



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 114769587 A

(43) 申请公布日 2022. 07. 22

(21) 申请号 202210466004.3

(22) 申请日 2022.04.29

(71) 申请人 中南大学

地址 410083 湖南省长沙市岳麓区麓山南路932号

(72) 发明人 马运柱 唐昭峰 杨伦 王涛
伍镭 刘文胜 刘超 颜焕元

(74) 专利代理机构 长沙市融智专利事务所(普通合伙) 43114

专利代理师 蒋太炜

(51) Int. Cl.

B22F 3/02 (2006.01)

B22F 3/10 (2006.01)

B22F 7/02 (2006.01)

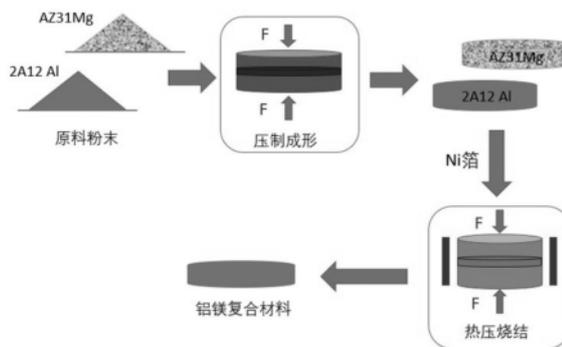
权利要求书2页 说明书7页 附图2页

(54) 发明名称

一种添加中间层的铝镁层状复合材料及其制备方法

(57) 摘要

本发明涉及粉末冶金制备制备技术,具体涉及一种添加Ni中间层的铝镁层状复合材料及其制备方法。所述复合材料由铝合金层、中间层、镁合金层复合而成,且相接触的各层之间形成冶金结合。其制备方法为:选择合适的铝合金粉末和镁合金粉末以及中间层;通过低压共烧结得到轻质高强、界面结合良好的铝镁层状复合材料。本发明制备的铝/中间层/镁复合材料具有质轻高强,界面结合良好和综合力学性能优异等优点。且本发明简化了粉末冶金法制备铝镁复合材料的工艺流程,提高了界面的结合强度,操作简单,易于控制,便于产业化生产。



1. 一种添加中间层的铝镁层状复合材料;其特征在于:所述复合材料由A层、B层、C层复合而成,所述A层的材质为铝合金,所述B层的材质为镍或镍合金,所述C材质为镁合金,所述A层与B层的一面接触并形成冶金结合,所述B层的另一面与C层接触并形成冶金结合;A层中的元素不会扩散至C层,C层中的元素不会扩散至A层。

2. 根据权利要求1所述的一种添加中间层的铝镁层状复合材料;其特征在于:A层的厚度均2-8mm、B层的厚度为2-8mm;C层的厚度小于50 μ m。

3. 一种添加中间层的铝镁层状复合材料的制备方法,其特征在于;包括下述步骤:

(1) 分别将铝合金粉末、镁合金粉末在液压机下压制成形;

步骤(1)中液压机压力为100-300MPa,保压时间为3-10s,生坯厚度2-8mm;

(2) 对Ni箔进行表面处理和超声清洗;所述Ni箔厚度小于等于50 μ m;

(3) 将Ni箔放置于铝镁生坯之间,并放进石墨模具内;

(4) 将装好样品的石墨模具放进烧结炉内,在真空条件下进行低压梯度升温烧结,并随炉冷却,得到粉末冶金铝镁复合材料;所述低压梯度升温烧结的压力少于20MPa、烧结温度为500-518 $^{\circ}$ C。

4. 根据权利要求3所述的一种添加中间层的铝镁层状复合材料的制备方法,其特征在于:所使用的铝合金粉末为含有Cu、Mg的铝合金粉末,形状为球形、近球形和不规则形,粒度大小为5-150 μ m。

5. 根据权利要求3所述的一种添加中间层的铝镁层状复合材料的制备方法,其特征在于:镁合金粉末为含有Al、Zn的镁合金粉末,形状为球形、近球形和不规则形,粒度大小为30-150 μ m。

6. 根据权利要求3所述的一种添加中间层的铝镁层状复合材料的制备方法,其特征在于:步骤(2)中Ni箔厚度为10-50 μ m,使用1500#和2000#的水磨砂纸进行表面处理,并在超声清洗仪中清洗5-10分钟。

