



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104602830 B

(45)授权公告日 2017.03.01

(21)申请号 201280075546.2

(22)申请日 2012.08.31

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 104602830 A

(43)申请公布日 2015.05.06

(85)PCT国际申请进入国家阶段日

2015.02.28

(86)PCT国际申请的申请数据

PCT/JP2012/072234 2012.08.31

(87)PCT国际申请的公布数据

W02014/033928 JA 2014.03.06

(73)专利权人 东芝三菱电机产业系统株式会社

地址 日本东京

(72)发明人 佐野光彦 小原一浩

(74)专利代理机构 上海专利商标事务所有限公

司 31100

代理人 宋俊寅

(51)Int.Cl.

B21B 37/00(2006.01)

G01N 25/02(2006.01)

G01N 33/20(2006.01)

(56)对比文件

JP 5-87800 A,1993.04.06,全文.

JP 5-142126 A,1993.06.08,全文.

CN 101473224 A,2009.07.01,全文.

JP 6-264137 A,1994.09.20,全文.

CN 1431060 A,2003.07.23,全文.

CN 101591729 A,2009.12.02,全文.

CN 102234716 A,2011.11.09,全文.

审查员 唐肇蔚

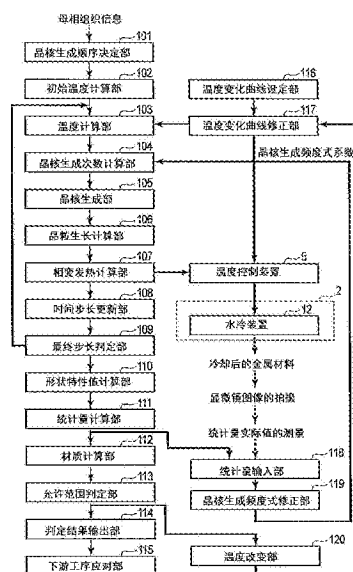
权利要求书3页 说明书14页 附图3页

(54)发明名称

材料组织预测装置、产品制造方法及材料组织预测方法

(57)摘要

本发明的材料组织预测装置(1)包括:基于用于对材料施加温度变化的温度条件,来计算材料计算对象区域内的多个计算点的温度的温度计算部(103);基于多个计算点的温度,来对计算对象区域内的晶核生成次数进行计算的晶核生成次数计算部(104);基于晶核生成次数,来决定从多个计算点生成析出相的晶核的析出相生成点的晶核生成部(105);对于析出相生成点计算析出相的晶粒生长的晶粒生长计算部(106);以及基于所计算出的析出相的晶粒生长来预测材料的组织。



1. 一种材料组织预测装置, 预测因温度变化而从母相向析出相发生相变的材料的组织, 其特征在于, 包括:

温度计算单元, 该温度计算单元基于用于向所述材料施加所述温度变化的温度条件, 来计算所述材料的计算对象区域内的多个计算点的温度;

晶核生成次数计算单元, 该晶核生成次数计算单元基于所述温度计算单元所计算出的所述多个计算点的温度, 来计算所述计算对象区域内的晶核生成次数;

析出相生成点决定单元, 该析出相生成点决定单元基于所述晶核生成次数计算单元所计算出的所述晶核生成次数, 来决定从所述多个计算点生成所述析出相的晶核的析出相生成点;

晶粒生长计算单元, 该晶粒生长计算单元对于所述析出相生成点决定单元所决定的所述析出相生成点, 计算所述析出相的晶粒生长; 以及

材料组织预测单元, 该材料组织预测单元基于所述晶粒生长计算单元所计算出的所述析出相的晶粒生长, 来预测所述材料的组织。

2. 如权利要求1所述的材料组织预测装置, 其特征在于, 包括:

形状特性值计算单元, 该形状特性值计算单元基于所述晶粒生长计算单元所计算出的所述析出相的晶粒生长, 来计算所述析出相的晶粒的形状特性值;

统计量计算单元, 该统计量计算单元基于所述形状特性值计算单元所计算出的所述形状特性值, 来计算多个所述形状特性值的统计量; 以及

材质预测单元, 该材质预测单元基于所述统计量计算单元所计算出的所述统计量, 来预测所述材料的材质。

3. 如权利要求2所述的材料组织预测装置, 其特征在于, 包括:

实际统计量获取单元, 该实际统计量获取单元获取实际的所述形状特性值的统计量即实际统计量; 以及

晶核生成次数计算修正单元, 该晶核生成次数计算修正单元基于由所述统计量计算单元所计算出的所述统计量及由所述实际统计量获取单元所获取的所述实际统计量, 来修正由所述晶核生成次数计算单元计算所述晶核生成次数时所用的计算式。

4. 如权利要求1至3中的任一项所述的材料组织预测装置, 其特征在于, 包括:

材质评价单元, 该材质评价单元基于所述材料组织预测单元所预测的所述材料的组织, 来评价所述材料的材质。

5. 如权利要求1至3中的任一项所述的材料组织预测装置, 其特征在于,

所述晶核生成次数计算单元基于所述母相与所述析出相的自由能之差及所述母相的扩散系数, 来计算所述晶核生成次数。

6. 如权利要求1至3中的任一项所述的材料组织预测装置, 其特征在于,

包括晶核生成顺序决定单元, 该晶核生成顺序决定单元对所述多个计算点决定从所述母相到所述析出相的晶核生成的顺序,

所述析出相生成点决定单元使用由所述晶核生成顺序决定单元所决定的所述析出相的晶核生成顺序, 来决定所述析出相生成点。

7. 如权利要求1至3中的任一项所述的材料组织预测装置, 其特征在于,

所述温度计算单元基于已施加到所述材料的所述温度条件的实际值, 来计算所述多个

计算点的温度。

8. 一种产品制造方法, 该产品制造方法用于使用因温度变化而从母相向析出相发生相变的材料来制造产品, 其特征在于, 包括以下步骤:

控制用于对所述材料施加所述温度变化的温度;

基于用于控制所述温度的温度条件, 计算所述材料的计算对象区域内的多个计算点的温度;

基于计算出的所述多个计算点的温度, 计算所述计算对象区域内的晶核生成次数;

基于所计算出的所述晶核生成次数, 来决定从所述多个计算点生成所述析出相的晶核的析出相生成点;

计算所决定的所述析出相生成点的所述析出相的晶粒生长;

基于所计算出的所述析出相的晶粒生长, 来预测所述材料的组织;

基于所计算出的所述材料的组织, 计算所述析出相的晶粒的形状特性值;

基于所计算出的所述形状特性值, 计算多个所述形状特性值的统计量;

基于所计算出的所述统计量, 来制造所述产品。

9. 如权利要求8所述的产品制造方法, 其特征在于,

包括基于所计算出的所述析出相的晶粒生长的计算结果, 来计算伴随着所述析出相的所述相变的相变发热量,

所述温度的控制中使用所计算出的所述相变发热量。

10. 如权利要求8所述的产品制造方法, 其特征在于, 包括以下步骤:

基于所计算出的所述统计量来预测所述材料的材质;

基于所述材质的预测结果, 来制造所述产品。

11. 如权利要求8所述的产品制造方法, 其特征在于, 包括以下步骤:

基于所预测的所述材料的组织, 来评价所述材料的材质。

12. 如权利要求11所述的产品制造方法, 其特征在于, 包括以下步骤:

基于所述材料的材质的评价结果, 在下游工序中处理所述材料。

13. 如权利要求11所述的产品制造方法, 其特征在于,

基于所述材料的材质的评价结果来改变所述温度条件。

14. 一种材料组织预测方法, 该材料组织预测方法预测因温度变化而从母相向析出相发生相变的材料的组织, 其特征在于, 包括以下步骤:

