



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101707948 B

(45) 授权公告日 2014. 10. 15

(21) 申请号 200880019857. 0

C22C 38/08 (2006. 01)

(22) 申请日 2008. 06. 12

(56) 对比文件

(30) 优先权数据

102007029400. 1 2007. 06. 26 DE

JP 特开平 6-330226 A, 1994. 11. 29, 全文.

US 6623869 B1, 2003. 09. 23, 第 2 栏第 45-63 行、第 3 栏第 2-3、25-55 行、第 6-8 栏、表 1、表 2、4、6、10.

(85) PCT 国际申请进入国家阶段日

2009. 12. 11

审查员 谭南

(86) PCT 国际申请的申请数据

PCT/DE2008/000965 2008. 06. 12

(87) PCT 国际申请的公布数据

W02009/000230 DE 2008. 12. 31

(73) 专利权人 奥托昆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·哈坦多夫 J·维贝尔斯普

(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 邓毅

(51) Int. Cl.

C22C 19/05 (2006. 01)

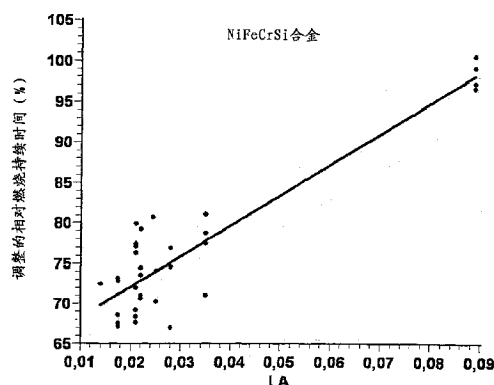
权利要求书 2 页 说明书 10 页 附图 3 页

(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(重量%)19至34%或42至87%的镍,12至26%的铬,0.75至2.5%的硅,并添加有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,0.04至0.14%的碳,0.02至0.14%的氮,另外还包含0.0005至0.07%的Ca,0.002至0.020%的P,最多0.01%的硫,最多0.005%的B,余量的铁和常见的由工艺导致的杂质。



图示说明了相对燃烧持续时间 t_b 对La含量的依赖性,其中借助于多元线性回归分析算出了Ni-、Cr-、Si对含量的影响

1. 铁镍铬硅合金作为电加热元件的部件的用途,所述铁镍铬硅合金含有以重量%计 25 至 34% 的 Ni, 12 至 26% 的 Cr, 1.5 至 2.5% 的 Si, 添加有 0.1 至 0.7% 的 Al、0.1 至 0.7% 的 Mn、0.02 至 0.2% 的 La、0.001 至 0.05% 的 Mg、0.04 至 0.1% 的 C、0.02 至 0.1% 的 N, 另外还包含 0.0005 至 0.05% 的 Ca, 0.005 至 0.02% 的 P, 最多 0.005% 的 S, 最多 0.003% 的 B, 余量的 Fe 和常见的由工艺导致的杂质, 其中所述合金另外作为添加物以分别为 0.01 至 0.2% 的含量包含元素 Ce、Y、Zr、Hf、Ti 中的至少一种, 其中总和 $PwE = 1.43 \cdot X_{Ce} + 1.49 \cdot X_{La} + 2.25 \cdot X_Y + 2.19 \cdot X_{Zr} + 1.12 \cdot X_{Hf} + 4.18 \cdot X_{Ti} \leq 0.36$, 其中 PwE 对应有效元素的电势, 所述铁镍铬硅合金的杂质的含量被调节至最多 1.0% 的 Cu, 最多 0.002% 的 Zn, 最多 0.002% 的 Sn。

