



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 103551794 B

(45) 授权公告日 2016. 01. 13

(21) 申请号 201310497017. 8

(22) 申请日 2013. 10. 21

(73) 专利权人 中国科学院金属研究所

地址 110016 辽宁省沈阳市沈河区文化路
72 号

(72) 发明人 谢玉江 杨彦红 王明生 韩旭

(74) 专利代理机构 沈阳优普达知识产权代理事
务所(特殊普通合伙) 21234

代理人 张志伟

(51) Int. Cl.

B23P 6/00(2006. 01)

(56) 对比文件

JP H07102996 A, 1995. 04. 18,

CN 102601571 A, 2012. 07. 25,

US 4614296 A, 1986. 09. 30,

EP 0550439 B1, 1997. 10. 22,

CN 101932794 A, 2010. 12. 29,

CN 102120292 A, 2011. 07. 13,

CN 1734061 A, 2006. 02. 15,

审查员 岳莉莉

权利要求书2页 说明书6页

(54) 发明名称

高温合金热端部件大间隙缺陷瞬态液相熔渗
修复方法

(57) 摘要

本发明涉及高温合金热端部件修复领域, 具体为一种高温合金热端部件大间隙缺陷瞬态液相熔渗修复方法, (1) 去除高温合金热端部件缺陷表面的氧化层等, 使缺陷处呈现金属光泽; (2) 采用镍基或钴基合金粉末填充缺陷空间, 并塑化成型, 随后经高温烧结; (3) 将经 B、Zr 或 Hf 活化处理的镍基合金粉末置于填充金属上方, 进行高温瞬态液相熔渗实现致密化; (4) 打磨清理; (5) 将高温合金热端部件在高温下进行均匀化处理。本发明可以解决高 Al+Ti 高温合金热端部件大间隙缺陷修复强度低而报废问题, 可实现高强度连接, 修复合格率高, 适用于航空发动机、电力燃机和舰艇燃机的热端部件经服役使用过程所引起的裂纹、烧蚀洞与腐蚀坑等大间隙缺陷。

1. 一种高温合金热端部件大间隙缺陷瞬态液相熔渗修复方法,其特征在于,具体步骤如下:

(1) 洁净化处理

采用机械法或化学法去除缺陷附近的衰变组织;

(2) 多孔骨架制备

采用镍基或钴基合金粉末填充缺陷空间,并塑化成型,随后经高温烧结形成多孔骨架结构;

步骤(2)中,制备多孔骨架时,先制备填充大间隙缺陷空间的材料,随后将此材料填充到大间隙缺陷空间中,并保持已塑化成的形状,填充材料为合金粉末:叶片基体合金粉末或其它镍基、钴基或铁基高温合金粉末,通过向粉末中添加塑化剂使合金粉末具有可塑化的作用,塑化剂的加入量占合金粉末重量的5~20%;

(3) 致密化处理

将经B、Zr或Hf活化处理的镍基合金粉末置于多孔骨架的上方或下方,进行高温瞬态液相熔渗致密化处理,实现缺陷的空间性连结;

步骤(3)中,将经B、Zr或Hf活化处理的镍基合金粉末,再经塑化处理后置于多孔骨架的上方或下方,进行高温瞬态液相熔渗致密化处理;致密化处理所采用B、Zr或Hf活化处理的粉末材料;其中,硼活化方法为硼粉或硼化物与合金粉末按重量比例为1:9~1:15,通过机械球磨处理活化0.5~1小时;锆或钪活化方法为锆粉或钪粉与合金粉末按重量比例为1:9~1:15进行机械球磨处理0.5~1小时,锆粉或钪粉粉末粒度为300目;活化处理后的合金粉末的塑化成型是通过向粉末中添加塑化剂,塑化剂的加入量占合金粉末重量的5~20%;

(4) 打磨清理;

(5) 均匀化处理

将经瞬态液相熔渗修复后的高温合金热端部件在高温下进行均匀化处理;

步骤(5)是将经瞬态液相熔渗修复后的高温合金热端部件在高温下进行均匀化处理;均匀化处理是采用真空炉或惰性气体保护下的热处理炉升温加热过程,均匀化处理温度为1120~1210℃,时间为8~16小时;控温采用铂-铑热电偶,控温精度为±10℃。