基于用于向所述材料施加所述温度变化的温度条件, 来计算所述材料的计算对象区域内的多个计算点的温度;

使用计算出的所述多个计算点的温度, 计算所述计算对象区域内的晶核生成次数;

基于所计算出的所述晶核生成次数, 来决定从所述多个计算点生成所述析出相的晶核的析出相生成点;

基于所决定的所述析出相生成点, 计算所述析出相的晶粒生长;

基于所计算出的所述析出相的晶粒生长, 来预测所述材料的组织。

15. 如权利要求14所述的材料组织预测方法, 其特征在于, 包括以下步骤:

基于所计算出的所述析出相的晶粒生长, 计算所述析出相的晶粒的形状特性值;

基于所计算出的所述形状特性值, 计算多个所述形状特性值的统计量;

基于所计算出的所述统计量来预测所述材料的材质。

16. 如权利要求15所述的材料组织预测方法,其特征在于,包括以下步骤:

获取实际的所述形状特性值的统计量即实际统计量;

基于所计算出的所述统计量及所获取的所述实际统计量,来修正用于计算所述晶核生成次数的计算式。

17. 如权利要求14至16中的任一项所述的材料组织预测方法,其特征在于,包括以下步骤:

基于所预测的所述材料的组织,来评价所述材料的材质。

18. 如权利要求14至16中的任一项所述的材料组织预测方法,其特征在于,包括以下步骤:

所述晶核生成次数的计算中使用所述母相与所述析出相的自由能之差及所述母相的扩散系数。

19. 如权利要求14至16中的任一项所述的材料组织预测方法,其特征在于,

对所述多个计算点决定从所述母相到所述析出相的晶核生成的顺序,

决定所述析出相生成点时使用所决定的所述顺序。

20. 如权利要求14至16中的任一项所述的材料组织预测方法,其特征在于,

所述多个计算点的温度的计算中使用已施加到所述材料的所述温度条件的实际值。

材料组织预测装置、产品制造方法及材料组织预测方法

技术领域

[0001] 本发明涉及能预测因温度变化而引起相变的材料的组织的材料组织预测装置、产品制造方法及材料组织预测方法。

背景技术

[0002] 近年来,基于环境问题及节能的观点,希望提高用于工业制品的材料的材质。已知材料的由拉伸强度、屈服应力、或延伸等所代表的材质特性与显微镜级别的材料组织密切相关。因此,通过操作高温加工后条件、或之后的冷却条件,使成为施加到材料的温度变化的指标的温度变化曲线发生变化,从而改善产品的材质特性。

[0003] 另外,若在冷却材料后对其进行研磨,再用应用了操作性电子显微镜的EBSD (electron back scattering diffraction:电子背散射衍射)装置进行观察,则能获得析出相(新相)的各晶粒的结晶方位。母相的结晶方位和析出相的结晶方位之间存在一定的关系。已知利用上述关系来重新构建母相的结晶方位和晶界的技术(参照非专利文献1)。另外,开展了针对冷却中扩散型相变的推进的公式化中所使用的核生成速度及成长速度的研究(参照非专利文献2)。

[0004] 对于温度控制装置,揭示了以下内容:即,使用相变发热模型来预测因轧制材料发生相变而产生的相变发热量,并进行控制,以对该相变发热量进行补偿的同时使卷取温度与规定的温度目标值相一致(参照专利文献1)。

[0005] 为了确定用于获得所希望的材质特性的适当的制造条件,需要重复试作。但是,重复上述试作的操作会耗费较高的费用及时间。因此,对于钢铁材料,开发出以热轧工序为对象来预测作为产品的材料的材料组织及材质的组织材质预测技术。组织材质预测技术用于优化温度变化曲线等制造条件以获得所希望的材质特性。

[0006] 但是,在现有的组织材质预测模型中,按照材料组织内均匀的情况进行处理。因而,并未考虑材料组织内的晶粒大小及形状的差异或偏差。但是,实际上根据制造条件的不同,有时会在材料组织内每一晶粒的大小及形状不同,且它们的偏差较大。这些都会成为材质变动的一个原因。

[0007] 另一方面,在材料从加热状态到冷却过程中发生的固态相变包括以下两个现象:(i)生成晶核,(ii)所生成的晶粒生长。对于后者(晶粒生长),已知有利用多相场(MPF, multi-phase-field)法进行解析的方法。例如揭示了在单晶生长中根据多相场法来计算晶粒生长所得到的晶粒形状变化的模拟方法(参照对比文献2)。但是,对于前者(晶核生成),尽管实际的晶核生成的位置和定时取决于母相组织和温度变化,但在现有的多相场法中,仍停留在手动设置计算开始时的初始核配置等极为简单的考虑。专利文献2中,尽管考虑了在单晶中由错位引起的应变能所导致的晶核生成,但是在以钢铁为代表的多晶金属中,正如众所周知那样在母相组织的晶界附近容易生成晶核等,因而在将专利文献2的方法应用到多晶金属的晶核生成时存在局限性。

[0008] 因而,在现有的多相场法中,对于材料组织内的晶粒大小及形状差异以及其偏差,

尽管能把握晶粒生成的定性的变化趋势,但是由于未充分考虑晶核生成行为,因而定量的预测精度不够。因此难以将该解析方式应用到预测冷却后的材质等需要定量评价的用途。

[0009] 由此,为了应用于材质等定量评价,难以利用现有的多相场法来预测会因温度变化而引起相变的材料组织。

[0010] 现有技术文献

[0011] 专利文献

[0012] 专利文献1:日本专利特开2005-297015号公报

[0013] 专利文献2:日本专利特开2007-091543号公报

[0014] 非专利文献

[0015] 非专利文献1:森本敬治等4人,“EBSDデータによるバリエーション解析プログラムの開発(EBSD数据的多样分析程序的开发)”,“鉄と鋼(铁和钢)”,社团法人日本钢铁协会,2007年,Vol.93, No.9,第27-35页

[0016] 非专利文献2:末广正芳等4名,“低炭素普通鋼の冷却中の変態進行の定式化(低碳普通钢的冷却中的相变进行的定式化)”,“鉄と鋼(铁和钢)”,社团法人日本钢铁协会,1987年,第73年第8号第110-117页

发明内容

[0017] 本发明所要解决的问题在于提供一种能定量地预测因温度变化而引起相变的材料组织的材料组织预测装置、产品制造方法及材料组织预测方法。

[0018] 基于本发明的观点的材料组织预测装置是预测因温度变化而从母相向析出相发生相变的材料组织的材料组织预测装置,包括:温度计算单元,该温度计算单元基于用于向上述材料施加上述温度变化的温度条件,来计算上述材料的计算对象区域内的多个计算点的温度;晶核生成次数计算单元,该晶核生成次数计算单元基于上述温度计算单元所计算出的上述多个计算点的温度,来计算上述计算对象区域内的晶核生成次数;析出相生成点决定单元,该析出相生成点决定单元基于上述晶核生成次数计算单元所计算出的上述晶核生成次数,来决定从上述多个计算点生成上述析出相的晶核的析出相生成点;晶粒生长计算单元,该晶粒生长计算单元对于上述析出相生成点决定单元所决定的上述析出相生成点,计算上述析出相的晶粒生长;以及材料组织预测单元,该材料组织预测单元基于上述晶粒生长计算单元所计算出的上述析出相的晶粒生长,来预测上述材料的组织。

