



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104662387 B

(45)授权公告日 2017.01.18

(21)申请号 201380050784.2

(22)申请日 2013.07.17

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 104662387 A

(43)申请公布日 2015.05.27

(30)优先权数据
13/559656 2012.07.27 US

(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2015.03.27

(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/US2013/050850 2013.07.17

(87)PCT国际申请的公布数据
W02014/018330 EN 2014.01.30

(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 S.班撒里 J.麦基弗
B.爱丽斯 R.A.吉丁斯

(74)专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公
司 72001

代理人 严志军 肖日松

(51)Int.Cl.

F27B 14/10(2006.01)

F27D 1/00(2006.01)

H05B 6/24(2006.01)

(56)对比文件

DE 19908952 A1, 1999.09.09, 说明书第1栏
第6-15行, 第2栏第7-17行, 第3栏第26-39行, 第4
栏第17-67行, 第6栏第17-21行, 实施例1.

DE 19908952 A1, 1999.09.09, 说明书第1栏
第6-15行, 第2栏第7-17行, 第3栏第26-39行, 第4
栏第17-67行, 第6栏第17-21行, 实施例1.

US 2010139550 A1, 2010.06.10, 说明书第
19、23、62段.

US 2911311 A, 1959.11.03, 说明书第3栏第
43-74行.

CN 1602286 A, 2005.03.30, 全文.

CN 101493284 A, 2009.07.29, 全文.

审查员 贾思宁

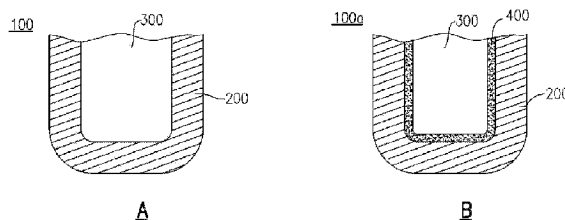
权利要求书2页 说明书22页 附图6页

(54)发明名称

坩埚及表面涂层成分和用于熔炼钛及铝化
钛合金的方法

(57)摘要

坩埚成分以及使用该坩埚成分来熔炼钛和
钛合金的方法。更具体地, 坩埚成分具有本征表
面涂层以有效熔炼钛和钛合金, 以在铸造含钛制
品中使用。进一步的实施例是由在坩埚成分中熔
炼的钛和钛合金制成的含钛制品。另一个实施例
是坩埚固化装置和使用它的方法。



1. 一种用于熔炼钛和钛合金的坩埚,包括:
包括铝酸钙水泥的本体,所述铝酸钙水泥含单铝酸钙;和
用于在其中熔炼钛和钛合金的腔;
其中,所述坩埚还包括:
被设置在所述本体和所述腔之间的为10微米至450微米的本征表面涂层,所述本征表面涂层包括含单铝酸钙的铝酸钙水泥。
2. 如权利要求1所述的坩埚,其中,所述本征表面涂层包括连续的本征表面涂层或非连续的本征表面涂层。
3. 如权利要求1所述的坩埚,其中,所述铝酸钙水泥进一步包括二铝酸钙,钙铝石,或二铝酸钙和钙铝石两者。
4. 如权利要求1所述的坩埚,其中,所述坩埚的本体和所述本征表面涂层具有不同的成分,并且所述本征表面涂层包含具有小于50微米的粒度的铝酸钙。
5. 如权利要求1所述的坩埚,其中,所述坩埚的本体和所述本征表面涂层具有不同的成分,并且其中所述坩埚的本体包括大于50微米的氧化铝颗粒。
6. 如权利要求1所述的坩埚,其中,所述坩埚的本体包括大于50微米的氧化铝颗粒,并且所述本征表面涂层包含尺寸小于50微米的铝酸钙颗粒。
7. 如权利要求1所述的坩埚,其中,所述本征表面涂层具有比所述坩埚的本体要多至少20%重量的单铝酸钙。
8. 如权利要求1所述的坩埚,其中,所述本征表面涂层具有比所述坩埚的本体要少至少20%重量的氧化铝。
9. 如权利要求3所述的坩埚,其中,所述本征表面涂层具有比所述坩埚的本体要多至少20%重量的单铝酸钙,比所述坩埚的本体要少至少20%重量的氧化铝,以及比所述坩埚的本体要少至少50%的钙铝石。
10. 如权利要求3所述的坩埚,其中,在所述本征表面涂层中的单铝酸钙的重量比值为大于0.60,并且钙铝石的重量比值小于0.10。
11. 如权利要求1所述的坩埚,其中,在所述坩埚的本体中的所述单铝酸钙构成0.05到0.95的重量比值,并且在所述本征表面涂层中的单铝酸钙为0.10至0.90的重量比值。
12. 如权利要求3所述的坩埚,其中,所述坩埚的本体中的所述二铝酸钙构成0.05至0.80的重量比值,并且所述本征表面涂层中的所述二铝酸钙为0.05至0.90的重量比值。
13. 如权利要求3所述的坩埚,其中,所述坩埚的本体成分中的所述钙铝石构成0.01至0.30的重量比值,并且在所述本征表面涂层中的所述钙铝石为0.001至0.05的重量比值。
14. 如权利要求3所述的坩埚,其中,所述坩埚的本体中的所述单铝酸钙构成0.05至0.95的重量比值,所述本征表面涂层中的所述单铝酸钙为0.1至0.9的重量比值;所述坩埚的本体中的所述二铝酸钙构成0.05至0.80的重量比值,并且所述本征表面涂层中的所述二铝酸钙为0.05至0.90的重量比值;并且其中,所述坩埚的本体成分中的所述钙铝石构成0.01至0.30的重量比值,并且所述本征表面涂层中的所述钙铝石为0.001至0.05的重量比值。
15. 如权利要求1所述的坩埚,还包括在所述坩埚的本体中的其外部尺寸小于500微米的氧化铝颗粒。

16. 如权利要求1所述的坩埚,其中所述铝酸钙水泥构成用于制造该坩埚的成分的多于30%重量。

17. 如权利要求1所述的坩埚,进一步包括氧化铝颗粒,氧化镁颗粒,氧化钙颗粒,氧化锆颗粒,二氧化钛颗粒,氧化硅颗粒,或它们的组合。

18. 如权利要求17所述的坩埚,其中,所述氧化铝颗粒构成用于制造该坩埚的成分的40%重量至68%重量。

19. 如权利要求1所述的坩埚,还包含氧化铝的中空颗粒。

20. 如权利要求1所述的坩埚,还包括氧化钙,其构成坩埚成分的多于10%重量并少于50%重量。

21. 如权利要求1所述的坩埚,其中,用于制造该坩埚的初始铝酸钙-液体水泥混合物中的固体的百分比为60%至80%。

22. 如权利要求1所述的坩埚,其中,用于制造该坩埚的带有大尺寸氧化铝的最终铝酸钙-液体水泥混合物中的固体的百分比为65%至90%。

23. 如权利要求1所述的坩埚,其中,所述坩埚还包括二氧化硅。

24. 如权利要求1所述的坩埚,其中,所述坩埚满足用于熔炼用在形成含钛制品的模具中的钛或钛合金的耐热冲击性要求。

25. 如权利要求24所述的坩埚,其中,用于熔炼钛或钛合金的所述耐热冲击性要求是指熔炼能够在超过1500℃的温度下进行,并且在高达1700℃的温度下持续至少1秒钟。

26. 如权利要求24所述的坩埚,其中,所述含钛制品包括含铝化钛的涡轮叶片。

坩埚及表面涂层成分和用于熔炼钛及铝化钛合金的方法

[0001] 背景

[0002] 现代化的燃气或燃烧涡轮机必须满足关于可靠性,重量,功率,经济性和工作寿命的最高要求。在这种涡轮机的发展中,除其他事项外,材料选择,寻找新的合适的材料,以及寻找新的生产方法,在满足标准和满足需求方面起到重要的作用。

[0003] 用于燃气涡轮机的材料可以包括钛合金,镍合金(也称超级合金)和高强度钢。对于飞机发动机而言,钛合金一般用于压缩机部件,镍合金适用于航空发动机的热部分,高强度钢例如用于压缩机壳体和涡轮机壳体。在高负荷或高应力的燃气轮机部件,例如,用于压缩机的构件,通常是锻造件。在另一方面,用于涡轮机的构件,典型地体现为熔模铸造铸件。

[0004] 虽然熔模铸造不是一个新的工艺,但是,熔模铸造市场持续增长,因为对于更错综复杂的零部件的需求增加。由于对高品质,精密铸造的需求量很大,因此仍有持续需要来开发新的方法来更快速,有效,廉价和更高质量地做出熔模铸造铸件。

[0005] 常规坩埚不适合用于铸造活性合金,如钛合金。一个原因是因为有熔融钛和坩埚之间的反应。熔融合金和坩埚之间的任何反应将恶化最终铸件的属性。恶化可以很简单,如由于气体气泡引起的表面光洁度差,或在更严重的情况下,铸件的化学特性,微结构和性能可能会受到损坏。

[0006] 面临的挑战是生产不显著与钛和铝化钛合金反应的坩埚。在这方面,少量的(如果有的话)现有的倾注的陶瓷熔模铸造合物存在,以满足对结构钛和铝化钛合金的要求。因此,需要一种陶瓷坩埚,它不会显著地与钛和铝化钛合金反应。之前已经采用陶瓷壳坩埚来用于熔炼钛合金。在现有的实例中,为了减少传统熔模铸造坩埚化合物的局限性,已经开发了若干附加坩埚或模具材料。例如,氧化膨胀类型的模具的熔模铸造化合物被开发,其中氧化镁或氧化锆用作主要成分,而金属锆加入到该主要成分中以补偿由于铸造金属凝固引起的收缩。因此还需要简单而可靠的熔炼和熔模铸造方法,其允许金属或金属合金在不显著与金属或金属合金反应的熔模铸造坩埚内易熔炼。

[0007] 感应熔炼通常包括在由非导电难熔合金氧化物制成的坩埚内加热金属,直到坩埚内的金属填充物熔化为液态形式。当熔炼高活性的金属如钛或钛合金时,使用冷壁或石墨坩埚的真空感应熔炼通常优先于氧化物基陶瓷坩埚而被采用。

[0008] 在熔炼高反应性(活性)合金,例如钛合金时,由于在所需的熔炼温度下该合金中的元素的反应性,可能会出现困难。虽然大多数感应熔炼系统使用难熔合金氧化物用在感应炉内的坩埚上,例如铝化钛(TiAl)的合金具有如此之高的反应性,使得它们可以侵蚀坩埚并污染钛合金。例如,陶瓷坩埚,如氧化铝-坩埚,氧化镁-坩埚,以及含有二氧化硅的坩埚,都是通常被避免使用的,这是因为高活性合金能够与坩埚发生反应而利用氧来污染钛合金。同样,如果使用石墨坩埚,则钛和铝化钛基合金能从坩埚溶解大量的碳而进入钛合金,从而导致污染。这种污染会导致钛合金的机械性能的损失。

[0009] 冷坩埚熔炼提供冶金优点,用于加工先前所描述的高反应性的合金,冷坩埚熔炼也具有许多技术和经济方面的限制,包括低的过热,由于结壳导致的产量损失,高的功率要求,以及有限的熔体容量。这些限制可以限制其商业可行性。

[0010] 因此,仍然需要一种在熔炼高活性合金不那么容易受到污染,并导致比目前的应用场合更少的技术和经济限制的陶瓷坩锅。

发明内容

[0011] 本系统的各方面提供了坩锅成分,熔融方法,铸造方法,并且公开了克服现有技术的局限性的制品。虽然本说明书的某些方面可能涉及航空工业构件的制造,例如,发动机的涡轮叶片,但是,本系统的各方面可用在任何行业的任何构件的制造中,特别是那些含有钛和/或钛合金的构件。

[0012] 一个实施例是用于熔炼钛和钛合金的坩锅,包括:本体,其包括铝酸钙水泥,所述铝酸钙水泥含单铝酸钙;和用于在其中熔炼钛和钛合金的腔。在另一个实施例中,坩锅可以进一步包括被布置在所述本体与腔之间的约10微米至约450微米的本征表面涂层,其中所述本征表面涂层包括铝酸钙水泥,其含单铝酸钙。在另一个实施例中,铝酸钙水泥还可以包含二铝酸钙,钙铝石,或者二铝酸钙和钙铝石两者。

[0013] 一个实施例是用于熔炼钛和钛合金的坩锅,包括:含单铝酸钙、二铝酸钙和钙铝石的铝酸钙水泥,其中,所述坩锅在坩锅的本体和坩锅的腔之间具有约10微米到约450微米的本征表面涂层。在另一个实施例中,表面涂层是连续的本征表面涂层。表面涂层被定义为邻近坩锅内的表面或坩锅腔的区域。为了更有效,表面涂层是连续的。在表面涂层后面并且进一步远离坩锅腔的区域被称为坩锅的本体。在进一步的实施例中,所称的坩锅包括二氧化硅,例如胶态二氧化硅。

[0014] 在一个实例中,坩锅包括坩锅的本体和在本征表面涂层,其中坩锅的本体和在本征表面涂层具有不同的成分,并且本征表面涂层具有小于大约50微米粒度的铝酸钙。在另一个实施例中,坩锅包含坩锅的本体和其本征表面涂层,其中所述坩锅的本体和在本征表面涂层具有不同的成分,并且其中坩锅的本体包括大于约50微米的氧化铝颗粒。在另一实例中,坩锅包括坩锅的本体和在本征表面涂层,其中坩锅的本体包括大于约50微米的氧化铝颗粒,并且本征表面涂层包含比在尺寸上小于约50微米的铝酸钙颗粒。

[0015] 在某些实施例中,本征表面涂层具有比坩锅本体要少按重量计至少20%的单铝酸钙。在一个实施例中,本征表面涂层具有与该坩锅的本体相比要少按重量计至少20%的氧化铝。在另一个实施例中,本征表面涂层具有与该坩锅的本体相比要多按重量计比值为至少20%以上的铝酸钙,具有与该坩锅的本体相比要少至少20%的氧化铝,并且具有与该坩锅的本体相比要少至少50%的钙铝石。

