



# (12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 110050081 A

(43)申请公布日 2019.07.23

(21)申请号 201780063016.9

(74)专利代理机构 北京品源专利代理有限公司  
11332

(22)申请日 2017.10.03

代理人 刘明海 胡彬

(30)优先权数据

1617227.2 2016.10.11 GB

(51)Int.Cl.

G22C 19/05(2006.01)

(85)PCT国际申请进入国家阶段日

2019.04.11

(86)PCT国际申请的申请数据

PCT/GB2017/052964 2017.10.03

(87)PCT国际申请的公布数据

W02018/069672 EN 2018.04.19

(71)申请人 东喀斯特有限公司

地址 英国斯塔福德郡

(72)发明人 汤姆·塞勒斯 约翰·斯考菲尔德

理查德·乔治

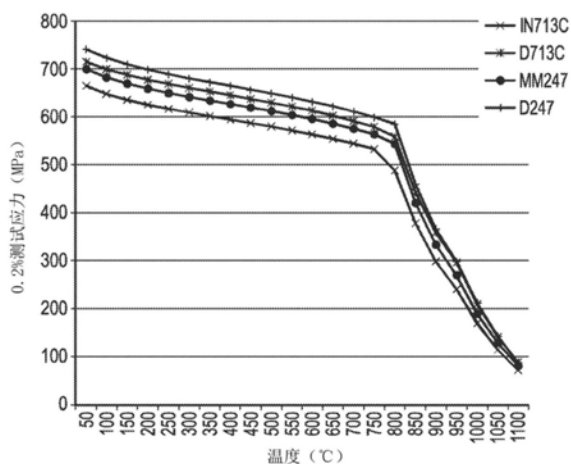
权利要求书2页 说明书9页 附图3页

(54)发明名称

镍合金

(57)摘要

本发明涉及适合在高温环境下使用的镍合金。例如，本发明的镍合金可在高于800°C的温度下使用。该镍合金可用于汽车工业，例如用于涡轮增压器涡轮机涡轮。



1. 一种镍合金,其包含或由以下组成:
  - 0.01至0.3wt%的碳,
  - 7.0至15.0wt%的铬,
  - 0至12.0wt%的钴,
  - 3.0至7.0wt%的钼,
  - 0.1至9.5wt%的钨,
  - 1.0至3.0wt%的铌,
  - 0至2.0wt%的钽,
  - 0.5至2.0wt%的钛,
  - 3.5至7.0wt%的铝,
  - 0至3.0wt%的硼,
  - 0.01至0.1wt%的锆;和
  - 0.1至1.0wt%的钪或0.1至1.0wt%的钒,组成的余量为镍和附带杂质。
2. 如权利要求1所述的镍合金,其中,碳以0.05至0.2wt%的范围存在。
3. 如前述权利要求中任一项所述的镍合金,其中,铬以7.5至13wt%的范围存在。
4. 如前述权利要求中任一项所述的镍合金,其中,钼以3.5至5.5wt%的范围存在。
5. 如前述权利要求中任一项所述的镍合金,其中,铌以1.8至2.5wt%的范围存在。
6. 如前述权利要求中任一项所述的镍合金,其中,钛以0.6至1.2wt%的范围存在。
7. 如前述权利要求中任一项所述的镍合金,其中,铝以5.0至7.0wt%的范围存在。
8. 如前述权利要求中任一项所述的镍合金,其中,硼以0.005至0.02wt%的范围存在。
9. 如前述权利要求中任一项所述的镍合金,其中,锆以0.03至0.08wt%的范围存在。
10. 如前述权利要求中任一项所述的镍合金,其中,钪以0.2至0.7wt%的范围存在。
11. 如前述权利要求中任一项所述的镍合金,其中,钒以0.1至0.4wt%的范围存在。
12. 如前述权利要求中任一项所述的镍合金,其中,钴任选地以9至11wt%的范围存在。
13. 如前述权利要求中任一项所述的镍合金,其中,钽任选地以0.5至1wt%的范围存在。
14. 如前述权利要求中任一项所述的镍合金,其中,钨以0.1至1.0wt%或5至9wt%的范围存在。
15. 如前述权利要求中任一项所述的镍合金,其中,铁以0.5wt%或1wt%的量存在。
16. 如权利要求1所述的镍合金,所述合金包含:
  - 0.1wt%的碳
  - 12.5wt%的铬,
  - 4.0wt%的钼,
  - 0.5wt%的钨,
  - 2.0wt%的铌,
  - 0.8wt%的钛,
  - 6.6wt%的铝,
  - 0.01wt%的硼,

0.06wt%的锆;和  
0.25wt%的钒,  
组成的余量为镍和附带杂质。

17. 如权利要求1所述的镍合金,所述合金包含:

0.16wt%的碳  
8.2wt%的铬,  
10wt%的钴,  
5.0wt%的钼,  
7.0wt%的钨,  
2.2wt%的铌,  
0.8wt%的钽,  
1.0wt%的钛,  
5.5wt%的铝,  
0.015wt%的硼,  
0.05wt%的锆;和  
0.5wt%的铪,  
组成的余量为镍和附带杂质。

