



# (12)发明专利

(10)授权公告号 CN 107254627 B

(45)授权公告日 2019.12.27

(21)申请号 201710324611.5

(22)申请日 2014.02.17

(65)同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 107254627 A

(43)申请公布日 2017.10.17

(30)优先权数据  
13/792,285 2013.03.11 US

(62)分案原申请数据  
201480003206.8 2014.02.17

(73)专利权人 冶联科技地产有限责任公司  
地址 美国特拉华州

(72)发明人 罗宾·M·福布斯·琼斯  
乔治·J·小史密斯  
贾森·P·费罗德  
琼-菲利普·A·托马斯  
拉梅什·S·米尼桑德拉姆

(74)专利代理机构 北京律盟知识产权代理有限公司  
代理人 林斯凯

(51)Int.Cl.

C22C 38/02(2006.01)  
C22C 38/06(2006.01)  
C22C 38/42(2006.01)  
C22C 38/44(2006.01)  
C22C 38/46(2006.01)  
C22C 38/48(2006.01)  
C22C 38/50(2006.01)  
C22C 38/52(2006.01)  
C22C 38/54(2006.01)  
C22C 38/58(2006.01)  
B21J 1/02(2006.01)  
B21J 1/04(2006.01)  
B21J 5/02(2006.01)  
B21J 5/08(2006.01)  
B21J 7/14(2006.01)  
C21D 6/00(2006.01)  
C21D 7/13(2006.01)  
C21D 8/00(2006.01)

审查员 蔡旭东

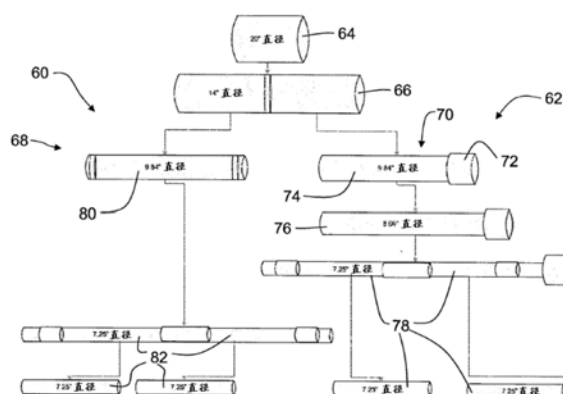
权利要求书3页 说明书17页 附图6页

## (54)发明名称

一种高强度非磁性抗腐蚀材料

## (57)摘要

本发明涉及一种高强度非磁性抗腐蚀材料。特别地,本发明涉及一种非磁性合金锻件,其包括具有大于5.25英寸的直径的圆形横截面,且其中所述非磁性合金锻件的至少一种机械性质在所述锻件的横截面上基本一致。



1. 一种非磁性合金工件,其包含:  
具有大于5.25英寸的直径的圆形横截面;和  
在所述工件的横截面上基本一致的至少一种机械性质;  
其中所述工件是通过包括中温加工开式模具压机锻造和中温加工径向锻造的方法制造,且在所述方法中,所述非磁性合金工件的中心区域应变和表面区域应变各自在0.3英寸/英寸至1.0英寸/英寸的范围内。
2. 如权利要求1所述的非磁性合金工件,其中所述非磁性合金工件包含非磁性不锈钢合金、镍合金、钴合金和铁合金中的一种。
3. 如权利要求1所述的非磁性合金工件,其中所述非磁性合金工件包含非磁性奥氏体不锈钢合金。
4. 如权利要求1所述的非磁性合金工件,其中所述机械性质为极限拉伸强度、屈服强度、伸长率和面积缩减率中的至少一种。
5. 如权利要求1所述的非磁性合金工件,其中所述圆形横截面的直径为至少7.25英寸。
6. 如权利要求1所述的非磁性合金工件,其中所述圆形横截面的直径在7.25英寸至12英寸范围内。
7. 如权利要求1所述的非磁性合金工件,其中所述合金工件为圆柱形合金工件。
8. 如权利要求1所述的非磁性合金工件,其中所述合金为具有如UNS N08367中陈列的组分的奥氏体不锈钢合金。
9. 如权利要求1所述的非磁性合金工件,其中所述合金为ATI Datalloy 2<sup>®</sup> 奥氏体不锈钢合金。
10. 如权利要求1所述的非磁性合金工件,其中所述合金的标称成分,以重量百分数计,包含0.03碳、0.30硅、15.1锰、15.3铬、2.1钼、2.3镍、0.4氮、偶存杂质,和余量的铁。
11. 如权利要求1所述的非磁性合金工件,其中所述合金为奥氏体合金,所述奥氏体合金包含铬、钴、铜、铁、锰、钼、镍、碳、氮、钨、偶存杂质和任选的痕量元素。
12. 如权利要求11所述的非磁性合金工件,其中所述合金还包含铝、硅、钛、硼、磷、硫、铌、钽、钒和锆中的至少一者。
13. 如权利要求1所述的非磁性合金工件,其中所述合金,以重量百分数计,包含最多0.2碳、最多20锰、0.1-1.0硅、14.0-28.0铬、15.0-38.0镍、2.0-9.0钼、0.1-3.0铜、0.08-0.9氮、0.1-5.0钨、0.5-5.0钴、最多1.0钛、最多0.05硼、最多0.05磷、最多0.05硫、铁和偶存杂质。
14. 如权利要求1所述的非磁性合金工件,其中所述合金,以重量百分数计,由以下组成:最多0.2碳、最多20锰、0.1-1.0硅、14.0-28.0铬、15.0-38.0镍、2.0-9.0钼、0.1-3.0铜、0.08-0.9氮、0.1-5.0钨、0.5-5.0钴、最多1.0钛、最多0.05硼、最多0.05磷、最多0.05硫、铁和偶存杂质。
15. 如权利要求1所述的非磁性合金工件,其中所述合金,以重量百分数计,包含最多0.05碳、1.0-9.0锰、0.1-1.0硅、18.0-26.0铬、19.0-37.0镍、3.0-7.0钼、0.4-2.5铜、0.1-0.55氮、0.2-3.0钨、0.8-3.5钴、最多0.6钛、不大于0.3的合并重量百分数的钶和钽、最多0.2钒、最多0.1铝、最多0.05硼、最多0.05磷、最多0.05硫、铁和偶存杂质。
16. 如权利要求1所述的非磁性合金工件,其中所述合金,以重量百分数计,由以下组

成：最多0.05碳、1.0-9.0锰、0.1-1.0硅、18.0-26.0铬、19.0-37.0镍、3.0-7.0钼、0.4-2.5铜、0.1-0.55氮、0.2-3.0钨、0.8-3.5钴、最多0.6钛、不大于0.3的合并重量百分数的钨和钼、最多0.2钒、最多0.1铝、最多0.05硼、最多0.05磷、最多0.05硫、铁和偶存杂质。

17. 如权利要求1所述的非磁性合金工件，其中所述合金，以重量百分数计，包含最多0.05碳、2.0-8.0锰、0.1-0.5硅、19.0-25.0铬、20.0-35.0镍、3.0-6.5钼、0.5-2.0铜、0.2-0.5氮、0.3-2.5钨、1.0-3.5钴、最多0.6钛、不大于0.3的合并重量百分数的钨和钼、最多0.2钒、最多0.1铝、最多0.05硼、最多0.05磷、最多0.05硫、铁和偶存杂质。

18. 如权利要求1所述的非磁性合金工件，其中所述合金，以重量百分数计，由以下组成：最多0.05碳、2.0-8.0锰、0.1-0.5硅、19.0-25.0铬、20.0-35.0镍、3.0-6.5钼、0.5-2.0铜、0.2-0.5氮、0.3-2.5钨、1.0-3.5钴、最多0.6钛、不大于0.3的合并重量百分数的钨和钼、最多0.2钒、最多0.1铝、最多0.05硼、最多0.05磷、最多0.05硫、铁和偶存杂质。

19. 如权利要求1所述的非磁性合金工件，其中所述合金具有小于1.01的磁导率值( $\mu_r$ )。

20. 如权利要求1所述的非磁性合金工件，其中所述合金具有小于1.005的磁导率值( $\mu_r$ )。

21. 如权利要求1所述的非磁性合金工件，其中所述合金具有小于1.001的磁导率值( $\mu_r$ )。

22. 如权利要求1所述的非磁性合金工件，其中所述合金不含铁氧体。

23. 一种圆柱形非磁性合金工件，其包含：

具有大于5.25英寸的直径的圆形横截面；

其中在对所述非磁性合金工件进行中温加工开式模具压机锻造和中温加工径向锻造之后，所述非磁性合金工件的中心区域应变和表面区域应变各自在0.3英寸/英寸至1.0英寸/英寸的范围内；

其中极限拉伸强度、屈服强度、伸长率和面积缩减率中的至少一种在所述工件的横截面上一致；以及

其中所述非磁性合金选自不锈钢合金、镍合金、钴合金和铁合金。

24. 如权利要求23所述的圆柱形非磁性合金工件，其中所述非磁性合金为非磁性奥氏体不锈钢合金。

25. 如权利要求24所述的圆柱形非磁性合金工件，其中所述合金具有小于1.01的磁导率值( $\mu_r$ )。

26. 如权利要求24所述的圆柱形非磁性合金工件，其中所述合金具有小于1.005的磁导率值( $\mu_r$ )。

27. 如权利要求25所述的圆柱形非磁性合金工件，其中所述合金具有小于1.001的磁导率值( $\mu_r$ )。

28. 如权利要求24所述的圆柱形非磁性合金工件，其中所述合金不含铁氧体。

29. 如权利要求23所述的圆柱形非磁性合金工件，其中所述合金为具有如UNS N08367中陈列的组分的奥氏体不锈钢合金。

30. 如权利要求23所述的圆柱形非磁性合金工件，其中所述合金，以重量百分数计，包含最多0.2碳、最多20锰、0.1-1.0硅、14.0-28.0铬、15.0-38.0镍、2.0-9.0钼、0.1-3.0铜、0.08-0.9氮、0.1-5.0钨、0.5-5.0钴、最多1.0钛、最多0.05硼、最多0.05磷、最多0.05硫、铁

和偶存杂质。

31. 如权利要求23所述的圆柱形非磁性合金工件,其中所述合金,以重量百分数计,由以下组成:最多0.2碳、最多20锰、0.1-1.0硅、14.0-28.0铬、15.0-38.0镍、2.0-9.0钼、0.1-3.0铜、0.08-0.9氮、0.1-5.0钨、0.5-5.0钴、最多1.0钛、最多0.05硼、最多0.05磷、最多0.05硫、铁和偶存杂质。

32. 根据权利要求1所述的非磁性合金工件,其所述中心区域应变与所述表面区域应变的差值不超过0.5英寸/英寸。

33. 如权利要求23所述的圆柱形非磁性合金工件,其中所述中心区域应变与所述表面区域应变的差值不超过0.5英寸/英寸。

## 一种高强度非磁性抗腐蚀材料

[0001] 本申请是申请日为2014年2月17日、申请号为201480003206.8、发明名称为“一种高强度非磁性抗腐蚀材料”的发明专利申请的分案申请。

### 技术领域

[0002] 本公开涉及加工高强度非磁性抗腐蚀合金的方法。本发明方法可在例如而不限于加工在化学、采矿、油气工业中使用的合金方面得到应用。本发明还涉及通过包括本文讨论的加工的方法制造的合金。

