

文章编号: 0258-7025(2009)Supplement 1-0147-04

K418 涡轮盘与 42CrMo 涡轮轴异种金属激光焊接

庞 铭¹ 谭建松¹ 王建平¹ 吴 波¹ 解志民¹ 胡定云¹ 虞 钢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 100080)

摘要 研究了镍基高温合金(K418)涡轮盘与合金钢(42CrMo)轴异种金属的激光焊接。通过光学显微镜(OM)、扫描电镜(SEM)分析了焊缝区域组织。结果表明,侧吹保护气流量大,焊缝收尾处易形成鼓包缺陷;由于 K418 与 42CrMo 热物性的差异,焊缝易偏向 K418 且焊缝与 K418 交界易剥离;焊缝与母材交界组织为具有一定方向的枝晶组织。在扫描电镜下焊缝区域观察到了颗粒状的 Laves 相。由于 K418 和 42CrMo 混合比例和冷却速度的差异导致焊缝不同区域颗粒状的 Laves 相的致密度不同。

关键词 激光技术; 激光焊接; 异种金属; K418; 42CrMo

中图分类号 TG456.7 文献标识码 A doi: 10.3788/CJL200936s1.0147

Dissimilar Metal Laser Welding of Cast Ni-Based Superalloy K418 Turbo Disk and Alloy Steel 42CrMo Shaft

Pan Ming¹ Tan Jiansong¹ Wang Jianping¹ Wu Bo¹ Xie Zhimin¹ Hu Dingyun¹ Yu Gang²

(¹Substation of China North Engine Research Institute, Langfang, Hebei 065000, China)
(²Institute of Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China)

Abstract Dissimilar metal laser welding of cast Ni-based superalloy K418 turbo disk and alloy steel 42CrMo shaft was studied. Microstructure of the welded seam was characterized by optical microscopy (OM) and scanning electron microscopy (SEM). Results showed that side-blow shielding gas was warped in the melt pool with excessive flow rate of shielding gas by progressively reducing of heat input of laser. Bubble defect of seam ending can be inhibited by optimizing flow rate of side-blow shielding gas. Microstructure of the weld and base metal interface is mainly composed of dendrites whose growing direction is nearly parallel to the negative heat-transfer direction. Distribution of Laves phase have discrepancy in different region of the welded seam because of different mixing proportion of K418 and 42CrMo, and different solidifying velocity in different region of the melting pool.

Key words laser technique; laser welding; dissimilar metal; K418; 42CrMo

1 引 言

涡轮增压器转子是发动机的核心部件,其质量对发动机的寿命有很大的影响。涡轮增压器转子通常是由镍基高温合金(K418)涡轮盘和合金钢(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。K418 是 $\gamma'[\text{Ni}_3(\text{Al}, \text{Ti})]$ 沉淀硬化镍基高温合金,合金中铝(Al)、钛(Ti)含量高,焊接时在焊缝区易出现结晶裂纹,在热影响区易出现液化裂纹^[1~3]; 42CrMo 中碳的质量分数为 0.834%,焊接时具有很强的淬硬倾向,可焊性差^[4]。因此把这两种难焊金属焊在一起具有很大的挑战性。目前对 K418 与 42CrMo 异种金属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,且易产生低应力破坏^[5]。激光焊接具有功率密度大、焊接热影区小、焊接变形小、焊缝成型好且不需要二次加工等优点^[6~12],适合焊接传统工艺难焊的同种或异种金属。

本文研究了 K418 增压器涡轮盘与 42CrMo 涡轮轴异种金属的激光焊接,探索了激光焊接 K418 涡轮盘与 42CrMo 涡轮轴可能出现的缺陷,分析了焊缝区域组织,为工业应用激光焊接发动机增压器涡轮盘与涡轮轴异种金属提供了理论上的指导。

2 实验材料与方 法

材料为 K418 涡轮盘与 42CrMo 涡轮轴,其化学成分见参考文献[13,14]。42CrMo 轴外直径为

作者简介: 庞 铭(1980-),男,工程师,博士,主要从事激光加工和发动机可靠性等方面的研究。

E-mail: mingpang1980@126.com.

