



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 104245977 B

(45) 授权公告日 2016. 07. 06

(21) 申请号 201380015120. 2	代理人 柳冀
(22) 申请日 2013. 05. 15	(51) Int. Cl.
(30) 优先权数据 102012011162. 2 2012. 06. 05 DE	G22C 19/05(2006. 01) G22F 1/10(2006. 01)
(85) PCT国际申请进入国家阶段日 2014. 09. 19	审查员 章平
(86) PCT国际申请的申请数据 PCT/DE2013/000269 2013. 05. 15	
(87) PCT国际申请的公布数据 W02013/182178 DE 2013. 12. 12	
(73) 专利权人 VDM 金属有限公司 地址 德国韦尔多尔	
(72) 发明人 H·哈藤多夫	
(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	权利要求书2页 说明书21页 附图4页

(54) 发明名称

具有良好可加工性、耐蠕变性和耐腐蚀性的
镍-铬-合金

(57) 摘要

镍-铬-合金,具有(以重量%计)29至37%
的铬,0.001至1.8%的铝,0.10至7.0%的铁,
0.001至0.50%的硅,0.005至2.0%的锰,0.00
至1.00%的钛和/或0.00至1.10%的铌,各
0.0002至0.05%的镁和/或钙,0.005至0.12%
的碳,0.001至0.050%的氮,0.001至0.030%
的磷,0.0001-0.020%的氧,至多0.010%的硫,
至多2.0%的钼,至多2.0%的钨,余量为镍和由
方法造成的常见杂质,其中必须满足如下关系:
 $Cr+Al>30(2a)$ 和 $Fp \leq 39.9(3a)$, 其中 $Fp = Cr+0.272*Fe+2.36*Al+2.22*Si+2.48*Ti+1.26*Nb+0.374*Mo+0.538*W-11.8*C(4a)$, 其中 Cr、Fe、Al、Si、
Ti、Nb、C、W 和 Mo 为相关元素的以质量%表示的浓
度。

1. 镍-铬-合金,具有以重量%计29至35%的铬,0.001至1.8%的铝,0.10至7.0%的铁,0.001至0.50%的硅,0.005至2.0%的锰,<0.50%的钛和/或<0.50%的铌,各0.0002至0.05%的镁和/或钙,0.005至0.12%的碳,0.001至0.050%的氮,0.001至0.030%的磷,0.0001-0.020%的氧,至多0.010%的硫,<0.05%的钼,<0.05%的钨,余量为镍和由方法造成的常见杂质,其中必须满足如下关系:

$$\text{Cr}+\text{Al}>30 \quad (2a)$$

$$\text{和Fp} \leq 39.9 \quad (3a)$$

其中 $\text{Fp}=\text{Cr}+0.272*\text{Fe}+2.36*\text{Al}+2.22*\text{Si}+2.48*\text{Ti}+1.26*\text{Nb}+0.374*\text{Mo}+0.538*\text{W}-11.8*\text{C}$ (4a)

其中Cr、Fe、Al、Si、Ti、Nb、C、W和Mo为相关元素的以质量%表示的浓度。

2. 根据权利要求1所述的合金,具有30至35%的铬含量。
3. 根据权利要求1或2所述的合金,具有32-35%的铬含量。
4. 根据权利要求1或2所述的合金,具有0.001至1.4%的铝含量。
5. 根据权利要求1或2所述的合金,具有0.1至4.0%的铁含量。
6. 根据权利要求1或2所述的合金,具有0.001-0.2%的硅含量。
7. 根据权利要求1或2所述的合金,具有0.005至0.50%的锰含量。
8. 根据权利要求1或2所述的合金,具有0.001至<0.50%的钛含量。
9. 根据权利要求1或2所述的合金,具有0.00至<0.50%的铌含量。
10. 根据权利要求1或2所述的合金,具有0.01至0.12%的碳含量。
11. 根据权利要求1或2所述的合金,以0.01至0.20%的含量包含钇。
12. 根据权利要求1或2所述的合金,以0.001至0.20%的含量包含镧。
13. 根据权利要求1或2所述的合金,以0.001至0.20%的含量包含铈。
14. 根据权利要求13所述的合金,具有0.001至0.20%的含铈的稀土元素合金含量。
15. 根据权利要求1或2所述的合金,以0.01至0.20%的含量包含锆。
16. 根据权利要求15所述的合金,其中锆完全或部分被0.001至0.20%的铪替代。
17. 根据权利要求1或2所述的合金,以0.0001至0.008%的含量包含硼。
18. 根据权利要求1或2所述的合金,还包含0.00至5.0%的钴。
19. 根据权利要求1或2所述的合金,还包含至多0.5%的铜,其中式4a中的一项用Cu补充:

$\text{Fp}=\text{Cr}+0.272*\text{Fe}+2.36*\text{Al}+2.22*\text{Si}+2.48*\text{Ti}+1.26*\text{Nb}+0.477*\text{Cu}+0.374*\text{Mo}+0.538*\text{W}-11.8*\text{C}$ (4b)

其中Cr、Fe、Al、Si、Ti、Nb、Cu、W和Mo为相关元素的以质量%表示的浓度。

20. 根据权利要求1或2所述的合金,还包含至多0.5%的钒。
21. 根据权利要求1或2所述的合金,其中杂质调整为至多0.002%的Pb,至多0.002%的Zn,至多0.002%的Sn的含量。

22. 根据权利要求1或2所述的合金,其中满足下式并且实现特别良好的加工:

$$\text{Fa} \leq 60 \quad (5a)$$

其中 $\text{Fa}=\text{Cr}+6.15*\text{Nb}+20.4*\text{Ti}+201*\text{C}$ (6a),

并且Cr、Ti、Nb和C为相关元素以质量%计的浓度。

23. 根据权利要求1或2所述的合金,其中满足下式并且实现特别良好的耐热性/耐蠕变性:

$$F_k \geq 40 \quad (7a)$$

其中对于不具有B的合金, $F_k = Cr + 19 * Ti + 34.3 * Nb + 10.2 * Al + 12.5 * Si + 98 * C$ (8a)

其中Cr、Ti、Nb、Al、Si和C为相关元素以质量%计的浓度,

其中对于具有B的合金, $F_k = Cr + 19 * Ti + 34.3 * Nb + 10.2 * Al + 12.5 * Si + 98 * C + 2245 * B$ (8b)

其中Cr、Ti、Nb、Al、Si、C和B为相关元素以质量%计的浓度。

24. 根据权利要求1至23任一项所述的合金作为带材、板材、线材、棒材、纵向焊缝焊接管和无焊缝管的用途。

25. 根据权利要求1至23任一项所述的合金用于制备无焊缝管的用途。

26. 根据权利要求1至23任一项所述的合金在强渗碳气氛中的用途。

27. 根据权利要求1至23任一项所述的合金作为石油化学工业中的构件的用途。

28. 根据权利要求1至23任一项所述的合金在炉结构中的用途。

具有良好可加工性、耐蠕变性和耐腐蚀性的镍-铬-合金

技术领域

[0001] 本发明涉及镍-铬-合金,其具有良好的高温耐腐蚀性,良好的耐蠕变性和改进的可加工性。

背景技术

[0002] 具有不同的镍含量、铬含量和铝含量的镍合金长期以来用在炉结构和化学以及石油化学工业中。对于所述应用来说,需要即使在渗碳气氛下仍然良好的高温耐腐蚀性和良好的耐热性/耐蠕变性。

[0003] 通常注意到表1中给出的合金的高温耐腐蚀性随着铬含量的增加而升高。所有这些合金形成铬氧化物层(Cr_2O_3),具有位于其下方的或多或少封闭的 Al_2O_3 层。少量添加强亲氧元素例如Y或Ce改进了抗氧化性。在应用领域中的使用过程中,铬含量缓慢消耗从而形成保护层。因此,通过更高的铬含量提高材料的寿命,因为形成保护层的元素铬的更高含量推迟如下时间点,在所述时间点Cr-含量低于临界极限并且形成除了 Cr_2O_3 之外的其他氧化物,例如含铁氧化物和含镍氧化物。在需要时,通过加入铝和硅实现高温耐腐蚀性的进一步升高。从一定的最低含量开始,这些元素在氧化铬层下方形成封闭层并且因此减少铬的消耗。

[0004] 在渗碳气氛(CO 、 H_2 、 CH_4 、 CO_2 、 H_2O 混合物)下,碳可能渗入材料从而可能造成内部碳化物的形成。这造成缺口冲击韧性的损失。熔点也可能降低至极低的值(至多 350°C)并且由于基质中铬的贫化而可能造成转变过程。

[0005] 通过具有低的碳溶解度和低的碳扩散速度的材料实现对渗碳的高抵抗性。镍合金因此通常比铁基合金更抵抗渗碳,因为镍中的碳扩散和碳溶解度均低于铁中的碳扩散和碳溶解度。铬含量的升高通过形成保护性氧化铬层而造成更高的抗渗碳性,这是因为在用于形成所述保护性氧化铬层的气体中的氧气分压不足。在极低的氧气分压下,可以使用形成氧化硅构成的层或更稳定的氧化铝层的材料,所述氧化硅层或更稳定的氧化铝层在显著更低的氧气含量下仍然可以形成保护性氧化物层。

[0006] 在碳活性 >1 的情况下,在镍基合金、铁基合金或钴基合金中可能出现所谓的“金属尘化”。合金在与过饱和气体接触时可能吸收大量的碳。在碳过饱和的合金中发生的离析过程造成材料损坏。此时合金分解成金属颗粒、石墨、碳化物和/或氧化物的混合物。所述类型的材料损坏在 500°C 至 750°C 的温度范围内出现。

[0007] 出现金属尘化的通常条件为强渗碳性 CO 、 H_2 或 CH_4 的气体混合物,如在氨合成、甲醇设备、冶金过程以及淬火炉中出现的气体混合物。

[0008] 对金属尘化的抵抗性随着合金的镍含量的增加而呈升高趋势(Grabke, H. J., Krajak, R., Müller-Lorenz, E. M., Strauß, S.: Materials and Corrosion 47(1996), 第495页),然而即使是镍合金也通常不能抵抗金属尘化。

[0009] 铬含量和铝含量在金属尘化条件下对耐腐蚀性具有显著影响(参见图1)。具有低铬含量的镍合金(如合金Alloy 600,参见表1)在金属尘化条件下具有相对高的腐蚀速度。具有25%的铬含量和2.3%的铝含量的镍合金Alloy 602CA(N06025)以及具有30%的铬含

量的Alloy 690(N06690)显著更具抵抗力(Hermse,C.G.M.和van Wortel,J.C.:Metal dusting:relationship between alloy composition and degradation rate.Corrosion Engineering,Science and Technology44(2009),第182-185页)。对金属尘化的抵抗能力随着Cr+Al的总和而升高。

[0010] 在给定温度下的耐热性或耐蠕变性特别通过高的碳含量得以改进。然而高含量的混晶凝固元素例如铬、铝、硅、钼和钨也改进耐热性。在500℃至900℃的范围内,加入铝、钛和/或铌(即通过 γ' -相和/或 γ'' -相的沉淀)可以改进抵抗性。