7. 根据权利要求3所述的一种添加中间层的铝镁层状复合材料的制备方法,其特征在于:步骤(4)中所述真空条件是指烧结炉内气压小于 5×10^{-2} Pa,更优选为炉内气压小于 1.0×10^{-2} Pa。

8. 根据权利要求3所述的一种添加中间层的铝镁层状复合材料的制备方法,其特征在于:步骤(4)中所述低压烧结的压力为10-20MPa。

9. 根据权利要求3所述的一种添加中间层的铝镁层状复合材料的制备方法,其特征在于:步骤(4)所述的梯度升温工艺为:先以5-10 $^{\circ}$ C/min的升温速率升高至300 $^{\circ}$ C并保温10-30分钟,再以5-8 $^{\circ}$ C/min的升温速率升高至490 $^{\circ}$ C并保温10-30分钟,再以5 $^{\circ}$ C/min的升温速率升高至500-515 $^{\circ}$ C并保温1-2小时,优选为1.5小时最后随炉冷却得到铝镁复合材料。

10. 根据权利要求3所述的一种添加中间层的铝镁层状复合材料的制备方法,其特征在于:包括下述步骤;

(1) 分别将2A12铝合金粉末、AZ31镁合金粉末在200MPa压力下压制直径为40mm的圆形生坯;所用铝合金粉末的粒径分布为5-100微米、平均粒径为29.5微米;所用镁合金粉末的粒径分布为30-100微米、平均粒径为68.6微米;

(2) 使用1500#和2000#的水磨砂纸对约10微米厚的纯Ni箔进行表面处理后,在超声清洗仪中清洗10分钟,取出烘干;此时Ni箔的厚度为8.5-9.5微米;

(3) 将烘干的Ni箔放置于铝镁生坯之间,并放进石墨模具内;

(4) 将装好样品的石墨模具放入真空烧结炉中,抽真空至 2×10^{-2} Pa后开始加热,先以 $8^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升至 300°C 保温10分钟,再以 $7^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升至 480°C 保温10分钟,再以 $5^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升至 510°C 保温1.5小时,同时温度为 510°C 开始加压,压力大小为10MPa,工艺结束后停止加压并随炉冷却,得到粉末冶金铝镁复合材料;

所得铝镁复合材料的拉伸强度为208-212MPa,所得铝镁复合材料的室温剪切强度为82-84MPa。

一种添加中间层的铝镁层状复合材料及其制备方法

技术领域

[0001] 本发明涉及粉末冶金制备技术,具体涉及一种添加Ni中间层的铝镁层状复合材料及其制备方法。

背景技术:

[0002] 铝合金、镁合金具备着密度低,比强度高,综合性能优异等特点,是航空航天、汽车制造等领域广泛使用备受关注的轻质结构材料。但随着各个领域的快速发展,对铝镁合金的各项性能提出了更高的要求,因此将铝镁合金进行复合形成轻质铝镁复合材料,综合两种材料优点,形成性能互补,比单一均质材料具有更广阔的应用前景。

[0003] 目前,国内外制备Al/Mg复合材料的常用方法有扩散连接法、轧制复合法、爆炸焊接法和搅拌摩擦焊等,轧制复合法是利用轧机的压力使板材发生塑性变形,破碎金属表面钝化层,使原子在压力和温度作用下发生扩散形成结合,这种方法对轧机压力要求较大且较适用于变形能力较好的合金,而镁合金变形能力较差,轧制时易产生边裂,影响性能。爆炸焊接是利用炸药爆炸时产生的冲击波和瞬时高温使焊接金属表面发生塑性变形、局部熔化和相互扩散,从而实现金属复合,但爆炸焊接法容易对覆层板造成损伤,不适用于冲击韧性较差的材料且不能连续生产。搅拌摩擦焊是利用高速旋转的搅拌头与焊件摩擦产生热量在焊件之间形成塑形流动区域从而形成复合,其缺点在焊缝间容易形成偏析和裂纹等缺陷,影响界面结合性能。扩散连接法是基体材料熔点以下进行加热加压保温,使基体间发生相互扩散形成冶金结合的固态连接方法,扩散连接法形成的接头缺陷少质量良好,界面平整且残余应力小,因此本研究将采用扩散连接法对Al/Mg层状材料进行复合。但这些方法在对Al/Mg材料进行复合时都存在的问题是容易在复合界面处形成Al/Mg脆性金属间化合物,影响界面结合性能,因此本研究通过添加Ni箔中间层来调控Al/Mg复合界面,阻止脆性相的生成,提高界面结合性能。