附图说明

[0019] 图1是表示本发明的实施方式的材料组织预测装置的结构的结构图。

[0020] 图2是表示应用了实施方式所涉及的材料组织预测装置的薄板热轧线的结构的结构图。

[0021] 图3是表示实施方式所涉及的薄板热轧线上的材料的计算对象区域的位置的示意图。

[0022] 图4是由实施方式所涉及的晶核生成顺序决定部对各计算点进行等级划分而得的金属材料样品的示意图。

[0023] 图5是由实施方式所涉及的晶核生成顺序决定部决定各计算点的晶核生成顺序而

得的金属材料样品的示意图。

具体实施方式

[0024] 下面,参照附图,对本发明的实施方式进行说明。

[0025] (实施方式)

[0026] 图1是表示本发明的实施方式的材料组织预测装置1的结构的结构图。另外,对图中的相同部分标注相同标号并省略其详细说明,主要针对不同部分进行阐述。

[0027] 首先说明应用材料组织预测装置1的普通的金属材料加工线。

[0028] 金属材料加工线上进行金属材料的加热或冷却中的至少一种加工。

[0029] 加热装置具有感应加热装置、气体加热装置等。冷却装置具有水冷装置、油冷装置或强制空冷装置等。可以有多个上述装置。加热装置和冷却装置的配置顺序是任意的。

[0030] 此处,说明将材料组织预测装置1应用到作为金属材料加工线的一个例子的薄板热轧线2的结构。另外,主要说明对金属材料MT进行冷却的情况,但是对金属材料MT进行加热的情况也相同。

[0031] 图2是表示应用了实施方式所涉及的材料组织预测装置1的薄板热轧线2的结构的结构图。图2中,示出了薄板热轧线2的输出辊道附近的结构。

[0032] 薄板热轧线2是用于从金属材料MT制造所希望材质的产品的设备。对薄板热轧线2设置精轧机11、水冷装置12、卷取机13、传送辊14、多个辐射温度计15、及光学式金属检测器16。

[0033] 对于金属材料MT,在加热后的金属材料MT由精轧机进行轧制之后,由传送辊14进行传输,并由水冷装置12进行冷却。水冷装置12例如是层流水冷装置。由水冷装置12进行了冷却的金属材料MT由卷取机13卷取。将由辐射温度计15及光学式金属检测器16检测出的金属材料MT的各种数据发送到温度控制装置5。

[0034] 温度控制装置5基于由辐射温度计15测得的温度、及从材料组织预测装置1接收到的伴随着金属材料MT的相变的发热预测值,来控制水冷装置12,以使得金属材料MT的温度变化与预先设定的冷却曲线(温度变化曲线)相一致。

[0035] 材料组织预测装置1主要由计算机构成。材料组织预测装置1基于从薄板热轧线2接收到的金属材料MT的各种数据,来进行用于预测金属材料MT的组织及评价金属材料MT的材质等的运算处理。材料组织预测装置1将运算处理结果发送到温度控制装置5。运算处理结果中含有伴随着相变而产生的发热的预测值等涉及金属材料MT的信息。

[0036] 材料组织预测装置1在金属材料MT到达薄板热轧线2的规定位置时、或在从材料组织预测装置1的操作画面发出计算开始的指示时等情况下,开始进行金属材料MT的组织的预测及材质的评价的计算。所谓规定的位置,是指例如设置于水冷装置12的上游侧的辐射温度计15的正下方。根据设置于生产线上的需要地点的光学式金属检测器16的检测信号或基于传送辊14的旋转计的转速而计算出的运送距离实际值等,来检测金属材料MT是否到达规定位置。

[0037] 预先决定作为用于预测金属材料MT的组织的计算对象的计算对象区域。计算对象区域成为代表金属材料MT的温度条件或冷却条件(加热条件)等对材料组织有影响的处理条件的位置。尽管计算对象区域的数量是任意的,但是若数量过大则会导致计算量增大。此

处,如图3所示,将薄板热轧线2上的金属材料MT的计算对象区域设为:轧制后的金属材料MT的长边方向上的距离前端为5m的位置P1、长边方向上中央的位置P2、及长边方向上的距离后端为5m的位置P3这三点。另外,上述位置P1~P3设为从板表面向着内部方向的板厚的1/4的部分。

[0038] 另外,若各计算对象区域的尺寸过小,则难以正确地决定晶粒的形状特性值。另一方面,若计算对象区域的尺寸为某一定值以上,则形状特性值的统计量的精度不太会发生变化。但是,若计算对象区域的尺寸过大,则计算量增大。因而,在评价晶粒的形状特性值的情况下,优选将计算对象区域的尺寸设为所假设的析出相的晶粒直径的5倍~5000倍。

[0039] 参照图3说明计算点Pc的配置。材料组织预测装置1将多个计算点Pc呈网状配置于各计算对象区域内。若上述计算点Pc的间隔过大,则无法正确决定晶粒的形状特性值,若上述计算点Pc的间隔过小,则计算量增大。因而,优选将计算对象区域内的计算点Pc的间隔设为所假设的析出相的晶粒直径的1/500~1/5。

[0040] 为了保存各计算点的信息,材料组织预测装置1确保温度计算值、晶核生成顺序、伴随着相变而扩散的元素(例如从奥氏体变化为铁氧体时的碳)的浓度c、及标量(scalar) ϕ 的存储区域。

[0041] 将温度计算值、晶核生成顺序、及扩散元素浓度的存储区域的容量设为(计算对象区域的数量)×(计算对象区域的尺寸)/(计算点的间隔)。

[0042] 将标量 ϕ 的存储区域的容量设为(结晶的总数)×(计算对象区域的数量)×(计算对象区域的尺寸)/(计算点的间隔)。

[0043] 标量 ϕ 表示各计算点上晶粒的存在概率。在计算点位于晶粒内部的情况下,标量 ϕ 为1。在计算点位于晶粒外部的情况下,标量 ϕ 为0。在计算点位于晶界的情况下,标量 ϕ 大于0小于1。

[0044] 图1是表示本实施方式所涉及的材料组织预测装置1的结构的框图。图1中的箭头主要表示信息(或数据)的流向。

[0045] 材料组织预测装置1包括:晶核生成顺序决定部101、初始温度计算部102、温度计算部103、晶核生成次数计算部104、晶核生成部105、晶粒生长计算部106、相变发热计算部107、时间步长更新部108、最终步长判定部109、形状特性值计算部110、统计量计算部111、材质计算部112、允许范围判定部113、判定结果输出部114、下游工序应对部115、温度变化曲线设定部116、温度变化曲线修正部117、统计量输入部118、晶核生成频度式修正部119、及温度改变部120。

[0046] 首先,操作者从金属材料样品获取与母相的材料组织相关的信息(以下称为“母相组织信息”)。以下说明母相组织信息的获取方法的具体例子。

[0047] 金属材料样品是与要预测材料组织的金属材料MT和合金成分及上游工序的工艺(温度条件或加工率)几乎为相同条件的金属。操作者将该金属材料样品在母相下直接急速冷却(组织冻结),进行研磨并进行蚀刻。若用显微镜观察如上处理后的金属材料样品,则能获得母相的晶界显著的图像。在金属材料MT为钢铁材料的情况下,利用苦味酸溶液进行腐蚀,从而能清楚地观察到母相即奥氏体组织的晶界。一般而言,蚀刻后的图像中,倾角(相邻结晶间的结晶方位之差)越小的晶界则表现得越细越薄。通过目测或使用图像解析软件来检测该图像上显现出的晶界的粗细及浓度,从而能获得倾角。

[0048] 另外,在冷却金属材料样品后对其进行研磨,再利用应用了扫描型电子显微镜的EBSD(electron back scattering diffraction:电子背散射衍射)装置进行观察,从观察到的图像能获得析出相的各晶粒的结晶方位。母相的结晶方位和析出相的结晶方位之间存在一定的关系。利用该关系能重新构建母相的结晶方位和晶界。因此,也可基于利用EBSD装置观察到的图像来把握晶界的倾角。

