



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 113195759 B

(45) 授权公告日 2023.09.19

(21) 申请号 201980083293.5
 (22) 申请日 2019.10.25
 (65) 同一申请的已公布的文献号
 申请公布号 CN 113195759 A
 (43) 申请公布日 2021.07.30
 (30) 优先权数据
 62/751,020 2018.10.26 US
 (85) PCT国际申请进入国家阶段日
 2021.06.16
 (86) PCT国际申请的申请数据
 PCT/US2019/058080 2019.10.25
 (87) PCT国际申请的公布数据
 W02020/086971 EN 2020.04.30
 (73) 专利权人 欧瑞康美科(美国)公司
 地址 美国纽约州
 (72) 发明人 J·维奇奥 J·L·切尼
 J·布拉奇 P·菲亚拉

(74) 专利代理机构 北京纪凯知识产权代理有限公司 11245
 专利代理师 姚远

(51) Int.Cl.
 G22C 19/05 (2006.01)
 G23C 4/06 (2016.01)
 G23C 24/10 (2006.01)
 G22C 30/00 (2006.01)
 G22C 30/02 (2006.01)

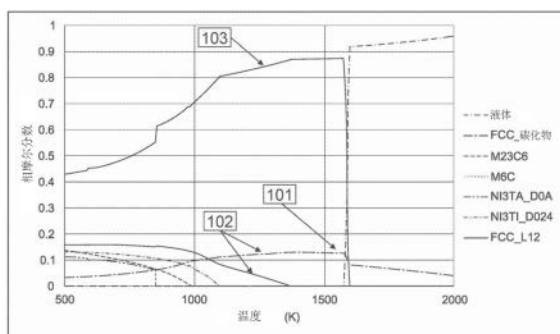
(56) 对比文件
 JP 2018131667 A, 2018.08.23
 CN 106119838 A, 2016.11.16
 CN 102936724 A, 2013.02.20
 CN 101948994 A, 2011.01.19
 JP H08134570 A, 1996.05.28
 JP H07268524 A, 1995.10.17
 WO 2008105788 A2, 2008.09.04
 JP 2014047388 A, 2014.03.17

审查员 蔡旭东

权利要求书3页 说明书18页 附图6页

(54) 发明名称
 耐腐蚀和耐磨镍基合金

(57) 摘要
 本文公开了镍基合金的实施方式。镍基合金可用作用于PTA和激光熔覆表面硬化工艺的原料,并且可被制造成用于形成表面硬化层的含芯线材。镍基合金可具有高耐腐蚀性和大量的硬质相(如分离的过共晶硬质相)。



1. 原料材料包含,以wt.%计:

C:0.8-1.6;

Cr:14-26;

Mo:8-16;

Nb+Ti:2.38-10;和

Ni:余量;

其中所述原料材料被配置以形成耐腐蚀基体,所述耐腐蚀基体的特征在于在热力学平衡条件下具有总计5摩尔%或更大的1,000Vickers硬度或更大的硬质相。

2. 权利要求1所述的原料材料,包含,以wt.%计:

C:0.84-1.56;

Cr:14-26;

Mo:8.4-15.6;和

Nb+Ti:4.2-8.5。

3. 权利要求1所述的原料材料,包含,以wt.%计:

C:0.84-1.56;

Cr:14-26;

Mo:8.4-15.6;

Nb:4.2-7.8;和

Ti:0.35-0.65。

4. 权利要求1所述的原料材料,包含,以wt.%计:

C:1.08-1.32;

Cr:13-22;

Mo:10.8-13.2;和

Nb:5.4-6.6。

5. 权利要求1-4中任一项所述的原料材料,其中所述原料材料为粉末。

6. 表面硬化层,其由权利要求1-4中的任一项所述的原料材料形成。

7. 权利要求6所述的表面硬化层,其中所述表面硬化层包含镍基体,所述镍基体包括:

1,000Vickers硬度或更大的、总计5摩尔%或更大的硬质相;

合计为20wt.%或更大的铬和钼;

总计为总硬质相分数的50摩尔%或更多的分离的过共晶硬质相;

0.33至3的WC/Cr₃C₂比率的WC和Cr₃C₂;

小于250mm³的ASTM G65A磨耗量;以及

650Vickers或更大的硬度。

8. 权利要求6所述的表面硬化层,其中所述表面硬化层的硬度为750Vickers或更大。

9. 权利要求6所述的表面硬化层,其中所述表面硬化层显示两个或更少的裂隙/平方英寸,具有9,000psi或更大的附着力,并且具有2体积%或更小的孔隙率。

10. 权利要求6所述的表面硬化层,其中所述表面硬化层的孔隙率为0.5体积%或更小。

11. 权利要求6所述的表面硬化层,其中在28%CaCl₂电解液,pH=9.5环境中,所述表面硬化层的腐蚀速率为1mpy或更低。

12. 权利要求11所述的表面硬化层,其中在28%CaCl₂电解液,pH=9.5环境中,所述表面硬化层的腐蚀速率为0.4mpy或更低。

13. 权利要求6所述的表面硬化层,其中根据G-59/G-61在3.5%氯化钠溶液中持续16小时,所述表面硬化层的腐蚀速率为低于0.1mpy。

14. 权利要求13所述的表面硬化层,其中根据G-59/G-61在3.5%氯化钠溶液中持续16小时,所述表面硬化层的腐蚀速率为低于0.08mpy。

15. 权利要求7所述的表面硬化层,其中与由Ni: BAL, X>20wt.%限定的耐腐蚀合金相比,所述镍基体的基体接近性为80%或更大,其中X代表Cu、Cr、或Mo中的至少一种,其中所述耐腐蚀合金选自Inconel 625、Inconel 622、Hastelloy C276、Hastelloy X和Monel 400。

16. 权利要求6所述的表面硬化层,其中所述表面硬化层被应用到液压缸、张力立管、泥浆电动机转子、或油田部件应用上。

17. 权利要求1-4中任一项所述的原料材料,

其中所述原料材料被配置以形成耐腐蚀基体,所述耐腐蚀基体的特征在于在热力学平衡条件下具有当与已知耐腐蚀镍合金相比时,80%或更大的基体接近性,其中所述已知耐腐蚀镍合金选自Inconel 625、Inconel 622、Hastelloy C276、Hastelloy X和Monel 400。

18. 权利要求17所述的原料材料,其中所述已知耐腐蚀镍合金由式Ni: BAL X>20wt.%表示,其中X代表Cu、Cr、或Mo中的至少一种。

19. 权利要求17所述的原料材料,其中所述原料材料为粉末。

20. 权利要求19所述的原料材料,其中所述粉末经由雾化工艺制成。

21. 权利要求19所述的原料材料,其中所述粉末经由凝结和烧结工艺制成。

22. 权利要求17所述的原料材料,其中所述耐腐蚀基体为镍基体,所述镍基体包含合计为20wt.%或更大的铬和钼。

23. 权利要求17所述的原料材料,其中,在热力学平衡条件下,所述耐腐蚀基体的特征在于具有总计为总硬质相分数的50摩尔%或更多的分离的过共晶硬质相。

24. 权利要求17所述的原料材料,其中所述原料材料包含:

C:0.84-1.56;

Cr:14-26;

Mo:8.4-15.6;

Nb:4.2-7.8; 和

Ti:0.35-0.65。

25. 权利要求24所述的原料材料,其中所述原料材料进一步包含:

B:2.5至5.7; 和

Cu:9.8至23。

26. 权利要求25所述的原料材料,其中所述原料材料进一步包含:

Cr:7至14.5。

27. 权利要求17所述的原料材料,其中,在热力学平衡条件下,所述耐腐蚀基体的特征在于具有:

总计50摩尔%或更大的硬质相;以及

1550K或更低的液相线温度。

28. 权利要求17所述的原料材料,其中所述原料材料进一步包含WC或 Cr_3C_2 中的至少一种与Monel的共混物。

29. 权利要求28所述的原料材料,其中所述原料材料选自,按wt.计:

75-85%WC+15-25%Monel;

65-75%WC+25-35%Monel;

60-75%WC+25-40%Monel;

75-85% Cr_3C_2 +15-25%Monel;

65-75% Cr_3C_2 +25-35%Monel;

60-75% Cr_3C_2 +25-40%Monel;

75-85%WC/ Cr_3C_2 +15-25%Monel;

65-75%WC/ Cr_3C_2 +25-35%Monel;和

60-75%WC/ Cr_3C_2 +25-40%Monel。

30. 权利要求17所述的原料材料,其中所述原料材料进一步包含WC和 Cr_3C_2 。

31. 权利要求30所述的原料材料,其中所述耐腐蚀基体的WC/ Cr_3C_2 比率按体积计为0.25至5。

32. 权利要求17所述的原料材料,其中所述原料材料包含线材。

33. 权利要求17所述的原料材料,其中所述原料材料包含线材和粉末的组合。

34. 表面硬化层,其由权利要求17所述的原料材料形成。

35. 权利要求34所述的表面硬化层,其中所述表面硬化层包括:

小于 250mm^3 的ASTM G65A磨耗量;以及

当由PTA或激光熔覆工艺形成所述表面硬化层时,两个或更少的裂隙/平方英寸。

36. 权利要求34所述的表面硬化层,其中所述表面硬化层包括不透性HVOF涂层,所述不透性HVOF涂层在28% CaCl_2 电解液,pH=9.5环境中显示1mpy或更低的腐蚀速率。

37. 权利要求34所述的表面硬化层,其中所述表面硬化层进一步包括:

650Vickers或更大的硬度;以及

当由HVOF热喷镀工艺形成所述表面硬化层时,9,000psi或更大的附着力。

38. 权利要求34所述的表面硬化层,其中所述表面硬化层被应用到液压缸、张力立管、泥浆电动机转子、或油田部件应用上。

39. 权利要求34所述的表面硬化层,其中所述表面硬化层包括:

750Vickers或更大的硬度;以及

当由HVOF热喷镀工艺形成所述表面硬化层时2体积%或更小的孔隙率。

40. 权利要求39所述的表面硬化层,其中所述表面硬化层包括当由HVOF热喷镀工艺形成所述表面硬化层时0.5%或更小的孔隙率。

耐腐蚀和耐磨镍基合金

[0001] 通过引用任何优先权申请并入

[0002] 本申请要求于2018年10月26日提交的标题为“耐腐蚀和耐磨镍基合金(CORROSION AND WEAR RESISTANT NICKEL BASED ALLOYS)”的美国申请号62/751,020的权益,其整体通过引用并入本文。

背景技术

[0003] 领域

[0004] 本公开的实施方式总体上涉及镍基合金,该镍基合金可用于作用于表面硬化工艺——如用于等离子传递电弧(PTA)、激光熔覆表面硬化工艺(包括高速激光熔覆)、和热喷镀工艺(如高速氧燃料(HVOF)热喷镀)——的有效原料。

[0005] 相关技术的描述

[0006] 磨料和侵蚀磨损是操作员在涉及砂、岩石、或其它硬介质对表面磨耗(wearing away)的应用中的主要关注点。观察到严重磨损的应用典型地利用高硬度材料来抵抗由于严重磨损而导致的材料失效(material failure)。这些材料典型地含有碳化物和/或硼化物作为硬沉淀物,其抵抗磨耗并增加材料的整体硬度(bulk hardness)。这些材料常常通过各种焊接工艺或直接铸造成零件来作为涂层应用(称为表面硬化)。

[0007] 操作员的另一主要关注点是腐蚀。出现严重腐蚀的应用典型地利用含高铬的软镍基或不锈钢类材料。在这些类型的应用中,在覆盖层中不能存在裂隙,因为这将导致下边基底材料的腐蚀。

