



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 118973725 A

(43) 申请公布日 2024. 11. 15

(21) 申请号 202380028593.X

(51) Int. Cl.

(22) 申请日 2023.03.14

B21B 37/00 (2006.01)

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2024.09.19

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/JP2023/009919 2023.03.14

(87) PCT国际申请的公布数据

W02024/189790 JA 2024.09.19

(71) 申请人 株式会社TMEIC

地址 日本

(72) 发明人 木原美怜

(74) 专利代理机构 永新专利商标代理有限公司

72002

专利代理师 刘杰

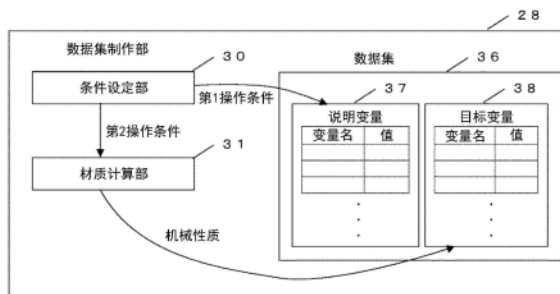
权利要求书1页 说明书15页 附图12页

(54) 发明名称

轧制产品的材质特性预测装置

(57) 摘要

轧制产品的材质特性预测装置具备:近似模型制作部,离线制作近似模型,该近似模型包罗地预测在轧制生产线中制造的轧制产品组的材质特性;以及材质特性预测部,使用近似模型,在线预测在轧制生产线中制造的轧制产品的三维网格状的各区域的材质特性。近似模型制作部具备:数据集制作部,具有设定轧制产品组的轧制条件的条件设定部以及计算轧制条件下的冶金现象和材质特性的材质计算部,该数据集制作部制作用于近似模型的制作的数据集;以及模型参数决定部,使用数据集决定表现近似模型的参数。



1. 一种轧制产品的材质特性预测装置,预测在轧制生产线中制造的轧制产品的材质特性,具备:

近似模型制作部,离线制作近似模型,该近似模型包罗地预测在上述轧制生产线中制造的轧制产品组的材质特性;以及

材质特性预测部,使用由上述近似模型制作部制作的上述近似模型,在线预测在上述轧制生产线中制造的轧制产品的三维网格状的各区域的材质特性,

上述近似模型制作部具备:

数据集制作部,具有设定上述轧制产品组的轧制条件的条件设定部、以及计算上述轧制条件下的冶金现象和材质特性的材质计算部,该数据集制作部制作用于上述近似模型的制作的数据集;以及

模型参数决定部,使用上述数据集决定表现上述近似模型的参数。

2. 根据权利要求1所述的轧制产品的材质特性预测装置,其中,  
上述数据集制作部制作将由上述条件设定部设定的上述轧制条件作为说明变量、将由上述材质计算部计算出的上述材质特性作为目标变量的上述数据集。

3. 根据权利要求1所述的轧制产品的材质特性预测装置,其中,  
上述材质特性预测部具备:  
轧制数据收集部,在线收集在上述轧制生产线中制造轧制产品时得到的轧制数据;  
模型输入制作部,根据上述轧制数据收集部收集到的上述轧制数据在线制作向上述近似模型的输入数据;

近似模型计算部,通过将由上述模型输入制作部制作的上述输入数据输入到上述近似模型,在线计算产品卷材的三维网格状的各区域的材质特性;以及

材质特性输出部,输出上述近似模型计算部计算出的上述各区域的材质特性、表示上述轧制产品内的上述各区域的位置的信息以及与上述材质特性具有关联性的信息。

4. 根据权利要求1所述的轧制产品的材质特性预测装置,其中,  
上述近似模型是机器学习模型。

5. 根据权利要求1至4中任一项所述的轧制产品的材质特性预测装置,其中,  
上述材质特性预测部具备材质特性校正部,该材质特性校正部利用使用将冶金现象数式化的冶金现象模型计算出的材质特性结果,校正上述近似模型计算部使用上述近似模型计算出的材质特性。

## 轧制产品的材质特性预测装置

### 技术领域

[0001] 本公开涉及轧制产品的材质特性预测装置,更详细来说,涉及预测在热轧工艺中制造的轧制产品的材质特性。

### 背景技术

[0002] 由钢铁等金属材料构成的轧制产品(以下也称作“产品”)的材质特性根据其合金组成、热轧工艺的加热条件、加工条件以及冷却条件而变化。材质特性例如是机械特性(强度、成形性、韧性等)、电磁特性(磁导率等)等。合金组成通过控制成分元素的添加量来调整。在调整该成分时,例如使用能够保持100吨左右的钢水的成分调整炉等,一个批次单位较大。因此,不可能对15吨左右的各个轧制产品变更添加量。因而,为了制造所希望的材质的热轧产品卷材,重要的是适当地控制加热条件、加工条件以及冷却条件。

[0003] 在热轧工艺中,通过变更作为与产品品质、操作条件相关的工艺条件的各种工艺参数的目标值,分别制作轧制产品。作为工艺参数,例如有以精轧机的入侧温度及出侧温度、卷取温度等为代表的轧制生产线上的各点的目标温度、粗轧机的出侧的传动杆厚、各道次的压下率等板厚、与板宽的压下相关的日程、精轧机以及粗轧机所具备的除氧化皮机的每个道次的使用与否、配置在粗轧机和精轧机的机架之间的机架间冷却的使用与否以及使用初始流量、精轧机中使用的润滑油量、在输出辊道中使用的冷却模式等。

[0004] 以往,一般采用如下方法:对于与加热、加工以及冷却相关的工艺参数,加热温度的目标值、加工后的尺寸目标值、冷却速度的目标值等针对轧制产品的每个规格设定,进行温度控制以及尺寸控制,以实现这些目标值。另外,产品的尺寸目标值被预先指定,与此相对,各机架出侧的板厚目标值、温度目标值以及冷却速度目标值基于长年的经验来决定其值。然而,近年来,对产品规格的要求的高度化、多样化显著,有时通过基于经验的方法未必能够适当地决定这些目标值。

[0005] 在下述专利文献1中公开了如下的装置:为了事先研究在某一合金组成以及工艺参数下制造出的产品是否得到所希望的产品品质,使用将加热、加工以及冷却的各制造工序模型化的工艺模型,离线地模拟制造工序。

[0006] 进而,产生材质特性的管理也比以往的保证范围内进行的管理更严格的必要性。以往,如JIS(日本工业标准)中规定的那样,将材质特性超过基准值作为其条件(允许范围)。例如,使用从产品取出的样品进行抗拉试验,判断测定值是否超过基准值。但是,近年来,在产品出厂后的工序中也要求高精度化。在上述那样的以往的允许范围中,例如,在作为下一工序的成形工序(拉深、弯曲、冲压等)中有时不能说是充分的。有时产生被轧制材过硬而难以成形的情形、冲压后的回弹量(弹性恢复量)过大而缺乏形状冻结性的情形、成形时边缘破裂的情形等。因此,在基于经验的设定方法以及材质特性的管理方法中,产生未必能够适当地控制上述各目标值这样的问题。

[0007] 作为管理轧制工艺的工序的以往的方法,有使用配置于轧制生产线的温度计的输出值管理轧制卷材整体的温度,进而管理与轧制温度关系密切的材质特性的方法。具体而

言,在轧制生产线的加热炉的出侧、粗轧机的入侧及出侧、精轧机的入侧及出侧以及卷取机的入侧等分别配置温度计。温度计测量被轧制材中的、板宽方向(以下,也简称为“宽度方向”)上的中央部的温度。然后,进行控制,以使来自温度计的输出值与从上位计算机基于经验决定的目标温度一致。这样,以往在管理轧制工艺的工序时,未考虑被轧制材的宽度方向上的材质特性。

[0008] 被轧制材的宽度方向端部(边缘)容易冷切,在与中央部之间产生温度差。有时在轧制生产线具备用于使被轧制材的宽度方向端部的温度上升的装置、以及用于防止被轧制材的宽度方向端部的温度降低的装置。例如,在轧制后冷却的过程中,利用边缘掩模使冷却水不会溅到边缘部上。此外,在精轧前利用边缘加热器等感应加热装置对边缘部进行加热升温。

[0009] 进而,近年来,为了验证上述装置的效果,有时在上述装置的前后设置扫描高温计。如果使用扫描高温计,则能够测量被轧制材的宽度方向的温度分布。此外,近年来,在轧制生产线中采用的多用检测计中,为了将被轧制材的宽度方向的温度分布用于测定值的校正,也采用扫描高温计。多用检测计是用1台测量板厚、凸度以及板宽等的复合型测量器,其测量精度近年来显著地提高。

[0010] 这样,在轧制生产线中导入用于测量被轧制材的宽度方向的温度分布的设备。此外,进行了一些尝试,想要计算被轧制材的宽度方向的温度分布并将其在控制中灵活运用。在下述专利文献2中公开了计算轧制材的板厚方向以及宽度方向的温度分布的方法。此外,在下述专利文献3中公开了通过基于宽度方向的温度分布的计算控制边缘加热器而使宽度方向的温度均匀化的方法。

[0011] 此外,与板厚、板宽、形状等相同,对于材质,在产生未达成部的情况下,一般要求在下一工序的分割线中,一边与实际数据进行比较,一边考虑余裕(余量),切掉该未达成部。虽然此时切掉量与成品率直接相关,但以往,在决定该切掉量时,只不过大致决定。鉴于这样的状况,即使在产生了材质未达成部的情况下,从提高成品率的观点出发,也期望实现切掉量的最优化,进而期望通过工艺改善来尽量减少材质未达成部。

[0012] 因此,以往,将轧制工序中的加热、加工、冷却等的制造条件作为输入,使用特性预测模型预测轧制产品的特性,由此尝试特性控制。

[0013] 在下述专利文献4中公开了如下方法:关于将预测被轧制材的微观组织的变化以及最终产品的机械性质的冶金现象数式化的模型,使用根据对一部分的产品卷材实施的抗拉试验、组织观察等机械性质的测定试验结果得到的机械性质的实际值进行模型学习。在下述专利文献5中公开了如下方法:输出将长度方向以及宽度方向的二维方向上的位置与材料特性值相关联的材质分布。在下述专利文献6中公开了如下方法:预先存储操作条件和材质实际,搜索类似的操作条件,在线将产品卷材的所有位置的材质推定为网格状。此外,在下述专利文献7中公开了使用神经网络预测材质的方法。

[0014] 现有技术文献

[0015] 专利文献

[0016] 专利文献1:日本专利第6292309号公报

[0017] 专利文献2:日本专利第6197676号公报

[0018] 专利文献3:日本专利第6447710号公报

- [0019] 专利文献4:日本专利第5396889号公报  
[0020] 专利文献5:日本特开2022-48037号公报  
[0021] 专利文献6:日本专利第6086155号公报  
[0022] 专利文献7:日本特开2005-315703号公报

## 发明内容

[0023] 发明要解决的课题

[0024] 但是,对于专利文献4、专利文献5所示的基于将冶金现象数式化的模型的材质特性预测,越是忠实地将微观现象模型化的高精度的模型,计算负荷越大。例如,即使产品卷材的计算点为几点,有时也需要几秒的计算时间。例如,在想要以轧制方向2m间距、板厚方向3点、板宽方向5点的网格宽度预测1km的产品卷材的情况下,计算点为7500点,假设在将每个计算点的计算量设为1秒的情况下,需要两小时以上的计算时间。轧制操作多是连续轧制相同或者类似的产品分区。在想要将该材料的结果反映到下一材料、同批次内的材料的操作变更的情况下,有时也以每1卷2~5分钟左右的间隔进行轧制,与此相对,花费过多的时间。

