(19)国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 120210624 A
(43)申请公布日 2025.06.27

(21)申请号 202510390529.7

(22)申请日 2022.03.25

(30)优先权数据
2021-064811 2021.04.06 JP

(62)分案原申请数据
202280005064.3 2022.03.25

(71)申请人 联合材料公司
地址 日本东京

(72)发明人 饭仓武志 角仓孝典

(74)专利代理机构 北京天昊联合知识产权代理有限公司 11112
专利代理师 常海涛 金小芳

(51)Int.Cl.
C22C 27/04(2006.01)
C22F 1/18(2006.01)
B22F 3/10(2006.01)
B22F 1/052(2022.01)
C22C 1/05(2023.01)

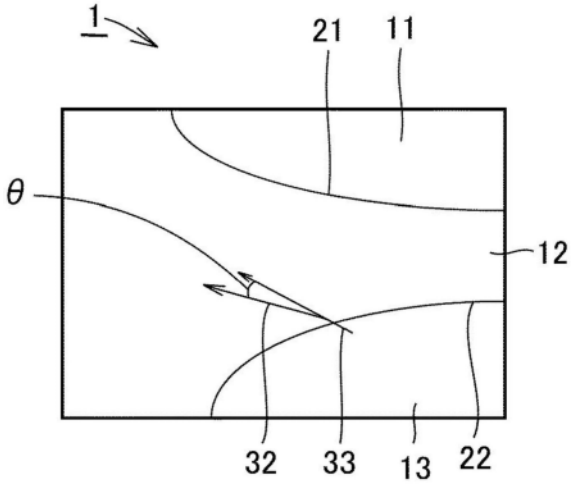
权利要求书1页 说明书8页 附图1页

(54)发明名称

钨材料

(57)摘要

一种钨材料,在钨材料的任意面中,第1晶粒的<100>结晶方位和与第1晶粒相邻的第2晶粒的<100>结晶方位所成的角度为2～15°的比例为50%以上80%以下,在钨材料的任意10个视野中,(100)的晶格应变的平均值为0.25%以下,钨材料含有钾,将钨材料在2000℃热处理1小时后的结晶粒径为200μm以下,将钨材料在1500℃热处理1小时后的角度为2～15°的比例为25%以下,钨材料通过钎焊或压接与不锈钢、铜或铜合金等除钨以外的材料实施了接合。



CN 120210624 A

1.一种钨材料,

在钨材料的任意面中,第1晶粒的<100>结晶方位和与所述第1晶粒相邻的第2晶粒的<100>结晶方位所成的角度为2～15°的比例为50％以上80％以下,

在所述钨材料的任意10个视野中,(100)的晶格应变的平均值为0.25％以下,

所述钨材料含有钾,

将所述钨材料在2000℃热处理1小时后的结晶粒径为200μm以下,

将所述钨材料在1500℃热处理1小时后的所述角度为2～15°的比例为25％以下,

所述钨材料通过钎焊或压接与不锈钢、铜或铜合金等除钨以外的材料实施了接合。

2.根据权利要求1所述的钨材料,其中,所述钨材料的厚度为10㎜以上20㎜以下。

3.根据权利要求1或2所述的钨材料,其中,所述第1晶粒的<100>结晶方位和所述第2晶粒的<100>结晶方位所成的角度为2～15°的比例为55％以上。

4.根据权利要求1或2所述的钨材料,其中,将所述钨材料在2000℃热处理1小时后的结晶粒径为100μm以下。

5.根据权利要求1或2所述的钨材料,其中,将所述钨材料在1500℃热处理1小时后的所述角度为2～15°的比例为10％以下。

钨材料

[0001] 本申请是申请号为2022800050643、申请日为2021年4月6日、发明名称为“钨材料”的申请的分案申请。

技术领域

[0002] 本公开涉及钨材料。本申请要求基于2021年4月6日提交的日本专利申请特愿2021-064811号的优先权。该日本专利申请中记载的全部记载内容通过参照援引在本说明书中。