[0016] 在一个例子中,在本征表面涂层中单铝酸钙的重量比值大于0.60,并且钙铝石的重量比值小于0.10。在一个实施例中,在坩锅的本体中单铝酸钙具有约0.05到0.95的重量比值,并且在本征表面涂层中单铝酸钙具有约0.10至0.90的重量比值。在另一个实施例中,在坩锅的本体中二铝酸钙构成约0.05至约0.80的重量比值,并在本征表面涂层中二铝酸钙的重量比值为约0.05至0.90。在又一个实施例中,在坩锅的本体成分中钙铝石构成约0.01至约0.30的重量比值,并在本征表面涂层中钙铝石的重量比值为约0.001至0.05。在一个具体的实施例中,在坩锅的本体中单铝酸钙构成约0.05到0.95的重量比值,并且在本征表面涂层中单铝酸钙的重量比值是约0.1至0.90;在坩锅的本体中二铝酸钙构成约0.05至约0.80的重量比值,并在本征表面涂层中二铝酸钙的重量比值为约0.05至0.90;且其中在所

述坩埚的本体的成分中钙铝石构成约0.01至约0.30的重量比值,并在本征表面涂层中钙铝石的重量比值为约0.001至0.05。

[0017] 在一个实例中,坩埚还包括在坩埚的本体中的小于大约500微米的外部尺寸的氧化铝颗粒。在一个实例中,氧化铝颗粒构成用于制造该坩埚的成分的约40%(重量)至约68%(重量)。这些氧化铝颗粒可以是中空的。在另一个实施例中,铝酸钙水泥构成用于制造该坩埚的成分的多于30%(重量)。在一个实施例中,坩埚中的氧化钙还构成坩埚成分的大于约10%(重量)且少于约50%(重量)。

[0018] 在一个实例中,该坩埚还包含氧化铝颗粒,氧化镁颗粒,氧化钙颗粒,氧化锆颗粒,二氧化钛颗粒,氧化硅颗粒,或它们的组合。

[0019] 在一个实例中,在用于制造坩埚的初始铝酸钙-液态水泥混合物中的固体的百分比是从约60至约80%。在另一实例中,在用于制造坩埚的、带有大尺寸氧化铝的最终铝酸钙-液态水泥混合物中的固体的百分比是从约65%至约90%。固体的百分比被定义为混合物中的总固体除以该混合物中的液体和固体的总质量,其被描述为百分比的形式。

[0020] 本系统的一个方面是由在坩埚中熔炼的钛或钛合金形成的含钛制品。在一个实例中,制品包括含铝化钛的涡轮叶片。在一个方面,本制品在本文中被称为坩埚,其中该坩埚被用于熔炼形成含钛制品的钛或钛合金。在一个相关的实施例中,含钛制品包括含铝化钛的涡轮叶片。

[0021] 一个方面是用于在铸造含钛制品中熔炼钛合金的坩埚的表面涂层成分,该表面涂层成分包括:单铝酸钙,二铝酸钙和钙铝石,其中,所述表面涂层成分是一种本征表面涂层,为约10微米至约450微米厚,并且位于坩埚的本体与通往坩埚腔的坩埚表面之间。在一个实例中,该本征表面涂层包括具有小于约50微米的粒度的铝酸钙。在一个实施例中,该本征表面涂层成分进一步包括二氧化硅,例如胶态二氧化硅。

[0022] 在一个例子中,该本征表面涂层具有比该坩埚的本体按重量计比值多至少20%的铝酸钙,具有比该坩埚的本体按重量计比值少至少20%的氧化铝,具有比该坩埚的本体按重量计比值少至少50%的钙铝石。在一个例子中,单铝酸钙在该本征表面涂层中的重量比值是大于0.60,而钙铝石的重量比值为小于0.10。在一个实施例中,在本征表面涂层中的单铝酸钙构成0.10至0.90的重量比值;在本征表面涂层中的二铝酸钙构成0.05至0.90的重量比值;并且在本征表面涂层中的钙铝石构成0.001至0.05的重量比值。

[0023] 本技术的一个方面是一种用于形成熔炼坩埚而用于熔炼用来铸造含钛制品的钛和钛合金方法,该方法包括:将铝酸钙与液体组合以产生铝酸钙的浆料,其中在最初的铝酸钙/液体混合物中的固体的百分比为约60%至约80%,并且浆料的粘度为约10至约250厘泊;加入氧化物颗粒到浆料中,使得带有大尺寸(大于50微米)氧化物颗粒的最终的铝酸钙/液体混合物中的固体为约65%至约90%;将浆料引入到包含易失性模型(fugitive pattern)的坩埚模具型腔中;使该浆料在坩埚模具型腔内固化,而形成用于熔炼用来制备含钛制品的钛和钛合金的坩埚。

[0024] 再一个方面是一种用于钛和钛合金的熔炼方法,包括:获得含有铝酸钙和氧化铝的熔炼坩埚成分,其中,铝酸钙与液体结合以产生铝酸钙的浆料,并且其中,带有大尺寸氧化铝的最终的铝酸钙/液体混合物中的固体是约65%至约90%,且其中所得到的坩埚具有本征表面涂层;将熔炼坩埚成分浇注到含有易失性模型的容器中;固化所述熔炼坩埚成分;

从容器中取出易失性模型而得到坩埚;预加热坩埚;和在加热的坩埚中熔炼钛或钛合金,以产生熔融的钛或熔融的钛合金。

[0025] 另一个例子是用于钛和钛合金的铸造方法,包括:获得含有铝酸钙和氧化铝的熔炼坩埚成分,其中,铝酸钙与液体结合以产生铝酸钙的浆料,并且其中带有大尺寸氧化铝的最终的铝酸钙/液体混合物中的固体是约65%至约90%,且其中所得到的坩埚具有本征表面涂层;将熔炼坩埚成分浇注到含有易失性模型的容器中;固化所述熔炼坩埚成分;从容器中取出易失性模型,而得到坩埚;预加热坩埚;在加热的坩埚中熔炼钛或钛合金,以产生熔融的钛或熔融的钛合金;浇注熔融的钛或熔融的钛合金到模具中;和凝固该熔融的钛或钛合金而形成固化的钛或钛合金铸件。然后可从模具中取出固化的钛或钛合金铸造。在一个实施例中,该方法可涉及,在从坩埚输送熔融钛或钛合金进入铸模之前,焙烧该模具。在一个实施例中,提供钛或钛合金制品,其由如本文所教导的熔炼和铸造方法制成。

[0026] 本系统的一个方面是用于熔炼钛或钛合金的坩埚成分,包括:含单铝酸钙、二铝酸钙和钙铝石的铝酸钙水泥。在一个实施例中,坩埚成分进一步包括氧化铝的空心颗粒。另一个方面是一种熔炼含钛制品的坩埚成分,包括铝酸钙。例如,本系统的一个方面可以特别适合于提供将用在用于熔炼钛或钛合金的坩埚中的坩埚成分,所述钛或钛合金用于铸造含钛和/或钛合金的制品或部件,例如,含钛的涡轮叶片。

[0027] 另一个方面是一种坩埚固化装置,包括:包括用于保持坩埚模具在其中的腔室的基体;操纵臂,用于插入和移除可移除坩埚腔模型进入和离开所述腔室,所述操纵臂包括用于可移除地联接所述坩埚腔模型至操纵臂末端的适配器部;以及用于将所述操纵臂支承和定位在所述腔室上方的期望位置的一支撑,其中,所述坩埚固化装置可被用于产生一个坩埚,该坩埚提供所需的耐热冲击性,用于生产用来形成含钛制品的熔融钛或钛合金。在一个实施例中,钛或钛合金的熔炼可以在高于1500℃的温度下进行,并且在高达1700℃下达到至少1秒钟,以及达到5分钟的时间,并在一特定实施例中达到约5-30秒的时间。

[0028] 如本文所用,术语“可移除坩埚腔模型”,是指用于形成固化的坩埚的腔的任何模型。术语“可移除坩埚腔模型”在本文中与术语“易失性模型”,“蜡模型”等可互换使用。

[0029] 熔炼坩埚的一个重要性质是它在坩埚的加热过程中承受热梯度以及在熔炼循环中承受坩埚内的合金填充物的能力;该属性可被称为耐热冲击性。在轴向和径向方向上穿过坩埚壁的热梯度,以及在这些热梯度在熔炼循环中随时间发生的变化,在坩埚的壁中产生应力,可导致坩埚出现裂纹。当在坩埚壁中产生裂纹时,熔体可漏出坩埚,并且这可能导致铸造故障。

[0030] 在一个实施例中,坩埚的壁厚被构造为使得它的改变不超过30%,因为壁厚影响坩埚的热性能。具体地说,坩埚壁的壁厚和性能,如弹性模量,强度,导热性和热膨胀系数,控制该坩埚的耐热冲击性。如果坩埚的壁厚在坩埚的整个所有壁不均匀,那么坩埚壁将不会升温均匀,这可能导致不希望的热应力出现在坩埚的壁中,并且这些应力可导致在浇注前的熔炼时出现坩埚的开裂,并且导致熔体从坩埚泄漏。

[0031] 如果坩埚的壁厚在整个坩埚的所有壁也不均匀,那么坩埚的壁的分裂刚度和断裂应力也将变化,并且坩埚壁对熔炼时坩埚经受的热循环的机械响应将各不相同,这可能导致在坩埚的壁中出现不希望的热应力,这些应力可导致在浇注前的熔炼时出现坩埚的开裂,并且导致熔体从坩埚泄漏。

[0032] 正如所指出的,在一个实施例中,坩埚的壁厚的变化在整个坩埚的全部体积中不超过30%。在一个具体的实施例中,坩埚的壁厚在整个坩埚的全部容积中变化不超过20%。在另一具体实施例中,坩埚的壁厚在整个坩埚的全部容积中变化不超过15%。

[0033] 一个进一步的方面是用于制造用于熔炼在形成含钛制品中使用的钛或钛合金的坩埚的方法,所述方法包括:提供一坩埚固化装置;将坩埚模具定位在坩埚固化装置的腔室中,所述坩埚模具包括坩埚模具型腔;将铝酸钙的浆料引入定位在所述腔室中的坩埚模具的坩埚模具型腔内;使该浆料在坩埚模具型腔内固化,以形成用于熔炼用于形成含钛制品的钛和钛合金的坩埚,其中,所述固化步骤包括,将所述浆料固化在可移除的坩埚腔模型周围,所述坩埚腔模型在所述引入步骤之前或所述引入步骤之后被插入到坩埚模具型腔中。在一个实施例中,将该浆料通过如下工艺来制备:将铝酸钙与液体组合,以产生铝酸钙的浆料的,其中在初始铝酸钙/液体混合物中的固体的比例为约60%至约80%,并且浆料的粘度为约50至约150厘泊;和添加氧化物颗粒到浆料中,使得带有大尺寸氧化物颗粒的最终铝酸钙/液体混合物中的固体为约65%至约90%。

[0034] 从结合附图对本发明的各个方面的以下详细描述中,本发明的这些和其他方面、特征和优点将变得显而易见。

[0035] 附图的简要说明

[0036] 被视为本发明的主题在本发明的权利要求部分被特别地指出并清楚地主张权利。从结合附图对本发明各方面的以下详细描述中,将容易理解本发明的前述和其它特征和优点,其中:

[0037] 图1A-1B是根据本文描述的坩埚的一个实施例的示意性剖视图。图1A是具有本体和腔的坩埚的横截面图。图1B是具有本体、腔和本征表面涂层的坩埚的横截面图。

[0038] 图2A-2B是根据本文描述的坩埚的各实施方式的微结构的剖面图的显微照片(50X放大率;柱标记表示100微米)。所述显微照片是经过高温焙烧的坩埚微观结构一个例子,在1000摄氏度焙烧的坩埚的截取的横截面的背散射电子成像扫描电子显微镜图像。图2A-2B显示坩埚中所含的氧化铝颗粒110,坩埚的本征表面涂层112,坩埚的本体114,坩埚的内表面116,和包含在坩埚中的精细尺度的铝酸钙水泥120。

[0039] 图3是显微照片的根据本文描述的坩埚的实施例的微结构的横截面图(以250X放大率;柱标记表示100微米)。该显微照片是取经过高温焙烧的坩埚的微结构的一个例子,在1000摄氏度焙烧的坩埚的截取的横截面的背散射电子成像扫描电子显微镜图像。图3示出含在坩埚的表面涂层112内的氧化铝颗粒110a和精细尺度的铝酸钙水泥120。图3还示出了坩埚的内表面116。

[0040] 图4A-4B是流程图,示出了根据本文描述的多方面的各种方法。图4A示出了根据本公开多方面的一个流程图,示出了一方法,用于熔炼用于形成铸造含钛制品的钛和钛合金的坩埚。图4B示出了一个流程图,根据本公开的方面,示出了用于钛和钛合金的铸造方法,其利用坩埚来熔炼钛和钛合金。

[0041] 图5A-5B是本发明的坩埚的一个实施方式的各视图的图示。

[0042] 图6是用于生产本发明坩埚的坩埚模具的实施例的视图的图示。示出的坩埚模具是根据本发明制造的聚氨酯模具。图6所示的坩埚模具被配置以匹配在坩埚固化装置的腔室中(参照图7A-7C)。

[0043] 图7A-7C是本发明的坩埚固化装置的一个实施例的各方面的各种视图的图示。图7A是表示坩埚固化装置的基体,基体的腔室,操纵臂,和用于操纵臂的支撑的示意图。图7B是使坩埚模具插入其中的腔室和定位在所述腔室和坩埚模具上方的操纵臂的接近视图。图7C是使坩埚模具插入所述装置的基体的腔室中,其中操纵臂定位在所述腔室和坩埚模具上方的坩埚固化装置的视图。所述操纵臂的位置控制在坩埚模具型腔内的模型的位置。在坩埚模具型腔中的模型的位置控制所述坩埚的壁厚和坩埚壁厚度的均匀性。在一个实施例中,坩埚的壁厚的变化不超过30%,因为壁厚影响坩埚的热性能。具体地说,坩埚的壁厚和坩埚壁的性能,如弹性模量、强度和热膨胀系数,控制该坩埚的耐热冲击性。

[0044] 图8A-8D是在可移除坩埚腔模型插入腔室和坩埚模具以及从腔室和坩埚模具中移除的过程中,坩埚固化装置的一个实施例的图示。图8A和8B示出了附连到所述操纵臂端部的可移除坩埚腔模型,其中可除去坩埚腔模型被部分地插入到包含在坩埚固化装置的基体的腔室中的坩埚模具内。图8C和8D示出了可移除坩埚腔模型完全插入到包含在坩埚固化装置的基体的腔室中的坩埚模具内。

