



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 103025907 B

(45)授权公告日 2017.03.15

(21)申请号 201180035819.6

(22)申请日 2011.07.14

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 103025907 A

(43)申请公布日 2013.04.03

(30)优先权数据

12/845,122 2010.07.28 US

(85)PCT国际申请进入国家阶段日

2013.01.22

(86)PCT国际申请的申请数据

PCT/US2011/043951 2011.07.14

(87)PCT国际申请的公布数据

W02012/015602 EN 2012.02.02

(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 D.J.布莱恩

(74)专利代理机构 北京律盟知识产权代理有限公司

责任人 11287

代理人 林斯凯

(51)Int.Cl.

C22F 1/18(2006.01)

B21D 1/00(2006.01)

B21D 3/00(2006.01)

B21D 3/12(2006.01)

(56)对比文件

JP 昭55-113865 A,1980.09.02,全文.

JP 特开平8-300044 A,1996.11.19,全文.

US 5658403 A,1997.08.19,说明书表2实施例1.

US 6077369 A,2000.06.20,说明书摘要、第5栏10-14、50-56、63-67行、第6栏第1-21、59-67行、表1.

US 2007/0193662 A1,2007.08.23,全文.

US 7264682 B2,2007.09.04,全文.

US 7132021 B2,2006.11.07,全文.

审查员 杨冰

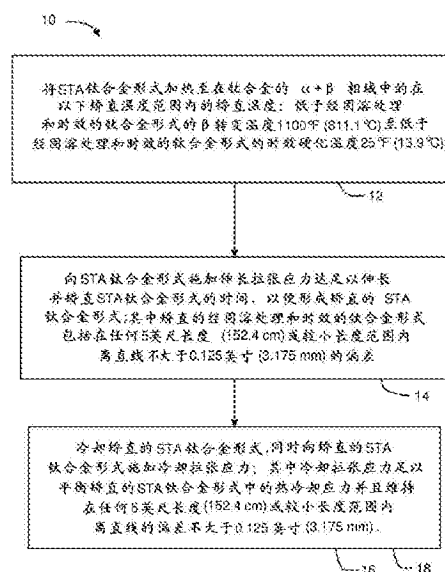
权利要求书2页 说明书12页 附图8页

(54)发明名称

高强度 α/β 加工钛的热拉伸矫直

(57)摘要

一种用于矫直经固溶处理和时效(STA)的钛合金形式的方法包括:将STA钛合金形式加热至矫直温度,所述矫直温度比时效硬化温度低至少25°F,并且施加伸长拉张应力达足以伸长并且矫直所述形式的时间。所述伸长拉张应力是在所述矫直温度下的屈服应力的至少20%,并且不等于或大于所述屈服应力。在任何5英尺长度或更短长度范围内,矫直的形式偏离直线不大于0.125英寸。冷却所述矫直的形式,同时施加平衡所述钛合金形式中的热冷却应力的冷却拉张应力,从而维持在任何5英尺长度或更短长度范围内离直线的偏差不大于0.125英寸。



1. 一种用于矫直经固溶处理和时效的钛合金形式的方法,所述方法包括:
将经固溶处理和时效的钛合金形式加热至矫直温度,
其中所述矫直温度包括在以下矫直温度范围内的在 $\alpha+\beta$ 相场中的矫直温度:低于所述经固溶处理和时效的钛合金形式的 β 转变温度 1100°F (611.1°C)至低于所述经固溶处理和时效的钛合金形式的时效硬化温度 25°F (13.9°C);
向所述经固溶处理和时效的钛合金形式施加伸长拉张应力达足以伸长并且矫直所述经固溶处理和时效的钛合金形式以提供矫直的经固溶处理和时效的钛合金形式的时间,
其中在任何5英尺长度(152.4cm)或更短长度范围内,所述矫直的经固溶处理和时效的钛合金形式偏离直线不大于0.125英寸(3.175mm);以及
冷却所述矫直的经固溶处理和时效的钛合金形式,同时向所述矫直的经固溶处理和时效的钛合金形式施加冷却拉张应力;
其中所述冷却拉张应力足以平衡所述矫直的经固溶处理和时效的钛合金形式中的热冷却应力并且维持在所述矫直的经固溶处理和时效的钛合金形式的任何5英尺长度(152.4cm)或更短长度范围内离直线的偏差不大于0.125英寸(3.175mm)。
2. 如权利要求1所述的方法,其中在施加伸长拉张应力并且冷却之后,在所述矫直的经固溶处理和时效的钛合金形式的任何5英尺长度(152.4cm)或更短长度范围内,所述矫直的经固溶处理和时效的钛合金形式偏离直线不大于0.094英寸(2.388mm)。
3. 如权利要求1所述的方法,其中在所述矫直的经固溶处理和时效的钛合金形式的任何10英尺(304.8cm)长度范围内,所述矫直的经固溶处理和时效的钛合金形式偏离直线不大于0.25英寸(6.35mm)。
4. 如权利要求1所述的方法,其中所述矫直的经固溶处理和时效的钛合金形式是选自由以下组成的组的形式:钢坯、钢锭、圆钢、方钢、挤压件、管件、管材、片材以及板材。
5. 如权利要求1所述的方法,其中加热包括以从 $500^{\circ}\text{F}/\text{min}$ ($277.8^{\circ}\text{C}/\text{min}$)至 $1000^{\circ}\text{F}/\text{min}$ ($555.6^{\circ}\text{C}/\text{min}$)的加热速率来加热。
6. 如权利要求1所述的方法,其中所述被用于硬化所述经固溶处理和时效的钛合金形式的时效硬化温度在以下范围内:低于所述钛合金的 β 转变温度 500°F (277.8°C)至低于所述钛合金的所述 β 转变温度 900°F (500°C)。
7. 如权利要求1所述的方法,其中所述矫直温度在以下矫直温度范围内:低于所述经固溶处理和时效的钛合金形式的所述时效硬化温度 200°F (111.1°C)至低于所述经固溶处理和时效的钛合金形式的所述时效硬化温度 25°F (13.9°C)。
8. 如权利要求1所述的方法,其中冷却包括冷却至最终温度,在所述最终温度下能够去除所述冷却拉张应力而不会改变所述矫直的经固溶处理和时效的钛合金形式离直线的所述偏差。
9. 如权利要求1所述的方法,其中冷却包括冷却至不大于 250°F (121.1°C)的最终温度。
10. 如权利要求1所述的方法,其中所述钛合金形式包含近 α 钛合金。
11. 如权利要求1所述的方法,其中所述钛合金形式包含选自由以下组成的组的合金:
Ti-8Al-1Mo-1V合金(UNS R54810)和Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo合金(UNS R54620)。
12. 如权利要求1所述的方法,其中所述钛合金形式包含 $\alpha+\beta$ 钛合金。
13. 如权利要求1所述的方法,其中所述钛合金形式包含选自由以下组成的组的合金:

Ti-6Al-4V合金(UNS R56400)、Ti-6Al-4V ELI合金(UNS R56401)、Ti-6Al-2Sn-4Zr-6Mo合金(UNS R56260)、Ti-5Al-2Sn-2Zr-4Mo-4Cr合金(UNS R58650)以及Ti-6Al-6V-2Sn合金(UNS R56620)。

14.如权利要求1所述的方法,其中所述钛合金形式包含 β 钛合金。

15.如权利要求1所述的方法,其中所述钛合金形式包含选自由以下组成的组的合金: Ti-10V-2Fe-3Al合金(UNS 56410)、Ti-5Al-5V-5Mo-3Cr合金(UNS未指定)、Ti-5Al-2Sn-4Mo-2Zr-4Cr合金(UNS R58650)以及Ti-15Mo合金(UNS R58150)。

16.如权利要求1所述的方法,其中矫直之后的所述经固溶处理和时效的钛合金形式的屈服强度和极限拉张强度在所述经固溶处理和时效的钛合金形式矫直之前的屈服强度和极限拉张强度的5%以内。

17.如权利要求1所述的方法,其中所述矫直的经固溶处理和时效的钛合金形式是板坯。

高强度 α/β 加工钛的热拉伸矫直

技术背景

技术领域

[0001] 本公开涉及用于矫直在 $\alpha+\beta$ 相场中时效的高强度钛合金的方法。

[0002] 技术背景描述

[0003] 钛合金通常表现出高强度重量比,是耐腐蚀的并且在中等高温下是抗蠕变的。出于这些原因,钛合金被用于航天和航空应用中,这些应用包括例如起落架构件、引擎框架以及其它关键结构部件。钛合金还被用于喷气引擎部件如转子、压缩机叶片、液压系统部件以及引擎机舱中。

[0004] 近年来,在航天工业中对 β 钛合金的关注和应用变得更多了。 β 钛合金能够被加工成具有非常高的强度同时维持合理的韧性和延展性特性。另外, β 钛合金在升高的温度下的低流动应力能使加工得到改进。

[0005] 然而, β 钛合金在 $\alpha+\beta$ 相场中可能是难以加工的,因为例如合金的 β 转变温度通常在 1400°F 至 1600°F (760°C 至 871.1°C)的范围中。另外,为达到产品所需要的机械特性,在 $\alpha+\beta$ 固溶处理和时效之后需要快速冷却,如水或空气淬火。例如,直的经 $\alpha+\beta$ 固溶处理和时效的 β 钛合金棒可能在淬火过程中弯曲和/或扭曲(在本文中,“经固溶处理和时效”有时称为“STA”)。另外,对于 β 钛合金所必须使用的低时效温度(例如 890°F 至 950°F (477°C 至 510°C))严格限制能够被用于后继矫直的温度。最终的矫直必须发生在低于时效温度的温度下以防止在矫直操作过程中机械特性发生显著的变化。

