(19)国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 117321707 A
(43)申请公布日 2023.12.29

(21)申请号 202280035816.0

(22)申请日 2022.05.24

(30)优先权数据
2021-088780 2021.05.26 JP

(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2023.11.17

(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/JP2022/021277 2022.05.24

(87)PCT国际申请的公布数据
WO2022/250059 JA 2022.12.01

(71)申请人 古河电气工业株式会社
地址 日本东京都

(72)发明人 金容薰 伊井秀树 佐藤巧望

(74)专利代理机构 北京市金杜律师事务所 11256
专利代理师 牛蔚然

(51)Int.Cl.
H01F 6/06(2006.01)

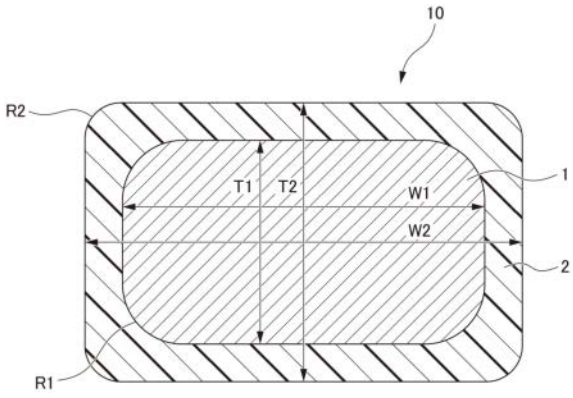
权利要求书1页 说明书9页 附图4页

(54)发明名称

超导线圈用超导平角线材及超导线圈

(57)摘要

超导线圈用超导平角线材具备以铜系材料被覆了表面的NbTi系或Nb_3Sn系的线材和被覆上述线材的外周面、由热塑性熔接树脂构成的熔接树脂层，在上述超导线圈用超导平角线材的横截面中，上述熔接树脂层的角部的曲率半径(R2)为上述线材的角部的曲率半径(R1)以下。



CN 117321707 A

1.一种超导线圈用超导平角线材,其具备:

以铜系材料被覆了表面的NbTi系或Nb_3Sn系的线材;和

被覆所述线材的外周面、由热塑性熔接树脂构成的熔接树脂层,

所述超导线圈用超导平角线材的特征在于,

在所述超导线圈用超导平角线材的横截面中,所述熔接树脂层的角部的曲率半径(R2)为所述线材的角部的曲率半径(R1)以下。

2.根据权利要求1所述的超导线圈用超导平角线材,其中,所述熔接树脂层的平均厚度为0.005mm以上0.100mm以下。

3.根据权利要求1或2所述的超导线圈用超导平角线材,其中,在所述超导线圈用超导平角线材的横截面中,所述熔接树脂层的角部的曲率半径(R2)满足下述式(1)及下述式(2),

[数学式1]

$0.10 \leqq R2 \leqq R2_{max}$ …式(1)

$$R2_{max}[mm] = \sqrt{A \times \frac{(超导平角线材的截面宽度W2) \times (超导平角线材的截面厚度T2)}{4-\pi}} \quad \cdots 式(2)$$

在上述式(2)中,A是第1曲率半径系数。

4.根据权利要求1~3中任一项所述的超导线圈用超导平角线材,其中,所述熔接树脂层由选自苯氧基树脂、聚酰胺树脂及聚酯树脂中的1种以上的树脂构成。

5.根据权利要求1~4中任一项所述的超导线圈用超导平角线材,其中,在所述线材与所述熔接树脂层之间还具备由绝缘树脂构成的绝缘树脂层。

6.根据权利要求5所述的超导线圈用超导平角线材,其中,所述绝缘树脂层由选自聚乙烯醇缩甲醛树脂、聚酰胺酰亚胺树脂、聚酰亚胺树脂、聚酯树脂及聚氨酯树脂中的1种以上的树脂构成。

7.根据权利要求5或6所述的超导线圈用超导平角线材,其中,所述绝缘树脂层的平均厚度为0.005mm以上0.100mm以下。

8.根据权利要求1~7中任一项所述的超导线圈用超导平角线材,其中,所述线材为平角线材,所述线材的角部的曲率半径(R1)为0.10mm以上0.40mm以下。

9.根据权利要求1~8中任一项所述的超导线圈用超导平角线材,其中,所述线材为平角线材,所述线材的角部的曲率半径(R1)满足下述式(3)及下述式(4),

[数学式2]

$0.10 \leqq R1 \leqq R1_{max}$ …式(3)

$$R1_{max}[mm] = \sqrt{B \times \frac{(线材的截面宽度W1) \times (线材的截面厚度T1)}{4-\pi}} \quad \cdots 式(4)$$

在上述式(4)中,B是第2曲率半径系数。

10.一种超导线圈,其特征在于,具备:

线圈架;和

超导部,其包含以螺旋状卷绕于所述线圈架的主体部的权利要求1~9中任一项所述的超导线圈用超导平角线材,

所述超导部的空隙率为4.0%以下。

超导线圈用超导平角线材及超导线圈

技术领域

[0001] 本发明涉及超导线圈用超导平角线材及超导线圈。

背景技术

[0002] 超导线材在极低温下表现出超导性能。通过将这种超导线材卷绕于线圈架而获得超导线圈。超导线材与通常的铜线等电线相比,具有能够流过极大的电流的优点,但如果流过大电流,则会被施加大的电磁力,有可能发生振动而发热。在超导线材中,若由于发热而温度上升,则即使是比超导线材的临界电流值小的电流的通电的情况下,超导状态也会破坏而成为常导状态(以下称为“失超”),产生液氦猛然间蒸发等问题。因此,需要维持超导状态并防止失超的方法。

[0003] 例如,专利文献1公开了一种超导线圈,其包括线圈架和卷绕于线圈架的超导线。在专利文献1的超导线圈中,在线圈架和超导线之间具有包围超导线的外周而设置的包含热塑性树脂的第1树脂层、配置于超导线圈的内周面的曲面部的包含热固性树脂的第2树脂层,以及位于第1树脂层与第2树脂层之间的包含热塑性树脂和热固性树脂的混合物的混合层。

