



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101595236 B

(45) 授权公告日 2011.08.31

(21) 申请号 200880001235.5

C22C 38/40 (2006.01)

(22) 申请日 2008.01.15

(56) 对比文件

(30) 优先权数据

102007005605.4 2007.01.31 DE

CN 1340109 A, 2002.03.13, 全文.

JP 特开 2003-138334 A, 2003.05.14, 全文.

US 6623869 B1, 2003.09.23, 全文.

JP 昭 56-163244 A, 1981.12.15, 全文.

(85) PCT 申请进入国家阶段日

2009.05.31

审查员 高峰

(86) PCT 申请的申请数据

PCT/DE2008/000060 2008.01.15

(87) PCT 申请的公布数据

W02008/092419 DE 2008.08.07

(73) 专利权人 蒂森克鲁普德国联合金属制造有
限公司

地址 德国韦尔多尔

(72) 发明人 H·哈滕多夫 J·韦贝尔希普

(74) 专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专
利商标事务所 11038

代理人 殷骏

(51) Int. Cl.

C22C 38/08 (2006.01)

C22C 38/34 (2006.01)

权利要求书 2 页 说明书 14 页 附图 6 页

(54) 发明名称

铁镍铬硅合金

(57) 摘要

本发明涉及一种铁镍铬硅合金,其含有(以重量%计)34至42%的镍,18至26%的铬,1.0至2.5%的硅和下列添加物:0.05至1%的Al,0.01至1%的Mn,0.01至0.26%的铜,0.0005至0.05%的镁,0.01至0.14%的碳,0.01至0.14%的氮,最多0.01%的硫,最多0.005%的B,余量铁和制备过程产生的常见杂质。

1. 一种铁镍铬硅合金,其含有以重量%计的 34 至 42%的镍,18 至 26%的铬,1.0 至 2.5%的硅和下列添加物:0.05 至 1%的 Al,0.01 至 1%的 Mn,0.01 至 0.26%的钨,0.0005 至 0.05%的镁,0.01 至 0.14%的碳,0.01 至 0.14%的氮,最多 0.01%的硫,最多 0.005%的 B,余量铁和制备过程产生的常见杂质。

2. 如权利要求 1 所述的合金,其镍含量为 34 至 39%。

3. 如权利要求 1 所述的合金,其镍含量为 34 至 38%。

4. 如权利要求 1 所述的合金,其镍含量为 34 至 37%。

5. 如权利要求 1 所述的合金,其镍含量为 37 至 38%。

6. 如权利要求 1 所述的合金,其铬含量为 20 至 24%。

7. 如权利要求 6 所述的合金,其铬含量为 21 至 24%。

8. 如权利要求 1 至 7 之一所述的合金,其硅含量为 1.5 至 2.5%。

9. 如权利要求 1 至 7 之一所述的合金,其硅含量为 1.0 至 1.5%。

10. 如权利要求 1 至 7 之一所述的合金,其硅含量为 1.5 至 2.0%。

11. 如权利要求 1 至 7 之一所述的合金,其硅含量为 1.7 至 2.5%。

12. 如权利要求 1 至 7 之一所述的合金,其硅含量为 1.2 至 1.7%。

13. 如权利要求 1 至 7 之一所述的合金,其硅含量为 1.7 至 2.2%。

14. 如权利要求 1 至 7 之一所述的合金,其硅含量为 2.0 至 2.5%。

15. 如权利要求 1 至 7 之一所述的合金,其铝含量为 0.1 至 0.7%。

16. 如权利要求 1 至 7 之一所述的合金,其锰含量为 0.1 至 0.7%。

17. 如权利要求 1 至 7 之一所述的合金,其钨含量为 0.01 至 0.2%。

18. 如权利要求 1 至 7 之一所述的合金,其钨含量为 0.02 至 0.15%。

19. 如权利要求 1 至 7 之一所述的合金,其钨含量为 0.04 至 0.15%。

20. 如权利要求 1 至 7 之一所述的合金,其氮含量为 0.02 至 0.10%。

21. 如权利要求 1 至 7 之一所述的合金,其氮含量为 0.03 至 0.09%。

22. 如权利要求 1 至 7 之一所述的合金,其碳含量为 0.04 至 0.14%。

23. 如权利要求 1 至 7 之一所述的合金,其碳含量为 0.04 至 0.10%。

24. 如权利要求 1 至 7 之一所述的合金,其镁含量为 0.001 至 0.05%。

25. 如权利要求 1 至 7 之一所述的合金,其镁含量为 0.008 至 0.05%。

26. 如权利要求 1 至 7 之一所述的合金,其含有最多 0.005%的硫和最多 0.003%的 B。

27. 如权利要求 1 至 7 之一所述的合金,其另外包含 0.0005 至 0.07%的 Ca。

28. 如权利要求 1 至 7 之一所述的合金,其另外包含 0.001 至 0.05%的 Ca。

29. 如权利要求 1 至 7 之一所述的合金,其另外包含 0.01 至 0.05%的 Ca。

30. 如权利要求 1 至 7 之一所述的合金,其根据需要另外包含含量为 0.01 至 0.3%的元素 Ce、Y、Zr、Hf、Ti 中的至少一种作为添加物。

31. 如权利要求 1 至 7 之一所述的合金,其含有分别为 0.01 至 0.3%的元素 La、Ce、Y、Zr、Hf、Ti 中的一种或多种,其中总和 $PwE = 1.43X_{Ce} + 1.49X_{La} + 2.25X_Y + 2.19X_{Zr} + 1.12X_{Hf} + 4.18X_{Ti}$ 小于等于 0.38,其中 PwE 对应有效元素的电势。

32. 如权利要求 1 至 7 之一所述的合金,其含有分别为 0.01 至 0.2%的元素 La、Ce、Y、Zr、Hf、Ti 中的一种或多种,其中总和 $PwE = 1.43X_{Ce} + 1.49X_{La} + 2.25X_Y + 2.19X_{Zr} + 1.12X_{Hf} + 4.18X_{Ti}$

X_{Ti} 小于等于 0.36, 其中 PwE 对应有效元素的电势。

33. 如权利要求 1 至 7 之一所述的合金, 其含有分别为 0.02 至 0.15% 的元素 La、Ce、Y、Zr、Hf、Ti 中的一种或多种, 其中总和 $PwE = 1.43X_{Ce} + 1.49X_{La} + 2.25X_Y + 2.19X_{Zr} + 1.12X_{Hf} + 4.18X_{Ti}$ 小于等于 0.36, 其中 PwE 对应有效元素的电势。

34. 如权利要求 1 至 7 之一所述的合金, 其磷含量为 0.001 至 0.020%。

35. 如权利要求 1 至 7 之一所述的合金, 其磷含量为 0.005 至 0.020%。

36. 如权利要求 1 至 7 之一所述的合金, 其另外包含分别为 0.01 至 1.0% 的元素 Mo、W、V、Nb、Ta、Co 中的一种或多种。

37. 如权利要求 1 至 7 之一所述的合金, 其另外包含分别为 0.01 至 0.2% 的元素 Mo、W、V、Nb、Ta、Co 中的一种或多种。

38. 如权利要求 1 至 7 之一所述的合金, 其另外包含分别为 0.01 至 0.06% 的元素 Mo、W、V、Nb、Ta、Co 中的一种或多种。

39. 如权利要求 1 至 7 之一所述的合金, 其中所述杂质的含量设定为最多 1.0% 的 Cu, 最多 0.002% 的 Pb, 最多 0.002% 的 Zn, 最多 0.002% 的 Sn。

40. 如权利要求 1 至 39 之一所述的合金用于电加热元件中的用途。

41. 如权利要求 1 至 39 之一所述的合金的用途, 用于要求高形状稳定性或下垂小的电加热元件中。

42. 如权利要求 1 至 39 之一所述的合金用于构建窑炉中的用途。

铁镍铬硅合金

[0001] 本发明涉及一种具有改善的使用寿命和形状稳定性的铁镍铬硅合金。

[0002] 长久以来,具有不同镍、铬和硅含量的奥氏体铁镍铬硅合金在最高 1100℃温度范围内被用作导热体 (Heizleiter)。对于作为导热合金的用途,在 DIN17470 (表 1) 和 ASTM B344-83 (表 2) 中统一了这类合金组的规格。表 3 中列出了一系列符合所述规格的商业可提供的合金。

[0003] 最近几年,镍价格的大幅度升高使得人们产生了使用镍含量尽可能低的导热合金的期望。尤其是期望通过具有降低的镍含量的材料来替代具有特别有利的特性的镍含量高的种类 (Varianten) NiCr8020、NiCr7030 和 NiCr6015 (表 1),而不必将就在材料效率方面的过多损失。