## 镍合金

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种镍合金。特别地，该镍合金是在高温（例如高于800℃）下使用的镍超合金。本发明的合金可用于航空航天或汽车工业，例如用于涡轮增压器涡轮机涡轮。

### 背景技术

[0002] 随着发动机设计者面临提高燃料效率的不断挑战，发动机被设计成将燃料燃烧得更热并更清洁。所有发动机类型都是如此，特别是汽车内燃机。提高效率和更热燃料燃烧的需要不可避免地导致涡轮增压器入口温度的温度上升趋势。一些新发动机被设计成在1050℃及以上的涡轮机入口温度下运行，这超过了普遍存在的涡轮增压器涡轮机涡轮合金IN713C的温度性能。

[0003] 在涡轮增压器行业中正在研究其他合金，尽管这些合金主要是从燃气轮机应用中借用的合金。Mar-M247是新型高温涡轮机涡轮的主要可选合金之一，虽然它含有Ta和Hf而导致它的价格是IN713C的四倍。在将成本保持在最低水平是赢得市场份额的关键因素的行业中，非常需要开发定制的低成本、高温性能合金。因此，本发明某些实施方案的目的是提供一种镍合金，其具有与已知合金相当或改善的性能，更便宜。

[0004] 与现有技术合金相比，本发明的实施方案还旨在提供改善的高温拉伸性能和高温断裂寿命。

[0005] 由于较新的涡轮增压器中存在升高的温度。由于氧化和腐蚀性磨损而发生金属组分降解的倾向增加。因此，本发明的实施方案旨在提供改善的高温氧化和/或腐蚀性能。现有技术合金可能具有类似的成本或更高的成本。

[0006] 涡轮机涡轮的材料选择中的另一个主要因素是合金密度，因为涡轮机涡轮惯性对涡轮机涡轮的旋转加速度具有很大影响。由具有高密度的合金铸造的涡轮将很重并且导致涡轮增压器表现出涡轮迟滞。因此，本发明某些实施方案的目的是提供一种具有有益密度的合金（即低于现有技术合金Mar-M247和IN713C），任选地同时还降低了成本。

[0007] 如前所述，存在汽车涡轮增压器涡轮机中的运行温度持续增加的趋势。这导致设计者研究在运行温度超过其能力时替代IN71C的合金。在本发明的实施方案中，还旨在以与IN713C相同的成本设计高温合金，用于中温（850℃-1000℃）涡轮增压器涡轮机涡轮。

### 发明内容

[0008] 根据本发明，提供了一种镍合金。所述镍合金包含：

[0009] 0.01至0.3wt%的碳；

[0010] 7.0至15.0wt%的铬；

[0011] 0至12.0wt%的钴；

[0012] 3.0至7.0wt%的钼；

[0013] 0.1至9.5wt%的钨；

[0014] 1.0至3.0wt%的铌；

- [0015] 0至2.0wt%的钽；
- [0016] 0.5至2.0wt%的钛；
- [0017] 3.5至7.0wt%的铝；
- [0018] 0至3.0wt%的硼；
- [0019] 0.01至0.1wt%的锆；和
- [0020] 0.1至1.0wt%的钪或0.1至1.0wt%的钒；
- [0021] 组成的余量为镍和附带杂质。
- [0022] 如上所述，镍构成所述合金的余量。所述镍可任选地以所述合金的40至80wt%的量存在。
- [0023] 在本发明的合金中，碳具有增加抗蠕变性的效果。碳与Ti、Mo、Cr、Nb、Ta和Hf形成碳化物，其作为初级MC碳化物、次级M<sub>6</sub>C和M<sub>23</sub>C<sub>6</sub>碳化物存在于Ni超合金中。碳化物具有各种功能，并且既作为穿晶碳化物又作为晶间（晶界）碳化物存在。大的穿晶MC碳化物的存在由于其抑制位错运动而具有强化合金矩阵的效果。小的不连续晶界碳化物充当钉扎相，其增加了抗蠕变性。在实施方案中，碳可以以0.05至0.2wt%的范围存在。可选地，碳可以以0.7至0.13wt%或0.13至0.19wt%的范围存在。优选地，碳以0.95至1.05wt%（例如0.1wt%）或0.155至0.165wt%（例如0.16wt%）的量存在。
- [0024] 铬增加强度和耐腐蚀性。铬作为固溶强化剂存在于 $\gamma$ 矩阵中，其也形成保护性氧化物层，Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>。Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>在限制金属元素向外扩散的速率和限制大气元素（例如O、N、S）向内扩散的速率方面特别有效。在实施方案中，铬以7.5至13wt%的范围存在。可选地，铬可以以12.35wt%至12.65wt%或8.05至8.35wt%的量存在。优选地，铬以12.45至12.55wt%（例如12.5wt%）或8.15至8.25wt%（例如8.2wt%）的量存在。
- [0025] 镍是本发明合金的基本元素，并且在合金中形成 $\gamma$ 和 $\gamma'$ 次级相沉淀的基础。 $\gamma$ 和 $\gamma'$ 之间的小的晶格错配是Ni合金的高温稳定性的原因。
- [0026] 钴增加强度和相稳定性。钴的掺入导致 $\gamma'$ 溶线温度升高。钴是一种固溶强化元素，并且由于具有与Ni相似的原子直径，因此其是一种 $\gamma$ 稳定剂。在实施方案中，钴任选地以9至11wt%的范围存在。因此，钴可以不存在于本发明的合金中（除了任何潜在的附带杂质）或以所公开的范围存在。钴可以以9.8至10.2wt%的量存在。优选地，钴以9.95至10.05wt%（例如10.0wt%）的量存在。
- [0027] 钴存在的情况下，其优选存在于包含钪的本发明的合金中。钴存在于本发明的合金中的情况下，所述合金还包含本文其他地方公开的量的钽和钪。
- [0028] 在钴不存在的实施方案中，所述合金优选包含本文其他地方公开的量的钒。可选地，在钴不存在的情况下，所述合金优选不包含钽，不包含钪但包含钒。
- [0029] 存在钼和钨以增加合金的固溶强度。它们还具有通过 $\gamma$ 稳定化来增加相稳定性的效果。这是形成大的MC碳化物的另一个重要因素。
- [0030] 在实施方案中，钼以3.5至5.5wt%的范围存在。可选地，钼以3.8至4.2wt%或4.8至5.2wt%的量存在。优选地，钼以3.95至4.05wt%（例如4.0wt%）或4.95至5.05wt%（例如5wt%）的量存在。
- [0031] 在实施方案中，钨以0.1至1.0wt%或5至9wt%的范围存在。可选地，钨以0.3至0.7wt%或6.8至7.2wt%的量存在。优选地，钨以0.45至0.55wt%（例如0.5wt%）或6.95至

