



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104736731 B

(45)授权公告日 2017.12.05

(21)申请号 201380057343.5

(22)申请日 2013.10.02

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 104736731 A

(43)申请公布日 2015.06.24

(30)优先权数据

13/665280 2012.10.31 US

(85)PCT国际申请进入国家阶段日

2015.04.30

(86)PCT国际申请的申请数据

PCT/US2013/062980 2013.10.02

(87)PCT国际申请的公布数据

W02014/070356 EN 2014.05.08

(73)专利权人 通用电气公司

地址 美国纽约州

(72)发明人 W-J.张 D.G.科尼策尔 J.L.米勒

(74)专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司 72001

代理人 周李军 林森

(51)Int.Cl.

C22C 19/05(2006.01)

F01D 5/28(2006.01)

审查员 辛彩萍

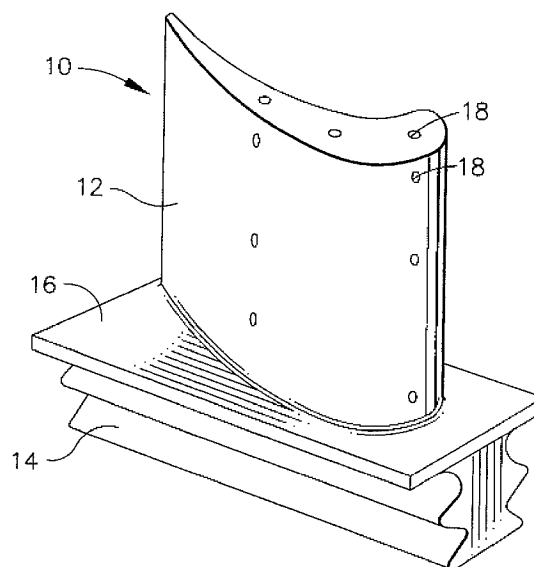
权利要求书2页 说明书6页 附图4页

(54)发明名称

镍基超合金和制品

(57)摘要

镍基超合金组合物包括约5-约7重量%铝、约4-约8重量%钼、约3-约8重量%铬、约3-约7重量%钨、1-约5重量%钼、1.5-约5重量%铌、5-约14重量%钴、约0-约1重量%铪、约0.01-约0.03重量%碳、约0.002-约0.006重量%硼和剩余量的镍与附带的杂质。该组合物可呈现的持续峰值低周疲劳寿命(在1800°F/45 ksi下)为至少约4000个周期。该镍基超合金组合物可用于单晶或定向固化超合金制品,如燃气涡轮发动机的叶片、管嘴、罩、防溅板和燃烧室。



1. 物质组合物, 该组合物包含:
 - 5-7重量%的铝;
 - 4-8重量%的钽;
 - 4.3, 4.5, 5, 5.5, 6.0或 6.5重量%的铬;
 - 3-7重量%的钨;
 - 2.5-5重量%的钼;
 - 2.5-5重量%的铌;
 - 12-14重量%的钴;
 - 0-1重量%的铅;
 - 0.01-0.03重量%的碳;
 - 0.002-0.006重量%的硼; 和
 - 剩余量的镍与附带的杂质,其中该组合物在1800°F/45 ksi下呈现的持续峰值低周疲劳寿命为至少4000个周期。
2. 权利要求1所述的物质组合物, 其中铝的存在量为5.5-6.5重量%。
3. 权利要求1所述的物质组合物, 其中钽的存在量为4.5-8重量%。
4. 权利要求1所述的物质组合物, 其中钨的存在量为3-6重量%。
5. 权利要求1所述的物质组合物, 其中钼的存在量为2.5重量%。
6. 权利要求1所述的物质组合物, 其中铌的存在量为2.5-4.5重量%。
7. 权利要求1所述的物质组合物, 其中钴的存在量为12重量%。
8. 权利要求1所述的物质组合物, 其中铅的存在量为0.2-0.6重量%。
9. 权利要求1所述的物质组合物, 其中碳的存在量为0.015-0.025重量%。
10. 权利要求1所述的物质组合物, 其中硼的存在量为0.0025-0.0055重量%。
11. 权利要求1所述的物质组合物, 其中铌的存在量为3-4.2重量%。
12. 权利要求1所述的物质组合物, 其中铌的存在量为3.5-4.2重量%。
13. 权利要求1所述的物质组合物, 其中所述组合物在1800°F/45ksi下呈现的持续峰值低周疲劳寿命为至少5000个周期。
14. 权利要求1所述的物质组合物, 其中所述组合物在2000°F/20ksi下呈现的破裂寿命为至少150小时。
15. 权利要求1所述的物质组合物, 其中所述组合物在2000°F/20ksi下呈现的破裂寿命为至少200小时。
16. 包含组合物的制品, 所述组合物包含:
 - 5-7重量%的铝;
 - 4-8重量%的钽;
 - 4.3, 4.5, 5, 5.5, 6.0或6.5重量%的铬;
 - 3-7重量%的钨;
 - 2.5- 5重量%的钼;
 - 2.5- 5重量%的铌;
 - 12- 14重量%的钴;
 - 0-1重量%的铅;