2. 根据权利要求 1 的用途, 其中所述铁镍铬硅合金具有 25 至 28% 的 Ni 含量。

3. 根据权利要求 1 的用途, 其中所述铁镍铬硅合金具有 28 至 31% 的 Ni 含量。

4. 根据权利要求 1 的用途, 其中所述铁镍铬硅合金具有 31 至 34% 的 Ni 含量。

5. 根据权利要求 1-4 中任一项的用途, 其中所述铁镍铬硅合金具有 14 至 18% 的 Cr 含量。

6. 根据权利要求 1-4 中任一项的用途, 其中所述铁镍铬硅合金具有 18 至 21% 的 Cr 含量。

7. 根据权利要求 1-4 中任一项的用途, 其中所述铁镍铬硅合金具有 20 至 26% 的 Cr 含量。

8. 根据权利要求 1-4 中任一项的用途, 其中所述铁镍铬硅合金具有 21 至 24% 的 Cr 含量。

9. 根据权利要求 1-4 中任一项的用途, 其中所述铁镍铬硅合金具有 20 至 23% 的 Cr 含量。

10. 根据权利要求 1-4 中任一项的用途, 其中所述铁镍铬硅合金具有 23 至 26% 的 Cr 含量。

11. 根据权利要求 1-4 中任一项的用途, 其中所述铁镍铬硅合金具有 1.5 至 2.0% 的 Si 含量。

12. 根据权利要求 1-4 中任一项的用途, 其中所述铁镍铬硅合金具有 1.7 至 2.5% 的 Si 含量。

13. 根据权利要求 1-4 中任一项的用途, 其中所述铁镍铬硅合金具有 1.7 至 2.2% 的 Si 含量。

14. 根据权利要求 1-4 中任一项的用途, 其中所述铁镍铬硅合金具有 2.0 至 2.5% 的 Si 含量。

15. 根据权利要求 1-4 中任一项的用途, 其中所述铁镍铬硅合金具有 0.02 至 0.15% 的 La 含量。

16. 根据权利要求 1-4 中任一项的用途, 其中所述铁镍铬硅合金具有 0.04 至 0.15% 的 La 含量。

17. 根据权利要求 1-4 中任一项的用途, 其中所述铁镍铬硅合金具有 0.03 至 0.09% 的 N 含量。

18. 根据权利要求 1-4 中任一项的用途, 其中所述铁镍铬硅合金具有 0.05 至 0.09% 的 N 含量。

19. 根据权利要求 1-4 中任一项的用途,其中所述铁镍铬硅合金具有 0.008 至 0.05% 的 Mg 含量。

20. 根据权利要求 1-4 中任一项的用途,其中所述铁镍铬硅合金具有 0.001 至 0.05% 的 Ca 含量。

21. 根据权利要求 1-4 中任一项的用途,其中所述铁镍铬硅合金具有 0.01 至 0.05% 的 Ca 含量。

22. 根据权利要求 1-4 中任一项的用途,其中所述铁镍铬硅合金分别含有 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 $PwE = 1.43 \cdot X_{Ce} + 1.49 \cdot X_{La} + 2.25 \cdot X_Y + 2.19 \cdot X_{Zr} + 1.12 \cdot X_{Hf} + 4.18 \cdot X_{Ti} \leq 0.36$,其中 PwE 对应有效元素的电势。

23. 根据权利要求 1-4 中任一项的用途,其中所述铁镍铬硅合金另外分别包含 0.01 至 1.0% 的元素 Mo、W、V、Nb、Ta 中的一种或多种。

24. 根据权利要求 1-4 中任一项的用途,其中所述铁镍铬硅合金另外分别包含 0.01 至 0.2% 的元素 Mo、W、V、Nb、Ta 中的一种或多种。

25. 根据权利要求 1-4 中任一项的用途,其中所述铁镍铬硅合金另外分别包含 0.01 至 0.06% 的元素 Mo、W、V、Nb、Ta 中的一种或多种。

26. 根据权利要求 1-4 中任一项的用途,其中所述铁镍铬硅合金的杂质的含量被调节至最多 0.002% 的 Pb,最多 0.002% 的 Zn,最多 0.002% 的 Sn。

27. 根据权利要求 1-4 中任一项的用途,其中所述合金作为管形加热体中的部件。

28. 根据权利要求 1-4 中任一项的用途,其中所述合金作为电加热元件,所述电加热元件要求高形状稳定性或低下垂。

29. 根据权利要求 1-4 中任一项的用途,所述合金作为窑炉构造中的部件。

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] 具有不同的镍-、铬-、和硅含量的奥氏体铁镍铬硅合金长期以来被用作在直至 1100°C 的温度范围内的发热体 (Heizleiter)。对于作为发热体合金的用途,这种合金组在 DIN 17470 (表 1) 和 ASTM B344-01 (表 2) 中已经标准化。在表 3 中列出的一系列商业上可提供的合金符合所述标准。

[0003] 近年来镍价格的大大提高催生了下列愿望,即使用具有尽可能低的镍含量的发热体合金或显著提高所用合金的使用寿命。这使得加热元件的制造商或者用具有更低镍含量的合金来替换,或者对顾客解释说较高的价格是因为具有更长的耐久性。

[0004] 一般来说应该注意到,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的增加而升高。所有这些合金都形成氧化铬层 (Cr_2O_3),具有位于其下的或多或少封闭的 SiO_2 层。少量添加强亲氧性元素例如 Ce、Zr、Th、Ca、Ta (Pfeifer/Thomas, Zunderfeste Legierungen 2. Auflage, Springer Verlag 1963, 258 和 259 页) 增加了使用寿命,其中在所引用的情况下只检验了单个亲氧元素的影响,而没有关于这类元素的组合做出说明。在使用用于构建保护层的发热体的过程中铬含量被消耗。因此,通过更高的铬含量而延长了使用寿命,因为形成保护层的元素铬的较高含量延迟了 Cr 含量低于临界值的时间点,并且形成不同于 Cr_2O_3 的其它氧化物,其例如为含铁的氧化物。

[0005] 通过 EP-A 0 531 775 已知一种具有下列组成 (重量%) 的耐热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] 余量的 Ni 和由熔融导致的杂质。

