

改善不锈钢轴承钢 9Cr18 共晶碳化物的工艺研究

徐亮,李涛,马永强,王宇,柯洪鹏
(抚顺特殊钢股份有限公司技术中心,抚顺,113001)

摘要:采用金相显微镜分析了 30 t EAF-LF-VD- Φ 200 mm 电极- Φ 360 mm ESR 锭-120 mm \times 120 mm 锻坯- Φ 50 mm 轧材的冶炼和加工工艺对不锈钢轴承钢 9Cr18 共晶碳化物的影响,结果表明,模铸电极浇注温度由 1 500 ~ 1 510 $^{\circ}$ C 降至 1 485 ~ 1 495 $^{\circ}$ C,电渣重熔熔速由 4.5 kg/min 降至 3.5 kg/min,增强电渣重熔冷却条件,可以有效减少冶炼过程中的共晶碳化物原始形成。采用锻透力强、大变形开坯,可使大颗粒碳化物破碎、减小颗粒尺寸,降低碳化物条带和网状聚集程度,能够有效改善不锈钢轴承钢共晶碳化物评级,减小碳化物颗粒尺寸。

关键词:9Cr18 不锈钢轴承钢;共晶碳化物;温度;熔速;冷却条件;变形量;碳化物颗粒尺寸

Study on Process to Improve Eutectic Carbide of Stainless Bearing Steel 9Cr18

Xu Liang, Li Tao, Ma Yongqiang, Wang Yu, Ke Hongpeng
(Technology department, Fushun Special Steel Co., Ltd., Fushun 113001)

Abstract: The effect of smelting and processing technology of 30 t EAF-LF-VD- Φ 200 mm electrode- Φ 360 mm ESR ingot-120 mm \times 120 mm forging billet- Φ 50 mm rolled bar on the eutectic carbide in stainless bearing steel 9Cr18 is analyzed by optical microscope. Tested results show that, reduce the molded electrode pouring temperature from 1 500-1 510 $^{\circ}$ C to 1 485-1 495 $^{\circ}$ C, reduce the ESR melting speed from 4.5 kg/min to 3.5 kg/min, strengthen the electroslag remelting cooling conditions can effectively reduce the eutectic carbide in the original form in process of smelting; and the large carbide particles can be broken, the particle size can be reduced, and the degree of carbide band and network aggregation can be reduced by the way of forging penetration and large deformation to effectively improve the eutectic carbide rating of stainless bearing steel and reduce the carbide particle size.

Key Words: 9Cr18 Stainless Bearing Steel; Eutectic Carbide; Temperature; Melting Rate; Cooling Conditions; Deformation; Carbide Particle Size

不锈钢轴承钢作为一类特殊的轴承钢,被广泛应用于海洋、医疗以及某些特殊的航空航天轴承领域^[1]。9Cr18(G95Cr18)不锈钢轴承钢,属于莱氏体钢,在冶炼过程中极易形成共晶碳化物,加工成成品轴承后,在承受较大载荷的情况下,大颗粒和聚集程度严重的共晶碳化物极易脱落,严重影响轴承质量和使用寿命。由此,相较之前的不锈钢轴承钢标准,GB/T3086-2019除要求共晶碳化物级别外,还增加了最大碳化物颗粒尺寸要求,无疑加大了钢铁企业生产难度。本文通过研究模铸电极浇注温度、电渣重熔熔速和冷却条件以及加工方式对不锈钢轴承钢共晶碳化物的影响,总结出改善共晶碳化物质量水平的生产工艺。

1 试验材料及方法

1.1 试验材料

试验材料选用规格为 Φ 50 mm 的 9Cr18(G95Cr18)成品钢材。

(1)试验材料生产工艺:电弧炉(30 t)→精炼炉(30 t)→真空脱气炉(30 t)→模铸电极(Φ 200 mm)→电渣重熔(Φ 360 mm)→锻制开坯(120 mm 方坯)→轧制成材(Φ 50 mm)→退火。

(2)试验材料化学成分见表 1。

1.2 试验方法

第一种方法通过降低模铸电极浇注温度,减少共晶碳化物在初次凝固过程中的析出。第二种方法通过降低电渣重熔过程熔速、增强冷却条件,减轻电

表1 9Cr18钢化学成分/%
Table 1 Chemical composition of 9Cr18 steel/%

项目	C	Cr	Mn	Si	Ni	S	P
标准	0.90 ~ 1.00	17.0 ~ 19.0	≤ 0.80	≤ 0.80	≤ 0.25	≤ 0.020	≤ 0.035
实测	0.98	17.9	0.27	0.23	0.20	0.001	0.013

