



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 108603241 A

(43)申请公布日 2018.09.28

(21)申请号 201780008981.6

K·L·沃森

(22)申请日 2017.01.27

(74)专利代理机构 上海专利商标事务所有限
公司 31100

(30)优先权数据

62/288,695 2016.01.29 US

代理人 高宏伟 乐洪咏

(85)PCT国际申请进入国家阶段日

2018.07.30

(51)Int.Cl.

G21D 9/63(2006.01)

B21C 47/34(2006.01)

(86)PCT国际申请的申请数据

PCT/US2017/015283 2017.01.27

G21D 1/613(2006.01)

G21D 9/567(2006.01)

(87)PCT国际申请的公布数据

W02017/132476 EN 2017.08.03

G21D 1/53(2006.01)

(71)申请人 康宁股份有限公司

地址 美国纽约州

(72)发明人 D·C·布克班德 T·张

J·J·多梅 P·J·莱齐

R·O·马斯克梅耶 J·C·托马斯

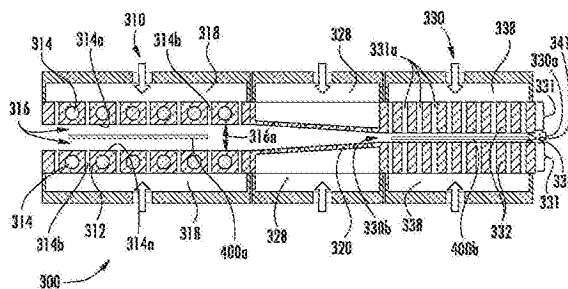
权利要求书3页 说明书18页 附图3页

(54)发明名称

热处理金属材料及相关方法

(57)摘要

提供经热处理的金属片材或制品以及制造该经热处理的片材或制品的方法和系统。该方法包括通过非接触热传导加热和/或冷却金属片材足够长的时间以提供所需的微结构和机械性能。该过程产生经热处理的金属片材。



1. 一种热处理金属材料的方法,包括:
加热和/或冷却金属制品,所述制品在加热和/或冷却过程中用气体支承;
其中,通过将热能经热源和制品之间的加热间隙从热源传递到制品来加热制品,使得20%以上离开热源的热能穿过加热间隙并被制品接收;
其中,通过将热能经制品和散热器之间的冷却间隙从制品传递到散热器来冷却制品,使得20%以上离开制品的热能穿过冷却间隙并被散热器接收。
2. 如权利要求1所述的方法,其中50%以上离开热源或制品的热能分别穿过加热间隙或冷却间隙并分别被制品或散热器接收。
3. 如权利要求1-2中任一项所述的方法,其中所述加热间隙或所述冷却间隙具有所述热源的外表面与所述制品的相邻表面之间或所述制品的相邻表面与所述散热器的外表面之间的平均厚度,其小于约10mm,5mm,2mm,1mm,800 μ m,600 μ m,400 μ m或200 μ m。
4. 如权利要求1-3中任一项所述的方法,其中,对于热源外表面的面积或对于制品外表面的面积,在加热期间从热源到制品或在冷却期间从制品到散热器的传热速率分别大于约50kW/m²、100kW/m²、150kW/m²、200kW/m²、250kW/m²、300kW/m²、350kW/m²、450kW/m²、550kW/m²、650kW/m²、750kW/m²、1000kW/m²、或1200kW/m²。
5. 如权利要求1-4中任一项所述的方法,其中所述制品是具有长度、宽度和厚度的片材,其中所述厚度大于约0.1mm且小于2mm,并且所述宽度和所述长度中的至少一个大于厚度的5倍。
6. 如权利要求1-5中任一项所述的方法,其中加热间隙或冷却间隙是具有间隙面积的气隙,其中进入气隙的气体的总质量流速大于0且小于2k/gCp/平方米间隙面积,其中k是在热传导方向上评估的气隙内的气体的热导率,g是加热制品和散热器表面之间的距离,Cp是气隙内气体的比热容。
7. 如权利要求1-6中任一项所述的方法,其中所述金属材料选自:多晶金属材料,单晶金属材料 and 金属玻璃材料。
8. 如权利要求1-7中任一项所述的方法,其中所述金属材料是选自纯金属和合金的多晶金属材料。
9. 如权利要求1-8中任一项所述的方法,其中所述多晶金属材料是选自铝合金、铜合金、铁合金和镍合金的合金。
10. 如权利要求9所述的方法,其中所述合金是通过所述热源加热的铝合金,并且所述铝合金的加热导致所述制品的沉淀强化。
11. 如权利要求9所述的方法,其中所述金属材料是通过所述热源加热的冷加工铝合金,其中所述加热的冷加工铝合金的微结构经历重结晶。
12. 如权利要求9所述的方法,其中所述金属材料是通过所述热源加热的铜合金,并且所述铜合金的加热导致所述制品的沉淀强化。
13. 如权利要求9所述的方法,其中所述金属材料是由所述热源加热的冷加工铜合金,其中所述加热的冷加工铜合金的微结构经历重结晶。
14. 如权利要求9所述的方法,其中所述金属材料是由所述热源加热的冷加工铁合金,其中所述加热的冷加工铁合金的微结构经历重结晶。
15. 如权利要求9所述的方法,其中所述金属材料是铁合金,其通过所述热源加热至退

火温度并且通过所述散热器以冷却速率冷却,所述冷却速率提供具有所需量的珠光体的微结构。

16. 如权利要求9所述的方法,其中所述金属材料是铁合金,其通过所述热源加热至铁合金的合适的奥氏体化温度并且通过所述散热器以冷却速率冷却,所述冷却速率提供具有所需量的贝氏体和/或马氏体的微结构。

17. 如权利要求16所述的方法,其中所述冷却速率提供不含珠光体的微结构。

18. 如权利要求9所述的方法,其中所述金属材料是冷加工的镍合金,其通过所述热源加热用于制品的重结晶,并通过所述散热器冷却用于在重结晶后控制制品的晶粒生长。

19. 如权利要求9所述的方法,其中所述金属材料是镍合金,其通过所述热源加热至合适的时效处理温度,所述时效处理温度通过沉淀 γ' 沉淀物、碳化物沉淀物、氮化物沉淀物和碳氮化物沉淀物中的至少一种来提供所述制品的沉淀强化。

20. 如权利要求9所述的方法,其中所述金属材料是金属玻璃,所述金属玻璃经加热使得所述制品的表面区域经重结晶并且内部区域不经重结晶。

21. 如权利要求1所述的方法,其中所述加热发生在加热区中,所述加热区配置成化学改变所述制品的表面区域。

22. 如权利要求21所述的方法,其中所述加热区配置成向所述制品的表面区域提供渗铬、渗碳、渗硼,渗氮,渗铝,渗硅及其组合。

23. 一种热处理金属材料的方法,包括:

加热和/或冷却金属材料制品,所述制品在加热和/或冷却过程中用气体支承;

其中,通过将热能经热源和制品之间的加热间隙从热源传递到制品来加热制品,使得至少50%离开热源的热能穿过加热间隙并被制品接收;

其中,通过将热能经制品和散热器之间的冷却间隙从制品传递到散热器来冷却制品,使得至少50%离开制品的热能穿过冷却间隙并被散热器接收;

其中所述加热间隙或所述冷却间隙在所述热源的外表面与所述制品的相邻表面之间或所述制品与所述散热器的外表面之间有小于约10mm的平均厚度;

其中,在加热过程中从热源到制品或在冷却过程中从制品到散热器的传热速率大于约 1000kW/m^2 。

24. 一种热处理的金属材料制品,包括:

由选自Al-基合金,Cu-基合金,Ni-基合金,Fe-基合金和Ti合金的金属材料制成的制品;

所述金属材料制品由于加热和/或冷却所述金属材料而具有微结构,所述金属材料制品在加热和/或冷却过程中用气体支承;

通过将热能经热源和金属材料制品之间的加热间隙从热源传递到金属材料制品来加热金属材料制品,使得20%以上离开热源的热能穿过加热间隙并被金属材料制品接收;

通过将热能经金属材料制品和散热器之间的冷却间隙从金属材料制品传递到散热器来冷却金属材料制品,使得20%以上离开金属材料制品的热能穿过冷却间隙并被散热器接收,

所述微结构选自:固溶强化微结构、沉淀强化微结构、铁氧体加珠光体微结构、铁氧体加贝氏体和/或马氏体微结构、铁氧体加残余奥氏体微结构和铁氧体无珠光体微结构。

25. 如权利要求24所述的热处理的金属材料制品,其特征在于,所述制品由Fe基合金制备,所述Fe基合金具有铁氧体加马氏体微结构并且贝氏体小于6体积%,拉伸强度至少为590MPa,屈服强度至少为330MPa,且总失效伸长率至少为18%。

26. 如权利要求24所述的经热处理的金属材料制品,其中所述制品由Al基合金制成,所述Al基合金具有时效硬化微结构,平均室温拉伸强度为45,000psi,平均室温屈服强度为40,000psi,且平均室温失效伸长率为12%。

27. 如权利要求24所述的经热处理的金属材料制品,其中所述制品由Ni基合金制成,所述Ni基合金具有时效硬化微结构,平均室温拉伸强度为1335MPa,平均室温屈服强度为910MPa,且平均室温失效伸长率为26.6%。

热处理金属材料及相关方法

[0001] 本申请根据35U.S.C.§119要求2016年1月29日提交的美国临时申请系列第62/288695号的优先权,本文以该申请的内容为基础并通过参考将其完整地结合于此。

背景技术

技术领域

[0002] 本公开一般涉及热处理的金属材料以及用于金属和合金的热处理的相关方法和系统。

[0003] 技术背景

[0004] 在金属材料如纯金属、合金、金属间化合物和金属玻璃的热处理中,使用各种热和/或热机械方法来提供微结构、机械性能、物理性质和/或表面光洁度的所需组合。特别地,金属材料可以进行热处理和/或热机械处理,以产生金属材料的微观结构的重结晶,金属材料制品的应力消除和/或主体基质内所需的第二相形态。这种热处理通常包括将金属材料制品加热到高温,将金属材料制品在高温下保持所需的时间长度,然后冷却金属材料制品。在一些方法中,需要用于将金属部件制品加热到高温的受控加热速率和/或冷却金属材料制品的受控冷却速率。