[0004] CN112828037A公开了一种低温轧制制备超薄铝镁层状复合材料的方法,将轧制法与粉末冶金法结合,使得铝镁层状复合材料既具有粉末冶金材料晶粒细小,成分均匀,无偏析的优点,又具有轧制复合界面结合好,组织致密度高的特点;文献“Effect of Sn interlayer on mechanical properties and microstructure in Al/Mg friction stir lap welding with different rotational speeds[J].Materials Research Express, 2020,7(7):”Zheng Bo等人添加Sn中间层采用搅拌摩擦焊工艺制备了Al/Mg复合材料,接头处形成了Mg₂Sn相,界面结合性能提高,断裂模式从脆性断裂转变为了混合断裂;文献“Effect of inert gas-shielding on the interface and mechanical properties of Mg/Al explosive welding composite plate[J].Journal of Manufacturing Processes,2019,45(166-175);”中Xiangyu Zeng等人在惰性气体保护下采用爆炸焊接法制备了铝镁复合材料,在惰性气体保护下,铝镁复合界面处扩散区较窄,没有出现明显的脆性金属间化合物层和氧化物,界面剪切强度约为64MPa,拉伸强度约为147MPa;文献“Physical Vapor Deposition Assisted Diffusion Bonding of Al Alloy to Mg Alloy

Using Silver Interlayer[J].Metals and Materials International,2021,27(10):4132-4141.”中Hatef Shakeri等人以Ag为中间层,采用扩散连接法制备了Al/Mg复合材料,界面处生成了MgAg、AgZn、Ag₅Zn₈和Ag₂Al相,界面剪切强度提高至31.2MPa。综上所述,目前采用各种方法所制备得到的铝镁复合材料界面结合强度仍有待提高,且关于粉末冶金铝镁复合材料的研究较少且不完善。

[0005] 鉴于此,本研究首创性的将粉末冶金铝镁材料的特点与扩散连接法进行有效的结合,通过添加高熔点的Ni箔实现了粉末冶金铝镁复合材料的一体化烧结,既简化改良了粉末冶金铝镁复合材料的制备工艺,还大大提高了铝镁复合材料界面结合强度。

发明内容

[0006] 本发明提供了一种优化后的粉末冶金铝镁复合材料制备方法,并通过添加高熔点的Ni箔中间层大大提升了铝镁复合界面的结合性能,使其应用领域更加广泛。

[0007] 在本发明的研发过程中,所遇到的难以解决的问题有:

[0008] (1) 如何选择中间层的材质和厚度;

[0009] (2) 如何协调界面结合强度、铝镁基体致密度与烧结温度、保温时间之间的关系。当烧结温度高和保温时间长时,铝镁基体会与Ni箔在界面处发生强烈的扩散反应,产生大量的金属间化合物聚集,影响铝镁复合材料的结合强度;当烧结温度低和保温时间短时,铝镁基体未烧结致密,力学性能差,同时铝镁基体也未能与Ni箔形成牢固的冶金结合;

[0010] (3) 如何协调Ni箔厚度与烧结温度和保温时间的关系,在一定的烧结温度和保温时间条件下,当Ni箔较薄时,铝镁能穿过Ni箔发生互扩散,Ni箔的阻碍作用消失,会有大量铝镁脆性金属间化合物生成,极大地影响界面结合强度。

[0011] 为解决以上问题,得到基体致密,界面结合良好的高质量、高成品率的粉末冶金铝镁复合材料,在进行了大量实验后,得到以下技术方案,包括铝合金粉末和镁合金粉末的压制成形、Ni箔中间层的表面处理、Al生坯/Ni箔/Mg生坯的低压梯度升温共烧结。

[0012] 本发明一种添加中间层的铝镁层状复合材料;所述复合材料由A层、B层、C层复合而成,所述A层的材质为铝合金,所述B层的材质为镍或镍合金、优选为纯镍,所述C层的材质为镁合金,所述A层与B层的一面接触并形成冶金结合,所述B层的另一面与C层接触并形成冶金结合;A层中的元素不会扩散至C层,C层中的元素不会扩散至A层。