- 0.01-0.03重量%的碳;
0.002-0.006重量%的硼;和
剩余量的镍与附带的杂质,
其中所述组合物在1800°F/45ksi下呈现的持续峰值低周疲劳寿命为至少4000个周期。
17. 权利要求16所述的制品,该制品包含单晶组件。
18. 权利要求17所述的制品,其中所述单晶组件包含燃气涡轮的叶片。
19. 权利要求16所述的制品,该制品包括燃气涡轮发动机的组件,所述组件选自管嘴、
罩、防溅板和燃烧室组件。
20. 权利要求16所述的制品,该制品包含定向固化组件。
21. 权利要求20所述的制品,其中所述定向固化组件包含燃气涡轮的叶片。

镍基超合金和制品

技术领域

[0001] 本发明总地涉及适用于腐蚀性的、高温燃气涡轮环境的物质组合物和由其制造的制品。

背景技术

[0002] 镍基单晶超合金在航空发动机中广泛用于涡轮叶片、管嘴和罩的应用。为了改进的发动机性能的航空发动机设计需要具有越来越高的温度容量,主要是以改进的蠕变强度的形式(抗蠕变性),的合金。具有提高量的固溶体强化元素(如Ta、W、Re和Mo,它们也提供改进的抗蠕变性)的合金一般显示降低的相稳定性、提高的密度和较低的耐环境性。近来,热机械疲劳(TMF)抗性成为涡轮组件的限制性设计准则。温度梯度产生周期热诱导的应变,它促使由蠕变、疲劳和氧化的复杂组合所导致的损害。历史上尚未为了周期损害抗性而开发定向固化超合金。然而,为了改进的发动机效率,期望提高的周期损害抗性。

[0003] 单晶超合金可基于合金组成和高温机械性质的相似性分类为四代。所谓的第一代单晶超合金不含铪。第二代超合金一般含有约3重量%的铪。第三代超合金设计成通过提高耐火金属含量和降低铬水平来提高温度容量和抗蠕变性。示例性的合金具有5.5重量%的铪水平和2-4重量%范围的铬水平。第四和第五代合金包括提高的铪和其它耐火金属(如钨)水平。

[0004] 第二代合金并不格外强,虽然它们具有相对稳定的微结构。第三和第四代合金由于加入高水平的耐火金属而具有改进的强度。例如,这些合金包括高水平的钨、铪和钼。这些耐火金属具有的密度比镍基的高很多,所以它们的加入提高了整体合金密度。例如,第四代合金可比第二代合金重约6%。这些合金增加的重量和成本使得它们的用途局限于仅仅是专门的应用。第三和第四代合金也受限于微结构的不稳定性,这种不稳定性可影响长期的机械性质。