[0025] 此外,在专利文献6、专利文献7中,对过去的操作条件与材质实际的关系性进行搜索、模型化,基于经验规则,预测新轧制的产品卷材的材质。已知这样的经验规则模型一般是高速的,有助于解决计算负荷的课题。但是,在基于过去的操作条件和材质实际的模型中,对将复杂的材质举动模型化时的近似精度有限,无法期待充分的预测精度。

[0026] 本公开是为了解决上述课题而完成的。本公开的目的在于,提供一种能够在线高速且高精度地进行轧制产品组整体的材质特性的预测的轧制产品的材质特性预测装置。

[0027] 用于解决课题的手段

[0028] 第1观点涉及一种轧制产品的材质特性预测装置,预测在轧制生产线中制造的轧制产品的材质特性。轧制产品的材质特性预测装置具备:近似模型制作部,离线制作近似模型,该近似模型包罗地预测在上述轧制生产线中制造的轧制产品组的材质特性;以及材质特性预测部,使用由上述近似模型制作部制作的上述近似模型,在线预测在上述轧制生产线中制造的轧制产品的三维网格状的各区域的材质特性。上述近似模型制作部具备:数据集制作部,具有设定上述轧制产品组的轧制条件的条件设定部、以及计算上述轧制条件下的冶金现象和材质特性的材质计算部,该数据集制作部作用于上述近似模型的制作的数据集;以及模型参数决定部,使用上述数据集决定表现上述近似模型的参数。

[0029] 第2观点在第1观点的基础上,还具有如下特征。上述数据集制作部制作将由上述条件设定部设定的上述轧制条件作为说明变量、将由上述材质计算部计算出的上述材质特性作为目标变量的上述数据集。

[0030] 第3观点在第1观点的基础上还具有如下特征。上述材质特性预测部具备:轧制数据收集部,在线收集在上述轧制生产线中制造轧制产品时得到的轧制数据;模型输入制作部,根据上述轧制数据收集部收集到的上述轧制数据在线制作向上述近似模型的输入数据;近似模型计算部,通过将由上述模型输入制作部制作的上述输入数据输入到上述近似模型,在线计算产品卷材的三维网格状的各区域的材质特性;以及材质特性输出部,输出上述近似模型计算部计算出的上述各区域的材质特性、表示上述轧制产品内的上述各区域的

位置的信息以及与上述材质特性具有关联性的信息。

[0031] 第4观点在第1观点的基础上还具有如下特征。上述近似模型是机器学习模型。

[0032] 第5观点在第1至第4观点的任一个的基础上还具有如下特征。上述材质特性预测部具备材质特性校正部,该材质特性校正部利用使用将冶金现象数式化的冶金现象模型计算出的材质特性结果,校正上述近似模型计算部使用上述近似模型计算出的材质特性。

[0033] 发明效果

[0034] 根据本公开,也预先制作与在实际的轧制工艺中未实施的轧制条件(温度条件、加工条件、时间·速度条件)、实施经验少的轧制条件对应的数据集,使用所制作的数据集离线制作近似模型,由此,能够制作能够与轧制产品组整体对应且近似精度高的近似模型。通过使用这样制作的近似模型,能够减小用于在线预测轧制产品的三维网格状的各区域的材质特性的计算负荷。而且,由于能够进行轧制产品的所有区域(部位)的材质特性的高速计算,因此也能够将该轧制产品的结果反映到下一轧制产品、同一批次内的轧制产品的操作变更中。

## 附图说明

[0035] 图1是表示应用了实施方式1的轧制产品的材质特性预测装置的薄板热轧生产线的一例的图。

[0036] 图2是表示实施方式1的轧制系统的框图。

[0037] 图3是表示实施方式1的轧制产品的材质特性预测装置的功能的框图。

[0038] 图4是表示轧制产品的材质特性预测装置的硬件构成的一例的图。

[0039] 图5是表示近似模型制作部的构成的框图。

[0040] 图6是用于对由数据集制作部制作的数据集进行说明的图。

[0041] 图7是用于对说明变量的冷却模式的一例进行说明的概要图。

[0042] 图8是用于对数据集制作部的构成和数据集的制作进行说明的图。

[0043] 图9是用于对由条件设定部进行的材质计算部以及说明变量的设定进行说明的图。

[0044] 图10是用于对由材质计算部进行的冶金现象计算和目标变量的设定进行说明的图。

[0045] 图11是表示近似模型的一例的概要图。

[0046] 图12是表示材质特性预测部的构成的框图。

[0047] 图13是表示近似模型计算部计算材质特性的对象的网格区域的一例的概要图。

[0048] 图14是表示材质特性输出部的输出的一例的概要图。

[0049] 图15是表示实施方式2的材质特性预测部的构成的框图。

[0050] 图16是表示实施方式2的材质特性校正部的校正方法的概要图。

## 具体实施方式

[0051] 以下,参照附图,以预测在热轧生产线上制造的轧制产品的材质特性的情况为例,对本发明的实施方式进行详细说明。另外,对各图中共同的要素标注相同的符号并省略重复的说明。

[0052] 实施方式1.

[0053] [轧制生产线]

[0054] 图1是表示应用了实施方式1的轧制产品的材质特性预测装置(以下也称作“预测装置”)的薄板热轧生产线(以下也称作“轧制生产线”)的一例的图。在本实施方式中,对预测在图1所示的轧制生产线上制造的轧制产品的材质特性的预测装置进行说明,但本公开的预测装置也可以应用于其他轧制生产线。

[0055] 轧制生产线具备加热装置、轧制机、冷却装置、地下卷取机以及将它们连结的输送辊道。这些装置由电动机或液压装置等致动器驱动。具体而言,图1所示的轧制生产线1从输送辊道的上游侧起依次具备加热炉2、高压除氧化皮装置3、粗轧入侧温度计4、粗轧边机5、粗水平轧制机(以下也称作“粗轧机”)6、粗轧出侧温度计7、边缘加热器8、杆加热器9、精轧入侧温度计10、切料头机11、精轧入侧除氧化皮装置12、F1轧边机13、精轧机14、多用检测计15、精轧出侧温度计16、输出辊道17、卷取机入侧温度计18以及地下卷取机19。

[0056] 加热炉2是用于加热被轧制材(板坯)的炉,被控制为得到所希望的板坯升温模式、加热炉提取温度。在以下的说明中,被轧制材除了板坯、钢板之外,还包括作为产品卷材完成之前的中途的状态。高压除氧化皮装置3从上下对从加热炉2出来的被轧制材喷射高压水,从被轧制材的表面除去氧化皮。粗轧入侧温度计4配置在粗轧机6的入侧(上游侧),测量被轧制材的宽度方向的中央部的表面(例如,上表面)的温度即粗轧入侧温度。粗轧边机5进行被轧制材的板宽方向的轧制。粗轧机6进行钢板的板厚方向的粗轧。在粗轧机6中,以多个道次进行轧制,以使被轧制材成为所希望的厚度。因此,作为粗轧机6,能够使用可逆式轧制机。粗轧出侧温度计7测量被轧制材的表面(例如,上表面)的温度。粗轧出侧温度计5配置在粗轧机6的出侧(下游侧)。当被轧制材通过粗轧机6时,通过粗轧出侧温度计7测量宽度方向的中央部的表面温度作为粗轧出侧温度。

[0057] 边缘加热器8是为了控制被轧制材的温度而通过电磁感应加热等使被轧制材的宽度方向端部(边缘)升温的装置。杆加热器9是为了控制被轧制材的温度而通过电磁感应加热等使被轧制材整体升温的装置。精轧入侧温度计10配置在精轧机14的入侧,测量被轧制材的宽度方向的中央部的表面(例如,上表面)的温度即精轧入侧温度。切料头机11切断钢板的前端部以及尾端部。精轧入侧除氧化皮装置12在精轧机14的入侧从钢板的表面除去氧化皮。F1轧边机13配置在精轧机14的入侧,其辊从侧方与被轧制材接触。F1轧边机13使被轧制材在不压曲的范围内变形,以使被轧制材的宽度变窄。精轧机14由单个或者多个机架构成,在图1所示的例子中,是由7个机架构成的串列式精轧机。精轧机14将被轧制材精轧成规定的板厚。

[0058] 多用检测计15是能够通过1台装置进行各种测量的复合型测量器。多用检测计15例如具有在被轧制材的宽度方向排列有多个X射线检测器的形态。多用检测计15例如测量被轧制材的宽度方向的板厚分布。通过准备1台多用检测计15,能够测量被轧制材的板厚、凸度、板宽。近年来,多用检测计15的测量精度大幅度提高。因此,与分别准备板厚计以及凸度计、板宽计相比,准备1台多用检测计15更便宜,正在推进多用检测计15向热轧生产线的导入。多用检测计15在内部具备温度计、扫描高温计。多用检测计15测量被轧制材的温度,并将其测量值用于X射线检测器的检测值的校正。

[0059] 精轧出侧温度计16测量被轧制材的表面(例如,上表面)的温度。精轧出侧温度计

16配置在精轧机14的出侧(下游侧)。精轧出侧温度计16测量通过精轧机14后的被轧制材的宽度方向的中央部的表面温度作为精轧出侧温度。精轧出侧温度计12配置在精轧机10的出侧。被轧制材的精轧出侧温度与产品的金属组织的形成、材质(抗拉强度、屈服应力、伸长率等)密切相关。因此,需要适当地管理被轧制材的精轧出侧温度。

[0060] 输出辊道17是为了控制轧制产品的温度而通过冷却水冷却被轧制材的冷却装置。输出辊道17为了控制被轧制材的温度,例如从喷嘴对被轧制材的表面供给冷却水。输出辊道17在被轧制材的长度方向(输送辊道的输送方向)上具备多个喷嘴。这些喷嘴被分为多个组。针对每个组进行对喷嘴的控制,控制被轧制材的冷却速度。在供给冷却水的组中进行水冷,在不供给冷却水的组中进行空冷。另外,轧制生产线还可以具备冷却辊道、强制冷却装置等作为冷却装置。

[0061] 卷取机入侧温度计18配置在地下卷取机19的入侧(上游侧)。被轧制材在通过输出辊道17之后,通过卷取机入侧温度计18测量宽度方向的中央部的表面温度作为卷取温度。精轧出侧温度计12配置在精轧机10的出侧。被轧制材的卷取温度与产品的金属组织的形成、材质(抗拉强度、屈服应力、伸长率等)密切相关。因此,需要适当地管理被轧制材的卷取温度。

[0062] 地下卷取机19是用于卷取轧制产品而形成容易输送的形状的装置。输送辊道是用于将各工序中的轧制产品输送到下一工序的装置。这些装置由电动机或液压装置等致动器驱动。

[0063] 图1所示的轧制生产线1还具备扫描高温计20。扫描高温计20至少在被轧制材的宽度方向的多个部位测量被轧制材的表面(例如,上表面或者上表面以及下表面)的温度。扫描高温计20优选配置在用于改善被轧制材的温度的装置的前后。在图1所示的例子中,示出了将扫描高温计20设置在边缘加热器8的前侧、杆加热器9的后侧以及输出辊道17的前后的情况。另外,在多用检测计15的内部具备配置在输出辊道17的入侧的扫描高温计20。

[0064] [轧制系统]