[0004] 但是,在专利文献1这样的现有技术中,虽然能够避免部件间的界面剥离,但存在不能避免超导线彼此的粘接力不充分所引起的失超的发生的问题。

[0005] 现有技术文献

[0006] 专利文献

[0007] 专利文献1:日本专利6276406号公报

发明内容

[0008] 发明要解决的课题

[0009] 本发明的目的在于提供一种与以往相比能够抑制失超的超导线圈用超导平角线材及超导线圈。

[0010] 用于解决课题的手段

[0011] [1]一种超导线圈用超导平角线材,其具备:以铜系材料被覆了表面的NbTi系或Nb_3Sn系的线材;和被覆所述线材的外周面、由热塑性熔接树脂构成的熔接树脂层,所述超导线圈用超导平角线材的特征在于,在所述超导线圈用超导平角线材的横截面中,所述熔接树脂层的角部的曲率半径(R2)为所述线材的角部的曲率半径(R1)以下。

[0012] [2]根据上述[1]所述的超导线圈用超导平角线材,其中,所述熔接树脂层的平均厚度为0.005mm以上0.100mm以下。

[0013] [3]根据上述[1]或[2]所述的超导线圈用超导平角线材,其中,在所述超导线圈用超导平角线材的横截面中,所述熔接树脂层的角部的曲率半径(R2)满足下述式(1)及下述式(2),

[0014] [数学式1]

[0015] $0.10 \leqslant R2 \leqslant R2_{max}$ ・・・式(1)

[0016] $$R2_{max}[mm] = \sqrt{A \times \frac{(超导平角线材的截面宽度W2) \times (超导平角线材的截面厚度T2)}{4-\pi}} \quad ・・・式(2)$$

[0017] 在上述式(2)中,A是第1曲率半径系数。

[0018] [4]根据上述[1]~[3]中任一项所述的超导线圈用超导平角线材,其中,所述熔接树脂层由选自苯氧基树脂、聚酰胺树脂及聚酯树脂中的1种以上的树脂构成。

[0019] [5]根据上述[1]~[4]中任一项所述的超导线圈用超导平角线材,其中,在所述线材与所述熔接树脂层之间还具备由绝缘树脂构成的绝缘树脂层。

[0020] [6]根据上述[5]所述的超导线圈用超导平角线材,其中,所述绝缘树脂层由选自聚乙烯醇缩甲醛树脂、聚酰胺酰亚胺树脂、聚酰亚胺树脂、聚酯树脂及聚氨酯树脂中的1种以上的树脂构成。

[0021] [7]根据上述[5]或[6]所述的超导线圈用超导平角线材,其中,所述绝缘树脂层的平均厚度为0.005mm以上0.100mm以下。

[0022] [8]根据上述[1]~[7]中任一项所述的超导线圈用超导平角线材,其中,所述线材为平角线材,所述线材的角部的曲率半径(R1)为0.10mm以上0.40mm以下。

[0023] [9]根据上述[1]~[8]中任一项所述的超导线圈用超导平角线材,其中,所述线材为平角线材,所述线材的角部的曲率半径(R1)满足下述式(3)及下述式(4),

[0024] [数学式2]

[0025] $0.10 \leqq R1 \leqslant R1_{max}$ ・・・式(3)

[0026] $$R1_{max}[mm] = \sqrt{B \times \frac{(线材的截面宽度W1) \times (线材的截面厚度T1)}{4-\pi}} \quad ・・・式(4)$$

[0027] 在上述式(4)中,B是第2曲率半径系数。

[0028] [10]一种超导线圈,其特征在于,具备:线圈架;和超导部,其包含以螺旋状卷绕于所述线圈架的主体部的上述[1]~[9]中任一项所述的超导线圈用超导平角线材,所述超导部的空隙率为4.0%以下。

[0029] 发明效果

[0030] 根据本发明,能够提供与以往相比能抑制失超的超导线圈用超导平角线材及超导线圈。

附图说明

[0031] [图1]图1是示出实施方式的超导线圈用超导平角线材的一例的横截面图。

[0032] [图2]图2是示出实施方式的超导线圈用超导平角线材的另一例的横截面图。

[0033] [图3]图3是示出实施方式的超导线圈的一例的截面图。

[0034] [图4]图4是示出实施方式的超导线圈的另一例的截面图。

具体实施方式

[0035] 以下,对实施方式进行详细说明。

[0036] 本申请的发明人进行了深入的研究,结果发现,通过针对构成超导线圈用超导平角线材的线材和熔接树脂层控制其各自的横截面的形状,由此与以往相比能够抑制失超,

基于该见解完成了本发明。

[0037] 实施方式的超导线圈用超导平角线材具备以铜系材料被覆了表面的NbTi系或Nb_3Sn系的线材、和被覆上述线材的外周面、由热塑性熔接树脂构成的熔接树脂层，在上述超导线圈用超导平角线材的横截面中，上述熔接树脂层的角部的曲率半径(R2)为上述线材的角部的曲率半径(R1)以下。

[0038] 首先，对超导线圈用超导平角线材(以下，也简称为超导平角线材)进行说明。图1是示出实施方式的超导线圈用超导平角线材的一例的横截面图。图2是示出实施方式的超导线圈用超导平角线材的另一例的横截面图。超导平角线材10包括线材1和熔接树脂层2。如后所述，超导平角线材10是构成超导线圈50的部件。

[0039] 构成超导平角线材10的线材1是以铜系材料被覆了表面的NbTi系或Nb_3Sn系的线材。铜系材料是铜或铜合金。

[0040] 从抑制超导线圈的失超的观点出发，线材1优选为圆形线材(圆线)、平角线材，更优选为平角线材。若线材1为这些形状，则能够减少超导线圈的空隙率，能够得到大的电流密度。此外，由于超导平角线材10彼此的熔接面积(接触面积)增加，因此可增加熔接力。