7.05wt% (例如7.0wt%) 的量存在。

[0032] 铌在  $\gamma$  相和  $\gamma'$  相中都增加了合金的强度。由于原子直径大,它是一种强固溶强化剂。与所述合金的其他组分一样,铌对于形成大的MC碳化物是重要的。在实施方案中,铌以1.8至2.5wt%的范围存在。任选地,铌以1.8至2.2wt%或2.0至2.4wt%的量存在。优选地,铌以1.95至2.05wt% (例如2.0wt%) 或2.15至2.25wt% (例如2.2wt%) 的量存在。

[0033] 与铌一样,由于大的原子直径,钽是一种强固溶强化剂并形成大的MC碳化物。在实施方案中,钽以0.5至1wt%的范围存在。任选地,钽以0.6至1.0wt%的量存在。优选地,钽以0.75至0.85wt% (例如0.8wt%) 的量存在。因此,在一些实施方案中,还将钽添加至含钴合金,使得合金含有钽和钴。这代表了一个优选实施方案。同样地,如果不存在钽和钴中的一种,则为另一种不存在的另一优选实施方案,其中所述合金不含钽或不含钴。

[0034] 钛增加了所述合金的高温强度,这对于镍超合金的应用 (例如汽车,例如涡轮增压器,和航空航天工业,例如涡轮机) 是重要的。钛形成  $\gamma'$ ,  $\text{Ni}_3(\text{Al}, \text{Ti})$ , 这是Ni基超合金的高温强度的原因。在实施方案中,钛以0.6至1.2wt%的范围存在。可选地,钛以0.6至1.0wt%或0.8至1.2wt%的量存在。优选地,钛以0.75至0.85wt% (例如0.8wt%) 或0.95至1.05wt% (例如1.0wt%) 的量存在。

[0035] 铝形成  $\gamma'$  次级相沉淀并增加Ni超合金的高温强度。通过在合金表面上形成抗扩散保护性氧化物层,铝也是耐腐蚀性的原因。在实施方案中,铝以5.0至7.0wt%的范围存在。可选地,铝以6.4至6.8wt%或5.3至5.7wt%的量存在。优选地,铝以6.55至6.65wt% (例如6.6wt%) 或5.45至5.55wt% (例如5.5wt%) 的量存在。

[0036] 存在硼以改善应力断裂寿命。硼以硼化物的形式存在于晶界处,这提供了改善应力断裂寿命的有益效果。在实施方案中,硼以0.005至0.02wt%的范围存在。在实施方案中,硼以0.01至0.02wt%的范围存在。优选地,硼以0.005至0.015wt% (例如0.010wt%) 或0.0145至0.00155wt% (例如0.0015wt%) 的量存在。

[0037] 锆还可以改善应力断裂寿命,并进一步提供晶界细化剂的效果。添加少量锆可改善应力断裂寿命并抑制裂缝的形成。在实施方案中,锆以0.03至0.08wt%的范围存在。可选地,锆以0.05至0.07wt%或0.04至0.06wt%的量存在。优选地,锆以0.055至0.065wt% (例如0.060wt%) 或0.045至0.055wt% (例如0.050wt%) 的量存在。

[0038] 铪是一种主要的碳化物形成剂,并且改善抗蠕变性和应力断裂性能。铪还强化了晶界。在实施方案中,铪以0.2至0.7wt%的范围存在。可选地,铪以0.4至0.6wt%的量存在。优选地,铪以0.45至0.55wt% (例如0.5wt%) 的量存在。

