K418 与 42CrMo 异种金属激光焊接接头组织演变规律*

庞　铭[1], 谭建松[1], 王建平[1], 吴　波[1], 解志民[1], 郑彩云[2]
(1. 中国北方发动机研究所分所, 河北 廊坊 065000; 2. 中国科学院 力学研究所, 北京 100190)

摘　要: 研究了额定功率为 3kW 的 Nb: YAG 激光焊接 K418 与 42CrMo 异种金属, 通过光学显微镜(OM)、扫描电镜(SEM)、透射电镜(TEM)、能谱仪(EDS)分析了焊缝接头组织和成分。结果表明, 焊缝与母材交界组织为具有一定方向的枝晶组织, 焊缝中心为等轴晶。由于激光焊接熔池的非平衡凝固, 焊缝枝晶间弥散分布着颗粒状的 Laves 相、针状的 MC 碳化物和 8 字形的 γ′。Laves 相具有熔点低、硬和脆的特点, 在焊缝区域常成为裂纹萌生和扩展的地方。为了提高焊缝的力学性能, 需要优化工艺参数, 抑制 Laves 的形成。

关键词:　激光焊接; K418; 42CrMo; 组织
中图分类号:　TG 456.7　　文献标识码: A
文章编号: 1001-9731(2009) 增刊-0355-03

1　引　言

涡轮增压器转子的焊接是发动机制造的一项关键技术, 而涡轮增压器转子一般是由镍基铸造高温合金 K418 涡轮盘与合金调质钢 42CrMo 涡轮轴焊接而成, 二者的热物理性能、高温力学性能差异很大, 属于典型的异种金属焊接[1~3]。目前成熟的焊接方法是摩擦焊焊接, 但摩擦焊焊接接头需要第二次加工, 且在熔合线附近易形成缺陷, 合格率较低[4]。由于目前焊接方法的不足, 本文作者探索性的采用激光焊接这两种金属。

激光焊接具有功率密度高、焊接速度快、焊缝变形小等优点, 适合焊接传统工艺难焊接的同种或异种金属[5~7]。本文研究了激光焊接 K418 与 42CrMo 异种金属激光焊接接头组织演变规律, 为激光焊接这两种金属工艺参数优化提供理论指导。

2　实　验

材料为镍基铸造高温合金 K418 与合金钢 42CrMo, 其化学成分见表 1 和 2。实验设备采用连续波 Nb: YAG 固体激光器, 额定输出功率 3 kW, 光束模式多模, 聚焦镜镜头焦距 200 mm。侧吹保护气体为高纯度的 Ar 气, 侧吹保护气角度 35°, 侧吹保护气吹气方向和焊接方向相反。K418 与 42CrMo 采用对接, 中间不留间隙, 连续激光焊接, 焊前用丙酮对试样清洗。选用厚度为 5mm 的 K418 和 42CrMo 异种金属, 激光焊接参数为激光功率 3kW、焊接速度 35mm/s、离焦量 - 1mm。

焊后通过线切割切取焊缝横截面, 机械抛光后, 使用王水腐蚀焊缝和 K418, 使用硝酸酒精腐蚀 42CrMo。通过光学显微镜(OM)、扫描电镜(SEM)、透射电镜(TEM)、X 衍射仪(XRD)分析焊缝区域组织和成分。