[0008] 当前,使用耐磨材料或耐腐蚀材料是常见的,因为几乎没有满足这两种要求的合金。当前的材料通常无法提供必要的寿命或需要添加碳化物以增加耐磨性(这可能引起破裂)。

发明内容

[0009] 本文公开了原料材料的实施方式,其包含(以wt.%计)Ni:C:0.5-2,Cr:10-30,Mo:5.81-18.2,Nb+Ti:2.38-10。

[0010] 在一些实施方式中,原料材料可进一步包含(以wt.%计)C:约0.8-约1.6,Cr:约14-约26,和Mo:约8-约16。在一些实施方式中,原料材料可进一步包含(以wt.%计)C:约0.84-约1.56,Cr:约14-约26,Mo:约8.4-约15.6,和Nb+Ti:约4.2-约8.5。在一些实施方式中,原料材料可进一步包含(以wt.%计)C:约8.4-约1.56,Cr:约14-约26,Mo:约8.4-约15.6,Nb:约4.2-约7.8,和Ti:约0.35-约0.65。在一些实施方式中,原料材料可进一步包含(以wt.%计)C:约1.08-约1.32,Cr:约13-约22,Mo:约10.8-约13.2,和Nb:约5.4-约6.6。在一些实施方式中,原料材料可进一步包含(以wt.%计)C:约1.2,Cr:约20,Mo:约12,Nb:约6,和Ti:约0.5。

[0011] 在一些实施方式中,原料材料是粉末。在一些实施方式中,原料材料是线材。在一些实施方式中,原料材料是线材和粉末的组合。

[0012] 本文还公开了由如本文公开的原料材料形成的表面硬化层的实施方式。

[0013] 在一些实施方式中,表面硬化层可包含镍基体,镍基体包含:1,000Vickers(维克斯)硬度或更大、总计5摩尔%或更大的硬质相;合计为20wt.%或更大的铬和钼;总计为总硬质相分数的50摩尔%或更多的分离的过共晶硬质相(hard phases);比率为0.33至3的WC/Cr₃C₂;ASTM G65A磨耗量为小于250mm³;以及硬度为650Vickers或更大。

[0014] 在一些实施方式中,表面硬化层的硬度可以为750Vickers或更大。在一些实施方式中,表面硬化层可显示两个或更少的裂隙/平方英寸,其附着力为9,000psi或更大,并且孔隙率为2体积%或更小。在一些实施方式中,表面硬化层的孔隙率可以为0.5体积%或更小。在一些实施方式中,在28%CaCl₂电解液、pH=9.5的环境中,表面硬化层的腐蚀速率可以为1mpy或更低。在一些实施方式中,在28%CaCl₂电解液、pH=9.5的环境中,表面硬化层的腐蚀速率可以为0.4mpy或更低。在一些实施方式中,根据G-59/G-61,在3.5%氯化钠溶液中16小时,表面硬化层的腐蚀速率可以为低于0.1mpy。在一些实施方式中,根据G-59/G-61,在3.5%氯化钠溶液中16小时,表面硬化层的腐蚀速率可以为低于0.08mpy。

[0015] 在一些实施方式中,与Ni: BAL, X>20wt.% (其中X代表Cu、Cr、或Mo中的至少一种)限定的耐腐蚀合金相比,镍基体的基体接近性可以为80%或更大。在一些实施方式中,耐腐蚀合金选自Inconel625、Inconel 622、HastelloyC276、Hastelloy X、和Monel400。

[0016] 在一些实施方式中,表面硬化层可应用到液压缸、张力立管(tension riser)、泥浆电动机转子、或油田部件应用上。

[0017] 本文进一步公开了包含镍的原料材料的实施方式,其中原料材料被配置以形成耐腐蚀基体,其特征在于具有(在热力学平衡条件下):1,000Vickers硬度或更大、总计5摩尔%或更大的硬质相,以及当与已知耐腐蚀镍合金相比时,80%或更大的基体接近性。

[0018] 在一些实施方式中,已知耐腐蚀镍合金可由式Ni: BAL X>20wt.%表示,其中X代表Cu、Cr、或Mo中的至少一种。

[0019] 在一些实施方式中,原料材料可以是粉末。在一些实施方式中,粉末可经由雾化工艺制作。在一些实施方式中,粉末可经由凝结(agglomerated)和烧结工艺制作。

[0020] 在一些实施方式中,耐腐蚀基体可以是镍基体,该镍基体包含合计为20wt.%或更大的铬和钼。在一些实施方式中,在热力学平衡条件下,耐腐蚀基体的特征可在于具有总计为总硬质相分数的50摩尔%或更多的分离的过共晶硬质相。

[0021] 在一些实施方式中,已知耐腐蚀镍合金可选自Inconel 625、Inconel 622、Hastelloy C276、Hastelloy X、和Monel 400。

[0022] 在一些实施方式中,原料材料可包含C:0.84-1.56、Cr:14-26、Mo:8.4-15.6、Nb:4.2-7.8、和Ti:0.35-0.65。在一些实施方式中,原料材料可进一步包含B:约2.5至约5.7、和Cu:约9.8至约23。在一些实施方式中,原料材料可进一步包含Cr:约7至约14.5。

[0023] 在一些实施方式中,在热力学平衡条件下,耐腐蚀基体的特征可在于具有总计50摩尔%或更大的硬质相,并且1550K或更低的液相线温度。

[0024] 在一些实施方式中,原料材料可包含Monel和WC或Cr₃C₂中的至少一种的共混物。

[0025] 在一些实施方式中,原料材料选自(按wt.计)75-85%WC+15-25%Monel、65-75%WC+25-35%Monel、60-75%WC+25-40%Monel、75-85%Cr₃C₂+15-25%Monel、65-75%Cr₃C₂+25-35%Monel、60-75%Cr₃C₂+25-40%Monel、75-85%WC/Cr₃C₂+15-25%Monel、65-75%WC/

$\text{Cr}_3\text{C}_2+25-35\%\text{Mone1}$ 、和 $60-75\%\text{WC}/\text{Cr}_3\text{C}_2+25-40\%\text{Mone1}$ 。

[0026] 在一些实施方式中,耐腐蚀基体的 $\text{WC}/\text{Cr}_3\text{C}_2$ 体积比率可以为0.0.2至5。在一些实施方式中,热喷镀原料材料可包括线材。在一些实施方式中,热喷镀原料材料可包括线材和粉末的组合。

[0027] 本文还公开了由如本文公开的原料材料形成的表面硬化层的实施方式。

[0028] 在一些实施方式中,当由PTA或激光熔覆工艺形成表面硬化层时,表面硬化层可包含少于 250mm^3 的ASTM G65A磨耗量,和两个或更少的裂隙/平方英寸。在一些实施方式中,表面硬化层可包括不透性HV0F涂层,其在 $28\%\text{CaCl}_2$ 电解液、 $\text{pH}=9.5$ 的环境中显示 1mpy 或更低的腐蚀速率。

[0029] 在一些实施方式中,当由HV0F热喷镀工艺形成表面硬化层时,表面硬化层可进一步包括 650Vickers 或更大的硬度和 $9,000\text{psi}$ 或更大的附着力。

[0030] 在一些实施方式中,表面硬化层可应用到液压缸、张力立管、泥浆电动机转子、或油田部件应用上。

[0031] 在一些实施方式中,当由HV0F热喷镀工艺形成表面硬化层时,表面硬化层可包括 750Vickers 或更大的硬度,和2体积%或更小,优选地0.5%或更小的孔隙率。

附图说明

[0032] 图1示例了合金P82-X6的相摩尔分数vs.温度图表,示出在不同温度下合金中存在的相的摩尔分数。

[0033] 图2示例了合金P76-X23的相摩尔分数vs.温度图表,示出在不同温度下合金中存在的相的摩尔分数。

[0034] 图3示出了具有硬质相、过共晶硬质相、和基体的合金P82-X6的一个实施方式的SEM图像。

[0035] 图4示出了根据实施例1,参数集1由气体雾化的粉末激光焊接的P82-X6的光学显微图像。

[0036] 图5示出了根据实施例2的气体雾化的粉末501和P76-X24合金的所得涂层502的SEM图像。

[0037] 图6示出了根据实施例3由 $\text{WC}/\text{Cr}_3\text{C}_2+\text{Ni}$ 合金的凝结和烧结的粉末(具体为 $80\text{wt.}\%\text{WC}/\text{Cr}_3\text{C}_2(50/50\text{vol}\%)$ 与 $20\text{wt.}\%\text{Mone1}$ 混合的共混物)沉积的HV0F涂层的SEM图像。

具体实施方式

[0038] 本公开的实施方式包括但不限于表面硬化/环形加硬(hardbanding)材料、用于制作此表面硬化/环形加硬材料的合金或粉末组分、形成表面硬化/环形加硬材料的方法、和结合(incorporating)这些表面硬化/环形加硬材料或由这些表面硬化/环形加硬材料保护的部件或基材。

[0039] 在某些应用中,形成对磨料和侵蚀磨损具有高耐性的金属层和抵抗腐蚀可能是有利的。本文公开了已开发以提供磨料和腐蚀耐性的镍基合金的实施方式。将得益于结合耐腐蚀性和耐磨性的行业包括船舶应用(marine applications)、电力工业涂料(power industry coatings)、石油&天然气应用(oil&gas applications)、和用于玻璃制造的涂料

(coatings)。

[0040] 在一些实施方式中,本文公开的合金可以可被工程化以形成微观结构,其既具有类似于一些已知合金(如Inconel和Hastelloys)的基体化学成分(chemistry),同时还包括提高性能的额外元素。例如,碳化物可被添加到材料的基体中。特别地,可以形成提高的耐腐蚀性和提高的耐磨耗性。

[0041] 应该理解,在复杂的合金空间中,不可能简单地移除一种元素或用一种元素代替另一种元素并产生等效的结果。

[0042] 在一些实施方式中,如本文所述的镍基合金可作用于等离子传递电弧(PTA)、激光熔覆表面硬化工艺(包括高速激光熔覆)、和热喷镀工艺(包括高速氧燃料(HVOF)热喷镀)的有效原料,尽管本公开不限于此。一些实施方式包括将镍基合金制造成用于表面硬化工艺的含芯线材(cored wires)、和使用线馈激光器(wire fed laser)和短波激光器的镍基线材和粉末的焊接方法。

[0043] 术语合金可以指用于形成金属部件的粉末的化学组分、粉末本身、用于形成铸造部件的熔体(melt)的化学组分、熔体本身、和通过粉末的加热、烧结、和/或沉积形成的金属部件的组分,包括冷却后金属部件的组分。在一些实施方式中,术语合金可以指本文公开的粉末的化学组分、粉末本身、原料本身、线材、包括粉末的线材、线材组合的组合组分、通过粉末的加热和/或沉积或其它方法(methodology)形成的金属部件的组分、和金属部件。

[0044] 在一些实施方式中,在本文可以通过具体化学成分来描述制造成固体(solid)或含芯线材(含有粉末的鞘)用于焊接或用作另一工艺的原料的合金。例如,线材可用于热喷镀。此外,下文公开的组分可来自单个线材或多个线材(如2、3、4、或5个线材)的组合。

[0045] 在一些实施方式中,可通过热喷镀工艺将合金应用于形成热喷镀涂层,如HVOF合金。在一些实施方式中,可将合金应用于堆焊(weld overlay)。在一些实施方式中,可将合金作为热喷镀或作为堆焊应用,例如,具有双重用途。