渣重熔过程钢液凝固偏析形成的共晶碳化物。第三种方法采用锻透力强、变形量大的开坯方式,使得冶炼已形成的共晶碳化物有效破碎、分散,从而降低共晶碳化物评级。

2 试验结果与讨论

2.1 降低9Cr18钢模铸电极浇注温度试验

(1)9Cr18钢属于莱氏体钢,在模铸电极浇注凝固过程中易形成共晶碳化物,共晶碳化物具有较强

的“遗传”特性,一旦在电极中形成,通常会“遗传”至成品钢材上。

为改善9Cr18钢电极共晶碳化物,试验过程将浇注温度降低至1485~1495℃,在电极上取样分析铸态共晶碳化物,并与实际生产过程中使用的浇注温度1500~1510℃进行对比分析。其中图1(a)~(c)分别为浇注温度1500~1510℃的电极中心、半径1/2和皮下的共晶碳化物视场;图2(a)~(c)分别为浇注温度1485~1495℃的电极中心、半径1/2和皮下的共晶碳化物视场。

(2)降低模铸电极浇注温度,有助于减轻电极凝固过程中共晶碳化物原始生成^[2]。通过(1)的试验结果可以看出,1485~1495℃相较于1500~

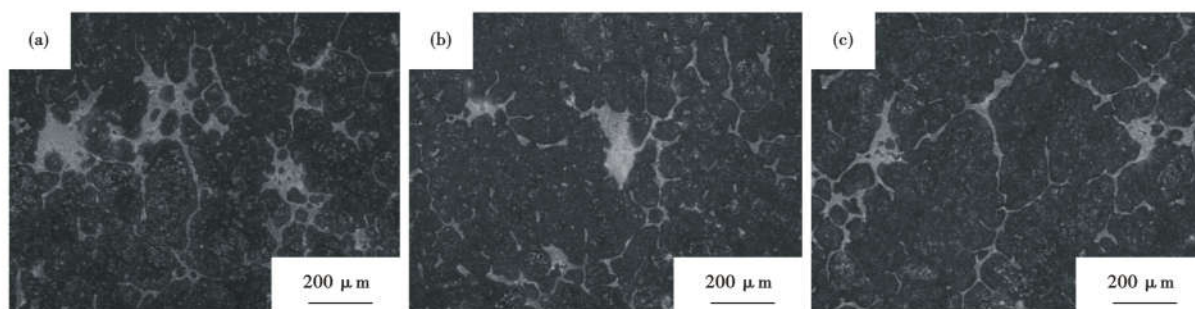


图1 1500~1510℃浇注的9Cr18钢Φ200mm模铸电极中心(a),半径1/2(b)和皮下(c)处共晶碳化物
Fig.1 Eutectic carbides at central (a), radius 1/2 (b) and subsurface (c) of 9Cr18 steel Φ200 mm mould casting electrode with pouring at 1500-1510℃

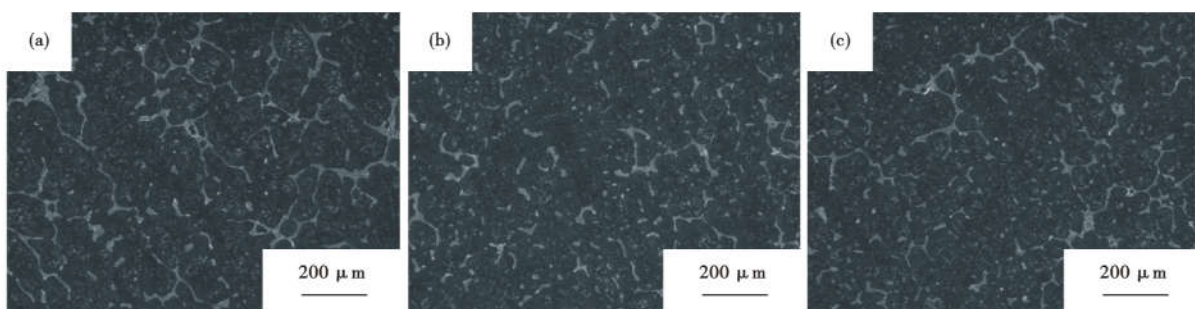


图2 1485~1495℃浇注的9Cr18钢Φ200mm模铸电极中心(a),半径1/2(b)和皮下(c)处共晶碳化物
Fig.2 Eutectic carbides at central (a), radius 1/2 (b) and subsurface (c) of 9Cr18 steel Φ200 mm mould casting electrode with pouring at 1485-1495℃

