

(19) 中华人民共和国国家知识产权局



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 105562570 A

(43) 申请公布日 2016. 05. 11

(21) 申请号 201510968909. 0

C22C 19/03(2006. 01)

(22) 申请日 2012. 01. 03

(30) 优先权数据

13/007, 692 2011. 01. 17 US

(62) 分案原申请数据

201280005578. 5 2012. 01. 03

(71) 申请人 ATI 资产公司

地址 美国俄勒冈州

(72) 发明人 R. S. 米尼桑德拉姆 R. L. 肯尼迪

R. M. 福布斯琼斯

(74) 专利代理机构 北京律盟知识产权代理有限

责任公司 11287

代理人 林斯凯

(51) Int. Cl.

B21J 3/00(2006. 01)

B21J 1/06(2006. 01)

B21C 23/32(2006. 01)

C22C 19/00(2006. 01)

权利要求书3页 说明书12页 附图8页

(54) 发明名称

通过表面涂层改善金属合金的热加工性

(57) 摘要

本发明涉及通过表面涂层改善金属合金的热加工性。一种加工合金锭或其他合金工件以减少热裂的方法，其大体上可包括将玻璃材料沉积在工件表面的至少一部分上，以及加热所述玻璃材料以在所述工件上形成减少源自所述工件热损失的表面涂层。本发明还涉及根据本文所述方法进行加工的合金工件以及制品，其包括根据本方法所制成的合金工件或由其所制得。

将玻璃材料沉积在合金工件的至少一部分上



加热玻璃材料以在合金工件上形成表面涂层

1.一种方法,包括:

将玻璃纤维织物置于合金工件上;

加热所述玻璃纤维织物以在所述合金工件的至少一部分上形成至少部分熔融的粘性表面涂层;并且

热加工所述合金工件。

2.根据权利要求1所述的方法,进一步包括:

将玻璃颗粒浆料沉积在所述合金工件上的所述玻璃纤维织物上;

其中所述玻璃纤维织物和所述玻璃颗粒浆料被加热以在所述合金工件的至少一部分上形成所述至少部分熔融的粘性表面涂层。

3.根据权利要求1所述的方法,进一步包括:

将玻璃带置于所述合金工件上的所述玻璃纤维织物上;

其中所述玻璃纤维织物和所述玻璃带被加热以在所述合金工件的至少一部分上形成所述至少部分熔融的粘性表面涂层。

4.根据权利要求1所述的方法,进一步包括:

将陶瓷纤维织物置于所述合金工件上的所述玻璃纤维织物上;并且

加热所述玻璃纤维织物和所述陶瓷纤维织物以在所述合金工件的至少一部分上形成所述至少部分熔融的粘性表面涂层。

5.根据权利要求1所述的方法,其中将所述玻璃纤维织物置于所述合金工件上包括在圆柱形合金工件的圆周表面周围包裹所述玻璃纤维织物。

6.根据权利要求1所述的方法,其中将所述玻璃纤维织物置于所述合金工件上包括在圆柱形合金工件的圆周表面周围包裹所述玻璃纤维织物,且将所述玻璃纤维织物置于所述圆柱形合金工件的至少一个端表面上。

7.根据权利要求1所述的方法,其中所述玻璃纤维织物被加热至1000°F至2200°F的温度。

8.根据权利要求1所述的方法,其中所述合金工件在起始于1500°F至2500°F的温度下被热加工。

9.根据权利要求1所述的方法,在所述热加工之后进一步包括将所述合金工件冷却至室温,并从所述合金工件至少部分地移除所述表面涂层。

10.根据权利要求9所述的方法,其中所述从所述合金工件至少部分地移除所述表面涂层包括喷丸、研磨、剥离或车削所述合金工件中的至少一种。

11.根据权利要求1所述的方法,其中所述合金工件包括选自由以下所组成的群组的合金:镍基合金、镍基超合金、铁基合金、镍-铁基合金、钛基合金、钛镍基合金和钴基合金。

12.根据权利要求1所述的方法,其中所述合金工件包括镍基超合金。

13.根据权利要求1所述的方法,其中所述合金工件包括镍基超合金,且所述玻璃纤维织物包括E-玻璃纤维织物。

14.根据权利要求1所述的方法,其中所述合金工件包括锭、坯、棒、板、管和烧结预成型件中的一种。

15.根据权利要求1所述的方法,其中热加工所述合金工件包括锻造或挤压所述合金工件。

16.一种方法,包括:

将玻璃颗粒浆料沉积在合金工件上,所述合金工件包括锭、坯、棒、板、管或烧结预成型件;

加热沉积的所述玻璃颗粒浆料以在所述合金工件的至少一部分上形成至少部分熔融的粘性表面涂层;并且

热加工所述合金工件。

17.根据权利要求16所述的方法,其中:

沉积所述玻璃颗粒浆料包括喷涂、刷涂、流涂和浸渍中的至少一种。

18.根据权利要求16所述的方法,在沉积所述玻璃颗粒浆料之前进一步包括预加热所述合金工件。

19.根据权利要求16所述的方法,在所述热加工之后进一步包括将所述合金工件冷却至室温,并从所述合金工件至少部分地移除所述表面涂层。

20.根据权利要求19所述的方法,其中所述从所述合金工件至少部分地移除所述表面涂层包括喷丸、研磨、剥离或车削所述合金工件中的至少一种。

21.根据权利要求16所述的方法,其中所述合金工件包括镍基超合金。

22.根据权利要求16所述的方法,其中热加工所述合金工件包括锻造或挤压所述合金工件。

23.一种方法,包括:

将玻璃颗粒浆料沉积在合金工件上;

加热沉积的所述玻璃颗粒浆料以在所述合金工件的至少一部分上形成至少部分熔融的粘性表面涂层;

热加工所述合金工件;

将热加工的所述合金工件冷却至室温;并且

采用喷丸、研磨、剥离或车削所述合金工件中的至少一种从所述合金工件至少部分地移除所述表面涂层。

24.根据权利要求23所述的方法,其中:

沉积所述玻璃颗粒浆料包括喷涂、刷涂、流涂和浸渍中的至少一种。

25.根据权利要求23所述的方法,在沉积所述玻璃颗粒浆料之前进一步包括预加热所述合金工件。

26.根据权利要求23所述的方法,其中所述合金工件包括镍基超合金。

27.根据权利要求23所述的方法,其中所述合金工件包括锭、坯、棒、板、管和烧结预成型件中的一种。

28.根据权利要求23所述的方法,其中热加工所述合金工件包括锻造或挤压所述合金工件。

29.一种方法,包括:

将玻璃颗粒浆料沉积在合金工件上,其中所述合金工件包括镍基超合金;

加热沉积的所述玻璃颗粒浆料以在所述合金工件的至少一部分上形成至少部分熔融的粘性表面涂层;并且

热加工所述合金工件。

30. 根据权利要求29所述的方法,其中:

沉积所述玻璃颗粒浆料包括喷涂、刷涂、流涂和浸渍中的至少一种。

31. 根据权利要求29所述的方法,在沉积所述玻璃颗粒浆料之前进一步包括预加热所述合金工件。

32. 根据权利要求29所述的方法,在所述热加工之后进一步包括:

将所述合金工件冷却至室温;并且

采用喷丸、研磨、剥离或车削所述合金工件中的至少一种从所述合金工件至少部分地移除所述表面涂层。

33. 根据权利要求29所述的方法,其中所述合金工件包括锭、坯、棒、板、管和烧结预成型件中的一种。

34. 根据权利要求29所述的方法,其中热加工所述合金工件包括锻造或挤压所述合金工件。

35. 一种方法,包括:

将玻璃颗粒浆料沉积在合金工件上;

加热沉积的所述玻璃颗粒浆料以在所述合金工件的至少一部分上形成至少部分熔融的粘性表面涂层;

热加工所述合金工件,其中热加工所述合金工件包括锻造或挤压所述合金工件。

36. 根据权利要求35所述的方法,其中:

沉积所述玻璃颗粒浆料包括喷涂、刷涂、流涂和浸渍中的至少一种。

37. 根据权利要求35所述的方法,在沉积所述玻璃颗粒浆料之前进一步包括预加热所述合金工件。

38. 根据权利要求35所述的方法,在所述热加工之后进一步包括:

将所述合金工件冷却至室温;并且

采用喷丸、研磨、剥离或车削所述合金工件中的至少一种从所述合金工件至少部分地移除所述表面涂层。

39. 根据权利要求35所述的方法,其中所述合金工件包括镍基超合金。

40. 根据权利要求35所述的方法,其中所述合金工件包括锭、坯、棒、板、管和烧结预成型件中的一种。

通过表面涂层改善金属合金的热加工性

[0001] 本申请是申请日为2012年1月3日、申请号为201280005578.5、发明名称为“通过表面涂层改善金属合金的热加工性”的申请的分案申请。

技术领域

[0002] 本发明涉及合金锭和其他合金工件以及加工其的方法，并且特别是通过在其上提供表面涂层而改善合金锭和其他合金工件的热加工性的方法。

发明背景

[0004] 各种合金可以称为“裂纹敏感性的”。由裂纹敏感性合金所组成的锭和其他工件可在热加工操作中沿其表面和/或边缘形成裂纹。由裂纹敏感性合金形成制品可能是有问题的，因为，例如，在锻造或其他热加工操作中形成的裂纹可能需要被磨掉或以其他方式除去，这会增加生产时间和费用并减少产量。

[0005] 在某些热加工操作中，如锻造和挤压，模具对合金工件施力以使工件变形。在模具的表面和合金工件的表面之间的相互作用可能涉及传热、摩擦和磨损。一种用于在热加工过程中减少表面和边缘开裂的常规技术为在热加工前将合金工件装入金属合金罐中。例如，对于一个圆筒形工件来说，合金罐的内径可能稍大于工件的外径。可将合金工件插入合金罐中，从而使合金松散地围绕工件且使模具与合金罐的外表面相接触。合金罐对所装入的工件进行热绝缘和机械保护，从而消除或减少在工件上形成裂纹的发生率。合金罐通过工件和合金罐的内表面之间的空隙的作用以及直接抑制合金工件向环境中的散热而对合金工件进行热绝缘。