[0006] 对于呈长形产品或棒形式的 $\alpha+\beta$ 钛合金,例如像Ti-6Al-4V合金来说,常规地采用昂贵的竖式溶解热处理和时效工艺来使变形最小化。现有技术STA加工的一个典型例子包括:将长形部件如棒悬挂在一个竖式熔炉中,在 $\alpha+\beta$ 相场中在一个温度下固溶处理棒,以及在 $\alpha+\beta$ 相场中在一个更低温度下时效棒。在快速淬火(例如水淬火)之后,可能在低于时效温度的温度下可以矫直棒。悬挂在垂直方向上,棒杆中的应力在本质上更加呈径向并且导致较少的变形。经STA加工的Ti-6Al-4V合金(UNS R56400)棒从而能够通过例如在燃气炉中加热至低于时效温度的温度来矫直,并且从而可以使用2面、7面或普通技术人员已知的其它矫直机来矫直。然而,垂直热处理和水淬火操作成本很高,并且不是所有钛合金制造商都具有这种能力。

[0007] 因为经固溶处理和时效的 β 钛合金的高的室温强度,常规矫直方法(如垂直热处理)对于矫直长形产品(如棒)不是很有效。例如,在 800°F 至 900°F (427°C 至 482°C)下时效之后,STA亚稳态 β 钛Ti-15Mo合金(UNS R58150)在室温下能够具有200ksi(1379MPa)的极限拉伸强度。因此,传统矫直方法对于STA Ti-15Mo合金来说不适合,因为不会影响机械特性的可供使用的矫直温度足够低,所以当施加矫直力时,由该合金组成的棒可能粉碎。

[0008] 因此,需要一种用于经固溶处理和时效的金属及金属合金的不会显著影响经时效的金属或金属合金的强度的矫直工艺。

[0009] 简述

[0010] 根据本公开的一个方面,一种用于矫直选自金属和金属合金中之一的时效硬化金属形式的方法的一个非限制性实施方案包括将时效硬化金属形式加热至矫直温度。在某些实施方案中,矫直温度在以下矫直温度范围内:从时效硬化金属形式的 $0.3T_m$ 至低于被用于硬化时效硬化金属形式的时效温度至少 25°F (13.9°C)。向时效硬化金属形式施加伸长拉张应力达足以伸长并且矫直时效硬化金属形式以提供矫直的时效硬化金属形式的时间。在任何5英尺长度(152.4cm)或更短长度范围内,矫直的时效硬化金属形式偏离直线不大于0.125英寸(3.175mm)。冷却矫直的时效硬化金属形式,同时向矫直的时效硬化金属形式施加冷却拉张应力,其中该冷却拉张应力足以平衡合金中的热冷却应力并且维持在矫直的时效硬化金属形式的任何5英尺长度(152.4cm)或更短长度范围内离直线的偏差不大于0.125英寸(3.175mm)。

[0011] 一种用于矫直经固溶处理和时效的钛合金形式的方法包括将经固溶处理和时效的钛合金形式加热至矫直温度。该矫直温度包括经固溶处理和时效的钛合金形式的 $\alpha+\beta$ 相场中的矫直温度。在某些实施方案中,矫直温度范围为:低于经固溶处理和时效的钛合金形式的 β 转变温度 1100°F (611.1°C)至低于经固溶处理和时效的钛合金形式的时效硬化温度 25°F (13.9°C)。向经固溶处理和时效的钛合金形式施加伸长拉张应力达足以伸长并且矫直经固溶处理和时效的钛合金形式的时间,以便形成矫直的经固溶处理和时效的钛合金形式。在任何5英尺长度(152.4cm)或更短长度范围内,矫直的经固溶处理和时效的钛合金形式偏离直线不大于0.125英寸(3.175mm)。冷却矫直的经固溶处理和时效的钛合金形式,同时向矫直的经固溶处理和时效的钛合金形式施加冷却拉张应力。该冷却拉张应力足以平衡矫直的经固溶处理和时效的钛合金形式中的热冷却应力并且维持在矫直的经固溶处理和时效的钛合金形式的任何5英尺长度(152.4cm)或更短长度范围内离直线的偏差不大于0.125英寸(3.175mm)。

[0012] 附图简述

[0013] 通过参照附图可以更好地理解本文描述的方法的特征和优点,在所述附图中:

[0014] 图1是根据本公开的一种用于钛合金的热拉伸矫直方法的一个非限制性实施方案的流程图;

[0015] 图2是测量金属棒材料离直线的偏差的示意性图示;

[0016] 图3是根据本公开的一种用于金属产品形式的热拉伸矫直方法的一个非限制性实施方案的流程图;

[0017] 图4是经固溶处理和时效的Ti-10V-2Fe-3Al合金棒的照片;

[0018] 图5是矫直实施例7的非限制性例子的序列号#1的棒的温度比时间图表;

[0019] 图6是矫直实施例7的非限制性例子的序列号#2的棒的温度比时间图表;

[0020] 图7是根据本公开的一个非限制性实施方案个热拉伸矫直之后的经固溶处理和时效的Ti-10V-2Fe-3Al合金棒的照片;

[0021] 图8包括非限制性例子7的热拉伸矫直的棒的微型结构的显微图像;并且

[0022] 图9包括实施例9的未矫直的经固溶处理和时效的对照棒的显微图像。

[0023] 鉴于以下根据本公开的方法的某些非限制性实施方案的详细描述,读者将理解前述细节及其它。

[0024] 某些非限制性实施方案的详述

[0025] 在非限制性实施方案的本说明中,除了在操作例子中或在其它地方指出之外,所有表达数量或特征的数字在所有情况下应当被理解为由术语“约”修饰。因此,除非相反地指示,以下说明中提出的任何数值参数是近似值,这些近似值可以根据在根据本公开的方法中寻求获得的所需要的特性发生改变。至少并且不作为限制与权利要求的范围等价的教义的应用的尝试,每个数值参数应当至少被解释为依据所报告的有效位数并且通过应用普通的舍入技术的数字。

[0026] 据称要并入本文的任何专利、出版物或其它公开材料只在某种程度以引用的方式总体或部分地并入本文,所并入的材料不会与在本公开中提出的现有定义、声明或其它公开材料相冲突。同样地并且在某种必要的程度上,如本文提出的公开取代以引用的方式并入本文的任何冲突材料。据称要以引用的方式并入本文但是不与本文提出的现有定义、声明或其它公开材料相冲突的任何材料或其部分只在某种程度上并入:在那并入的材料与所述现有公开材料之间不会发生冲突。

[0027] 现在参照图1的流程图,根据本公开的一种用于矫直经固溶处理和时效的钛合金形式的热拉伸矫直方法10的非限制性实施方案包括将经固溶处理和时效的钛合金形式加热至矫直温度12。在一个非限制性实施方案中,矫直温度是在 $\alpha+\beta$ 相场内的温度。在另一个非限制性实施方案中,矫直温度在以下矫直温度范围内:从低于钛合金的 β 转变温度约 $1100^{\circ}\text{F}(611.1^{\circ}\text{C})$ 至低于经固溶处理和时效的合金形式的时效硬化温度约 25° 。

[0028] 如本文所使用,“经固溶处理和时效”(STA)是指一种用于钛合金的热处理工艺,该热处理工艺包括在两相域(即钛合金的 $\alpha+\beta$ 相场)中以固溶处理温度来固溶处理钛合金。在一个非限制性实施方案中,固溶处理温度在以下范围内:从低于钛合金的 β 转变温度约 $50^{\circ}\text{F}(27.8^{\circ}\text{C})$ 至低于钛合金的 β 转变温度约 $200^{\circ}\text{F}(111.1^{\circ}\text{C})$ 。在另一个非限制性实施方案中,固溶处理时间的范围为从30分钟至2小时。应当认识到,在某些非限制性实施方案中,固溶处理时间可以是短于30分钟或长于2小时并且大体上取决于钛合金形式的大小和横截面。这个两相域固溶处理溶解了大量的存在于钛合金中的 α 相,但剩下在某种程度上压制晶粒生长的一些 α 相残留。在完成固溶处理时,对钛合金进行水淬火,这样使得相当一部分的合金元素被保留在 β 相中。

[0029] 然后,在两相场中在时效温度(在本文中也称为时效硬化温度)下对经固溶处理的钛合金进行时效达足以沉淀细粒度 α 相的时效时间,其中时效温度的范围为从低于固溶处理温度 $400^{\circ}\text{F}(222.2^{\circ}\text{C})$ 至低于固溶处理温度 $900^{\circ}\text{F}(500^{\circ}\text{C})$ 。在一个非限制性实施方案中,时效时间可以为从30分钟至8小时。应当认识到,在某些非限制性实施方案中,时效时间可以是短于30分钟或长于8小时并且大体上取决于钛合金形式的大小和横截面。STA加工产生表现出高屈服强度和高极限拉张强度的钛合金。本领域普通技术实践者已知用于STA加工合金中的一般技术,并且因此在本文中未进行进一步详尽阐述。

[0030] 再次参照图1,在加热12之后,向STA钛合金形式施加伸长拉张应力14达足以伸长并且矫直STA钛合金形式并且提供矫直的STA钛合金形式的时间。在一个非限制性实施方案中,伸长拉张应力是STA钛合金形式在矫直温度下的屈服应力的至少约20%并且不等于或大于STA钛合金形式在矫直温度下的屈服应力。在一个非限制性实施方案中,为维持伸长率,可以在矫直步骤过程中增加所施加的伸长拉张应力。在一个非限制性实施方案中,在伸长过程中通过因子2来增加伸长拉张应力。在一个非限制性实施方案中,STA形式包含钛合金

