



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 110193683 B

(45) 授权公告日 2022.01.28

(21) 申请号 201810159734.2 *C22C 30/00* (2006.01)

(22) 申请日 2018.02.26 *C22C 16/00* (2006.01)

(65) 同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 110193683 A 审查员 高聪娟

(43) 申请公布日 2019.09.03

(73) 专利权人 南京理工大学  
地址 210094 江苏省南京市孝陵卫200号

(72) 发明人 孔见 王华平 李建亮

(74) 专利代理机构 南京理工大学专利中心  
32203

代理人 邹伟红

(51) Int. Cl.

*B23K 35/32* (2006.01)

*B23K 35/14* (2006.01)

*B23K 35/40* (2006.01)

权利要求书1页 说明书7页

(54) 发明名称

一种用于TiAl-Ni异种材料连接的钎料

(57) 摘要

本发明为一种用于钛铝合金和镍基高温合金的非晶态钎料,使用形态为箔带状。该钎料的化学成份及重量百分比为:Ti:35.0~40.0,Be:6.0~8.0,Co:5.0~12.0,Zr余量。电弧熔炼制备Ti-Zr-Be-Co合金锭材,随后采用单辊旋转法制备非晶箔带。本发明钎料具有对母材良好的润湿性,熔点低,钎接头力学性能良好,接头组织细小均匀无明显缺陷,中间层材料实现了与母材良好的冶金结合,室温剪切强度可以达到370MPa。

1. 一种用于TiAl-Ni异种材料连接的钎料,其特征在于:该种钎料的化学成分及重量百分比为:Ti:35.0~40.0,Be:6.0~8.0,Co:5.0~12.0,Zr余量。

2. 根据权利要求1所述的用于TiAl-Ni异种材料连接的钎料,其特征在于:该种钎料的化学成分及重量百分比为:Ti:35.0~36.0,Be:6.0~7.0,Co:9.0~12.0,Zr余量。

3. 根据权利要求1所述的用于TiAl-Ni异种材料连接的钎料,其特征在于:该种钎料的化学成分及重量百分比为:Ti:36.0~38.0,Be:6.0~7.0,Co:8.0~12.0,Zr余量。

4. 根据权利要求1所述的用于TiAl-Ni异种材料连接的钎料,其特征在于:该种钎料的化学成分及重量百分比为:Ti:38.0~40.0,Be:7.0~8.0,Co:5.0~10.0,Zr余量。

5. 一种权利要求1-4任一项所述的用于TiAl-Ni异种材料连接的钎料制备方法,其特征在于,制备工艺如下:按照目标成分合金称量各金属单质,放入真空电弧熔炼炉,抽真空至 $10^{-3}$ Pa以上,关闭阀门,充入0.5~0.7atm的高纯氩气,熔炼制备母合金锭材,反复熔炼三次以上;随后取出破碎,放入带喷嘴的石英玻璃管内,置于真空单辊旋淬设备中,抽真空至 $10^{-3}$ Pa以上,关闭阀门,充入0.5~0.7atm的高纯氩气,启动感应熔炼电源对合金进行加热,达到熔点以上200K后;在石英玻璃管内充入1.5atm的高纯氩气,使熔体喷出到高速旋转线速度20m/s以上的铜辊上实现单辊旋淬。

## 一种用于TiAl-Ni异种材料连接的钎料

### 技术领域

[0001] 本发明为一种用于TiAl-Ni异种金属连接的钎料,属焊接技术领域。

### 背景技术

[0002] TiAl金属间化合物具有高强度、低密度、高蠕变抗力、抗燃烧等的优异性能,使其十分适用于制造飞机发动机的运动构件。镍基高温合金是以镍为基体在650~1000℃范围内具有较高的强度良好的抗氧化性,抗燃气腐蚀能力的高温合金。现代燃气涡轮发动机中有50%以上质量的材料采用高温合金,而其中镍基高温合金约占了40%。因此,钛铝金属间化合物作为一种极具潜力的高温材料,实现与传统镍基高温合金的连接具有重大的意义。

[0003] 钎焊温度低、母材组织和机械性能变化小,可焊接异种材料,适用于焊接结构复杂的精密构件。非晶钎料成分均匀、组织均匀,在加热过程中具有较好的铺展性,熔化过程使钎料本身产生大量热量,有助于钎料中相关元素的扩散,提高接头质量,与普通钎料相比,使用非晶钎料可获得高强度、高耐蚀性、高硬度、组织致密的钎焊接头。

