

20CrMnTiH 齿轮钢轧制过程的金属流变对铸坯碳偏析的影响

李曲全¹ 颜慧成² 曾凡政¹ 刘建¹ 唐广波³

(1 湖南华菱湘钢股份有限公司技术中心,湘潭 411101;

钢铁研究总院 2 国家连铸技术工程研究中心和 3 结构材料研究所,北京 100081)

摘要 通过 20CrMnTiH 钢 430 mm × 300 mm 连铸坯射钉试验模拟铸坯粗轧和至 Φ130 mm 钢材轧制过程中的金属流变。试验结果表明,平行于射钉方向,钉子变形延展成扁平状,垂直于射钉方向,钉子压缩成镰刀状弯曲,轧制对改善成品钢材横截面上的宏观碳偏析无明显效果。

关键词 20CrMnTiH 齿轮钢 430 mm × 300 mm 铸坯 轧制 射钉试验 金属流变 宏观碳偏析

Effect of Metal Rheology of Gear Steel 20CrMnTiH in Rolling Process on Carbon Segregation of Casting Bloom

Li Ququan¹, Yan Huicheng², Zeng Fanzheng¹, Liu Jian¹ and Tang Guangbo³

(1 Technology Center, Xiangtan Steel Co Ltd, Hunan Valin, Xiangtan 411101;

2 National Engineering Research Center of Continuous Casting Technology and

3 Department of Structure Material Research, Central Iron and Steel Research Institute, Beijing 100081)

Abstract The metal rheology of steel 20CrMnTiH during rolling process of 430 mm × 300 mm casting bloom to Φ130 mm steel product is simulated by bloom pin-shooting test. Test results show that in the direction of parallel to pin-shooting, the pin is deformed and extend-spread to flat type, and in the direction of perpendicular to pin-shooting, the pin is compressed to sickle-type bend, therefore the effect of rolling process on macro-carbon segregation in cross section of finishing products is not obvious.

Material Index Gear Steel 20CrMnTiH, 430 mm × 300 mm Casting Bloom, Rolling Process, Pin-Shooting Test, Metal Rheology, Macro Carbon Segregation

连铸坯横截面柱状晶与等轴晶界面区域存在碳正偏析现象^[1],这种碳宏观偏析导致的横截面碳分布不均匀性在大规格矩形坯上尤其严重,其结果是所轧制圆钢加工成齿轮后热处理变形超格^[2-3]。为了澄清连铸坯宏观偏析在轧制过程中变化规律,有人进行过金属流变模拟计算^[4-5],为了更直观了解碳宏观偏析在轧制过程的变化行为,本文进行了轧制过程金属流变的模拟轧制试验。

1 试验方法与步骤

轧制过程金属流变试验是在高温连铸坯内射入钉子以模拟宏观偏析,在轧制过程中不同道次时进行含钉轧件取样,分析此时不同轧制道次下钉子的变形。整个试验包括 3 个步骤:含钉坯料准备,轧制过程取样,轧件取样的解剖。

在 20CrMnTiH 钢(表 1)2 块连铸坯(430 mm × 300 mm)上进行射钉试验,将矩形坯停放在出坯辊道上,将射钉枪固定在辊道旁边,总共在 2 块坯上窄面(300 mm)的端部分别射入 3 颗钉子,3 颗钉子的位置状况见表 2。钉子尺寸 Φ9 mm,220 mm 长。炉

表 1 齿轮钢 20CrMnTiH 化学成分 / %

Table 1 Chemical composition of gear steel 20CrMnTiH / %

C	Si	Mn	Cr	P	S
0.17 ~ 0.24	0.22 ~ 0.30	0.85 ~ 1.20	0.90 ~ 1.20	≤ 0.015	≤ 0.015

表 2 连铸坯射钉位置状况

Table 2 Status of pin-shooting location in casting bloom

钉序号	炉号-坯号	离坯头距离/mm	在窄面位置	射入长度/mm
1#	11604910-1080	380	正中央	大约 100
2#	11604911-1040	200	正中央	大约 100
3#	11604911-1040	370	正中央	钉头折断后溅失,未知

