艺》中^[1], 认为小于150 mm×150 mm断面的为小方坯, 并且在此书2008年第二版中延续了此观点^[2], 到目前很多设计工作者和学者认为小于200 mm×200 mm的为小方坯, 也有认为小于220 mm×220 mm的为小方坯^[3]、认为小于250 mm×250 mm的为小方坯^[4]。大、小方坯的本质区别是设计上是否考虑铸坯鼓肚, 小方坯无需考虑铸坯鼓肚, 结晶器下无夹持辊段(或很短), 可以采用刚性引锭杆机型, 从这个角度来说, 将200 mm×200 mm、220 mm×220 mm、

250 mm×250 mm作为小方坯的界限都具有一定的指导意义, 同时设计上要兼顾设计拉速来考虑。按照现在连铸机的普遍生产拉速水平, 我们在设计过程中, 一般小于200 mm×200 mm方坯除足辊之外不考虑额外的夹持段。

小方坯不用考虑夹持长度, 一般会带有一排足辊, 此足辊具有夹持功能, 在实践中, 由于会出现一些状况, 比如由于设计制造的原因足辊在生产过程中无法转动从而导致较大阻力且影响铸坯表面质量、足辊的维护需要工作量、漏钢后足辊的清理麻烦等, 有些钢厂会将足辊去掉, 这在一定拉速范围内依然可以生产。

作者简介: 郭春光(1973—), 男, 大学本科, 工程师; **E-mail:** guocg192@qq.com; **收稿日期:** 2019-09-23

通讯作者: 钱 亮(1979—), 男, 硕士, 教授级高级工程师; **E-mail:** 49945078@qq.com

本文作者一直致力于高效小方坯的研究工作,在 $150\text{ mm}\times 150\text{ mm}$ 和 $155\text{ mm}\times 155\text{ mm}$ 小方坯拉速不断突破 $4.4.5.5.0\text{ m/min}$ 过程中,发现随着拉速不断提高,小方坯结晶器足辊作为夹持段的作用更明显,足辊长度对小方坯鼓肚有决定性影响,按照传统的一排足辊已无法满足高拉速生产需要,而且实践发现足辊可以起到保护结晶器磨损的作用,所以,有必要给出的一套系统地确定小方坯高拉速足辊长度的方法。本文作者基于中冶南方连铸在三维蠕变有限元鼓肚计算系统研发积累的基础上,结合小方坯提拉速实践经验,给出的一套确定足辊长度的方法、工

具和标准,来指导足辊长度设计,一方面适当的足辊长度可用来保证高拉速下铸坯形状和质量,另一方面尽可能少的足辊又能降低设备维护量。

1 模型说明

为了解决铸坯鼓肚计算问题,同时获得鼓肚精确的理论计算结果,中冶南方连铸开发了三维蠕变有限元鼓肚计算系统,采用粘弹性蠕变模型,几何模型如图1所示,利用三维有限元方法,给出鼓肚量计算的方式,具体的粘弹性蠕变模型建立、有限元处理方法、边界处理等见文献[5]。

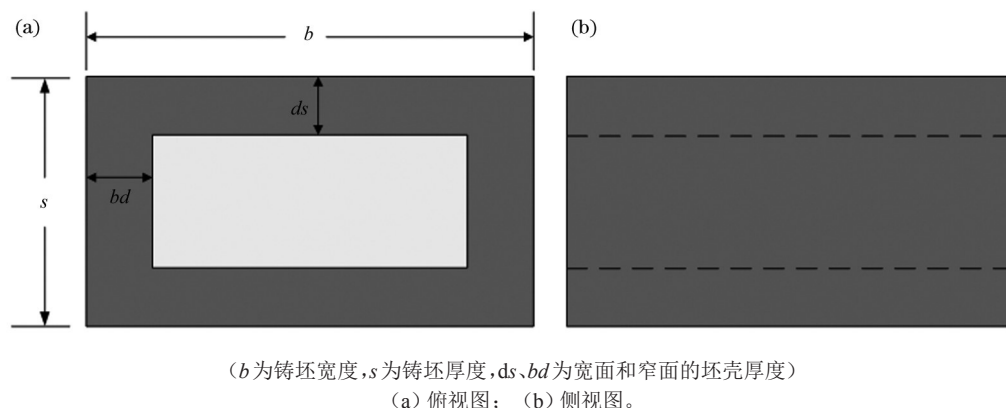


图1 计算鼓肚的铸坯方腔几何模型

Fig.1 Calculated geometric model of billet square cavity

2 标准建立

基于上述的鼓肚计算模型及大量的大方坯和宽扁坯的实际工程经验,中冶南方连铸给出了适合大方坯和宽扁坯的夹持段确定标准^[6],但此标准并不适用小方坯,需要根据小方坯实际工程经验确定适合小方坯足辊长度的确定标准。