[0041] 优选的是，线材1为平角线材，超导平角线材10的横截面中的线材1的角部的曲率半径(R1)为0.10mm以上0.40mm以下。若线材1为平角线材、线材1的曲率半径(R1)为0.10mm以上，则在卷绕线材1时，能够防止线材1彼此钩挂而在线材1的表面产生损伤。另外，若线材1为平角线材、线材1的曲率半径(R1)为0.40mm以下，则能够减少超导线圈中的空隙率，因此能够抑制失超。

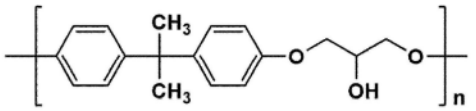
[0042] 如图1～2所示，在线材1为平角线材的情况下，从线材1的卷绕性、抑制失超的观点出发，超导平角线材10的横截面中的线材1的厚度T1(短边)优选为0.20mm以上3.00mm以下，线材1的宽度W1(长边)优选为0.40mm以上10.00mm以下。

[0043] 构成超导平角线材10的熔接树脂层2被覆线材1的外周面。熔接树脂层2由热塑性熔接树脂构成，通过加热而相互熔接。

[0044] 从可在低温条件下进行熔接处理、可得到良好的熔接特性方面考虑，熔接树脂层2优选由选自苯氧基树脂、聚酰胺树脂及聚酯树脂中的1种以上的树脂构成。

[0045] 形成熔接树脂层2的苯氧基树脂也被称为聚羟基醚，分子量为10000以上，具有下述式(a)表示的结构。苯氧基树脂可以以溶解于间甲酚等溶剂中的清漆的形式使用。

[0046] [化学式1]

[0047] 

· · · (a)

[0048] 形成熔接树脂层2的聚酰胺树脂优选为熔点与聚酰胺单独相比较低的聚酰胺无规共聚物。例如，优选聚酰胺6/聚酰胺12共聚物、聚酰胺6/聚酰胺11共聚物、聚酰胺6/聚酰胺66共聚物，其中，由于熔点低，因此更优选聚酰胺6/聚酰胺12共聚物和聚酰胺6/聚酰胺11共聚物。

[0049] 对于聚酰胺共聚物，由于熔点根据各树脂的组成比而变化，因此可以选择熔点最低的组成比来使用。例如，在聚酰胺6/聚酰胺11共聚物的情况下，在聚酰胺6为30重量％的情况下，熔点最低，为150℃。聚酰胺树脂可以以溶解于间甲酚等溶剂中的清漆的形式使用。

[0050] 熔接树脂层2的平均厚度优选为0.005mm以上0.100mm以下,其中,下限值更优选为0.010mm以上,上限值更优选为0.070mm以下,进一步优选为0.050mm以下。若熔接树脂层2的平均厚度为0.005mm以上,则熔接树脂充分存在,因此熔接力良好。若熔接树脂层2的平均厚度为0.100mm以下,则可抑制由于线占空系数的降低而导致的、超导线圈的电流密度的降低。由超导平角线材10的横截面测量熔接树脂层2的平均厚度。

[0051] 如图2所示,超导平角线材10优选在线材1与熔接树脂层2之间还具有由绝缘树脂构成的绝缘树脂层3。绝缘树脂层3设置在线材1的外周面与熔接树脂层2之间。若超导平角线材10具有绝缘树脂层3,则可进一步提高绝缘特性。

[0052] 从将从线材1向外部的电的流动良好地绝缘的观点出发,绝缘树脂层3优选由选自聚乙烯醇缩甲醛树脂、聚酰胺酰亚胺树脂、聚酰亚胺树脂、聚酯树脂及聚氨酯树脂中的1种以上的树脂构成。

[0053] 关于绝缘树脂层3的平均厚度,下限值优选为0.005mm以上,更优选为0.010mm以上,上限值优选为0.100mm以下,更优选为0.070mm以下,进一步优选为0.050mm以下。若绝缘树脂层3的平均厚度为0.005mm以上,则绝缘树脂充分存在,因此绝缘特性良好。当绝缘树脂层3的平均厚度为0.100mm以下时,能够抑制由线占空系数的降低导致的、超导线圈的电流密度的降低。由超导平角线材10的横截面测量绝缘树脂层3的平均厚度。

[0054] 如图1～2所示,W3是在超导平角线材10的横截面中被覆有绝缘树脂层3的线材1的宽度(长边)。T3是在超导平角线材10的横截面中被覆有绝缘树脂层3的线材1的厚度(短边)。

[0055] 在超导平角线材10的横截面中,熔接树脂层2的角部的曲率半径(R2)为线材1的角部的曲率半径(R1)以下。在线材1不是圆形线材的情况下,例如如图1～2所示,在线材1是平角线材的情况下,在超导平角线材10的横截面中,线材1的角部及熔接树脂层2的角部分别存在多个。在像这样存在多个角部的情况下,对于线材1的角部及熔接树脂层2的角部,对最接近的角部彼此进行比较。即,熔接树脂层2的角部的曲率半径(R2)为距具有曲率半径(R2)的熔接树脂层2的角部最近的线材1的角部的曲率半径(R1)以下。

[0056] 在以往的超导平角线材中,在超导平角线材的横截面中,熔接树脂层的角部的曲率半径(R2)大于线材的角部的曲率半径(R1)。另一方面,在实施方式的超导平角线材10中,如图1～2所示,在超导平角线材10的横截面中,熔接树脂层2的角部的表面的曲率半径(R2)为线材1的角部的表面的曲率半径(R1)以下。换言之,在超导平角线材10中,熔接树脂层2的曲率半径(R2)小于线材1的曲率半径(R1),或者熔接树脂层2的曲率半径(R2)与线材1的曲率半径(R1)相同。

