

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl<sup>7</sup>

B22D 11/04

B22D 11/11



# [12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 200410074808.0

[43] 公开日 2005年3月23日

[11] 公开号 CN 1597182A

[22] 申请日 2004.8.30

[21] 申请号 200410074808.0

[30] 优先权

[32] 2003.8.29 [33] JP [31] 307108/2003

[32] 2003.11.26 [33] JP [31] 395818/2003

[71] 申请人 杰富意钢铁株式会社

地址 日本东京

[72] 发明人 系山誓司 藤村俊生 铃木真

上原博英 松崎健 多田睦

三木祐司 山内章

[74] 专利代理机构 中原信达知识产权代理有限责  
任公司

代理人 郭国清 樊卫民

权利要求书4页 说明书26页 附图7页

[54] 发明名称 生产超低碳钢板的方法

[57] 摘要

以高于 2.0m/min 的浇铸速度，浇铸碳质量百分含量为约 0.01% 或更低的超低碳钢板材，使用一个具有短边长度 D 为约 150 到约 240mm 的浇铸空间的铸模，以及一个具有每个横向宽度为 d 的若干喷口的浸入喷嘴，其中 D/d 比值在约 1.5 到约 3.0 的范围内。由此生产出无需对板材进行如精整的表面处理的高表面质量超低碳钢板材。

ISSN 1008-4274

1. 一种生产超低碳钢板材的方法，包括：  
提供一种连铸设备，包括具有短边长度  $D$  为约 150 到约 240mm  
5 的浇铸空间的铸模，以及具有至少一个横向宽度为  $d$  的喷口的浸入喷嘴，其中  $D/d$  比值在约 1.5 到约 3.0 的范围内；  
通过浸入喷嘴将钢水引入到铸模中；以及  
在连铸设备中以高于约 2.0mm/min 的浇铸速度浇铸钢水，来生产  
碳质量百分含量为约 0.01%或更低的超低碳钢板材。
- 10
2. 根据权利要求 1 的方法，还包括以约 185 次/min 或更低的频率振动铸模。
3. 根据权利要求 1 的方法，浇铸速度为约 2.4m/min 或更快。
- 15
4. 根据权利要求 1 的方法，其浸入喷嘴为双喷口喷嘴。
5. 根据权利要求 1 的方法， $D/d$  比值为约 2.1 到约 2.9。
- 20
6. 根据权利要求 1 的方法，超低碳钢板材是作为生产手机外壳的冷轧薄钢板的原材料。
7. 根据权利要求 1 的方法，还包括采用电磁力对铸模浇铸空间内的钢水进行滞流。
- 25
8. 根据权利要求 7 的方法，其中采用贯穿铸模厚度并大致覆盖整个铸模的静态磁场来产生电磁力滞流，其中包括上端磁场产生装置和下端磁场产生装置，  
上端磁场产生装置安装在包括钢水表面平面的铸模上部，下端磁  
30 场产生装置安装在上端磁场产生装置的下面。以及

浸入喷嘴安装在上端与下端磁场产生装置之间，浸入深度设定在约 200 到约 350mm 之间。

5 9. 根据权利要求 7 的方法，其中采用贯穿铸模厚度在整个铸模中静态磁场和交流磁场的叠加来产生电磁力滞流，其磁场产生装置安装在包括钢水表面平面的铸模上部，以及

浸入喷嘴安装在磁场产生装置的下端，浸入深度设定在约 200 到约 350mm 之间。

10 10. 根据权利要求 7 的方法，其中采用贯穿铸模厚度在整个铸模中静态磁场和交流磁场的叠加来产生电磁力滞流，使用的是上端磁场产生装置，另外，在贯穿铸模厚度上用下端磁场产生装置在铸模中产生静态磁场，

15 上端磁场产生装置安装在包括钢水表面平面的铸模上部，下端磁场产生装置安装在上端磁场产生装置的下面，以及

浸入喷嘴安装在上端与下端磁场产生装置之间，浸入深度设定在约 200 到约 350mm 之间。

20 11. 根据权利要求 1 的方法，其中钢水包括质量百分数约 0.01% 或更少的碳，质量百分含量约 0.01%到约 0.04%的硅，质量百分含量约 0.08%到约 0.20%的锰，质量百分含量约 0.008%到约 0.020%的磷，质量百分含量约 0.003%到约 0.008%的硫，质量百分含量约 0.015%到约 0.060%的铝，质量百分含量约 0.03%到约 0.080%的钛，质量百分含量约 0.002%到约 0.017%的铌，以及质量百分含量 0 到约 0.0007%  
25 的硼，其余为铁和不可避免的杂质。

12. 根据权利要求 11 的方法，其中钢水包括质量百分数 0.0005% 到 0.0090%的碳。

30 13. 一种生产超低碳钢板材的方法，包括：

通过浸入喷嘴将钢水引入到一个具有短边长度  $D$  为约 150 到约 240mm 的浇铸空间的铸模，其浸入喷嘴具有至少一个横向宽度为  $d$  的喷口，其中  $D/d$  比值在约 1.5 到约 3.0 的范围内；以及

5 在连铸设备中以高于 2.0mm/min 的速度浇铸钢水，来生产碳质量百分含量为约 0.01%或更低的超低碳钢板材。

14. 根据权利要求 13 的方法，还包括以 185 次/min 或更低的频率振动铸模。

10 15. 根据权利要求 13 的方法，浇铸速度为约 2.4m/min 或更快。

16. 根据权利要求 13 的方法，其浸入喷嘴为双喷口喷嘴。

17. 根据权利要求 13 的方法， $D/d$  比值为约 2.1 到约 2.9。

15

18. 根据权利要求 13 的方法，超低碳钢板材是作为生产手机外壳的冷轧薄钢板的原材料。

19. 根据权利要求 13 的方法，还包括采用电磁力对铸模浇铸空间内的钢水进行滞流。

20

20. 根据权利要求 19 的方法，其中采用贯串铸模厚度并大致覆盖整个铸模的静态磁场来产生电磁力滞流，其中包括上端磁场产生装置和下端磁场产生装置，

25

上端磁场产生装置安装在包括钢水表面平面的铸模上部，下端磁场产生装置安装在上端磁场产生装置的下面。以及

浸入喷嘴安装在上端与下端磁场产生装置之间，浸入深度设定在约 200 到约 350mm 之间。

30

21. 根据权利要求 19 的方法，其中采用贯串铸模厚度在整个铸

模中静态磁场和交流磁场的叠加来产生电磁力滞流，其磁场产生装置在包括钢水表面平面的铸模上部，以及

浸入喷嘴安装在磁场产生装置的下端，浸入深度设定在约 200 到约 350mm 之间。

5

22. 根据权利要求 19 的方法，其中采用贯串铸模厚度在整个铸模中静态磁场和交流磁场的叠加来产生电磁力滞流，使用的是上端磁场产生装置，另外，还采用电磁场产生装置在贯串铸模厚度整个铸模中产生静态磁场，

10 上端磁场产生装置安装在包括钢水表面平面的铸模上部，下端磁场产生装置安装在上端磁场产生装置的下面，以及

浸入喷嘴安装在上端与下端磁场产生装置之间，浸入深度设定在约 200 到约 350mm 之间。

15 23. 根据权利要求 13 的方法，其中钢水包括质量百分数约 0.01% 或更少的碳，质量百分含量约 0.01%到约 0.04%的硅，质量百分含量约 0.08%到约 0.20%的锰，质量百分含量约 0.008%到约 0.020%的磷，质量百分含量约 0.003%到约 0.008%的硫，质量百分含量约 0.015%到约 0.060%的铝，质量百分含量约 0.03%到约 0.080%的钛，质量百分含量约 0.002%到约 0.017%的铌，以及质量百分含量 0 到约 0.0007%  
20 的硼，其余为铁和不可避免的杂质。

24. 根据权利要求 23 的方法，其中钢水包括质量百分数 0.0005% 到 0.0090%的碳。

## 生产超低碳钢板的方法

## 5 发明领域

本发明是关于生产连铸超低碳钢板的方法，特别是关于生产专门用于制造手机外壳和高表面质量类似部件的钢板。

## 相关技术说明

10 用于制造如手机外壳的钢板，是采用深冲压的工艺，和/或以变形的的方法使之形成复杂的形状，必须具有良好的可模锻性。因此使用所谓的“超低碳钢”，其碳含量被减少到尽可能低的程度。超低碳钢的碳百分含量一般为质量的 0.01 或者更低。在上述的超低碳钢板中，用于制造手机外壳的冷轧薄钢板尤其具有良好的外观以及可着色性。

15

在生产超低碳钢的精轧工艺中，要经过以氧气进行氧化来去除钢水中碳含量的工序。因而，还采用去除钢水在氧化工序中所溶解氧气的脱氧工序，并使用脱氧剂如铝，镁和钛。在脱氧工序中，溶解在钢水中的氧气与脱氧剂反应生成氧化铝，氧化镁和氧化钛，所生成反应物以非金属夹杂物的形式残留在钢水中。

20

在将板材热轧和/或冷轧成薄钢板时，如果板材表面附近存在着上述非金属夹杂物，就会在薄钢板表面形成裂缝和/或缩孔等不利的缺陷。

25

在连铸过程中向钢水表面中加以氩气和铸造粉，以防止从漏斗向铸模提供钢水的浸入喷嘴堵塞。被卷入钢水中的氩气仅以气泡的形式保留在钢水中，或者与上述脱氧化过程的反应生成物（以下称之为“脱氧反应生成物”）相结合而生成保留在钢水中的气泡。上述两种情况