[0011] 现有技术的实例列于表中。

[0012] 由于大于1.8%的高的铝含量,已知合金例如Alloy 602CA(N06025)、Alloy 693(N06693)或Alloy 603(N06603)相比于Alloy 600(N06600)或Alloy 601(N06601)的出色的耐腐蚀性。由于其高的铬含量和/或铝含量,Alloy 602CA(N06025)、Alloy 693(N06693)、Alloy 603(N06603)和Alloy 690(N06690)具有出色的抗渗碳性或抗金属尘化性。同时合金例如Alloy 602CA(N06025)、Alloy 693(N06693)或Alloy 603(N06603)由于高的碳含量或铝含量而在出现金属尘化的温度范围内具有出色的耐热性或耐蠕变性。Alloy 602CA(N06025)和Alloy 603(N06603)本身在超过1000℃的温度下仍然具有出色的耐热性或耐蠕变性。然而由于高的铝含量而损坏可加工性,其中铝含量越高,损坏越剧烈(Alloy 693-N06693)。同样情况更大程度地适用于硅,其与镍形成低熔点金属间相。在Alloy 602CA(N06025)或Alloy 603(N06603)中,由于高的初生碳化物含量使得冷压加工性特别有限。

[0013] US 6623869B1公开了一种金属材料,所述金属材料由 $\leq 0.2\%$ 的C、0.01-4%的Si、0.05-2.0%的Mn、 $\leq 0.04\%$ 的P、 $\leq 0.015\%$ 的S、10-35%的Cr、30-78%的Ni、0.005-4.5%的Al、0.005-0.2%的N和至少一种元素0.015-3%的Cu或0.015-3%的Co组成,余量至100%的铁。在此, $40Si+Ni+5Al+40N+10(Cu+Co)$ 的值不低于50,其中元素符号表示相应元素的含量。所述材料在可能出现金属尘化的环境中具有出色的耐腐蚀性,并且因此可以用在石油精炼设备或石油化学设备中的炉管、管系统、换热管等中,并且可以显著改进设备的寿命和安全性。

[0014] EP 0 549 286公开了耐高温Ni-Cr-合金,包含55-65%的Ni、19-25%的Cr、1-4.5%的Al、0.045-0.3%的Y、0.15-1%的Ti、0.005-0.5%的C、0.1-1.5%的Si、0-1%的Mn和至少0.005%的选自Mg、Ca、Ce的至少一种元素的总和、 $<0.5\%$ 的Mg+Ca的总和、 $<1\%$ 的Ce、0.0001-0.1%的B、0-0.5%的Zr、0.0001-0.2%的N、0-10%的Co、0-0.5%的Cu、0-0.5%的Mo、0-0.3%的Nb、0-0.1%的V、0-0.1%的W,余量为铁和杂质。

发明内容

[0015] 本发明所基于的目的在于,设计镍-铬-合金,所述镍-铬-合金超越Alloy 690的抗金属尘化性,从而保证出色的抗金属尘化性,但是同时具有

[0016] • 良好的相稳定性

[0017] • 良好的可加工性

[0018] • 与Alloy 601或Alloy 690相似的在空气中的良好的耐腐蚀性。

[0019] 还希望的是,合金还具有

[0020] • 良好的耐热性/耐蠕变性。

附图说明

[0021] 图1:在具有37%的CO、9%的H₂O、7%的CO₂、46%的H₂以及 $a_c=163$ 和 $p(O_2)=2.5 \cdot 10^{-27}$ 的强渗碳气体中由于金属尘化造成的随铝含量和铬含量变化的金属损失。(来自Hermse, C.G.M.和van Wortel, J.C.:Metal dusting:relationship between alloy composition and degradation rate. Corrosion Engineering, Science and Technology 44(2009),第182—185页)。

[0022] 图2:Alloy 690(N06690)的例如典型批次111389在热力学平衡下取决于温度的相的含量份数。

[0023] 图3:表2的Alloy 693(N06693)的例如Alloy 3在热力学平衡下取决于温度的相的含量份数。

[0024] 图4:表2的Alloy 693(N06693)的例如Alloy 10在热力学平衡下取决于温度的相的含量份数。

具体实施方式

[0025] 通过镍-铬-合金实现所述目的,所述镍-铬-合金具有(以重量%计)29至37%的铬,0.001至1.8%的铝,0.10至7.0%的铁,0.001至0.50%的硅,0.005至2.0%的锰,0.00至1.00%的钛和/或0.00至1.10%的铌,各0.0002至0.05%的镁和/或钙,0.005至0.12%的碳,0.001至0.050%的氮,0.001至0.030%的磷,0.0001-0.020%的氧,至多0.010%的硫,至多2.0%的钼,至多2.0%的钨,余量为镍和由方法造成的常见杂质,其中必须满足如下关系:

[0026] $Cr+Al>30$ (2a)

[0027] 和 $F_p \leq 39.9$ (3a)

[0028] 其中 $F_p=Cr+0.272*Fe+2.36*Al+2.22*Si+2.48*Ti+1.26*Nb+0.374*Mo+0.538*W-11.8*C$ (4a)

[0029] 其中Cr、Fe、Al、Si、Ti、Nb、Mo、W和C为相关元素的以质量%表示的浓度。

[0030] 本发明的实施方案1:镍-铬-合金,具有(以重量%计)29至37%的铬,0.001至1.8%的铝,0.10至7.0%的铁,0.001至0.50%的硅,0.005至2.0%的锰,0.00至1.00%的钛和/或0.00至1.10%的铌,各0.0002至0.05%的镁和/或钙,0.005至0.12%的碳,0.001至0.050%的氮,0.001至0.030%的磷,0.0001-0.020%的氧,至多0.010%的硫,至多2.0%的钼,至多2.0%的钨,余量为镍和由方法造成的常见杂质,其中必须满足如下关系:

[0031] $Cr+Al>30$ (2a)

[0032] 和 $F_p \leq 39.9$ (3a)

[0033] 其中 $F_p=Cr+0.272*Fe+2.36*Al+2.22*Si+2.48*Ti+1.26*Nb+0.374*Mo+0.538*W-11.8*C$ (4a)

[0034] 其中Cr、Fe、Al、Si、Ti、Nb、C、W和Mo为相关元素的以质量%表示的浓度。

[0035] 本发明的主题的优选实施方案取自如下实施方案2-28:

[0036] 2. 根据实施方案1所述的合金,具有30至37%的铬含量。

[0037] 3. 根据实施方案1或2所述的合金,具有>32-37%的铬含量。

- [0038] 4. 根据实施方案1至3任一项所述的合金,具有0.001至1.4%的铝含量。
- [0039] 5. 根据实施方案1至4任一项所述的合金,具有0.1至4.0%的铁含量。
- [0040] 6. 根据实施方案1至5任一项所述的合金,具有0.001-0.2%的硅含量。
- [0041] 7. 根据实施方案1至6任一项所述的合金,具有0.005至0.50%的锰含量。
- [0042] 8. 根据实施方案1至7任一项所述的合金,具有0.001至0.60%的钛含量。
- [0043] 9. 根据实施方案1至8任一项所述的合金,具有0.00至1.0%的铌含量。
- [0044] 10. 根据实施方案1至9任一项所述的合金,具有0.01至0.12%的碳含量。
- [0045] 11. 根据实施方案1至10任一项所述的合金,任选以0.01至0.20%的含量包含钇。
- [0046] 12. 根据实施方案1至11任一项所述的合金,任选以0.001至0.20%的含量包含镧。
- [0047] 13. 根据实施方案1至12任一项所述的合金,任选以0.001至0.20%的含量包含铈。
- [0048] 14. 根据实施方案13所述的合金,具有0.001至0.20%的含铈的稀土元素合金含量。
- [0049] 15. 根据实施方案1至14任一项所述的合金,任选以0.01至0.20%的含量包含锆。
- [0050] 16. 根据实施方案15所述的合金,其中锆完全或部分被0.001至0.20%的铅替代。
- [0051] 17. 根据实施方案1至16任一项所述的合金,任选以0.0001至0.008%的含量包含硼。
- [0052] 18. 根据实施方案1至17任一项所述的合金,还任选包含0.00至5.0%的钴。
- [0053] 19. 根据实施方案1至18任一项所述的合金,还根据需要包含至多0.5%的铜,其中式4a中的一项用Cu补充:
- [0054]
$$Fp = Cr + 0.272 * Fe + 2.36 * Al + 2.22 * Si + 2.48 * Ti + 1.26 * Nb + 0.477 * Cu + 0.374 * Mo + 0.538 * W - 11.8 * C \quad (4b)$$
- [0055] 其中Cr、Fe、Al、Si、Ti、Nb、Cu、W和Mo为相关元素的以质量%表示的浓度。
- [0056] 20. 根据实施方案1至19任一项所述的合金,还任选包含至多0.5%的钒。
- [0057] 21. 根据实施方案1至20任一项所述的合金,其中杂质调整为至多0.002%的Pb,至多0.002%的Zn,至多0.002%的Sn的含量。
- [0058] 22. 根据实施方案1至21任一项所述的合金,其中满足下式并且实现特别良好的加工:
- [0059]
$$Fa \leq 60 \quad (5a)$$
- [0060] 其中 $Fa = Cr + 6.15 * Nb + 20.4 * Ti + 201 * C \quad (6a)$,
- [0061] 并且Cr、Ti、Nb和C为相关元素以质量%计的浓度。
- [0062] 23. 根据实施方案1至22任一项所述的合金,其中满足下式并且实现特别良好的耐热性/耐蠕变性:
- [0063]
$$Fk \geq 40 \quad (7a)$$
- [0064] 其中对于不具有B的合金, $Fk = Cr + 19 * Ti + 34.3 * Nb + 10.2 * Al + 12.5 * Si + 98 * C \quad (8a)$
- [0065] 其中Cr、Ti、Nb、Al、Si和C为相关元素以质量%计的浓度,
- [0066] 其中对于具有B的合金, $Fk = Cr + 19 * Ti + 34.3 * Nb + 10.2 * Al + 12.5 * Si + 98 * C + 2245 * B \quad (8b)$
- [0067] 其中Cr、Ti、Nb、Al、Si、C和B为相关元素以质量%计的浓度。
- [0068] 24. 根据实施方案1至23任一项所述的合金作为带材、板材、线材、棒材、纵向焊缝焊接管和无焊缝管的用途。