[0057] 在超导平角线材10的横截面中,若熔接树脂层2的曲率半径(R2)为线材1的曲率半径(R1)以下,则能够使超导平角线材10的最外层的曲率半径比以往小,因此能够使由超导平角线材10的形状引起的超导线圈的空隙率比以往减小,因此能够抑制失超。

[0058] 另外,在超导平角线材10的横截面中,超导平角线材10的角部的曲率半径,即熔接树脂层2的角部的曲率半径(R2)优选满足下述式(1)和下述式(2)。

[0059] [数学式3]

[0060] $0.10 \leqq R2 \leqq R2_{max}$ ・・・式(1)

[0061] $$R2_{max}[mm]=\sqrt{A\times\frac{(超导平角线材的截面宽度W2)\times(超导平角线材的截面厚度T2)}{4-\pi}}$$ ・・・式(2)

[0062] 在式(2)中,A是第1曲率半径系数。A优选为0.06,更优选为0.04。如图1～2所示,在超导平角线材10的横截面中,W2是超导平角线材10的宽度(长边),是被覆有熔接树脂层2的线材1的宽度。T2是在超导平角线材10的横截面中超导平角线材10的厚度(短边),是被覆有熔接树脂层2的线材1的厚度。具体而言,W2优选为0.10mm以上5.00mm以下,更优选为0.30mm以上3.00mm以下。另外,T2优选为0.10mm以上5.00mm以下,更优选为0.30mm以上3.00mm以下。

[0063] 当熔接树脂层2的角部的曲率半径(R2)满足上述式(1)和式(2)时,可进一步降低超导线圈的空隙率,因此可进一步抑制失超。基于这样的理由,R2优选为0.01mm以上,更优选为0.10mm以上0.40mm以下。

[0064] 另外,优选的是,线材1为平角线材,线材1的角部的曲率半径(R1)满足下述式(3)及下述式(4)。

[0065] [数学式4]

[0066] $0.10\leqq R1\leqslant R1_{max}$ ・・・式(3)

[0067] $$R1_{max}[mm]=\sqrt{B\times\frac{(线材的截面宽度W1)\times(线材的截面厚度T1)}{4-\pi}}$$ ・・・式(4)

[0068] 在式(4)中,B是第2曲率半径系数。B优选为0.06,更优选为0.04。

[0069] 若线材1为平角线材、线材1的曲率半径(R1)为0.10mm以上,则在卷绕线材1时,能够进一步防止线材1彼此钩挂而在线材1的表面产生损伤。若线材1为平角线材、线材1的曲率半径(R1)为$R1_{max}$以下,则能够进一步减少超导线圈中的空隙率,因此能够进一步抑制失超。

[0070] 接下来,对超导平角线材10的制造方法进行说明。

[0071] 首先,为了与实施方式的超导平角线材10进行比较,对熔接树脂层的角部的曲率半径(R2)比线材的角部的曲率半径(R1)大的以往的超导平角线材的制造方法进行说明。

[0072] 在以往的超导平角线材中,通过将熔接树脂烘烤在通过拉丝加工而获得的平角线材的外周面上,将熔接树脂层被覆在该线材的外周面上。在烘烤工序中,在线材通过模具时,将液状的清漆涂覆在线材上,然后,在炉内进行清漆内的溶剂的蒸发,或者根据熔接树脂的种类使得一部分树脂成分的固化进行,形成熔接树脂层。在线材的角部,刚被涂覆后的液状的清漆因表面张力而扩展,在该状态下进行烘烤,结果熔接树脂层的角部的曲率半径变得比线材的角部的曲率半径大。进一步地,与平坦部(角部以外)处的熔接树脂层的厚度相比,角部的熔接树脂层的厚度更小。基于上述理由,作为最外层的熔接树脂层的曲率半径变得比线材的曲率半径大,其结果,难以大幅减小超导线圈内的空隙率。

[0073] 另一方面,在实施方式的超导平角线材10中,在线材1上被覆熔接树脂的方法虽然没有特别限定,但优选使用将热塑性熔接树脂溶解在溶剂中而得的清漆,通过将熔接树脂烘烤在圆形的线材上而被覆熔接树脂的方法,以及通过将热塑性熔接树脂挤出被覆在圆形的线材的表面上而被覆熔接树脂的方法。

[0074] 接着,通过将被覆有熔接树脂的圆形状的线材轧制加工为平角形状,能够得到熔接树脂层2的角部的曲率半径(R2)为线材1的角部的曲率半径(R1)以下的、平角状的超导平

角线材10。在轧制加工中,与作为芯的线材1相比,施加于外侧的熔接树脂层2的应变量增大,其结果,熔接树脂层2的曲率半径(R2)成为线材1的曲率半径(R1)以下。

[0075] 作为制造超导平角线材10的其他方法,通过以使熔接树脂层2的曲率半径(R2)为线材1的曲率半径(R1)以下的方式将熔接树脂挤出被覆在线材1的表面上,从而将熔接树脂层2被覆在线材1的外周面。由此,可获得超导平角线材10。在挤出成型的情况下,作为最外层的熔接树脂层2的角部的曲率半径(R2)较大地依赖于模具的角部处的曲率半径。因此,能够与线材1的角部的曲率半径(R1)无关地将熔接树脂层2的曲率半径(R2)调整得较小。

[0076] 在超导平角线材10具备绝缘树脂层3的情况下,在利用现有的方法在圆形状的线材、或线材1的外周面被覆绝缘树脂层3后,使用具备绝缘树脂层3的圆形状的线材、或线材1并应用上述方法,由此能够制造超导平角线材10。

[0077] 接下来,对实施方式的超导线圈进行说明。图3是示出实施方式的超导线圈的一例的截面图。图4是示出实施方式的超导线圈的另一例的截面图。在图3和图4中,示出了在包含线圈架的轴线的平面上切剖超导线圈时的截面图。图3和图4中,示出了具备不具有绝缘树脂层3的超导平角线材10的超导线圈50。关于图3和图4,除了在图3中超导平角线材10为1层,在图4中超导平角线材10为2层(多层)以外,主要为同样的结构。