[0006] 合金工件的罐装操作可能会导致各种缺点。例如，模具和合金罐的外表面之间的机械接触可能会分裂合金罐。在一个特定方面，在对装罐的工件进行镦锻和落段的锻造过程中，合金罐可能会在拖拉的操作中裂开。在这种情况下，合金工件可能需要在多重镦锻和落段的锻造操作中的每个镦锻和落段循环之间进行重新罐装，这会增加工艺的复杂性和费用。进一步地，合金罐可能会影响操作者从视觉上监测罐装的合金工件表面的裂纹和其他加工导致的缺陷。

[0007] 鉴于上述缺点，提供一种对裂纹敏感性合金进行热加工的更有效和/或更具成本效益的方法将会是有利的。更一般地来说，提供一种用于改善合金锭和其它合金工件的热加工性的方法将会是有利的。

发明内容

[0008] 根据某些非限制性实施方案描述用于加工合金锭和其它合金工件的方法。

[0009] 本文所公开的各种非限制性实施方案涉及通过在合金工件上提供表面涂层而改善其热加工性的方法。在根据本发明的一个非限制性实施方案中，一种加工合金工件的方法包括：将玻璃材料沉积在合金工件的至少一部分上；以及加热玻璃材料以在合金工件上形成减少源自合金工件热损失的表面涂层。在本方法的各种非限制性实施方案中，玻璃材料可选自玻璃织物、玻璃颗粒和玻璃带。在各种非限制性实施方案中，将玻璃材料沉积在工

件的至少一部分上可能包括布置、喷涂、涂画、喷淋、滚轧、浸渍、包裹和捆绑中的至少一种。在各种非限制性实施方案中，加热玻璃材料包括将玻璃材料加热至1000°F至2200°F的温度。在各种非限制性实施方案中，工件包括从镍基合金、镍基超合金、铁基合金、镍-铁基合金、钛基合金、钛镍基合金和钴基合金中所选的材料。在本方法的各种非限制性实施方案中，工件可包括或选自锭、坯、棒、板、管、烧结预成型件等。在本方法的各种非限制性实施方案中，该方法还包括在加热玻璃材料之后，进行一个或多个选自下列的步骤：通过模具和辊中的至少一个对工件施力以使工件变形；对工件进行热加工，其中热加工包括锻造和挤压中的至少一种；冷却工件；通过喷丸、研磨、剥离和车削中的至少一种将表面涂层的至少一部分从工件移除；以及其的任意组合。

[0010] 在根据本发明的另一个非限制性实施方案中，一种对工件进行热加工的方法包括：将玻璃纤维毯布置在合金工件表面的至少一部分上；加热玻璃纤维毯以在工件上形成表面涂层；通过模具和辊中的至少一个对工件施力以使工件变形，其中模具和辊中的至少一个与工件表面的表面涂层相接触；以及将表面涂层的至少一部分从工件移除。在各种非限制性实施方案中，模具和辊中的至少一个与工件表面上表面涂层的至少一个剩余部分相接触。在本方法的各种非限制性实施方案中，工件可包括或选自锭、坯、棒、板、管、烧结预成型件等。

[0011] 进一步地，根据本发明的非限制性实施方案涉及根据本发明的任何方法制成或加工的合金工件。

[0012] 更进一步地，根据本发明的非限制性实施方案涉及制品，其由根据本发明的任何方法制成或加工的合金工件所制成或包括该合金工件。例如，此类制品包括喷气发动机组件、基于陆地的涡轮机组件、阀、发动机组件、轴和紧固件。

附图说明

[0013] 结合附图考虑下列描述可以更好地理解本文所述的各种非限制性实施方案。

[0014] 图1为根据本文所公开方法的某些非限制性实施方案的流程图。

[0015] 图2为根据本文所公开的非限制性实施方案的合金工件的照片。

[0016] 图3为根据本文所公开的非限制性实施方案的包括在工件上布置的玻璃纤维毯的图2所示工件的照片。

[0017] 图4为根据本文所公开的非限制性实施方案的包括位于合金工件上减少源自工件的热损失的表面涂层的图3所示合金工件的照片，其中已对工件进行了热加工。

[0018] 图5为绘制在不具有图6和7所示表面涂层的合金工件的锻造过程中以及在包括图6和7所示表面涂层的工件的锻造过程中表面温度随时间变化的图。

[0019] 图6和7为不具有表面涂层的锻造合金工件(在每副图右侧的工件)以及包括表面涂层的图4所示锻造的工件(在每副图左侧的工件)的照片。

[0020] 图8为绘制根据本文所公开非限制性实施方案的不具有表面涂层的合金工件(“空气冷却”)和在其上包括表面涂层的合金工件在冷却过程中温度随时间变化的图。

[0021] 图9为根据本文所公开的非限制性实施方案的包括位于其上的表面涂层的合金工件的照片。

[0022] 图10为根据本文所公开非限制性实施方案的经热锻造的合金工件的照片，其包括

不具有表面涂层的一部分和在其上包括表面涂层的一部分。

[0023] 图11为将表面涂层的至少一部分从工件移除后图10所示工件区域的照片。

[0024] 图12为根据本文所公开的非限制性实施方案的在其上具有表面涂层的合金工件的照片。

[0025] 图13为根据本文所公开的非限制性实施方案的包括布置于其上的玻璃带的合金工件的照片。

具体实施方式

[0026] 如本文通常使用的那样,术语“基本由……组成”以及“由……组成”体现为术语“包括”。

[0027] 如本文通常使用的那样,冠词“一个”和“所述”指“至少一个”或“一个或多个”,除非另有说明。

[0028] 如本文通常使用的那样,术语“包括”和“具有”表示“包括”。

[0029] 如本文通常使用的那样,术语“软化点”指特定玻璃材料不再表现为刚性体且开始由于其重量下垂的最低温度。

[0030] 如本文通常使用的那样,术语“大约”是指在给定测量的性质或精确性的情况下用于所测量数量的可接受误差度。典型的示例性误差度可在给定值或给定值范围的20%以内、10%以内或5%以内。

[0031] 本文所述的所有数值量应被理解为可在所有的情况下通过术语“大约”进行修改,除非另有说明。本文所公开的数值量是近似值,且每个数值是指所接受的值以及围绕该值的功能等同的范围。至少,且并不试图将等同原则的适用性限制在权利要求的范围内,每个数值应至少根据报告的有效数字的数量且通过应用普通的四舍五入技术进行解释。尽管本文所述的数值量为近似值,但是仍可尽可能精确地报告在实际测量值的特定实例中的数值量。

[0032] 本文所述的所有数值范围包括纳入其中的所有子范围。例如,“1至10”和“1与10之间”的范围是指包括位于所列举的最小值1和所列举的最大值10之间且包括该两个值的所有子范围。本文所列举的任何最大数值限制是指包括所有较低的数值限制。本文所列举的任何最小数值限制是指包括所有较高数值限制。

[0033] 在下面的描述中,阐明某些细节以透彻地理解本文所述制品和方法的各种非限制性实施方案。本领域的普通技术人员将理解也可在不具备这些细节的情况下实行本文所述的非限制性实施方案。在其他情况下,可以不详细示出或描述与制品和方法相关的公知结构和方法,从而避免不必要的模糊本文所述非限制性实施方案的描述。

[0034] 本发明描述了制品和方法的各种非限制性实施方案的各种特征、方面和优点。然而,据了解本文包含许多可替代实施方案,其可通过本领域的普通技术人员可能觉得有用的任意组合或子组合对本文所述非限制性实施方案的各种特征、方面和优点进行组合而予以实现。

[0035] 例如,在热加工操作,如锻造操作和挤压操作中,可在高于环境温度,如高于工件的再结晶温度的温度下对合金锭或其他合金工件施力以使工件发生塑性变形。经历加工操作的合金锭或其他合金工件的温度可以高于用于对工件表面进行机械施力的模具或其他

结构的温度。由于通过向环境空气中的热损失和在工件表面和接触模具或其他结构之间的热梯度偏置对其表面进行冷却,因此工件可形成温度梯度。温度梯度可能会在热加工过程中造成工件的表面开裂。在用裂纹敏感性合金形成合金锭或其他合金工件的情况下,表面开裂特别具有问题。

[0036] 根据某些非限制性实施方案,合金工件可包括裂纹敏感性合金。例如,各种镍基合金、铁基合金、镍-铁基合金、钛基合金、钛镍基合金、钴基合金和超合金,如镍基超合金可以是裂纹敏感性的,特别是在热加工操作中。合金锭或其他合金工件可由这种裂纹敏感性合金和超合金所形成。例如,裂纹敏感性合金工件可由合金或超合金所形成,其选自但不限于合金718(UNS号:N07718)、合金720(UNS号:N07720)、Rene 41TM合金(UNS号:N07041)、Rene 88TM合金、Waspaloy[®]合金(UNS号:N07001)和Inconel[®]100合金。尽管本文所述方法有利于与裂纹敏感性合金一起使用,但将理解的是该方法也一般适用于任何合金,包括,例如,特征为在热加工温度下具有相对较低的延展性的合金、在1000°F至2200°F的温度下进行热加工的合金以及一般不容易开裂的合金。如本文所使用的,术语“合金”包括常规合金和超合金。如本领域的普通技术人员所理解的,超合金表现出相对良好的表面稳定性、耐腐蚀性、耐氧化性、高强度以及在高温的高抗蠕变性。在各种非限制性实施方案中,合金工件可包括或选自锭、坯、棒、板、管、烧结预成型件等。

[0037] 例如,可使用传统冶金技术或粉末冶金技术形成合金锭或其它合金工件。例如,在各种非限制性实施方案中,可通过真空感应熔炼(VIM)和真空电弧重熔(VAR)的组合,其被称为VIM-VAR操作而形成合金锭或其它合金工件。在各种非限制性实施方案中,可通过三重熔炼技术形成合金工件,其中电渣重熔(ESR)操作在VIM操作和VAR操作之间进行,这提供了VIM-ESR-VAR(即三重熔炼)序列。在其他非限制性实施方案中,可使用粉末冶金操作形成合金工件,粉末冶金操作涉及熔融合金的雾化和采集所产生的冶金粉末并将其合并至合金工件中。