[0049] 由此,操作者能获得母相组织信息。如上所述那样基于图像来获得母相组织信息的行为可以由操作者人为地进行操作,也可以由材料组织预测装置1通过程序来执行。

[0050] 晶核生成顺序决定部101基于母相组织信息来决定金属材料MT内的各计算对象区域中的各计算点的晶核生成顺序。晶核生成顺序表示从母相到析出相时的晶核生成的顺序。此处,晶核生成顺序越小,则该晶核生成的越早。在多晶金属中,容易在多个晶界相交差的部分或倾角较大的晶界的部分发生晶核生成。因此,以提高上述部分的计算点的晶核生成顺序的方式来决定各计算点的晶核生成顺序。

[0051] 参照图4及图5说明利用晶核生成顺序决定部101决定晶核生成顺序的方法。图4是晶核生成顺序决定部101对各计算点分等级后获得的金属材料样品的示意图。图5是晶核生成顺序决定部101决定各计算点的晶核生成顺序后获得的金属材料样品的示意图。图4及图5中的虚线L1、L2、L3、L4表示母相的晶界位置。将晶界的各部分设为属于最近的计算点。

[0052] 晶核生成顺序决定部101决定各晶界L1~L4的等级。晶界L1~L4根据金属材料样品的图像中的粗细及浓度而分为等级1到等级4这四个阶梯。对于晶界L1~L4,图像中的晶界越粗越浓,则对其附加晶核生成优先度越高的等级。对于判断粗细或浓度的基准,可以是预先决定的绝对基准,也可以是用于进行所有晶界中的位置附加的相对基准。此处,对晶界L1~L4进行等级划分,以使得将粗且浓的晶界设为等级4,将比较粗且浓的晶界设为等级3,将普通的晶界设为等级2,将细且薄的晶界设为等级1。

[0053] 接着,基于进行了等级划分的晶界L1~L4来进行各计算点的等级划分。图4的分割(计算点)的中央的数值表示该计算点的等级。将各计算点如下述那样分等级。

[0054] 将与等级4的晶界L4相交的计算点设为等级4,将与等级3的晶界L3相交的计算点设为等级3,将与等级2的晶界L2相交的计算点设为等级2,将与等级1的晶界L1相交的计算点设为等级1。将不与晶界L1~L4相交的计算点设为晶核生成顺序最低的等级0。将多个晶界L1~L4相交的计算点(即,相当于三联点的计算点)设为晶核生成顺序最高的等级5。

[0055] 晶核生成顺序决定部101对各计算点进行等级划分后,决定各计算点的晶核生成顺序。图5的分割的中央的数值表示该计算点的各生成顺序。对于各计算点,如下述那样决定晶核生成顺序。

[0056] 晶核生成顺序决定部101从等级较高的计算点起依次分配晶核生成顺序。因而,对等级5的计算点分配最小编号。即,在上述计算点中能快速生成晶核。另外,对于等级0的计算点分配最大编号。另外,对相同等级的多个计算点,为了避免操作者无意的存在偏颇的选择或图像解析软件的扫描顺序的影响,而随机决定晶核生成顺序。

[0057] 初始温度计算部102计算金属材料MT的各计算点对象区域中的各计算点的初始温度。初始温度计算部102使用辐射温度计15的测定值来计算初始温度。此外,对于初始温度的计算,也可以使用基于接触式温度计的测量值或上游工序的实际值等的预测值。初始温度计算部102也可以校正计算出的初始温度。例如在金属材料MT的温度测定位置与计算对

象区域分离的情况下,或在利用辐射温度计15进行测定后经过了时间的情况下,初始温度计算部102会考虑来自金属材料MT表面的热辐射、空气对流、或材料内部的热传导等因素进行校正。此外,在计算对象区域的尺寸与温度梯度相比充分小,几乎能无视同一计算对象区域内的多个计算点的温度差的情况下,也可将该计算对象区域内的所有计算点的初始温度设为相同的值。即使如上述那样决定初始温度,由于计算精度的下降是有限的,因此在实际应用时也只要在考虑了该计算精度的下降的基础上进行运用即可。

[0058] 在晶核生成顺序决定部101及初始温度计算部102进行计算之后,材料组织预测装置1每隔时间步长就利用温度计算部103、晶核生成次数计算部104、晶核生成部105、晶粒生长计算部106、相变发热计算部107、时间步长更新部108、及最终步长判定部109进行计算。从金属材料MT冷却(或加热)开始到结束的过程中,材料组织预测装置1计算每隔时间步长所执行的上述一系列的计算。

[0059] 温度计算部103每隔时间步长就计算金属材料MT的各计算对象区域的各计算点的温度。在实际开始进行金属材料MT的冷却(或加热)之前,温度计算部103使用作为目标的温度变化曲线来计算各计算点的温度。在实际进行金属材料MT的冷却(或加热)的过程中,温度计算部103使用到计算时刻为止的实际的温度变化曲线及计算时刻之后的作为目标的温度变化曲线,来计算各计算点的温度。在实际进行金属材料MT的冷却(或加热)之后,温度计算部103使用实际的温度变化曲线来计算各计算点的温度。例如基于冷却水流量或感应加热装置的电流等实际值,利用使用差分法的温度模型来计算实际的温度变化曲线。

[0060] 晶核生成次数计算部104基于母相和析出相的自由能差及扩散系数,来计算计算对象区域内的晶核生成次数 ΔN_a 。首先,晶核生成次数计算部104计算从母相到析出相的晶核生成频度I。晶核生成频度I例如由下式表示。

[0061] 【数学式1】

$$[0062] \quad I = k_1 \cdot T^{-\frac{1}{2}} \cdot D_\gamma \cdot \exp\left(-\frac{k_2}{R \cdot T \cdot \Delta G_v^2}\right) \quad \cdots \text{式(1)}$$

[0063] 式中,R是气体常数。T是绝对温度。 D_γ 是伴随着相变而扩散的元素的母相中的扩散系数,是元素浓度与温度的函数。 ΔG_v 是母相和析出相的自由能量差,是利用基于热力学数据库的值而得到的值。 k_1 是取决于界面能及错位密度的系数。 k_2 是取决于活性化能量的系数。

[0064] 晶核生成次数计算部104使用计算出的晶核生成频度I并利用下式,来计算某一时间步长中计算对象区域内使晶核生成的次数 ΔN_a 。次数 ΔN_a 为整数,因而将计算结果的小数部分作为残差res进行存储。将所存储的残差res加到下一时间步长的计算中。

[0065] 【数学式2】

$$[0066] \quad \Delta N_a = \text{TRUNC}(I \cdot V_\gamma \cdot \Delta t + \text{res}) \quad \cdots \text{式(2)}$$

[0067] 【数学式3】

$$[0068] \quad \text{res} = (I \cdot V_\gamma \cdot \Delta t + \text{res}) - \Delta N_a \quad \cdots \text{式(3)}$$

[0069] 式中, Δt 为时间增量。函数TRUNC是舍去小数点以下部分的函数。 V_γ 是计算对象区域内的未相变部分的体积(二维计算时为面积)。根据各计算点的标量 ϕ_i 对所有晶粒($i=1 \sim n$)是否都为0,来判断是否是未相变部分。

[0070] 晶核生成部105每隔时间步长根据计算对象区域内由晶核生成次数计算部104所计算出的晶核生成次数 ΔN_a , 来生成 ΔN_a 个新析出相的晶核。首先, 晶核生成部105从晶核生成顺序较高的计算点开始搜索计算点。晶核生成部105对所搜索出的计算点是否不包含于析出相进行确认。对于确认计算点不包含于析出相这一点, 只要确认对于所有晶粒 ($i=1 \sim n$), 计算点的标量 ϕ_i 都为0即可。在所搜索到的计算点已包含于其他析出相的晶粒中的情况下, 搜索晶核生成顺序次高的计算点。反复上述操作, 晶核生成部105决定不包含于析出相的计算点。晶核生成部105对所决定的计算点生成新晶核。

