

GH3230 高温合金氩弧焊接接头的组织与高温性能

张冬旭¹, 刘大顺¹, 朱西平¹, 温志勋¹, 岳珠峰¹, 陆波²

(1. 西北工业大学工程力学系 先进材料测试中心, 西安 710129; 2. 中国航空动力机械研究所, 株洲 412002)

摘要: 通过扫描电镜、高温拉伸试验机和高温蠕变试验机等对 GH3230 高温合金钨极氩弧焊接接头的显微组织和高温性能进行了研究。结果表明: 焊缝组织主要由平衡凝固 γ -FeCrNiC 镍基固溶体、少量的颗粒状 γ' -Ni₃Al 和 MC 碳化物组成, 呈等轴树枝状; 热影响区的组织与母材的相当, 但晶粒更粗大; 焊接接头具有良好的高温性能, 其在 927 °C 下的高温抗拉强度为 244 MPa, 与母材的相当, 在 927 °C 和 62 MPa 下的高温蠕变寿命为 38.82 h, 高于母材的; 高温拉伸和高温蠕变试验后的接头断口形貌与母材的基本一致, 分别为韧窝型和沿晶断裂。

关键词: GH3230 高温合金; 氩弧焊; 高温蠕变

中图分类号: TG457.19

文献标志码: A

文章编号: 1000-3738(2013)012-0035-03

High-Temperature Properties and Microstructure of Argon-Arc Welded Joint of GH3230 Superalloy

ZHANG Dong-xu¹, LIU Da-shun¹, ZHU Xi-ping¹, WEN Zhi-xun¹, YUE Zhu-feng¹, LU Bo²

(1. Advanced Materials Test Center, Department of Engineering Mechanics,
Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China;

2. China Aviation Powerplant Research Institute, Zhuzhou 412002, China)

Abstract: The high temperature properties and microstructure of GH3230 alloy argon arc welded joint were investigated by SEM, high temperature tensile test and high temperature creep test. The results indicate that the equiaxial dendritic microstructure of welded seam was made up of equilibrium frozen Ni based solid solution, γ -FeCrNiC, a little bit granular carbides, γ' -Ni₃Al and MC. The microstructure in heat affected zone was the same as in the base metal, but grains in heat affected zone was bigger than in the base metal. The joint exhibited good high temperature properties with a tensile strength of 244 MPa at 927 °C, as same as the base metal, and a creep life of 38.82 h at 927 °C and 62 MPa which was higher than the base metal. The fracture morphology of welded joints after high temperature tensile test and creep test were basically identical which were dimple and intergranular fracture, respectively.

Key words: GH3230 superalloy; argon-arc welding; high temperature creep

0 引言

GH3230 高温合金是我国新研制的一种镍基变形高温合金, 其化学成分简单, 具有高强度、可焊接、抗氧化等特点, 主要用于制造发动机燃烧室的混合

器。1956 年, 我国研制成功了用于航空涡轮发动机燃烧室和加力燃烧室的第一种高温合金 GH3030, 随着我国航空发动机的发展, 对其高温力学性能的要求也逐步提高。GH3230 高温合金是在 GH3030 合金的基础上, 加入了较多的钨进行固溶强化发展来的, 具有更高的使用温度和更好的高温力学性能。

在航空工业中, 高温合金主要用于涡轮发动机的高温构件, 如燃烧室、涡轮盘和叶片、机匣、扩散器和加力燃烧室等, 服役状态下这些构件通常出现高温拉伸和高温蠕变破坏, 而这些破坏经常是构件断裂失效的主要原因^[1]。这类高温构件经常需要采用

收稿日期: 2012-11-09; 修订日期: 2013-09-26

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50905143); 陕西省自然科学研究计划项目(2010JQ1001); 研究生种子基金资助项目(Z2012065)

作者简介: 张冬旭(1987—), 男, 陕西西安人, 硕士研究生。

导师: 岳珠峰教授

各种不同的焊接工艺进行连接^[2],不同工艺的焊接接头其高温力学性能也会不同,国内外研究学者也对此进行了相关研究^[3-4],但是 GH3230 高温合金在这方面的研究几乎没有,缺乏相应的基本性能参数。因此,作者采用钨极氩弧焊对 GH3230 高温合金进行焊接,并研究了焊接接头的显微组织和高温性能。

1 试样制备与试验方法

试验材料为冷轧并经标准固溶热处理的 GH3230 高温合金板材,其化学成分如表 1 所示,板厚为 0.8 mm。焊接用焊丝为 HGH3230 专用焊丝,直径为 2.0~2.5 mm。采用钨极氩弧焊进行焊接,钨极直径为 2.0~2.5 mm,焊接电流为 80~90 A,保护气体(氩气)流量为 12~15 L·min⁻¹。

表 1 GH3230 高温合金的化学成分(质量分数)