[0039] 钒作为碳化物形成剂和固溶强化剂存在。在实施方案中,钒以0.1至0.4wt%的范围存在。可选地,钒以0.2至0.3wt%的量存在。优选地,钒以0.245至0.255wt% (例如0.25wt%) 的量存在。

[0040] 铪和钒通常不一起存在于本发明所述合金中,除非一种仅作为附带杂质出现。因此,所述合金含有0.1至1.0wt%的铪或0.1至1.0wt%的钒。

[0041] 在实施方案中,为了提供有效的固溶强化元素,添加所述量的Mo (5wt%) 和Nb (2.2wt%)。

[0042] 在实施方案中,添加6.6wt%的Al,以增加  $\gamma'$  部分。 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 在高温下也被认为是比 $\text{Cr}_2\text{O}_3$ 更有效的保护性氧化物层,因此在实施方案中,Cr以12.5wt%存在以保持 $N_V$ 降低。Mo以

4.0wt%存在,且W以0.5wt%存在。

[0043] 在本发明的实施方案中,所述合金还包含铁和/或镁。镁优选以0.0002至0.008wt%的量存在于本发明所述合金中。铁不存在或以0.4至1.2wt%、0.3至0.7wt%,或0.8至1.2wt%、任选1.0wt%或0.5wt%的量存在。

[0044] 除了上面提到的有意添加的元素之外,本发明所述合金不可避免地含有其他痕量元素。这些痕量元素对所述合金的工艺性能没有影响,或者在某些情况下对所述合金有很小的不利影响。然而,考虑到这些额外的元素在合金中出现的相对较小的水平,它们可被视为附带杂质。这些附带元素包括氮、氧、硫和磷。氧形成氧化物,这些氧化物是应力集中剂,并导致开裂。氮通过氮化物的形成导致开裂和孔隙。硫通过作为晶界脆化剂而不利于所述合金成分的有益应力断裂效应。硫还会引起保护性氧化层的剥落,降低高温氧化性和耐腐蚀性。硫还可降低抗热氧化性。磷也是一种晶界脆化剂。当存在相对低含量的这些元素中的一种或多种时,不会显著影响合金的性质。

[0045] 在一些情况下,本发明的合金可具有最大浓度为50ppm的氧。独立地,合金可具有最大浓度50ppm的氮。所述合金还可以独立地具有最大浓度为100ppm的硫。类似地,所述合金也可以独立地具有最大浓度为100ppm的磷。本领域技术人员将理解这些元素可能在何时以及以何种量出现并被容许,这取决于所述合金中组分元素的来源。

[0046] 某些金属也可作为附带杂质存在于本发明所述合金中。例如,铁可作为痕量组分存在于一种或多种主要组分元素中,并可由此进入本发明的最终合金。然而,不有意添加铁,并且未观察到其在可能存在的低水平下对合金性质的技术效果。当存在时,铁的含量可高达1.5%wt,但通常含量为1.0%wt或更低,并且在某些情况下可能完全不含铁。

[0047] 可存在于本发明所述合金中的另一种附带杂质是硅。硅可以以最多0.15wt%或最多0.10wt%的量存在。例如,硅可以以最多0.05wt%的量存在。

[0048] 根据主要元素组分的来源,本发明的合金有时可含有少量镁作为附带杂质。镁(如果存在的话)通常少量存在,以至于其本身似乎没有任何技术效果,因此其可以被认为附带杂质。在某些情况下,本发明的合金包括最多0.008wt%的镁作为附带杂质。

[0049] 在某些情况下,镁可能具有与可能存在的任何硫反应的有益效果。如果是这样,这可有助于改善晶粒键合延展性。

[0050] 铜是低量下不会影响本发明所述合金的另一种金属。因此,当存在时,可容许铜的量最高至少0.02wt%,而对合金的性质没有任何可观察到的影响。铜可以被视为附带元素。

[0051] 本发明所述合金的某些组分被指定为任选存在。技术人员应理解,在任选存在合金组分的情况下,所述组分或者存在,或者不存在。为了赋予技术效果而不存在的成分可能仍然作为附带杂质存在而不是有意添加的元素。在这种情况下,所述元素将不具有任何技术效果。

[0052] 根据本发明,提供了一种镍合金。所述镍合金包含:

[0053] 0.01至0.3wt%的碳,

[0054] 7.0至15.0wt%的铬

[0055] 任选8至12.0wt%的钴,

[0056] 3.0至7.0wt%的钼,

[0057] 0.1至9.5wt%的钨,

- [0058] 1.0至3.0wt%的铌，  
[0059] 任选0.5至1.5wt%的钽，  
[0060] 0.5至2.0wt%的钛，  
[0061] 3.5至7.0wt%的铝，  
[0062] 0至3.0wt%的硼，  
[0063] 0.01至0.1wt%的锆；和  
[0064] 0.1至1.0wt%的钪或0.1至1.0wt%的钒，  
[0065] 组成的余量为镍和附带杂质。  
[0066] 在优选的实施方案中，本发明所述镍合金由以下组成：  
[0067] 0.7至0.13wt%的碳，  
[0068] 12.3至12.7wt%的铬  
[0069] 不存在钴，  
[0070] 3.8至4.2wt%的钼，  
[0071] 0.3至0.7wt%的钨，  
[0072] 1.8至2.2wt%的铌，  
[0073] 不存在钨，  
[0074] 0.6至1.0wt%的钛，  
[0075] 6.4至6.8wt%的铝，  
[0076] 0.01至0.02wt%的硼，  
[0077] 0.05至0.07wt%的锆；和  
[0078] 0.2至0.3wt%的钒，  
[0079] 组成的余量为镍和附带杂质。  
[0080] 在优选的实施方案中，本发明所述镍合金由以下组成：  
[0081] 0.13至0.19wt%的碳，  
[0082] 8.05至8.35wt%的铬  
[0083] 9.8至10.2wt%的钴，  
[0084] 4.8至5.2wt%的钼，  
[0085] 6.8至7.2wt%的钨，  
[0086] 2.0至2.4wt%的铌，  
[0087] 0.6至1.0wt%的钽，  
[0088] 0.8至1.2wt%的钛，  
[0089] 5.3至5.7wt%的铝，  
[0090] 0.01至0.02wt%的硼，  
[0091] 0.04至0.06wt%的锆；和  
[0092] 0.4至0.6wt%的钪，  
[0093] 组成的余量为镍和附带杂质。  
[0094] 在一个实施方案中，所述镍合金由以下组成：  
[0095] 0.1wt%的碳  
[0096] 12.5wt%的铬，

- [0097] 4.0wt%的钼，
- [0098] 0.5wt%的钨，
- [0099] 2.0wt%的铌，
- [0100] 0.8wt%的钛，
- [0101] 6.6wt%的铝，
- [0102] 0.01wt%的硼，
- [0103] 0.06wt%的锆；和
- [0104] 0.25wt%的钒，
- [0105] 组成的余量为镍和附带杂质。
- [0106] 在一个实施方案中，所述镍合金由以下组成：
- [0107] 0.1wt%的碳
- [0108] 12.5wt%的铬，
- [0109] 4.0wt%的钼，
- [0110] 0.5wt%的钨，
- [0111] 2.0wt%的铌，
- [0112] 0.8wt%的钛，
- [0113] 6.6wt%的铝，
- [0114] 0.01wt%的硼，
- [0115] 0.06wt%的锆，
- [0116] 0.0002至0.008wt%的镁；
- [0117] 任选1.0wt%的铁；和
- [0118] 0.25wt%的钒，
- [0119] 组成的余量为镍和附带杂质。
- [0120] 如权利要求1所述的镍合金，所述合金由以下组成：
- [0121] 0.16wt%的碳
- [0122] 8.2wt%的铬，
- [0123] 10wt%的钴
- [0124] 5.0wt%的钼，
- [0125] 7.0wt%的钨，
- [0126] 2.2wt%的铌，
- [0127] 0.8wt%的钽，
- [0128] 1.0wt%的钛，
- [0129] 5.5wt%的铝，
- [0130] 0.015wt%的硼，
- [0131] 0.05wt%的锆；和
- [0132] 0.5wt%的铪，
- [0133] 组成的余量为镍和附带杂质。
- [0134] 如权利要求1所述的镍合金，所述合金由以下组成：
- [0135] 0.16wt%的碳

- [0136] 8.2wt%的铬,
- [0137] 10wt%的钴
- [0138] 5.0wt%的钼,
- [0139] 7.0wt%的钨,
- [0140] 2.2wt%的铌,
- [0141] 0.8wt%的钽,
- [0142] 1.0wt%的钛,
- [0143] 5.5wt%的铝,
- [0144] 0.015wt%的硼,
- [0145] 0.05wt%的锆,
- [0146] 0.0002至0.008wt%的镁;
- [0147] 任选0.5wt%的铁;和
- [0148] 0.5wt%的铅,
- [0149] 组成的余量为镍和附带杂质。

#### 附图说明

- [0150] 图1示出了预测实施例1和2以及参比合金1和2的高温强度的模拟结果。
- [0151] 图2至图4示出了预测实施例1和2以及参比合金1和2在3个不同温度下的高温断裂寿命的结果模拟。
- [0152] 图5是典型制备过程的示意图。

#### 具体实施方式

[0153] 在真空或保护性氩气氛下,在VIM炉中生产根据本发明的合金。制备合金的第一阶段包括计算各种元素组分和废料或母合金(它们是最终合金中所需的各种元素的来源)的相对重量比例,以获得所需量的各种元素,这些元素在最终合金中是必需的。将固体母合金、废料或元素添加到炉中。进行加热以将所有组分熔化在一起并确保炉中组分的充分混合,使得元素适当地分布在基质中。

[0154] 在该方法中使用的母合金、废料或元素是市售的。

[0155] 一旦完成熔化和混合后,通过暴露于真空来除去气态和低沸点杂质,并通过浮选除去非金属,将干净的液态合金浴留在炉中。然后从炉中取出熔融合金样品,使其冷却并通过光谱或其他公认的分析方法进行分析,以确定其元素组成。在该阶段可能需要或可能不需要对组成进行调整以适应熔化期间的任何元素质量损失。通过根据需要添加其他元素来调节组成,并任选地进行再分析以确保获得所需的组成。