[0071] 具体而言, 进行以下运算处理。晶核生成部105对晶粒总数 n 加上1, 对所增加的晶粒的标量 ϕ_n 的存储区域进行新分配。晶核生成部105将生成了晶核的计算点的新生成的晶粒的标量 ϕ_n 设为1, 将除此之外的计算点的新生成的晶粒的标量 ϕ_n 设为0。

[0072] 晶粒生长计算部106使用多相场法来计算因析出相的晶粒生长所导致的析出相的界面移动。具体而言, 晶粒生长计算部106利用下式更新所有计算点的标量 ϕ_i 。

[0073] 【数学式4】

$$[0074] \quad \phi_i(t + \Delta t) = \phi_i(t) + \left(\frac{\partial \phi_i}{\partial t} \right) \cdot \Delta t \quad \cdots \text{式(4)}$$

[0075] 【数学式5】

$$[0076] \quad \frac{\partial \phi_i}{\partial t} = \sum_{j=1}^n \left[\frac{\mu_j}{\eta} \cdot \sum_{k=1}^n \left\{ (\sigma_{jk} - \sigma_k) \cdot \nabla^2 \phi_k + (\sigma_{jk} - \sigma_k) \cdot \frac{\pi^2}{\eta^2} \phi_k \right\} + \frac{2\pi}{\eta} \cdot \sqrt{\phi_j \phi_i} \cdot (G_i - G_j) \right] \quad \cdots \text{式(5)}$$

[0077] 式中, n 是晶粒的总数。 i, j, k 是晶粒的编号。在晶粒的编号为1时表示母相。 η 是计算点间隔。 G_i, G_j 表示利用基于热力学数据库的值而获得的晶粒的自由能。 μ 是界面的易动度(移动度)。 σ 是界面能。 μ, σ 是取决于材料的合金成分的常数。

[0078] 另外, 晶粒生长计算部106利用以下扩散方程式来更新随着相变而扩散的元素的浓度 c 。

[0079] 【数学式6】

$$[0080] \quad c_i(t + \Delta t) = c_i(t) + \left(\frac{\partial c_i}{\partial t} \right) \cdot \Delta t \quad \cdots \text{式(6)}$$

[0081] 【数学式7】

$$[0082] \quad \frac{\partial c_i}{\partial t} = \nabla \cdot \left\{ \phi_a D_a \nabla c_a + \phi_\gamma D_\gamma \nabla c_\gamma \right\} \quad \cdots \text{式(7)}$$

[0083] 式中, γ 表示母相, a 表示析出相。 D_a 是随着相变而扩散的元素的析出相的扩散系数。 ∇ 是矢量微分算子。

[0084] 相变发热计算部107根据吉布斯-亥姆霍兹方程式(gibbs-helmholtz)基于晶粒的自由能并利用下式来计算温度 T 下的母相的焓 H_a 及析出相的焓 H_γ 。

[0085] 【数学式8】

$$[0086] \quad H_a = -T^2 \cdot \frac{\partial}{\partial T} \left(\frac{G_a}{T} \right) \quad \cdots \text{式(8)}$$

[0087] 【数学式9】

$$[0088] \quad H_f = -T^2 \cdot \frac{\partial}{\partial T} \left(\frac{G_f}{T} \right) \quad \cdots \text{式(9)}$$

[0089] 接着,相变发热计算部107基于因晶粒生长而导致析出相界面的移动的计算结果,利用下式来计算每单位重量的相变发热量Q。

[0090] 【数学式10】

$$[0091] \quad Q = \sum_{i=1}^n \left\{ \frac{1}{M} \cdot w_i \cdot \phi_i \cdot (H_f - H_a) \right\} \quad \cdots \text{式(10)}$$

[0092] 式中, w_i 是计算点i的占据部分的重量。M是摩尔质量。

[0093] 相变发热计算部107将所计算出的每单位重量的相变发热量Q传送到温度控制装置5。温度控制装置5基于相变发热计算部107所计算出的相变发热量Q控制薄板热轧线2的水冷装置12,以使得根据成为目标的温度变化曲线冷却金属材料MT。

[0094] 相变发热计算部107的运算处理结束后,时间步长更新部108更新时间步长。对于因更新而导致的时间步长的增量,使其在根据上述扩散方程式的界面移动量不超过计算点的间隔的范围内进行。

[0095] 最终步长判定部109判断是否满足结束条件。在不满足结束条件的情况下,材料组织预测装置1返回到温度计算部103的运算处理,重复上述一系列的运算处理。由此,模拟金属材料MT的计算对象区域内的材料组织的变化。

[0096] 在最终步长判定部109判定为满足结束条件的情况下,材料组织预测装置1执行以下运算处理。对于以下说明的运算处理,也可以包含在上述重复进行的一系列的运算处理中。

[0097] 对于各晶粒,形状特性值计算部110基于标量 ϕ 计算各种形状特性值。形状特性值具有:晶粒面积、面积率、粒度、等效圆直径、等效椭圆的长轴长度、等效椭圆的短轴长度、等效椭圆的长短轴比、周长、真圆度、晶粒体积、体积率、等效球直径、等效椭圆体的长轴长度、等效椭圆体的短轴长度、等效椭圆体的长短轴比、或表面积等。形状特性值计算部110例如对整个计算对象区域累计编号为i的晶粒的标量 ϕ_i ,计算晶粒面积 A_i (二维计算的情况)或晶粒体积 V_i (三维计算的情况)。

[0098] 【数学式11】

$$[0099] \quad A_i = \sum_j \phi_j \quad \cdots \text{式(11)}$$

[0100] 【数学式12】

$$[0101] \quad V_i = \sum_j \phi_j \quad \cdots \text{式(12)}$$

[0102] 形状特性值计算部110基于根据上式计算出的晶粒面积 A_i 或晶粒体积 V_i ,并利用下式计算等效圆直径 d_i 。

[0103] 【数学式13】

[0104] $d_i = \sqrt{\frac{4}{\pi} \cdot A_i}$...式(13)

[0105] 【数学式14】

[0106] $d_i = \sqrt[3]{\frac{6}{\pi} \cdot V_i}$...式(14)

[0107] 统计量计算部111计算由形状特性值计算部110计算出的多个晶粒的形状特性值的统计量。统计量是：形状特性值的度数、最大值、最小值、分散值、平均值、基于晶粒面积的权重平均值、基于晶粒体积的权重平均值、标准偏差值、伽马分布系数、韦伯分布(Weibull distribution)系数、基于切断法的平均粒径、基于比较法的平均粒径、或基于ASTM (American Society for Testing and Materials:美国材料与试验协会)标准的粒度编号等。

[0108] 二维计算中,统计量计算部111利用下式计算基于晶粒面积的加权平均粒径。

[0109] 【数学式15】

[0110] $\bar{d} = \frac{\sum_{i=1}^n (d_i \cdot A_i)}{\sum_{i=1}^n A_i}$...式(15)

[0111] 式中,n是晶粒数。

[0112] 三维计算中,统计量计算部111利用下式计算基于晶粒体积的加权平均粒径。

[0113] 【数学式16】

[0114] $\bar{d} = \frac{\sum_{i=1}^n (d_i \cdot V_i)}{\sum_{i=1}^n V_i}$...式(16)

[0115] 二维计算中,统计量计算部111利用下式计算基于晶粒面积的加权粒径标准偏差。

[0116] 【数学式17】

[0117] $\sigma_d = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \{d_i - \bar{d}\}^2 \cdot A_i}{\sum_{i=1}^n A_i}}$...式(17)