[0046] 金属合金组成

[0047] 在一些实施方式中,制造的制品(如本文公开的原料的组分)可包含Ni并以重量百分比计包含:

[0048] B:0-4(或约0-约4);

[0049] C:0-9.1(或约0-约9.1);

[0050] Cr:0-60.9(或约0-约60.9);

[0051] Cu:0-31(或约0-约31);

[0052] Fe:0-4.14(或约0-约4.14);

[0053] Mn:0-1.08(或约0-约1.08);

[0054] Mo:0-10.5(或约0-约10.5);

[0055] Nb:0-27(或约0-约27);

[0056] Si:0-1(或约0-约1);

[0057] Ti:0-24(或约0-约24);和

[0058] W:0-12(或约0-约12)。

[0059] 在一些实施方式中,制造的制品(如本文公开的原料的组分)可包含Ni并以重量百

分比计包含：

[0060] C:0.5-2(或约0.5-约2)；

[0061] Cr:10-30(或约10-约30)；

[0062] Mo:5-20(或约5-约20)；和

[0063] Nb+Ti:2-10(或约2-约10)。

[0064] 在一些实施方式中,制造的制品(如本文公开的原料的组分)可包含Ni并以重量百分比计包含：

[0065] C:0.8-1.6(或约0.8-约1.6)；

[0066] Cr:14-26(或约14-约26)；

[0067] Mo:8-16(或约8-约16)；和

[0068] Nb+Ti:2-10(或约2-约10)。

[0069] 在一些实施方式中,制造的制品(如本文公开的原料的组分)可包含Ni并以重量百分比计包含：

[0070] C:0.84-1.56(或约0.84-约1.56)；

[0071] Cr:14-26(或约14-约26)；

[0072] Mo:8.4-15.6(或约8.4-约15.6)；和

[0073] Nb+Ti:4.2-8.5(或约4.2-约8.5)。

[0074] 在一些实施方式中,制造的制品(如本文公开的原料的组分)可包含Ni并以重量百分比计包含：

[0075] C:0.84-1.56(或约0.84-约1.56)；

[0076] Cr:14-26(或约14-约26)；

[0077] Mo:8.4-15.6(或约8.4-约15.6)；

[0078] Nb:4.2-7.8(或约4.2-约7.8)；和

[0079] Ti:0.35-0.65(或约0.35-0.65)。

[0080] 在一些实施方式中,制造的制品(如本文公开的原料的组分)可包含Ni并以重量百分比计包含：

[0081] C:1.08-1.32(或约1.08-约1.32)

[0082] Cr:13-22(或约18-约22)；

[0083] Mo:10.8-13.2(或约10.8-约13.2)；和

[0084] Nb:5.4-6.6(或约5.4-约6.6)。

[0085] 在一些实施方式中,制造的制品(如本文公开的原料的组分)可包含Ni并以重量百分比计包含：

[0086] C:0.5-2(或约0.5-约2)；

[0087] Cr:10-30(或约10-约30)；

[0088] Mo:5.81-18.2(或约5.81-约18.2)；和

[0089] Nb+Ti:2.38-10(或约2.38-约10)。

[0090] 在一些实施方式中,制造的制品(如本文公开的原料的组分)可包含以下中的一种(以重量百分比计)：

[0091] C:0.5、Cr:24.8、Mo:9.8、Ni: BAL(或C:约0.5、Cr:约24.8、Mo:约9.8、Ni: BAL)；

- [0092] C:0.35-0.65、Cr:17.3-32.3、Mo:6.8-12.7、Ni:BAL (或C:约0.35-约0.65、Cr:约17.3-约32.3、Mo:约6.8-约12.7、Ni:BAL) ;
- [0093] C:0.45-0.55、Cr:22.3-27.3、Mo:8.8-10.8、Ni:BAL (或C:约0.45-约0.55、Cr:约22.3-约27.3、Mo:约8.8-约10.8、Ni:BAL) ;
- [0094] C:0.8、Cr:25、Mo:14、Ni:BAL (或C:约0.8、Cr:约25、Mo:约14、Ni:BAL) ;
- [0095] C:0.56-1.04、Cr:17.5-32.5、Mo:9.8-18.2、Ni:BAL (或C:约0.56-约1.04、Cr:约17.5-约32.5、Mo:约9.8-约18.2、Ni:BAL) ;
- [0096] C:0.7-0.9、Cr:22.5-27.5、Mo:12.6-15.4、Ni:BAL (或C:约0.7-约0.9、Cr:约22.5-约27.5、Mo:约12.6-约15.4、Ni:BAL) ;
- [0097] C:1.2、Cr:24、Mo:14、Ni:BAL (或C:约1.2、Cr:约24、Mo:约14、Ni:BAL) ;
- [0098] C:0.84-1.56、Cr:16.8-31.2、Mo:9.8-18.2、Ni:BAL (或C:约0.84-约1.56、Cr:约16.8-约31.2、Mo:约9.8-约18.2、Ni:BAL) ;
- [0099] C:1.08-1.32、Cr:21.6-26.4、Mo:12.6-15.4、Ni:BAL (或C:约1.08-约1.32、Cr:约21.6-约26.4、Mo:约12.6-约15.4、Ni:BAL) ;
- [0100] C:1.2、Cr:20、Mo:12、Nb:6、Ti:0.5、Ni:BAL (或C:约1.2、Cr:约20、Mo:约12、Nb:约6、Ti:约0.5、Ni:BAL) ;
- [0101] C:0.84-1.56、Cr:14-26、Mo:8.4-15.6、Nb:4.2-7.8、Ti:0.35-0.65、Ni:BAL (或C:约0.84-约1.56、Cr:约14-约26、Mo:约8.4-约15.6、Nb:约4.2-约7.8、Ti:约0.35-约0.65、Ni:BAL) ;
- [0102] C:1.08-1.32、Cr:18-22、Mo:10.8-13.2、Nb:5.4-6.6、Ti:0.45-0.55、Ni:BAL (或C:约1.08-约1.32、Cr:约18-约22、Mo:约10.8-约13.2、Nb:约5.4-约6.6、Ti:约0.45-约0.55、Ni:BAL) ;
- [0103] C:1.6、Cr:18、Mo:14、Nb:6、Ni:BAL (或C:约1.6、Cr:约18、Mo:约14、Nb:约6、Ni:BAL) ;
- [0104] C:1.12-2.08、Cr:12.6-23.4、Mo:9.8-18.2、Nb:4.2-7.8、Ni:BAL (或C:约1.12-约2.08、Cr:约12.6-约23.4、Mo:约9.8-约18.2、Nb:约4.2-约7.8、Ni:BAL) ;
- [0105] C:1.44-1.76、Cr:16.2-19.8、Mo:12.6-15.4、Nb:5.4-6.6、Ni:BAL (或C:约1.44-约1.76、Cr:约16.2-约19.8、Mo:约12.6-约15.4、Nb:约5.4-约6.6、Ni:BAL) ;
- [0106] 在一些实施方式中,制造的制品(如本文公开的原料的组分)可包含Ni并以重量百分比计包含
- [0107] C:1.4、Cr:16、Fe:1.0、Mo:10、Nb:5、Ti:3.8; (或C:约1.4、Cr:约16、Fe:约1.0、Mo:约10、Nb:约5、Ti:约3.8) ;
- [0108] B:3.5、Cu:14 (或B:约3.5、Cu:约14) ;
- [0109] B:2.45-4.55 (或约2.45-约4.55) 、Cu:9.8-18.2 (或约9.8至约18.2) ;
- [0110] B:3.15-3.85 (或约3.15-约3.85) 、Cu:12.6-15.4 (或约12.6-约15.4) ;
- [0111] B:4.0、Cr:10、Cu 16 (或B:约4.0、Cr:约10、Cu约16) ;
- [0112] B:2.8-5.2 (或约2.8-约5.2) 、Cr:7-13 (或约7-约13) 、Cu:11.2-20.8 (或约11.2-约20.8) ;
- [0113] B:3.6-4.4 (或约3.6-约4.4) 、Cr:9-11 (或约9-约11) 、Cu:14.4-17.6 (或约14.4-约

17.6);或

[0114] C:1.2、Cr:20、Mo:12、Nb:6、Ti:0.5(或C:约1.2、Cr:约20、Mo:约12、Nb:约6、Ti:约0.5)。

[0115] 在一些实施方式中,制造的制品(如本文公开的原料的组分),可包含以下的凝结和烧结共混物(以重量百分比计):

[0116] 75-85%WC+15-25%Monel;

[0117] 65-75%WC+25-35%Monel;

[0118] 60-75%WC+25-40%Monel;

[0119] 75-85%Cr₃C₂+15-25%Monel;

[0120] 65-75%Cr₃C₂+25-35%Monel;

[0121] 60-75%Cr₃C₂+25-40%Monel;

[0122] 60-85%WC+15-40%Ni30Cu;

[0123] 60-85%Cr₃C₂+15-40%Ni30Cu;

[0124] 75-85%(50/50vol.%)WC/Cr₃C₂+15-25%Monel;

[0125] 75-85%(50/50vol.%)WC/Cr₃C₂+25-35%Monel;

[0126] 75-85%WC/Cr₃C₂+15-25%Monel;

[0127] 75-85%WC/Cr₃C₂+25-35%Monel;或

[0128] 60-90%硬质相+10-40%Monel合金。

[0129] 在上文中,硬质相是以下中的一种或多种:碳化钨(WC)和/或碳化铬(Cr₃C₂)。Monel是目标组分Ni BAL 30wt.%Cu的镍铜合金,其中常用化学公差精度(common chemistry tolerance)为20-40wt.%Cu,或更优选地28-34wt.%Cu(其中已知杂质包括但不限于C、Mn、S、Si、和Fe)。Monel不包含任何碳化物,且因此本公开的实施方式加入碳化物(如碳化钨和/或碳化铬)。碳化钨通常由式W:BAL,4-8wt.%C描述。在一些实施方式中,碳化钨可由式W:BAL,1.5wt.%C描述。

[0130] 在具有60-85%WC+Ni30Cu的一些实施方式中,制造的制品可以是,以重量百分比计:

[0131] Ni:10.5-28(或约10.5-约28);

[0132] Cu:4.5-12(或约4.5-约12);

[0133] C:3.66-5.2(或约3.66-约5.2);

[0134] W:56.34-79.82(或约56.34-约79.82)。

[0135] 在具有60-85%Cr₃C₂+Ni30Cu的一些实施方式中,制造的制品可以是(以重量百分比计):

[0136] Ni:10.5-28(或约10.5-约28);

[0137] Cu:4.5-12(或约4.5-约12);

[0138] C:7.92-11.2(或约7.92-约11.2);

[0139] W:52.1-73.78(或约52.1-约73.79)。

[0140] 因此,上述原料描述表示碳化钨(已知的一个简单化学式的合金)与Monel(如通过简单的Ni30Cu式以规定比例描述的)机械地共混。在该整个过程期间,许多颗粒粘在一起,使得形成新的‘凝结’颗粒。在每种情况下,凝结颗粒由所属比率组成。

[0141] 表I列出了数个实验合金,其中它们的组分以重量百分比列出。

[0142] 表I:实验镍基合金组分的列表(以wt.%计)

[0143]