背景技术

[0003] 以往,例如在日本特开昭62-146235号公报(专利文献1)中公开了钨材料。

[0004] 现有技术文献

[0005] 专利文献

[0006] 专利文献1:日本特开昭62-146235号公报

发明内容

[0007] 在钨材料的任意面中,第1晶粒的特定的结晶方位和与所述第1晶粒相邻的第2晶粒的所述特定的结晶方位所成的角度为2～15°的比例为50%以上。

附图说明

[0008] [图1]图1是具有多个晶粒的钨材料的组织图。

具体实施方式

[0009] [本公开所要解决的课题]

[0010] 在现有的钨材料中,当在短周期内施加热冲击时,存在产生裂纹或变形的问题。

[0011] [本公开的实施方式的说明]

[0012] 首先列举本公开的实施方式并进行说明。

[0013] (背景技术)

[0014] 在日本特开昭62-146235号公报中,钨部件含有0.003～0.05质量%的K/Si,并且二次再结晶晶粒范围在每100mm^{2}具有1个以下的晶粒。钨部件能够减少导致炉内部件等高温结构用材料的粒界裂纹的晶界,具有优异的高温蠕变强度。

[0015] 钨是高熔点材料之一(熔点3422℃),可以在即使超过2000℃的温度负荷下也能够使用的高温加热炉中使用。但是,在长时间使用中会产生变形和裂纹。由此,炉的稳定运转变得困难。

[0016] 炉部件使用通过压延等进行了塑性加工的钨材料,但是一般暴露于超过1200℃的温度时会发生再结晶,进而热负荷温度超过1800℃时会发生颗粒生长,因此更容易产生变形和裂纹。

[0017] 钨材料具有高熔点而用作高温炉部件。在高温下使用的钨材料由于长年在高温下使用,晶粒粗大化而具有高温蠕变特性。另一方面,对于短周期反复的热冲击具有弱的一面。

[0018] 为了确保耐高温变形性,在高温气氛中使用的炉部件由钨等材料构成。在高温下不易变形的钨材料的晶粒大且具有高杨氏模量。因此,受到电源的急剧切断等短周期的热冲击的影响大而对于热冲击具有弱的一面。

[0019] 以往,在钨压延材料中,由于2000℃的温度负荷,结晶粒径变化成超过200μm的结晶粒径。超过200μm的结晶粒径的钨材料在超过2000℃的温度下使用时,由于急剧的升温或由电源的断开引起的热冲击而诱发裂纹,可能成为炉的稳定运转无法继续的状态。

[0020] (相邻的晶粒的特定的结晶方位所成的角度)

[0021] 在本公开中,采用新型的加工条件,形成控制了压延材料的晶界特性和晶格应变的钨材料,提高了耐热冲击特性。

[0022] 本公开的钨材料通过将2000℃的温度负荷下的再结晶晶粒的结晶粒径控制为200μm以下,可以提高对于急剧的温度变化(包括反复温度变化)的耐裂纹性,有助于延长炉的寿命。

[0023] 根据上述特征,本公开的钨材料可以用于以下部件:在高温加热炉中使用的加热器或反射器等高温热负荷部件、X射线发生装置的阳极固定或旋转靶等接受电子束照射的部件、核聚变炉的偏滤器或内壁材料等面向高温等离子体的部位或被中子辐射的部位等。

[0024] 本公开涉及钨材料,在钨材料的任意面中,第1晶粒的特定的结晶方位和与所述第1晶粒相邻的第2晶粒的所述特定的结晶方位所成的角度为2~15°(小倾角粒界)的比例为50%以上。

[0025] 当该比例小于50%时,由于2000℃的热负荷,容易产生变形和裂纹,导致超过200μm的颗粒生长。该比例更优选为55%以上。在本说明书中,“小倾角粒界”是指第1晶粒的特定的结晶方位和与所述第1晶粒相邻的第2晶粒的所述特定的结晶方位所成的角度为2~15°。该小倾角粒界更优选为80%以下。超过80%的比例是很难的,并且由于加工产生裂纹的情况和需要精密的条件控制,因此不适合量产性。

[0026] 图1是具有多个晶粒的钨材料的组织图。如图1所示,钨材料1具有多个晶粒11、12、13。多个晶粒11、12、13的边界是晶界21、22。晶粒12中的特定的结晶方位(例如<100>)由箭头32表示。晶粒13中的结晶方位由箭头33表示,其方位与箭头32的结晶方位相同。两个箭头32、33所成的角度θ为2至15°的小倾角粒界的比例为50%以上。