30

生类似脱氧反应生成物所形成的表面缺陷。

5 过去，连铸的普通板材不经过表面处理，即经过热轧生产冷轧薄钢板。然而，对生产手机外壳的板材，约 1 到 4mm 厚的表层部分被去除，例如，进行表面缺陷清除来去除脱氧反应生成物的夹杂物，气泡，铸造助熔剂，以及在热轧后会产生表面缺陷的类似物，然后进行热轧和冷轧。

10 如上所述板材的表面缺陷清除减少了作为原材料的板材的产量，另外，还不利地延误了工序。因此，在连铸设备生产板材的工序中，做出了很多尝试来防止板材表面缺陷的产生，而这些缺陷是导致上述薄钢板表面上缺陷的原因。

这些尝试的基本思想主要基于以下（1）到（6）点：

15 (1) 板材厚度增加，继而横截面积增加，由于在轧制时板材宽度受到限制，因而减小了浇铸速度（m/min）。因此钢水在铸模中的停留时间增加而并不降低生产率，所以，增加了时间使如脱氧反应生成物，铸造粉，气泡等杂质从铸模钢水的内部移到表面来。

20 (2) 浇铸所用的连铸设备有一个垂直部件，使脱氧反应生成物，铸造粉，气泡等能够更好的从铸模钢水的内部移到表面并分离。

(3) 在槽形板附近以电磁力产生横向的流动，防止钢水中的杂质被凝固壳截留（洗涤效应）。

(4) 适当地控制铸造粉的粘性，以减少铸造粉卷入钢水中的可能性。

25 (5) 适当地控制连铸时铸模的振动（垂直振动），以减小铸模中凝固壳棱角的产生（一种由于振动部分凝固壳向钢水侧倾斜的现象），继而减少脱氧反应生成物，铸造粉，气泡等在棱角中被截留的量。

30 (6) 以电磁搅动或者对从浸入喷嘴进入铸模中的钢水施加电磁力滞流来控制钢水流，以防止混有脱氧反应生成物的钢水进入铸模的底部。

5 例如，未经审查的日本专利公布 No.5-76993 所公开的一项技术中，按重量计碳含量小于 0.01%的钢水在连铸设备上进行浇铸，其纵向部分为 20m 或以上，浇铸速度为 1.0m/min 或以上，以 4ton/min 或以上的产量产出厚度超过 200mm，宽度超过 900mm 的板材，且所述的粉末粘度设定为 1.0 泊或以上，浸入喷嘴的惰性气流速度设定为 1L/min 或以上，电磁搅动沿水平方向作用在从槽形板到 1.5m 深的钢水区域中，速度为 15 到 40cm/sec。这项技术主要基于以上（1），（2），（3），（4）和（6）段内容。

10

另外，未经审查的日本专利公布 No.7-155902 所公开的一项技术中，适当地控制铸模的振动，以抑止容易将夹杂物截留其中的棱角部分的产生，该棱角部分是在板材表面初始凝固阶段形成的。这项技术主要基于以上（5）段内容。

15

然而，以上技术仍然存在一些问题。

20 如未经审查的日本专利公布 No.5-76993 所公开的，当板材横截面积增加，特别是厚度增加，浇铸速度超过 1.5m/min 时，板材表面附近由夹杂物或类似物所造成的缺陷数量并不如预期的减少。其原因是虽然槽形板部分的钢水流速  $v_m$  以横向的电磁力控制在最佳值，板材厚度增加后生产量增加了，在同横截面积没有增加时一样的浇铸速度（ $V_c$ ）和板材宽度（ $W$ ）的情况下，浸入喷嘴的注流速度  $V_i$  增加了。所以，虽然钢水流速  $v_m$  平均值的变化很小，在其改变量增加后，铸造助熔剂被更多的卷入到了钢水中。由此可见，板材表面的洁净不仅  
25 仅是由槽形板附近的钢水流速所决定的。

30 另外，从浸入喷嘴喷出钢水流的影响较为显著，铸模短侧的壳体生长被一定程度地延迟。其原因是在板材连铸设备中，当钢水注流进铸模时，所谓的“双喷口”提供钢水均匀地沿着铸模浇铸空间的宽度



方向分布，这种双喷口的喷出宽度相对于铸模内的短侧长度  $D$ （对应于板材厚度）较小，在板材厚度方向上钢水的流速是变化的。因此，高流速钢水会不均匀冲击沿着短侧的凝固壳部分，结果上述凝固壳部分的生长被延迟。另外，在板材厚度方向上的钢水流速波动也一定程度地造成了上述槽形板附近钢水流速的波动。

5  
10 接下来，在未经审查的日本专利公布 No.7-155902 所公开的技术中，为了改善板材表面质量，其由浇铸速度，铸模振幅和振动频率所决定的负速铸坯时间  $T$ ，由调整铸模振动状态，特别是减小铸模振幅以及增加铸模振动频率，被控制在特定范围内，此时会产生如下问题。

15 当超低碳钢的浇铸速度高于  $2.0\text{m}/\text{min}$ ，铸模振动频率高于  $185$  次  $/\text{min}$  时，会发生钢水表面平面突然和大幅度变化的异常现象，尽管这种现象不是频繁的被观察到。因此，铸造助熔剂可能会卷入到钢水中，或被凝固壳截留，继而造成所铸薄钢板的表面缺陷。所以，在浇铸速度超过  $2.0\text{m}/\text{min}$  时经常会产生由于铸造助熔剂所造成的表面缺陷。因而不能稳定地生产具有高质量表面的产品。

20 如上所述，当超低碳钢板材用于制造手机外壳或类似部件时，以速度高于  $2.0\text{m}/\text{min}$  的高速浇铸，在对板材不进行表面缺陷清除的情况下，当今技术是无法稳定地生产出高质量板材的。

25 因而若提供一种制备超低碳板材的连铸方法，该方法无需对板材进行表面缺陷清除就能以甚至高于  $2.0\text{m}/\text{min}$  的浇铸速度稳定地生产高表面质量的板材，这是非常有益的。

#### 发明内容

本发明提供一种生产超低碳钢板材的方法，包括：

30 提供一种连铸设备，包括安装有短边长度  $D$  为约  $150$  到约  $240\text{mm}$  的浇铸空间的铸模，以及安装有至少一个横向宽度为  $d$  的喷口的浸入喷嘴，其中  $D/d$  比值在约  $1.5$  到约  $3.0$  的范围内；

通过浸入喷嘴将钢水引入到铸模中；以及

在连铸设备中以高于 2.0mm/min 的速度浇铸钢水，来生产碳质量百分含量为 0.01%或更低的超低碳钢板材。

5 板材连铸方法优选还可以包括以 185 次/min 或更低的频率振动铸模。钢水表面平面突然和大幅度变化的异常现象产生的可能性被减小。因此，当铸模以 185 次/min 或更低的频率振动时，钢水表面和铸模振动之间所发生的共振减少了，所以由助熔剂导致的缺陷量就减少了。

10

浇铸速度可以为约 2.4m/min 或更快。棱角深度变成约 0.7mm 或者更小，也就是在浇铸速度为约 2.4m/min 或更快时截留杂质的深度不超过棱角深度。因此浇铸速度优选设定为 2.4m/min 或更快。

15 如上述的浸入喷嘴，一般使用圆筒形喷嘴（所谓的“直型喷嘴”）或者双喷口喷嘴，该双喷口喷嘴的前端封闭，且在对着铸模的两个短边安装两个近似圆形的喷口。

20 在结合板材厚度，浸入喷嘴耐久性和所需流速考虑产品质量时，短边长度 D 对浸入喷嘴喷口横向宽度 d 的 D/d 比值优选为约 2.1 到约 2.9。

上述超低碳钢板材优选作为作为生产手机外壳的冷轧薄钢板的原材料。

25

上述板材连铸方法优选进一步包括对铸模浇铸空间内的钢水施加电磁力滞流。下面段落（A）到（C）作为即为施加电磁力滞流的优选方法：

30 （A）采用贯穿铸模厚度并大致覆盖整个铸模的静态磁场来产生电磁力滞流，其中使用了上端磁场产生装置和下端磁场产生装置。

5 上端磁场产生装置安装在包括钢水表面平面的铸模上部，下端磁场产生装置安装在上端磁场产生装置的下面。浸入喷嘴安装在上端与下端磁场产生装置之间，浸入深度设定在约 200 到约 350mm 之间。

5 (B) 使用安装在包括钢水表面平面的铸模上部的上端磁场产生装置，在贯穿铸模厚度的整个铸模中，重叠施加静态磁场和交流磁场来产生电磁力滞流。浸入喷嘴安装在磁场产生装置的下端，浸入深度设定在约 200 到约 350mm 之间。

10 (C) 电磁力滞流是通过如下方式产生的：使用上端磁场产生装置，在贯穿铸模厚度的整个铸模中重叠施加静态磁场和交流磁场，而且通过使用较低的磁场产生装置，在贯穿铸模厚度的整个铸模中施加静态磁场。上端磁场产生装置安装在包括钢水表面平面的铸模上部，下端磁场产生装置安装在上端磁场产生装置的下面。浸入喷嘴安装在上端与下端磁场产生装置之间，浸入深度设定在约 200 到约 350mm 之间。