合金	Ni	B	C	Cr	Cu	Fe	Mn	Mo	Nb	Si	Ti	W
P82-X1	59		2	25.5				10.5	3			
P82-X2	54.5		2	30				10.5	3			
P82-X3	55.08		1.3	28.95		4.14		7.47	3.06			
P82-×4	48.96		2.6	35.4		3.68		6.64	2.72			
P82-X5	42.84		3.9	41.85		3.22		5.81	2.38			
P82-X6	62.8		1.4	16		1		10	5		3.8	
P82-X7	63.1		1.3	20		1		10	3.6		1	
P82-X8	58.5		1.9	19		1		10	5		4.6	
P82-X9	62		2	15		1		10	5		5	
P82-X10	66.6		1.3	16		1		10	6		0.4	
P82-X11	69.8		2	16		1		10	1.4		1.8	
P82-X12	66.4		2	16		1		10	6		0.6	
P76-X1	47.6		2.4	26	24							
P76-X2	50.4		1.6	22	26							
P76-X3	53.8		1.2	17	28							
P76-×4	53.6		2.6	17.4	26.4							
P76-X5	46.9		3.9	26.1	23.1							
P76-X6	40.2		5.2	34.8	19.8							
P76-X1-1	47.6		2.4	26	24							
P76-X6-1	40.2		5.2	34.8	19.8							
P76-X6-2	40.2		5.2	34.8	19.8							
P76-X7	63.2		0.8		29				6		1	
P76-X8	60.8		1.2		28				9		1	
P76-X9	65		1		25				8		1	
P76-X10	60		2		30						8	
P76-X11	64		1		31						4	
P76-X12	58.5		2.5		28						11	
P76-X13	59.22		2		27.72	1.98	1.08				8	
P76-X14	52.64		4		24.64	1.76	0.96				16	
P76-X142	53.36		4		26.72						16	
P76-X15	46.69		6		23.38						24	
P76-X17	53.36		2.28		26.72				18			
P76-X18	46.69		3.42		23.38				27			
P76-X19	19.98		9.1	60.9	10.02							
P76-X20	38.86		5.6	34.8	19.14						1.6	
P76-X21	82	2			10			5.00		1.0		
P76-X22	76.5	2.5			10			10.00		1.0		

P76-X23	82.5	3.5			14							
P76-X24	70	4		10	16							
P76-X25	78	4			11			7.00				
P76-X26	71	2			22			5.00				
P76-X27	71.5	3.5			13							12
P76-X28	76.5	3.5			13							7

[0144] 在一些实施方式中，P76合金可以是热喷镀合金，而P82合金可以是堆焊合金（如PTA或激光）。然而，本公开不限于此。例如，本文公开的任何组分可有效用于表面硬化工艺，如用于等离子传递电弧（PTA）、激光熔覆表面硬化工艺（包括高速激光熔覆）、和热喷镀工艺（如高速氧燃料（HVOF）热喷镀）。

[0145] 在表I中，所有值也可以是“约”引用的值。例如，对于P82-X1，Ni：59（或约59）。

[0146] 在一些实施方式中，所公开的组分可以是线材/粉末、涂层或其它金属部件、或两者。

[0147] 所公开的合金可掺入上述元素成分至总计100wt.%。在一些实施方式中，合金可包含，可限于，或可基本上由上面命名的（named）元素组成。在一些实施方式中，合金可包含2wt.%（或约2wt.%）或更低、1wt.%（或约1wt.%）或更低、0.5wt.%（或约0.5wt.%）或更低、0.1wt.%（或约0.1wt.%）或更低或0.01wt.%（或约0.01wt.%）或更低的杂质（或任何这些值之间的任何范围）。杂质可被理解为可能由于包含在原料组分（components）中通过在制造工艺中引入而包含在合金中的元素或组分。

[0148] 此外，在上述段落中描述的所有组分中鉴定的Ni含量可以是组分的余量（balance），或者可选地，当提供Ni作为余量的情况下，组分的余量可包含Ni和其它元素。在一些实施方式中，余量可基本上由Ni组成，且可包括附带的杂质。

[0149] 热力学标准

[0150] 在一些实施方式中，合金的特征可在于它们的平衡热力学标准。在一些实施方式中，合金可被表征为满足一些所描述的热力学标准。在一些实施方式中，合金可被表征为满足所有所描述的热力学标准。

[0151] 第一热力学准则涉及微观结构中极硬颗粒的总浓度。随着极硬颗粒的摩尔分数增加，合金的整体硬度可能增加，因此耐磨性也可能增加，这对于表面硬化应用可能是有利的。出于本公开的目的，极硬颗粒可被限定为显示1000Vickers或更大（或约1000Vickers或更大）的硬度的相。极硬颗粒的总浓度可被限定为在合金中满足或超过1000Vickers（或约1000Vickers）的硬度并且在1500K（或约1500K）下热力学稳定的所有相的总摩尔%。

[0152] 在一些实施方式中，极硬颗粒分数是3摩尔%或更大（或约3摩尔%或更大）、4摩尔%或更大（或约4摩尔%或更大）、5摩尔%或更大（或约5摩尔%或更大）、8摩尔%或更大（或约8摩尔%或更大）、10摩尔%或更大（或约10摩尔%或更大）、12摩尔%或更大（或约12摩尔%或更大）或15摩尔%或更大（或约15摩尔%或更大）、20摩尔%或更大（或约20摩尔%或更大）、30摩尔%或更大（或约30摩尔%或更大）、40摩尔%或更大（或约40摩尔%或更大）、50摩尔%或更大（或约50摩尔%或更大）、60摩尔%或更大（或约60摩尔%或更大）、或任何这些值之间的任何范围。

[0153] 在一些实施方式中，极硬颗粒分数可根据合金的预期工艺而改变。例如，对于热喷

镀合金,硬颗粒分数可在40和60摩尔%之间(或在约40和约60摩尔%之间)。对于旨在经由激光、等离子传递电弧(plasma transfer arc)、或其它线材焊接应用焊接的合金,硬颗粒相分数可在15和30摩尔%之间(或在约15和约30摩尔%之间)。

[0154] 第二热力学准则涉及在合金中形成的过共晶硬质相的量。过共晶硬质相是在比合金的低共熔点高的温度下开始形成的硬质相。这些合金的低共熔点是FCC基体开始形成的温度。

[0155] 在一些实施方式中,过共晶硬质相总计为存在于合金中的总硬质相的40摩尔%或更多(或约40%或更多)、45摩尔%或更多(或约45%或更多)、50摩尔%或更多(或约50%或更多)、60摩尔%或更多(或约60%或更多)、70摩尔%或更多(或约70%或更多)、75摩尔%或更多(或约75%或更多)或80摩尔%或更多(或约80%或更多)、或任何这些值之间的任何范围。

[0156] 第三热力学准则涉及合金的耐腐蚀性。镍基合金的耐腐蚀性可随着存在于FCC基体中的铬和/或钼的重量百分比的提高而增加。该第三热力学准则测量在1500K(或约1500K)下,FCC基体中铬和钼的总重量%。

[0157] 在一些实施方式中,铬和钼在基体中的总重量%为15重量%或更大(或约15重量%或更大)、18重量%或更大(或约18重量%或更大)、20重量%或更大(或约20重量%或更大)、23重量%或更大(或约23重量%或更大)、25重量%或更大(或约25重量%或更大)、27重量%或更大(或约27重量%或更大)或30重量%或更大(或约30重量%或更大)、或任何这些值之间的任何范围。

[0158] 第四热力学准则涉及合金的基体化学成分。在一些实施方式中,维持与已知合金(如,例如,Inconel 622、Inconel 625、Inconel 686、Hastelloy C276、Hastelloy X,或Monel 400)相似的基体化学成分可能是有益的。在一些实施方式中,为了维持与已知合金相似的基体化学成分,将合金在1300K下的基体化学成分与已知合金的基体化学成分进行比较。这种比较被称为基体接近性(Matrix Proximity)。通常,此类超合金可通过下式表示(以wt.%计)Ni: BAL, Cr: 15-25、Mo: 8-20。

[0159] Inconel 622 Cr: 20-22.5、Mo: 12.5-14.5、Fe: 2-6、W: 2.5-3.5、Ni: BAL

[0160] Inconel 625 Cr: 20-23、Mo: 8-10、Nb+Ta: 3.15-4.15、Ni: BAL

[0161] Inconel 686 Cr: 19-23、Mo: 15-17、W: 3-4.4、Ni: BAL

[0162] Hastelloy C276 Cr: 16、Mo: 16、Iron 5、W: 4、Ni: BAL

[0163] Hastelloy X Cr: 22、Fe: 18、Mo: 9、Ni: BAL

[0164] Monel Cr: 28-34、Ni: BAL

[0165] 在一些实施方式中,基体接近性为任何上述已知合金的50%(或约50%)或更大、55%(或约55%)或更大、60%(或约60%)或更大、70%(或约70%)或更大、80%(或约80%)或更大、85%(或约85%)或更大、90%(或约90%)或更大。基体接近性可以数种方式(如能量散射光谱学(EDS))确定。

[0166] 下面方程式可用于计算模拟(modelled)合金基体与已知耐腐蚀性的合金的相似性或接近性。100%的值意指比较元素之间精确匹配。

$$[0167] \quad \sum_{n=1}^m \frac{r_n}{\sum r_n} \left(1 - \left| \frac{r_n - x_n}{r_n} \right| \right)$$

[0168] r_n 为参考合金中第n个元素的百分比；

[0169] x_n 为模拟合金的基体中第n个元素的计算的百分比；

[0170] $\sum r_n$ 为比较下元素的总百分比；

[0171] m为用于比较的溶质元素的数量。

[0172] 第五热力学准则涉及合金的液相线温度，其可帮助确定合金对气体雾化制造工艺的适用性。液相线温度是合金仍为100%液态的最低温度。较低的液相线温度通常对应于对气体雾化工艺增加的适用性。在一些实施方式中，合金的液相线温度可以为1850K(或约1850K)或更低。在一些实施方式中，合金的液相线温度可以为1600K(或约1600K)或更低。在一些实施方式中，合金的液相线温度可以为1450K(或约1450K)或更低。

[0173] 合金P82-X6的热力学行为示于图1中。图表描绘了在镍基体103中沉淀过共晶FCC碳化物101(其在1500K下大于5%)的材料。101描绘了作为温度函数的FCC碳化物分数，其形成分离的过共晶相。102指定了在1300K下的总硬质相含量，其除了M6C碳化物之外还包括FCC碳化物。因此，过共晶硬质相占合金的总硬质相多于50%。103指定合金的基体，即FCC_L12镍基体。当与Inconel 625相比时，合金103的基体接近性大于60%。

[0174] M₆C型碳化物也在较低温度下沉淀，以在1300K下形成约15摩尔%的总碳化物含量(12.6%FCC碳化物，2.4%M6C碳化物)。FCC碳化物代表合金中分离的碳化物并且形成合金中总碳化物的大部分(>50%)。箭头具体指向挖掘FCC_L12基体的组分以插入基体接近性方程式中的点。如该实例所描绘，所有硬质相的体积分数超过5摩尔%，其中超过50%的碳化物分数形成过共晶相(已知形成分离的形态(morphology))，其中剩余FCC_L12基体相具有与Inconel 625的超过60%接近性。

[0175] 在该计算中，虽然未在图1中描绘，但挖掘了FCC_L12基体相的化学成分。基体化学成分为18wt.%Cr、1wt.%Fe、9wt.%Mo、和1wt.%Ti，余量为镍。可以理解，P82-X6的基体化学成分完全不同于P82-X6的整体化学成分(bulk chemistry)。设计P82-X6以具有类似于Inconel 625的耐腐蚀性能(corrosion performance)，并且与Inconel 625的基体接近性为87%。