中国某厂 $150\text{ mm}\times 150\text{ mm}$ 小方坯针对HRB400E钢种提拉速过程铸坯变形情况如图2所示,其中结晶器总高度为 $1\,000\text{ mm}$,有效高度为 900 mm ,带有一排足辊,距离结晶器下口为 120 mm 。如图2所示,在拉速为 3.04 m/min 时(图2(c)所示),铸坯基本上没有鼓肚,而在拉速 4.08 和 3.8 m/min 时(图2(a)和(b)所示),出现了比较明显的铸坯鼓肚变形,尤其是图2(a)比较严重,平均鼓肚量为 $4\sim 5\text{ mm}$,对应的铸坯中间裂纹出现恶化,低倍结果如图3所示。基于此结果,建议 $150\text{ mm}\times 150\text{ mm}$ 小方坯在拉速大于 4 m/min 以上采用二排足辊。

根据上面实际测试过程经验,提出以 $150\text{ mm}\times 150\text{ mm}$ 小方坯 3.7 m/min 拉速现有夹持辊长度下 2 m 非夹持鼓肚量作为小方坯夹持(足辊)长度的确定

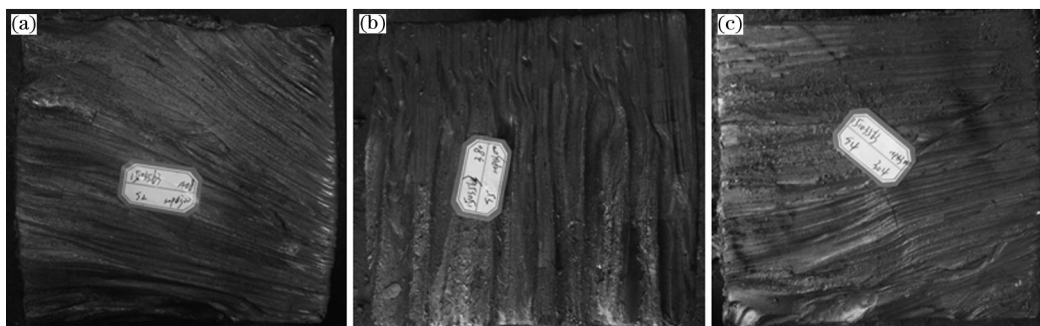
标准,从而计算得到特定高拉速时小方坯足辊长度,计算结果如图4所示,其中计算用水量为实际生产足辊水量。从图4的 2 m 非夹持鼓肚计算结果确定小方坯夹持长度的标准:以 2 m 非夹持方式,最大鼓肚小于 0.87 mm 。从图4中还可以看出,按照实际工况,如果要达到 4.5 m/min ,足辊长度应该到 1.14 m ,即出结晶器后 0.24 m 的足辊长度,至少需要两对足辊才能满足铸坯形状尺寸和质量要求。

3 实践及验证

为了进一步提升产能,同时作为小方坯高拉速试验的第二阶段目标,本铸机需要在铸坯规格从 $150\text{ mm}\times 150\text{ mm}$ 扩大到 $155\text{ mm}\times 155\text{ mm}$ 的基础上拉速提高到 5 m/min 。在提拉速之前,对影响拉速提高的核心环节进行了相应的铸机改造,其中一个点即为增加足辊长度,从原来的一排足辊增加为二排足辊,根据本文模型和标准得到的确定足辊长度的数据曲线如图5所示,其中足辊水量为调整后的工艺水量即为高拉速生产实际用工艺水量。从图5中可以看出,要保证 $155\text{ mm}\times 155\text{ mm}$ 方坯拉速达到 5 m/min 要求,足辊结束位置达到 1.18 m 。

据此足辊改造为二排,第一排足辊距离结晶器下口间距为0.12 m,第二排足辊距离第一排足辊间距为

0.16 m,第二排足辊距离弯月面的距离为1.18 m,足辊实物照片如图6所示。



(a) $V=4.08$ m/min; (b) $V=3.8$ m/min; (c) $V=3.04$ m/min.