[0005] 每个下一代的合金都是努力改进上一代的蠕变强度和温度容量而开发的。例如,第三代超合金相较于第二代超合金提供了50°F(约28°C)的蠕变容量改进。第四和第五代超合金提供了蠕变强度的进一步改进,所述改进通过高水平的固溶体强化元素如铪、钨、钼、钽和钇的加入实现。

[0006] 随着定向固化的超合金的蠕变容量代代改进,也改进了连续周期疲劳抗性和停留时间周期损坏抗性。这些在破裂强度和疲劳强度的改进伴随着合金密度和成本的提高,如上所述。此外,为了持续增加定向固化超合金中耐火元素的量,存在微结构和环境代价。例如,第三代超合金相对于拓扑密堆相(TCP)较不稳定并趋向于形成二级反应区(SRZ)。较低水平的铬(对于保持足够的微结构稳定性是必要的)导致下一代超合金的耐环境性的降低。

[0007] 通过停留时间或持续峰值低周疲劳(SPLCF)测试来量化周期损害抗性,这对于单晶涡轮叶片合金是重要的性质要求。第三和第四代单晶超合金的缺点在于高密度、高成本(由于存在铪和钇)、涂布条件下微结构的不稳定性(SRZ形成)和不充足的SPLCF寿命。

[0008] 因此,期望提供含有较少铪和钇、具有较长SPLCF寿命和具有改进的微结构稳定性

(通过较少的SRZ形成)同时保持充足的抗蠕变性和抗氧化性的单晶超合金组合物。

发明内容

[0009] 在多个示例性实施方案中描述了用于涡轮叶片应用的抗疲劳的镍基单晶超合金,所述超合金相较于已知的合金提供了更低的密度、低铈和钒含量、低成本、改进的SPLCF抗性和更少的SRZ形成,以及平衡的抗蠕变性和抗氧化性。

[0010] 根据一个示例性的实施方案,物质组合物包含约5-约7重量%铝、约4-约8重量%钽、约3-约8重量%铬、约3-约7重量%钨、1-约5重量%钼、1.5-约5重量%铈、5-约14重量%钴、约0-约1重量%钨、约0.01-约0.03重量%碳、约0.002-约0.006重量%硼和剩余量的镍与附带的杂质。根据本发明的实施方案,该组合物可呈现的持续峰值低周疲劳寿命(在1800°F/45ksi下)为至少约4000个周期。

[0011] 本文所公开的示例性实施方案所包括的制品(如涡轮发动机的叶片、管嘴、罩、防溅板和燃烧室)包含实质单晶,所述单晶具有的组合物包含约5-约7重量%铝、约4-约8重量%钽、约3-约8重量%铬、约3-约7重量%钨、1-约5重量%钼、1.5-约5重量%铈、5-约14重量%钴、约0-约1重量%钨、约0.01-约0.03重量%碳、约0.002-约0.006重量%硼和剩余量的镍与附带的杂质。根据本发明的实施方案,该组合物可呈现的持续峰值低周疲劳寿命(在1800°F/45ksi下)为至少约4000个周期。

附图说明

[0012] 说明书的结束部分特别指出并明确请求保护视为本发明的主题。然而,可结合附图通过参照以下描述最佳理解本发明。其中:

[0013] 图1为根据本发明实施方案的制品(如燃气涡轮叶片)的透视图。

[0014] 图2为阐述根据本发明的示例性组合物和参比组合物的表格。

[0015] 图3的图形显示了根据本发明的示例性组合物和参比组合物在1800°F/45 ksi下的持续峰值低周疲劳寿命(SPLCF)(周期)作为Re和Ru总浓度(重量%)的函数。