2. 按照权利要求1所述的高温合金热端部件大间隙缺陷瞬态液相熔渗修复方法,其特征在于,步骤(1)中,洁净化处理时,采用机械法或化学法彻底去除缺陷附近的衰变组织,使缺陷附近呈现金属光泽。

3. 按照权利要求1所述的高温合金热端部件大间隙缺陷瞬态液相熔渗修复方法,其特征在于,步骤(2)和步骤(3)是高温合金热端部件大间隙缺陷空间填充材料的烧结多孔骨架结构,瞬态液相熔渗致密化并与叶片基体形成一体,加热烧结多孔骨架结构及瞬态液相熔渗致密化是采用真空炉或惰性气体保护下的热处理炉升温加热过程,由脱塑化剂→多孔化烧结→熔渗致密化→炉冷四个阶段所构成,控温采用铂-铑热电偶,控温精度为±10℃。

4. 按照权利要求3所述的高温合金热端部件大间隙缺陷瞬态液相熔渗修复方法,其特征在于,脱塑化剂温度为100~400℃,时间为0.5~1小时;多孔化烧结温度为1000~1200℃,时间为0.5~2小时;渗透致密化温度为1000~1250℃,时间为0.5~2小时;经

过熔渗致密化后,致密度大于 98%,强度为叶片基体合金的 90%以上。

5. 按照权利要求 1 所述的高温合金热端部件大间隙缺陷瞬态液相熔渗修复方法,其特征在于,热端部件大间隙缺陷为穿透叶片壁厚的裂纹,裂纹长 $\geq 1.0\text{mm}$;裂纹宽度 $0.5\text{mm} \sim 4\text{mm}$;热端部件大间隙缺陷为烧蚀洞或腐蚀坑,尺寸大小为 $\Phi 1\text{mm} \sim \Phi 20\text{mm}$;磨损大间隙缺陷,尺寸 $0.5\text{mm} \sim 2\text{mm}$ 。

高温合金热端部件大间隙缺陷瞬态液相熔渗修复方法

技术领域：

[0001] 本发明涉及高温合金热端部件修复领域，具体为一种高温合金热端部件大间隙缺陷瞬态液相熔渗修复方法。

背景技术：

[0002] 航空发动机和工业燃气轮机的涡轮叶片、导向叶片及喷咀等热端部件在长期服役过程中易引起裂纹、烧蚀洞、腐蚀坑及磨损等大间隙缺陷。随着航空发动机和工业燃气轮机输出功率的增大，热端部件的这种磨损、腐蚀及烧蚀损伤失效愈严重。

[0003] 航空发动机和工业燃气轮机热端部件通常采用高温力学性能和高温抗氧化、抗腐蚀性性能优异的镍基、钴基合金制造，并采用复杂型面及冷却结构设计。这些部件长期工作在高温高压及冷热循环等恶劣的环境中，易导致这些高温合金热端部件在使用过程中产生、烧蚀洞与腐蚀坑等大间隙缺陷，由于新件制造工艺复杂，生产成本低，若采用更换新件处理，则会大幅提高航空发动机和工业燃气轮机维修运行成本。另外，由于高温合金热端部件大多由 Al、Ti 含量很高的镍基高温合金制造，具有很高的裂纹敏感性，当采用熔焊修复时，易在焊接及焊后热处理过程中形成裂纹，这就极大的限制了高温合金热端部件的修复与再制造。

[0004] 由于缺乏适合的修复方法，目前许多高温合金热端部件的裂纹、烧蚀、磨损等缺陷一旦超过允许使用标准就只能报废处理。因此对受损高温合金热端部件进行修复具有非常高的经济价值。

发明内容：

[0005] 本发明的目的在于提供一种高温合金热端部件大间隙缺陷瞬态液相熔渗修复方法，解决高 Al、Ti 含量的镍基、钴基与铁基高温合金热端部件裂纹、烧蚀洞、腐蚀坑及磨损等大间隙缺陷难修复、强度低，不能及时可靠修复等问题。