[0078] 如图3所示,实施方式的超导线圈50包括线圈架80、和包括以螺旋状卷绕于线圈架80的主体部81的上述超导平角线材10的超导部60。超导部60的空隙率为4.0%以下。超导部60包括1层的超导平角线材10。

[0079] 超导平角线材10在遍及从线圈架80的翼部82中的一者至另一者的范围内以螺旋状卷绕于主体部81。此时,在超导平角线材10和翼部82的内表面82a之间,有时存在间隙S1。

[0080] 关于与主体部81的外周线81a接触的超导平角线材10,在将超导线圈50用包含线圈架80的轴线的平面切剖时的截面(以下也简称为超导线圈50的截面)中,在相邻的2个超导平角线材10(1个超导平角线材10)与主体部81的外周线81a之间有时存在空隙V1(内侧的表面空隙)。另外,在超导线圈50的截面中,在连接所有超导平角线材10的外周线的直线L1和相邻的2个超导平角线材10(1个超导平角线材10)之间,有时存在空隙V2(外侧的表面空隙)。

[0081] 另外,在图4中,超导部60包括2层(多层)的超导平角线材10。对于与主体部81的外周线81a接触的最内周的超导平角线材10,与上述同样,在超导平角线材10与外周线81a之间有时存在空隙V1(内侧的表面空隙)。另外,与上述同样,在超导线圈50的截面中,在连接配置于最外层的所有超导平角线材10的外周线的直线L1与超导平角线材10之间,有时存在空隙V2(外侧的表面空隙)。

[0082] 此外,在相邻的各层的超导平角线材10之间且在同层内相邻的超导平角线材10之间,有时存在空隙V3(内部空隙)。这里,如图4所示,示出了空隙V3存在于3个超导平角线材10之间的例子,但空隙V3有时也存在于4个超导平角线材10之间。

[0083] 构成超导线圈50的超导部60的空隙率V是空隙V1和空隙V2和空隙V3的合计面积相对从下述面积S减去间隙S1的面积而得到的值的比例,其中,该面积S为:在超导线圈50的截面中,由主体部81的外周线81a、连接配置于最外层的所有超导平角线材10的外周线的直线L1、以及2个翼部82的内表面82a形成的2个区域的面积S。

[0084] 超导部的空隙率V(%)=(V1+V2+V3)×100/(S-S1)

[0085] 接下来,对超导线圈50的制造方法进行说明。

[0086] 将超导平角线材10以螺旋状卷绕于线圈架80的主体部81,从而将超导平角线材10卷绕于线圈架80。接着,通过在还原气体内以规定的温度和时间对卷绕有超导平角线材10的线圈架80进行加热,能够制造超导线圈50。

[0087] 在这样的超导线圈50中,由于超导部60的空隙率为4.0%以下,因此与以往相比能够抑制失超。

[0088] 根据以上说明的实施方式,通过使用控制了线材和熔接树脂层各自的横截面的形状的超导平角线材来制造超导线圈,与以往相比能够抑制失超。

[0089] 以上,对实施方式进行了说明,但本发明并不限定于上述实施方式,包含本发明的概念和权利要求书所包含的所有方式,能够在本发明的范围内进行各种改变。

[0090] 实施例

[0091] 接着,对实施例及比较例进行说明,但本发明并不限定于这些实施例。

[0092] (实施例1~3)

[0093] 对以铜被覆了表面的NbTi的圆线烘烤作为绝缘树脂的聚酰胺酰亚胺树脂(东特涂料公司制,Neoheat A100C)后,烘烤作为熔接树脂的苯氧基树脂(日铁化学&材料公司制,YP-50)。接着,通过对被覆有绝缘树脂和熔接树脂的线材进行轧制加工,得到表1所示的超导平角线材。

[0094] 接着,将超导平角线材在主体直径300mm、宽度500mm的SUS304制的线圈架上卷绕20层后,在氩气气氛内以温度200℃、时间120分钟进行加热,由此得到超导线圈。

[0095] (实施例4)

[0096] 除了在实施例1中使用表2所示的超导平角线材、在线圈架上卷绕1层超导平角线材以外,与实施例1同样地得到超导线圈。

[0097] (比较例1~3)

[0098] 对以铜被覆了表面的NbTi的平角线烘烤作为绝缘树脂的聚酰胺酰亚胺树脂(东特涂料公司制,Neoheat A100C)后,烘烤作为熔接树脂的苯氧基树脂(日铁化学&材料公司制,YP-50),由此得到表1所示的超导平角线材。然后,与实例1同样地获得超导线圈。

[0099] (比较例4)

[0100] 除了在比较例1中使用表2所示的超导平角线材、在线圈架上卷绕1层超导平角线材以外,与比较例1同样地得到超导线圈。

[0101] 表1~2中示出针对上述实例和比较例中获得的超导线圈测定超导部的空隙率的结果。

[0102] 另外,针对在上述实施例和比较例中得到的超导线圈,用液氦冷却,多次重复进行达到设计磁场的电流为止的通电(电流增加速度50A/min)。针对最大达到磁场、至达到最大达到磁场为止进行训练失超的次数、以及实现最大达到磁场后至达到磁场发生降低为止的热循环(常温和4K)的重复次数,将结果示于表1~2。

[0103] [表1]

[0104]