图2 150 mm×150 mm小方坯不同拉速下的鼓肚情况

Fig.2 Bulging condition of 150 mm×150 mm billets at different drawing speeds

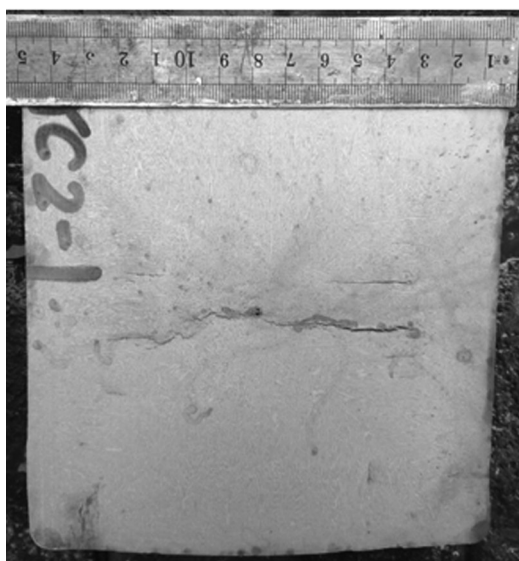


图3 拉速4.08 m/min对应铸坯低倍照片

Fig.3 Drawing speed of 4.08 m/min corresponds to the low power picture of casting billet

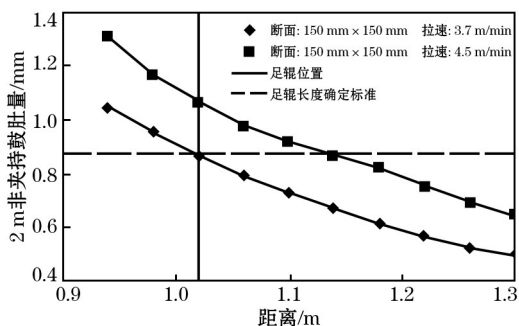


图4 足辊长度确定标准图例

Fig.4 Standard legend for determining foot roll length

根据预期,本铸机155 mm×155 mm断面最大拉速提高至5.07 m/min^[7-8],其中高拉速下的低倍如图7所示为4.87 m/min和4.97 m/min对应的低倍结

果,从图中看出,铸坯基本没有发生鼓肚变形,平均在1 mm之内,内部质量明显优于图3的低倍结果,未出现严重中间裂纹,这充分证明本文给出的确定小方坯高拉速足辊长度的模型方法和标准能指导实际设计和生产。

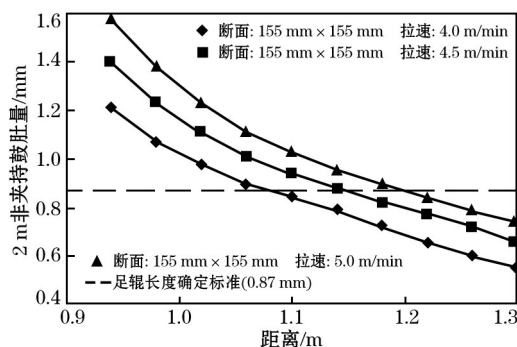
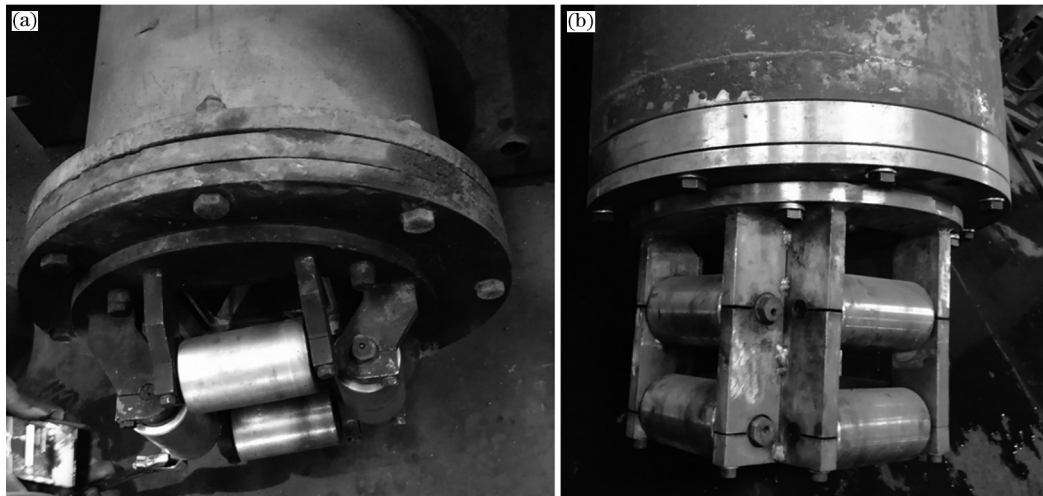