[0065] 图2是表示实施方式1的轧制系统21的框图。轧制系统21是轧制生产线1的控制系统,具有等级0到等级3的层级构造。等级0具有对驱动轧制生产线1的各装置的电动机进行控制的驱动控制装置、以及驱动轧制生产线1的各装置的液压设备(液压装置)。等级1具有控制用控制器24。等级2具有设定计算机23。等级3具有生产管理用的上位计算机22。后述的轧制产品的材质特性预测装置25与设定计算机23连接,能够接收轧制数据。

[0066] 在热轧工艺中,通过变更与产品品质、操作条件相关的工艺条件、即各种工艺参数的目标值,来分别制作产品。为了达成目标的产品品质,即为了达成上述各种工艺参数的目标值,通过设定计算机23进行工艺控制。

[0067] 有时从位于等级2的设定计算机23的上位的等级3的上位计算机22指定工艺参数的目标值。此外,工艺参数的目标值,有时在设定计算机23所属的数据库具有表,将钢种、板厚、板宽等作为关键字来指定。此外,有时通过操作人员的手动介入在轧制中变更工艺参数的目标值。

[0068] 设定计算机23具有表现轧制生产线1中的加热、轧制、冷却、输送等的各工艺的物理现象的模型式。设定计算机23使用表现工艺的物理现象的模型式,进行设定计算,以便在实际操作中达成上述各种工艺参数的目标值(工艺条件)。在设定计算中,反复进行各种致

动器的控制目标值的计算、以及工艺的各阶段的轧制材的状态(金属材料的状态预测值)的计算。

[0069] 致动器的控制目标值是指轧制机6、14的轧辊间隙、轧制速度、输送速度、除氧化皮机、各种喷雾器的流量,输出辊道的阀的开/关等。工艺的各阶段的轧制材的状态(金属材料的状态预测值)是指尺寸、形状、温度、微观组织等。

[0070] 控制用控制器24从设定计算机23接收设定计算结果,对各种致动器进行控制,以追随控制目标值。在实际操作的热轧工艺中,在轧制生产线1的各处设置各种传感器,监视、收集温度、形状、板厚、板宽、轧制载荷等对工艺控制造成影响的参数的实际值。

[0071] 这些实际值用于工艺控制、模型式的精度提高、品质管理。将工艺参数的目标值与由各种传感器取得的实际值或由设定计算机23根据实际值和计算值重新计算出的实际计算值进行比较,在未达成工艺参数的目标值的情况下,设定计算机23再次进行设定计算。基于其结果,进行前馈控制、反馈控制、动态控制等各种控制。

[0072] 即使在工艺的模型式高精度地模拟物理现象的情况下,实际上也会产生模型预测误差。因此,工程师对模型式内的各项所涉及的系数、常数进行微调,提高模型式的预测精度。调整项是模型式内的各项的系数、常数,使用以容易产生模型误差的因子、例如钢种、目标板厚、目标板宽、目标温度等区分的分层表,针对每个分层在设定计算机23所属的数据库内进行管理。调整项除了作业开始时之外,主要在新的钢种的轧制时、以新的工艺参数的组合进行轧制的情况下进行调整。调整项有时由工程师根据经验或者数值分析结果调整,近年来,有时使用神经网络等的统计方法进行半自动调整。学习项是为了弥补模型输出与实际工艺的输出的误差而对模型式进行乘法运算以及加法运算的项。

[0073] [轧制产品的材质特性预测装置]

[0074] 图3是表示实施方式1的轧制产品的材质特性预测装置25的功能的框图。预测装置25预测在图1所示的轧制生产线1中轧制的产品卷材的机械性质。预测装置25具备近似模型制作部26以及材质特性预测部27。

[0075] 图4是表示预测装置25的硬件构成的一例的图。预测装置25的后述的各功能能够由图4所示的处理电路250实现。该处理电路250也可以是专用硬件251。该处理电路也可以具备处理器252以及存储器253。该处理电路也可以一部分形成为专用硬件251,还具备处理器252以及存储器253。在图4的例子中,处理电路250的一部分形成为专用硬件251,并且处理电路250还具备处理器252以及存储器253。

[0076] 处理电路250也可以是至少一个专用硬件251。在该情况下,处理电路250例如相当于单一电路、复合电路、程序化的处理器、并行程序化的处理器、ASIC、FPGA、或者将它们组合而成的处理电路。

[0077] 处理电路250也可以具备至少一个处理器252以及至少一个存储器253。在该情况下,预测装置25的各功能通过软件、固件或者软件与固件的组合实现。软件以及固件被描述为程序,保存在存储器253中。处理器252通过读出并执行存储器253中存储的程序,来实现近似模型制作部26以及材质特性预测部27的功能。处理器252也被称作CPU(Central Processing Unit)、中央处理装置、处理装置、运算装置、微型处理器、微型计算机、DSP。存储器253例如相当于RAM、ROM、闪存器、EPROM、EEPROM等的、非易失性或者易失性的半导体存储器等。这样,处理电路250能够通过硬件、软件、固件或者它们的组合来实现预测装置25的

各功能。

[0078] 近似模型制作部26制作近似模型39,该近似模型39包罗性且高速地预测在轧制生产线1中制造的热轧产品组、即在轧制生产线1中能够制造的所有钢种、尺寸、操作条件的轧制产品(产品卷材)的机械性质。包罗性是指,不仅包罗在轧制生产线1中制造过的轧制产品的机械性质,而且包罗轧制生产线1中今后有可能制造的轧制产品的机械性质。以下,对近似模型制作部26的详细内容进行说明。

[0079] 图5是表示近似模型制作部26的构成的框图。近似模型制作部26具备数据集制作部28以及模型参数决定部29。数据集制作部28制作用于近似模型39的制的数据集。模型参数决定部29使用数据集制作部28制作的数据集,通过最优化方法等决定表现近似模型39的参数。

[0080] 图6是用于说明由数据集制作部28制作的数据集的图。由数据集制作部28制作的数据集36是说明变量37的数据与目标变量38的数据成对(成为一对)的数据的集合体。各个对由相当于某一操作条件的一部分的说明变量37的数据和相当于在该操作条件下由轧制生产线1制造出的卷材的机械性质的目标变量38的数据构成。操作条件有多种,但作为说明变量37,特别选择与机械性质相关的操作条件(以下称作“第1操作条件”),例如是化学成分、温度条件、加工条件、时间条件、速度条件等。为了制作不同的钢种,调整化学成分在钢铁中的含量。在说明变量37中包含C、Mn、Si、Nb、N、Ti等对机械性质有贡献的化学成分。与化学成分相同,为了制作不同的钢种,调整温度条件,对机械性质的贡献大。产品卷材的某一部位的温度履历是时间序列数据,但在作为说明变量37给出的情况下,给出在重要点瞬间切出时间序列数据的一维数据。例如,将加热炉提取温度=1200℃、粗轧入侧温度=1100℃、粗轧出侧温度=1000℃、精轧入侧温度950℃、精轧出侧温度=900℃、卷取温度=650℃等那样的一维数据提供给各个说明变量37,表现对机械性质造成影响的主要的温度履历。在在线的产品轧制时能够由温度计、扫描高温计实测的温度以及由设定计算机23实际重新计算的温度中,选择对机械性质造成影响的温度条件作为说明变量37。将如加热炉提取温度、粗轧入侧那样每个产品有可能产生偏差的温度条件作为说明变量37。此外,也将如精轧出侧温度、卷取温度那样在轧制方向、宽度方向不同的温度条件、粗轧入侧温度、粗轧出侧温度等在宽度端部产生温度降低的温度条件作为说明变量37。进而,通过根据输出辊道17的冷却条件调整温度路径,形成机械性质。具体而言,除了精轧出侧温度以及卷取温度的目标温度之外,还设定以及控制水冷部部位、水冷速度、水冷时间、空冷时间等冷却模式条件的一部分(正常冷却)。进而,将输出辊道17分为前半部与后半部,在其中间点设置中间温度计,有时除了上述目标温度之外,还对中间温度计的目标温度、输出辊道17的前半部和后半部分别设定以及控制冷却模式条件(分布冷却)。因此,将后述的冷却模式条件也加入到说明变量中。加工条件是各机架的压下率、应变速度等操作条件。已知压下率、应变速度对微观组织造成影响,其结果,对最终的机械性质也造成影响。作为各机架的加工条件加入到说明变量中。或者,也可以作为精轧整体的平均、精轧后半机架的平均等汇总信息加入到说明变量中。关于时间条件,通过在说明变量中加入加热炉内的板坯材炉时间即加热炉材炉时间、从粗轧后到精轧开始的时间即粗精轧间时间等每个产品存在偏差且对机械性质造成影响的条件,有时机械性质的每个产品的偏差的预测性能提高。此外,通过在说明变量中也包含各处的轧制速度、输送速度等从轧制方向的前端到尾端变化且对机械性质造成影响的速

度条件,有时产品内的机械性质的偏差的预测性能提高。成为目标变量的机械性质是屈服应力、抗拉强度、伸长率等。数据集36包罗地包括在轧制生产线1中制造的所有钢种、尺寸的卷材的、包括长度方向的前端、尾端、宽度方向的端部等的所有场所的操作条件以及在该操作条件下轧制的情况下的机械性质。

[0081] 图7是用于说明说明变量37的冷却模式的一例的概要图。在图7中示出了正常冷却的冷却模式的例子。在图7的例子中,将输出辊道17的上游侧组用于基于设定计算的初始的冷却设定以及使用了精轧温度实际值的前馈控制。此外,最下游的两组用于使用了卷取温度实际值的反馈控制,用于反馈控制的组的上游的组用于追随输送速度变化的动态控制。为了用说明变量表现图7那样的冷却模式,例如,将水冷部冷却速度、前半部的水冷部冷却速度、后半部的水冷部冷却速度、前半部的平均冷却速度、后半部的平均冷却速度、反馈组的水冷部冷却速度作为说明变量。例如,水冷部冷却速度 $V_{cool}$ 以除了动态控制组与反馈控制组之外的组中的由水冷引起的温度下降为对象,通过下式(1)计算。

[0082] 【数学式1】

$$[0083] \quad V_{cool} = \frac{T_{W_s} - T_{W_e}}{t_{W_s} - t_{W_e}} \dots (1)$$

[0084] 此处, $t_{W_s}$ 是除了动态控制组与反馈控制组之外的水冷开始时刻, $t_{W_e}$ 是除了动态控制组与反馈控制组之外的水冷结束时刻, $T_{W_s}$ 是水冷开始时温度, $T_{W_e}$ 是水冷结束时温度。

[0085] 已知在输出辊道17中,在前半部冷却的情况与在后半部冷却的情况下对机械性质造成的影响不同。计算前半部的水冷部冷却速度、后半部的水冷部冷却速度、前半部的平均冷却速度、后半部的平均冷却速度等,作为说明变量。例如,前半部的水冷部冷却速度 $V_{E\_cool}$ 以从精轧出侧温度到中间温度之间的组中的由水冷引起的温度下降为对象,用下式(2)计算。

[0086] 【数学式2】

$$[0087] \quad V_{E\_cool} = \frac{T_{E_s} - T_{E_e}}{t_{E_s} - t_{E_e}} \dots (2)$$

[0088] 此处, $t_{E_s}$ 是前半组水冷开始时刻, $t_{E_e}$ 是前半组水冷结束时刻, $T_{E_s}$ 是前半组水冷开始时温度, $T_{E_e}$ 是前半组水冷结束时温度。