[0038] 在某些非限制性实施方案中,可使用喷射成形操作形成合金锭或其他合金工件。例如,可使用VIM从原料制备基础合金组合物。在VIM之后,可选择性地使用ESR操作。熔融合金可从VIM或ESR熔体池提取获得并进行雾化以形成熔滴。例如,可使用冷壁感应引导(CIG)从熔体池提取熔融合金。可使用喷射成形操作沉积熔融合金滴以形成凝固的合金工件。

[0039] 在某些非限制性实施方案中,可使用热等静压(HIP)形成合金锭或其他合金工件。HIP一般是指高压和高温气体的等静压应用,如,例如,氩气,从而将粉末材料压实并将其合并在单一的预成型件中。可通过用作气体和被压实和合并的粉末之间的压力壁垒的密封容器将粉末与高压和高温气体相分离。密封容器可塑性变形以压实粉末,且升高的温度可有效地将各粉末颗粒烧结在一起以形成单一的预成型件。可将均匀的压实压力施加于整个粉末,且可在预成型件中实现均匀的密度分布。例如,可将近等原子比的镍钛合金粉末加载至金属容器,如,例如,钢罐中,并进行除气以除去吸附的水分和夹带的气体。含有近等原子比镍钛合金粉末的容器可如,例如,通过焊接在真空下进行密封。然后,可将密封的容器在足以使容器中的镍-钛合金粉末实现完全致密化的一定温度和压力下进行HIP,从而形成完全致密的近等原子比镍-钛合金预成型件。

[0040] 根据某些非限制性实施方案,一种加工合金锭或其他合金工件的方法可大体包括将无机材料沉积在合金工件的至少一部分上并加热无机材料以在工件上形成减少源自工

件热损失的表面涂层。例如，无机材料可包括一个或多个热绝缘材料，其包括选自纤维、颗粒和带的材料。例如，无机材料可包括氧化铝、氧化钙、氧化镁、二氧化硅、氧化锆、氧化钠、氧化锂、氧化钾、氧化硼等中的一个或多个。无机材料可具有500°F或更高的熔点或软化点，如，例如，500°F至2500°F以及1000°F至2200°F。例如，该方法可包括将无机材料沉积在合金工件表面的至少一部分上并加热无机材料以在工件上形成表面涂层并减少源自工件的热损失。在各种非限制性实施方案中，加热无机材料包括将无机材料加热至锻造温度，如1000°F至2200°F。可选择无机材料的组成和形式以在锻造温度下形成粘性表面涂层。可将表面涂层粘至合金工件的表面上。表面涂层可以称为粘附表面涂层。除了消除或减少表面开裂外，根据本发明的表面涂层也可在热加工操作中润滑合金锭或其他合金工件的表面。

[0041] 参照图1，根据本发明的一种减少热裂的加工合金工件的方法的非限制性实施方案可大体包括将无机玻璃材料沉积在合金锭或其他合金工件的一部分上并加热玻璃材料以在工件上形成表面涂层并减少源自工件的热损失。玻璃材料可包括热绝缘材料，其包括玻璃纤维、玻璃颗粒和玻璃带中的一个或多个。在工件上提供的玻璃材料可在将其加热至适宜温度时形成粘性表面涂层。可选择玻璃材料的组成和形式以在锻造温度下形成粘性表面涂层。玻璃材料表面涂层可被粘至工件的表面并保留在表面上直至热加工过程且在该过程中保留在表面上。玻璃材料表面涂层可以称为粘附表面涂层。相对于缺少这种表面涂层的采取不同方式的同一合金工件而言，通过加热玻璃材料而提供的玻璃材料表面涂层可减少源自合金工件的热损失并消除或减少因锻造、挤压或以其他方式加工合金工件所导致的表面开裂的发生率。除了消除或减少表面开裂外，根据本发明的玻璃材料表面涂层也可在热加工操作中润滑合金工件的表面。

[0042] 在某些非限制性实施方案中，无机纤维可包括玻璃纤维。玻璃纤维可包括连续纤维和/或不连续纤维。例如，不连续纤维可通过切断或切割连续纤维而制得。例如，玻璃纤维可包括SiO₂、Al₂O₃和MgO中的一个或多个。例如，玻璃纤维可包括硅酸镁铝纤维。例如，玻璃纤维可包括硅酸镁铝纤维，其选自由E-玻璃纤维、S-玻璃纤维、S2-玻璃纤维和R-玻璃纤维组成的组。E-玻璃纤维可包括SiO₂、Al₂O₃、B₂O₃、CaO、MgO和其他氧化物中的一个或多个。S-玻璃纤维和S2-玻璃纤维可包括SiO₂、Al₂O₃和MgO中的一个或多个。R-玻璃纤维可包括SiO₂、Al₂O₃、CaO和MgO中的一个或多个。在某些非限制性实施方案中，无机纤维可包括耐火陶瓷纤维。耐火陶瓷纤维可以是无定形的并包括SiO₂、Al₂O₃和ZrO₂中的一个或多个。

[0043] 根据某些非限制性实施方案，多个玻璃纤维可包括束、带或丝束、织物和板中的一个或多个。如本文通常使用的那样，术语“织物”是指可进行织造、编织、制毡和熔合的材料，或非织造材料或由纤维以其他方式构成的材料。织物可包括粘合剂以将多个纤维结合在一起。在某些非限制性实施方案中，织物可包括纱线、毯子、垫子、纸、毡等。在某些非限制性实施方案中，玻璃纤维可包括玻璃毯。例如，玻璃毯可包括E-玻璃纤维。根据本发明的实施方案中实用的包括E-玻璃纤维的示例性玻璃毯包括但不限于可从Anchor Industrial Sales, Inc. (Kernersville, NC) 购得的商业名称为“Style 412”和“Style 412B”且厚度为0.062英寸的纤维以及重量为24oz./yd²且温度等级为1000°F的E-玻璃纤维。例如，玻璃织物可包括玻璃纤维毯，如，例如，E-玻璃毯。织物可具有任何适宜的宽度和长度以覆盖工件的至少一部分。可根据工件的大小和/或形状改变织物的宽度和长度。可根据织物的导热性改变织物的厚度。在某些非限制性实施方案中，织物可具有1-25mm的厚度，如5-20mm或8-

16mm。

[0044] 根据某些非限制性实施方案，无机颗粒可包括玻璃颗粒。玻璃颗粒可被称为“玻璃质”或“填料”。例如，玻璃颗粒可包括氧化铝、氧化钙、氧化镁、二氧化硅、氧化锆、钠和氧化钠、氧化锂、氧化钾、氧化硼等中的一个或多个。例如，在某些非限制性实施方案中，玻璃颗粒可不含铅或仅包括微量的铅。在某些实施方案中，玻璃颗粒可具有1400–2300°F的金属热加工范围，如，例如，1400–1850°F、1850–2050°F、1850–2100°F或1900–2300°F。根据本发明的实施方案中实用的示例性玻璃颗粒包括可从Advance Technical Products (Cincinnati, OH)购得的商业名称为“Oxylub-327”、“Oxylub-811”、“Oxylub-709”和“Oxylub-921”的材料。

[0045] 根据某些非限制性实施方案，无机带可包括玻璃带。在某些实施方案中，玻璃带可包括玻璃背衬和胶粘剂。例如，玻璃背衬可包括氧化铝、氧化钙、氧化镁、二氧化硅、氧化锆、钠和氧化钠、氧化锂、氧化钾、氧化硼等中的一个或多个。玻璃背衬可包括玻璃纤维，如玻璃纱、玻璃织物和玻璃布。玻璃背衬可包括玻璃丝。在各种非限制性实施方案中，玻璃带可包括玻璃纤维丝增强的包装带。在各种非限制性实施方案中，玻璃带可包括胶带，其包括玻璃布背衬或浸以玻璃纱或丝的带。在各种非限制性实施方案中，玻璃带可包括连续玻璃纱增强的聚丙烯背衬。在各种非限制性实施方案中，玻璃带可具有包括下列的特征：根据ASTM试验方法D-3330的约为55oz./in. 宽度(60N/100mm宽度)的对钢的粘附性；根据ASTM试验方法D-3759的约为3001bs./in. 宽度(5250N/100mm宽度)的拉伸强度；根据ASTM试验方法D-3759的约为4.5%的断裂伸长率；和/或根据ASTM试验方法D-3652约为6.0mil(0.15mm)的总厚度。根据本发明的实施方案中实用的示例性玻璃带是可从3M Company (St. Paul, MN)购得，其商业名称为SCOTCH® Filament Tape 893。

[0046] 根据某些非限制性实施方案，一种以在热加工过程中减少热裂的方式加工合金锭或其他合金工件的方法可大体包括将玻璃织物布置在工件表面的至少一部分上。在某些非限制性实施方案中，可将织物布置在工件表面的绝大部分上。例如，合金工件表面可包括圆周表面和布置在圆周表面每一端的两个侧表面。在某些非限制性实施方案中，可将织物布置在圆柱形合金工件圆周表面的绝大部分上。在某些非限制性实施方案中，可将织物布置在圆柱形工件的圆周表面和圆柱形工件的至少一个侧表面上。在至少一个非限制性实施方案中，可将玻璃毡布置在圆柱形合金工件圆周表面的至少一部分以及圆柱形工件的至少一个侧表面上。在某些非限制性实施方案中，可将一个以上的玻璃织物，如两个、三个或更多中的每一个布置在圆柱形工件表面的至少一部分和/或圆柱形工件的至少一个侧表面上。例如，可将织物横向包裹在工件圆周表面的周围而布置织物。本领域的普通技术人员将理解在某些非限制性实施方案中，可使用胶粘剂和/或机械紧固件，如，例如，玻璃带和捆线将玻璃织物固定至工件。

[0047] 在某些非限制性实施方案中，一种用于在热加工过程中减少热裂的加工合金锭或其他合金工件的方法可包括重复进行将玻璃织物布置在工件表面至少一部分上的步骤。例如，可将织物包裹在工件周围至少一次、两次、三次、四次或四次以上。在某些非限制性实施方案中，可将织物包裹在工件周围直至达到预定的厚度。可替代地，可将一个以上的玻璃织物布置在圆柱形工件圆周表面的至少一部分以及圆柱形工件的每一个侧表面中的至少一个上直至达到预定的厚度。例如，预定厚度可以是从1mm至50mm，如10mm至40mm。在至少一个