号 11604910、11604911 分别为该浇次的第 1、第 2 炉。射钉时轧坯温度为 500 ~ 600 °C。

将准备好的两支含钉铸坯在轧制 Φ130 mm 圆钢时进行跟踪取样,取样时轧制道次断面尺寸见表 3。第 1 支坯(坯号 1080)只有 1#钉,在轧制第 4 道次后,坯料下线冷却后切取含钉试样。第 2 支坯(坯号 1040)含有 2#、3#钉,2#钉在粗轧后快速切取,然后继续精轧,精轧后按照计算合适的长度切取含

表 3 取样时轧制道次及断面尺寸

钉子序号	轧制阶段	道次	宽边(H)/mm	窄边(B)/mm
原料		0	430	300
1#	粗轧	4	310	319
2#	粗轧	13	160	180
3#	精轧	17	Φ130	

表 4 射入钉子在轧坯中状态

试样号	取样道次	试样横断面尺寸/mm	钉子位置	特征
1	4 (粗轧中)	310 × 319	319 mm 面正中央	钉头露出表面
2	13 (粗轧后)	160 × 180	160 mm 面正中央	钉头露出表面, 表面开裂
3	17 (终轧后)	Φ130		钉头露出表面, 表面开裂

3#钉试样。由于钉子与基体界面处存在缝隙, 因此使用 BUT301 型超声波检测仪很容易辨别钉子的走向及其尺寸和形貌。

对试样进行沿轧制方向层层下剖, 一直到发现钉子的位置时减小下刀量, 力求完整测绘轧件中钉子的几何尺寸, 得到轧制过程钉子的变形情况。

2 试验结果

2.1 射钉铸坯轧制及取样情况

尺寸为 430 mm × 300 mm 试验坯经过 1 220 °C、总加热时间 4 h 后轧制, 对应 3 个钉子取出 3 件试样, 轧制样与钉子情况见表 4。3 个钉子的钉头被压扒在表面上, 2#、3#钉头处表面开裂。

2.2 解剖结果

(1) 1#射钉

试样 1 沿轧制方向解剖后钉子形貌如图 1 所示。1#钉子垂直打入表面下, 在中心面基本没有上下偏移(钉子的剖面沿着轧制方向), 钉子沿轧制方向略有倾移, 钉子尺寸 Φ10 mm × 64 mm。可见, 射钉在轧制 4 个道次后直径略有变大, 长度略微变短。

(2) 2#射钉

试样 2 中钉子沿轧制方向剖开后形貌如图 2(b) 所示。钉子形态及尺寸见表 5。

轧后钉子总体为扁平形(中央部分约 6 mm 厚), 射入面高度到钉子尖部 39 mm, 到第 1 个拐弯点高度 16 mm; 入口钉子为椭圆形(Φ10 mm × 16 mm), 往里钉子逐渐变宽, 到 16 mm 高度时宽度达到 25 mm, 然后以 25 mm 宽度延续到 36 mm 高度, 最后以镰刀尖形状保持到钉子尖部; 钢块中央部分钉子宽度 25 ~ 26 mm。计算射入 100 mm 长钉子体积与剖出钉子的体积基本相等(大约 6 400 mm³)。粗轧完成后, 射钉出现较大的变化, 由于原铸坯宽边方向(430 mm 方向)的压缩变形, 使得钉子由柱状不断扁平化, 而原铸坯窄边方向(300 mm 方向)的压缩变形及轧向延伸, 导致钉子在长度方向上被压扁、发生弯曲和方向改变。