**Tab. 1 Chemical composition of
GH3230 superalloy (mass)**

C	Cr	Mn	Co	Ni	Mo	W	O	Al
3.34	21.15	0.99	1.05	56.78	1.80	14.89	—	—

焊后接头进行固溶热处理:真空(1.5×10^3 Pa)中($1\ 120 \pm 10$) $^{\circ}\text{C}$ 下保温 10~15 min,然后空冷。最后进行冲压校形。

带焊缝的高温拉伸试样、高温蠕变试样的形状及尺寸一致,如图 1 所示。另对母材也进行了同样的高温试验,试样的形状及尺寸与带焊缝的试样相同。

按航空标准 HB 5195—1996《金属高温拉伸试验方法》在 CSS-2910 型拉伸蠕变试验机上对焊接

表 2 GH3230 高温合金氩弧焊接接头的高温性能

Tab. 2 High temperature properties of GH3230 superalloy argon arc welded joint

试样	高温拉伸性能				高温蠕变性能		
	抗拉强度	规定非比例	断后伸长率	断面收缩率	拉断	蠕变寿命	断裂
	/MPa	延伸强度/MPa	/%	/%	部位	/h	部位
母材	258	219	53.6	67.5	母材	33.5	母材
接头	244	201	40.2	51.9	焊缝	38.8	热影响区

2.2 断口形貌

试验发现 GH3230 高温合金母材及氩弧焊接接头试样在高温拉伸及高温蠕变时均有颈缩现象, 并且母材的颈缩现象更为明显。表 2 中数据也反映了这一点, 母材和焊接接头的断面收缩率均大于断

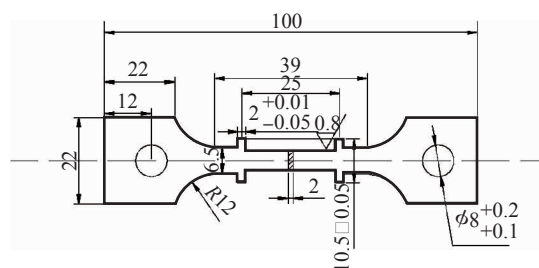


图 1 带焊缝平板试样形状及尺寸

Fig. 1 The geometric shape and dimension of plate specimen with welding seam

接头和母材进行高温拉伸试验,焊缝位于试样中间,试验温度为 927 ℃。按航空标准 HB 5151—1996《金属高温拉伸蠕变试验方法》在 CSS-2910 型拉伸蠕变试验机上对焊接接头进行高温蠕变试验,焊缝位于试样中间,试验温度为 927 ℃,应力为 62 MPa。以上测试结果均取 6 次平均值。

采用日立 S-570 型扫描电镜(SEM)观察拉伸断口的形貌;采用 JSM-6360LV 型光学显微镜观察焊接接头的显微组织,所用腐蚀剂为 HCl 、 HNO_3 、 H_2O 体积比为 10 : 1 : 10 的溶液。

2 试验结果与讨论

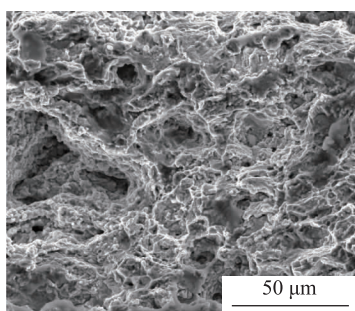
2.1 高温性能

从表 2 中可以看出, GH3230 高温合金氩弧焊接接头的高温抗拉强度略低于母材的, 断后伸长率和断面收缩率虽然比母材的低, 但仍较高。GH3230 高温合金氩弧焊接接头在高温下的蠕变寿命略高于母材的, 约为同等条件下母材的 116%。

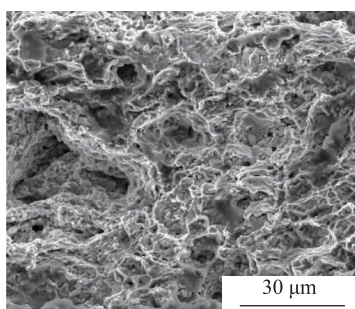
高温蠕变试样的断裂位置位于近熔合区的热影响区,这说明焊接接头的强度与母材的相近。

后伸长率,说明母材和焊接接头在高温拉伸中均有颈缩现象^[5]。

从图 2 中可以看出,GH3230 高温合金氩弧焊接接头的高温拉伸试样断口形貌与母材的基本相同,都为深切窝,属韧性断裂。



(a) 母材



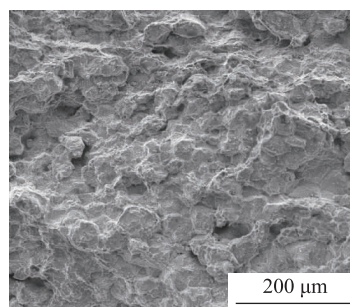
(b) 焊接接头

图2 GH3230 高温合金试样高温拉伸断口的 SEM 形貌
Fig. 2 SEM morphology of high temperature tensile fracture of GH3230 superalloy: (a) base metal and (b) welded joint