### 背景技术

[0003] 在化学加工设施中使用的金属合金部件可在苛刻条件下与高度腐蚀性和/或侵蚀性化合物接触。例如,这些条件可使金属合金部件经受高应力并大大促进腐蚀和侵蚀。如果必需替换化学加工设备的已损坏、磨损或腐蚀的金属部件,则可能需要中止设施操作一段时间。因此,延长在化学加工设施中使用的金属合金部件的有效使用寿命可降低产品成本。使用寿命可例如通过改进合金的机械性质和/或抗腐蚀性来延长。

[0004] 类似地,在油气钻井操作中,钻柱组件可能由于机械、化学和/或环境条件而降解。钻柱组件可能经受撞击、磨蚀、摩擦、热、磨损、侵蚀、腐蚀和/或沉积。常规合金可能遭受消极地影响它们作为钻柱组件的性能的一种或多种限制。例如,常规材料可能缺乏足够的机械性质(例如,屈服强度、拉伸强度和/或疲劳强度),具有不足的抗腐蚀性(例如,抗点蚀性和/或应力腐蚀裂纹),或缺乏在井下环境持续时间操作所必需的非磁性性质。并且,常规合金的性质可能限制由这些合金制造的钻柱组件的可能大小和形状。这些限制可缩短组件的使用寿命,使油气钻井复杂化并使其成本增加。

[0005] 已经发现,在中温加工径向锻造一些高强度非磁性材料以产生优选的强度期间,在工件的横截面中可能有不均匀变形或不均匀量的应变。该不均匀变形可例如表现为在锻件的表面与中心之间的硬度和/或拉伸性质的差异。例如,在锻件的表面观察到的硬度、屈服强度和拉伸强度可能比在锻件的中心观察到的硬度、屈服强度和拉伸强度大。认为这些差异与在径向锻造期间在工件的横截面的不同区域中产生的应变量的差异一致。

[0006] 一种促进在锻造棒的横截面中的一致硬度的方法是在直接老化或溶液处理并老化的条件下使用时效硬化材料,例如镍基超合金Alloy 718 (UNS N07718)。已经包括使用冷或中温加工以将硬度赋予合金的其它技术。已经使用该特定技术来硬化ATI Datalloy 2<sup>®</sup>合金 (UNS未指定),它是自Allegheny Technologies Incorporated, Pittsburgh, Pennsylvania USA购得的高强度非磁性奥氏体不锈钢。用以硬化ATI Datalloy 2<sup>®</sup>合金的最终热机械加工步骤包括在1075°F下中温加工该材料到在径向锻件的横截面积减缩约30%。利用称为“P-750合金”(UNS未指定)、来源于Schoeller-Bleckmann Oilfield Technology, Houston, Texas的高级合金钢的另一方法通常公开在美国专利6,764,647号中,其全部公开内容在此通过引用的方式并入本文中。将P-750合金在680-1094°F的温度下冷加工到横截面积缩减约6-19%,以获得在最终8-英寸坯段的横截面中相对均匀的硬度。

[0007] 在加工工件的横截面上生成一致硬度的另一方法是增加用以由工件制造棒的冷或中温加工的量。然而,这在具有等于或大于10英寸的成品直径的棒的情况下变得不切实际,因为起始尺寸会超过锭料的实际极限,而在这些极限下,可使锭料熔融,而不赋予有问题的与熔融有关的缺陷。应当注意,如果起始工件的直径足够小,则可消除应变梯度,在成品棒的横截面上产生一致的机械性质和硬度分布。

[0008] 将期望开发可对于任何起始尺寸的高强度非磁性合金锭料或工件使用的热机械方法,其在由该方法制造的棒或其它轧制产物的横截面上生成相对一致量的应变。在加工棒的横截面上生成相对恒定的应变分布还可在棒横截面上产生通常一致的机械性质。

## 发明内容

[0009] 根据本公开的一个非限制性方面,加工非磁性合金工件的方法包括:将所述工件加热到在中温加工温度范围内的温度;开式模具压机锻造所述工件以将期望的应变赋予所述工件的中心区域;和径向锻造所述工件以将期望的应变赋予所述工件的表面区域。在某些非限制性实施方案中,所述中温加工温度范围为跨越作为所述非磁性合金的初熔温度的三分之一的温度到作为所述非磁性合金的初熔温度的三分之二的温度的范围。在一个非限制性实施方案中,该中温加工温度为最多在其下在所述非磁性合金中不发生重结晶(动态或静态)的最高温度的任何温度。

[0010] 在根据本公开的加工非磁性合金工件的方法的某些非限制性实施方案中,所述方法的开式模具压机锻造步骤在所述径向锻造步骤之前。在根据本公开的加工非磁性合金工件的方法的其它非限制性实施方案中,所述径向锻造步骤在所述开式模具压机锻造步骤之前。

[0011] 可通过根据本公开的方法的实施方案加工的非磁性合金的非限制性实例包括非磁性不锈钢、镍合金、钴合金和铁合金。在某些非限制性实施方案中,非磁性奥氏体不锈钢合金使用根据本公开的方法的实施方案加工。

[0012] 在根据本公开的方法的某些非限制性实施方案中,在开式模具压机锻造和径向锻造的步骤之后,所述中心区域应变和所述表面区域应变各自在0.3英寸/英寸至1.0英寸/英寸的最终范围内,其中所述中心区域的应变与所述表面区域的应变的差值不超过0.5英寸/英寸。在根据本公开的方法的某些非限制性实施方案中,在开式模具压机锻造和径向锻造的步骤之后,所述中心区域应变和所述表面区域应变各自在0.3英寸/英寸至0.8英寸/英寸的最终范围内。在其它非限制性实施方案中,在开式模具压机锻造和径向锻造的步骤之后,所述表面区域应变基本上等于所述中心区域应变,并且所述工件在所述工件横截面上表现出至少一种基本一致的机械性质。

[0013] 根据本公开的另一方面,加工非磁性奥氏体不锈钢合金工件的方法的某些非限制性实施方案包括:将所述工件加热到在950°F-1150°F范围内的温度;开式模具压机锻造所述工件以将在0.3英寸/英寸至1.0英寸/英寸范围内的最终应变赋予所述工件的中心区域;和径向锻造所述工件以将在0.3英寸/英寸至1.0英寸/英寸范围内的最终应变赋予所述工件的表面区域,其中所述中心区域的应变与所述表面区域的应变的差值不超过0.5英寸/英寸。在某一非限制性实施方案中,所述方法包括:开式模具压机锻造所述工件以赋予在0.3英寸/英寸至0.8英寸/英寸范围内的最终应变。

[0014] 在一个非限制性实施方案中,所述开式模具压机锻造步骤在所述径向锻造步骤之前。在另一非限制性实施方案中,所述径向锻造步骤在所述开式模具压机锻造步骤之前。

[0015] 根据本公开的另一方面涉及非磁性合金锻件。在根据本公开的某些非限制性实施方案中,非磁性合金锻件包括具有大于5.25英寸的直径的圆形横截面,且其中所述非磁性合金锻件的至少一种机械性质在所述锻件的横截面上基本一致。在某些非限制性实施方案中,在所述锻件的横截面上基本一致的所述机械性质为硬度、极限拉伸强度、屈服强度、伸长率和面积缩减率中的至少一种。

[0016] 在某些非限制性实施方案中,根据本公开的非磁性合金锻件包含非磁性不锈钢、镍合金、钴合金和铁合金中的一种。在某些非限制性实施方案中,根据本公开的非磁性合金锻件包括非磁性奥氏体不锈钢合金锻件。

## 附图说明

[0017] 参考附图可更好地理解本文所述的设备和方法的特征和优势,其中:

[0018] 图1显示在径向锻造期间非磁性合金工件的工件横截面的应变分布的模拟;

[0019] 图2显示在开式模具压机锻造操作期间非磁性合金的工件的横截面的应变分布的模拟;

[0020] 图3显示在通过包括中温加工开式模具压机锻造步骤和中温加工径向锻造步骤的根据本公开的方法的一个非限制性实施方案加工的工件中的应变分布的模拟;

[0021] 图4为说明根据本公开的一个非限制性实施方案加工非磁性合金的方法的方面的流程图;

[0022] 图5为在关于根据本公开的一个非限制性实施方案的工件中表面区域和中心区域定位的示意图;及

[0023] 图6为工艺流程图,其说明在加工本文所述的实施例1的热熔物49FJ-1,2号中使用的步骤,包括作为最终加工步骤的开式模具压机锻造步骤和径向锻造步骤,并且还说明了仅包括作为最终加工步骤的径向锻造步骤的备选的现有技术工艺程序。

[0024] 读者在思考根据本公开的某些非限制性实施方案的以下详述后将了解上述细节及其它内容。

## 具体实施方式

[0025] 应当理解,对本文所述的实施方案的某些描述已经简化,以仅说明与清楚理解所公开的实施方案有关的那些要素、特征和方面,同时为了清楚起见取消了其它要素、特征和方面。本领域的普通技术人员在思考所公开的实施方案的发明描述后将认识到其它要素和/或特征可能在所公开的实施方案的特定实施或应用中是合乎期望的。然而,因为此类其它要素和/或特征可由本领域的普通技术人员在思考所公开的实施方案的发明描述后容易地确定并加以实施,且因此并不是全面理解所公开的实施方案所必需的,所以本文中并未提供对此类要素和/或特征的描述。因此,应当理解,本文陈述的描述仅仅是示例和说明所公开的实施方案,而无意限制仅由权利要求书限定的本发明的范围。

[0026] 本文列举的任何数值范围均旨在包括其中所含的所有子范围。例如,“1-10”或“从1到10”的范围旨在包括介于(且包括)所列举的最小值1与所列举的最大值10之间的所有子

范围,也就是说,具有等于或大于1的最小值和等于或小于10的最大值。本文所列举的任何最大数值限制均旨在包括其中所含的所有较小数值限制,且本文中所列举的任何最小数值限制均旨在包括其中所含的所有较大数值限制。因此,申请人保留修正本公开(包括权利要求书)的权利,以明确列举在本文中明确列举的范围内所含的任何子范围。所有此类范围均旨在固有地在本文中予以公开,以使得明确列举任何这些子范围的修正将符合美国法典第35篇112条第一段以及美国法典第35篇132条(a)款的要求。

[0027] 除非另外指明,否则本文使用的语法冠词“一个(种)”以及“该/所述”旨在包括“至少一个(种)”或“一个(种)或多个(种)”。因此,冠词在本文中用于指冠词的一个或多于一个(即,至少一个)的语法对象。例如,“一种组分”意指一种或多种组分,并因此可能的是,想到多于一种组分,并且可在所述实施方案的实施中采用或使用。

[0028] 除非另外指明,否则所有百分数和比率均基于合金组合物的总重量计算。

[0029] 据称是全部或部分地以引用的方式并入本文中的任何专利、出版物或其它公开材料仅以所并入的材料不与本发明中所述的现存定义、陈述或其它公开材料相抵触的程度并入本文中。因此且在必要的程度上,如本文所述的公开内容优先于以引用的方式并入本文的任何抵触材料。据称是以引用的方式并入本文但与本文所述的现存定义、陈述或其它公开材料相抵触的任何材料或其部分仅以在所并入材料与现存公开材料之间不产生抵触的程度并入。

[0030] 本公开包括对各种实施方案的描述。应当理解,本文所述的所有实施方案均为例示性的、说明性的和非限制性的。因此,本发明不受限于对各种例示性、说明性和非限制性实施方案的描述。相反,本发明仅由权利要求书限定,该权利要求书可经修正以叙述本发明中明确或固有地描述或者由本公开明确或固有地支持的任何特征。