[0005] 目前金属材料制品的热处理(特别是在商业热处理加工器中)使用大型加热炉,长冷却(跳动)台,其需要大量能量以提供足够的热量和大量冷却液以提供足够的冷却速率。另外,当试图将金属材料制品从加热炉(加热区)移动到骤冷站(冷却区)时,将金属材料制品从高温快速骤冷到所需的较低温度可能存在问题。因此,需要对金属材料制品提供热处理同时减少能量消耗并增加加热区和冷却区之间的移动容易性的装置和方法。

发明内容

[0006] 本公开部分涉及热处理的金属材料制品,以及热处理金属材料制品的方法、工艺和系统。在各种实施方式中,本公开的工艺和方法加热和/或冷却由金属材料(制品)形成的制品,该制品在加热和/或冷却期间用气体支承。通过热源和制品之间的加热间隙将热能从热源传递到制品来加热制品,使得20%以上离开热源的热能穿过加热间隙并被制品接收。将制品加热至所需的高温并保持所需的时间。此后,使制品冷却。在实施方式中,使制品空气冷却。在其他实施方式中,通过将制品的热能穿过制品和散热器之间的冷却间隙而从制品传递到散热器来冷却制品,使得20%以上离开加热制品的热能穿过冷却间隙并且由散热器接收。在实施方式中,制品在加热期间用气体支承,并且一半以上离开热源的热能穿过加热间隙并由制品接收。该制品还可以在冷却期间用气体支承,并且一半以上离开制品的热能穿过冷却间隙并由散热器接收。加热间隙或冷却间隙可以分别具有热源的外表面和制品之间或制品与散热器的外表面之间的平均厚度,其小于10毫米(mm),5mm,2mm,1mm,800微米(μm),600 μm ,400 μm 或200 μm 。在实施方式中,在加热期间从热源到制品的传热速率,或者在冷却期间从制品到散热器的传热速率,分别大于50千瓦每平方米(kW/m^2),大于100 kW/m^2 ,大

于 $150\text{kW}/\text{m}^2$,大于 $200\text{kW}/\text{m}^2$,大于 $250\text{kW}/\text{m}^2$,大于 $300\text{kW}/\text{m}^2$,大于 $350\text{kW}/\text{m}^2$,大于 $450\text{kW}/\text{m}^2$,大于 $550\text{kW}/\text{m}^2$,大于 $650\text{kW}/\text{m}^2$,大于 $750\text{kW}/\text{m}^2$,大于 $1000\text{kW}/\text{m}^2$ 或大于 $1200\text{kW}/\text{m}^2$,对于热源的外表面的面积或者对于制品的外表面的面积。

[0007] 该制品可以是片材,圆柱形杆,六角形杆等形式。当制品为片材形式时,制品具有长度、宽度和厚度。在实施方式中,片材的厚度小于 3mm ,小于 2mm ,小于 1.5mm ,小于 1.0mm ,小于 0.5mm ,小于约 0.25mm ,小于约 0.1mm ,小于 0.08mm ,小于 0.06mm ,或小于 0.04mm 。宽度和长度中的至少一个大于片材厚度的五倍。当制品呈杆状时,杆具有平均直径和长度。在实施方式中,杆的直径小于 10mm ,小于 9mm ,小于 8mm ,小于 7mm ,小于 6mm ,小于 5mm ,小于 4mm ,小于 3mm ,小于 2mm ,小于 1mm ,小于 0.8mm ,小于 0.6mm ,小于 0.4mm ,小于 0.2mm 或小于 0.1mm 。

[0008] 加热间隙或冷却间隙可以是具有间隙面积的气隙,并且进入气隙的气体的总质量流速大于 0 且小于 $2k/gC_p/\text{平方米间隙面积}$,其中 k 是在热传导方向上评估的气隙内的气体的热导率, g 是加热制品和散热器表面之间的距离, C_p 是气隙内气体的比热容。

[0009] 金属材料可以是纯金属或合金,纯金属或合金可以是多晶,单晶或金属玻璃。纯金属可以是商业纯金属,例如商业纯铝(Al),铜(Cu),铬(Cr),镍(Ni),铌(Nb),铁(Fe),镁(Mg),钼(Mo),银(Ag),钽(Ta),钛(Ti),钨(W),锆(Zr),金(Au),铂(Pt)或任何其它市售纯金属。合金可以是Al基合金,Cu基合金,Cr基合金,Ni基合金,Nb基合金,Fe基合金,Mg基合金,Mo基合金,Ag基合金,Ta基合金,Ti基合金,W基合金,Zr基合金,Au基合金或其他已知合金。

[0010] 在实施方式中,制品由Al基合金制成,并且对Al基合金制品进行固溶热处理、骤冷和老化,以提供具有降低的残余应力的沉淀强化(也称为沉淀硬化或时效硬化)制品。另外,Al基合金制品可以进行冷加工,然后通过热源加热,使得冷加工的Al基合金制品微结构发生重结晶。可以可控制地冷却重结晶的Al基合金制品,以防止重结晶的Al基合金制品微结构的不希望的晶粒生长。

[0011] 在实施方式中,制品由Cu基合金制品制成,并且对Cu基合金制品进行固溶热处理,骤冷和老化,以提供具有降低的残余应力的沉淀强化制品。另外,Cu基合金制品可以进行冷加工,然后通过热源加热,使得冷加工的Cu基合金制品微结构发生重结晶。可以可控制地冷却重结晶的Cu基合金制品,以防止重结晶的Cu基合金制品微结构的不希望的晶粒生长。

[0012] 在实施方式中,制品由Fe基合金制成,并且Fe基合金制品经过固溶退火,使得Fe基合金的微结构完全是奥氏体,然后冷却以提供具有铁氧体和所需量的珠光体(包括不含珠光体)的微结构。在其它实施方式中,对Fe基合金制品进行固溶退火,使得Fe基合金的微结构完全是奥氏体,然后冷却以提供具有铁氧体和所需量的贝氏体和/或马氏体的微结构。可以冷却固溶退火的Fe基合金制品,从而残余奥氏体可以存在于Fe基合金制品的微结构中。Fe基合金制品可以进行冷加工,然后通过热源加热,使得冷加工的Fe基合金制品微结构发生重结晶。可以可控制地冷却重结晶的Fe基合金制品,以防止重结晶的Fe基合金制品微结构的不希望的晶粒生长。

[0013] 在实施方式中,制品由Ni基合金制成,并且Ni基合金制品经过固溶退火,使得Ni基合金的微结构完全是奥氏体(面心立方-FCC),然后冷却以提供具有所需的第二相沉淀物的微结构。这种第二相沉淀物可包括 Ni_3Al (γ')沉淀物,碳化物沉淀物,氮化物沉淀物和/或碳氮化物沉淀物。Ni基合金制品可以进行冷加工,然后通过热源加热,使得冷加工的Ni基合金制品微结构发生重结晶。可以可控制地冷却重结晶的Ni基合金制品,以防止重结晶的Ni

基合金制品微结构的不希望的晶粒生长。该制品可以由其他类型的合金制成,并进行热处理和冷却,以提供所需的制品微结构。应该理解的是,合金制品的微结构与制品的机械性能密切相关。因此,可以对合金制品进行加热处理和冷却,以提供所需的强度和延展性的组合。

[0014] 该方法可包括在加热区中加热金属材料制品,该加热区构造成化学改变制品的表面区域。例如,加热区可包括化学气相沉积(CVD)设备和/或等离子体沉积设备,其可化学改变制品的表面区域。制品的表面区域可以经化学改变,例如通过涂覆、浸渍和/或扩散元素,所述元素例如氮(氮化)、硼(硼化)、碳(碳化)及其组合。

[0015] 在以下的详细描述中给出了本发明的其他特征和优点,其中的部分特征和优点对本领域技术人员而言是容易理解的,或通过实施文字描述和其权利要求书以及附图中所述实施方式而被认识。

[0016] 应理解,上面的一般性描述和下面的详细描述都仅仅是示例性的,用来提供理解权利要求书的性质和特点的总体评述或框架。

[0017] 所附附图提供了对本发明的进一步理解,附图被结合在本说明书中并构成说明书的一部分。附图说明了一个或多个实施方式,并与文字描述一起用来解释各个实施方式的原理和操作。

附图说明

[0018] 图1是根据示例性实施方式的使用本发明的热处理系统通过传导而不是通过对流而经冷却的金属片材的示意性横截面图。

[0019] 图2是根据示例性实施方式的使用本发明的热处理系统通过传导而不是通过对流而以连续方式经加热和冷却的金属片材的示意性横截面图。

[0020] 图3是根据示例性实施方式的通过传导而不是通过对流而以连续方式经加热和冷却的金属片材的示意性横截面图。

[0021] 图4是显示根据本发明公开的实施方式的金属材料薄片材的加热和冷却的温度与时间的关系图。

[0022] 图5A是重结晶前的冷加工金属材料薄片材的示意横截面图。

[0023] 图5B是图4A的金属材料薄片材在重结晶后的示意性横截面。

[0024] 图6A是根据示例性实施方式制造的具有所需量的珠光体的铁合金的示意图;

[0025] 图6B是根据示例性实施方式制造的具有所需量的贝氏体和马氏体的铁合金微结构的示意图。

[0026] 图6C是不含珠光体的铁合金微结构的示意图。

[0027] 图7A是根据示例性实施方式的已经沉淀强化的铝合金微结构的示意图。

[0028] 图7B是根据示例性实施方式的已经沉淀强化的镍合金微结构的示意图。

[0029] 图8是根据示例性实施方式制造的具有玻璃微结构的内部区域中具有重结晶微结构的表面区域的金属玻璃薄片材的示意性横截面图;和

[0030] 图9是根据示例性实施方式的经构造以化学改变金属材料薄片材制品的表面区域的设备的示意性横截面图。

具体实施方式

[0031] 申请人已经认识到需要改进金属材料的热处理,包括用于热处理金属材料的方法和系统以及所得到的热处理金属材料本身。例如,薄金属材料片材可用于许多应用,包括用于热交换器,航空航天应用,炊具,餐具,热处理设备,替代能源部件和建筑材料。金属材料,这里的术语包括纯金属、合金、金属间化合物和金属玻璃,其可以经加工以具有广泛的微结构和机械性能。与陶瓷和玻璃相比,金属材料,特别是合金,可以提供高强度和优异的延展性。此外,金属材料通常是导电的并且用于电气应用中。