- [0069] 25. 根据实施方案1至24任一项所述的合金用于制备无焊缝管的用途。
- [0070] 26. 根据实施方案1至25任一项所述的合金在强渗碳气氛中的用途。
- [0071] 27. 根据实施方案1至26任一项所述的合金作为石油化学工业中的构件的用途。
- [0072] 28. 根据实施方案1至27任一项所述的合金在炉结构中的用途。
- [0073] 元素铬的伸展范围在29和37%之间, 其中优选的范围可以如下调整:
- [0074] -30至37%
- [0075] -31至37%
- [0076] -31至36%
- [0077] -32至35%
- [0078] -32至36%
- [0079] ->32至37%
- [0080] 铝含量在0.001和1.8%之间, 其中在此也根据合金的使用领域, 优选的铝含量可以如下调整:
- [0081] -0.001至1.4%
- [0082] -0.001至1.3%
- [0083] -0.001至<1.0%
- [0084] -0.001至0.60%
- [0085] -0.01至0.60%
- [0086] -0.10至0.60%
- [0087] -0.20至0.60%
- [0088] 铁含量在0.1和7.0%之间, 其中取决于应用领域, 可以调整在如下伸展范围内的一定的含量:
- [0089] -0.1-4.0%
- [0090] -0.1-3.0%
- [0091] -0.1-<2.5%
- [0092] -0.1-2.0%
- [0093] -0.1-1.0%
- [0094] 硅含量在0.001和0.50%之间。优选可以在合金中在伸展范围内如下调整Si:
- [0095] -0.001-0.20%
- [0096] -0.001-<0.10%
- [0097] -0.001-<0.05%
- [0098] -0.01-<0.20%
- [0099] 同样情况适用于可以以0.005至2.0%包含在合金中的元素锰。或者也可想到如下伸展范围:
- [0100] -0.005-0.50%
- [0101] -0.005-0.20%
- [0102] -0.005-0.10%
- [0103] -0.005-<0.05%
- [0104] -0.01-<0.20%

- [0105] 钛含量在0.00和1.0%之间。优选可以在合金中在伸展范围内如下调整Ti：
- [0106] -0.001- $<1.00\%$
- [0107] -0.001-0.60%
- [0108] -0.001-0.50%
- [0109] -0.01-0.50%
- [0110] -0.10-0.50%
- [0111] -0.10-0.40%
- [0112] Nb含量在0.00至1.1%之间。优选可以在合金中在伸展范围内如下调整Nb：
- [0113] -0.001-1.0%
- [0114] -0.001- $<0.70\%$
- [0115] -0.001- $<0.50\%$
- [0116] -0.001-0.30%
- [0117] -0.01-0.30%
- [0118] -0.10-1.10%
- [0119] -0.20-0.80%
- [0120] -0.20-0.50%
- [0121] -0.25-0.45%
- [0122] 也可以以0.0002至0.05%的含量包含镁和/或钙。优选存在这样的可能性，在合金中如下调整各所述元素：
- [0123] -0.0002-0.03%
- [0124] -0.0002-0.02%
- [0125] -0.0005-0.02%
- [0126] -0.001-0.02%
- [0127] 合金包含0.005至0.12%的碳。优选可以在合金中在伸展范围内如下调整碳：
- [0128] -0.01-0.12%
- [0129] -0.02-0.12%
- [0130] -0.03-0.12%
- [0131] -0.05-0.12%
- [0132] -0.05-0.10%
- [0133] 同样情况以相同方式适用于含量在0.001和0.05%之间的元素氮。优选的含量可以如下给定：
- [0134] -0.003-0.04%
- [0135] 合金还以在0.001和0.030%之间的含量包含磷。优选的含量可以如下给定：
- [0136] -0.001-0.020%
- [0137] 合金还包含含量在0.0001和0.020%之间，特别是0.0001至0.010%的氧。
- [0138] 元素硫在合金中可以如下给定：
- [0139] -至多0.010%
- [0140] 钼和钨以各自至多2.0%的含量单独或组合包含在合金中。优选的含量可以如下给定：

- [0141] -Mo至多1.0%
- [0142] -W至多1.0%
- [0143] -Mo至多<0.50%
- [0144] -W至多<0.50%
- [0145] -Mo至多<0.05%
- [0146] -W至多<0.05%
- [0147] 在Cr和Al之间必须满足下式,从而得到对金属氧化的足够的抵抗力:
- [0148] $Cr+Al>30$ (2a)
- [0149] 其中Cr和Al为相关元素以质量%计的浓度。
- [0150] 优选的范围如下调整
- [0151] $Cr+Al \geq 31$ (2b)
- [0152] 还必须满足下式,从而得到足够的相稳定性:
- [0153] $F_p \leq 39.9$ (3a)
- [0154] 其中 $F_p=Cr+0.272*Fe+2.36*Al+2.22*Si+2.48*Ti+1.26*Nb+0.374*Mo+0.538*W-11.8*C$ (4a)
- [0155] 其中Cr、Fe、Al、Si、Ti、Nb、Mo、W和C为相关元素的以质量%表示的浓度。
- [0156] 优选的范围可以如下调整:
- [0157] $F_p \leq 38.4$ (3b)
- [0158] $F_p \leq 36.6$ (3c)
- [0159] 任选地可以在合金中以0.01至0.20%的含量调整元素钇。优选可以在合金中在伸展范围内如下调整Y:
- [0160] -0.01-0.15%
- [0161] -0.01-0.10%
- [0162] -0.01-0.08%
- [0163] -0.01-0.05%
- [0164] -0.01-<0.045%
- [0165] 任选地可以在合金中以0.001至0.20%的含量调整元素镧。优选可以在合金中在伸展范围内如下调整La:
- [0166] -0.001-0.15%
- [0167] -0.001-0.10%
- [0168] -0.001-0.08%
- [0169] -0.001-0.05%
- [0170] -0.01-0.05%
- [0171] 任选地可以在合金中以0.001至0.20%的含量调整元素铈。优选可以在合金中在伸展范围内如下调整Ce:
- [0172] -0.001-0.15%
- [0173] -0.001-0.10%
- [0174] -0.001-0.08%
- [0175] -0.001-0.05%

- [0176] -0.01-0.05%
- [0177] 任选地,在同时加入Ce和La时也可以以0.001至0.20%的含量使用含铈的稀土元素合金(Cer-Mischmetall)。优选可以在合金中在伸展范围内如下调整含铈的稀土元素合金:
- [0178] -0.001-0.15%
- [0179] -0.001-0.10%
- [0180] -0.001-0.08%
- [0181] -0.001-0.05%
- [0182] -0.01-0.05%
- [0183] 在需要时也可以在合金中加入Zr。锆含量在0.01和0.20%之间。优选可以在合金中在伸展范围内如下调整Zr:
- [0184] -0.01-0.15%
- [0185] -0.01-<0.10%
- [0186] -0.01-0.07%
- [0187] -0.01-0.05%
- [0188] 任选地,锆也可以完全或部分被如下替代
- [0189] -0.001-0.2%的铪。
- [0190] 任选地,合金中也可以包含0.001至0.60%的钽。
- [0191] 任选地,元素硼可以以如下含量包含在合金中:
- [0192] -0.0001-0.008%
- [0193] 优选的硼含量可以如下给定:
- [0194] -0.0005-0.008%
- [0195] -0.0005-0.004%
- [0196] 合金还可以在需要时包含在0.00至5.0%之间的钴,所述钴还可以如下限制:
- [0197] -0.01至5.0%
- [0198] -0.01至2.0%
- [0199] -0.1至2.0%
- [0200] -0.01至0.5%
- [0201] 合金中在需要时还可以包含至多0.5%的Cu。
- [0202] 铜含量还可以如下限制:
- [0203] -至多<0.05%
- [0204] -至多<0.015%
- [0205] 如果合金中包含Cu,式4a中的一项必须如下用Cu补充:
- [0206] $Fp = Cr + 0.272 * Fe + 2.36 * Al + 2.22 * Si + 2.48 * Ti + 1.26 * Nb + 0.477 * Cu + 0.374 * Mo + 0.538 * W - 11.8 * C$ (4b)
- [0207] 其中Cr、Fe、Al、Si、Ti、Nb、Cu、Mo、W和C为相关元素的以质量%表示的浓度。
- [0208] 合金中在需要时还可以包含至多0.5%的钒。
- [0209] 最后,作为杂质的元素铅、锌和锡可以以如下含量给定:
- [0210] Pb至多0.002%

[0211] Zn至多0.002%

[0212] Sn至多0.002%。

[0213] 还可以满足下式,其保证了特别良好的可加工性:

[0214] $Fa \leq 60$ (5a)

[0215] 其中 $Fa = Cr + 6.15 * Nb + 20.4 * Ti + 201 * C$ (6a)

[0216] 并且Cr、Ti、Nb和C为相关元素以质量%计的浓度。

[0217] 优选的范围可以如下调整:

[0218] $Fa \leq 54$ (5b)

[0219] 还可以满足下式,其描述了特别良好的耐热性或耐蠕变性:

[0220] $Fk \geq 40$ (7a)

[0221] 其中 $Fk = Cr + 19 * Ti + 34.3 * Nb + 10.2 * Al + 12.5 * Si + 98 * C$ (8a)

[0222] 其中Cr、Ti、Nb、Al、Si和C为相关元素以质量%计的浓度,

[0223] 优选的范围可以如下调整:

[0224] $Fk \geq 45$ (7b)

[0225] $Fk \geq 49$ (7c)

[0226] 如果合金中包含硼,式6a中的一项必须如下用硼补充:

[0227] $Fk = Cr + 19 * Ti + 34.3 * Nb + 10.2 * Al + 12.5 * Si + 98 * C + 2245 * B$ (8b)

[0228] 其中Cr、Ti、Nb、Al、Si、C和B为相关元素以质量%计的浓度。

[0229] 根据本发明的合金优选开放熔融,然后在VOD或VLF装置中处理。但是也有可能在真空中熔融和浇铸。然后将合金浇铸成块或以连续铸造的形式浇铸。然后任选地在900°C和1270°C之间的温度下使所述块退火0.1小时至70小时。还有可能额外使用ESU和/或VAR熔融合金。然后将合金引入希望的半成品模具中。为此,任选在900°C和1270°C之间的温度下退火0.1小时至70小时,然后进行热变形,任选进行在900°C和1270°C之间的中间退火0.05小时至70小时。期间和/或结束时,材料表面可以任选(也可以多次)进行化学和/或机械蚀刻从而清洗。热成形结束之后,可以任选在移动的退火气氛中或在水浴中在期望的半成品模具中进行变形程度最高达98%的冷成形,任选在保护气体(例如氩气或氢气)下任选进行在700°C和1250°C之间的中间退火0.1分钟至70小时,然后进行空气冷却。然后在移动的退火气氛中或在水浴中任选在保护气体(例如氩气或氢气)下在700°C至1250°C的温度范围内进行固熔退火0.1分钟至70小时,然后进行空气冷却。任选地,可以在最后一次退火期间和/或在最后一次退火之后对材料表面进行化学和/或机械清洗。

[0230] 根据本发明的合金可以良好地以产品形式带材、板材、线材、棒材、纵向焊缝焊接管和无焊缝管进行制备和使用。

[0231] 这些产品形式以5 μ m至600 μ m的平均粒径制得。优选的粒径范围在20 μ m和200 μ m之间。

[0232] 根据本发明的合金应当优选用在渗碳条件占支配地位的领域中,例如石油化学工业中的构件,特别是管。其还适合用于炉结构。

[0233] 进行的测试:

[0234] 用Thermotech的程序JMatPro计算不同的合金变体在平衡时出现的相。使用Thermotech的镍基合金数据库TTNI7作为计算的数据基础。

[0235] 可变形性在根据DIN EN ISO 6892-1的拉伸试验中在室温下确定。在此确定伸长极限 $R_{p0.2}$ 、抗张强度 R_m 和断裂伸长率 A 。对断裂样本通过原始测量距离 L_0 的延长确定伸长 A ：

[0236] $A = (L_u - L_0) / L_0 \cdot 100\% = \Delta L / L_0 \cdot 100\%$

[0237] 其中 L_u = 断裂之后的测量长度。

[0238] 根据测量长度，断裂伸长率用指数进行标记：

[0239] 例如对于 A_5 ，测量长度 $L_0 = 5 \cdot d_0$ ，其中 d_0 = 圆形样本的原始直径。

[0240] 试验在直径为6mm的圆形样本上在测量范围和30mm的测量长度 L_0 内进行。垂直于半成品的变形方向进行取样。变形速度在 $R_{p0.2}$ 时为10MPa/s，在 R_m 时为 $6.7 \cdot 10^{-3}$ 1/s(40%/分钟)。

[0241] 在室温下的拉伸试验中，伸长率 A 的大小可以作为可变形性的量度。良好可加工的材料应该具有至少50%的伸长率。

[0242] 耐热性在根据DIN EN ISO 6892-2的热拉伸试验中确定。与室温下的拉伸试验(DIN EN ISO 6892-1)相似，在此确定伸长极限 $R_{p0.2}$ 、抗张强度 R_m 和断裂伸长率 A 。

[0243] 试验在直径为6mm的圆形样本上在测量范围和30mm的起始测量长度 L_0 内进行。垂直于半成品的变形方向进行取样。变形速度在 $R_{p0.2}$ 时为 $8.33 \cdot 10^{-5}$ 1/s(0.5%/min)，在 R_m 时为 $8.33 \cdot 10^{-4}$ 1/s(5%/min)。

[0244] 在室温下将样本装入拉伸试验机，在不用拉力负载的情况下加热至期望的温度。在达到试验温度之后，在无负载的情况下保持样本1小时(600°C)或2小时(700°C至1100°C)用于温度补偿。然后用拉力使样本负载，从而维持期望的伸长速度，并且开始试验。

[0245] 材料的耐蠕变性随着耐热性的增加而改进。因此耐热性也用于评估不同材料的耐蠕变性。

[0246] 更高温度的耐腐蚀性在1000°C的氧化测试中在空气中确定，其中试验每96小时中断一次并且确定由于氧化而造成的样本的质量变化。在试验中将样本放置在陶瓷坩埚中，从而接住任选剥落的氧化物，并且可以通过称重包含氧化物的坩埚确定剥落的氧化物的质量。剥落的氧化物的质量和样本的质量变化的总和为每个样本的总质量变化。比质量变化是基于样本表面积的质量变化。在下文中提及的 m_{Netto} 表示剥落氧化物的比净质量变化， m_{Brutto} 表示剥落氧化物的比总质量变化， m_{Spall} 表示剥落氧化物的比质量变化。试验在厚度为约5mm的样本上进行。每个批次放置3个样本，给出的值为这3个样本的平均值。

[0247] 性能说明

[0248] 根据本发明的合金除了出色的抗金属尘化性之外同时具有如下性能：

[0249] • 良好的相稳定性

[0250] • 良好的可加工性，

[0251] • 与Alloy 601或Alloy 690相似的在空气中的良好的耐腐蚀性。

[0252] 还希望的是

[0253] • 良好的耐热性/耐蠕变性

[0254] 相稳定性

[0255] 在加入Ti和/或Nb的镍-铬-铝-铁系统中可以根据合金含量形成不同的脆性TCP-相例如拉夫斯相、 σ -相或 μ -相以及脆性 η -相或 ϵ -相(参见例如Ralf Bürgel, Handbuch der Hochtemperaturwerkstofftechnik, 第3板, Vieweg出版社, 威斯巴登, 2006, 第370-374页)。

例如N06690,批次111389(参见表2的典型组成)的取决于温度的平衡相份数的计算以计算的方式显示出在720℃($T_{s\ BCC}$)下以大量份数形成了 α -铬(图2中的BCC相)。但是在分析上与基本材料极为不同的所述相难以形成。然而所述相的形成温度 $T_{s\ BCC}$ 极高,因此所述相完全可以出现,如例如在“E.Slevolden,J.Z.Albertsen,U.Fink,“Tjeldbergodden Methanol Plant: Metal Dusting Investigations”,Corrosion/2011,论文编号11144(Houston,TX:NACE 2011),第15页”中针对Alloy 693的变体(UNS 06693)所述。所述相是脆性的并且造成不希望的材料脆化。

[0256] 图3和图4显示了Alloy 693变体(来自US 4,882,125的表1)和表2的Alloy 3或Alloy 10的相图。Alloy 3具有1079℃的形成温度 $T_{s\ BCC}$,Alloy 10具有939℃的形成温度 $T_{s\ BCC}$ 。在“E.Slevolden,J.Z.Albertsen,U.Fink,Tjeldbergodden Methanol Plant: Metal Dusting Investigations,Corrosion/2011,论文编号11144(Houston,TX:NACE 2011),第15页”中没有描述出现 α -铬(BCC)的合金的精确分析。然而假设在表2中对于Alloy 693列出的实施例中,在计算上具有最高形成温度 $T_{s\ BCC}$ (例如Alloy 10)的分析中可以形成 α -铬(BCC相)。在“E.Slevolden,J.Z.Albertsen,U.Fink,Tjeldbergodden Methanol Plant: Metal Dusting Investigations,Corrosion/2011,论文编号11144(Houston,TX:NACE 2011),第15页”中在校正分析(具有降低的形成温度 $T_{s\ BCC}$)中则仅在表面附近观察到 α -铬。为了避免出现所述脆性相,在根据本发明的合金中形成温度 $T_{s\ BCC}$ 应当 $\leq 939^\circ\text{C}$ -表2中Alloy 693(来自US 4,882,125的表1)的实施例中的最低形成温度 $T_{s\ BCC}$ 。

[0257] 当满足下式时,特别是这种情况:

$$[0258] \quad F_p \leq 39.9 \quad (3a)$$

$$[0259] \quad F_p = Cr + 0.272 * Fe + 2.36 * Al + 2.22 * Si + 2.48 * Ti + 1.26 * Nb + 0.374 * Mo + 0.538 * W - 11.8 * C \quad (4a)$$

[0260] 其中Cr、Al、Fe、Si、Ti、Nb、Mo、W和C为相关元素的以质量%表示的浓度。具有根据现有技术的合金的表2显示,Alloy 8、Alloy 3和Alloy 2的 $F_p > 39.9$ 而Alloy 10的 F_p 正好为39.9。对于 $T_{s\ BCC} < 939^\circ\text{C}$ 的所有其它合金, $F_p \leq 39.9$ 。

[0261] 可加工性

[0262] 示例性地,在此对于可加工性观察可变形性。

[0263] 合金可以通过多种机制硬化,从而具有高的耐热性或耐蠕变性。使用另一种元素进行合金化(根据所述元素)造成强度或多或少的升高(混晶硬化)。更有效的是通过微细粒子或沉淀(粒子硬化)升高强度。这可以例如通过 γ' -相或通过碳化物进行,所述 γ' -相在向镍合金中加入Al和其它元素例如Ti时形成,所述碳化物通过向含铬镍合金中加入碳而形成(参见例如Ralf Bürgel,Handbuch der Hochtemperaturwerkstofftechnik,第3版,Vieweg出版社,威斯巴登,2006,第358-369页)。

[0264] 虽然形成 γ' -相的元素的含量或C含量的升高提高了耐热性,但是更多地损坏本身在固熔退火状态下的可变形性。

[0265] 对于具有极好可变形性的材料,在室温下的拉伸试验中的伸长 A_5 力求达到 $\geq 50\%$,至少也力求达到 $\geq 45\%$ 。

[0266] 当在形成碳化物的元素Cr、Nb、Ti和C之间满足下式时,特别实现上述情况:

$$[0267] \quad F_a \leq 60 \quad (5a)$$

[0268] $F_a = Cr + 6.15 * Nb + 20.4 * Ti + 201 * C$ (6b)

[0269] 其中Cr、Nb、Ti和C为相关元素以质量%计的浓度。

[0270] 耐热性/耐蠕变性

[0271] 在根据本发明的合金中,规定铬含量 $\geq 29\%$,优选 $\geq 30\%$ 或 $\geq 31\%$ 。为了在如此高的铬含量下保证相稳定性,选择 $\leq 1.8\%$,优选 $\leq 1.4\%$ 甚至是更低范围内的铝含量。由于铝含量对抗张强度或耐蠕变性具有主要贡献(不仅通过混晶硬化,而且通过 γ' -硬化),其结果是,取Alloy 601而非Alloy 602CA的耐热性或耐蠕变性作为耐热性或耐蠕变性的目标,尽管当然还希望更高的耐热性和耐蠕变性的值。

[0272] 力求达到的是,在更高的温度下的伸长极限或抗张强度至少落入Alloy 601或Alloy 690的值的范围内(参见表4)。应当满足如下4个关系的至少3个:

[0273] 600°C :伸长极限 $R_{p0.2} > 140\text{MPa}$;抗张强度 $R_m > 450\text{MPa}$ (7a, 7b)

[0274] 800°C :伸长极限 $R_{p0.2} > 130\text{MPa}$;抗张强度 $R_m > 135\text{MPa}$ (7c, 7d)

[0275] 当在主要的经硬化元素之间满足下式时,特别实现上述情况:

[0276] $F_k \geq 40$ (7a)

[0277] 其中 $F_k = Cr + 19 * Ti + 34.3 * Nb + 10.2 * Al + 12.5 * Si + 98 * C + 2245 * B$ (8b)

[0278] 其中Cr、Ti、Nb、Al、Si、C和B为相关元素以质量%计的浓度。

[0279] 耐腐蚀性:

[0280] 良好的铬氧化物形成剂的抗氧化性是足够的。根据本发明的合金因此应当具有与Alloy 690或Alloy 601相似的在空气中的耐腐蚀性。

[0281] 实施例:

[0282] 制备:

[0283] 表3a和3b显示了在实验室规模下熔融的批次以及一些用于对比的根据现有技术的Alloy 602CA(N06025)、Alloy 690(N06690)、Alloy 601(N06601)的大规模熔融的批次的分析。根据现有技术的批次用T表示,根据本发明的批次用E表示。在实验室规模下表征的批次用L表示,大规模熔融的批次用G表示。

[0284] 在表3a和b中的在实验室规模下在真空中熔融的合金的块在 900°C 和 1270°C 之间退火8小时并且借助热辊并且在 900°C 和 1270°C 之间进一步中间退火0.1至1小时从而热辊压成13mm或6mm的最终厚度。所获得的板材在 900°C 和 1270°C 之间进行固熔退火1小时。从所述板材中取得测量所需的样本。