[0016] 图4的图形显示了根据本发明的示例性组合物和参比组合物在2000°F/20 ksi下的耐破裂性(小时)作为Re和Ru总浓度(重量%)的函数。

[0017] 图5的方框流程图说明了制备根据本发明的制品的方法。

具体实施方式

[0018] 本发明描述了用于涡轮叶片应用的镍基单晶超合金的化学。相较于已知的合金,该超合金提供更低的密度、低铈和钒含量、低成本、改进的SPLCF抗性和更少的SRZ形成,以及平衡的抗蠕变性和抗氧化性。抗疲劳性的改进通过合金的强度、抗氧化性和抗蠕变性的平衡实现,所述平衡通过控制 γ 强化物(如W、Mo、Re、Co和Cr)的量和控制 γ' 相的体积分数(通过控制Al、Ta、Hf的浓度)实现。在多个示例性实施方案中描述了本发明。

[0019] 参照附图,图1描述了燃气涡轮发动机的组件,图示为燃气涡轮叶片10。该燃气涡轮叶片10包括螺旋桨12、侧面延伸平台16、燕尾榫形式的固定件14以将燃气涡轮叶片10固定在涡轮盘(未显示)上。在一些组件中,许多冷却通道延伸穿过螺旋桨12内部,终止于螺旋桨12的表面上的开口18。

[0020] 在一个示例性的实施方案中,组件制品10实质为单晶。即组件制品10至少约80体积%,更优选至少约95体积%,为具有单晶取向的单晶粒。可存在少数体积分数的其它结晶取向以及由低角边界分隔的区域。单晶结构通过合金组合物的定向固化制备,通常由晶种或其它诱导单晶生长和单晶粒取向的结构制备。

[0021] 本文所讨论的示例性合金组合物的用途不局限于燃气涡轮叶片10,且它可用于其它制品,如燃气涡轮管嘴、叶轮、罩或其它燃气涡轮发动机的组件中。

[0022] 据信,本文所公开的示例性实施方案提供了独特的合金方法用于改进的SPLCF和抗破裂性合金。以下表1提供了包括在本发明合金中的元素的示例性浓度范围(按重量百分比)。对每一种元素按范围提供的量应认为包括端点和子范围。

[0023] 表I:示例性浓度范围

合金	Al	Ta	Cr	W	Mo	Re	Co	Hf	C	B	Ni
最小wt%	5	4	3	3	1	1.5	5	0	0.01	0.002	余量
最大wt%	7	8	8	7	5	5	14	1	0.03	0.006	余量

[0024] 本文所公开的示例性实施方案可包括铝以提供改进的SPLCF抗性和抗氧化性。示例性实施方案可包括约5-约7重量%铝。其它示例性实施方案可包括约5.5-约6.5重量%铝。其它示例性实施方案可包括约5.5重量-约6.2重量%铝。其它示例性实施方案可包括约6.1-约6.5重量%铝。其它示例性实施方案可包括约6.2-约6.4重量%铝。

[0025] 本文所公开的示例性实施方案可包括钽以促使 γ' 强度。示例性实施方案可包括约4-约8重量%钽。其它示例性实施方案可包括约4.5-约8重量%钽。其它示例性实施方案可包括约6-约8重量%钽。其它示例性实施方案可包括约4-约6重量%钽。

[0026] 本文所公开的示例性实施方案可包括铬以改进抗热腐蚀性。示例性实施方案可包括约3-约8重量%铬。其它示例性实施方案可包括约4-约6.5重量%铬。其它示例性实施方案可包括约4.3-约6.5重量%铬。本文所公开的其它示例性实施方案可包括约4.5-约5重量%铬。其它示例性实施方案可包括约5-约6.5重量%铬。本文所公开的其它示例性实施方案可包括约5.5-约6重量%铬。

[0027] 本文所公开的示例性实施方案可包括钨作为强化物。示例性实施方案可包括约3-约7重量%钨。其它示例性实施方案可包括钨的量为约3-约6重量%。其它示例性实施方案可包括钨的量为约4-约6重量%。其它示例性实施方案可包括钨的量为约3.5-约6.5重量%。其它示例性实施方案可包括钨的量为约3.5-约6重量%。