[0006] 本发明的技术方案是：

[0007] 一种高温合金热端部件大间隙缺陷瞬态液相熔渗修复方法，具体步骤如下：

[0008] (1) 洁净化处理

[0009] 采用机械法或化学法去除缺陷附近的衰变组织；

[0010] (2) 多孔骨架制备

[0011] 采用镍基或钴基合金粉末填充缺陷空间，并塑化成型，随后经高温烧结形成多孔骨架结构；

[0012] (3) 致密化处理

[0013] 将经 B、Zr 或 Hf 活化处理的镍基合金粉末置于多孔骨架的上方或下方，进行高温瞬态液相熔渗致密化处理，实现缺陷的空间性连结；

[0014] (4) 打磨清理；

[0015] (5) 均匀化处理

[0016] 将经瞬态液相熔渗修复后的高温合金热端部件在高温下进行均匀化处理。

[0017] 所述的高温合金热端部件大间隙缺陷瞬态液相熔渗修复方法,步骤(1)中,洁净化处理时,采用机械法或化学法彻底去除缺陷附近的衰变组织,使缺陷附近呈现金属光泽。

[0018] 所述的高温合金热端部件大间隙缺陷瞬态液相熔渗修复方法,步骤(2)中,制备多孔骨架时,先制备填充大间隙缺陷空间的材料,随后将此材料填充到大间隙缺陷空间中,并保持已塑化成的形状,填充材料为合金粉末:叶片基体合金粉末或其它镍基、钴基或铁基高温合金粉末,通过向粉末中添加塑化剂使合金粉末具有可塑化的作用,塑化剂的加入量占合金粉末重量的5~20%。

[0019] 所述的高温合金热端部件大间隙缺陷瞬态液相熔渗修复方法,步骤(3)中,将经B、Zr或Hf活化处理的镍基合金粉末,再经塑化处理置于多孔骨架的上方或下方,进行高温瞬态液相熔渗致密化处理;致密化处理所采用B、Zr或Hf活化处理的粉末材料;其中,硼活化方法为硼粉、硼化物与合金粉末按重量比例为1:9~1:15,通过机械球磨处理活化0.5~1小时;锆或钪活化方法为锆粉或钪粉与合金粉末按重量比例为1:9~1:15进行机械球磨处理0.5~1小时,锆粉或钪粉粉末粒度为300目;活化处理后的合金粉末的塑化成型是通过向粉末中添加塑化剂,塑化剂的加入量占合金粉末重量的5~20%。

[0020] 所述的高温合金热端部件大间隙缺陷瞬态液相熔渗修复方法,步骤(2)和步骤(3)是高温合金热端部件大间隙缺陷空间填充材料的烧结多孔骨架结构,瞬态液相熔渗致密化并与叶片基体形成一体,加热烧结多孔骨架结构及瞬态液相熔渗致密化是采用真空炉或惰性气体保护下的热处理炉升温加热过程,由脱塑化剂→多孔化烧结→熔渗致密化→炉冷四个阶段所构成,控温采用铂-铑热电偶,控温精度为 $\pm 10^{\circ}\text{C}$ 。

[0021] 所述的高温合金热端部件大间隙缺陷瞬态液相熔渗修复方法,脱塑化剂温度为 $100\sim 400^{\circ}\text{C}$,时间为0.5~1小时;多孔化烧结温度为 $1000\sim 1200^{\circ}\text{C}$,时间为0.5~2小时;渗透致密化温度为 $1000\sim 1250^{\circ}\text{C}$,时间为0.5~2小时;经过熔渗致密化后,致密度大于98%,强度为叶片基体合金的90%以上。

[0022] 所述的高温合金热端部件大间隙缺陷瞬态液相熔渗修复方法,步骤(5)是将经瞬态液相熔渗修复后的高温合金热端部件在高温下进行均匀化处理;均匀化处理是采用真空炉或惰性气体保护下的热处理炉升温加热过程,均匀化处理温度为 $1120\sim 1210^{\circ}\text{C}$,时间为8~16小时;控温采用铂-铑热电偶,控温精度为 $\pm 10^{\circ}\text{C}$ 。