[0004] 已报导的BNi-2镍基钎料钎焊TiAl-Ni异种材料接头室温剪切强度205MPa,钎焊工艺参数为1050℃,保温时间5min。采用Ag-Cu-Ti钎焊连接Ti<sub>3</sub>Al与GH536镍基高温合金,得到的钎焊接头的室温剪切强度为125MPa,工艺参数为钎焊温度880℃,保温时间10min。采用Ti-Zr-Cu-Ni钎料连接Ti<sub>3</sub>Al与GH536镍基高温合金,其室温剪切强度最高为196MPa,工艺参数为1050℃,保温时间为5min。造成Ag-Cu-Ti、Ti-Zr-Cu-Ni、BNi-2等钎料钎焊TiAl-Ni异种材料接头强度较低的主要原因在于Ti元素活性较高,易与钎料间产生大量的脆性金属间化合物。

### 发明内容

[0005] 本发明的目的旨在解决钛铝与镍基高温合金焊接接头强度偏低、容易产生大量金属间化合物的问题。采用成分合适的钎料,改善对应的工艺参数是本发明的主要内容。

[0006] 本发明技术方案中的钎料不加入或者易与Ti发生剧烈反应的Cu、Ni元素,而是以与钛铝合金具有良好相容性的Ti、Zr、Be等元素为主要元素,避免了接头产生大量的金属间化合物,不含有传统钎料中经常添加的Si、B等降熔元素,而是通过添加Co来降低熔点,进一步避免了接头脆性倾向的出现,Co元素还可以增加钎料的润湿铺展能力。

[0007] 本发明提出了一种用于钛铝与镍基高温合金钎焊的钛-锆-铍-钴非晶态钎料,其特征在于:该种钎料的化学成份及重量百分比为:Ti:35.0~40.0,Be:6.0~8.0,Co:5.0~12.0,Zr余量。

[0008] 本发明通过以下技术方案来实现,具体包括如下步骤:

[0009] (1) 采用单辊旋转法制备带状非晶钎料,差示扫描量热法测试钎料热物性能;

[0010] (2) 对镍基高温合金和钛铝合金进行打磨清洁处理,得到良好的待焊表面;

[0011] (3) 将钛铝合金、中间层、镍基高温合金从上至下依次叠放,置于真空钎焊炉中进

行钎焊；

[0012] (4) 将真空炉真空度抽至高于 $3.5 \times 10^{-3}$ Pa, 将温度升高至 $850^{\circ}\text{C}$ , 保温10min;

[0013] (5) 待炉膛温度降至室温后, 取出试件, 进行微观组织观察及力学性能检测。

[0014] 本发明与现有技术相比具有显著优点如下: 1、本发明解决了现有接头强度偏低、容易产生大量金属间化合物的问题, 钎料不加入或者易与Ti发生剧烈反应的Cu、Ni元素。2、本发明的采用的工艺简单, 制得的钎料对异种材料进行真空钎焊, 其接头结合紧密、成形良好, 钎焊接头的室温剪切强度高。

## 具体实施方式

[0015] 实施例1

[0016] 钎料合金成分按重量百分数配比, 为: 35.0% (Ti), 12.0% (Co), 6.0% (Be), 其余为Zr。

[0017] 按照目标成分合金称量各金属单质, 放入真空电弧熔炼炉, 抽真空至 $10^{-3}$ Pa以上, 关闭阀门, 充入0.5atm的高纯(5N)氩气, 熔炼制备母合金锭材, 反复熔炼三次以上, 随后取出破碎, 放入带喷嘴的石英玻璃管内, 置于真空单辊旋淬设备中, 抽真空至 $10^{-3}$ Pa以上, 关闭阀门, 充入0.5atm的高纯(5N)氩气, 启动感应熔炼电源对合金进行加热, 达到熔点以上200K后, 在石英玻璃管内充入1.5atm的高纯(5N)氩气, 使熔体喷出到高速旋转(线速度20m/s以上)的铜辊上实现单辊旋淬, 制备出厚度约为50微米的非晶箔带。利用差示扫描量热法(DSC)测试非晶钎料的热物性能, 该钎料的固相线温度为 $695^{\circ}\text{C}$ , 液相线温度为 $733^{\circ}\text{C}$ 。