[0027] 此外,在1500℃对所述钨材料进行1小时热处理时的小倾角粒界的比例更优选为25%以下。更优选为10%以下。

[0028] 小倾角粒界的测定方法如下所述。

[0029] 将钨材料的任意面作为测定面。在对测定面实施机械研磨后,使用横截面抛光机在加速电压6kV、照射电流130μA的条件下进行剖面加工,然后进行测定。测定面的测定视野以200μm×600μm进行,以如图1那样包含晶粒。晶粒12与晶粒11和13接触。测定晶粒11和晶粒12的特定的结晶方位所成的角度θA。将晶粒12和晶粒13的特定的方位所成的角度设为θB。使用上述方法测定视野中所包含的以晶粒12为中心的相邻晶粒间所成的角度。测定以晶粒12为中心进行。直至角度的测定数达到200个,根据需要,一边使200μm×600μm的视野范

围移动,一边测定相邻的不同晶粒间所成的200个角度,使用上述200个测定结果计算2～15°以下的小倾角粒界的比例。

[0030] 使用SEM(ZEISS制造的Gemini450)附带的EBSD对测定视野中的晶界特性进行测定。在SEM条件为加速电压30kV、照射电流25nA;EBSD条件为WD:13mm、0.5μm step的条件下进行测定。

[0031] 使用Oxford制造的Symmetry对测定的数据进行分析。

[0032] (晶格应变)

[0033] 在钨材料的任意10个视野中,(100)的晶格应变的平均值优选为0.25%以下。发现:即使超过0.25%,也不会因高温下的热冲击而产生裂纹,但是当为0.25%以下,也不会产生高温下的变形,在炉部件等的用途中显示出优越性。更优选为0.20%以下。

[0034] 晶格应变的测定方法如下所述。

[0035] 将钨材料的任意面作为测定面。在对测定面实施机械研磨后,使用液温22℃、1标准KOH溶液电解液,实施10V的直流电解研磨,将通过机械研磨除去了20μm硬化层后的面作为测定面。

[0036] 在测定面中选择任意10个视野。使用X射线衍射装置(Malvern Panalytical制造的Empyrean、DY 1204)测定晶格应变。作为测定条件,管球为Cu、电压为45kV、电流为40mA、使用10mm的狭缝、扫描速度设为0.11°/s,在2θ:35～135°测定。使用High score plus对所测定的数据进行分析,并基于Rietveld method计算(100)的晶格应变。求出10个视野的晶格应变的平均值。

[0037] (钨材料的纯度)

[0038] 钨材料的纯度优选为99.9质量%以上。

[0039] 当低于99.9质量%时,特别是由于在真空气氛下使用,内在的不可避免的杂质挥发,使炉内污染,有可能导致炉的寿命降低。需要说明的是,“有可能”表示尽管很少但有变成那样的可能性,并不意味着以高概率变成那样。

[0040] 钨材料的纯度规定如下。纯度的分析方法根据JIS H1402(2001)、JIS H1403(2001)进行,通过化学分析测定板材的Mo、Fe、Al、Ca、Mg、Si的含量,对于Al、Ca、Mg、Si,假设全量以氧化物(Al_2O_3、CaO、MgO、SiO_2)的形式存在而换算成氧化物。将从100减去Mo、Fe、换算成氧化物的Al_2O_3、CaO、MgO、SiO_2而得的数值作为钨的纯度。

[0041] 然而,在氢等还原气氛或氩等惰性气氛下使用时,也可以使用含有除钨以外的元素的钨合金。所述钨合金即使在超过2000℃的温度负荷下,不仅具有200μm以下的结晶粒径,还可以期待通过添加元素的固溶/分散强化引起的高强度化。

[0042] 除了钨以外,钨合金还含有合计20质量%以下的选自由Re(铼)、Ta(钽)、Cr(铬)、K(钾)、Mo(钼)、Ti(钛)及Zr(锆)组成的组中的至少1种元素。这样的钨合金不仅可以抑制2000℃的热负荷下的颗粒生长,还可以期待高强度化。当各元素的总添加量超过20质量%时,在压延时有可能产生加工裂纹,因此优选将合计的添加量抑制为20质量%以下。