[0045] 详细描述

[0046] 本系统和技术一般涉及坩埚成分和制造坩埚的方法,以及由坩埚中熔炼的合金来铸造的制品,并且更具体地,涉及坩埚成分和用于熔炼和铸造含钛制品的方法,以及含钛制品。

[0047] 本系统提供了用于熔炼钛和铝化钛构件,例如,涡轮叶片或翼型件的新方法。实施例提供了用于熔炼坩埚的物质的成分,以及提供了改进的钛和钛合金部件,例如在航空、工业和海洋工业中使用的钛和钛合金部件的熔炼方法。在一些方面中,该坩埚成分这样的坩埚,其包含在该坩埚制造期间提供改进的坩埚的强度和/或在熔炼过程中增加的抗反应性(活性)性能的相。根据本系统的各方面的坩埚能够制备用于高压铸造的熔融钛或钛合金,这是近净形的铸造方法所需要。坩埚成分,例如含有铝酸钙水泥和氧化铝颗粒,以及优选的组成相,已被发现能够为坩埚提供改进的特性。

[0048] 在一个方面中,在坩埚的构成相中含有单铝酸钙。单铝酸钙被发现是比较理想的,至少有两个原因。首先,单铝酸钙促进在坩埚制造的初始阶段中在水泥颗粒之间形成水硬性胶结,并且该水硬性胶结被认为是坩埚构造期间提供坩埚的强度。其次,单铝酸钙与钛和铝化钛基合金的反应速率非常低。在某个实施例中,单铝酸钙被提供给本系统(例如,铝酸钙水泥形式的熔模铸造坩埚)的坩埚成分。在一个方面中,坩埚成分包括铝酸钙水泥和矾土(即氧化铝)的混合物。

[0049] 在一个方面中,坩埚成分提供了在熔炼过程中与合金的最小反应,并且坩埚为铸件提供了所需的铸件属性。铸件的外部属性包括诸如形状,几何形状和表面光洁度。铸件的内部性质包括机械性能,微观结构,在指定的大小以下并在允许的限度内的缺陷(如孔和夹杂物)。

[0050] 本发明的坩埚还可以包括表面涂层,尽管它不必包括这样的表面涂层。更具体地,该表面涂层可以是相对于非本征表面涂层的本征表面涂层。如本文所用的术语“本征表面涂层”指的是可包含与母坩埚配方中一样的至少一种组分的坩埚的表面涂层。通过对比的方式,术语“非本征表面涂层”是指包含不是母坩埚配方一部分的一种组分的表面涂层。如本文更详细讨论的,该坩埚的本征表面涂层可以是连续的,基本上连续的,或非连续的。

[0051] 在一个实施例中,坩埚包含在坩埚的本体和坩埚的腔之间的连续的本征表面涂层。在一个相关实施例中,本征表面涂层为约50微米至约450微米。在某些情况下,本征表面涂层包含具有小于约50微米的粒度的铝酸钙。坩埚成分可以使得其中坩埚的本体包含氧化铝并且颗粒大于约50微米。在某个实施例中,本征表面涂层具有比坩埚的本体更少的氧化铝,并且其中所述表面涂层具有比坩埚的本体更多的铝酸钙。

[0052] 液体水泥混合物,在初始铝酸钙-液体水泥混合物中的固体以及在最终铝酸钙-液体水泥混合物中的固体的百分比是一种特征。在一个实例中,在初始铝酸钙-液体水泥混合物中的固体为约60%至约80%。在一个实例中,在初始铝酸钙-液体水泥混合物中的固体为约60%至约80%。在另一实例中,带有大尺寸的氧化铝(> 100微米)氧化铝颗粒的最终铝酸钙-液体水泥混合物中的固体是从约75%至约90%。初始铝酸钙水泥和精细尺度(小于10微米)的氧化铝与水混合,以提供一致和均匀的浆料;通过添加大尺寸(大于100微米)氧化铝到初始浆料中并混合2至15分钟,以实现均匀的混合,而形成最终的坩埚混合物。

[0053] 提供了一个方面的坩埚成分用于铝化钛(TiAl金属)涡轮叶片,例如TiAl金属的低压涡轮叶片的低成本熔炼和铸造。坩埚成分可提供铸造近净形部件的能力,其与使用常规壳坩埚和重力铸造技术的部件相比需要较少的机械加工和/或处理。如本文所用,表述“近净形”意味着制品的初始生产接近于制品的最终(净)形状,从而减少了对进一步处理,例如大范围机械加工和表面处理的需要。如本文所用的术语“涡轮叶片”是指蒸汽涡轮叶片和燃气轮机叶片二者。

[0054] 因此,本系统涉及制造不显著与钛和铝化钛合金反应的坩埚的挑战,例如熔模铸造坩埚。另外,根据一些方面,坩埚的强度和稳定性允许高压铸造方法,如离心铸造。技术优点之一是,在一个方面中,本发明的系统改善了净形铸件的结构完整性,其例如可由铝酸钙水泥和矾土熔模铸造坩埚生产。构件强度越高,例如,疲劳强度越高,则允许待制造的构件越轻。此外,具有较高的疲劳强度的构件可以持续更长的时间,并因此具有更低的寿命周期成本。

[0055] 熔炼坩埚成分

[0056] 本公开的方面提供了用于坩埚的物质的成分,其可以提供钛和钛合金的改进的元件。在一个方面,单铝酸钙可以铝酸钙水泥的形式提供。铝酸钙水泥可被称为“水泥”或“粘合剂”。在某些实施例中,铝酸钙水泥与氧化铝颗粒混合,以提供一个可浇注的熔模铸造坩埚混合物。铝酸钙水泥可以在可浇注的坩埚混合物中大于约30%(重量)。在某些实施例中,铝酸钙水泥在可浇注的坩埚混合物中介于约30%至约60%(重量)。在所述可浇注料的坩埚混合物(重量)中使用大于30%的铝酸钙水泥是一个进一步的特征。对合适的铝酸钙水泥的化学性能和氧化铝配方的选择是(影响)坩埚性能的因素。在一个方面中,足够量的氧化钙可被提供到坩埚中,以最小化与钛合金的反应。

[0057] 在一个方面,所述坩埚成分,例如,熔模铸造坩埚成分,可以包括铝酸钙水泥和氧化铝颗粒的多相混合物。铝酸钙水泥可以用作粘合剂,例如,铝酸钙水泥粘合剂可以提供坩埚结构的主要骨架结构。铝酸钙水泥可在坩埚中包括一连续相,并在固化,烧结和熔融期间提供强度。坩埚成分可以包括铝酸钙水泥和矾土,也就是说,铝酸钙水泥和矾土可以基本上构成坩埚成分的唯一组分,具有很少的或甚至没有其它组分。在一个实施例中,本发明的系统包括熔炼含钛制品的坩埚成分,其包含铝酸钙。在另一个实施例中,所述熔炼坩埚成分

还包含氧化物颗粒,例如中空氧化物颗粒。根据其它方面,所述氧化物颗粒可以是氧化铝颗粒,氧化镁颗粒,氧化钙颗粒,氧化锆颗粒,二氧化钛颗粒,氧化硅颗粒,它们的组合,或它们的成分。在一个实施例中,氧化物颗粒可以是一种或多种不同的氧化物颗粒的组合。

[0058] 熔炼坩埚成分还可以包括例如以中空颗粒形式的氧化铝,也就是说,具有基本上由氧化物所包围的中空芯或基本中空芯的颗粒。这些中空氧化铝颗粒可以构成约99%的氧化铝和具有约10毫米[毫米]或更小的外部尺寸,例如宽度或直径。在一个实施例中,中空氧化铝颗粒具有约1毫米[毫米]或更小的外部尺寸,例如宽度或直径。在另一个实施例中,氧化铝包括可以具有从约10微米至约10毫米范围的外部尺寸的颗粒。在某些实施例中,中空氧化物颗粒可包括中空(或称空心)氧化铝球(直径一般大于100微米)。中空氧化铝球可被掺入到熔炼坩埚成分中,并且所述空心球可具有一定范围的几何形状,例如,圆形颗粒或不规则的聚集体。在某些实施例中,氧化铝可以包括圆形颗粒和空心球。在一个方面中,发现这些几何形状可以增加熔模铸造坩埚混合物的流动性。所述氧化铝颗粒包含为约10微米至约10,000微米不等的外部尺寸。在某些实施例中,氧化铝包括颗粒小于约500微米的外部尺寸,例如直径或宽度。氧化铝可构成约0.5%(重量)至约80%(重量)的熔炼坩埚成分。可替代地,所述氧化铝构成约40%(重量)至约60%(重量)的熔炼坩埚成分。可替代地,所述氧化铝构成约40%(重量)至约68%(重量)的熔炼坩埚成分。

[0059] 在一个实施例中,所述熔炼坩埚成分还包括氧化钙。所述氧化钙可大于约10%(重量)且小于约50%(重量)的熔炼坩埚成分。最终的坩埚典型地可以具有小于2克/立方厘米的密度和大于500磅/平方英寸[psi]的强度。在一个实施例中,氧化钙大于约30%(重量)且小于约50%(重量)的熔炼坩埚成分。或者,所述氧化钙大于约25%(重量)并小于约35%(重量)的熔炼坩埚成分。

[0060] 一个方面是一种用于熔炼含钛制品的坩埚,包括:铝酸钙水泥,其含单铝酸钙、二铝酸钙和钙铝石,其中,所述坩埚在坩埚的本体和坩埚腔之间具有约10微米至约450微米的本征表面涂层。在一个实施例中,表面涂层是连续的本征表面涂层。

[0061] 在一个具体的实施例中,熔炼坩埚成分包括铝酸钙水泥。铝酸钙水泥包括含钙和铝的至少三个相或组分:单铝酸钙、二铝酸钙和钙铝石。单铝酸钙在本征表面涂层中的重量比值可以大于0.60,并且钙铝石的重量比值可以小于0.10。在一个实施例中,在坩埚的本体中的单铝酸钙构成约0.05到0.95的重量比值,并且在本征表面涂层中的单铝酸钙为约0.1至0.90。在另一个实施例中,在坩埚的本体中的二铝酸钙构成约0.05至约0.80的重量比值,并且在本征表面涂层中的二铝酸钙为约0.05至0.90。在又一个实施例中,在坩埚本体的成分中的钙铝石构成约0.01的重量比值至约0.30,并且在本征表面涂层中的钙铝石为约0.001至0.05。

[0062] 坩埚的本体和在本征表面涂层的精确组分可能不同。例如,在坩埚的本体中的单铝酸钙构成约0.05到0.95的重量比值,并且在本征表面涂层中的单铝酸钙为约0.1至0.90;在坩埚的本体中的二铝酸钙构成约0.05至约0.80的重量比值,并且在本征表面涂层中的二铝酸钙为约0.05至0.90;并且其中,在所述坩埚的本体成分中的钙铝石构成约0.01至约0.30的重量比值,并且在本征表面涂层中的钙铝石为约0.001至0.05。

[0063] 在铝酸钙水泥中的单铝酸钙的重量比值可以大于约0.4,并且在铝酸钙水泥中的钙铝石的重量比值可以小于约0.15。在另一个实施例中,铝酸钙水泥超过熔炼坩埚成分的

30%(重量)。在一个实施例中,铝酸钙水泥具有约50微米或更小的颗粒尺寸。

[0064] 在一个实施例中,适合于坩埚的本体的这些相的重量比值水泥是0.05至0.95的单铝酸钙,0.05至0.80的二铝酸钙,0.01到0.30的钙铝石。在一个实施例中,在坩埚的表面涂层中的这些相的重量比值为0.1-0.90的单铝酸钙,0.05至0.90的二铝酸钙,以及0.001-0.05的钙铝石。在另一个实施例中,单铝酸钙在表面涂层中的重量比值为大于约0.6,并且钙铝石的重量比值小于约0.1。在一个实施例中,单铝酸钙在坩埚本体的水泥(粘结剂)中的重量比值为大于约0.5,并且钙铝石的重量比值低于约0.15。

[0065] 在一个实施例中,铝酸钙水泥具有约50微米或更小的粒度(或粒径)。小于50微米的粒度是优选的,原因有三:第一,细颗粒尺寸被认为在坩埚的混合和固化过程中促进水硬性胶结的形成;第二,该细颗粒尺寸被理解为在烧制时促进颗粒间的烧结,并且这样可以提高坩埚的强度;第三,该细颗粒尺寸被认为是提高了坩埚的表面光洁度,这有助于从坩埚输送熔液。铝酸钙水泥可作为粉末提供,并且可以以其固有的粉末的形式,或以附聚的形式提供,例如,喷雾干燥附聚物。铝酸钙水泥,也可以被预先混合有精细尺度(例如小于10微米的尺寸)的氧化铝。精细尺度的氧化铝被认为提供了由于在高温烧制时的烧结引起的强度的增加。在某些情况下,较大尺寸的氧化铝(即,大于10微米的尺寸),也可以被添加或不添加精细尺度的氧化铝。在一个具体的实施例中,约80%的铝酸钙水泥具有小于约10微米的粒度。

[0066] 中空氧化铝颗粒用作至少两个功能:[1]它们降低坩埚的密度和重量,而强度的降低最小;获得大约500PSI和以上的强度水平,具有约2g / cc的和更小的密度;和[2]它们降低坩埚的弹性模量,并有助于在熔炼循环过程中在坩埚的加热时提供顺应性。

[0067] 铝酸钙水泥组分

[0068] 如本文所阐述,铝酸钙水泥包括单铝酸钙。在一个实施例中,铝酸钙水泥可包括单铝酸钙和二铝酸钙。在另一个实施例中,铝酸钙水泥可包括单铝酸钙和钙铝石。

[0069] 在一个具体的实施例中,在某些方面中使用的铝酸钙水泥可通常包括钙和铝的三个物相或成分:单铝酸钙,二铝酸钙和钙铝石。单铝酸钙是存在于钙矾土水泥中的水合矿物。单铝酸钙的水合有助于熔模铸造坩埚的高早期强度。钙铝石在水泥中是可取的,因为它在坩埚固化的早期阶段提供强度,这是由于快速形成水合结合引起的,但是,钙铝石通常在坩埚的烧制/热处理过程中在熔炼之前被除去。