非限制性实施方案中,该方法可包括将第一玻璃织物布置在工件表面的至少一部分上并将第二玻璃织物布置在第一玻璃织物和工件表面的至少一部分中的至少一个上。第一玻璃织物和第二玻璃织物可包括相同或不同的无机材料。例如,第一玻璃织物可包括第一E-玻璃毯且第二玻璃织物可包括第二E-玻璃织物。在一个非限制性实施方案中,第一玻璃织物可包括E-玻璃毯,且第二玻璃织物可包括陶瓷毯,如,例如,KAOWOOL毯,其是由铝硅耐火土制成的材料。

[0048] 根据某些非限制性实施方案,一种加工工件以减少热裂的方法可大体包括将玻璃颗粒沉积在工件表面的至少一部分上。在某些非限制性实施方案中,可将颗粒沉积在工件表面的绝大部分上。在某些非限制性实施方案中,可将颗粒沉积在圆柱形工件的圆周表面和/或圆柱形工件的至少一个侧表面上。例如,将颗粒沉积在工件表面上可包括滚轧、浸渍、喷涂、刷涂和喷淋中的一种或多种。该方法可包括在沉积颗粒前将工件加热至预定温度。例如,工件可被加热至锻造温度,如1000°F至2000°F及1500°F,并在玻璃颗粒床中进行滚轧以将玻璃颗粒沉积在工件表面上。

[0049] 根据某些非限制性实施方案,一种加工合金锭或其他合金工件以减少热裂的方法可大体包括将玻璃带布置在工件表面的至少一部分上。在某些非限制性实施方案中,可将带布置在工件表面的绝大部分上。在某些非限制性实施方案中,可将带布置在圆柱形工件的圆周表面和/或工件的至少一个侧表面上。例如,将带布置在工件表面上可包括包裹和捆绑中的一种或多种。例如,在各种非限制性实施方案中,可将带横向包裹在工件圆周表面的周围而布置带。在某些非限制性实施方案中,可通过将带粘在工件表面上而将带布置在表面上。在某些非限制性实施方案中,可将带布置在圆柱形合金工件表面的至少一部分和/或玻璃毯的至少一部分上。例如,图13为以合金锭为形式的合金工件的照片,其包括被布置在工件圆周表面以及工件对端或面上的玻璃带。

[0050] 在某些非限制性实施方案中,一种加工合金锭或其他合金工件以减少热裂的方法可包括将玻璃带布置在工件表面的至少一部分上的步骤重复一次或多次。例如,可将带包裹在工件周围至少一次、两次、三次、四次或四次以上。在至少一个非限制性实施方案中,该方法可包括将第一玻璃带包裹在工件表面的至少一部分上并将第二玻璃带包裹在第一玻璃带和工件未绑有带子表面的至少一部分中的至少一个上。在至少一个非限制性实施方案中,该方法可包括将第一玻璃带捆绑在工件表面的至少一部分上并将第二玻璃带捆绑在第一玻璃带和工件未绑有带子表面的至少一部分中的至少一个上。第一玻璃带和第二玻璃带可包括相同或不同的无机材料。在某些非限制性实施方案中,可将带布置在合金工件上直至达到预定的厚度。可替代地,可将一个以上的玻璃带布置在圆柱形合金锭或其他合金工件圆周表面的至少一部分以及圆柱形工件的每一个侧表面中的至少一个上直至达到预定的厚度。例如,预定厚度可以是从小于1mm至50mm,如10mm至40mm。

[0051] 根据某些非限制性实施方案,在合金工件上提供的玻璃材料可在加热玻璃材料时在工件上形成粘性表面涂层。可在炉中加热包括位于其上的玻璃材料的工件。可选择玻璃材料的组成以在锻造温度下形成粘性表面涂层。例如,可选择包括玻璃材料的氧化物以提供在预定温度,如锻造温度具有熔点或软化点的玻璃材料。在另一实例中,可选择玻璃材料的形式,即纤维、颗粒、带及其任意组合以在预定温度,如锻造温度下形成粘性表面涂层。例如,在工件表面上提供的玻璃织物在温度范围为1900°F至2100°F的炉中加热玻璃材料时可

在工件上形成粘性表面涂层。例如，在工件表面上提供的玻璃颗粒在温度范围为 1450°F 至 1550°F 的炉中加热玻璃材料时可在工件上形成粘性表面涂层。例如，在工件表面上提供的玻璃带在温度范围为 1900°F 至 2100°F 的炉中加热玻璃材料时可在工件上形成粘性表面涂层。

[0052] 根据某些非限制性实施方案，在合金锭或其他合金工件表面上提供的表面涂层可以称为粘附表面涂层。在冷却表面涂层时，粘性表面涂层可形成粘附表面涂层。例如，在将包括表面涂层的工件从炉中移除时，粘性表面涂层可形成粘附表面涂层。当表面涂层不立即从工件表面流下时，表面涂层可以称为“粘附的”。例如，在各种非限制性实施方案中，当从炉中移除合金锭或其他合金工件时涂层不立即从表面流下时，可认为表面涂层是“粘附的”。在另一实例中，在各种非限制性实施方案中，当布置工件时涂层不立即从圆周表面流下而使纵轴为垂直取向的，如，例如，在相对水平面的 45° 至 135° 角时，具有纵轴和圆周表面的合金工件圆周表面上的表面涂层可被认为是“粘附的”。当从炉中移除工件时表面涂层立即从工件表面流下时，表面涂层可以称为“非粘附”表面涂层。

[0053] 合金可进行热加工的温度范围可考虑合金开始开裂的温度以及无机材料的组成和形式。在给定的用于热加工操作的起始温度下，可在比其他合金更大的温度范围内对一些合金进行有效的热加工，因为合金中裂纹开裂的温度不同。对于具有相对较小的热加工温度范围(即在可对合金进行热加工的最低温度和裂纹开裂的温度之间的差异)的合金而言，无机材料的厚度可相对较大，从而抑制或防止下方的工件冷却至裂纹开裂的脆性温度范围。同样地，对于具有相对较大的热加工温度范围的合金而言，无机材料的厚度可相对较小，从而抑制或防止下方的合金锭或其他合金工件冷却至裂纹开裂的脆性温度范围。

[0054] 根据某些非限制性实施方案，一种加工合金锭或其他合金工件以减少热裂的方法可大体包括加热无机材料以在工件上形成表面涂层。例如，加热无机材料可包括将无机材料加热至 500 – 2500°F ，如，例如， 500 – 1500°F 、 1000 – 2000°F 、 1500°F – 2000°F 或 2000 – 2500°F 的温度以形成表面涂层。在某些非限制性实施方案中，可将无机纤维，如玻璃毯和玻璃带加热至 2000 – 2500°F 的温度。在某些非限制性实施方案中，可将无机颗粒，如玻璃颗粒加热至 1500 – 2000°F 的温度。在某些非限制性实施方案中，温度可高于无机材料的熔点。在某些非限制性实施方案中，温度可高于无机材料的温度等级。在各种非限制性实施方案中，温度可高于玻璃织物、玻璃颗粒和/或玻璃带的熔点。在一个非限制性实施方案中，温度可高于玻璃毯的熔点。如本领域的技术人员所理解的，无机材料可能不具有特定的熔点且可称为“软化点”。例如，ASTM试验方法C338-93(2008)为确定玻璃的软化点提供了一种标准实验方法。同样地，在某些非限制性实施方案中，可将无机材料加热到至少为无机材料熔点的温度。

[0055] 在某些非限制性实施方案中，表面涂层可形成于合金工件表面的至少一部分上。在某些非限制性实施方案中，表面涂层可形成于工件表面的绝大部分上。在某些非限制性实施方案中，表面涂层可完全覆盖工件的表面。在某些非限制性实施方案中，表面涂层可形成于合金工件的圆周表面上。在某些非限制性实施方案中，表面涂层可形成于工件的圆周表面和工件的至少一个侧面上。在某些非限制性实施方案中，表面涂层可形成于工件的圆周表面和工件的每个侧面上。在某些非限制性实施方案中，表面涂层可形成于没有无机材料的工件表面的至少一部分上。例如，可将无机材料沉积在工件表面的一部分上。无机材料可在加热时熔化。熔化的无机材料可能流至在其上未沉积有无机材料的工件表面的一部分

上。

[0056] 可将无机材料沉积至足以在加热时在其上形成表面涂层的厚度，其中表面涂层使下方的工件表面与接触模具的表面隔离，从而抑制或防止下方的工件表面冷却至该下方的工件表面可更轻易地在热加工时裂开的温度。这样，通常可将更高的热加工温度与更大的表面涂层厚度的偏好相联系。在某些非限制性实施方案中，表面涂层可具有适于减少源自工件热损失的厚度。在某些非限制性实施方案中，表面涂层可具有0.1mm至2mm，如，例如，0.5mm至1.5mm以及约1mm的厚度。在不打算受任何特定理论束缚的情况下，表面涂层可减少合金工件的热损失和/或增加工件在热加工过程中相对于模具或其他接触表面的滑动。表面涂层可充当热障以减少通过对流、传导和/或辐射而产生的源自工件的热损失。在某些非限制性实施方案中，表面涂层可减少合金工件的表面摩擦并充当润滑剂，并且从而在热加工操作，如锻造和挤压中增加工件的滑动。在某些非限制性实施方案中，无机材料可沉积至足以在热加工过程中润滑工件的厚度。

[0057] 根据某些非限制性实施方案，一种加工合金锭或其他合金工件以减少热裂的方法可大体包括冷却包括表面涂层的工件。冷却工件可包括冷却表面涂层。在某些非限制性实施方案中，冷却工件可包括对工件进行空气冷却。在某些非限制性实施方案中，冷却工件可包括将陶瓷毯，如，例如，KAOWOOL毯布置在表面涂层和工件表面至少一部分中的至少一个上。在某些非限制性实施方案中，可将工件表面冷却至室温。