1510℃,由于降低了电极浇注温度,致使钢液凝固时间缩短,压缩了共晶碳化物析出的时间周期;9Cr18钢电极共晶碳化物整体含量明显减少,聚集程度降低、分布更为均匀,最大颗粒碳化物尺寸显著变小,利于改善9Cr18钢成品共晶碳化物评级。

2.2 降低电渣重熔过程熔速、增强冷却条件试验

(1)9Cr18钢在电渣重熔凝固过程中,由于成分

偏析等因素,会形成大量的共晶碳化物;而降低熔速、增强冷却条件有利于改善成分偏析问题,也有利于改善共晶碳化物。为验证电渣重熔熔速和冷却条件对9Cr18钢共晶碳化物的影响,试验过程分别采用两种电渣重熔工艺:第一种熔速设定为4.5 kg/min,结晶器冷却水流量100 m³/h、进出水温度差约为7℃;第二种熔速设定为3.5 kg/min,结晶器冷却水流量

150 m³/h、进出水温度差约为 5 ℃。分别在规格 Φ50 mm 的 9Cr18 钢成品材取样,检验共晶碳化物。其中图 3(a)~(b)分别为第一种电渣重熔工艺试样的中心和半径 1/2 的共晶碳化物视场,图 3(c)为整个试样最大碳化物颗粒视场;共晶碳化物最严重的视场评级为 3.5 级,最大碳化物颗粒尺寸为 46 μm ×

26 μm,平均尺寸为 36 μm。图 4(a)~(b)分别为第二种电渣重熔工艺试样的中心和半径 1/2 的共晶碳化物视场,图 4(c)为整个试样最大碳化物颗粒视场;共晶碳化物最严重视场评级为 2.5 级,最大共晶碳化物颗粒尺寸为 36 μm × 18 μm,平均尺寸为 27 μm。

(2)降低电渣重熔过程熔速^[3]、增强冷却^[4]条

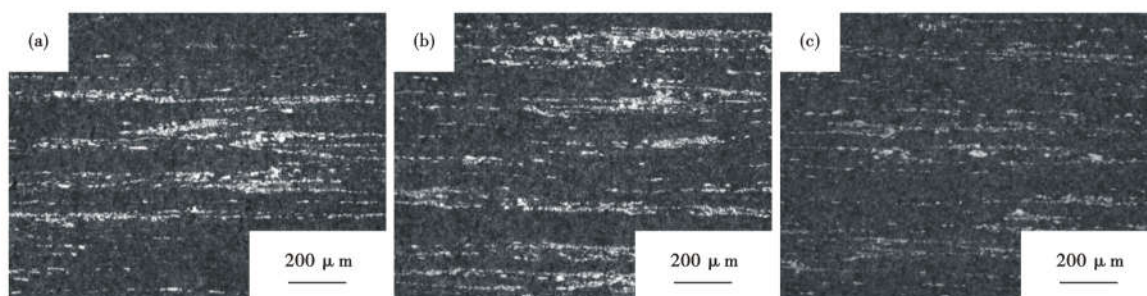


图 3 重熔速度 4.5 kg/min 的 Φ360 mm 电渣锭至 120 mm × 120 mm 方坯轧制的 9Cr18 钢 Φ50 mm 材中心(a),半径 1/2(b)和最大(c)共晶碳化物

Fig. 3 Eutectic carbides at central (a), radius 1/2 (b) and max eutectic carbides (c) of 9Cr18 steel Φ50 mm bar rolled from 120 mm × 120 mm billet being breakdown from Φ360 mm ESR ingot with remelting speed 4.5 kg/min

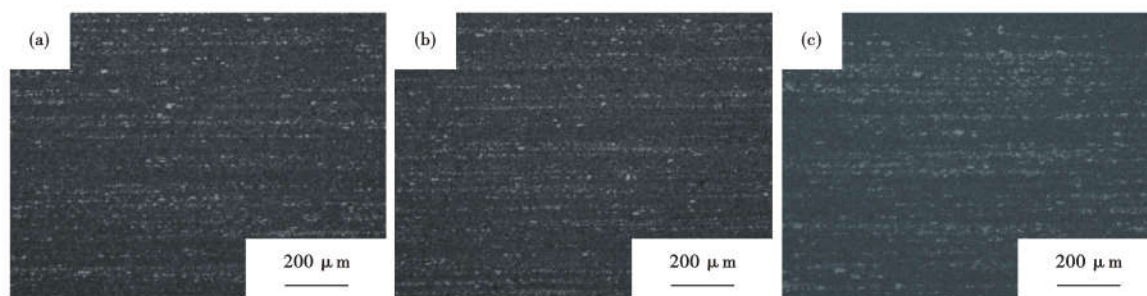


图 4 重熔速度 3.5 kg/min 的 Φ360 mm 电渣锭至 120 mm × 120 mm 方坯轧制的 9Cr18 钢 Φ50mm 材中心(a),半径 1/2(b)和最大(c)共晶碳化物