[0118] 三维计算中,统计量计算部111利用下式计算基于晶粒体积的加权粒径标准偏差。

[0119] 【数学式18】

$$[0120] \quad \sigma_s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \{d_i - \bar{d}\}^2 \cdot v_i}{\sum_{i=1}^n v_i}} \quad \cdots \text{式(18)}$$

[0121] 材质计算部112基于统计量计算部111计算出的形状特性值的统计量来计算金属材料MT的材质。所计算出的材质成为预测冷却后(或加热后)的金属材料MT的材质。材质包括:屈服应力(YS)、拉伸强度(TS)、延伸(EL)、硬度、韧性、扩孔性或磁性等。

[0122] 例如,材质计算部112根据Hall—Petch(霍尔—佩奇)公式并利用下式来计算屈服应力YS。

[0123] 【数学式19】

$$[0124] \quad Y_s = \frac{k}{\sqrt{d}} \quad \cdots \text{式(19)}$$

[0125] 式中,k是由实验等预先决定的常数。

[0126] 允许范围判定部113判断由材质计算部112所计算出的金属材料MT的材质是否在预先决定的允许范围内。允许范围判定部113将判定结果输出到判定结构输出部114。

[0127] 判定结构输出部114将允许范围判定部113的判定结果输出到显示画面或存储介质等。在金属材料MT的材质在允许范围外的情况下,判定结果输出部114例如进行以下运算处理。判定结果输出部114向显示画面或存储介质输出超出允许范围的计算对象区域的金属材质MT的位置、或超出允许范围的晶粒的计算对象区域的位置等。判定结果输出部114输出用于向操作者告知金属材料MT的材质超出允许范围这一情况的警报(画面显示或警报音)。为了在下游工序中应对金属材料MT的超出允许范围的部分,判定结果输出部114向下游工序应对部115输出所需要的信息。

[0128] 下游工序应对部115对由允许范围判定部113判定为允许范围外的金属材料MT,进行用于在下流工序中进行应对的运算处理。此处,例如在薄板热轧线的情况下,所谓下游工序是指切断、熔接、冷轧、酸洗、整直(leveler)、光整(skin-pass)等。下游工序应对部115利用设置于薄板热轧线2的光学式金属检测器16或传送辊14的旋转计等,来对判定为金属材料MT的允许范围外的计算对象区域进行追踪。下游工序应对部115将追踪信息等传送到负责处理的下游工序,以处理金属材料MT的允许范围外的部分。例如,在下游工序为利用切断装置进行切断的情况下,若金属材料MT的允许范围外的部分到达,则切断装置切断该部分。由此,从金属材料MT上去除材质在允许范围外的部分。

[0129] 接着,说明在允许范围判定部113判定为金属材料MT的材质判定为超出允许范围的情况下,对施加到金属材料MT的温度进行改变的方法。

[0130] 在允许范围判定部113判定为金属材料MT的材质处于允许范围外的情况下,温度改变部120进行计算以用于修正成为允许范围外的计算对象区域的温度变化曲线或输入输出热量,以使得对由统计量计算部111所计算出的析出相的晶粒的形状特性值进行统计处理的结果在允许范围内。

[0131] 例如,在由统计量计算部111计算出的粒径标准偏差超出允许范围的情况下,温度改变部120使用下式改变将温度控制装置5的控制中所使用的温度变化曲线以折线进行表

示的情况下的某节点p的温度 T_p 。

[0132] 【数学式20】

$$T_p \leftarrow T_p - \frac{\sigma_d - \sigma_{dAIM}}{\left(\frac{\partial \sigma_d}{\partial T_p} \right)} \quad \cdots \text{式(20)}$$

[0134] 式中, σ_{dAIM} 是粒径标准偏差的目标值。例如 σ_{dAIM} 是允许范围的中央值。

[0135] 温度改变部120试算对温度 T_p 加上微小值 $\pm \Delta T$ 时的粒径标准偏差的两个计算值 $\sigma_d(T_p + \Delta T)$ 、 $\sigma_d(T_p - \Delta T)$ 。温度改变部120基于试算结果并利用下式计算影响系数。

[0136] 【数学式21】

$$\left(\frac{\partial \sigma_d}{\partial T_p} \right) = \frac{\sigma_d(T_p + \Delta T) - \sigma_d(T_p - \Delta T)}{2 \cdot \Delta T} \quad \cdots \text{式(21)}$$

[0138] 式中, $\left(\frac{\partial \sigma_d}{\partial T_p} \right)$ 是影响系数。

[0139] 在温度 T_p 超过操作上的上限值 T_{pmax} 时,温度改变部120将温度 T_p 设为上限值 T_{pmax} 。在温度 T_p 低于操作上的下限值 T_{pmin} 时,温度改变部120将温度 T_p 设为下限值 T_{pmin} 。温度改变部120将所计算出的节点p的温度 T_p 输出到温度变化曲线修正部117。

[0140] 温度变化曲线修正部117将温度变化曲线设定部116所设定的温度变化曲线的节点p的温度修正为由温度改变部120所计算出的温度 T_p 。由此,修正温度变化曲线以使得粒径标准偏差成为允许范围内。

[0141] 接着,说明晶核生成频度式的系数的修正方法。

[0142] 首先,操作者如下所述那样测量冷却(或加热)结束后的金属材料MT的形状特性值的统计量的实际值。

[0143] 操作者拍摄冷却(或加热)结束后的金属材料MT的显微镜照片或电子显微镜照片。操作者对所拍摄的照片进行图像解析,获得形状特性值的统计量的实际值。例如,若对钢铁的试验片进行研磨之后,利用硝酸酒精(Nital)溶液对铁氧体进行腐蚀,则能清楚地观察到铁氧体晶粒的晶界。操作者利用光学显微镜或扫描型电子显微对经过上述处理的钢铁的试验片拍摄照片。使所拍摄的图像读入图像处理装置,进行亮度调整之后,以浓淡合适的阈值进行二值化,从而提取出晶界。之后,操作者对各晶粒的像素数进行计数,将其转化为面积后,进行合计。由此,可获得平均粒径或粒径标准偏差等的统计量。此外,也可利用EBSD装置获得平均粒径或粒径标准偏差等统计量。此外,操作者重复使纵波超声波反射至金属材料MT。基于所反射的检测波形的衰减特性来获得平均粒径等统计量。

[0144] 操作者将如上述那样获得的形状特性值的统计量的实际值输入到材料组织预测装置1的统计量输入部118。对材料组织预测装置1输入实际值的输入方法可以从图像处理装置进行传输,也可以是通过存储介质进行输入。

[0145] 对统计量输入部118输入由统计量计算部111所计算出的统计量的预测值及所测量的统计量的实际值。统计量输入部118将统计量的预测值及统计量的实际值输出到晶核

生成频度式修正部119。

[0146] 晶核生成频度式修正部119基于统计量的预测值及统计量的实际值来如下述那样修正晶核生成频度式的系数。

[0147] 晶核生成频度式修正部119计算统计量的预测值 σ_d 与统计量 σ_{dACT} 的实际值的偏差。晶核生成频度式修正部119修正晶核生成次数计算部104所使用的式(1)所示的晶核生成频度式的系数 k_1 、 k_2 ，以减小该偏差。

[0148] 利用下式进行系数 k_1 的修正。

[0149] 【数学式22】

$$k_1 \leftarrow k_1 - \frac{\sigma_d - \sigma_{dACT}}{\left(\frac{\partial \sigma_d}{\partial k_1} \right)} \quad \cdots \text{式(22)}$$