[0023] 所述的高温合金热端部件大间隙缺陷瞬态液相熔渗修复方法,热端部件大间隙缺陷为穿透叶片壁厚的裂纹,裂纹长 $\geq 1.0\text{mm}$;裂纹宽度 $0.5\text{mm}\sim 4\text{mm}$;热端部件大间隙缺陷为烧蚀洞或腐蚀坑,尺寸大小为 $\Phi 1\text{mm}\sim \Phi 20\text{mm}$;磨损大间隙缺陷,尺寸 $0.5\text{mm}\sim 2\text{mm}$ 。

[0024] 本发明的有益效果是:

[0025] 1、采用本发明高温合金热端部件大间隙缺陷瞬态液相熔渗修复方法,可以实现服役损伤失效的航空发动机和工业燃气轮机的热端部件之几何结构修复和显微组织的调整。

[0026] 2、本发明可实现高Al、Ti含量镍基高温合金热端部件大间隙缺陷的近等强度修复连接,可延长高温合金热端部件的使用寿命。

[0027] 3、本发明在镍基高温合金热端部件大间隙缺陷修复过程中,可实现高温合金热端部件的整体加热,有效降低部件的明显变形。

[0028] 4、本发明可瞬态液相熔渗修复工艺与合金恢复热处理工序合二为一,恢复高温合

金热端部件的组织结构,进一步延长其使用性能,可大幅节约运行成本。

[0029] 5、本发明操作简单,修复效率高,利于批量生产。

[0030] 6、本发明可以解决高 Al+Ti 高温合金热端部件大间隙缺陷修复强度低而报废问题,可实现高强度连接,修复过程简便快捷,可实现大批量同时处理,修复合格率高。

[0031] 7、本发明适用于诸如航空发动机、电力燃机和舰艇燃机的热端部件经服役使用过程中所引起的裂纹、烧蚀洞与腐蚀坑等大间隙缺陷。

具体实施方式：

[0032] 本发明高温合金热端部件大间隙缺陷瞬态液相熔渗修复方法,具体步骤如下：

[0033] (1) 采用机械法或化学法去除缺陷附近的氧化层等衰变组织；(2) 镍基或钴基合金粉末填充缺陷空间,并塑化成型,随后经高温烧结形成多孔骨架结构；(3) 将经 B、Zr 或 Hf 活化处理的镍基合金粉末经塑化处理后置于多孔骨架上方或下方,进行高温瞬态液相熔渗实现致密化处理,实现缺陷的空间性连结；(4) 打磨清理；(5) 将经瞬态液相熔渗修复后的高温合金热端部件在高温下进行均匀化处理。

[0034] 其中,步骤 (1) 是洁净化处理时,可采用机械法或化学法彻底去除缺陷附近的氧化层、硫化物等衰变组织。

[0035] 其中,步骤 (2) 是填充大间隙缺陷空间的材料制备和随后将此材料填充到大间隙缺陷空间中,并保持已塑化成的形状,填充材料可以是合金粉末:叶片基体合金粉末或其它镍基、钴基或铁基高温合金粉末,通过向粉末中添加塑化剂使合金粉末具有可塑化的作用,塑化剂的加入量占合金粉末重量的 5 ~ 20%。

[0036] 其中,步骤 (3) 中将经 B、Zr 或 Hf 活化处理的镍基合金粉末经塑化处理后置于多孔骨架上方或下方,进行高温瞬态液相熔渗实现致密化处理。致密化处理所采用的 B、Zr 或 Hf 活化处理的粉末材料,硼活化方法为硼粉、硼化物与合金粉末按重量比例为 1:9 ~ 1:15,经机械球磨处理活化 0.5 ~ 1 小时;硼活化方法为硼化物、硼酸或硼酸盐与合金粉末通过机械球磨活化;锆或钪活化方法为锆粉或钪粉(粉末粒度为 300 目)与合金粉末按重量比例为 1:9 ~ 1:15 进行机械球磨处理活化 0.5 ~ 1 小时。活化处理过的合金粉末的塑化成型是通过向粉末中添加塑化剂,塑化剂的加入量占合金粉末重量的 5 ~ 20%。

