



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105531051 B

(45)授权公告日 2018.04.27

(21)申请号 201480051696.9

(22)申请日 2014.08.21

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 105531051 A

(43)申请公布日 2016.04.27

(30)优先权数据
14/030005 2013.09.18 US

(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2016.03.18

(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/US2014/051993 2014.08.21

(87)PCT国际申请的公布数据
W02015/041795 EN 2015.03.26

(73)专利权人 通用电气公司
地址 美国纽约州

(72)发明人 B.P.布莱 J.麦基弗 B.M.艾利斯
N.V.麦克拉斯基

(74)专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司 72001
代理人 刘林华 周心志

(51)Int.Cl.
B22C 1/00(2006.01)
B22C 9/04(2006.01)
B22C 9/10(2006.01)
B22C 9/24(2006.01)
B22C 21/14(2006.01)
B22C 1/06(2006.01)

审查员 李雪梅

权利要求书2页 说明书23页 附图19页

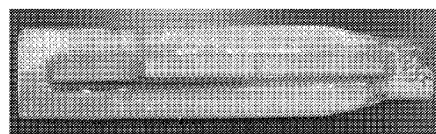
(54)发明名称

陶瓷芯成分、用于制作芯的方法、用于铸造中空含钛制品的方法及中空含钛制品

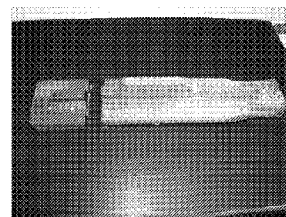
(57)摘要

本公开内容大体上涉及陶瓷芯成分、用于制作芯的方法、用于铸造中空含钛制品的方法及中空含钛制品。更具体而言,本公开内容涉及用于铸造中空含钛制品的芯成分和方法,以及这样模制的中空含钛制品。

A)
清洁的



B)
切割的



1. 一种用于制作用于铸造中空含钛制品的铸模的方法,所述方法包括:
 - a) 组合铝酸钙颗粒、大尺寸颗粒和液体来产生所述液体中的铝酸钙颗粒和大尺寸颗粒的浆料,其中,所述大尺寸颗粒为外部大小大于70微米的颗粒;
 - b) 将所述浆料引入包含易消失模型的模腔中;
 - c) 允许所述浆料在所述模腔中固化以形成含钛制品的模具;以及
 - d) 所述方法包括形成存在于所述铸模中的芯,所述芯的密度在0.8g/cc到3g/cc之间。
2. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,连同中空的大尺寸颗粒使用细尺寸铝酸钙颗粒,所述细尺寸铝酸钙颗粒具有小于50微米的尺寸。
3. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述方法还包括在将所述浆料引入模腔之前将氧化物颗粒引入所述浆料中。
4. 根据权利要求3所述的方法,其特征在于,所述氧化物颗粒包括氧化铝颗粒、氧化镁颗粒、氧化钙颗粒、氧化锆颗粒、氧化钛颗粒或它们的组合。
5. 根据权利要求3所述的方法,其特征在于,所述氧化物颗粒包括中空氧化物颗粒。
6. 根据权利要求3所述的方法,其特征在于,所述氧化物颗粒包括中空氧化铝球。
7. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述模腔具有穿过腔的铂销。
8. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述铝酸钙颗粒的至少50%的外部大小小于10微米。
9. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述铝酸钙颗粒包括外部大小达到50微米的颗粒,并且所述大尺寸颗粒包括外部大小从70到300微米的颗粒。
10. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述铸模包括用于铸造近净成形铝化钛制品的熔模铸造模具。
11. 一种用于中空钛和钛合金的铸造方法,包括:
 - a) 获得包括铝酸钙颗粒和大尺寸颗粒的熔模铸造模具成分,其中,所述大尺寸颗粒为外部大小大于70微米的颗粒;
 - b) 获得存在于所述模具中的芯,所述芯的密度在0.8g/cc到3g/cc之间;
 - c) 将所述熔模铸造模具成分倒入包含易消失模型的容器中;
 - d) 固化所述熔模铸造模具成分;
 - e) 从模具除去所述易消失模型;
 - f) 将所述模具预热至模具铸造温度;
 - g) 将熔融钛或钛合金倒入加热的模具中;
 - h) 凝固所述熔融钛或钛合金且形成凝固的中空钛或钛合金铸件;以及
 - i) 从所述模具除去凝固的中空钛或钛合金铸件。
12. 根据权利要求11所述的铸造方法,其特征在于,连同中空的大尺寸颗粒使用细尺寸铝酸钙颗粒,所述细尺寸铝酸钙颗粒具有小于50微米的尺寸。
13. 根据权利要求11所述的铸造方法,其特征在于,在从所述模具除去所述易消失模型和将所述模具预热至模铸温度之间,将所述模具加热至450摄氏度到900摄氏度的温度,且然后允许所述模具冷却至室温。
14. 根据权利要求11所述的铸造方法,其特征在于,所述易消失模型的除去包括熔化、溶解、点燃、烘箱脱蜡、熔炉脱蜡、蒸汽压力罐脱蜡或微波脱蜡中的至少一者。

15. 根据权利要求11所述的铸造方法,其特征在于,在从所述模具除去所述凝固的钛或钛合金铸件之后,用X射线照相或中子射线照相中的一者或两者来检查铸件。

16. 一种通过根据权利要求11所述的铸造方法制作的钛或钛合金制品。

17. 一种制作陶瓷芯的方法,包括:

a) 将铝酸钙颗粒与大尺寸颗粒和液体组合来形成浆料,其中,所述大尺寸颗粒为外部大小大于70微米的颗粒;

b) 将所述浆料引入模中来产生制品形状的本体的未加工的产品;以及

c) 在足以形成陶瓷芯的条件下加热所述未加工的产品,其中,所述陶瓷芯的密度在0.8g/cc到3g/cc之间。

18. 根据权利要求17所述的方法,其特征在于,连同中空的大尺寸颗粒使用细尺寸铝酸钙颗粒,所述细尺寸铝酸钙颗粒具有小于50微米的尺寸。

19. 根据权利要求17所述的方法,其特征在于,所述方法还包括在将所述浆料引入制品形状的本体中之前将氧化物颗粒引入所述浆料中。

20. 根据权利要求19所述的方法,其特征在于,所述氧化物颗粒包括中空氧化物颗粒。

21. 根据权利要求20所述的方法,其特征在于,所述中空氧化物颗粒包括中空氧化铝球。

22. 根据权利要求17所述的方法,其特征在于,所述铝酸钙颗粒的至少50%的外部大小小于10微米。

23. 根据权利要求17所述的方法,其特征在于,所述铝酸钙颗粒包括外部大小达到50微米的颗粒,并且所述大尺寸颗粒包括外部大小从70到300微米的颗粒。

24. 一种用于铸造中空涡轮构件的方法,包括:

(i) 通过以下制作陶瓷芯:

a) 将铝酸钙颗粒与大尺寸颗粒和液体组合来形成浆料,其中,所述大尺寸颗粒为外部大小大于70微米的颗粒;

b) 将所述浆料引入模中来产生制品形状的本体的未加工的产品;以及

c) 在足以形成烧结的陶瓷芯的条件下加热所述未加工的产品;

(ii) 将所述陶瓷芯设置在模具内的预选位置;

(iii) 将含熔融钛或钛合金的材料引入所述模具中;

(iv) 冷却熔融材料来形成所述模具内的涡轮构件;

(v) 将壳模具与所述涡轮构件分离;以及

(vi) 从所述涡轮构件除去陶瓷芯,以便形成中空涡轮构件,其中,所述陶瓷芯的密度在0.8g/cc到3g/cc之间。

25. 根据权利要求24所述的方法,其特征在于,为铸件的所述涡轮构件是涡轮叶片。

陶瓷芯成分、用于制作芯的方法、用于铸造中空含钛制品的方法及中空含钛制品

背景技术

[0001] 现代燃气轮机或燃机必须满足关于可靠性、重量、功率、经济性和操作使用寿命的最高要求。在此类涡轮的开发中,材料选择、探寻新的适合材料以及探寻新的生产方法尤其在符合标准和满足要求中起到作用。

[0002] 用于燃气轮机的材料可包括钛合金、镍合金(也称为超级合金)和高强度钢。对于飞行器发动机,钛合金大体上用于压缩机零件,镍合金适用于飞行器发动机的热的零件,而高强度钢例如用于压缩机壳体和涡轮壳体。高负载或高应力的燃气轮机构件(例如,诸如用于压缩机的构件)通常是锻造零件。另一方面,用于涡轮的构件通常体现为熔模铸造零件。

[0003] 尽管熔模铸造不是新工艺,但熔模铸造市场随着对更错综和复杂的零件的需求增长而继续发展。由于对高质量精密铸件的较大需求,故仍不断需要开发新的方式来使熔模铸造更快、更高效、更廉价且更高的质量。

[0004] 用于铸造首饰和假牙行业的由熔融石英、方石英、石膏等构成的常规熔模模具化合物大体上不适合用于铸造反应性合金(诸如钛合金)。一个原因在于熔融的钛与熔模模具之间存在反应。

[0005] 需要不会与钛和铝化钛合金显著反应的简单熔模模具。对于钛合金铸造,之前采用了陶瓷壳模具的途径。在之前的实例中,为了减少常规熔模模具化合物的限制,开发出了若干附加的模具材料。例如,开发出了氧化-膨胀类型的熔模化合物,其中氧化镁或氧化锆用作主要成分,且金属锆加入主要组分中来补偿铸造金属的凝固引起的收缩。因此,还需要简单且可靠的熔模铸造方法,其允许从不与金属或金属合金显著反应的熔模模具容易抽出近净成形的金属或金属合金。

[0006] 现有技术的非金属复合物涡轮叶片大体上为未冷却的实心类型。例如,见授予Bailey等人(1991)的美国专利第5,018,271号。此类材料的高热导率需要复杂的解决方案来将热从叶片周围的流动通路传递到支承叶片转子和盘结构中。这些设计解决方案很复杂且向叶片和支承盘结构添加了附加重量。除上述之外,相比于当前的金属叶片设计,期望可冷却的轻量叶片来克服以上现有技术的不足。

发明内容

[0007] 本公开内容的一个目的在于提供对燃气涡轮发动机的叶片的改善。

[0008] 本公开内容的方面提供了克服常规技术的局限性的铸模成分、铸造方法和铸件制品。尽管本公开内容的一些方面可能针对航天工业的构件的制造,例如,发动机涡轮叶片,但本公开内容的方面可用于任何行业中的任何构件的制造,特别是含有钛和/或钛合金的那些构件。

[0009] 本公开内容的一个方面针对一种包括铝酸钙颗粒和一个或多个大尺寸颗粒的陶瓷芯成分。在一个实施例,该成分包括细尺寸铝酸钙,且其中所述大颗粒为中空的。在另一个实施例中,铝酸钙颗粒包括单铝酸钙、二铝酸钙和钙铝石的颗粒。在一个实例中,成分

还包括具有小于大约50微米的粒度的铝酸钙。

[0010] 在一个实施例中,大尺寸颗粒包括中空氧化物颗粒。在另一个实施例中,大尺寸颗粒为中空的,且它们包括氧化铝颗粒、氧化镁颗粒、氧化钙颗粒、氧化锆颗粒、氧化钛颗粒或它们的组合。在另一个实施例中,大尺寸颗粒包括陶瓷,诸如铝酸钙、六铝酸钙、氧化锆或它们的组合。在一个实施例中,中空氧化物颗粒包括中空氧化铝球或气泡。

[0011] 颗粒的特定尺寸为本公开内容的特征。具体而言,成分的大尺寸颗粒包括外部大小大于大约70微米的颗粒。在一个实施例中,大尺寸颗粒包括外部大小为大约70微米到大约1000微米的颗粒。在一个实施例中,铝酸钙颗粒的至少50%的外部大小小于大约10微米。在另一个实施例中,铝酸钙颗粒包括外部大小达到大约50微米的颗粒,且大尺寸颗粒包括外部大小为大约70到大约1000微米的颗粒。

[0012] 本公开内容的一个方面针对由包括铝酸钙颗粒和一个或更多个大尺寸颗粒的陶瓷芯成分形成的铸芯。本公开内容的另一个方面针对一种使用由包括铝酸钙颗粒和一个或更多个大尺寸颗粒的陶瓷芯成分形成的铸芯形成的中空的含铝化钛的制品。在一个实施例中,中空的含铝化钛的制品包括中空铝化钛涡轮叶片。

[0013] 在一个实施例中,铝酸钙颗粒的重量分数大于大约20%且小于大约80%。在另一个实施例中,大尺寸颗粒的重量分数从大约20%到大约65%。

[0014] 在一个实施例中,芯的密度为大约0.8g/cc到大约3g/cc。在另一个实施例中,芯成分在大约700到1400摄氏度下焚烧大约一小时后收缩不超过大约百分之一。在另一个实施例中,在陶瓷芯成分烧结之后,陶瓷芯基本没有二氧化硅。在一个实施例中,在芯成分的烧结之前,陶瓷芯包括中空氧化铝颗粒,且在烧结之后,芯包括不超过大约0.5%重量(基于芯的总重量)的氧化铝。

[0015] 本公开内容的一个方面针对一种用于铸造含钛制品的烧结陶瓷芯,所述芯包括铝酸钙颗粒和大尺寸颗粒。在一个实施例中,芯包括小尺寸铝酸钙颗粒和大尺寸中空颗粒。在一个实施例中,铝酸钙颗粒包括单铝酸钙、二铝酸钙和钙铝石的颗粒。在一个实施例中,在烧结之后,芯基本没有二氧化硅。在另一个实施例中,在烧结之前,陶瓷芯包括中空氧化铝颗粒,且在烧结之后,芯包括不超过大约0.5%重量(基于芯的总重量)的游离二氧化硅。

[0016] 在一个实施例中,陶瓷芯的铝酸钙颗粒的重量分数大于大约20%且小于大约80%。在另一个实施例中,陶瓷芯中的大尺寸颗粒的重量分数从大约20%到大约65%。在一个实施例中,陶瓷芯中的铝酸钙颗粒的至少50%的外部大小小于大约10微米。在另一个实施例中,陶瓷芯中的铝酸钙颗粒包括外部大小达到大约50微米的颗粒,且陶瓷芯中的大尺寸颗粒包括外部大小从大约70到大约1000微米的颗粒。

[0017] 本公开内容的一个方面为烧结的陶瓷芯,包括铝酸钙颗粒和大尺寸颗粒。在一个实施例中,陶瓷芯包围在模具内,且具有与模具部分的成分。在一个实施例中,芯用于形成中空的含铝化钛的制品。在一个实施例中,一个以上的芯存在于铸模中。在一个实施例中,铸模具有两个、三个或四个不同的腔位置,其中各个均具有在其内的芯。在使用一个以上的芯的一个实施例中,芯可经由连接收纳芯的两个或更多个腔的通道来连接到彼此上。在使用一个以上的芯的一个实施例中,芯为分离的,各个在限定位置内且不与任何其它芯接触。在使用一个以上的芯的另一个实施例中,各个芯的成分可为不同的。在使用一个以上的芯的另一个实施例中,所有芯都具有与彼此相同的成分。

[0018] 本公开内容的一个方面为包括铝酸钙颗粒和中空大尺寸颗粒的烧结陶瓷芯,其中陶瓷芯用于形成中空的含铝化钛的制品。本公开内容的另一个方面为包括铝酸钙陶瓷芯的中空的含铝化钛的制品,其中陶瓷芯包括用于形成中空的含铝化钛的制品的铝酸钙颗粒和一个或更多个大尺寸颗粒。

[0019] 在一个实施例中,芯的密度为大约0.8g/cc到大约3g/cc。在另一个实施例中,芯成分在大约700到1400摄氏度下焚烧大约一小时后收缩不超过大约百分之一。本公开内容的一个方面为一种用于铸造中空含钛制品的模具成分,其包括铝化钙颗粒,包括单铝酸钙、二铝酸钙和钙铝石;以及如本文教导的陶瓷芯。在一个实施例中,铝酸钙颗粒包括单铝酸钙的颗粒。在另一个实施例中,铝酸钙颗粒包括单铝酸钙和二铝酸钙的颗粒。

[0020] 一方面,本公开内容为一种包括模具的腔内的陶瓷芯的铸模,其中陶瓷芯包括铝酸钙颗粒和大尺寸颗粒。在一个实施例中,大尺寸颗粒为中空的,且芯和铸模具有不同成分。在另一个实施例中,一个或更多个陶瓷芯可存在于铸模的单独的腔内,且陶瓷芯包括铝酸钙颗粒和中空大尺寸颗粒。在另一个实施例中,具有芯的模具用于形成中空的含铝化钛的制品。

[0021] 本公开内容的另一个方面为一种用于制作用于铸造中空含钛制品的铸模的方法。该方法包括组合铝酸钙颗粒、大尺寸颗粒和液体来产生液体中的铝酸钙颗粒和大尺寸颗粒的浆料;将浆料引入包含易消失模型的容器中,容器的内部大小限定模具的外部大小;以及允许浆料在容器中固化来形成用于铸造含钛制品的模具。在一个实施例中,连同基本中空的大尺寸颗粒使用了细尺寸铝酸钙颗粒。

[0022] 在另一个实施例中,该方法还包括在将浆料引入容器中来制作模具之前将氧化物颗粒引入浆料中。用于当前教导的方法中的氧化物颗粒包括氧化铝颗粒、氧化镁颗粒、氧化钙颗粒、氧化锆颗粒、氧化钛颗粒或它们的组合。在一个实施例中,用于当前教导的方法中的氧化物颗粒包括中空氧化物颗粒。在特定实例中,氧化物颗粒包括中空氧化铝球。

[0023] 用于当前教导的方法的颗粒的尺寸为当前教导的方法的特征。因此,在一个实施例中,用于当前教导的方法的铝酸钙颗粒的至少50%的外部大小小于大约10微米。在当前教导的方法的一个实施例中,铝酸钙颗粒包括外部大小达到大约50微米的颗粒,且大尺寸颗粒包括外部大小为大约70到大约1000微米的颗粒。