[0070] 在一个方面中,初始铝酸钙水泥配配方在水泥制造窑中的烧制后通常不处于热力学平衡。然而,在坩埚制造和高温烧制后,坩埚成分向热力学稳定配置移动,并且这种稳定性对于后续的熔炼过程是有利的。在一个实施例中,单铝酸钙在水泥中的重量比值大于0.5,并且钙铝石的重量比值小于0.15。钙铝石结合在坩埚中的坩埚本体和表面涂层二者中,因为它是一种快速固化的铝酸钙,并且它被认为在固化的早期阶段为坩埚的本体和表面涂层提供强度。固化可在低温下进行,例如,在15摄氏度和40摄氏度的温度之间,因为易失性蜡模型是温度敏感的,并且在暴露于高于约35℃的热之下时会失去它的形状和性能。优选的是,在低于30℃的温度下进行坩埚的固化。

[0071] 铝酸钙水泥通常可通过将高纯度的氧化铝与高纯度的氧化钙混合起来而制备;这些化合物的混合物在炉或窑中典型地被加热到高温,例如在1000和1500摄氏度的温度之间,并使其反应。

[0072] 此外,铝酸钙水泥被设计和加工成具有最小量的杂质,例如,最小量的二氧化硅,钠和其它碱,氧化铁;这些最小值的杂质,确保熔体被坩埚污染得最小。在一方面,铝酸钙水泥的目标水平是, Na_2O , SiO_2 , Fe_2O_3 和 TiO_2 的总和小于约2%(重量)。在一个实施例中, Na_2O , SiO_2 , Fe_2O_3 和 TiO_2 的总和小于约0.05重量%。

[0073] 在一个方面中,提供了一种铝酸钙水泥,其中本体氧化铝浓度超过35%重量(Al_2O_3),以及小于65%重量的氧化钙。在一个相关的实施例中,氧化钙的重量是小于50%。在一个实例中,水泥的最大氧化铝浓度可以是约85%(例如,约15%的 CaO)。在一个实施例中,铝酸钙水泥是高纯度的并含有高达70%的氧化铝。单铝酸钙的重量比值可以在烧制的坩埚中在熔炼前最大化。可能需要氧化钙的量最小化,以减少正被熔炼的合金和坩埚之间的反应。如果有超过50%的氧化钙在水泥中,这可能会导致诸如钙铝石和铝酸三钙相,这些在熔炼时与单铝酸钙一样不执行。氧化钙的优选的范围是小于约50%(重量)和大于约10%(重量)。

[0074] 如上所述,坩埚中的铝酸钙水泥/粘合剂中的这三个相是单铝酸钙,二铝酸钙和钙铝石。在生成该表面涂层的水泥中的单铝酸钙具有三个优于其他铝酸钙相的优点:1)单铝酸钙被掺入坩埚中,这是因为它具有快速固化响应(尽管不如钙铝石一样快),并且它被认为在固化的早期阶段为坩埚提供强度。快速生成的坩埚强度提供的熔炼坩埚的尺寸稳定性。2)单铝酸钙相对于待熔炼的钛和铝化钛合金而言具有化学稳定性。单铝酸钙优选相对于二铝酸钙和其他铝酸钙相而言具有较高的氧化铝活性;这些相与被铸造的钛和铝化钛合金更具反应性。3)单铝酸钙和二铝酸钙是低膨胀相,并且被理解为在固化、脱蜡和随后的熔炼过程中减少高水平应力在坩埚中的形成。

[0075] 表面涂层

[0076] 在某些实施例中,坩埚还包括设置在坩埚的本体和坩埚腔之间的本征表面涂层。本征表面涂层可以是连续的本征表面涂层或非连续的表面涂层。坩埚被设计为包含在坩埚生产期间提供改进的强度的相,并且表面涂层被设计为在熔炼过程中增加对反应的抵抗性。已经发现为坩埚提供改进的性能的熔炼坩埚成分、表面涂层成分、以及用于表面涂层和坩埚本体的优选构成相,可用于熔融钛和钛合金,用于制造具有改进性能的铸件。

[0077] 表面涂层被定义为邻近坩埚内表面或坩埚腔的坩埚区域。在一个实施例中,表面涂层通常被认为是一个约100微米厚的区域。为了更有效,表面涂层是连续的。在表面涂层后面以及进一步远离坩埚腔的区域被称为坩埚的本体。

[0078] 一个方面是用于熔炼和铸造含钛制品的坩埚的表面涂层成分,所述表面涂层成分包括:单铝酸钙,二铝酸钙和钙铝石,其中,所述表面涂层成分是一种本征表面涂层,约10微米至约450微米厚,并且位于坩埚的本体和通往坩埚腔的坩埚表面之间。在一个具体的实施例中,坩埚的表面涂层可以具有在约10微米和大约200微米之间的厚度。在一个示例中,表面涂层包含的铝酸钙具有小于约50微米的粒度。

[0079] 使用本征表面涂层具有优于使用非本征表面涂层的优点。具体而言,用于铸造的模具中的非本征表面涂层,例如氧化钼或锆表面涂层,在模具加工和铸造期间,特别是在高压铸造时,会出现退化,裂纹,和剥落。在坩埚或模具围绕可移动模型形成之前,将非本征表面涂层施加到例如可移除模型上。表面涂层的在熔炼过程中脱离非本征表面涂层的碎片可能在坩埚排放时被夹带在铸件中,并且模具中被填充熔融金属,并且陶瓷表面涂层变为最

终部件中的夹杂物。夹杂物降低了由铸件生产的部件的机械性能。

[0080] 在一个实施例中,用于熔炼坩埚的本征表面涂层成分,和坩埚本体成分一起,提供钛和钛合金的改进的铸造部件。在一个实施例中,坩埚包括铝酸钙水泥和氧化铝颗粒。在一个示例中,铝酸钙水泥有两个功能。第一,水泥通过移除易失性模型而在坩埚腔中产生本征表面涂层;第二,它用作在表面涂层后面的坩埚本体中的氧化铝颗粒之间的粘合剂。在一个实施例中,坩埚中的本体成分对于CaO而言的范围是10至50%(重量)。在一个实施例中,表面涂层中氧化钙的成分是百分之15至40(重量)。

[0081] 坩埚可以包括坩埚的本体和在本征表面涂层,其中坩埚的本体和在本征表面涂层具有不同的成分,并且本征表面涂层包括具有小于约50微米粒度的铝酸钙。坩埚可以包括坩埚的本体和在本征表面涂层,其中所述坩埚的本体和在本征表面涂层具有不同的成分,其中坩埚的本体包括大于约50微米的氧化铝颗粒。在一个实例中,坩埚包括坩埚的本体和在本征表面涂层,其中坩埚的本体包括大于约50微米的氧化铝颗粒,本征表面涂层包含大小在约50微米以下的铝酸钙的颗粒。

[0082] 本公开提供了熔炼坩埚成分和熔炼和铸造工艺,其可以提供钛和钛合金的改进的构件。在一个实施例中,坩埚使用铝酸钙水泥或粘合剂和氧化铝颗粒构成。在一个实施例中,坩埚包含在坩埚本体与坩埚腔之间的本征表面涂层。本征表面涂层的颗粒的尺寸通常小于50微米。坩埚的本体的颗粒的尺寸可以大于50微米。在一个实施例中,坩埚的本体的颗粒的尺寸大于1毫米。在一个实施例中,本征表面涂层的颗粒的尺寸小于50微米,并且坩埚的本体的颗粒的尺寸超过50微米。通常,表面涂层是连续的本征表面涂层,从而允许它更有效。

[0083] 表面涂层可以比坩埚的本体具有更少的氧化铝和更多的铝酸钙水泥。本征表面涂层可具有与坩埚的本体相比要少按重量计比值至少20%的单铝酸钙。本征表面涂层可具有按重量计比值,比坩埚的氧化铝小至少20%。本征表面涂层可具有与坩埚的本体相比要少按重量计比值至少50%的钙铝石。在一个实施例中,本征表面涂层可具有与坩埚的本体相比要多按重量计比值至少20%的单铝酸钙,与坩埚的本体相比要少至少20%的氧化铝,与坩埚的本体相比要少至少50%的钙铝石。单铝酸钙在本征表面涂层中的重量比值可以大于0.60,并且钙铝石的重量比值可以小于0.10。在一个实例中,在本征表面涂层中的单铝酸钙包括0.1至0.9的重量比值;在本征表面涂层中的二铝酸钙包含0.05至0.90的重量比值;并且在本征表面涂层中的钙铝石包含0.001至0.05的重量比值。本征表面涂层中的单铝酸钙的增加的重量比值降低了熔炼过程中熔融合金与坩埚反应的速率。在另一个实施例中,本征表面涂层中的单铝酸钙和二铝酸钙的增加的重量比值降低了熔炼过程中熔融合金与坩埚反应的速率。

[0084] 在某些实施例中,表面涂层的组成相,以及坩埚的本体的组成相,对于用于铸件的熔融金属的性质而言是很重要的。如本文所公开,坩埚的表面涂层提供了熔融期间与合金的最小反应,结果,坩埚为铸件提供了所需的构件属性。铸件的外部属性包括诸如形状,几何形状和表面光洁度等特征。铸件的内部性质包括机械性能,显微组织,和低于临界尺寸的缺陷(如孔和夹杂物)。

[0085] 就坩埚的表面涂层坩埚的本体的组成相而言,单铝酸钙是理想的,至少基于两个原因。首先,单铝酸钙促进在坩埚制造期间的初始阶段中在水泥颗粒之间的水硬性胶结形

成,并且该水硬性胶结在坩埚制造期间提供坩埚的强度。第二,单铝酸钙与钛和铝化钛基金发生反应的速率非常低。

[0086] 在一个实施例中,表面涂层包括单铝酸钙,二铝酸钙,钙铝石和氧化铝。在一个实施例中,表面涂层的颗粒的尺寸小于50微米。在表面涂层中,单铝酸钙和二铝酸钙的组合超过50%(重量),并且氧化铝浓度小于50%(重量)。在一个实施例中,在表面涂层中存在超过30%(重量)的单铝酸钙。在表面涂层后面并且进一步远离坩埚腔的区域被称为坩埚的本体。在一个实施例中,在坩埚的本体中,单铝酸钙和二铝酸钙的组合小于50重量%,并且在坩埚的本体中的氧化铝浓度大于50%(重量)。在另一个实施例中,在本征表面涂层中的颗粒的尺寸小于50微米。

[0087] 铝酸钙水泥被称为水泥或粘合剂,在一个实施例中,它与氧化铝微粒混合,以制造可浇注的熔模铸造坩埚混合物。铝酸钙水泥在熔模铸造坩埚混合物中通常为> 30%(重量);使用这一比例的铝酸钙水泥是本系统的一个特征,因为它有利于降低在坩埚与熔体之间的相互作用的水平。申请人发现,选择正确的铝酸钙水泥的化学性质和氧化铝配方在决定坩埚的性能时非常重要。

[0088] 在一个实施例中,表面涂层包括具有小于约50微米的颗粒尺寸的铝酸钙水泥。在另一个实施例中,铝酸钙水泥的粒径小于约10微米。在一个例子中,坩埚的本体具有大于50微米的颗粒尺寸,并且可以包含氧化铝。

[0089] 混合初始水泥浆料,以具有50至150厘泊的粘度。在一个实施例中,粘度范围是80至120厘泊。如果粘度过低,则浆料将不会保持所有的固体在悬浮液中,并且会发生较重的颗粒沉淀,导致在固化期间引起分离,并且本征表面涂层将不会形成。如果粘度太高,铝酸钙的颗粒不能配分到易失性模型,并且本征表面涂层将不会形成。其中具有铝酸钙水泥和氧化铝颗粒的最终浆料被混合,以具有介于约1000和8000厘泊之间的粘度。在一个实施例中,这一最终的浆料粘度范围为2000至6000厘泊。如果最终的浆料/混合物粘度太高,则最终的浆料混合物不会流到易失性模型周围,并且坩埚的内腔将不适合熔炼最终需要的部件。如果最终浆料混合物粘度太低,将在固化过程中发生较重的颗粒的沉淀,坩埚将不会在整个坩埚本体中具有所要求的均匀成分。

[0090] 熔模铸造坩埚可以包括精细尺度(<50微米)的铝酸钙水泥颗粒,精细尺度(<50微米)的氧化铝颗粒,以及较大尺寸(>100微米)的氧化铝颗粒的多相混合物。本征表面涂层不包含任何大于50微米的氧化铝颗粒。本征表面涂层不含有任何大于50微米的铝酸钙水泥颗粒。据认为,本征表面涂层是这样形成的,因为在坩埚制造过程中水基熔模铸造混合物中的悬浮液中的精细尺度水泥颗粒被优先分配到易失性/蜡模型,并形成其中精细尺度的铝酸钙水泥颗粒(<50微米)及氧化铝颗粒富集的本征表面涂层的层。在一个实施例中,在本征表面涂层中不存在大尺寸(> 50微米)的氧化铝颗粒。浆料的粘度和固体含量的百分比是形成本征表面涂层的影响因素。在本征表面涂层中不存在大尺寸(> 100微米)的颗粒,这提高了坩埚的表面光洁度。单铝酸钙和二铝酸钙在本征表面涂层中的增加的重量比值降低了熔炼过程中熔融合金与坩埚反应的速率。

[0091] 在坩埚的本体中,铝酸钙水泥是粘合剂,并且粘合剂被认为是本体或表面涂层后面的坩埚结构的主骨架。坩埚中的连续相在固化和熔炼期间提供强度。在一个实施例中,坩埚的本体成分包含精细尺度(<50微米)的铝酸钙水泥颗粒,以及较大尺寸(> 100微米)的氧

化铝颗粒。在另一个实施例中,表面涂层成分包含精细尺度(<50微米)的铝酸钙水泥。

[0092] 构成了本征表面涂层的铝酸钙水泥,包括至少三个相;单铝酸钙,二铝酸钙和钙铝石。在一个实施例中,表面涂层也可以包含精细尺度(<50微米)的氧化铝颗粒。在另一个实施例中,表面涂层后面的坩埚本体包括单铝酸钙,二铝酸钙,钙铝石和氧化铝。氧化铝可以氧化铝颗粒的形式被掺入,例如中空的氧化铝颗粒。所述颗粒可以具有一定范围的几何形状,例如圆形的颗粒,或不规则聚集体。氧化铝的粒径可以小到10微米,大至10毫米。