[0031] 本文使用的术语“成型”、“锻造”、“开式模具压机锻造”和“径向锻造”是指热机械加工(“TMP”)的形式,其在本文中还可称作“热机械加工(thermomechanical working)”。“热机械加工”在本文中定义为通常涵盖组合受控热和变形处理以获得协同作用例如而不限于改进强度而不损失韧性的多种金属成型方法。热机械加工的该定义与在例如ASM材料工程词典(ASM Materials Engineering Dictionary),J.R.Davis编,ASM International (1992),第480页中归纳的含义一致。“开式模具压机锻造”在本文中定义为在模具之间锻造金属或金属合金,其中材料流动并不完全受机械或液压压力的约束,对于每一模具操作期间(die session)伴有压机的单一加工冲击。开式压模锻造的该定义与在例如ASM材料工程词典,J.R.Davis编,ASM International (1992),第298页和第343页中归纳的含义一致。“径向锻造”在本文中定义为使用两个或多个移动铁砧或模具以制造沿其长度具有恒定或变化的直径的锻件的工序。径向锻造的该定义与在例如ASM材料工程词典,J.R.Davis编,ASM International (1992),第354页中归纳的含义一致。冶金领域的普通技术人员将容易地理解这几个术语的含义。

[0032] 在化学加工、采矿和/或油气应用中使用的常规合金可能缺乏最佳程度的抗腐蚀性和/或最佳程度的一种或多种机械性质。如本文所述加工的合金的各种实施方案可具有优于常规加工的合金的某些优点,包括但不限于改进的抗腐蚀性和/或机械性质。例如,如本文所述加工的合金的某些实施方案可表现出一种或多种改进的机械性质,而抗腐蚀性无任何降低。如本文所述加工的合金的某些实施方案相对于某些常规加工的合金可表现出改



进的冲击性质、可焊接性、抗腐蚀疲劳性、抗磨蚀性和/或抗氢脆性。

[0033] 在各种实施方案中,如本文所述加工的合金可表现出适合在某些苛刻应用中使用的增强的抗腐蚀性和/或有利的机械性质。不希望受任何特定理论的束缚,据信如本文所述加工的合金可例如由于对由变形所致的应变硬化改进的反应而表现出较高的拉伸强度,同时还保留高抗腐蚀性。应变硬化或冷或中温加工可用于使通常对热处理反应不佳的材料硬化。然而,冷或中温加工结构的准确性质可取决于材料、施加的应变、应变速率和/或变形温度。

[0034] 制造用于勘探和钻井应用的非磁性材料的目前生产实践是将特定量的中温加工作为最后热机械加工步骤之一赋予产物。术语“非磁性”是指不受磁场影响或仅受磁场可忽略的影响的材料。如本文所述加工的非磁性合金的某些非限制性实施方案可以在特定范围内的磁导率值( $\mu_r$ )为特征。在各种非限制性实施方案中,根据本公开加工的合金的磁导率值可小于1.01,小于1.005和/或小于1.001。在各种实施方案中,该合金可基本不含铁氧体。

[0035] 本文使用的术语“中温加工”是指通过在低于在其下在材料中发生重结晶(动态或静态)的最低温度的温度下锻造来热机械加工金属或金属合金或使其变形。在一个非限制性实施方案中,中温加工在跨越作为该合金的初熔温度的三分之一的温度到作为该合金的初熔温度的三分之二的温度的中温加工温度范围内完成。应该认识到,中温加工温度范围的下限仅受限于开式模具压机锻造和旋转锻造设备在所期望的锻造温度下使非磁性合金工件变形的能力。在一个非限制性实施方案中,该中温加工温度为最多在其下在该非磁性合金中不发生重结晶(动态或静态)的最高温度的任何温度。在该实施方案中,本文使用的术语中温加工涵盖并包括在小于该材料的初熔温度的三分之一的温度下加工,该温度包括室温或周围温度和低于周围温度的温度。在一个非限制性实施方案中,本文使用的中温加工包括在跨越作为该合金的初熔温度的三分之一的温度到作为该合金的初熔温度的三分之二的温度的范围内的温度下锻造工件。在另一非限制性实施方案中,该中温加工温度包括最多在其下在该非磁性合金中不发生重结晶(动态或静态)的最高温度的任何温度。在该实施方案中,本文使用的术语“中温加工”涵盖并包括在小于该材料的初熔温度的三分之一的温度下锻造,该温度包括室温或周围温度和低于周围温度的温度。该中温加工步骤将对于预定应用来说足够的强度赋予合金工件。在当前生产实践中,合金的中温加工热机械加工以单一步骤对径向锻件进行。在单一径向锻造步骤中,将该工件对径向锻件多道次进行而从初始尺寸中温加工到最终锻造尺寸,而无需从锻造设备中移出工件,并且在该单步骤的锻造道次中间无需退火处理。

[0036] 本发明人已经发现,在中温加工径向锻造高强度非磁性奥氏体材料以产生期望的强度期间,情况常常是工件不均匀地变形和/或赋予工件的应变在工件横截面上不一致。该不均匀变形可例如作为在工件的表面与中心之间的硬度和/或拉伸性质的差异而观察到。通常观察到硬度、屈服强度和拉伸强度在工件表面处比在工件中心处大。认为这些差异与在径向锻造期间在工件的横截面的不同区域中产生的应变量的差异一致。在仅中温加工径向锻造的合金工件的表面区域和中心区域之间的机械性质和硬度方面的差异可在表1中提供的试验数据中见到。所有试验样品都是非磁性奥氏体不锈钢,并且每种热熔物的化学组成提供在下表2中。在表1中列出的所有试验样品都在1025°F下中温加工径向锻造,这作为施用到样品的最后热机械加工步骤,之后测量在表1中列出的性质。

[0037]

表1(现有技术)								
热熔物	最终退火和锻造步骤	方向和试	总变形	最终直径	屈服强	极限拉伸	伸长率	面积缩
编号		验区域	(%)	(英寸)	度(ksi)	强度(ksi)		减率
47FJ-1	没有退火；在1025°F下 径向锻造	长-MR 横向	35	7.25	152.4	169.6	32.6	70.0
			35	7.25	127.6	148.4	28.5	57.5
49FJ-2	没有退火；在1025°F下 径向锻造	长-MR 横向	35	7.25	167.7	183.2	23.8	71.8
			35	7.25	114.8	140.1	26.9	61.0
47FJ-1,2	在2150°F下退火；水淬 ；在1025°F下径向锻造	长-MR 横向	45	7.25	172.7	188.9	18.0	62.5
			45	7.25	140.0	153.9	18.0	50.8
49FJ-4	在2150°F下退火；水淬 ；在1025°F下径向锻造	长-NS 横向	45	7.25	156.9	170.1	30.6	67.3
			45	7.25	148.1	161.9	28.8	58.8
01FM-1	在2150°F下退火；水淬 ；在1025°F下径向锻造 到7.5英寸；再加热1025 °F；在1025°F下径向锻 造到5.25英寸	长-NS 长-C	72	5.25	182.2	200.6	23.4	62.7
			72	5.25	201.3	214.0	19.8	52.1

[0038]

[0039] 关键词：长-MR=长中半径；表面区域

[0040] 横向=横向，在中心区域的试样标距长度

[0041] 长-NS=纵向，近表面区域

[0042] 长-C=长中心；中心区域

[0043] 图1显示使用市售可得的差示有限元软件制备的计算机产生的模拟，其模拟金属的热机械加工。具体地，图1显示在作为最终加工步骤的径向锻造之后在镍合金的棒状工件的横截面中的应变分布的模拟10。图1在本文中简单地提供以说明本发明方法的一个非限制性实施方案，其中使用压机锻造和旋转锻造的组合来平衡或近似在中温加工的材料横截面中的某些性质（例如，硬度和/或机械性质）。图1显示，与在径向锻造工件的中心区域相比，在径向锻造工件的表面区域中存在显著更大的应变。因而，在径向锻造工件中的应变在工件横截面上不同，其中在表面区域中的应变比在中心区域中的应变大。

[0044] 本公开的一方面涉及改性包括作为最后热机械步骤的中温加工径向锻造的加工非磁性合金工件的常规方法，从而包括中温加工开式模具压机锻造步骤。图2显示在开式模具压机锻造操作之后在镍合金工件的横截面中的应变分布的计算机产生的模拟20。在开式模具压机锻造之后生成的应变分布通常为在图1中说明的径向锻造操作之后生成的应变分布的逆转。图2显示，与在开式模具压机锻造工件的表面区域中相比，在开式模具压机锻造工件的中心区域中通常存在更大的应变。因而，在开式模具压机锻造工件中的应变在工件横截面上不同，其中在中心区域中的应变比在表面区域中的应变大。

[0045] 本公开的图3显示在工件横截面上的应变分布的计算机产生的模拟30，其说明根据本公开的方法的某些非限制性实施方案的方面。在图3中所示的模拟说明在通过包括中温加工开式模具压机锻造步骤和中温加工径向锻造步骤的热机械加工方法在镍合金工件的横截面中生成的应变。从图3中观察到自该方法预测的应变分布在工件的横截面上基本一致。因此，包括中温加工开式模具压机锻造步骤和中温加工径向锻造步骤的方法可生成如下锻造制品，其中应变在锻造制品的中心区域中和在锻造制品的表面区域中通常相同。

[0046] 参考图4，根据本公开的一方面，用于加工非磁性合金工件的非限制性方法40包括将工件加热42到在中温加工温度范围内的温度，开式模具压机锻造44该工件以将期望的应

变赋予该工件的中心区域。在一个非限制性实施方案中,将该工件开式模具压机锻造以在中心区域赋予在0.3英寸/英寸至1.0英寸/英寸范围内的期望应变。在另一非限制性实施方案中,将该工件开式模具压机锻造以在中心区域赋予在0.3英寸/英寸至0.8英寸/英寸范围内的期望应变。

[0047] 随后将该工件径向锻造46以将期望的应变赋予该工件的表面区域。在一个非限制性实施方案中,将该工件径向锻造以在表面区域赋予在0.3英寸/英寸至1.0英寸/英寸范围内的期望应变。在另一非限制性实施方案中,将该工件径向锻造以在表面区域赋予在0.3英寸/英寸至0.8英寸/英寸范围内的期望应变。

[0048] 在一个非限制性实施方案中,在开式模具压机锻造和径向锻造之后,赋予该中心区域的应变和赋予该表面区域的应变各自在0.3英寸/英寸至1.0英寸/英寸范围内,且该中心区域的应变与该表面区域的应变的差值不超过0.5英寸/英寸。在另一非限制性实施方案中,在开式模具压机锻造和径向锻造的步骤之后,赋予该中心区域的应变和赋予表面区域的应变各自在0.3英寸/英寸至0.8英寸/英寸的范围内。普通技术人员知晓或将能够容易地确定实现期望的相应应变所需要的开式模具压机锻造和径向锻造参数,且在本文中不必讨论个别锻造步骤的操作参数。

[0049] 在某些非限制性实施方案中,工件的“表面区域”包括在工件的表面与从表面到工件中心的距离的约30%的深度之间的材料体积。在某些非限制性实施方案中,工件的“表面区域”包括在工件的表面与从表面到工件中心的距离的约40%或在某些实施方案中约50%的深度之间的材料体积。普通技术人员应了解,为了鉴定“表面区域”,如何构造工件的“中心”,以具有特定的形状。例如,细长的圆柱形工件将具有中心纵轴,且该工件的表面区域将从工件的外周弯曲表面在中心纵轴方向上延伸。并且,例如,具有与工件的纵轴垂直的正方形或矩形横截面的细长工件将具有“面对”中心纵轴的四个不同的周边,并且各面的表面区域将从该面的表面在中心轴和对置面的一般方向上延伸到工件中。并且,例如,板状工件将具有距在工件内的中间轴面通常等距的两个大原始对置面,并且各原始面的表面区域从该面的表面朝向中间轴面和对置原始面延伸到工件中。

