

K418 与 42CrMo 异种金属激光焊接 缺陷形成机制

庞 铭^① 虞 钢^② 郑彩云^② 宁伟建^② 王立新^②

(^①中国北方发动机研究所, 山西 大同; ^②中国科学院力学研究所, 北京)

摘 要: 研究了镍基高温合金 K418 与合金钢 42CrMo 异种金属激光焊接焊缝缺陷的形成机制。通过光学显微镜观察了焊缝的宏观缺陷; 通过扫描电镜观察了焊缝的微观缺陷, 并使用能谱仪测量了焊缝缺陷处和枝晶核的成份。研究表明: K418 和 42CrMo 异种金属激光焊接焊接参数选择不合理, 焊缝易形成塌陷、气孔和裂纹等缺陷; 焊缝区域的热裂纹是和焊接过程晶界形成的低熔物密切相关; 在焊接试样被焊透的条件下, 提高焊接速度可以避免焊缝塌陷; 通过优化焊接过程保护气流量和维持激光深熔焊接过程匙孔的稳定性可以抑制焊缝区域气孔的产生。

关键词: 激光焊接; K418; 42CrMo; 缺陷

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 K418 涡轮盘和 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 γ' ($\text{Ni}_3(\text{Al}, \text{Ti})$) 沉淀硬化镍基高温合金, 合金中 Al、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^[1-2]; 42CrMo 碳当量为 0.834 wt%, 焊接时具有很强的淬硬倾向, 可焊性差^[3]。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二次加工和易产生低应力破坏^[4]。激光焊接具有功率密度大, 焊缝热影区小及焊接变形小, 焊缝成型好且不需要二次加工。

本文研究了镍基高温合金 K418 与合金钢 42CrMo 异种金属激光焊接缺陷的形成机制, 为激光焊接这两种金属提供理论上的指导。

1 实验材料和方法

材料为镍基铸造高温合金 K418 与合金钢 42CrMo, 其化学成份见参考文献[5][6]。实验设备采用了连续波 Nd: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。采用线切割取焊缝横截面, 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、扫描电镜观察焊缝组织, 并使用能谱仪测量焊缝区域成份。

2 结果和讨论

从图 1 可以看出: K418 和 42CrMo 异种金属激光焊接焊缝观察到了塌陷、气孔和焊缝靠近 42CrMo 侧出现了未熔合。焊缝的塌陷是激光焊接过程中, 焊接熔池的重力、表面张力和激光深

熔焊接气化的金属蒸气的反冲压力等力的综合作用；由激光深熔焊接原理可知，作用在材料表面的功率密度超过材料的气化阈值时，材料表面吸收激光能量后产生气化，当金属材料气化产生的压力大于外界压力时，可以阻碍焊接过程中的保护气体进入匙孔。在激光深熔焊接过程中由于焊缝正面产生的等离子体对激光有吸收和折射作用，当焊接速度很低的时候，焊缝正面的等离子云密度过大，对激光有屏蔽作用，导致匙孔中金属气化率降低，如果气化的金属蒸气对熔池的反作用力等使匙孔形成的力小于使匙孔闭合的力，匙孔就会塌陷，由于激光焊接的快速冷缺，使匙孔中的气体来不及逃逸出，而被包裹在熔池中形成气孔；当气化的金属蒸气压力小于外界压力时，焊缝正面的保护气体被卷入焊接熔池，如果被卷入匙孔的气体逃逸出来的时间大于焊接匙孔闭合时间，气体就会保留在焊缝中形成气孔。