[0018] 在 EP-A 0386 730 中描述了一种具有非常好抗氧化性和耐热性的镍铬铁合金,如对于前述发热体应用所期望的那些,所述合金由发热体合金 NiCr6015 出发,且在通过互相协调的对组成的改变下可以实现使用性能的显著改善。所述合金与已知的材料 NiCr6015 的不同之处特别在于,用钇代替稀土金属,所述合金额外地包含锆和钛,且相对锆和钛的含量以特别的方式调节氮含量。

[0019] 从 WO-A 2005/031018 获知一种在高温范围内采用了奥氏体 Fe-Cr-Ni 合金,其主

要具有下面的化学组成（重量%）：

[0020] Ni 38-48%

[0021] Cr 18-24%

[0022] Si 1.0-1.9%

[0023] C < 0.1%

[0024] Fe 余量。

[0025] 在自由悬挂式（**freihängenden**）的加热元件方面，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。在运行过程中线圈（Wendel）过大的下沉（下垂）导致匝（Windung）的不均匀间距，同时导致温度的分布不均匀，由此缩短了使用寿命。为了抵消该缺点，可以要求加热线圈有多个支撑点，这将增加成本。也就是说，发热体材料必须具有充分良好的形状稳定性或耐蠕变性。

[0026] 所有在应用温度范围内对形状稳定性造成不利影响的蠕变机制（位错蠕变、晶界滑移或扩散蠕变）都通过大的颗粒尺寸而产生较大的耐蠕变性的影响（除了位错蠕变之外）。位错蠕变不取决于颗粒尺寸。具有大的颗粒尺寸的金属丝（Draht）的产生提高了耐蠕变性并由此提高了形状稳定性。因此，在所有情况下还应该将颗粒尺寸视为重要的影响因素。

[0027] 另外，对发热体材料重要的是尽可能高的比电阻，和尽可能少的热电阻 / 冷电阻的比例随温度（温度系数 α_t ）的变化。

[0028] 本发明的目的在于，设计一种合金，它在与表 1 和 2 中的根据现有技术的合金具有类似的镍 - 铬 - 和 Si 含量的情况下，具有：

[0029] a) 明显改善的抗氧化性和由此得到的长使用寿命

[0030] b) 在应用温度下明显改善的形状稳定性

[0031] c) 与尽可能少的热电阻 / 冷电阻的比例随温度（温度系数 α_t ）的变化相结合的高比电阻。

[0032] 所述目的通过一种铁镍铬硅合金来实现，所述合金含有（重量%）19 至 34% 或 42 至 87% 的镍，12 至 26% 的铬，0.75 至 2.5% 的硅，并添加有 0.05 至 1% 的 Al，0.01 至 1% 的 Mn，0.01 至 0.26% 的 Ti，0.0005 至 0.05% 的 Mg，0.04 至 0.14% 的碳，0.02 至 0.14% 的氮，另外还包含 0.0005 至 0.07% 的 Ca，0.002 至 0.020% 的 P，最多 0.01% 的硫，最多 0.005% 的 B，余量的铁和常见的由工艺导致的杂质。

[0033] 本发明的主题的有利改进方案可由从属权利要求得到。

[0034] 所述合金通过其特殊的组成而比具有可比的镍含量和铬含量的根据现有技术的合金具有更长的使用寿命。另外，可以实现与根据现有技术的合金相比增加的形状稳定性或较少下垂。

[0035] 元素镍的分开的范围在 19 至 34% 之间，或者在 42 至 87% 之间，其中镍含量根据使用情况可以如下给出并且根据在合金中的使用情况来调节。

[0036] 优选的在 19 和 34% 之间的 Ni 范围如下给出：

[0037] -19 至 25%

[0038] -19 至 22%

[0039] -23 至 25%

- [0040] -25 至 34%
- [0041] -25 至 28%
- [0042] -28 至 31%
- [0043] -31 至 34%
- [0044] 优选的在 42 和 87%之间的 Ni 范围如下给出：
- [0045] -42 至 44%
- [0046] -44 至 52%
- [0047] -44 至 48%
- [0048] -48 至 52%
- [0049] -52 至 57%
- [0050] -57 至 65%
- [0051] -57 至 61%
- [0052] -61 至 65%
- [0053] -65 至 75%
- [0054] -65 至 70%
- [0055] -70 至 75%
- [0056] -75 至 83%
- [0057] -75 至 79%
- [0058] -79 至 83%。
- [0059] 铬含量在 12 和 26%之间,其中在此也视合金的使用范围而定,铬含量可以如下给出：
- [0060] -14 至 26%
- [0061] -14 至 18%
- [0062] -18 至 21%
- [0063] -20 至 26%
- [0064] -21 至 24%
- [0065] -20 至 23%
- [0066] -23 至 26%。
- [0067] 硅含量在 0.75 和 2.5%之间,其中视应用范围而定可以在分开范围内调界限定的含量：
- [0068] -1.0 至 2.5%
- [0069] -1.5 至 2.5%
- [0070] -1.0 至 1.5%
- [0071] -1.5 至 2.0%
- [0072] -1.7 至 2.5%
- [0073] -1.2 至 1.7%
- [0074] -1.7 至 2.2%
- [0075] -2.0 至 2.5%。
- [0076] 元素铝被设计为添加物并且含量为 0.05-1%。优选可以如下调节在合金中的含