[0176] 合金P76-X23的热力学行为示于图2中。图表描绘了在镍基体201中沉淀低共熔Ni₃B203的材料。201调出(calls out)合金的液相线温度，其根据优选实施方式低于1850K。202描述了合金(在该情况下，镍硼化物(Ni₃B))中硬质相的摩尔分数，其在1200K下超过5摩尔%。203描绘了基体相分数，在这种情况下，在1200K下挖掘基体化学成分，并且与Mone1的基体接近性超过60%。合金的液相线温度为1400K，这使得材料非常适合于气体雾化。Ni₃B是该实例中的硬质相，并且在1300K下以66%的摩尔分数存在。基体化学成分为33wt.%Cu，余量为镍。可以理解，P76-X23的基体化学成分完全不同于P76-X23的整体化学成分。设计P76-X23以具有类似于Mone1 400的耐腐蚀性能，并且P76-X23与Mone1 400的基体接近性为100%。

[0177] 微观结构标准

[0178] 在一些实施方式中,合金可通过它们的微观结构准则描述。在一些实施方式中,合金可被表征为满足一些所描述的微观结构标准。在一些实施方式中,合金可被表征为满足所有所描述的微观结构标准。

[0179] 第一微观结构准则涉及极硬颗粒的总测量的体积分数。出于本公开的目的,极硬颗粒可限定为显示1000Vickers或更大(或约1000Vickers或更大)的硬度的相。极硬颗粒的总浓度可限定为在合金中满足或超过1000Vickers(或约1000Vickers)的硬度并且在1500K(或约1500K)下热力学稳定的所有相的总摩尔%。在一些实施方式中,合金具有至少3体积%(或至少约3体积%)、至少4体积%(或至少约4体积%)、至少5体积%(或至少约5体积%)、至少8体积%(或至少约8体积%)、至少10体积%(或至少约10体积%)、至少12体积%(或至少约12体积%)或至少15体积%(或至少约15体积%)的极硬颗粒、至少20体积%(或至少约20体积%)的极硬颗粒、至少30体积%(或至少约30体积%)的极硬颗粒、至少40体积%(或至少约40体积%)的极硬颗粒、至少50体积%(或至少约50体积%)的极硬颗粒(或任何这些值之间的任何范围)。

[0180] 在一些实施方式中,极硬颗粒分数可根据合金的预期工艺而改变。例如,对于热喷镀合金,硬颗粒分数可在40和60vol.%之间(或在约40和约60vol.%之间)。对于旨在经由激光、等离子传递电弧、或其它线材焊接应用焊接的合金,硬颗粒相分数可在15和30vol.%之间(或在约15和约30vol.%之间)。

[0181] 第二微观结构准则涉及合金中过共晶分离的硬质相的分数。如本文所用,分离可意指特定分离相(如球形或部分球形颗粒)保持与其它硬质相未连接。例如,分离相可被基体相100%包围。这可能与棒状相形成对比,棒状相可形成长针,其充当低韧性“桥(bridges)”,从而允许裂隙通过微观结构发挥作用。

[0182] 为了降低合金的裂隙敏感性,形成分离的过共晶相而不是连续晶界相可能是有益的。在一些实施方式中,分离的过共晶硬质相总计为存在于合金中的总硬质相分数的40vol.% (或约40%)或更多、45vol.% (或约45%)或更多、50vol.% (或约50%)或更多、60vol.% (或约60%)或更多、70vol.% (或约70%)或更多、75vol.% (或约75%)或更多或80vol.% (或约80%)或更多,或任何这些值之间的任何范围。

[0183] 第三微观结构准则涉及合金中对腐蚀增加的耐性。为了增加镍基合金中对腐蚀的耐性,在基体中具有高总重量%的铬和钼可能是有益的。能量散射光谱仪(Energy Dispersive Spectrometer) (EDS) 用于确定基体中铬和钼的总重量%。在一些实施方式中,基体中铬和钼的总含量可以为15重量%或更高(或约15重量%或更高)、18重量%或更高(或约18重量%或更高)、20重量%或更高(或约20重量%或更高)、23重量%或更高(或约23重量%或更高)、25重量%或更高(或约25重量%或更高)、27重量%或更高(或约27重量%或更高)或30重量%或更高(或约30重量%或更高)、或任何这些值之间的任何范围。

[0184] 第四微观结构准则涉及与已知合金(如,例如,Inconel 625、Inconel 686、或Monel)相比的合金基体接近性。能量散射光谱仪(EDS)用于测量合金的基体化学成分。在一些实施方式中,基体接近性为已知合金的50%(或约50%)或更大、55%(或约55%)或更大、60%(或约60%)或更大、70%(或约70%)或更大、80%(或约80%)或更大、85%(或约85%)或更大或90%(或约90%)或更大、或任何这些值之间的任何范围。

[0185] 基体接近性类似于在热力学标准部分中描述的内容,在该情况下计算出来的。‘基

体化学成分’和‘基体接近性’之间的不同在于,化学成分是在镍基体的固溶体中发现的Cr、Mo或其它元素的实际值。接近性是用作为定量测量所设计合金的镍基体与具有良好耐腐蚀性的已知合金的化学成分匹配程度的%值。为澄清起见,已知合金(如Inconel)是单相合金,所以合金组分实际上(effectively)是基体组分,所有合金元素都是在固溶体中发现的。这不是此处描述的合金的情况,其中我们为了耐磨性而沉淀硬质相。

[0186] 图3示出了如经由PTA焊接生产的P82-X6的微观结构的SEM图像。在该情况下,出于实验目的,合金被制成粉末共混物。301强调(highlights)分离的铌碳化物沉淀物,其在1500K下体积分数为大于5%,302强调过共晶硬质相,其在合金中占总硬质相多于50%,以及303强调基体,当与Inconel 625相比时,其基体接近性大于60%。碳化物沉淀物形成分离的(较大尺寸)和低共熔的形态(较小尺寸)的组合,两者均有助于总硬质相含量。在该实例中,分离形态的硬质相占总碳化物分数的超过50vol.%。

[0187] 性能标准

[0188] 在一些实施方式中,经由堆焊工艺(包括但不限于PTA熔覆或激光熔覆)生产表面硬化层。

[0189] 在一些实施方式中,合金可具有数个有利的性能特征。在一些实施方式中,合金具有以下中的一个或多个可能是有利的:1)对磨耗的高耐性,2)当经由激光熔覆工艺或其它焊接方法焊接时,最小至没有裂隙,和3)对腐蚀的高耐性。表面硬化合金的耐磨耗性可使用ASTM G65A干砂磨耗试验来量化。材料的抗裂性可使用对合金的染色渗透试验来量化。合金的耐腐蚀性可使用ASTM G48、G59、和G61试验来量化。所有列出的ASTM试验在此通过引用以其整体并入。

[0190] 在一些实施方式中,表面硬化层的ASTM G65A磨耗量可为少于250mm³(或少于约250mm³)、少于100mm³(或少于约100mm³)、少于30mm³(或少于约30mm³)、或少于20mm³(或少于约20mm³)。

[0191] 在一些实施方式中,表面硬化层可显示5个裂隙/平方英寸涂层、4个裂隙/平方英寸涂层、3个裂隙/平方英寸涂层、2个裂隙/平方英寸涂层、1个裂隙/平方英寸涂层或0个裂隙/平方英寸涂层(或任何这些值之间的任何范围)。在一些实施方式中,裂隙是表面上的一条线,其沿着这条线分裂而不断裂成单独的部分。

[0192] 在一些实施方式中,相比于已知合金,表面硬化层的耐腐蚀性可为50%(或约50%)或更大、55%(或约55%)或更大、60%(或约60%)或更大、70%(或约70%)或更大、80%(或约80%)或更大、85%(或约85%)或更大、90%(或约90%)或更大、95%(或约95%)或更大、98%(或约98%)或更大、99%(或约99%)或更大或99.5%(或约99.5%)或更大,或任何这些值之间的任何范围。

[0193] 耐腐蚀性是复杂的并且可取决于所使用的腐蚀性介质。优选地,所公开合金的实施方式的腐蚀速率可几乎等于其旨在模拟的比较合金的腐蚀速率。例如,如果Inconel 625的腐蚀速率为1mpy(密耳/年),在某种腐蚀性介质中,P82-X6的耐腐蚀性可为1.25mpy或更低以产生80%的耐腐蚀性。出于本公开的目的,耐腐蚀性被限定为1/腐蚀速率。

[0194] 在一些实施方式中,在28%CaCl₂电解液,pH=9.5环境中,合金的腐蚀速率可为1mpy或更低(或约1mpy或更低)。在一些实施方式中,在28%CaCl₂电解液,pH=9.5环境中,合金的腐蚀速率可为0.6mpy或更低(或约0.6mpy或更低)。在一些实施方式中,在28%CaCl₂

电解液, pH=9.5环境中, 合金的腐蚀速率可为0.4mpy或更低(或约0.4mpy或更低)。

[0195] 在一些实施方式中, 根据G-59/G-61, 合金在3.5%氯化钠溶液中16小时的耐腐蚀性可为低于0.1mpy(或低于约0.1mpy)。在一些实施方式中, 根据G-59/G-61, 合金在3.5%氯化钠溶液中16小时的耐腐蚀性可为低于0.08mpy(或低于约0.08mpy)。

[0196] 在一些实施方式中, 表面硬化层经由热喷镀工艺(包括但不限于高速氧燃料(HVOF)热喷镀)生产。

[0197] 在一些实施方式中, 涂层的硬度可以为650(或约650)Vickers或更高。在一些实施方式中, 热喷镀工艺的硬度可以为700(或约700)Vickers或更高。在一些实施方式中, 热喷镀工艺的硬度可以为900(或约900)Vickers或更高。

[0198] 在一些实施方式中, 热喷镀涂层的附着力可以为7,500(或约7,500)psi或更大。在一些实施方式中, 热喷镀涂层的附着力可以为8,500(或约8,500)psi或更大。在一些实施方式中, 热喷镀涂层的附着力可以为9,500(或约9,500)psi或更大。

[0199] 实施例

[0200] 实施例1:P82-X6的PTA焊接

[0201] 合金P82-X6被气体雾化成53-150 μm 粒度分布的粉末, 以适合于PTA和/或激光熔覆。使用以下两个参数集对合金进行激光熔覆: 1) 1.8kW激光功率和20L/min流速, 以及2) 2.2kW激光功率和14L/min流速。如在图4中所示, 在两种情况下, 涂层按预期示出了在镍基体402中的细小的分离的铌/钛碳化物沉淀物401。参数集1和2的激光熔覆的300克力Vickers硬度分别为435和348。参数集1和2的ASTM G65试验分别为1.58g损失(209 mm^3)和1.65g损失(200 mm^3)。

[0202] 实施例2:P76-X23和P76-X24的HVOF喷涂

[0203] 合金P76-X23和P76-X24被气体雾化成15-45 μm 粒度分布的粉末, 以适合于HVOF热喷镀处理。两种粉末均形成极精密标度(fine scale)形态, 其中镍基体相和镍硼化物相如经由计算模型(computational modelling)预测的似乎均存在, 但非常难以区分和定量测量。

[0204] 如图5中所示, 501是气体雾化的粉末而502是粉末的所得涂层, 除了基体和镍硼化物相504(例如, 气体雾化的粉末的低共熔镍/镍硼化物结构)之外, P76-X24合金也形成铬硼化物沉淀物503(如模型预测的为细小分离的颗粒)。