15

#### 图形说明

图 1 表示根据本发明各方面，浇铸速度和棱角深度之间的关系；

图 2 表示根据本发明各方面，存截留物距板材表面深度  $h$  与截留物的量之间的关系，该关系是在不同浇铸速度下得到的；

20 图 3 表示根据本发明各方面，存截留物距槽形板距离  $L$  与截留物的量之间的关系，该关系是在不同浇铸速度下得到的；

图 4 表示根据本发明各方面，板材厚度和浇铸速度对短边产生隆起量的影响；

25 图 5 表示根据本发明各方面，板材厚度对产品表面缺陷比例的影响；

图 6 表示根据本发明各方面，浇铸速度对产品表面缺陷比例的影响；

图 7A 到 7C 分别为根据本发明各方面所使用的适当的铸模，以及带有磁场产生装置的连铸铸模的示意图；

30 图 8 为根据本发明各方面，采用交流振荡磁场一个例子的示意

图；以及

图 9 为根据本发明各方面，采用交流行波磁场一个例子的示意图。

## 5 详细内容

我们公开了适当地控制浇铸速度，连铸铸模浇铸空间短边长度  $D$ ，短边长度  $D$  对浸入喷嘴喷口横向宽度  $d$  的比值  $D/d$ ，并在需要时适当地控制铸模的振动频率，或在钢水流动中有效地使用电磁滞流可以较好的生产超低碳含量的板材。

10

根据本发明各方面，这种钢材是碳质量百分含量约为 0.01%或更低的所谓的“超低碳钢”。除了碳的其它成分没有特别限制。但是，首选的是经过深冲压工艺可以生产手机外壳和类似部件的一种钢材。本发明的一个优点是，所生产的钢材几乎没有由夹杂物引起的缺陷，夹杂物几乎不能存在于从板材表面到一定深度的区域中，在后续工序中该区域不需要被剥离掉。超低碳钢由此可以具有本发明的许多优点，在超低碳钢中，如氧化铝等非金属夹杂物很容易在精加工工艺中作为脱氧反应生产物而被形成。

15

20

超低碳钢中的典型成分（不包括成分碳），以下举例进行说明：质量百分含量约 0.01%到约 0.04%的硅，质量百分含量约 0.08%到约 0.20 的锰，质量百分含量约 0.008 到约 0.020 的磷，质量百分含量约 0.003%到约 0.008%的硫，质量百分含量约 0.015%到约 0.060%的铝，质量百分含量约 0.03%到约 0.080%的钛，质量百分含量约 0.002%到约 0.017%的铌，以及质量百分含量 0 到约 0.0007%的硼。

25

依照本发明的连铸设备是一种生产钢板材的连铸设备，可以从纵向连铸设备，纵向挠曲连铸设备以及弯曲连铸设备中任意选择。但是在以上所提设备中，纵向挠曲连铸设备就生产率和产品质量而言尤其有利。

30

铸模为所谓的“板材连铸铸模”。其短边长度为约 150 到约 240mm。铸模的长边长度不做特殊限制，优选大致等于普通冷轧薄钢板的长度（特别是用于手机的冷轧薄钢板），比如约 900 到 2,200mm。

5 短边长度对应于生产板材时的板材厚度，长边长度对应于板材宽度。

纵向铸模的高度不做特殊限制。但是，因为所形成的凝固壳具有一定的厚度，即便在浇铸速度超过 2.0m/min 时，浇铸薄钢板通过铸模也不会产生隆起，所以高度最好设定为约 800 到约 1000mm。

10

一种浸入喷口作为喷嘴将钢水从漏斗注入到铸模的空间中。浸入喷嘴的材料可以为如氧化铝-石墨的普通材料。但材料并不只限于此。

另外，关于浸入喷嘴的形状，可以是一般所提到的圆筒状喷嘴（所谓的“直型喷嘴”），或者双喷口喷嘴，该双喷口喷嘴的前端封闭，且在对着铸模的两个短边安装两个近似圆形的喷口。喷口的横截面形状可以是圆形，正方形，或矩形（在横向较长，或者在纵向较长），并且没有特殊限制，只要喷口最大宽度  $d$  满足本发明情况的类型都可以使用。

20

还有基于以下原因，浇铸速度设定为 2.0m/min 以上。浇铸速度优选设定为 2.4m/min 或更快。

当采用电磁力对连铸设备铸模浇铸空间内的钢水进行滞流时，作为一种优选方法，例如，未经审查的日本专利公布 No.2-284750 所提到的沿长侧边宽度在整个铸模中施加静态磁场，或者未经审查的日本专利公布 No.57-17356 所提到的仅在钢水喷出位置施加静态磁场。在这里可以将 JP No.2-284750 和 JP No.57-17356 的主要思路结合起来作为参考。

30

根据本发明在铸模浇铸空间的短边长度（板材厚度）设定为约 150 到约 240mm，浇铸速度设定为 2.0m/min 以上时，浇铸会产生一些不同的现象。接下来，将说明有关以上所提现象的一些新的发现。以下将夹杂物，气泡以及类似物称作“杂质”。

5

#### （1）减少截留杂质的区域

槽形板部分最初凝固壳的形成，即所说的“棱角”，在浇铸速度  $V_c$  设定为 2.0m/min 以上，最好 2.4m/min 或更快时，就会得到明显的抑止。我们认为其原因是从钢水表面平面下任意固定深度处，形成的凝固壳的厚度会随着浇铸速度  $V_c$  增加而减小，因为钢水静压的影响，作用模具侧面的力要大于棱角向钢水倾斜的力，后者是由凝固壳的热收缩所引起的并且依赖于其厚度。另外当板材厚度减小时，在厚度方向上壳收缩量的绝对值“板材厚度×温度差×热膨胀系数”在减小，壳体向钢水侧面的倾斜会进一步得到抑止，最后抑止棱角倾斜的效果会更为明显。

10  
15

图 1 表示了浇铸速度对棱角深度的影响。在浇铸速度高于约 2.0m/min 并且铸模浇铸空间的短边长度（板材厚度）为约 240mm 或更少时，棱角深度变为 1mm 或者更小。而且，在浇铸速度为约 2.4m/min 或更快时，棱角深度变为 0.7mm 或者更小。

20

#### （2）抑止杂质的吸收

伴随着凝固过程，由于集中在凝固壳界面上的溶解物的偏析，产生了表面张力梯度，该梯度所产生的力使得杂质易于在凝固壳界面上被吸收或者截留。因此尝试了减少溶解元素硫或钛的浓度的方法，对提高吸收或截留杂质的力产生了明显的影响。但是在某些情况下，改变成分可以会有不利的一面，如当减少硫时会增加成本，当减少钛时会降低质量。

25

30

根据本发明，增加浇铸速度  $V_c$  会减小在凝固壳界面吸收或者截

留杂质的力。即当浇铸速度  $V_c$  高时，如为 2.0m/min 以上，因为在槽形板部分的凝固量减少了，偏析量也减少了，所以吸引杂质的表面张力梯度也减小了。所以，被吸收或者截留在凝固壳边侧的杂质量也减少了。

5

### (3) 截留杂质厚度的减少

图 2 表示在板材表面部分，距截留杂质的板材表面截留深度  $h$  与截留杂质量之间的关系。另外，图 3 表示截留杂质量与距槽形板（钢水表面）距离  $L$  之间的关系，该值是通过转换距板材表面截留深度  $h$  得到的：

10

$$h = k(L/V_c)^{1/2}$$

在该等式中， $V_c$  表示浇铸速度，凝固常数  $k$  为  $20\text{mm} \cdot \text{min}^{-1/2}$ 。

从图 2 和 3 中可见，杂质被壳体截留在从钢水表面到深度为 20mm 的区域中。另外，当浇铸速度增加时截留深度减小，当浇铸速度  $V_c$  为 2.0m/min 以上时，距板材表面的截留深度为 1mm 或更少。

15

当截留深度为 1mm 或更少时，虽然杂质被壳体所截留，但在通过热轧工序和冷轧工序等生产产品的后续工艺中，这些杂质被剥离掉，和浇铸薄钢板表面氧化皮一起被清除。由此可以不进行板材处理就可得到无缺陷的产品。另外，在浇铸速度为 2.4m/min 或以上时，棱角厚度变成 0.7mm 或者更少，截留深度  $h$  也不会超过棱角厚度。所以浇铸速度最好设定为 2.4m/min 或以上。

20

### (4) 杂质截留可能性的减少

从钢水表面到深度 20mm 的区域中杂质易于被凝固壳截留，当浇铸速度增加时，凝固壳在该区域的停留时间也减少。因此，即便在钢水中含有同样的杂质量，杂质截留在凝固壳中的可能性也减少了。例如，当  $V_c$  为 3.0m/min，杂质截留的可能性降到了  $V_c$  为 1.5m/min 时的一半。