[0013] 作为优选,本发明一种添加中间层的铝镁层状复合材料;A层的厚度均2-8mm、B层的厚度为2-8mm;C层的厚度小于50 μ m。

[0014] A层的材质为7055Al合金、2A12铝合金、2A16中的至少一种。

[0015] C层的材质为AZ31镁合金、AZ61镁合金、AZ91中的至少一种。

[0016] 本发明一种添加中间层的铝镁层状复合材料的制备方法,包括下述步骤:

[0017] (1) 分别将铝合金粉末、镁合金粉末在液压机下压制成形;

[0018] 步骤(1)中液压机压力为100-300MPa,保压时间为3-10s,生坯厚度2-8mm;

[0019] (2) 对Ni箔进行表面处理和超声清洗;所述Ni箔厚度小于等于50 μ m;

[0020] (3) 将Ni箔放置于铝镁生坯之间,并放进石墨模具内;

[0021] (4) 将装好样品的石墨模具放进烧结炉内,在真空条件下进行低压梯度升温烧结,并随炉冷却,得到粉末冶金铝镁复合材料,所述低压梯度升温烧结的压力少于20MPa、烧结

温度为500-518℃。

[0022] 作为优选方案,本发明一种添加中间层的铝镁层状复合材料的制备方法,所使用的铝合金粉末为含有Cu、Mg的铝合金粉末,形状为球形、近球形和不规则形,粒度大小为5-150 μm 。

[0023] 作为优选方案,本发明一种添加中间层的铝镁层状复合材料的制备方法,镁合金粉末为Al、Zn的镁合金粉末,形状为球形、近球形和不规则形,粒度大小为30-150 μm 。

[0024] 在实验过程中,铝镁生坯形状可为直径40mm的圆形。

[0025] 本发明一种添加中间层的铝镁层状复合材料的制备方法,步骤(2)中Ni箔厚度为10-50 μm 、优选为10-20 μm ,使用1500#和2000#的水磨砂纸进行表面处理,并在超声清洗仪中清洗5-10分钟。

[0026] 本发明一种添加中间层的铝镁层状复合材料的制备方法,步骤(4)中所述真空条件是指烧结炉内气压小于 $5 \times 10^{-2} \text{Pa}$,更优选为炉内气压小于 $1.0 \times 10^{-2} \text{Pa}$ 。

[0027] 本发明一种添加中间层的铝镁层状复合材料的制备方法,步骤(4)中所述低压烧结的压力为10-20MPa。

[0028] 本发明一种添加中间层的铝镁层状复合材料的制备方法,步骤(4)所述的梯度升温工艺为:先以5-10 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 的升温速率升高至300 $^{\circ}\text{C}$ 并保温10-30分钟,再以5-8 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 的升温速率升高至490 $^{\circ}\text{C}$ 并保温10-30分钟,再以5 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 的升温速率升高至500-515 $^{\circ}\text{C}$ 并保温1-2小时,优选为1.5小时最后随炉冷却得到铝镁复合材料。

[0029] 采用以上所述的梯度升温烧结工艺能更好的控制烧结过程中的升温速率和温度偏差,能让铝镁基体与镍箔之间充分扩散,界面结合紧密,同时铝镁基体更加致密。

[0030] 在本发明中,必须严格控制镍箔的厚度,太薄极易导致铝合金层中的元素扩散至镁合金中,也容易导致镁合金层中的元素扩散至铝合金中,导致产品的剪切强度迅速衰减。而且在本发明中选定适当厚度的镍箔后,如何匹配烧结工艺和铝合金层以及镁合金层也至关重要,在实验过程中发现采用2A12铝合金层、AZ31镁合金层配合升温制度,可以将产品的剪切强度提升至80-84MPa。

[0031] 作为进一步的优选方案,本发明一种添加中间层的铝镁层状复合材料的制备方法,包括下述步骤:

[0032] (1) 分别将2A12铝合金粉末、AZ31镁合金粉末在200MPa压力下压制成直径为40mm的圆形生坯;所用铝合金粉末的粒径分布为5-100微米、平均粒径为29.5微米;所用镁合金粉末的粒径分布为30-100微米、平均粒径为68.6微米;