量：

[0077] -0.1-0.7%。

[0078] 这同样适用于以 0.01 至 1% 添加到合金中的元素锰。作为选择还可以设想如下的分开的范围：

[0079] -0.1-0.7%。

[0080] 本发明的主题优选从此出发，即在实施例给出的材料性能基本上随着含量为 0.01 至 0.26% 的元素镧的添加来调节。视应用范围而定在此还可以在合金中调节限定的值：

[0081] -0.02-0.26%

[0082] -0.02-0.20%

[0083] -0.02-0.15%

[0084] -0.04-0.15%。

[0085] 这同样适用于以在 0.02 和 0.14% 之间的含量添加的氮。限定的含量可以如下给出：

[0086] -0.02-0.10%

[0087] -0.03-0.09%

[0088] -0.05-0.09%。

[0089] 以同样的方式向所述合金中添加碳，并且含量在 0.04 和 0.14% 之间。具体可以如下调节合金中的含量：

[0090] -0.04-0.10%。

[0091] 镁也属于附加元素，含量为 0.0005 至 0.05%。具体地可以如下调节这种元素在合金中的含量：

[0092] -0.001-0.05%

[0093] -0.008-0.05%。

[0094] 所述合金还可以包含钙，含量在 0.0005 和 0.07% 之间，特别是 0.001 至 0.05% 或者 0.01 至 0.05%。

[0095] 所述合金还可以包含磷，含量在 0.002 和 0.020% 之间，特别是 0.005 至 0.02%。

[0096] 可以如下调节合金中的元素硫和硼：

[0097] 硫最多 0.005%

[0098] 硼最多 0.003%。

[0099] 只要反应性元素镧的有效性单独不足以产生在问题提出中说明的材料性能，则所述合金可以另外以 0.01 至 0.3% 的含量包含元素 Ce、Y、Zr、Hf、Ti，其中这些元素按照需要也可有限地添加。

[0100] 亲氧元素，如优选 La 和根据需要 Ce、Y、Zr、Hf、Ti 的添加改善了使用寿命，它们通过一起置入到氧化物层中并且在那里在晶界上阻断氧的扩散路径而实现上述目的。因此，提供所述机制的元素的量必须标准化至原子量，从而可以互相比较各种元素的量。

[0101] 有效元素的电势 (PwE) 因此被定义为

[0102]
$$PwE = 200 \cdot \sum (X_E / E \text{ 的原子量})$$

[0103] 其中 E 是所涉及元素且 X_E 是所涉及元素的百分含量。

[0104] 如上所述,所述合金可以分别含有 0.01 至 0.3% 的一种或多种元素 La、Ce、Y、Zr、Hf、Ti,其中 $\Sigma \text{PwE} = 1.43 \cdot X_{\text{Ce}} + 1.49 \cdot X_{\text{La}} + 2.25 \cdot X_{\text{Y}} + 2.19 \cdot X_{\text{Zr}} + 1.12 \cdot X_{\text{Hf}} + 4.18 \cdot X_{\text{Ti}} \leq 0.38$, 尤其是 ≤ 0.36 (总的元素的 0.01 至 0.2%), 其中 PwE 对应有有效元素的电势。

[0105] 作为选择,在存在含量为 0.02 至 0.10% 的元素 La、Ce、Y、Zr、Hf、Ti 中的至少一种时,总和为 $\text{PwE} = 1.43 \cdot X_{\text{Ce}} + 1.49 \cdot X_{\text{La}} + 2.25 \cdot X_{\text{Y}} + 2.19 \cdot X_{\text{Zr}} + 1.12 \cdot X_{\text{Hf}} + 4.18 \cdot X_{\text{Ti}} \leq 0.36$, 其中 PwE 对应有有效元素的电势。

[0106] 另外,所述合金可以分别包含在 0.01 至 1.0% 之间的一种或多种元素 Mo、W、V、Nb、Ta、Co,此外还可以对它们做如下限制:

[0107] -0.01 至 0.06%

[0108] -0.01 至 0.2%。

[0109] 最后,在杂质方面还可以给出如下含量的元素铜、铅、锌和锡:

[0110] Cu 最多 1.0%

[0111] Pb 最多 0.002%

[0112] Zn 最多 0.002%

[0113] Sn 最多 0.002%。

[0114] 根据本发明的合金应优选用在电加热元件中,特别是要求高形状稳定性和低下垂的电加热元件中。

[0115] 然而,还可以设想用在管形加热体的加热元件中。

[0116] 根据本发明的合金的其它具体用途是用于在窑炉构造中。

[0117] 根据下面的实施例详细说明本发明的主题。

实施例:

[0118] 表 1 至 3 反映了现有技术(如已经在开头提到的)。

[0119] 对于在下面的实施例中工业熔炼的合金,从大工业生产中取出直径为 1.29mm 的完成制造的且退火软化了的样品。用于使用寿命测试,分别在实验室规模下以直至 0.4mm 取金属丝的小部分量。