图5 155 mm×155 mm小方坯不同拉速下足辊长度确定标准

Fig.5 Determination criteria for the length of lower foot roll of the billet at different drawing speeds of 155 mm×155 mm

图5中还可以看出,随着拉速的提高,在相同足辊长度情况下,铸坯的鼓肚会加剧,同样足辊区水量、过热度等也对铸坯鼓肚有影响,因为拉速、过热度、水量会影响坯壳厚度和铸坯温度,从而在相同静压力情况下导致铸坯鼓肚量的不同。155 mm×155 mm小方坯不同足辊区水量条件下在1.18 m处对应的2 m非夹持鼓肚变化趋势,如图8所示,从中可以看出,随着足辊水量的降低,2 m非夹持鼓肚增大,足辊区水量从650降低到560 L/min,鼓肚量增大了0.07 mm,相比于图5拉速和鼓肚量变化趋势,显然拉速对鼓肚量的影响程度要大于足辊水量。所以,一定程度上,

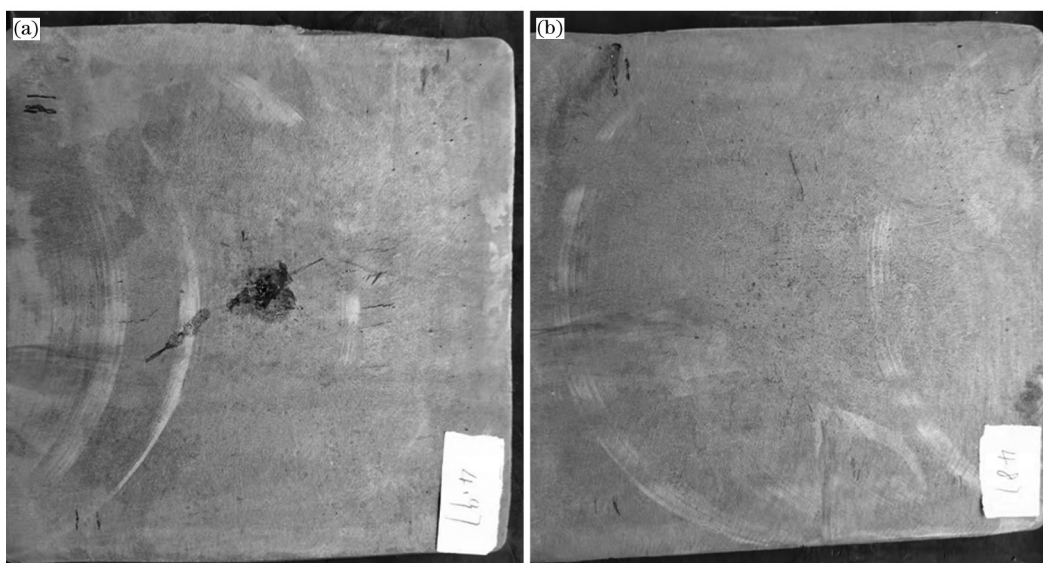
如果设备足辊长度已定,可以在满足质量要求的情况下适当加大水量以适应高拉速的需要。



(a) 原有的一排足辊; (b) 改造后的二排足辊。

图6 实际足辊照片

Fig.6 Actual foot roll photo



(a) 4.97 m/min; (b) 4.87 m/min。

图7 不同高拉速条件下铸坯低倍结果

Fig.7 Results of casting billet under different conditions of high drawing speed

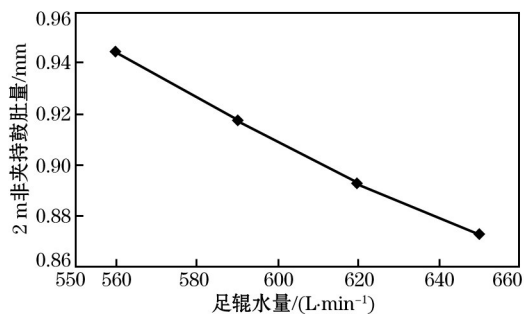


图8 不同足辊区水量对鼓肚的影响

Fig.8 Effect of water volume in different foot roll area on belly bulging

4 结论

(1) 在此模型基础上,小方坯高拉速足辊长度确定标准为2 m非夹持鼓肚量小于0.87 mm;