[0089] 此外,后半部的水冷部冷却速度也使用后半部的时刻以及温度信息计算,由此包含在说明变量中。例如,前半部的平均冷却速度 $V_{E\_ave}$ 以从精轧出侧温度到中间温度之间的组中的水冷以及空冷的温度下降为对象,用下式(3)计算。

[0090] 【数学式3】

$$[0091] \quad V_{E\_ave} = \frac{T_{FDT} - T_{MT}}{t_{FDT} - t_{MT}} \dots (3)$$

[0092] 此处, $t_{FDT}$ 是精轧出侧温度通过时刻, $t_{MT}$ 是中间温度通过时刻, $T_{FDT}$ 是精轧出侧温度, $T_{MT}$ 是中间温度。

[0093] 此外,后半部的平均冷却速度也使用后半部的时刻以及温度信息计算,由此包含在说明变量中。通过用于控制卷取温度的反馈控制,在被轧制材的轧制方向上反馈组的冷却模式不同,其结果,有时对机械性质造成影响。为了考虑这样的干扰,将反馈组的水冷部冷却速度加入到说明变量中。反馈组的水冷部冷却速度 $V_{FB\_cool}$ 以反馈组的水冷部为对象,

用下式(4)计算。

[0094] 【数学式4】

$$[0095] \quad V_{FB\_cool} = \frac{T_{FB\_s} - T_{FB\_e}}{t_{FB\_s} - t_{FB\_e}} \dots (4)$$

[0096] 此处,  $t_{FB\_s}$  是反馈组水冷开始时刻,  $t_{FB\_e}$  是反馈组水冷结束时刻,  $T_{FB\_s}$  是反馈组水冷开始时温度,  $T_{FB\_e}$  是反馈组水冷结束时温度。

[0097] 图8是用于说明数据集制作部28的构成和数据集的制作的图。数据集制作部28具备条件设定部30以及材质计算部31。条件设定部30设定与数据集36的说明变量37相关的第1操作条件。此外,条件设定部30将由金属组织计算部44基于冶金现象模型进行的金属组织计算所需的化学成分、加工履历、温度履历等操作条件(以下,将与金属组织计算部44使用的冶金现象模型的输入相关的操作条件称作“第2操作条件”)设定在材质计算部31中。第1操作条件与第2操作条件也包含相同的数据,但也包含不同的数据。例如,冶金现象模型预测每时每刻的微观组织的变化。因此,在第2操作条件中包含加工履历、温度履历等的各设备位置、各时刻在空间以及时间上具有连续性的数据。材质计算部31基于所设定的第2操作条件计算冶金现象和机械性质。此外,材质计算部31设定数据集36的目标变量38的数据。

[0098] 图9是用于说明条件设定部30对材质计算部31以及说明变量37的设定的图。条件设定部30例如由操作条件提取部40、操作条件制作部41、材质计算输入设定部42、说明变量设定部43等构成。

[0099] 操作条件提取部40例如从由离线的设定计算机虚拟轧制的虚拟卷材的虚拟轧制数据中提取与化学成分、加工履历、温度履历等的上述说明变量37相关的第1操作条件、以及在材质计算部31中使用的第2操作条件。

[0100] 上述离线的设定计算机例如是专利文献1那样的装置,通过使在线的设定计算机与工艺参数同步,能够模拟实际操作。由此,不对实际操作施加负荷,能够通过离线的设定计算机制作多种操作条件。例如,即使是在实际操作中没有制造经验的产品、轧制条件,也能够模拟满足各种机械限制的操作。

[0101] 在材质计算部31中使用的操作条件、说明变量37也可以包含从实际轧制的产品卷材的实际轧制数据中提取的操作条件、说明变量37。或者,也可以使用有限元分析结果等的比设定计算更详细的分析数据,制作产品内的各部位的应变等的加工履历、温度履历等的操作条件。

[0102] 在近似模型39的可应用的操作条件中应该包含在实际操作中未被测量、计算的干扰。干扰例如是指化学成分的偏差、加热炉再加热中的温度不均、由未想到的精轧前的振荡引起的轧制材的温度降低、由于喷雾器不良而无法确保冷却速度等。在上述离线的设定计算机中模拟地制作干扰。或者,也可以对实际轧制数据或者虚拟轧制数据的加工履历、温度履历直接施加干扰。

[0103] 在操作条件制作部41中,对复制实际轧制数据、虚拟轧制数据而制作的轧制数据的一部分有意地施加模拟了干扰的变更。

[0104] 材质计算输入设定部42将由操作条件提取部40提取出的操作条件,或者由操作条件制作部41对由操作条件提取部40提取出的操作条件施加了相当于干扰的变更的操作条件,或者不经由操作条件提取部40而由操作条件制作部41根据有限元分析结果等外部数据

制作的操作条件等传递给材质计算部31。

[0105] 说明变量设定部43从由操作条件提取部40提取出的操作条件,或者由操作条件制作部41对由操作条件提取部40提取出的操作条件施加了相当于干扰的变更的操作条件,或者不经由操作条件提取部40而由操作条件制作部41制作的操作条件中,提取与说明变量37对应的数据,作为说明变量37追加到数据集36中。

[0106] 图10是用于说明由材质计算部31进行的冶金现象计算与目标变量38的设定的图。材质计算部31由金属组织计算部44、材质特性计算部45以及目标变量设定部46构成。

[0107] 金属组织计算部44使用由条件设定部11的材质计算输入设定部42设定的化学成分、加工履历、温度履历等轧制数据,通过将冶金现象数式化的冶金现象模型计算金属组织。作为计算对象的金属组织的特性,有铁氧体、珠光体、贝氏体、马氏体的体积率、铁氧体、奥氏体的粒径等。提出了各种冶金现象模型,由表示静态恢复、静态重结晶、动态恢复、动态重结晶、粒生长、相变的数式组构成。在塑性加工技术系列7板轧制(Corona公司)P198~229中揭示了该模型的一例。通过使用该模型,能够计算铁氧体、珠光体、贝氏体、马氏体等的体积率、奥氏体粒径、铁氧体粒径。为了处理微米级的组织的变化,需要细分计算步骤、计算区域,计算负荷大。在数据集36中,需要包含几千~几万卷材这样的庞大的说明变量与目标变量的对。为了在几千~几万情形的多种操作条件下实施金属组织计算部44,在不对实际操作的在线计算造成影响的离线环境下进行计算。

[0108] 材质特性计算部45基于上述轧制数据中包含的化学成分等以及从金属组织计算部44得到的金属组织计算值计算机械性质。作为测量对象的机械性质,有屈服应力、抗拉强度、伸长率等。另外,将在线的设定计算机冶金现象数式化的冶金现象模型多使用根据对一部分的产品卷材实施的抗拉试验等机械性质的测定试验结果得到的机械性质的实际值随时自动学习模型(例如,专利文献4的方法等)。但是,对从卷材的前端或者尾端等的卷材的一部分切出的试验片测量机械性质实测值。因此,一般得不到因上述轧制方向、板宽方向的温度等的操作条件的不同而引起的机械性质的变化的实测值,不能反映到冶金现象模型的学习中。在得到这样的机械性质实测值的操作条件中,包括学习的冶金现象模型的机械性质预测结果成为特异值,相对于操作条件的变化,机械性质预测结果的变化变得不平滑。在材质特性计算部45中,不使用在实际操作中自动学习的冶金现象模型,而使用不包括学习的冶金现象模型。

[0109] 目标变量设定部46从材质特性计算部45制作的机械性质中提取与目标变量20相应的数据,作为与根据材质计算部12使用的操作条件制作的说明变量37成对的目标变量20追加到数据集36中。

[0110] 模型参数决定部29使用由数据集制作部28制作的数据集36,决定构成近似模型39的模型参数,该近似模型39简易地模拟经过材质计算部12中的负荷大的金属组织预测的机械性质预测计算。

[0111] 图11是表示近似模型的一例的概要图。作为近似模型39,能够使用机器学习模型。在图11所示的例子中,通过由输入层、中间层、输出层构成的正向传播型神经网络构建机器学习模型。向输入层输入作为操作条件的说明变量37。从输出层输出作为机械性质的目标变量20。

[0112] 在通过正向传播型神经网络构建近似模型的例子中,在模型参数决定部29中,决

定正向传播型神经网络的超参数以及参数。作为超参数,有网络构成(中间层的层数、单元数)、激活函数的种类等。超参数是经验性地或试错性地决定的。或者,通过网格搜索、贝叶斯最优化等的近年来通常使用的方法来决定。参数是表现正向传播型神经网络的函数的各单元的权重系数、偏差。虽然在所有操作条件下高精度地预测机械性质的函数本身是不明确的,但在给出多个函数的输入与输出的对的情况下,通过调整参数,能够制作良好地再现该输入输出对的函数。输入输出对被称作训练数据。选择将训练数据的输入(说明变量)赋予函数时的神经网络的输出尽量接近训练数据的输出(目标变量)的参数。将由数据集制作部28制作的数据集36的说明变量37作为输入,将目标变量20作为输出,使用说明变量37和目标变量20的对,调整参数。在学习,将数据集内的对的一部分、例如整体的70%左右用作训练数据。作为表示神经网络表现的函数的再现性的尺度,使用以平方误差等表现的误差函数等。通过解决误差函数的最小化问题来学习神经网络。在正向传播型神经网络的学习中,作为用于解决上述误差函数的最小化问题的最优化方法,已知有梯度下降法和作为其改进方法的Adam等。例如,模型参数决定部29使用Adam学习正向传播型神经网络。在通过留出法或交叉验证确认模型泛化性能之后,根据需要,有时在实施了变更超参数、增加数据集的数据对、重新考虑数据前处理等在机器学习模型构建中通常进行的研究之后,再次重新调整参数。此外,在按照上述顺序构建机器学习模型之后,在数据集中随时追加新的说明变量37与目标变量20的对的情况下,有时使用梯度下降法等逐次地进行学习。这是随时得到在线的轧制数据的情况、随时执行离线的设定计算的情况等。此外,也可以在定期维护时,用最新的数据重新制作数据集,再次构建近似模型,进行替换。根据想要预测的机械性质的种类,也可以改变说明变量的种类。优选制作针对每个机械性质不同的近似模型。

[0113] 材质特性预测部27使用近似模型制作部26离线预先制作的近似模型39,在线预测在轧制生产线1中实际制造的产品卷材的三维网格状的各区域的机械性质。

[0114] 图12是表示材质特性预测部27的构成的框图。如图12所示,材质特性预测部27具备轧制数据收集部32、模型输入制作部33、近似模型计算部34以及材质特性输出部35。轧制数据收集部32收集从加热炉到卷取为止的卷材的各部位的轧制数据。模型输入制作部33根据轧制数据收集部32收集的轧制数据制作向近似模型39的输入数据。近似模型计算部34根据模型输入制作部33制作的输入数据以及近似模型39,计算产品卷材的三维网格状的各区域的机械性质。材质特性输出部35将近似模型计算部34计算出的机械性质与表示产品内的位置的信息一起输出。

[0115] 轧制数据收集部13收集设定计算机23计算出的产品卷材的化学成分、加工履历、温度履历等的轧制数据。轧制数据如果是轧制前则为预测值,如果是轧制中则为预测值和实际重新计算值,如果是轧制后则为实际重新计算值,根据取得定时,信息精度不同。在以产品品质管理为目的预测机械性质的情况下,优选在由地下卷取机19卷取完成后的实际重新计算值一致的定时进行数据收集。