[0028] 本文所公开的示例性实施方案可包括钼以赋予固溶液强化。示例性实施方案可包括约1-约5重量%钼。其它示例性实施方案可包括钼的量为约2-约5重量%。其它示例性实施方案可包括钼的量为约2-约4重量%。其它示例性实施方案可包括钼的量为约2-约3重量%。其它示例性实施方案可包括钼的量为约1.5-约4重量%。其它示例性实施方案可包括钼的量为约1.5-约2.5重量%。

[0029] 本文所公开的示例性实施方案可包括铌,铌是有效的固溶体强化物(划归 γ 相),也是缓慢扩散元素(限制 γ' 的粗化)。示例性实施方案可包括约1.5-约5重量%铌。其它示例性实施方案可包括铌的水平介于约2.5-约4.5重量%。其它示例性实施方案可包括铌的水平介于约3-约4.2重量%。其它示例性实施方案可包括铌的水平介于约3-约4重量%。其它示例性实施方案可包括铌的水平介于约2.5-约4.5重量%。其它示例性实施方案可包括铌的水平

介于约3.5-约4.2重量%。

[0030] 本文所公开的示例性实施方案可包括钴。示例性实施方案可包括约5-约14重量%钴。其它示例性实施方案可包括约7-约12.5重量%的钴。其它示例性实施方案可包括约9-约12重量%的钴。其它示例性实施方案可包括约5-约8重量%的钴。其它示例性实施方案可包括约6.5-约7.5重量%的钴。

[0031] 本文所公开的示例性实施方案可任选地包括铅,其改进了涂布合金的抗氧化性和抗热腐蚀性。铅可改善热障涂层的寿命。示例性实施方案可包括约0-约1重量%铅。其它示例性实施方案可包括约0.2-约0.6重量%铅。

[0032] 本文所公开的示例性实施方案可包括碳。示例性实施方案可包括约0.01-约0.03重量%碳。其它示例性实施方案可包括约0.015-约0.025重量%碳。其它示例性实施方案可包括约0.015-约0.025重量%碳。

[0033] 本文所公开的示例性实施方案可包括硼以向低角边界提供耐受性。示例性实施方案可包括约0.002-约0.006重量%硼。其它示例性实施方案可包括约0.0025-约0.0055重量%硼。其它示例性实施方案可包括约0.003-约0.005重量%硼。其它示例性实施方案可包括约0.0035-约0.0045重量%硼。

[0034] 根据示例性实施方案,物质组合物包含约5-约7重量%铝、约4-约8重量%钽、约3-约8重量%铬、约3-约7重量%钨、1-约5重量%钼、1.5-约5重量%铌、5-约14重量%钴、约0-约1重量%铅、约0.01-约0.03重量%碳、约0.002-约0.006重量%硼和剩余量的镍与附带的杂质。

[0035] 在另一个实施方案中,物质组合物包含约5.5-约6.5重量%铝、约4.5-约8重量%钽、约4-约6.5重量%铬、约3-约6重量%钨、2-约5重量%钼、2.5-约4.5重量%铌、7-约12.5重量%钴、约0.2-约0.6重量%铅、约0.015-约0.025重量%碳、约0.0025-约0.0055重量%硼和剩余量的镍与附带的杂质。

[0036] 在再一个实施方案中,物质组合物包含约5.5-约6.5重量%铝、约6-约8重量%钽、约4.3-约6.5重量%铬、约4-约6重量%钨、2-约4重量%钼、3-约4.2重量%铌、约7-约12.5重量%钴、约0.2-约0.6重量%铅、约0.015-约0.025重量%碳、约0.003-约0.005重量%硼和剩余量的镍与附带的杂质。

[0037] 在另一个实施方案中,物质组合物包含约5.5-约6.2重量%铝、约6-约8重量%钽、约4.5-约5重量%铬、约4-约6重量%钨、2-约3重量%钼、3-约4重量%铌、9-约12.0重量%钴、约0.2-约0.6重量%铅、约0.015-约0.025重量%碳、约0.0035-约0.0045重量%硼和剩余量的镍与附带的杂质。