32.1 mm,壁厚4.5 mm。实验采用连续波掺钕钇铝石榴石(Nd:YAG)固体激光器,额定输出功率为3 kW,光束模式为多模,聚焦镜镜头焦距为200 mm。侧吹保护气体为高纯度的氩(Ar)气,侧吹保护气角度为 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。通过线切割切取焊缝横截面,使用王水腐蚀焊缝和K418,使用硝酸乙醇腐蚀42CrMo。通过光学显微镜(OM)和扫描电镜(SEM)观察焊缝区域组织。

3 实验结果与分析

3.1 工艺参数对焊缝表面质量的影响

图1为激光功率 $P=3\text{ kW}$,焊接速度 $V=15\text{ mm/s}$,离焦量 $\Delta f=-2\text{ mm}$,侧吹保护气流量 $U_f=40\text{ L/m}$ 时,K418涡轮盘与42CrMo涡轮轴异种金属激光深熔焊接的焊缝示意图。为了避免焊缝收尾处形成小孔缺陷,在焊接收尾处激光的能量输入需要逐渐衰减。通过优化,选用焊接收尾参数为400 ms,即K418涡轮盘与42CrMo涡轮轴激光焊接到 360° 时,焊接收尾位置和开始位置有一个搭接区,从搭接区域起始位置激光输入能量开始衰减,在4 ms之内激光热输入降为零,通过这种方式可以抑制激光深熔焊接焊缝收尾处形成的小孔缺陷。从图1(a)可以看出焊缝中部出现了塌陷,这是由于焊接熔池重力、侧吹保护气体对熔池的力等向下的力大于维持熔池存在的力。选用图1(a)的焊接参数,在焊缝的收尾处形成一个鼓包,如图1(b)箭头指向处所示。

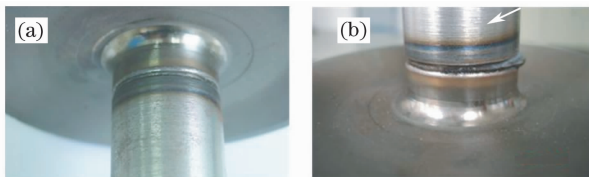


图1 焊缝不同位置示意图。(a)焊缝中部;(b)焊缝收尾
Fig.1 Different region of the weld. (a) Middle region;
(b) ending region

为了验证鼓包里面是否是气体形成的空腔,选用能使鼓包表面金属熔化,但却不能形成激光深熔焊接的激光焊接参数重熔该鼓包。经过第二次重熔,鼓包位置产生了塌陷,说明鼓包位置里面是空的,这是因为激光使鼓包表面熔化的金属下落到鼓包里面的空腔里,从而形成塌陷,如图2箭头所示。

通过提高激光焊接速度来降低焊接热输入,探

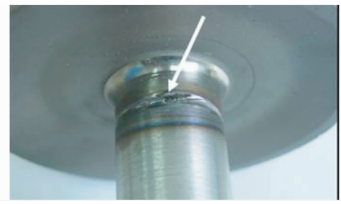


图2 焊缝收尾第二次重熔

索是否是焊接热输入太高,在焊缝收尾处形成鼓包。实验结果表明收尾处的鼓包并没有被消除,如图3箭头指向处所示。图3中激光焊接参数为: $P=3\text{ kW}$, $V=25\text{ mm/s}$, $\Delta f=-2\text{ mm}$, $U_f=40\text{ L/m}$,收尾时间 $t=400\text{ ms}$ 。