[0043] 添加物的形式不仅可以是纯金属,还可以是氧化物、氢化物、碳化物。

[0044] (热处理后的结晶粒径)

[0045] 将钨材料在温度2000℃热处理1小时后的结晶粒径优选为200μm以下。当超过200μm时,有可能因热冲击而产生裂纹或引起变形。更优选为100μm以下。

[0046] 关于结晶粒径的测定,在任意的面上拍摄倍率200倍的放大照片。在该照片上至少测定50个任意粒子的长径,将其平均值作为结晶粒径。

[0047] (形状)

[0048] 只要钨材料具有上述特征,则无论板厚为几mm都可以得到同样的效果。对制造条件也没有限制,烧结也可以使用高温冲压机(HIP、HP)。对于塑性加工方法也没有限制,可以采用锻造、压延或挤出等。

[0049] 钨材料不仅是简单的形状,而且通过机械加工开孔、或者实施弯曲加工等也能够得到同样的效果。此外,即使通过钎焊或压接与不锈钢、铜或铜合金等除钨以外的材料实施接合,也能够得到同样的效果。

[0050] 关于钨材料的板厚,利用千分尺在任意的10处测定钨材料的厚度,并使用其平均值。

[0051] [本公开的实施方式的详细内容]

[0052] 以下基于实施例对本发明进行说明。

[0053] (实施例1)

[0054] (1)钨材料的制造

[0055] (1-1)钨烧结体制造工序

[0056] 还原W氧化物,得到作为原料的纯W粉末。在纯W粉末中,利用Fischer法的FSSS平均粒径为2.5μm。在纯W粉末中,根据需要准备FSSS平均粒径4.0μm的Re粉末、20μm的Ta和Cr粉末、FSSS平均粒径4.2μm的Mo粉末、20μm的TiH_2粉末、FSSS平均粒径3.0μm的ZrC粉末,并在纯W粉末中添加一定量,使用研钵进行混合,从而得到混合粉末。K通过将KOH水溶液喷雾到W氧化物并还原而得到含K的W粉末。由此得到了表1至表3所示的试样编号为1至24、31至54及61至80的粉末。试样编号61至80为纯W粉末。

[0057] [表1]

[0058]

表 1

试样编号	组成（质量%）	板厚（mm）	小倾角粒界的比例(%)	热处理后的小倾角粒界的比例(%)	热处理后的结晶粒径(μm)	试验结果（热冲击裂纹）	试验结果（热变形）
1	W-0.003K	1.0	63.5	11.6	92	A	A
2	W-0.1Cr		73.5	14.9	88	A	B
3	W-1Cr		54.6	12.1	80	B	B
4	W-5Re		76.9	13.3	82	A	B
5	W-10Re		53.6	12	78	B	B
6	W-20Re		76.1	10.3	93	A	A
7	W-5Re-0.003K		63.1	13.9	88	A	A
8	W-10Re-0.003K		76.9	13.3	82	A	A
9	W-10Re-0.005K		73.6	12	75	A	B
10	W-5Ta		74.9	13.1	72	A	B
11	W-10Ta		61.8	12.6	70	A	B
12	W-20Ta		71.2	10.8	62	A	B
13	W-0.003K	15.0	64.8	8.2	69	A	A
14	W-0.1Cr		74.8	9.2	70	A	B
15	W-1Cr		79.9	9.8	68	A	B
16	W-5Re		76.8	12.8	65	A	B
17	W-10Re		66.1	10.3	70	A	B
18	W-20Re		72.0	9.9	62	A	B
19	W-5Re-0.003K		69.6	8.7	68	A	A
20	W-10Re-0.003K		73.0	10	65	A	A
21	W-10Re-0.005K		60.3	7.8	63	A	A
22	W-5Ta		77.9	9.5	70	A	B
23	W-10Ta		64.5	8.2	69	A	B
24	W-20Ta		50.0	6.8	68	A	B

[0059] [表2]