产品形式包含Ti-10V-2Fe-3Al合金(UNS56410),Ti-10V-2Fe-3Al合金在900°F(482.2°C)下具有约60ksi的屈服强度,并且在900°F下在开始矫直时所施加的伸长应力约为12.7ksi并且在伸长步骤结束时约为25.5ksi。

[0031] 在另一个非限制性实施方案中,在施加伸长拉张应力14之后,在任何5英尺长度(152.4cm)或更短长度范围内,矫直的STA钛合金形式偏离直线不大于0.125英寸(3.175mm)。

[0032] 应当认识到,在本公开的非限制性实施方案的范围内能在允许冷却所述形式的同时施加伸长拉张应力。然而,应当理解,因为应力是温度的一个函数,随着温度下降,所需要的伸长应力将必须增加以便继续伸长并且矫直所述形式。

[0033] 在一个非限制性实施方案中,当STA钛合金形式被充分地矫直时,冷却STA钛合金形式16,同时向矫直的经固溶处理和时效的钛合金形式施加冷却拉张应力18。在一个非限制性实施方案中,冷却拉张应力足以平衡矫直的STA钛合金形式中的热冷却应力,这样使得STA钛合金形式在冷却过程中不会弯曲、变弯或以其它方式变形。在一个非限制性实施方案中,冷却应力等于伸长应力。应当认识到,因为产品形式的温度在冷却过程中下降,施加等于伸长拉张应力的冷却拉张应力将不会进一步引起产品形式伸长,但可用于防止产品形式中的冷却应力使产品形式弯曲并且维持在伸长步骤中建立的离直线的偏差。

[0034] 在一个非限制性实施方案中,冷却拉张应力足以维持在矫直的STA钛合金形式的任何5英尺长度(152.4cm)或较短长度范围内离直线的偏差不大于0.125英寸(3.175mm)。

[0035] 在一个非限制性实施方案中,伸长拉张应力和冷却拉张应力足以实现STA钛合金形式的蠕变成形。蠕变成形发生在通常的弹性范围内。虽然不想受任何特定的理论的束缚,但应当认为在矫直温度下在通常的弹性范围内的所施加的应力允许致使矫直产品形式的晶界滑动和动态错位回复。在冷却和通过在产品形式上维持冷却拉张应力来补偿热冷却应力之后,被移动的错位和晶界使STA钛合金产品形式具有新的弹性状态。

[0036] 参照图2,在一种用于确定产品形式例如像棒22离直线的偏差的方法20中,棒22排列在直尺24旁边。在棒22上的弯曲的或扭曲的位置用一种用于测量长度的装置如卷尺来测量棒的曲率作为棒弯离直尺24的距离。沿棒28的规定的长度来测量每个扭曲或弯曲离直尺的距离以确定离直线的最大偏差(图2中的26),即在棒22的规定的长度内棒22离直尺24的最大距离。同样的技术可以用于量化其它产品形式离直线的偏差。

[0037] 在另一个非限制性实施方案中,在根据本公开施加伸长拉张应力之后,在矫直的STA钛合金形式的任何5英尺长度(152.4cm)或较短长度范围内,矫直的STA钛合金形式偏离直线不大于0.094英寸(2.388mm)。在又另一个非限制性实施方案中,在根据本公开冷却同时施加冷却拉张应力之后,在矫直的STA钛合金形式的任何5英尺长度(152.4cm)或较短长度范围内,矫直的STA钛合金形式偏离直线不大于0.094英寸(2.388mm)。在又另一个非限制性实施方案中,在根据本公开施加伸长拉张应力之后,在矫直的STA钛合金形式的任何10英尺长度(304.80cm)或较短长度范围内,矫直的STA钛合金形式偏离直线不大于0.25英寸(6.35mm)。在又另一个非限制性实施方案中,在根据本公开冷却同时施加冷却拉张应力之后,在矫直的STA钛合金形式的任何10英尺长度(304.8cm)或较短长度范围内,矫直的STA钛合金形式偏离直线不大于0.25英寸(6.35mm)。

[0038] 为均匀地施加伸长和冷却拉张应力,在根据本公开的一个非限制性实施方案中,

STA钛合金形式必须能够被横穿STA钛合金形式的整个横截面牢固地夹紧。在一个非限制性实施方案中,STA钛合金形式的形状可以是任何轧制产品的形状,对于该轧制产品能够制造足够的把手以便根据本公开的方法施加拉张应力。如本文使用的“轧制产品”是随后用作制造的或进一步制造成半成品或制成品的轧制的任何金属的(即金属或金属合金)产品。在一个非限制性实施方案中,STA钛合金形式包含以下一种:钢坯、钢锭、圆钢、方钢、挤压件、管件、管材、板坯、片材以及板材。用于根据本公开施加伸长和冷却拉张应力的把手和机械可从例如美国北卡罗来纳州门罗的Cyril Bath Co.获得。

[0039] 本公开的一个令人惊讶的方面是热拉伸矫直STA钛合金形式而不会显著降低STA钛合金形式的拉张强度的能力。例如,在一个非限制性实施方案中,根据本公开的非限制性方法的热拉伸矫直的STA钛合金形式的平均屈服强度和平均极限拉张强度比热拉伸矫直之前的值降低了不超过5%。在特性上所观察到的由热拉伸矫直产生的最大变化是在伸长率百分比上。例如,在根据本公开的一个非限制性实施方案中,钛合金形式的伸长率百分比的平均值在热拉伸矫直之后表现出约2.5%的绝对下降。不旨在受任何操作理论的束缚,应当认为伸长率百分比可以因STA钛合金形式在根据本公开的热拉伸矫直的非限制性实施方案过程中发生伸长而发生下降。例如,在一个非限制性实施方案中,在本公开的热拉伸矫直之后,矫直的STA钛合金形式比STA钛合金形式在热拉伸矫直之前的长度可以伸长约1.0%至约1.6%。

[0040] 根据本公开将STA钛合金形式加热至矫直温度可以采用能够维持棒的矫直温度的任何单一或组合形式的加热,例如但不限于在箱式炉中加热所述形式、辐射加热所述形式以及感应加热所述形式。必须监控所述形式的温度以确保所述形式的温度保持在低于用于STA工艺过程中的时效温度至少25°F(13.9°C)。在一个非限制性实施方案中,使用热电偶或红外线传感器来监控所述形式的温度。然而,本领域普通技术人员已知的加热和监控温度的其它装置在本公开的范围之内。

[0041] 在一个非限制性实施方案中,STA钛合金形式的矫直温度应当是始终相对均匀的并且随位置的变化其变化应当不超过100°F(55.6°C)。在STA钛合金形式的任何位置的温度优选地不会增加到超过STA时效温度,因为包括但不限于屈服强度和极限拉张强度的机械特性可能会受到不利的影响。

[0042] 将STA钛合金形式加热至矫直温度的速率不是关键性的,要注意较快加热速率可能导致超出矫直温度范围并且导致机械特性的损失。通过采取不会超出目标矫直温度或不会超出低于STA时效温度至少25°F(13.9°C)的温度的预防措施,更快的加热速率能够导致部件之间的更短的矫直周期时间和提高的生产力。在一个非限制性实施方案中,加热至矫直温度包括以从500°F/min(277.8°C/min)至1000°F/min(555.6°C/min)的加热速率来加热。

[0043] STA钛合金形式的任何局部区域优选地应当不会达到等于或大于STA时效温度的温度。在一个非限制性实施方案中,所述形式的温度应当一直为低于STA时效温度至少25°F(13.9°C)。在一个非限制性实施方案中,STA时效温度(在本文中不同地也称为时效硬化温度、在 $\alpha+\beta$ 相场中的时效硬化温度以及时效温度)可以在以下范围内:低于钛合金的 β 转变温度500°F(277.8°C)至低于钛合金的 β 转变温度900°F(500°C)。在其它非限制性实施方案中,矫直温度在以下矫直温度范围内:低于STA钛合金形式的时效硬化温度50°F(27.8°C)至低

于STA钛合金形式的时效硬化温度200°F(111.1°C);或在以下矫直温度范围内:低于时效硬化温度25°F(13.9°C)至低于时效硬化温度300°F(166.7°C)。

[0044] 根据本公开的一种方法的一个非限制性实施方案包括将矫直的STA钛合金形式冷却至最终温度,在最终温度点下可以去除冷却拉张应力而不会改变矫直的STA钛合金形式离直线的偏差。在一个非限制性实施方案中,冷却包括冷却至不大于250°F(121.1°C)的最终温度。冷却至高于室温的温度同时能够减少冷却拉张应力而STA钛合金形式的直度不会发生偏差的能力允许部件之间的更短的矫直周期时间和提高的生产力。在另一个非限制性实施方案中,冷却包括冷却至在本文中定义为约64°F(18°C)至约77°F(25°C)的室温。

[0045] 如将要看到的,本公开的一个方面是本文所公开的热拉伸矫直的某些非限制性实施方案能够被用在任何金属形式上,金属形式大致上包括许多(如果不是全部的话)金属和金属合金,包括但不限于常规上被认为是难以矫直的金属和金属合金。令人惊讶地,本文所公开的热拉伸矫直方法的非限制性实施方案对于常规上被认为难以矫直的钛合金是有效的。在本公开的范围内的一个非限制性实施方案中,钛合金形式包含近 α 钛合金。在一个非限制性实施方案中,钛合金形式包含选自Ti-8Al-1Mo-1V合金(UNS54810)和Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo合金(UNS R54620)中的至少一种。