[0037] 本发明中,塑化剂为起到塑化和成型作用的常规塑化剂,如:商用水基粘结剂(Water binder-1),该塑化剂由泰州市艾瑞克新型材料有限公司提供。

[0038] 其中,步骤 (2) 和步骤 (3) 是高温合金热端部件大间隙缺陷空间填充材料的烧结多孔骨架结构,瞬态液相熔渗致密化并与叶片基体形成一体,加热烧结多孔骨架结构及瞬态液相熔渗致密化是采用真空炉或惰性气体保护下的热处理炉升温加热过程,由脱塑化剂→多孔化烧结→熔渗致密化→炉冷四个阶段所构成,实时控温采用铂-铑热电偶,控温精度为 $\pm 10^{\circ}\text{C}$ 。

[0039] 其中,步骤 (5) 是将经瞬态液相熔渗修复后的高温合金热端部件在高温下进行均匀化处理。均匀化处理是采用真空炉或惰性气体保护下的热处理炉升温加热过程,均匀化处理温度为 $1120 \sim 1210^{\circ}\text{C}$,时间为 8 ~ 16 小时;实时控温采用铂-铑热电偶,控温精度为 $\pm 10^{\circ}\text{C}$ 。

[0040] 其中,脱塑化剂温度为 $100 \sim 400^{\circ}\text{C}$,时间为 0.5 ~ 1 小时;多孔化烧结温度为

1000 ~ 1200℃,时间为 0.5 ~ 2 小时;渗透致密化温度为 1000 ~ 1250℃,时间为 0.5 ~ 2 小时;经过熔渗致密化后,致密度大于 98%,强度为叶片基体合金的 90%以上。

[0041] 其中,热端部件大间隙缺陷为穿透叶片壁厚的裂纹,裂纹长 $\geq 1.0\text{mm}$;裂纹宽度 0.5mm ~ 4mm;热端部件大隙缺陷为烧蚀洞或腐蚀坑,尺寸大小为 $\Phi 1\text{mm} \sim \Phi 20\text{mm}$;磨损大间隙缺陷,尺寸 0.5mm ~ 2mm。

[0042] 本发明中,大间隙缺陷填充镍基合金材料,其成分如下 (wt. %) :

[0043]

Cr	Co	Al	Ti	Mo	W	Ta	Hf	Ni
5.0 ~ 25.0	7.0 ~ 18.0	0 ~ 6.0	0 ~ 6.0	0 ~ 5.0	0 ~ 15.0	1.0 ~ 4.0	0 ~ 2.0	余

[0044] 本发明中,致密化处理过程所采用镍基合金钎焊料,其成分如下 (wt. %) :

[0045]

Cr	Co	Al	Ta	Si	B	Ni
10.0 ~ 25.0	8.0 ~ 9.5	2.0 ~ 4.5	0 ~ 3.0	0 ~ 3.5	0 ~ 3.5	余

[0046] 下面通过实施例对本发明进步详细说明。

[0047] 实施例 1

[0048] 某航空发动机三连体导向叶片的缘板上有三处热疲劳裂纹,裂纹长度约为 20mm,深度为穿透性。裂纹处在缘板与叶片叶身之间转角处,此处壁厚约 3mm. 叶片为空心结构,叶片材料为 K417G 合金。合金中 Al+Ti 的总含量 $> 9\text{wt}\%$,难以采用氩弧焊进行修复。采用本发明不仅可以快速方便地将裂纹愈合,而且可以满足叶片使用性能要求。

[0049] 三连体导向叶片热裂纹的修复工艺:

[0050] 采用机械打磨法去除热裂纹清除 \rightarrow 丙酮清洗 \rightarrow 将填充材料塑化处理并填充至被打磨形成的三维空间间隙中 \rightarrow 高温烧结 \rightarrow 机械打磨整形 \rightarrow 将镍基钎焊料进行塑化处理并置于间隙上方 \rightarrow 瞬态液相熔渗 \rightarrow 机械整形加工 \rightarrow 叶片 K417G 合金热处理。

[0051] 本实施例中,致密化处理用镍基合金钎焊料粉末的成分如下表所示 (wt%) :

[0052]