[0093] 在一个实施例中,氧化铝包括圆形颗粒和中空颗粒,因为这些几何形状增加了熔模铸造坩埚混合物的流动性。典型地,在坩埚的本体中的氧化铝的粒径大于50微米。流动性以这样的方式起作用,其中在熔模铸造坩埚混合物浇注并围绕易失性模型沉积的过程中,水泥被配分到易失性模型(诸如蜡)。如果初始水泥混合物的粘度过低,则浆料将不会在悬浮液中保持所有的固体,并且导致在固化期间较重的颗粒将发生沉淀,并且本征表面涂层将不会形成。如果初始水泥混合料的粘度太高,铝酸钙的颗粒不能分区到易失性模型,和本征表面涂层将不会形成。如果最终的浆料混合物粘度太高,则最终的浆料混合不会流到易失性模型周围,并且空气将被夹带在浆料混合物与模型和坩埚的内腔之间。如果最终浆料混合物粘度太低,较重的颗粒将在固化过程中发生沉淀,坩埚将不会在整个坩埚本体中具有所要求的均匀成分,并且所得的坩埚的质量将受到损害。

[0094] 形成表面涂层的铝酸钙水泥的颗粒通常会具有小于50微米的粒径。小于50微米的颗粒大小有几个优点,其中包括:第一,细颗粒尺寸促进了坩埚的混合和固化期间水合结合的形成;第二,细颗粒尺寸可在焙烧时促进颗粒间烧结的形成,并且这样可以提高坩埚的强度;第三,细颗粒尺寸提高了坩埚腔的表面光洁度。铝酸钙水泥粉末可以以其固有的形式或以附聚的形式使用,例如喷雾干燥的附聚物。铝酸钙水泥也可以在与较大尺寸的氧化铝混合之前先与精细尺度(<10微米)的氧化铝预先混合;精细尺度的氧化铝可以提供在高温焙烧期间因烧结引起的强度的增加。然而,如果氧化铝颗粒被配分到本征表面涂层,那么坩埚的耐火性能可能降低。

[0095] 例如,如果氧化铝颗粒被配分到本征表面涂层而使得本征表面涂层比坩埚的本体具有更多氧化铝,那么熔融合金将会以不希望的方式与氧化铝反应,而产生造成表面缺陷的气泡和铸件本身内的缺陷。降低了所得制品的性能,如强度和疲劳强度。目前公开的方法允许形成这样本征表面涂层,其在本征表面涂层内具有比在坩埚的本体内要显著减少的氧化铝。

[0096] 表面涂层和坩埚从室温到最终焙烧温度的处理,也可以是重要的,特别是热历史和湿度分布。达到烧制温度的加热速率,和烧制后的冷却速度是很重要的。如果表面涂层和坩埚被加热得太快,它们可能出现内部或外部裂纹,或两者;表面涂层和坩埚的裂纹在铸造之前是非常不希望出现的,它会在随后的铸造中产生缺陷。此外,如果坩埚和表面涂层被加热太快,坩埚的表面涂层可能会开裂和剥落;这可能会导致在最坏的情况下在最终铸件中出现不希望有的夹杂物的,以及差的表面光洁度(即使没有夹杂物的话)。如果表面涂层和坩埚在达到坩埚的最高烧制温度后冷却得太快,坩埚的表面涂层或本体也会出现内部或外部裂纹,或两者。

[0097] 初始水泥混合物中的固体的百分比和最终坩埚混合物中的固体的百分比,对于坩埚的结构以及在坩埚内形成本征表面涂层的能力有重要影响,如将在下面的段落中描述。

固体的百分比被定义为混合物中的总固体除以混合物中液体和固体的总质量,其值以百分比的形式展示出来。在一个实施例中,在初始铝酸钙-液体水泥混合物中的固体的比例为约60%至80%。

[0098] 如果初始水泥浆料中的固体的百分比小于约60%,那么水泥颗粒不会保持在悬浮液中,在坩埚的固化过程中,水泥颗粒将与水分离,并且造成整个坩埚中的成分不均匀。相比之下,如果水泥中的固体的百分比太高(例如大于约78%),那么具有大尺寸氧化铝的最终混合物的粘度将太高(例如大于约85%,这取决于被添加的大尺寸氧化铝颗粒的量、尺寸和形貌),并且混合物中的水泥颗粒将不能配分到坩埚内的易失性模型,并且将不会形成本征表面涂层。

[0099] 在一个实施例中,带有大尺寸(意味着在一个实施例中大于约50微米,并且在另一个实施例中大于约100微米)氧化铝颗粒的最终铝酸钙-液体水泥混合物中的固体的百分比是约75%至约90%。在一个实施例中,带有大尺寸氧化铝颗粒的最终铝酸钙-液体水泥混合物中的固体的百分比为约78%至约88%。在另一个实施例中,带有大尺寸氧化铝颗粒的最终铝酸钙-液体水泥混合物中的固体的百分比为约78%至约84%。在一个具体的实施例中,带有大尺寸氧化铝颗粒的最终铝酸钙-液体水泥混合物中的固体的百分比为约80%。

[0100] 坩埚及熔炼和铸造方法

[0101] 如本文所述,一方面是用于熔炼钛和钛合金的坩埚。在一个实施例中,该坩埚包括本体和用于在其中熔炼钛和钛合金的腔,其中,所述本体包括本文所提供的铝酸钙水泥,并且特别包括含有单铝酸钙的铝酸钙水泥。在另一个实施例中,坩埚包括设置在本体和腔之间的大约10微米到约450微米的本征表面涂层,其中本征表面涂层包括含有单铝酸钙的铝酸钙水泥。

[0102] 图1A和1B是坩埚的上述实施例的示意图。在一个实施例中,如图1A中所示,坩埚100包括本体200和腔300。在另一个实施例中,如图1B中所示,坩埚100a包括本体200,腔300,以及布置在本体200和腔300之间的本征表面涂层400。而图1A和1B显示了相对于彼此具有特定宽度的本体部分(例如壁)和表面涂层,这并不意味着限于如图1A和1B所示的相对宽度。壁厚相对于坩埚直径的比率可包括但不限于小到1:5和高达1:75的比值。例如,所述壁厚与坩埚直径之比可以包括但不限于大约为1:10的比率。表面涂层的厚度对壁厚之比可包括但不限于小到1:6和高达1:75的比值。例如,表面涂层的厚度对壁厚之比值可包括但不限于大约1:50的比率。

[0103] 在图1A和1B所示的两个实施例二者中,腔300可使用可移除坩埚腔模型来形成。使用“可移除坩埚腔模型”的其它方面、特征和方法在本公开内容中的别处进行了描述。

[0104] 通过配制陶瓷构件的熔模铸造混合物,并将该混合物浇注到一个包含易失性模型的容器中,来形成熔模铸造坩埚。在该易失性模型上形成的熔模铸造坩埚被允许彻底固化,而形成所谓的“生坯坩埚”。本征表面涂层和熔模铸造坩埚在该易失性模型上形成,并允许它们彻底固化,以形成该生坯坩埚。通常情况下,进行生坯坩埚的固化需要的时间为从1小时至48小时。接着,将易失性模型选择性地从生坯坩埚上移除,这是通过熔融、溶解、燃烧或其他公知的模型移除技术来实现的。典型的用于移除蜡模的方法包括烤箱脱蜡(低于150摄氏度),炉脱蜡(大于150℃),高压釜蒸汽脱蜡,以及微波脱蜡。

[0105] 为了熔炼钛合金,铝和钛及其合金,生坯坩埚然后在高于600℃,例如600至1650摄

氏度的温度下进行烧制一段超过1小时、优选为2至10小时的时间,以便为铸造发展坩埚强度,并且除去任何不希望的残留在坩埚中的杂质,例如金属物质(铁,镍,铬),和含碳物质。在一个实例中,所述烧制温度为至少950摄氏度。焙烧坩埚的气氛通常为环境空气,虽然惰性气体或还原性气体气氛也可以使用。

[0106] 烧制过程还从坩埚中除去了水,并将钙铝石转换为铝酸钙。坩埚烧制程序的另一目的是要尽量减少任何游离的二氧化硅在熔炼之前残留在表面涂层和坩埚本体中。其它目的是提高高温强度和增加单铝酸钙和二铝酸钙的量。

[0107] 将坩埚从室温加热到最终烧制温度,使得该热历史被控制。达到烧制温度的加热速率,和烧制后的冷却速度通常受到调节或控制。如果坩埚被加热得太快,可能会产生内部裂纹或外部裂纹或两者;坩埚在熔炼之前出现裂纹或开裂是非常不希望有的。此外,如果在坩埚被加热得太快,坩埚的内表面可能会开裂和剥落。这可能导致在最终的组件中夹杂不希望有的夹杂物,并且表面光洁度差(即使不存在夹杂物的话)。类似地,如果坩埚达到最高温度后冷却得太快,坩埚也可能出现内部裂纹或外部裂纹或两者。

[0108] 本文所述的坩埚成分特别适合用于钛和铝化钛合金。在烧制之后和在熔炼之前表面涂层和坩埚的本体成分能够影响坩埚性能,特别是关于构成相。在一个实施例中,对于熔炼的目的,坩埚中的单铝酸钙的高重量比值是优选的,例如,0.15到0.8的重量比值。此外,对于熔炼的目的,理想的是最小化钙铝石的重量比值,例如,使用0.01到0.2的重量比值,因为钙铝石是水敏感的,并且它可能会在熔炼过程中造成水释放和气体产生的问题。烧制后,坩埚也可以含有小重量比值的硅酸铝和铝酸钙。铝酸硅和铝酸钙的重量比的总和通常可在坩埚的本体中保持在不超过5%,在表面涂层中小于0.5%,以便最大限度地减少熔炼过程中坩埚的反应。

[0109] 一个方面是用于形成用来熔炼和铸造含钛制品的熔炼坩埚的方法,该方法包括:将铝酸钙与液体组合以产生铝酸钙的浆料,其中在初始铝酸钙/液体混合物中的固体的百分比为约60%至约80%,并且浆料的粘度为约50至约150厘泊;加入氧化物颗粒到浆料中,使得带有大尺寸(大于50微米)氧化物颗粒的最终铝酸钙/液体混合物中的固体为约75%至约90%;将浆料引入到包含易失性模型的坩埚模具型腔中;使该浆料在坩埚模具型腔内固化,以形成一个含钛制品的坩埚。

[0110] 在某些实施例中,熔炼坩埚成分包含熔模铸造熔炼坩埚成分。熔炼坩埚成分包含近净形的、含钛金属的熔炼坩埚成分。在一个实施例中,熔炼坩埚成分包含用于铸造近净形的铝化钛制品的熔炼坩埚成分。近净形的铝化钛制品包括,例如,近净形的铝化钛涡轮叶片。

[0111] 对正确的铝酸钙水泥的化学性质和氧化铝配方的选择是影响坩埚在熔炼过程中的性能的因素。就铝酸钙水泥而言,它可能是必须的,以最小化游离氧化钙的量来减少与钛合金的反应。如果水泥中的氧化钙浓度小于约10%重量,则合金会与坩埚发生反应,因为氧化铝的浓度过高,并且该反应在铸件中产生不希望有的氧浓度水平,气泡,和铸造构件的差的表面光洁度。游离氧化铝在坩埚材料中是不太希望有的,因为它在熔炼过程中能积极地与钛和铝化钛合金发生反应。

[0112] 如果在水泥中的氧化钙的浓度为按重量计大于50%,该坩埚可能对从环境中吸取水和二氧化碳比较敏感。正因为如此,在熔模铸造坩埚中的氧化钙浓度通常会保持低于

50%。在一个实施例中,熔模铸造坩埚的本体中的氧化钙浓度为在10%和50%(重量)之间。在一个实施例中,熔模铸造坩埚的本体中的氧化钙浓度为在10%和40%(重量)之间。可替代地,熔模铸造坩埚的本体中的氧化钙浓度可以在25%与35%重量之间。在一个实施例中,表面涂层中的氧化钙的成分是在20%与40%(重量)之间。在另一个实施例中,坩埚的表面涂层中的氧化钙浓度是在15%与30%(重量)之间。

[0113] 如果在熔炼过程中在坩埚中形成熔融金属时所吸附的水的水平(浓度)过高,例如大于0.05%(重量),那么水被释放并且可与合金发生反应。这导致了差的表面光洁度,铸件中的气泡,高的氧浓度,以及差的机械性能。

[0114] 根据一个方面,使用常规技术将熔融金属或合金倒入模具中,常规技术可以包括重力,反重力,压力,离心力,以及本领域技术人员已知的其它铸造技术。可以使用真空或惰性气体环境。对于复杂形状的薄壁的几何形状,使用高压技术是优选的。在固化后,铝化钛或合金铸件通常冷却到小于650度,例如室温,将其从模具中取出,并采用常规技术例如喷砂和磨光而进行抛光。

[0115] 一个方面是用于钛和钛合金的熔炼和铸造方法,包括:获得熔模铸造的熔炼坩埚成分,其含有铝酸钙和氧化铝,其中,铝酸钙与液体结合以产生铝酸钙的浆料,并且其中带有大尺寸氧化铝的最终的铝酸钙/液体混合物中的固体为约75%至约90%,且其中所得到的坩埚具有本征表面涂层;将熔模铸造坩埚成分浇注入含有易失性模型的容器中;固化所述熔模铸造熔炼坩埚成分;从易失性模型中取下坩埚;烧制坩埚;预加热所述模具到模具铸造温度;将熔融的钛或钛合金浇注入加热的模具中;使熔融钛或钛合金凝固并形成固化的钛或钛合金铸件;以及从模具中取出固化的钛或钛合金铸件。在一个实施例中,主张保护一种钛或钛合金制品,其由如本文所教导的铸造方法制成。

[0116] 一个方面涉及一种用于钛和钛合金的熔炼和铸造方法,包括:获得一含有铝酸钙和氧化铝的熔模铸造坩埚成分;将熔模铸造坩埚成分浇注到含有易失性模型的容器中;固化所述熔模铸造坩埚成分;从所述易失性模型中取出坩埚;烧制所述坩埚;预加热所述模具到模具铸造温度;将熔融的钛或钛合金从坩埚浇注入所述加热的模具中;凝固熔融的钛或钛合金;并从模具中取出固化的钛或钛合金。