[0285] 在大规模熔融的合金中,通过大规模制造从加工制造的具有合适厚度的板材取得样品。从所述样品制得测量所需的样本。

[0286] 所有合金变体通常具有在65和 $310\mu\text{m}$ 之间的粒径。

[0287] 对于表3a和3b中的实施例批次,对比如下性能:

[0288] -抗金属尘化性

[0289] -相稳定性

[0290] -根据室温下的拉伸试验的可变形性

[0291] -借助于热拉伸试验的耐热性/耐蠕变性

[0292] -借助于氧化测试的耐腐蚀性

[0293] 在实验室规模下熔融批次2294至2314和250053至250150。根据本发明的用E表示

的批次满足式(2a)其中 $Cr+Al>30$,因此抗金属尘化性比Alloy 690更好。批次2298、2299、2303、2304、2305、2308、2314、250063、260065、250066、250067、250068、250079、250139、250140和250141满足式(2b) $Al+Cr \geq 31$ 。其因此具有特别良好的抗金属尘化性。

[0294] 对于表2中所选择的根据现有技术的合金和所有实验室批次(表3a和3b),计算相图并且在表2和3a中记录形成温度 T_{s_BCC} 。对于表2或3a和3b中的组成也根据式4a计算 F_p 的值。形成温度 T_{s_BCC} 越大, F_p 则越大。具有比Alloy 10更高的形成温度 T_{s_BCC} 的Alloy 693(N06693)的所有实施例具有 $F_p>39.9$ 。要求 $F_p \leq 39.9$ (式3a)是获得合金的足够的相稳定性的良好标准。表3a和3b中的所有实验室批次(标记L)满足标准 $F_p \leq 39.9$ 。

[0295] 表4中记录了室温RT和600°C下的伸长极限 $R_{p0.2}$ 、抗张强度 R_m 和伸长率 A_5 ,还记录了800°C下的抗张强度 R_m 。还记录了 F_a 和 F_k 的值。

[0296] 在表4中根据现有技术的合金Alloy 602CA的实施例批次156817和160483具有在室温下的36或42%的相对小的伸长率 A_5 ,低于良好可变形性的要求。 $F_a>60$,因此超过了表征良好可变形性的范围。根据本发明的所有合金具有 $>50\%$ 的伸长。它们因此满足要求。根据本发明的所有合金的 $F_a<60$ 。它们因此落入良好可变形性的范围。当 F_a 相对小时,伸长率特别高。

[0297] 表4中的根据现有技术的合金Alloy 601的实施例批次156658为在600°C或800°C下的伸长极限和抗张强度应当达到的范围的实施例。这通过关系7a至7d描述。 F_k 的值 >40 。合金2298、2299、2303、2304、2305、2308、2314、250060、250063、260065、250066、250067、250068、250079、250139、250140、250141、250143、250150满足需要满足4个关系7a至7d的至少3个的要求。在这些合金中, F_k 也大于40。实验室批次2295、2303、250053、250054和250057为满足4个关系7a至7d的少于3个的实施例。则 F_k 也 <45 。

[0298] 表5示出了根据在1100°C下在空气中的氧化试验在11个96小时的循环(即总共为1056小时)之后的比质量变化。表5中给出了在1056小时之后剥落氧化物的总质量变化、净质量变化和比质量变化。根据现有技术的合金Alloy 601和Alloy 690具有比Alloy 602CA显著更高的总质量变化。其原因在于,Alloy 601和Alloy 690形成铬氧化物层,所述铬氧化物层比氧化铝层更迅速地生长,但是Alloy 602CA在铬氧化层下方具有至少部分封闭的氧化铝层。这显著减少了氧化物层的生长因此也显著减少了比质量增加。根据本发明的合金应当具有与Alloy 690或Alloy 601相似的在空气中的耐腐蚀性。亦即总质量改变应当低于 $60g/m^2$ 。表5中的所有实验室批次(也是根据本发明的实验室批次)正是这种情况。

[0299] 因此,根据本发明的合金“E”所要求的极限如下详细说明:

[0300] 过低的Cr-含量意味着在腐蚀性气氛中使用合金时Cr-浓度非常迅速地降低至低于临界极限,因此不再能够形成封闭的铬氧化物层。因此29%的Cr是铬的下限。过高的Cr-含量使合金的相稳定性劣化。因此37%的Cr被视为上限。

[0301] 0.001%的一定的最低铝含量对于合金的可制备性来说是需要的。特别是在极高的铬含量下,过高的Al-含量损坏合金的可加工性和相稳定性。因此1.8%的Al-含量形成上限。

[0302] 合金的成本随着铁含量的降低而升高。低于0.1%,成本过度升高,因为必须使用特定原料。因此出于成本原因,0.1%的Fe被视为下限。

[0303] 随着铁含量的升高,特别是在高的铬含量下,相稳定性(形成脆相)降低。因此,为

了保证根据本发明的合金的相稳定性,7%的Fe为合意的上限。

[0304] Si在合金的制备中是需要的。因此0.001%的最低含量是必须的。特别是在高的铬含量下,过高的含量再次损坏可加工性和相稳定性。因此Si-含量限制于0.50%。

[0305] 为了改进可加工性,0.005%的Mn的最低含量是必须的。锰限制于2.0%,因为该元素降低抗氧化性。

[0306] 钛升高耐高温性。从1.0%开始氧化行为剧烈劣化,因此1.0%为最大值。

[0307] 铌与钛一样升高耐高温性。更高的含量剧烈升高成本。因此上限设定为1.1%。

[0308] 极低的Mg-含量和/或Ca-含量已经通过结合硫而改进加工,由此避免产生低熔点NiS共晶体。因此对于Mg和/或Ca来说各0.0002%的最低含量是需要的。在过高的含量下可能出现金属间Ni-Mg-相或Ni-Ca-相,所述金属间Ni-Mg-相或Ni-Ca-相再次使可加工性显著劣化。因此Mg-含量和/或Ca-含量限制于至多0.05%。

[0309] 对于良好的耐蠕变性,0.005%的C的最低含量是必须的。C限制于至多0.12%,因为该元素从该含量开始通过初生碳化物的过量形成而降低可加工性。

[0310] 0.001%的N的最低含量是需要的,由此改进材料的可加工性。N限制于至多0.05%,因为该元素通过粗糙碳氮化物的形成而降低可加工性。

[0311] 氧含量必须 $\leq 0.020\%$,从而保证合金的可制备性。过低的氧含量提高成本。因此氧含量 $\geq 0.0001\%$ 。

[0312] 磷含量应 $\leq 0.030\%$,因为该界面活性元素损害抗氧化性。过低的P-含量提高成本。因此P-含量 $\geq 0.001\%$ 。

[0313] 硫含量应设定为尽可能的低,因为该界面活性元素损害抗氧化性。因此设定至多0.010%的S。

[0314] 钼限制于最多2.0%,因为该元素降低抗氧化性。

[0315] 钨限制于最多2.0%,因为该元素也降低抗氧化性。

[0316] 在Cr和Al之间必须满足下式,从而得到对金属尘化的足够的抵抗力:

$$[0317] \quad Cr+Al > 30 \quad (2a)$$

[0318] 其中Cr和Al为相关元素以质量%计的浓度。只有当形成氧化物的元素的含量足够高时才可以保证比Alloy 690更好的抗金属尘化性。

[0319] 还必须满足下式,从而得到足够的相稳定性:

$$[0320] \quad Fp \leq 39.9 \quad (3a)$$

$$[0321] \quad Fp = Cr + 0.272 * Fe + 2.36 * Al + 2.22 * Si + 2.48 * Ti + 1.26 * Nb + 0.374 * Mo + 0.538 * W - 11.8 * C \quad (4a)$$

[0322] 其中Cr、Fe、Al、Si、Ti、Nb、Mo、W和C为相关元素的以质量%表示的浓度。Fp的极限以及可能包含其它元素已经在之前的说明中详细描述。

[0323] 在需要时可以通过加入亲氧元素进一步改进抗氧化性。加入亲氧元素进一步改进抗氧化性,是通过亲氧元素嵌入氧化层中并在晶界上堵塞氧的扩散路径。

[0324] 0.01%的Y的最低含量是必须的,从而获得Y提高抗氧化性的作用。出于成本原因,上限为0.20%。

[0325] 0.001%的La的最低含量是必须的,从而获得La提高抗氧化性的作用。出于成本原因,上限为0.20%。

[0326] 0.001%的Ce的最低含量是必须的,从而获得Ce提高抗氧化性的作用。出于成本原因,上限为0.20%。

[0327] 0.001%的含铈的稀土元素合金最低含量是必须的,从而获得含铈的稀土元素合金升高抗氧化性的作用。出于成本原因,上限为0.20%。

[0328] 在需要时合金也可以包含Zr。0.01%的Zr的最低含量是必须的,从而获得Zr提高耐高温性和抗氧化性的作用。出于成本原因,上限为0.20%的Zr。

[0329] Zr可以根据需要完全或部分被Hf替代,因为该元素与Zr相同也提高耐高温性和抗氧化性。有可能替代大于0.001%的含量。出于成本原因,上限为0.20%的Hf。

[0330] 在需要时合金也可以包含钽,因为钽也提高耐高温性。更高的含量剧烈提高成本。因此上限设定为0.60%。0.001%的最低含量是必须的,从而实现作用。

[0331] 在需要时可以向合金中加入硼,因为硼改进耐蠕变性。因此应存在至少0.0001%的含量。同时该界面活性元素使抗氧化性劣化。因此设定至多0.008%的硼。

[0332] 该合金中可以包含至多5.0%的钴。更高的含量显著降低抗氧化性。

[0333] 铜限制于至多0.5%,因为该元素降低抗氧化性。

[0334] 钒限制于至多0.5%,因为该元素降低抗氧化性。

[0335] Pb限制于至多0.002%,因为该元素降低抗氧化性。同样情况适用于Zn和Sn。

[0336] 此外形成碳化物的元素Cr、Ti和C可以选择性地满足下式,其保证了特别良好的可加工性:

$$[0337] \quad Fa \leq 60 \quad (5a)$$

$$[0338] \quad \text{其中} Fa = Cr + 6.15 * Nb + 20.4 * Ti + 201 * C \quad (6a)$$

[0339] 其中Cr、Nb、Ti和C为相关元素以质量%计的浓度。Fa的极限已经在之前的说明中详细描述。

[0340] 此外,在提高强度的元素之间可以选择性地满足下式,其保证了特别良好的耐热性/或耐蠕变性:

$$[0341] \quad Fk \geq 40 \quad (7a)$$

$$[0342] \quad \text{其中} Fk = Cr + 19 * Ti + 34.3 * Nb + 10.2 * Al + 12.5 * Si + 98 * C \quad (8a)$$

[0343] 其中Cr、Ti、Nb、Al、Si和C为相关元素以质量%计的浓度,Fa的极限以及可能包含的其它元素已经在之前的说明中详细描述。

[0344]