[0058] 根据某些非限制性实施方案，一种加工合金锭或其他合金工件以减少热裂的方法可大体包括从工件移除表面涂层的至少一个部分和/或表面涂层的剩余部分中的至少一个。在某些非限制性实施方案中，该方法可包括，在热加工后，从通过对工件进行热加工而形成的产品移除表面涂层的一部分和/或表面涂层的剩余部分中的至少一个。例如，移除表面涂层或剩余部分可包括喷丸、研磨、剥离和车削中的一种或多种。在某些非限制性实施方案中，剥离经过热加工的工件可包括车床车削。

[0059] 在最初形成工件后，但在沉积无机材料和/或随后对合金工件进行热加工前，一种加工合金锭或其他合金工件以减少热裂的非限制性方法可大体包括加热工件和/或调节工件的表面。在某些非限制性实施方案中，可将合金工件暴露于高温以匀化合金组成和工件的微观结构。高温可能高于合金的再结晶温度，但却低于合金的熔点温度。例如，可将工件加热至锻造温度，可将无机材料沉积在其上，且可再加热工件以在其上形成表面涂层。在沉积无机材料前可加热工件以减少将工件升至温度所需的炉内加工时间。例如，可通过研磨和/或剥离工件表面可对合金工件进行表面调节。也可对工件进行磨光和/或抛光。可在任何可选的热处理步骤，如，例如，高温匀化前和/或后进行表面调节操作。

[0060] 根据某些非限制性实施方案，一种加工合金锭或其他合金工件以减少热裂的方法可大体包括对工件进行热加工。对工件进行热加工可包括对工件施力以使工件变形。例如，可通过模具和/或辊施力。在某些非限制性实施方案中，对工件进行热加工可包括在1500°F至2500°F温度下对工件进行热加工。在某些非限制性实施方案中，对工件进行热加工可包括锻造操作和/或挤压操作。例如，可对具有沉积在工件表面至少一个区域上的表面涂层的工件进行镦锻和/或落锻。在各种非限制性实施方案中，该方法可包括在工件上形成表面涂层后，经锻造对工件进行热加工。在各种非限制性实施方案中，该方法可包括在工件上形成表面涂层后，通过在1500°F至2500°F的温度下锻造而对工件进行热加工。在各种非限制性

实施方案中,该方法可包括在工件上形成表面涂层后,经挤压对工件进行热加工。在各种非限制性实施方案中,该方法可包括在工件上形成表面涂层后,通过在1500°F至2500°F的温度下挤压而对工件进行热加工。

[0061] 镦锻和落锻的锻造操作可包括镦锻操作的一个或多个序列以及落锻操作的一个或多个序列。在镦锻操作中,工件的端面可与对工件施加压缩工件长度并增加工件横截面的力量的锻造模具相接触。在落锻操作中,侧表面(例如,圆柱形工件的圆周表面)可与对工件施加压缩工件横截面并增加工件长度的力量的锻造模具相接触。

[0062] 在各种非限制性实施方案中,具有沉积在工件表面的至少一个区域上的表面涂层的合金锭或其他合金工件可进行一次或多次镦锻和落锻的锻造操作。例如,在三重镦锻和落锻的锻造操作中,工件可先进行镦锻,然后再进行落锻。对于总数为3次的连续镦锻和落锻的锻造操作,可将镦锻和落锻的序列再重复两次。在各种非限制性实施方案中,具有沉积在工件表面的至少一个区域上的表面涂层的工件可进行一次或多次挤压操作。例如,在挤压操作中,可通过圆形模具对圆柱形工件用力,从而减小直径并增加工件的长度。其他热加工技术对于普通技术人员来说将是显而易见的,且根据本发明的方法可适于使用这种其他技术中的一个或多个而无需过度试验。

[0063] 在各种非限制性实施方案中,本文所述方法可用于从以铸造、加固或喷射成形的锭为形式的合金锭生产熟坯。与之前的工件相比,锭至坯或其他加工制品的锻造转换或挤压转换可能会在制品中产生更细的颗粒结构。本文所述的方法和工艺可能会提高从工件至锻造或挤压的产品(如,例如,坯)的产量,因为表面涂层可在锻造和/或挤压操作中减少工件表面开裂的发生率。例如,已观察到在工件表面至少一个区域上提供的根据本发明的表面涂层可更容易地容忍加工模具所导致的张力。已经观察到的还有,在合金工件表面至少一部分上提供的根据本发明的表面涂层也可更容易地容忍在热加工过程中加工模具和工件之间的温度差。这样,已观察到根据本发明的表面涂层在下方的工件于加工中防止或减少表面裂纹开裂时可表现出零或轻微的表面开裂。

[0064] 在各种非限制性实施方案中,根据本发明的具有表面涂层的锭或各种合金制得的其他工件可进行热加工以形成可用于制造各种制品的产品。例如,本文所述的工艺可用于从镍基合金、铁基合金、镍-铁基合金、钛基合金、钛-镍基合金、钴基合金、镍基超合金及其他超合金形成坯。通过对锭或其他合金工件进行热加工而形成的坯或其他产品可用于制造制品,其包括但不限于涡轮机组件,如,例如,用于涡轮发动机和各种基于陆地的涡轮机的圆盘和圆环。由根据本文所述的各种非限制性实施方案加工的合金锭或其他合金工件所制得的其他制品可包括但不限于阀、发动机组件、轴和紧固件。

[0065] 可根据本文所述各种实施方案加工的合金工件可采用任何适当的形式。例如,在特定非限制性实施方案中,合金工件可包括锭、坯、棒、板、管、烧结预成型件等或以其为形式。

[0066] 当结合下列代表性实例阅读时,可更好地理解本文所述的各种非限制性实施方案。下列实例是为了用于说明而非限制。

[0067] 实例1

[0068] 参照图2-8,在根据本发明的某些非限制性实施方案中,合金工件可包括圆柱形合金锭。通常如图2所示,在2100°F的温度下,对以长度为 $10^3/8$ 英寸和宽度为6英寸的锭为形式

的两个大体上圆柱形工件进行热处理3小时。对每个工件使用KAOWOOL陶瓷毯进行包裹并允许对其进行冷却。移除KAOWOOL陶瓷毯。如图3所示，使用E-玻璃毯以双层包裹一个工件。使用捆线将E-玻璃毯固定至工件。将包括ATP-610材料(可从Advanced Technical Products, Cincinnati, OH购得)的无机浆料刷涂至毯的外表面上。第二工件未覆盖有任何材料。将两个工件中的每一个放入2040°F的炉中约17小时。然后，在该温度下将每个工件锻造成横截面为5英寸×4.5英寸的工件。图4为锻造中包括表面涂层的工件的照片。

[0069] 图5绘制在涂覆和未涂覆工件的锻造中工件表面温度随时间的变化。如图5所示，涂覆工件(“包裹的”)在锻造中的表面温度一般高于未涂覆工件(“未包裹的”)工件50°C。使用红外线高温计测量表面温度。图6和7为锻造的涂覆工件(两幅图的左侧)和锻造的未涂覆工件(两幅图的右侧)的照片。在图6中，表面涂层的固化的剩余部分在涂覆工件的表面上是可见的。而图7示出在已通过喷丸移除涂层剩余部分后的涂覆工件。对图6和7的考虑显示尽管锻造的涂覆工件显示有一些开裂，但其严重开裂的发生率却显著低于锻造的未涂覆工件。在锻造的涂覆工件的通过捆线将E-玻璃毯固定至其的上面发生开裂，但据认为，在施加锻造力时捆线可能已将应力施加至工件，这可能已导致裂纹的形成。不具有表面涂层的锻造工件的较高的裂纹敏感性在表面上是可见的。

[0070] 实例2

[0071] 图8为绘制锻造操作中三个直径为6英寸的合金718锭工件在冷却过程中温度随时间变化的图。每个工件都允许在周围空气中冷却。使用嵌入式的热电偶测量每个工件的温度。在每个工件的下列位置中评估温度：在工件中心的表面上；在工件左区表面下方的0.5英寸处；以及在工件右区表面下方的0.5英寸处。将三个工件中的第一个包裹在经捆线被固定至工件的E-玻璃毯中。将包括ATP-790材料(可从Advanced Technical Products, Cincinnati, OH购得)的无机浆料刷涂至E-玻璃毯的外表面上。将第二工件表面的一部分包裹在E-玻璃毯以及1英寸厚的KAOWOOL陶瓷毯中。留下第三工件不进行覆盖。将工件加热到锻造温度，且位于第一和第二工件上的E-玻璃毯/无机浆料和E-玻璃毯/KAOWOOL毯分别形成被粘至工件的表面的位于工件上的表面涂层。

[0072] 如图8所示，表面涂层的存在显著地降低涂覆工件的冷却速率。据认为，降低冷却速率可减少在锻造、挤压或其他热加工操作中工件中表面开裂的发生率。不具有表面涂层的工件的冷却显著快于包括表面涂层的工件。在小于3小时的期间将未涂覆的工件从锻造温度(约1950°F)冷却至300°F至600°F(取决于温度测量位置)。图9为包括E-玻璃毯/KAOWOOL表面涂层的工件的照片。包括E-玻璃毯/ATP-790无机浆料表面涂层的工件的冷却快于包括E-玻璃毯/陶瓷毯表面涂层的工件。在约5至6小时的期间将包括E-玻璃毯/ATP-790无机浆料表面的工件从锻造温度冷却至400°F至600°F(取决于温度测量位置)。在超过12小时的期间将包括E-玻璃毯/陶瓷毯表面涂层的工件从锻造温度冷却至400°F至600°F。

[0073] 实例3

[0074] 将以718Plus[®]alloy(UNS号:N07818)制成的大体上为圆柱形的未涂覆锭的形式存在的合金工件从20英寸的直径热锻造成14英寸的直径。在锻造操作中工件扩展出大量的表面裂纹。将锻造工件车削至12英寸的直径以移除表面裂纹。然后，将车削的工件从12英寸热锻造成10英寸，且工件的一端在锻造中大规模地开裂。然后，通过喷丸对工件进行表面调节，且将工件的第一端从10英寸热锻造成6英寸。将E-玻璃毯包裹在周围并固定至锻造工件