[0156] 获得所需的组合物后,将温度进一步升高到熔点以上至出炉温度,以确保将熔体容易地倒入所需尺寸和形状的模具中。

[0157] 图5是典型制备过程的示意图。

[0158] 实施例

[0159] 制备了两种实施例合金。合金的组成公开如下。

[0160] 实施例1是一种具有下列组成的镍合金:

- [0161] 0.16wt%的碳
- [0162] 8.2wt%的铬,
- [0163] 10wt%的钴
- [0164] 5.0wt%的钼,
- [0165] 7.0wt%的钨,
- [0166] 2.2wt%的铌,
- [0167] 0.8wt%的钽,
- [0168] 1.0wt%的钛,
- [0169] 5.5wt%的铝,
- [0170] 0.015wt%的硼,
- [0171] 0.05wt%的锆,
- [0172] 0.5wt%的钨,
- [0173] 该组成的余量为镍和附带杂质。
- [0174] 实施例2是一种具有下列组成的镍合金:

- [0175] 0.1wt%的碳
- [0176] 12.5wt%的铬,
- [0177] 4.0wt%的钼,
- [0178] 0.5wt%的钨,
- [0179] 2.0wt%的铌,
- [0180] 0.8wt%的钛,
- [0181] 6.6wt%的铝,
- [0182] 0.01wt%的硼,
- [0183] 0.06wt%的锆,
- [0184] 0.25wt%的钒,
- [0185] 该组成的余量为镍和附带杂质。

[0186] 将实施例1和2的试样在小型R&D VIM炉中熔化,并使用熔模铸造工艺浇铸成试棒(test carrots)。将试棒加工成拉力和应力断裂试样。制备了实施例1和2的试样。形成了两种已知合金的试棒,参比例1(市售合金Mar-M247)和参比例2(市售合金IN713C)。将在一系列机械测试中比较实施例1和2的试棒和参比例1(Mar-M247)和参比例2(IN713C)的试棒的性能。机械测试如下。预计实施例1和2的性能相较于已知合金将是改善的。这是由于在预测软件中证明了实施例1和2的有益性能。

#### [0187] 机械测试

[0188] 高温拉伸测试-将在室温、850°C、950°C和1050°C下测试来自每种合金的样品。这是一项行业标准测试。

[0189] 高温应力断裂测试-将在850°C、950°C和1050°C下测试来自每种合金的样品。这也是一项行业标准测试。

[0190] 高温氧化和腐蚀测试-每种合金的样品将在高温(850°C、950°C和1050°C)下长时间暴露于来自柴油机排气发动机的废气。该测试旨在接近地复制涡轮增压器涡轮机涡轮的运行环境,尽管样品在测试期间不会受到任何应力。该测试将能够确定每种合金的高温氧

化性和耐腐蚀性。

[0191] 金相-每种合金的样品将长时间暴露于高温 (850°C、950°C 和 1050°C)。将以周期的间隔取出样品以备进行金相评估。该测试将能够确定每种合金的高温微结构演变。

[0192] 实施例3

[0193] 使用市售计算机程序JMatPro对实施例1和2的合金的高温性能进行建模。在JMatPro中生成合金以及Mar-M247和IN713C的性质。

[0194] 实施例3a-高温拉伸性能

[0195] 图1示出了用JMatPro预测实施例1和2以及参比合金1和2的高温强度的模拟结果。实施例1显示出比参比例1更高的高温强度。出乎意料的是实施例1的性能优于参比例1的性能。

[0196] 该模拟还显示实施例2超过参比例2的较高温机械性能。此外还显示,实施例2在高温下超过参比例1的性能,参比例1合金是实施例1的成本的四倍。

[0197] 实施例3b-高温断裂寿命

[0198] 使用JMatPro生成的数据表明实施例1的断裂寿命大于参比例1的断裂寿命,并且实施例2的断裂寿命在高温下大于参比例2的断裂寿命,如图2-4所示。

[0199] 在本说明书的整个说明书和权利要求书中,术语“包含 (comprise)”和“含有 (contain)”及其变体意味着“包括但不限于”,并且它们不旨在(并且不)排除其他部分、添加剂、组分、整体或步骤。在本说明书的整个说明书和权利要求中,除非上下文另有要求,否则单数形式包含复数形式。特别地,在使用不定冠词的情况下,除非上下文另有要求,否则说明书应被理解为考虑多个以及单个。

[0200] 结合本发明的特定方面、实施方案或实施例描述的特征、整体、特性、化合物、化学部分或基团应理解为适用于本文描述的任何其他方面、实施方案或实施例,除非与其不相容。本说明书(包括任何所附权利要求、摘要和附图)中公开的所有特征和/或如此公开的任何方法或过程的所有步骤可以以任何组合进行组合,除了其中至少一些这样的特征和/或步骤互斥的组合。本发明不限于任何前述实施方案的细节。本发明扩展到本说明书(包括任何所附权利要求、摘要和附图)中公开的特征中的任何新特征的或任何新的特征组合,或所公开的任何方法或过程的步骤的任何新步骤或任何新的步骤组合。

[0201] 读者的注意力应集中在与本说明书同时或在本说明书之前提交的所有论文和文件,其与本说明书相关并且与本说明书一起对公众开放查阅,并且所有这些论文和文件的内容都通过引用并入本文。