[0004] 通常应注意到,表 1 和 2 中给出的合金的使用寿命和使用温度随着镍含量增加而升高。所有这些合金均形成氧化铬层 (Cr_2O_3),具有位于其下的或多或少封闭的 SiO_2 层。强亲氧元素例如 Ce、Zr、Th、Ca、Ta 的少量添加 (Pfeifer/Thomas, Zunderfeste Legierungen, 第 2 版, Springer Verlag 1963, 258 和 259 页) 延长使用寿命,然而在所引用的文例中只是检验了单个亲氧元素的影响,而没有关于这类元素的组合的作用的数据。铬含量在使用导热体构建保护层的过程中逐渐消耗。因此,通过较高的铬含量来延长使用寿命,因为形成保护层的元素铬的较高含量推迟了 Cr 含量低于临界限和形成不同于 Cr_2O_3 的其它氧化物,例如含铁氧化物的时间点。

[0005] 由 EP-A 0531775 已知具有下列组成 (以重量%计) 的耐热的、可热变形的奥氏体镍合金:

[0006] C 0.05-0.15%

[0007] Si 2.5-3.0%

[0008] Mn 0.2-0.5%

[0009] P 最多 0.015%

[0010] S 最多 0.005%

[0011] Cr 25-30%

[0012] Fe 20-27%

[0013] Al 0.05-0.15%

[0014] Cr 0.001-0.005%

[0015] SE 0.05-0.15%

[0016] N 0.05-0.20%

[0017] 余量是 Ni 和熔炼产生的杂质。

[0018] 在 EP-A 0386730 中描述了一种具有非常好的抗氧化性和耐热性的镍铬铁合金,如期望用于先进的导热体应用中的那些,这种合金从已知的导热合金 NiCr6015 出发并且通过组成上互相协调一致的改性可以实现使用特性的显著改善。所述合金不同于已知材料 NiCr6015 之处尤其在于,由钇来代替稀土金属,所述合金另外包含锆和钛,且根据锆和钛的含量以特殊方式调整氮含量。

[0019] 从 WO-A 2005/031018 获知在高温范围内使用的基本上具有下面的化学组成（以重量%计）的奥氏体 Fe-Cr-Ni 合金：

[0020] Ni 38-48%

[0021] Cr 18-24%

[0022] Si 1.0-1.9%

[0023] C < 0.1%

[0024] Fe 余量

[0025] 对于自由悬挂式加热元件，除了要求高使用寿命之外还要求应用温度下良好的形状稳定性。在运行期间螺旋线 (Wendel) 太严重的下沉（下垂）将导致具有不均匀的温度分布的不均匀的匝 (Windungen) 间距，由此缩短了使用寿命。为了补偿，可能需要更多用于加热螺旋线 (Heizwendel) 的支点，这将增加成本。也就是说，导热材料必须具有足够好的形状稳定性或抗蠕变性。

[0026] 在应用温度范围内损害形状稳定性的蠕变机制（位错蠕变、晶界滑移或扩散蠕变），除了位错蠕变以外均受到大粒度的影响而倾向于较大抗蠕变性。位错蠕变不取决于粒度。制造具有大粒度的金属线提高抗蠕变性并由此提高形状稳定性。因此，在任何情况下还应考虑作为重要影响因素的粒度。

[0027] 另外，对于导热材料重要的是尽可能高的比电阻，以及热态电阻 / 冷态电阻的比例随温度尽可能少的变化（温度系数 α ）。

[0028] 以成本明显较低为特征的镍含量较低的种类 NiCr3020 或 35Ni、20Cr（表 1 或表 2）只是不充分地满足了尤其是对使用寿命的要求。

[0029] 因此，本发明的目的在于设计一种合金，其在镍含量明显低于 NiCr6015 和因此明显较低成本的情况下具有下列特性：

[0030] a) 高抗氧化性和由此得到高使用寿命

[0031] b) 在应用温度下足够好的形状稳定性

[0032] c) 尽可能高的比电阻，结合热态电阻 / 冷态电阻的比例随温度尽可能少的变化（温度系数 α ）。

[0033] 所述目的通过一种铁镍铬硅合金来实现，所述合金含有（以重量%计）34 至 42% 的镍，18 至 26% 的铬，1.0 至 2.5% 的硅和下列添加物：0.05 至 1% 的 Al，0.01 至 1% 的 Mn，0.01 至 0.26% 的 Cu，0.0005 至 0.05% 的 Mg，0.01 至 0.14% 的碳，0.01 至 0.14% 的氮，最多 0.01% 的硫，最多 0.005% 的 B，余量铁和制备过程产生的常见杂质。

[0034] 本发明主题的有利改进方案由所属从属权利要求提出。

[0035] 这种合金通过其特殊的组成而具有比包含相同镍和铬含量的根据现有技术合金更长的使用寿命。另外，可以以 0.04 至 0.10% 碳达到比根据现有技术合金更高的形状稳定性或更小的下垂。

[0036] 元素镍的扩展范围 (Spreizungsbereich) 在 34 和 42% 之间，其中根据使用情况可以如下给出镍含量：

[0037] -34-39%

[0038] -34-38%

[0039] -34-37%

- [0040] -37-38%
- [0041] 铬含量在 18 至 26% 之间, 其中在此也根据合金的使用范围可以如下给出铬含量:
- [0042] -20-24%
- [0043] -21-24%
- [0044] 硅含量在 1.0 和 2.5% 之间, 其中根据应用范围可以在扩展范围内调节限定的含量:
- [0045] -1.5-2.5%
- [0046] -1.0-1.5%
- [0047] -1.5-2.0%
- [0048] -1.7-2.5%
- [0049] -1.2-1.7%
- [0050] -1.7-2.2%
- [0051] -2.0-2.5%
- [0052] 元素铝被设计为添加物且含量为 0.05 至 1%。优选还可以在合金中如下调节其含量:
- [0053] -0.1-0.7%。
- [0054] 同样适用于以合金的 0.01 至 1% 添加的元素锰。作为选择还可考虑下列扩展范围:
- [0055] -0.1-0.7%。
- [0056] 本发明的主题优选由此出发, 即在实施例给出的材料特性基本上通过添加含量为 0.01 至 0.26% 的元素镧来调节。根据应用范围, 还可以在合金中调节在此限定的值:
- [0057] -0.01-0.2%
- [0058] -0.02-0.15%
- [0059] -0.04-0.15%。
- [0060] 这同样适用于以含量在 0.01 和 0.14% 之间添加的元素氮。可以如下给出限定的含量:
- [0061] -0.02-0.10%
- [0062] -0.03-0.09%。
- [0063] 以同样的方式向合金中添加碳, 且含量在 0.01 和 0.14% 之间。具体地可以如下调节在合金中的含量:
- [0064] -0.04-0.14%
- [0065] -0.04-0.10%。
- [0066] 镁也属于附加元素, 含量 0.0005 至 0.05%。具体地可以在合金中如下调节这种元素:
- [0067] -0.001-0.05%
- [0068] -0.008-0.05%。
- [0069] 元素硫和硼可以如下添加到合金中:
- [0070] 硫最多 0.005%
- [0071] 硼最多 0.003%。

[0072] 另外,所述合金可以包含含量在 0.0005 和 0.07%之间,特别是 0.001 至 0.05%或 0.01 至 0.05%的钙。

[0073] 如果反应性元素镧单独的有效性不足以产生本文目的中所提出的材料特性,所述合金可以另外包含至少一种含量为 0.01 至 0.3%的元素 Ce、Y、Zr、Hf、Ti 中的至少一种,还可以根据需要限定添加物。

[0074] 添加亲氧元素例如 La、Ce、Y、Zr、Hf、Ti 来改善使用寿命。它们通过共同构建在氧化物层中且在那里阻断在晶界上氧的扩散途径来实现使用寿命的改善。因此,用于这种机制的元素的量必须标准化为原子量,从而可以互相比不同元素的量。

[0075] 因此,有效元素的电势 (PwE) 被定义为:

[0076] $PwE = 200 \sum (X_E/E \text{ 的原子量})$

[0077] 其中 E 是所涉及元素和 X_E 是所涉及元素的百分比含量。

[0078] 如上所述,所述合金可以含有分别为 0.01 至 0.3%的元素 La、Ce、Y、Zr、Hf、Ti 中的一种或多种,其中 $\sum PwE = 1.43X_{Ce} + 1.49X_{La} + 2.25X_Y + 2.19X_{Zr} + 1.12X_{Hf} + 4.18X_{Ti} \leq 0.38$,特别是 ≤ 0.36 (在总元素的 0.01 至 0.2%情况下),其中 PwE 对应有效元素的电势。

[0079] 作为选择,存在含量分别为 0.02 至 0.10%的元素 La、Ce、Y、Zr、Hf、Ti 中的至少一种时,总和可以是 $PwE = 1.43X_{Ce} + 1.49X_{La} + 2.25X_Y + 2.19X_{Zr} + 1.12X_{Hf} + 4.18X_{Ti}$ 小于等于 0.36,其中 PwE 对应有效元素的电势。

[0080] 此外,所述合金可以具有在 0.01 至 0.20%之间,特别是 0.005 至 0.020%的磷含量。

[0081] 另外,所述合金可以含有分别为 0.01 至 1.0%的元素 Mo、W、V、Nb、Ta、Co 中的一种或多种,此外还可以对它们作出如下限制:

[0082] -0.01-0.2%

[0083] -0.01-0.06%。

[0084] 最后,所述杂质可以是下列给出含量的元素铜、铅、锌和锡:

[0085] Cu 最多 1.0%

[0086] Pb 最多 0.002%

[0087] Zn 最多 0.002%

[0088] Sn 最多 0.002%。

[0089] 根据本发明的合金将应用在电加热元件中,特别是要求高形状稳定性和下垂小的电加热元件中。

[0090] 根据本发明的合金的具体应用情况是在构建窑炉中的使用。

[0091] 根据下面的实施例进一步说明本发明的主题。

实施例:

[0092] 表 1 至 3 反映了如开篇所述的现有技术。

[0093] 在表 4a 和 4b 中是根据现有技术的工业熔炼的铁镍铬硅合金 T1 至 T7,根据现有技术的实验室规模熔炼的合金 T8 和多种在实验室规模熔炼的根据本发明的试验合金 V771 至 V777、V1070 至 V1076、V1090 至 V1093,用来描述合金组成的优化。

[0094] 对于在实验室规模熔炼的合金 T8、V771 至 V777、V1070 至 V1076、V1090 至 V1093,

由浇铸成块的材料通过热轧、冷拉和适合的中间退火 (Zwischenglühung) 或最终退火 (Endglühung) 来制造柔软的经退火的金属线,其直径为 1.29mm。

[0095] 对于工业熔炼的合金 T1-T7,采用来自工业生产工厂制造的直径为 1.29mm 且柔软的经退火的样品。用于使用寿命试验时,取分别在实验室规模中较小部分量至 0.4mm 的所述金属线。

[0096] 对于金属线形式的导热体,用于材料互相之间进行比较的加速的使用寿命试验例如下列条件下是可行和常见的:

[0097] 导热体使用寿命试验利用直径为 0.40mm 的金属线来进行。将所述金属线张紧在距离为 150mm 的两条电引线 (Stromzuführungen) 之间,并且通过施加电压加热至直至 1150°C。加热至 1150°C 分别进行两分钟,随后切断供电 15 秒。在使用寿命结束时,所述金属线由于残余的横截面熔断而失效。运行时间 (Brenndauer) 是所述金属线在使用寿命期间“开通”时间的相加。相对运行时间 t_b 是以对比批次的运行时间计的 % 数据。

[0098] 用于形状稳定性的检验,检验在下垂试验中加热螺旋线在应用温度下的下沉行为 (下垂)。在此测定螺旋线在特定时间之后从水平线下沉的距离。下沉越少,则材料的形状稳定性或抗蠕变性越大。

[0099] 在这些试验中,将直径为 1.29mm 的柔软的经退火的金属线缠绕成内径 14mm 的螺旋。总的来说,每批制造分别具有 31 匝的 6 个加热螺旋线。在试验开始时将所有加热螺旋线调节至 1000°C 的统一起始温度。温度用高温计来测定。试验利用 30 秒开 / 30 秒关的通断周期 (Schaltzyklus) 在恒定电压下进行。4 小时之后结束实验。在加热螺旋线冷却之后测量每个匝从水平线的下沉并且求得 6 个值的平均值。这些值 (mm) 记录在表 4b 中。

[0100] 在表 4a 和 4b 中列出了根据现有技术 T1 至 T7 的合金的实例。T1 和 T2 是含有约 30% 镍、约 20% Cr 和约 2% Si 的合金。其包含稀土元素 (SE) 添加物,在这种情况下是铈混合金属,也就是说,SE 是由约 60% Ce、约 35% La 和余量 Pr 和 Nd 构成的。相对运行时间为 24% 或 35%。

[0101] 实施例 T3 是含有约 40% 镍、约 20% Cr 和约 1.3% Si 的合金。其包含稀土元素 (SE) 添加物,在这种情况下是铈混合金属,也就是说,SE 是由约 60% Ce、约 35% La 和余量 Pr 和 Nd 构成的。相对运行时间为 72%。

[0102] 实施例 T4 至 T7 是含有约 60% 镍、约 16% Cr 和约 1.2-1.5% Si 的合金。其包含稀土元素 (SE) 添加物,在这种情况下是铈混合金属,也就是说,SE 是由约 60% Ce、约 35% La 和余量 Pr 和 Nd 构成的。相对运行时间在约 100 至 130% 的范围内。

[0103] 另外,表 4a 和 4b 包括一系列实验室规模熔炼的合金。根据现有技术 T8 的在实验室规模熔炼的合金是含有 36.2% 镍、20.8% Cr 和 1.87% Si 的合金。如同工业制造的合金 T1-T7,其包含以铈混合金属形式的稀土元素 (SE) 添加物,也就是说,SE 是由约 60% Ce、约 35% La 和余量 Pr 和 Nd 构成的,除了 Ni 含量、Cr 含量和 Si 含量之外,根据与工业批次相同的规定来熔炼。因此,根据现有技术的批次 T1 至 T8 是可直接进行比较的。T8 的相对运行时间为 53%。

[0104] 对于实验室规模熔炼的根据本发明的试验合金 V771 至 V777、V1070 至 V1076、V1090 至 V1093, Ni 含量为约 36%, Cr 含量为约 20% 和 Si 含量为约 1.8%。Ce、La、Y、Zr、Hf、Ti、Al、Ca、Mg、C、N 的添加是变化的。这些批次因此可以直接与根据现有技术的合金 T8

进行比较,合金 T8 由此作为对照合金用于优化。

[0105] Ce 和 La 在 V771 至 V777、V1070、V1071 和 V1076 中的添加通过添加铈混合金属来实现。这些批次因此除了 Ce 和 La 之外还包含极少量的 Pr 和 Nd,但是由于它们极少的含量份额而在表 4a 中没有明确列出。

[0106] 如上所述,亲氧元素的添加改善使用寿命。所述亲氧元素通过共同构建在氧化物层中且在那里阻断在晶界上氧的扩散途径来实现使用寿命的改善。因此,用于这种机制的元素的量必须标准化为原子量,以便可以互相比不同元素的量。

[0107] 有效元素的电势 PwE 因此被定义为: $PwE = 200 * \text{总和}(X_E/E \text{ 的原子量})$,其中 E 是所涉及元素和 X_E 是所涉及元素的 % 含量。

[0108] 图 1 示出表 4a 和 4b 中给出的不同合金的相对运行时间 t_b 和电势 PwE 的示意图。区域 A:有效元素的常规含量,区域 B:有效元素的可能含量,区域 C:有效元素的过高含量。

[0109] 在 T6 与 T7 的对比中突出的是,SE 的含量相同,然而,尽管 T7 具有稍微长的使用寿命,但是其 Ca 和 Mg 的含量较少。在存在 SE 或者 Ce 或 La 的情况下,Ca 和 Mg 表现出不再是有效元素。因为在不含 SE 或者 Ce 或 La 的实验室熔体中,Ca 或 Mg 总是小于等于 0.001%,这两种元素没有被计入有效元素的电势中。

[0110] 因此,有效元素的电势 PwE 的相加通过 Ce、La、Y、Zr、Hf 和 Ti 来进行。如果不存在 Ce 和 La 的数据,而是由于添加铈混合金属只有 SE 的总数,则对于 PwE 的计算假设 $Ce = 0.6SE$ 和 $La = 0.35SE$ 。 $PwE = 1.43X_{Ce} + 1.49X_{La} + 2.25X_Y + 2.19X_{Zr} + 1.12X_{Hf} + 4.18X_{Ti}$

[0111] 对于根据现有技术的合金 T1 至 T8, PwE 在 0.11(T2 和 T4) 和 0.15(T6 和 T7) 之间。根据现有技术的合金 T8,其同样也是试验熔体的对比合金,其 PwE 为 0.12。

[0112] 试验熔体 V1090 和 V1072,其中没有添加铈混合金属,也就是说,没有添加 Ce 和 La,而由 Y 代替,它们显示出比 T8 更短的相对运行时间,尽管 V1090 具有 0.10 的较低 PwE ,而 V1072 具有 0.18 的较高 PwE 。Y 没有表现出如 Ce 和 / 或 La 那样良好地起作用,因此,通过 Y 来代替 SE 相对于现有技术来说导致效果变差。通过另外添加不同用量份额的 Zr 和 Ti (V1074) 或 Zr 和 Hf (V1092、V1073、V1091、V1093),成功地再次达到了 T8 的使用寿命。但是为此在任何情况下 PwE 大于 0.28 (V1092 和 V1073 为 0.28, V1074 为 0.50, V1091 为 0.33 和 V1093 为 0.42) 是必需的。这由于对昂贵的亲氧元素的较高需求而增加了成本且因此不是有利的途径。