的第二端，并将工件放入温度为 1950°F 的炉中并进行加热。E-玻璃毯在加热时在第二端形成表面涂层。图10为从炉中移除工件后部分锻造和部分涂覆的工件的照片。将包括表面涂层的一端从12英寸锻造成6英寸，允许对其进行冷却，并且然后进行喷丸以移除表面涂层。在锻造操作中将表面涂层粘至工件第二端的表面，从而减少源自第二端的热损失。图11为显示喷丸后工件的锻造未涂覆端(左照片)和工件的锻造涂覆端(右照片)的照片。喷丸后在锻造涂覆工件表面上的黑点为表面涂层的剩余部分。在图11中锻造未涂覆工件的照片中可明显地看出因锻造导致的表面开裂的显著发生率。与此相反，从图11中锻造涂覆工件的图片可明显地看出涂覆工件的开裂发生率有显著降低(即，显著降低的裂纹敏感性)。因此，认为无机涂层显著地降低了锻造中表面开裂的发生率。

[0075] 实例4

[0076] 在温度为 1500°F 的炉中对以直径为1.5英寸的大体上为圆柱形的钛Ti-6Al-4V合金(UNS号：R56400)锭为形式的合金工件加热1.5小时。在包括金属热加工范围为1400- 1850°F 的Oxylub-327材料(可从Advance Technical Products,Cincinnati,OH购得)的玻璃颗粒中对加热的工件进行滚轧。然后，再将工件放在炉中30分钟，且玻璃颗粒在加热操作中于工件上形成表面涂层。然后，在三个独立方向对涂覆的工件锻造三次。图12为锻造后工件的照片，且粘附表面涂层在照片中是显而易见的。表面涂层在锻造操作中被粘至工件的表面并减少了源自工件的热损失。

[0077] 除另有说明外，本文引用的所有文件都通过引用并入本文。任何文件的引用不得被解释为承认其为关于本发明的现有技术。当本文中术语的任何含义或定义与通过引用并入的文件中相同术语的任何含义或定义有一定程度的冲突时，以本文中术语的含义或定义为准。

[0078] 虽然已说明和描述了本发明的特定非限制性实施方案，但对本领域的技术人员来说显而易见的是，可在不脱离本发明的精神和范围的情况下进行各种变化和修改。因此，所附的权利要求书意在涵盖位于本发明范围之内的所有这种变化和修改。