[0046] 在本公开的范围内的一个非限制性实施方案中,钛合金形式包含 α + β 钛合金。在另一个非限制性实施方案中,钛合金形式包含以下至少一种:Ti-6Al-4V合金(UNS R56400)、Ti-6Al-4V ELI合金(UNS R56401)、Ti-6Al-2Sn-4Zr-6Mo合金(UNS R56260)、Ti-5Al-2Sn-2Zr-4Mo-4Cr合金(UNS R58650)以及Ti-6Al-6V-2Sn合金(UNS R56620)。

[0047] 在又另一个非限制性实施方案中,钛合金形式包含 β 钛合金。如本文使用的“ β 钛合金”包括但不限于近 β 钛合金和亚稳态 β 钛合金。在一个非限制性实施方案中,钛合金形式包含以下一种:Ti-10V-2Fe-3Al合金(UNS56410)、Ti-5Al-5V-5Mo-3Cr合金(UNS未指定)、Ti-5Al-2Sn-4Mo-2Zr-4Cr合金(UNS R58650)以及Ti-15Mo合金(UNS R58150)。在一个具体的非限制性实施方案中,钛合金形式是Ti-10V-2Fe-3Al合金(UNS56410)形式。

[0048] 应当注意,对于某些 β 钛合金,例如Ti-10V-2Fe-3Al合金,在同样维持合金所需要的机械特性的同时,无法使用常规矫直工艺将这些合金的STA形式矫直至本文所公开的容差。对于 β 钛合金来说, β 转变温度固有地低于工业纯钛。因此,STA时效温度也必须更低。另外,例如但不限于Ti-10V-2Fe-3Al合金的STAB钛合金能够表现出高于200ksi(1379MPa)的极限拉张强度。当在低于STA时效温度不超过25°F(13.9°C)的温度下尝试使用常规拉伸方法(如使用双面矫直机)来矫直具有如此高强度的STAB钛合金棒时,棒表现出要粉碎的强烈趋势。令人惊讶地,已经发现使用根据本公开的非限制性热拉伸矫直方法实施方案能够将这些高强度STAB钛合金矫直至本文所公开的容差而没有断裂,并且屈服和极限拉张强度的平均损失只有约5%。

[0049] 当在上文的论述主要关注矫直的钛合金形式和矫直STA钛合金形式的方法时,本文所公开的热拉伸矫直的非限制性实施方案可以实际上成功地用于任何时效硬化金属产品形式,即包括任何金属或金属合金的金属产品。

[0050] 参照图3,在根据本公开的非限制性实施方案中,一种用于矫直经固溶处理和时效硬化的金属形式(包括金属和金属合金之一)的方法30包括:将经固溶处理和时效硬化的金属形式加热至以下矫直温度范围内的矫直温度:从时效硬化金属形式的0.3个开氏熔化

温度(0.3T_m)至低于用于硬化时效硬化金属形式的时效温度至少25°F(13.9°C)的温度。

[0051] 根据本公开的一个非限制性实施方案包括:向经固溶处理和时效硬化金属形式施加伸长拉张应力34达足以伸长并且矫直时效硬化金属形式以提供矫直的时效硬化金属形式的时间。在一个非限制性实施方案中,伸长拉张应力是时效硬化金属形式在矫直温度下的屈服应力的至少约20%并且不等于或大于STA钛合金形式在矫直温度下的屈服应力。在一个非限制性实施方案中,为维持伸长率,可以在矫直步骤过程中增加所施加的伸长拉张应力。在一个非限制性实施方案中,在伸长过程中通过因子2来增加伸长拉张应力。在一个非限制性实施方案中,在任何5英尺长度(152.4cm)或更短长度范围内,矫直的时效硬化金属形式偏离直线不大于0.125英寸(3.175mm)。在一个非限制性实施方案中,在矫直的时效硬化金属形式的任何5英尺长度(152.4cm)或更短长度范围内,矫直的时效硬化金属形式偏离直线不大于0.094英寸(2.388mm)。在又一个非限制性实施方案中,在矫直的时效硬化金属形式的任何10英尺(304.8cm)长度范围内,矫直的时效硬化金属形式偏离直线不大于0.25英寸(6.35mm)。

[0052] 根据本公开的一个非限制性实施方案包括:冷却矫直的时效硬化金属形式36,同时向矫直的时效硬化金属形式施加冷却拉张应力38。在另一个非限制性实施方案中,冷却拉张应力足以平衡矫直的时效硬化金属形式中的热冷却应力,这样使得时效硬化金属形式在冷却过程中不会弯曲、变弯或以其它方式变形。在一个非限制性实施方案中,冷却应力等于拉长应力。应当认识到,因为产品形式的温度在冷却过程中下降,施加等于伸长拉张应力的冷却拉张应力将不会引起产品形式的进一步伸长,但可用于防止产品形式中的冷却应力使产品形式弯曲并且维持在伸长步骤中建立的离直线的偏差。在另一个非限制性实施方案中,冷却拉张应力足以平衡合金中的热冷却应力,这样使得时效硬化金属形式在冷却过程中不会弯曲、变弯或以其它方式变形。在又一个非限制性实施方案中,冷却拉张应力足以平衡合金中的热冷却应力,这样使得时效硬化金属形式维持在时效硬化金属形式的任何5英尺长度(152.4cm)或更短长度范围内离直线的偏差不大于0.125英寸(3.175mm)。在又一个非限制性实施方案中,冷却拉张应力足以平衡合金中的热冷却应力,这样使得时效硬化金属形式维持在任何5英尺长度(152.4cm)或更短长度范围内离直线的偏差不大于0.094英寸(2.388mm)。在又一个非限制性实施方案中,冷却拉张应力足以平衡合金中的热冷却应力,这样使得时效硬化金属形式维持在时效硬化金属形式的任何10英尺(304.8cm)长度范围内离直线的偏差不大于0.25英寸(6.35mm)。

[0053] 在根据本公开的各种非限制性实施方案中,经固溶处理和时效硬化的金属形式包含以下一种:钛合金、镍合金、铝合金以及铁基合金。同样,在根据本公开的某些非限制性实施方案中,经固溶处理和时效硬化的金属形式选自以下:钢坯、钢锭、圆钢、方钢、挤压件、管件、管材、板坯、片材以及板材。

[0054] 在根据本公开的一个非限制性实施方案中,矫直温度在以下范围内:从低于被用于硬化时效硬化金属形式的时效硬化温度200°F(111.1°C)直到低于被用于硬化时效硬化金属形式的时效硬化温度25°F(13.9°C)。

[0055] 以下实施例旨在进一步描述某些非限制性实施方案而不限本发明的范围。本领域技术人员应当理解,以下实施例的变化在仅由权利要求书定义的本发明的范围内是可能的。

[0056] 实施例1

[0057] 在这个对比性实施例中,使用固溶处理、时效和常规矫直的几种排列来制造并加工几个10英尺长的Ti-10V-2Fe-3Al合金棒,以便尝试找到矫直棒的强效工艺。棒的直径在从0.5英寸至3英寸(1.27cm至7.62cm)的范围内。棒在从1375°F(746.1°C)至1475°F(801.7°C)的温度下被固溶处理。然后,棒在从900°F(482.2°C)至1000°F(537.8°C)范围内的时效温度下被时效。被评估的用于矫直的工艺包括:(a)在低于时效温度下进行竖式固溶处理和2面矫直;(b)在2面矫直之前在1400°F(760°C)下进行竖式固溶热处理、进行时效并且在低于时效温度25°F(13.9°C)下进行2面矫直;(c)在竖式固溶处理和时效之前在1400°F(760°C)下进行矫直,并且在低于时效温度25°F(13.9°F)下进行2面矫直;(d)在2面矫直之前在1400°F(760°C)下进行高温固溶热处理、进行竖式固溶处理和时效,并且在低于时效温度25°F(13.9°C)下进行2面矫直;以及(e)在2面矫直之前在1100°F(593.3°C)下进行轧制退火、进行竖式固溶热处理,并且在低于时效温度25°F(13.9°C)下进行2面矫直。

[0058] 在视觉上检查经加工的棒的直度并且将经加工的棒分类为合格或不合格。观察到标号(e)的工艺是最成功的。然而,所有使用竖式STA热处理尝试的合格率不超过50%。

[0059] 实施例2

[0060] 针对这个实施例,使用两根直径1.875英寸(47.625mm)、10英尺(3.048m)长的Ti-10V-2Fe-3Al合金棒。棒是由旋转锻造轧制品在 $\alpha+\beta$ 相场中以一定温度轧制的,旋转锻造轧制品由锻造和单一的再结晶的钢坯产生。在900°F(482.2°C)下执行高温拉张试验以确定能够用可供使用的装备矫直的棒的最大直径。高温拉力试验表明直径1.0英寸(2.54cm)的棒在装备极限内。棒被削成直径1.0英寸(2.54cm)的棒。然后,棒在1460°F(793.3°C)下被固溶处理达2小时并且被水淬火。棒在940°F(504.4°C)下被时效达8小时。带有一些扭曲和卷曲,棒的直度被测量为偏离直线近似2英寸(5.08cm)。STA棒表现出两种不同类型的弓形。观察到第一棒(序列号#1)在末端处是相对直的并且在中间处具有离直线约2.1英寸(5.334cm)的平缓的弓形。第二棒(序列号#2)在接近中间处是相当直的,但是在接近末端处具有扭结。离直线的最大偏差是大约2.1英寸(5.334cm)。在淬火条件下的棒的表面抛光表现为相当均匀的氧化表面。图4是棒在固溶处理和时效之后的代表性照片。