[0038] 在再一个实施方案中,物质组合物包含约6.1-约6.5重量%铝、约4-约6重量%钽、约5-约6.5重量%铬、约3.5-约6.5重量%钨、1.5-约4重量%钼、2.5-约4.5重量%铌、5-约8重量%钴、约0.2-约0.6重量%铅、约0.015-约0.025重量%碳、约0.003-约0.005重量%硼和剩余量的镍与附带的杂质。

[0039] 在另一个实施方案中,物质组合物包含约6.2-约6.4重量%铝、约4-约6重量%钽、约5.5-约6重量%铬、约3.5-约6重量%钨、1.5-约2.5重量%钼、3.5-约4.2重量%铌、6.5-约7.5重量%钴、约0.2-约0.6重量%铅、约0.015-约0.025重量%碳、约0.0035-约0.0045重量%硼和剩余量的镍与附带的杂质。

[0040] 本文所公开的示例性实施方案包括制品,如燃气涡轮发动机的叶片、管嘴、罩、防

溅板和燃烧室,所述制品包含实质单晶,所述单晶具有的组合物包括约5-约7重量%铝、约4-约8重量%钼、约3-约8重量%铬、约3-约7重量%钨、1-约5重量%钼、1.5-约5重量%铌、5-约14重量%钴、约0-约1重量%铪、约0.01-约0.03重量%碳、约0.002-约0.006重量%硼和剩余量的镍与附带的杂质。

[0041] 根据本发明的示例性组合物和参比组合物示于图2。如图2所示,合金A1-A6具有根据本发明的组合物。参比合金R1-R5具有超出根据本发明的组成范围(如上所述)的组合物。图2还提供了合金A1-A6以及参比合金R1-R5在1800°F/45ksi下的持续峰值低周疲劳抗性(SPLCF)(周期)和在2000°F/20ksi下的断裂寿命(小时)。

[0042] 通过施加应变受控的,压缩停留(2分钟,1800°F)连同45ksi的交替准应力来实施SPLCF测试。

[0043] 如图2所示,合金A1、A5和A6具有比参比合金R1-R5更大的SPLCF和断裂耐受性。总体上,根据本发明实施方案的合金呈现的SPLCF大于约4000个周期(1800°F/45ksi)和断裂寿命大于约150小时(2000°F/20ksi)。具体地,合金A1具有的SPLCF为约4111个周期和断裂寿命为约155小时。另外,根据本发明另一实施方案的合金总体呈现的SPLCF大于约5000个周期(1800°F/45ksi)和断裂寿命为大于约200小时(2000°F/20ksi)。特别地,A5具有的SPLCF为约5497个周期和断裂寿命为约203小时,合金A6具有的SPLCF为约5219个周期和断裂寿命为约211小时。

[0044] 图3的图形显示根据本发明的示例性组合物和参比组合物在1800°F/45ksi下的SPLCF寿命(周期)作为Re和Ru总浓度(重量%)的函数。图4的图形显示根据本发明的示例性组合物和参比组合物在2000°F/20ksi下的断裂寿命(小时)作为Re和Ru总浓度(重量%)的函数。

[0045] 如图3和图4所示,根据本发明的合金A1、A5和A6具有比参比合金R1-R5(具有类似或更高的Re+Ru浓度)高得多的SPLCF和断裂寿命。特别地,合金A1和A5具有的Re+Ru浓度为约4重量%,合金A6具有的Re+Ru浓度为约3.5重量%。参比合金R3-R5具有比合金A1、A5和A6更高的Re+Ru浓度,但却呈现比合金A1、A5和A6更低的SPLCF和断裂寿命。

[0046] 概括于图2-4中的数据表明,本文所公开的示例性实施方案展示了相比已知合金改进的抗疲劳性和抗蠕变性的结合。此外,本发明合金相较于一些参比合金的优点是它们相对低的铌和钨的总浓度,这显著减低合金的成本。