		实施例1	实施例2	实施例3	比较例1	比较例2	比较例3
线材	宽度 W1 (mm)	2.28	1.69	1.30	2.27	1.67	1.31
	厚度 T1 (mm)	1.26	1.08	1.10	1.27	1.07	1.11
	曲率半径 R1 (mm)	0.40	0.35	0.30	0.40	0.35	0.30
	R1max (mm)	0.45	0.36	0.32	0.45	0.35	0.32
绝缘被覆层	平均厚度 (mm)	0.030	0.030	0.020	0.030	0.030	0.020
	宽度 W3 (mm)	2.34	1.75	1.34	2.33	1.73	1.35
	厚度 T3 (mm)	1.32	1.14	1.14	1.33	1.13	1.15
	曲率半径 R3 (mm)	0.39	0.33	0.29	0.43	0.38	0.32
熔接被覆层	平均厚度 (mm)	0.035	0.035	0.025	0.035	0.035	0.025
	宽度 W2 (mm)	2.41	1.82	1.39	2.40	1.80	1.40
	厚度 T2 (mm)	1.39	1.21	1.19	1.40	1.20	1.20
	曲率半径 R2 (mm)	0.39	0.31	0.28	0.47	0.42	0.35
	R2max (mm)	0.48	0.39	0.34	0.48	0.39	0.34
超导线圈	空隙率 V	2.9%	2.7%	2.7%	4.4%	5.3%	4.4%
最大达到磁场/设计磁场		100%	100%	100%	80%	80%	85%
训练失超次数		1	0	0	10	7	6
至达到磁场发生降低为止的热循环次数（训练后）		∞	∞	∞	3	5	8

[0105] [表2]

[0106]

		实施例4	比较例4
线材	宽度 W1 (mm)	1.69	1.67
	厚度 T1 (mm)	1.08	1.07
	曲率半径 R1 (mm)	0.35	0.35
	R1max (mm)	0.36	0.35
绝缘树脂层	平均厚度 (mm)	0.030	0.030
	宽度 W3 (mm)	1.75	1.73
	厚度 T3 (mm)	1.14	1.13
	曲率半径 R3 (mm)	0.33	0.38
熔接树脂层	平均厚度 (mm)	0.035	0.035
	宽度 W2 (mm)	1.82	1.80
	厚度 T2 (mm)	1.21	1.20
	曲率半径 R2 (mm)	0.31	0.42
	R2max (mm)	0.39	0.39
超导线圈	空隙率 V	2.7%	5.3%
最大达到磁场/设计磁场		99%	79%
训练失超次数		1	8
至达到磁场发生降低为止的热循环次数（训练后）		∞	4

[0107] 如表1～2所示,在实施例1～4中,使用超导平角线材的横截面中的熔接树脂层的角部的曲率半径(R2)为线材的角部的曲率半径(R1)以下的超导平角线材制造超导线圈,结果,超导部的空隙率与以往相比大幅减小,由此抑制了失超。另一方面,在比较例1～4中,使

用了熔接树脂层的曲率半径(R2)大于线材的曲率半径(R1)的超导平角线材制造超导线圈，结果超导部的空隙率没有降低，未能抑制失超。

[0108] 附图标记说明

[0109] 1 线材

[0110] 2 熔接树脂层

[0111] 3 绝缘树脂层

[0112] 10 超导线圈用超导平角线材(超导平角线材)

[0113] 50 超导线圈

[0114] 60 超导部

[0115] 80 线圈架

[0116] 81 线圈架的主体部

[0117] 81a 主体部的外周线

[0118] 82 翼部

[0119] 82a 翼部的内表面

[0120] T1 超导平角线材的横截面中的线材的厚度

[0121] T2 超导平角线材的横截面中的超导平角线材的厚度(被覆有熔接树脂层的线材的厚度)

[0122] T3 被覆有绝缘树脂层的线材的厚度

[0123] W1 超导平角线材的横截面中的线材的宽度

[0124] W2 超导平角线材的横截面中的超导平角线材的宽度(被覆有熔接树脂层的线材的宽度)