[0018] 在 $850^{\circ}\text{C}$ 钎焊温度、10min保温时间的工艺条件下, 采用该钎料对GH536镍基高温合金-Ti-48Al-2Nb-2Cr异种材料进行真空(真空度 $3.5 \times 10^{-3}$ Pa以上)钎焊, 其接头结合紧密、成形良好, 钎焊接头的室温剪切强度为365MPa。

[0019] 实施例2

[0020] 钎料合金成分按重量百分数配比, 为: 35.0% (Ti), 12.0% (Co), 6.0% (Be), 其余为Zr。

[0021] 按照目标成分合金称量各金属单质, 放入真空电弧熔炼炉, 抽真空至 $10^{-3}$ Pa以上, 关闭阀门, 充入0.5atm的高纯(5N)氩气, 熔炼制备母合金锭材, 反复熔炼三次以上, 随后取出破碎, 放入带喷嘴的石英玻璃管内, 置于真空单辊旋淬设备中, 抽真空至 $10^{-3}$ Pa以上, 关闭阀门, 充入0.5atm的高纯(5N)氩气, 启动感应熔炼电源对合金进行加热, 达到熔点以上200K后, 在石英玻璃管内充入1.5atm的高纯(5N)氩气, 使熔体喷出到高速旋转(线速度20m/s以上)的铜辊上实现单辊旋淬, 制备出厚度约为50微米的非晶箔带。利用差示扫描量热法(DSC)测试非晶钎料的热物性能, 该钎料的固相线温度为 $695^{\circ}\text{C}$ , 液相线温度为 $733^{\circ}\text{C}$ 。

[0022] 在 $850^{\circ}\text{C}$ 钎焊温度、10min保温时间的工艺条件下, 采用该钎料对K24镍基高温合金-Ti-48Al-2Nb-2Cr异种材料进行真空(真空度 $3.5 \times 10^{-3}$ Pa以上)钎焊, 其接头结合紧密、成形良好, 钎焊接头的室温剪切强度为357MPa。

[0023] 实施例3

[0024] 钎料合金成分按重量百分数配比, 为: 40.0% (Ti), 5.0% (Co), 8.0% (Be), 其余为Zr。

[0025] 按照目标成分合金称量各金属单质, 放入真空电弧熔炼炉, 抽真空至 $10^{-3}$ Pa以上,

关闭阀门,充入0.5atm的高纯(5N)氩气,熔炼制备母合金锭材,反复熔炼三次以上,随后取出破碎,放入带喷嘴的石英玻璃管内,置于真空单辊旋淬设备中,抽真空至 $10^{-3}$ Pa以上,关闭阀门,充入0.5atm的高纯(5N)氩气,启动感应熔炼电源对合金进行加热,达到熔点以上200K后,在石英玻璃管内充入1.5atm的高纯(5N)氩气,使熔体喷出到高速旋转(线速度20m/s以上)的铜辊上实现单辊旋淬,制备出厚度约为50微米的非晶箔带。利用差示扫描量热法(DSC)测试非晶钎料的热物性能,该钎料的固相线温度为710℃,液相线温度为752℃。

[0026] 在850℃钎焊温度、10min保温时间的工艺条件下,采用该钎料对GH536镍基高温合金-Ti-48Al-2Nb-2Cr异种材料进行真空(真空度 $3.5 \times 10^{-3}$ Pa以上)钎焊,其接头结合紧密、成形良好,钎焊接头的室温剪切强度为362MPa。

[0027] 实施例4

[0028] 钎料合金成分按重量百分数配比,为:40.0%(Ti),5.0%(Co),8.0%(Be),其余为Zr。

[0029] 按照目标成分合金称量各金属单质,放入真空电弧熔炼炉,抽真空至 $10^{-3}$ Pa以上,关闭阀门,充入0.5atm的高纯(5N)氩气,熔炼制备母合金锭材,反复熔炼三次以上,随后取出破碎,放入带喷嘴的石英玻璃管内,置于真空单辊旋淬设备中,抽真空至 $10^{-3}$ Pa以上,关闭阀门,充入0.5atm的高纯(5N)氩气,启动感应熔炼电源对合金进行加热,达到熔点以上200K后,在石英玻璃管内充入1.5atm的高纯(5N)氩气,使熔体喷出到高速旋转(线速度20m/s以上)的铜辊上实现单辊旋淬,制备出厚度约为50微米的非晶箔带。利用差示扫描量热法(DSC)测试非晶钎料的热物性能,该钎料的固相线温度为710℃,液相线温度为752℃。

