

热挤压对喷射成形 GCr15 轴承钢组织和性能的影响

李 荣, 杜新玲, 郭 江

(济源职业技术学院冶金化工系, 河南 济源 459000)

摘要:采用喷射成形工艺制备了 GCr15 轴承钢, 研究了热挤压工艺对喷射成形 GCr15 的显微组织和力学性能的影响。结果表明, 喷射成形 GCr15 轴承钢得到的组织是等轴晶粒和细小的碳化物, 基体中不存在枝晶偏析; GCr15 沉积坯经过热挤压致密化后, 改善了 GCr15 钢的显微疏松的缺陷, 合金力学性能显著提高; 当温度达到 650℃ 时弹性模量达到最大值 6520 GPa, 表明热挤压工艺可有效消除疏松缺陷, 从而充分发挥喷射沉积工艺的优越性。

关键词:喷射成形; GCr15 轴承钢; 显微组织; 热挤压; 弹性模量

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2017.03.023

中图分类号: TD989; TF533.2 文献标志码: A 文章编号: 1000-6532(2017)03-0111-03

90 年代后, 喷射成形技术得到快速发展。与传统的铸造工艺相比, 喷射成形工艺制备的材料元素固溶度大、晶粒细小、组织均匀、偏析程度小^[1]。但是喷射沉积快速凝固工艺也不可避免地造成了锭坯组织中存在显微疏松、夹杂冷粉和气孔等不致密性缺陷, 通常喷射成形制备的锭坯中孔隙率在 1% ~ 5% 之间^[1-3]。孔隙作为一种组织缺陷, 使得晶粒之间的结合力明显降低, 容易作为裂纹源或成为裂纹的扩展路径。而这些显微疏松缺陷的存在易引起强烈的应力集中, 减小材料的有效承载面积从而降低材料的力学性能^[4]。

因此, 喷射成形 GCr15 轴承钢要想达到理想的

力学性能和满足实际使用要求, 充分发挥喷射沉积合金的优势, 后续的锭坯致密化(如热挤压加工)就显得十分必要。目前实际使用的致密化工艺有热等静压、热压、真空热压和热挤压^[5]。

本文首先利用喷射成形设备制备了 GCr15 轴承钢, 再对 GCr15 钢进行热压缩, 根据热压缩后的组织和性能分析找出最佳热压缩工艺参数。

1 试验材料和方法

本试验材料为 GCr15 轴承钢, 喷射成形试样是在上海宝钢前沿技术研究所自行设计、制造的喷射成形设备上试验制取的, 其主要化学成分见表 1。

表 1 GCr15 钢的化学成分/%

Table 1 Chemical composition of steel GCr15

合金元素	C	Si	Mn	Cr	Ni	P	S
喷射成形	1.01	0.23	0.29	1.48	≤0.30	≤0.027	≤0.02
YB9-68	0.95-1.05	0.15-0.35	0.20-0.40	1.30-1.65	≤0.30	≤0.027	≤0.02

将喷射成形制备的 GCr15 沉积坯试样加工成 Φ10 mm×15 mm, 放到 Gleeble-1500D 仪器上做热压缩实验, 其试验过程见表 2。

表 2 热挤压参数

Table 2 Parameters of hot-extrusion

试样	过程 1	过程 2	过程 3	过程 4
温度/℃	300	600	850	1200
保温时间/min	2	2	2	5
压缩长度/mm	0.2	0.2	0.2	0.4

收稿日期: 2016-03-25; 改回日期: 2016-04-11

基金项目: 河南省高等学校青年骨干教师资助计划项目(2015GGJS-277)

作者简介: 李荣(1980-), 女, 副教授, 硕士研究生。

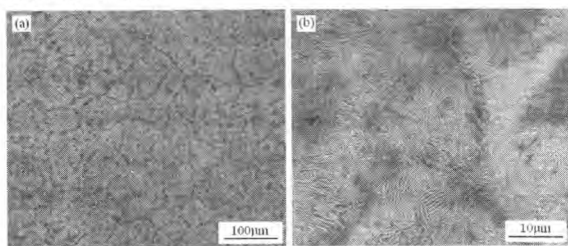
2 试验结果及分析

2.1 微观组织分析

2.1.1 喷射成形 GCr15 钢的组织分析

图 1 为喷射成形 GCr15 钢的显微组织照片,可以看出喷射成形 GCr15 钢的组织由等轴晶粒(枝晶在三维空间均衡发展,各方向上的一次轴近似相等的晶粒)和细小的碳化物组成。随着晶粒尺寸的降低,合金渗碳体网络变得细小弥散。在喷射试样的显微组织的晶内组织中,白色片层为铁素体,黑色片层为渗碳体,晶界上条状物为合金碳化物。采用定量微分析方法测得珠光体平均片距为 85 nm,而且全部为细密的珠光体,珠光体团的尺寸在 10 μm 以内,其中碳化物片的厚度在 0.1 μm 以内,晶粒度为 80 ~ 120 μm 。