[0050] 在某些非限制性实施方案中,工件的“中心区域”包括构成该工件的材料的约70体积%的中心定位的材料体积。在某些非限制性实施方案中,工件的“中心区域”包括构成该工件的材料的约60体积%或约50体积%的中心定位的材料体积。图5示意性说明细长圆柱形锻造棒50的未按比例绘制的横截面,其中该部分与工件的中心轴成90度得到。根据本公开的一个非限制性实施方案,其中锻造棒50的直径52为约12英寸,表面区域56和中心区域58各自包含在横截面中(和在工件中)的材料的约50体积%,并且其中该中心区域的直径为约4.24英寸。

[0051] 在该方法的另一非限制性实施方案中,在开式模具压机锻造和径向锻造步骤之后,在该工件的表面区域内的应变基本上等于在该工件的中心区域内的应变。如本文使用,当在这些区域之间的应变相差小于20%、或小于15%、或小于5%时,在该工件的表面区域内的应变“基本上等于”在该工件的中心区域内的应变。在根据本公开的方法的实施方案中组合使用开式模具压机锻造和径向锻造可制造在最终锻造工件的横截面中具有基本相等的应变的工件。在这样的锻造工件中的应变分布的结果在于该工件可具有在工件横截面中和/或在工件的表面区域和中心区域之间基本一致的一种或多种机械性质。如本文使用,当

在这些区域之间的一种或多种机械性质相差小于20%、或小于15%、或小于5%时,在该工件的表面区域内的一种或多种机械性质与在该工件的中心区域内的一种或多种性质“基本一致”。

[0052] 据信,首先进行中温加工开式模具压机锻造步骤44,还是首先进行中温加工径向锻造步骤46,这对应应变分布和随后的机械性质并不是决定性的。在某些非限制性实施方案中,开式模具压机锻造44步骤在径向锻造46步骤之前。在其它非限制性实施方案中,径向锻造46步骤在开式模具压机锻造44步骤之前。应理解,可利用由开式模具压机锻造步骤44和径向锻造步骤46组成的多个循环,以在最终锻造制品的横截面上获得期望的应变分布和期望的一种或多种机械性质。然而,多个循环包括额外的费用。据信,通常不必进行径向锻造和开式模具压机锻造步骤的多个循环来在工件的横截面上获得基本相等的应变分布。

[0053] 在根据本公开的方法的某些非限制性实施方案中,可将该工件从第一锻造设备,即径向锻造和开式模具压机锻造中的一种,直接转移到第二锻造设备,即径向锻造和开式模具压机锻造中的另一种。在某些非限制性实施方案中,在第一中温加工锻造步骤(即,径向锻造或开式模具压机锻造)之后,可将工件冷却到室温,且随后在第二中温加工锻造步骤之前再次加热到中温加工温度,或备选地,可将工件从第一锻造设备径直转移到再热炉,以便再次加热用于第二中温加工锻造步骤。

[0054] 在非限制性实施方案中,使用本公开的方法加工的非磁性合金为非磁性不锈钢。在某一非限制性实施方案中,使用本公开的方法加工的非磁性不锈钢为非磁性奥氏体不锈钢合金。在某些非限制性实施方案中,当应用该方法来加工非磁性奥氏体不锈钢合金时,在其下进行径向锻造和开式模具压机锻造步骤的温度范围为950°F-1150°F。

[0055] 在某些非限制性实施方案中,在将该工件加热到该中温加工温度之前,可将该工件退火或均质化以促进中温加工锻造步骤。在一个非限制性实施方案中,当该工件包含非磁性奥氏体不锈钢合金时,将该工件在1850°F-2300°F范围的温度下退火,并在该退火温度下加热1分钟至10小时。在某些非限制性实施方案中,将该工件加热到该中温加工温度包括允许该工件从该退火温度冷却到该中温加工温度。如本领域的普通技术人员将容易地显而易见,溶解可在热加工期间在特定的工件中形成的有害 $\sigma$ 沉淀物所必需的退火时间将取决于退火温度;退火温度越高,溶解所形成的任何有害 $\sigma$ 沉淀物所需要的时间越短。普通技术人员将能够对于特定的工件确定合适的退火温度和时间,而无需过度的工作。

[0056] 已经注意到,当已经根据本公开的方法中温加工锻造的工件的直径为约5.25英寸或更小时,可能没有观察到在锻造工件的中心区域中的材料和在锻造工件的表面区域中的材料之间的应变和某些继起机械性质方面的显著差异(参见表1)。在根据本发明的某些非限制性实施方案中,已经使用本发明方法加工的锻造工件通常为圆柱形且包含通常圆形的横截面。在某些非限制性实施方案中,已经使用本发明方法加工的锻造工件通常为圆柱形且包含具有不大于5.25英寸的直径的圆形横截面。在某些非限制性实施方案中,已经使用本发明方法加工的锻造工件通常为圆柱形,且在根据本发明中温加工锻造之后包含具有不大于5.25英寸或至少7.25英寸或7.25英寸至12.0英寸的直径的圆形横截面。

[0057] 本公开的另一方面涉及加工非磁性奥氏体不锈钢合金工件的方法,该方法包括:将该工件加热到在950°F-1150°F的温度范围的中温加工温度;开式模具压机锻造该工件以将在0.3英寸/英寸和1.0英寸/英寸之间或在0.3英寸/英寸和0.8英寸/英寸之间的最终应

变赋予该工件的中心区域;和径向锻造该工件以将在0.3英寸/英寸和1.0英寸/英寸之间或在0.3英寸/英寸和0.8英寸/英寸之间的最终应变赋予该工件的表面区域。在一个非限制性实施方案中,在开式压模锻造和径向锻造该工件之后,在中心区域和表面区域中的最终应变的差值为最多0.5英寸/英寸。在其它非限制性实施方案中,在这些区域之间的应变相差小于20%,或小于15%,或小于5%。在该方法的非限制性实施方案中,该开式模具压机锻造步骤在该径向锻造步骤之前。在该方法的其它非限制性实施方案中,该径向锻造步骤在该开式模具压机锻造步骤之前。

[0058] 根据本公开加工非磁性奥氏体不锈钢合金工件的方法还可包括在将该工件加热到该中温加工温度之前使该工件退火。在一个非限制性实施方案中,可将该非磁性奥氏体不锈钢合金工件在1850°F-2300°F温度范围内的退火温度下退火,并且退火时间可在1分钟至10小时范围内。在又一非限制性实施方案中,将该非磁性奥氏体不锈钢合金工件加热到该中温加工温度的步骤可包括允许该工件从该退火温度冷却到该中温加工温度。

[0059] 如上讨论,已经注意到,当已经根据本公开的方法中温加工锻造的工件的直径大约为例如5.25英寸或更小时,可能没有观察到在锻造工件的中心区域中的材料和在锻造工件的表面区域中的材料之间的应变和某些继起机械性质方面的显著差异。在根据本公开的某些非限制性实施方案中,已经使用本发明方法加工的锻造工件为通常圆柱形的非磁性奥氏体不锈钢合金工件且包含通常圆形的横截面。在某些非限制性实施方案中,已经使用本发明方法加工的锻造工件为通常圆柱形的非磁性奥氏体不锈钢合金工件且包含具有不大于5.25英寸的直径的圆形横截面。在某些非限制性实施方案中,已经使用本发明方法加工的锻造工件为通常圆柱形的非磁性奥氏体不锈钢合金工件,且在根据本公开的中温加工锻造之后包含具有不大于5.25英寸或至少7.25英寸或7.25英寸至12.0英寸的直径的圆形横截面。

[0060] 根据本公开的又一方面涉及非磁性合金锻件。在一个非限制性实施方案中,根据本公开的非磁性合金锻件包含具有大于5.25英寸的直径的圆形横截面。该非磁性合金锻件的至少一种机械性质在该锻件的横截面上基本一致。在非限制性实施方案中,该基本一致的机械性质包括硬度、极限拉伸强度、屈服强度、伸长率和面积缩减率中的一种或多种。

[0061] 应认识到,虽然本发明的非限制性实施方案涉及提供在锻造工件的横截面上基本相等的应变和至少一种基本一致的机械性质的方法,但是径向锻造与开式压模锻造组合实施可用以在工件的中心区域赋予应变,使该应变与通过该方法在工件的表面区域中赋予的应变的差异处于期望的程度。例如,参考图3,在非限制性实施方案中,在开式模具压机锻造44和径向锻造46的步骤之后,可有意地使在表面区域中的应变大于在工件的中心区域中的应变。根据本公开的方法,其中由该方法赋予的相对应变以此方式而不同,可高度有益于使在机械加工最终部件中的复杂情况最小化,如果硬度和/或机械性质在该部件的不同区域中不同,则可能出现该复杂情况。或者,在非限制性实施方案中,在开式模具压机锻造44和径向锻造46的步骤之后,可有意地使在表面区域中的应变小于在工件的中心区域中的应变。并且,在根据本公开的方法的某些非限制性实施方案中,在开式模具压机锻造44和径向锻造46的步骤之后,该工件包括从工件的表面区域到中心区域的应变梯度。在这样的情况下,所赋予的应变可随着距工件的中心的距离增加而增加或减小。根据本公开的方法,其中将应变梯度赋予最终锻造工件,在各种应用中可为有利的。

[0062] 在各种非限制性实施方案中,根据本公开的非磁性合金锻件可选自非磁性不锈钢、镍合金、钴合金和铁合金。在某些非限制性实施方案中,根据本公开的非磁性合金锻件包含非磁性奥氏体不锈钢合金。

[0063] 可通过根据本公开的方法加工并呈现在根据本公开的锻造制品中的旨在用于油气工业中的勘探和生产钻井应用的一种高强度非磁性奥氏体不锈钢的广泛化学组成公开在2011年12月20日提交的同时待审的美国专利申请13/331,135号中,其通过引用全文结合到本文中。

[0064] 可通过根据本公开的方法加工并呈现在根据本公开的锻造制品中的用于油气工业中的勘探和发现应用的高度抗腐蚀、高强度的材料的一个具体实例为AL-6XN<sup>®</sup>合金(UNS N08367),其为自Allegheny Technologies Incorporated,Pittsburgh,Pennsylvania USA得到的铁基奥氏体不锈钢合金。根据本公开的两步中温加工锻造方法可用于AL-6XN<sup>®</sup>合金,以将高强度赋予该材料。

[0065] 可通过根据本公开的方法加工并呈现在根据本公开的锻造制品中的用于油气工业中的勘探和发现应用的高度抗腐蚀、高强度的材料的另一具体实例为ATI Datalloy 2<sup>®</sup>合金(未经UNS指定),其为高强度的非磁性奥氏体不锈钢,其自Allegheny Technologies Incorporated,Pittsburgh,Pennsylvania USA得到。以基于合金总重量计的重量百分数表示,ATI Datalloy 2<sup>®</sup>合金的标称成分为0.03碳、0.30硅、15.1锰、15.3铬、2.1钼、2.3镍、0.4氮,剩余部分为铁和偶存杂质。