[0113] 试验熔体 V771 至 V777、V1070、V1071 都与铈混合金属一起熔炼, V1075 只包含 La。试验熔体 V1075 和 V777 达到了这些试验熔体中最高的相对运行时间,为约 70%。V777 的 PwE 为 0.36,明显大于 V1075 的为 0.20 的 PwE ,0.20 是根据现有技术的合金的 PwE 的极限。由此可看出,大量的亲氧元素对于达到高的相对运行时间不是决定性的,而一重要得多的是,添加限定的亲氧元素。用 V777 达到了类似的良好相对运行时间,其含有 0.06% Ce、0.02% La、0.03% Zr 和 0.04% Ti 的组合。然而,为此需要比 V1075 高得多的为 0.36 的 PwE 。V772 的相对运行时间稍低于 V1075 和 V777,尽管其包含与 V1075 中相同量的 La。 PwE 非常高,为 0.53。过高的亲氧元素含量导致内部氧化的增强并且因此导致相对运行时间缩短的最终效果。因此,明显过量的为 0.36 的 PwE ,表明没有意义。V771 的 PwE 为 0.23,只是稍微大于 V1075 的 PwE ,却具有明显较短的相对运行时间。在 V771 中,亲氧元素的大部分由 Ce 和只有少部分由 La 构成。由此表明 La 作为改善运行时间的添加物比 Ce 要有效得

多。这明显也不能通过将 Ce 和 La 的量分别大幅度提高至 0.17% 和 0.08% 来得到平衡,例如 V773 在 PwE 升高至 0.36 时具有几乎相同的 58% 的相对运行时间。这证实了,前面已经提到的明显大于 0.36 的 PwE 没有意义。但是,即使在 PwE 为 0.22 时,例如相对运行时间为 59% 的 V776 在 $Ce = 0.06\%$ 与 $La = 0.02\%$ 与 $Zr = 0.05\%$ 的组合下显得不如例如只添加 La 的 V1075 那么有效,这表明,Zr 也不如 La 那么有效。这同样适用于向 Ce 和 La 中额外添加 Y,例如 V774 ($PwE = 0.28$) 所示,和额外添加 Ce、La、Zr 和 Hf 的组合,例如 V1070 ($PwE = 0.19$) 所示。将 PwE 升高至约 1.7 倍达到 0.32,这对于 Ce、La、Zr 和 Hf 的组合只引起 V1076 的相对持续时间延长至约 1.15 倍,这再次表明过高的 PwE 不再那么有效。在比较 V1071 与 V777 时再一次证实了这一点。V1071 含有与 V777 相同含量的 Ce、La、Zr,只有 Ti 含量明显较高,这意味着 PwE 为 0.44 且与 V777 相比明显降低的只有 49% 的运行时间。含有 0.07% Ce 和 0.03% La、0.05% Y 和 0.03% Hf 的 V775,其 PwE 为 0.30,相对运行时间只有 46%,这表明,向 Ce 和 La 中额外添加 Y 和 Zr 不那么有效。

[0114] 图 2 是用于说明前述的相对运行时间和 PwE 的示意图。图 2 示出取决于镍含量的根据现有技术的合金 T1 至 T8 的相对运行时间。直线限定了相对运行时间的分散范围,镍含量与根据现有技术合金的依赖关系落入所述范围。另外绘出的是含有最有效的元素 La 添加物的试验合金 V1075。其使用寿命明显位于所述分散范围的上方。

[0115] 在表 4b 中总结了金属线的下垂和粒度。根据现有技术的合金 T1 至 T8 示出,在 20 至 $25\mu m$ 之间的可比较的粒度下,其下垂在 4.5 和 6.2mm 之间。

[0116] 图 3 示出关于镍含量的绘图。但是显示镍含量对于下垂不是决定性的。

[0117] 图 4 示出关于合金 T1 至 T8 和试验合金关于 C 含量的绘图。因为试验合金具有不同的粒度,将它们分成两个级别,粒度为 19 至 $26\mu m$ 和粒度为 11 至 $16\mu m$ 。合金 T1 至 T8 与粒度为 19 至 $26\mu m$ 的试验合金,它们均具有可比的粒度,都显示出在 4.5 至 6.2mm 范围内的类似的下垂。粒度为 11 至 $16\mu m$ 且碳含量小于 0.042% 的试验合金如对基于较小粒度所预期的那样显示出约 8mm 的较大下垂。粒度为 11 至 $16\mu m$ 和碳含量大于 0.044% 的试验合金出乎意料地显示 2.8 至 5mm 的较小下垂。

[0118] 图 5 示出对合金 T1 至 T8 和试验合金的 N 含量的绘图。合金 T1 至 T8 与粒度为 19 至 $26\mu m$ 的试验合金,它们均具有可比的粒度,显示出随着 N 含量的增加而下垂减少。粒度为 11 至 $16\mu m$ 且 N 含量小于 0.010% 的试验合金如对基于所述粒度所预期的那样,显示出比所有粒度为 19 至 $26\mu m$ 的合金更大的下垂。粒度为 11 至 $16\mu m$ 和碳含量大于 0.044%,且同时氮含量大于 0.045% 的试验合金,出乎意料地显示出相比所有粒度为 19 至 $26\mu m$ 的合金相同至更小的下垂。

[0119] 图 6 示出关于 C+N 总和的绘图。其再一次证实了 C+N 如何一起明显减少下垂。合金 T1 至 T8 与粒度为 19 至 $26\mu m$ 的试验合金,它们均具有可比的粒度,显示出随着 C+N 含量的增加而下垂减少。粒度为 11 至 $16\mu m$ 且 C+N 含量小于 0.060% 的试验合金如对基于所述粒度所预期的那样,显示出比所有粒度为 19 至 $26\mu m$ 的合金更大的下垂。粒度为 11 至 $16\mu m$ 和 C+N 含量大于 0.09%,由碳含量大于 0.044% 且同时氮含量大于 0.045% 组成的试验合金,出人意料地显示出相比所有粒度为 19 至 $26\mu m$ 的合金相同至更小的下垂。

[0120] 较高的 C 或 N 含量如此显著地减少下垂,使得其不能完全被较小粒度增加下垂的作用抵消。试验合金全部都经过标准热处理。

[0121] 如表 4b 所示,特别是在 C 含量大于 0.04% 时产生较小的粒度。将标准热处理改变为稍高的温度时,则产生较大的粒度,这种 C 含量大于 0.04% 的合金可以实现下垂的进一步减少。

[0122] 在所有合金中,合金 V777 显示出最小的下垂。所述合金 V777 具有最高的 C 含量和第三高的 N 含量。由此,高 C 含量显示对减少下垂特别有效。

[0123] 镍含量低于 34% 使得使用寿命(相对运行时间)、比电阻和 ct 值变得很差。因此,34% 是镍含量的下限。过高的镍含量由于高昂的镍价格而造成较高成本。因此,42% 应是镍含量的上限。

[0124] 过低的 Cr 含量意味着, Cr 浓度过快降至临界极限之下。因此,18% Cr 是铬的下限。过高 Cr 含量使得合金的可加工性变差。因此,26% 是 Cr 的上限。

[0125] 在氧化铬层下面形成氧化硅层降低了氧化率。低于 1% 使得氧化硅层缺陷过多,从而完全丧失其作用。过高的 Si 含量不利地影响合金的可加工性。因此,2.5% 的 Si 含量是上限。

[0126] La 的最低含量为 0.01% 是必要的,从而获得 La 的增加耐氧化性的作用。上限为 0.26%,对应的 PwE 为 0.38。如在实施例中说明的,PwE 的值过高没有意义。

[0127] 需要 Al 来用于改善合金的可加工性。因此,Al 的最低含量为 0.05% 是必要的。过高含量则又不利地影响可加工性。因此,Al 含量被限定至 1%。

[0128] 最低含量为 0.01% 的 C 对良好的形状稳定性或较小的下垂是必要的。C 被限定至 0.14%,因为这种元素降低耐氧化性和可加工性。

[0129] 最低含量为 0.01% 的 N 对良好的形状稳定性或较小的下垂是必要的。N 被限定至 0.14%,因为这种元素降低耐氧化性和可加工性。

[0130] 对于 Mg 最低含量为 0.001% 是必需的,因为由此改善了材料的可加工性。极限值确定为 0.05%,从而不损害这种元素的积极作用。

[0131] 硫和硼的含量应尽量少,因为这种界面活化元素不利地影响耐氧化性。因此设定 S 为最多 0.01% 和 B 为最多 0.005%。

[0132] 铜被限定为最多 1%,因为这种元素降低耐氧化性。

[0133] Pb 被限定为最多 0.002%,因为这种元素降低耐氧化性。这同样适用于 Sn。

[0134] 最低含量为 0.01% 的 Mn 对于改善可加工性是必要的。锰被限定至 1%,因为这种元素降低耐氧化性。

[0135]

表 1 根据 DIN 17470 和 17742 的合金 (NiCr8020、NiCr7030、NiCr6015 的组成)。所有数据以重量%计。

	W-Nr.	Cr	Ni+Co ^{*)}	Fe	Al	Si	Mn	C	Cu	P	S	ρ (μΩm) 20℃	ρ (μΩm) 900℃
NiCr8020	2.4869	19-21	> 75	< 1.0	< 0.3	0.5-2.0	< 1.0	< 0.15	< 0.5	< 0.020	< 0.015	1.12 (1.08)	1.14
NiCr7030	2.4658	29-32	> 60	< 5.0	< 0.3	0.5-2.0	< 1.0	< 0.10	< 0.5	< 0.020	< 0.015	1.19 (1.16)	1.24
NiCr6015	2.4867	14-19	> 59	18-25	< 0.3	0.5-2.0	< 2.0	< 0.15	< 0.5	< 0.020	< 0.015	1.13 (1.11)	1.23
NiCr3020	1.4860	20-22	28.0-31.0	余量		2.0-3.0	< 1.5	< 0.2		< 0.045	< 0.03	1.02	1.28
NiCr2520	1.4843	22-25	19.0-22.0	余量		1.5-2.5	< 2.0	< 0.2		< 0.045	< 0.03	0.95	1.24