[0117] 在一个实施例中,固化步骤是在低于约30℃的温度下进行一段在一个小时至48小时之间的时间。易失性模型的去除包括步骤:熔融,溶解,点火,烤箱脱蜡,炉脱蜡,蒸汽高压釜脱蜡,或微波脱蜡。

[0118] 另一个方面是用于形成熔炼坩埚而用于铸造含钛制品的方法。该方法包括:将铝酸钙与液体例如水组合,以产生在液体中的铝酸钙的浆料;将浆料引入到包含易失性模型的容器中;并允许该浆料在坩埚模具型腔内固化,以形成一个用于含钛制品的坩埚。在一个实施例中,该方法还包括,在将浆料引入到坩埚模具型腔之前,将氧化物颗粒,例如中空氧化物颗粒,引向浆料。

[0119] 在一个实施例中,烧制(或称焙烧)步骤是在约800摄氏度至约1700摄氏度的温度下进行一段一小时至48小时之间的时间。约1000摄氏度至约1700摄氏度的温度范围是更优选的,并且保持在最终焙烧温度下达到一小时至8小时的时间是更优选的。

[0120] 如前所述,坩埚的各种实施方式的示例性实例列于图5A和5B中。坩埚固化装置、坩埚模具,和用于制造该坩埚的可移除坩埚腔模型的实施例被示于图6,7 A,7B,7C,8A,8B,

8C,及8D中。

[0121] 如图6所示,在一个实施例中,提供了坩埚模具,其用作可用于定义坩埚外表面的容器。在一个具体的实施例中,坩埚模具被构造成使得它可以装配并被容纳或保持在坩埚固化装置的腔室中。尽管在图6中图示了模具的特定形状,但是,模具并不局限于这种形状。此外,本系统设想使用任何形状的模具,其将生产具有用于熔炼钛或钛合金的腔部的坩埚。在一个实施例中,模具可以由包括但不限于聚氨基甲酸乙酯和类似物的材料制成。

[0122] 如图7A、7B和7C所示,提供了包括腔室50的坩埚固化装置10,腔室50用来与用于坩埚的坩埚模具60(参照图7B和7C)互补。更具体地,图7A-7C示出了坩埚固化装置10,其具有:基体40,所述基体40包括用于将坩埚模具60保持在其中的腔室50;操纵臂30,用于将可移除坩埚腔模型70移入和移出室50,所述操纵臂30包括用于将可移除坩埚腔模型70可移除地联接到操纵臂30末端的适配器部35;和支撑件20,用于将操纵臂30支承和定位在室50上方的所希望的位置,其中,所述坩埚固化装置10被用来生产一坩埚,其满足用于熔炼用来形成含钛制品的钛或钛合金的耐热冲击性。如图7B所示,坩埚模具60包括坩埚模具型腔60,坩埚成分可被浇注入所述坩埚模具型腔60中用于坩埚的固化。

[0123] 执行臂的位置控制模型在坩埚模具型腔中的位置。模型在坩埚模具型腔中的位置控制所述坩埚的壁厚和坩埚壁的厚度的均匀性。在一个实施例中,操纵臂协助定位所述模型,以使坩埚壁的厚度的变化不超过20%,因为壁厚影响坩埚的热性能。具体地说,坩埚壁的壁厚和性能,例如弹性模量、强度、导热性和热膨胀系数,控制该坩埚的耐热冲击性。

[0124] 如果坩埚壁厚在整个坩埚的所有壁中不均匀,那么坩埚壁将不可能升温均匀,这可能导致不希望的热应力出现在坩埚的壁中,并且这些应力可导致坩埚在熔炼过程中在铸造之前出现裂纹,并且熔液从坩埚泄漏。

[0125] 如果坩埚的壁厚在整个坩埚的所有壁中不均匀,则坩埚的壁的弹性刚度和断裂应力将发生变化,并且坩埚壁对该坩埚在熔炼过程中经受的热循环的机械响应将会发生变化,这可能导致不希望的热应力出现在坩埚的壁中,并且这些应力可导致坩埚在熔炼过程中在铸造之前出现裂纹,并且熔液从坩埚泄漏。

[0126] 在一个实施例中,坩埚的壁厚的变化在坩埚的全部体积不超过30%。在另一个实施例中,坩埚的壁厚的变化在坩埚的全部体积不超过20%。在另一个实施例中,坩埚的壁厚的变化在坩埚的全部体积不超过15%。

[0127] 图8A、8B、8C和8D示出了坩埚固化装置在操作过程中的各视图10。转到图8A和8B,坩埚固化装置10被示为具有可移除坩埚腔模型70,其可拆卸地连接到操纵臂30。坩埚模具60被示出为被容纳(例如保持)在坩埚固化设备10的基体40的腔室50中。如图8A和8B所示,在所示的工艺阶段中,可移除坩埚腔模型70仅部分地插入到坩埚模具60的腔部60a。如图8C和8D所示,一旦坩埚浆料成分已经添加到坩埚模具60中,并且一旦可移除坩埚腔模型70已经完全插入到腔室50和坩埚模具60中,则操纵臂30可以在固化阶段从可移除坩埚腔模型70上脱离。

[0128] 再一个方面是一种用于制造坩埚而用于熔炼在形成含钛制品中使用的钛或钛合金的方法,所述方法包括:提供本发明的一坩埚固化装置;将坩埚模具定位在坩埚固化装置的腔室中,所述坩埚模具包括坩埚模具型腔;将包括铝酸钙水泥的浆料引入到定位在腔室中的坩埚模具的坩埚模具型腔内;使该浆料在坩埚模具型腔内固化,以形成用于熔炼用来

形成含钛制品的钛和钛合金的坩埚,其中,所述固化步骤包括,在所述引入步骤之前或在所述引入步骤之后,将浆料围绕在插入坩埚模具腔内的可移除坩埚腔模型周围固化。图8A-8D示出了该方法的各个方面。

[0129] 如上所述,在一个实施例中,在将浆料添加到被容纳在腔室中的坩埚模具中之前,可移除坩埚腔模型可以被引入到坩埚固化装置的腔室中。在本实施例中,将含有可移除坩埚腔模型的操纵臂降低到一个位置,以仍然允许坩埚浆料倒入坩埚模具中。在一个实施例中,含有浆料的铝酸钙被供给到位于模具和可移除坩埚腔模型之间的环形间隙内。或者,在另一实施例中,可移除坩埚腔模型可以包括用于穿过其中浇注坩埚浆料的入口端口,其在将坩埚浆料浇注入模具之前允许可移除坩埚腔模型基本上或完全地插入到坩埚模具中。为了让包含在坩埚模具的任何气体在坩埚浆料的浇注期间逸出,可移除坩埚腔模型或模具还可包括排气口,以在倾注坩埚浆料时允许这种气体逸出坩埚模具。

[0130] 与坩埚固化装置一起使用的坩埚浆料熔模铸造混合物如本文所述。在一个实施例中,将该浆料通过以下工艺制备如下:将铝酸钙与液体组合以产生铝酸钙的浆料,其中在初始铝酸钙/液体混合物中的固体的比例为约60%至约80%并且浆料的粘度为约50至约150厘泊;以及,将氧化物颗粒添加到浆料中,使得带有大尺寸氧化物颗粒的最终的铝酸钙/液体混合物中的固体为约65%至约90%。

[0131] 操纵臂可由能够用作如本文所述的用于可移除坩埚腔模型的适配器的任何材料制成。用于操纵臂的合适材料可包括但不限于,金属,陶瓷,金属或聚合物复合材料,和类似物。可移除坩埚腔模型可以由能够用作易失性模型或用作在坩埚固化过程中当与坩埚模具中的坩埚浆料接触时能承受熔炼的模型的任何材料制成。可移除坩埚腔模型可以插入到坩埚固化装置的腔室内一个适合生产如本文所述尺寸和形状的坩埚的位置。坩埚模具,可移除坩埚腔模型,以及包括工具系统的坩埚固化模型有效协同工作,以形成所述坩埚的内表面和外表面的同心度以确保壁厚的控制。

[0132] 特别地,一旦可移除坩埚腔模型就位在容纳坩埚模具的腔室之中或刚好之上的所需位置,就可将坩埚成分混合物倒入坩埚模具中,然后使其在充分的条件下固化,如本文所述,以允许坩埚成分固化。在固化后,可将可移除坩埚腔模型从腔室缩回,从而留下可以从坩埚模具中取出和用于熔炼钛和钛合金的坩埚,如本文所提供的坩埚。在另一个具体实施例中,在将可移除坩埚腔模型插入到坩埚模具型腔内之前,坩埚成分可被倒入坩埚模具中。在这样的实施例中,在坩埚成分倒入坩埚模具中之后,操纵臂可以被操纵以便以受控的方式降低可移除坩埚腔模型向下并进入到坩埚模具内的一个期望的位置。随着可移除坩埚腔模型接触并浸没入坩埚成分(例如坩埚浆料)中,坩埚混合物被挤回到位于可移除坩埚腔模型和坩埚模具型腔之间的间隙中,过量的坩埚成分被这种物理力移出坩埚模具,直到可移除坩埚腔模型处在坩埚模具中的所需的深度和位置。可移除坩埚腔模型然后被保持在该位置,直到固化过程已经完成。

[0133] 不打算限制本发明的范围,通过操作的方式,在一个实施例中,坩埚固化装置提供了工具组件,其建立了金属模具、可移除聚氨酯坩埚模具衬里和可移除坩埚腔模型的相对位置。所述工具组件控制所述模具和所述可移除坩埚腔模型的轴对称的对准,以及聚氨酯坩埚模具衬里和可移除坩埚腔模型的基体的相对z轴位置。对于轴对称的坩埚几何形状,工具组件被用来保持坩埚腔居于该工具的主体中,以控制在侧面和所得坩埚的基体处的壁厚

度。可移除坩埚腔模型被关于x,y和z坐标定位,并且对于轴对称的几何形状,所述可移除模型的对称轴在可接受的容差范围内与坩埚模腔/可移除聚氨酯坩埚模具衬里的对称轴正确地对齐,以便制造这样的轴对称的坩埚,其壁厚在对于应用而言可接受的公差内是均匀的。

[0134] 将形成的坩埚可以是生坯的坩埚,并且该方法可以进一步包括烧制生坯坩埚。在一个实施例中,所述熔炼坩埚包括一熔模铸造坩埚,例如,用于铸造含钛制品。在一个实施例中,含钛制品包括铝化钛制品。在一个实施例中,熔模铸造坩埚成分包含熔模铸造坩埚成分,用于铸造近净形的铝化钛制品。该近净形的铝化钛制品可包含近净形的铝化钛涡轮叶片。在一个实施例中,该系统涉及由含钛制品铸造坩埚成分形成的坩埚,如本文所教导。另一个方面涉及使用上述的坩埚形成的制品。

[0135] 另一方面是一种用铸造方法制成的钛或钛合金,所述铸造方法包括:获得含有铝酸钙和氧化铝的一熔模铸造坩埚成分;将熔模铸造坩埚成分浇注到含有易失性模型的容器中;将熔模铸造坩埚成分固化;从易失性模型中取下坩埚;烧制坩埚;预加热所述模具至模具铸造温度;在所述坩埚中熔炼钛或钛合金,并且将熔融的合金从坩埚浇注到模具中;使得熔融的钛或钛合金凝固而形成铸件;并从模具中取出固化的钛或钛合金的铸件。在一个实施例中,本发明的系统涉及一种钛或钛合金制品,其由在本申请中教导的熔炼和铸造方法制成。

[0136] 当熔融金属被加热到越来越高的温度时,往往会变得越来越具有反应性(例如经受不希望有的与坩埚表面的反应)。这种反应导致形成污染金属部分的杂质,这导致各种不利后果。杂质的存在改变金属的成分,使得金属可能不符合所希望的标准,从而使得铸件不能用于预期的应用中。此外,杂质的存在可能不利地影响金属材料的机械性能(例如,降低材料的强度)。

[0137] 一个方面涉及一种用于熔炼和铸造含钛制品的坩埚成分,其包括铝酸钙。该坩埚成分还包含中空氧化铝颗粒。所述制品可包括金属制品。在一个实施例中,所述制品包括含铝化钛的制品。在另一个实施例中,所述制品包括铝化钛涡轮叶片。在又一个实施例中,该制品包括近净形的铝化钛涡轮叶片。这个近净形的铝化钛涡轮叶片,在操作应用场合如气体涡轮机或飞机发动机中安装之前,可能需要很少的材料去除或没有材料去除。

[0138] 示例

[0139] 本发明已被一般性地描述,可以通过参考以下示例更容易地理解本发明,这些示例被包括在此仅仅是用于说明和解释本发明的某些方面和实施例,并且并非意图以任何方式限制本发明。

[0140] 图2A-2B示出了经过高温烧制的坩埚微结构的一个示例。显示了在1000摄氏度下焙烧的该坩埚的横截面的背散射电子成像扫描电子显微镜图像,其中,图2A-2B指向存在的空心氧化铝颗粒110,坩埚的本征表面涂层112,坩埚的本体114,和坩埚上的通往坩埚腔的内表面116。图2A-2B还指向铝酸钙水泥120,并且更具体地涉及精细尺度的铝酸钙水泥120,它提供了表面涂层和坩埚的本体的骨架结构。在一个实例中,铝酸钙水泥包括单铝酸钙和二铝酸钙。

[0141] 图3示出在高温烧制后的坩埚的表面涂层的微观结构的一个例子。显示了在1000摄氏度下焙烧的该坩埚的横截面的背散射电子成像扫描电子显微镜图像,其中图3指向铝酸钙水泥120,其表现为本征表面涂层的微观结构的一部分。图3还指向精细尺度(小于50微

米)的氧化铝颗粒110a,因为它们不同于大尺寸的氧化铝不同,并且还示出了坩埚/坩埚的内表面116,以及本征表面涂层112区域。

[0142] 如图4A所示,该方法包括,705:将铝酸钙与液体组合以产生在液体中的铝酸钙的浆料。在初始铝酸钙/液体混合物中的固体的比例为约70%至约80%,且浆料的粘度为约50至约150厘泊。在一个实施例中,707:将氧化物颗粒加入到浆料中,使得具有大尺寸(大于50微米)氧化物颗粒的最终铝酸钙/液体混合物中的固体为约75%-约90%。710:将铝酸钙浆料引入到包含易失性模型的坩埚模具型腔中。浆料被允许在坩埚模具型腔内固化以形成坩埚。