[0024] 本公开内容的一个方面为一种制作用于铸造如当前教导的中空含钛制品的铸模的方法,其中铸模包括用于铸造近净成形铝化钛制品的熔模铸造模具。

[0025] 本公开内容的一个方面为一种用于制作用于制造如当前教导的中空含钛制品的铸模中使用铸芯的方法,其中铸模包括用于铸造近净成形铝化钛制品的熔模铸造模具。

[0026] 本公开内容的一个方面为一种用于中空钛和钛合金的铸造方法。该方法包括获得包括铝酸钙颗粒和大尺寸颗粒的熔模铸造模具成分;将所述熔模铸造模具成分倒入包含易消失模型的容器中;固化所述熔模铸造模具成分;从模具除去所述易消失模型;将模具预热至模铸温度;将熔融钛或钛合金倒入加热模具中;凝固熔融钛或钛合金且形成凝固的中空钛或钛合金铸件;以及从模具除去凝固的中空钛或钛合金铸件。

[0027] 在铸造方法的一个实施例中,连同基本中空的大尺寸颗粒使用了细尺寸铝酸钙颗粒。在铸造方法的另一个实施例中,在从模具除去所述易消失模型和将模具预热至模铸温度之后,将所述模具加热至大约450摄氏度到大约1400摄氏度的温度,且然后允许所述模具

冷却到大约室温。在一个实施例中,易消失模型的除去包括熔化、溶解、点燃、烘箱脱蜡、熔炉脱蜡、蒸汽压力罐脱蜡或微波脱蜡中的至少一者。在从模具除去凝固的钛或钛合金铸件之后,在一个实例中,铸件以X射线照相检查。

[0028] 本公开内容的另一个方面为由如本文教导的铸造方法制作的钛或钛合金制品。在一个实例中,制品包括含铝化钛的涡轮叶片。

[0029] 本公开内容的一个方面为一种制作陶瓷芯的方法,包括使铝酸钙颗粒与大尺寸颗粒和液体组合来形成浆料;将浆料引入模中来产生制品形状本体的未加工产品;以及在足以形成陶瓷芯的条件下加热未加工产品。为了制作陶瓷芯,在一个实例中,连同基本中空的大尺寸颗粒使用了细尺寸铝酸钙颗粒。

[0030] 在一个实例中,制作陶瓷芯的方法包括在将浆料引入模中来产生制品形状的本体之前将氧化物颗粒引入浆料中。在一个实例中,这些氧化物颗粒包括中空氧化物颗粒。在一个实施例中,陶瓷芯使用包括中空氧化铝球的中空氧化物颗粒制作。

[0031] 在另一个实施例中,芯使用铝酸钙颗粒制作,其中铝酸钙颗粒的至少50%的外部大小小于大约10微米。在特定实施例中,芯使用包括外部大小达到大约50微米的颗粒的铝酸钙颗粒和包括外部大小从大约70到大约1000微米的颗粒的大尺寸颗粒制作。

[0032] 本公开内容的一个方面为一种铸造中空涡轮构件的方法,包括:(i)通过以下制作陶瓷芯:a)将铝酸钙颗粒与大尺寸颗粒和液体组合来形成浆料;b)将浆料引入模中来产生制品形状的本体的未加工产品;以及c)在足以形成烧结的陶瓷芯的条件下加热未加工的产品;(ii)将陶瓷芯设置在模具内的预选位置;(iii)将包含熔融钛或钛合金的材料引入模具中;(iv)冷却熔融材料来形成模具内的涡轮构件;(v)使模具与涡轮构件分开;以及(vi)从涡轮构件除去芯,以便形成中空涡轮构件。在一个实施例中,为铸件的涡轮构件是涡轮叶片。

[0033] 本公开内容的这些和其它方面、特征和优点将从连同附图的本公开内容的各种方面的以下详细描述中变得清楚。

附图说明

[0034] 认作是本发明的主题在说明书结束部分的权利要求中具体指出且明确提出。本公开内容的前述和其它特征和优点将容易从连同附图的本发明的方面的以下详细描述中清楚,在附图中:

[0035] 图1示出了用于开发本公开内容的芯成分的典型平板铸件。平板为具有浇口杯和以允许凝固收缩的冒口的简单几何形状。图1示出了如指出的产生的清洁的和切割的平板铸件。该图示出了典型的平板铸件,其被切割来检查横截面,以研究芯与钛合金铸件之间的任何反应的程度。

[0036] 图2示出了铸件中的腔和铂销的布置的部分。铸件被切割,且铸件中的芯被部分地除去以检查铸件的内部的状态;芯的其余部分也可在铸件内侧看到。铂销可在照片中穿过腔看到。铂销在铸造期间将芯保持就位。在铸造之后,铂销变得嵌入铸件中。

[0037] 图3示出了铸件中的腔和铂销的布置的部分。在已经除去芯的区域中,铂销可在所附照片中穿过腔看到。

[0038] 图4示出了用于开发本芯技术的用于制作具有定位在所得的平板内的芯的平板的

蜡的制备。为了制作空心板,常规板状蜡生成,且平板的端部处的蜡的区段被除去。平板的端面然后使用蜡片重建,蜡片连结到平板的端部上,留下板状蜡的端面露出。铂销然后垂直于平板的侧部插入穿过蜡片且穿过腔。铂销布置成使得它们穿透板状蜡的两侧,且它们在腔中由蜡片在各侧上支承。板状蜡的顶部上的红蜡是冒口,其用于适应平板铸件的凝固收缩。

[0039] 图5和6示出了蜡的布置和用于蜡中的芯的腔的配置的图。附加细节见图4。

[0040] 图7a和7b示出了包含含铝酸钙的芯的铝化钛合金铸件的横截面的切割表面。在图7a中可看到,铸件与含铝酸钙的芯之间基本上没有反应。芯已经被部分地除去。

[0041] 图8示出了使用具有模具中的芯的模具产生的钛合金(铝化钛)平板铸件。其示出了切片的芯平板,示出了允许直接观察含铝酸钙的芯的横截面。芯通过喷砂而被部分地除去,且可观察到铸件的内表面。可看到芯部分地除去的铸件的区域。可看到由芯生成的铸件的内表面具有高质量。表面是光滑的(其具有小于100的Ra值的表面粗糙度),且示出了铸造操作期间与芯材料反应的极小(如果有)证据。

[0042] 部分地除去的芯可在较高放大下看到,且铸件的表面可更详细观察。还有可能看到一个铂销,我们将其用于支承模具中的芯。铂销在铸造期间并未完全除去。在铸造状态中观察铸件;其并未经历任何热处理。由含铝酸钙的芯生成的铸件的内表面的状态是优异的。对于该特定的芯配方,芯和铸件的各种截面示出了芯的完整性和芯与铸件之间的非常低的(如果有)反应。

[0043] 图9-12示出了来自铸件的带芯截面的横向切片的照片。横向切片沿侧部切割,且切片分成两半。这允许了剩余的芯除去且检查中空铸件的内表面。铸件的内表面示出了芯完全除去且喷砂的区域;表面光洁度是优异的。铸件的内表面的图像还示出了芯并未完全除去的区域;这允许了人们评估芯与铸件之间的相互作用的水平。这仅为铸件上含铝酸钙的芯的很薄的尺寸,且该尺寸可很容易通过喷砂、丝刷、柑橘清洗、化学清洗或本领域中公知的其它手段来除去。这些评估指出了含铝酸钙的芯是用于铸造中空钛合金和铝化钛合金构件的适合技术。

[0044] 图13示出了包含具有保持悬置于模具中的芯的铂销的芯的板状模具的管道镜图片。

[0045] 图14示出了支承铸模中的含铝酸钙的芯的铂销。该图示出了包含具有保持悬置于模具中的芯的铂销的芯的板状模具的管道镜图片。

[0046] 图15示出了支承铸模中的含铝酸钙的芯的编织的铂销。例如,编织的销通过将两条较小的线卷绕在一起来形成。该图示出了包含具有保持悬置于模具中的芯的编织的铂销的芯的板状模具的管道镜图片。

[0047] 图16示出了以其中的含铝酸钙芯生产的叶片。

[0048] 图17a示出了按照本公开内容的各方面的流程图,示出了用于制作用于铸造中空含钛制品的铸模的方法。图17b示出了按照本公开内容的各方面的流程图,示出了用于中空钛和钛合金的铸造方法。

[0049] 图18a示出了按照本公开内容的各方面的流程图,示出了制作陶瓷芯的方法。图18b示出了按照本公开内容的各方面的流程图,示出了用于铸造中空涡轮构件的方法。

具体实施方式

[0050] 描述本发明的上下文中(尤其是在以下权利要求的上下文中)的用语“一个”和“一种”和“该”的使用将看作是覆盖单数和复数两者,除非本文另外指出或明显与上下文抵触。结合量使用的修饰语“大约”表示指定值,且具有由上下文指出的意义(例如,其包括与特定量的测量结果相关联的误差程度)。本文公开的所有范围包含端点,且端点可与彼此独立地组合。

[0051] 本公开内容大体上涉及陶瓷芯成分、铸芯以及制作芯和相关铸造制品的方法,且更具体而言,涉及芯成分、包含芯的模具,以及用于铸造中空的含钛制品的方法,以及这样模制的中空的含钛制品。

[0052] 从铸件应当铸造成“近净成形”的观点看,通过在熔模壳模具中熔模铸造钛及其合金来制造基于钛的构件存在问题。即,构件可基本铸造成构件的最终期望的大小,且需要很少或不需要最终处理或机加工。例如,一些常规铸件可能仅需要化学铣削操作来除去存在于铸件上的任何表面污染物,诸如alpha情况。然而,位于铸件中的alpha情况下的包括的任何表面下的陶瓷通常并未由化学铣削操作除去,且可由于模具与模具中的任何反应性金属(例如,反应性铝化钛)之间的反应形成。

[0053] 本公开内容提供了一种用于铸造近净成形中空钛和铝化钛构件(诸如中空涡轮叶片或翼型件)的新途径。本公开内容的实施例提供了陶瓷芯成分和铸造方法,其提供了例如用于航天、工业和船舶行业中的中空钛和钛合金构件。在一些方面中,该成分提供了一种模具,其在模具制作期间提供了改善的模具强度,且/或提高了铸造期间与铸造金属反应的阻力。根据本公开内容的各方面的模具和芯可能能够在高压下铸造,这对于近净成形铸造方法是期望的。例如,认定了向铸件提供改善性质的包含铝酸钙颗粒和氧化铝颗粒的模具和芯成分,以及优选的组分相。

[0054] 在一方面,发明人发现与大尺寸颗粒联接的铝酸钙颗粒可提供用于制作用于铸造中空含钛制品的铸模的陶瓷芯成分,以及相关铸造方法。芯成分的组分相包括单铝酸钙(CaAl_2O_4)。本发明人发现单铝酸钙出于至少两个原因是期望的。首先,发明人理解到单铝酸钙在模具制作的最初阶段促进颗粒之间的液压连结形成,且该液压连结被认作是在模具构造期间提供模具强度。第二,发明人理解到,单铝酸钙经历与钛和基于铝化钛的合金的极低反应速率。在某些实施例中,单铝酸钙以铝酸钙颗粒形式提供至本公开内容的芯成分。在一方面,芯成分包括铝酸钙颗粒和氧化铝(例如,中空氧化铝)的混合物。

[0055] 在本公开内容的一方面中,芯成分提供铸造期间与合金的极小反应,且模具提供了带有所需的构件性质的中空铸件。铸件的外部性质包括诸如形状、几何形状和表面光洁度的特征。铸件的内部性质包括机械性能、微观结构、低于指定尺寸且在可允许极限内的缺陷(如,孔和夹杂物)。

[0056] 初始铝酸钙(液体颗粒混合物)中的固体和最终铝酸钙中的固体的百分比是本公开内容的特征。在一个实例中,初始铝酸钙-液体颗粒混合物中的固体的百分比为大约65%到大约80%。在一个实例中,初始铝酸钙-液颗粒混合物中的固体的百分比从大约70%到大约80%。在另一个实例中,最终铝酸钙-液体颗粒混合物中的固体为大约75%到大约90%,为具有小于大约50微米的外部大小的铝酸钙颗粒和大于大约70微米的大尺寸氧化铝颗粒。初始铝

酸钙颗粒为细尺寸的,在一个实例中为大约5微米到大约50微米,且大于大约70微米的氧化铝颗粒与水混合来提供均匀且均一的浆料。在一些情况下,最终混合物通过将例如首先70微米且然后150微米的逐渐变大的尺寸的氧化铝颗粒加入初始浆料中且混合2到15分钟之间来实现均匀混合物而形成。

[0057] 本公开内容的一个方面的成分提供了中空铝化钛(TiAl)涡轮叶片(例如,TiAl低压涡轮叶片)的低成本铸造。该成分可提供铸造近净成形零件的能力,其相比使用常规壳模具和重力铸造制作的零件需要较少机加工和/或处理。如本文中所使用的,短语“近净成形”是指制品的最初生产接近制品的最终(净)形状,减少了进一步处理的需要,诸如大规模机加工和表面精整。如本文中所使用的,用语“涡轮叶片”是指汽轮机叶片和燃气轮机叶片。

[0058] 本申请的发明人发现了用于生产中空钛合金和铝化钛合金铸件的技术。本公开内容尤其提供了用于生产用于钛合金的熔模铸造模具的芯的成分,以及可提供钛和钛合金的中空构件的铸造工艺。本公开内容的一个技术优点在于,一方面,本公开内容可改善例如可由铝酸钙颗粒和氧化铝熔模模具和包含芯的此模具生成的净形状铸造的结构完整性。更高的强度(例如,更高的疲劳强度)允许了制造更轻的中空构件。此外,具有更高的疲劳强度的构件可持续更久,且因此具有更低的寿命周期成本。

[0059] 本公开内容提供了一种用于钛合金的熔模铸造模具的芯成分、用于制作芯的方法、包含芯的铸模,以及用于使用芯铸造中空钛合金构件(包括涡轮叶片)的方法。在一个实例中,芯成分包括铝酸钙和氧化铝颗粒,例如,中空氧化铝颗粒。铝酸钙颗粒向芯提供了经得起陶瓷与熔融钛合金的反应的能力。

[0060] 中空氧化铝颗粒向芯提供了顺应性和可破碎性;这些是期望的性质,因为所需的是芯在凝固后冷却期间不会施加过大的张应力到铸件上。通常,芯材料具有低于金属的低热膨胀系数,且金属比陶瓷冷却更快。如果芯太强,则芯将张应力施加到零件上,因为在凝固后冷却期间,该零件比芯收缩更快。因此,本公开内容的特征为在冷却期间可破碎的芯,使得其不会施加过大张应力到零件上,且不会生成张力撕裂、裂缝和缺陷。结果显示板状模具(slab mold)包含具有保持悬置在模具中的芯的铂销(platinum pin)的芯(见图13-15)。

[0061] 蜡首先制备成制作具有定位在所得的板状蜡内的芯的锭。为了制作用于评估测试的空心板,生成了常规的板状蜡,且除去了平板的端部处的蜡的区段。平板的端面然后使用蜡片重建,蜡片连结到平板的端部上,留下板状蜡的端面露出。板状蜡的顶部上的红蜡是冒口,其用于适应平板铸造中的凝固收缩。

[0062] 铂销然后垂直于平板的侧部插入穿过蜡片且穿过腔。铂销布置成使得它们穿透板状蜡的两侧,且它们在腔中由蜡片在各侧上支承。腔和铂销的布置例如在图2,5和6中示出。在一个实例中,铂销可穿过腔看到。含铝酸钙的芯材料然后加至腔且固化。铂销在铸造期间将芯保持就位。在铸造之后,铂销变得嵌入铸件中。

[0063] 在制备蜡型之后,制作铸模。铸模固化大约24小时的时段。在固化之后,除去蜡。在模具固化且蜡除去之后,平板中的芯留在模腔中悬置且由铂销支承。具有芯的未加工模具然后在高于600摄氏度的温度下焚烧超过1小时的时段,在一个实例中是2到6小时,以形成足够的芯和模具的强度来用于铸造,且除去了芯和模具中的任何非期望的剩余杂质。在一个实例中,焚烧温度为600摄氏度,且时段为大约四小时。在一个实施例中,芯单独地焚烧,且然后可与蜡组装以用于模具,且然后模具可使用陶瓷混合物配方来装入。

[0064] 图1示出了使用具有模具内的芯的模具生产的所得的钛合金(铝化钛)平板铸件。图2和3中可看到部分地除去芯的铸件的区域。由芯生成的铸件的内表面可在图3中看到。铸件的该内表面示为具有高质量;即,内表面的表面光滑(其具有小于100的Ra值的表面粗糙度),且示出了铸造操作期间与芯材料积极反应的很少证据。用于在模具制作和铸造期间支承芯的铂销也可在若干图片中看到(见图2,5和13)。图7和8示出了在其关于叶片的纵轴线沿横向切割之后的铸件。叶片也以它们中的含铝酸钙的芯产生。图16中示出了铝化钛叶片铸件的实例。

[0065] 支承芯的铂销的直径为本公开内容的一个特征。本申请的发明人发现,如果销的直径太小(小于大约2mm,需要对其修正)且未支承的长度太长,则销将在焚烧期间变形,且模具中的芯的位置将不会保持。如果芯位置在模具中移动,则铸造构件内的中空腔的大小将不会正确控制,且零件将不合格。在某些实施例中,铂销的直径可在从大约0.1mm到大约4mm的范围内变动。

[0066] 另一方面,如果销的直径太大(大于大约2mm),则它们将在热处理之后作为缺陷留在最终铸件中,且它们降低构件的抗疲劳性质。本公开内容的发明人发现铂销或铂合金销优选在铸造之前和装模期间稳定模具中的芯。铂由于其强度和抗氧化性而是优选的。在铸造和热处理之后,销均布到结构中,使得机械性能要求保持或改善。因此,在一个实例中,铂销为大约2mm直径。在一个实例中,发明人以一个20mm长的铂销(见图14)来固定模具。在另一个实例中,发明人将两个13mm长的铂销扭绞在一起且将其用于固定模具(见图15)。因此,在一个实例中,使用了大约10到大约30mm长且大约2mm直径的铂或铂合金销。可使用一个或更多个铂销。在另一个实例中,铂销放置成以便使芯在模具中的牢固性极大化,例如,以变化构造(例如,交叉或平行构造)放置铂销。

[0067] 芯中的铝酸钙颗粒的重量分数为本公开内容的特征。在一个实施例中,铝酸钙颗粒的重量分数从大约20%到大约80%。在一个实施例中,铝酸钙颗粒的重量分数从大约20%到大约60%。在一个实施例中,铝酸钙颗粒的重量分数从大约20%到大约40%。在一个实施例中,铝酸钙颗粒的重量分数从大约40%到大约60%。在一个实施例中,铝酸钙颗粒的重量分数从大约55%到大约65%。