[0033] (2) 使用1500#和2000#的水磨砂纸对约10微米厚的纯Ni箔进行表面处理后,在超声清洗仪中清洗10分钟,取出烘干;此时Ni箔的厚度为8.5-9.5微米;

[0034] (3) 将烘干的Ni箔放置于铝镁生坯之间,并放进石墨模具内;

[0035] (4) 将装好样品的石墨模具放入真空烧结炉中,抽真空至 $2 \times 10^{-2} \text{Pa}$ 后开始加热,先以8 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升至300 $^{\circ}\text{C}$ 保温10分钟,再以7 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升至480 $^{\circ}\text{C}$ 保温10分钟,再以5 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升至510 $^{\circ}\text{C}$ 保温1.5小时,同时温度为510 $^{\circ}\text{C}$ 开始加压,压力大小为10MPa,工艺结束后停止加压并随炉冷却,得到粉末冶金铝镁复合材料;

[0036] 所得铝镁复合材料的拉伸强度为208-212MPa,所得铝镁复合材料的室温剪切强度为82-84MPa。

[0037] 本发明的原理:

[0038] 本发明通过添加高熔点的纯Ni箔有效的阻止了铝镁脆性金属间化合物生成并在界面处发生聚集,极大地提高了铝镁复合材料的剪切强度,此外,Al-Ni共晶温度点为644℃,Mg-Ni共晶温度点为506℃,而粉末冶金铝合金、镁合金的烧结温度也在500℃-520℃之间,这就为粉末冶金Al/Ni/Mg一体化烧结提供了理论可能。在经过许多次的实验研究和改进之后,成功的实现了添加Ni箔的粉末冶金铝镁复合材料的共烧结,同时其剪切强度有了很大程度的提升。

[0039] 本发明的优点:

[0040] 一、该工艺经济效益高,可一步实现了粉末冶金铝镁两种金属材料的基体致密和铝镁异种金属间的连接,显著降低了生产成本。

[0041] 二、由于所添加的Ni箔厚度很小,可以在不影响轻质铝镁复合材料应用领域的前提下,大大提高了铝镁复合材料的剪切强度,最大剪切强度可达84MPa。

[0042] 三、本发明可拓展至多种铝及铝合金/镍及镍合金中间层/镁及镁合金复合材料的制备,其为铝镁层状复合材料的开发提供了一种新的思路,也为铝镁层状复合材料产业化生产提供了必要条件。

附图说明

[0043] 附图1为添加Ni箔中间层的铝镁复合材料制备工艺流程简图;

[0044] 附图2为实施例1、对比例1、对比例2中所制备得到的铝镁复合样品宏观形貌图;

[0045] 附图3为实例1中所制备出的AZ31镁合金/Ni箔/2A12铝合金复合材料成品的界面结合情况和微观组织图。

[0046] 具体实施方法

[0047] 以下将以实例对铝/Ni中间层/镁粉末冶金复合材料的低压共烧结制备方法进行说明:

[0048] 实施例1:

[0049] (1) 分别将2A12铝合金粉末、AZ31镁合金粉末在200MPa压力下压制成直径为40mm的圆形生坯;所用铝合金粉末的粒径分布为5-100微米、平均粒径为29.5微米;所用镁合金粉末的粒径分布为30-100微米、平均粒径为68.6微米;

[0050] (2) 使用1500#和2000#的水磨砂纸对约10微米厚的纯Ni箔进行表面处理后,在超声清洗仪中清洗10分钟,取出烘干;此时Ni箔的厚度约为9微米;

[0051] (3) 将烘干的Ni箔放置于铝镁生坯之间,并放进石墨模具内;

[0052] (4) 将装好样品的石墨模具放入真空烧结炉中,抽真空至 2×10^{-2} Pa后开始加热,先以8℃/min升至300℃保温10分钟,再以7℃/min升至480℃保温10分钟,再以5℃/min升至510℃保温1.5小时,同时温度为510℃开始加压,压力大小为10MPa,工艺结束后停止加压并随炉冷却,得到粉末冶金铝镁复合材料。

[0053] 实施例1所制得的铝镁复合材料基体基本烧结致密,拉伸强度约为210MPa,达到了铝镁复合材料的正常水平,而该方法制得的铝镁复合材料室温剪切强度能达到84MPa,远高于一般铝镁复合材料的20-30MPa。