[0205] 505强调HVOF喷涂涂层中主要镍/镍硼化物低共熔结构的区域, 并且506强调在涂层中含有许多铬硼化物沉淀物的区域。

[0206] 两种合金被HVOF喷涂至约200-300 μm 涂层厚度并形成致密涂层。对于P76-X23和P76-X24, 涂层的300克力Vickers硬度分别为693和726。P76-X23附着力试验结果是脱胶(glue failure)上至9,999psi, 而P76-X24示出75%的附着力, 两个试验中25%的脱胶达到9,576和9,999psi。对于P76-X24, ASTM G65A(由ASTM G65B试验转换)测试示出87 mm^3 损失。ASTM G65A测试利用6,000转, 程序B利用2,000转并且典型地用于薄涂层, 如热喷镀涂层。

[0207] 将P76-X24在28%CaCl₂电解液(pH=9.5)中测试, 结果是测量的腐蚀速率为0.4mpy。相比之下, 破裂的硬铬在类似环境中显示出1.06mpy的速率。硬Cr被用作要求耐腐蚀性和耐磨耗性的各种应用的相关涂层。在一些实施方式中, HVOF涂层形式的合金在28%CaCl₂电解液, pH=9.5环境中产生1mpy或更低的腐蚀速率。在一些实施方式中, HVOF涂层形

式的合金可在28%CaCl₂电解液, pH=9.5环境中产生0.6mpy或更低的腐蚀速率。在一些实施方式中, HVOF涂层形式的合金可在28%CaCl₂电解液, pH=9.5环境中产生0.4mpy或更低的腐蚀速率。在一些实施方式中, HVOF涂层形式的合金根据ECP(电化学势)测试产生非渗透涂层。

[0208] 实施例3:WC/Cr₃C₂, Ni合金基体共混物的HVOF喷涂。

[0209] 80wt.%WC/Cr₃C₂ (50/50vol%) 与20wt.%Monel混合的共混物被凝结和烧结成15-45μm, 以适合于热喷镀处理。HVOF涂层(如图6中所示)的300克Vickers硬度为946, 形成测量的孔隙率为0.43%的致密涂层。HVOF涂层产生约12mm³的ASTM G65A质量损失。图6示例了根据实施例3的WC/Cr₃C₂+Ni合金(特别是80wt.%WC/Cr₃C₂ (50/50vol%) 与20wt.%Monel混合的共混物)的凝结和烧结粉末的SEM图像。

[0210] 实施例4:P82-X13、14、15、18、19与Inconel 625相比的焊接研究

[0211] 评估与Inconel 625相比具有不同碳化物含量和形态的几种合金来进行焊接研究。研究中的所有合金旨在形成类似于Inconel 625的基体, 该基体通过基体接近性来量化, 100%等同于完全类似于Inconel 625整体组分的基体。所有合金以三个叠覆层进行激光焊接以对于抗裂性进行测试。类似地, 每个合金的两层焊经由等离子传递电弧焊接产生以对于破裂和其它特性进行测试。

[0212] 表2:所有微观结构的比较

合金名称	GB 硬质相	Iso 硬质相	基体接近性
[0213] Inconel 625	0%	0%	100%
P82-X13	10.50%	0%	100%
P82-X14	20.10%	0%	99%
P82-X15	30.40%	0%	84%
[0214] P82-X18	9.90%	8.10%	98%
P82-X19	20.00%	8.00%	98%

[0215] P82-X18代表本公开的实施方式, 在本研究结束时产生了有利的结果。P82-X18在两种工艺(PTA和激光)中均显著比Inconel 625更硬。尽管硬度增加, 但在激光或PTA熔覆样品中没有明显的破裂。P82-X18在两种工艺中显示与Inconel 625相比提高的耐磨耗性。如表3中呈现的, 硬度增加的总的趋势符合所有测试的合金。然而, 令人惊讶地, 增加的硬度不会在所有情况下产生增加的耐磨耗性。P82-X13、P82-X14、和P82-X15均比Inconel625显示更高的磨损率, 尽管更硬且含有碳化物。该结果呈现了与总碳化物分数和合金硬度相比发现的有利的碳化物形态。

[0216] 合金P82-X18满足本公开的热力学、微观结构、和性能标准。预测P82-X18形成8.1摩尔%分离的碳化物, 并且在研究和工业相关焊接工艺中确实形成了8-12%分离的碳化物。还预测合金形成9.9mol%晶界硬质相, 并且确实形成了10vol.%或更小的晶界硬质相。分离的碳化物含量超过合金中总碳化物含量的40%。分离的碳化物分数的该提高比率提供了超出了单独总碳化物分数所能预期的增强的耐磨性。

[0217] 表3:测试合金显微硬度值的比较

[0218] 硬度HV ₁	Inco 625	X13	X14	X15	X18	X19
--------------------------	----------	-----	-----	-----	-----	-----

Ingot	217	252	303	311	333	360
PTAW	236	309	342	376	375	394
LASER	282	338	370	424	389	438

[0219] 表4:测试合金的磨耗性能,ASTM G65 Amm³损失的比较

	PTAW	LASER
Inco 625		232
X13	259	256
X14	256	267
X15	279	266
X18	184	201
X19	203	224

[0221] P82-X18的基体经由能量散射光谱学测量,得到Cr:19-20wt.%、Mo:10-12wt.%、Ni:余量。因此,基体组分与典型的Inconel 625制造范围(其是:Cr:20-23、Mo:8-10、Nb+Ta:3.15-4.15、Ni:BAL)非常相似且有些重叠。P82-X18在G-48氯化铁浸没测试中进行了24小时测试,并且类似于Inconel 625,没有显示出腐蚀。将P82-X18根据G-59/G-61ASTM标准在3.5%氯化钠溶液中进行16小时腐蚀测试,并且测量的腐蚀速率为0.075-0.078mpy(密耳/年)。

[0222] 在一些实施方式中,根据G-59/G-61在3.5%氯化钠溶液中进行16小时测量的材料的腐蚀速率为低于0.1mpy。在一些实施方式中,根据G-59/G-61在3.5%氯化钠溶液中进行16小时测量的材料的腐蚀速率为低于0.08mpy。

[0223] 在一些实施方式中,本文公开的合金(例如P82-X18)可用于交换镍或其它常用材料作为碳化物金属基体复合材料(MMCs)中的金属部件。MMC类型的常见实施例包括(按重量计)WC 60wt.%、Ni 40wt.%。在该实施例中利用P82-X18将得到以下类型的MMC:WC 60wt.%、P82-X1840wt.%。可使用各种碳化物比率和碳化物类型。

[0224] 实施例5:P82-X18的HVOF喷涂研究

[0225] P82-X18使用氢燃料HVOF工艺进行热喷涂。所得涂层的附着力强度为10,000psi,700HV300Vickers硬度,且其ASTM G65B质量损失为0.856(10.4.6g/mm³体积损失)。

[0226] 实施例6:30%NiCu凝结和烧结材料的HVOF喷涂研究

[0227] 两种粉末根据下式经由凝结和烧结工艺来制造:1)65-75%WC/Cr₃C₂+25-35%NiCu合金,以及2)65-75%Cr₃C₂+25-35%NiCu合金。为了阐明第一共混物,65-75%的总体积分数的凝结和烧结的颗粒为碳化物,剩余为NiCu金属合金。颗粒的碳化物含量本身由WC和Cr₃C₂碳化物类型两者的组合组成。在一些实施方式中,WC/Cr₃C₂的体积比为0至100。在一些实施方式中,WC/Cr₃C₂的体积比为约0.33至3。在一些实施方式中,WC/Cr₃C₂的体积比为约0.25至5。在一些实施方式中,WC/Cr₃C₂的比率为约0.67至1.5。NiCu合金的组分为Cu:20-40wt.%,优选地,Cu:25-35wt.%,更优选地:Cu:28-34wt.%,余量为镍与各低于3wt.%的其它常见杂质。

[0228] 两种粉末经由HVOF工艺喷涂以形成涂层,然后进行测试。由粉末1和粉末2产生的涂层在28%CaCl₂电解液,pH=9.5溶液中分别呈现腐蚀速率0.15mpy和0.694mpy。如经由ECP测试测量的,由粉末1和粉末2产生的涂层是非渗透的。由粉末1和粉末2产生的涂层在

ASTM G65A中的磨耗体积损失分别呈现为 11.3mm^3 和 16.2mm^3 。由粉末1和粉末2产生的涂层的显微硬度值分别呈现为816HV300和677HV300。由两种粉末产生的涂层的粘接强度为超过12,500psi。

[0229] 应用

[0230] 本公开中描述的合金可用于各种应用和行业中。使用的应用的一些非限制性实施例包括：露天采矿(surface mining)、海洋、电力工业、石油和天然气、和玻璃制造应用。

[0231] 露天采矿应用包括以下部件和以下部件的涂层：用于浆液管道的耐磨套筒和/或耐磨硬质焊敷层(hardfacing)、泥浆泵部件(包括泵壳体或泵轮)或用于泥浆泵部件的硬质焊敷层、矿石进料槽部件(包括陡槽消力墩(chute blocks))或陡槽消力墩的硬质焊敷层、分离筛(包括但不限于旋转压碎机筛、香蕉筛、和摇动筛)、用于自磨机(autogenous grinding mills)和半自磨机的衬板(liners)、研磨接合工具(ground engaging tools)和用于地面接合工具的硬质焊敷层、用于铲斗和自卸卡车衬板的抗磨板、采掘电铲上的垫板和用于垫板的硬质焊敷层、平土机刮土铲和用于平土机刮土铲的硬质焊敷层、堆取料机(stacker reclaimers)、分级破碎机(sizer crusher)、用于采矿部件和其它粉碎部件的通用耐磨包装(wear packages)。

[0232] 从前面的描述,将理解公开了本发明的镍基表面硬化合金和使用方法。虽然已经用一定程度的特殊性描述了若干部件、技术和方面,很明显,在不脱离本公开的精神和范围的情况下,可在本文上述的具体设计、构造和方法发面进行许多改变。

[0233] 本公开中在分开实施方案的上下文中描述的某些特征也可以在单个实施方案中组合实施。相反,单个实施方案的上下文中描述的各种特征也可在多个实施方案中分开地或以任何合适的子组合实施。而且,尽管特征在上文中可被描述为以某些组合起作用,在一些情况下,可从组合去除来自所要求保护的组合的一个或多个特征,并且该组合可被要求保护为任何子组合或任何子组合的变体。

[0234] 而且,虽然方法可被以特定顺序在附图中描绘或在说明书中描述,此类方法不需要以所示的特定顺序或以连续顺序执行,并且不需要执行所有方法,以获得期望的结果。未描绘或描述的其它方法可并入实例方法工艺中。例如,一种或多种附加的方法可在任何所述方法之前、之后、同时、或之间执行。此外,方法可在其它实施方案中重新排列或重新排序。另外,上述实施方案的各个系统部件的分离不应被理解为在所有实施方案中都需要这种分离,而应该理解,所述部件和系统通常可一起集成在单个产品中或包装成多个产品。另外,其它实施方案也在本公开的范围之内。

[0235] 除非另有特别规定,或在所使用的上下文中以其它方式理解,否者条件语言(如“可以(can、could)”或“可能(might、may)”)通常旨在表达,某些实施方式包括或不包括某些特征、要素、和/或步骤。因此,这种条件语言通常并不旨在暗示,一个或多个实施方式以任何方式需要特征、要素、和/或步骤。

[0236] 除非另有特别规定,否者连接语言(如短语“X、Y、和Z中的至少一个”)与上下文一起理解为通常用于表达,项目、术语等可以是任一X、Y、或Z。因此,这种连接语言通常并不旨在暗示,某些实施方式需要存在至少一个X、至少一个Y、和至少一个Z。