由图 1(b)还可看出,由于喷射成形过程的细化作用,喷射态合金中 Cr 元素分布的均匀性明显优于铸态合金,有效地减少合金元素的偏析程度。因此采用喷射成形技术可以细化合金的组织、降低合金元素的偏析程度,可以得到显微组织明显优于常规工艺的轴承钢。



(a) 等轴晶 (b) 单个晶粒

图 1 喷射成形 GCr15 钢的显微组织

Fig. 1 Microstructure of the sprayed steel GCr15

2.1.2 热压缩后的组织分析

喷射成形 GCr15 钢经过 Gleeble-1500D 热挤压后的沉积坯的扫描电镜照片见图 2。从图 2 可以看出,经过热挤压后,喷射成形形成的等轴晶破碎,热压缩后的组织明显致密化,且第二相分布更加均匀,整体上孔隙基本消除。产生这种现象的原因主要是:①奥氏体化温度高,保温时间短,奥氏体晶粒细小;②试样的塑性变形量较大,从高温冷却时发生再结晶,使晶粒进一步变小。

从图 2 中还可以看出热压缩试样很难腐蚀,一般钢种用 4% 硝酸酒精腐蚀 10 s 左右就能看到明显

的组织,而对热压缩试样用将近 8% 的硝酸酒精腐蚀了半个小时,最后也没腐蚀出来组织,只能看到明显的沿晶界断裂,并且还发现中心部位比周围部位更难腐蚀,并且挤压后的制品晶粒被拉长,存在于晶粒间的金属化合物沿挤压方向被拉长,挤压时气泡沿晶界析出。

喷射成形试样组织结构不够致密,内部存在大量弥散分布的疏松,原则上可以通过冷压缩或热压缩手段减少、消除其内部疏松。然而,从本实验可以看出,对喷射成形 GCr15 钢,冷压缩并不能消除气孔、疏松,反而产生晶界的开裂问题。对于喷射成形高碳高铬钢,应采用热压缩试验减少疏松,并根据钢种的不同确定压缩过程的升温速度和压缩温度。

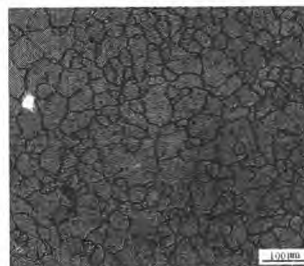


图 2 热压缩处理后的 GCr15 钢微观组织

Fig. 2 Microstructure of GCr15 steel after hot-extrusion

2.2 喷射成形 GCr15 钢的力学性能分析

试样在 300℃、600℃、850℃ 时都压缩 2 mm,而在 1200℃ 时压缩了 5.4 mm,在这个过程中还测得喷射沉积 GCr15 钢应力-应变曲线见图 3。从图 3 中可求得各个压缩阶段的弹性模量,得出弹性模量随温度变化曲线见图 4。试样在升温到 100℃ 之前,其弹性模量保持在 200 GPa 和 300 GPa 之间变化。随着温度的升高,弹性模量逐渐增加,当温度达到 650℃ 时达到最大值。压缩过程前三次测得的弹性模量分别为 6520 GPa、5764 GPa、4532 GPa。当温度大于 650℃,随着温度的升高沉积坯的弹性模量逐渐降低,在 850℃ 时弹性模量较 650℃ 时有较大的降低,而 1200℃ 时弹性模量更小,基本上已回复到了常温的弹性模量值。这主要是因为升温到 650℃ 左右时,达到了 GCr15 钢的回复再结晶温度,晶粒开始长大,在此温度阶段碳化物状态发生了改变。在 850℃ 时,组织中出现了部分奥氏体,而在 1200℃ 时完全奥氏体化,其弹性模量更小^[2]。由此得出,该喷射成形试样在温度低于 650℃ 进行热挤压时,