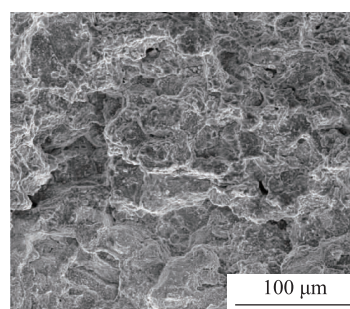
从图3中可以看出, GH3230 高温合金氩弧焊接接头的高温蠕变试样断口形貌与母材的也基本相同, 均为沿晶断裂; 在断口上还可以看到少量微孔洞。Hopgood^[6]等认为, 在没有脆性共晶和局部区域初熔的情况下, 微孔洞可成为最有效的裂纹源。故在蠕变后期, 这些微孔洞是主要的裂纹源, 并伴随着沿晶扩展导致合金最终断裂。

2.3 显微组织

由图4可见, 接头的母材由基体相(γ 相)及强化相(γ' 相和 γ'' 相)组成。 γ'' -Ni₃Nb相为主要的强化相, 其为有序体四方结构, 呈球状弥散析出^[7]; 焊



(a) 母材



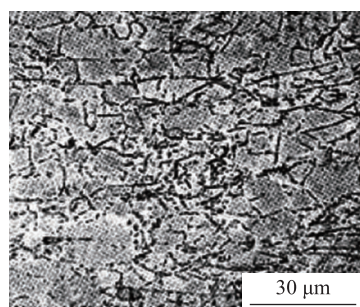
(b) 焊接接头

图3 GH3230 高温合金试样高温蠕变断口 SEM 形貌
Fig. 3 SEM morphology of high temperature creep fracture of GH3230 superalloy: (a) base metal and (b) welded joint

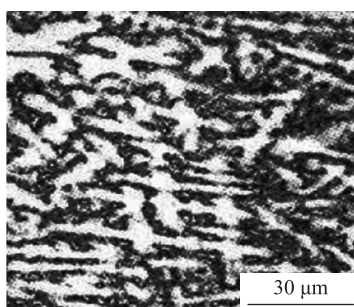
缝主要由平衡凝固 γ' -FeCrNiC镍基固溶体、少量的颗粒状 γ' -Ni₃Al和MC碳化物组成, 并呈等轴树枝状; 熔合区组织为奥氏体, 左侧为焊缝, 呈树枝状, 右侧为焊接热影响区, 可以看出晶粒明显过热长大, 这是高温蠕变过程中热影响区断裂的主要原因。

3 结 论

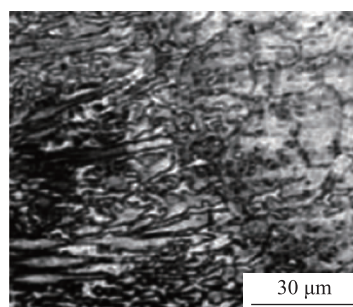
(1) GH3230 高温合金氩弧焊接接头在 927 °C 下的抗拉强度为 244 MPa, 与母材的相当, 且它们的塑性也较接近; 母材与接头的高温拉伸断口均为深韧窝形貌。



(a) 母材区



(b) 焊缝区



(c) 熔合区

图4 固溶处理后 GH3230 高温合金氩弧焊焊接接头的显微组织

Fig. 4 Microstructure of GH3230 superalloy argon arc welded joint: (a) base metal zone; (b) welded seam zone and (c) fusion zone

(下转第 41 页)

层之间的粘着效应引起的剪切断裂的结果,材料迁移并不明显,表明涂层磨损以粘着磨损机理为主,处于轻微粘着磨损。

PCPS 与传统软质层状结构固体润滑材料如石墨、二硫化钼等不同,它是一种呈圆球形、内部高度交联的硬质聚磷腈衍生物,具有较高的强度,在涂层中以点接触实现高承载,使得粘着摩擦阻力减小,同时提供抗粘着磨损功效,从而降低磨损。另一方面 PCPS 微球的填充对环氧树脂基体起到增强作用,提高了涂层抗塑性变形的能力,使钢环摩擦副与环氧树脂之间的粘着作用减弱,起到减摩耐磨的效果。此外,PCPS 微球规则的圆球外形和较高的强度在摩擦初期充当了类似“滚动体”的角色,一定程度上发挥了减摩作用。

3 结 论

(1) 以六氯环三磷腈为原料合成得到粒径为 493 nm、大小均匀、呈圆球规则形状的非晶状聚环三磷腈-砷微球,其对环氧树脂填充量不超过 3 % (质量分数)时分散均匀,未见团聚。