[0066] 在某些非限制性实施方案中,可通过根据本公开的方法加工并呈现在根据本公开的锻造制品中的合金为奥氏体合金,其包含以下物质、基本上由以下物质组成或由以下物质组成:铬、钴、铜、铁、锰、钼、镍、碳、氮、钨和偶存杂质。在某些非限制性实施方案中,该奥氏体合金任选还包含铝、硅、钛、硼、磷、硫、铌、钽、钇、钒和锆中的一种或多种作为痕量元素或偶存杂质。

[0067] 并且,根据各种非限制性实施方案,可通过根据本公开的方法加工并呈现在根据本公开的锻造制品中奥氏体合金包含以下物质、基本上由以下物质组成或由以下物质组成:以基于合金总重量计的重量百分数表示,最多0.2碳、最多20锰、0.1-1.0硅、14.0-28.0铬、15.0-38.0镍、2.0-9.0钼、0.1-3.0铜、0.08-0.9氮、0.1-5.0钨、0.5-5.0钴、最多1.0钛、最多0.05硼、最多0.05磷、最多0.05硫、铁和偶存杂质。

[0068] 另外,根据各种非限制性实施方案,可通过根据本公开的方法加工并呈现在根据本公开的锻造制品中的奥氏体合金包含以下物质、基本上由以下物质组成或由以下物质组成:以基于合金总重量计的重量百分数表示,最多0.05碳、1.0-9.0锰、0.1-1.0硅、18.0-26.0铬、19.0-37.0镍、3.0-7.0钼、0.4-2.5铜、0.1-0.55氮、0.2-3.0钨、0.8-3.5钴、最多0.6钛、不大于0.3的合并重量百分数的钨和钽、最多0.2钒、最多0.1铝、最多0.05硼、最多0.05磷、最多0.05硫、铁和偶存杂质。

[0069] 同时,根据各种非限制性实施方案,可通过根据本公开的方法加工并呈现在根据本公开的锻造制品中的奥氏体合金可包含以下物质、基本上由以下物质组成或由以下物质组成:以基于合金总重量计的重量百分数表示,最多0.05碳、2.0-8.0锰、0.1-0.5硅、19.0-25.0铬、20.0-35.0镍、3.0-6.5钼、0.5-2.0铜、0.2-0.5氮、0.3-2.5钨、1.0-3.5钴、最多0.6

钛、不大于0.3的合并重量百分数的钶和钽、最多0.2钒、最多0.1铝、最多0.05硼、最多0.05磷、最多0.05硫、铁和偶存杂质。

[0070] 在各种非限制性实施方案中,可通过根据本公开的方法加工并呈现在根据本公开的锻造制品中的奥氏体合金包含任何以下重量百分数范围的碳:最多2.0;最多0.8;最多0.2;最多0.08;最多0.05;最多0.03;0.005-2.0;0.01-2.0;0.01-1.0;0.01-0.8;0.01-0.08;0.01-0.05;和0.005-0.01。

[0071] 在各种非限制性实施方案中,可通过根据本公开的方法加工并呈现在根据本公开的锻造制品中的奥氏体合金包含任何以下重量百分数范围的锰:最多20.0;最多10.0;1.0-20.0;1.0-10;1.0-9.0;2.0-8.0;2.0-7.0;2.0-6.0;3.5-6.5;和4.0-6.0。

[0072] 在各种非限制性实施方案中,可通过根据本公开的方法加工并呈现在根据本公开的锻造制品中的奥氏体合金包含任何以下重量百分数范围的硅:最多1.0;0.1-1.0;0.5-1.0;和0.1-0.5。

[0073] 在各种非限制性实施方案中,可通过根据本公开的方法加工并呈现在根据本公开的锻造制品中的奥氏体合金包含任何以下重量百分数范围的铬:14.0-28.0;16.0-25.0;18.0-26;19.0-25.0;20.0-24.0;20.0-22.0;21.0-23.0;和17.0-21.0。

[0074] 在各种非限制性实施方案中,可通过根据本公开的方法加工并呈现在根据本公开的锻造制品中的奥氏体合金包含任何以下重量百分数范围的镍:15.0-38.0;19.0-37.0;20.0 35.0;和21.0-32.0。

[0075] 在各种非限制性实施方案中,可通过根据本公开的方法加工并呈现在根据本公开的锻造制品中的奥氏体合金包含任何以下重量百分数范围的钼:2.0-9.0;3.0-7.0;3.0-6.5;5.5-6.5;和6.0-6.5。

[0076] 在各种非限制性实施方案中,可通过根据本公开的方法加工并呈现在根据本公开的锻造制品中的奥氏体合金包含任何以下重量百分数范围的铜:0.1-3.0;0.4-2.5;0.5-2.0;和1.0-1.5。

[0077] 在各种非限制性实施方案中,可通过根据本公开的方法加工并呈现在根据本公开的锻造制品中的奥氏体合金包含任何以下重量百分数范围的氮:0.08-0.9;0.08-0.3;0.1-0.55;0.2-0.5;和0.2-0.3。在某些实施方案中,在该奥氏体合金中的氮含量可限于0.35重量%或0.3重量%,以解决其在该合金中的有限溶解度。

[0078] 在各种非限制性实施方案中,可通过根据本公开的方法加工并呈现在根据本公开的锻造制品中的奥氏体合金包含任何以下重量百分数范围的钨:0.1-5.0;0.1-1.0;0.2-3.0;0.2-0.8;和0.3-2.5。

[0079] 在各种非限制性实施方案中,可通过根据本公开的方法加工并呈现在根据本公开的锻造制品中的奥氏体合金包含任何以下重量百分数范围的钴:最多5.0;0.5-5.0;0.5-1.0;0.8-3.5;1.0-4.0;1.0-3.5;和1.0-3.0。在可通过根据本公开的方法加工并呈现在根据本公开的锻造制品中的合金的某些实施方案中,钴出人意料地改进合金的机械性质。例如,在该合金的某些实施方案中,钴的添加可提供最多20%的韧性增加、最多20%的伸长率增加和/或改进的抗腐蚀性。不希望受任何特定理论的束缚,据信用钴代替铁可相对于在热加工之后在晶界处表现出较高水平的 $\sigma$ 相的不含钴的变体而言增加对有害 $\sigma$ 相在合金中沉淀的抵抗性。

[0080] 在各种非限制性实施方案中,可通过根据本公开的方法加工并呈现在根据本公开的锻造制品中的奥氏体合金包含以2:1-5:1、或2:1-4:1的钴/钨重量百分比的钴和钨。在某些实施方案中,例如,该钴/钨重量百分比可为约4:1。钴和钨的使用可将改进的固溶强化赋予合金。

[0081] 在各种非限制性实施方案中,可通过根据本公开的方法加工并呈现在根据本公开的锻造制品中的奥氏体合金包含任何以下重量百分数范围的钛:最多1.0;最多0.6;最多0.1;最多0.01;0.005-1.0;和0.1-0.6。

[0082] 在各种非限制性实施方案中,可通过根据本公开的方法加工并呈现在根据本公开的锻造制品中的奥氏体合金包含任何以下重量百分数范围的锆:最多1.0;最多0.6;最多0.1;最多0.01;0.005-1.0;和0.1-0.6。

[0083] 在各种非限制性实施方案中,可通过根据本公开的方法加工并呈现在根据本公开的锻造制品中的奥氏体合金包含在任何以下重量百分数的铌和/或钽:最多1.0;最多0.5;最多0.3;0.01-1.0;0.01-0.5;0.01-0.1;和0.1-0.5。

[0084] 在各种非限制性实施方案中,可通过根据本公开的方法加工并呈现在根据本公开的锻造制品中的奥氏体合金包含在任何以下范围的合并重量百分数的铈和钼:最多1.0;最多0.5;最多0.3;0.01-1.0;0.01-0.5;0.01-0.1;和0.1-0.5。

[0085] 在各种非限制性实施方案中,可通过根据本公开的方法加工并呈现在根据本公开的锻造制品中的奥氏体合金包含任何以下重量百分数范围的钒:最多1.0;最多0.5;最多0.2;0.01-1.0;0.01-0.5;0.05-0.2;和0.1-0.5。

[0086] 在各种非限制性实施方案中,可通过根据本公开的方法加工并呈现在根据本公开的锻造制品中的奥氏体合金包含任何以下重量百分数范围的铝:最多1.0;最多0.5;最多0.1;最多0.01;0.01-1.0;0.1-0.5;和0.05-0.1。

[0087] 在各种非限制性实施方案中,可通过根据本公开的方法加工并呈现在根据本公开的锻造制品中的奥氏体合金包含任何以下重量百分数范围的硼:最多0.05;最多0.01;最多0.008;最多0.001;最多0.0005。

[0088] 在各种非限制性实施方案中,可通过根据本公开的方法加工并呈现在根据本公开的锻造制品中的奥氏体合金包含任何以下重量百分数范围的磷:最多0.05;最多0.025;最多0.01;和最多0.005。

[0089] 在各种非限制性实施方案中,可通过根据本公开的方法加工并呈现在根据本公开的锻造制品中的奥氏体合金包含任何以下重量百分数范围的硫:最多0.05;最多0.025;最多0.01;和最多0.005。

[0090] 在各种非限制性实施方案中,可通过根据本公开的方法加工并呈现在根据本公开的锻造制品中的奥氏体合金的其余可包含铁和偶存杂质,基本上由铁和偶存杂质组成或由铁和偶存杂质组成。在各种非限制性实施方案中,在各种非限制性实施方案中,可通过根据本公开的方法加工并呈现在根据本公开的锻造制品中的奥氏体合金包含任何以下重量百分数范围的铁:最多60;最多50;20-60;20-50;20-45;35-45;30-50;40-60;40-50;40-45;和50-60。

[0091] 在各种非限制性实施方案中,通过根据本公开的方法加工的奥氏体合金包含一种或多种痕量元素。如本文使用,“痕量元素”是指可由于原料的组成和/或采用的熔融方法而



存在于合金中并以不会显著不利地影响合金的重要性质(如本文中通常描述的那些性质)的浓度存在的元素。痕量元素可例如包括以本文所述的浓度中的任一种的钛、锆、钨(钨)、钽、钒、铝和硼中的一种或多种。在某些非限制性实施方案中,在根据本公开的合金中可能不存在痕量元素。如本领域中所知,在制造合金的过程中,痕量元素可典型地通过选择特定的起始材料和/或使用特定的加工技术来大部分地或完全地消除。在各种非限制性实施方案中,可通过根据本公开的方法加工并呈现在根据本公开的锻造制品中的奥氏体合金包含总浓度在任何以下重量百分数范围中的痕量元素:最多5.0;最多1.0;最多0.5;最多0.1;0.1-5.0;0.1-1.0;和0.1-0.5。

[0092] 在各种非限制性实施方案中,可通过根据本公开的方法加工并呈现在根据本公开的锻造制品中的奥氏体合金包含总浓度在任何以下重量百分数范围中的偶存杂质:最多5.0;最多1.0;最多0.5;最多0.1;0.1-5.0;0.1-1.0;和0.1-0.5。在本文中通常使用的术语“偶存杂质”是指在合金中以微小浓度存在的元素。这样的元素可包括铋、钙、铈、镧、铅、氧、磷、钨、银、硒、硫、碲、锡和锆中的一种或多种。在各种非限制性实施方案中,可通过根据本公开的方法加工并呈现在根据本公开的锻造制品中的合金的个别偶存元素不超过以下最大重量百分数:0.0005铋;0.1钙;0.1铈;0.1镧;0.001铅;0.01锡;0.01氧;0.5钨;0.0005银;0.0005硒;和0.0005碲。在各种非限制性实施方案中,可通过根据本公开的方法加工并呈现在根据本公开的锻造制品中的合金,在该合金中存在(如果存在任一种的话)的铈、镧和钙的合并重量百分数可为最多0.1。在各种非限制性实施方案中,在该合金中存在的铈和/或镧的合并重量百分数可为最多0.1。在思考本发明后,本领域的普通技术人员将显而易见可在可通过根据本公开的方法加工并呈现在根据本公开的锻造制品中的合金中作为偶存杂质存在的其它元素。在各种非限制性实施方案中,可通过根据本公开的方法加工并呈现在根据本公开的锻造制品中的奥氏体合金包含总浓度在任何以下重量百分数范围中的痕量元素和偶存杂质:最多10.0;最多5.0;最多1.0;最多0.5;最多0.1;0.1-10.0;0.1-5.0;0.1-1.0;和0.1-0.5。