[0030] 在850℃钎焊温度、10min保温时间的工艺条件下,采用该钎料对K24镍基高温合金-Ti-48Al-2Nb-2Cr异种材料进行真空(真空度 $3.5 \times 10^{-3}$ Pa以上)钎焊,其接头结合紧密、成形良好,钎焊接头的室温剪切强度为355MPa。

[0031] 实施例5

[0032] 钎料合金成分按重量百分数配比,为:38.0%(Ti),8.0%(Co),7.0%(Be),其余为Zr。

[0033] 按照目标成分合金称量各金属单质,放入真空电弧熔炼炉,抽真空至 $10^{-3}$ Pa以上,关闭阀门,充入0.5atm的高纯(5N)氩气,熔炼制备母合金锭材,反复熔炼三次以上,随后取出破碎,放入带喷嘴的石英玻璃管内,置于真空单辊旋淬设备中,抽真空至 $10^{-3}$ Pa以上,关闭阀门,充入0.5atm的高纯(5N)氩气,启动感应熔炼电源对合金进行加热,达到熔点以上200K后,在石英玻璃管内充入1.5atm的高纯(5N)氩气,使熔体喷出到高速旋转(线速度20m/s以上)的铜辊上实现单辊旋淬,制备出厚度约为50微米的非晶箔带。利用差示扫描量热法(DSC)测试非晶钎料的热物性能,该钎料的固相线温度为700℃,液相线温度为737℃。

[0034] 在850℃钎焊温度、10min保温时间的工艺条件下,采用该钎料对GH536镍基高温合金-Ti-48Al-2Nb-2Cr异种材料进行真空(真空度 $3.5 \times 10^{-3}$ Pa以上)钎焊,其接头结合紧密、成形良好,钎焊接头的室温剪切强度为364MPa。

[0035] 实施例6

[0036] 钎料合金成分按重量百分数配比,为:38.0%(Ti),8.0%(Co),7.0%(Be),其余为Zr。

[0037] 按照目标成分合金称量各金属单质,放入真空电弧熔炼炉,抽真空至 $10^{-3}$ Pa以上,

关闭阀门,充入0.5atm的高纯(5N)氩气,熔炼制备母合金锭材,反复熔炼三次以上,随后取出破碎,放入带喷嘴的石英玻璃管内,置于真空单辊旋淬设备中,抽真空至 $10^{-3}$ Pa以上,关闭阀门,充入0.5atm的高纯(5N)氩气,启动感应熔炼电源对合金进行加热,达到熔点以上200K后,在石英玻璃管内充入1.5atm的高纯(5N)氩气,使熔体喷出到高速旋转(线速度20m/s以上)的铜辊上实现单辊旋淬,制备出厚度约为50微米的非晶箔带。利用差示扫描量热法(DSC)测试非晶钎料的热物性能,该钎料的固相线温度为700℃,液相线温度为737℃。在850℃钎焊温度、10min保温时间的工艺条件下,采用该钎料对K24镍基高温合金-Ti-48Al-2Nb-2Cr异种材料进行真空(真空度 $3.5 \times 10^{-3}$ Pa以上)钎焊,其接头结合紧密、成形良好,钎焊接头的室温剪切强度为355MPa。

[0038] 实施例7

[0039] 钎料合金成分按重量百分数配比,为:38.0%(Ti),5.0%(Co),8.0%(Be),其余为Zr。

[0040] 按照目标成分合金称量各金属单质,放入真空电弧熔炼炉,抽真空至 $10^{-3}$ Pa以上,关闭阀门,充入0.5atm的高纯(5N)氩气,熔炼制备母合金锭材,反复熔炼三次以上,随后取出破碎,放入带喷嘴的石英玻璃管内,置于真空单辊旋淬设备中,抽真空至 $10^{-3}$ Pa以上,关闭阀门,充入0.5atm的高纯(5N)氩气,启动感应熔炼电源对合金进行加热,达到熔点以上200K后,在石英玻璃管内充入1.5atm的高纯(5N)氩气,使熔体喷出到高速旋转(线速度20m/s以上)的铜辊上实现单辊旋淬,制备出厚度约为50微米的非晶箔带。利用差示扫描量热法(DSC)测试非晶钎料的热物性能,该钎料的固相线温度为708℃,液相线温度为749℃。