[0061] 实施例3

[0062] 根据本公开的一个非限制性实施方案热拉伸矫直实施例2的经固溶处理和时效的棒。温度反馈经由定位在部件的中间处的热电偶用于控制棒温度。然而,为解决热电偶安装的固有的困难,两个另外的热电偶被焊接在部件的末端处。

[0063] 第一棒经历了失败的主控热电偶,在加热倾斜升温过程中导致振动。第一棒连同另一个控制异常致使部件超过为900°F(482.2°C)的所需要的温度。所达到的高温近似1025°F(551.7°C)达小于2分钟。再次用另一个热电偶装备第一棒,并且由于来自先前运行的软件控制程序中的错误而发生类似的过冲。用所允许的最大功率加热第一棒,这能够在近似2分钟内将用于这个实施例的大小的棒从室温加热至1000°F(537.8°C)。

[0064] 重置程序并且允许进行第一棒矫直程序。通过被放置在接近棒的一端的编号2的热电偶(TC#2)记录的最高温度是944°F(506.7°C)。应当认为当在低功率下时,TC#2经历了轻微的热结点失败。在这个周期过程中,被放置在棒的中心的编号0的热电偶(TC#0)记录了908°F(486.7°C)的最大温度。在矫直过程中,被放置在接近根据TC#2的棒的另一端的编号1

的热电偶(TC#1)从棒上跌落并且停止读取棒的温度。图5示出在序列号#1的棒上的这个最终加热周期的温度图。第一棒(序列号#1)的周期时间是50分钟。棒被冷却至250°F(121.1°C)同时维持棒上的在伸长步骤结束时施加的载重量。

[0065] 第一棒在3分钟跨度内被伸长0.5英寸(1.27cm)。在那个阶段过程中的载重量从最初的5吨(44.5kN)增加至完成后的10吨(89.0kN)。因为棒的直径为1英寸(2.54cm),这些载重量转化成12.7ksi(87.6MPa)和25.5ksi(175.8MPa)的拉张应力。部件在因温度控制失败而停止的先前的加热周期中还经历了伸长。矫直之后的总测量伸长是1.31英寸(3.327cm)。

[0066] 小心地清洁热电偶安装点附近的第二棒(序列号#2),并且安装热电偶并且检查其明显的缺陷。第二棒被加热至900°F(482.2°C)的目标设定值。TC#1记录了973°F(522.8°C)的温度,而TC#0和TC#2分别记录了只有909°F(487.2°C)和911°F(488.3°C)的温度。如图6所示,另外两个热电偶良好地追踪TC#1直至大约700°F(371.1°C),在这一点上观察到一些偏差。再一次,安装热电偶可能被认为是偏差的来源。这个部分的总周期时间是45分钟。第二棒(序列号#2)未如针对第一棒(序列号#1)所描述的一样被热拉伸。

[0067] 图7的照片示出热拉伸矫直的棒(序列号#1和序列号#2)。在任何5英尺(1.524m)长度范围内,棒离直线的偏差为0.094英寸(2.387mm)。在热拉伸矫直过程中,序列号#1的棒被加长了1.313英寸(3.335cm),并且序列号#2的棒被加长了2.063英寸(5.240cm)。

[0068] 实施例4

[0069] 棒序列号#1和序列号#2在根据实施例3的热拉伸矫直之后的化学与实施例2的1.875英寸(47.625mm)的棒的化学相比较。实施例3的棒由与矫直的棒序列号#1和序列号#2相同的热度生成。表1呈现化学分析的结果。

[0070] 表1

[0071]

定期检 验	大小	Al	C	Fe	H	N	O	Ti	V
69550C	1.875" 通径	3.089	0.008	1.917	0.004	0.006	0.108	85.275	9.654
69550C	1.875" 通径	3.070	0.007	1.905	0.005	0.004	0.104	85.346	9.616
69550C	1.875" 通径	3.090	0.010	1.912	0.004	0.004	0.102	85.288	9.647
69550C	1.875" 通径	3.088	0.009	1.926	0.005	0.004	0.106	85.291	9.635
69550C	1.875" 通径	3.058	0.007	1.913	0.006	0.004	0.104	85.350	9.610
	平均值	3.079	0.008	1.915	0.005	0.004	0.105	85.310	9.632
92993F	1"通径	3.098	0.006	1.902	0.005	0.002	0.112	85.306	9.608
92993F	1"通径	3.060	0.006	1.899	0.004	0.002	0.104	85.368	9.598
	平均值	3.079	0.006	1.901	0.004	0.002	0.108	85.337	9.603

[0072] 从根据实施例3的非限制性实施方案的热拉伸矫直未观察到已发生化学上的改变。

[0073] 实施例5

[0074] 比较热拉伸矫直的棒序列号#1和序列号#2与对照棒的化学特性,对照棒被固溶处理和时效、在1400°F下被2面矫直并且被捶击。捶击是一种加工,其中冲模将少量的力施用到棒上以便在棒的长度范围内生成少量的弯曲。对照棒由Ti-10V-2Fe-3Al合金组成并且直径为1.772英寸(4.501cm)。对照棒在1460°F(793.3°C)下被固溶处理达2小时并且被水淬火。对照棒在950°F(510°C)下被时效达8小时并且被空气淬火。测量对照棒和热拉伸矫直的棒的拉张特性和断裂韧性,并且表2呈现结果。

[0075] 表2

[0076]

定期检验	直径大小(英寸)	热度	屈服应力(ksi)	极限拉张强度(ksi)	伸长率(%)	断面收缩(%)	K1c(ksi in ^{1/2})
热矫直和捶击的棒							
69548E	1.772 通径	H94H	170.13	183.04	12.14	42.91	44.10
69548E	1.772 通径	H94H	172.01	183.99	11.43	41.59	45.90
69548E	1.772 通径	H94H	173.09	183.48	10.71	41.76	48.90
69548E	1.772 通径	H94H	171.53	182.76	12.14	46.96	47.30
69548E	1.772 通径	H94H	170.48	182.97	11.43	38.53	46.60
69548E	1.772 通径	H94H	169.51	183.84	11.43	40.20	46.60
69548E	1.772 通径	H94H	171.38	183.02	12.86	47.69	46.00
69548E	1.772 通径	H94H	171.21	183.31	12.14	44.40	47.90
		平均值	171.17	183.30	11.79	43.00	46.66
热拉伸矫直的棒							
92993F	1 通径	H94H	172.01	182.68	8.57	29.34	47.50
92993F	1 通径	H94H	170.78	180.91	10.00	36.85	49.40
		平均值	171.39	181.79	9.29	33.10	48.45
目标均值			167	176	6	不适用	39
最小值			158	170	6	不适用	40

[0077] 热拉伸矫直的棒的所有特性满足目标和最低要求。热拉伸矫直的棒序列号#1和序列号#2具有稍微较低的延展性和断面收缩(RA)值,这最有可能是因为在矫直过程中发生伸长的原因。然而,热拉伸矫直之后的拉张强度似乎可与未矫直的对照棒相比。

[0078] 实施例6

[0079] 比较热拉伸矫直的棒序列号#1和序列号#2的纵向微观结构与实施例5的未矫直的对照棒的纵向微观结构。图8呈现实施例3的热拉伸矫直的棒的微观结构的显微图像。显微图像取自同一个样本上的两个不同的位置。图9呈现实施例5的未矫直的棒的微观结构的显微图像。观察到微观结构是非常类似的。

[0080] 已经参照各种示例性、说明性以及非限制性实施方案写出本公开。然而,本领域普

通技术人员应当认识到,在不脱离仅由权利要求书定义的本发明的范围的情况下,可以对任何所公开的实施方案(或其部分)做出各种替换、修改或组合。因此,应当考虑并且理解本公开包括本文没有清楚地提出的另外的实施方案。可以通过例如组合和/或修本文所描述的实施方案的改任何所公开的步骤、成分、组分、组件、元素、特征、方面等等获得这类实施方案。因此,本公开不限制于各种示例性、说明性以及非限制性实施方案,而是仅限制于权利要求书。这样,应当理解,在本专利申请向如本文进行多种描述的要求保护的发明添加特征的审批过程中,可以对权利要求书进行修订。