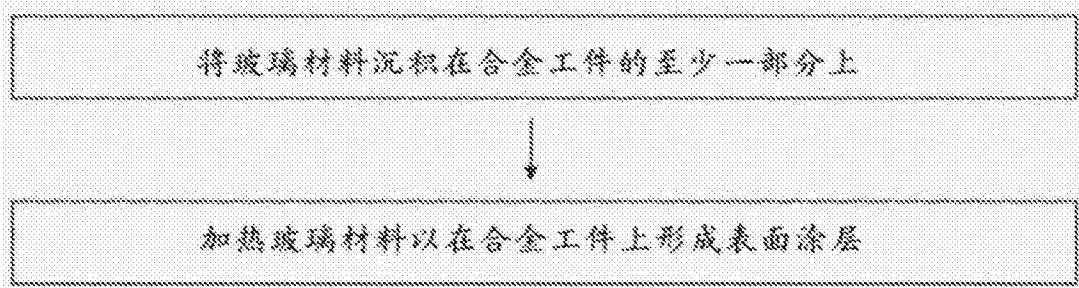


图1

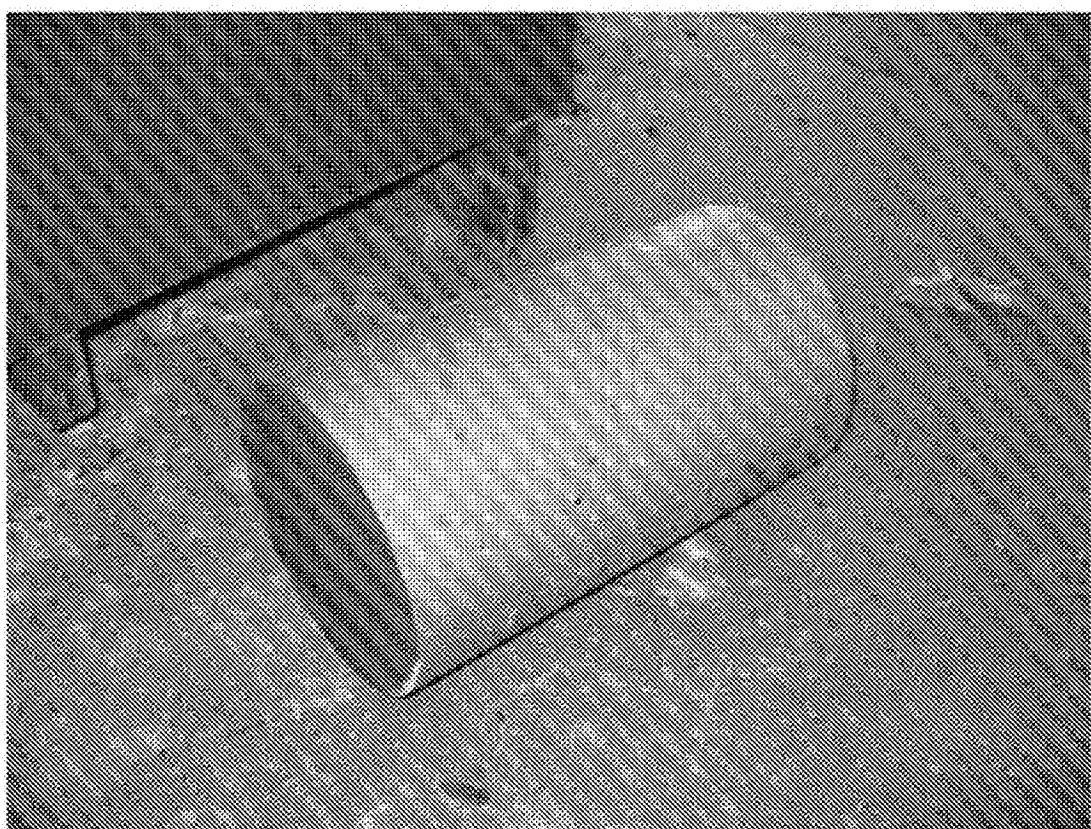


图2

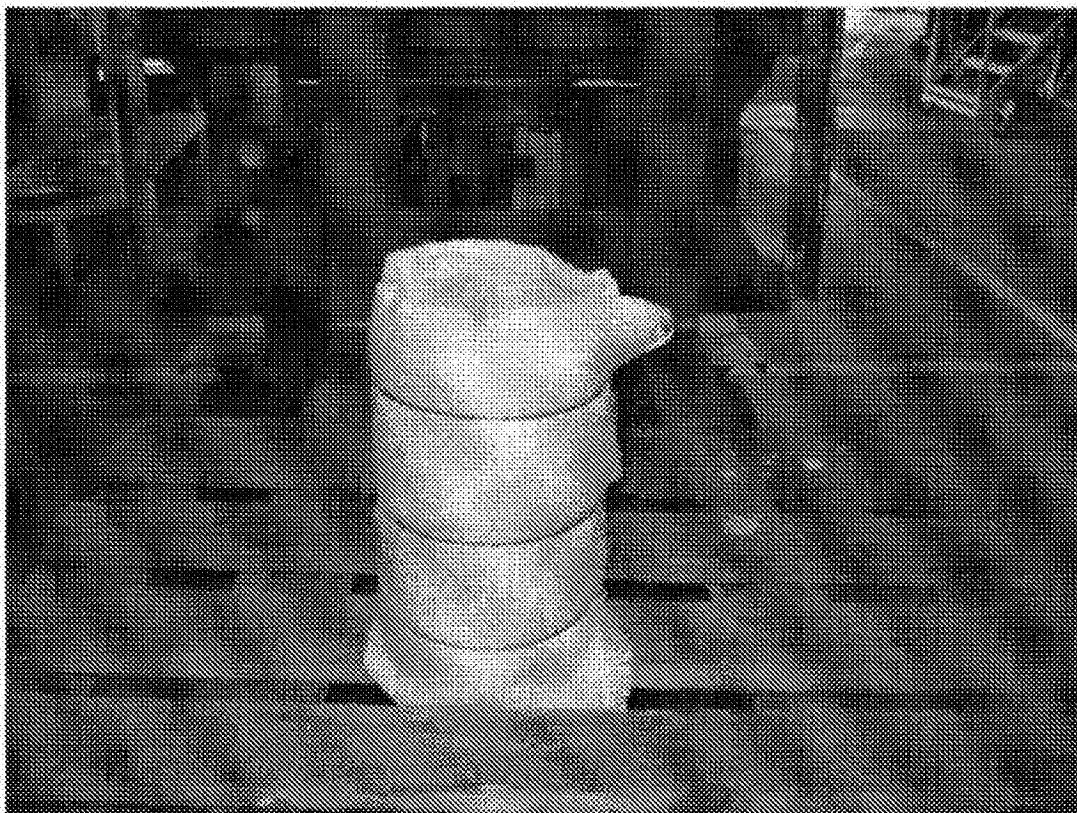


图3

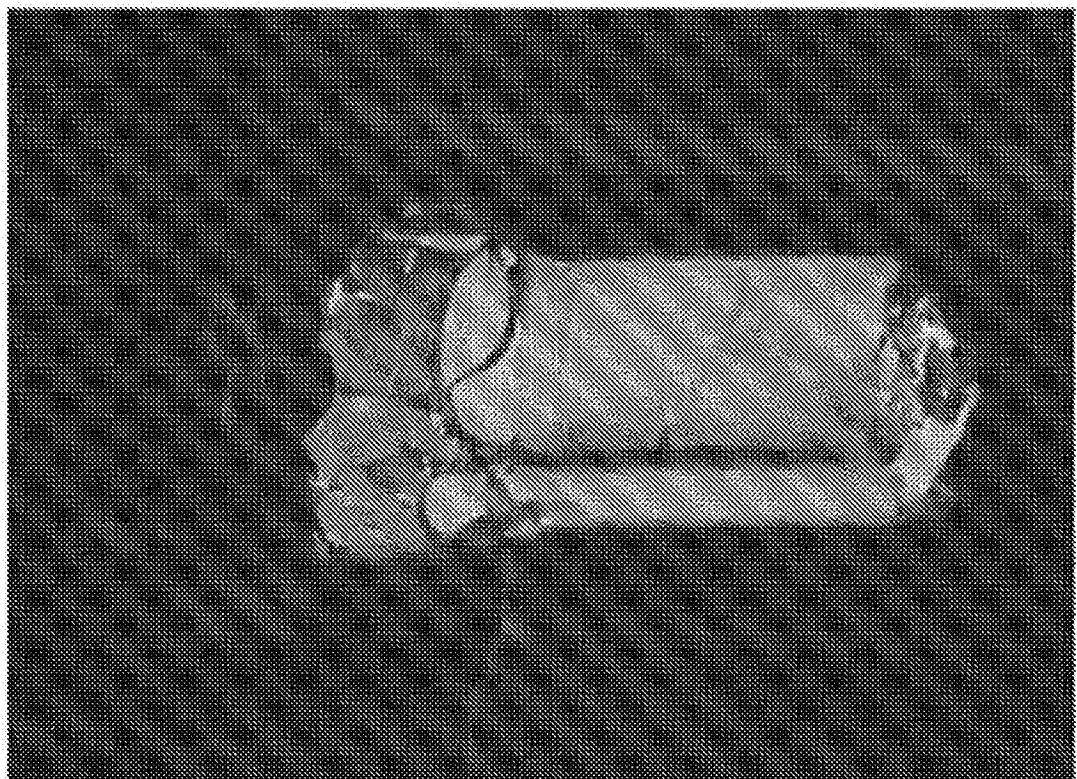


图4

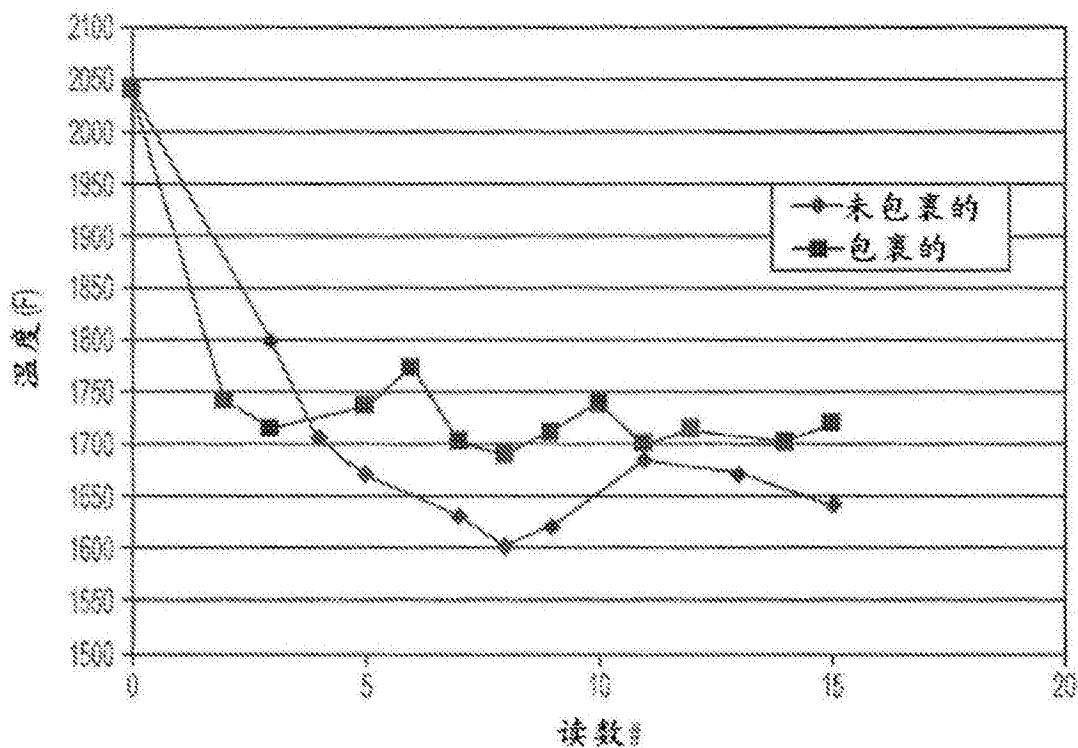


图5



图6

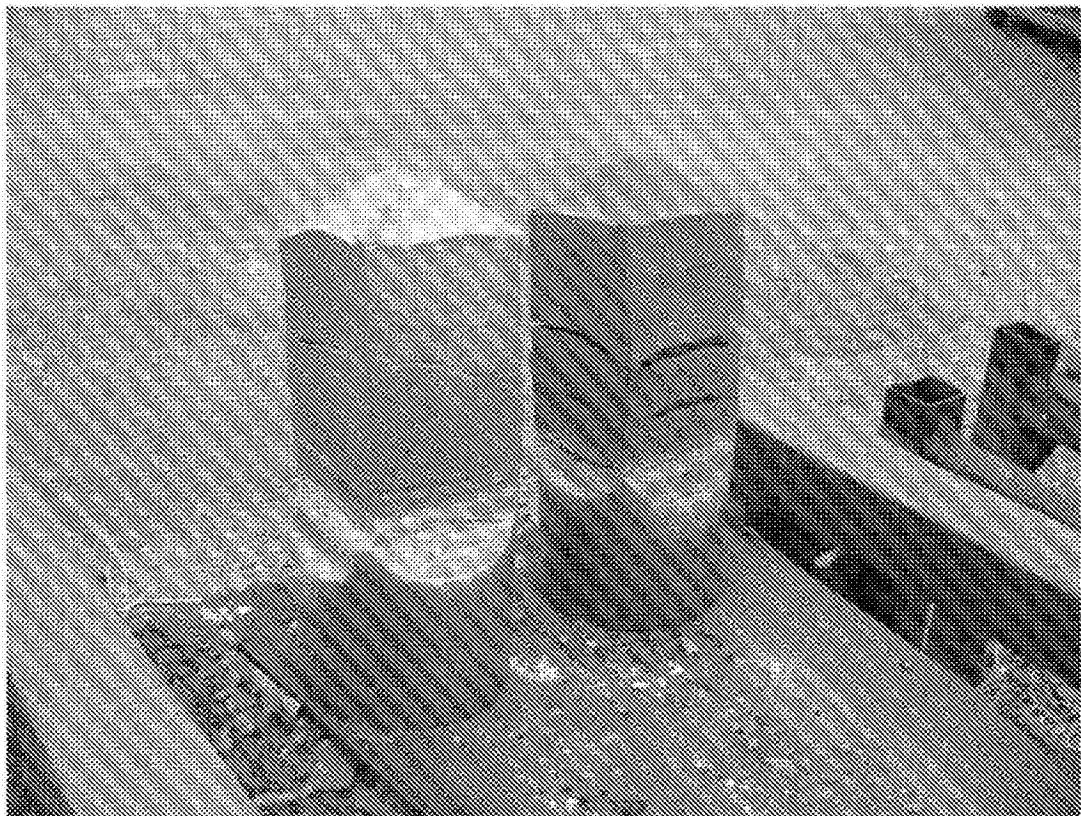