30

### (5) 防止钢水表面平面突然变化的优选的铸模振动频率

5 当以  $V_c$  高于约 2.0m/min 的速度浇铸时，因为铸模中凝固壳的厚度进一步减小，所以产生了隆起现象，尽管这种现象不是很明显。隆起现象就是凝固壳在钢水静压的影响下被推向铸模的边侧。在隆起现象中，当壳体温度高，且钢的类型是低碳钢，或与其它类型的钢相比具有较小壳体强度的钢时，隆起（被推向铸模）的速度变得比铸模振动速度高。铸模通常有一个锥形体来补偿由凝固收缩和/或热收缩造成的体积收缩，当该铸模垂直振动时，伴随着铸模下降凝固壳以隆起量  $\delta_b$  隆起。相反，伴随着铸模上升，铸模以大致等于  $\delta_b$  的推力  $\delta_p$  推向壳体并使之隆起。经过简单的计算，可知由体积改变造成的钢水表面平面变化较小，约小于 1mm。但是，当上述现象重复进行时，钢水表面平面的振动与铸模的振动会彼此共振。于是在少数情况下发生钢水表面平面突然和大范围变化的异常现象。使用涡流型平面传感器不容易在钢水表面检测到这种现象，因为这种异常现象发生在铸模的边部。但是，我们首先是在研究浇铸钢板材的一个振动特征随时间失真时发现了这一现象。特别是，当浇铸速度为 2.0m/min 以上，并且铸模振动频率较高，例如高于约 185 次/min 时，上述异常现象比较容易观察到。因而铸造助熔剂可能卷入到钢水中并可能被截留在凝固壳里，继而在浇铸薄钢板的表面产生缺陷。据此，在浇铸速度为约 2.0m/min 以上时，由铸造助熔剂所造成的表面缺陷就会突然增加。最终减少表面缺陷会变得很困难。

25 但是，从铸模振动频率和与助熔剂相关缺陷占总缺陷比例之间的关系，即作为表示突然异常现象发生率指标的比例，可以发现当铸模振动频率设定为约 185 次/min 或更少时，即便浇铸速度  $V_c$  为 2.0m/min 以上时也会有效地防止上述异常现象。

30 另外，铸模振动频率的下限的设定可以考虑减少截留杂质的区域，从而不会增加棱角深度，也要考虑到防止在铸模中润滑剂性能（铸



模助熔剂消耗量)的减少导致的约束断裂。例如, 负速铸坯时间优选约 0.02 秒或以上, 负速铸坯长度最好为约 0.1mm 或更长。负速铸坯时间是定义铸模振动状况的特征值, 表示铸模下降速度高于浇铸薄钢板下降速度的一段时间。负速铸坯长度表示在负速铸坯时间内铸模与浇铸薄钢板之间, 铸模经过所拉拔的浇铸薄钢板的最大距离。假定铸模的振动波形为正弦波形时满足  $\pi Sf/Vc > 1$ , 其中 S 表示铸模的振幅, f 表示铸模频率,  $Vc$  表示浇铸速度。例如, 当  $Vc$  等于 2.0m/min, S 等于 9mm 时, 铸模频率 f 的下限是 71cpm (次/min), 当 S 等于 5mm 时, 下限是 127cpm (次/min)。铸模的振动波形无须限定为正弦波形。同样, 考虑到连铸设备振动状况的特殊性和可控性, 频率的下限和波形可以被适当地确定。

#### (6) 防止短边隆起 (铸模连铸空间短边长度设定上限的原因)

虽然使用的浸入喷嘴满足铸模铸造空间的短边长度 (板材厚度) D 对浸入喷嘴喷口横向宽度 d 的 D/d 比值, 但当短边长度太大时, 浇铸速度  $Vc$  超过 2.0m/min 会发生问题。特别是, 短边隆起会导致板材形状缺陷和/或断裂。相反, 当短边长度小, 浇铸速度  $Vc$  高时, 由于钢水静态压力所造成的经过铸模板材短边的隆起会被减少, 从而产生断裂的危险较小。

但是如图 4 所示, 当短边长度 (即板材厚度) 超过 240mm 时, 虽然浇铸速度为 2.4m/min, 由于增加板材厚度所以从浸入喷嘴喷口所喷出钢水的速度增加了, 电磁滞流所引起的第二流速也增加了。则不容易抑止短边壳体生长的延迟。铸模底端的短边隆起变得明显, 从而增加了产生断裂的危险 (隆起量 10mm 或更多)。

另外, 当短边长度 (即板材厚度) 超过 240mm 时, 基于以上相同的原因, 钢水表面平面的波动被从凝固壳的短边流出的钢水喷流的倒流和次流所加剧, 容易将铸造助熔剂卷入并截留。另外, 由于板材厚度的增加, 钢水很容易在槽形板部位特别是在浸入喷嘴处产生停

滞。结果如图 5 所示，板材表面缺陷和产品缺陷的数量增加了。

#### (7) 铸模连铸空间短边长度设定下限的原因

铸模连铸空间短边长度（板材厚度）最好不要小于约 150mm，  
5 原因如下。

在钢水表面平面可控性的角度上看，当板材横截面积减少过多时不能得到以上效果（1）。其原因是当改变浇铸量时，钢水表面平面的波动相比于生产较大横截面积板材时增加了。而且，由于钢水产生  
10 波纹，深度为 1mm 或更多的棱角的产生比例会增加。另外由于钢水表面平面的波动很容易将铸造助熔剂卷入并截留（参见图 5）。此外，普通浸入喷嘴的外径是由考虑到耐久性所确定的壁厚（约 20mm 或更多）的总数所决定的，其内径（约 70mm 到约 130mm）的确定，是确保从 5.4ton/min（150mm 厚，2200mm 宽，速度  $V_c$  为 2.1m/min 或更快）  
15 到 14.5ton/min（240mm 厚，2200mm 宽，速度  $V_c$  为 3.5m/min 或更快）的通过量。在这种情况下，当短边长度  $D$ （板材厚度）太小时，喷嘴外壁与凝固壳长边的距离太小（小于 20mm），其间的流动变得不均匀而会导致纵向裂纹的产生。在极端情况下，凝固壳与喷嘴相接触并被粘连，导致发生断裂。因此短边长度  $D$ （板材厚度）的设定不  
20 小于 150mm（内径 70mm+整个外壁厚度 40mm（ $20 \times 2$ ）+喷嘴外壁与凝固壳长边的距离 40 mm（ $20 \times 2$ ））。

另外，对铸模浇铸空间长边长度（板材宽度）没有特别限制，可以等于普通冷轧薄钢板的宽度（特别是用于手机的冷轧薄钢板）。长度  
25 最好为约 900 到 2200mm。

铸模纵向高度没有特别限制。但是，高度最好设定为约 800 到 1000mm，因为凝固壳必须以一定的厚度形成，这样浇铸钢板材通过  
30 铸模时才不会隆起，即便浇铸速度在 2.0m/min 以上时也是这样。

(8) 铸模浇铸空间短边长度  $D$  对喷口横向宽度  $d$  的  $D/d$  比值的优化。

5 钢水被减速时，从浸入喷嘴喷口喷出的钢水在宽度方向上延展，直到冲击到短边壳体。但是，冲击到短边壳体钢水的喷射速度的减速和分散程度取决于板材宽度  $W$ ，浇铸速度  $V_c$  以及  $D/d$  比值。当浸入  
10 喷嘴的喷口宽度  $d$  相对于铸模浇铸空间短边长度（板材宽度） $D$  太小时（ $D/d$  太大），在  $D$ ， $V_c$  和  $W$  增加时，钢水高速冲击短边壳体区域的宽度与板材厚度（短边宽度）的比值降低。所以凝固壳的生长变得不均匀并且易于被干扰。同样，当凝固壳的厚度增加太多时可能会发生断裂。另一方面，当浸入喷嘴的喷口宽度  $d$  相对于铸模浇铸空间  
15 短边长度（板材宽度） $D$  太大时（ $D/d$  太小），在  $D$ ， $V_c$  和  $W$  增加时，因为钢水喷射流在冲击到凝固壳短边之前先冲击到凝固壳的长边，所以凝固壳长边的生长被干扰，从而导致横向裂纹和/或斜向裂纹的产生。另外，当凝固壳厚度太小的一些情况下会发生断裂。在以上两种情况中很难观察到板材宽度的影响。

15 此外，钢水冲击到凝固壳短边后上升，然后在长边沿钢水表面流动，当  $D/d$  比值因为在板材厚度方向的速度变化而超出最佳范围时，槽形板附近的流速变化也会受到一定程度地影响，所卷入的铸模助熔剂量也会增加。

20 由确保从约 5.4ton/min 到约 14.5ton/min 的通过量所决定的喷口最大横向宽度  $d$  优选等于或小于由耐磨性考虑的浸入喷嘴的内径（70 到 130mm）。由此，铸模浇铸空间最佳短边长度（板材厚度） $D$ （150 到 240mm）和喷口横向宽度  $d$ （70 到 130mm）可以确定  $D/d$  比值。  
25 当长时间浇铸到 300 分钟或更长时，整个外壁厚度优选设定为  $25\text{mm} \times 2 = 50\text{mm}$  或更多。另外，铸模和喷嘴之间的距离优选设定为 40mm 或更多以确保质量更稳定。即除内径所需厚度为  $50 + 40 \times 2 = 130\text{mm}$ 。  
30 另一方面，在短时间浇铸时，整个外壁厚度可设定为  $20\text{mm} \times 2 = 40\text{mm}$ ，铸模和喷嘴之间的距离可设定为约 20mm。即除内径所需厚度为  $40 + 20 \times 2 = 80\text{mm}$ 。

---

在表 1 中表示了 D/d 比值对产品质量影响的调查结果。D/d 比值优选设定为 1.5 到 3.0 之间。但是，当考虑到最佳板材厚度，浸入喷嘴的耐久性和所需流速时，D/d 比值更优选设定为约 2.1 到约 2.9 之间。