[0068] 在一个实施例中,铝酸钙颗粒的重量分数为大约40%。在一个实施例中,铝酸钙颗粒的重量分数为大约50%。在一个实施例中,铝酸钙颗粒的重量分数为大约60%。在一个实施例中,铝酸钙颗粒的重量分数为大约70%。在一个实施例中,铝酸钙颗粒的重量分数为大约80%。

[0069] 在芯配方中使用的铝酸钙颗粒的粒度也是本公开内容的又一个特征,因为这对中空铸件的内表面的表面光洁度和芯的强度具有显著影响。在一个实例中,铝酸钙颗粒的粒度小于大约50微米。在另一个实例中,铝酸钙颗粒的平均粒度小于大约10微米。在一个实施例中,粒度测量为颗粒的外部大小。铝酸钙颗粒的外部大小可从大约5微米到大约50微米。

[0070] 本公开内容的发明人发现,芯成分可制作成具有有益性质,且用于芯的细尺寸铝酸钙颗粒和大尺寸中空颗粒的组合提供了改善的结果。铝酸钙的这些细尺寸颗粒的外部大小可从大约2微米到大约40微米。在一个实例中,用于芯成分中的铝酸钙颗粒可从大约10微米到大约30微米。在另一个实例中,铝酸钙颗粒的外部大小可从大约20微米到大约40微米。在一个实施例中,铝酸钙颗粒的外部大小为大约5微米。在一个实施例中,铝酸钙颗粒的外

部大小为大约10微米。在一个实施例中,铝酸钙颗粒的外部大小为大约20微米。在一个实施例中,铝酸钙颗粒的外部大小为大约30微米。在一个实施例中,铝酸钙颗粒的外部大小为大约40微米。在一个实施例中,铝酸钙颗粒的外部大小为大约50微米。

[0071] 小于大约50微米的铝酸钙粒度出于三个原因而是对于芯优选的:首先,细颗粒尺寸被认为会在固化期间促进液压粘合的形成;第二,细颗粒尺寸被理解为在焚烧期间促进颗粒间烧结,且这可提高模具强度;以及第三,细颗粒尺寸被认为会改善模具中产生的铸件制品的表面光洁度。铝酸钙颗粒可提供为粉末,且可用于其固有粉末形式或以成团形式,诸如作为喷雾干燥的团块。在一个实例中,铝酸钙颗粒还可与大尺寸(例如,大于大约70微米的尺寸)氧化铝预混。氧化铝被认为由于高温焚烧期间的烧结而提供强度提高。在某些情形中,还可加入具有或没有大尺寸氧化铝的细尺寸氧化铝(即,小于50微米尺寸)。在一个实施例中,铝酸钙颗粒具有高纯度,且还含有达到70%的氧化铝。

[0072] 铝酸钙颗粒设计和处理成具有极少量的杂质,诸如极少量的二氧化硅、钠和其它碱金属和氧化铁。在一方面,铝酸钙颗粒的目标水平为 Na_2O 、 SiO_2 、 Fe_2O_3 和 TiO_2 的和小于大约2重量百分数。在一个实施例中, Na_2O 、 SiO_2 、 Fe_2O_3 和 TiO_2 的和小于大约0.05重量百分数。

[0073] 在一方面,模具成分(例如,熔模模具成分)或芯成分可包含细尺寸铝酸钙颗粒和大尺寸中空氧化铝颗粒的混合物。铝酸钙颗粒可起到粘合剂的作用,例如,铝酸钙颗粒可提供模具和芯结构的主要骨架结构。铝酸钙颗粒可包括模具和芯中的连续相,且在固化和铸造期间提供强度。芯成分可由细尺寸铝酸钙颗粒和大尺寸中空氧化铝颗粒构成,即,铝酸钙和大尺寸氧化铝颗粒可包括基本仅芯成分的组分,具有很少或没有其它组分。

[0074] 芯中的大颗粒(例如,氧化铝气泡(或中空氧化铝颗粒))的重量分数为本公开内容的另一个特征,因为这确定顺应性和可破碎性。在一个实例中,大尺寸颗粒的重量分数为至少20%。在另一个实施例中,大尺寸颗粒的重量分数为大约20%到大约65%。这些大尺寸颗粒可为中空的,例如,外部大小大于70微米的中空氧化铝颗粒。作为备选,大尺寸颗粒的重量分数从大约20%到大约45%。在一个实施例中,大尺寸颗粒的重量分数从大约20%到大约35%。在一个实施例中,大尺寸颗粒的重量分数从大约20%到大约30%。在一个实施例中,大尺寸颗粒的重量分数从大约30%到大约50%。在另一个实例中,大尺寸颗粒的重量分数为大约20%。在一个实施例中,大尺寸颗粒的重量分数为大约30%。在一个实施例中,大尺寸颗粒的重量分数为大约40%。在一个实施例中,大尺寸颗粒的重量分数为大约50%。在一个实施例中,大尺寸颗粒的重量分数为大约60%。在一个实例中,用于本公开内容的大尺寸颗粒为氧化铝的中空颗粒。

[0075] 用于芯配方中的大尺寸颗粒的粒度是本公开内容的又一个特征。在一个实例中,大尺寸颗粒的粒度的外部大小为大约70微米到大约1000微米。在另一个实例中,大尺寸颗粒的平均粒度大于70微米。在一个实施例中,粒度测量为颗粒的外部大小。大尺寸颗粒的外部大小可从大约70微米到大约200微米。本公开内容的发明人发现,芯成分可制作成具有有益性质,且细尺寸铝酸钙颗粒和大尺寸中空颗粒的组合提供了优异结果。

[0076] 这些大尺寸颗粒的外部大小可从大约70微米到大约150微米。在一个实例中,用于芯成分的大尺寸颗粒可从大约100微米到大约200微米。在另一个实例中,大尺寸颗粒的外部大小从大约150微米到大约1000微米。在一个实施例中,大尺寸颗粒的外部大小为大约100微米。在一个实施例中,大尺寸颗粒的外部大小为大约150微米。在一个实施例中,大尺

寸颗粒的外部大小为大约200微米。在一个实施例中,大尺寸颗粒的外部大小为大约1000微米。

[0077] 这些大尺寸颗粒可包括中空氧化物颗粒。大尺寸颗粒可包括氧化铝颗粒、氧化镁颗粒、氧化钙颗粒、氧化锆颗粒、氧化钛颗粒或它们的组合。大尺寸颗粒可为陶瓷,诸如铝酸钙、六铝酸钙、氧化锆或它们的组合。在一个实施例中,氧化物颗粒可为一种或更多种不同氧化物颗粒的组合。在特定实施例中,大尺寸颗粒为中空氧化物颗粒,且在相关实例中,这些大尺寸颗粒包括中空氧化铝球或气泡。在一个实施例中,本公开内容包括中空含钛制品铸模成分,其包括铝酸钙。在另一个实施例中,铸模成分还包括氧化物颗粒,例如,中空氧化物颗粒。

[0078] 在某些实施例中,中空氧化物颗粒可包括中空氧化铝球(在一个实例中,大于100微米的直径,例如,大约1000微米)。中空氧化铝球可并入铸模或芯成分中,且中空球可具有一定范围的几何形状,诸如圆形颗粒或不规格团块。在某些实施例中,氧化铝可包括圆形颗粒和中空球两者。在一方面,发现这些几何形状增大了熔模模具混合物的流动性。加强的流动性通常可改善由模具生产的最终铸件的表面光洁度和表面特征的保真度或准确度。

[0079] 例如,芯成分还可包括中空颗粒形式的氧化铝。在一个实例中,这些颗粒具有基本由氧化物包绕的中空芯或基本中空的芯。这些中空氧化铝颗粒可包括大约99%的氧化铝,且具有大约10毫米[mm]或更小的外部大小,诸如宽度或直径。在一个实施例中,中空氧化铝颗粒具有大约1毫米[mm]或更小的外部大小,诸如宽度或直径。在另一个实施例中,氧化铝包括可具有范围从大约70微米[μm]到大约10,000微米的外部大小。在另一个实施例中,氧化铝包括可具有范围从大约70微米[μm]到大约1000微米的外部大小。

[0080] 颗粒的特定尺寸为本公开内容的特征。细或小尺寸颗粒的铝酸钙和中空大尺寸颗粒的组合是本公开内容的一个特征。铝酸钙颗粒可包括外部大小达到大约50微米的颗粒,且这些细颗粒与包括外部大小从大约70到大约1000微米的颗粒的大尺寸颗粒组合。在一个实例中,铝酸钙颗粒的至少50%的外部大小小于大约10微米。在一个实例中,铝酸钙颗粒的至少50%的外部大小小于大约25微米。

[0081] 铝酸钙颗粒和大尺寸颗粒(例如,氧化铝气泡/大颗粒)的粒度分布为本公开内容的一个特征,且在控制焚烧时的线性收缩中起作用。此外,包括铝酸钙和大尺寸颗粒(例如,氧化铝颗粒)的特征的因素和焚烧周期(例如,温度、时间、湿度)也是本公开内容的特征。

[0082] 芯的密度为本公开内容的特征。密度影响芯的强度/可破碎性,以及芯由诸如浸出且特别是优先浸出的方法来从中空铸件除去的能力。优先浸出涉及从铸件除去陶瓷芯而不除去铸件自身。在一个实施例中,芯的密度为大约0.8g/cc到大约3g/cc。在一个实施例中,芯的密度为大约1.5g/cc。发明人发现,如果芯密度过低,则芯就没有足以经得起模具制作和铸造期间的应力的强度。如果芯密度过高,则芯从铸件除去就很难。

[0083] 芯在焚烧时的收缩在控制芯大小中起作用。在细尺寸铝酸钙颗粒和大尺寸颗粒(如,氧化铝颗粒)的重量分数的选择比率下,在一些实施例中,芯收缩可减小至小于大约1.0%。在改善的配方下,借助于大于大约30%的大尺寸颗粒的重量百分数,由于大尺寸颗粒的低温烧结特征,故芯在焚烧时的收缩可减小至小于大约0.75%。

[0084] 本公开内容还教导了一种制作陶瓷芯的方法。芯可由一定范围的模制方法制作,包括干压(后接烧结、注射模制(利用诸如蜡或聚合物的粘合剂))、凝胶铸造或浆料铸造。在

一个实例中,本公开内容提供了制作芯的三种方式:首先,混合细尺寸铝酸钙和大尺寸氧化铝的粉末,且使用压实模和烧结来干压粉末混合物。第二,注射模制细尺寸铝酸钙和大尺寸氧化铝的混合物粉末,其中蜡作为粘合剂/润滑剂。第三,如下文更详细所述,将细尺寸铝酸钙和大尺寸氧化铝的浆料倒入模中。

[0085] 陶瓷芯通过使铝酸钙颗粒与大尺寸颗粒和液体组合来形成浆料且然后将该浆料引入模中来产生制品形状的本体的未加工产品而制成。随后,未加工产品加热来制作陶瓷芯。为了制作陶瓷芯,细尺寸铝酸钙颗粒可连同基本中空的大尺寸颗粒(例如,外部大小大于大约70微米的大尺寸中空氧化铝颗粒)使用。

[0086] 制作陶瓷芯的方法可包括在将浆料引入制品形状的本体之前将氧化物颗粒引入浆料中。在一个实例中,这些氧化物颗粒包括中空氧化物颗粒。陶瓷芯可使用中空氧化物颗粒和/或中空氧化铝球制作。这些大尺寸颗粒可为中空的或基本中空的。

[0087] 初始浆料混合而具有50到150厘泊之间的粘性。在一个实施例中,粘性范围在80到120厘泊之间。如果粘性太低,则浆料将不会保持所有浆料悬浮,且较重颗粒的沉淀将会发生,且在固化期间导致分离。如果粘性太低,则铝酸钙颗粒不可分至易消失模型(fugitive pattern)。具有铝酸钙颗粒和中空大尺寸颗粒(例如,中空氧化铝颗粒)的最终浆料混合而具有大约2000到8000厘泊之间的粘性。在一个实施例中,该最终浆料粘性范围在3000到6000厘泊之间。如果最终浆料/混合物粘性太高,则最终浆料混合物将不会围绕易消失模型流动,且模具的内腔将不适用于铸造最终需要的零件。如果最终浆料混合物粘性太低,则较重颗粒的沉淀将在固化期间发生,且模具将不会具有遍及芯的所需均匀成分,且所得的铸件的质量将受损。

[0088] 初始浆料的固体含量和最终模具混合物的固体含量对芯结构有影响。固体含量的百分比限定为混合物中的总固体除以混合物中的液体和固体的总质量,描述为百分比。在一个实施例中,初始铝酸钙-液体混合物中的固体的百分比为大约百分之71到百分之78。

[0089] 如果初始铝酸钙浆料中的固体含量小于大约百分之70,则颗粒将不会留在悬液中,且在模具的固化期间,颗粒将与水分分离,且成分将不会在模具各处均匀。相比之下,如果固体含量在接合剂中太高(例如,大于大约百分之78),则具有大尺寸氧化铝的最终混合物的粘性将过高(例如,大于大约85%,这取决于加入的大尺寸氧化铝颗粒的量、尺寸和形态),且混合物中的铝酸钙颗粒将不能分到模具内的易消失模型。

[0090] 在一个实施例中,具有大尺寸(意味着大于大约70微米)氧化铝颗粒的最终铝酸钙-液体混合物中的固体的百分比为大约百分之75到大约百分之90。在一个实施例中,具有大尺寸氧化铝颗粒的最终铝酸钙-液体混合物中的固体的百分比为大约百分之78到大约百分之88。在另一个实施例中,具有大尺寸氧化铝颗粒的最终铝酸钙-液体混合物中的固体的百分比为大约百分之78到大约百分之84。在特定实施例中,具有大尺寸氧化铝颗粒的最终铝酸钙-液体混合物中的固体的百分比为大约百分之80。

[0091] 氧化铝可作为氧化铝颗粒(例如,中空氧化铝颗粒)并入。颗粒可具有一定范围的几何形状,诸如圆形颗粒或不规则团块。氧化铝颗粒尺寸可小到10微米和大到10mm。在一个实施例中,由于这些几何形状增大熔模模具混合物的流动性,故氧化铝由圆形颗粒和中空颗粒两者构成。

[0092] 流动性影响铝酸钙在熔模模具混合物围绕易消失模型倒入和设置期间分至易消

失模型(诸如蜡)的方式。流动性影响由模具产生的最终铸件的表面光洁度和表面特征的保真度。

[0093] 通过中空,构想出了这些大尺寸颗粒为具有(多个)颗粒内的空气的空间或气穴的颗粒,使得颗粒不是完全的、填装的密实颗粒。该空间/空气的程度变化,且中空颗粒包括颗粒的体积的至少20%为空气的颗粒。在一个实例中,中空颗粒为颗粒的体积的大约5%到大约75%由空白空间或空气构成的颗粒。在另一个实例中,中空颗粒为颗粒的体积的大约10%到大约80%由空白空间或空气构成的颗粒。在又一个实例中,中空颗粒为颗粒的体积的大约20%到大约70%由空白空间或空气构成的颗粒。在另一个实例中,中空颗粒为颗粒的体积的大约30%到大约60%由空白空间或空气构成的颗粒。在另一个实例中,中空颗粒为颗粒的体积的大约40%到大约50%由空白空间或空气构成的颗粒。

[0094] 在另一个实例中,中空颗粒为颗粒的体积的大约10%由空白空间或空气构成的颗粒。在一个实例中,中空颗粒为颗粒的体积的大约20%由空白空间或空气构成的颗粒。在一个实例中,中空颗粒为颗粒的体积的大约30%由空白空间或空气构成的颗粒。在一个实例中,中空颗粒为颗粒的体积的大约40%由空白空间或空气构成的颗粒。在一个实例中,中空颗粒为颗粒的体积的大约50%由空白空间或空气构成的颗粒。在一个实例中,中空颗粒为颗粒的体积的大约60%由空白空间或空气构成的颗粒。在一个实例中,中空颗粒为颗粒的体积的大约70%由空白空间或空气构成的颗粒。在一个实例中,中空颗粒为颗粒的体积的大约80%由空白空间或空气构成的颗粒。在一个实例中,中空颗粒为颗粒的体积的大约90%由空白空间或空气构成的颗粒。

[0095] 中空颗粒(例如,中空大尺寸氧化铝颗粒)用于至少两个功能:[1]它们以极小强度减小来减小芯的密度和重量;获得了大约500psi和以上的强度水平,其中密度为大约2g/cc和更小;以及[2]它们减小模具的弹性模量,且有助于在铸造之后模具和构件冷却期间提供顺应性。模具的提高了的顺应性和可破碎性可减小构件上的张应力。

[0096] 图2,3,7和8示出了平板铸件的截面。该截面允许直接地观察含铝酸钙的芯;可看到铸件和芯的一定范围的不同截面。芯可由一定范围的模制方法制作,包括干压(后接烧结、注射模制(利用诸如蜡或聚合物的粘合剂))、凝胶铸造或浆料铸造。

[0097] 发明人这里还教导了用于铸造含钛制品的烧结陶瓷芯。芯包括铝酸钙颗粒和大尺寸颗粒。铝酸钙颗粒为小尺寸的,且大尺寸颗粒可为中空的。芯在其烧结之后基本没有二氧化硅。在一个实例中,在烧结之前,陶瓷芯包括中空氧化铝颗粒,且在烧结之后,芯包括不超过大约0.5%重量(基于芯的总重量)的游离二氧化硅。

[0098] 在图8中,芯通过喷砂部分地除去,且可观察到铸件的内表面。在图7a中,部分地除去的芯可在较高放大下看到,且可更详细观察到铸件的内表面。还有可能看到用于支承模具中的芯的一个铂销。铂销在铸造期间并未完全除去。在铸造状态中观察铸件;其并未经任何热处理。

[0099] 由含铝酸钙的芯生成的铸件的内表面的状态示为是可接受的。在喷砂状态中,Ra值从大约10到大约50,而没有进一步调节。图7和8示出了芯和铸件的各种截面;芯与铸件之间较少反应到没有反应的情况下,保持了芯的完整性。

[0100] 表面粗糙度为代表铸件和机加工零件的表面完整性的一个指标。表面粗糙度特征在于由光学轮廓测定测得的指定区域中的中心线平均粗糙度值“Ra”,以及平均峰到谷的距