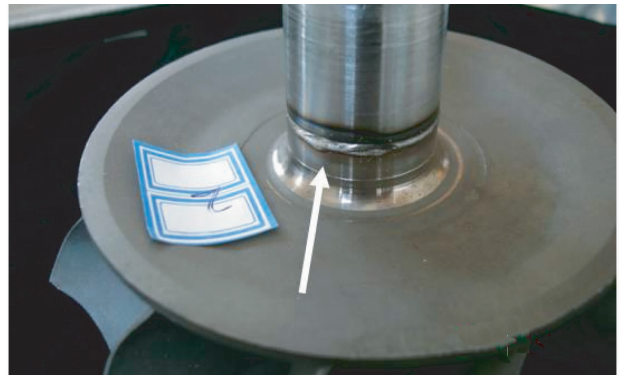


图3 焊缝收尾处的鼓包

Fig.3 Bubble defect of the ending region of the weld

图4中激光焊接参数为: $P=3\text{ kW}$, $V=25\text{ mm/s}$, $\Delta f=-2\text{ mm}$, $U_f=15\text{ L/m}$, $t=400\text{ ms}$ 。从图4可以看出在焊缝收尾处鼓包缺陷被消除,焊缝表面比较平整。对比图3和图4使用的激光焊接参数可以看出,焊缝收尾形成的鼓包是侧吹保护气流量过大导致的。侧吹保护气流量太大,保护气体易被包裹在焊接熔池中,由于激光焊接的快速加热和冷却,保护气体来不及从熔池中逸出,从而在焊接



图4 优化后焊缝收尾

Fig.4 Ending region of the weld with optimized experimental parameters

收尾处形成鼓包缺陷。

3.2 焊缝区域组织

从图 5 和图 6 可以看出焊缝与母材交界的组织为具有一定方向的枝晶组织,这和激光焊接过程中焊缝与母材交界的散热方向密切相关。由于激光焊接的快速加热和冷却,焊缝组织晶粒细小,可以提高焊接接头强度。图 5 中焊缝与 K418 的交界出现了裂纹,且裂纹沿交界处撕裂。由于 K418 与 42CrMo 热物性的差异,在焊接过程中易产生很大的热应力,如果焊接参数选择不合适,焊缝与母材交界结合力不够就会形成图 5 所示的裂纹。

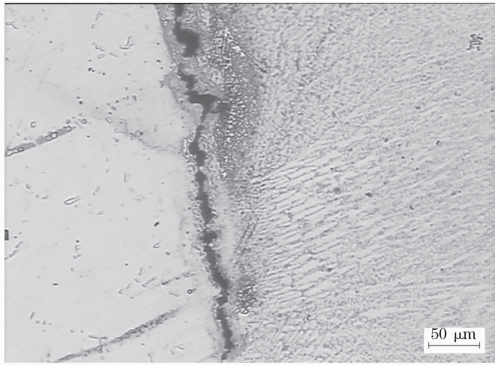


图 5 焊缝与 K418 交界组织

Fig. 5 Microstructure of the weld and K418 interface

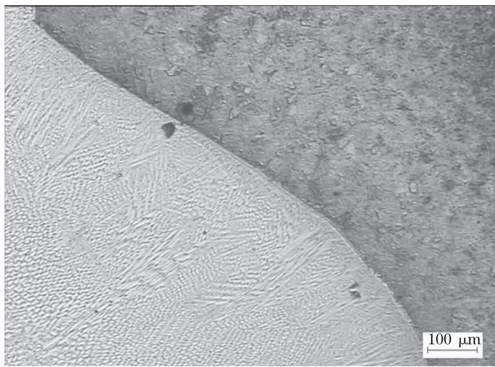


图 6 焊缝与 42CrMo 交界组织

Fig. 6 Microstructure of the weld and 42CrMo interface

从图 7 可以看出焊缝底部偏向 K418。由激光深熔焊接的原理可知,形成深熔焊接匙孔的前提是激光的功率密度能使材料产生气化,如果选择的焊接参数不能使焊接试样形成完全的匙孔焊接,在匙孔底部就通过热传导焊接熔化周边的金属。由于 K418 和 42CrMo 热物性参数有差异,K418 和 42CrMo 气化的临界功率密度和热传导焊接所需临界能量不同,如果激光的功率密度介于 K418 与 42CrMO 气化的临界功率密度之间,匙孔就会发生偏移,如果激光的功率密度介于 K418 与 42CrMo 热传导焊接所需的临界能量之间,焊缝就发生偏移。