[0116] 模型输入制作部33从由轧制数据收集部13收集到的产品卷材的轧制数据中提取与产品卷材的三维网格状的各区域的说明变量37相当的数据作为向近似模型39的输入数据。在轧制数据收集部13收集到的轧制数据不足以制作三维网格状的各区域的说明变量37的情况下,弥补不足的数据来制作说明变量37。例如,近年来,轧制材的板厚方向以及宽度方向的温度分布有时根据由温度计测量出的实际值和模型预测计算,但由于计算负荷的关

系,在设定计算机23中,有时有意地限制计算范围,例如将宽度方向温度分布计算到控制所需的边缘加热器出侧,在边缘加热器的下游停止计算等。在这样的情况下,使用由轧制数据收集部13的下游的例如精轧机出侧的多用检测计测量出的宽度方向温度分布的实际值、模型计算出的边缘加热器出侧的宽度方向温度分布或边缘加热器出侧的扫描高温计的宽度方向温度实际分布、从边缘加热器出侧到精轧机出侧的宽度方向中央部的温度履历计算结果,利用线性插值等的插值式制作与宽度方向的各网格的温度相关的说明变量37的数据、例如精轧入侧温度。或者,也可以使用离线设定计算机,计算宽度方向温度分布。此外,板厚方向的轧制时的应变速度等的加工履历的一部分一般不在板宽方向上实施。这是因为,在板厚方向的轧制中,辊与材料的变形区域的接触长度与材料的宽度相比非常短,材料的宽度方向的移动少,厚度减少量主要为轧制方向的伸长。在该情况下,能够将在宽度方向中央部计算出的数据在板宽方向上复制来作为说明变量37使用。此外,对于化学成分等对于产品卷材仅能得到一个值的数据,在所有网格中利用相同的值。

[0117] 近似模型计算部34将模型输入制作部33制作的输入数据预先输入到由近似模型制作部26制作的近似模型39,计算产品卷材的三维网格状的各区域的机械性质。

[0118] 图13是表示近似模型计算部34计算材质特性的对象的网格区域的一例的概要图。在图13中,为了简单而示出全长的一部分、板宽方向的单侧一半(工件侧或者驱动侧),但在近似模型计算部34中,将全长以及全宽作为计算对象。轧制方向的设定计算间隔有时根据产品板厚而不同,但例如以2m间隔制作轧制数据,也以相同的间隔预测机械性质。在板厚方向上,例如预测上表面、板厚中央、下表面这3个点的机械性质。在宽度方向上,例如预测距宽度端部40mm的点(工件侧以及驱动侧)、宽度端部与板宽中央部的中间点(板宽1/4点)(工件侧以及驱动侧)、板宽中央点的合计5个点的机械性质。

[0119] 材质特性输出部35将近似模型计算部34计算出的各区域的机械性质、表示轧制产品内的各区域的位置的信息以及与机械性质的变动关联较大的信息一起输出。上述轧制产品内的各区域的位置是距轧制方向前端的距离、距尾端的距离、宽度方向位置以及板厚方向位置。与上述机械性质具有关联性的信息是指与机械性质的变动关联较大的信息,例如是精轧出侧温度、卷取温度以及冷却速度等。输出目的地是数据库等的存储装置以及HMI等的可视化装置。在输出到可视化装置的情况下,将输出数据可视化为图表,或者在表格等中表示数值。这些作为研究抗拉试验的实施的有无、产品等级的判定、分割线处的切割长度、同一批次的轧制产品的工艺参数时的参考值来利用。由于能够高速地得到各区域的机械性质、表示轧制产品内的位置的信息以及与机械性质的变动关联较大的信息,所以能够反映到下一批材料、同批次材料的上述工艺参数中。

[0120] 图14是表示材质特性输出部35输出的一例的概要图。横轴表示轧制方向位置(距前端的距离),纵轴表示抗拉强度以及卷取温度的变化。此外,板厚方向以及宽度方向的位置能够任意地选择,在该例子中,选择板厚中央、宽度方向工件侧1/4点。在赋予了抗拉强度下限的情况下,能够得到抗拉强度为下限以下的轧制材的位置、与卷取温度的关联性等的信息。当将横轴变更为板厚方向、板宽方向时,能够将各个方向的机械性质分布可视化。作为其他输出方法,也可以将产品整体的机械性质的分布以三维网格状的热图可视化。在表中可视化的信息例如存在未达成机械性质的位置信息(距前端以及尾端的距离)、机械性质的平均值及标准偏差等的基本统计量、机械性质与说明变量37的相关系数等。

[0121] 如以上说明的那样,根据本实施方式,也预先包罗地制作与在实际的轧制工艺中未实施的轧制条件(温度条件、加工条件、时间·速度条件)或实施经验少的轧制条件对应的数据集。这样,通过使用制作成包罗包含未实施或实施经验少的轧制条件的所有轧制条件的数据集离线制作近似模型,能够制作能够与轧制产品组整体对应且高近似精度的近似模型。通过使用这样制作的近似模型,能够减小用于在线预测所有轧制产品的三维网格状的各区域的材质特性的计算负荷。而且,能够进行轧制产品的所有区域(部位)的材质特性的计算、监视。由此,也可以将该轧制产品的结果反映到下一轧制产品、同一批次内的轧制产品的操作变更中。

[0122] 实施方式2.

[0123] 接着,参照图15以及图16对本发明的实施方式2进行说明,但以与上述实施方式1的不同点为中心进行说明,相同部分或者相当部分标注相同的符号并省略说明。

[0124] 图15是表示实施方式2的材质特性预测部27的构成的框图。作为材质特性预测部的机械性质预测部27具备材质特性校正部47,该材质特性校正部47使用将冶金现象数式化的冶金现象模型计算出的机械性质(以下称作“第2机械性质”),校正近似模型计算部34使用上述近似模型39计算出的机械性质(以下称作“第1机械性质”)。将预测第2机械性质的冶金现象数式化的冶金现象模型使用通过过去的轧制产品(产品卷材)的抗拉试验得到的机械性质实际值进行模型学习。第2机械性质作为轧制数据的一部分,由轧制数据收集部13从在线的设定计算机23收集。

[0125] 轧制产品的一部分、例如轧制方向的前端部代表点、中央部代表点、尾端部代表点、各自的宽度方向中央的机械性质有时由在线的设定计算机或者与在线的设定计算机连接的计算机使用将冶金现象数式化的冶金现象模型计算。此外,将冶金现象数式化的冶金现象模型使用根据对一部分的产品卷材实施的抗拉试验、组织观察等的机械性质的测定试验结果得到的机械性质的实际值进行模型学习,或者,调整为与实际的机械性质一致(例如,专利文献4的方法等)。能够期待这样学习或调整后的预测的第2机械性质的预测精度良好。

[0126] 示出了由材质特性校正部47进行的第1机械性质的校正方法的例子。在近似模型计算部34计算第1机械性质的对象的网格区域中的区域j中,设为得到了第2机械性质。以下,以机械性质是抗拉强度的情况为例进行说明。

[0127] 首先,通过下式(5)求出得到了第2机械性质的网格区域j中的第2机械性质与第1机械性质之差。

$$[0128] \quad \Delta TS(j) = TS_{MM}(j) - TS_{ML}(j) \cdots \cdots (5)$$

[0129] 此处,j是表示得到了第2机械性质的网格区域的索引, $TS_{MM}(j)$ 是实际轧制数据中包含的第2机械性质, $TS_{ML}(j)$ 是近似模型计算部34计算的第1机械性质, $\Delta TS(j)$ 是第2机械性质与第1机械性质之差。

[0130] 图15是表示本发明的实施方式2的材质特性校正部47的校正方法的概要图。例如,在得到了轧制方向的前端部代表点、中央部代表点、尾端部代表点、各自的宽度方向中央的第2机械性质的情况下,使用上述3个点的 $\Delta TS(j)$ ,通过线性插值等,计算在其他网格区域i中假定的第2机械性质与第1机械性质之差 $\Delta TS(i)$ 。

[0131] 接着,使用第2机械性质与第1机械性质之差 $\Delta TS(i)$ ,通过下式(6)校正网格区域

i。

$$[0132] \quad TS_{\text{comp}}(i) = TS_{\text{ML}}(i) + \alpha \cdot \Delta TS(i) \cdots \cdots (6)$$

[0133] 此处,  $i$  是表示校正抗拉强度的对象的网格区域的索引,  $TS_{\text{ML}}(i)$  是近似模型计算部 34 通过近似模型 39 计算出的抗拉强度,  $\alpha$  是校正调整系数 ( $=0 \sim 1$ ),  $TS_{\text{comp}}(i)$  是校正后的抗拉强度。

[0134] 如以上说明的那样, 根据本实施方式, 由于具备材质特性校正部 47, 所以能够提高轧制产品的所有部位的机械性质的预测精度。而且, 不会对实际操作轧制的在线计算造成影响。另外, 在上述中对预测材质特性的机械性质的例子进行了说明, 但对于电磁性质也相同。

[0135] 以上, 对本发明的实施方式进行了说明, 但本发明并不限于上述实施方式, 能够在不脱离本发明的主旨的范围内进行各种变形来实施。在上述实施方式中, 在提及各要素的个数、数量、量、范围等的数量的情况下, 除了特别明示的情况和在原理上明确地确定为该数量的情况之外, 本发明并不限于该提及的数量。此外, 上述实施方式中说明的构造等除了特别明示的情况和在原理上明确地确定为此的情况之外, 不一定是本发明所必须的。

[0136] 在上述实施方式中, 以作为材质特性预测机械性质的情况为例进行了说明, 但对于预测电磁性质的情况也相同。

[0137] 符号说明:

[0138] 1: 轧制生产线; 25: 轧制产品的材质特性预测装置; 26: 近似模型制作部; 27: 材质特性预测部; 28: 数据集制作部; 29: 模型参数决定部; 30: 条件设定部; 31: 材质计算部; 36: 数据集; 37: 说明变量; 38: 目标变量; 47: 材质特性校正部。