表1: 根据ASTM B 168-11的合金 (所有数据以质量%表示)

合金	Ni	Cr	Co	Mo	Nb	Fe	Mn	Al	C	Cu	Si	S	Ti	P	Zr	Y	B	N	Ce
Alloy 600 - N06600	72,0 至少 14,0-17,0					6,0-10,0	1,0 至多		0,15 至多	0,5 至多	0,5 至多	0,015 至多							
Alloy 601 - N06601	58,0-63,0	21,0-25,0				剩余	1,0 至多	1,0-1,7	0,10 至多	0,5 至多	0,5 至多	0,015 至多							
Alloy 617 - N06617	44,5 至少	20,0-24,0	10,0-15,0	8,0-10,0		3,0 至多	1,0 至多	0,8-1,5	0,05-0,15	1,0 至多	0,5 至多	0,015 至多	0,6 至多				0,006 至多		
Alloy 690 - N06690	58,0 至少	27,0-31,0				7,0-11,0	0,5 至多		0,05 至多	0,5 至多	1,0 至多	0,015 至多							
Alloy 693 - N06693	剩余	27,0-31,0			0,5-2,5	2,5-6,0	1,0 至多	2,5-4,0	0,15 至多	0,5 至多	0,5 至多	0,01 至多	1,0 至多						
Alloy 602CA - N06025	剩余	24,0-26,0				8,0-11,0	0,15 至多	1,8-2,4	0,15-0,25	0,1 至多	0,5 至多	0,010 至多	0,1-0,2	0,020 至多	0,01-0,10	0,05-0,12			
Alloy 45 - N06045	45 至少	26,0-29,0				21,0-25,0	1,0 至多		0,05-0,12	0,3 至多	2,5-3,0	0,010 至多		0,020 至多					0,03-0,09
Alloy 603 - N06603	剩余	24,0-26,0				8,0-11,0	0,15 至多	2,4-3,0	0,20-0,40	0,50 至多	0,5 至多	0,010 至多	0,01-0,25	0,020 至多	0,01-0,10	0,01-0,15			
Alloy 696 - N06696	剩余	28,0-32,0		1,0-3,0		2,0-6,0	1,0 至多		0,15 至多	1,5-3,0	1,0-2,5	0,010 至多	1,0 至多						

[0345]

表2: 根据ASTM B 168-11的一些合金(现有技术)的典型组成。所有数据以质量%表示。
*) 来自专利US 4,882,125的表1的合金组成

合金	批次	C	S	Cr	Ni	Mn	Si	Mo	Ti	Nb	Cu	Fe	P	Al	Zr	Y	B	T _{5 BCC} °C	Cr+ Al	Fp
Alloy 600 N06600	164310	0,07	0,002	15,75	73,77	0,28	0,32		0,2		0,01	9,42	0,009	0,16			0,001		15,9	19,1
Alloy 601 N06601	156656	0,053	0,0016	22,95	59,58	0,72	0,24		0,47		0,04	14,4	0,008	1,34	0,015	0	0,001	669	24,3	31,2
Alloy 690 N06690	111389	0,022	0,002	28,45	61,95	0,12	0,32		0,29		0,01	6,45	0,005	0,31		0	0	720	28,8	32,7
Alloy 693 N06693	Alloy 10 *)	0,015	≤ 0,01	29,42	60,55	0,014	0,075		0,02	1,04	0,03	5,57		3,2			0,002	939	32,6	39,9
Alloy 693 N06693	Alloy 8 *)	0,007	≤ 0,01	30,00	60,34	0,11	0,38		0,23	1,13	0,03	4,63		3,08			0,002	979	33,1	41,3
Alloy 693 N06693	Alloy 3 *)	0,009	≤ 0,01	30,02	57,79	0,01	0,14		0,02	2,04	0,03	5,57		4,3			0,002	1079	34,3	44,5
Alloy 693 N06693	Alloy 2 *)	0,006	≤ 0,01	30,01	60,01	0,12	0,14		0,01	0,54	0,03	5,80		3,27			0,002	948	33,3	40,3
Alloy 602 N06025	163958	0,170	≤ 0,01	25,39	62,12	0,07	0,07		0,13		0,01	9,47	0,008	2,25	0,08	0,08	0,005	690	27,6	31,8
Alloy 603 N06603	52475	0,225	0,002	25,20	61,6	0,09	0,03		0,16	0,01	0,01	9,6	0,007	2,78	0,07	0,08	0,003	707	28,0	32,2
Alloy 696 N06696	UNS Mitte	0,080	≤ 0,01	30,00	61,20	0,1	1,5	2	0,1		2	3						792	30,0	35,1

[0346]

表3a: 实验室批次的组成, 第1部分。所有数据以质量%表示 (T: 根据现有技术的合金, E: 根据本发明的合金, L: 在实验室规模下熔融, G: 大规模熔融)

名称	批次	C	N	Cr	Ni	Mn	Si	Mo	Ti	Nb	Cu	Fe	Al	W	T _s ^{BCC} °C	Cr+Al	Fp
T G Alloy 602 CA	156817	0.171	0.036	25.2	62.1	0.06	0.07	0.01	0.17	<0.01	0.01	9.56	2.36		683	27.6	31.9
T G Alloy 602 CA	160483	0.172	0.025	25.7	62.0	0.06	0.05	0.02	0.14	0.01	0.01	9.44	2.17		683	27.8	31.8
T G Alloy 601	156656	0.053	0.018	23.0	59.6	0.72	0.24	0.04	0.47	0.01	0.04	14.41	1.34	0.01	669	24.3	31.2
T G Alloy 690	80116	0.010	0.025	27.8	62.8	0.18	0.15	0.01	0.31	<0.01	0.01	8.48	0.14		683	27.9	31.4
T G Alloy 690	111389	0.022	0.024	28.5	62.0	0.12	0.32	<0.01	0.29	0.01	0.01	8.45	0.31		720	28.8	32.7
E L Cr30TiLa	2294	0.023	0.025	30.2	68.3	0.25	0.10	<0.01	0.15	<0.01	<0.01	0.56	0.26	0.01	666	30.5	31.3
E L Cr30La	2295	0.020	0.020	30.0	68.7	0.25	0.10	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.54	0.28	<0.01	650	30.3	30.8
E L Cr30ClLa	2296	0.059	0.022	30.1	68.6	0.25	0.09	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.54	0.27	<0.01	637	30.3	30.3
E L Cr30Al1TiLa	2298	0.018	0.022	29.9	67.5	0.25	0.08	<0.01	0.30	<0.01	<0.01	0.55	1.28	<0.01	759	31.2	33.8
E L Cr30Al1TiNbLa	2308	0.017	0.028	30.1	67.1	0.25	0.08	<0.01	0.31	0.28	<0.01	0.53	1.25	0.01	772	31.4	34.3
E L Cr30Al1ClLaTi	2299	0.060	0.021	30.1	67.6	0.25	0.09	<0.01	0.01	<0.01	<0.01	0.54	1.25	0.01	730	31.3	32.7
E L Cr33La	2303	0.019	0.020	32.9	65.7	0.25	0.09	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.56	0.36	<0.01	739	33.3	33.9
E L Cr33ClLa	2304	0.045	0.025	33.0	65.6	0.25	0.08	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.56	0.32	<0.01	726	33.3	33.6
E L Cr33WClLa	2314	0.054	0.026	33.1	63.7	0.25	0.12	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.53	0.25	1.91	766	33.3	34.4
E L Cr33Al1TiLa	2305	0.018	0.030	32.9	64.4	0.25	0.09	<0.01	0.15	<0.01	<0.01	0.57	1.44	<0.01	846	34.4	36.8
E L Cr30C	250054	0.040	0.025	30.4	68.3	0.25	0.12	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.53	0.25	<0.01	637	30.7	30.9
E L Cr30C	250053	0.040	0.022	30.5	68.7	0.25	0.12	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.05	0.25	<0.01	610	30.7	30.9
E L Cr30CNLa	250056	0.045	0.045	30.2	68.5	0.25	0.10	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.53	0.23	<0.01	620	30.4	30.6
E L Cr30Al1Ti	250060	0.017	0.027	29.6	67.9	0.24	0.11	<0.01	0.31	<0.01	<0.01	0.54	1.16	0.01	759	30.8	33.3
E L Cr30Al1Ti	250063	0.017	0.024	29.9	67.4	0.25	0.10	<0.01	0.31	<0.01	<0.01	0.53	1.39	<0.01	759	31.3	34.2
E L Cr30Al1TiNb	250066	0.016	0.022	29.9	67.1	0.24	0.09	<0.01	0.31	0.31	<0.01	0.5	1.42	0.01	772	31.3	34.6
E L Cr30Al1TiNb	250065	0.017	0.025	30.3	67.1	0.24	0.10	0.01	0.30	0.31	<0.01	0.05	1.41	0.01	768	31.7	34.8
E L Cr30Al1TiNbZr	250067	0.019	0.020	29.7	67.2	0.25	0.10	0.02	0.31	0.31	<0.01	0.53	1.47	0.01	776	31.1	34.4
E L Cr30Al1TiNb	250068	0.017	0.024	29.8	66.6	0.25	0.09	0.01	0.31	0.88	<0.01	0.53	1.43	0.02	799	31.2	35.2
E L Cr33C	250057	0.040	0.027	32.5	66.3	0.24	0.10	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.52	0.18	<0.01	726	32.7	32.8
E L Cr33AlTi	250079	0.018	0.024	32.7	64.8	0.25	0.10	<0.01	0.15	<0.01	<0.01	0.54	1.32	<0.01	844	34.1	36.4
E L Cr33C1Ti	250139	0.083	0.027	32.5	65.8	0.27	0.07	<0.01	0.17	<0.01	0.02	0.45	0.37	0.01	734	32.9	33.1
E L Cr33C1Zr	250140	0.081	0.028	32.7	65.7	0.26	0.07	0.01	<0.01	0.01	0.03	0.46	0.32	0.01	744	33.1	32.8
E L Cr33C1	250141	0.078	0.028	32.9	65.6	0.27	0.06	<0.01	<0.01	<0.01	0.02	0.65	0.29	0.01	719	33.2	32.9
E L Cr30C1Y	250143	0.081	0.022	30.5	68.1	0.27	0.05	<0.01	<0.01	0.01	0.02	0.46	0.32	0.02	630	30.8	30.5
E L Cr30Nb1YC	250150	0.091	0.023	29.6	67.7	0.27	0.06	<0.01	<0.01	1.00	0.03	0.48	0.57	<0.01	675	30.2	31.4

[0347]

表3b: 实验室批次的组成, 第1部分。所有数据以质量%表示(所有合金满足: Pb至多0.002%, Zn至多0.002%, Sn至多0.002%) (T、E、G、L的含义参见表3a)