[0125] W3 被覆有绝缘树脂层的线材的宽度

[0126] V1、V2、V3 空隙

[0127] S1 间隙

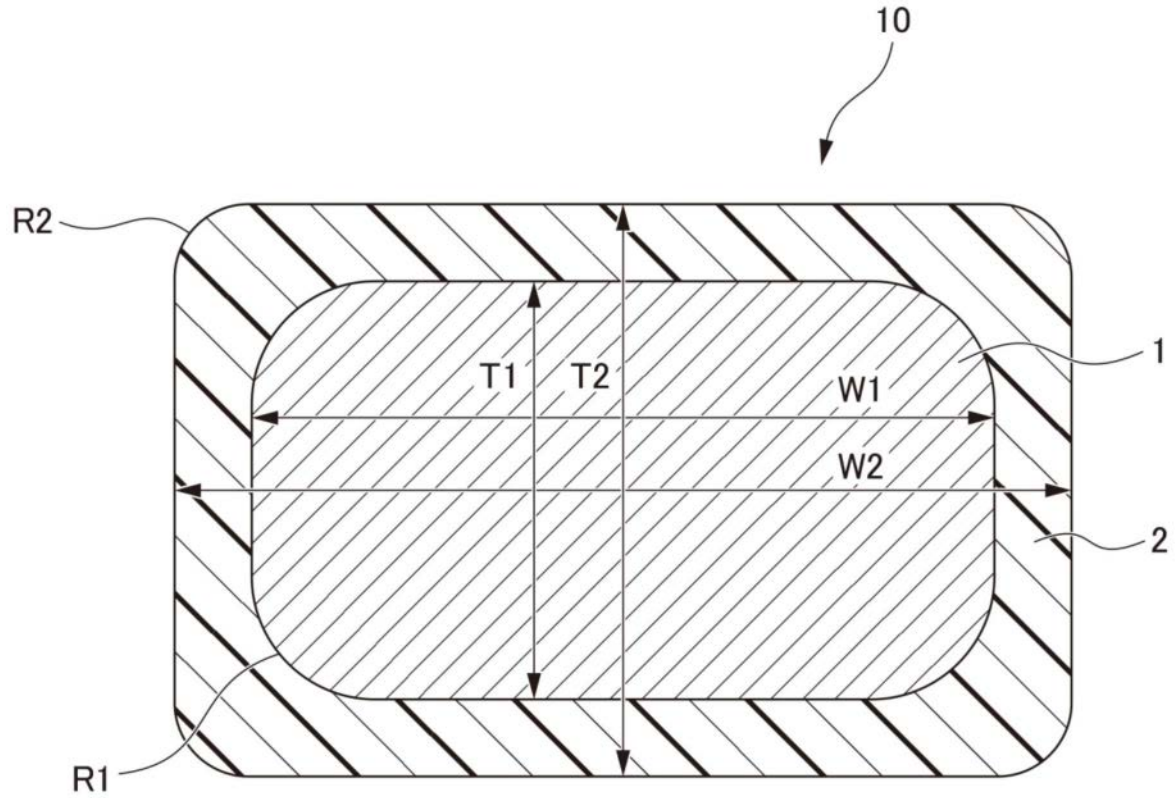


图1

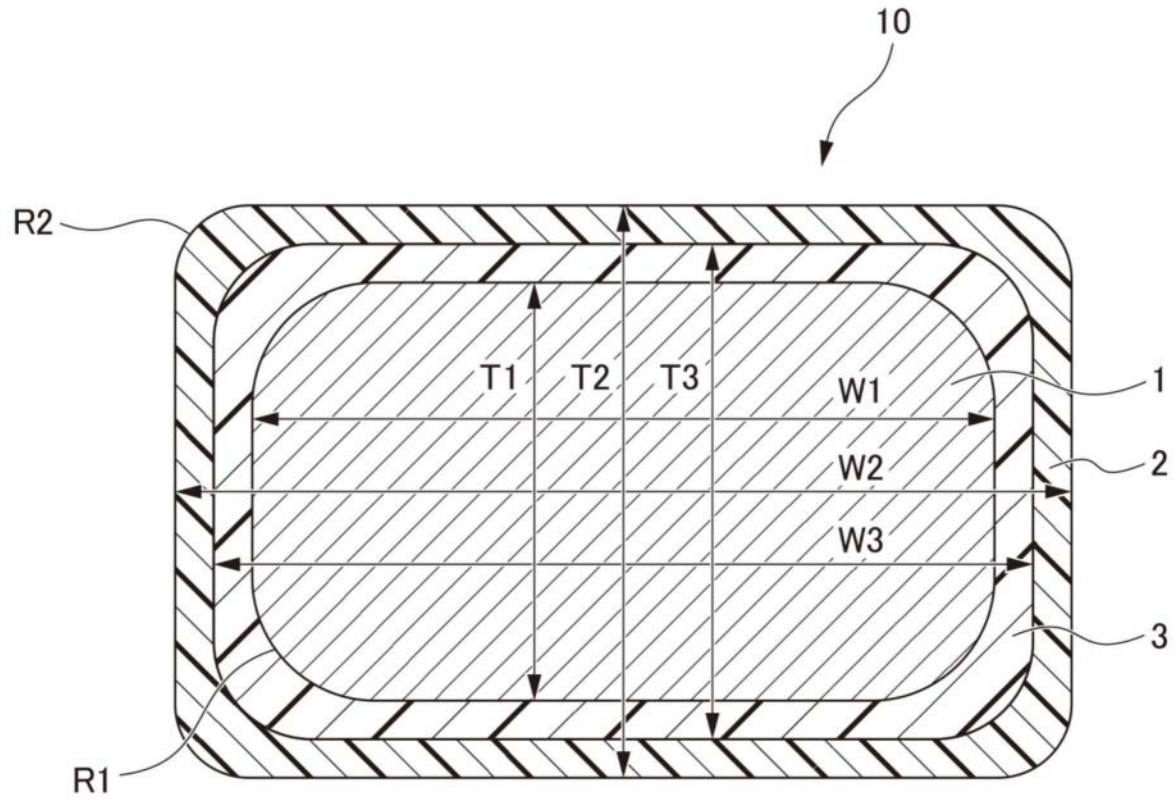


图2