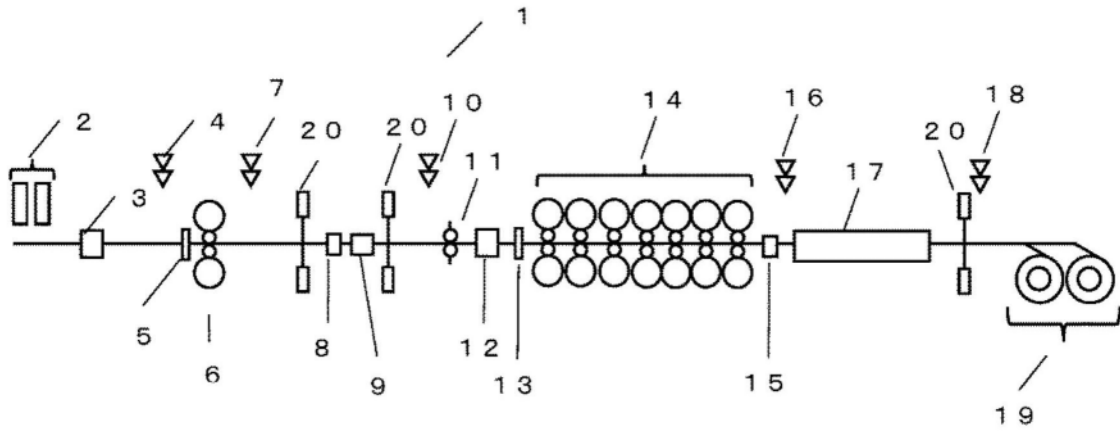


图1

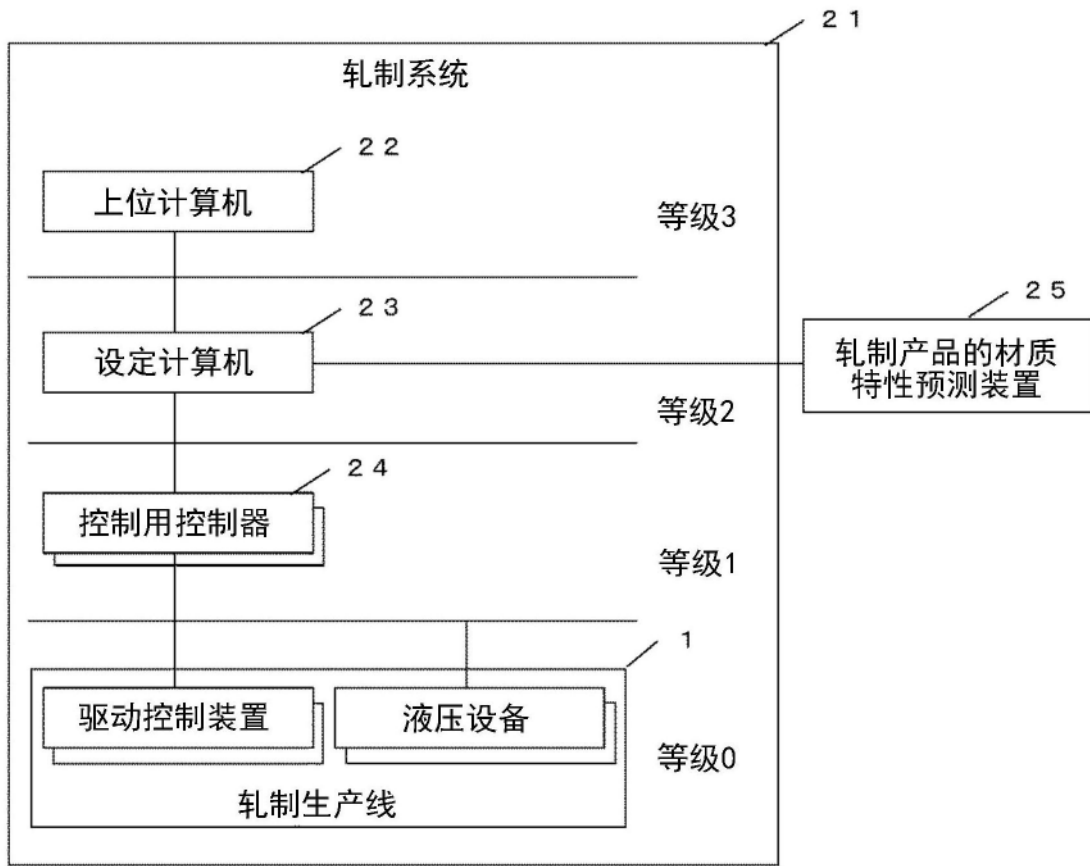


图2

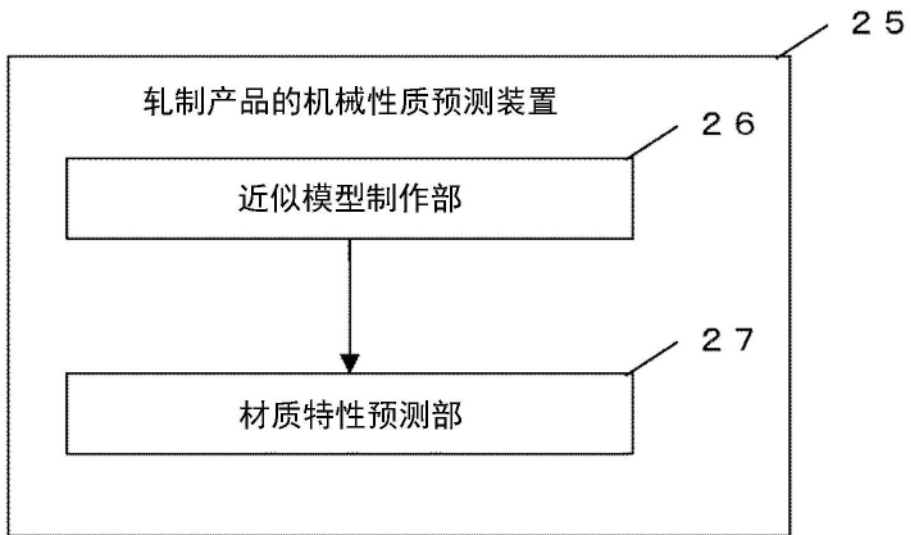


图3

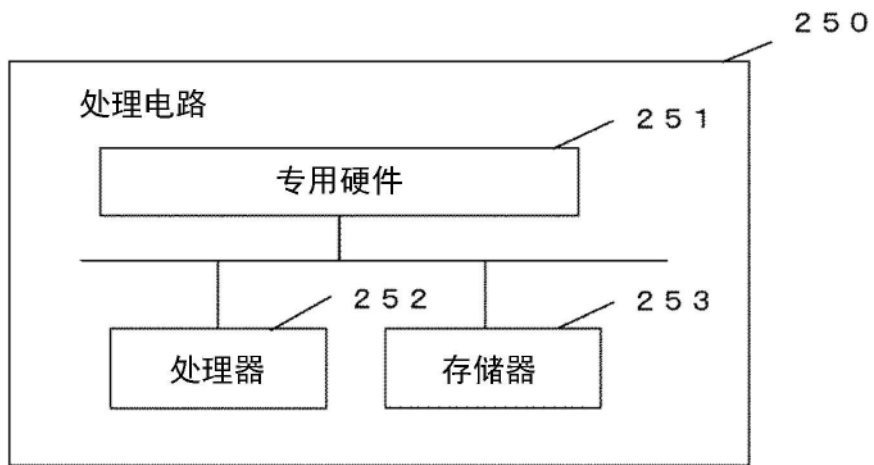


图4

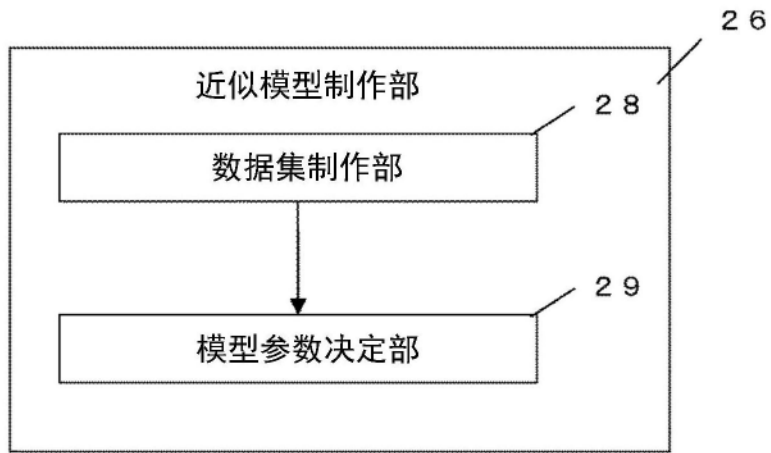
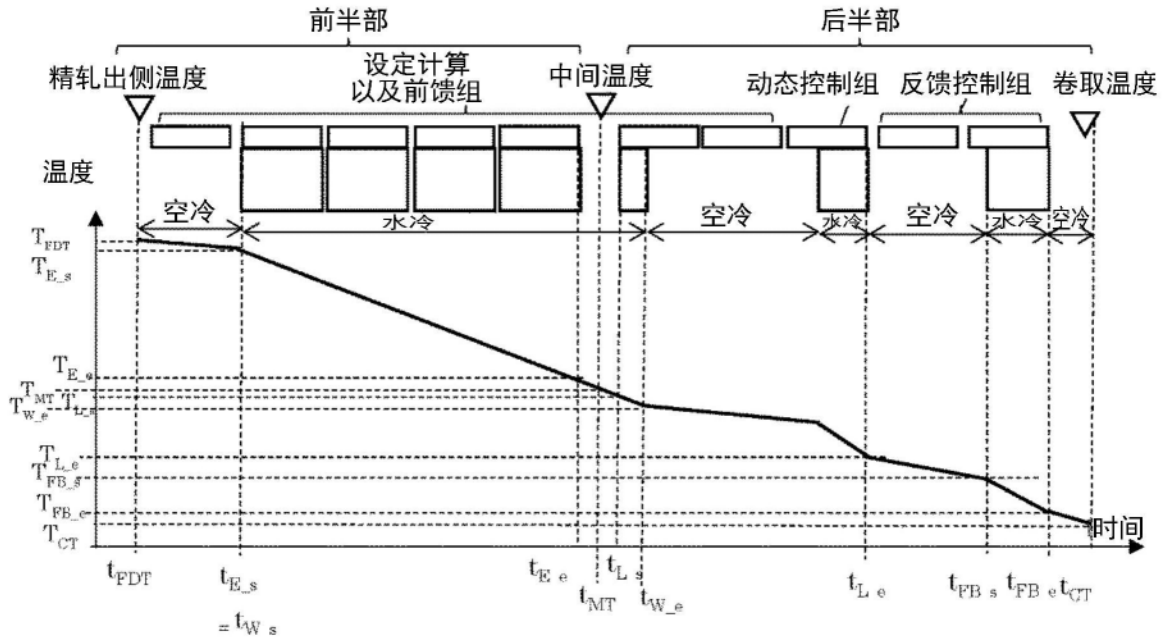


图5



图6



$t_{FDF}$ : 精轧出侧温度通过时刻  
 $t_{E_s}$ : 前半部水冷开始时刻  
 $t_{W_s}$ : 水冷开始时刻  
 $t_{E_e}$ : 前半部水冷结束时刻  
 $t_{WT}$ : 中间温度通过时刻  
 $t_{L_s}$ : 后半部水冷开始时刻  
 $t_{W_e}$ : 水冷结束时刻  
 $t_{L_e}$ : 后半部水冷结束时刻  
 $t_{FB_s}$ : 反馈水冷开始时刻  
 $t_{FB_e}$ : 反馈水冷结束时刻  
 $t_{CT}$ : 卷取温度通过时刻

$T_{FDF}$ : 精轧出侧温度温度  
 $T_{E_s}$ : 前半部水冷开始温度  
 $T_{W_s}$ : 水冷开始温度  
 $T_{E_e}$ : 前半部水冷结束温度  
 $T_{WT}$ : 中间温度温度  
 $T_{L_s}$ : 后半部水冷开始温度  
 $T_{W_e}$ : 水冷结束温度  
 $T_{L_e}$ : 后半部水冷结束温度  
 $T_{FB_s}$ : 反馈水冷开始温度  
 $T_{FB_e}$ : 反馈水冷结束温度  
 $T_{CT}$ : 卷取温度温度