Ta	Al	Co	Cr	B	Ni
2.5	3.5	10.0	14.0	2.7	余

[0053] 镍基合金钎焊料粉末的粒度为 100 目。

[0054] 本实施例中,填充材料为叶片基体合金 IN100 合金粉末,IN100 合金粉末粒度为 300 目,向 IN100 粉末中添加塑化剂。本实施例中,塑化剂为商用水基粘结剂 (Water binder-1),该塑化剂由泰州市艾瑞克新型材料有限公司提供。塑化剂占合金粉末的 10wt%。采用真空机械搅拌与手搦柔加工形成可塑粉末。

[0055] 本实施例中,致密化处理所采用 Zr 活化处理的粉末材料;将锆粉与合金粉末按重量比例为 1:9 进行机械球磨处理 0.5 小时,锆粉粉末粒度为 300 目;活化处理过的合金粉末的塑化成型是通过向粉末中添加塑化剂,塑化剂为商用水基粘结剂 (Water binder-1),该

塑化剂由泰州市艾瑞克新型材料有限公司提供,塑化剂的加入量占合金粉末重量的 10%。采用真空机械搅拌与手搵柔加工形成可塑粉末并置于间隙上方。

[0056] 本实施例中,裂纹间隙填充材料的瞬态液相熔渗修复工艺参数为:

[0057] 设备:真空炉,真空度 0.5×10^{-5} Pa,叶片随炉加热,250℃脱塑化剂,时间为 2 小时;1100℃多孔化烧结,时间为 2 小时;1200℃进行瞬态液相致密化处理,致密化处理时间为 2 小时,停止加热随炉冷却。经过熔渗致密化后,致密度大于 98%,强度为叶片基体合金的 90%以上。

[0058] 打磨清理后进行均匀化处理,本实施例均匀化处理温度为 1120℃,时间为 8 小时。

[0059] 结果表明,修复的缺陷处经荧光检查符合指标要求。

[0060] 实施例 2

[0061] 某重型燃气轮机叶片叶尖处经长期服役后产生磨损,磨损量约为 5mm,叶片为空心结构,叶片材料为 K438G 合金。合金中 Al+Ti 的总含量 > 7wt%,难以采用氩弧焊进行修复,若采用高能微弧火花沉积及脉冲激光焊接方法来修复,工作量大且效率低。采用本发明不仅可以快速方便地将对叶尖磨损进行接长,还可以进行批量处理,可大大提高效率、降低修复成本。

[0062] 叶片叶尖磨损接长的修复工艺:

[0063] 采用机械打磨法去除热裂纹清除→丙酮清洗→将填充材料塑化处理并放置叶尖处→高温烧结→机械打磨整形→将镍基钎焊料进行塑化处理并置于叶尖上方→烧结-瞬态液相熔渗→机械整形加工→叶片 K438G 合金热处理。

[0064] 本实施例中,致密化处理用镍基合金钎焊料粉末的成分如下表所示 (wt%):

[0065]

Al	Co	Cr	Hf	B	Ni
3.5	10.0	14.0	10.0	2.5	余

[0066] 镍基合金钎焊料粉末的粒度为 100 目。

[0067] 本实施例中,填充材料为叶片基体合金 IN738 合金粉末,IN738 合金粉末粒度为 300 目,向 IN738 粉末中添加塑化剂。塑化剂为商用水基粘结剂 (Water binder-1),该塑化剂由泰州市艾瑞克新型材料有限公司提供,塑化剂占合金粉末的 10wt%。采用真空机械搅拌与手搵柔加工形成可塑粉末。

[0068] 本实施例中,致密化处理所采用 Hf 活化处理的粉末材料;将钨粉与合金粉末按重量比例为 1:12 进行机械球磨处理 1 小时,钨粉粉末粒度为 300 目;活化处理过的合金粉末的塑化成型是通过向粉末中添加塑化剂,塑化剂为商用水基粘结剂 (Water binder-1),该塑化剂由泰州市艾瑞克新型材料有限公司提供,塑化剂的加入量占合金粉末重量的 5%。采用真空机械搅拌与手搵柔加工形成可塑粉末并置于间隙下方。