[0143] 如图4B所示,该方法包括,725:获得一含有铝酸钙和氧化铝的熔模铸造坩埚成分。在一个示例中,铝酸钙与液体组合以产生铝酸钙的浆料,其中,具有较大尺寸氧化铝的最终铝酸钙/液体混合物中的固体为约75%至约90%。730:将熔模铸造坩埚成分倒入含有易失性模型的容器中。735:将熔模铸造坩埚固化,从而提供铸造坩埚成分。740:将易失性模型从坩埚中移除,并对坩埚进行烧制。745:将所述铸模预加热到一模铸温度,并且750:将熔融的钛或钛合金倒入加热的模具中。755:将熔融的钛或钛合金固化并形成固化的钛或钛合金铸件。最后,760:将固化的钛或钛合金铸件从模具中取出。

[0144] 将铝酸钙水泥与氧化铝混合以形成熔模铸造坩埚混合物,以及对熔模铸造坩埚化学组成的范围进行测试。在一个实例中,熔模铸造混合物包括:含有70%氧化铝和30%氧化钙的铝酸钙水泥,氧化铝颗粒,水,和胶态二氧化硅。在其它实例中,所测试的熔模铸造混合物包括:含80%氧化铝和20%氧化钙的铝酸钙水泥,氧化铝颗粒,水,和胶态二氧化硅。

[0145] 在第一实施例中,制作一用于制造坩埚制造所用熔模铸造混合物的典型的浆料混合物,其包括:1200克的80%铝酸钙水泥,652克的0.5-1mm直径尺寸范围内的高纯度氧化铝颗粒,408克的去离子水,和40克的胶态二氧化硅,Remet LP30。在其它实施例中使用的其它合适的胶态二氧化硅包括Remet SP30,Nalco 1030,Ludox。该配方被用来产生两个大约60毫米内部直径、长150mm、8毫米壁厚的坩埚。坩埚被固化,脱蜡,并烧制。如此制得的坩埚被成功地用于浇铸铝化钛构件,其具有小于5000PPM的氧含量。该坩埚还具有每立方厘米小于2克的密度。该低密度可以提供改良的对熔炼时的热冲击的耐受性。

[0146] 通过将水泥、水和胶态二氧化硅在容器中混合,来制备用于制造坩埚的陶瓷混合物。优选使用高剪切形式的混合。如果没有被正确混合,则水泥会胶凝,并且将得到不能使用的混合物。当水泥是在混合物中悬浮时,将较大尺寸的氧化铝颗粒(例如0.5-1.0毫米)加入并与水泥-氧化铝配方混合。最终混合物的粘度是很重要的;它必须不能太低或太高,这将在随后描述。

[0147] 在混合后,将熔模铸造混合物以受控的方式倾倒入包含易失性模型的容器中,易失性模型通常是例如由蜡制成。该容器提供坩埚的外部形状,并且易失性模型产生内部几何形状(参见图7A-7C和8A-8D关于用于制备坩埚的工具和模具)。正确的倾倒速度是很重要的;如果倾倒速度太快,空气可能被夹带到在坩埚中,如果倾倒速度太慢,可以出现水泥和氧化铝颗粒的分离。

[0148] 坩埚的壁厚与坩埚直径之比约为1:10。本征表面涂层厚度与壁厚之比为1:50。本征表面涂层厚度约为100微米。

[0149] 在第二示例中,使用浆料混合物来生产两个较小的坩埚,所述浆料混合物包含:

1200克的80%铝酸钙水泥,652克的从0.5-1毫米直径尺寸范围内的高纯度氧化铝泡沫材料,408克的去离子水,和40克的Remet LP30,胶态二氧化硅。高纯度氧化铝泡沫材料为坩埚提供降低的密度和改进的耐热冲击性。铝酸钙水泥的重量比值为65%,而高纯度氧化铝泡沫材料的重量比值是35%。这两个坩埚具有大约50毫米的内径,和90毫米的长度。然后将坩埚固化并在1600摄氏度的温度下烧制1小时。该坩埚具有的本征表面涂层包含铝酸钙相,该表面涂层的厚度为大约100微米。如此制得的坩埚被成功地用于熔炼铝化钛板坯铸件,其具有良好的表面光洁度而用于机械性能测量。

[0150] 铝酸钙相与水反应的速率控制坩埚制造中熔模铸造混合物的工作时间;这个时间应在30秒与10分钟之间。如果熔模铸造混合物的工作时间太短,则没有足够的时间制作具有薄壁几何形状的大坩埚。如果熔模铸造混合物的工作时间过长,则铝酸钙水泥没有足够快速地固化,使得可发生精细尺度水泥与大尺寸氧化铝的分离,这可能导致一个偏析的坩埚,其中所述配方会变化,得到的坩埚特性并不均匀。

[0151] 水泥中的组成相构成了该坩埚的连续本征表面涂层,并为坩埚的本体提供了粘合剂,这是本系统的一个特点。铝酸钙水泥中的三个相是单铝酸钙(CaAl_2O_4)、二铝酸钙(CaAl_4O_7)和钙铝石($\text{Ca}_{12}\text{Al}_{14}\text{O}_{33}$),并且发明人作出此选择以实现多种目的。首先,这些相必须能够溶解或部分溶解,并形成悬浮液,其在后续的熔模铸造坩埚浆料中能够支持所有的团聚相。其次,这些相必须促进在浇注后坩埚的沉淀或固化。第三,这些相必须在固化、烧制以及熔炼阶段为坩埚提供强度。第四,这些相必须展示与在坩埚内熔炼的钛合金之间的最小反应。在坩埚中的铝酸钙水泥/粘合剂中以及在坩埚的表面涂层中的三个相是单铝酸钙(CaAl_2O_4)、二铝酸钙(CaAl_4O_7)和钙铝石($\text{Ca}_{12}\text{Al}_{14}\text{O}_{33}$)。钙铝石结合在坩埚中,因为它是一种快速固化的铝酸钙,它在固化的早期阶段为坩埚的表面涂层和本体提供了强度。固化应该在低温下进行,因为易失性蜡模型是温度敏感的,并且在热暴露于大约35°C以上时会失去它的形状和性能。优选的是,在低于30°C的温度下固化该坩埚。

[0152] 应当理解的是,上面的描述旨在是说明性的,而不是限制性的。例如,上述实施例(和/或其方面)可用于彼此结合。此外,许多的修改可以作出以使特定的情况或材料适合于各种实施例的教导,而不脱离其范围。

[0153] 尽管本文所描述的材料尺寸和类型意在限定各种实施例的参数,它们绝非限制性的,而仅仅是示范性的。许多其它实施例在本领域的技术人员阅读了上面的描述后将是显而易见的。因此,各种实施例的范围应参考所附的权利要求以及这些权利要求的等同物的全部范围来确定。

[0154] 在所附权利要求中,“包括”、“其中”的术语用作各自的术语“包含”和“其中”的纯英语等同物。另外,在下面的权利要求书中,术语“第一”,“第二”和“第三”等仅仅用作标签,并且并非旨在对其对象强加数字要求。此外,下列权利要求的限制没有写成装置加功能的格式,并且并非旨在基于美国法典35 U.S.C第§112章节第六段来解释,除非并直到该权利要求限制明确地使用短语“用于…的装置”并在后文跟随没有进一步结构的功能限定。

[0155] 应当理解的是,不一定所有这类上述目的或优点可根据任何特定的实施例来实现。因此,例如,本领域的技术人员将认识到,本文中所描述的系统和技术可体现或实现或优化如本文所教导的一个优点或一组优点,而不必实现如本文所教导或提出的其它目的或优点。

[0156] 尽管本发明已经结合仅仅有限数量的实施例详细地进行了描述,但是应当容易理解的是,本发明并不限于这些公开的实施例。相反,本发明可以被修改,以结合任何数量的此前未描述但与本发明的精神和范围相称的变化、变更、替换或等同布置。

[0157] 此外,尽管已经描述了本发明的各种实施例,但是应当理解的是,本发明的方面可仅包括其中一些所述的实施例。因此,本发明不应被视为局限于前面的说明书描述,而是仅由所附权利要求的范围来限定。

[0158] 本说明书的书面描述使用实例来公开本发明,包括最佳模式,并且还使任何本领域技术人员能够实施本发明,包括制造和使用任何装置或系统以及执行任何所结合的方法。本发明的专利范围由权利要求限定,并且可包括本领域技术人员容易想到的其他实施例。这些其他实例旨在被包含在权利要求的范围内,如果它们具有不与权利要求的字面语言不同的结构元素,或者如果它们包括与权利要求的字面语言无实质差异的等同结构元素。