离“Rz”。粗糙度值可在轮廓或表面上计算。轮廓粗糙度参数(Ra, Rq...)更常见。各个粗糙度参数使用用于描述表面的公式来计算。使用中存在许多不同的粗糙度参数,但Ra迄今是最常见的。如本领域中已知那样,表面粗糙度与工具磨损相关。通常,通过磨削和珩磨的表面精整过程产生Ra在0.1mm到1.6mm的范围中的表面。最终涂层的表面粗糙度Ra值取决于涂层或涂布制品的期望功能。

[0101] 平均粗糙度Ra标为高度单位。在英制(英国的)中,1Ra通常表示为一英寸的“百分之一”。这也称为“微英寸”。这里指出的Ra值是指微英寸。70的Ra值对应于大约2微米,且35的Ra值对应于1微米。通常需要高性能制品(诸如涡轮叶片、涡轮导叶/喷嘴、涡轮增压器、往复式发动机阀、活塞等)的表面具有大约20或更小的Ra。本公开内容的一个方面为包括钛或钛合金且具有穿过其表面面积的至少一部分的小于20的平均粗糙度Ra的涡轮叶片。

[0102] 随着熔融金属被加热得越来越高,它们趋于变得反应性越来越大(例如,经历与模具表面的不需要的反应)。此反应导致形成杂质,杂质污染金属零件,这导致各种不利的结果。杂质的存在转移金属的成分,使得其不可满足期望标准,由此不允许铸件用于预期应用。此外,杂质的存在可不利地影响金属材料的机械性能(例如,降低材料的强度)。

[0103] 此外,此反应可导致表面纹理,这导致了铸件的表面上的显著的、非期望的粗糙度。例如,使用如本领域中已知的用于特征化表面粗糙度的表面粗糙度值Ra,使用不锈钢合金和/或钛合金的铸件通常在良好工作状态下呈现出大约100到200之间的Ra值。这些不利效果驱使人们使用较低温度来用于填充模具。然而,如果熔融金属的温度未足够加热,则铸造材料可冷却过快,导致铸模的不完全填充。

[0104] 本公开内容还针对一种用于铸造中空含钛制品的模具成分,包括铝酸钙颗粒;以及如本文教导的陶瓷芯。芯成分的铝酸钙颗粒包括三个相:单铝酸钙(CaAl_2O_4)、二铝酸钙(CaAl_4O_7)和钙铝石($\text{Ca}_{12}\text{Al}_{14}\text{O}_{33}$)。芯成分中的铝酸钙颗粒中的单铝酸钙具有优于其它铝酸钙相的三个优点:1)由于单铝酸钙具有快速定形响应(尽管不如钙铝石那样快)且被认为其在固化的早期向芯提供强度,故单铝酸钙被并入芯中。芯强度的快速生成提供了铸芯的大小稳定性,且该特征改善了最终铸造构件的大小一致性。2)单铝酸钙关于为铸造的钛和铝化钛合金是化学上稳定的。单铝酸钙相对于二铝酸钙和具有较高氧化铝活动的其它铝酸钙相是优选的;这些相与铸造的钛和铝化钛合金反应性更大。3)单铝酸钙和二铝酸钙具有小膨胀相,且理解为在固化、脱蜡和随后铸造期间防止模具和芯中形成高水平的应力。单铝酸钙的热膨胀性质与氧化铝非常匹配。

[0105] 此外,本公开内容还教导了一种用于制作用于铸造中空含钛制品的铸模和铸芯的方法。该方法包括组合铝酸钙颗粒、大尺寸颗粒和液体来产生浆料、将该浆料引入容器中以用于制作包含易消失模型的模具,以及允许其在容器中固化。在一个实施例中,铂销定位成跨越生成模腔的蜡,使得模腔具有穿过模腔的铂。在易消失模型固化和除去之后,模具由含钛制品(见图17a)形成。在一个实例中,细尺寸铝酸钙颗粒连同基本中空的大尺寸使用。

[0106] 该方法还可包括在将浆料引入用于制作模具的容器中之前将氧化物颗粒引入浆料中。用于当前教导的方法中的氧化物颗粒包括氧化铝颗粒、氧化镁颗粒、氧化钙颗粒、氧化锆颗粒、氧化钛颗粒或它们的组合。用于当前教导的方法中的氧化物颗粒可包括中空氧化物颗粒。在特定实例中,氧化物颗粒包括中空氧化铝(矾土)球。

[0107] 图9-12示出了来自铸件的带芯截面的横向切片。横向切片沿侧部切割,且切片分

成两半。这允许了剩余的芯除去且检查中空铸件的内表面。铸件的内表面的图示出了芯完全除去且喷砂的区域；表面光洁度示为可接受的。

[0108] 铸件的内表面的图像还示出了芯并未完全除去的区域；这允许了人们计量芯与铸件之间的相互作用的水平。如所见，仅存在铸件上的含铝酸钙的芯的很细的大小，且该大小可容易通过喷砂、丝刷、柑橘清洗、化学清洗或本领域中公知的其它手段除去。本公开内容的发明人能够构想出使用这些研究结果：包含细尺寸铝酸钙和大尺寸中空颗粒的芯为适用于铸造中空钛合金和铝化钛合金构件的技术。

[0109] 下文进一步详述了关于模具制作(包括将芯并入模具中)和铸造过程的本公开内容的细节。芯通常在适合的位置处以一定蜡型设置在蜡中，以便将具有铸件的所需区域中的中空截面的后续铸件提供到特定准确性水平。这些技术可提供构件的规格通常所需的位置的小于0.4mm内的中空腔的位置准确性。通常，铸件中的中空腔的位置控制成小于0.4mm的公差；中空腔位置上的公差由蜡中的芯的位置的控制来控制；适合设计的工具和可消耗或非可消耗的芯支承物(诸如铂销)的使用也是本公开内容的另一个特征。

[0110] 本公开内容的一个方面是一种用于形成用于铸造中空含钛制品的铸模的方法，该方法包括：使铝酸钙与液体组合来产生铝酸钙的浆料，其中初始铝酸钙/液体混合物中的固体的百分比为大约70%到大约80%，且浆料的粘性为大约50到大约150厘泊；将大尺寸中空氧化物颗粒加入浆料中，使得具有大尺寸(大于大约70微米且小于大约1000微米)氧化物颗粒的最终铝酸钙/液体混合物中的固体为大约75%到大约90%；将浆料引入用于制作包含易消失模型的模具的容器中；以及允许浆料在容器中固化来制作模具以形成用于铸造中空含钛制品的模具。

[0111] 熔模模具通过配制陶瓷构件的熔模混合物且将混合物倒入包含易消失模型的容器中来形成。熔模模具形成在蜡型上，且允许其彻底固化来形成所谓的未加工模具。在一个实施例中，固化步骤例如，在低于大约30摄氏度的温度下进行一小时到大约48小时。

[0112] 易消失模型然后通过熔化、溶解、点燃、烘箱脱蜡、熔炉脱蜡、蒸汽压力罐脱蜡或微波脱蜡，或其它已知模型除去技术来有选择地从未加工模具除去。用于蜡型除去的典型方法包括烘箱脱蜡(低于150℃)、熔炉脱蜡(高于150℃)、蒸汽压力罐脱蜡和微波脱蜡。结果为具有在模腔内定位在正确位置处以用于随后铸造的芯的模具。

[0113] 尽管本公开内容教导了使用铸模腔中的单个芯，但有可能的是使用不同几何形状的多个芯来按需要在铸模中的不同位置处生成不同的腔。例如，在一个实施例中，铸模具有两个、三个或四个不同的腔位置，其中各个均具有其内的芯。在使用一个以上的芯的一个实施例中，芯可经由连接收纳芯的两个或更多个腔的通道来连接到彼此上。在使用一个以上的芯的一个实施例中，芯为分离的，各个在限定位置内且不与任何其它芯接触。在使用一个以上的芯的另一个实施例中，各个芯的成分可为不同的。诸如芯强度、芯顺应性和芯可破碎性的性质可根据模具的特定位置的铸造要求来调整。在使用一个以上的芯的另一个实施例中，所有芯都具有与彼此相同的成分。

[0114] 芯和模具从室温至最终焚烧温度的处理也是本公开内容的一个特征，特别是热状况和湿度分布。至焚烧温度的加热速率和焚烧之后的冷却速率是本公开内容的其它特征。焚烧过程从模具除去水，且将铝酸钙颗粒中的钙铝石转换成铝酸钙。模具焚烧程序的另一个目的在于使在铸造之前留在芯和模具中的任何游离二氧化硅极小化。其它目的在于除去

水、增大耐高温强度,以及增加单铝酸钙和二铝酸钙的量。

[0115] 为了铸造中空含钛或钛合金的构件,未加工模具在高于600摄氏度(例如,600到1400摄氏度)的温度下焚烧超过1小时(优选2到10小时)的时段来形成针对铸造的模具强度,且除去模具中的任何非期望的剩余杂质,诸如金属类(Fe、Ni、Cr)和含碳类。在一个实例中,焚烧温度为至少950摄氏度。焚烧模具的气氛通常是环境空气,但也可使用惰性气体或还原性气氛。

[0116] 有芯在其中的模具从室温加热至最终焚烧温度,具体而言,热过程受控制。通常调节至焚烧温度的加热速率和焚烧之后的冷却速率。如果模具加热过快,则其可在内部或外部或两者开裂;铸造之前的模具开裂是很不期望的。此外,如果模具加热太快,则模具的内表面可开裂且剥落。这可导致最终铸件中的非期望夹杂物,以及较差的表面光洁度(即使没有夹杂物)。此外,如果模具和芯组件加热太快,则芯可开裂且随后的铸造构件将不会拥有其内的设计的中空腔。类似地,如果模具在达到最大温度之后冷却太快,则模具也可在内部或外部或两者开裂。

[0117] 本公开内容还教导了一种用于制作用于铸造中空含钛制品的铸模的方法。铸模包括用于铸造近净成形铝化钛制品的熔模铸造模具。在某些实施例中,本公开内容的铸模成分包括熔模铸造模具成分,其包括芯。包括芯的熔模铸造模具成分包括近净成形含钛金属熔模铸造模具成分。在一个实施例中,熔模铸造模具成分包括用于铸造近净成形铝化钛制品的熔模铸造模具成分。例如,近净成形铝化钛制品包括近净成形铝化钛涡轮叶片。该近净成形铝化钛涡轮叶片在安装之前可能需要很少或没有材料除去。

[0118] 如本公开内容中提出的近净成形铸造途径允许了以非破坏性方法(诸如x射线、超声波或涡流)来更详细且在较低成本下检查零件。降低了与尺寸过大的厚截面中的检查辐射的衰减和散射相关联的难度。较小缺陷可能解决,且这可向零件提供改善的机械性能。

[0119] 此外,本公开内容还教导了一种用于中空钛和钛合金的铸造方法。该方法包括获得包括铝酸钙颗粒和大尺寸颗粒的熔模铸造模具成分、将该成分倒入包含易消失模型的容器中、使其固化、从模具除去易消失模型,以及将模具预热至模铸温度。随后,熔融的钛或钛合金倒入加热的模具中,且允许凝固来形成凝固的中空钛或钛合金铸件(见图17b)。

[0120] 然后,凝固的中空钛或钛合金铸件从模具除去。在一个实施例中,在从模具除去钛或钛合金之后,铸件可利用喷砂或抛光来精整。在一个实施例中,在凝固铸件从模具除去之后,其由X射线照相来检查。本公开内容还教导了由如本文教导的铸造方法制作的钛或钛合金制品,例如,涡轮叶片。

[0121] 凝固铸件在铸造和精整之后经历表面检查和X射线照相,以检测铸件内的任何位置处的任何亚表面夹杂物颗粒。X射线照相用于找出不可由铸件的外表面的目视检查检测出的夹杂物。铝化钛铸件经历使用常规X射线设备的X射线照相(胶片或数字),以提供X射线照片,其然后被检查或分析来确定是否有任何亚表面夹杂物存在于铝化钛铸件内。

[0122] 本公开内容的另一个方面为一种用于形成用于铸造中空含钛制品的铸模的方法。成形的模具可为未加工模具,且该方法还可包括焚烧未加工模具。在一个实施例中,铸模包括例如用于铸造中空含钛制品的熔模铸造模具。在一个实施例中,熔模铸造模具成分包括用于铸造近净成形铝化钛制品的熔模铸造模具成分。近净成形铝化钛制品可包括近净成形铝化钛涡轮叶片。在一个实施例中,本公开内容针对一种由如本文教导的中空含钛制品铸

模成分形成的模具。本公开内容的另一个方面针对形成在前述模具中的中空制品。

[0123] 本公开内容中所示的新的芯成分特别适用于钛和铝化钛合金。本公开内容尤其针对一种包括铝酸钙颗粒和一个或更多个大尺寸颗粒的陶瓷芯成分。该成分包括细尺寸铝酸钙和所述大颗粒。大尺寸颗粒可为中空的。铝酸钙颗粒可包括单铝酸钙、二铝酸钙和钙铝石的颗粒。铝酸钙颗粒可包括单铝酸钙和二铝酸钙的颗粒。本公开内容还教导了由包括铝酸钙颗粒和一个或更多个大尺寸颗粒的陶瓷芯成分形成的铸芯。本公开内容还针对一种使用由包括铝酸钙颗粒和一个或更多个大尺寸颗粒的陶瓷芯成分形成的铸芯形成的中空的含铝化钛的制品。中空的含铝化钛的制品的实例为中空铝化钛涡轮叶片。

[0124] 焚烧之后和铸造之前的芯和模具成分是特别相对于组分相的本公开内容的特征。为了铸造目的,芯和模具中的单铝酸钙的相对高的重量分数是优选的(总模具重量的至少25重量百分数)。此外,为了铸造目的,期望使模具中的钙铝石的体积分数极小化,因为钙铝石对水敏感,且其可在铸造期间提供水释放和气体发生的问题。表1中提供了进一步的细节。

[0125] 表1:用于模具和芯中的细尺寸铝酸钙接合剂的单铝酸钙、二铝酸钙和钙铝石的重量百分数范围。

[0126]

	单铝酸钙的范围	二铝酸钙的范围	钙铝石的范围
模具中的细尺寸铝酸钙	5%–95%	5%–80%	1%–30%
芯中的细尺寸铝酸钙	10%–90%	5%–80%	0.1%–5%

[0127] 此外,期望极小化芯中的钙铝石的体积分数;如附表所述,芯中必须保持低于模具中的钙铝石水平。在焚烧之后,模具和芯还可包含小的重量分数的硅酸铝和铝硅酸钙;期望铝硅酸和铝硅酸钙的重量分数的和在模具中和芯中保持小于大约5%,以便使模具与铸件的反应极小化。在一个实例中,硅酸铝和铝硅酸钙的重量分数的和比在模具中和芯中的小大约3%。在另一个实例中,硅酸铝和铝硅酸钙的重量分数的和比在模具中和芯中的小大约1%。

[0128] 表2:模具和芯的细尺寸铝酸钙接合剂的重量百分数范围和大尺寸颗粒的重量百分数范围。还包括二氧化硅的重量百分数的优选极限,以及硅酸铝和铝硅酸钙的组合的优选极限。

[0129]

	细尺寸铝酸钙接合剂的重量百分数范围	大尺寸颗粒的重量百分数范围	二氧化硅的重量百分数范围	硅酸铝和硅铝酸钙的的重量百分数范围
模具	大于30%	20%到70%	<2%	<5%
芯	20%到80%	20%到65%	<0.5%	<5%

[0130] 正确的铝酸钙颗粒化学性质和氧化铝配方的选择是本公开内容的特征。它们为铸造期间模具的性能的决定因素。

[0131] 本公开内容的方面中使用的铝酸钙颗粒通常包括钙和铝的三个相或组分:单铝酸钙(CaAl_2O_4)、二铝酸钙(CaAl_4O_7)和钙铝石($\text{Ca}_{12}\text{Al}_{14}\text{O}_{33}$)。单铝酸钙的水合有助于熔模模具的高的早期强度。钙铝石是期望的,因为其在模具固化的早期由于液压粘合的快速形成而提供强度。然而,钙铝石通常在铸造之前的模具的热处理期间除去。

[0132] 钙铝石并入模具中, 既在模具中又在芯中, 因为其是快速设置的铝酸钙且被认为在固化的早期向模具提供了强度。固化可在低温下执行, 例如, 15摄氏度到40摄氏度之间的温度, 因为易消失蜡型是热敏的, 且在高于大约35摄氏度的热暴露下失去其形状和性质。优选在低于30摄氏度的温度下固化模具。

[0133] 正确的铝酸钙颗粒化学性质和氧化铝配方的选择是铸造期间芯的性能的因素。在一个实施例中, 铸模成分还包括氧化钙。在另一个实施例中, 铸芯成分还包括氧化钙。就铝酸钙颗粒而言, 可能需要极小化游离氧化钙的量, 以便极小化与钛合金的反应。如果氧化钙浓度低于大约10%重量, 则由于氧化铝浓度过高, 合金与模具和芯反应, 且反应生成铸件中的非期望氧浓度水平、气泡和铸造构件中的较差表面光洁度。游离二氧化硅在模具和芯材料中不太期望, 因为其可与钛和铝化钛合金积极反应。还期望使在熔融合金被倒入模具中之后与熔融合金接触的游离氧化铝量极小化。

[0134] 最终的模具通常具有小于2克/立方厘米的密度和大于500磅每平方英寸[psi]的强度。最终的芯通常可具有小于3.5克/立方厘米的密度和大于150磅每平方英寸[psi]的强度。

[0135] 铸模成分和芯成分可为不同的。例如, 模具中的单铝酸钙包括大约0.05到0.95的重量分数, 且芯中的单铝酸钙为大约0.1到0.90。在另一个实施例中, 模具中的二铝酸钙包括大约0.05到大约0.80的重量分数, 且芯中的二铝酸钙为大约0.05到0.90。在又一个实施例中, 如表1中所示, 模具成分中的钙铝石包括大约0.01到大约0.30的重量分数, 且芯中的钙铝石为大约0.001到0.05。

[0136] 在一个实施例中, 适于模具中的这些相的重量分数为0.05到0.95的单铝酸钙, 0.05到0.80的二铝酸钙, 以及0.01到0.30的钙铝石。而在一个实例中, 芯成分中的这些相的重量分数为0.1到0.90的单铝酸钙、0.05到0.90的二铝酸钙, 以及0.001到0.05的钙铝石。在另一个实施例中, 芯中的单铝酸钙的重量分数大于大约0.6, 且钙铝石的重量分数小于大约0.1。在一个实施例中, 模具中的单铝酸钙的重量分数大于大约0.5, 且钙铝石的重量分数小于大约0.15。