[0032] 金属材料的传统热处理通常包括将金属材料制品(制品)在高温下放置在炉中持续一段时间,然后从炉中取出制品并冷却。在制品经受冷加工的情况下,制品的热处理可导致制品的微结构的重结晶。制品的热处理还可以降低制品内的残余应力,而不会使制品的微结构重结晶。当制品由具有高温相和不同低温相的金属或合金制成(例如具有奥氏体高温相(γ)和铁氧体低温相(α)的铁或钢)时,制品的热处理可以提供具有铁氧体低温相和额外亚稳相的制品微结构。另外,制品的加热和受控冷却可以提供一个或多个亚稳相的所需密度和空间位置。然而,制品的传统热处理通常涉及使用大量能量进行加热的大型炉子。另外,这种炉子可以为制品的热处理提供还原气氛,这使用大量的还原气体如氢气。

[0033] 因此,需要用于热处理制品的系统和方法,其显著降低能量和/或减少气体需求。具体地,与传统的热处理系统相比,本文讨论的工艺和系统热处理制品的能耗降低至少50%。当在给定分类类型的制品的热处理期间使用还原气体时,与传统的热处理系统相比,本文所述的方法和系统将所需的还原气体的量减少超过50%。

[0034] 本文所述的方法和系统通过在使用气体支承的同时加热和/或冷却制品来热处理制品。在一些实施方式中,气体可以是移动的,并且在进一步的实施方式中,气体能够移动制品。可将热能通过热源和制品之间的加热间隙从热源传递到制品来加热制品,使得20%以上离开热源的热能穿过加热间隙并可被制品接收。而且,可通过将制品的热能穿过制品和散热器之间的冷却间隙而从制品传递到散热器来冷却制品,使得20%以上离开制品的热能穿过冷却间隙并且可由散热器接收。在实施方式中,50%以上离开热源或制品的热能分别穿过加热间隙或冷却间隙,并且可以分别由制品部件或散热器接收。加热间隙或冷却间隙可具有热源的外表面与制品之间或制品与散热器的外表面之间的平均厚度,其可小于200微米,小于180微米,小于160微米,小于140微米,小于120微米,小于100微米,小于80微米,小于60微米,小于40微米或小于20微米。在加热期间从热源到制品的传热速率,或者在冷却期间从制品到散热器的传热速率,可分别大于50千瓦每平方米(kW/m^2),大于 $100\text{kW}/\text{m}^2$,大于 $150\text{kW}/\text{m}^2$,大于 $200\text{kW}/\text{m}^2$,大于 $250\text{kW}/\text{m}^2$,大于 $300\text{kW}/\text{m}^2$,大于 $350\text{kW}/\text{m}^2$,大于 $450\text{kW}/\text{m}^2$,大于 $550\text{kW}/\text{m}^2$,大于 $650\text{kW}/\text{m}^2$,大于 $750\text{kW}/\text{m}^2$,大于 $1000\text{kW}/\text{m}^2$ 或大于 $1200\text{kW}/\text{m}^2$,对于热源的外表面的面积或者对于制品的外表面的面积。

[0035] 该制品可以是片材,圆柱形棒,六角形棒等形式。当制品为片材形式时,制品具有长度,宽度和厚度。在实施方式中,片材的厚度可小于3mm,小于2mm,小于1.5mm,小于1.0mm,小于0.5mm,小于约0.25mm,小于约0.1mm,小于0.08mm,小于0.06mm,或小于0.04mm。宽度和长度中的至少一个大于片材厚度的五倍。当制品呈杆状时,杆具有平均直径和长度。在实施方式中,杆的直径可小于10mm,小于9mm,小于8mm,小于7mm,小于6mm,小于5mm,小于4mm,小

于3mm,小于2mm,小于1mm,小于0.8mm,小于0.6mm,小于0.4mm,小于0.2mm或小于0.1mm。

[0036] 加热间隙或冷却间隙可以是具有间隙面积的气隙,并且进入气隙的气体的总质量流速可大于0且小于 $2k/gC_p$ /平方米间隙面积,其中k是在热传导方向上评估的气隙内的气体的热导率,g是热源与加热制品之间或制品与散热器表面之间的距离, C_p 是气隙内气体的比热容。

[0037] 金属材料可以是纯金属或合金,纯金属或合金可以是多晶,单晶或金属玻璃。纯金属可以是商业纯金属,例如商业纯铝(Al),铜(Cu),铬(Cr),镍(Ni),铌(Nb),铁(Fe),镁(Mg),钼(Mo),银(Ag),钽(Ta),钛(Ti),钨(W),锆(Zr),金(Au),铂(Pt)或任何其它市售纯金属。合金可以是Al基合金,Cu基合金,Cr基合金,Ni基合金,Nb基合金,Fe基合金,Mg基合金,Mo基合金,Ag基合金,Ta基合金,Ti基合金,W基合金,Zr基合金,Au基合金或其他已知合金。

[0038] 在实施方式中,制品可由Al基合金制成,并且可对Al基合金制品进行固溶热处理和骤冷,以提供具有降低的残余应力的沉淀强化(也称为沉淀硬化或时效硬化)制品。另外,Al基合金制品可以进行冷加工,然后通过热源加热,使得冷加工的Al基合金制品微结构发生重结晶。可以可控制地冷却重结晶的Al基合金制品,以防止重结晶的Al基合金制品微结构的不希望的晶粒生长。

[0039] 在实施方式中,制品可由Cu基合金制品制成,并且可对Cu基合金制品进行固溶热处理,骤冷和老化,以提供具有降低的残余应力的沉淀强化制品。另外,Cu基合金制品可以进行冷加工,然后通过热源加热,使得冷加工的Cu基合金制品微结构发生重结晶。可以可控制地冷却重结晶的Cu基合金制品,以防止重结晶的Cu基合金制品微结构的不希望的晶粒生长。

[0040] 在实施方式中,制品可由Fe基合金制成,并且Fe基合金制品可经过固溶退火,使得Fe基合金的微结构完全是奥氏体,然后冷却以提供具有铁氧体和所需量的珠光体(包括不含珠光体)的微结构。在其它实施方式中,可对Fe基合金制品进行固溶退火,使得Fe基合金的微结构可完全是奥氏体,然后冷却以提供具有铁氧体和所需量的贝氏体和/或马氏体的微结构。可以冷却固溶退火的Fe基合金制品,从而残余奥氏体可以存在于Fe基合金制品的微结构中。Fe基合金制品可以进行冷加工,然后通过热源加热,使得冷加工的Fe基合金制品微结构发生重结晶。可以可控制地冷却重结晶的Fe基合金制品,以防止重结晶的Fe基合金制品微结构的不希望的晶粒生长。出于本公开的目的,术语“固溶退火”是指在高温基质相中产生合金元素的固溶体的热处理。应该理解的是,高温基质相可以是与低温基质相相同的相,例如,用于Ni基合金的面心立方(FCC)奥氏体,或者可以是与低温相不同的相,例如,用于Fe基合金的FCC奥氏体与BCC铁氧体。

[0041] 在实施方式中,制品可由Ni基合金制成,并且Ni基合金制品可经过固溶退火,使得Ni基合金的微结构可完全是奥氏体(面心立方-FCC),然后冷却以提供具有所需的第二相沉淀物的微结构。这种第二相沉淀物可包括 Ni_3Al (γ' (gamma prime))沉淀物,碳化物沉淀物,氮化物沉淀物和/或碳氮化物沉淀物。Ni基合金制品可以进行冷加工,然后通过热源加热,使得冷加工的Ni基合金制品微结构发生重结晶。可以可控制地冷却重结晶的Ni基合金制品,以防止重结晶的Ni基合金制品微结构的不希望的晶粒生长。该制品可以由其他类型的合金制成,并进行热处理和冷却,以提供所需的制品微结构。应该理解的是,合金制品的微结构与制品的机械性能可密切相关。因此,可以对合金制品进行加热处理和冷却,以提供

所需的强度和延展性的组合。

[0042] 该方法可包括在加热区中加热金属材料制品,该加热区构造成化学改变制品的表面区域。例如,加热区可包括化学气相沉积(CVD)设备和/或等离子体沉积设备,其可化学改变制品的表面区域。制品的表面区域可以经化学改变,例如通过涂覆、浸渍和/或扩散元素,所述元素例如氮(氮化)、硼(硼化)、碳(碳化)及其组合。

[0043] 作为示例,图1示出了根据本公开的金属热处理系统300的示例性实施方式。图1示出了系统300的示意性横截面图,其中可以通过从热源到制品的热传导来加热制品(片材)并且通过从制品经由气体将热量传导至导热散热器来冷却制品。金属热处理系统300包括热区310,冷区330和过渡气体轴承320。过渡气体轴承320将制品(例如,金属材料片材(片材)400a)从热区310移动或引导至冷区330,使得在片材和轴承之间不发生接触或基本上不发生接触。热区310具有气体轴承312,每个气体轴承312从热区气室318进料,并且轴承312具有通过轴承312插入孔中的热源314,其用于将热区气体轴承312加热到期望的热处理工艺温度。热源314可以是电阻热源或感应加热热源。在实施方式中,热源314可具有面向通道316的外表面314a,并且外表面314a可提供红外加热。片材(热区)400a可以保持在热区气体轴承312之间足够长的时间以使其达到期望的热处理温度(例如,应力消除温度,固溶退火温度,高温相退火温度,时效硬化温度等)。

[0044] 在一些实施方式中,在热区中加热制品可主要通过经由薄气体屏障而来自散热器的热传导来完成。在热区中使用的传导加热过程可以类似于本文所述的冷却过程,但与之相反(例如,将热量推入制品中)。如图1所示,热区310包括邻近通道316设置的一个或多个热源314。在使用两个热源的情况下,这种热源可以设置在通道316的相对侧上,横跨外表面314a之间的通道间隙316a彼此面对。在一些实施方式中,热源包括形成气体轴承312的一部分的多个孔314b,并且热区310的热气轴承312的外表面314a用作两个热源表面。由于通道316内的低气体流速以及可以为通道间隙316a提供的小尺寸,可以在热区310内加热片材400a,这主要是通过来自热源314的热量穿过通道间隙316a传导并进入片材400a,而无需片材400a接触热源外表面314a。