[0041] 在850℃钎焊温度、10min保温时间的工艺条件下,采用该钎料对GH536镍基高温合金-Ti-48Al-2Nb-2Cr异种材料进行真空(真空度 $3.5 \times 10^{-3}$ Pa以上)钎焊,其接头结合紧密、成形良好,钎焊接头的室温剪切强度为358MPa。

[0042] 实施例8

[0043] 钎料合金成分按重量百分数配比,为:38.0%(Ti),5.0%(Co),8.0%(Be),其余为Zr。

[0044] 按照目标成分合金称量各金属单质,放入真空电弧熔炼炉,抽真空至 $10^{-3}$ Pa以上,关闭阀门,充入0.5atm的高纯(5N)氩气,熔炼制备母合金锭材,反复熔炼三次以上,随后取出破碎,放入带喷嘴的石英玻璃管内,置于真空单辊旋淬设备中,抽真空至 $10^{-3}$ Pa以上,关闭阀门,充入0.5atm的高纯(5N)氩气,启动感应熔炼电源对合金进行加热,达到熔点以上200K后,在石英玻璃管内充入1.5atm的高纯(5N)氩气,使熔体喷出到高速旋转(线速度20m/s以上)的铜辊上实现单辊旋淬,制备出厚度约为50微米的非晶箔带。利用差示扫描量热法(DSC)测试非晶钎料的热物性能,该钎料的固相线温度为708℃,液相线温度为749℃。

[0045] 在850℃钎焊温度、10min保温时间的工艺条件下,采用该钎料对K24镍基高温合金-Ti-48Al-2Nb-2Cr异种材料进行真空(真空度 $3.5 \times 10^{-3}$ Pa以上)钎焊,其接头结合紧密、成形良好,钎焊接头的室温剪切强度为345MPa。

[0046] 实施例9

[0047] 钎料合金成分按重量百分数配比,为:35.0%(Ti),9.0%(Co),7.0%(Be),其余为Zr。

[0048] 按照目标成分合金称量各金属单质,放入真空电弧熔炼炉,抽真空至 $10^{-3}$ Pa以上,

关闭阀门,充入0.5atm的高纯(5N)氩气,熔炼制备母合金锭材,反复熔炼三次以上,随后取出破碎,放入带喷嘴的石英玻璃管内,置于真空单辊旋淬设备中,抽真空至 $10^{-3}$ Pa以上,关闭阀门,充入0.5atm的高纯(5N)氩气,启动感应熔炼电源对合金进行加热,达到熔点以上200K后,在石英玻璃管内充入1.5atm的高纯(5N)氩气,使熔体喷出到高速旋转(线速度20m/s以上)的铜辊上实现单辊旋淬,制备出厚度约为50微米的非晶箔带。利用差示扫描量热法(DSC)测试非晶钎料的热物性能,该钎料的固相线温度为698℃,液相线温度为737℃。

[0049] 在850℃钎焊温度、10min保温时间的工艺条件下,采用该钎料对GH536镍基高温合金-Ti-48Al-2Nb-2Cr异种材料进行真空(真空度 $3.5 \times 10^{-3}$ Pa以上)钎焊,其接头结合紧密、成形良好,钎焊接头的室温剪切强度为370MPa。

[0050] 实施例10

[0051] 钎料合金成分按重量百分数配比,为:35.0%(Ti),9.0%(Co),7.0%(Be),其余为Zr。

[0052] 按照目标成分合金称量各金属单质,放入真空电弧熔炼炉,抽真空至 $10^{-3}$ Pa以上,关闭阀门,充入0.5atm的高纯(5N)氩气,熔炼制备母合金锭材,反复熔炼三次以上,随后取出破碎,放入带喷嘴的石英玻璃管内,置于真空单辊旋淬设备中,抽真空至 $10^{-3}$ Pa以上,关闭阀门,充入0.5atm的高纯(5N)氩气,启动感应熔炼电源对合金进行加热,达到熔点以上200K后,在石英玻璃管内充入1.5atm的高纯(5N)氩气,使熔体喷出到高速旋转(线速度20m/s以上)的铜辊上实现单辊旋淬,制备出厚度约为50微米的非晶箔带。利用差示扫描量热法(DSC)测试非晶钎料的热物性能,该钎料的固相线温度为698℃,液相线温度为737℃。