(3) 3#射钉

试样 3 中钉子沿轧制方向剖开后形貌如图 3(b) 所示。3#钉子形态及尺寸见表 6。

特征及尺寸: 尽管 3#钉射入深度不知, 但是能发现其在轧制成圆钢后沿轧制方向的延伸现象。轧制道次越多, 规格越小, 钉子沿轧制方向越长; 钉子原来形貌越不明显, 并且深度越浅。从剖析过程看, 未切前钉子外露约 10 mm 钉头; 快接近钉子时下走 3 mm, 获得剖面①照片; 再下走 3 mm, 获得剖面②; 再下走 2 mm, 残片脱落, 获得剖面③; 从脱落残片形状看, 残片靠表面约 2 mm, 往里逐渐减薄为 0, 说明

表 5 2#钉子在轧件中的变形状态

剖面序号	剖面离底面高度/mm	钉子面最低点、最高点离端面距离/mm	钉子面尺寸/mm	特征
①	89.3	最低点 13, 最高点 33	11 × 26	露出钉尖
②	87.8	最高点 36	外窄内宽的镰刀弯(最宽 26)	整个剖面
③	87.6	最高点 39	25 × 43 拐弯前 20、后 23	较前剖面, 镰刀背有所上升, 镰刀尖更明显
④	从样品中敲出钉子残片, 扁平形, 入口处 7 mm 厚, 往里延伸 10 mm 后减薄至 3 mm 厚			

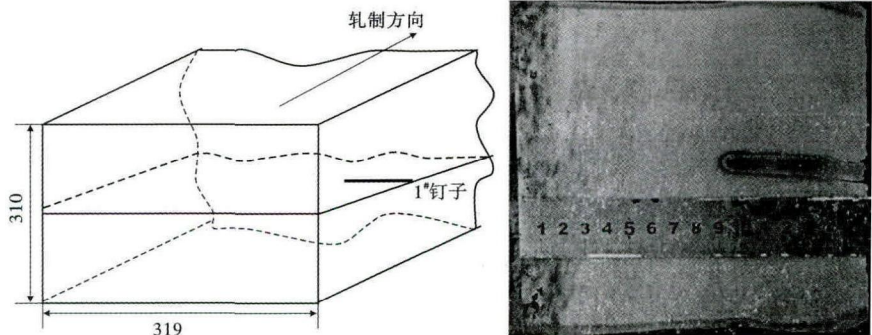


图 1 1#钉子在轧件中形貌(腐蚀后)

Fig. 1 Morphology of No1 shooting pin in rolling stock, etched

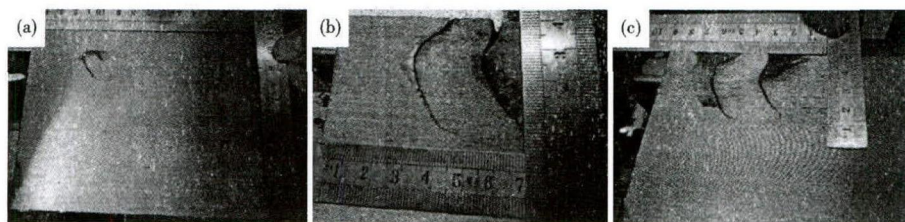


图2 2#钉子在轧件中的剖面状态:离底部-89.3 mm 出现钉尖(a);87.8 mm 出现的钉面(b);87.6 mm 出现的钉面(c)

Fig. 2 Morphology of section of No2 shooting pin in rolling stock: distance from bottom 89.3 mm occurring tip of pin (a); 87.8 mm occurring pin face (b) and 87.6 mm occurring pin face (c)