[0137] 在铸造熔融金属或合金之前, 熔模模具和芯可预热至取决于待铸造的特定构件几何形状或合金的模铸温度。例如, 模具和芯预热温度为600摄氏度。在一个实施例中, 模具和芯的温度范围从大约450摄氏度到大约1200摄氏度。在另一个实例中, 该范围从大约450摄氏度到大约750摄氏度。在特定实施例中, 模具温度范围从大约500摄氏度到大约650摄氏度。

[0138] 熔融金属或合金被倒入模具中, 该模具包含使用常规技术的芯, 常规技术可包括本领域中技术人员已知的重力、反重力、压力、离心和其它铸造技术。可使用真空或惰性气体气氛。对于复杂成形的薄壁几何形状, 优选使用高压的技术。在凝固的铝化钛或合金铸件冷却到低于650摄氏度(通常至室温)之后, 其从模具除去且使用常规技术精整, 诸如喷砂、喷水 and 抛光。芯还可由优先的浸出技术除去。

[0139] 具体而言, 在一个实例中, 本公开内容还教导了一种用于铸造中空涡轮构件的方法。如图18b中所示, 该方法包括通过以下制作陶瓷芯1822: 将铝酸钙颗粒与大尺寸颗粒和液体组合来形成浆料、将浆料引入模中来产生制品形状本体的未加工产品, 以及在足以形成烧结陶瓷芯的状态下加热未加工产品。制作陶瓷芯1822, 陶瓷芯然后设置在模具内的预

选位置1824。含熔融钛或钛合金的材料然后被引入模具中1826,且冷却来在模具内形成涡轮构件1828。模具然后与涡轮构件分离,1830,且芯从涡轮构件除去,1832,以便形成中空涡轮构件。铸造的涡轮构件可为涡轮叶片。

[0140] 在一个实例中,芯成分在大约700到大约1400摄氏度下焚烧大约一小时后并未收缩超过大约百分之一。在另一个实例中,芯成分在大约700到大约1400摄氏度下焚烧大约一小时后并未收缩超过大约百分之五。芯成分可烧结,且在陶瓷芯成分烧结之后,形成的陶瓷芯基本没有二氧化硅。陶瓷芯可在烧结之前包括中空氧化铝颗粒,且在烧结之后芯在一个实例中包括不大于大约0.5%重量(基于芯的总重量)的游离二氧化硅。

[0141] 对于铸造方法,可连同基本中空的大尺寸颗粒使用细尺寸铝酸钙颗粒。在从模具除去易消失模型且将模具预热至模具模铸温度之后,在一个实例中,模具加热至大约450摄氏度到大约1400摄氏度的温度,且然后允许冷却至大约室温。易消失模型可通过以下至少一者除去:熔化、溶解、点燃、烘箱脱蜡、熔炉脱蜡、蒸汽压力罐脱蜡或微波脱蜡。在从模具除去凝固的钛或钛合金铸件之后,可用X射线照相来检查铸件。

[0142] 具体而言,凝固的铸件还在铸造和精整之后经历表面检查和x射线照相,以便检测铸件内的任何位置处的任何亚表面陶瓷夹杂物颗粒。铝化钛合金铸件可经历使用常规x射线设备的x射线照相(胶片或数字),以提供x射线照片,其然后被检查或分析来确定是否任何亚表面夹杂物存在于铝化钛合金铸件内。

[0143] 铝酸钙颗粒向芯提供了经得起陶瓷芯与熔融钛合金的反应的能力。中空氧化铝颗粒向芯提供了顺应性和可破碎性;这些是本公开内容的特征,因为所需的是,芯在凝固后冷却期间不会将过大张应力施加到铸件上。芯可具有低于金属的热膨胀系数,且金属比陶瓷冷却更快。

[0144] 确定芯的强度,如果芯太强,则芯将张应力施加到零件上,因为在凝固后冷却期间,该零件比芯收缩更快。本申请的发明人构想出了在冷却期间破碎的芯,使得其不会施加过大张应力到零件上,且不会生成张力撕裂、裂缝和缺陷。

[0145] 芯的可破碎性设计成使得张应力不会生成在铸件中大于1mm的裂缝。例如,可破碎性通过调整大尺寸颗粒(大尺寸中空氧化铝颗粒)的重量分数和芯的密度来实现。具有较低密度的芯具有较高可破碎性,且它们将较低应力施加到铸件上。低密度可由大尺寸中空氧化铝颗粒的较大重量分数或芯中的更大多孔性实现。

[0146] 芯的可破碎性设计成使得张应力不会生成在铸件中大于1mm的裂缝。在一个实例中,芯的可破碎性设计成使得张应力不会生成模具中大于0.5mm的裂缝。在一个实例中,芯的可破碎性设计成使得张应力不会生成模具中大于0.1mm的裂缝。

[0147] 铂销的直径、长度和位置选择成以便极小化模具处理和铸造期间的铸芯的移动。优选的是,铸芯在芯从铸件除去之前在最终铸件中从芯的优选位置移动不超过125微米。优选的是,铸芯在芯从铸件除去之前在最终铸件中从芯的优选位置移动不超过75微米。在一个实例中,铸芯在芯从铸件除去之前在最终铸件中从芯的优选位置移动不超过25微米。

[0148] 本公开内容提供了一种芯和模具,其可提供净形状中空铸件,该铸件可利用非破坏性方法(诸如x射线、超声波或涡流)更详细地且以较低成本检查。由于近净成形铸造,故降低了与尺寸过大的厚截面中的检查辐射的衰减和散射相关联的难度。较小缺陷可能解决,且这可向零件提供改善的机械性能。

[0149] 用于铸造中空含钛制品的模具成分可包括如本文所述的铝酸钙颗粒和陶瓷芯。本公开内容中所述的陶瓷芯成分特别适用于中空钛和铝化钛合金。在焚烧之后和在铸造之前,模具和芯成分可影响模具性能,特别是关于组分相。在一个实施例中,为了铸造目的,模具中的单铝酸钙的高重量分数是优选的,例如,0.15到0.8的重量分数。此外,为了铸造目的,期望的是极小化钙铝石的重量分数,例如,使用0.01到0.2的重量分数,因为钙铝石对水敏感,且其可在铸造期间提供水释放和气体发生的问题。

[0150] 在焚烧之后,模具和芯还可包含小的重量分数的硅酸铝和铝硅酸钙。硅酸铝和铝硅酸钙的重量分数的和通常可在模具中保持为小于5%,以便使模具与铸件的反应极小化。硅酸铝和铝硅酸钙的重量分数的和通常可在芯中保持为小于5%,以便极小化芯与铸件的反应。

[0151] 本公开内容提供了一种铸模成分和铸造工艺,其可提供钛和钛合金的改善构件,特别是中空钛涡轮叶片。铸件的外部性质包括诸如形状、几何形状和表面光洁度的特征。铸件的内部性质包括机械性能、微观结构、低于特定尺寸的缺陷(诸如气孔和夹杂物)。

[0152] 实例

[0153] 已经大体上描述的本公开内容可通过参照以下实例更容易理解,实例仅出于示出本公开内容的某些方面和实施例的目的而被包括,且不旨在以任何方式限制本公开内容。

[0154] 本公开内容的各方面提供了克服常规技术的局限性的陶瓷芯成分、铸造方法和铸件制品。尽管本公开内容的一些方面可能针对航天工业的构件的制造,例如,发动机涡轮叶片,但本公开内容的各方面可用于任何行业中的任何构件的制造,特别是含有钛和/或钛合金的那些构件。

[0155] 细尺寸铝酸钙颗粒与大尺寸氧化铝混合(在一个实例中是大尺寸中空氧化铝颗粒)以生成熔模模具混合物,且测试了一定范围的熔模模具化学性质。在一个实例中,熔模混合物由具有80%的氧化铝和20%的氧化钙的铝酸钙颗粒、氧化铝颗粒、水和胶态氧化硅构成。

[0156] 此外,本公开内容还教导了一种用于制作用于铸造中空含钛制品的铸模的方法。如图17a中所示,该方法包括组合铝酸钙颗粒、大尺寸颗粒和液体来产生浆料1705。包含液体中的铝酸钙颗粒和大尺寸颗粒的该浆料然后被引入容器中来用于制作包含易消失模型的模具,1707,且允许在容器中固化来制作模具以形成含钛制品的模具,1709。在一个实例中,细尺寸铝酸钙颗粒连同基本中空的大尺寸颗粒使用。在特定实例中,初始细尺寸铝酸钙和液体混合物中的固体的百分比为大约60%到大约80%,且浆料的粘性为大约30到150厘泊。在一个实例中,氧化物颗粒加入浆料中1705,使得最终铝酸钙和大尺寸氧化物颗粒(大于70微米)液体混合物中的固体为大约75%到大约90%。铝酸钙浆料被引入容器中用于制作包含易消失模型的模具,1707,且允许在容器中固化来制作模具以形成含钛或钛制品的模具1709。

[0157] 在另一个实例中,本公开内容教导了一种用于中空钛和钛合金的铸造方法。如图17b中所示,该方法包括获得包括铝酸钙颗粒和大尺寸颗粒的熔模铸造模具成分,1722。铸造方法还包括陶瓷芯。在一个实例中,铝酸钙与液体组合来产生铝酸钙浆料,其中具有大尺寸氧化铝的最终铝酸钙/液体混合物中的固体为大约75%到大约90%。

[0158] 该熔模铸造模具成分然后倒入包含易消失模型的容器中1724,且固化1726。容器

控制所得模具的外部大小。易消失模型然后从模具除去1728,且模具预热至模铸温度1730。随后,熔融的钛或钛合金倒入加热的模具中,1732,且允许凝固来形成凝固的中空钛或钛合金铸件,1734。凝固的中空钛或钛合金组件然后从模具除去,1736。本公开内容还教导了由如本文教导的铸造方法制作的钛或钛合金制品。制品可为含铝化钛的涡轮叶片。

[0159] 申请人在此还公开了一种制作陶瓷芯的方法。如图18a中所示,该方法包括使铝酸钙颗粒与大尺寸颗粒和液体组合来形成浆料,1805。该浆料然后被引入模中来产生制品形状的本体的未加工产品,1807,且未加工产品然后在足以形成陶瓷芯的状态下加热,1809。为了制作陶瓷芯,细尺寸铝酸钙颗粒可连同基本中空的大尺寸颗粒使用。

[0160] 本公开内容还教导了一种用于铸造中空涡轮构件的方法。如图18b中所示,该方法包括通过以下制作陶瓷芯1822:将铝酸钙颗粒与大尺寸颗粒和液体组合来形成浆料、将浆料引入制品形状本体的模中,以及在足以形成烧结的陶瓷芯的状态下加热未加工产品。制作陶瓷芯1822,陶瓷芯然后设置在模具内的预选位置1824。含熔融钛或钛合金的材料然后被引入模具中1826,且冷却来在模具内形成涡轮构件1828。模具然后与涡轮构件分离,1830,且芯从涡轮构件除去,1832,以便形成中空涡轮构件。铸造的涡轮构件可为涡轮叶片。

[0161] 在一个实例中,在将浆料引入模中来产生制品形状本体的未加工产品之前,铝酸钙与液体和大尺寸颗粒组合来产生铝酸钙和中空大尺寸的浆料,其中混合物中的固体为大约75%到大约90%。用于制作芯的附加方法包括注射模制。例如,该方法包括通过以下制作陶瓷芯1822:将铝酸钙颗粒与大尺寸颗粒和蜡组合来形成注射模制配方,将配方引入模中,其代表所需的芯的制品形状本体的形状。配方在60到120摄氏度的范围中的温度下喷射到模中,且然后在从模除去之前冷却。芯然后在足以除去蜡和形成烧结的陶瓷芯的状态下加热。制作陶瓷芯,陶瓷芯然后设置在模具内的预选位置来用于铸造。

[0162] 在另一个实例中,产生了中空平板铸件,以便测试由65重量百分比的铝酸钙接合剂和35重量百分比的中空氧化铝气泡构成的芯配方。图4示出了用于开发本芯技术的用于制作具有定位在所得平板内的芯的平板的蜡的制备。铂销垂直于平板的侧部插入穿过蜡片且穿过腔。铂销布置成使得它们穿透板状蜡的两侧,且它们在腔中由蜡片在各侧上支承。如图所示,芯设置在板状蜡的端部中。铂销用于稳定芯在蜡和随后的模具中的位置。

[0163] 为了产生围绕板状蜡的模具,用于制作熔模模具的浆料混合物由5416g商业混合的80%铝酸钙接合剂构成。铝酸钙接合剂标称由与氧化铝混合的70%铝酸钙接合剂构成,以调整氧化铝成分至80%。接合剂浆料使用1631g去离子水和181g胶态氧化硅产生。当浆料混合至可接受的粘性时,2943g的小于0.85mm且大于0.5mm的外部大小尺寸范围的基本中空的氧化铝(气泡)加入浆料中。混合物的固体含量大于70%。在混合之后,熔模模具混合物以受控方式被倒入模制容器中。最终模具混合物的固体含量为大约83%。模具混合物以令人满意的粘性和流变性良好倒入。

[0164] 在固化之后,模制的零件具有良好的强度和均匀的成分。模具在1000℃的温度下焚烧4小时。该配方产生了大约120mm直径和400mm长的模具。模具配方设计成使得存在在焚烧时模具的小于百分之1的线性收缩和模具。产生的模具具有小于大约2克每平方厘米的密度。

[0165] 在焚烧之后,模具用于在由含铝酸钙的芯产生平板的端部处铸造具有中空截面的平板。图1示出了用于开发本公开内容的芯成分的典型平板铸件。平板为具有浇口杯和冒口

的简单几何形状,以允许凝固收缩。图8示出了使用具有模具中的芯的模具产生的钛合金(铝化钛)平板铸件。其示出了切片的芯平板,示出了允许直接观察含铝酸钙的芯的横截面。芯通过喷砂而部分地除去,且可观察到铸件的内部表面。可看到芯部分地除去的铸件的区域。可看到由芯生成的铸件的内部表面具有高质量。由芯产生的中空截面的表面光洁度为大约100Ra。

[0166] 模具混合物通过在容器中混合铝酸钙颗粒、水和胶态氧化硅来制备。使用了高剪切形式混合。如果未彻底混合,则颗粒可成凝胶,且流动性降低,使得模具混合物将不会均匀地覆盖易消失模型。当细尺寸铝酸钙颗粒完全悬浮时,添加中空大尺寸氧化铝颗粒。在一些情况下,在大约两小时的周期内添加从大约70微米到大约100微米的逐渐变大尺寸的中空氧化铝颗粒。当大尺寸氧化铝颗粒与细尺寸铝酸钙颗粒完全混合时,大尺寸(例如,300到1000微米)氧化铝颗粒加入且与细尺寸铝酸钙中空氧化铝配方混合。

[0167] 最终混合物的粘性为芯成分的另一个因素,因为其必须不是太低或太高。本公开内容的另一个因素为颗粒混合物的固体含量和水量。在混合之后,熔模混合物以受控方式倒入包含易消失蜡型的容器中。容器的大小控制所得模具的外部大小。容器提供模具的外部几何形状,且易消失模型生成内部几何形状。正确的倒入速度是另一个特征,如果其太快,则空气可捕集在模具中,如果其太慢,则接合剂和氧化铝颗粒的分离可能发生。适合的倒入速度范围从大约1到大约20升每分钟。在一个实施例中,倒入速度为大约2到大约6升每分钟。在特定实施例中,倒入速度为大约4升每分钟。

[0168] 最终模具混合物的固体含量大于百分之80,且其中固体含量限定为相对于混合中的液体和固体的总质量标准化的混合物中的总固体,表示为百分比。

[0169] 模具配方设计成使得在焚烧时,模具的面涂层和模具两者存在小于百分之1的线性收缩。并入混合物中的轻量的熔融氧化铝中空颗粒提供低热导率。

[0170] 氧化铝中空颗粒提供具有相比于全致密氧化铝降低密度且相比于全致密氧化铝热导率较低的芯成分。在该实例中,芯具有35%重量百分数的中空氧化铝颗粒。

[0171] 该配方产生了芯成分和模具,其为大约120mm直径和400mm长。模具然后固化且在高温下焚烧。成分用于铸造具有良好表面光洁度的含铝化钛的制品,诸如涡轮叶片。粗糙度(Ra)值小于100,且其中含氧量小于2000ppm。该配方产生了具有小于1.8克每立方厘米的密度的模具。在所有温度下,芯的热导率基本小于氧化铝的。热导率使用热丝铂阻温度计技术(ASTM测试C-1113)测量。

[0172] 在另一个实例中,低压涡轮叶片制造成具有其内的铝酸钙芯。芯由540g铝酸钙接合剂、292g大尺寸氧化铝颗粒、164g去离子水和181g胶态氧化硅构成的配方制成。接合剂浆料使用铝酸钙接合剂、去离子水和胶态氧化硅产生。当浆料混合至可接受的粘性时,294g的外部大小在小于0.85mm到大约0.5mm的尺寸范围中的氧化铝颗粒加至浆料。浆料然后倒入腔中,腔与最终铸造构件中所需的中空腔的形状相反。

[0173] 芯在21摄氏度的温度下和20%的适度水平下在腔中固化24小时。芯固化,且其用铂销设置在涡轮翼型件蜡中的位置。铂销直径为0.5mm,且铂销之间存在35mm的最大间距。销和其相对于芯的构造用于在模具固化、模具脱蜡、模具焚烧和铸造期间控制陶瓷芯的位置。使用的芯配方由65重量百分比的铝酸钙接合剂和35重量百分比的氧化铝颗粒构成。芯配方在焚烧时经历小于1%的线性收缩。

[0174] 在该实例中,产生了中空铸件,以便测试由65重量百分比的铝酸钙接合剂和35重量百分比的中空氧化铝气泡构成的芯配方。

[0175] 为了产生围绕翼型件蜡的模具,使用了用于制作由5416g商业混合的80%铝酸钙接合剂和2943g氧化铝构成的熔模模具的浆料混合物。使用了5416g接合剂、1641g去离子水和181g胶态氧化硅产生了接合剂浆料。当浆料混合至可接受的粘性时,2943g的小于0.85mm且大于0.5mm的外部大小尺寸范围的中空的氧化铝(气泡)加入浆料中。