表 1

序号	板材厚度 D(mm)	板材宽度 W(mm)	浇铸速度 Vc(m/min)	浸入喷嘴 喷口横向 宽度 d(mm)	D/d	铸模振幅 S(总振幅) (mm)	铸模振 动频率 f (次/ 分钟)	tn* (s)	电磁滞流	板材表面 裂纹数 ( $\geq$ 5mm)/(m <sup>2</sup> )	冷轧薄钢 板表面缺 陷率(%)	发生断 裂	备注
1	220	1100-1800	2.4	60	3.67	7	160	0.098	类型 1	65	2.1	在短边 断裂 BO	对比例
2	220	1100-1800	2.4	70	3.14	7	160	0.098	类型 1	23	0	否	对比例
3	220	1100-1800	2.4	75	2.93	7	160	0.098	类型 1	0	0	否	实施例
4	220	1100-1800	2.4	80	2.75	7	160	0.098	类型 1	0	0	否	实施例
5	220	1100-1800	2.4	130	1.69	7	160	0.098	类型 1	5	0	否	实施例
6	235	1100-1800	2.4	88	2.67	7	160	0.098	类型 2	0	0	否	实施例
7	235	1100-1800	2.4	100	2.35	7	160	0.098	类型 2	0	0	否	实施例
8	235	1100-1800	2.4	120	1.96	7	160	0.098	类型 2	1	0	否	实施例
9	235	1100-1800	2.4	160	1.47	7	160	0.098	类型 2	$\geq$ 100	23.5	在长边 断裂 BO	对比例

类型 1: EMBR 类型 2: EMLS  $tn^* = 60/f \cdot tp$   $tp = 60 / (\pi \cdot Sf) \times \text{acos}(-1000Vc / \pi Sf)$  COMP.EX: 对比例

### (9) 电磁力滞流

当浇铸速度  $V_c$  为约 2.4m/min 或以上时, 或者通过量为约 7ton/min 或更多时, 虽然  $D/d$  经过优化, 但可以观察到产品缺陷率的稍微增加。

5

如上所述, 优选能够再用电磁力滞流, 在滞流的作用下, 可使操作更稳定且可改善质量。。

对于使用电磁力滞流的方法, 可以采用上述未经审查的日本专利公布 No.2-284750 和 JP No.57-17356 所公布的技术。

10

在图 7A 到 7C 中示意性地表示出适用于本发明的带有磁场产生装置的连铸铸模。

图 7A 表示磁场产生装置 1 安装在包含钢水表面平面的铸模上部和在下方预定距离处, 以在分两段施加静态磁场。图 7B 表示磁场产生装置 2 只安装在包含钢水表面平面的铸模上部, 施加静态磁场与交流磁场所叠加的磁场。图 7C 表示磁场产生装置 2 安装在包含钢水表面平面的铸模上部, 以施加静态与交流磁场所叠加的磁场, 磁场产生装置 1 安装在磁场产生装置 2 下方预定距离处以施加静态磁场。

15

20

在上述各种磁场产生装置中, 在用作产生静态磁场的装置时, 直流磁场的磁通量密度值优选设定为约 1000 到约 7000 高斯。该值可以应用到两种情况, 即在上下两端安装两个装置时以及仅在下端安装一个装置时。

25

对于交流磁场有两种, 即交流振荡磁场和交流行波磁场, 在本发明中, 这两种都优选使用。

图 8 表示交流振荡磁场中相位几乎彼此相对的交流电作用在相邻

30

的线圈中的磁场，或者相同相位的交流电作用在线圈方向彼此相对的线圈中的磁场，这样在相邻的线圈中插入产生了磁场。当交流振荡磁场与直流磁场相互叠加时会减少钢水中的局部流动。在图中标注 3 表示直流线圈，标注 4 表示交流线圈，标注 5 表示铸模，标注 6 表示钢水（斜线部分表示流速慢的区域）。

另外，交流行波磁场是由翻转  $360^\circ/N$  的交流电作用在相邻的  $N$  个线圈上的一种磁场。如图 9 所示，一般使用中  $N=3$ （相位差  $120^\circ$ ）而可以得到高频。如上所述，当交流振荡磁场与直流磁场相互叠加时会减少钢水中的局部流动。

当采用如上所述的能够产生交流磁场的磁场产生装置时，其交流磁场的磁通量密度值优选设定为约 100 到约 1000 高斯，并且振荡磁场的频率优选设定为约 1 到约 10Hz。

还有，当采用能产生静态磁场与交流磁场叠加的装置时，其直流磁场的磁通量密度值优选设定为约 1000 到约 7000 高斯，其交流磁场的磁通量密度值优选设定为约 100 到约 1000 高斯。

如上所述，连铸时用磁场产生装置的电磁力对钢水形成滞流。以下结合限制本发明生产条件的原来说明如上所述的在铸模中连铸过程的新发现。

#### （10）喷嘴浸入深度（从钢水表面到喷口上端的距离）

铸模中钢水中的环流状态是根据喷嘴浸入深度变化而改变的。特别是，当连铸速度高时从浸入喷嘴流出的速度较快，所以其浸入深度要优化。当浸入深度太小时，钢水表面的流动速度太高。因而容易卷入助熔剂。另一方面，当浸入深度太大时，钢水表面的流动速度太慢，凝固壳界面的洗涤效果减弱。因而气泡和夹杂物容易截留。

所以，基于以上的考虑，对喷嘴浸入深度的优化进行研究，发现喷嘴浸入深度的范围设定在约 200mm 到约 350mm。

5 另外，对于如上所述浸入喷嘴的材料，最好使用如氧化铝-石墨的普通材料。但材料并不只限于此。

10 对于如上所述浸入喷嘴，一般使用圆筒形喷嘴或者双喷口喷嘴，该双喷口喷嘴的前端封闭，且在对着铸模的两个短边安装两个近似圆形的喷口。喷口的横截面形状可以是圆形，正方形，或矩形（在横向较长，或者在纵向较长），并且没有特殊限制，只要最大宽度  $d$  满足本发明下面说明的喷口形状的类型都可以使用。

15 如已经说明的，助熔剂卷入或者夹杂物漂浮在钢水中时，以上第（5），（6）和（8）段也可以将铸造助熔剂的卷入减小到最少程度，以上第（2）和（4）段可以抑止杂质被截留到凝固壳中，甚至当杂质被截留时，其距离钢水表面的深度也会由于以上第（1）和（3）段变得较浅从而避免缺陷。由此，在生产过程中，特别是在板材加热工序，板材表层杂质的剥离和去除会变得容易。

20 因此，由以上第（6），（7），（8），和（9）段可以稳定地达到以上的效果，并得到高的生产率。

#### 例子 1

25 以表 2A 和 2B 中的条件所准备的连铸设备进行连铸，其中铸模的连铸空间有着不同的短边长度，有 110mm（进行连铸设备试验），200，215，220，235，以及 260mm（进行连铸设备的纵向弯曲生产）等不同厚度的板材类型，以及有 400mm（进行连铸设备生产），和 900 到 2200mm（进行连铸设备纵向弯曲生产）等不同的板材宽度。在本工序，铸模的高度为 900mm（进行连铸设备试验）和 700mm（进行  
30 连铸设备试验），浸入喷嘴是由氧化铝-石墨材料制成的双喷口喷嘴，



其壁厚为 25mm，喷口形状为方形（此时板材厚度为 220mm 或者更少）或者圆形（此时板材厚度超过 220mm），向下喷出角度为恒定值 20°，喷嘴浸入深度（从钢水表面到喷口上端的距离）设定为 200 到 250mm。所使用铸造助熔剂材料的凝固温度为 1000 ，粘度在 1300 时为 0.05 到 0.2Pa.s（0.5 到 2.0 泊），碱性度（CaO/SiO<sub>2</sub>）为 1.0。另外，漏斗中钢水的过热度设定为 10 到 30 。还有钢水的成分，其具有超低碳钢的组成，碳质量百分含量为 0.0005%到 0.0090%，硅质量百分含量小于 0.05%，锰质量百分含量小于 0.50%，磷质量百分含量小于 0.035%，硫质量百分含量小于 0.020%，铝质量百分含量为 0.005%到 0.060%，钛质量百分含量小于 0.080%，铌质量百分含量小于 0.050%，硼质量百分含量小于 0.0030%。另外铸模振动波形为正弦波形。

测试了所生产不同类型板材的最大短边隆起量，最大棱角深度，板材表面最大缺陷量和是否产生断裂。结果表示在表 3 中，最大短边隆起量优选为 10mm 或者更少，更优为 5mm 或者更少。最大棱角深度优选为 1mm 或者更少，更优为 0.7mm 或者更少。

另外，在表 3 中也列出了冷轧薄钢板表面缺陷比例的测量结果（薄钢板厚度为 0.8mm），所述的冷轧薄钢板是通过以下步骤得到的：将上述钢板分别在 1100 到 1200℃下加热 2 到 2.5 个小时，然后进行热轧，冷轧和最后根据普通方法进行退火。

另外，研究并总结了浇铸速度对板材表面缺陷及冷轧薄钢板表面缺陷的影响。其结果如图 6 所示。

在后续工序中，将板材表面研磨掉 1mm，并以 #1000 砂纸打磨，然后以盐酸和过氧化氢的混合液腐蚀，板材表面缺陷的最大数量为单位面积上观察到的气泡（直径 0.2mm 或更大）（个/m<sup>2</sup>），氧化铝团（直径 500 μ m 或更大）和熔渣（包括铸造助熔剂，直径 0.5mm 或更大）的数目。