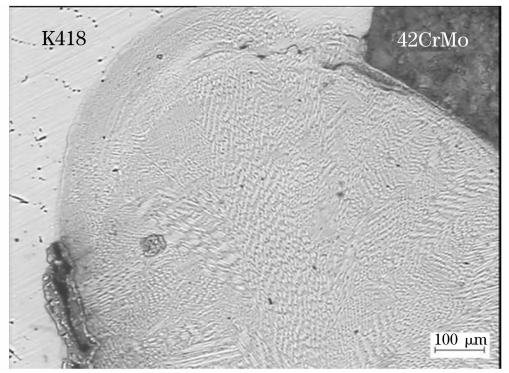


图 7 焊缝偏向 K418

Fig. 7 Trend of weld towards K418

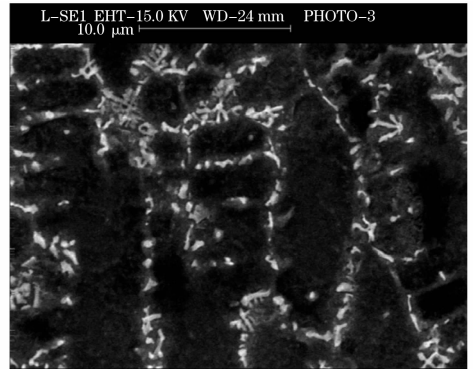


图 8 焊缝中心组织

Fig. 8 Microstructure of the weld center

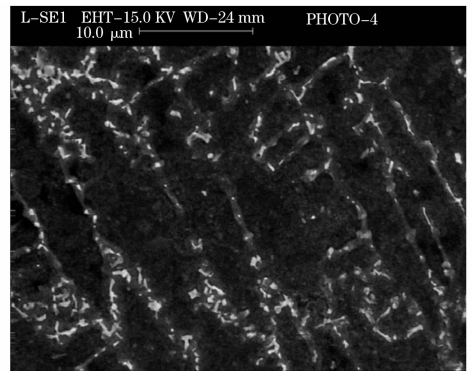


图 9 焊缝靠近 42CrMo 侧组织

Fig. 9 Microstructure of adjacent 42CrMo base metal

在 SEM 下观察焊缝区域有颗粒状的 Laves 相^[15],如图 8 和 9 所示。对比图 8 和图 9 可以看出,在焊缝不同区域其 Laves 致密度不同。Laves 相熔点低,且硬而脆,在焊缝区域经常成为裂纹萌生和扩展的地方。Laves 相的成分为 (Ni, Cr, Fe)₂ (Nb, Mo, Ti),其颗粒大小和致密度与焊接熔池的冷却速度及 K418 和 42CrMo 在焊接熔池的混合比例有关。

4 结 论

K418 与 42CrMo 异种金属激光焊接易形成焊缝偏向 K418, 焊缝收尾鼓包, 焊缝与母材交界剥离缺陷。优化侧吹保护气流量, 鼓包缺陷能被消除。焊缝与母材交界组织为具有一定方向的枝晶组织, 在焊缝的不同区域由于 K418 和 42CrMo 混合比例和冷却速度的差异导致颗粒状的 Laves 相的致密度不同。