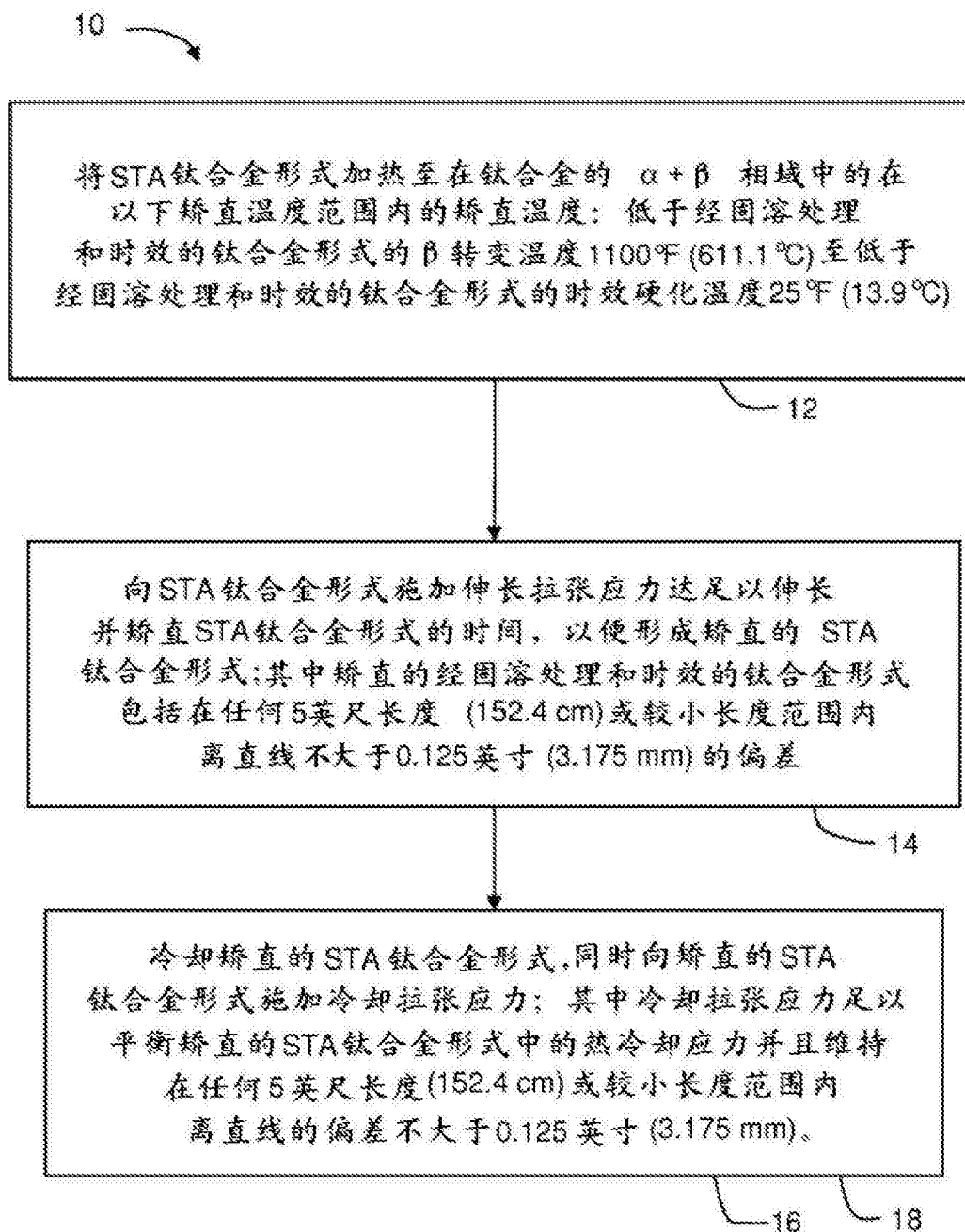


图1

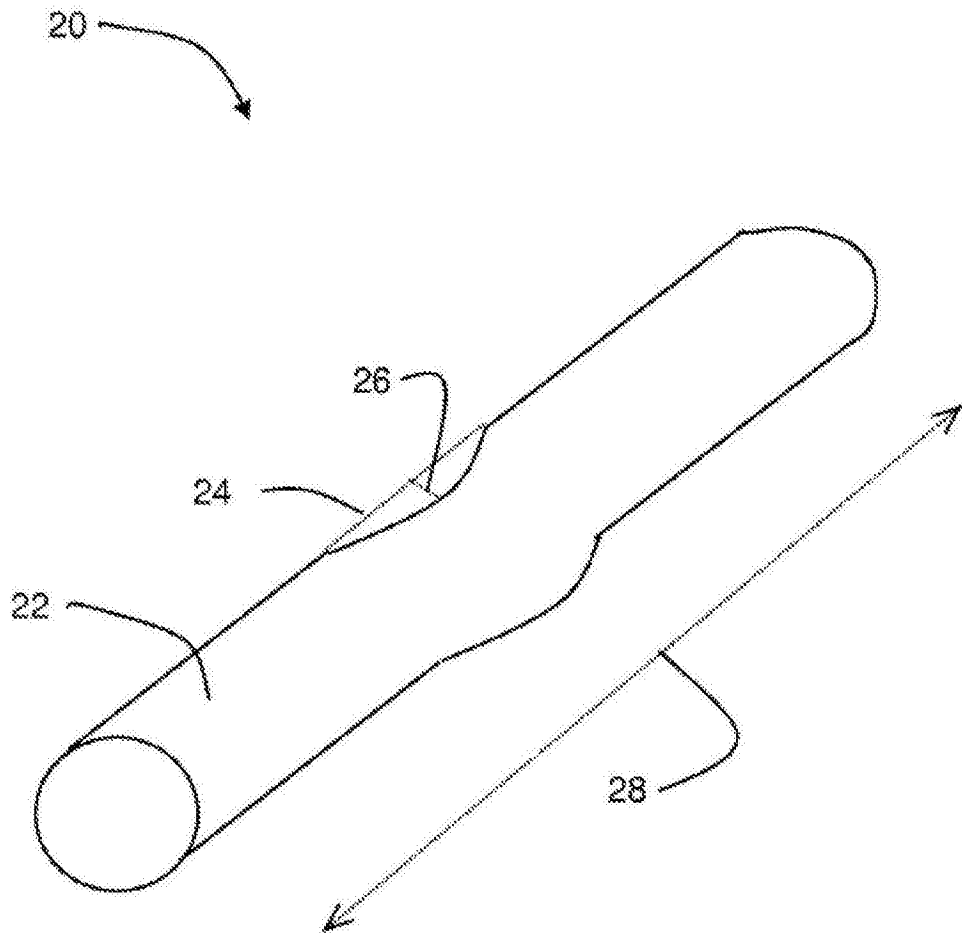


图2

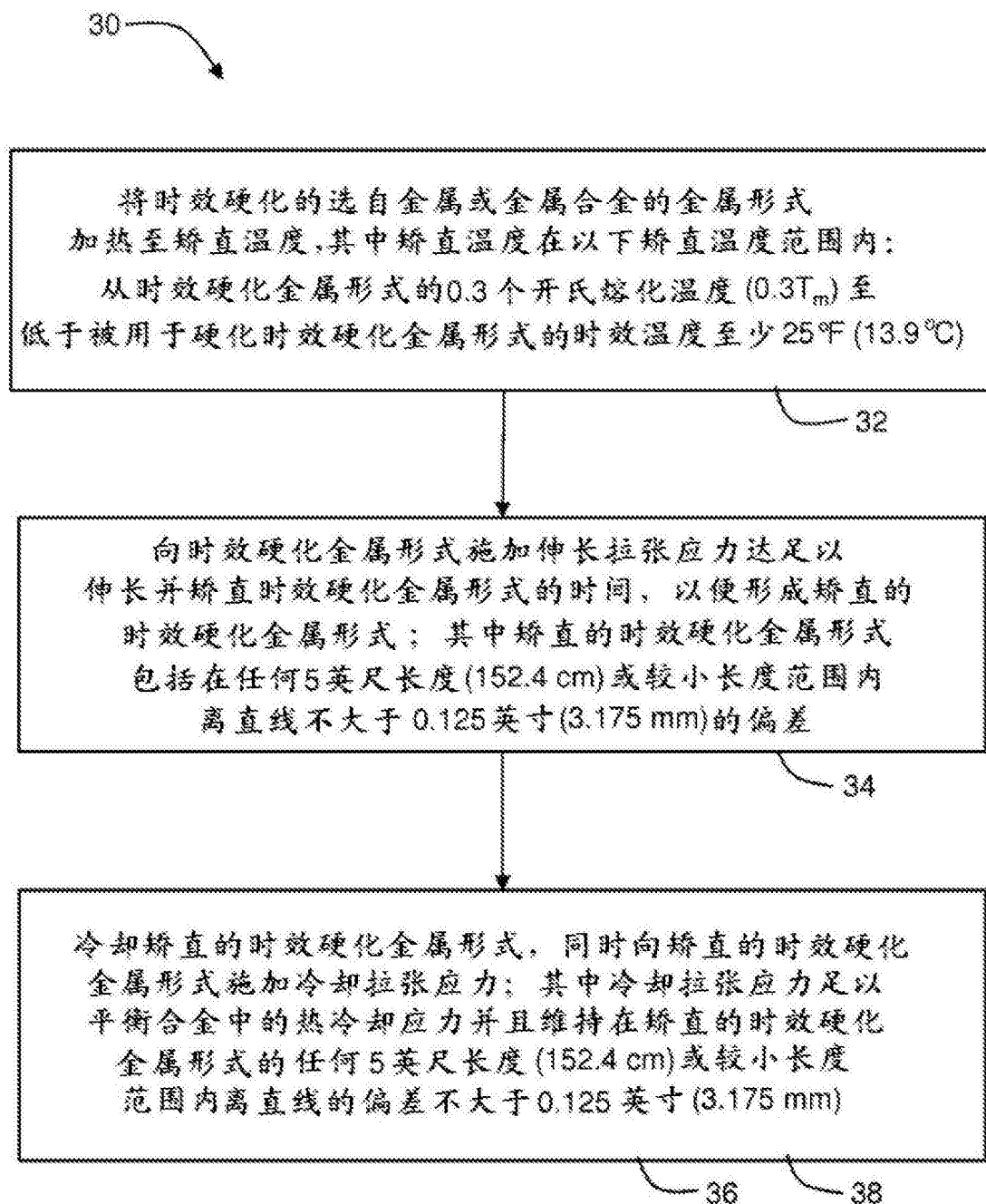


图3