另外，冷轧薄钢板的表面缺陷比是一个比值，是在百分数基础上的缺陷数量，如由浇铸造成的刮痕和碎屑对全部缺陷的比值。缺陷数量是在冷轧薄钢板上每隔 1000m 的顶端和底端表面测量的。

5

在各个条件下当浇铸中发生至少一处断裂时，断裂的产生即为“是”。

10

另外，电磁力滞流“类型 1”指的是在铸模的底端附近施加在整个铸模中的静态磁场产生装置（EMBR），电磁力滞流“类型 2”指的是在浸入喷嘴喷口处施加在整个铸模中的静态磁场产生装置（EMLS），采用的“类型 1”和“类型 2”分别基于未经审查的日本专利公布 No.2-284750 和 JP No.57-17356 所公布的技术。

15

负速铸坯时间  $t_n$  是定义铸模振动状况的特征值，表示铸模下降速度高于浇铸薄钢板下降速度的一段时间。从表 3 和图 6 中可以看出，在根据本发明浇铸板材时，甚至是在浇铸速度较高，比如超过约 2.0m/min 时，板材表面缺陷程度较轻，几乎没有检测到冷轧薄钢板表面缺陷，即便有缺陷其数量也很少。

20

从上述例子可以看出，根据本发明，最好能够优化工艺条件以达到以下条件：

25

（1）由钢水静压对铸模壁产生的相对推力增加，作用在凝固于铸模钢水表面附近的壳上，

（2）在凝固壳的界面上夹杂物，熔渣，助熔剂和气泡的吸收得到抑止，截留杂质的可能性减小，以及

（3）截留到凝固壳中杂质的深度尽可能的减小。

30

因而，即使在高速下浇铸，如高于约 2.0m/min 时仍可以得到高生产率和稳定的运行，无需表面处理就可以提供用于制造手机外壳的

冷轧薄钢板的高质量板材。

## 例子 2

5 在转炉中熔化并经过 RH 处理的钢水（约 300 吨），由连铸设备连铸生产成板材，其中连铸设备安装有图 7A 到 7C 中的磁场产生装置，钢水的成分为：碳质量百分含量为 0.0015%，硅质量百分含量 0.02%，锰质量百分含量 0.08%，磷质量百分含量 0.015%，硫质量百分含量 0.004%，铝质量百分含量为 0.04%，钛质量百分含量 0.04%，其余为铁和其它不可避免的杂质。本例子中的生产条件列在表 2 中。浸入喷嘴是喷嘴形状为方形的双喷嘴，向下喷出角度为 15°。

10 然后测量了板材表面的偏析和非金属夹杂物以及冷轧后由铸造助熔剂造成的表面缺陷。测量结果列在表 3 中。

15 表面偏析是在板材研磨和蚀刻工序后由目测每 1m<sup>2</sup> 的偏析数量所推断。另外，非金属夹杂物以微粒提取法从浇铸薄钢板表面以下四分之一深度的地方提取。然后测量夹杂物的重量。还有，冷轧形成的线圈表面缺陷经过目测，取样并分析。可以得到由助熔剂造成的缺陷数量。为比较的目的，把由助熔剂造成的表面偏析、夹杂物量以及缺陷数量简化为指数，在所有条件中得到的最坏的结果被当作指数 10。每个结果是在它们满足线形关系假设的基础上对最坏结果的比值。

25 在表 3 中可以看出，根据本发明，当浇铸速度，铸模的连铸空间短边长度 D，喷嘴浸入深度，短边长度 D 对浸入喷嘴喷嘴口横向宽度 d 的比值 D/d 同时被适当地控制，并对铸模中的钢水采用适当地电磁滞流，则表面偏析量，非金属夹杂物量和有铸造助剂造成的缺陷量会减少。

30 当振荡磁场的强度过高时，卷入钢水表面的助熔剂增加，导致表面质量下降。另外，当频率过高时，钢水表面平面不能跟上磁场，对凝固壳的洗涤效果减弱，会导致气泡数量和夹杂物缺陷增多。

表 2A

序号	短边长度(板材厚度)D (mm)		板材宽度 W (mm)		浇铸速度 Vc(m/min)	钢水通过量 (ton/min)		D/d	铸模振幅 S(总振幅) (mm)	铸模振动频率 f (次/分钟)	Tn* (s)
	最小值	最大值	最小值	最大值		最小值	最大值				
1	220	1950	900	1950	1.0	1.6	3.4	2.75	6	120	0.177
2	220	1950	900	1950	1.5	2.3	5.1	2.75	6	130	0.134
3	220	1950	900	1950	1.8	2.3	6.1	2.75	6	150	0.112
4	220	1950	900	1950	2.0	3.1	6.7	2.75	6	185	0.099
5	220	1950	900	1950	2.1	3.3	7.1	2.75	5	170	0.075
6	220	1950	900	1950	2.2	3.4	7.4	2.75	5	180	0.072
7	220	1950	1200	1950	1.5	3.1	5.1	2.75	9	190	0.129
8	220	1950	1200	1950	1.8	3.7	6.1	2.75	9	190	0.124
9	220	1950	1200	1950	2.0	4.1	6.7	2.75	9	190	0.120
10	220	2200	1200	2200	2.3	4.8	8.7	2.75	9	160	0.124
11	220	2200	1200	2200	2.3	4.3	8.7	2.75	9	185	0.115
12	220	1840	1200	1840	2.3	4.8	7.3	2.75	9	195	0.112
13	220	1500	1200	1500	2.3	4.8	6.0	2.75	9	205	0.108
14	220	1950	900	1950	2.1	3.3	7.1	2.75	6	160	0.096
15	220	1950	900	1950	2.2	3.4	7.4	2.75	7	160	0.107
16	220	1950	900	1950	2.3	3.6	7.7	2.75	7	160	0.102
17	220	2200	900	2200	2.5	3.9	9.5	2.75	6	160	0.071
18	220	2200	900	2200	2.7	4.2	10.3	2.75	8	160	0.100
19	220	2000	900	2000	3.0	4.7	10.4	2.75	9	160	0.101
20	220	1950	900	1950	3.5	5.4	11.8	2.75	9	160	0.086
21	110	400	400	400	2.5	0.9	0.9	3.67	6	160	0.071
22	200	1950	900	1950	2.5	3.5	7.7	2.86	6	160	0.071
23	215	1950	900	1950	2.5	3.8	8.2	2.44	6	160	0.071
24	235	1950	900	1950	2.5	4.2	9.0	2.67	6	160	0.071
25	250	1950	900	1950	2.5	4.4	9.6	2.84	6	160	0.071
26	260	1950	900	1950	2.5	4.6	9.9	2.95	6	160	0.071
27	220	1950	1200	1950	2.5	5.2	8.4	2.75	6	160	0.071
28	235	1950	1200	1950	2.5	5.5	9.0	2.67	7	160	0.093
29	235	1950	1200	1950	1.5	3.3	5.4	2.67	7	185	0.123
30	235	1950	1200	1950	2.1	4.6	7.6	2.67	6	180	0.096
31	235	2200	1200	2200	2.5	5.5	10.1	1.81	6	185	0.080

32	220	900	2200	2.5	3.9	9.5	80	2.75	6	185	0.080
33	220	900	2200	2.5	3.9	9.5	80	2.75	6	185	0.080
34	220	900	2200	2.5	3.9	9.5	80	2.75	6	185	0.080
35	220	900	2200	2.5	3.9	9.5	80	2.75	6	185	0.080
36	220	900	1950	2.1	3.3	7.1	80	2.75	6	160	0.096
37	220	900	2000	3.0	4.7	10.4	80	2.75	9	160	0.101

类型 1: 振荡磁场, 类型 2: 变换磁场

表 2B

序号	浸入喷嘴深度(mm)	交流磁场类型	上端交流磁场 (高斯)	上端直流磁场 (高斯)	下端直流磁场 (高斯)
1	280	无	0	0	0
2	280	无	0	0	0
3	280	无	0	0	0
4	280	无	0	0	0
5	280	无	0	0	0
6	280	无	0	0	0
7	280	类型 1	1000	1000	0
8	280	类型 1	700	1000	0
9	280	类型 1	500	1000	0
10	280	类型 1	300	1000	0
11	280	类型 1	300	1000	0
12	280	类型 1	300	1000	0
13	280	类型 1	300	1000	0
14	280	类型 1	300	1000	0
15	280	类型 1	300	1000	0
16	280	类型 1	300	1000	0
17	280	类型 1	0	1000	1500
18	280	类型 1	0	1500	2000
19	280	类型 1	0	2000	2500
20	280	类型 1	0	2500	3000
21	280	类型 1	0	0	0
22	280	类型 1	200	1000	0
23	280	类型 1	200	1000	0
24	280	类型 1	200	1000	0
25	280	类型 1	200	1000	0
26	280	类型 1	200	1000	0
27	280	无	0	0	0
28	280	无	0	0	0
29	280	类型 2	600	0	0
30	280	类型 2	600	1000	0
31	280	类型 2	600	1000	0
32	180	类型 1	200	1000	0
33	200	类型 1	200	1000	0
34	350	类型 1	200	1000	0
35	370	类型 1	200	1000	0
36	280	类型 1	300	1000	1500
37	280	类型 1	300	1000	1500