图7

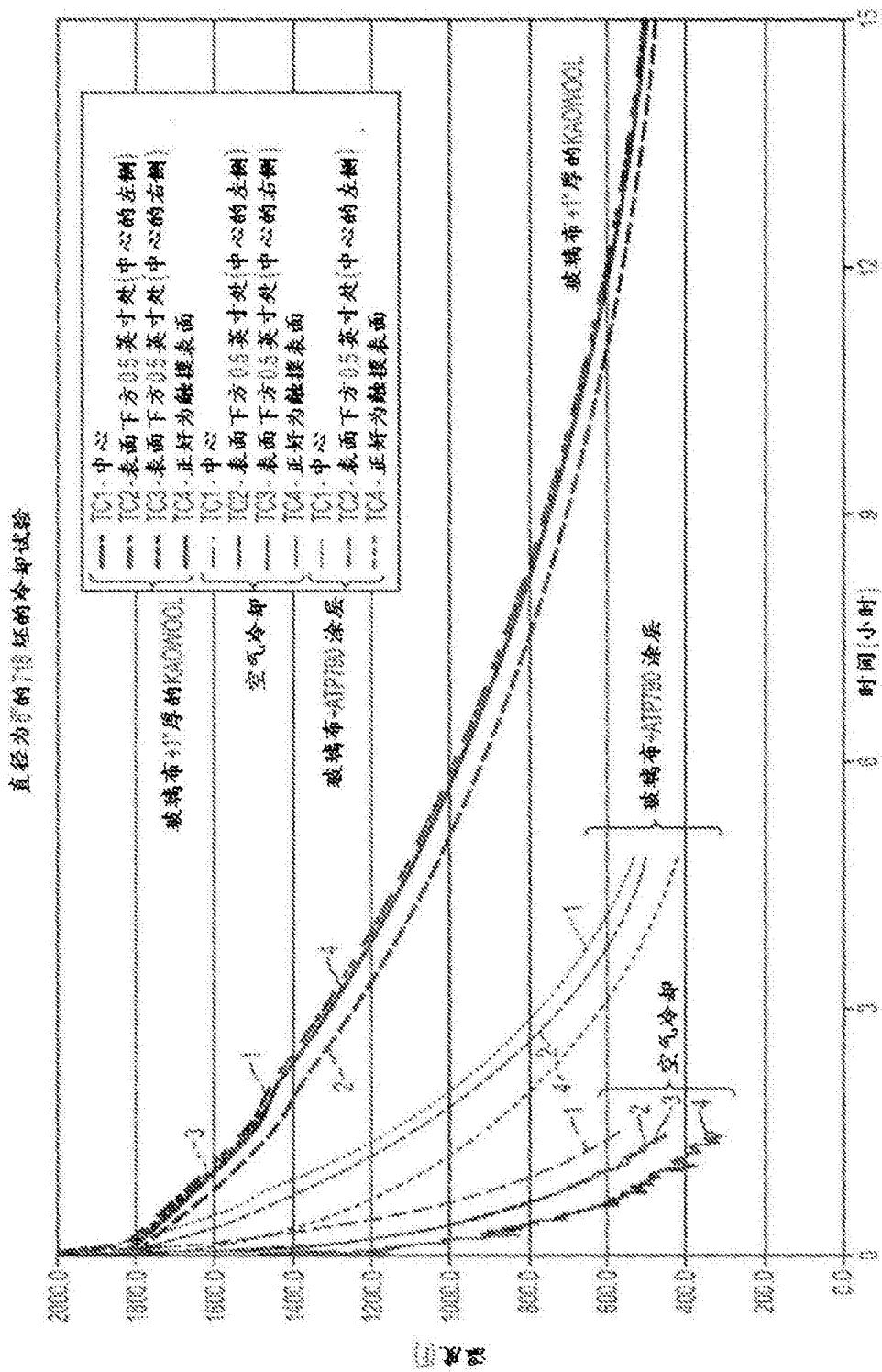


图 8

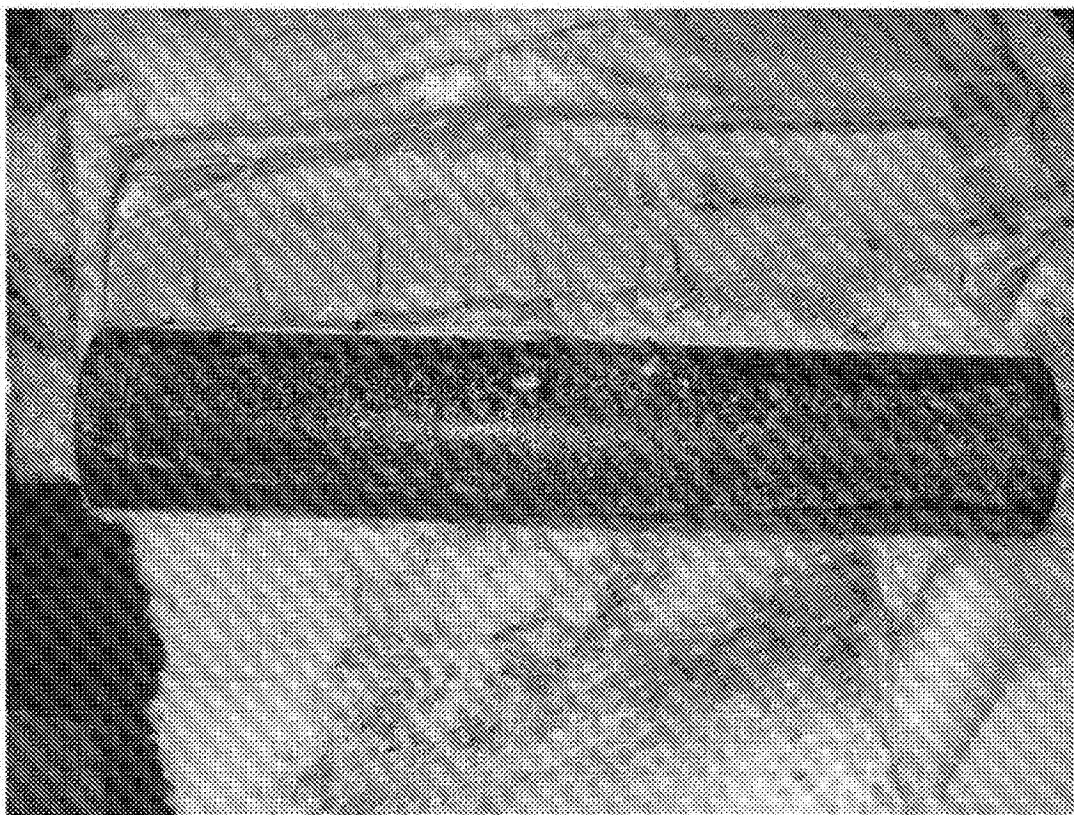


图9



图10

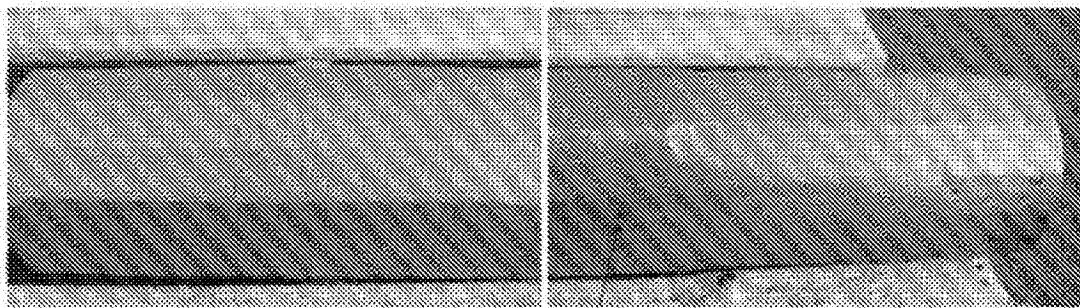


图11

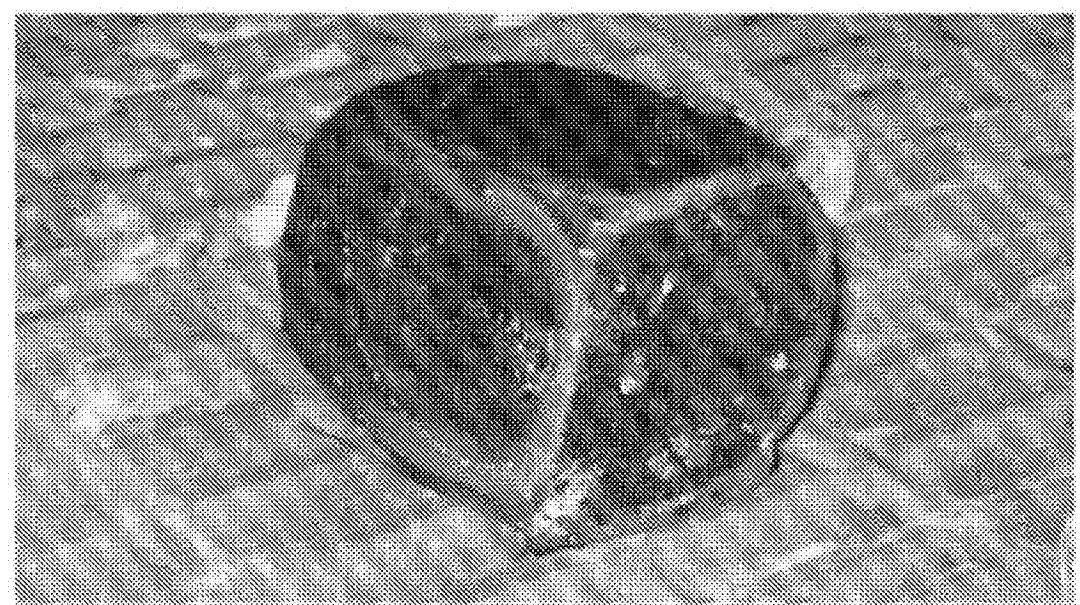


图12

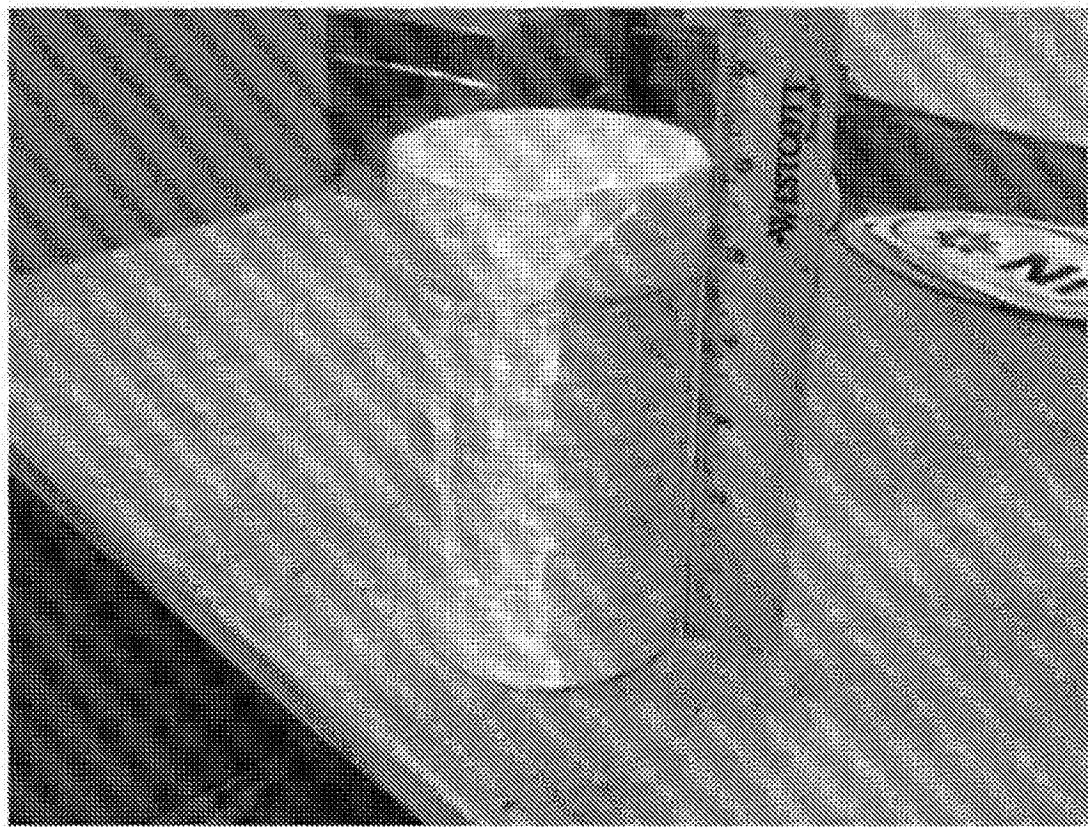


图13