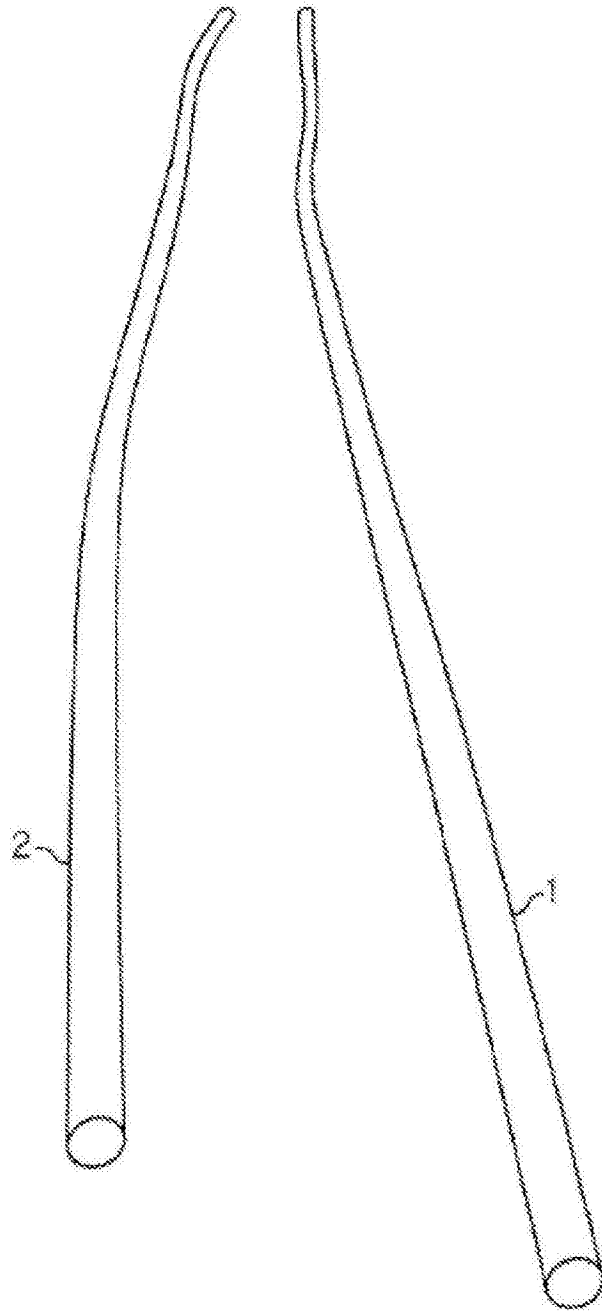


图4

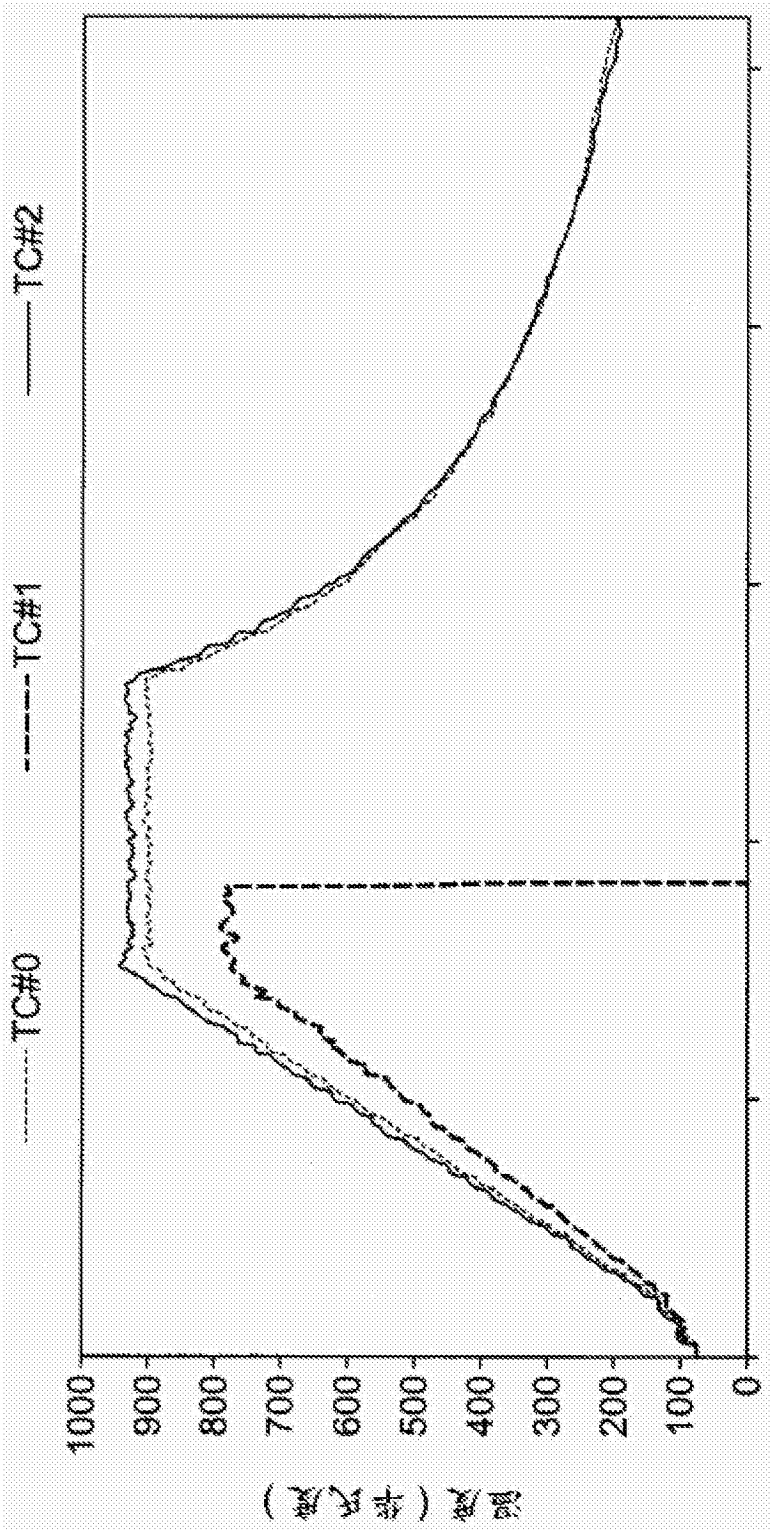


图5

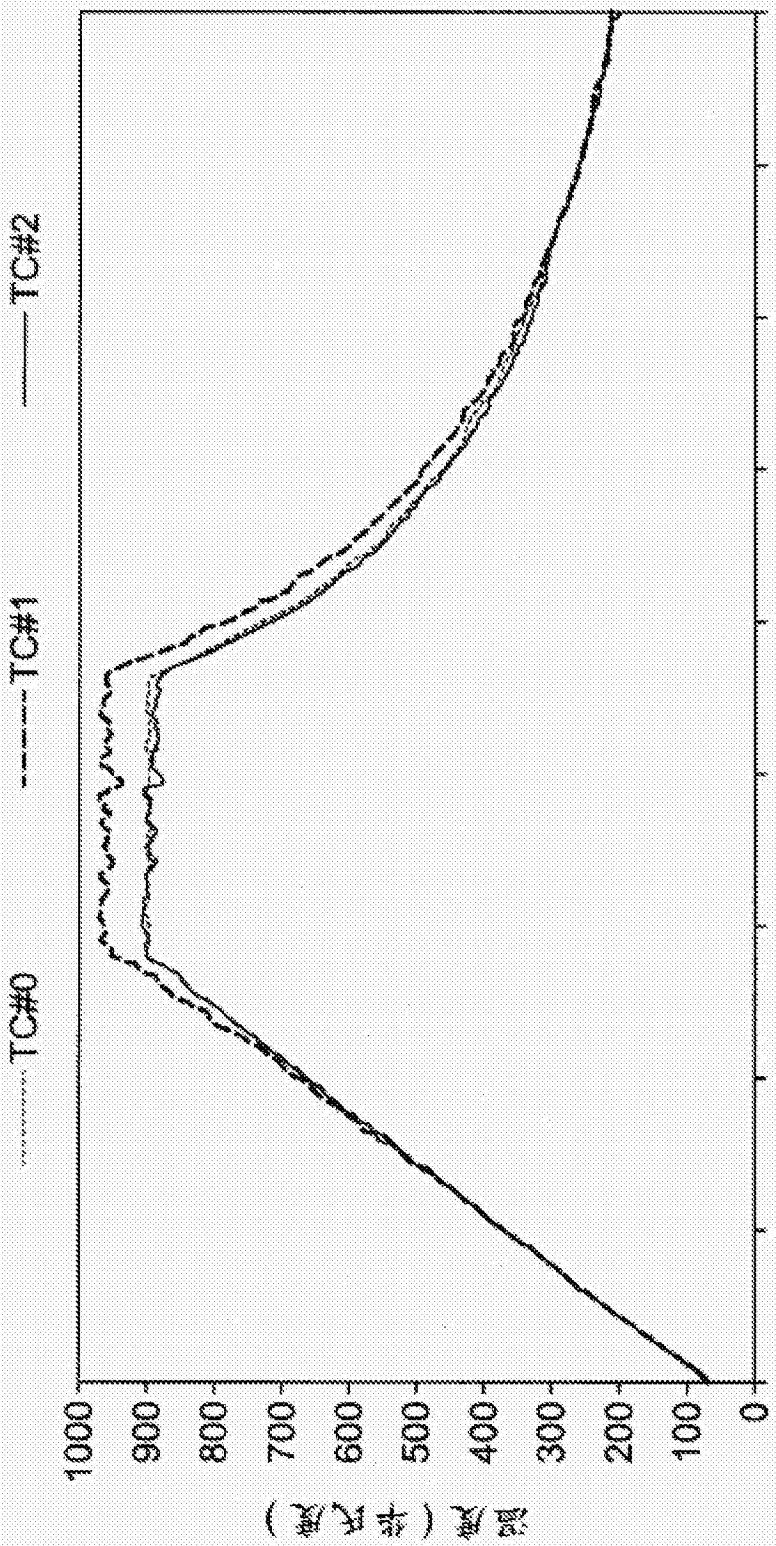


图6