[0093] 在各种非限制性实施方案中,可通过根据本公开的方法加工并呈现在根据本公开的锻造制品中的合金可为非磁性的。该特征可促进该合金在其中非磁性性质重要的应用中使用,这些应用例如包括某些油气钻柱组件应用。可通过根据本文所述的方法加工并呈现在本文所述的锻造制品中的奥氏体合金的某些非限制性实施方案可以在特定范围内的磁导率值( $\mu_r$ )为特征。在各种非限制性实施方案中,该磁导率值小于1.01,小于1.005和/或小于1.001。在各种实施方案中,该合金可基本不含铁氧体。

[0094] 在各种非限制性实施方案中,可通过根据本公开的方法加工并呈现在根据本公开的锻造制品中的合金可以在特定范围内的抗点蚀性当量数值(PREN)为特征。如所了解,该PREN将相对值归于合金在含氯化物环境中的预期抗点蚀性。通常,具有较高PREN的合金比具有较低PREN的合金具有更佳的抗腐蚀性。一种特定的PREN计算使用下式提供PREN<sub>16</sub>值,其中百分数是以合金总重量计的重量百分数:

[0095] 
$$\text{PREN}_{16} = \% \text{Cr} + 3.3 (\% \text{Mo}) + 16 (\% \text{N}) + 1.65 (\% \text{W})$$

[0096] 在各种非限制性实施方案中,可通过根据本公开的方法加工并呈现在根据本公开的锻造制品中的合金可具有在任何以下范围内的PREN<sub>16</sub>值:最多60;最多58;大于30;大于40;大于45;大于48;30-60;30-58;30-50;40-60;40-58;40-50;和48-51。不希望受任何特定

理论的束缚,据信较高的PREN<sub>16</sub>值可指示合金将在例如高度腐蚀性环境、高温环境和低温环境的环境中表现出足够抗腐蚀性的可能性较高。强腐蚀性环境可存在于例如化学加工设备以及在油气钻井应用中钻柱所经受的井下环境中。强腐蚀性环境可使合金经受例如碱性化合物、酸化氯化物溶液、酸化硫醚溶液、过氧化物和/或CO<sub>2</sub>以及极端温度。

[0097] 在各种非限制性实施方案中,可通过根据本公开的方法加工并呈现在根据本公开的锻造制品中的奥氏体合金可以在特定范围内的避免沉淀的灵敏度系数值(CP)为特征。CP值的概念描述在例如标题为“Austenitic Stainless Steel Having High Properties”的美国专利5,494,636号中。通常,CP值为在合金中金属间相的沉淀动力学的相对指标。可使用下式计算CP值,其中百分数为基于合金总重量计的重量百分数:

[0098]  $CP = 20(\%Cr) + 0.3(\%Ni) + 30(\%Mo) + 5(\%W) + 10(\%Mn) + 50(\%C) - 200(\%N)$

[0099] 不希望受任何特定理论的束缚,据信CP值小于710的合金将表现出有利的奥氏体稳定性,其有助于使在焊接期间来自金属间相的HAZ(热影响区)敏化最小化。在各种非限制性实施方案中,可通过根据本公开的方法加工并呈现在根据本公开的锻造制品中的奥氏体合金可具有在任何以下范围内的CP:最多800;最多750;小于750;最多710;小于710;最多680;和660-750。

[0100] 在各种非限制性实施方案中,可通过根据本公开的方法加工并呈现在根据本公开的锻造制品中的奥氏体合金可以在特定范围的临界点蚀温度(CPT)和/或临界裂隙腐蚀温度(CCCT)为特征。在某些应用中,CPT和CCCT值可比合金的PREN值更准确地指示合金的抗腐蚀性。可根据标题为“Standard Test Methods for Pitting and Crevice Corrosion Resistance of Stainless Steels and Related Alloys by Use of Ferric Chloride Solution”的ASTM G48-11测量CPT和CCCT。在各种非限制性实施方案中,可通过根据本公开的方法加工并呈现在根据本公开的锻造制品中的奥氏体合金具有至少45℃或更优选至少50℃的CPT,并且具有至少25℃或更优选至少30℃的CCCT。

[0101] 在各种非限制性实施方案中,可通过根据本公开的方法加工并呈现在根据本公开的锻造制品中的奥氏体合金可以在特定范围内的氯化物应力腐蚀裂痕抗性(SCC)值为特征。SCC值的概念描述在例如A.J.Sedricks的Corrosion of Stainless Steels(J.Wiley and Sons 1979)中。在各种非限制性实施方案中,根据本公开的合金的SCC值可根据以下一者或多者对于特定应用确定:标题为“Standard Practice for Making and Using U-Bend Stress-Corrosion Test Specimens”的ASTM G30-97(2009);标题为“Standard Practice for Evaluating Stress-Corrosion-Cracking Resistance of Metals and Alloys in a Boiling Magnesium Chloride Solution”的ASTM G36-94(2006);ASTM G39-99(2011),“Standard Practice for Preparation and Use of Bent-Beam Stress-Corrosion Test Specimens”;ASTM G49-85(2011),“Standard Practice for Preparation and Use of Direct Tension Stress-Corrosion Test Specimens”;和ASTM G123-00(2011),“Standard Test Method for Evaluating Stress-Corrosion Cracking of Stainless Alloys with Different Nickel Content in Boiling Acidified Sodium Chloride Solution”。在各种非限制性实施方案中,可通过根据本公开的方法加工并呈现在根据本公开的锻造制品中的奥氏体合金的SCC值足够高以指示合金可适合经受住沸腾的酸化氯化钠溶液1000小时,而不经历不可接受的应力腐蚀裂痕,依据

在ASTM G123-00 (2011) 下的评价。

[0102] 以下实施例旨在进一步描述某些非限制性实施方案,而不约束本发明的范围。本领域的技术人员应了解,以下实施例的变化在本发明的范围内是可能的,本发明的范围仅由权利要求书限定。

[0103] 实施例1

[0104] 图6示意性说明用于加工非磁性奥氏体钢合金的根据本公开的方法62的方面(图6的右边)和比较方法60的方面(图6的左边)。制备在表2中所示的具有20英寸的直径且具有热熔物49FJ-1,2号的化学的电渣再熔(ESR)锭料64。

[0105]

表2			
元素	热熔物01FM-1	热熔物47FJ-1,2	热熔物49FJ-2,4
C	0.014	0.010	0.010
Mn	4.53	4.50	4.55
Cr	21.50	22.26	21.32
Mo	5.01	6.01	5.41
Co	2.65	2.60	2.01
Fe	34.11	32.37	39.57
Nb	<0.01	0.010	0.008
Ni	30.40	30.07	25.22
W	0.89	0.84	0.64
N	0.365	0.390	0.393
P	0.015	0.014	0.016
S	<0.0003	0.0002	0.0003
Si	0.30	0.23	0.30
Cu	1.13	1.22	1.21
V	0.03	0.04	0.04
B	0.002	0.002	0.002
PREN <sub>16</sub>	44	50	47

[0106] 将ESR锭料64在2225°F下均质化48小时,接着在径向锻造机中使锭料分解成约14-英寸直径的工件66。将14-英寸直径的工件66切割成第一工件68和第二工件70并如下加工。

[0107] 将14-英寸直径的第二工件70的样品根据本公开方法的一个实施方案加工。将第二工件70的样品在2225°F下再次加热6-12小时并径向锻造成包括具有长端74的级形轴72的9.84-英寸直径的棒,且随后水淬。级形轴72在该径向锻造操作期间生成,以在各锻件72,74上提供具有可由用于开式模具压机锻造的工件操纵器握住的尺寸的末端区域。将9.84-英寸直径的锻件72,74的样品在2150°F下退火1-2小时并冷却到室温。将9.84-英寸直径的锻件72,74的样品再次加热到1025°F历时10-24小时,接着开式模具压机锻造以生成锻件76。锻件76为级形轴锻件,各锻件76的大部分具有约8.7英寸的直径。在开式模具压机锻造之后,将锻件空气冷却。将锻件76的样品在1025°F下再次加热3-9小时并径向锻造成具有约7.25英寸的直径的棒78。从棒78的表面区域和中心区域以在棒的远端之间棒78的中截面取得试验样品,并评价它们的机械性质和硬度。

[0108] 14-英寸直径的第一工件68的样品通过未被本发明涵盖的比较方法加工。将第一工件68的样品在2225°F下再次加热6-12小时,径向锻造成9.84-英寸直径的工件80,并水淬。使9.84-英寸直径的锻件80在2150°F下退火1-2小时,并将其冷却到室温。将退火并冷却

的9.84-英寸锻件80在1025°F或1075°F下再次加热10-24小时并径向锻造成约7.25-英寸直径的锻件82。用于机械性质评价和硬度评价的表面区域和中心区域试验样品从各锻件82的中间在各锻件82的远端之间取得。

[0109] 除了中温加工的度数之外,其它锭料热熔物的加工与上述用于热熔物49FJ-1,2号的那些类似。用于其它热熔物的中温加工的变形%和类型示于表3中。表3还比较了在7.25-英寸直径的锻件82上的硬度分布与在7.25英寸直径的锻件78上的硬度分布。如上所述,锻件82仅接收作为最终加工步骤的在1025°F或1075°F温度下的中温加工径向锻造。相比之下,锻件78使用在1025°F下中温加工开式压模锻造,接着在1025°F下中温加工径向锻造的步骤加工。

表3											
热熔物 编号	方法	直径( 英寸)	%变 形	中温加工温度 (°F)	硬度(MRC)						
					表面	中心				表面	
[0110]	47FJ-1	无退火; 比较	7.25	35	1075 径向锻造	40.0	35.0	33.0	31.4	31.9	35.0 40.0
	49FJ-2	无退火; 比较	7.25	35	1075 径向锻造	41.6	38.0	35.0	33.0	34.1	36.0 40.0
	47FJ-2	2150°F退火; WQ; 比较	7.25	45	1025 径向锻造	43.9	41.6	35.0	33.4	36.2	40.3 42.9
	49FJ-4	2150°F退火; WQ; 比较	7.25	45	1025 径向锻造	38.5	35.2	32.4	32	32.4	38 39.2
	49FJ-4	2150°F退火; WQ; 发明; 压机锻造至径向锻造	7.25	45	1025 压机锻造; 1025 径向锻造	40.1	36.8	39.6	40.8	41.8	42.0 42.6
[0111]	01FM-1	2150°F退火; WQ; 比较 压机锻造; 空气冷却; 再次加热; 压机锻造	7.25 压机锻造; 5.25 压机锻造	72	1025 压机锻造; 1025 压机锻造	38.0	38.2	39.9	40.0	40.0	