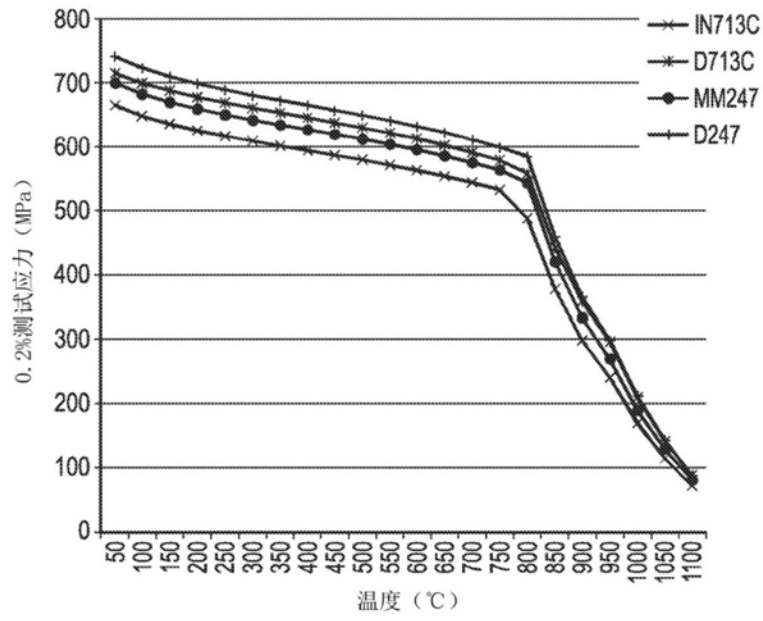


图1

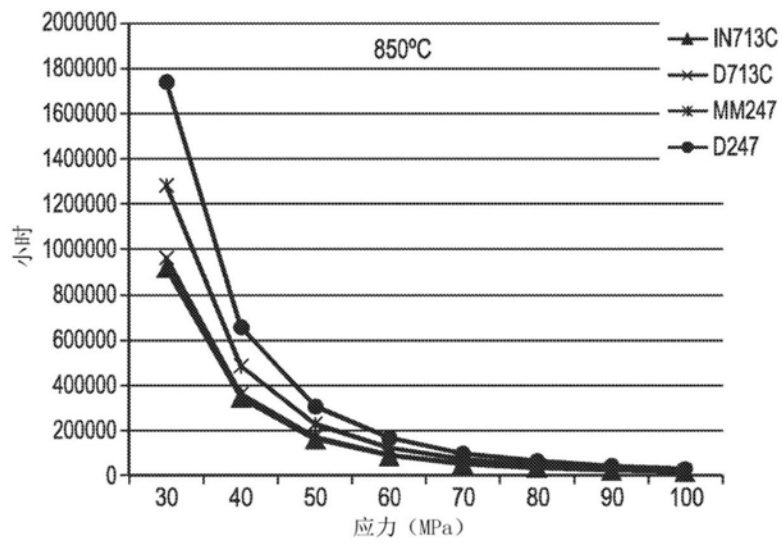


图2

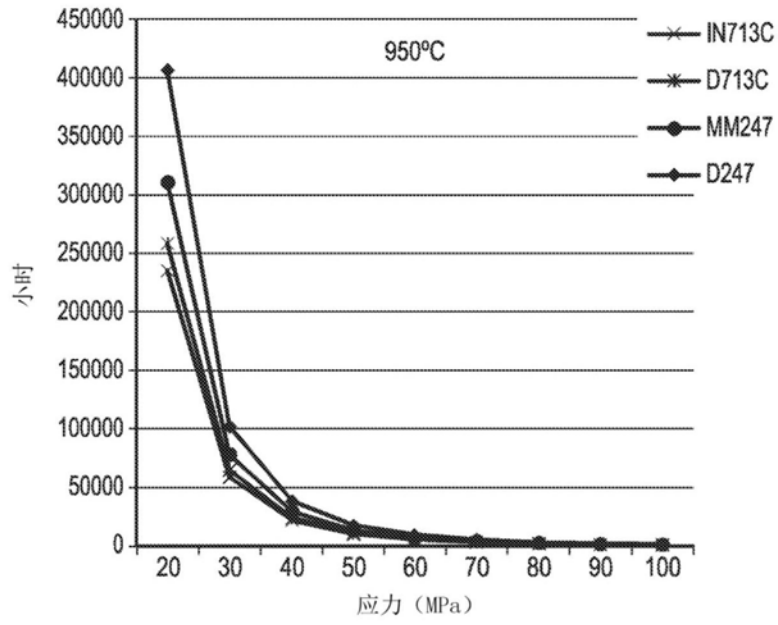


