DOI:10.20057/j.1003-8620.2022-00124

退火工艺对高温轴承钢M50钢材晶粒度的影响

徐 亮,李 涛,马永强,周 琦,白平平
(抚顺特殊钢股份有限公司技术中心,抚顺113001)

摘 要:晶粒度大小是衡量M50轴承钢质量的重要指标,通过探讨退火工艺对M50钢晶粒度级别的影响,以期改善实际生产过程中高温轴承钢M50钢材晶粒粗大、混晶问题。试验结果表明,适当提高退火温度、延长保温时间不会对M50钢晶粒度级别造成不利影响。实际生产中进行验证,退火工艺由860 ℃下保温5 h变更为910 ℃下保温8 h,可以改善因炉温均匀性差造成的M50钢材晶粒粗大及混晶等问题。另外,验证了当退火保温后的冷却速度过快,容易造成成品轴承淬火晶粒粗大,在实际生产过程中应予以关注。

关键词:晶粒度;混晶;退火;温度;时间

Effect of Annealing Process on Grain Size of High Temperature Bearing Steel M50

Xu Liang, Li Tao, Ma Yongqiang, Zhou Qi, Bai Pingping
(Technology Center of Fushun Special Steel Co., Ltd., Fushun 113001)

Abstract: Grain size is an important index to measure the quality of M50 bearing steel. By discussing the effect of annealing process on the grain size of M50 steel, in order to improve the coarse grain size and mixed grain of high temperature bearing steel M50 in the actual production process. The test results show that the grain size of M50 steel is not affected by appropriately increasing the annealing temperature and extending the holding time. It has been verified in actual production that the annealing process is changed from holding heat at 860 ℃ for 5 h to holding heat at 910 ℃ for 8 h, which can improve the grain size and mixed crystal of M50 steel caused by insufficient uniformity of furnace temperature. In addition, it is verified that when the cooling rate is too fast after annealing and heat preservation, it is easy to cause coarse quenched grain of the finished bearing, which should be paid attention to in the actual production process.

Key Words: Grain Size; Mixed Grain; Annealing; Temperature; Time

M50钢除具有一般轴承钢的特性外,还具有较高的高温尺寸稳定性、高温硬度、高温接触疲劳性能等[1],多用于制作航空发动机轴承和其它耐高温轴承[2]。晶粒度是衡量M50钢材质量的一项重要指标。粗大晶粒会显著降低轴承的强度、塑性和韧性,缩短使用寿命。晶粒度具有较强的"遗传"特性[3],因此,保证M50钢材具有均匀细小的晶粒尤为重要。通过试验证明了不同退火工艺对晶粒度的影响,提出了改善M50钢晶粒粗大、混晶问题的措施,并验证了退火保温后的冷却速度对M50晶粒度的影响。

1 试验材料及方法

(1)试验材料M50钢主要化学成分见表1。

(2)试验材料的基本生产工艺:电弧炉(30 t)→精炼炉(30 t)→真空脱气炉(30 t)→模铸电极(Φ200 mm)→电渣重熔(Φ360 mm)→锻制开坯(120 mm方坯)→轧制成材(Φ35 mm)。

(3)通过采用不同的温度和保温时间对M50钢材进行退火处理,使用金相显微镜分析晶粒度情况,确定退火工艺对M50钢材晶粒度的影响。另外,试验提高退火温度、延长保温时间的工艺方法,是否可以改善因采用炉温均匀性差的退火炉造成晶粒粗大、混晶的问题。最后,针对退火保温后的冷却速度对成品轴承淬火后晶粒的影响进行试验研究。

2 试验结果与讨论

2.1 退火温度和保温时间对M50钢材晶粒度的影响

表1 试验材料M50的化学成分/%
Table 1 Chemical composition of test material M50/%

项目	C	Cr	Mo	V	Mn	Si	Ni
标准	0.75~0.85	3.75~4.25	4.00~4.50	0.90~1.10	≤0.35	≤0.35	≤0.20
实测	0.78	3.88	4.09	0.99	0.20	0.25	0.15

作者简介:徐 亮(1987-),男,工程师; **E-mail**:441238691@qq.com; **收稿日期**:2022-09-17

实际生产过程中制定合理的温度和时间对于M50钢材退火质量起着决定性的作用。因此,有必要针对不同退火温度对M50钢材关键质量指标晶粒度的影响进行研究。在试验开始前,需要先明确M50钢的相变温度点[4]: A_{c1}为730 ℃, A_{c3}为840 ℃。

2.1.1　退火温度对M50钢材晶粒度的影响

据实际生产经验,结合M50钢的相变温度点设计如下3种退火工艺:

(1)退火工艺T1:810 ℃下保温5 h-炉中≤30 ℃/h缓慢冷却至550 ℃-出炉空冷;

(2)退火工艺T2:860 ℃下保温5 h-炉中≤30 ℃/h缓慢冷却至550 ℃-出炉空冷;

(3)退火工艺T3:910 ℃下保温5 h-炉中≤30 ℃/h缓慢冷却至550 ℃-出炉空冷。

按照退火工艺T1 ~ T3对M50钢材进行退火处理,之后按照YB4105标准要求,在1 100 ℃[5]下淬火后检验晶粒度,试样编号分别为C1 ~ C3,高倍金相显微镜下100倍晶粒度视场如图1和图2。

通过图1可以看出,当退火温度低于完全相变温度点Ac_3时,退火态M50钢材淬火后存在粗大晶粒,3 ~ 7级晶粒同时存在,呈现混晶状态。通过图2可以看出,当退火温度高于Ac_3时,退火态M50钢材淬火后晶粒均匀、细小,整体评级为7级,未发现粗大晶粒,且在860 ℃和910 ℃下退火得到的晶粒度级别基本相同。

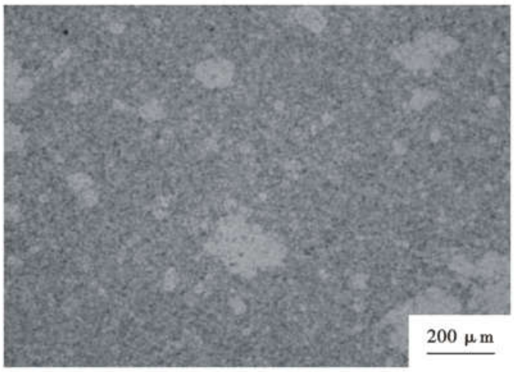

图1　试样C1退火后晶粒度视场
Fig. 1　Field of view of grain size of sample C1

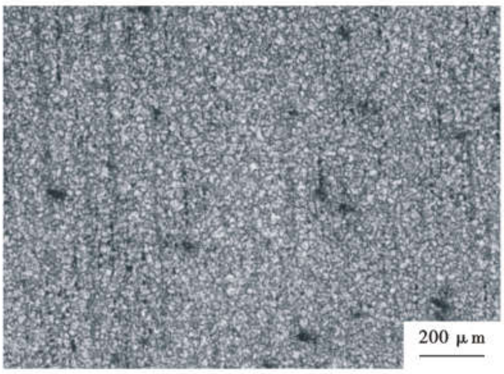

图2　试样C2-C3退火后晶粒度视场
Fig. 2　Field of view of grain size of sample C2 ~ C3

2.1.2　退火保温时间对M50钢材晶粒度的影响

设计如下3种退火工艺,相较于2.1.1退火工艺T1 ~ T3分别延长保温时间,并对比晶粒度检验结果。

(1)退火工艺T4:810 ℃下保温11 h-炉中≤30 ℃/h缓慢冷却至550 ℃-出炉空冷;

(2)退火工艺T5:860 ℃下保温11 h-炉中≤30 ℃/h缓慢冷却至550 ℃-出炉空冷;