[0045] 在一些实施方式中,热源和/或其表面可以是分段的。在一些实施方式中,热源可以是多孔的,并且在这样的实施方式中,气体轴承312的气体可以通过其输送的孔是多孔散热器的孔。多个孔314b,气体源和通道间隙316a可以流体连通。在一些实施方式中,气体流过孔314b以在通道间隙316a中形成气垫、层或轴承。一些实施方式的气垫防止片材400a接触热源314表面。该气体还用作通过其可以经由传导而不是经由对流来加热片材400a这样的气体。

[0046] 在一些实施方式中,流过孔314b的气体加热热源314。在一些实施方式中,流过孔的气体既有利于从热源314穿过间隙316a进入片材400a的热传导,并且还加热热源314。在一些情况下,可以使用单独的气体或液体来加热热源314。例如,热源314可包括管道(未示出),用于使加热气体或液体流过其中以加热热源314。所述管道可被关闭。

[0047] 在使用两个热源(即,第一热源和第二热源)的情况下,可以使用一个或多个气体源向通道间隙316a提供气体。气源可包括彼此相同的气体或不同的气体。因此,通道间隙316a可包括一种气体,来自不同气体源或相同的气体源的气体混合物。示例性气体包括空气、氮气、二氧化碳、氦气或其他惰性气体、氢气及其各种组合。当气体在开始传导加热片材

400a之前进入通道316时,可以通过其热导率来描述气体。在一些情况下,气体可具有下述热导率:约(例如,正或负1%) $0.02\text{W}/(\text{mK})$ 或更高,约 $0.025\text{W}/(\text{mK})$ 或更高,约 $0.03\text{W}/(\text{mK})$ 或更高,约 $0.035\text{W}/(\text{mK})$ 或更高,约 $0.04\text{W}/(\text{mK})$ 或更高,约 $0.045\text{W}/(\text{mK})$ 或更高,约 $0.05\text{W}/(\text{mK})$ 或更高,约 $0.06\text{W}/(\text{mK})$ 或更高,约 $0.07\text{W}/(\text{mK})$ 或更高,约 $0.08\text{W}/(\text{mK})$ 或更大,约 $0.09\text{W}/(\text{mK})$ 或更高,约 $0.1\text{W}/(\text{mK})$ 或更高,约 $0.15\text{W}/(\text{mK})$ 或更大,或约 $0.2\text{W}/(\text{mK})$ 或更高。

[0048] 本文所述的方法和系统允许高传热速率,如上所述,其允许在片材内快速和受控地加热,并允许薄片材的外表面区域的快速、局部和受控加热。使用空气作为气体,利用片材和散热器之间的间隙,仅通过传导可以实现传热速率高达50千瓦每平方米(kW/m^2),大于 $100\text{kW}/\text{m}^2$,大于 $150\text{kW}/\text{m}^2$,大于 $200\text{kW}/\text{m}^2$,大于 $250\text{kW}/\text{m}^2$,大于 $300\text{kW}/\text{m}^2$,大于 $350\text{kW}/\text{m}^2$,大于 $450\text{kW}/\text{m}^2$,大于 $550\text{kW}/\text{m}^2$,大于 $650\text{kW}/\text{m}^2$,大于 $750\text{kW}/\text{m}^2$,大于 $1000\text{kW}/\text{m}^2$,或大于 $1200\text{kW}/\text{m}^2$ 或更高。使用氦气或氢气,可以实现 $5000\text{kW}/\text{m}^2$ 或更高的传热速率。因此,冷区330可提供的冷却速率等于对在热处理系统300中热处理的制品进行炉冷却、空气冷却和/或水骤冷的冷却速率($1000\text{--}4000\text{kW}/\text{m}^2$)。

[0049] 在一些实施方式中,热区气体轴承312和片材400a之间的间隙316a可以相对较大,大约 $0.05''$ (1.27mm)至 $0.125''$ (3.175mm)或更大,因为片材400a可以是相对缓慢地加热,并且从热气体轴承312到片材400a的热辐射可足以适用该目的。在其他实施方式中,热区间隙尺寸可以小到每边150微米或每边500微米。在一些实施方式中,较小的间隙可能是有利的,因为它们使轴承具有更好的“刚性”-即,能够使片材集中并因此在其处于软化状态时使其变平。在一些实施方式中,该过程可以在初始加热步骤中对片材进行再成形(使其平坦化),例如通过空气轴承312提供的压力。在一些实施方式中,顶部和底部热区轴承可以在致动器上,允许以连续方式改变间隙宽度,或者,当间隙大时允许片材进入热区然后压缩间隙以在片材仍然柔软的同时使片材变平。

[0050] 热区和/或冷区的工艺温度取决于许多因素,包括片材组成,片材厚度,片材性能(CTE等)和所需的热处理水平(例如应力消除,固溶退火等)。通常,起始处理温度可以是环境温度和片材熔点之间的任何值。例如,对于低碳钢,系统300将片材400a加热至约(例如,正或负1%) 780°C 至约 820°C 的温度。对于可时效硬化的铝合金,例如,系统300将片材加热至约 530°C 的固溶退火温度,约 410°C 的退火温度和/或约 175°C 的时效沉淀热处理温度。对于固溶强化的镍合金,例如,系统300将片材加热至约 1150°C 的固溶退火温度。对于可时效硬化的镍合金,例如,系统300将片材加热至约 1080°C 的固溶退火温度,约 995°C 的第一时效硬化处理温度,约 845°C 的第二时效硬化处理温度和约 760°C 的第三时效硬化处理温度。在第一时效硬化处理温度与第二时效硬化处理温度之间,以及从第二时效硬化处理温度到第三时效硬化处理温度,可以以一种或多种所需的冷却速率冷却片材,从而可以向片材提供炉冷却、空气冷却、水骤冷,或与炉冷却、空气冷却或水骤冷相关的冷却速率之间的一些冷却速率。此外,片材可以在热区310和冷区330之间来回移动,以便为片材提供所需的加热和冷却循环。

[0051] 片材400a可以加热到其所需的起始热处理温度(例如,固溶退火温度),然后可以使用任何合适的方法将其从热区310移动到冷区330以进行受控冷却。在一些实施方式中,将片材400a从热区310移动到冷区330可以通过例如下述来实现:(1)倾斜整个组件使得作用在片材上的重力迫使其移动到冷区,(2)阻止来自热区310的最左侧出口的气流(在该实

施方式中该侧面被封闭),从而迫使从所有气体轴承发出的所有气体从冷区的最右侧出口排出,从而在片材400a上产生流体力并使其移动到冷区330,或(3)通过(1)和(2)的组合。

[0052] 过渡气体轴承320可通过过渡轴承增压室328供应气体。过渡气体轴承320的表面后面的固体材料厚度可以是薄的,具有低热质量和/或低热导率,允许减少从热区310到冷区330的热传导。过渡气体轴承320可以用作两个区域310和330之间的热断裂或过渡,并且可以用于从热区的较大间隙316a向下过渡到冷区域330的小间隙336。此外,过渡气体轴承320的低热质量和/或低热导率限制了传递的量,因此片材400a在经过过渡气体轴承320时经历冷却。

[0053] 一旦片材400a(热区)移动到冷区330并进入通道330a,可以通过机械挡块或任何其它合适的阻挡机构(如止动门341所示)阻止片材400b(冷区)离开右侧出口。一旦片材400b充分冷却,可以移动止动门341,解锁冷区通道330a,然后可以从系统300移除片材400b。如果需要,可以将片材400b留在冷区330中,直到在移除之前接近室温或在室温以下。

[0054] 如上所述,在热区310内,片材400a可被加热到所需温度,而冷区330包括通道330a,用于通过开口330b接收加热片材400a,将片材400a输送到冷区330中,并在冷区330中冷却片材400b。在一个或多个实施方式中,通道330a包括输送系统,该输送系统可包括气体轴承,滚轮,传送带或其他装置以将片材物理地传送通过冷区。如图1所示,冷区330包括气体轴承332,气体轴承332供给增压室338,增压室338与热区增压室318和过渡轴承增压室328分开。

[0055] 如图1所示,冷区330包括邻近通道330a设置的一个或多个散热器331。在使用两个散热器的情况下,这种散热器可以设置在通道330a的相对侧上,跨过通道间隙330a彼此面对。在一些实施方式中,散热器包括形成气体轴承332的一部分的多个孔331a,并且冷区330的冷气轴承332的表面用作两个散热器表面。由于通道330a内的低气体流速和通道间隙330a的小尺寸,片材400b可以在冷区330内冷却,主要是通过来自片材400b的热量穿过间隙并进入固体散热器331,而无需片材400b接触散热器表面。

[0056] 在一些实施方式中,散热器和/或其表面可以是分段的。如上所述,在一些实施方式中,散热器可以是多孔的,并且在这样的实施方式中,气体轴承332的气体可以通过其输送的孔是多孔散热器的孔。多个孔332b,气体源和通道间隙330a可以流体连通。在一些实施方式中,气体流过孔331a以在通道间隙330a中形成气垫、层或轴承。一些实施方式的气垫防止片材400b接触散热器331表面。该气体还用作通过其可以经由传导而不是经由对流来冷却片材400b这样的气体。

[0057] 在一些实施方式中,流过孔331a的气体冷却散热器。在一些实施方式中,流过孔的气体既促进从片材穿过间隙进入散热器的热传导,并且还冷却散热器331。在一些情况下,可以使用单独的气体或液体来冷却散热器331。例如,散热器331可以包括管道334,用于使冷却气体或液体流过其中以冷却散热器331。管道334可被关闭。