*) 最多 1.5% 的 Co

表 2: 根据 ASTM B344-83 的合金。所有数据以重量%计。

	Cr	Ni + Co ^{*)}	Fe	Si	Mn	C	S	ρ (μΩm)	ct (于 871℃)
80 Ni, 20 Cr	19-21	余量	< 1.0	0.75-1.75	< 1.0	< 0.15	< 0.01	1.081	1.008
60 Ni, 16 Cr	14-18	> 57		0.75-1.75	< 1.0	< 0.15	< 0.01	1.122	1.073
35 Ni, 20 Cr	18-21	34-37	余量	1.0-3.0	< 1.0	< 0.15	< 0.01	1.014	1.214

表 3: 商购可得的合金。所有数据以重量%计。

	353Ma	Microfer 3718 Alloy 330-DB	Inconel 330	Bright Alloy 35	Microfer 3718S0- Alloy DS-DB	Microfer 3718S0- Alloy DS-Band	Microfer 3519NB	Cronifer II	Cronifer III	Cronifer 45	Microfer 45TM	24889	Microthal 40	W02005/ 031018 A8	W02005/ 031018 A9
Ni	35	33-37	34-37	34-37	34.5-41	35-39	35.2-35.8	57-59	30-32	45-48	45-50	37	39-41	44-46	
Cr	25	15-17	17-20	18-21	17-19	17-19	19.2-19.8	14-17	19.5-21.5	22-24	26-29	20	20-22	20-22	
Si	1.3	1-2	0.75-1.5	1.0-3.0	1.9-2.6	1.9-2.5	1.9-2.5	1.0-1.75	1.8-3	1.5-2.2	2.5-3	2	1.0-1.5	1.0-1.5	
Al		最多 2	最多 2					最多 0.3	最多 0.3	最多 0.3	最多 0.2				
Mn		最多 2		最多 1	0.8-1.5	0.8-1.5	1.5		最多 1.0	最多 1.0	最多 1				
Nb							0.9				最多 0.3				
Cu					最多 0.5	最多 0.5									
Ti		最多 0.2			最多 0.2	最多 0.2	1.5								
se				是			0.03	最多 0.04	最多 0.10	最多 0.04	0.05-0.15				
Ce	是												0.01-0.04	0.01-0.04	
N	0.17									0.17			最多 0.15	最多 0.15	
C	多 0.05	最多 0.15	最多 0.08		最多 0.10	最多 0.10			最多 0.01	最多 0.08	0.05-0.12		最多 0.10	最多 0.10	
S		最多 0.015	最多 0.03	最多 0.15	最多 0.03						最多 0.01				
P		最多 0.045	最多 0.03	最多 0.01	最多 0.03						最多 0.015				
B															
Fe	余量	余量	余量		余量	余量	余量	余量	余量	余量	余量	余量	余量	余量	余量

[0137]

表 4a: 试验批次的相对运行时间 tb 和组成 (批次号以 V 开始) 和根据现有技术的批次 (T1 至 T8)。所有数据以重量 % 计。SE= (Ce、La、Pr、Nd) 总和。如果不存在 Ce 或 La 的数据, 但有 sE 的数据, 则用 0.6*sE 代替 Ce 和用 0.35*sE 代替 La。Chg=批次。

变量	Chg	Tb in %	Ni	Cr	Si	Al	Mn	sE	Ce	La	Zr	Y	Hf	Ti	Ca	Mg	PwE
Cronifer III	T1	24	30.7	20.3	2.05	0.05	0.34	0.10			< 0.01			< 0.01	0.001	< 0.01	0.14
Cronifer III	T2	35	31.0	21.0	2.13	0.06	0.37	0.08			< 0.01			< 0.01	< 0.001	< 0.01	0.11
Ni40Cr20Si	T3	72	41.6	20.7	1.36	0.31	0.46	0.06			< 0.01			0.01	0.024	0.005	0.13
Cronifer II	T4	97	59.2	16.2	1.23	0.30	0.30	0.08			< 0.01			0.01	0.043	0.014	0.11
Cronifer II	T5	106	59.5	16.1	1.5	0.22	0.25	0.05			0.01			0.01	0.026	0.01	0.14
Cronifer II	T6	122	59.1	16.2	1.41	0.28	0.26	0.06			0.01			0.01	0.033	0.011	0.15
Cronifer II	T7	128	59.4	16.1	1.26	0.30	0.29	0.06			0.01			0.01	0.027	0.006	0.15
Ni36Cr20Si	T8	53	36.2	20.8	1.87	0.03	0.43	0.08	0.06	0.02	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	0.006	0.0004	0.12
Ni36Cr20SiSE	V771	56	35.2	20.6	1.79	0.05	0.45		0.12	0.04		< 0.01	< 0.01		0.0003	0.0004	0.23
Ni36Cr20SiSE	V772	61	34.0	20.3	1.82	0.15	0.48		0.25	0.12		< 0.01	< 0.01		0.0001		0.53
Ni36Cr20SiSE	V773	58	35.4	20.3	1.82	0.13	0.47		0.17	0.08		< 0.01	< 0.01		0.0001		0.36
Ni36Cr20SiSEY	V774	59	35.8	19.3	1.76	0.08	0.35		0.09	0.04		0.04	< 0.01		0.0001		0.28
Ni36Cr20SiSEYHF	V775	46	34.7	19.4	1.81	0.06	0.36		0.07	0.03		0.05	0.03	< 0.01	0.0001		0.30
Ni36Cr20SiSEZr	V776	59	35.9	20.7	1.76	0.08	0.37		0.06	0.02	0.05	< 0.01	< 0.01		0.0016	0.0003	0.22

[0138]

Ni36Cr20Si5SEZr	V777	68	37.2	20.6	1.77	0.09	0.39		0.06	0.02	0.03	< 0.01	< 0.01	0.04	0.0001		0.36
Ni36Cr20Si5SEZrHF	V1070	50	36.1	20.7	1.82	0.05	0.42		0.05	0.02	0.03	< 0.01	0.02	< 0.01	0.0022	0.0004	0.19
Ni36Cr20Si5SEZrTi	V1071	49	36.1	20.9	1.85	0.04	0.43		0.06	0.02	0.03	< 0.01	< 0.01	0.07	0.0022	0.0003	0.44
Ni36Cr20SiY	V1072	37	34.8	22.1	1.78	0.04	0.43	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	0.0002	0.0001	0.18
Ni36Cr20SiYZrHF	V1073	51	35.2	20.8	1.76	0.05	0.43	< 0.01	< 0.01	< 0.01	0.05	0.07	0.02	< 0.01	0.0002	0.0001	0.28
Ni36Cr20SiYZrTi	V1074	48	34.3	21.8	1.73	0.05	0.41	< 0.01	< 0.01	< 0.01	0.04	0.07	< 0.01	0.06	0.0002	0.0001	0.50
Ni36Cr20SiLa	V1075	69	36.2	20.5	1.78	0.05	0.41		< 0.01	0.13	0.0001	< 0.01	< 0.01	0.004	0.0025	0.0002	0.20
Ni36Cr20SEZrHF	V1076	57	35.1	20.7	1.80	0.05	0.43		0.09	0.03	0.03	< 0.01	0.08	< 0.01	0.0043	0.0004	0.32
Ni36Cr20SiY	V1090	33	35.6	20.1	1.70	0.05	0.42	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	0.05	< 0.01	< 0.01	0.001	0.0003	0.10
Ni36Cr20SiYZrHF	V1091	51	35.6	20.2	1.74	0.06	0.42	< 0.01	< 0.01	< 0.01	0.06	0.07	0.04	< 0.01	0.0008	0.0003	0.33
Ni36Cr20SiYZrHF	V1092	48	35.7	20.2	1.73	0.07	0.41	< 0.01	< 0.01	< 0.01	0.05	0.063	0.029	< 0.01	0.0006	0.0003	0.28
Ni36Cr20SiYZrHF	V1093	54	35.8	20.4	1.80	0.07	0.43	< 0.01	< 0.01	< 0.01	0.08	0.08	0.06	< 0.01	0.001	0.0003	0.42