[0120] 对于加热元件,特别是金属丝形式的发热体,可以进行并且常见的是例如在下列条件下用于材料互比较的加速的使用寿命测试:

[0121] 发热体使用寿命试验在直径为 0.40mm 的金属丝上进行。将所述金属丝张紧在距离为 150mm 的两根电导线之间,并且通过施加电压将其加热至 1150°C。至 1150°C 的加热分别进行 2 分钟,然后断开电流输入 15 秒钟。在使用寿命的末尾所述金属丝的剩余横截面熔断而报废。燃烧持续时间是金属丝在使用寿命期间的“接通”时间的加合。相对燃烧持续时间 t_b 是基于参照装料(Referenzcharge)的燃烧持续时间计的数据(%)。

[0122] 对于形状稳定性的检验,在下垂测试中检验在应用温度下加热线圈的下沉行为(下垂)。在此过程中,在加热线圈上测定线圈在一定时间之后从水平线的下沉。下沉越少,则材料的形状稳定性或耐蠕变性越大。

[0123] 对于该试验,将直径为 1.29mm 的退火软化了的金属线缠绕成内直径为 14mm 的螺旋线圈(Spiralen)。对于每份装料,总共制成分别具有 31 匝的 6 个加热线圈。所有加热线圈在试验开始时将温度调节至统一的 1000°C 的初始温度。用高温计确定温度。所述试验在

恒定的电压下利用 30 秒钟“接通”/30 秒钟“断开”的通断循环来进行。4 个小时之后结束试验。待加热线圈冷却之后,测量单个匝从水平线处的下沉(下垂)并且求出加热线圈的 6 个值的平均值。

[0124] 大工业制造不同的示例性合金并且如上所述进行检验,它们包含的镍含量为 30 至 34%,或者 50 至 60%的 Ni,16 至 22%的 Cr,1.3 至 2.2%的 Si,并添加有 0.2 至 0.5%的 Al,0.3 至 0.5%的 Mn,0.01 至 0.09%的 La,0.005 至 0.014%的 Mg,0.01 至 0.065 的 C,0.03 至 0.065%的 N,另外包含 0.001 至 0.04%的 Ca,0.005 至 0.013%的 P,0.0005 至 0.002%的 S,最多 0.003 的 B,0.01 至 0.08%的 Mo,0.01 至 0.1%的 Co,0.02 至 0.08%的 Nb,0.01 至 0.06%的 V,0.01 至 0.02%的 W,0.01 至 0.1%的 Cu,余量是铁,并且 PwE 值为 0.09 至 0.19。

[0125] 借助于多元线性回归评估结果。

[0126] 在图 1 中说明了相对燃烧持续时间对 La 含量的依赖性,其中算出了 Ni-、Cr-、Si- 含量的影响。显示出相对燃烧持续时间随着 La 含量的增加而大大增加。特别是 0.04 至 0.15%的 La 含量是特别有利的。

[0127] 在评价下垂(线圈的下沉)时,只包括颗粒尺寸为 20 至 25 μm 的试样,从而根据这个参数不必事先进行回归。

[0128] 在图 2 中说明了下垂对 N 含量的依赖性,其中算出了 Ni-、Cr-、Si- 和 C 含量的影响。显示出下垂随着 N 含量的增加而大大减少。特别是 0.05 至 0.09%的 N 含量是有利的。

[0129] 在图 3 中说明了下垂对 C 含量的依赖性,其中算出了 Ni-、Cr-、Si- 和 N 含量的影响。显示出下垂随着 C 含量的增加而大大减少。特别是 0.04 至 0.10%的 C 含量是有利的。

[0130] 具有低镍含量的合金(变化方案 1)是特别成本有利的。因此,Ni 在 19%至 34%范围内的合金很令人感兴趣,尽管与具有较高镍含量的合金相比它具有较差的温度系数和较低的比电阻。镍含量低于 19%逐渐增加了 Sigma 相形成的危险,造成合金变脆。因此 19%构成镍含量的下限。

[0131] 合金的成本随着镍含量的升高而升高。因此,34%应该是具有低镍含量的合金(变化方案 1)的上限。

[0132] Ni 高于 42%逐渐改善了温度系数。比电阻也较高。同时,镍含量相对于约 80%的高含镍合金比较来说还是低的。因此,42%对于具有较高镍含量的合金(变化方案 2)来说是有意义的下限。

[0133] 镍在 87%以上的合金不再包含足够的 Cr 和 Si 以保持充分的耐氧化性。因此,87%是镍含量的上限。

[0134] 过低的 Cr 含量意味着, Cr 浓度非常快地降至临界界限以下。因此,12%的 Cr 是铬的下限。过高的 Cr 含量使得合金的可加工性变差。因此,26% Cr 被视为上限。

[0135] 在氧化铬层下面形成氧化硅层降低了氧化速率。低于 0.75%则氧化硅层具有太多裂缝,以便完全发挥它的作用。过高的 Si 含量对合金的可加工性有不利影响。因此,2.5%的 Si 含量是上限。