[0058] 在使用两个散热器(即,第一散热器和第二散热器)的情况下,可以使用一个或多个气体源向通道间隙330a提供气体。气源可包括彼此相同的气体或不同的气体。因此,通道间隙330a可包括一种气体,来自不同气体源或相同的气体源的气体混合物。示例性气体包括空气、氮气、二氧化碳、氦气或其他惰性气体、氢气及其各种组合。在实施方式中,气体可以是氢气,热处理系统300用作光亮退火炉,即在还原环境中使片材退火的炉子,其防止片

材表面氧化并还原片材表面上存在的大多数氧化物,从而提供具有“光亮”表面的退火片材。片材400a从热区310到冷区330的快速转移可以向片材400b提供快速冷却速率,例如,相当于水骤冷的冷却速率。应该理解的是,这种“水骤冷”型冷却提供了目前不适用于当前光亮退火炉的冷却速率。

[0059] 当气体在开始传导冷却片材400b之前进入通道330a时,可以通过其热导率来描述气体。在一些情况下,气体可具有下述热导率:约(例如,正或负1%) $0.02\text{W}/(\text{mK})$ 或更高,约 $0.025\text{W}/(\text{mK})$ 或更高,约 $0.03\text{W}/(\text{mK})$ 或更高,约 $0.035\text{W}/(\text{mK})$ 或更高,约 $0.04\text{W}/(\text{mK})$ 或更高,约 $0.045\text{W}/(\text{mK})$ 或更高,约 $0.05\text{W}/(\text{mK})$ 或更高,约 $0.06\text{W}/(\text{mK})$ 或更高,约 $0.07\text{W}/(\text{mK})$ 或更高,约 $0.08\text{W}/(\text{mK})$ 或更大,约 $0.09\text{W}/(\text{mK})$ 或更高,约 $0.1\text{W}/(\text{mK})$ 或更高,约 $0.15\text{W}/(\text{mK})$ 或更大,或约 $0.2\text{W}/(\text{mK})$ 或更高。

[0060] 本文所述的方法和系统允许高传热速率,如上所述,其允许甚至在非常薄的片材内形成加强程度的温差。使用空气作为气体,利用片材和散热器之间的间隙,仅通过传导可以实现传热速率高达 50 、 100 、 150 、 200 、 250 、 300 、 350 、 450 、 550 、 650 、 750 、 1000 和 $1200\text{kW}/\text{m}^2$ 或更高。使用氦气或氢气,可以实现 $5000\text{kW}/\text{m}^2$ 或更高的传热速率。

[0061] 一个或多个实施方式的散热器331可以是静止的,或者可以是可移动的以改变通道间隙330a的厚度。片材400b的厚度可以在通道间隙330a的厚度的约 0.4 倍至约 0.6 倍的范围内,所述通道间隙被定义为散热器331的相对表面(例如,图1的布置中散热器331的上表面和下表面)之间的距离。在一些情况中,通道间隙可以被配置为具有足够的厚度,使得加热的片材可以通过传导而不是通过对流来冷却。

[0062] 在一些实施方式中,热区310和/或冷区330中的通道间隙可具有这样的厚度,使得当片材400a或400b被传送通过或位于通道316a或330a内时,片材400a或400b的主表面与热源表面或散热器表面之间的距离(例如,上面讨论的间隙尺寸)可以是约(例如,正或负1%) $100\mu\text{m}$ 或更大(例如下述范围:约 $100\mu\text{m}$ 至约 $200\mu\text{m}$ 、约 $100\mu\text{m}$ 至约 $190\mu\text{m}$ 、约 $100\mu\text{m}$ 至约 $180\mu\text{m}$ 、约 $100\mu\text{m}$ 至约 $170\mu\text{m}$ 、约 $100\mu\text{m}$ 至约 $160\mu\text{m}$ 、约 $100\mu\text{m}$ 至约 $150\mu\text{m}$ 、约 $110\mu\text{m}$ 至约 $200\mu\text{m}$ 、约 $120\mu\text{m}$ 至约 $200\mu\text{m}$ 、约 $130\mu\text{m}$ 至约 $200\mu\text{m}$ 、或约 $140\mu\text{m}$ 至约 $200\mu\text{m}$)。在一些实施方式中,通道间隙可以具有这样的厚度,使得当片材400a或400b被传送通过通道316或330a时,片材与热源表面或散热器表面之间的距离(一个或多个间隙316a或330a),可以是约(例如,正或负1%) $100\mu\text{m}$ 或更小(例如下述范围:约 $10\mu\text{m}$ 至约 $100\mu\text{m}$ 、约 $20\mu\text{m}$ 至约 $100\mu\text{m}$ 、约 $30\mu\text{m}$ 至约 $100\mu\text{m}$ 、约 $40\mu\text{m}$ 至约 $100\mu\text{m}$ 、约 $10\mu\text{m}$ 至约 $90\mu\text{m}$ 、约 $10\mu\text{m}$ 至约 $80\mu\text{m}$ 、约 $10\mu\text{m}$ 至约 $70\mu\text{m}$ 、约 $10\mu\text{m}$ 至约 $60\mu\text{m}$ 、或者约 $10\mu\text{m}$ 至约 $50\mu\text{m}$)。通道间隙316a或330a的总厚度可以取决于片材400a或400b的厚度,但是通常可以表征为热源表面或散热器表面与片材之间的距离(加上片材厚度)的2倍。在一些实施方式中,片材与热源或散热器之间的距离或间隙316a或330a可能不相等。在这样的实施方式中,通道间隙316a或330a的总厚度可以表征为片材与各热源表面之间或片材与各散热器表面之间的距离加上片材厚度之和。

[0063] 在一些情况下,通道间隙316a或330a的总厚度可小于约(例如,正或负1%) $2500\mu\text{m}$ (例如下述范围:约 $120\mu\text{m}$ 至约 $2500\mu\text{m}$ 、约 $150\mu\text{m}$ 至约 $2500\mu\text{m}$ 、约 $200\mu\text{m}$ 至约 $2500\mu\text{m}$ 、约 $300\mu\text{m}$ 至约 $2500\mu\text{m}$ 、约 $400\mu\text{m}$ 至约 $2500\mu\text{m}$ 、约 $500\mu\text{m}$ 至约 $2500\mu\text{m}$ 、约 $600\mu\text{m}$ 至约 $2500\mu\text{m}$ 、约 $700\mu\text{m}$ 至约 $2500\mu\text{m}$ 、约 $800\mu\text{m}$ 至约 $2500\mu\text{m}$ 、约 $900\mu\text{m}$ 至约 $2500\mu\text{m}$ 、约 $1000\mu\text{m}$ 至约 $2500\mu\text{m}$ 、约 $120\mu\text{m}$ 至约 $2250\mu\text{m}$ 、约 $120\mu\text{m}$ 至约 $2000\mu\text{m}$ 、约 $120\mu\text{m}$ 至约 $1800\mu\text{m}$ 、约 $120\mu\text{m}$ 至约 $1600\mu\text{m}$ 、约 $120\mu\text{m}$ 至约 $1500\mu\text{m}$ 、约

120 μm 至约1400 μm ,约120 μm 至约1300 μm ,约120 μm 至约1200 μm ,或约120 μm 至约1000 μm)。在一些情况下,通道间隙的总厚度可为约2500 μm 或更大(例如下述范围:约2500 μm 至约10,000 μm ,约2500 μm 至约9,000 μm ,约2500 μm 至约8,000 μm ,约2500 μm 至约7,000 μm ,约2500 μm 至约6,000 μm ,约2500 μm 至约5,000 μm ,约2500 μm 至约4,000 μm ,约2750 μm 至约10,000 μm ,约3000 μm 至约10,000 μm ,约3500 μm 至约10,000 μm ,约4000 μm 至约10,000 μm ,约4500 μm 至约10,000 μm ,或约5000 μm 至约10,000 μm)。

[0064] 散热器331中的孔331a可以定位成垂直于散热器表面,或者可以定位成从垂直于散热器表面起20度或更小的角度,例如约(例如,正或负1%)15度或更小,约10度或更小或约5度或更小。

[0065] 在一些实施方式中,散热器(冷气体轴承332)表面后面的材料可以是具有高传热速率的任何合适材料,包括金属(例如,不锈钢,铜,铝),陶瓷,碳等。该材料与过渡气体轴承320的表面后面的材料相比可以相对较厚,如图1所示,从而散热器可以容易地接受相对大量的热能。在示例性实施方式中,散热器331的材料可以是不锈钢。

[0066] 参照图2,图1中所示的金属热处理系统300可以以连续的方式处理金属片材。该热处理系统300类似于图1中所示的热处理系统300,差别在于通过从进料辊305向热处理系统300供应片材400并且在离开热处理系统300后将热处理片材400卷绕到出口辊335,通过该热处理系统300可以连续地处理片材400。当片材400进入热区310时,它可以如上面关于片材400a所讨论的那样被加热。片材400继续穿过过渡气体轴承320并进入冷区330,在这里它如上面关于片材400b所讨论的那样被冷却。应当理解,片材400通过热处理系统300的速度,片材400在热区310中的加热速率,片材400在热区310中的热处理温度,冷区330中的片材400的冷却速率经设计并实施以提供具有所需微结构和机械性能的热处理金属材料片材。

[0067] 现在参考图1-3,图3示出了在通过图2中的热处理系统300对片材400进行热处理之后,使用另一个处理系统300来热处理该片材400。具体地,图2中的热处理系统300通过第一加热和冷却热处理循环对片材400进行热处理,并且图3中的热处理系统300通过第二加热和冷却热处理循环对片材400进行热处理。来自图2中的热处理系统300中的进料辊305的片材400可以进入加热区310并进行热处理,如上针对图1-2中的片材400a所述。片材400从热区310移动,通过过渡气体轴承320并进入冷区330,在这里可以对其进行热处理,如上针对图1-2中的片材400b所述。当热处理过的片材400离开冷区330时,它可以卷绕到图2中的热处理系统300的出口辊335中。在图2中的热处理系统300的进料辊305和出口辊335之间,片材400可以经历第一加热和冷却热处理循环。然后将图2中的热处理系统300的出口辊335用作图3中的热处理系统300的进料辊305。类似于图2中的热处理系统300,来自图2中的热处理系统300的热处理片材400,其可以是图3中的热处理系统300的进料辊305,可以经历另一个(第二)加热和冷却热处理循环。应当理解,可以使用如本文所公开的两个以上的热处理系统来热处理金属材料制品,从而提供两个以上的加热和冷却热处理循环。