[0237] 本文所用的程度的语言(如如本文所用的术语“大约”、“约”、“通常”、和“基本上”)代表接近于指定的值、量、或特征的值、量、或特征,该值、量、或特征仍然执行期望的功能或

获得期望的结果。例如,术语“大约”、“约”、“通常”和“基本上”可以指在指定的量的少于或等于10%内、少于或等于5%内、少于或等于1%内、少于或等于0.1%内、和少于或等于0.01%内的量。如果指定的量为0(例如,无,没有),以上列举的范围可以是特定范围,而不是在值的特定%内。例如,在指定的量的少于或等于10wt./vol.%内、少于或等于5wt./vol.%内、少于或等于1wt./vol.%内、少于或等于0.1wt./vol.%内、和少于或等于0.01wt./vol.%内。

[0238] 与各种实施方式相关的任何具体特点、方面、方法、特性、特征、质量、属性、要素等的本文公开可用于本文阐述的所有其它实施方式中。另外,将认识到,本文描述的任何方法可以使用适合用于执行所列举的步骤的任何装置来实践。

[0239] 虽然已经详细描述了数种实施方式和其变体,使用其的其它修改和方法对本领域技术人员来说将是显而易见的。因此,应该理解,在不脱离本文的独特和创造性公开或权利要求的范围的情况下,各种应用、修改、材料、和替换可由等效物制成。