[0054] 实施例2(采用20μm厚的Ni-Cr-Fe系合金):

[0055] 其他条件和实施例1一致,不同之处在于采用20 μ m厚的Ni-Cr-Fe系合金箔。

[0056] 所得铝镁基体基本烧结致密,拉伸强度约为205MPa,达到了铝镁复合材料的正常水平,同时由于采用的为Ni-Cr-Fe系镍合金箔材中间层,Cr和Fe元素的加入使得界面产生了一定量的第二相组织,对界面整体的结合强度有所影响,材料剪切强度略低于添加纯Ni箔的铝镁复合材料,大约为55MPa。

[0057] 实施例3

[0058] 其他条件和实施例1一致,不同之处在于采用的铝合金粉末为7055Al合金;其所得产品的拉伸强度约为230MPa;产品的平均剪切强度能约为57MPa。

[0059] 实施例4

[0060] 其他条件和实施例1一致,不同之处在于:采用的镁合金粉末为AZ61镁合金;其所得产品的拉伸强度约为215MPa;产品的平均剪切强度能约为65MPa。

[0061] 实施例5

[0062] 其他条件和实施例1一致,不同之处在于纯Ni箔的厚度为50微米;其所得产品的拉伸强度约为210MPa;产品的平均剪切强度能约为64MPa。

[0063] 实施例6

[0064] 其他条件和实施例1一致,不同之处在于纯Ni箔的厚度为20微米;其所得产品的拉伸强度约为210MPa;产品的平均剪切强度能约为68MPa。

[0065] 实施例7

[0066] 其他条件和实施例1一致,不同之处在于纯Ni箔的厚度约为5微米;其所得产品的拉伸强度约为212MPa;产品的平均剪切强度能约为50MPa。而且本实施例实施过程中5微米厚的纯Ni箔极难得到。制备5微米厚的纯Ni箔的成功率不到10%。

[0067] 实施例8

[0068] 其他条件和实施例1一致,不同之处在于:直接以8 $^{\circ}$ C/min升至510 $^{\circ}$ C保温1.5小时,升温过程和保温过程一致加压压力大小为10MPa,工艺结束后停止加压并随炉冷却,得到粉末冶金铝镁复合材料。其所得产品的拉伸强度约为190MPa;产品的平均剪切强度能约为62MPa。

[0069] 实施例9

[0070] 其他条件和实施例1一致,不同之处在于:(4)将装好样品的石墨模具放入真空烧结炉中,抽真空至 $2*10^{-2}$ Pa后开始加热,先以8 $^{\circ}$ C/min升至480 $^{\circ}$ C保温20分钟,再以5 $^{\circ}$ C/min升至510 $^{\circ}$ C保温1.5小时,同时温度为510 $^{\circ}$ C开始加压,压力大小为10MPa,工艺结束后停止加压并随炉冷却,得到粉末冶金铝镁复合材料。其所得产品的拉伸强度约为200MPa;产品的平均剪切强度能约为66MPa。

[0071] 实施例10

[0072] 其他条件和实施例1一致,不同之处在于其他条件和实施例1一致,不同之处在于:(4)将装好样品的石墨模具放入真空烧结炉中,抽真空至 $2*10^{-2}$ 后开始加热,先以8 $^{\circ}$ C/min升至480 $^{\circ}$ C保温20分钟,再以5 $^{\circ}$ C/min升至510 $^{\circ}$ C保温1.5小时,同时温度为500 $^{\circ}$ C开始加压,压力大小为10MPa,工艺结束后停止加压并随炉冷却,得到粉末冶金铝镁复合材料。其所得产品的拉伸强度约为200MPa;产品的平均剪切强度能约为66MPa。

[0073] 实施例11

[0074] 其他条件和实施例1一致,不同之处在于其他条件和实施例1一致,不同之处在于:
(4) 将装好样品的石墨模具放入真空烧结炉中,抽真空至 2×10^{-2} Pa后开始加热,先以 $8^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升至 480°C 保温20分钟,再以 $5^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升至 510°C 保温1.5小时,同时温度为 515°C 开始加压,压力大小为10MPa,工艺结束后停止加压并随炉冷却,得到粉末冶金铝镁复合材料。其所得产品的拉伸强度约为200MPa;产品的平均剪切强度能约为66MPa。