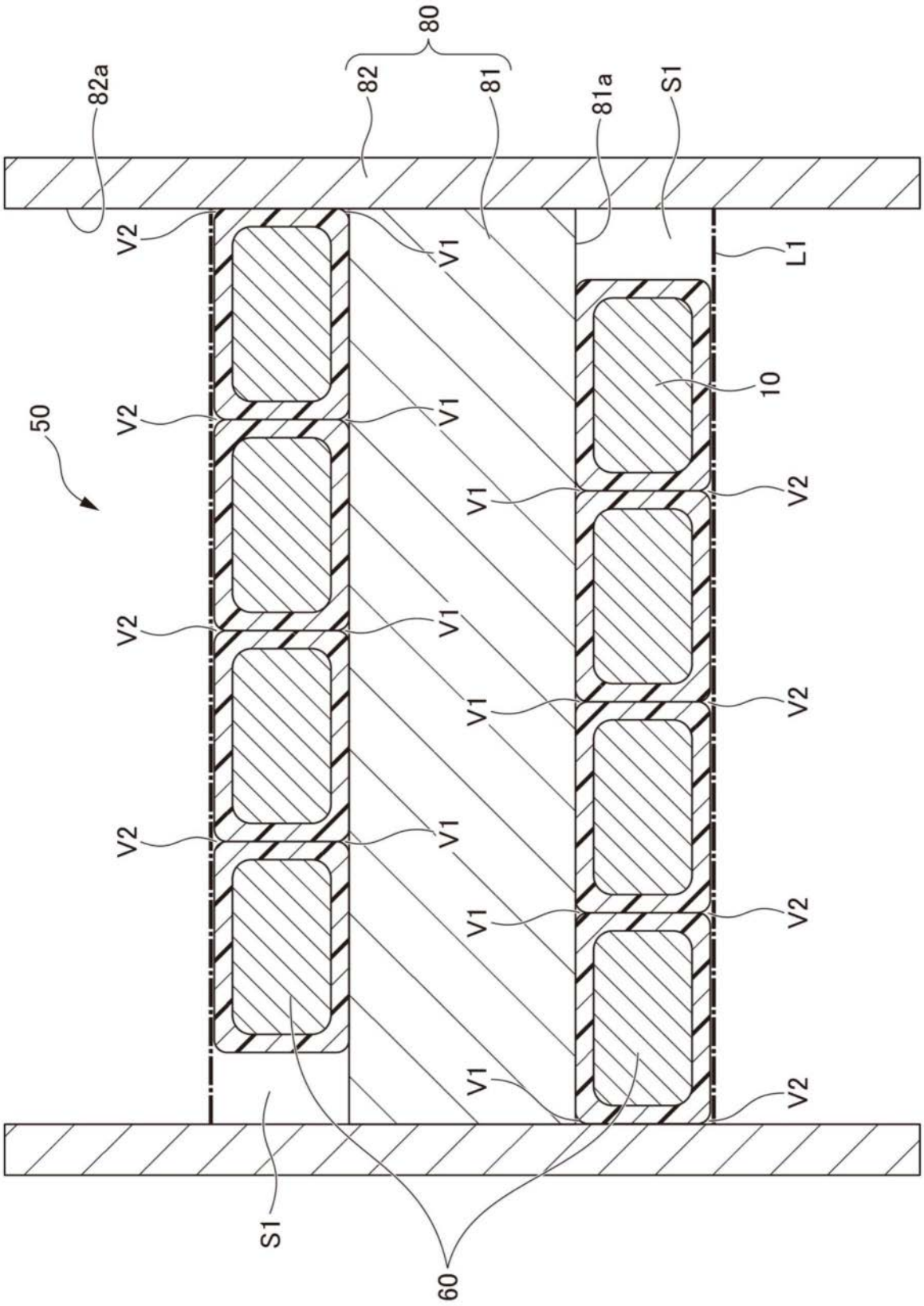


图3

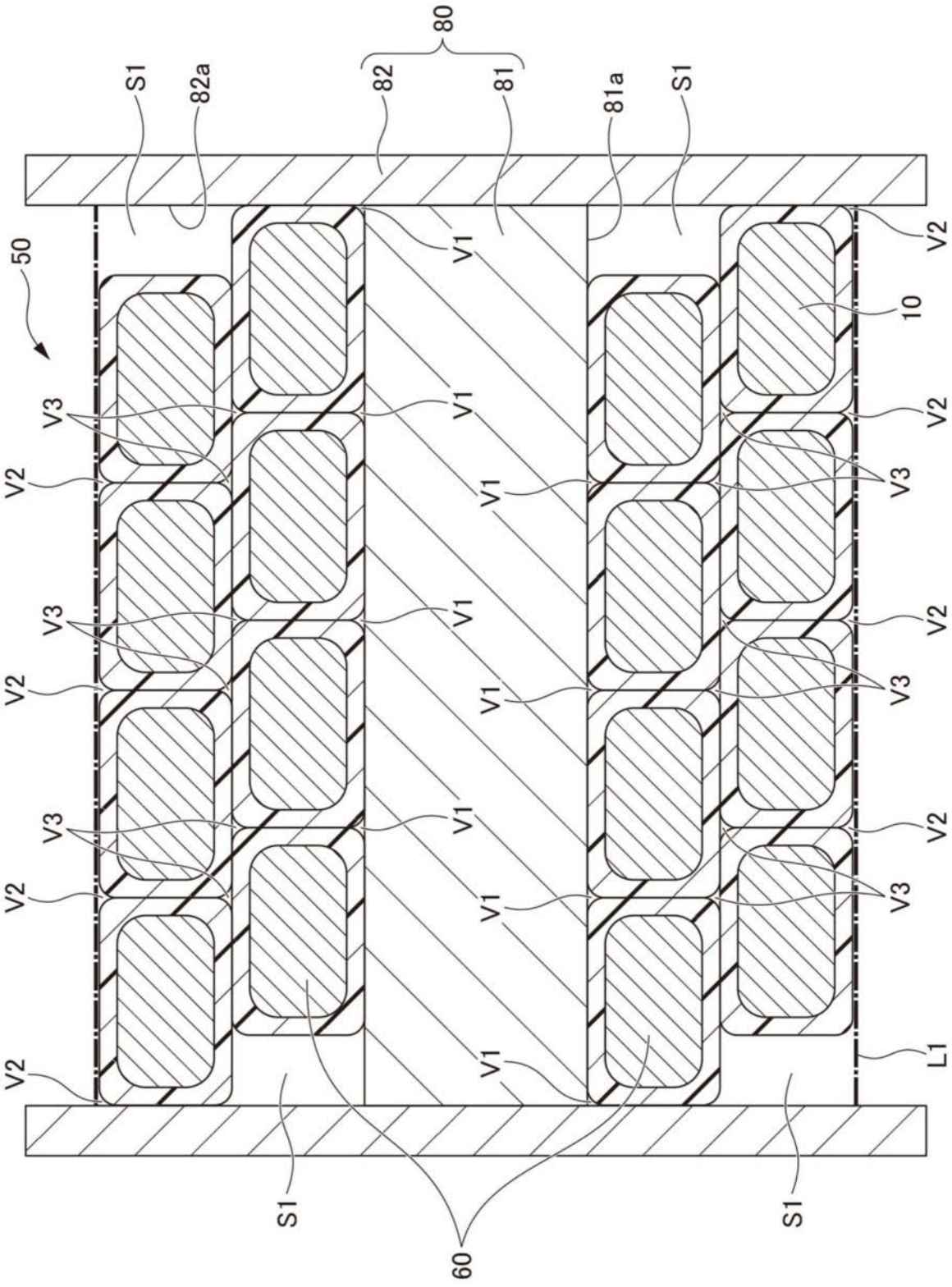

80
S1
82a
82
81
81a
S1
50
V1
V2
10
V3
V2
V1
V3
V2
V3
V1
V2
V2
V1
V3
V3
V1
V2
V2
V1
V3
V2
V1
L1
S1
60
S1

图4