图7

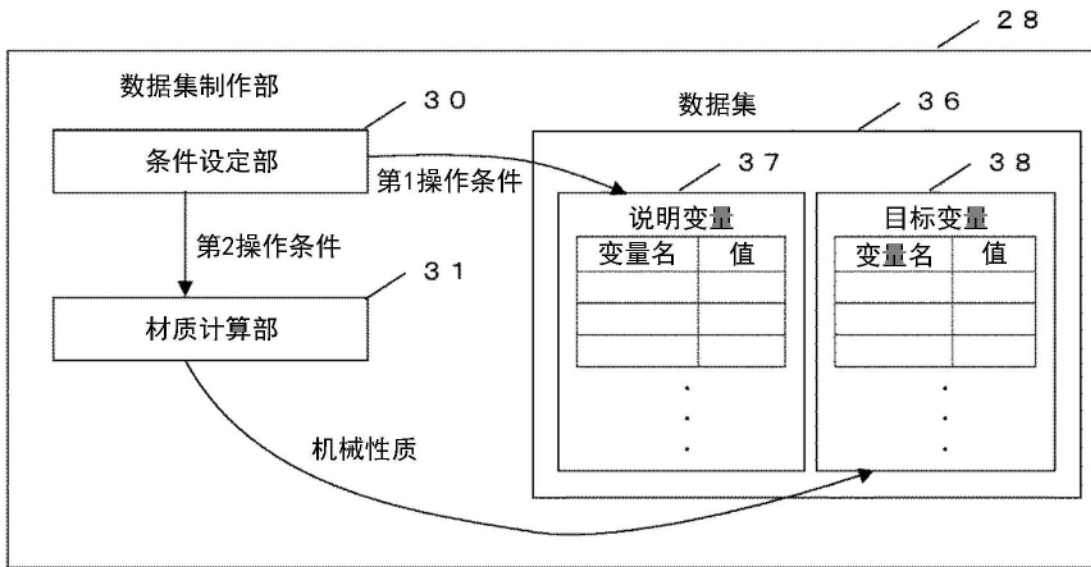


图8

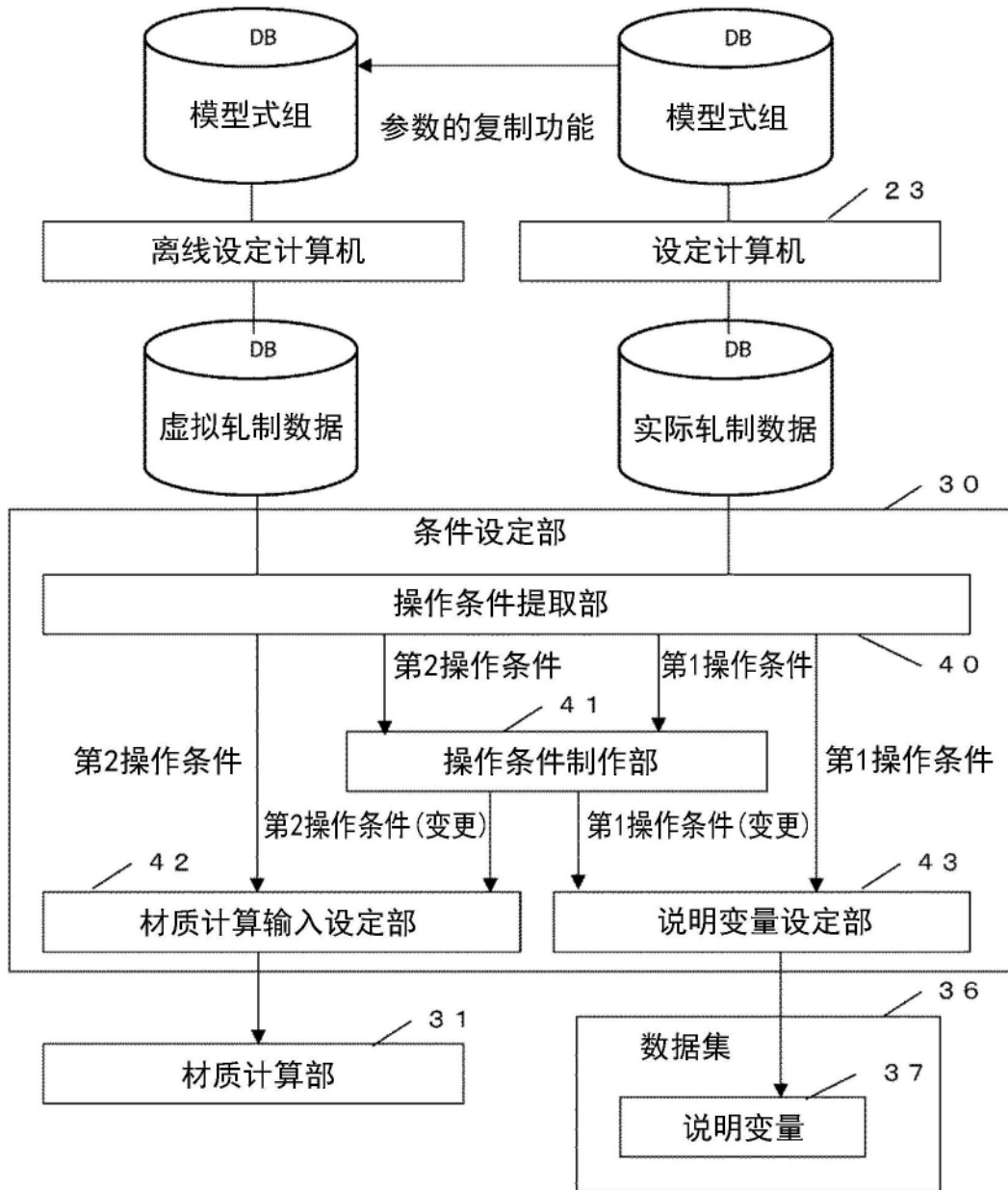


图9

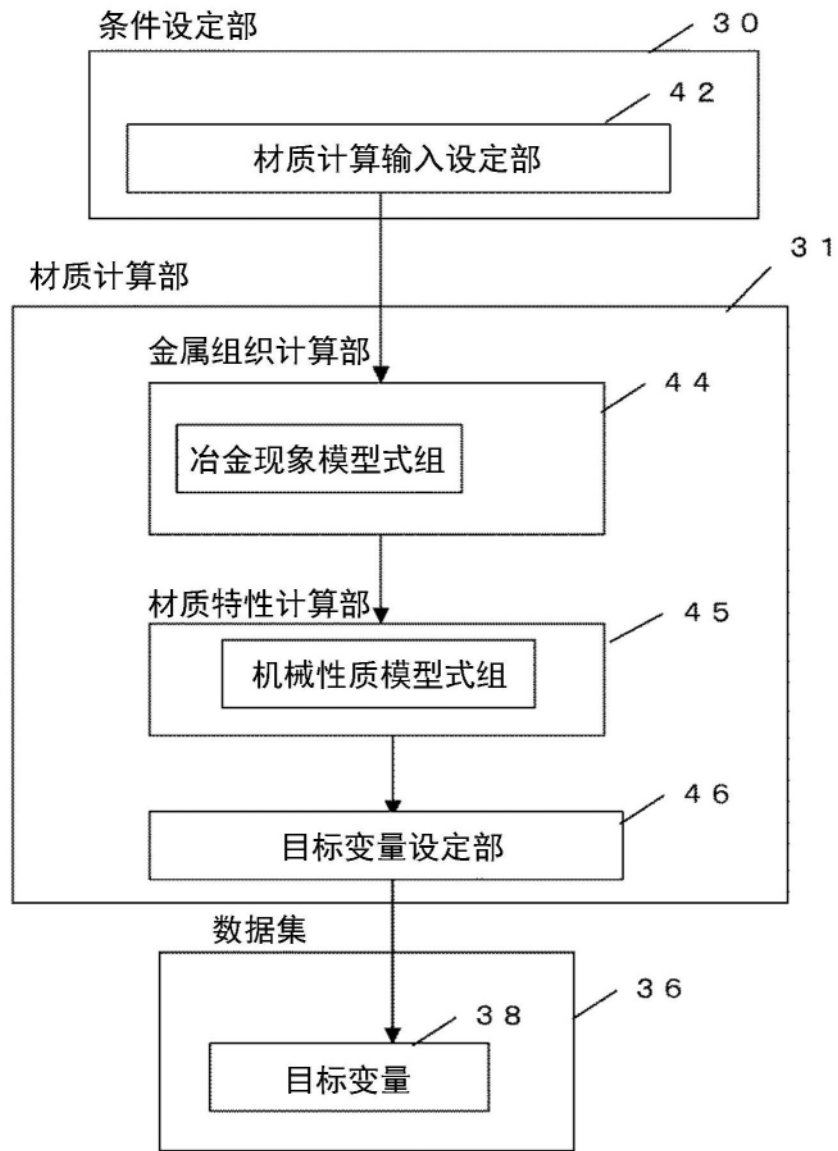


图10

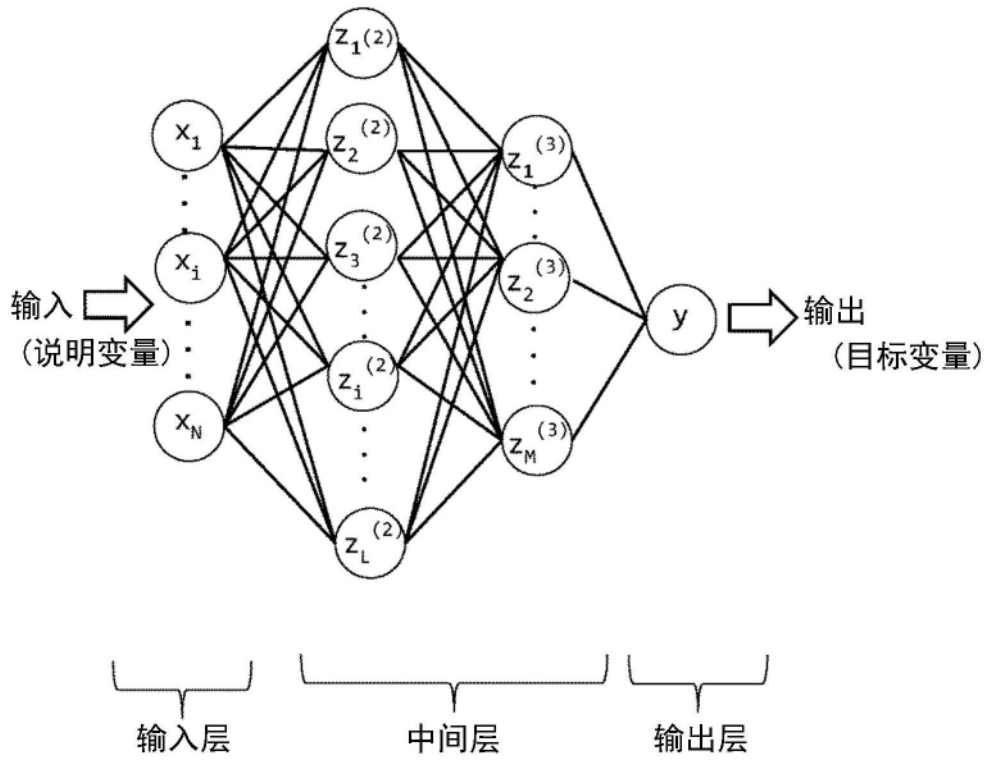


图11

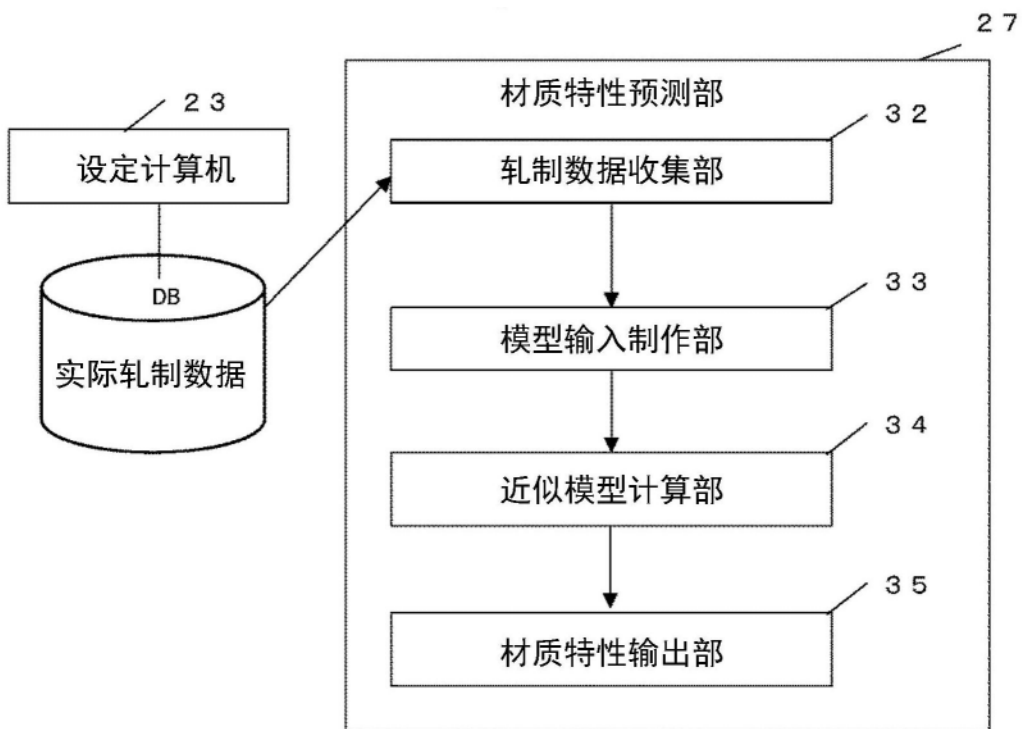