(2) 对于150 mm×150 mm、155 mm×155 mm小方坯断面,拉速大于4 m/min以上时,足辊建议设计为二排;

(3) 针对155 mm×155 mm小方坯拉速达到5.0 m/min,足辊结束位置距离结晶器弯月面为1.18 m,需要二排足辊。现场实践结果证明了本方法的可靠性。

参考文献:

- [1] 蔡开科,程士富.连续铸钢原理与工艺[M].北京:冶金工业出版社,1994.
- [2] 蔡开科,程士富.连续铸钢原理与工艺[M].北京:冶金工业出版社,2008.
- [3] 史宸兴.实用连铸冶金技术[M].北京:冶金工业出版社,1998.
- [4] 刘赵卫,李新强,曾 晶.板坯连铸机扇形段结构形式探讨与研究[J].连铸,2019,45(6):74.
- [5] 刘洪波,张晓峰,钱亮.三维蠕变有限元鼓肚计算系统开发与应用[J].连铸,2015,41(3):54.
- [6] 钱亮,刘洪波,韩丽娜.中冶连铸大方坯及扁坯辊列设计程序开发与应用[J].冶金设备,2016,225(1):29.
- [7] 胡永才,姜盛鑫,李圣海,等.东北特钢大圆坯连铸机设备简介与质量控制[J].连铸,2019,45(5):66.
- [8] 陈国防,丘铭军,毕新峰,等.板坯连铸机液压系统管路冲洗新方法的应用[J].连铸,2019,45(3):64.

《中国冶金》2020年“轴承与轴承钢”专刊征稿通知

中国是毋庸置疑的超级轴承大国,但还不是轴承强国,大量的高端轴承还要依赖进口。为了解决中国高端轴承“卡脖子”问题,宣传推广核心关键技术与推动产品研究,《中国冶金》编辑部将于2020年9月策划出版“轴承与轴承钢”专刊(正刊),邀请北京科技大学罗海文教授为专刊执行主编、燕山大学杨志南为客座编辑,对中国高端轴承的生产技术和应用进行集中报道和推广,希望对从事相关工作的科研和技术人员起到学习和借鉴的作用。

1 征稿范围

- (1) 稀土轴承钢的技术开发
- (2) 各种传统轴承钢性能提升及稳定化生产研究
- (3) 新型高性能轴承钢的研发及工业化技术
- (4) 轴承钢夹杂物、偏析、碳化物及均一化控制机理及技术研究
- (5) 轴承钢的磨损、疲劳失效机理及长寿命和高可靠性机理研究
- (6) 各种轴承钢应用技术研究和高性能耐磨钢技术研究
- (7) 轴承钢的冶金质量评价、内控标准
- (8) 重大装备用高品质轴承用钢的发展及其质量控制
- (9) 与高端轴承关键共性技术相关的其他新工艺、新技术

2 投稿方式

请登录“钢铁期刊网”网站(http://47.93.29.245/Jweb_qkw/CN/volumn/home.shtml)或直接登录《中国冶金》网站(<http://www.zgyj.ac.cn>),从“作者投稿中心”投稿。

3 注意事项

- (1) 投稿截止时间:2020年6月1日。
- (2) 论文投稿前需经过单位保密审查;本刊坚决拒绝一稿多投。
- (3) 投稿时请务必在论文标题最后标注“(2020 轴承钢专刊)”,并上传版权协议。
- (4) 论文投稿后,需通过编辑部的审稿流程。若未通过审稿,将作退稿处理。
- (5) 论文通过审稿后,将发表在《中国冶金》杂志2020年第9期(9月)正刊上。

4 联系方式

北京科技大学
罗海文,电话:18610278290
E-mail:luohaiwen@ustb.edu.cn
燕山大学
杨志南,电话:15033513870
E-mail:zhinanyang@ysu.edu.cn
《中国冶金》编辑部
电 话:010-62181032
薛 朵,电话:13661333745
E-mail:weilai@chinamet.cn
曹微言,电话:13811331711
E-mail:caowy@chinamet.cn
尚海霞,电话:18610027273
E-mail:shanghaixia123@126.com