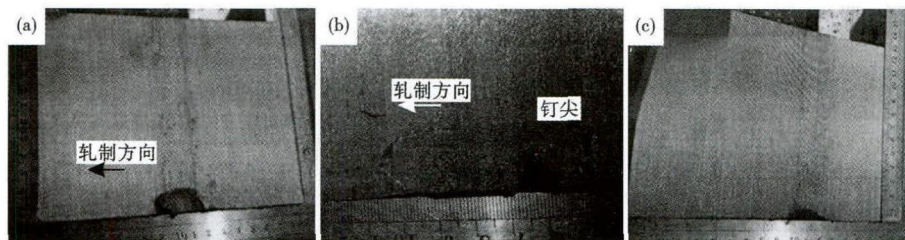


图3 3#钉子在轧件中的剖面状态:离底部62.7 mm(17 mm×32 mm)(a);59.7 mm(20 mm×55 mm)(b);57.7 mm(Φ30 mm 半圆坑)(c)

Fig. 3 Morphology of section of No3 shooting pin in rolling stock: distance from bottom 62.7 mm (17 mm×32 mm) (a); 59.7 mm (20 mm×55 mm) (b); and 57.7 mm (Φ30 mm semicircle cave) (c)

表6 3#钉子在轧件中的变形状态

Table 6 Status of deformation of No3 shooting pin in rolling stock

剖面序号	剖面离底面高度/mm	钉子面尺寸/mm
①	62.7	17×32
②	59.7	20×55(含尖长10 mm)
③	57.7	Φ30 半圆浅坑(残片脱落)

剖面①到剖面②之间下剖3 mm 过量,59.7 mm 下剖面已经不是中心剖面,估计钉子的最宽面尺寸比剖面②要大些。对照2#钉的剖面③图片,可以预见镰刀尖随着轧制道次的增加,不断靠近表面,形成此时的尖部,2#钉的镰刀背(第1个背部弯曲)下挫,形成3#钉剖面②的位置。

3 结果分析及讨论

(1) 轧制4道次后的钉子变形不严重,变粗程度不大,弯曲情况亦不明显。

(2) 粗轧结束后钉子变粗,靠近轧件表面处钉子变粗程度小于心部,且越靠近钉尖位置(及远离轧件表面)变粗越明显。钉子因轧件横截面内距表面不同位置金属的变形和延伸不均发生弯曲。

(3) 精轧结束后钉子严重变形,已被压扁,走向接近轧向。

(4) 钉子被轧制成扁平形,轧制道次越多,越接近终材,扁平钉越薄,并且垂直表面方向长度越短,同时纵向弯曲越严重,甚至钉子走向几乎平行轧向。

按照实验钉在轧制过程的变化行为推知,连铸坯等轴晶/柱状晶界面区域的宏观碳偏析在轧制过程中沿轧向延伸的同时,在轧件横截面内会以不同程度向轧件表面流变,最后在轧件中位置与铸态下几何位置大体对应,说明轧制过程对改善碳的宏观偏析作用不显著。

4 结论

(1) 连铸坯中钉子形状发生较大变化,平行于射钉方向,钉子因为变形而充分延展为扁平状。

(2) 在连铸坯垂直于射钉方向,钉子因为被压缩成为镰刀状弯曲。

(3) 轧制对产品宏观偏析带在横截面上的相对位置也无显著影响。

参考文献

- [1] 许伟阳,曹志刚,颜慧成,等.特殊钢大方坯碳偏析遗传性及其轧材组织特性研究[J].钢铁钒钛,2011,32(4):87-91.
- [2] 柳晓鹏,雷建波.齿轮渗碳淬火变形原因及控制措施[J].四川兵工学报,2009,30(5):58-60.
- [3] 雷声.齿轮热处理变形的控制[J].机械工程师,2008(5):74-76.
- [4] 杨吉春,郭殿峰.U74重轨大方坯开坯后中心碳偏析演变分析[J].包头钢铁学院报,2006,25(2):119-122.
- [5] 王廷溥,齐克敏.金属塑性加工学轧制理论与工艺(第2版)[M].北京:冶金工业出版社,2005.

李曲全(1980-),男,硕士(北京科技大学),工程师,2004年湘潭大学(本科)毕业,品种钢与质量开发。

收稿日期:2014-08-20