[0112] 从表3中,很明显,与本发明样品相比,在比较样品中表面与中心的硬度差异显著较大。这些结果与在来自本发明压机锻造+旋转锻造法模拟的图3中所示的结果一致。压机锻造法主要在工件的中心区域赋予变形,且旋转锻造操作主要在表面赋予变形。因为硬度是这些材料中变形量的指标,所以显示压机锻造+旋转锻造的组合提供具有从表面到中心相对均匀的变形量的棒。从表3中还看出,作为仅通过压机锻造中温加工的比较实施例的热熔物01FM-1中温加工压机锻件到5.25英寸的较小直径。热熔物01FM-1的结果说明,在较小直径工件上通过压机锻造提供的变形量可产生相对均匀的横断面硬度分布。

[0113] 上文表1显示具有在表3中公开的硬度值的比较热熔物的室温拉伸性质。表4提供对于仅通过压机锻造中温加工的比较样品和对于通过压机锻造、接着径向锻造中温加工的发明样品的热熔物49-FJ-4号的室温拉伸性质的直接比较。

[0114]

表4								
热熔物 编号	最终退火和锻造步 骤	方向和试 验区域	总变形 (%)	最终直径 (英寸)	屈服强 度(ksi)	极限拉伸强度 (ksi)	伸长率	面积缩减 率
49FJ-4	在2150°F下退火； 水淬；在1025°F下 径向锻造；比较	长-NS	45	7.25	156.9	170.1	30.6	67.3
		横向 长-C	45	7.25	148.1	161.9	28.8	58.8
49FJ-4	在2150°F下退火； 水淬；在1025°F下 压机锻造；在1025 °F下径向锻造；发 明	长-NS	45	7.25	176.2	191.6	22.7	65.3
		横向 长-C	45	7.25	187.8	195.3	20.4	62.5

[0115] 关键词：横向＝横向，在中心区域中的试样标距长度

[0116] 长-NS＝纵向近表面区域

[0117] 长-C＝长中心；中心区域

[0118] 在比较样品的表面处的屈服强度和极限拉伸强度比在中心处大。然而，根据本公开加工的材料(发明样品)的极限拉伸强度和屈服强度不仅显示在坯段中心处和在坯段表面处的强度基本一致，而且显示发明样品的强度比比较样品显著更大。

[0119] 应当理解，本说明书说明可与清楚理解本发明有关的本发明的那些方面。一些方面对于本领域的普通技术人员来说是显而易见的，因此，为了使本说明书简单化，并没有记载将不会有助于更好地理解本发明的那些方面。虽然在本文中仅必要地描述有限的本发明实施方案，但是本领域的普通技术人员在思考以上描述后将认识到可采用本发明的许多修改和改变。本发明的所有这类改变和修改都将由以上描述和以下权利要求所涵盖。