表 2 试样编号	组成（质量%）	板厚（mm）	小倾角粒界的比例(%)	热处理后的小倾角粒界的比例(%)	热处理后的结晶粒径(μm)	试验结果（热冲击裂纹）	试验结果（热变形）
31	W-0.003K	1.0	55.3	15.1	192	B	B
32	W-0.1Cr		53.9	16.7	170	B	B
33	W-1Cr		54.2	14.8	168	B	B
34	W-5Re		51.0	14.0	166	B	B
35	W-10Re		50.5	14.4	180	B	B
36	W-20Re		50.1	15.6	178	B	B
37	W-5Re-0.003K		51.7	18.3	170	B	A
38	W-10Re-0.003K		60.4	17.9	159	A	A
39	W-10Re-0.005K		59.3	16.4	160	A	A
40	W-5Ta		60.1	19.2	164	A	B
41	W-10Ta		62.1	18.4	158	A	B
42	W-20Ta		63.0	17.1	164	A	B
43	W-0.003K	15.0	49.2	24.4	242	C	C
44	W-0.1Cr		47.2	19.1	240	C	C
45	W-1Cr		47.1	22.1	220	C	C
46	W-5Re		47.3	22.2	215	C	C
47	W-10Re		46.8	24.1	225	C	C
48	W-20Re		46.6	18.8	228	C	C
49	W-5Re-0.003K		45.5	22.9	240	C	A
50	W-10Re-0.003K		45.2	23.2	222	C	A
51	W-10Re-0.005K		46	24.9	210	C	A
52	W-5Ta		45.1	19.3	223	C	C
53	W-10Ta		48	18.2	230	C	C
54	W-20Ta		47.4	19.0	228	C	C

[0060]

[0061] [表3]

表 3 试样编号	板厚（mm）	小倾角粒界的比例(%)	热处理后的小倾角粒界的比例(%)	热处理后的结晶粒径(μm)	试验结果（热冲击裂纹）	试验结果（热变形）
61	0.5	52.1	14.8	100	B	B
62	1.0	77.9	13.3	95	A	B
63	1.0	79.9	9.8	78	A	A
64	3.0	58.3	13.6	93	A	B
65	5.0	57.4	11.4	88	A	B
66	8.0	68.3	10.7	82	A	B
67	10.0	59.3	10	75	A	A
68	15.0	76.8	9.4	72	A	A
69	15.0	64.2	7.2	70	A	A
70	18.0	82.5	5.1	62	A	A
71	20.0	80.4	4.8	58	A	A
72	0.5	47.3	25.2	250	C	B
73	1.0	49.2	26.7	230	C	B
74	3.0	58.1	23.5	180	B	B
75	5.0	65.4	23.3	155	B	B
76	8.0	73.2	22.5	140	B	B
77	10.0	80.1	20.3	120	B	B
78	15.0	69.3	19.0	115	B	B
79	18.0	61.1	15.5	105	B	B
80	20.0	55.6	15.3	103	B	B

[0062]

[0063] 组成为纯钨

[0064] 使用冲压机,通过模具冲压将该粉末制作成冲压成形体。

[0065] 使用烧结炉,在氢气氛中以2200℃-30小时烧结该冲压成形体,从而得到了W烧结体。

[0066] 此时的烧结体的尺寸为100mm×100mm×厚度100mm。烧结后的密度为18.2g/cm^3。

[0067] 关于FSSS平均粒径,如果烧结体的密度为17.5g/cm^{3}以上,则对烧结方法没有限制。作为各种测试的结果,W粉末的FSSS平均粒径优选为1μm以上10μm以下。当FSSS平均粒径

超过10μm时,有可能无法达到耐压延加工的密度。当FSSS平均粒径为粒径小于1μm时,在烧结体内有可能引起密度偏差。

[0068] 烧结气氛除了氢气氛以外,还可以选择氩等惰性气氛、真空气氛。如果烧结后的密度为17.5g/cm^{3}以上,则烧结气氛也可以进行多个组合(例如1200℃前为氢气氛,1200～2000℃为真空气氛等),而且烧结温度、烧结时间也可以任意地选择。

[0069] 另外,通过进行HIP、HP等加压烧结,可以得到比重高的烧结体,但是也有在加压烧结中与碳部件等接触而使钨材料脆化的危险,因此在选择这些工序的时需要充分考虑。