[0053] 在850℃钎焊温度、10min保温时间的工艺条件下,采用该钎料对K24镍基高温合金-Ti-48Al-2Nb-2Cr异种材料进行真空(真空度 $3.5 \times 10^{-3}$ Pa以上)钎焊,其接头结合紧密、成形良好,钎焊接头的室温剪切强度为368MPa。

[0054] 实施例11

[0055] 钎料合金成分按重量百分数配比,为:37.0%(Ti),10.0%(Co),7.0%(Be),其余为Zr。

[0056] 按照目标成分合金称量各金属单质,放入真空电弧熔炼炉,抽真空至 $10^{-3}$ Pa以上,关闭阀门,充入0.5atm的高纯(5N)氩气,熔炼制备母合金锭材,反复熔炼三次以上,随后取出破碎,放入带喷嘴的石英玻璃管内,置于真空单辊旋淬设备中,抽真空至 $10^{-3}$ Pa以上,关闭阀门,充入0.5atm的高纯(5N)氩气,启动感应熔炼电源对合金进行加热,达到熔点以上200K后,在石英玻璃管内充入1.5atm的高纯(5N)氩气,使熔体喷出到高速旋转(线速度20m/s以上)的铜辊上实现单辊旋淬,制备出厚度约为50微米的非晶箔带。利用差示扫描量热法(DSC)测试非晶钎料的热物性能,该钎料的固相线温度为695℃,液相线温度为733℃。

[0057] 在850℃钎焊温度、10min保温时间的工艺条件下,采用该钎料对GH536镍基高温合金-Ti-48Al-2Nb-2Cr异种材料进行真空(真空度 $3.5 \times 10^{-3}$ Pa以上)钎焊,其接头结合紧密、成形良好,钎焊接头的室温剪切强度为357MPa。

[0058] 实施例12

[0059] 钎料合金成分按重量百分数配比,为:37.0%(Ti),10.0%(Co),7.0%(Be),其余为Zr。

[0060] 按照目标成分合金称量各金属单质,放入真空电弧熔炼炉,抽真空至 $10^{-3}$ Pa以上,

关闭阀门,充入0.5atm的高纯(5N)氩气,熔炼制备母合金锭材,反复熔炼三次以上,随后取出破碎,放入带喷嘴的石英玻璃管内,置于真空单辊旋淬设备中,抽真空至 $10^{-3}$ Pa以上,关闭阀门,充入0.5atm的高纯(5N)氩气,启动感应熔炼电源对合金进行加热,达到熔点以上200K后,在石英玻璃管内充入1.5atm的高纯(5N)氩气,使熔体喷出到高速旋转(线速度20m/s以上)的铜辊上实现单辊旋淬,制备出厚度约为50微米的非晶箔带。利用差示扫描量热法(DSC)测试非晶钎料的热物性能,该钎料的固相线温度为695℃,液相线温度为733℃。

[0061] 在850℃钎焊温度、10min保温时间的工艺条件下,采用该钎料对K24镍基高温合金-Ti-48Al-2Nb-2Cr异种材料进行真空(真空度 $3.5 \times 10^{-3}$ Pa以上)钎焊,其接头结合紧密、成形良好,钎焊接头的室温剪切强度为349MPa。

[0062] 实施例13

[0063] 钎料合金成分按重量百分数配比,为:40.0%(Ti),10.0%(Co),7.0%(Be),其余为Zr。

[0064] 按照目标成分合金称量各金属单质,放入真空电弧熔炼炉,抽真空至 $10^{-3}$ Pa以上,关闭阀门,充入0.5atm的高纯(5N)氩气,熔炼制备母合金锭材,反复熔炼三次以上,随后取出破碎,放入带喷嘴的石英玻璃管内,置于真空单辊旋淬设备中,抽真空至 $10^{-3}$ Pa以上,关闭阀门,充入0.5atm的高纯(5N)氩气,启动感应熔炼电源对合金进行加热,达到熔点以上200K后,在石英玻璃管内充入1.5atm的高纯(5N)氩气,使熔体喷出到高速旋转(线速度20m/s以上)的铜辊上实现单辊旋淬,制备出厚度约为50微米的非晶箔带。利用差示扫描量热法(DSC)测试非晶钎料的热物性能,该钎料的固相线温度为698℃,液相线温度为735℃。

[0065] 在850℃钎焊温度、10min保温时间的工艺条件下,采用该钎料对GH536镍基高温合金-Ti-48Al-2Nb-2Cr异种材料进行真空(真空度 $3.5 \times 10^{-3}$ Pa以上)钎焊,其接头结合紧密、成形良好,钎焊接头的室温剪切强度为365MPa。