[0151] 式中， $\left(\frac{\partial \sigma_d}{\partial k_1} \right)$ 是影响系数。

[0152] 晶核生成频度式修正部119试算对系数 k_1 加上微小值 $\pm \Delta k_1$ 的情况下的粒径标准偏差 σ_d 的两个计算值 $\sigma_d(k_1 + \Delta k_1)$ 、 $\sigma_d(k_1 - \Delta k_1)$ 。晶核生成频度式修正部119基于试算结果并利用下式计算影响系数。

[0153] 【数学式23】

$$\left(\frac{\partial \sigma_d}{\partial k_1} \right) = \frac{\sigma_d(k_1 + \Delta k_1) - \sigma_d(k_1 - \Delta k_1)}{2 \cdot \Delta k_1} \quad \cdots \text{式(23)}$$

[0155] 在系数 k_1 超过操作上的上限值 k_{1max} 的情况下，晶核生成频度式修正部119将系数 k_1 设定为上限值 k_{1max} 。在系数 k_1 低于操作上的下限值 k_{1min} 的情况下，晶核生成频度式修正部119将系数 k_1 设定为下限值 k_{1min} 。

[0156] 也可以将如上述修正后的系数 k_1 、 k_2 按照材料的合金成分的不同而存储到不同层。例如，在钢铁材料的情况下，根据碳含有量、铌含有量、铬含有量等，如极低碳素钢、低碳素钢、中碳素钢、高碳素钢、铌钢、铬钢那样分成不同层。由此，能校正因合金成分的不同所造成的影响。

[0157] 此处，晶粒直径的偏差程度与晶核生成行为的相关性较强。例如对于初期晶核生成的晶粒，晶粒充分地生长，因而易于形成较大的晶粒直径。因此，晶核生成频度式的系数的计算中，作为形状特性值，适合使用与晶粒直径的标准偏差、伽马分布系数、韦伯分布系数、或ASTM粒度编号等晶粒直径分布相关的统计量。

[0158] 此处，示出了修正系数 k_1 的例子，但是对于修正系数 k_2 的情况也相同。另外，作为晶核生成频度式使用了式(1)，但是也能利用其他式子按照同样的步骤修正晶核生成频度式的系数。

[0159] 根据本实施方式，可获得以下的作用效果。

[0160] 现有的多相场法中，根据冷却过程(或加热过程等)的模拟，无法在合适的时刻生成成为适当数量的固相相变的起点的晶核，因而定量的预测精度不够。

[0161] 与此相对地，本实施方式的材料组织预测装置1中，组合金属材料MT的晶核生成及

晶粒生长来进行计算,从而能在母相组织的晶界附近等适当的位置上,以合适的时刻生成适当数量的晶核,能定量地预测因温度变化而发生相变的金属材料MT的组织。

[0162] 因而,材料组织预测装置1基于金属材料MT的组织的定量的预测结果,预测金属材料MT的与热处理(冷却、加热、或等温过程等)相关的材质,从而能高精度地预测材质。

[0163] 另外,材料组织预测装置1评价热处理后的金属材料MT的材质的预测结果,从而能将评价结果反映到产品的制造工序中。例如,在制造产品的系统(例如薄板热轧线2)中,收集多个评价结果,从而能提高之后所处理的金属材料MT的材质的品质。另外,在制造产品的系统中,在热处理后的金属材料MT的材质的评价结果在允许范围外的情况下,利用下游工序应对判定为金属材料MT的允许范围外的部分,从而能将该金属材料MT被加工后而得的产品材质修正到允许范围内。

[0164] 而且,材料组织预测装置1基于晶粒生长的计算结果来计算相变发热量。薄板热轧线2基于由材料组织预测装置1所计算出的相变发热量,来控制施加到金属材料MT的温度,从而能进行反映了固相相变的行为的温度控制。

[0165] 另外,材料组织预测装置1修正晶核生成频度式的系数,以使得所计算出的析出相的晶粒的形状特性值的统计量的预测值与热处理后的析出相的晶粒的形状特性值的统计量的实际值相一致。晶核生成是概率上的现象,理论上并不十分清楚。因此,晶核生成频度式中存在一定程度的误差。因而,通过基于实际值来修正晶核生成频度式的系数,从而能提高材料组织预测装置1对晶核生成行为的计算精度。由此,能提高材料组织预测装置1对金属材料MT的组织的预测精度。

[0166] 此外,实施方式中,成为预测对象的材料并不限于上述所说明的材料。例如,作为发生相变的多晶材料,也可以是材料原料、钢铁材料(溶质中含有碳、锰、硅、铌、镍、铝、氮等)、磁性体材料(钢、铁、铂、钨、钴、铬、镍、钨、钼、钨、钨、钨等构成的合金、氧化物)、电介质、或聚苯乙烯-聚甲基丙烯酸甲酯这一嵌段共聚物这样的高分子有机材料等所代表的功能性材料等。例如在磁性体材料中,通过加热或冷却等热处理(包括等温过程、退火及时效处理等),发生晶核形成或相分离,其结果是形成各种微细组织。另外,对于电介质及高分子材料,也同样地通过加热或冷却进行热处理从而形成各种组织形态。因而,利用与实施方式相同的结构,也可定量地预测上述材料因热处理中的相变或相分离而生成的材料组织。例如材料组织预测装置的预测方法也适用于有机材料的晶化工艺。

[0167] 实施方式中,对预测发生相变的母相及析出相,可以选择任意组合。例如在钢铁材料中,也可以预测铁氧体相、奥氏体相、珠光体相、马氏体相、贝氏体相、渗碳体相的任意组合的相变的材料组织。此外,并不限于钢铁材料,对于其他材料也同样地可以预测任意组合的相变的材料组织。

[0168] 实施方式中,决定晶核生成顺序的方法并不限于所说明的方法。例如在材料组织预测装置1中,也可以针对典型事例而将决定了晶核生成顺序的样品信息预先存储在存储介质中。材料组织预测装置1在决定晶核生成顺序时,也可以搜索与预测对象的金属材料MT和合金成分及上游工序的工艺(温度或加工率等)相类似的事例的样品信息,按照样品信息中分配的晶核生成顺序,来决定晶核生成顺序。由此,通过决定晶核生成顺序,从而能减小材料组织预测装置1的计算量或操作者的操作量。

[0169] 实施方式中,通过运算析出相的组织的时间发展来预测材料组织,但是也可以与

析出相同样地运算母相的组织的时间发展。

[0170] 本实施方式的材料组织的预测方法不限于制造系统(例如薄板热轧线),也可以装入任何形式的系统或装置中。另外,材料组织预测装置1也不限于实施方式所说明的结构。材料组织预测装置1中也可以具有其他装置的任意组合功能,材料组织预测装置1的一部分功能也可以存在于其他装置中。

[0171] 构成材料组织预测装置的计算机可以采用任意结构。例如计算机具有各种处理器等运算部、存储器或硬盘等存储部。除此之外,计算机也可以具有输入输出部及显示部等。另外,计算机可以是微机或个人电脑等,与种类无关。

[0172] 实施方式中,利用材料组织预测装置(计算机)所运算的处理的任意一部分的处理也可以由人执行。实施方式中基于材料组织的预测方法的原理及理论利用了自然法则。因而,即使材料组织的预测方法的一部分处理由人执行,实施方式的材料组织的预测方法整体仍然利用了自然法则。

[0173] 另外,本发明并不局限于上述实施方式本身,在实施阶段能够在不脱离其要点的范围内对构成要素进行变形以使其具体化。此外,通过将上述实施方式中所公开的多个构成要素进行适当组合,从而能够形成各种发明。例如,也可以从实施方式所示的所有构成要素中删除几个构成要素。另外,也可以将不同的实施方式中的结构要素进行适当组合。