[0176] 具有设置在其中的芯的涡轮翼型叶片蜡然后定位在容器中来生成围绕叶片蜡的模具。在混合之后,熔模模具混合物以受控方式倒入容器中来产生模具。最终模具混合物的固体含量为大约83%。模具在1000℃的温度下焚烧4小时。模具和芯一起焚烧。该配方产生了大约120mm直径和400mm长的模具。模具配方设计成使得模具和模具体积在焚烧时存在小于百分之1的线性收缩。在焚烧之后,模具用于铸造具有中空截面的涡轮翼型件,中空截面通过使用含铝酸钙的芯来生成。

[0177] 模具中的二氧化硅的重量百分数小于百分之2,且芯中的二氧化硅的重量百分数小于0.5%重量百分数。混合物中的二氧化硅的高浓度可导致剩余的结晶二氧化硅和硅酸盐,诸如最终的焚烧模具和芯中的铝硅酸钙和硅酸铝。模具和芯的高硅含量可提供铸造模具和芯的两个限制。首先,收缩可在焚烧时发生,且这导致问题,诸如开裂。第二,高硅含量可在模具和模具加芯组件在铸造期间填充时引起与熔融钛和铝化钛合金的反应;该反应导致不可接受的铸造质量。芯的二氧化硅水平低于模具中的二氧化硅水平,以防止反应,且提供了铸造翼型件内的内腔的大小的改善控制。

[0178] 在特定实例中,可使用Duralum AB氧化铝中空颗粒。在某些方面中,本公开内容教导了以较低硅含量形成的芯成分。芯的低硅含量提供了优选用于铸造钛和铝化钛合金的模具。在一个实例中,模具中的氧化铝中空颗粒的重量百分比为大约百分之35,且模具在焚烧时经历小于百分之1的线性收缩。

[0179] 如果熔模模具混合物的工作时间太长且铝酸钙颗粒未足够快地固化,则细尺寸颗粒和大尺寸氧化铝的分离可发生,且这可导致分离的模具,其中配方变化且所得的模具性质不一致。

[0180] 提供用于模具和芯的粘合剂的铝酸钙颗粒中的组分相是本公开内容的特征。铝酸钙颗粒的三个相包括单铝酸钙(CaAl_2O_4)、二铝酸钙(CaAl_4O_7)和钙铝石($\text{Ca}_{12}\text{Al}_{14}\text{O}_{33}$)。发明人进行此选择来实现若干目的。首先,相必须溶解或部分地溶解,且形成悬液,其可支承制作浆料的随后的熔模模具中的所有聚集相。第二,相必须促进模具在倒入之后的凝固或固化。第三,相必须在铸造期间和之后向模具提供强度。第四,相必须呈现出与在模具中铸造的钛合金的最小反应。第五,模具必须具有与钛合金铸造匹配的适合的热膨胀,以便极小化凝固后冷却期间生成的零件上的热应力。

[0181] 钙铝石并入模具和芯中,因为其是快速设置的铝酸钙且在固化的早期向模具提供了强度。固化必须在低温下执行,因为易消失蜡型是热敏的且在高于~35摄氏度的热暴露下失去其形状和性质。在一个实例中,模具在低于30摄氏度的温度下固化。在一个实施例中,没有存在于芯中的钙铝石。

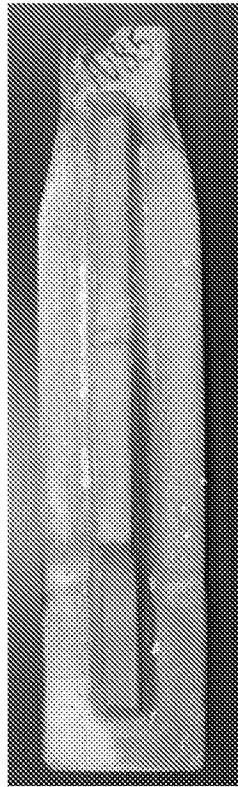
[0182] 将理解的是,以上描述旨在为示范性的,而非限制性的。例如,上述实施例(和/或其方面)可与彼此组合使用。此外,可使一些改型适于各种实施例的教导内容的特定形势或

材料,而并未脱离其范围。尽管本文所述的材料的大小和类型旨在限定本发明的各种实施例的参数,但它们绝不意在限制且仅为示例性的。在查阅以上描述时,许多其它实施例将对于本领域的技术人员清楚。

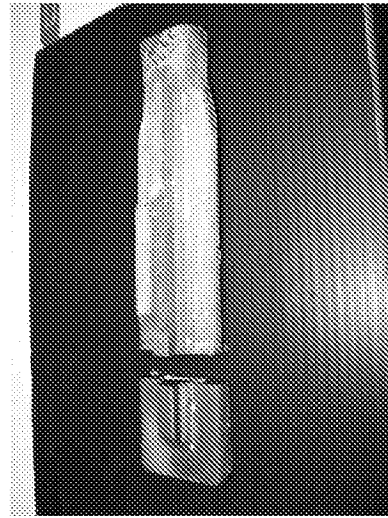
[0183] 因此,各种实施例的范围应当相对于所附权利要求连同此权利要求规定的等同物的完整范围来确定。在所附权利要求中,用语“包括(including)”和“其中(in which)”用作相对用语“包括(comprising)”和“其中(wherein)”的普通英语的同义词。此外,在以下权利要求中,用语“第一”、“第二”和“第三”等仅用作标记,且并不旨在对其对象施加数目要求。此外,所附权利要求的限制并未以装置加功能的格式撰写,并不旨在基于35 U.S.C. §112的第六段来理解,除非且直到此权利要求限制明确使用短语“装置”后加没有其它结构的功能的声明。将理解的是,不一定上文所述的所有这些目的或优点都可按照任何特定实施例来实现。因此,例如,本领域的技术人员将认识到,本文所述的系统和技术可以实现或优化本文教导的一个优点或优点组合的方式体现或执行,而不需要实现本文可教导或提出的其它目的或优点。

[0184] 尽管已经仅结合了有限数目的实施例详细描述了本公开内容,但将容易理解的是,本公开内容不限于此公开实施例。相反,本发明可改为并入迄今并未描述但与本发明的精神和范围相当的任何数目的变型、改型、替换或等同布置。此外,尽管已经描述了本发明的各种实施例,但将理解的是,本公开内容的方面可包括仅一些所述实施例。因此,本发明不应看作是由前述描述限制,而是仅由所附权利要求的范围限制。

[0185] 本书面描述使用了实例来公开包括最佳模式的发明,且使本领域的任何技术人员能够实践本发明,包括制作和使用任何装置或系统,且执行任何并入的方法。本发明的专利范围由权利要求限定,且可包括本领域的技术人员想到的其它实例。如果这些其它实例具有并非不同于权利要求的书面语言的结构元件,或如果这些其它实例包括与权利要求的书面语言无实质差别的等同结构元件,则这些其它实例将在权利要求的范围内。