名称	批次	S	P	Mg	Ca	V	Zr	Co	Y	La	B	Hf	Ta	Ce	O
T G Alloy 602 CA	156817	0.002	0.005	0.004	0.001	0.03	0.08	0.05	0.060		0.003	-	-	-	0.001
T G Alloy 602 CA	150483	<0.002	0.007	0.01	0.002	-	0.09	0.04	0.070		0.003	-	-	-	0.001
T G Alloy 601	156556	0.002	0.008	0.012	<0.01	0.03	0.015	0.04	-		0.001	-	-	-	0.0001
T G Alloy 690	80116	0.002	0.005	0.03	0.0009	-	<0.002	0.02	-		0.002	-	-	-	0.0005
T G Alloy 690	111389	0.002	0.005	<0.001	0.0005	-	-	0.01	-		-	-	-	-	0.001
E L Cr30TiLa	2294	0.002	0.003	0.012	<0.01	<0.01	0.002	<0.001	-	0.07	-	-	<0.005	0.001	0.0001
E L Cr30La	2295	0.002	0.003	0.013	<0.01	<0.01	0.002	<0.001	-	0.06	-	-	<0.005	0.001	0.0001
E L Cr30ClLa	2296	0.003	0.003	0.015	<0.01	<0.01	<0.002	<0.001	-	0.06	-	-	<0.005	0.001	0.0001
E L Cr30Al1TiLa	2298	0.006	0.002	0.016	<0.01	<0.01	<0.002	<0.001	<0.001	0.06	<0.001	<0.001	<0.005	0.001	0.002
E L Cr30Al1TiNbLa	2308	0.002	0.002	0.014	<0.01	<0.01	<0.002	0.001	<0.001	0.09	<0.001	<0.001	<0.005	0.001	0.002
E L Cr30Al1ClLaTi	2299	0.003	0.002	0.015	<0.01	<0.01	<0.002	<0.001	<0.001	0.06	<0.001	<0.001	<0.005	0.001	0.002
E L Cr33La	2303	0.003	0.002	0.014	<0.01	<0.01	<0.002	0.001	<0.001	0.06	<0.001	<0.001	<0.005	0.001	0.0001
E L Cr33ClLa	2304	0.002	0.002	0.013	<0.01	<0.01	<0.002	0.001	<0.001	0.04	<0.001	<0.001	<0.005	0.001	0.0001
E L Cr33WClLa	2314	0.001	0.003	0.009	<0.01	<0.01	<0.002	0.001	<0.001	0.05	<0.001	<0.001	<0.005	0.001	0.002
E L Cr33Al1TiLa	2305	0.003	0.002	0.018	<0.01	<0.01	<0.002	0.001	<0.001	0.05	<0.001	<0.001	<0.005	0.001	0.0001
E L Cr30C	250054	0.003	0.002	0.007	<0.01	<0.01	<0.002	<0.001	<0.001	-	<0.001	<0.001	<0.005	<0.001	0.001
E L Cr30C	250053	0.003	0.002	0.007	<0.01	<0.01	<0.002	<0.001	<0.001	-	<0.001	<0.001	<0.005	<0.001	0.003
E L Cr30CNLa	250056	0.001	0.003	0.018	<0.01	<0.01	<0.002	<0.001	<0.001	0.03	<0.001	<0.001	<0.005	<0.001	0.002
E L Cr30Al1Ti	250060	0.003	0.002	0.009	<0.01	<0.01	<0.002	<0.001	<0.001	-	<0.001	<0.001	<0.005	<0.001	0.003
E L Cr30Al1Ti	250063	0.003	0.003	0.012	<0.01	<0.01	<0.002	<0.001	<0.001	-	<0.001	<0.001	<0.005	<0.001	0.003
E L Cr30Al1TiNb	250066	0.002	0.002	0.012	<0.01	<0.01	<0.002	<0.001	<0.001	-	<0.001	<0.001	<0.005	<0.001	0.004
E L Cr30Al1TiNb	250065	0.002	0.002	0.012	<0.01	<0.01	<0.002	<0.001	<0.001	-	<0.001	<0.001	<0.005	<0.001	0.005
E L Cr30Al1TiNbZr	250067	0.003	0.002	0.010	<0.01	<0.01	0.069	<0.001	<0.001	-	<0.001	<0.001	<0.005	<0.001	0.003
E L Cr30Al1TiNb	250068	0.002	<0.002	0.010	<0.01	<0.01	<0.002	<0.001	<0.001	-	<0.001	<0.001	<0.005	<0.001	0.004
E L Cr33C	250057	0.004	0.002	0.008	<0.01	<0.01	<0.002	<0.001	-	-	-	-	<0.005	<0.001	0.003
E L Cr33AlTi	250079	0.003	0.002	0.011	<0.01	<0.01	<0.002	<0.001	-	-	-	-	<0.005	<0.001	0.004
E L Cr33C1Ti	250139	0.002	0.004	0.008	0.0002	<0.01	0.002	<0.01	0.01	-	<0.0005	-	-	-	0.004
E L Cr33C1Zr	250140	0.003	0.004	0.007	0.0002	<0.01	0.125	<0.01	0.01	-	0.001	-	-	-	0.003
E L Cr33C1	250141	0.002	0.004	0.008	0.0002	<0.01	0.007	<0.01	0.01	-	0.001	-	-	-	0.006
E L Cr30C1Y	250143	0.003	0.004	0.001	0.0002	<0.01	0.003	<0.01	0.08	-	0.001	-	-	-	0.002
E L Cr30Nb1Y	250150	0.004	0.005	0.01	<0.0005	<0.01	0.003	<0.01	0.09	-	0.001	-	-	-	0.002

[0348]

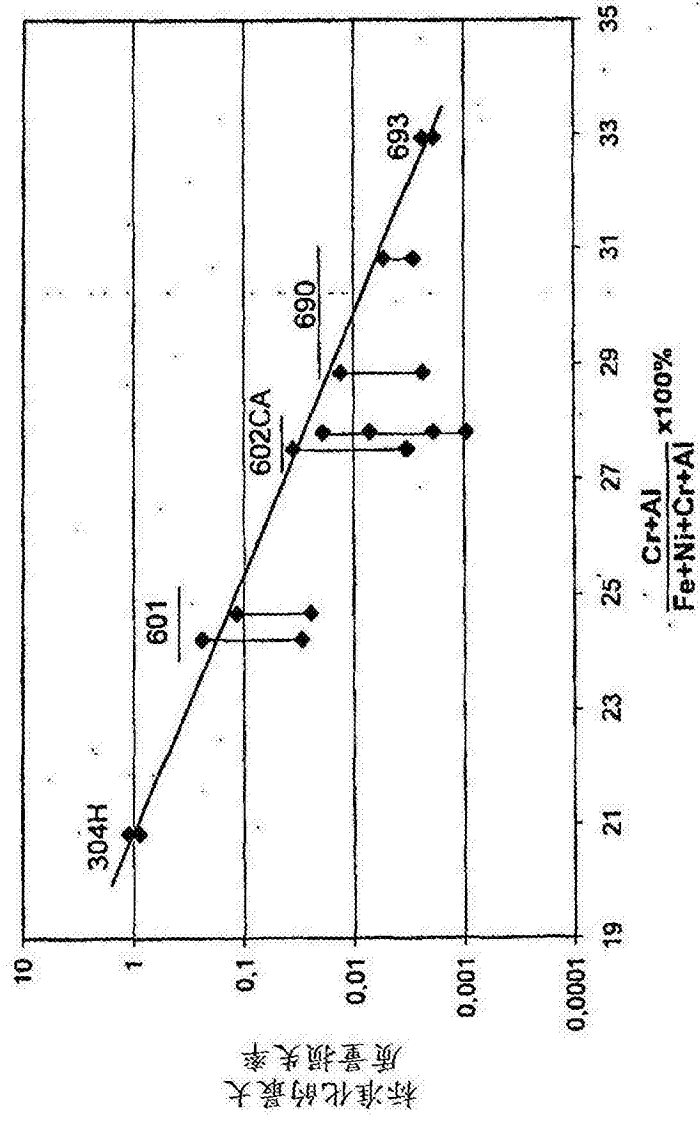
表4: 在室温 (RT)、600°C和800°C下的拉伸试验的结果。变形速度在 $R_{p0.2}$ 中为 $8.33 \cdot 10^{-5}$ 1/s (0.5%/min) ; 在 R_m 中为 $8.33 \cdot 10^{-4}$ 1/s (5%/min) ; KG=粒径, *) 样本错误

名称	批次	KG µm	$R_{p0.2}$ RT	R_m MPa RT	A_5 % RT	$R_{p0.2}$ 600°C	R_m MPa 600°C	A_5 % 600°C	$R_{p0.2}$ 800°C	R_m MPa 800°C	Fa	Fk
T G Alloy 602 CA	156817	76	292	699	36	256	578	41	186	198	63.0	76.9
T G Alloy 602 CA	160483	76	340	721	42	254	699	69			62.2	75.0
T G Alloy 601	156656	136	238	645	53	154	509	55	133	136	63.2	56.3
T G Alloy 690	80116	92	279	641	56	195	469	48	135	154	43.3	41.6
T G Alloy 690	111389	72	285	630	50	188	465	51			36.2	43.6
E L Cr30TiLa	2294	161	285	537	*)	170	452	29	145	171	38.0	39.6
E L Cr30La	2295	189	225	555	*)	131	358	25	110	167	34.0	36.0
E L Cr30ClLa	2296	237	295	644	59	197	472	57	192	200	41.9	39.7
E L Cr30Al1TiLa	2298	94	351	704	59	228	490	31	149	161	39.7	51.5
E L Cr30Al1TiNbLa	2308	90	288	683	55	200	508	39	174	181	41.6	61.0
E L Cr30Al1ClLaTi	2299	253	258	661	62	212	475	59	181	185	42.3	50.0
E L Cr33La	2303	145	272	618	*)	137	433	57	118	171	36.7	39.6
E L Cr33ClLa	2304	278	284	640	50	171	439	65	168	209	42.1	41.7
E L Cr33WClLa	2314	298	254	644	66	143	438	67	154	212	43.9	42.4
E L Cr33Al1TiLa	2306	68	276	623	*)	224	472	41	161	166	39.6	53.3
E L Cr30C	250054	207	227	628	63	127	428	64	147	196	38.5	38.4
E L Cr30C	250053	150	215	626	55	119	426	57	128	187	38.5	38.5
E L Cr30CNLa	250056	242	234	612	55	145	440	74	144	204	39.3	38.2
E L Cr30Al1Ti	250060	114	252	662	67	183	509	62	143	154	39.3	50.4
E L Cr30Al1Ti	250063	118	252	659	70	178	510	57	148	1521	39.6	52.9
E L Cr30Al1TiNb	250066	121	240	666	67	186	498	66	245	255	41.4	63.6
E L Cr30Al1TiNb	250065	132	285	685	61	213	521	58	264	265	41.8	64
E L Cr30Al1TiNbZr	250067	112	287	692	67	227	532	65	280	280	41.6	64.2
E L Cr30Al1TiNb	250068	174	261	666	69	205	498	65	297	336	44.9	83.2
E L Cr33C	250057	191	241	638	66	127	414	54	185	197	40.6	39.5
E L Cr33AlTi	250079	101	267	665	68	190	489	56	145	164	39.4	52.0
E L Cr33C1Ti	250139	112	266	679	54	161	495	48	167	187	52.7	48.5
E L Cr33C1Zr	250140	153	269	667	60	177	447	36	164	191	49.1	47.4
E L Cr33C1	250141	302	269	645	58	157	430	52	192	214	48.8	46.6
E L Cr30C1Y	250143	195	264	650	69	166	490	50	174	195	46.8	44.9
E L Cr30Nb1YC	250150	72	267	722	53	188	577	57	181	194	54.0	81.6