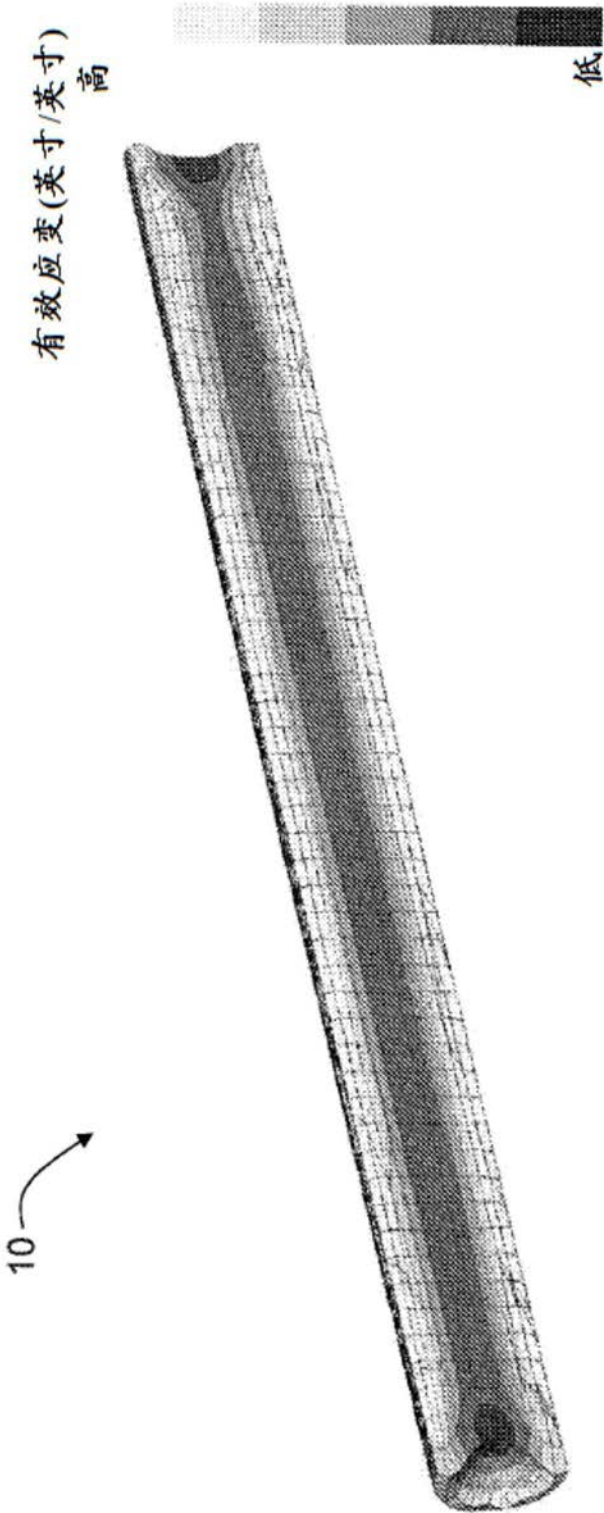


图1

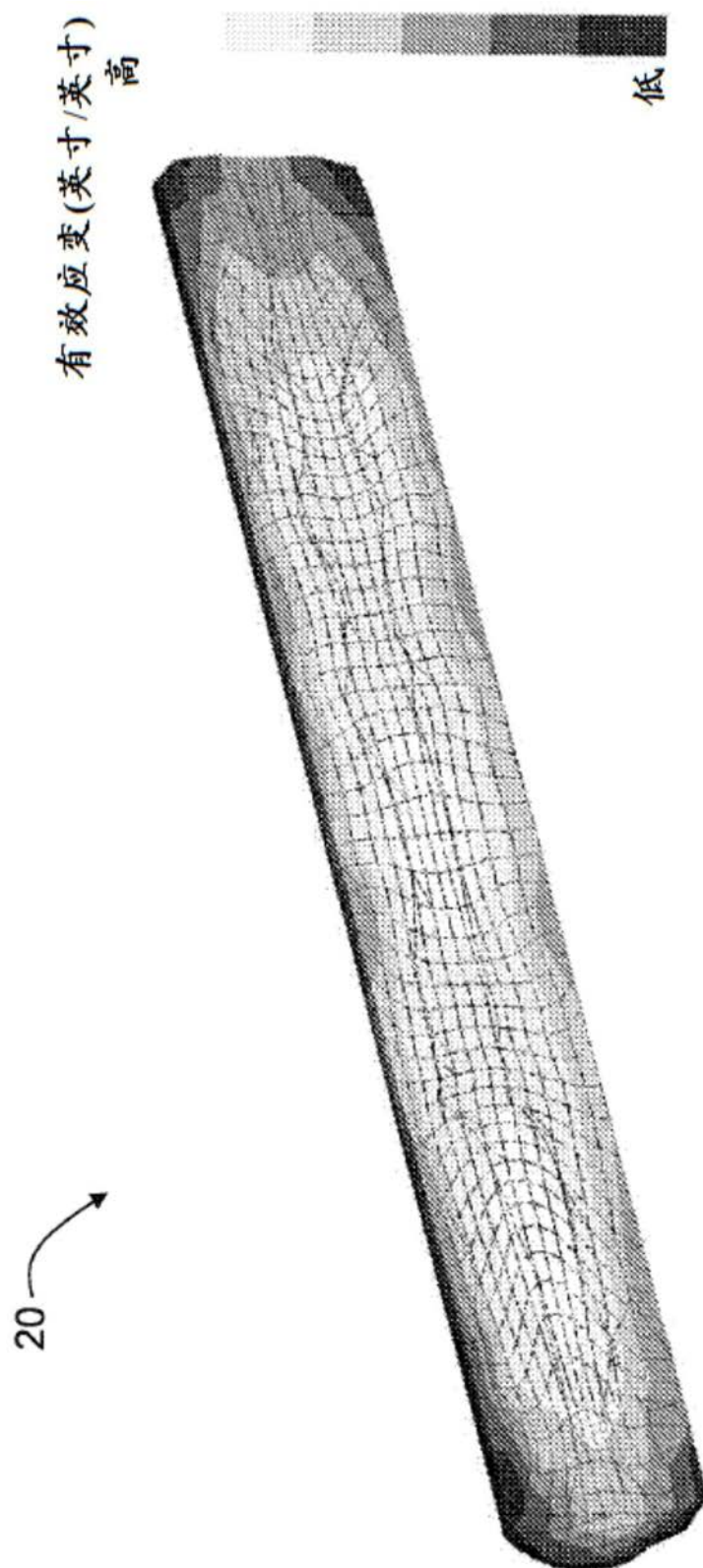


图2

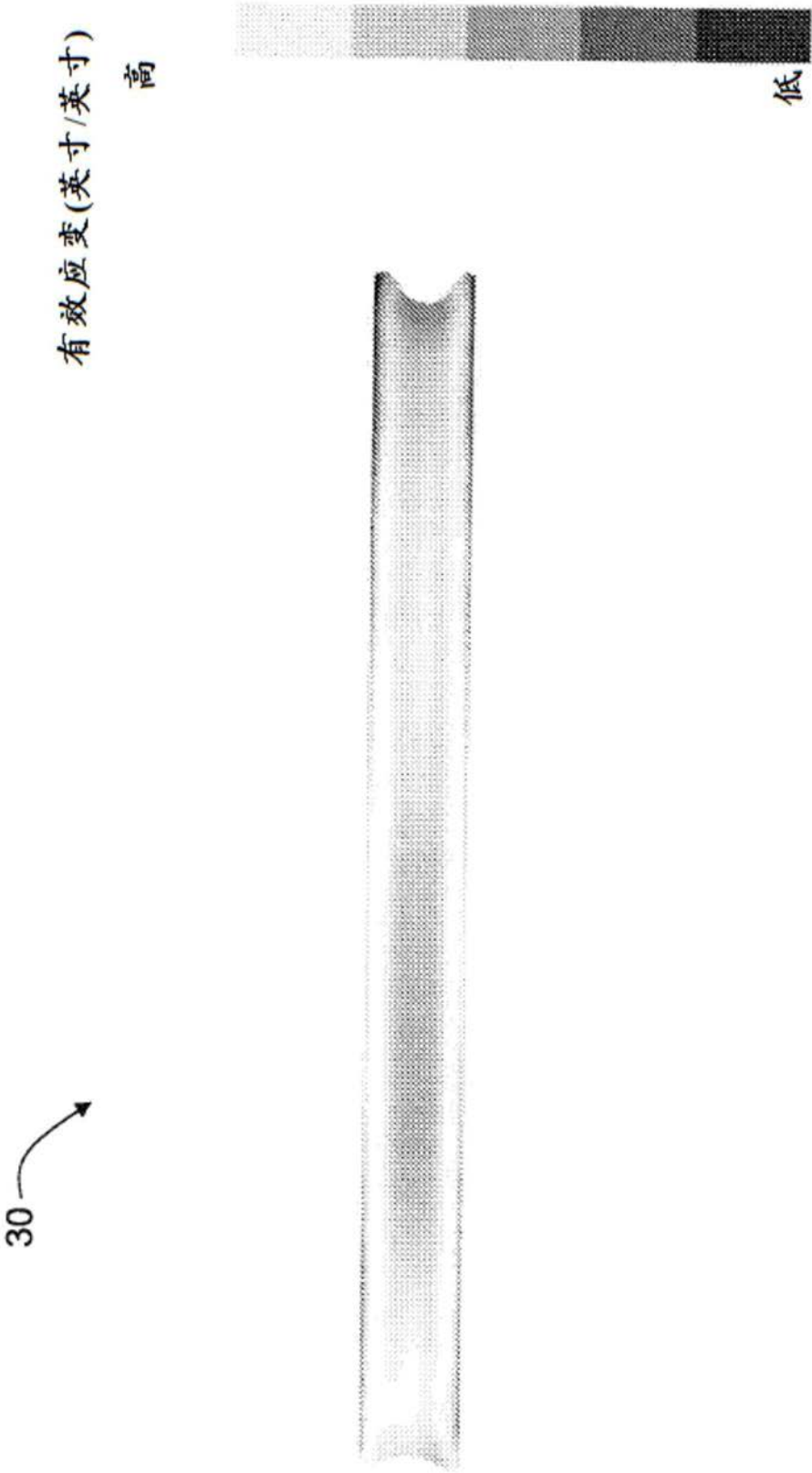


图3



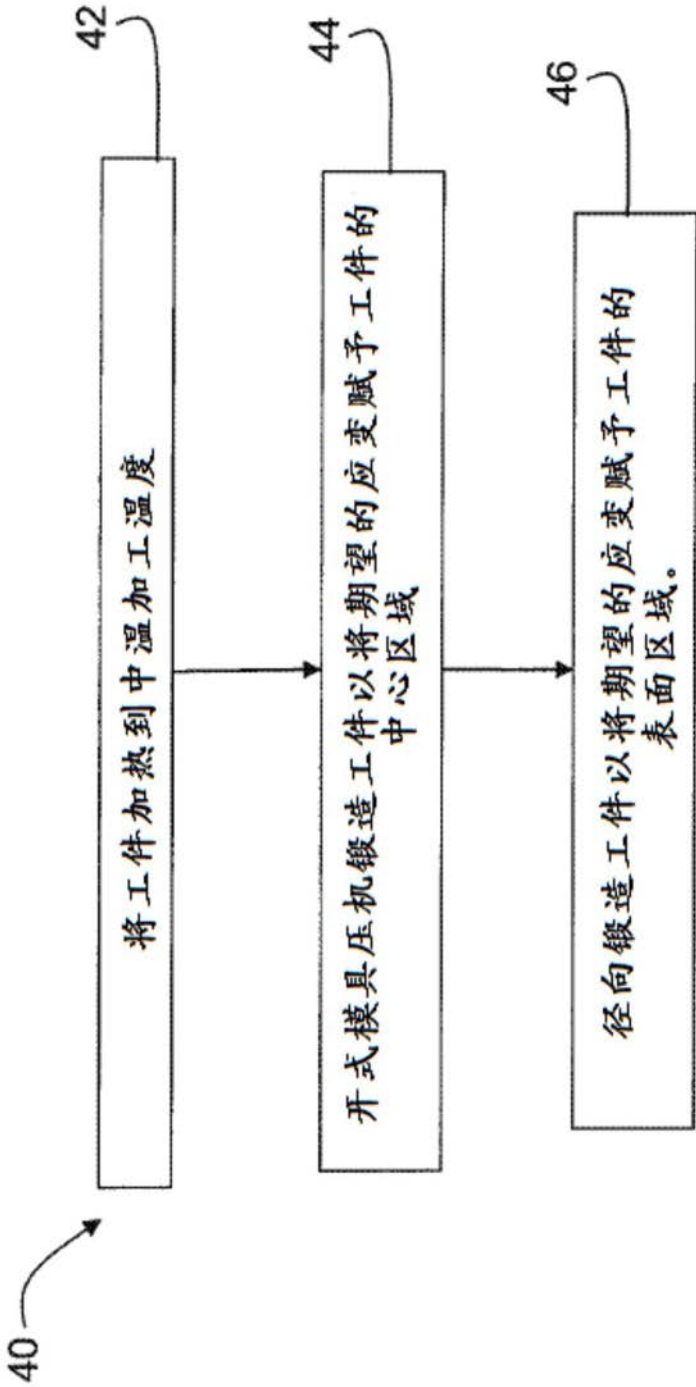


图4

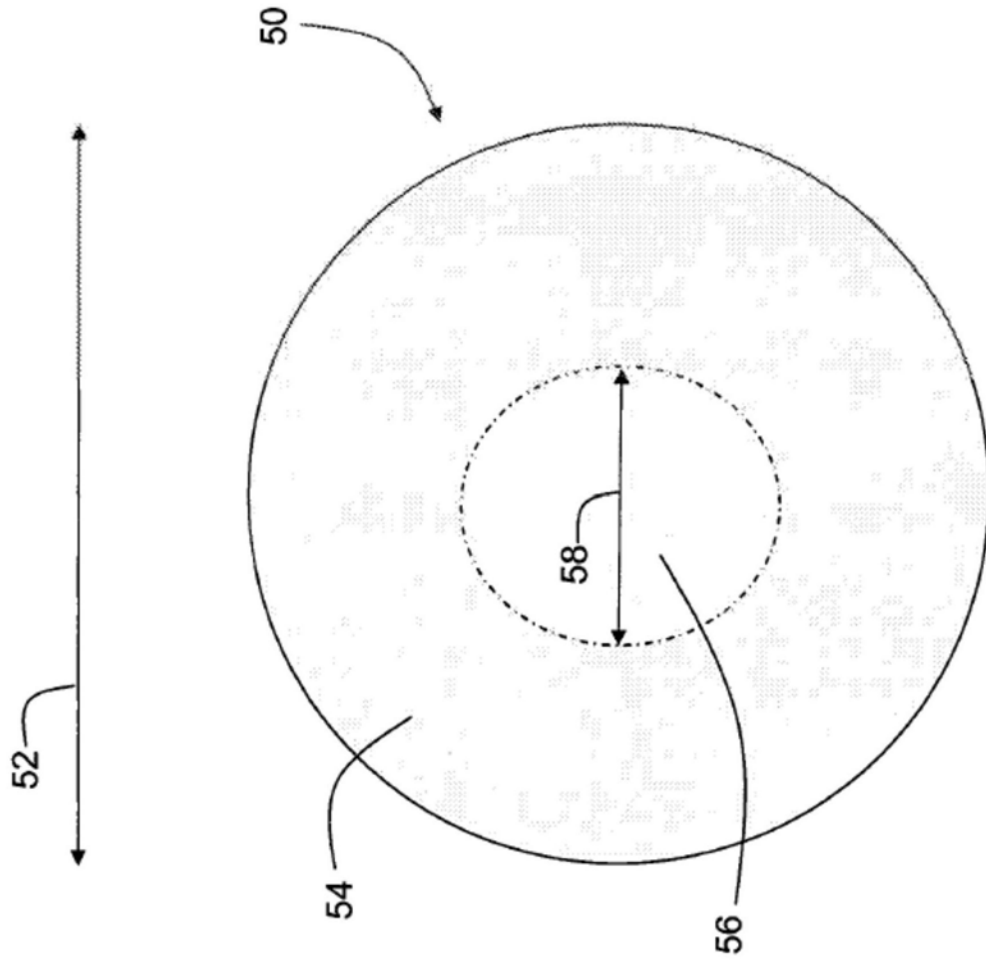


图5

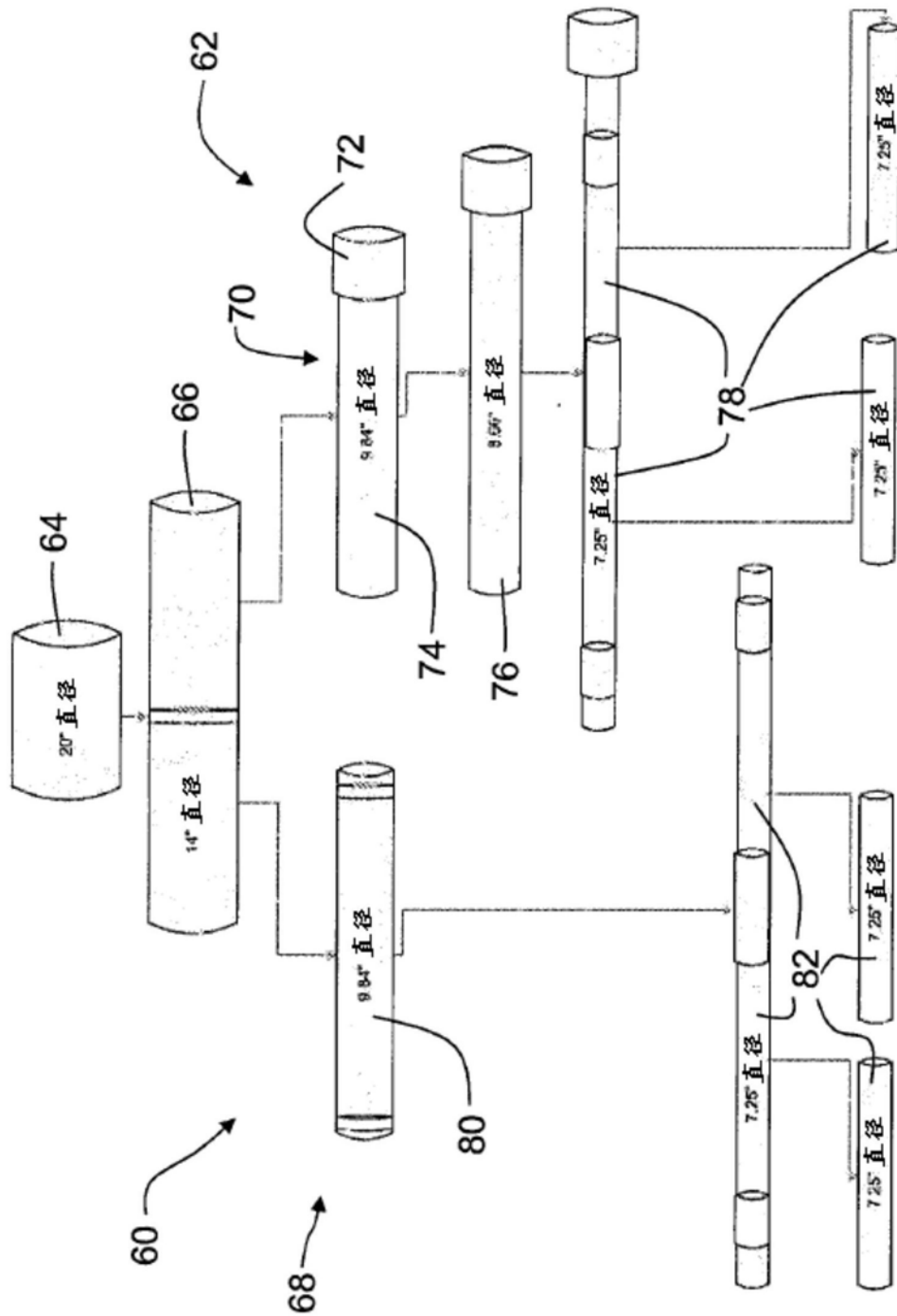


图6