表 3

序号	最大短边隆起量 (mm)	最大棱角深度 (mm)	板材最大表面缺陷数量(/m <sup>2</sup> )	表面缺陷率 (%)	产生断裂	粉末缺陷占总缺陷比例(%)	备注
1	0	3.5		3.10	否	49	对比例 1
2	1	2.7	185	2.35	否	24	对比例 2
3	1	2.6	120	1.23	否	20	对比例 3
4	2	1.5	90	0.30	否	36	对比例 4
5	2	1.1	55	0.15	否	0	实施例 1
6	1	0.7	45	0.05	否	3	实施例 2
7	1	3.0		3.10	否	33	对比例 5
8	1	2.9		1.54	否	20	对比例 6
9	2	2.2		0.50	否	16	对比例 7
10	4	0.8		0	否	0	实施例 3
11	4	0.9		0.11	否	5	实施例 4
12	3	1.3		2.6	否	74	对比例 8
13	3	1.3		4.1	否	85	对比例 9
14	2	1.0	50	0	否	0	实施例 5
15	3	0.6	30	0	否	0	实施例 6
16	3	0.5	20	0	否	0	实施例 7
17	3	0.2	10	0	否	0	实施例 8
18	5	0.2	3	0	否	0	实施例 9
19	5	0.1	3	0	否	0	实施例 10
20	6	0.2	5	0	否	0	实施例 11
21	1	1.4	70		否		对比例 10
22	1	0.1	15	0.02	否	0	实施例 12
23	2	0.2	11	0	否	0	实施例 13
24	5	0.3	13	0	否	0	实施例 14
25	10	0.8	25	0.3	否	4	对比例 11
26	15	1.1	60	0.4	否	60	对比例 12
27	9	0.7		0.03	是	15	实施例 15
28	9	0.6		0.05	否	21	实施例 16
29	0	2.5		5.90	否	37	对比例 13
30	1	0.8		0	否	0	实施例 17
31	2	0.4		0	否	0	实施例 18
32	2	0.4		0.05	否	33	实施例 19
33	2	0.4		0	否	0	实施例 20
34	2	0.4		0	否	0	实施例 21
35	2	0.6		1.5	否	67	对比例 14
36	2	1.0	20	0	否	0	实施例 22
37	3	0.5	12	0	否	0	实施例 23