[0068] 现在参考图1-4,图4示出了通过图1或图2中的金属热处理系统300或通过图3中多个热处理系统之一的片材的时间与温度的图。在实施方式中,并且如图4所示,片材400在进入热处理系统300的热区310之前具有T1-T2之间的温度(例如,环境温度),进入热区310时片材400a在热区310中被加热至T3-T4之间的热处理温度(例如,固溶退火温度)。片材400a可以在T3-T4之间的热处理温度下保持预定的时间量,然后通过过渡气体轴承320进入冷区

330,在此处以预定的和所需的冷却速率将片材400b冷却到T5-T6之间的温度。此后,可以将片材400b从冷区330中取出并使其进一步冷却至T1-T2之间的温度(例如,环境温度)。或者,片材400b可被冷却并保持在冷区330中的T5-T6之间的温度,然后冷却并保持在冷区330中的T1-T2之间的温度,然后片材400b离开冷区330。片材400b从T3-T4之间的温度冷却到T5-T6之间的温度的冷却速率可以与片材400b从T5-T6之间的温度冷却到T1-T2之间的温度的冷却速率相同或不同。

[0069] 图5A和5B示出了已经经过加工硬化(也称为应变硬化和冷加工)的制品的重结晶。该制品已经历塑性变形并且表现出图5A中的加工硬化的微结构(例如,在塑性变形过程的方向上伸长的晶粒)。在热区310中加热至所需的重结晶温度持续所需的时间后,发生微结构的重结晶,如图5B所示。而且,冷区330中制品的冷却控制了晶粒生长,即防止重结晶后过度的晶粒生长。这种制品的重结晶可以由热处理系统300提供用于各种金属材料,包括但不限于商业纯金属,例如商业纯Al,Cu,Cr,Ni,Nb,Fe,Mg,Mo,Ag,Ta,Ti,W,Zr,Au,Pt或任何其他市售纯金属,以及合金如Al基合金,Cu基合金,Cr基合金,Ni基合金,Nb合金,Fe基合金,Mg合金,Mo合金,Ag合金,Ta合金,Ti合金,W合金,Zr合金,Au合金或其他已知合金。

[0070] 图6A-6C示出了已经通过热处理系统300处理的制品的示例性微结构。例如,可以在热处理系统300中对钢片材进行热处理,从而可以提供具有所需量的珠光体的铁氧体基质,如图5A所示。或者,可以对钢片材进行热处理,从而可以提供具有所需量的贝氏体和/或马氏体的铁氧体基质,如图5B所示。另外,可以对钢片材进行热处理,使得可以提供不含珠光体和其他第二相的铁氧体基质,如图5C所示。

[0071] 参考图6A,示出了已经由金属热处理系统300热处理的Al基合金的示例性微结构。热处理系统300加热并冷却Al基合金,使得已知的“GP区”沉淀物在整个合金微结构中沉淀并提供材料的时效硬化。图6B示出了已经通过金属热处理系统300处理的镍合金的示例性微结构,使得 γ' 沉淀物已经在整个合金微结构中沉淀并且提供了材料的沉淀强化。

[0072] 参考图8,已经通过金属热处理系统300处理的金属玻璃的代表性微结构示出了金属玻璃薄片材的表面区域已经重结晶,而内部区域保留有无定形或玻璃形态。这种热处理提供了一种制品,其表面具有抗裂纹引发和延伸的能力,并且内部具有增加的拉伸强度和弹性应变极限。

[0073] 参考图9,在实施方式中,热处理系统300化学改变穿过其中的制品的表面区域。特别地,示出了具有将要沉积到片材400a上的一种或多种化学元素(例如Cr,C,B,N,Al,Si等)的气态气氛500。虽然图9示出了片材400a两侧的气态气氛500,但在实施方式中,热处理系统300可以主要仅向片材400a的一侧提供气态气氛500。一旦气态气氛500中的一种或多种化学元素沉积在片材400a的表面上,一种或多种化学元素就可以扩散到片材400a的表面区域中,从而与片材400a合金化以提供化学改变的表面。或者,沉积在片材400a表面上的一种或多种化学元素可以保留在表面上,从而提供化学改变的表面。使用化学气相沉积(CVD)工艺、等离子体沉积工艺等可以提供或产生气态气氛500。在实施方式中,气态气氛500有助于支撑片材400a,使得片材400a不与热源314物理接触。具有气态气氛500的热处理系统300可以使片材400a的表面区域渗铬(铬化),使片材400a的表面区域渗碳(碳化),使片材400a的表面区域渗硼(硼化),使片材400a的表面区域渗氮(氮化),使片材400a的表面区域渗铝(铝化),使片材400a的表面区域渗硅(硅化)及其组合。

[0074] 实施例

[0075] 装置设置-如上所述,该装置包括三个区域-热区,过渡区和冷区。热区和冷区中顶部和底部热轴承之间的间隙设定为所需的间距。设定热区、过渡区和骤冷区中的气流速率以确保制品在气体轴承上居中。可以将热区预热到所需的温度 T_0 ,其中制品在被转移到冷区并冷却之前将保持预定的和所需的时间。温度 T_0 由被热处理的制品的金属材料和制品进行的特定热处理所确定。至平衡的时间至少取决于制品的厚度。例如,对于约1.1mm或更薄的片材,在约10秒中发生平衡。对于3mm的片材,在约10秒至30秒中发生平衡。对于较厚的片材,厚达约6mm,平衡时间可以是约60秒。一旦制品平衡至 T_0 ,它可以在 T_0 保持所需的时间量,然后通过气体轴承上的过渡区转移并进入冷却或骤冷区。该制品以所需的冷却速率冷却至低于 T_0 (T_L) 的温度,并且可以或可以不在 T_L 的冷区中保持延长的时间段,然后离开冷区。根据所需的热处理和/或移除时制品的所需温度,制品可在冷区保持从1秒,10秒、1分钟、几分钟、1小时、几小时或更长的任何时间段。

[0076] 可以用本文公开的热处理系统对各种不同的合金进行热处理。提供了可以获得的这种合金和微结构和机械性能的实施例。

[0077] 铝合金

[0078] 实施例1以厚度为1mm的薄片形式提供6061锻造铝片材,其化学成分的重量百分比为0.15Mn,0.4-0.8Si,0.15-0.35Cr,0.15-0.4Cu,0.7Fe,0.25Zn,0.8-1.2Mg,0.15Ti,其余为Al和其它偶然杂质。薄片材在775°F的热区退火2小时,然后以50°F/小时控制冷却至500°F,然后空气冷却。将该材料在350°F下经历时效硬化热处理8小时,然后空气冷却以产生T6温度(temper)。具有T6温度的6061铝片材的机械性能显示平均拉伸强度为45,000psi,屈服强度为40,000psi,剪切强度为31,000psi,失效伸长率为12%,布氏硬度为95。

[0079] 钢合金

[0080] 实施例2冷轧钢合金片材(厚度为0.5mm,化学成分的范围和重量百分比为:0.085-0.11C,1.4-2.0Mn,0.09-0.21Mo,0.02-0.05Al,0.16-0.5Si,0.13-0.5Cr,0.016最大Ti,0.06最大Ni,0.003最大S,0.015最大P,0.006最大N,余量为铁和偶然金属杂质)可以通过金属热处理系统300进行加工,并在热区中在760-800°C的温度经历临界间(intercritical)退火。此后,可以在冷区中将临界间退火的钢合金片材快速冷却至低于450°C的温度。快速冷却的片材具有铁氧体-马氏体微结构,贝氏体含量小于6体积%,0.2%屈服强度至少为330MPa,拉伸强度至少为590MPa,总失效伸长率至少为18%,均匀伸长率至少为10%。

[0081] 钴和镍固溶强化合金

[0082] 虽然Co基和Ni基固溶强化合金采用例如Cr-碳化物、W-碳化物等的第二相沉淀来辅助材料的高温强化,但主要的强化机制可以是在Co或Ni基质中添加并合金化各种元素以提供“固溶强化”。

[0083] 实施例3可以通过金属热处理系统300处理具有以下标称化学组成(wt%)的一种Co基和两种Ni基固溶强化合金。

[0084] 钴合金(C1):10Ni,20Cr,15W,3最大Fe,1.5Mn,0.4最大Si,0.10C,余量为Co(约51wt%)和偶然杂质(可以HAYNES®25合金商购)。

[0085] 第一镍合金(N1):22Cr,14W,2Mo,3最大Fe,5最大Co,0.5Mn,0.4Si,0.3Al,0.10C,0.02La,0.015最大B,余量为Ni(约57重量%)和偶然杂质(以HAYNES®230®合金商购)。

[0086] 第二镍合金 (N2): 22Cr 18Fe 9Mo 1.5Co 0.6W 0.10C 1最大Mn 1最大Si 0.008B, 余量为Ni (约47重量%) 和偶然杂质 (以HAYNES® Hastelloy® X合金商购)。

[0087] 由热处理系统300提供的C1和N1-N2合金的典型固溶退火温度示于下表1中。这种固溶强化合金通常在其中主碳化物的微结构分散在单相基质中的固溶退火条件下供应。微结构在晶界处可以不含主碳化物, 并且一旦材料投入使用, 就可以提供室温可制造性和高温性能的最佳组合。在低于热处理系统300提供的固溶热处理温度范围的温度下进行的热处理被称为轧制退火或应力消除热处理 (参见下表1)。采用轧制退火处理将成形的、部分制造的或其他方法加工的合金材料恢复到可以进行材料的额外变形或焊接的条件。这种处理也可用于生产成品原料中的结构, 这对于特定的成形操作是最佳的。例如, 由热处理系统300提供的轧制退火热处理可用于生产用于深拉应用的具有细晶粒尺寸的微结构。通过热处理系统300对固溶强化合金进行轧制退火也可用于减轻应力并避免在全固溶退火温度下可能发生的制品变形。然而, 应该理解的是, 热处理系统300的气体轴承在退火期间支承固溶强化合金, 因此实际上可以使得并确保在高温固溶退火热处理期间保持最终形状。使用轧制退火热处理通常导致在固溶退火条件下最初供应的材料晶界上的次级碳化物沉淀, 并且通常不会使材料恢复到原样状态。