[0136] 如上所述,亲氧元素的添加改善了使用寿命,它们通过一起置入到氧化物层中并且在那里晶界上阻断氧的扩散路径来实现上述目的。提供所述机制的元素的量因此必须标准化至原子量,以便可以互相比各种元素的量。

[0137] 有效元素的电势 (PwE) 因此被定义为

[0138] $PwE = 200 \cdot \Sigma (X_E/E \text{ 的原子量})$

[0139] 其中 E 是所涉及的元素且 X_E 是所涉及元素的 % 含量。

[0140] 存在 La 和 / 或 Ce 或 SE 时, Ca 和 Mg 看上去不再属于有效元素。

[0141] 有效元素的电势 PwE 的增加因此经由 La、Ce、Y、Zr、Hf 和 Ti 来实现, 如果没有存在 La 和 Ce 的数据, 而是由于添加了铈混合金属只有总的 SE 数据, 则 PwE 的计算假设 $Ce = 0.6SE$ 和 $La = 0.35SE$ 。

[0142] $PwE = 1.49 \cdot X_{La} + 1.43 \cdot X_{Ce} + 2.25 \cdot X_Y + 2.19 \cdot X_{Zr} + 1.12 \cdot X_{Hf} + 4.18 \cdot X_{Ti}$

[0143] 0.01% 的 La 的最低含量是必需的, 以便得到 La 的提高耐氧化性的作用。上限定为 0.26%, 对应 0.38 的 PwE。较大的 PwE 值在此没有意义。

[0144] 需要 Al 来改善合金的可加工性。因此 0.05% 的最低含量是必需的。过高含量还是对可加工性有不利影响。Al 含量因此被限制在 1%。

[0145] 0.04% 的 C 的最低含量对于良好的形状稳定性或低的下垂是必需的。C 被限定在 0.14%, 因为这种元素降低耐氧化性且降低可加工性。

[0146] 0.02% 的 N 的最低含量对于良好的形状稳定性或低的下垂是必需的。N 被限定在 0.14%, 因为这种元素降低耐氧化性且降低可加工性。

[0147] 要求 Mg 的最低含量为 0.0005%, 由此改善了材料的可加工性。临界值确定为 0.05%, 因为过大的 Mg 的量被证实是不利的。

[0148] 要求 Ca 的最低含量为 0.0005%, 因为由此改善了材料的可加工性。临界值确定为 0.07%, 因为过大的 Ca 的量被证实是不利的。

[0149] 应将硫和硼的含量调节至尽可能低, 因为这些界面活性元素对耐氧化性有不利影响。因此确定 S 为最多 0.01% 且 B 被确定为最多 0.005%。

[0150] 铜被限定在最多 1%, 因为这种元素降低耐氧化性。

[0151] Pb 被限制在最多 0.002%, 因为这种元素降低耐氧化性。这同样适用于 Sn。

[0152] 0.01% 的 Mn 的最低含量用于改善可加工性是必需的。锰被限制在 1%, 因为这种元素同样降低耐氧化性。

[0153]

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

	W-Nr.	Cr	Ni + Co'	Fe	Al	Si	Mn	C	Cu	P	S	ρ ($\mu\Omega\text{m}$) 20℃	ρ ($\mu\Omega\text{m}$) 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Co 1.5%