\*空白处：没有测量      COM.EX.：对比例

图1

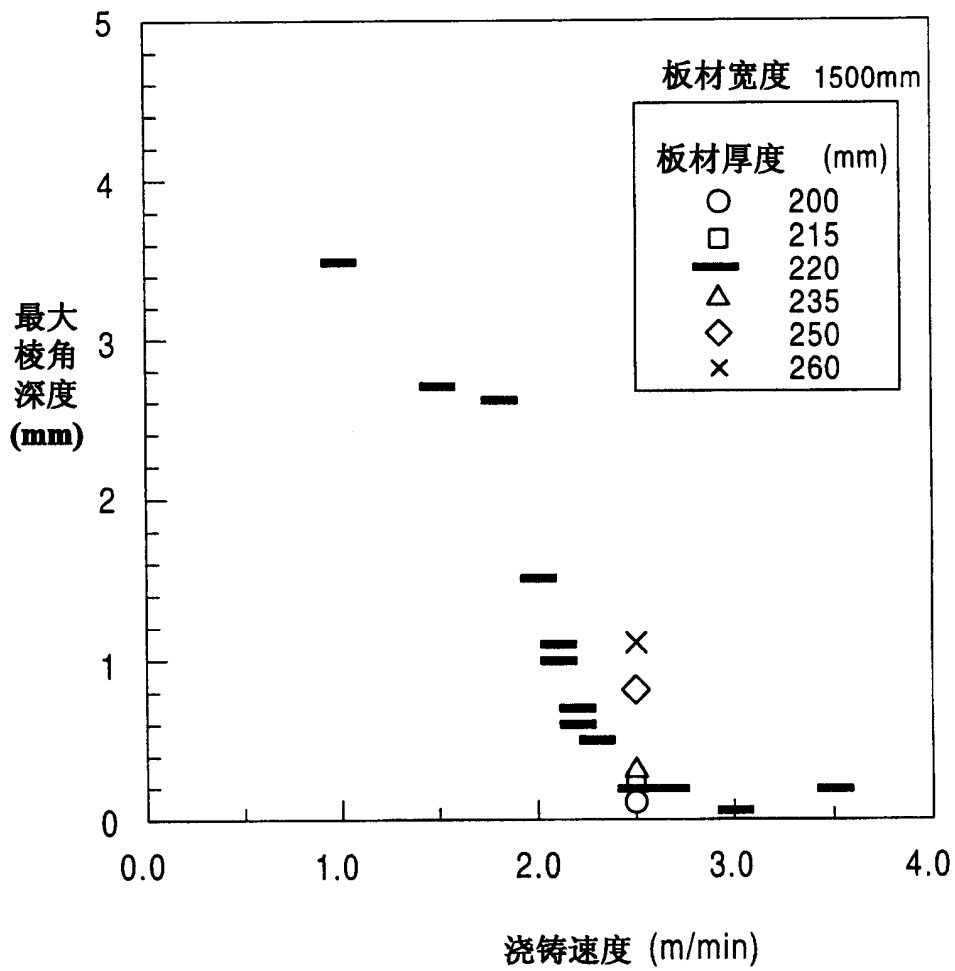




图2

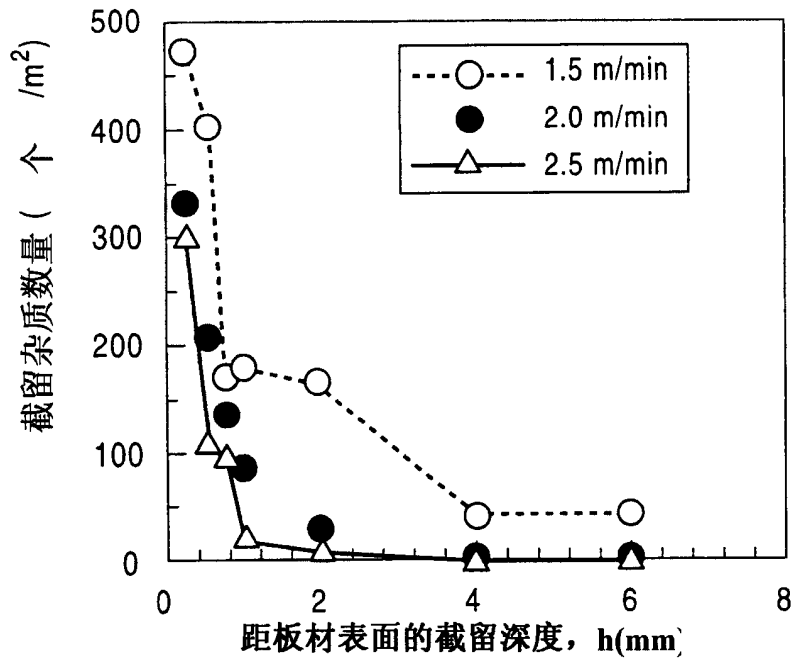


图3

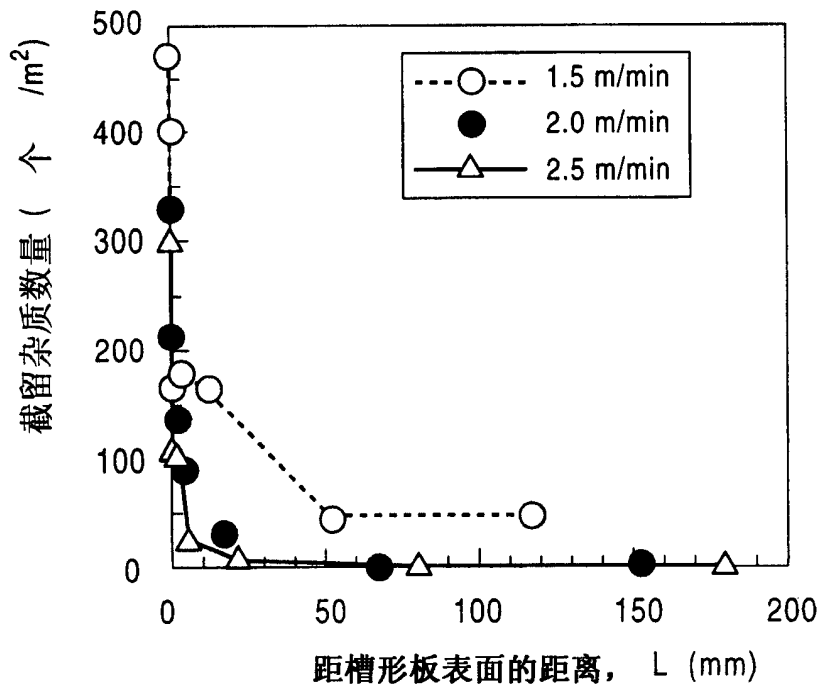


图4

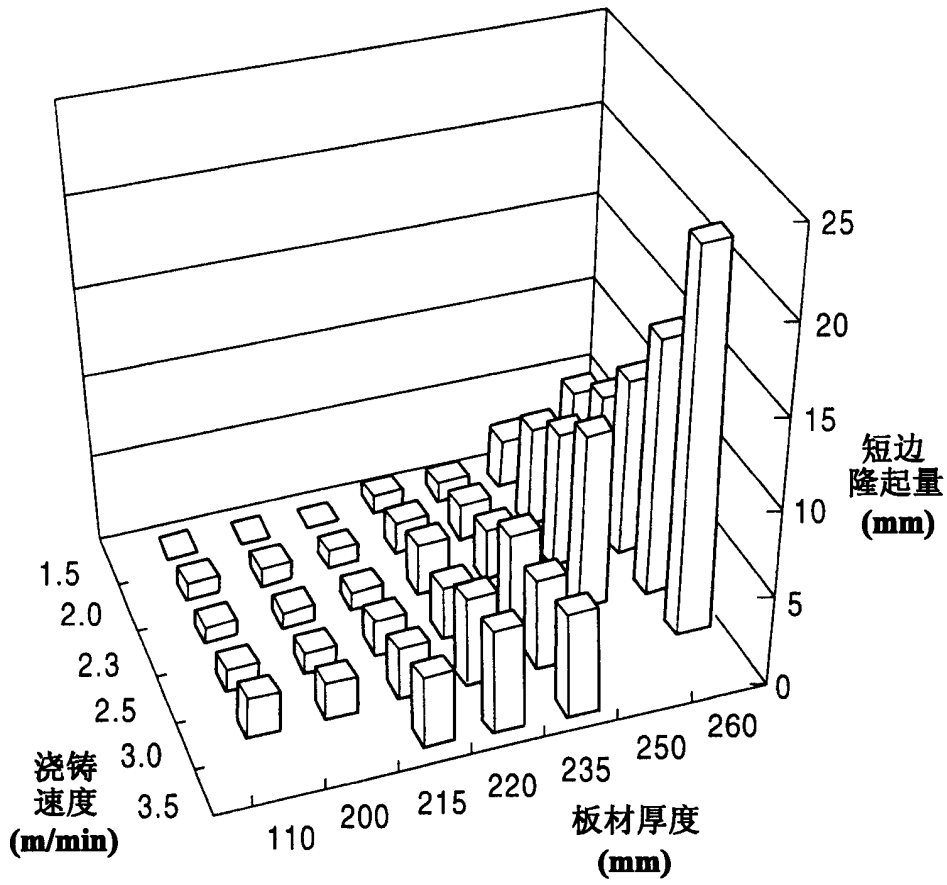


图5

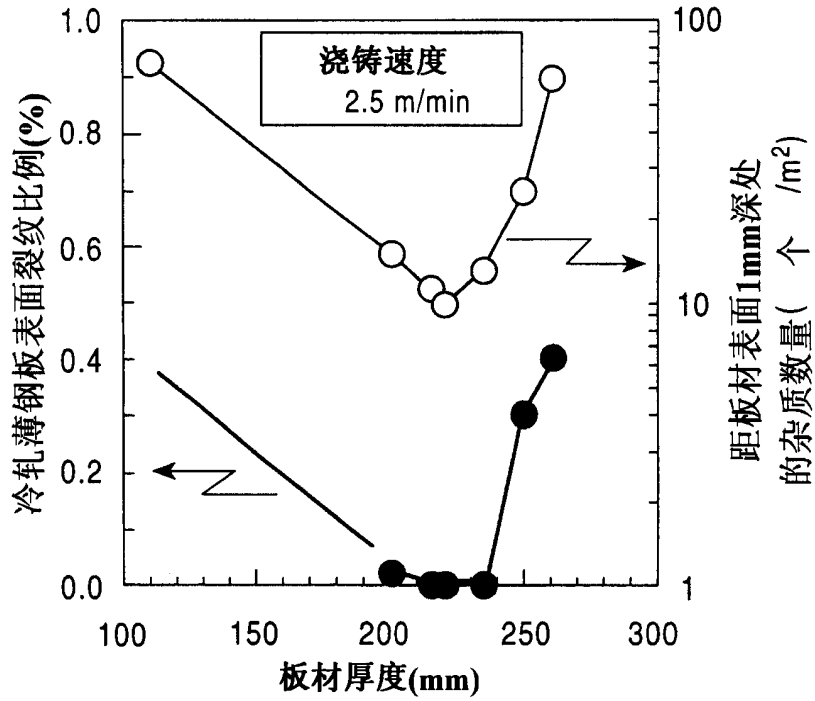


图6

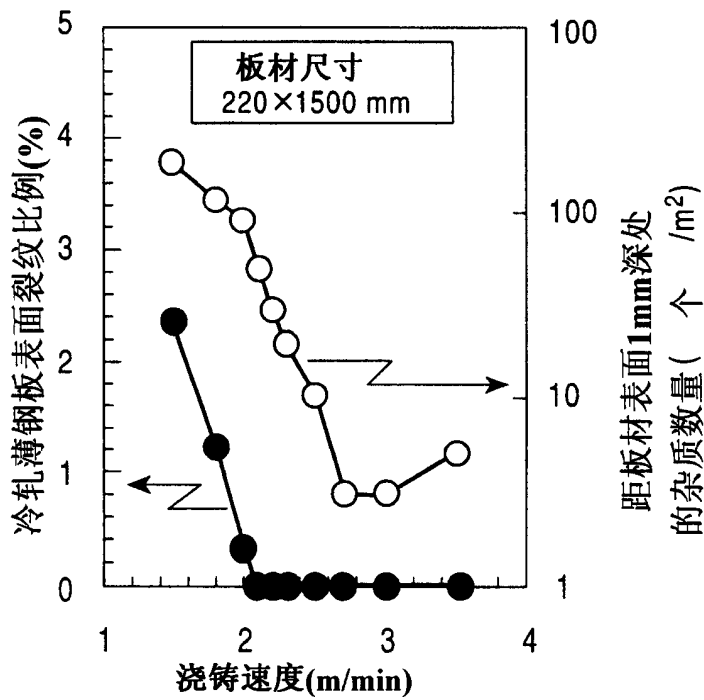
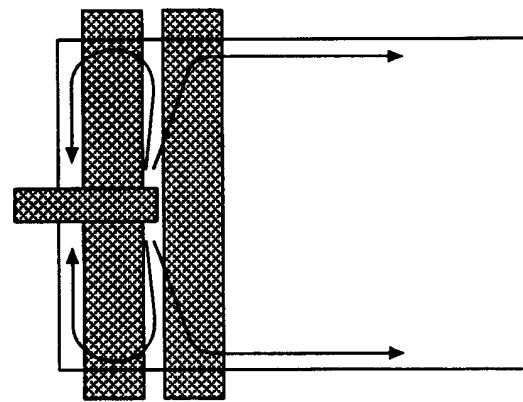
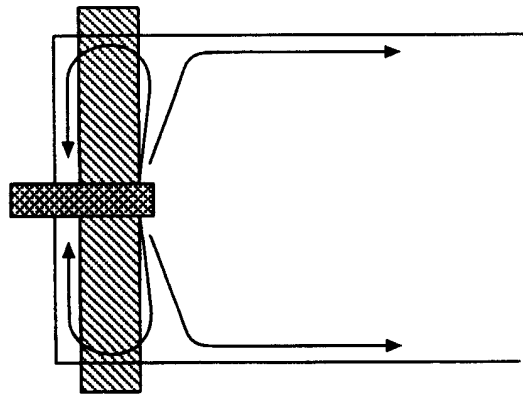


图7A



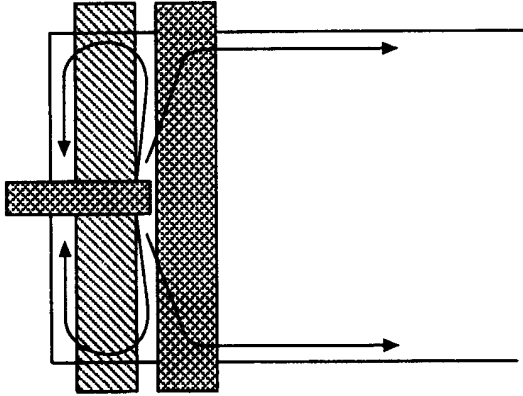
直流线圈  
直流+交流线圈

图7B



直流线圈  
直流+交流线圈

图7C



直流线圈  
直流+交流线圈

图8

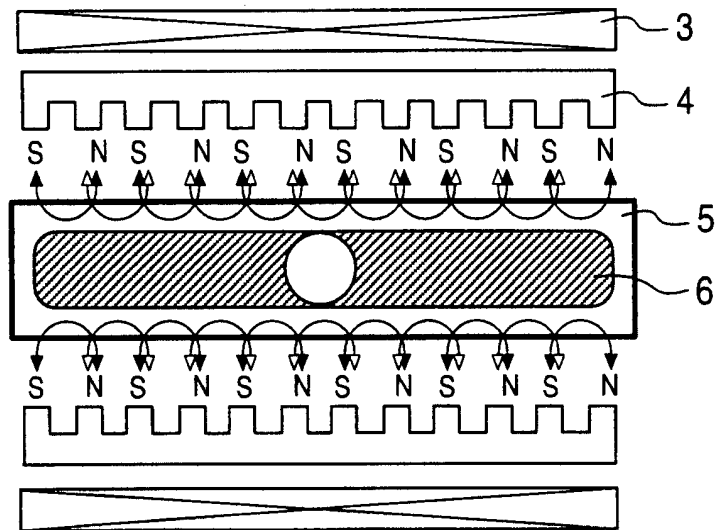


图9