[0069] 本实施例中,裂纹间隙填充材料的瞬态液相熔渗修复工艺参数为:

[0070] 设备:真空炉,真空度 0.5×10^{-5} Pa,叶片随炉加热,400℃脱塑化剂,时间为 2 小时;1100℃进行多空骨架烧结,时间为 2 小时;1150℃进行瞬态液相熔渗致密化处理,时间为 1 小时,停止加热随炉冷却。经过熔渗致密化后,致密度大于 98%,强度为叶片基体合金的 90%以上。

[0071] 打磨清理后进行均匀化处理,本实施例均匀化处理温度为 1210℃,时间为 10 小时。

[0072] 结果表明,修复处经荧光检查及 X 射线检测符合指标要求,使用性能良好。

[0073] 实施例 3

[0074] 某进口燃气轮机,检修时发现燃气轮机喷咀发生严重的腐蚀和多处穿透性裂纹。喷咀材料为 FSX-414 钴基合金,且喷咀的排气边由热腐蚀形成的大的腐蚀坑。若采用激光焊则需要复杂胎具与其匹配及三轴联动机床,修改工序复杂且工作量太大、效率低。采用本发明可以将所有裂纹与腐蚀坑等几何尺寸的缺失一起修复,效率高,质量好。FSX-414 合金喷咀的修复工艺为:

[0075] 有机溶剂(丙酮)除油处理→机械法除去裂纹表面与腐蚀坑表面的氧化腐蚀层→丙酮清洗→将经塑化处理的钴基合金涂敷在裂纹与腐蚀坑空间→加热进行多孔化烧结→将镍基合金钎焊料放置于缺陷上方→加热进行瞬态液相熔渗致密化→机械修整。

[0076] 本实施例中,致密化处理用镍基合金钎焊料粉末的成分如下表所示(wt%):

[0077]

Cr	Zr	Co	Hf	Al	Ni
8.0	10.0	20.0	15.0	3.5	余

[0078] 镍基合金钎焊料粉末的粒度为 100 目。

[0079] 本实施例中,填充材料为 Co 基体合金 M509 合金粉末, M509 合金粉末粒度为 300 目,向 M509 粉末中添加塑化剂,塑化剂为商用水基粘结剂(Water binder-1),该塑化剂由泰州市艾瑞克新型材料有限公司提供,塑化剂占合金粉末的 15wt%。采用真空机械搅拌与手揣柔加工形成可塑粉末。

[0080] 本实施例中,熔渗致密化处理采用经 B 活化处理的粉末材料,硼活化方法为硼酸与合金粉末按重量比例为 1:15 经机械球磨处理活化 0.5 小时;活化处理过的合金粉末的塑化成型是通过向粉末中添加塑化剂,塑化剂为商用水基粘结剂(Water binder-1),该塑化剂由泰州市艾瑞克新型材料有限公司提供,塑化剂的加入量占合金粉末重量的 15%。采用真空机械搅拌与手揣柔加工形成可塑粉末。

[0081] 本实施例中,裂纹间隙填充材料的多孔化烧结和瞬态液相熔渗修复工艺参数为:

[0082] 设备:真空炉,真空度 0.5×10^{-5} Pa,叶片随炉加热,100℃脱塑化剂,时间为 1 小时;1120℃进行烧结多孔化,时间为 1.5 小时;1000℃进行瞬态液相熔渗致密化处理,时间为 2 小时,停止加热随炉冷却。经过熔渗致密化后,致密度大于 98%,强度为叶片基体合金的 90%以上。

[0083] 打磨清理后进行均匀化处理,本实施例均匀化处理温度为 1180℃,时间为 16 小时。

[0084] 结果表明,本发明对燃气轮机叶片大间隙缺陷进行瞬态液相熔渗修复,首先修整净化处理缺陷表面,然后钴基合金粉末填充缺陷空间,并塑化成型,随后经高温烧结形成多孔组织结构,最后在将 B 活化的粉末进行瞬态液相熔渗致密化以达到修复。从而,可以解决高 Al+Ti 高温合金大间隙缺陷国内目前不可修复而报废问题,其修复强度高、无变形、成本低。