[0047] 示例性实施方案描述了合金的组成和一些特征,但不应理解为在任何方面限制本发明。

[0048] 图5的方框流程图说明了制备根据本发明的制品的方法。制备具有上述组合物的合金(如附图标记20所示)。将该合金熔化并作为实质单晶固化(如附图标记22所示)。固化单晶制品的技术在本领域为公知的。通常,它们涉及在模中从制品的一端定向固化合金,用品种或生长收敛限定制品中期望的单晶取向。在多数情况下,就涡轮叶片或涡轮叶轮来说,将制品制备成具有与制品的长轴平行的[001]结晶方向。在作为单晶固化之后,通过任何可操作的技术后加工该制品,如附图标记24所示。后加工可包括但不限于热处理该制品以最优化合金的机械性质和/或加工该制品。

[0049] 本书面说明书使用示例性实施方案公开本发明,包括最佳实施方式,并且使得本领域的任何技术人员能够实施和使用本发明。本发明的可专利范围由权利要求限定,并可

包括本领域技术人员所想到的其它示例性实施方案。如果这些其它示例性实施方案具有的结构要素不有别于权利要求的字面语言,或如果它们包括与权利要求字面语言无实质区别的等价结构要素,则意在使它们落入权利要求范围内。

合金	Al	Ta	Cr	W	Mo	Re	Co	Ti	Ru	Hf	C	B	Ni	SPLCF (1800F/ 45 ksi)	断裂 (2000F/ 20 ksi)
A1	6.4	5.5	6.0	4.0	2.0	4	7.5	—	—	0.20	0.02	0.004	余量	4111	155
A2	6	8	6.0	5.0	2.5	4	10	—	2	0.20	0.02	0.004	余量	2234	28
A3	6.4	5.5	8.5	3.5	0.5	4	7.5	—	—	0.20	0.02	0.004	余量	2857	67
A4	6.1	4.5	6.0	5.0	2.0	4	5	—	—	0.20	0.02	0.004	余量	3031	129
A5	6	6.5	4.5	5.0	2.5	4	12	—	—	0.20	0.02	0.004	余量	5497	203
A6	5.8	7	4.5	6.0	2.5	3.5	10	—	—	0.20	0.02	0.004	余量	5219	211
R1	6.2	6.5	7	5	1.5	3	7.5	—	—	0.15	0.05	0.004	余量	2546	85
R2	6	6	2.0	12.5	1.0	3	13	—	—	0.15	0.02	0.004	余量	2880	50
R3	6	6	2.0	12.5	1.0	3	13	—	3	0.10	0.02	0.004	余量	2402	65
R4	5.7	8	2.0	5.0	0.4	6	3	0.2	—	0.03	0.02	0.004	余量	3595	114
R5	5.55	8.25	2.0	6.0	2.0	6	17	—	3	0.15	0.03	0.004	余量	3750	146