[0088] 表1

[0089]

	典型固溶退火温度 (°C)	最小轧制退火温度 (°C)
Co合金	1175-1230	1120
Fe-基合金	1165-1190	1035
Ni1合金	1165-1245	1120
Ni2合金	1165-1190	1010

[0090] 当固溶强化处于冷加工或热加工条件时, 即在材料冷加工后, 通过热处理系统300进行轧制退火或固热热处理通常会改变制品的微结构。制品中先前冷加工的量影响制品的所得微结构和机械性能。先前冷加工和退火温度的几种组合对上述合金片材的微结构影响的结果如下表2所示。

[0091] 表2

[0092]

冷加工 量%	退火温度* (°C)	产生的 ASTM 粒度**			
		Co 合金	Fe 合金	Ni1 合金	Ni2 合金
0	无	3½-4	5-6	5-6	4-5
10	1010	N/A	NR	N/A	NR
	1065	NR	NR	NR	NR
	1120	NR	5-5½	NFR	5-7
	1175	4-4½	5-5½	4-7	N/A
	1230	3-4½	N/A	6½-7	N/A
15	1065	7	N/A	N/A	N/A
	1120	6-7	N/A	N/A	N/A
	1175	5-7	N/A	N/A	N/A
	1230	3-4½	N/A	N/A	N/A
20	1010	N/A	NR	N/A	NFR
	1065	7-8	NR	NFR	NFR

冷加工 量%	退火温度* (°C)	产生的 ASTM 粒度**			
		Co 合金	Fe 合金	Ni1 合金	Ni2 合金
	1120	7-8	7½-8½	8-8½	7-8
	1175	4½-7	6-6½	7½-8	N/A
	1230	2½-4½	N/A	7-7½	N/A
25	1065	7½-8	N/A	N/A	N/A
	1120	7½-8	N/A	N/A	N/A
	1175	4	N/A	N/A	N/A
	1230	3½	N/A	N/A	N/A
30	1010	N/A	NFR	N/A	NFR
	1065	N/A	7½-9½	8-9	8-10
	1120	N/A	7-7½	9-10	7½-9½
	1175	N/A	4½-6½	8½-9	N/A
	1230	N/A	N/A	6-7	N/A
40	1010	N/A	7½-9½	N/A	8-9
	1065	N/A	8-9½	9½-10	8-10
	1120	N/A	7-9	9-10	9½-10
	1175	N/A	4½-6½	8½-9	N/A
	1230	N/A	N/A	4-7	N/A
50	1010	N/A	9-10	N/A	8½-10
	1065	N/A	8½-10	9-10	8½-10
	1120	N/A	8-9½	9-10	8½-10
	1175	N/A	5½-6	9-9½	N/A
	1230	N/A	N/A	5½-6½	N/A

[0093]

[0094] 当前可用于这种合金的商业退火炉具有 $\pm 15^{\circ}\text{C}$ 的温度公差,使用专用设备可获得 $\pm 10^{\circ}\text{C}$ 的公差。然而,由于热处理系统300中的热源和金属材料制品之间的间隙非常小,在退火温度高达 1200°C 时,温度公差可以保持在 $\pm 8^{\circ}\text{C}$ 之内,并且在一些实施方式中,在 $\pm 6^{\circ}\text{C}$ 之间, $\pm 4^{\circ}\text{C}$ 之间, $\pm 3^{\circ}\text{C}$ 之间, $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 之间或 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 之间。因此,更大的温度控制提供了用本文公开的热处理系统的实施方式热处理的制品的增加的微结构和机械性能控制。

[0095] 镍时效硬化合金

[0096] 实施例4可以通过金属热处理系统300处理具有以下标称化学组成(wt%)的两种Ni基时效硬化(也称为可沉淀硬化或可沉淀强化)合金。

[0097] 第一Ni基时效硬化合金(NiAH1):13.5Co,2最大Fe,19Cr,4.3Mo,1.5Al,3Ti,0.08C,0.1最大Mn,0.15最大Si,0.006B,0.1Cu,0.05Zr,余量Ni(约58重量%)和偶然杂质(以HAYNES®Waspaloy合金商购)。

[0098] 第二Ni基时效硬化合金(NiAH2):16Cr,8Fe,2.5Ti,1Nb,0.8Al,1最大Co,0.35最大Mn,0.35最大Sai,0.08最大C,余量Ni(约70重量%)和偶然杂质(以INCONEL®X-750合金和HAYNES®X-750合金商购)。

[0099] Ni基时效硬化合金的大部分强度来自热处理,所述热处理导致微结构中的一部分的第二相沉淀。主要沉淀物是Ni₃Al(γ')。对这种合金进行热处理以提供沉淀硬化的微结构需要许多加热和冷却步骤。例如,典型的NiAH1合金的热处理以提供沉淀硬化的微结构包括在1080°C下对材料进行固溶退火30分钟,然后进行水骤冷。然后将该材料在995°C下进行第一次沉淀热处理2小时,然后空气冷却至室温,然后在845°C下进行第二次沉淀热处理4小时,然后空气冷却至室温,然后在760°C下进行第三次沉淀热处理16小时,然后空气冷却至室温。所得NiAH1的沉淀硬化微结构在最高达约700°C的温度下提供优异的机械性能,如下表3(拉伸试验性能)和表4(应力-断裂性能)所示。

[0100] 表3

[0101]

测试温度(°C)	极限拉伸强度(MPa)	0.2% 屈服强度(MPa)	伸长 51 毫米(%)
室温	1335	910	26.6
650	1195	770	20.8
760	970	770	12.0
870	545	415	12.0
980	220	135	19.4
1095	83	41	36.8

[0102] 表4

[0103]

测试温度 (°C)	在以下时间产生断裂的近似初始应力 (MPa) :		
	10 小时	100 小时	1000 小时
600	—	—	660
650	—	635	550
705	615	515	395
760	495	365	240
815	345	220	130
870	215	125	68
925	120	66	—

[0104] 再例如,典型的NiAlH₂合金的热处理以提供沉淀硬化的微结构包括在1040°C下对材料进行固溶退火,然后在730°C下进行第一次沉淀热处理8小时,然后经炉冷却至在620°C下的第二次沉淀热处理8小时,然后空气冷却至室温。所得到的NiAlH₂的沉淀硬化微结构在最高达约700°C的温度下提供优异的机械性能,如下表5和6所示。

[0105] 表5

[0106]

测试温度 (°C)	极限拉伸强度(MPa)	0.2% 屈服强度 (MPa)	伸长 51 毫米 (%)
ROOM	1325	975	23.6
540	1120	860	22.2
650	990	835	5.8
760	650	635	2.5
870	360	295	8.0
980	115	63	42.0

[0107] 表6

[0108]

测试温度 (°C)	在以下时间产生断裂的近似初始应力 (MPa) :		
	10 小时	100 小时	1000 小时

[0109]

600	825	585	490
650	550	455	345
705	420	310	200
760	285	180	105
815	165	97	51
870	86	46	-
925	45	-	-

[0110] 通过阅读说明书整体、所附权利要求和附录A,其他方面和优点将是显而易见的。

[0111] 各种示例性实施方式中所示的金属材料的构造和布置仅是示意性的。虽然在本公开中仅描述了一些实施方式,但是许多改进是可行的(例如,各种元件的尺寸、尺度、结构、形状和比例,参数值、安装布置、材料的使用、取向),这没有从本质上背离本文所述主题的新颖性教导和优势。显示为整体形成的一些元件可以由多个部件或元件构成,元件的位置可以颠倒或以其他方式变化,并且可以改变或更改离散元件或位置的性质或数量。任意过程、逻辑算法或方法步骤的顺序或序列都可根据替换的实施方式而改变或重新排序。在不脱离本发明技术范围的情况下,可以对各种示例性实施方式的设计、操作条件和布置中进行其他替换、修改、改变和省略。