(2) 聚环三磷腈-砷微球使环氧树脂涂层的摩擦因数和磨损量均显著降低,并随 PCPS 含量的增多呈先降低后略微增大的规律;PCPS 质量分数为 3 % 时,复合涂层的摩擦因数最低,约为 0.37,比纯环氧树脂涂层降低近一半,磨损量也最低,达 $1.8 \times 10^{-6} \text{ mm}^3$,仅为纯环氧树脂涂层的 40%。

(3) 聚环三磷腈-砷微球/环氧树脂复合涂层的滑动磨损以粘着磨损机理为主。

(上接第 37 页)

(2) GH3230 高温合金氩弧焊接接头在 927 °C 和 62 MPa 下的高温蠕变寿命为 38.82 h,略长于母材的,试样断裂于热影响区,断口形貌均为沿晶断裂;蠕变过程中产生的微孔洞为主要的裂纹源。

(3) 焊缝主要由平衡凝固 γ -FeCrNiC 镍基固溶体、少量的颗粒状 γ' -Ni₃Al 和 MC 碳化物组成,呈等轴树枝状;热影响区的组织与母材的相当,但晶粒更粗大。

参考文献:

- [1] HYDE T H, XIA L, BECKER A A. Prediction of creep failure in aeroenging materials under multi-axial stress states[J]. International Journal of Mechanical Sciences, 1996, 38(4): 385-403.
- [2] HYDE T H, BECKER A A, SONG Y, *et al.* Failure estima-

参考文献:

- [1] YU S, HU H X, MA J, *et al.* Tribological properties of epoxy/rubber nanocomposites[J]. Tribology International, 2008, 41: 1205-1211.
- [2] ALAMRI H, LOW L M. Effect of water absorption on the mechanical properties of nano-filler reinforced epoxy nanocomposites[J]. Materials and Design, 2012, 42: 214-222.
- [3] SAPONARA V L. Environmental and chemical degradation of carbon/epoxy and structural adhesive for aerospace applications: Fickian and anomalous diffusion, arrhenius kinetics[J]. Composite Structures, 2011, 93: 2180-2195.
- [4] PAN G L, GUO Q, DING J, *et al.* Tribological behaviors of graphite/epoxy two-phase composite coatings[J]. Tribology International, 2010, 43(8): 1318-1325.
- [5] KOLICH C H, KLOBUCAR W D. Mixed eaters of polyphosphazenes; USA, US 4698436[P]. 1987-10-06.
- [6] ZHANG S G, GUO Q, ZHAI W K, *et al.* Tribological behaviors of epoxy/hexaphenoxycyclophosphazene composites under dry sliding condition[J]. Materials Performance, 2013, 52(4): 58-61.
- [7] 孙金亮, 张经毅, 郭强, 等. 高温高残留聚环三磷腈-芳酰胺材料的合成与热性能[J]. 机械工程材料, 2012, 36(10): 74-76.
- [8] ZHAO Z P, Q GUO, LI X, *et al.* Synthesis and thermal degradation characterization of novel poly(phosphazene-aryl amides) [J]. Express Polymer Letter, 2012, 6(4): 308-317.
- [9] COSUT B, DURMUS M, SYNTHESIS A K, *et al.* thermal and photophysical properties of phenoxy-substituted dendrimeric cyclic phosphazenes[J]. Inorganica Chimica Acta, 2011, 366: 161-164.
- [10] 刘海彬, 郭强, 米雪, 等. 氧化程度对氧化石墨改性环氧树脂涂层摩擦学性能影响[J]. 理化检验-物理分册, 2013, 49(11): 715-719.

tion of TIG butt-welded Inco718 sheets at 620 °C under creep and plasticity conditions[J]. Computational Materials Science, 2006, 35(1): 35-41.

- [3] 周海, 丁成钢, 胡飞, 等. 不同电流下 AZ31 镁合金交流钨极氩弧焊焊接接头的显微组织与力学性能[J]. 机械工程材料, 2011, 35(5): 47-54.
- [4] MUNITZ A, COTLER C, STERN A, *et al.* Mechanical properties and microstructure of gas tungsten arc welded magnesium AZ91D plates[J]. Materials Science and Engineering: A, 2001, 302: 68-73.
- [5] 尹丽香. TC4 钛合金电子束焊接接头高温性能与组织[J]. 焊接学报, 2007, 28(10): 49-52.
- [6] HOPGOOD A A, MARTIN J W. The creep behaviour of a nickel-based single crystal superalloy[J]. Materials Science and Engineering: A, 1986, 82: 27-36.
- [7] 《中国航空手册》编辑委员会. 中国航空材料手册[M]. 北京: 中国标准出版社, 2002.