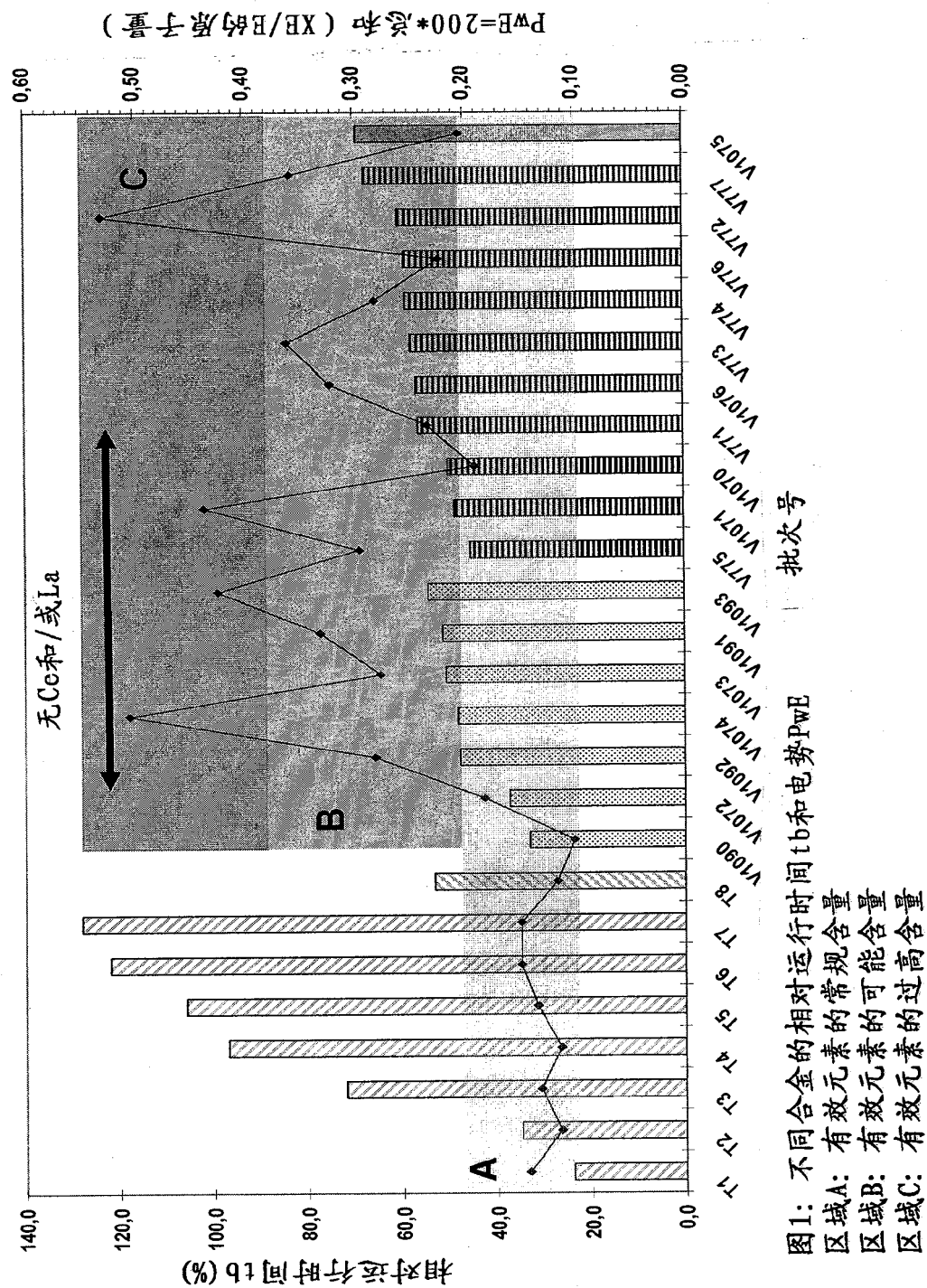
[0139]

表 4b: 继续: 试验批次的相对运行时间 tb 和组成 (批次号以 V 开始) 和根据现有技术的批次 (T1 至 T8)。
所有数据以重量 % 计。

变量	变量	Qng	Tb (%)	下垂 (mm)	KG (µm)	C	N	P	S	Mo	B	Co	Nb	V	W	Fe	Cu
Cronifer III	Cronifer III	T1	24			0.036	0.047	0.011	0.002	0.04	0.001	0.05	< 0.01	0.05	0.1	46.11	0.04
Cronifer III	Cronifer III	T2	35			0.047	0.043	0.01	0.002	0.03	0.001	0.08	< 0.01	0.03	0.01	45.88	0.04
Ni40Cr20Si	Ni40Cr20Si	T3	72	4.5	25	0.023	0.065	0.008	< 0.002	< 0.01	0.001	0.03	0.003	0.02	0.01	35.17	0.01
Cronifer II	Cronifer II	T4	97			0.019	0.038	0.006	0.0013	0.03	0.004	0.04	< 0.01	0.03		22.19	0.05
Cronifer II	Cronifer II	T5	106	5.2	20	0.012	0.050	0.005	0.0006	0.01	0.003	0.04	0.01	0.03		22.15	0.02
Cronifer II	Cronifer II	T6	122	5.4	22	0.016	0.046	0.005	0.0012	0.02	0.003	0.05	0.01	0.03		22.4	0.05
Cronifer II	Cronifer II	T7	128	4.8	22	0.014	0.048	0.005	0.0007	0.01	0.004	0.03	0.01	0.03		22.33	0.02
Ni36Cr20Si	Ni36Cr20Si	T8	53	6.2	22	0.034	0.031	0.002	0.0015	< 0.01	0.002					40.26	< 0.01
Ni36Cr20SiSE	SE	V771	56	3.7	11	0.055	0.050	0.002	0.001	< 0.01	< 0.001						
Ni36Cr20SiSE	SE Al	V772	61	4.0	11	0.054	0.070	0.002	0.0024	< 0.01							
Ni36Cr20SiSE	SE Al	V773	58	5.0	11	0.057	0.070	0.002	0.0025	< 0.01							
Ni36Cr20SiSEY	SE Y	V774	59	4.1	13	0.047	0.061	0.003	0.0022	0.001							
Ni36Cr20SiSEYHF	SE Y HF	V775	46	3.6	16	0.046	0.066	0.002	0.0016	0.001		0.01					
Ni36Cr20SiSEZr	SE Zr	V776	59	3.9	16	0.044	0.057	0.002	0.0023	0.01	< 0.001						
Ni36Cr20SiSEYTiZr	SE Ti Zr	V777	68	2.8	13	0.071	0.055	0.002	0.0022	0.01							
Ni36Cr20SiSEZrHF	SE ZrHF	V1070	50	5.2	22	0.030	0.030	0.002	0.0015	< 0.01	0.001	< 0.01				40.52	< 0.05

[0140]

Ni36Cr20Si5ZrTi	SE ZrTi	V1071	49	6.0	19	0.026	0.032	0.002	0.0019	< 0.01	0.001	< 0.01				40.31	< 0.01
Ni36Cr20SiY	Y	V1072	37	5.7	22	0.020	0.032	0.002	0.0012	< 0.01	0.001	< 0.01				40.71	< 0.01
Ni36Cr20SiYZrHF	YZrHF	V1073	51	5.7	19	0.022	0.025	< 0.002	0.0014	< 0.01	0.001	< 0.01				41.57	< 0.01
Ni36Cr20SiYZrTi	YZrTi	V1074	48	5.7	19	0.020	0.020	0.002	0.0017	< 0.01	0.001	< 0.01				41.5	< 0.01
Ni36Cr20SiLa	La	V1075	69	6.0	22	0.022	0.022	0.002	0.0024	< 0.01	0.001	< 0.01				41.81	< 0.01
Ni36Cr20SiSEZrHF	SEZrHF	V1076	57	5.1	22	0.022	0.029		0.0014	< 0.01	0.001	< 0.01				41.52	< 0.01
Ni36Cr20SiY	Yn	V1090	33	6.1	26	0.021	0.006	< 0.002	0.0018	< 0.01	0.002	< 0.01	< 0.01	0.01		41.93	< 0.01
Ni36Cr20SiYZrHF	YZrHF nN	V1091	51	8.5	16	0.021	0.006	< 0.002	0.0018	< 0.01	0.002	< 0.01	< 0.01	0.01		41.75	< 0.01
Ni36Cr20SiYZrHF	YZrHF nC N	V1092	48	7.8	16	0.007	0.008	< 0.002	0.0019	< 0.01	0.002	< 0.01	< 0.01	0.01		41.74	< 0.01
Ni36Cr20SiYZrHF	YZrHF nN nC	V1093	54	7.8	16	0.042	0.005	< 0.002	0.0014	0.01	0.002	< 0.01	< 0.01	0.01		41.34	< 0.01