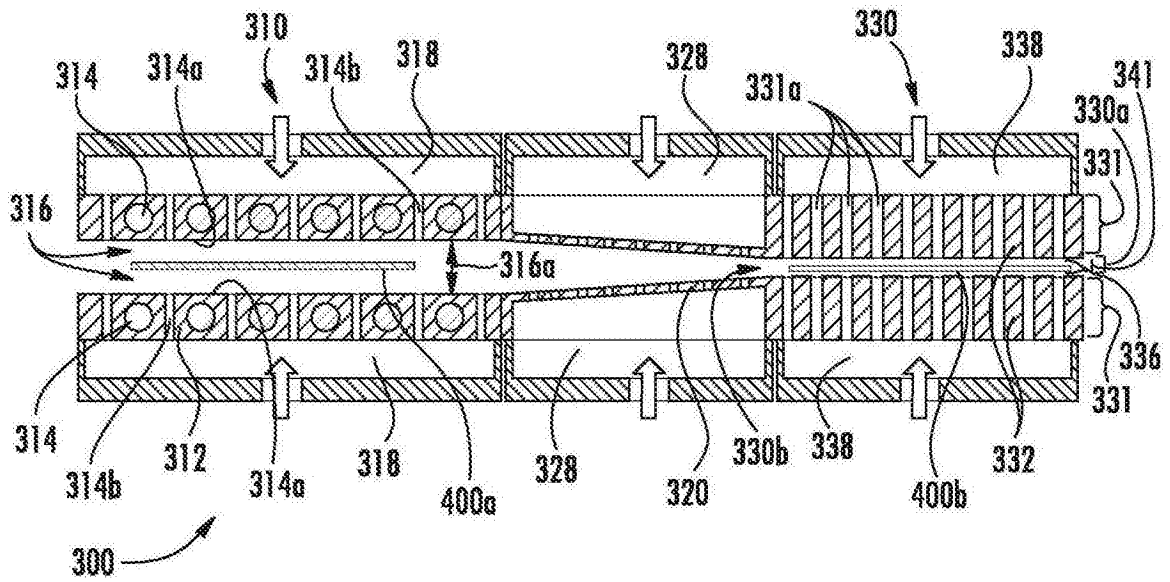


图1

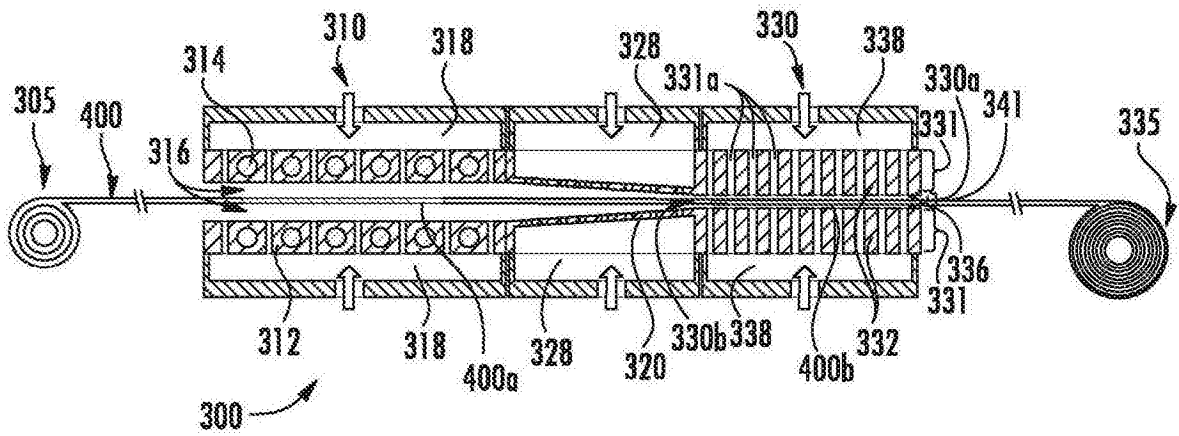


图2

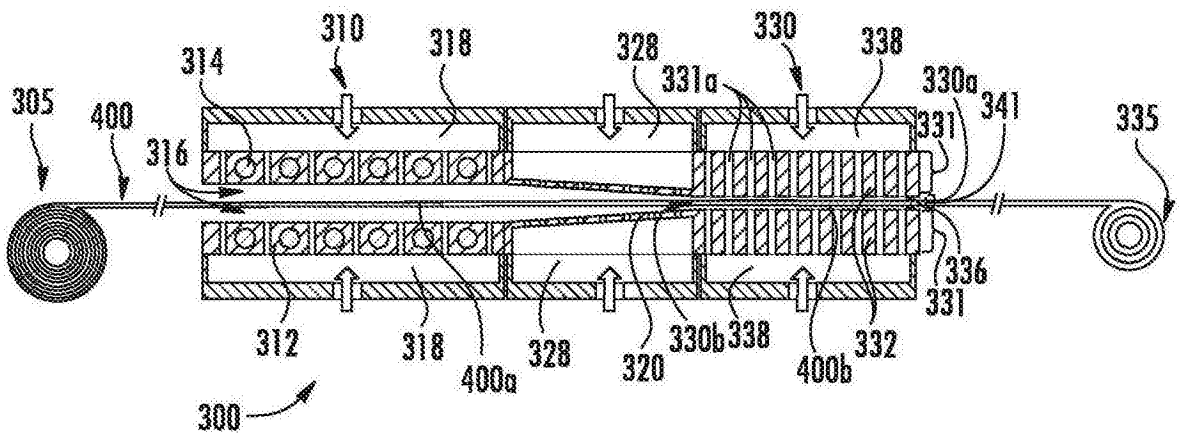


图3

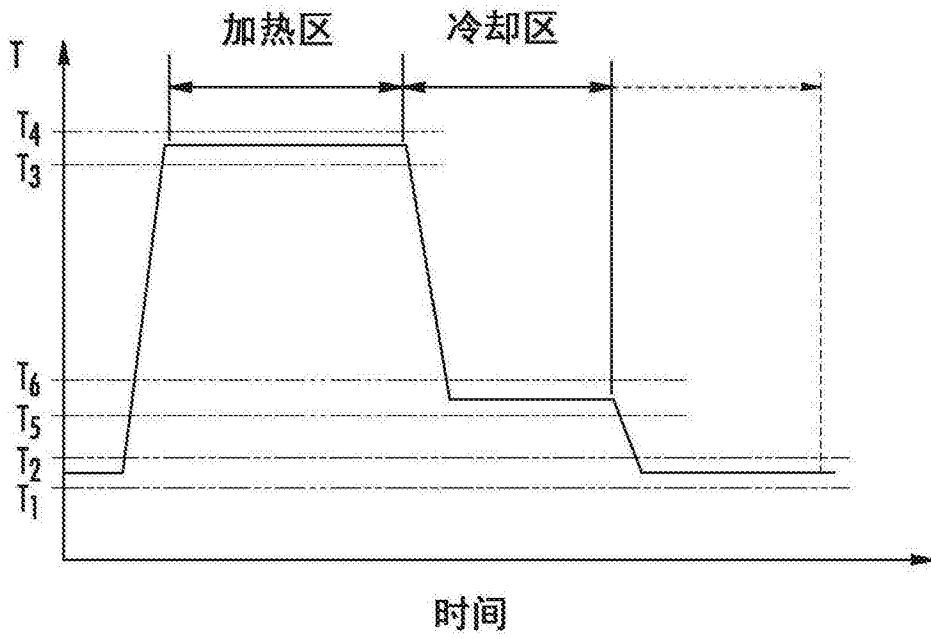


图4

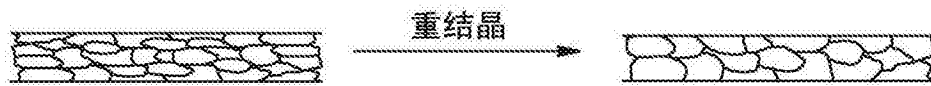


图 5A

图 5B

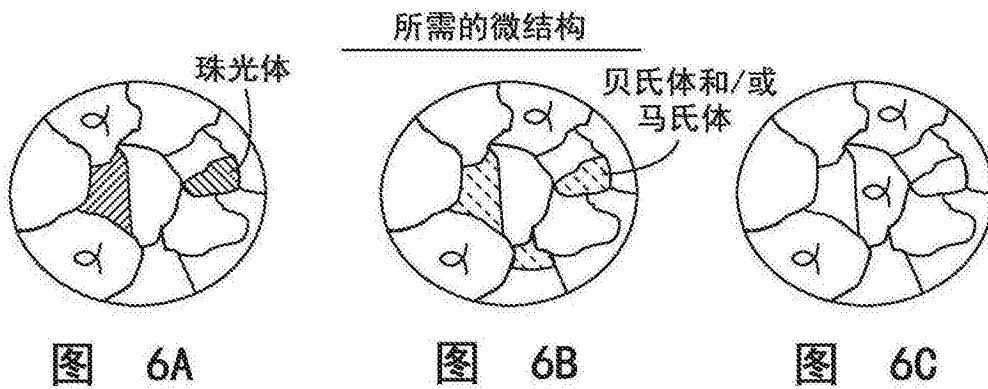


图 6A

图 6B

图 6C

沉淀强化

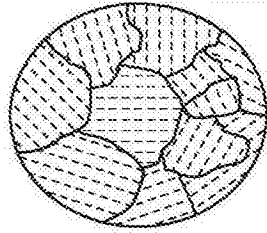


图 7A

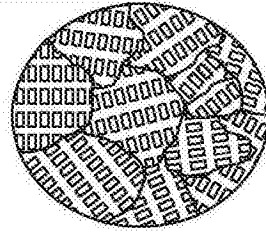


图 7B

表面重结晶的金属玻璃

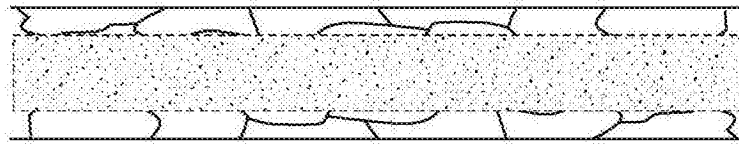


图8

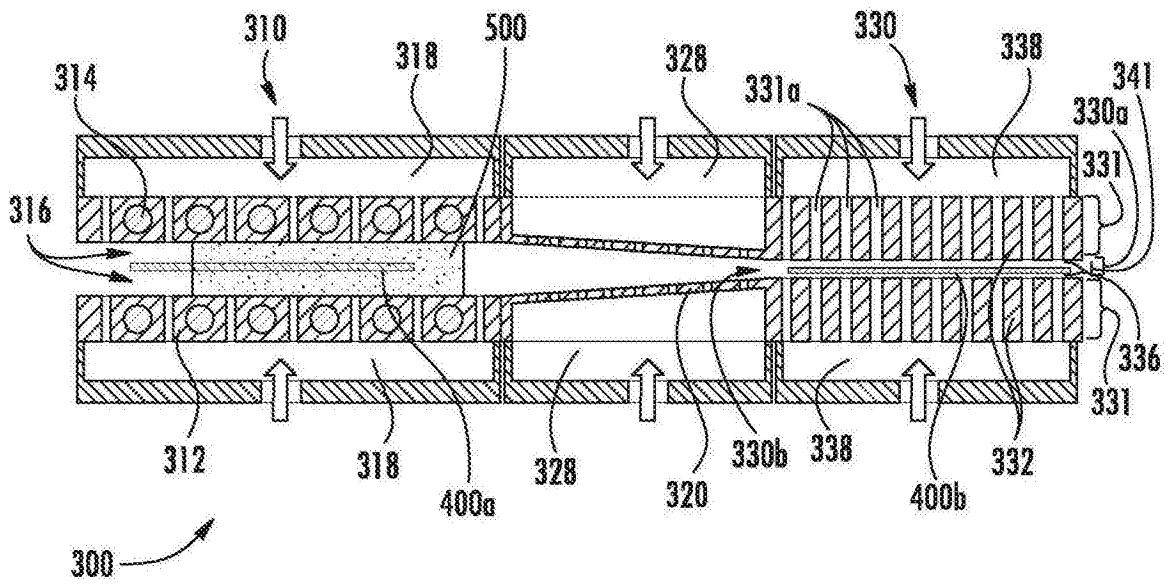


图9