Fig. 4 Eutectic carbides at central (a), radius 1/2 (b) and max eutectic carbides (c) of 9Cr18 steel Φ50 mm bar rolled from 120 mm × 120 mm billet being breakdown from Φ360 mm ESR ingot with remelting speed 3.5 kg/min

件有助于减轻电渣重熔过程共晶碳化物的形成^[1]。

试验结果表明,将熔速从 4.5 kg/min 降低至 3.5 kg/min,冷却水流量由 100 m³/h 增强到 150 m³/h;共晶碳化物整体评级由 3.5 级降低至 2.5 级,最大碳化物颗粒尺寸由 46 μm × 26 μm、平均尺寸为 36 μm,降低至 36 μm × 18 μm、平均尺寸为 27 μm。共晶碳化物显著的改善效果,主要是由于通过降低熔速,使金属熔池变浅、两相区变窄,枝晶生长趋于轴向,减轻电渣成分偏析、减少共晶碳化物在电渣重熔过程的形成;另外,增强水冷条件,有利于钢液更快的凝固,压缩了共晶碳化物析出的时间周期,同样能够减少共晶碳化物的形成^[5]。

2.3 采用锻透力强、变形量大的开坯方式试验

(1)试验过程分别采用 1 000 t 精锻机和电液锤

对 9Cr18 钢进行开坯,电液锤较精锻机的锻透力更强,单次变形量更大。图 5(a~b)分别为精锻机开坯试样的中心和半径 1/2 的共晶碳化物视场,图 5(c)为整个试样最大碳化物颗粒视场;共晶碳化物最严重的视场评级为 4.5 级,最大碳化物颗粒尺寸为 51 μm × 29 μm,平均尺寸为 40 μm。图 6(a~b)分别为电液锤开坯试样的中心和半径 1/2 的共晶碳化物视场,图 6(c)为整个试样最大碳化物颗粒视场;共晶碳化物最严重的视场评级为 3.0 级,最大碳化物颗粒尺寸 34 μm × 26 μm,平均尺寸 30 μm。

(2)采用锻透力强、变形量大的开坯方式^[6],可以有效改善 9Cr18 钢共晶碳化物评级。

由图 5(a~b)可见,精锻机开坯的试样共晶碳化物呈现出较为明显的网状倾向,个别区域几乎已

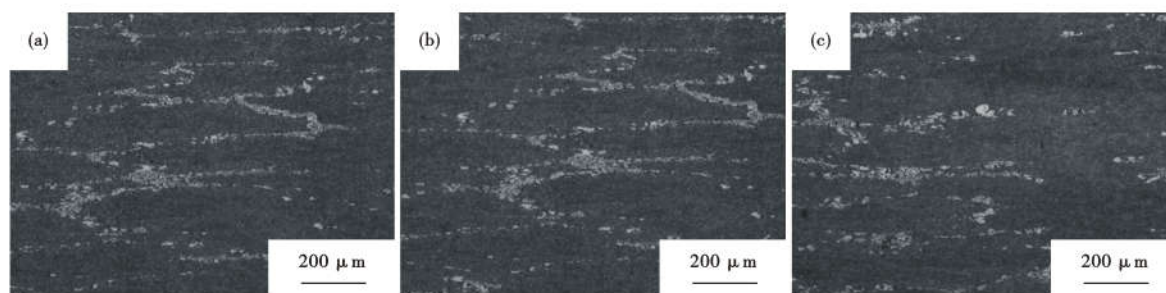


图5 由1 000 t精锻机开坯的9Cr18钢120 mm × 120 mm方坯中心(a),半径1/2(b)和最大(c)共晶碳化物
Fig. 5 Eutectic carbides at central (a), radius 1/2 (b) and max eutectic carbides (c) of 9Cr18 steel 120 mm × 120 mm billet being breakdown by 1 000 t finishing machine