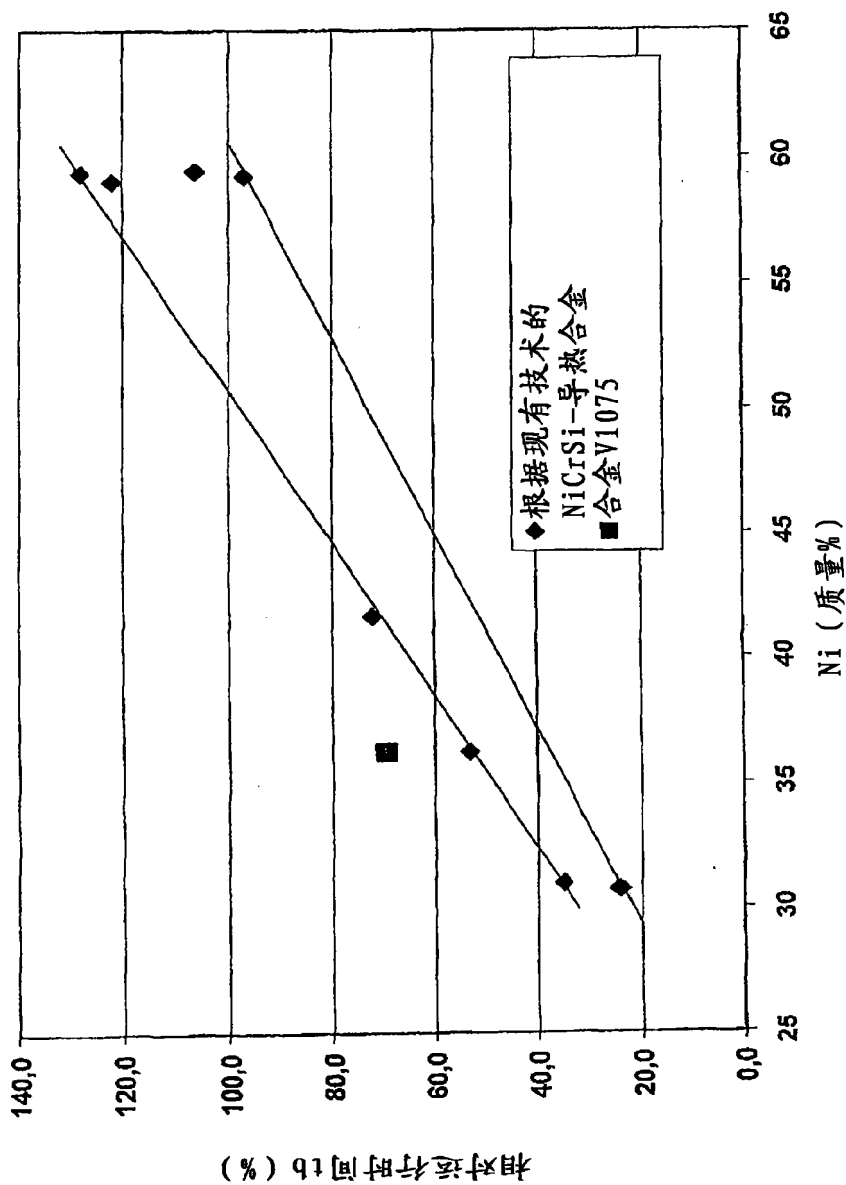


图2: 镍含量与相对运行时间的依赖关系。这两条直线给出了其中含有镍混合金属的同样添加的根据现有技术不同批次所在分散范围。试验合金V1075明显位于所述范围的上方。