A)
清洁的



B)
切割的

图 1

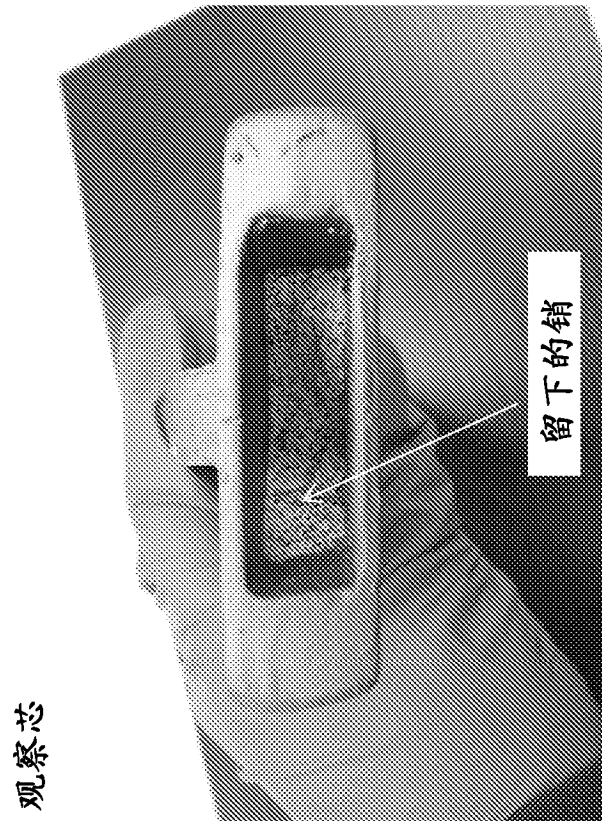


图 2

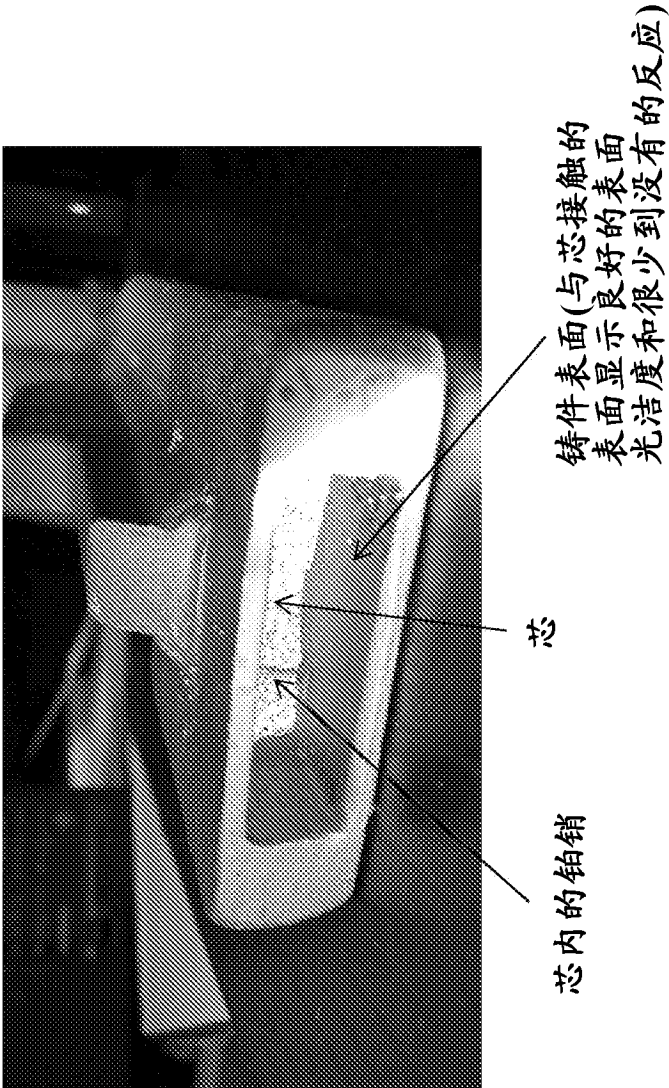


图 3

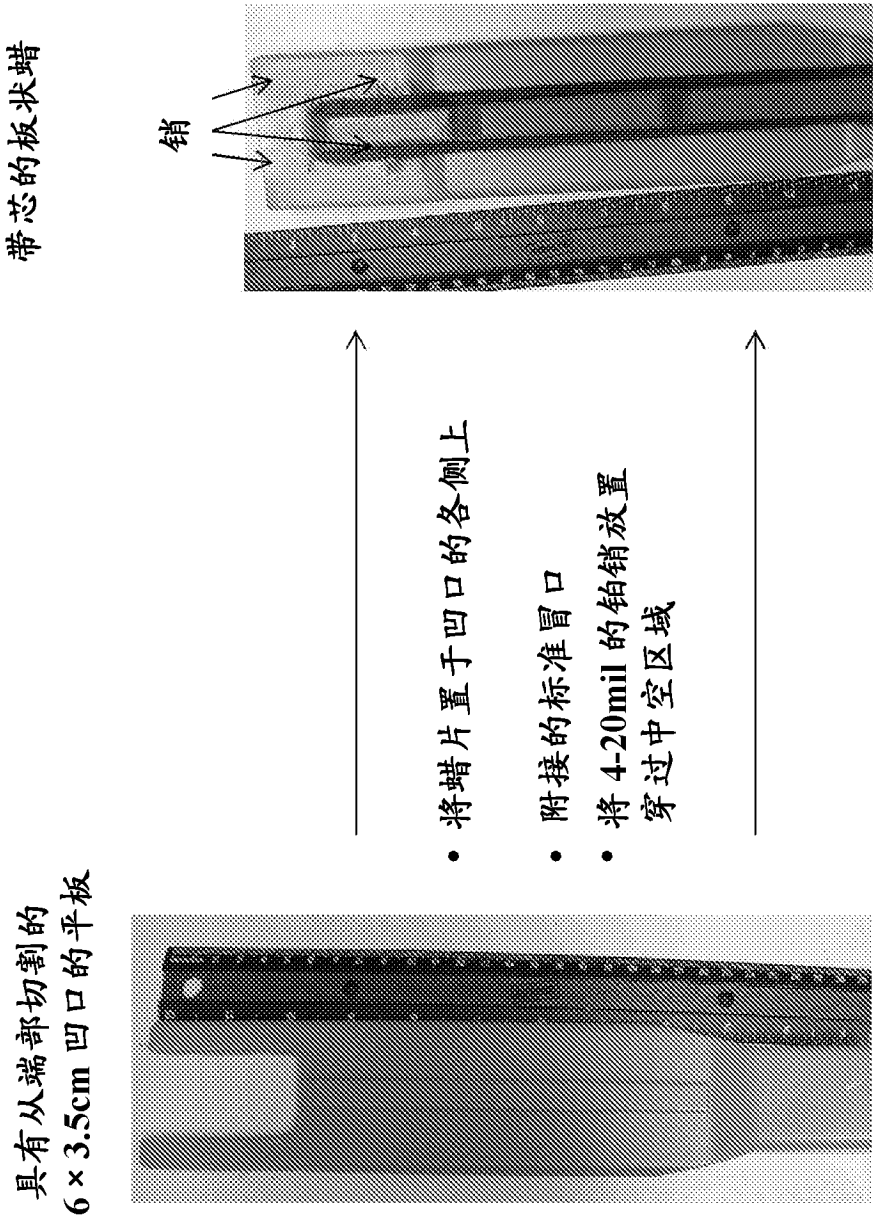


图 4

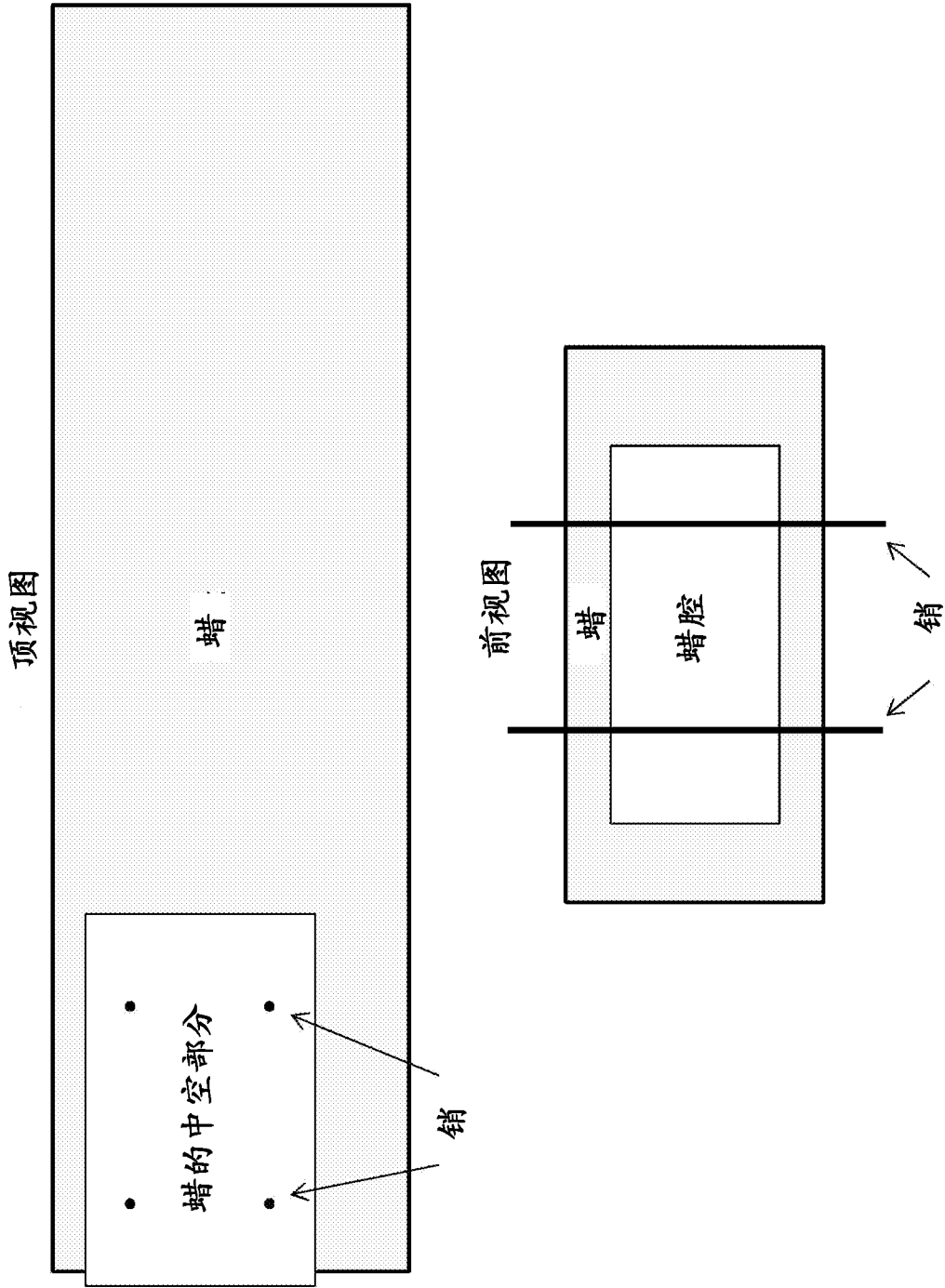


图 5

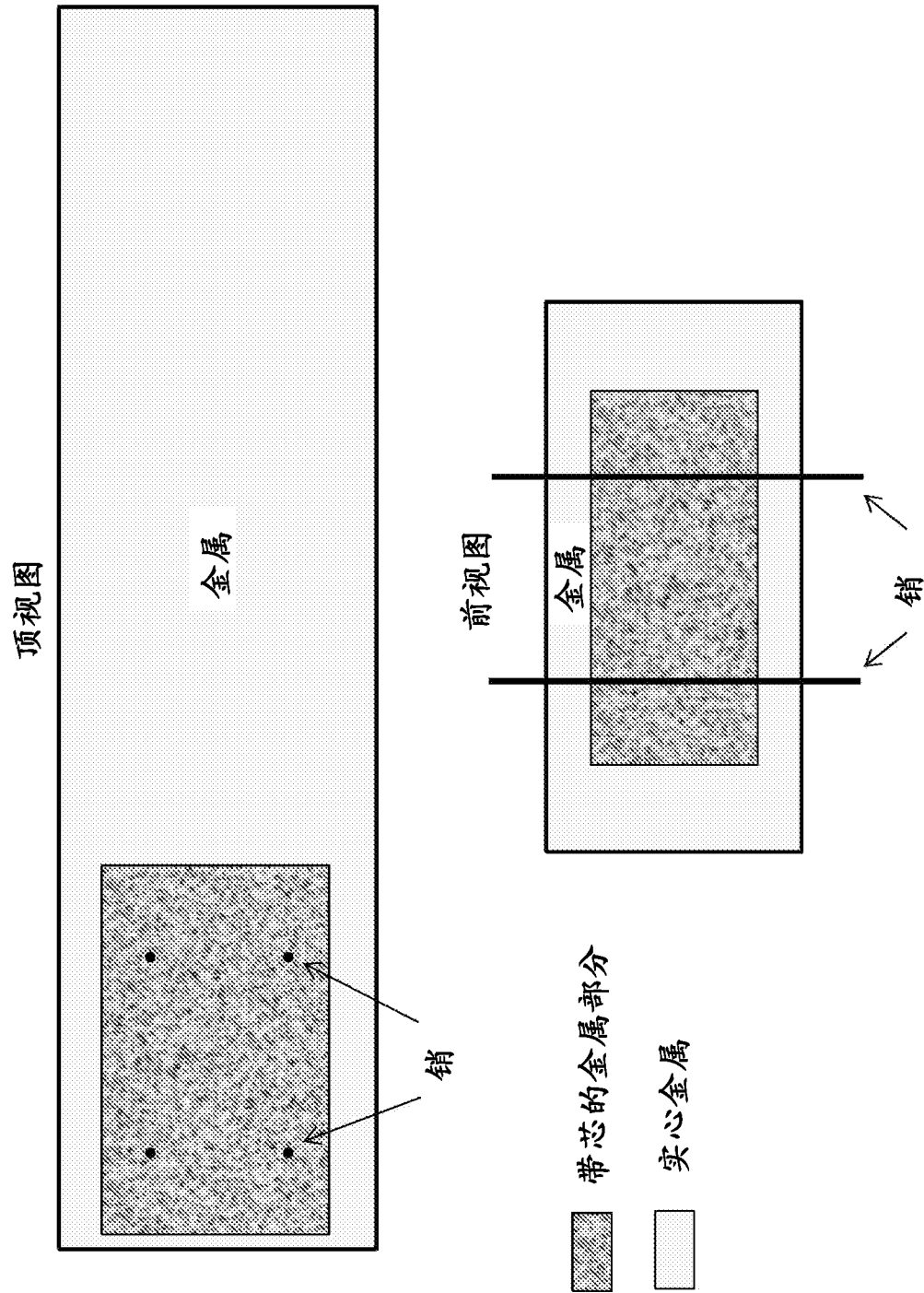


图 6

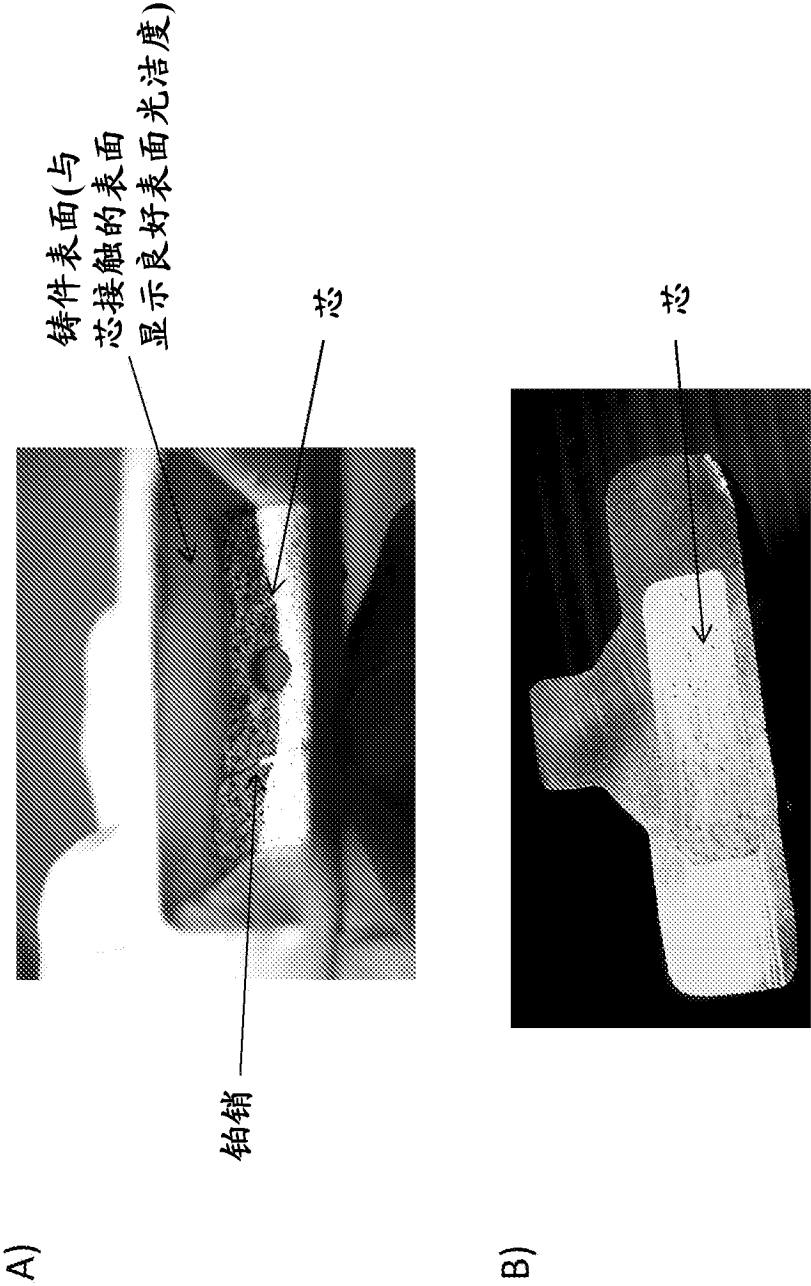


图 7

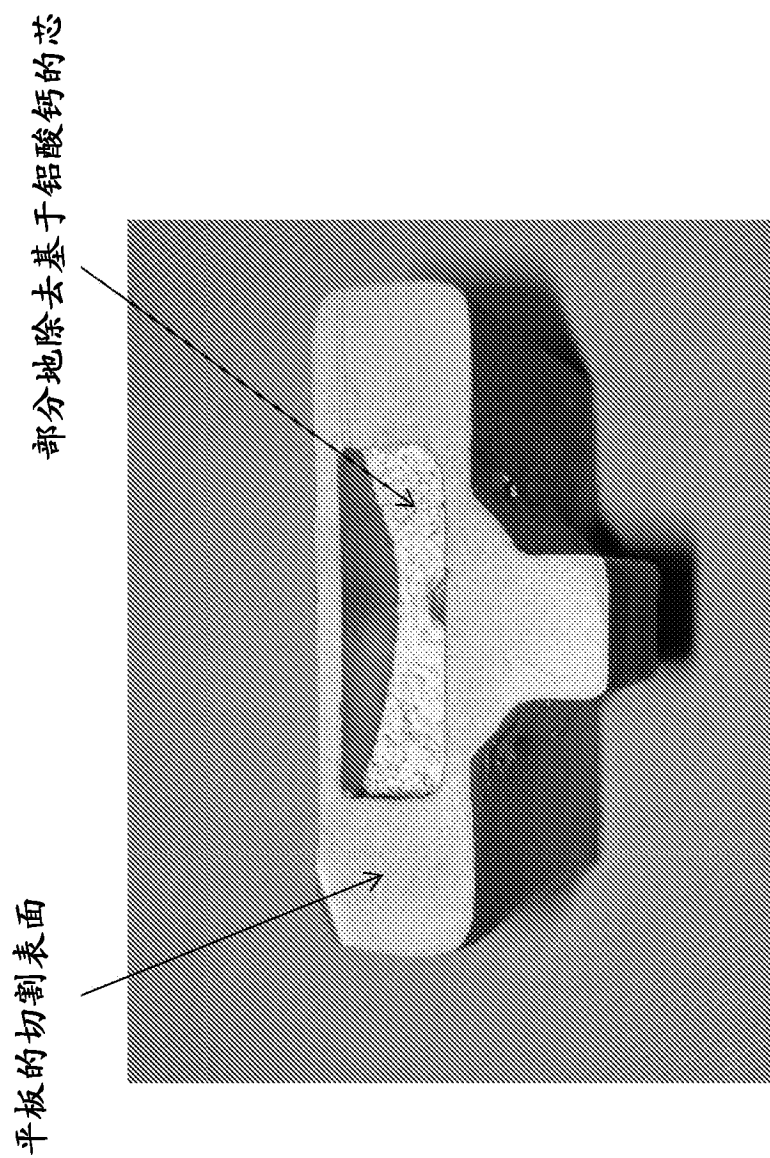


图 8

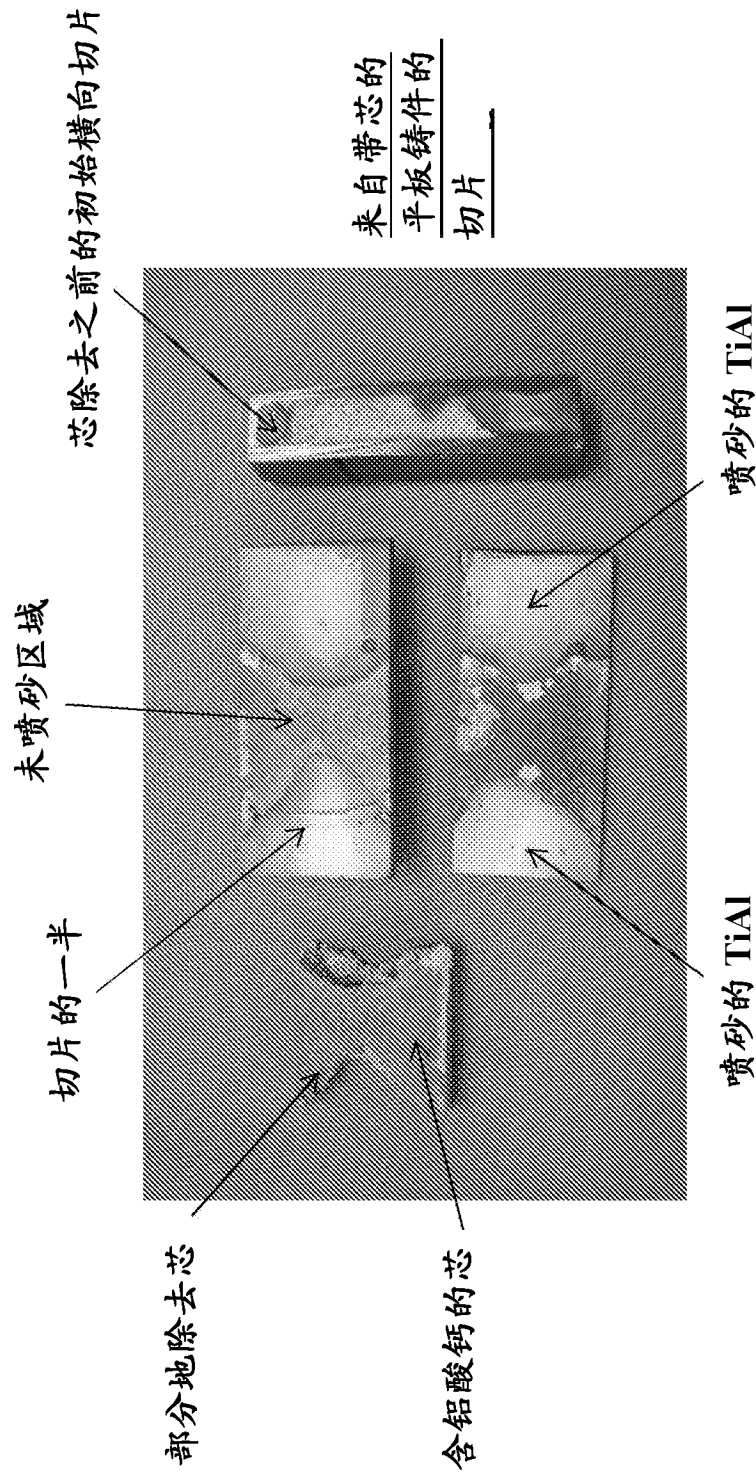
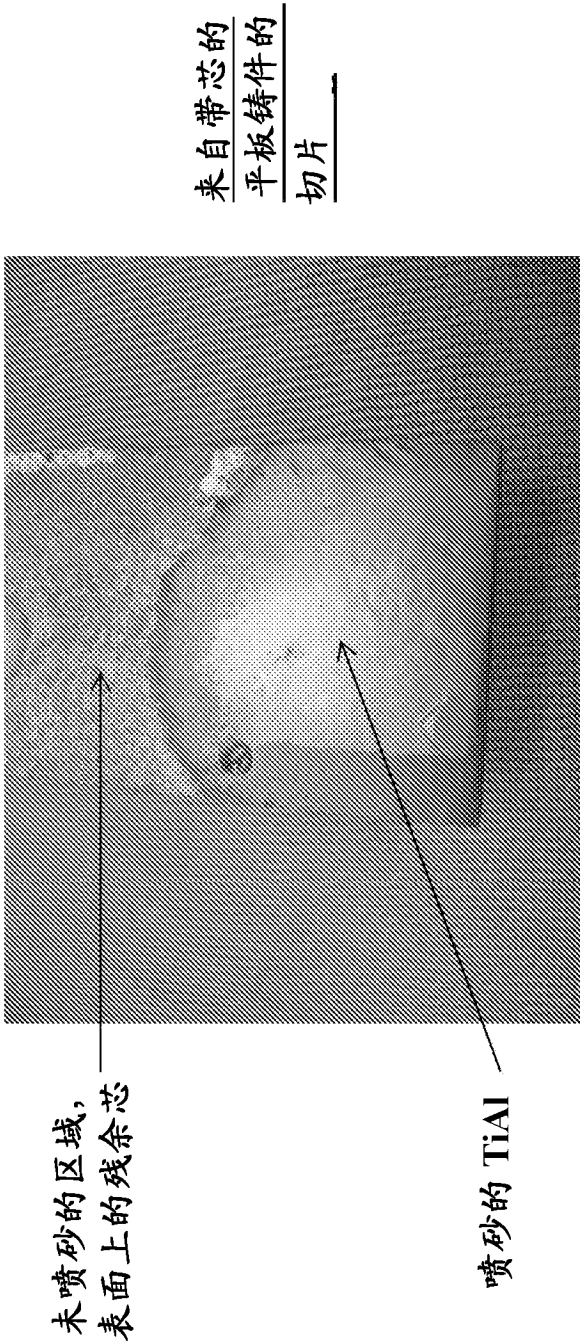