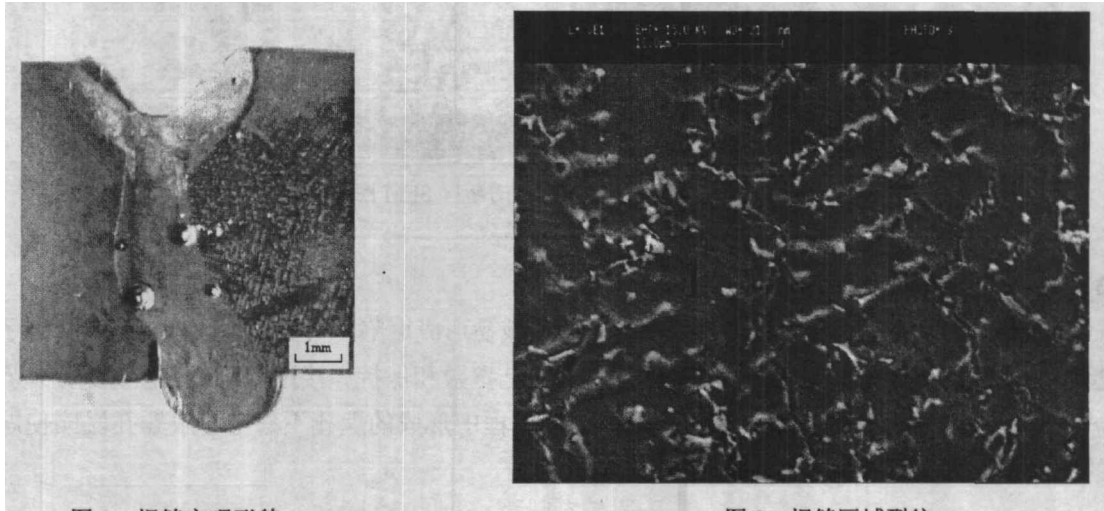


图1 焊缝宏观形貌

图2 焊缝区域裂纹

在扫描电镜下，在焊缝区域观察到了结晶裂纹，如图3所示。对焊缝枝晶核1和裂纹处区域2能谱分析表明裂纹处Mo、Al、Nb、Ti元素聚集，如表1所示，这些元素的聚集易在焊缝中形成Laves、 $\gamma+\gamma'$ 共晶及其它的低熔物。在焊接过程中，由于底熔物的形成，扩大了焊接熔池的结晶温度范围，在焊接熔池凝固后期，熔池中大部分金属已凝固，在晶界的少部分低熔物还在液态状态下，在焊接应力作用下，易成为裂纹萌生和开裂的地方。

表1 能谱分析

主要元素	Ni	Fe	Cr	Nb	Ti	Mo	Al
区域1	52.4501	32.0260	6.6443	2.3228	0.8820	1.8907	0.8260
区域2	36.9269	26.9393	8.7532	12.959	4.5035	5.0603	1.8577

图3是断在焊缝处的拉伸断口形貌，从图3(a)可以观察到焊缝的断口形貌为典型的脆性断口，图3(b)可以观察到焊缝的断口形貌为由结晶裂纹形成的典型土豆状拉伸断口形貌。K418和42CrMo异种金属激光焊接，为了避免焊缝拉伸形成脆性断裂，需要优化焊接工艺参数，抑制焊缝区域脆性相的生成；焊缝区域结晶裂纹的形成降低了焊缝的力学性能，为了抑制焊缝区域热裂纹的形成，需要控制焊接过程中的热应力和抑制焊缝区域低熔物的形成。