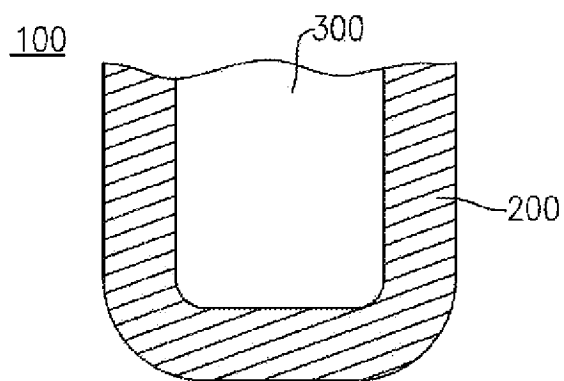


图 1A

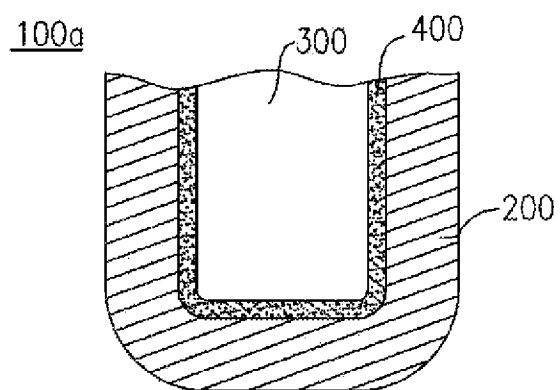


图 1B

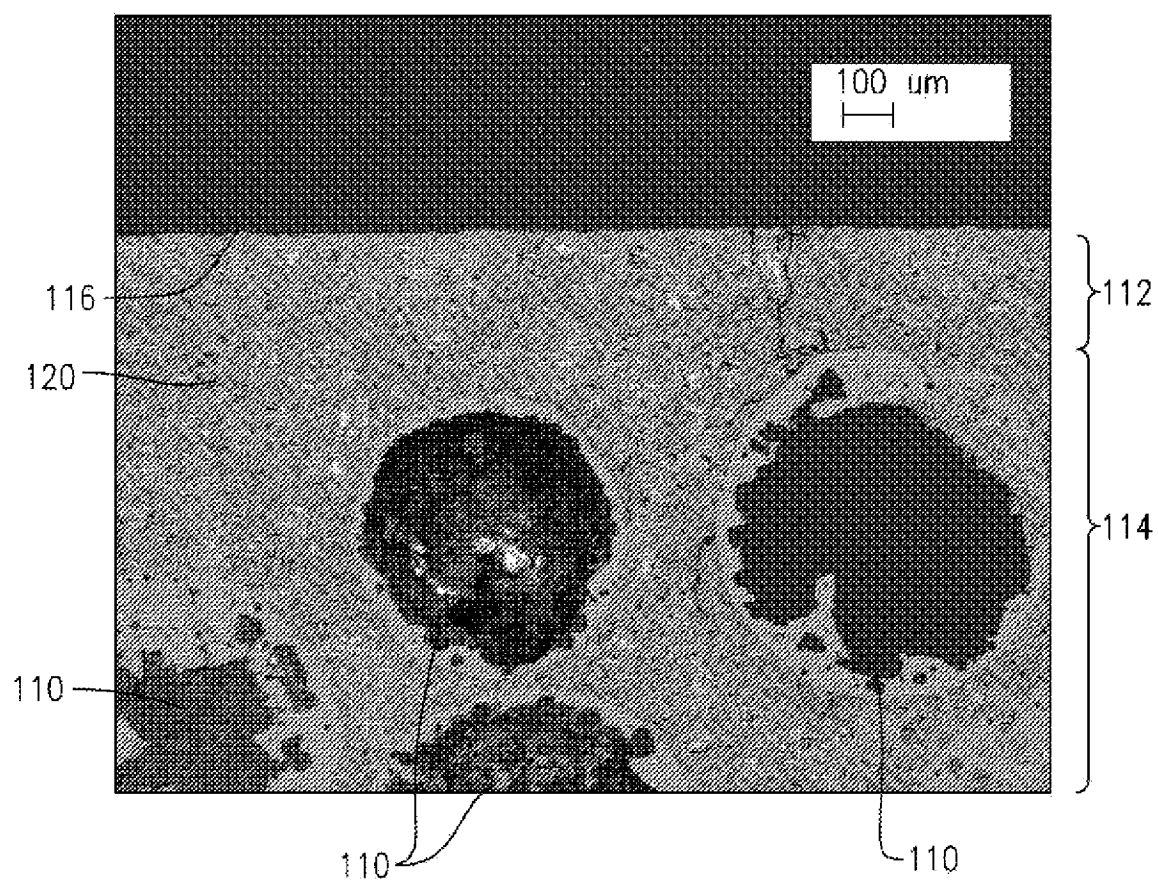


图 2A

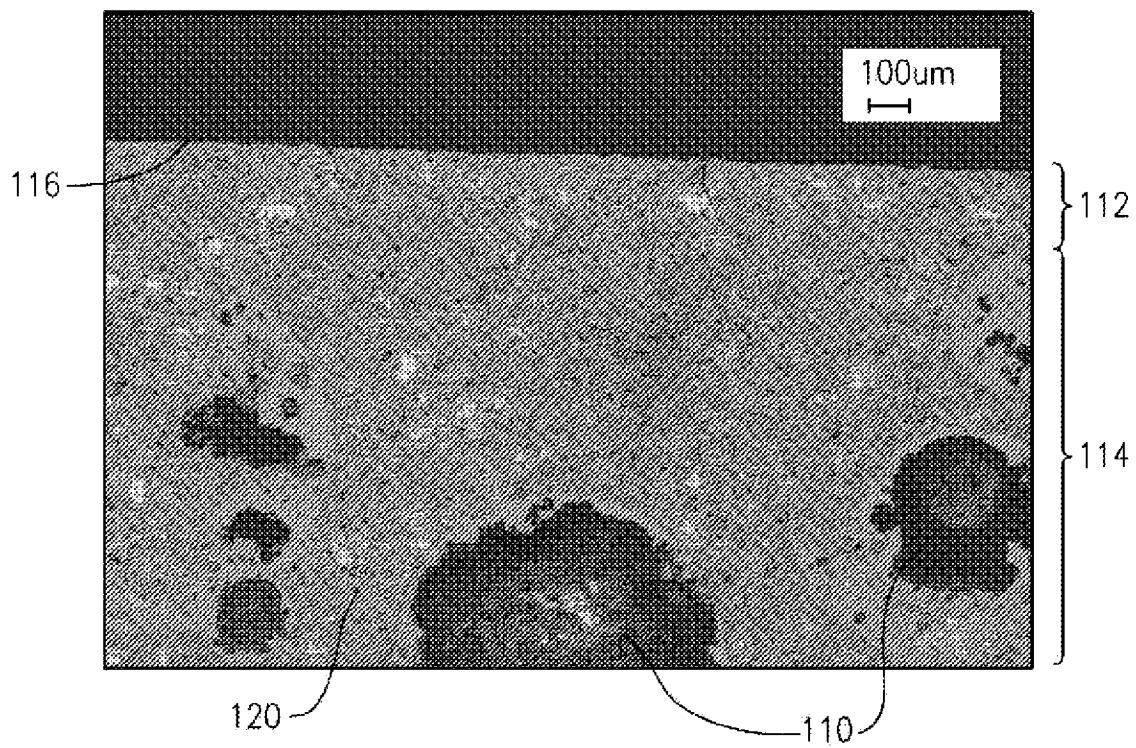


图 2B

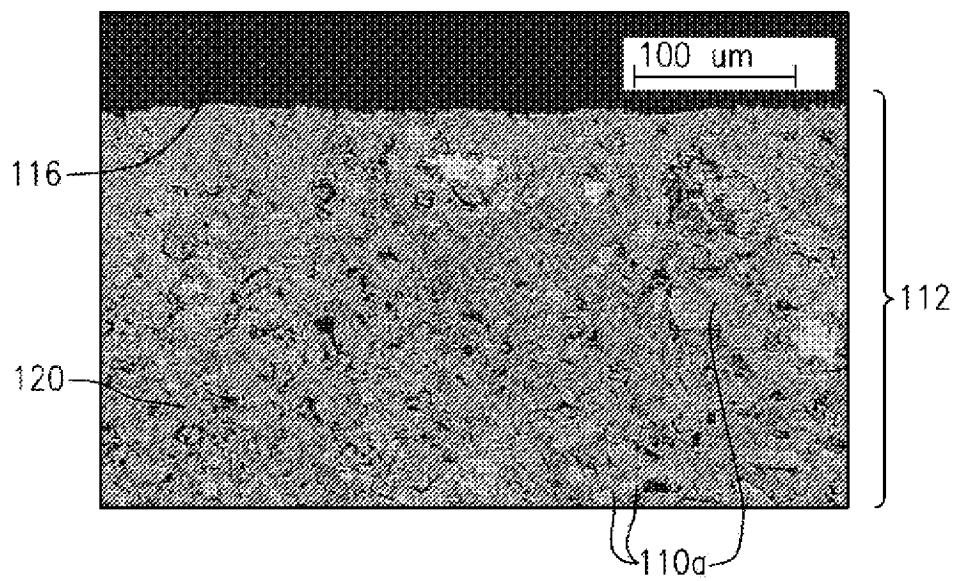


图 3

700

将铝酸钙与液体组合以产生在液体中的铝酸钙的浆料	705
将氧化物颗粒加入到浆料中(可选)	707
将浆料引入到包含易失性模型的坩埚模具中	710
允许浆料在坩埚模具内固化以形成坩埚	715

图 4A

700

获得一含有铝酸钙和氧化铝的熔模铸造坩埚成分	725
将熔模铸造坩埚成分倒入含有易失性模型的容器中	730
将熔模铸造坩埚固化	735
将易失性模型从坩埚中移除	740
对坩埚进行烧制	745
将模具预加热到一模铸温度	750
将熔融的钛或钛合金倒入该加热的模具中	755
将熔融的钛或钛合金固化并形成固化的钛或钛合金铸件	
将固化的钛或钛合金铸件从该模具中取出。	760

图 4B

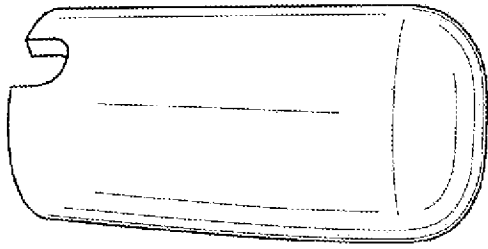


图 5A

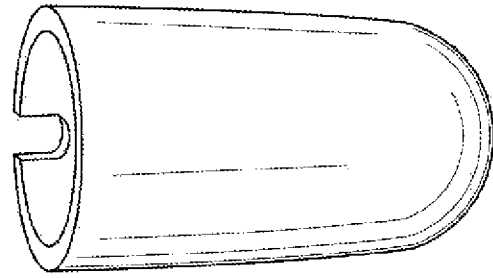


图 5B

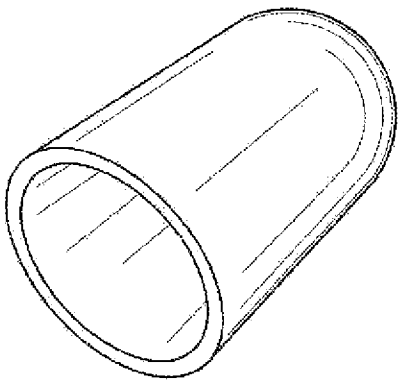


图 6

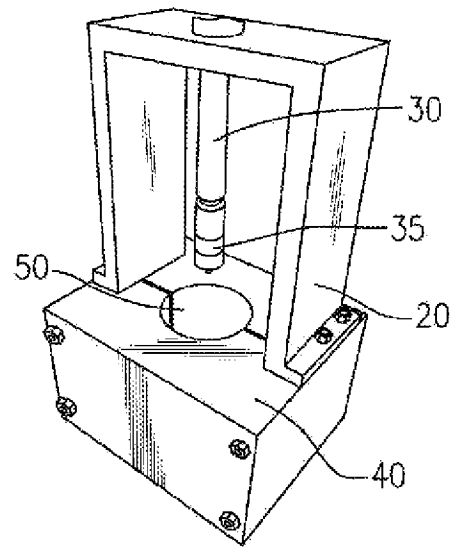
10

图 7A

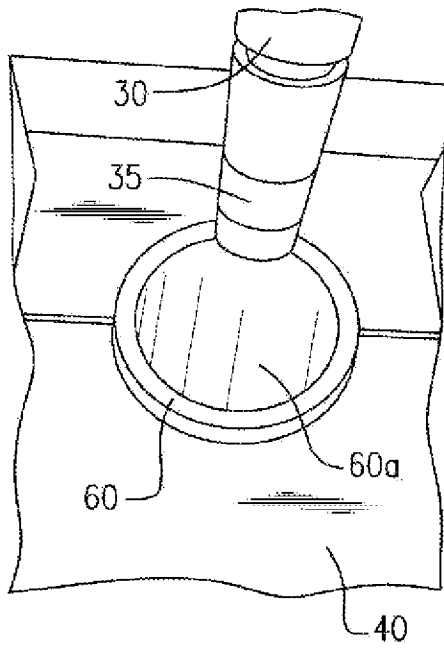


图 7B

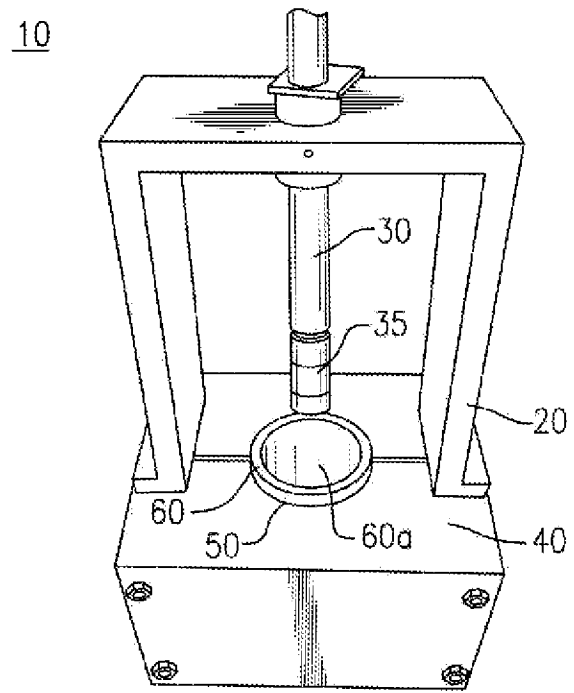


图 7C

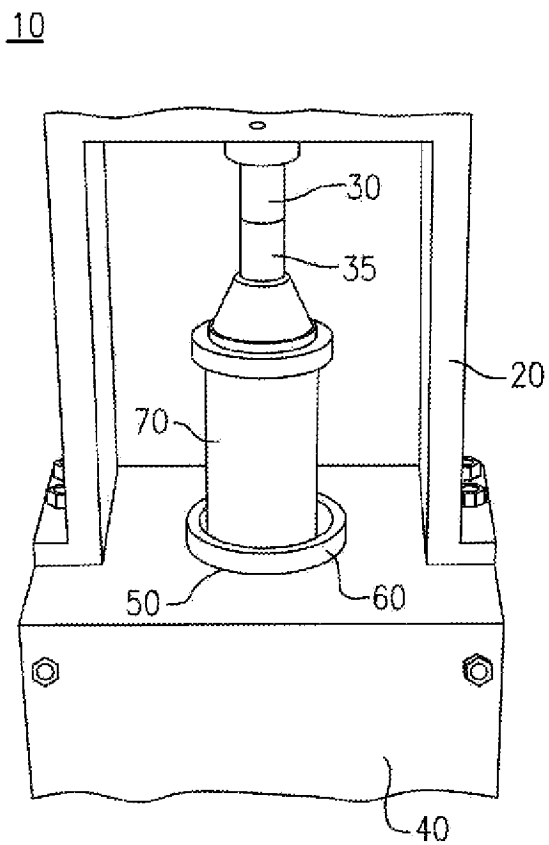


图 8A

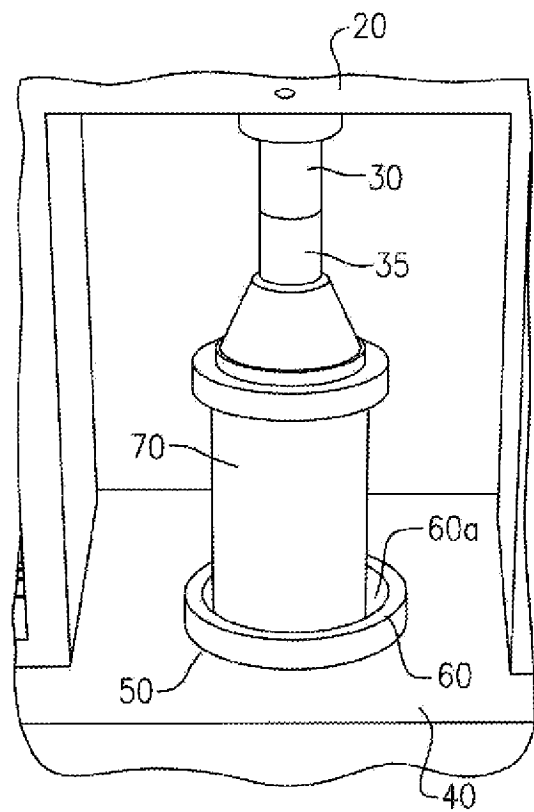


图 8B

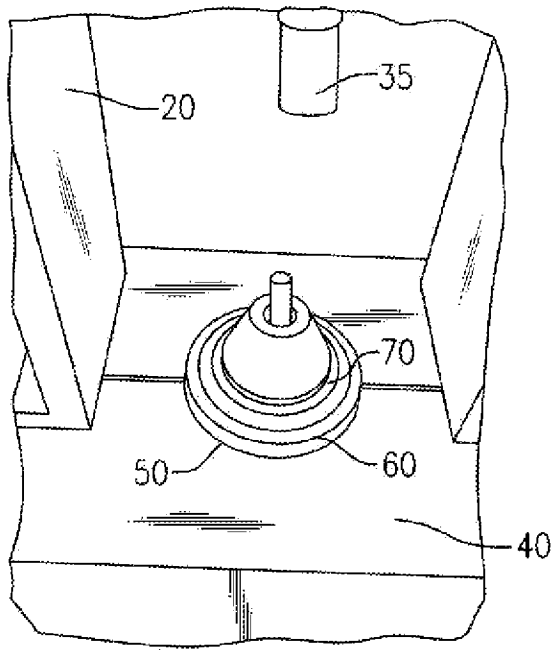


图 8C

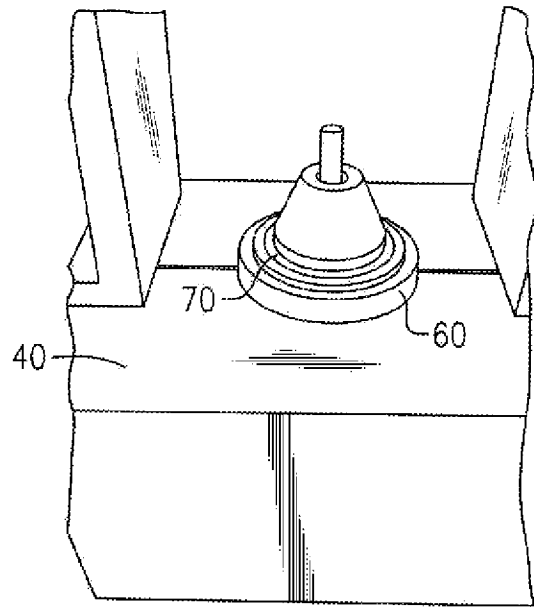


图 8D