[0075] 实施例12

[0076] 其他条件和实施例1一致,不同之处在于:采用的铝合金粉末为7055Al、采用的镁合金粉为AZ31Mg;其所得产品的拉伸强度约为235MPa;产品的平均剪切强度能约为55MPa。

[0077] 对比例1(与实施例1相比较,温度高,保温时间长)

[0078] 步骤(1)至步骤(3)与实例1相同,不同之处在于:将装好样品的石墨模具放入真空烧结炉中,抽真空至 2×10^{-2} Pa时开始加热,先以 $8^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升至 300°C 保温10分钟后,再以 $7^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升至 500°C 保温10分钟,再以 $5^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升至 520°C 保温2小时,保温过程中同样保持10MPa的压力,工艺结束后随炉冷却。

[0079] 对比例1所制得的样品出现了大量的熔融现象,这主要是由于温度高和保温时间长导致镍箔的阻碍作用消失,铝镁元素穿过镍箔发生了剧烈的互扩散,产生了大量铝镁金属间化合物,铝镁基体熔损严重,界面有大量脆性金属间化合物聚集,结合薄弱。剪切强度约为23MPa,拉伸强度约为130MPa。

[0080] 对比例2(与实施例1相比较,温度低,保温时间短)

[0081] 步骤(1)至步骤(3)与实例1相同,不同之处在于:将装好样品的石墨模具放入真空烧结炉中,抽真空至 2×10^{-2} Pa时开始加热,先以 $8^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升至 300°C 保温10分钟后,再以 $7^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升至 460°C 保温10分钟,再以 $5^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升至 490°C 保温2小时,保温过程中同样保持10MPa的压力,工艺结束后随炉冷却。

[0082] 对比例2所制备得到的样品致密度低,界面结合强度较差。这主要是由于对比例2所得样品共烧结温度和保温时间都低于铝镁基体的烧结温度和保温时间,使得铝镁基体未烧结致密,拉伸强度低,约为90MPa,同时由于烧结温度和保温时间低,铝镁基体与镍箔中间层的扩散不够充分,界面处未形成有效的冶金结合,界面剪切强度低,约为20MPa。

[0083] 对比例3(采用 $50\mu\text{m}$ 的Zn中间层):

[0084] 步骤(1)、(2)和实施例1一致,不同之处在于:

[0085] (3) 将烘干的Zn箔放置于铝镁生坯之间,并放进石墨模具内;

[0086] (4) 将装好样品的石墨模具放入真空烧结炉中,抽真空至 2×10^{-2} Pa后开始加热,先以 $8^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升至 300°C 保温10分钟,再以 $6^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升至 380°C 保温10分钟,再以 $5^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升至 410°C 保温1.5小时,同时温度为 410°C 开始加压,压力大小为10MPa,工艺结束后停止加压并随炉冷却,得到粉末冶金铝镁复合材料。

[0087] 对比例3中由于Zn箔的熔点低,约为 420°C ,且易与Al/Mg发生共晶反应,因此能烧结制备成铝镁复合材料的最高温度为 420°C ,但该温度低于铝镁基体的烧结温度,基体未能烧结致密,拉伸强度仅能达到60MPa,同时由于烧结温度达到 420°C ,Zn与Al/Mg基体之间反应强烈,有大量Mg-Zn,Al-Zn金属间化合物生成,使得界面结合较差,剪切强度约为25MPa。

[0088] 对比例4(采用 $50\mu\text{m}$ 的Cu中间层):

[0089] (1) 分别将2A12铝合金粉末、AZ31镁合金粉末在200MPa压力下压制成直径

为40mm的圆形生坯;所用铝合金粉末的粒径分布为5-100微米;所用镁合金粉末的粒径分布为30-100微米;铝合金平均粒径29.5微米;镁合金平均粒径68.6微米;

[0090] (2) 使用1500#和2000#的水磨砂纸对50 μm 厚的Cu箔进行表面处理后,在超声清洗仪中清洗10分钟,取出烘干;

[0091] (3) 将烘干的Cu箔放置于铝镁生坯之间,并放进石墨模具内;