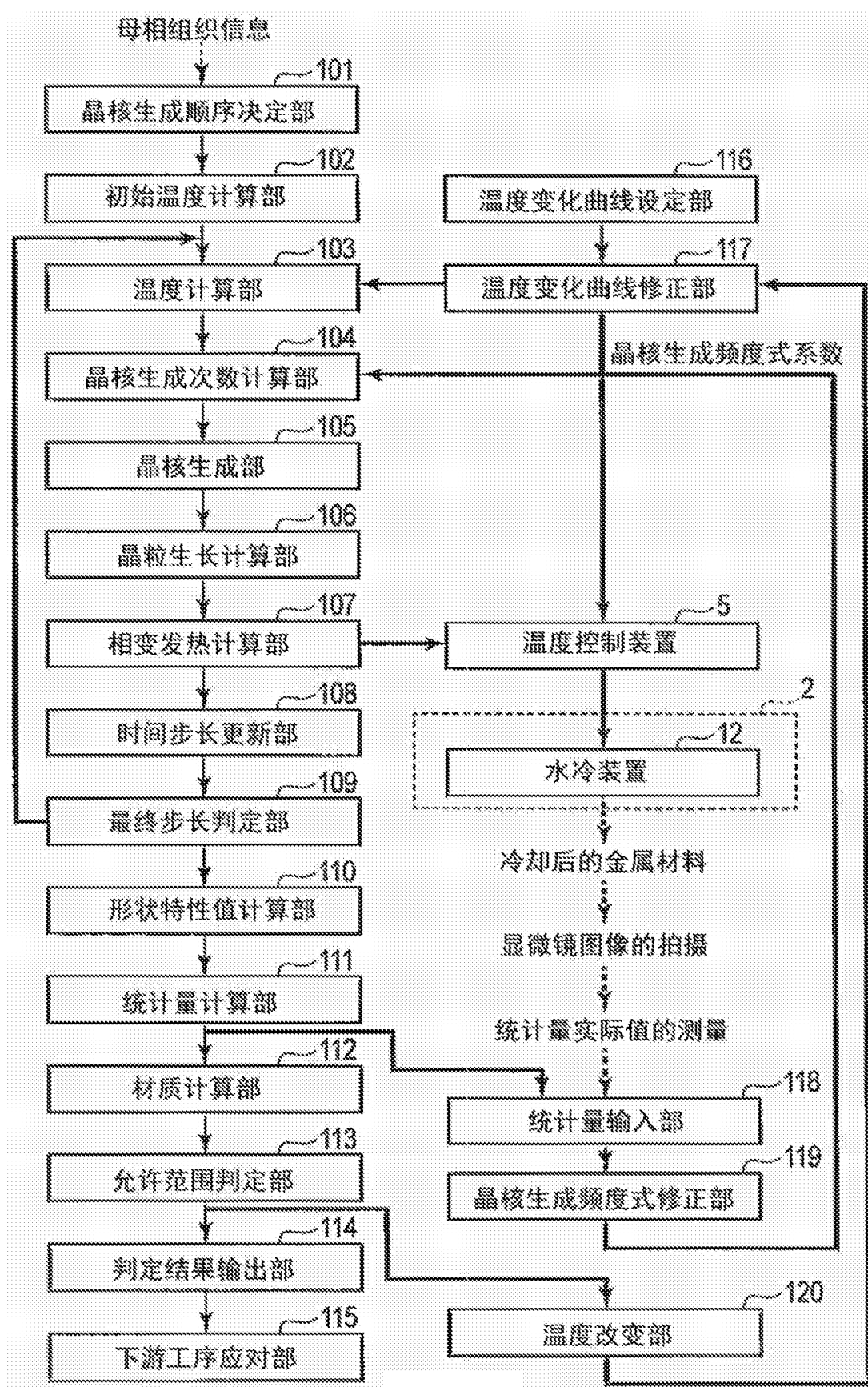


图1

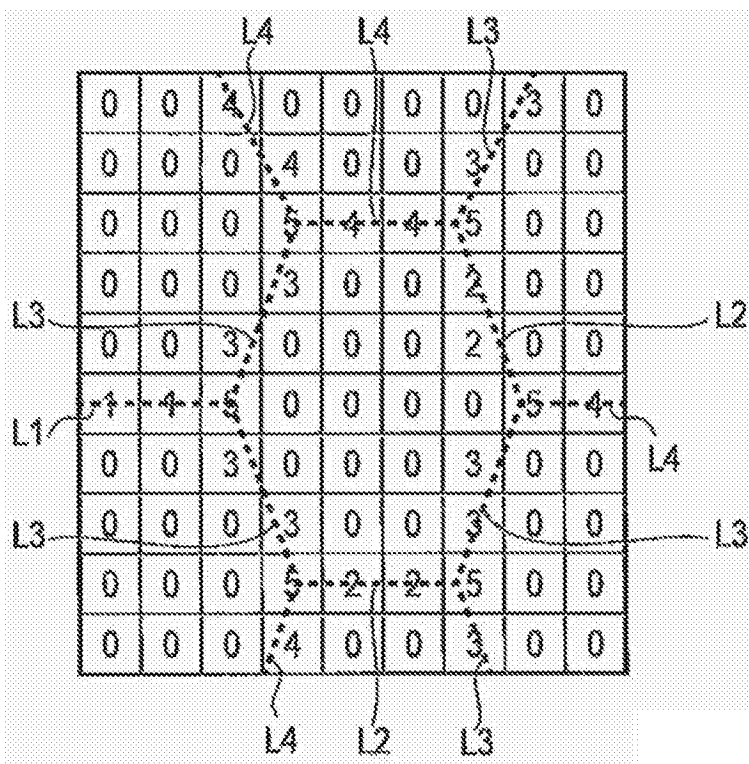


图4

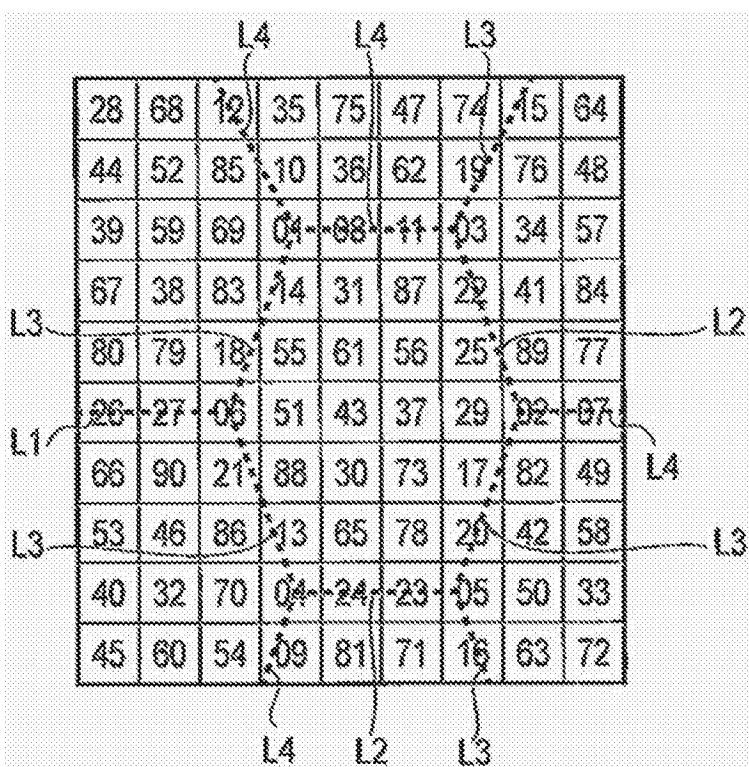


图5