随着温度的升高,变形越小,刚度越大。

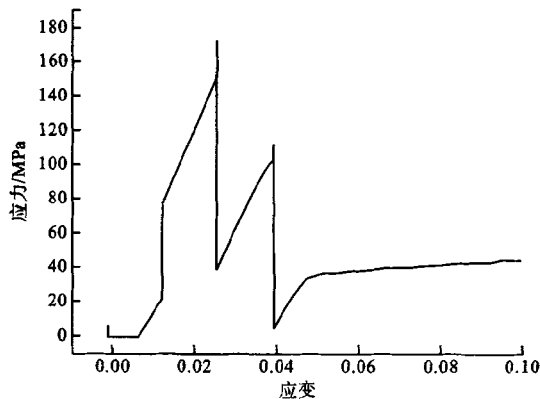


图3 热挤压的应力应变曲线

Fig. 3 Stress-strain curve of GCr15 steel after hot-extrusion

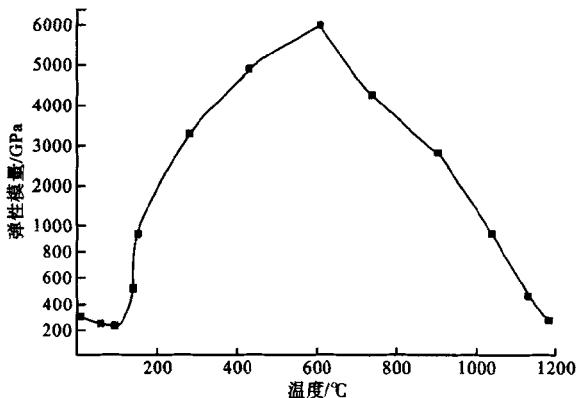


图4 弹性模量随温度变化曲线

Fig. 4 Elastic modulus at different temperatures

3 结 论

(1) 喷射成形 GCr15 钢的组织是均匀细小的等轴晶,不存在枝晶组织。它的高倍显微镜观察下的显微组织是极其细小的片状珠光体组织,而且片状组织各个方向分布均匀,在晶界处,不连续分布着条带状或粒状碳化物,改善了铸态下网状的二次渗碳体结构。

(2) GCr15 钢喷射成形锭坯经过热挤压后,喷射成形形成的等轴晶破碎,热压缩后的组织明显致密化,且第二相分布更加均匀,整体上孔隙基本消除。

(3) 通过样品的微观组织及力学性能分析得出:热压缩过程中,随着试样加热温度的增大,沉积坯的弹性模量逐渐升高,到 650°C 出现最大值,试样的刚度最好。然后随着温度的升高逐渐降低,到 1200°C 时基本回复到常温条件下的弹性模量值。

参考文献:

- [1] 廖开举,汪明朴,虞红春,等. 热挤压对喷射沉积 7055 铝合金显微组织和力学性能的影响[J]. 粉末冶金材料科学与工程,2015,20(5):802-806
- [2] 王盘鑫,粉末冶金学[M]. 北京:冶金工业出版社,1998.
- [3] 李正邦,钢铁冶金前沿技术[M]. 北京:冶金工业出版社,1997.
- [4] 韩翠珍,张胤,王刚,喷射沉积 GCr15 合金致密化研究[J]. 过程工程学报,2010,10(1):13-17
- [5] 樊伟,王科社,查初亮,高性能 GCr15 钢滚珠丝杠的热加工工艺[J]. 金属热处理,2014,39(12):55-57.

Effect of Hot Extrusion on Microstructure and Mechanical Properties of Spray Formed GCr15 Bearing Steel

Li Rong, Du Xinling, Guo Jiang

(Jiyuan Vocational and Technical College Department of Metallurgical and Chemical Engineering, Jiyuan, Henan, China)

Abstract: The GCr15 bearing steel was prepared by spray forming technology. The initial microstructure and the effects of subsequent hot extrusion on the microstructures and mechanical properties of the GCr15 bearing steel were studied. The results show that the structure of spray formed GCr15 bearing steel is equiaxed grain and homogeneous structure and there is no dendrite segregation structure; Due to the characteristics of spray deposition process, there are a large number of micro-porosity defects in the alloy matrix. When the temperature reaches 650°C, the elastic modulus of GCr15 steel after hot extrusion rises to 6520 GPa, which indicates that hot extrusion process can effectively eliminate the porosity defect.

Keywords: Spray forming; GCr15 bearing steel; Microstructure; Hot extrusion; Elastic modulus