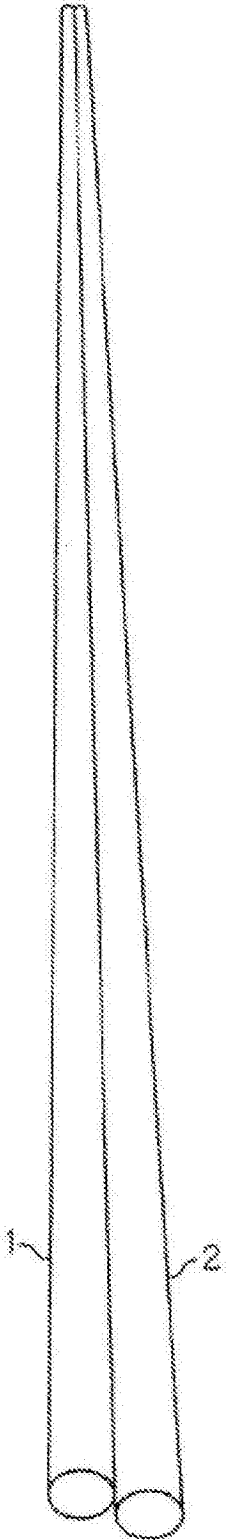


图7

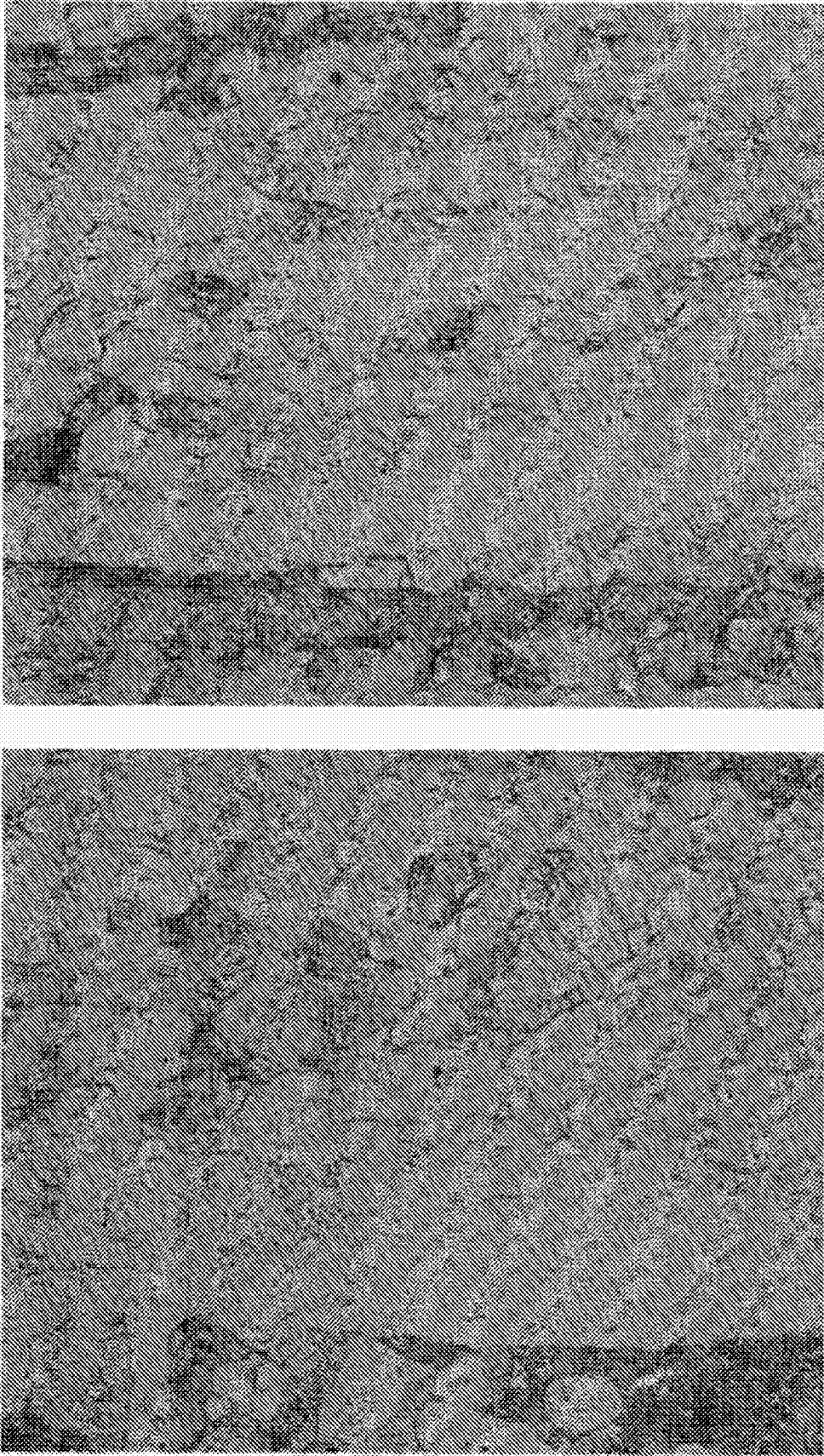


图8

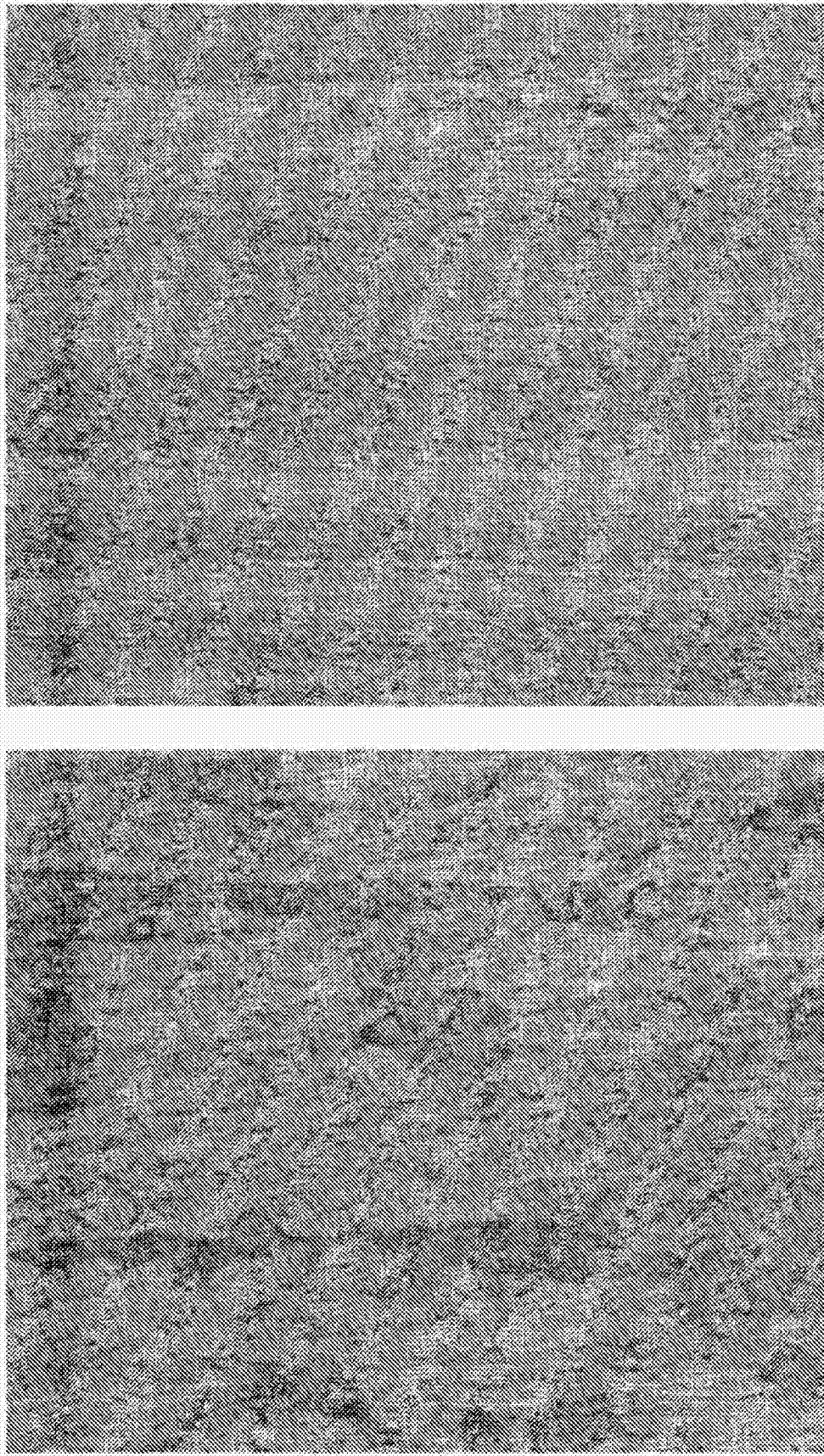


图9