图12

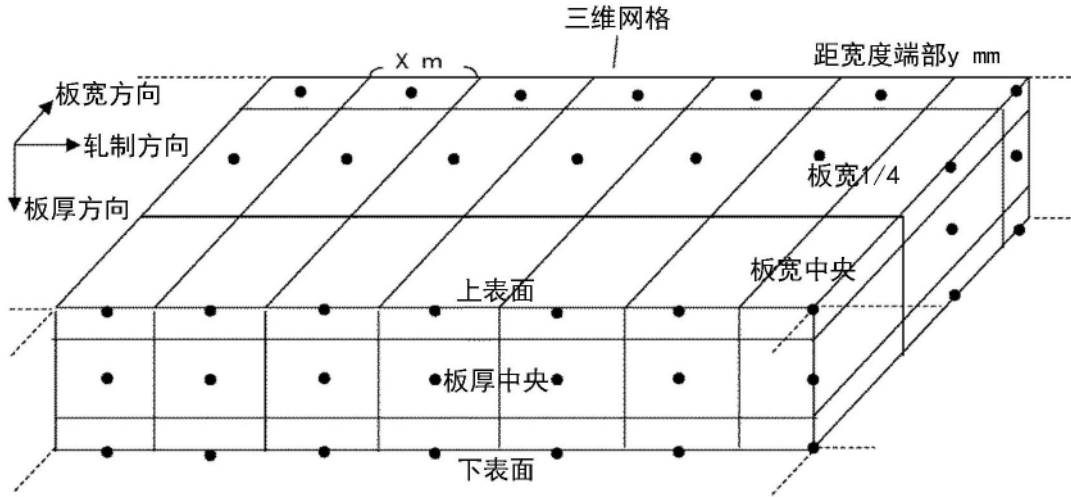


图13

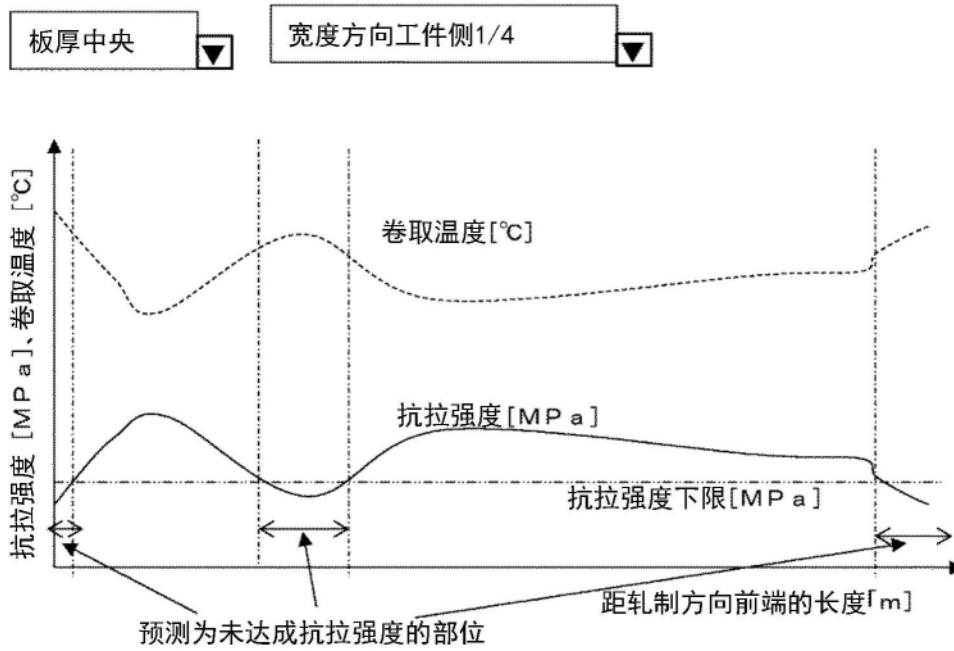


图14

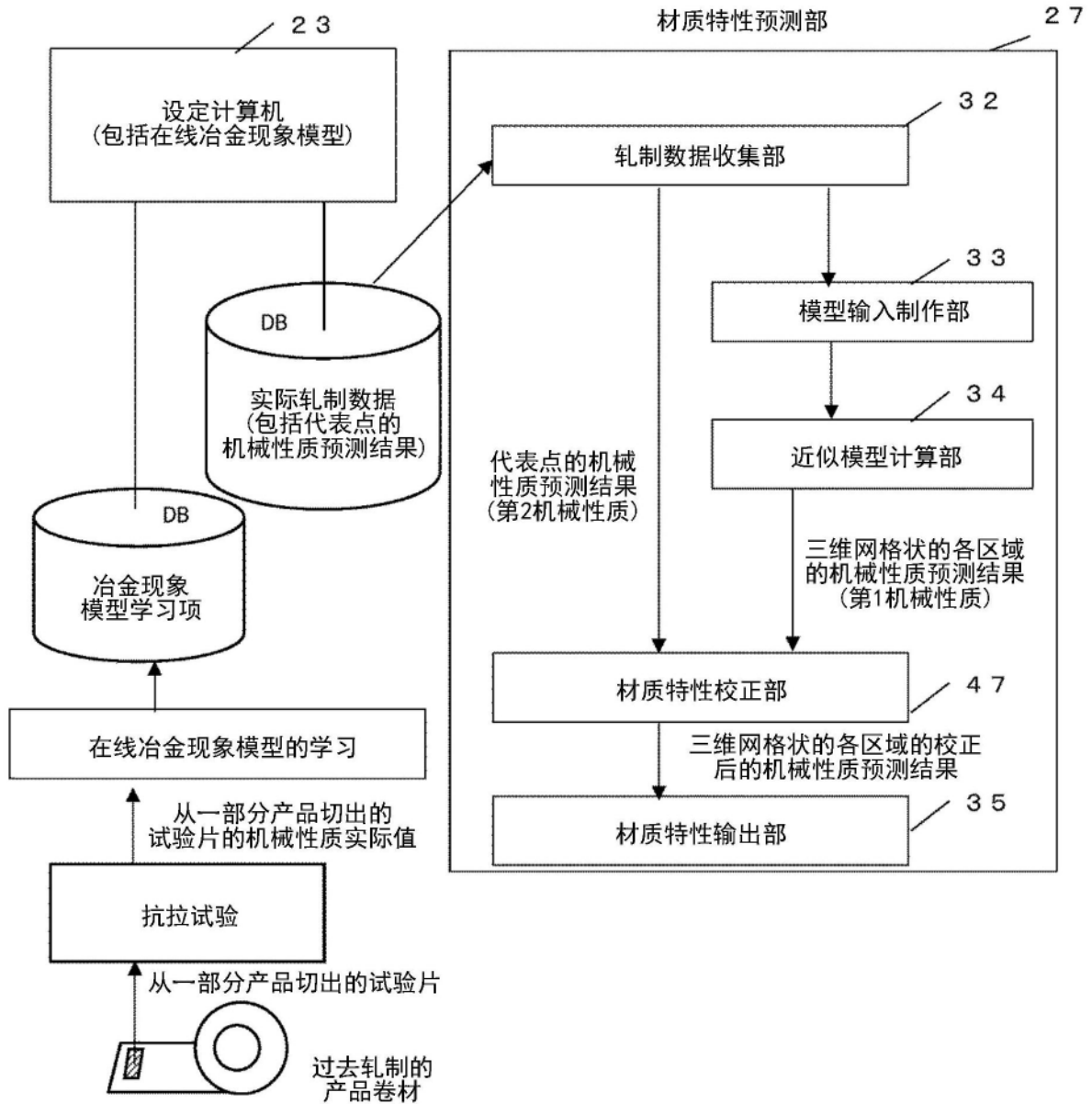


图15

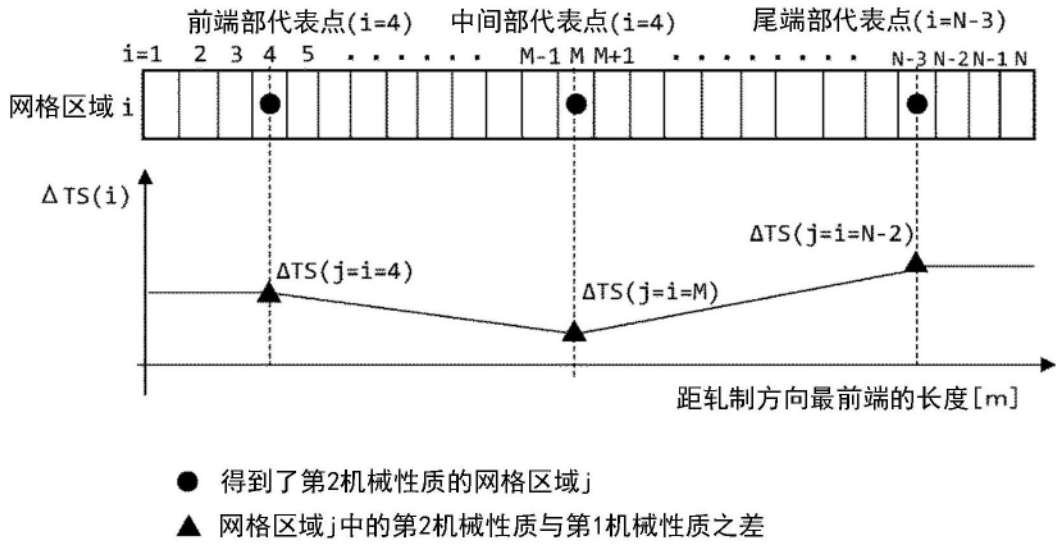


图16