参 考 文 献

- 1 J. W. Lee. Inertia friction welding of a gas turbine rotor[J]. *Welding Review International*, 1992, **11**(4): 189~192
- 2 Zhong Minlin, Sun Hongqing, Wenjin Liu *et al.*. Boundary liquation and interface cracking characterization in laser deposition of Inconel 738 on directionally solidified Ni-based superalloy[J]. *Scripta Materialia*, 2005, **53**(2): 159~164
- 3 Xiong Jiangang, Hu Xiyuan, Chen Zutao *et al.*. Study on laser welding of cast nickel-base superalloy[J]. *Chinese J. Lasers*, 1996, **A23**(12): 1107~1111
熊建钢, 胡席远, 陈祖涛等. 激光焊接铸造镍基高温合金工艺研究[J]. *中国激光*, 1996, **A23**(12): 1107~1111
- 4 Pang Ming, Yu Gang, Liu Zhao *et al.*. Dissimilar metal of K418 and 42CrMo full penetration laser welding [J]. *Chinese J. Lasers*, 2006, **33**(8): 1122~1126
庞 铭, 虞 钢, 刘 兆等. K418 与 42CrMo 异种金属的激光穿透焊接[J]. *中国激光*, 2006, **33**(8): 1122~1126
- 5 Du Suigeng, Fu Li, Cao Ying *et al.*. Strengthening of the friction welding joint between K418 turbo disk and 42CrMo shaft [J]. *Journal of Northwestern Polytechnical University*, 2004, **22**(1): 112~115
杜随更, 傅 莉, 曹 营等. K418 涡轮盘和 42CrMo 轴摩擦焊接接头的强化[J]. *西北工业大学学报*, 2004, **22**(1): 112~115
- 6 Sun Tongkun. Experimental research on laser welding of 1 mm steel sheet[J]. *Chinese J. Lasers*, 1993, **A20**(12): 936~939
孙同坤. 1 mm 薄钢板激光焊接实验研究[J]. *中国激光*, 1993, **A20**(12): 936~939
- 7 Yu Gang, Zhao Shusen, Zhang Yongjie *et al.*. Research on key Issues of laser welding of dissimilar metal [J]. *Chinese J. Lasers*, 2009, **36**(2): 261~268
虞 钢, 赵树森, 张永杰等. 异种金属激光焊接关键问题研究[J]. *中国激光*, 2009, **36**(2): 261~268
- 8 Li Liqun, Chen Yanbin, Tao Wang. Research on dual-beam welding characteristics of aluminum alloy[J]. *Chinese J. Lasers*, 2008, **35**(11): 1783~1788
李俐群, 陈彦宾, 陶 汪. 铝合金双光束焊接特性研究[J]. *中国激光*, 2008, **35**(11): 1783~1788
- 9 Xu Lianghong, Tian Zhiling, Peng Yun *et al.*. Microstructure and mechanical properties of high strength aluminum alloy laser welds[J]. *Chinese J. Lasers*, 2008, **35**(3): 456~461
许良红, 田志凌, 彭 云等. 高强铝合金的激光焊接接头组织与力学性能[J]. *中国激光*, 2008, **35**(3): 456~461
- 10 Wei Huakai, Sun Fujuan. Technology of laser welding on Al-Mg-Sc and 2A12[J]. *Chinese J. Lasers*, 2008, **35**(10): 1615~1618
魏华凯, 孙福娟. Al-Mg-Sc 与 2A12 激光对焊工艺[J]. *中国激光*, 2008, **35**(10): 1615~1618
- 11 Sun Fujuan, Liu Hongjun, Hu Fangyou. Effect of laser surface remelting on performance of LY12CZ [J]. *Chinese J. Lasers*, 2007, **34**(8): 1159~1162
孙福娟, 刘洪军, 胡芳友. 激光表面重熔对 LY12CZ 性能的影响[J]. *中国激光*, 2007, **34**(8): 1159~1162
- 12 Zhang Shenghai, Chen Kai, Xiao Rongshi *et al.*. High power CO₂ laser powder welding of aluminum alloy [J]. *Chinese J. Lasers*, 2006, **33**(5): 714~718
张盛海, 陈 凯, 肖荣诗等. 铝合金高功率 CO₂ 激光粉末焊接[J]. *中国激光*, 2006, **33**(5): 714~718
- 13 Pang Ming, Zheng Caiyun, Wang Lixin *et al.*. Deep penetration laser welding dissimilar metal of K418 and 42CrMo [J]. *Transactions of the China Welding Institution*, 2007, **28**(9): 83~86
庞 铭, 郑彩云, 王立新等. K418 与 42CrMo 异种金属激光深熔焊接[J]. *焊接学报*, 2007, **28**(9): 83~86
- 14 Pang Ming, Yu Gang, Wang Henghai *et al.*. Microstructure and mechanical properties of K418 and 42CrMo dissimilar metal laser welding [J]. *Transactions of the China Welding Institution*, 2008, **29**(2): 85~88
庞 铭, 虞 钢, 王恒海等. K418 与 42CrMo 异种金属激光焊接接头组织与力学性能[J]. *焊接学报*, 2008, **29**(2): 85~88
- 15 Liu Xiubo, Pang Ming, Huang Jianguo *et al.*. Transmission electron microscopy characterization of laser welding cast Ni-based superalloy K418 turbo disk and alloy steel 42CrMo shaft [J]. *Journal of Alloys and Compounds*, 2008, **461**(1~2): 648~653