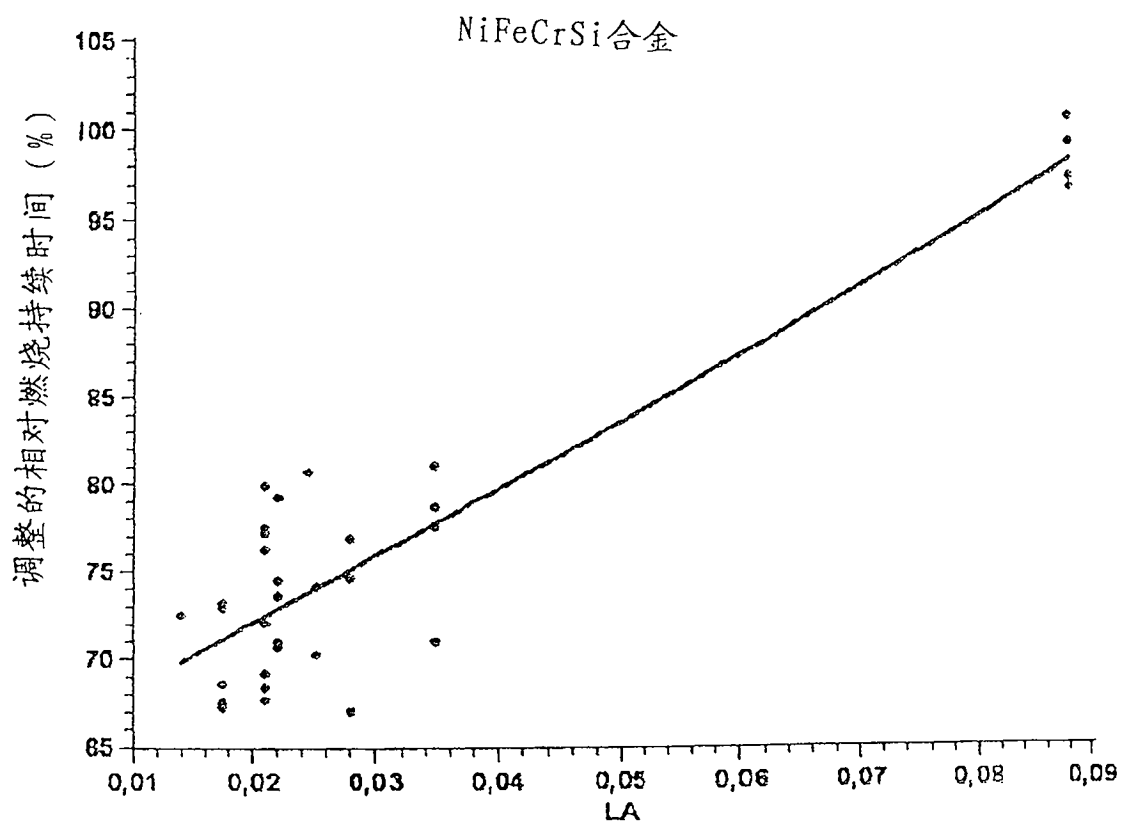
表2: 根据ASTM B 344-83的合金。所有数据以重量%给出。

	Cr	Ni + Co'	Fe	Si	Mn	C	S	ρ ($\mu\Omega\text{m}$)	ct(在871℃下)
80Ni, 20Cr	19-21	余量	<1.0	0.75-1.75	<1.0	<0.15	<0.01	1.081	1.008
60Ni, 16Cr	14-18	>57		0.75-1.75	<1.0	<0.15	<0.01	1.122	1.073
35Ni, 20Cr	18-21	34-37	余量	1.0-3.0	<1.0	<0.15	<0.01	1.014	1.214

回归分析算出了 Ni-、Cr-、Si- 含量的影响。

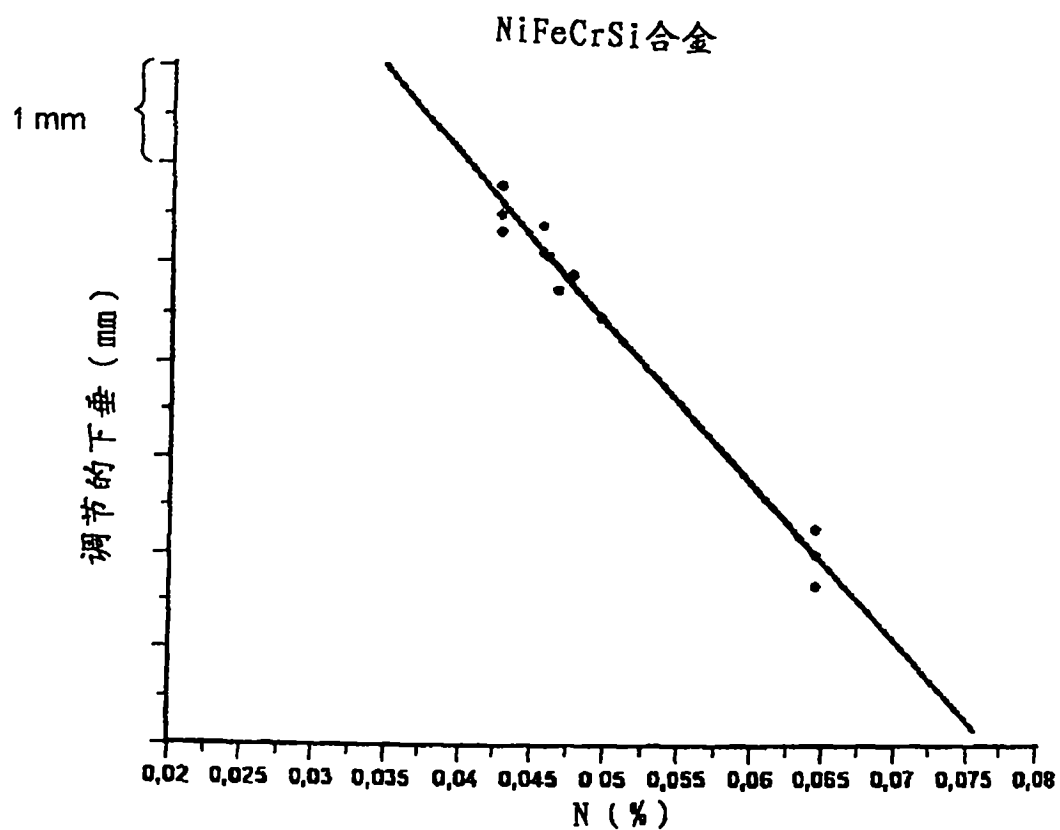
[0157] 图 2 说明了下垂（线圈的下沉）与 N 含量的依赖性，其中借助于多元线性回归分析算出了 Ni-、Cr-、Si- 和 C 含量的影响。显示出下垂随着 N 含量的增加而大大减少。特别是 0.03 至 0.09% 的 N 含量是有利的。