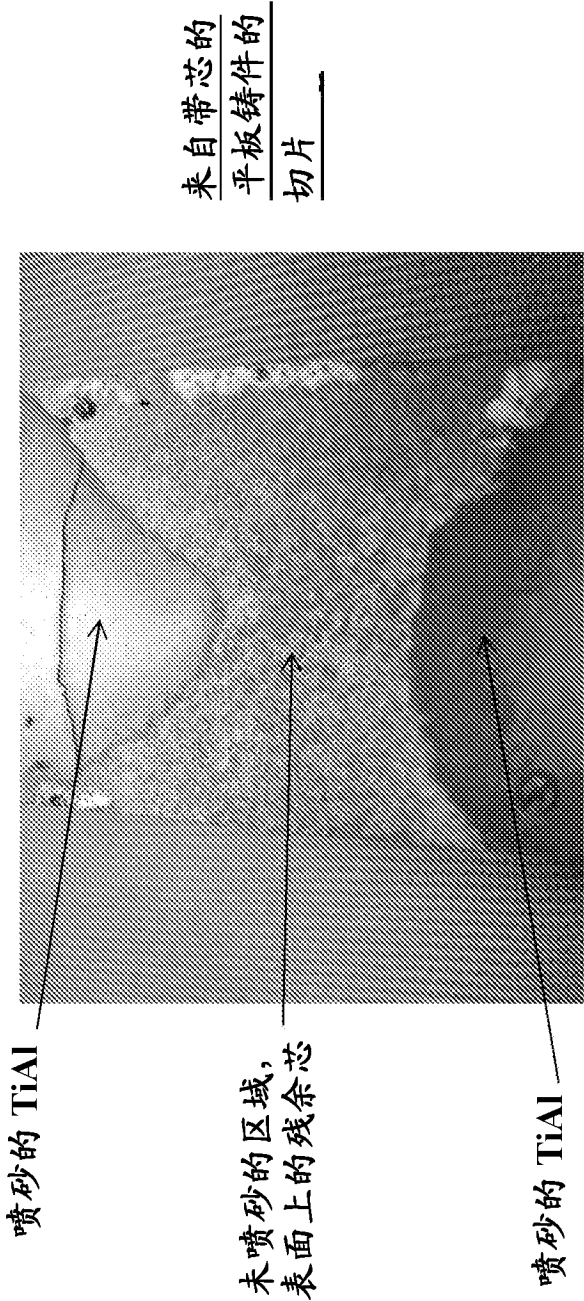
图 9

- 纵向切割来露出内表面的横向切片
- 喷砂之后，TiAl 具有优异的表面光洁度



- 喷砂之后, TiAl 具有优异的表面光洁度
- 喷砂之后观察到 <50 的表面光洁度 Ra

图 10



来自带芯的
平板铸件的
切片

喷砂的 TiAl

未喷砂的区域，
表面上的残余芯

喷砂的 TiAl

- 喷砂之后，TiAl 具有优异的表面光洁度

图 11

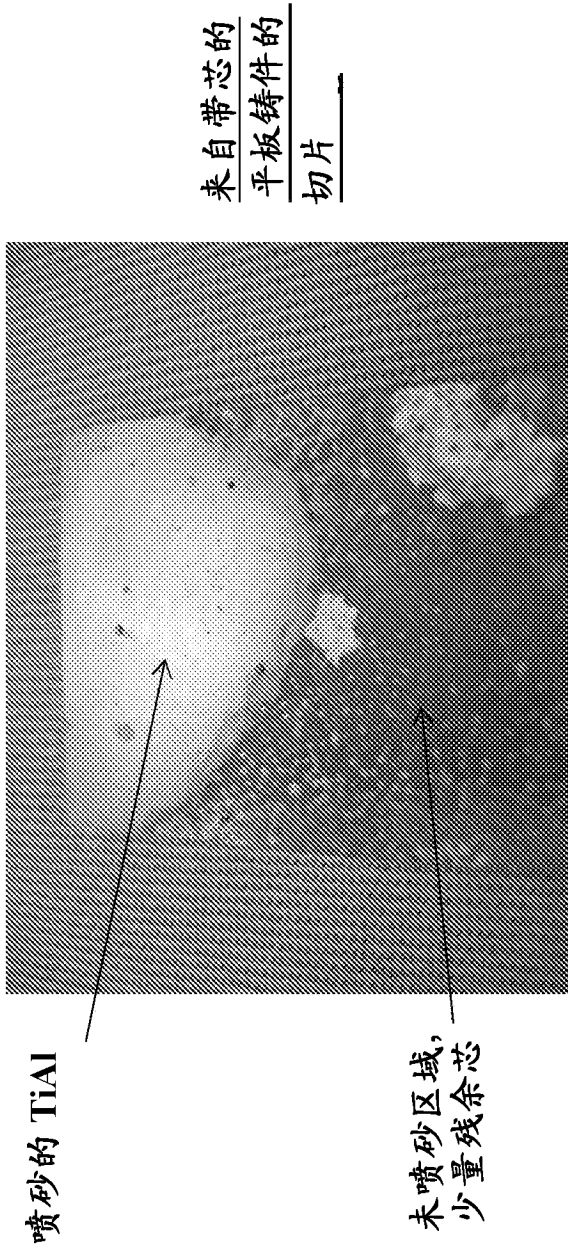


图 12

- 喷砂之后，TiAl 具有优异的表面光洁度
- 喷砂之后观察到 < 50 的表面光洁度 Ra

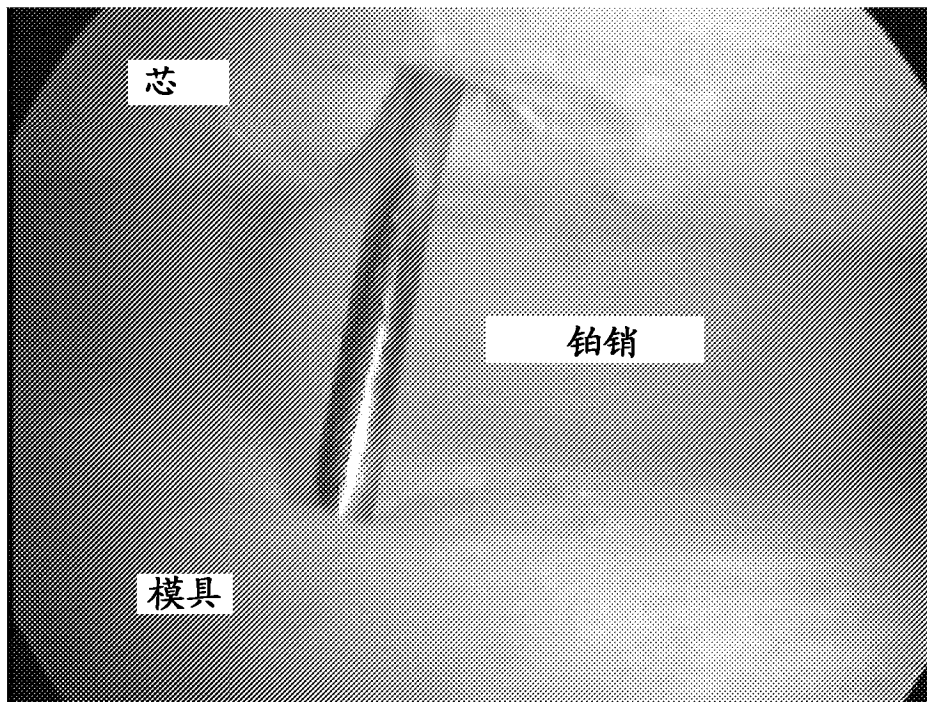


图 13

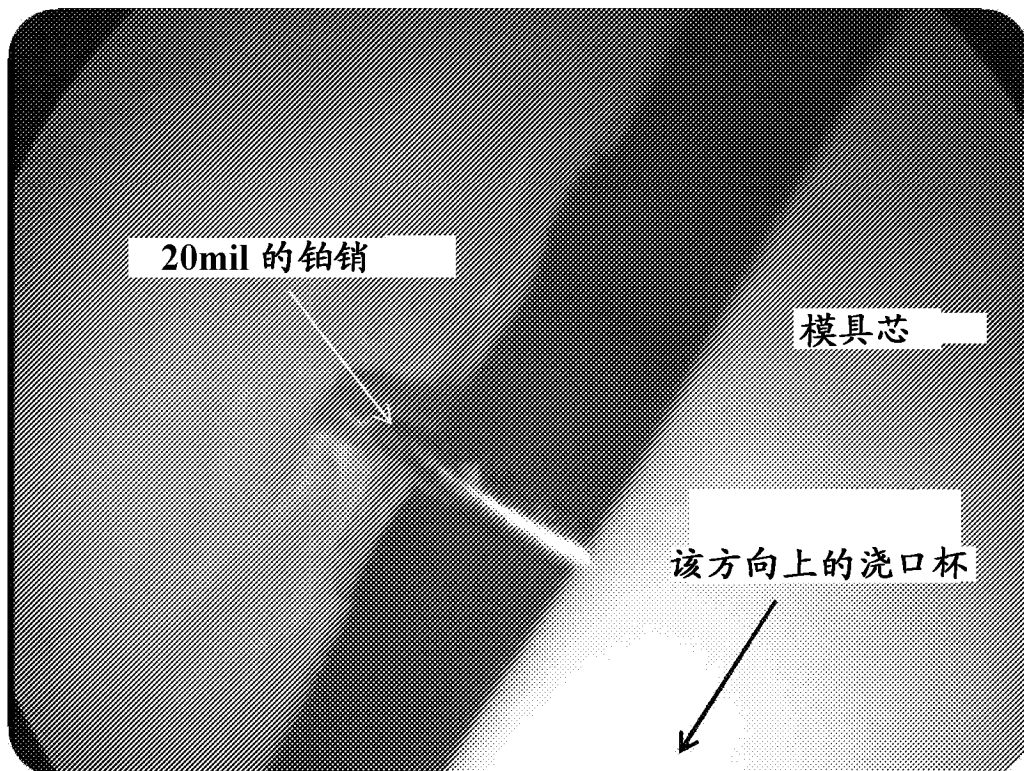


图 14

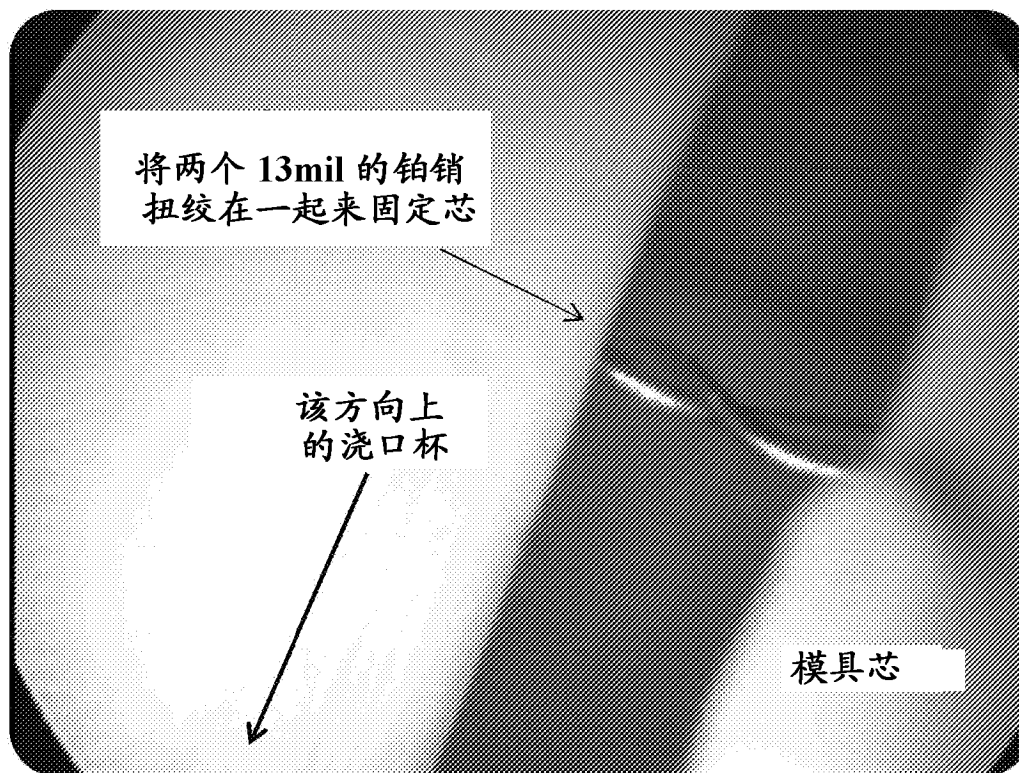


图 15

铝化钛叶片

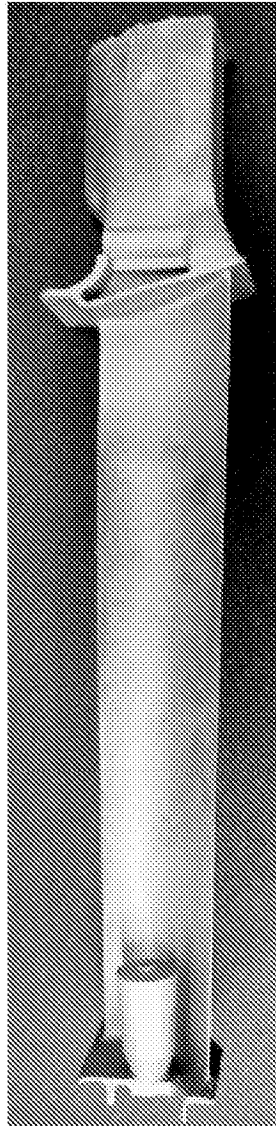


图 16

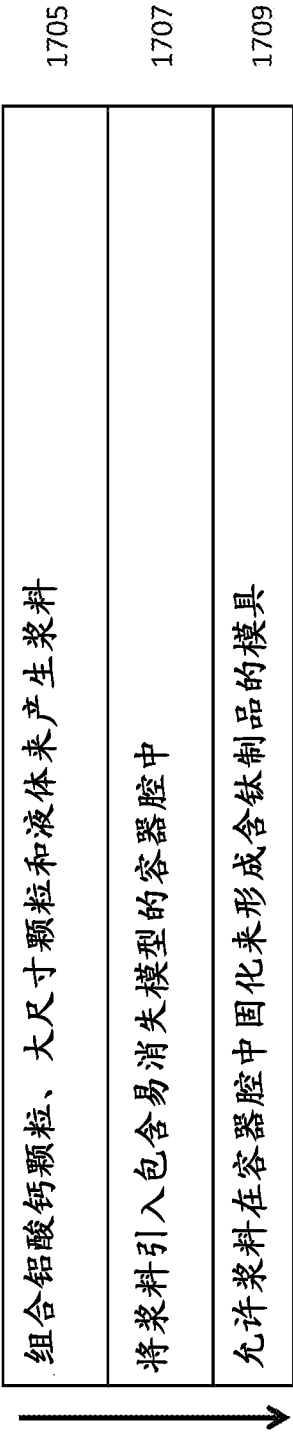


图 17a

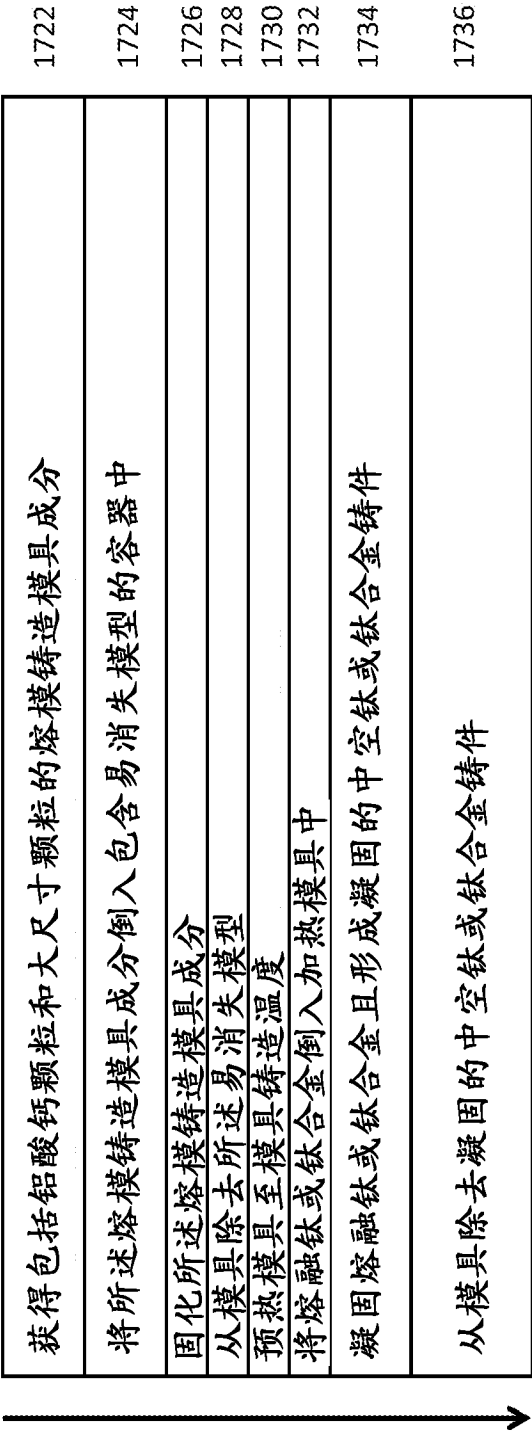


图 17b

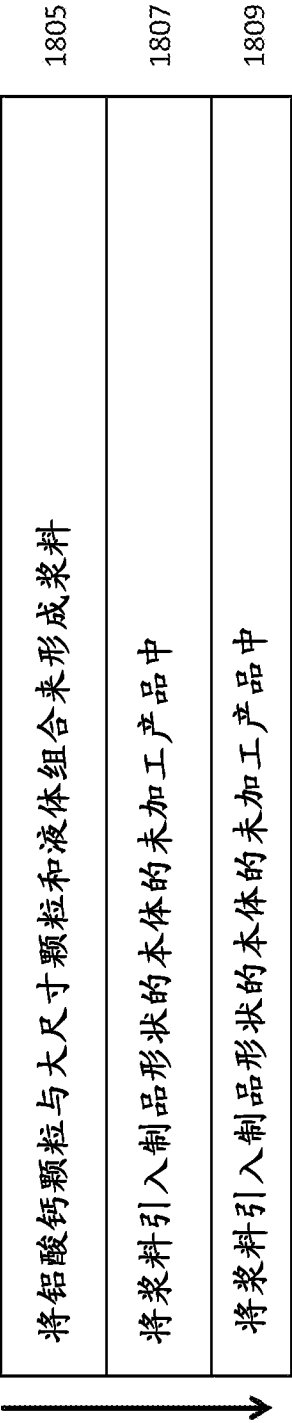


图 18a

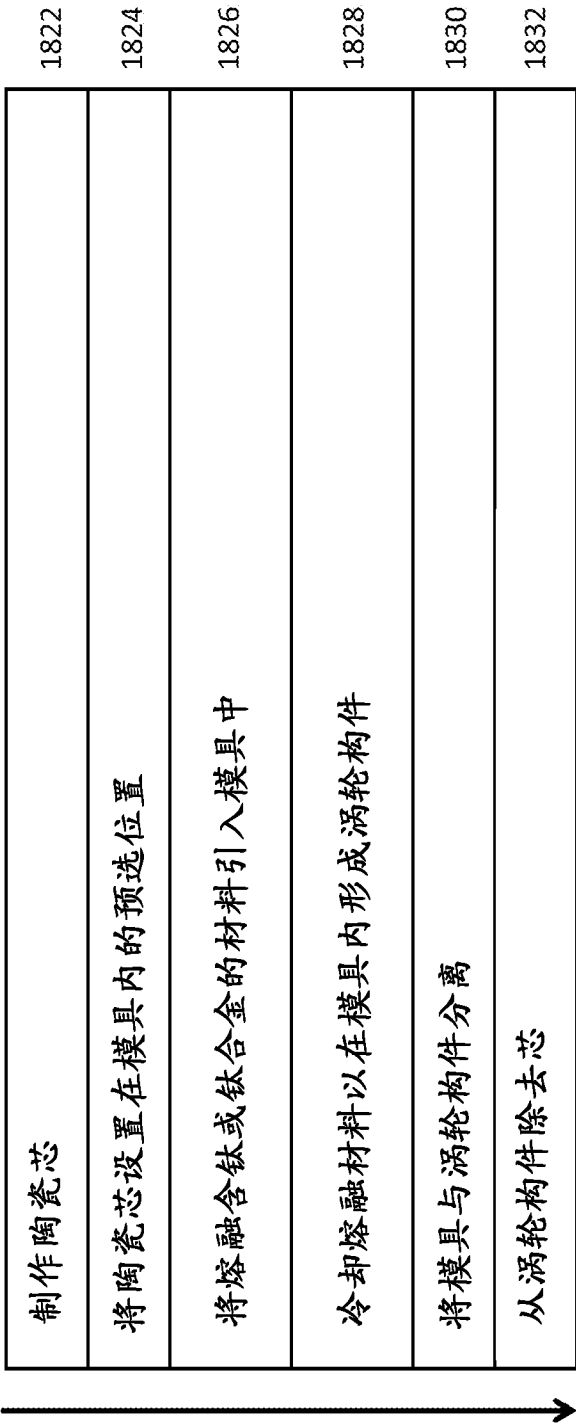


图 18b