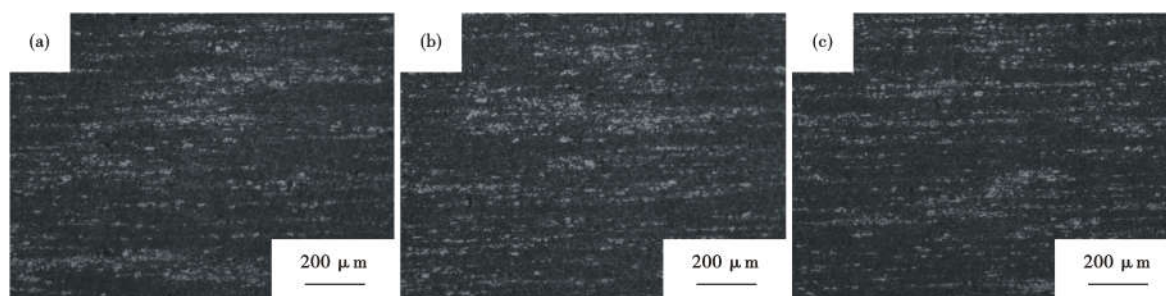


图6 电液锤开坯的9Cr18钢120mm × 120mm方坯中心(a),半径1/2(b)和最大(c)共晶碳化物
Fig. 6 Eutectic carbides at central (a), radius 1/2 (b) and max eutectic carbides (c) of 9Cr18 steel 120 mm × 120 mm billet being breakdown by electro-hydraulic hammer

经成网,且网的边界碳化物聚集较为严重,分布极不均匀,大颗粒碳化物较多。而由图6(a~b)可见,电液锤开坯的试样几乎没有明显的网状出现,碳化物相对疏松,分布相对均匀,大颗粒碳化物较少。共晶碳化物整体评级由4.5级降低至3.0级,最大碳化物颗粒尺寸由 $51\ \mu\text{m} \times 29\ \mu\text{m}$ 、平均尺寸 $40\ \mu\text{m}$,降低至 $34\ \mu\text{m} \times 26\ \mu\text{m}$ 和平均尺寸 $30\ \mu\text{m}$ 。因此,通过增强开坯过程锻透力、增大变形量,可有效改善9Cr18钢共晶碳化物评级^[7]。

(3)共晶碳化物最严重区域集中在试样的中心至半径1/2处,且评级越高,相应的碳化物最大颗粒尺寸越大。

3 结论

(1)降低9Cr18钢模铸电极浇注温度,可以减少共晶碳化物析出时间,有助于减轻电极凝固过程

共晶碳化物原始生成,改善成品共晶碳化物评级。

(2)降低9Cr18钢电渣重熔熔速,可以使金属熔池变浅、两相区变窄,枝晶生长趋于轴向,减轻电渣锭成分偏析、减少共晶碳化物在电渣重熔过程的形成^[8];另外,增强水冷条件,有利于钢液更快的凝固,压缩了共晶碳化物析出的时间周期,减少其形成;降低成品共晶碳化物评级和最大碳化物尺寸。

(3)增强9Cr18钢开坯过程锻透力、增大变形量,能够改善成品共晶碳化物评级,减小最大碳化物颗粒尺寸。

(4)9Cr18钢共晶碳化物最严重区域通常集中在中心至半径1/2处。

(5)共晶碳化物整体评级与碳化物最大颗粒尺寸成正比例关系。

参考文献

- [1]徐海峰,史智越,俞峰,等.高氮不锈钢轴承钢的微观组织与性能研究[J].特殊钢,2021,42(1):71-76.
- [2]迟宏宵,马党参,徐辉霞,等.凝固速率对M2高速工具钢铸态组织的影响[J].材料热处理学报,2017,38(1):94-99.
- [3]初伟,谢尘,吴晓春.电渣重熔M2高速钢共晶碳化物控制研究[J].上海金属,2013,35(5):23-26.
- [4]周雪峰,方峰,蒋建清.冷却速度对高速钢M2C共晶碳化物的影响[J].铸造,2008,57(7):658-660.
- [5]肖志霞,李海鹏,何继宁.高速钢中共晶碳化物的研究进展[J].铸造,2017,66(10):1067-1072.
- [6]何曲波,刘海定,赵安中.9Cr18Mo轴承钢中碳化物控制的工艺实践[J].热加工工艺,2018,47(5):139-142.
- [7]常立忠,徐涛,苏云龙.不锈钢轴承钢真空制备过程洁净度及碳化物变化[J].钢铁,2022,网络首发.
- [8]高楚寒,葛思楠,李万明.高速钢碳化物偏析的研究现状[J].中国冶金,2019,29(5):1-5.