[0070] (1-2)锻造工序

[0071] 将该W烧结体在加热炉温度为1800℃进行加热后,使用1吨空气锤,在第1次加热中反复锻造加工至厚度成为70mm,从而准备了试样编号13～24、43～54、67～71、77～80用的材料。作为试样编号1～12、31～42、61～66、72～76用的材料,将该材料进一步加热至1800℃后,使用1吨空气锤加工,在第2次加热中锻造至厚度成为50mm。

[0072] (1-3)压延工序

[0073] 将该锻造至70mm或50mm的材料在加热炉温度为1800℃进行加热,在反复压延和加热的同时压延至厚度为约10mm。此时,在厚度20～10mm的范围内一边取样一边进行压延。由此,制作了试样编号13至24、43至54、67至71、77至80。

[0074] 压延时的加热气氛除了氮气氛以外,还可以是氩气或氢气氛中。

[0075] 压延时的加热温度优选为1800℃以上2000℃以下。当超过2000℃时,加热炉的寿命变短,因此生产性不优异。当小于1800℃时,难以控制晶界特性和晶格应变。热压延的压下率优选为5%以上15%以下。当低于5%或超过15%时,难以控制晶界特性和晶格应变。

[0076] 接着,将加热温度设为1600℃,加热在之前的压延工序中制作的厚度约10mm的材料,一边反复压延和加热,一边取样的同时进行压延直至厚度成为0.5mm。

[0077] 由此,制作了试样编号1～12、31～42、61～66、72～76的试样。压延时的加热气氛除了氮气氛以外,也可以是氩气或氢气氛。

[0078] 压延时的加热温度优选为1600℃以上1800℃以下。这是因为:如果加工进行,则容易引起晶粒的生长,如果小于1600℃,则难以控制晶界特性和晶格应变,如果超过1800℃,则容易引起晶粒的生长。

[0079] (1-4)机械加工

[0080] 对锻造和压延结束后的各试样进行切削和研磨等,以成为各自的厚度、宽度、长度的方式进行精加工。

[0081] (2)评价结果

[0082] (2-1)组成的确定

[0083] 对于各试样(试样编号1至24、31至54及61至80),使用根据JIS H1402(2001)、JIS H1403(2001)的分析来确定组成。例如,在试样编号1中,组成为“W-0.003K”表示含有0.003质量%的K,剩余部分为W。

[0084] (2-2)板厚的确定

[0085] 对于各试样,测定板厚(mm)。其结果在表中的“板厚(mm)”一栏中示出。

[0086] (2-3)小倾角粒界的比例(%)的确定

[0087] 对于各试样,测定小倾角粒界的比例(%)。其结果在表中的“小倾角粒界的比例

(%)”一栏中示出。

[0088] (2-4)热处理后的小倾角粒界的比例(%)的确定

[0089] 在各试样中,测定在温度1500℃热处理1小时后的小倾角粒界的比例(%)。其结果在表中的“热处理后的小倾角粒界的比例(%)”一栏中示出。

[0090] (2-5)热处理后的结晶粒径(μm)的确定

[0091] 在各试样中,测定在温度2000℃热处理1小时后的结晶粒径(μm)。其结果在表中的“热处理后的结晶粒径(μm)”一栏中示出。

[0092] (2-6)热冲击裂纹试验

[0093] 将各试样在氢气氛中的炉内保持原样作为带式加热器(宽度10mm×长度100mm×各厚度mm)通电,用辐射温度计输出ON直至成为2000℃,立即将输出设为OFF。OFF后经过10s后,再次输出ON直至成为2000℃。该循环重复了1000次。

[0094] 然后,调查各试样有无裂纹和变形。关于试验后的裂纹,将使用×5倍放大镜未确认到裂纹的试样评价为A,将观察到1和2处裂纹、且各自的裂纹仅停留在表面的试样评价为B。如果观察到3处以上的裂纹或裂纹延伸至内部,则评价为C。

[0095] 其结果在表中的“试验结果(热冲击裂纹)”一栏中示出。

[0096] (2-7)热变形试验

[0097] 将(2-6)评价后的各试样(试验后的加热器)的10mm×100mm的面放置在平坦的台板上,使用量隙规测定翘曲量(各试样与台板之间的间隙)。如果间隙为3mm以下,则评价为A。间隙超过3mm至10mm,评价为B。将间隙为10mm以上或有裂纹的材料评价为C。