图3

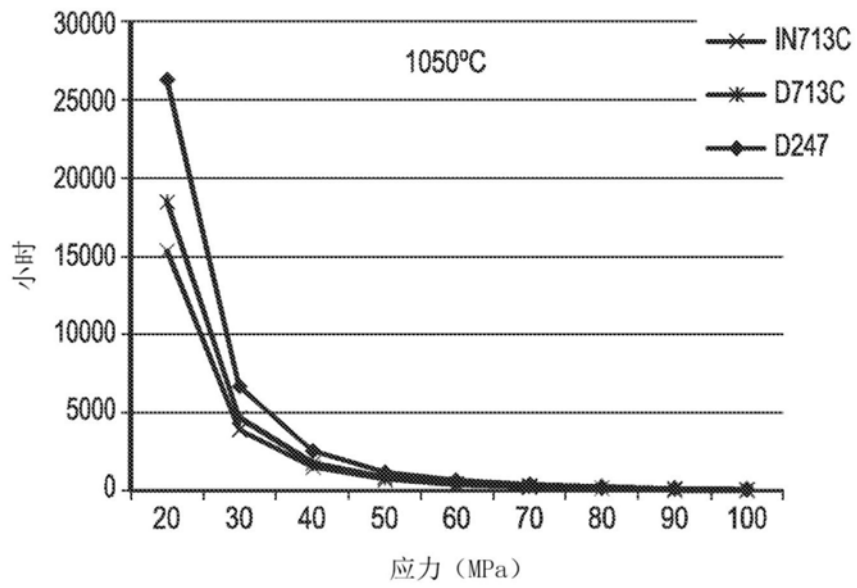


图4

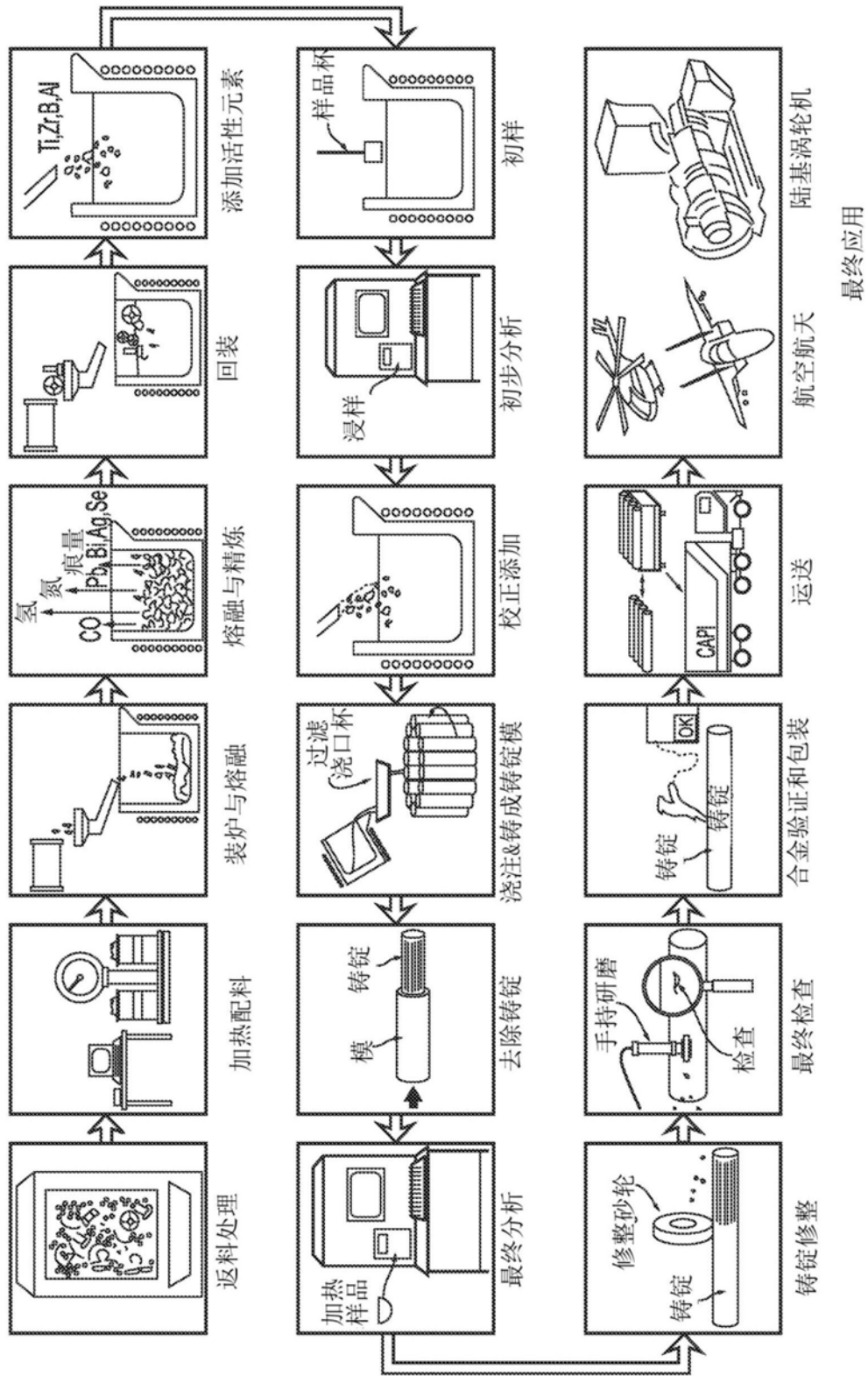


图5