[0158] 图 3 说明了下垂（线圈的下沉）对 C 含量的依赖性，其中借助于多元线性回归分析算出了 Ni-、Cr-、Si- 和 N 含量的影响。显示出下垂随着 N 含量的增加而大大减少。特别是 0.04 至 0.10% 的 N 含量是有利的。



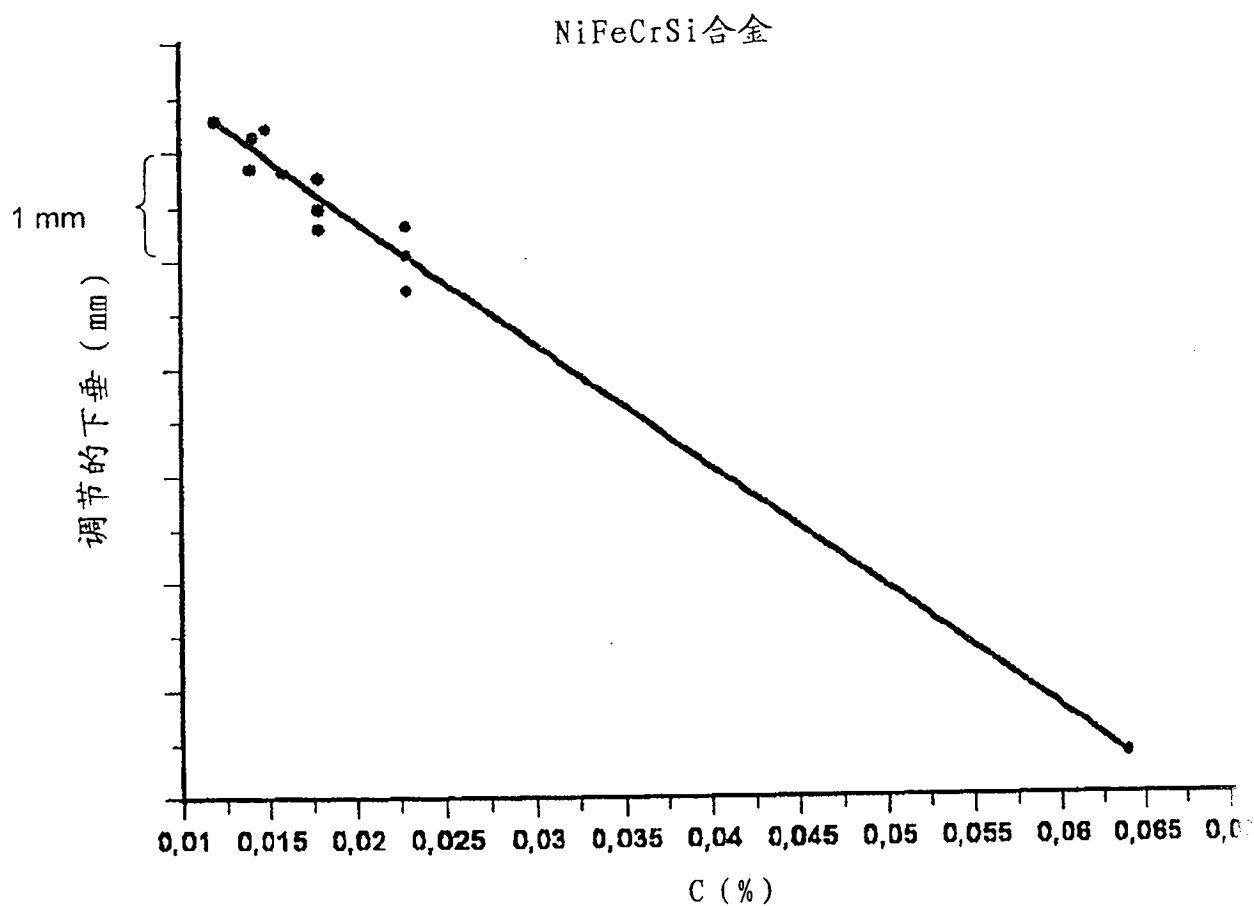
图示说明了相对燃烧持续时间 t_b 对La含量的依赖性，
其中借助于多元线性回归分析算出了Ni、Cr、Si含量的影响

图 1



下垂（线圈的下沉）对N含量的依赖性，其中借助于多元线性回归分析算出了Ni、Cr、Si和C含量的影响。显示出下垂随着N含量的增加而大大减少。特别是0.03至0.09%的N含量是有利的

图 2



下垂（线圈的下沉）对C含量的依赖性，其中借助于多元线性回归分析算出了Ni、Cr、Si和N含量的影响。显示出下垂随N含量的增加而大大减少。特别是0.04至0.10%的N含量是有利的

图 3