[0092] (4) 将装好样品的石墨模具放入真空烧结炉中,抽真空至 2×10^{-2} Pa后开始加热,先以 $8^\circ\text{C}/\text{min}$ 升至 300°C 保温10分钟,再以 $6^\circ\text{C}/\text{min}$ 升至 450°C 保温10分钟,再以 $5^\circ\text{C}/\text{min}$ 升至 480°C 保温1.5小时,同时温度为 480°C 开始加压,压力大小为10MPa,工艺结束后停止加压并随炉冷却,得到粉末冶金铝镁复合材料。

[0093] 对比例4中Cu的熔点高,约为 1083°C ,虽低于镍与镍合金的熔点,但远高于Zn的熔点,因此能在更高温度条件下进行烧结,但由于Cu与Mg之间共晶反应温度为 485°C ,当温度高于 485°C 时,有大量Mg-Cu系共晶液相产生,影响界面结合强度。因此采用Cu中间层时烧结温度最高为 480°C ,该温度低于铝镁基体的烧结温度,基体未能完全烧结致密,拉伸强度约为120MPa,同时由于Mg-Cu系金属间化合物在界面处大量聚集,界面结合强度有所降低,剪切强度约为38MPa。

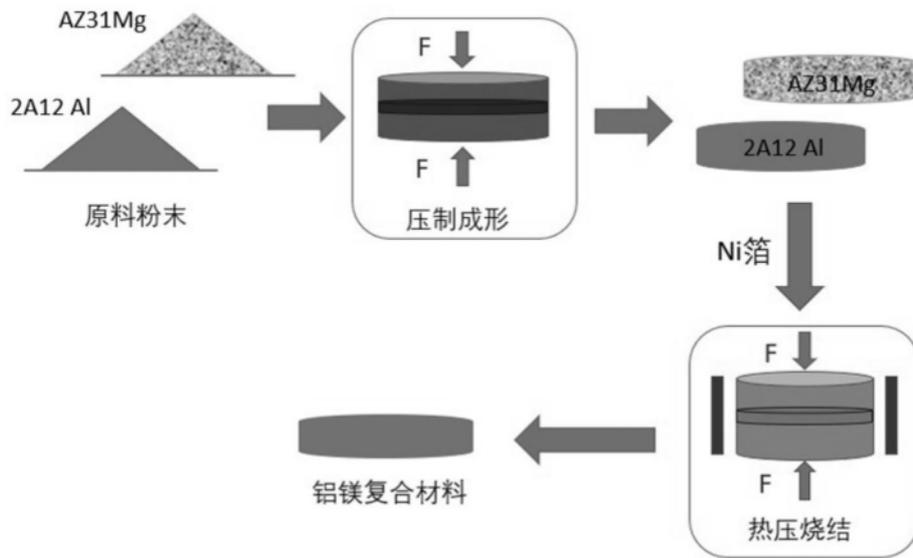


图1



图2

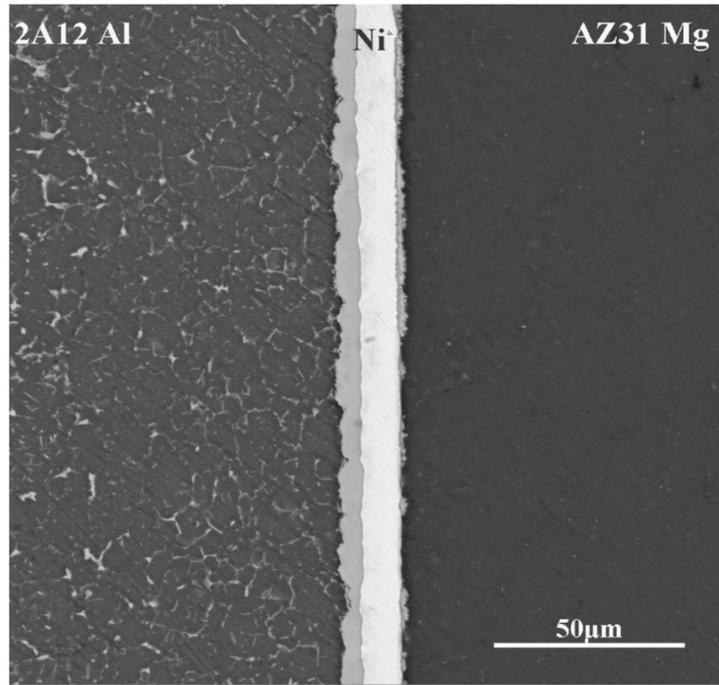


图3