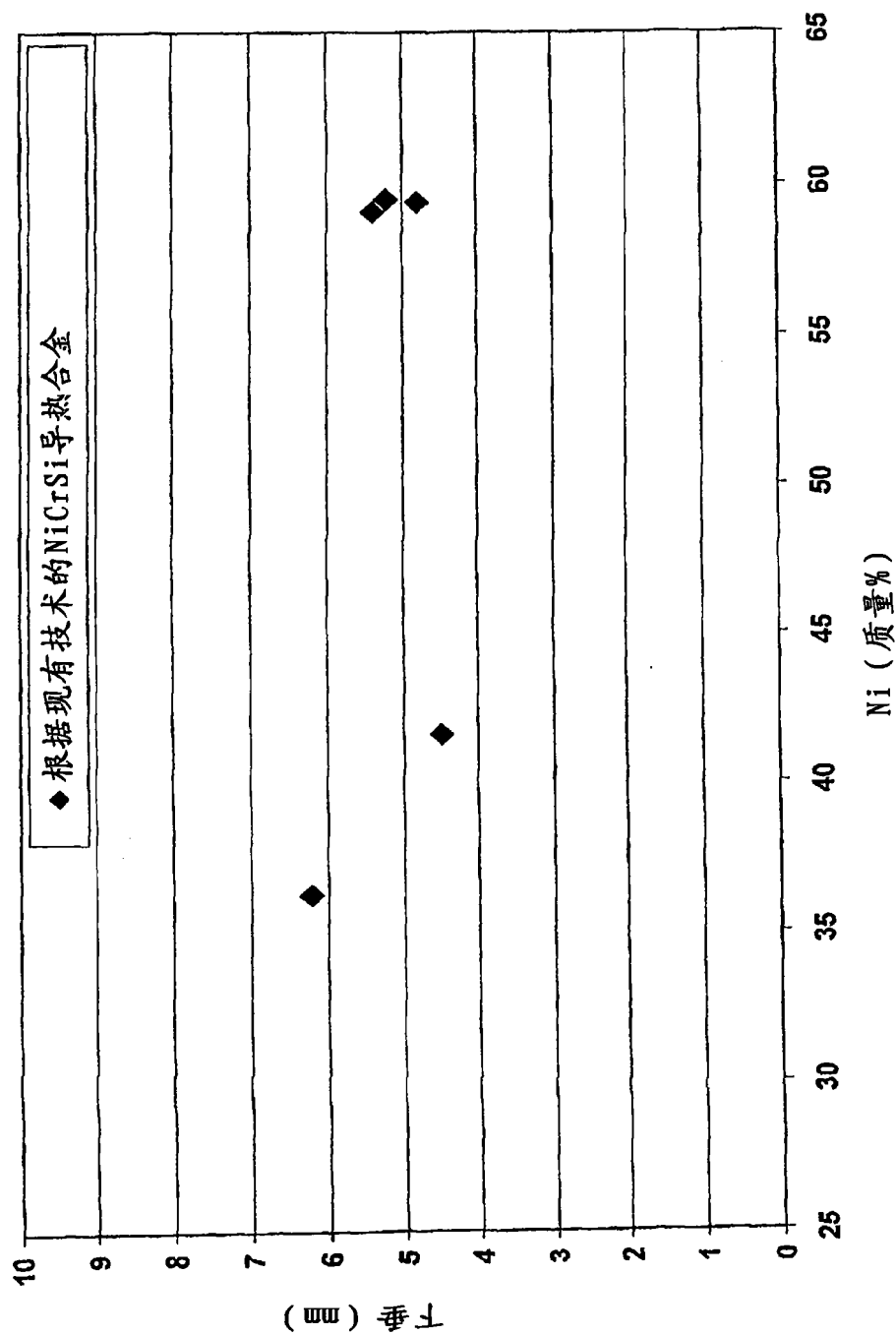


图3: 根据现有技术合金的下垂与镍含量的依赖关系。

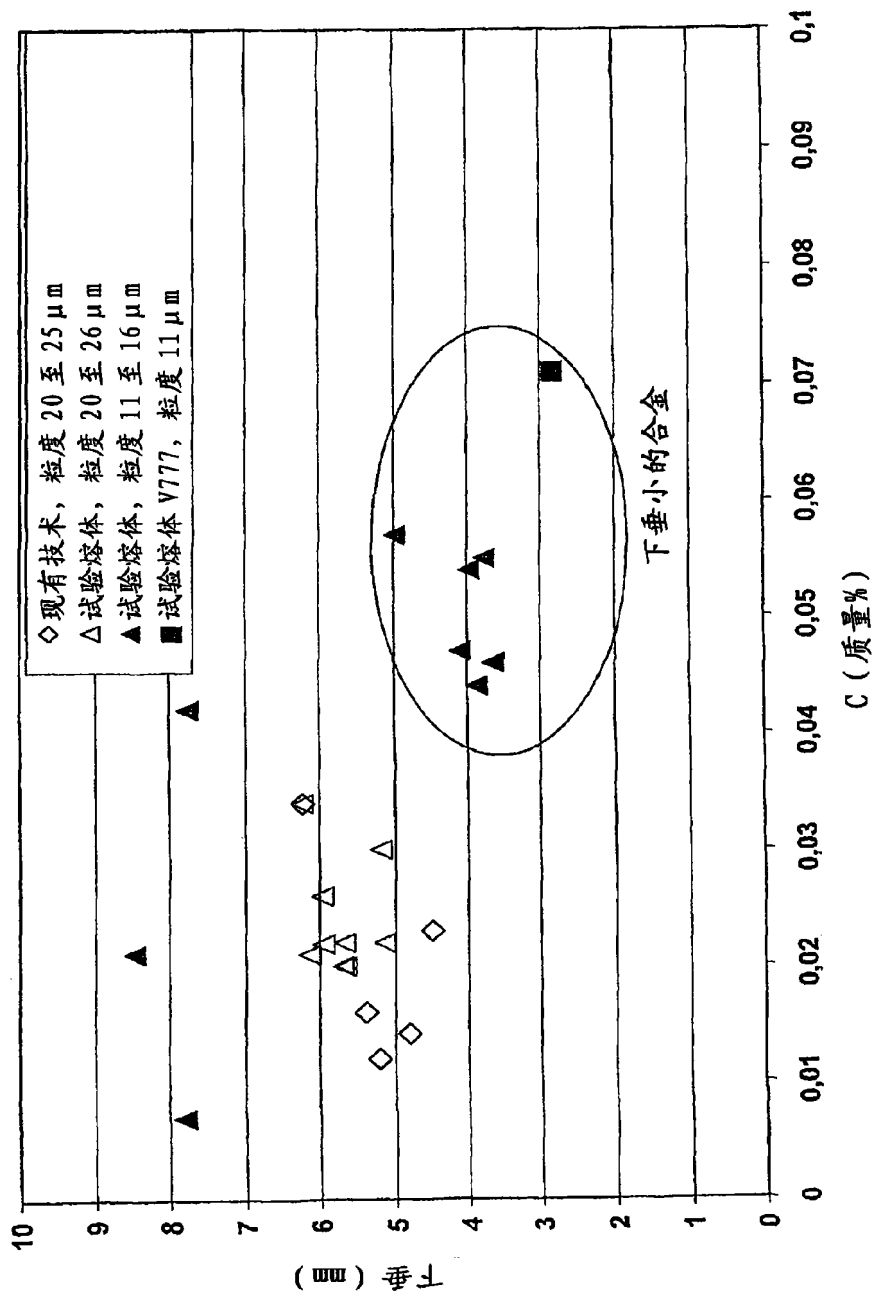


图4: 碳含量与根据现有技术合金和试验合金的下垂的依赖关系。

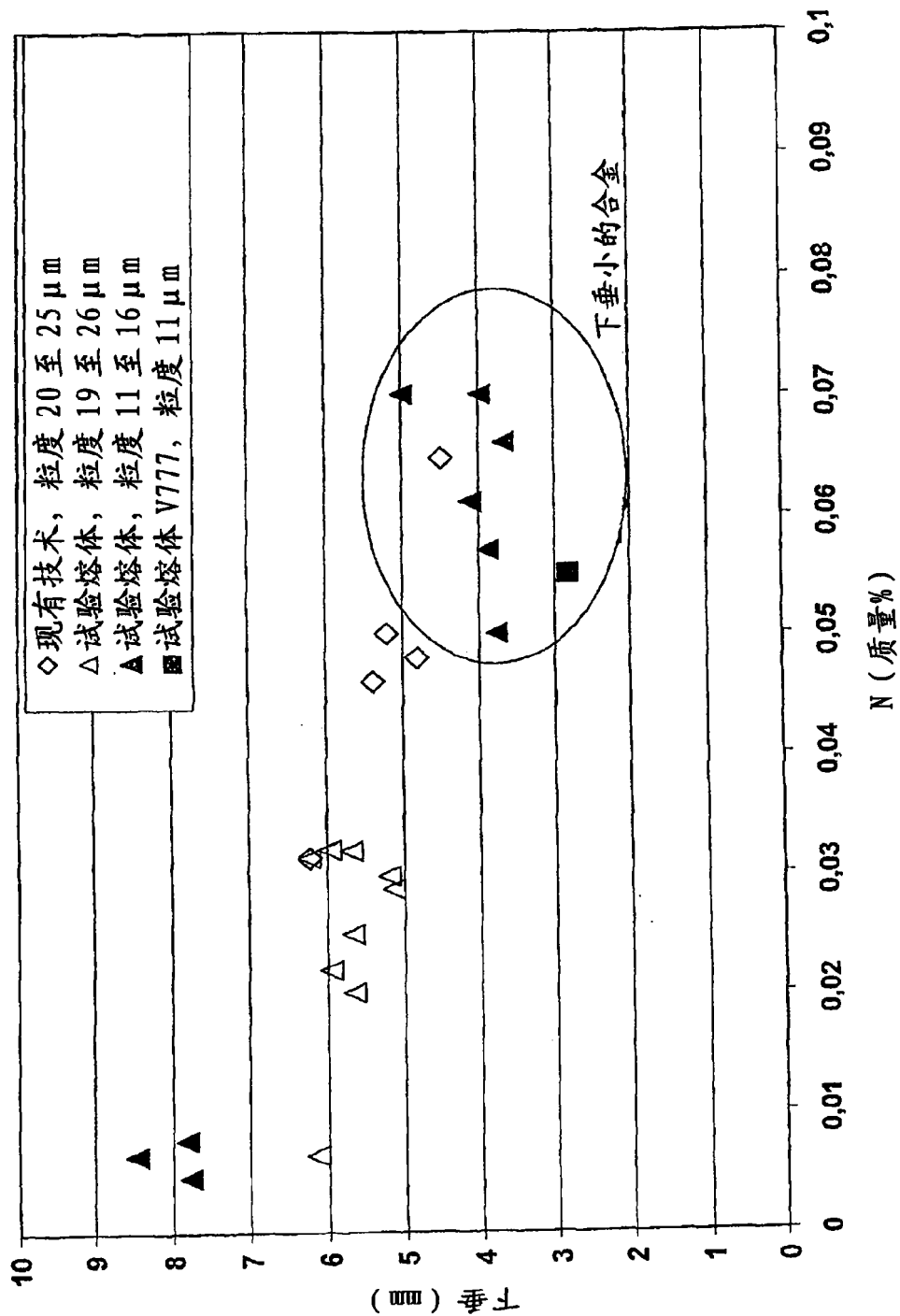


图5: 氮含量与根据现有技术合金和试验合金的下垂的依赖关系。

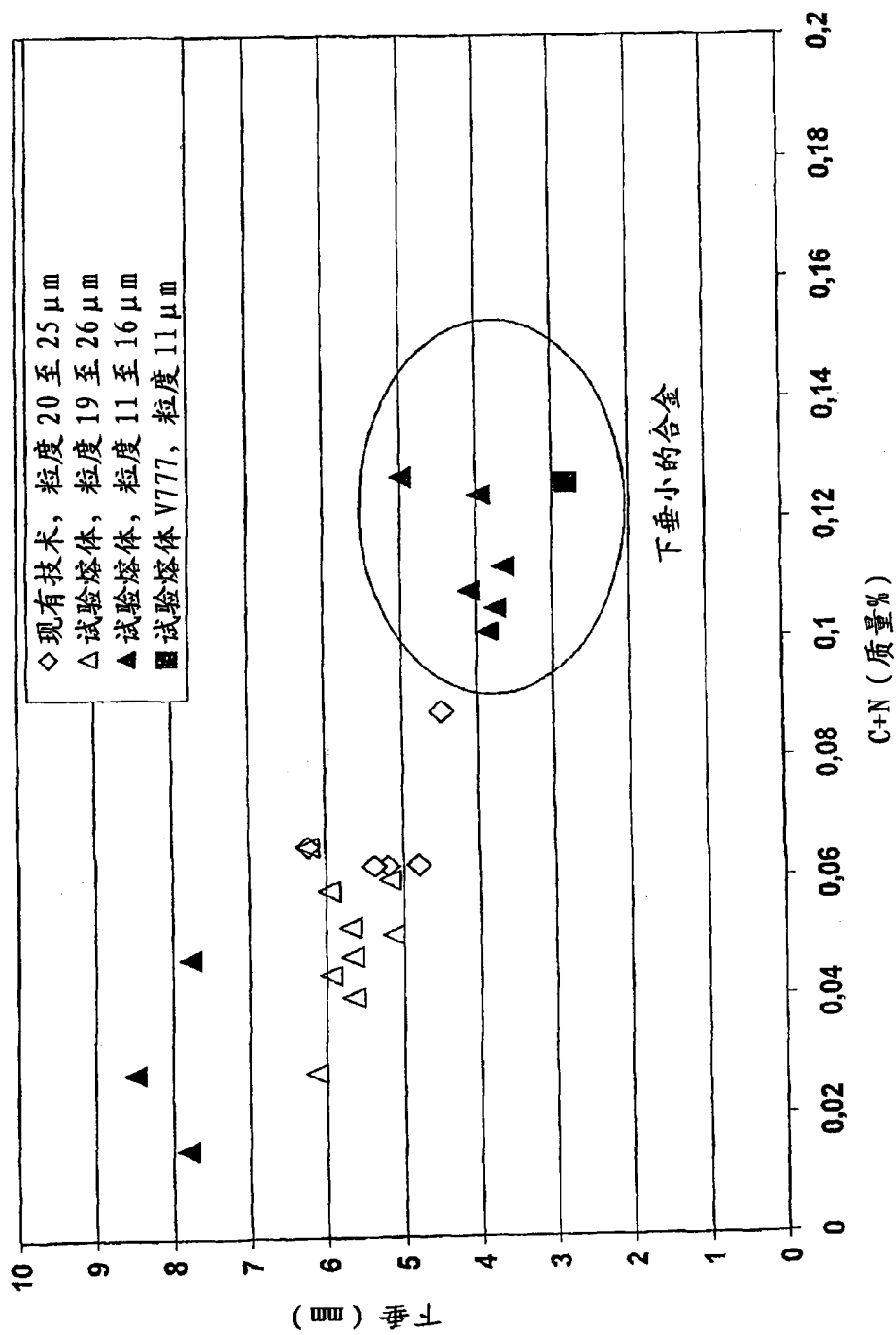


图6: C+N总和与根据现有技术合金和试验合金的下垂的依赖关系。