图 2

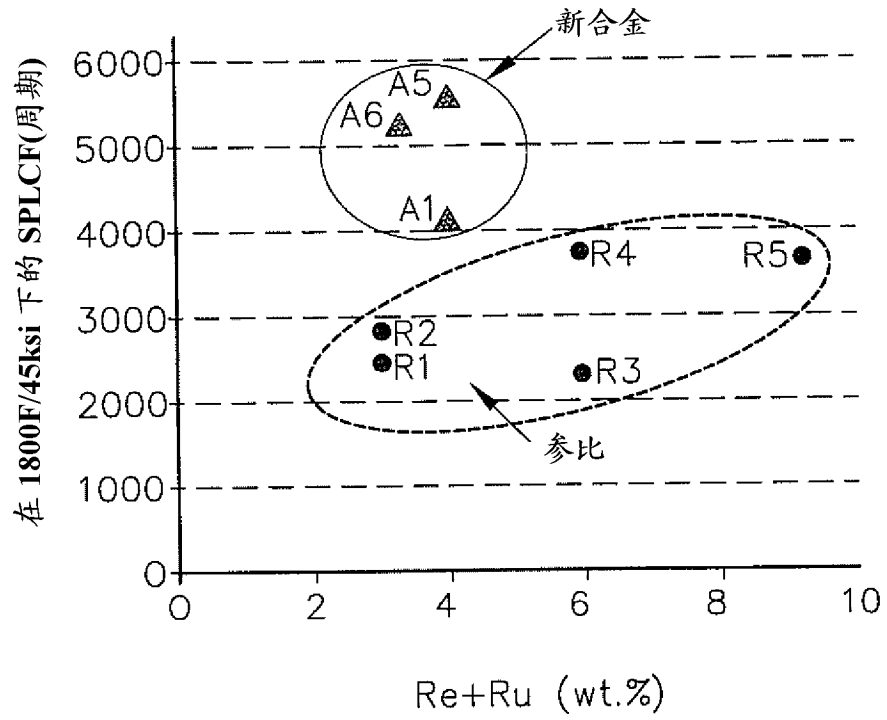


图 3

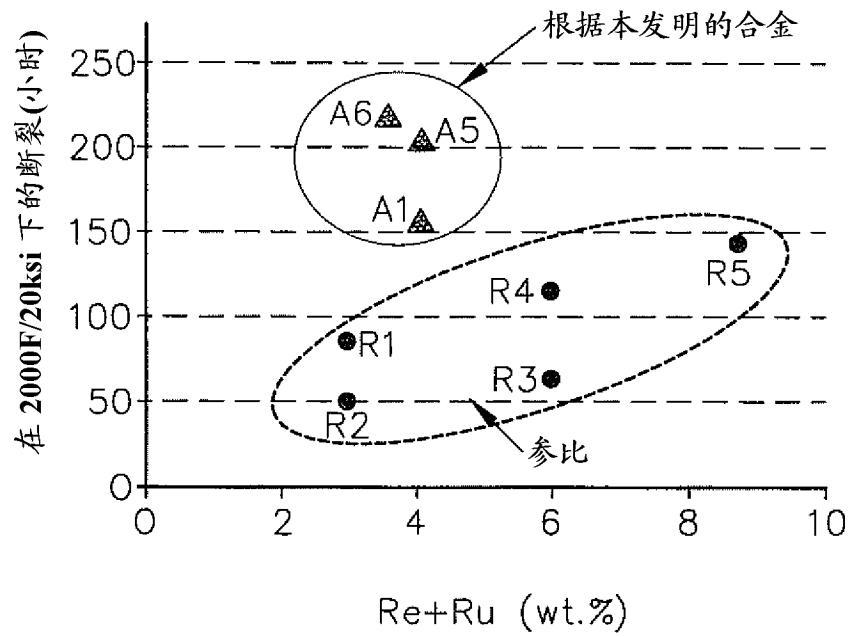


图 4

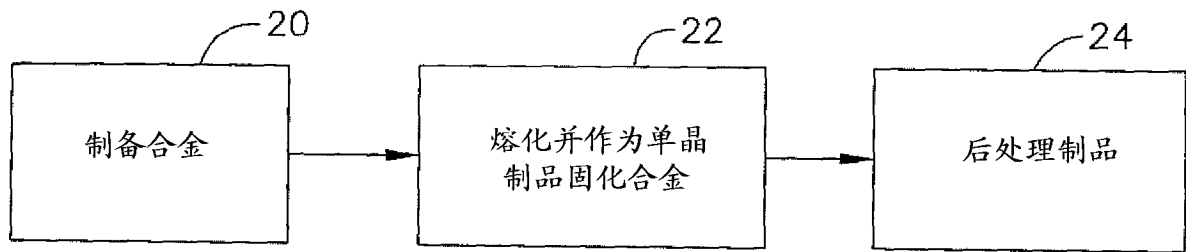


图 5