[0098] 可知:如果小倾角粒界的比例为50%以上,则在热冲击裂纹中得到A或B的评价,并且在热变形中得到A或B的评价。

[0099] 可知:通过在1500℃进行1小时的热处理,小倾角粒界的比例成为25%以下。如果在2000℃热处理1小时后的晶粒为200μm以下,则热冲击裂纹的评价为A或B。

[0100] (实施例2)

[0101] 使用纯W粉末,按照上述实施例1中的“(1)钨材料的制造”,得到了表4中的试样编号81至87。

[0102] [表4]

[0103]

表 4 试样编号	板厚(mm)	小倾角粒界的比例(%)	晶格应变(%)	热处理后的小倾角粒界的比例(%)	热处理后的结晶粒径(μm)	加热条件(℃)	试验结果(热冲击裂纹)	试验结果(热变形)
81	15.0	78.2	0.23	9.4	72	1800	A	A
82	15.0	74.2	0.18	7.2	70		A	A
83	15.0	76.3	0.24	9.8	80		A	A
84	15.0	79.2	0.25	10.1	94		A	A
85	15.0	79.8	0.26	13.2	95		A	B
86	18.0	80	0.30	14.6	99		A	B
87	18.0	74.0	0.41	15	120	1740	B	A

[0104] 在试样编号81至86中,在制造时分别改变了压延时的加热条件。

[0105] 按照实施例1的“(2)评价结果”,评价各种物性,并且测定晶格应变。其结果如表4

所示。

[0106] 由表4可知,如果晶格应变为0.25%以下,则在热冲击裂纹和热变形中得到A的评价。

[0107] 应该认为,本次公开的实施方式和实施例在所有方面都是示例性的而不是限制性的。本发明的范围不是上述说明所示,而是由权利要求书表示,并且旨在包括与权利要求书等同的含义以及范围内的所有变化。

[0108] 符号的说明

[0109] 1钨材料、11,12,13晶粒、21,22晶界、32,33箭头

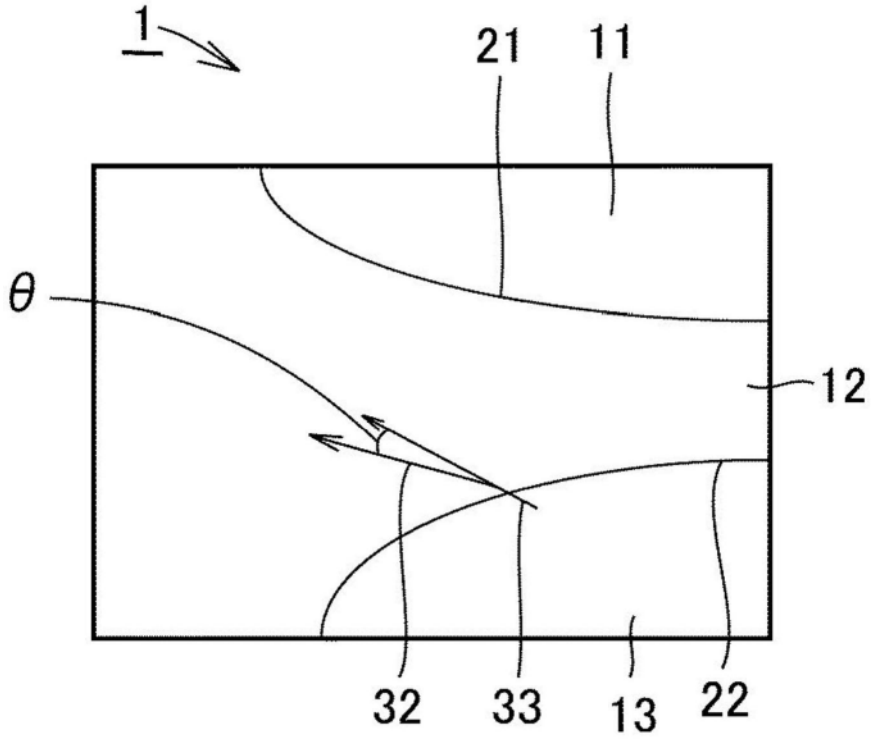


图1