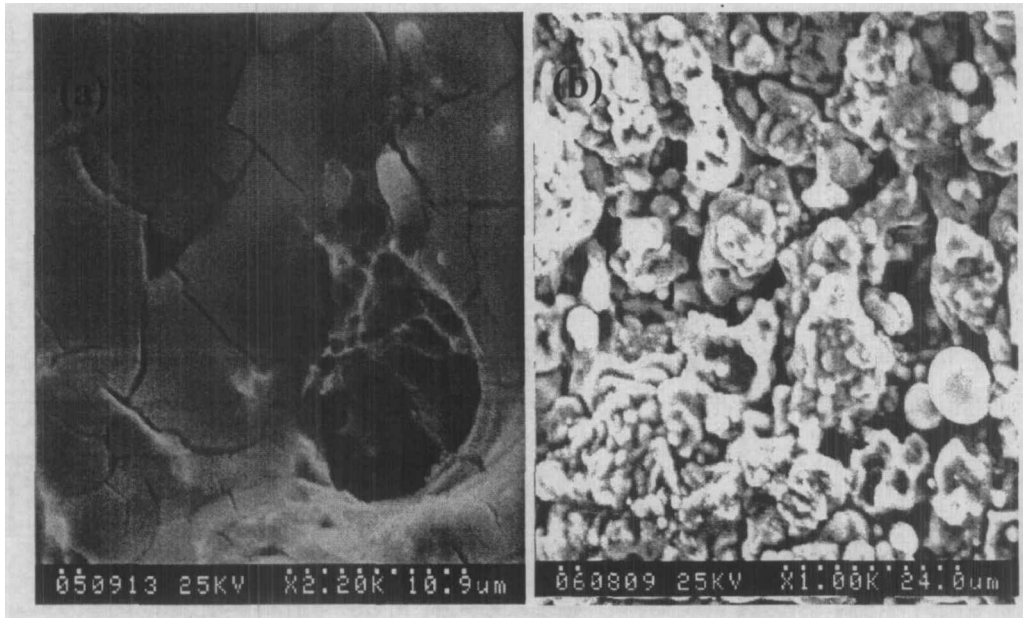


图3 断在焊缝处的断口 SEM 图

3 结论

K418 和 42CrMo 异种金属激光焊接焊缝区域易形成塌陷、气孔、裂纹等缺陷,降低了焊接接头的力学性能。激光深熔焊接需要优化焊接工艺参数和保持焊接过程的稳定性,避免外界气体被卷入焊接熔池形成气孔和由于激光深熔焊接过程中形成的匙孔不稳定导致匙孔塌陷使匙孔中的气体被包裹在焊接熔池中形成气孔。

参考文献

- 1 Lee J W. W. Inertia friction welding of a gas turbine rotor[J]. Welding Review International,1992,11 (4):189~192
- 2 Minlin Zhong , Hongqing Sun, Wenjin Liu,Xiaofeng Zhu,Jinjiang He.Boundary liquation and interface cracking characterization in laser deposition of Inconel 738 on directionally solidified Ni-based superalloy[J]. Scripta Materialia,2005,53:159~164
- 3 夏伟白.42CrMo中碳调质高强钢的焊接[J].电焊机,1989,5:30
- 4 杜随更,傅莉,曹营等. K418涡轮盘和42CrMo轴摩擦焊接头的强化[J].西北工业大学学报, 2004,22(1):112~115
- 5 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
- 6 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

Mechanism of Defect Formation During Laser Dissimilar Welding of K418 and 42CrMo

Pang Ming^①, YuGang^②, Zheng Caiyun^②, NingWeijiang^②, WangLixin^②

(^① China North Engine Research Institute, Datong, P.R. China; ^② Chinese Academy of Sciences, Beijing, P.R. China)

Abstract: The mechanism of defect formation during laser dissimilar welding of K418 and 42CrMo is studied. The macroscopic defect of weld seam is observed by optical microscopy. Microcosmic defect of weld seam is observed by scanning electron microscopy. The detail chemical compositions of defect and interdendritic regions are measure by energy dispersive spectrometer. Results show defect of excessive penetration, gas pore and crack can form with improper welding parameters. Excessive penetration can be avoided by increasing welding velocity. Gas pore can be controlled by optimization welding parameters and keeping steady keyhole.

Key words: laser welding; k418; 42CrMo; defect

作者简介:

庞 铭: (1980-), 男, 博士生, 主要从事激光加工和发动机可靠性研究。

Email: mingpang1980@126.com

联系电话: 13691427034

邮编: 037036

www.cnki.net