[0066] 实施例14

[0067] 钎料合金成分按重量百分数配比,为:40.0%(Ti),10.0%(Co),7.0%(Be),其余为Zr。

[0068] 按照目标成分合金称量各金属单质,放入真空电弧熔炼炉,抽真空至 $10^{-3}$ Pa以上,关闭阀门,充入0.5atm的高纯(5N)氩气,熔炼制备母合金锭材,反复熔炼三次以上,随后取出破碎,放入带喷嘴的石英玻璃管内,置于真空单辊旋淬设备中,抽真空至 $10^{-3}$ Pa以上,关闭阀门,充入0.5atm的高纯(5N)氩气,启动感应熔炼电源对合金进行加热,达到熔点以上200K后,在石英玻璃管内充入1.5atm的高纯(5N)氩气,使熔体喷出到高速旋转(线速度20m/s以上)的铜辊上实现单辊旋淬,制备出厚度约为50微米的非晶箔带。利用差示扫描量热法(DSC)测试非晶钎料的热物性能,该钎料的固相线温度为698℃,液相线温度为735℃。

[0069] 在850℃钎焊温度、10min保温时间的工艺条件下,采用该钎料对K24镍基高温合金-Ti-48Al-2Nb-2Cr异种材料进行真空(真空度 $3.5 \times 10^{-3}$ Pa以上)钎焊,其接头结合紧密、成形良好,钎焊接头的室温剪切强度为342MPa。

[0070] 实施例15

[0071] 钎料合金成分按重量百分数配比,为:36.0%(Ti),12.0%(Co),6.0%(Be),其余为Zr。

[0072] 按照目标成分合金称量各金属单质,放入真空电弧熔炼炉,抽真空至 $10^{-3}$ Pa以上,



关闭阀门,充入0.5atm的高纯(5N)氩气,熔炼制备母合金锭材,反复熔炼三次以上,随后取出破碎,放入带喷嘴的石英玻璃管内,置于真空单辊旋淬设备中,抽真空至 $10^{-3}$ Pa以上,关闭阀门,充入0.5atm的高纯(5N)氩气,启动感应熔炼电源对合金进行加热,达到熔点以上200K后,在石英玻璃管内充入1.5atm的高纯(5N)氩气,使熔体喷出到高速旋转(线速度20m/s以上)的铜辊上实现单辊旋淬,制备出厚度约为50微米的非晶箔带。利用差示扫描量热法(DSC)测试非晶钎料的热物性能,该钎料的固相线温度为696℃,液相线温度为733℃。

[0073] 在850℃钎焊温度、10min保温时间的工艺条件下,采用该钎料对GH536镍基高温合金-Ti-48Al-2Nb-2Cr异种材料进行真空(真空度 $3.5 \times 10^{-3}$ Pa以上)钎焊,其接头结合紧密、成形良好,钎焊接头的室温剪切强度为368MPa。

[0074] 实施例16

[0075] 钎料合金成分按重量百分数配比,为:36.0%(Ti),12.0%(Co),6.0%(Be),其余为Zr。

[0076] 按照目标成分合金称量各金属单质,放入真空电弧熔炼炉,抽真空至 $10^{-3}$ Pa以上,关闭阀门,充入0.5atm的高纯(5N)氩气,熔炼制备母合金锭材,反复熔炼三次以上,随后取出破碎,放入带喷嘴的石英玻璃管内,置于真空单辊旋淬设备中,抽真空至 $10^{-3}$ Pa以上,关闭阀门,充入0.5atm的高纯(5N)氩气,启动感应熔炼电源对合金进行加热,达到熔点以上200K后,在石英玻璃管内充入1.5atm的高纯(5N)氩气,使熔体喷出到高速旋转(线速度20m/s以上)的铜辊上实现单辊旋淬,制备出厚度约为50微米的非晶箔带。利用差示扫描量热法(DSC)测试非晶钎料的热物性能,该钎料的固相线温度为696℃,液相线温度为733℃。

[0077] 在850℃钎焊温度、10min保温时间的工艺条件下,采用该钎料对K24镍基高温合金-Ti-48Al-2Nb-2Cr异种材料进行真空(真空度 $3.5 \times 10^{-3}$ Pa以上)钎焊,其接头结合紧密、成形良好,钎焊接头的室温剪切强度为370MPa。