(3)退火工艺T6:910 ℃下保温11 h-炉中≤30 ℃/h缓慢冷却至550 ℃-出炉空冷。

按照退火工艺T4 ~ T6对M50钢材进行退火处理,之后淬火检验晶粒度,试样编号分别为C4 ~ C6,高倍金相显微镜下100倍晶粒度视场如图3和图4。

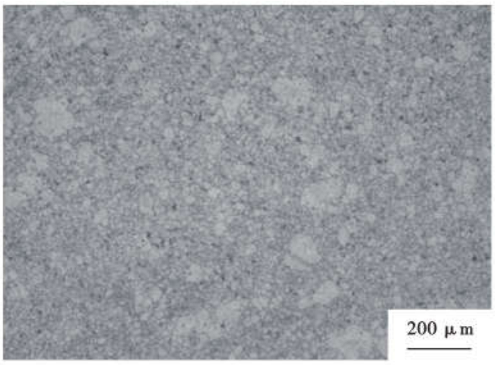

图3　试样C4退火后晶粒度视场
Fig. 3　Field of view of grain size of sample C4

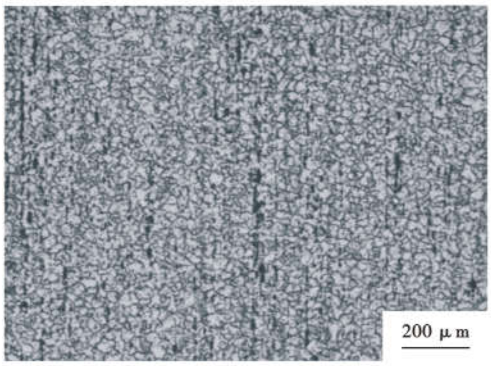

图4　试样C5-C6退火后晶粒度视场
Fig. 4　Field of view of grain size of sample C5 ~ C6

通过以上关于退火温度和保温时间的试验结果可以说明,当采用860 ℃和910 ℃的温度退火,退火

态 M50 钢材进行淬火处理后，可形成均匀、细小的晶粒度。主要是由于 860 ℃和 910 ℃已超过 M50 钢的完全相变温度点，发生完全相变。采用 810 ℃温度退火，M50 钢材淬火后存在粗大晶粒，呈现混晶状态，说明当退火温度低于 M50 钢的完全相变温度点，退火过程无法细化 M50 前部工序生产过程中产生的晶粒粗大。

对比以上关于退火温度和保温时间试验结果，可以看出，晶粒大小主要与退火温度有关，当退火温度相同时，延长保温时间，晶粒度整体情况未发生明显变化。

2.2 提高退火温度、延长保温时间改善 M50 钢材晶粒粗大、混晶问题

(1)钢厂在均匀性差的炉子中按 860 ℃下保温 5 h 退火的 M50 钢材出现严重的混晶问题，如图 5 所示。

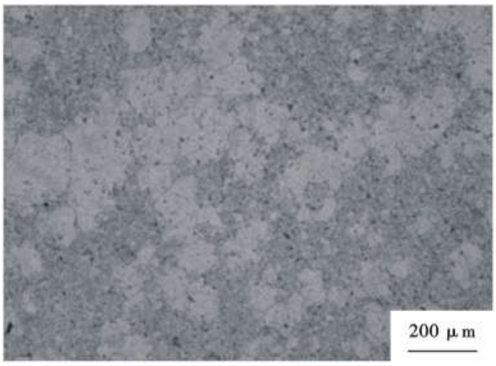

图 5　M50 钢生产中试样混晶视场
Fig. 5　Sample mixed grain field of view M50 grade production

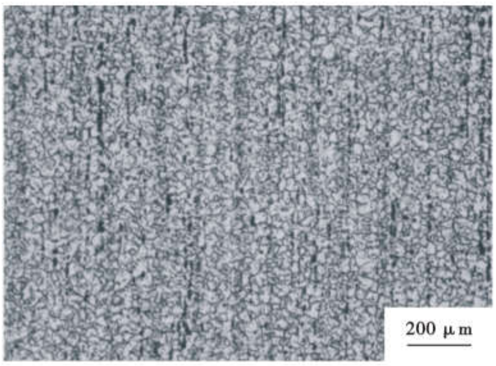

图 6　M50 钢 910 ℃ 8 h 试样晶粒度视场
Fig. 6　Field of view of sample grain size of M50 grade

(2)为改善混晶问题，在现有装备基础上，退火工艺优化为 910 ℃下保温 8 h，检验晶粒度情况如图 6，晶粒度为 7 级。

试验表明，通过提高退火温度、延长保温时间，可以弥补因采用炉温均匀性差的退火炉，生产 M50 钢材造成的晶粒粗大、混晶问题。

2.3 退火保温后的冷却速度对 M50 钢材实际晶粒度的影响

(1)通过以上的研究结果可以明确，当 M50 钢材在 860～910 ℃温度下保温 5 h，缓慢冷却至 550 ℃后出炉空冷，所得到的组织和晶粒度状态，在淬火处理后，晶粒度为 7 级，能够满足相关技术标准要求，没有发生晶粒粗大、混晶等问题。

(2)为研究 M50 钢材退火后的冷却速度对实际晶粒度的影响，因此，采用一种较为极端的冷却速度，试验选用晶粒度为 7 级的钢材试样 L1～L3，如图 7，采用 K1 工艺[860 ℃温度下保温 5 h，之后出炉空冷至室温(类似于正火工艺)]，同样在1 110 ℃温度下保温 20 min、油淬，混晶试样高倍金相显微镜下 100 倍晶粒度视场如图 8。