[0349]

表5: 在1000°C下在空气中在1056小时之后的氧化试验的结果。

名称	批次	试验序号	m_{brutto} g/m ²	m_{netto} g/m ²	m_{spall} g/m ²
T G Alloy 602 CA	160483	412	8,66	7,83	0,82
T G Alloy 602 CA	160483	425	5,48	5,65	-0,18
T G Alloy 601	156125	403	51,47	38,73	12,74
T G Alloy 690	111389	412	23,61	7,02	16,59
T G Alloy 690	111389	421	30,44	-5,70	36,14
T L Alloy 690	111389	425	28,41	-0,68	29,09
E L Cr30TiLa	2294	412	28,40	-18,37	46,77
E L Cr30La	2295	412	19,44	0,09	19,35
E L Cr30ClLa	2296	412	26,83	-11,43	38,27
E L Cr30AlTiLa	2298	412	49,02	-30,59	79,61
E L Cr30AlTiNblLa	2308	412	42,93	-15,54	58,47
E L Cr30AlTiLaTi	2299	412	30,51	0,08	30,44
E L Cr33La	2303	412	25,98	-8,42	34,40
E L Cr33ClLa	2304	412	29,18	-14,42	43,60
E L Cr33WClLa	2314	412	24,37	-10,35	34,72
E L Cr33AlTiLa	2305	412	49,96	-19,36	69,32
E L Cr30C	250054	421	31,15	-21,76	52,92
E L Cr30C	250053	421	31,37	-26,58	57,95
E L Cr30CNLa	250056	421	23,46	-9,64	33,11
E L Cr30AlTi	250060	421	43,30	-19,88	63,17
E L Cr30AlTi	250063	421	32,81	-22,15	54,96
E L Cr30AlTiNb	250066	421	26,93	-16,35	43,28
E L Cr30AlTiNb	250065	421	25,85	-24,27	50,12
E L Cr30AlTiNbZr	250067	421	41,59	-15,56	57,16
E L Cr30AlTiNb	250068	421	42,69	-39,26	81,95
E L Cr33C	250057	421	34,72	-47,71	82,43
E L Cr33AlTi	250079	421	17,02	1,99	15,03
E L Cr33C1Ti	250139	425	57,97	-49,60	107,58
E L Cr33C1Zr	250140	425	23,83	7,22	16,60
E L Cr33C1	250141	425	37,63	-28,71	66,35
E L Cr30C1Y	250143	425	26,78	-1,85	27,63
E L Cr30Nb1YC	250150	425	27,70	-10,02	37,72



1图

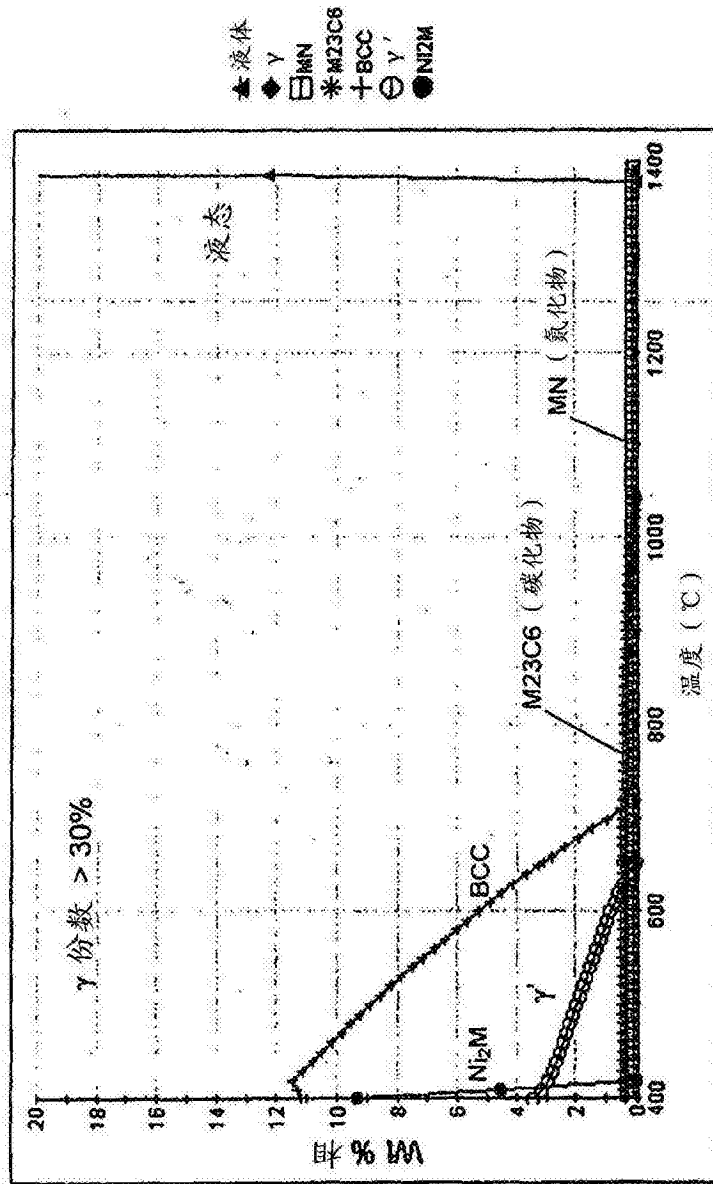


图2

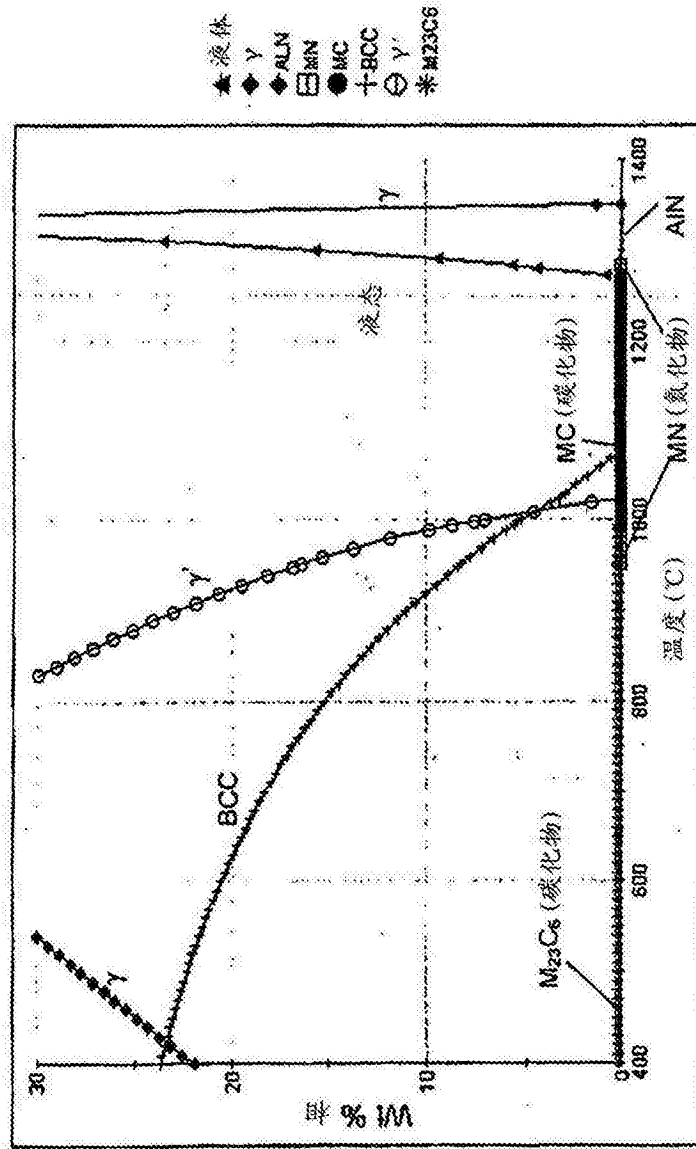


图3

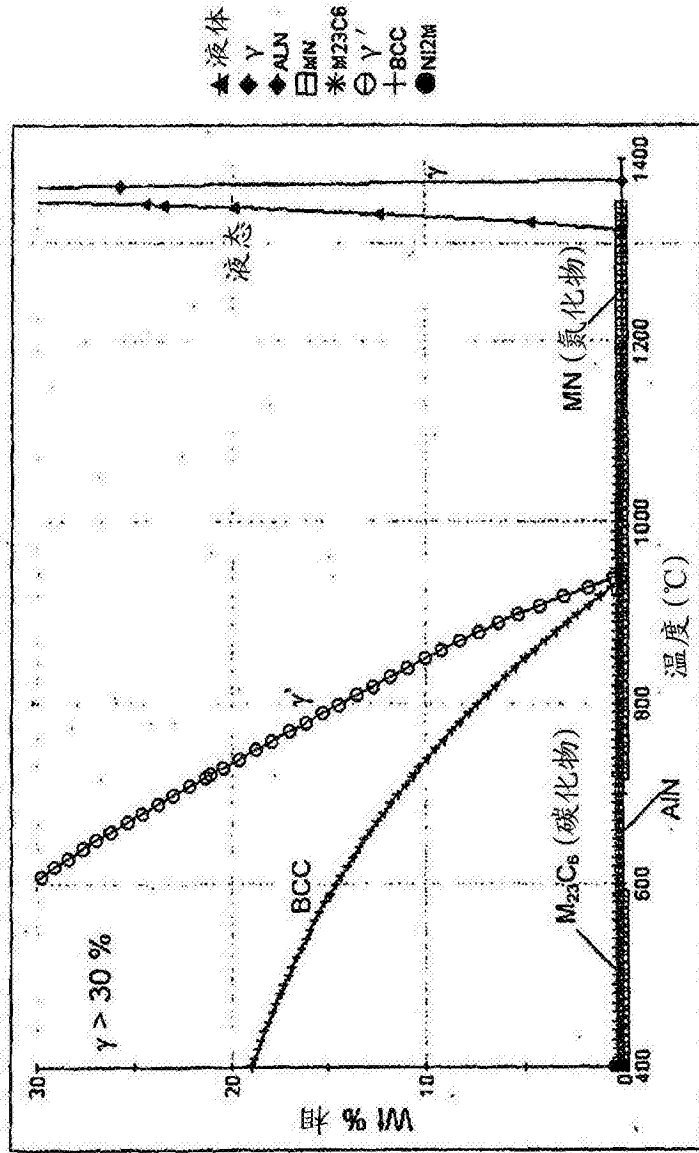


图4