3　结果与讨论

图 1、2 为焊缝与 K418 和 42CrMo 交界的组织。

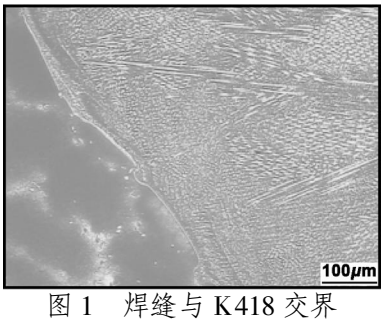

图 1　焊缝与 K418 交界

Fig 1 Interface between weld seam and K418

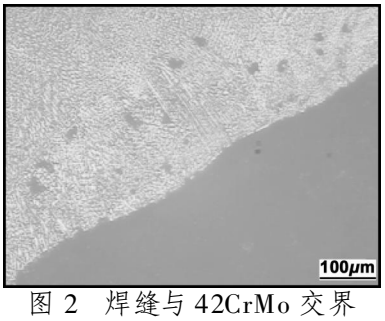

图 2　焊缝与 42CrMo 交界

Fig 2 Interface of weld seam and 42CrMo

从图 1 和 2 可以看出, 焊缝与 K418 和 42CrMo 交界组织为具有一定方向的枝晶组织; 从图 3 可看出焊缝中心组织为等轴晶。由凝固理论可知, 焊缝区的显微组织与结晶方向的温度梯度 G 和结晶前沿的晶粒生成速度或凝固速度 R 之比有关。由于焊接熔池的过冷度与结晶参数(G/R)成反比, 在焊接熔池与母材的交界处, 与凝固速度相比, 高的温度梯度占优势, 使结晶参数值变大, 形成与散热方向相反的枝晶组织; 在焊接熔池中心, 温度梯度降低, 散热失去了明显的方向性, 晶核在液体中可以自由生长, 在各个方向上的长大速度差不多相等, 因此形成了焊缝中心的等轴晶。

在扫描电镜下观察到枝晶间弥散分布着颗粒状物和针状物, 如图 4 所示。

表 1 是对图 4 枝晶核和颗粒状及针状物的能谱对比分析。

* 收到稿件日期: 2009-04-21　　通讯作者: 庞　铭
作者简介: 庞　铭 (1980—), 男, 四川达县人, 博士, 工程师, 主要从事激光加工和发动机可靠性的研究。

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

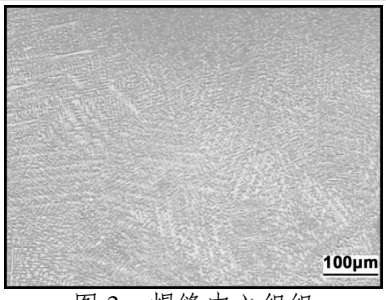

图 3 焊缝中心组织

Fig 3 Microstructure of weld seam center

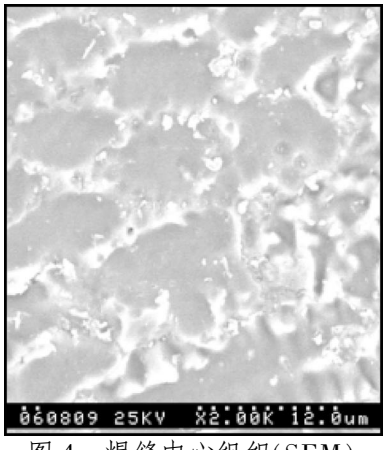

图 4 焊缝中心组织(SEM)

Fig 4 Microstructure of weld seam center(SEM)

表 1 能谱分析(质量分数)

Table 1 Energy spectrum analysis

Major elements	Ni	Fe	Cr	Mo
Dendriticnucleus	54.2686	32.0260	7.6443	1.8907
Particles	37.9269	27.9393	8.7532	6.0603
Needles	47.8429	39.7859	7.8390	3.7596
Major elements	**Al**	**Nb**	**Ti**	**Mn**
Dendriticnucleus	0.8260	2.3228	0.8820	0.1397
Particles	1.8577	12.9591	4.5035	0
Needles	2.0932	0.2554	0.2801	0

颗粒状物 Nb、Ti、Mo 元素聚集, Fe 和 Ni 元素减少; 针状物 Nb 和 Ti 元素聚集。由于颗粒状物和针状物的尺寸小于电子探针能测量的有效尺寸, 导致颗粒状物和针状物能谱分析有一部份基体元素进入。通过 TEM 对颗粒状进一步鉴定确认是 Laves 相, 如图 5 所示。

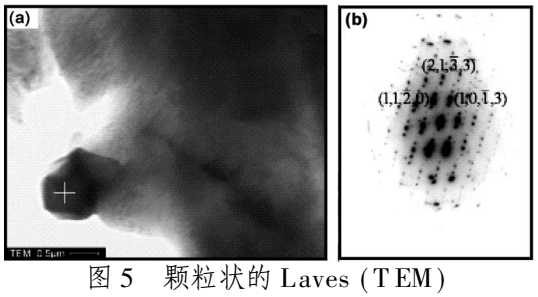

图 5 颗粒状的 Laves (TEM)

Fig 5 Particles Laves(TEM)