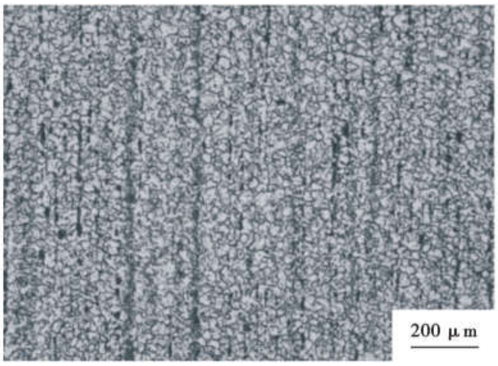

图 7　试样 L1～L3 的 7 级晶粒度视场
Fig. 7　Field of view of grade 7 grain size of L1～L3

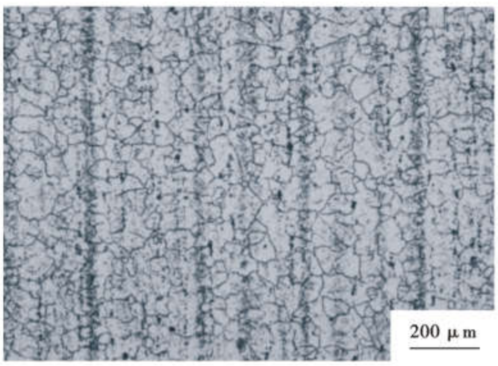

图 8　试样 L1～L3 退火后晶粒度视场
Fig. 8　Grain size of L1～L3 after annealing

(3)对比图 7 和图 8 的高倍金相显微镜下 100 倍晶粒度视场，可以看出，原本均匀、细小的晶粒，经过 K1 热处理工艺 + 淬火后，均出现粗化、长大现象，3～6 级的晶粒混合存在，混晶较为严重，且晶粒

形态和晶界分布极不规则。

综合上述试验结果,说明在 860 ℃和 910 ℃温度下保温后缓慢冷却,有利于非金属或金属化合物等第二相颗粒[7]的均匀分布,而第二相颗粒可以钉扎在晶界周围,阻碍晶粒长大,支撑了最终形成均匀、细小的7级晶粒;但若退火保温后 M50 钢材快速冷却,之后淬火会造成晶粒粗大的问题发生,主要原因是:一方面在炉内缓慢冷却的降温方式,可以保证材料内部能量的均匀扩散,残留的能量较少且分布相对均匀;而退火保温后,材料快速冷却的降温方式(类似空冷),使得残余在材料内部的能量较多且分布不均匀,在随后的淬火加热过程中,含有不同能量的晶粒长大情况不同,能量大更易自行长大或吞并周围能量小的晶粒,最终成为大晶粒。另一方面,退火保温后,缓慢冷却形成的是平衡态组织[8],而快速冷却形成的是非平衡态组织,在随后的淬火过程中,平衡态组织更易形成晶粒分布均匀且细小的晶粒度状态,而非平衡态组织易造成晶粒的不同长大效果,形成混晶的晶粒度状态。

因此,上述冷却速度的实验结果对于工业生产 M50 钢材的意义重大,在设计原材料热处理工艺时,除了要关注常规的退火温度和时间外,同样要关注退火降温方式和实际执行效果,避免因降温过快,造成成品轴承淬火后出现混晶问题。

3　结论

(1)当退火温度已超过 M50 钢完全相变温度点后,小幅度提高退火温度不会进一步提升晶粒度级别。当退火保温时间已足够满足 M50 钢所有晶粒完成重组、第二相颗粒完成均匀分布后,继续延长保温时间不会进一步提升晶粒度级别。

(2)当 M50 钢材退火效果不理想时,极易造成成品轴承淬火后晶粒粗大、混晶问题。但通过提高退火温度、延长保温时间,可以弥补退火炉炉温均匀性差的问题,进而改善 M50 钢材混晶问题。

(3)当 M50 钢退火保温完成后,冷却速度对钢材淬火后的晶粒有直接影响,冷却速度过快容易造成淬火后晶粒粗大。

参考文献

[1]吴毅恒,陈瑞川,钱东升,等. Cr4Mo4V 轴承钢在不同温度下的磨擦磨损行为研究[J]. 材料保护,2020,53(6):1-11.
[2]杨培基,吴运榜. Cr4Mo4V 高温轴承钢热处理工艺及性能的研究[J]. 特殊钢,1980,1(2):64-81
[3]刘秀莲,班　君,罗　燕,等. 消除 8Cr4Mo4V 钢"混晶"试验研究[J]. 热加工工艺,2018,47(14):165-168.
[4]高温轴承钢(M50)热处理试验小结[J]. 轴承,1977,(4)5-17.
[5]刘昌运. Cr4Mo4V 钢高温轴承真空淬火晶粒粗化原因初探[J]. 金属热处理,1988,(6):41-44.
[6]高元安,叶健熠,王智勇,等. M50 钢球淬火产生混晶组织的原因与消除措施[J]. 轴承,2013,(10):40-41,55.
[7]黄友阳,周默容. 高温轴承钢(M50)碳化物相的研究[J]. 轴承,1980,(4):33-40.
[8]杨培基,吴运榜. Cr4Mo4V 高温轴承钢的研究[J]. 轴承,1981(1):31-41,68.