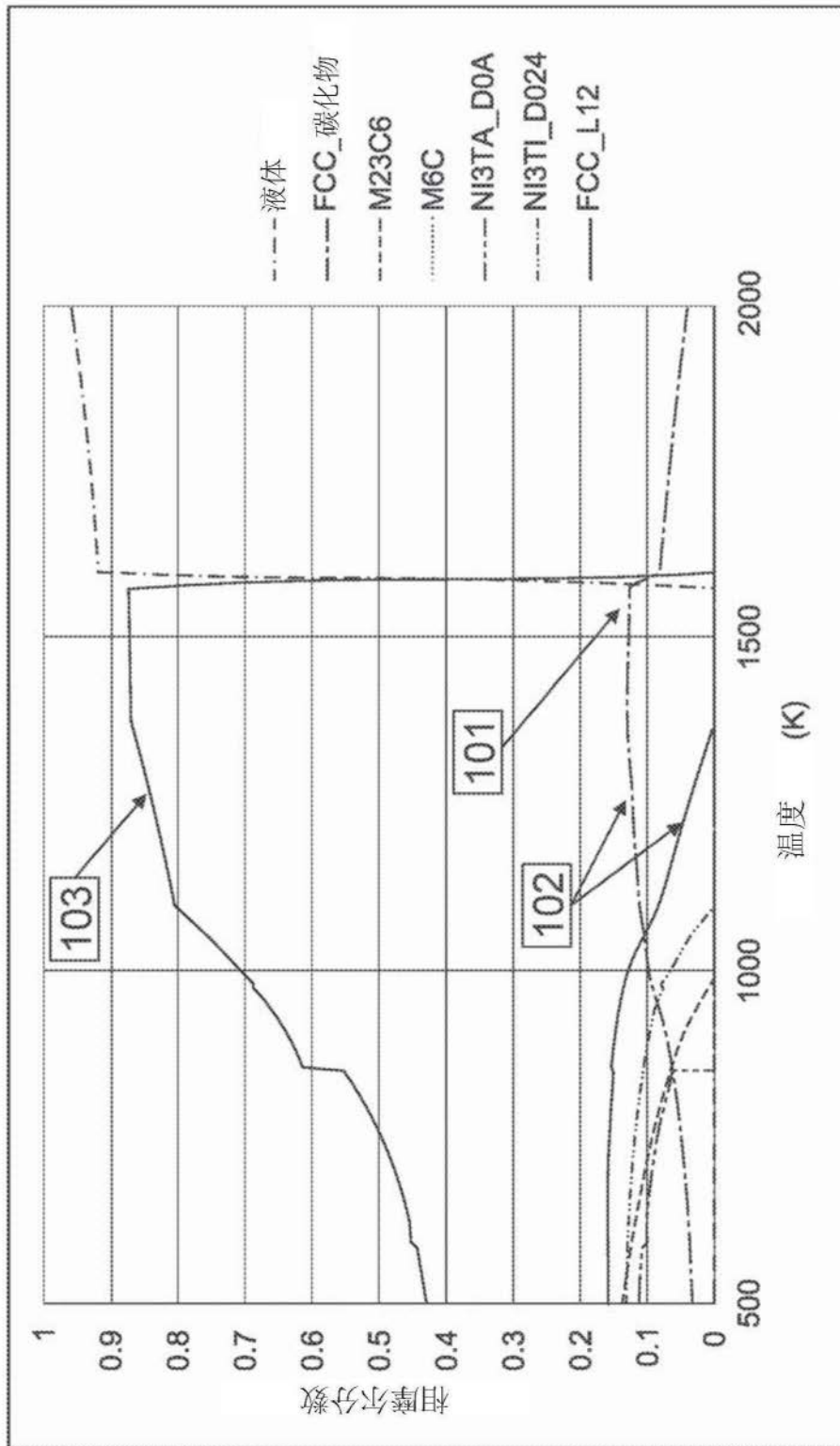


图1

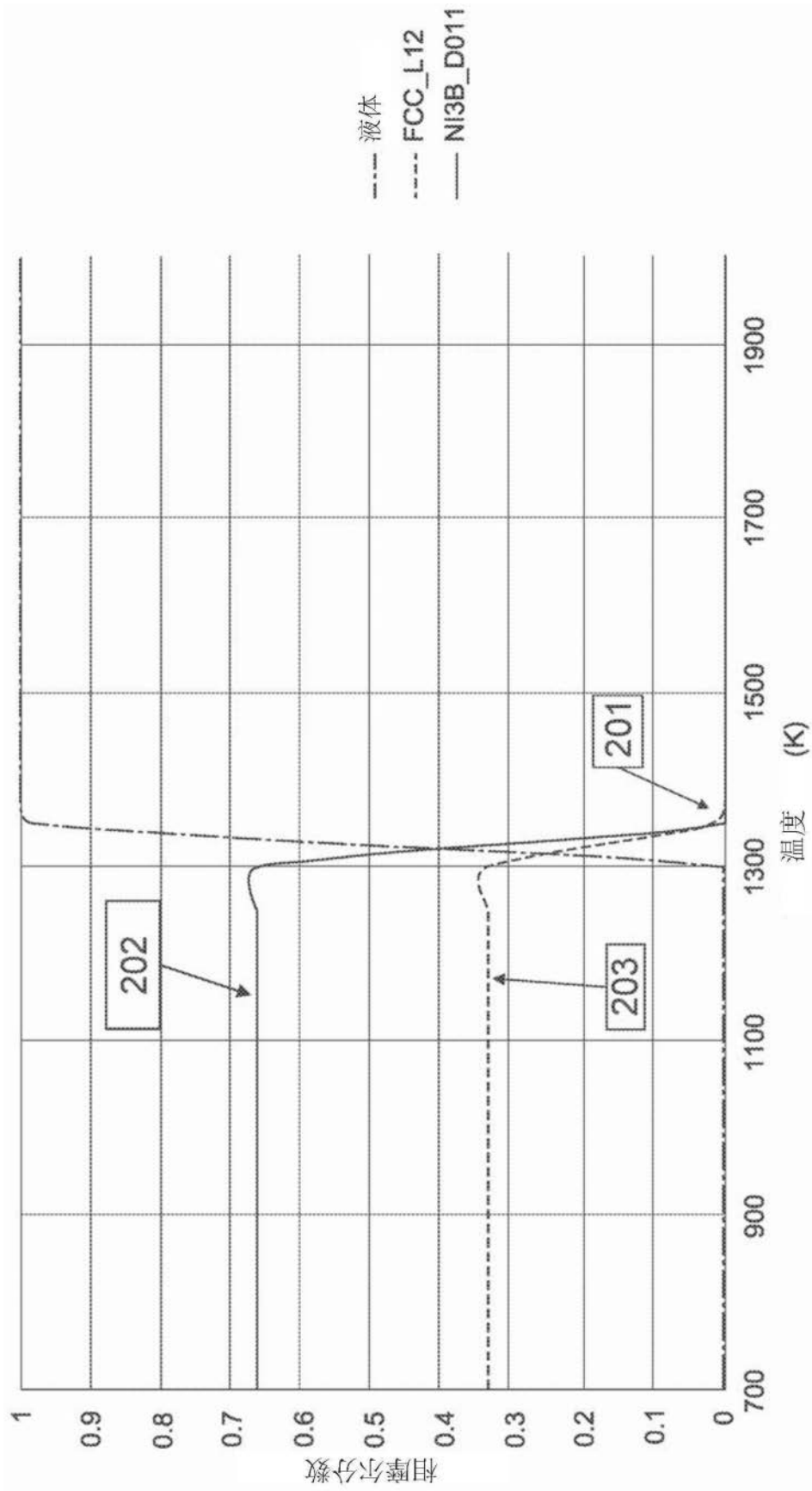


图2

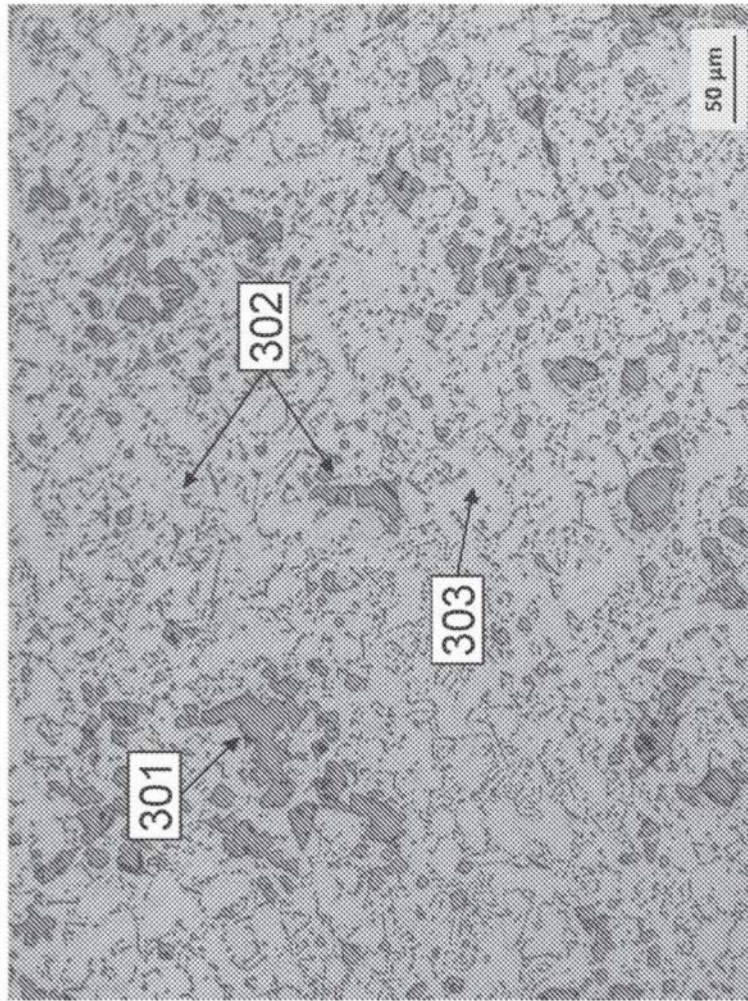


图3

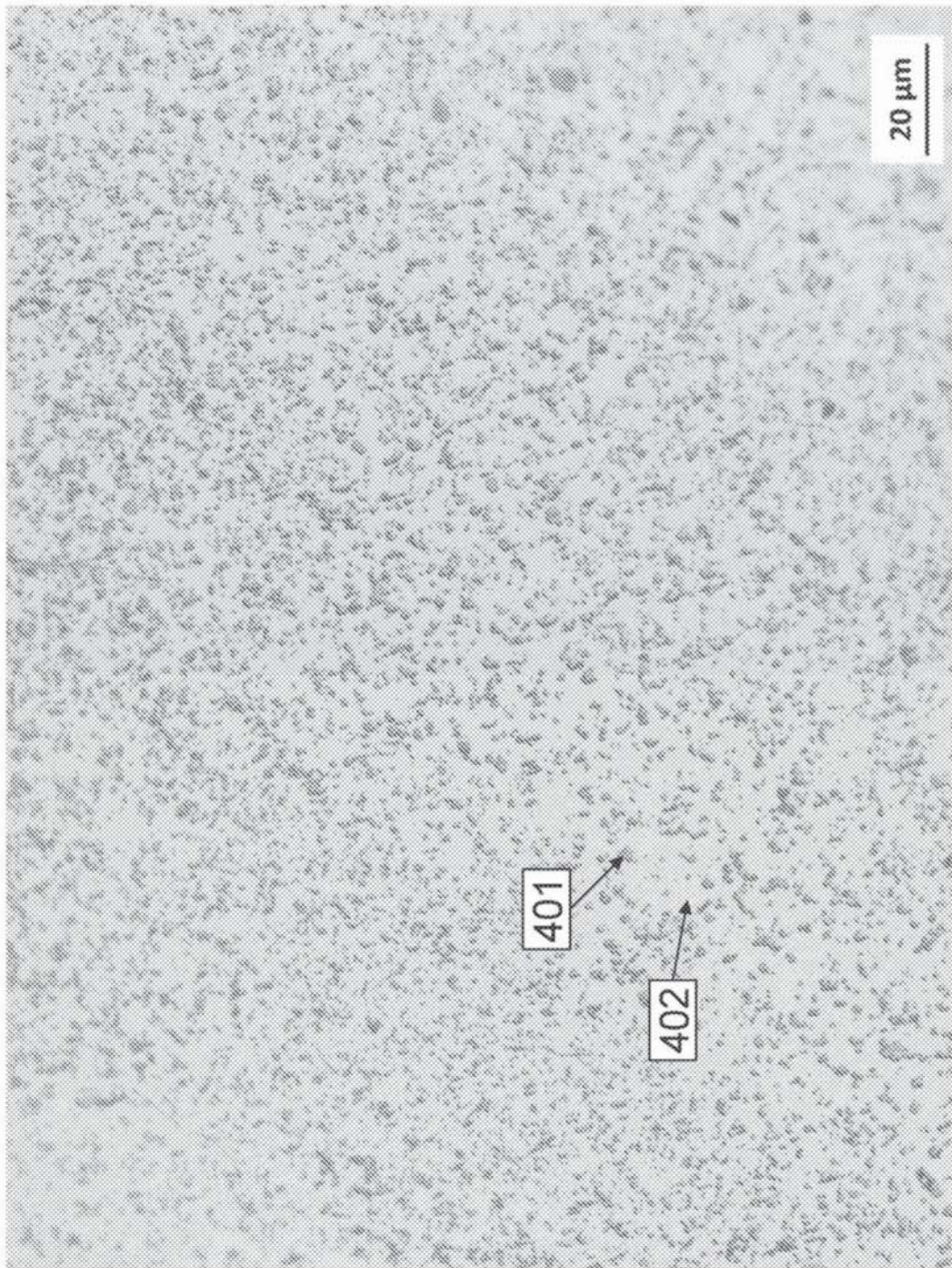


图4

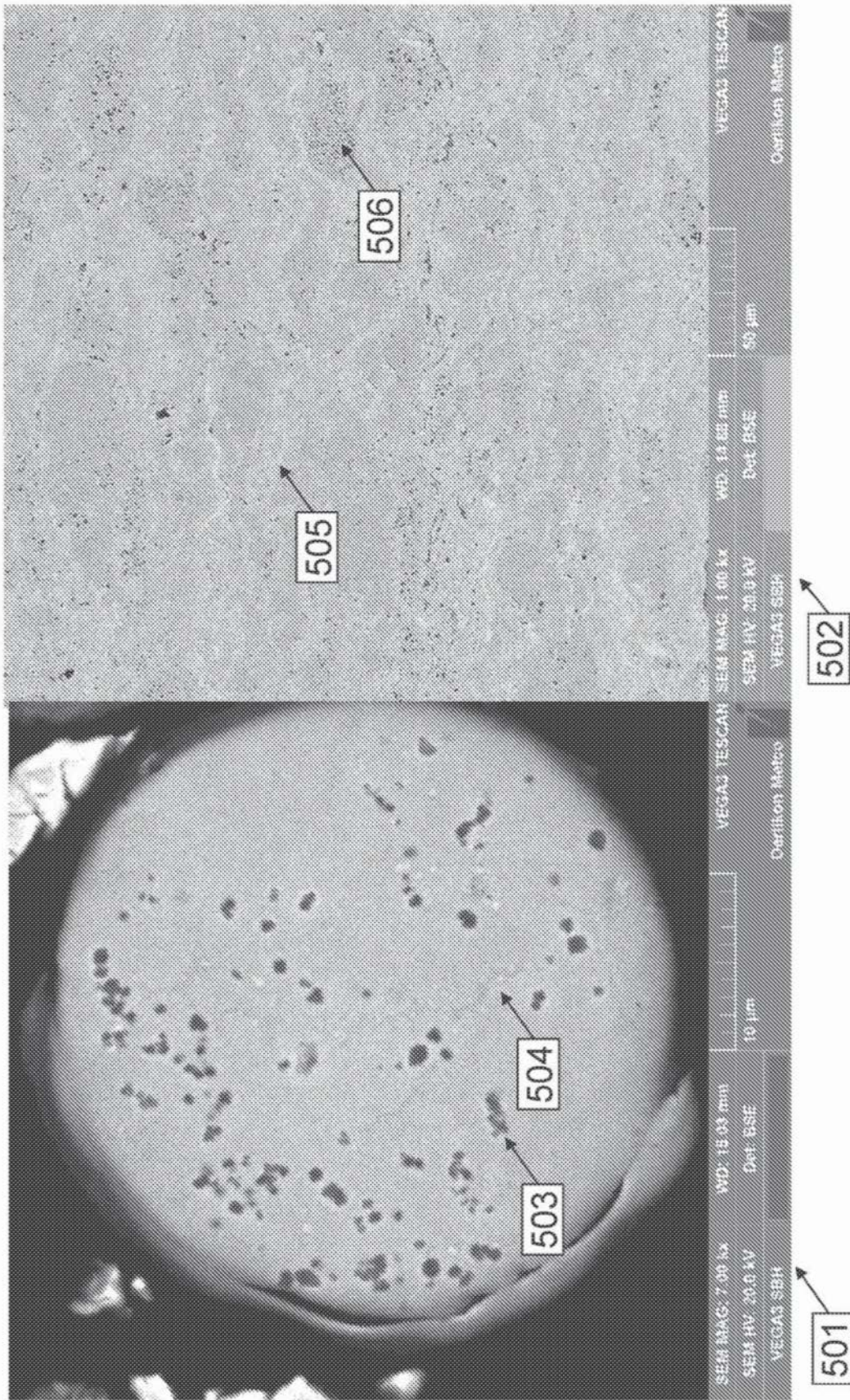


图5

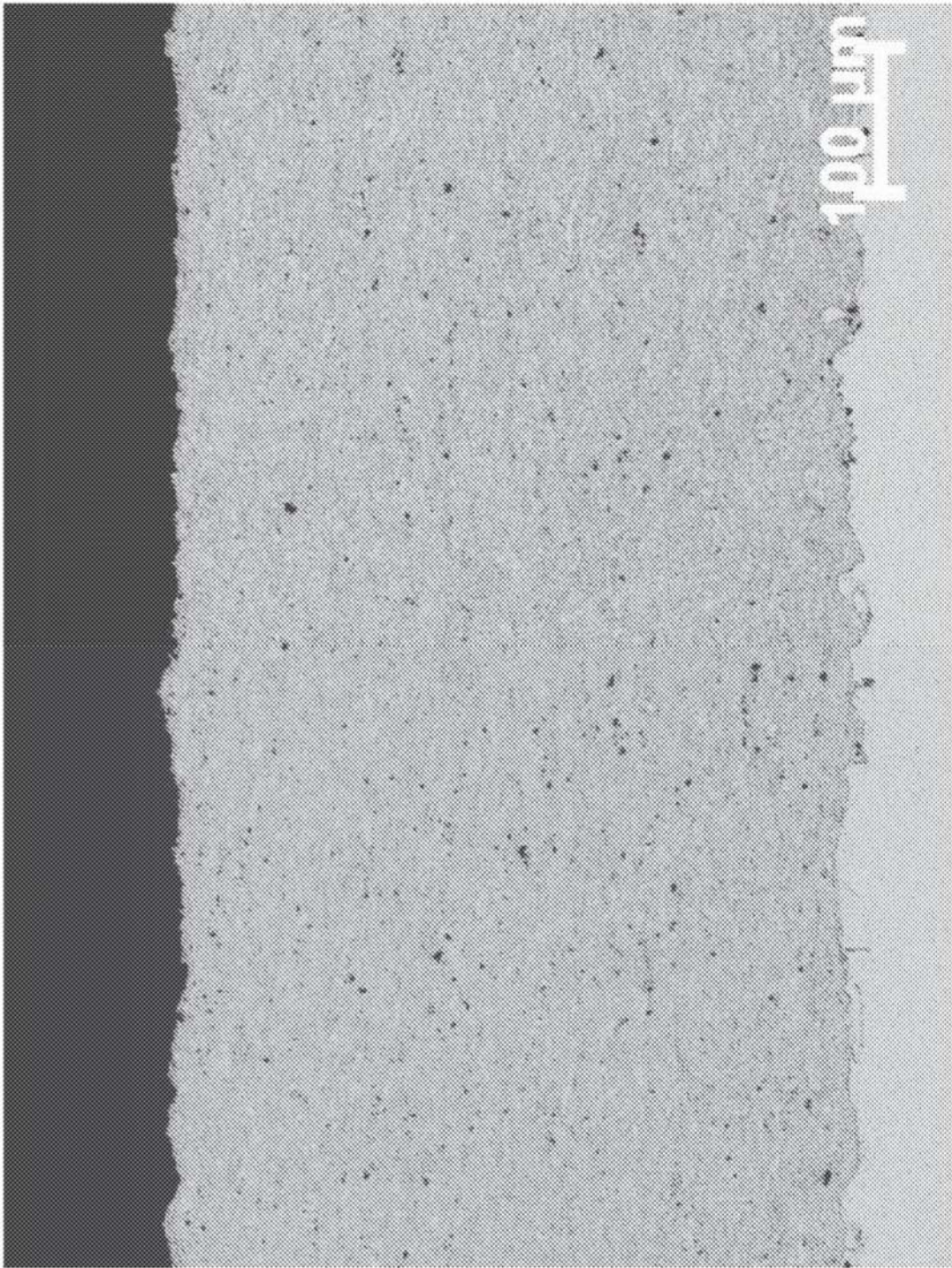


图6