在 TEM 下观察到了焊缝区域有八字形的 γ′ 强化相, 如图 6 所示; 图 7 是对 MC 碳化物的 TEM 鉴定。Laves 是一种密排六方形结构, 成份为(Ni, Fe, Cr)$_2$(Nb, Mo, Nb, Ti)。Laves 具有比较硬和脆的特点, 在焊缝区域经常成为裂纹萌生和扩展的地方, 因此在焊接过程中要尽可能地抑制这种相的生成。

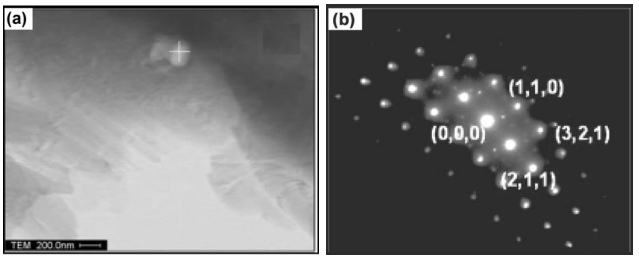

图 6 8 字形的 γ′(TEM)

Fig 6 Eight γ′(TEM)

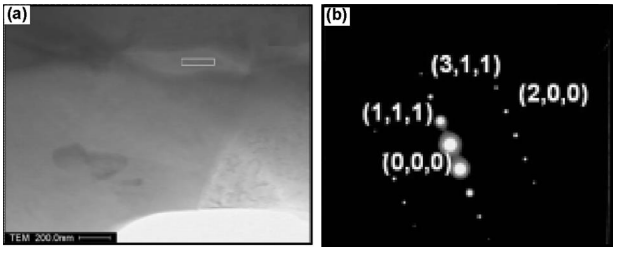

图 7 针状的 MC 碳化物(TEM)

Fig 7 Needle MC carbide

4 结 论

(1) K418 与 42CrMo 异种金属激光焊接焊缝与母材交界组织为具有一定方向的枝晶组织, 焊缝中心组织为等轴晶。

(2) 在扫描电镜下观察到焊缝枝晶组织间弥散分布着颗粒状物和针状物, 能谱分析表明颗粒状物 Nb、Ti、Mo 元素聚集, Fe 和 Ni 元素减少; 针状物 Nb 和 Ti 元素聚集。

(3) 通过投射电镜鉴定颗粒状物为 Laves 相, 针状物为 MC 碳化物, 且在投射电镜下观察到 8 字形的 γ′。

参考文献:

[1] Lee J W W. [J]. Welding Review International, 1992, 11(4): 189-192.

[2] Zhong Minlin, Sun Hongqing, Liu Wenjin, et al. [J]. Scripta Materialia, 2005, 53: 159-164.

[3] 夏伟白. [J]. 电焊机, 1989, 5: 30.

[4] 杜随更, 傅 莉, 曹 营, 等. [J]. 西北工业大学学报, 2004, 22(1): 112-115.

[5] 庞 铭, 虞 钢, 刘 兆, 等. [J]. 中国激光, 2006, 33(8): 1122-1126.

[6] Phanikumar G, Dutta P, Chattopadhyay K. [J]. Science and Technology of Welding and Joining, 2005, 10(2): 158-166.

[7] Sekhar N C, Reed R C. [J]. Science and Technology of Welding and Joining, 2002, 7(2): 77-87.

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

Microstructure evolvement of K418 and 42CrMo dissimilar metal laser welding

PANG Ming[1], TAN Jian-song[1], WANG Jian-ping[1], WU Bo[1], JIE Zhi-min[1], ZHENG Cai-yun[2]

(1. Substation China North Engine Research Institute, Langfang 065000, China;
2. Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China)

Abstract: Experiments of laser welding cast Ni-based superalloy K418 and alloy steel 42CrMo dissimilar metal were conducted using a 3 kW continuous wave (CW) Nd: YAG laser. Microstructure of the welded seam was characterized by scanning electron microscopy (SEM) and transmission electron microscope (TEM) and energy dispersive spectrometer (EDS). Results show that the microstructure of interface between welded seam and base metal is mainly composed of a certain direction dendrites. Equiaxial crystal were observed in the center of weld seam. Moreover, needle MC carbide and particles laves and eight γ' is observed in the interdendritic regions due to non-equilibrium solidification of melt pool. . Laves phase of low melting point and brittle property is detrimental to weld mechanical properties as it aids in easy crack initiation and propagation. It is necessary to inhibit laves phase for improving weld mechanical properties by optimal welding parameters.

Key words: laser welding; K418; 42CrMo; microstructure

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net