

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

C22C 38/20 (2006.01)

B63B 3/00 (2006.01)



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200510087933.X

[45] 授权公告日 2008 年 10 月 8 日

[11] 授权公告号 CN 100424213C

[22] 申请日 2005.7.27

[21] 申请号 200510087933.X

[30] 优先权

[32] 2004.7.29 [33] JP [31] 2004-222372

[32] 2004.10.21 [33] JP [31] 2004-307130

[73] 专利权人 株式会社神户制钢所

地址 日本兵库县

[72] 发明人 阪下真司 汤濑文雄 久本淳

大垣诚一 冈野重雄 小林洋一郎

[56] 参考文献

JP9-176791A 1997.7.8

JP2000-17381A 2000.1.18

JP2004-68098A 2004.3.4

JP2002-3942A 2002.1.9

JP7062493A 1995.3.7

审查员 贾士利

[74] 专利代理机构 中科专利商标代理有限责任公司

代理人 汪惠民

权利要求书 1 页 说明书 22 页 附图 3 页

[54] 发明名称

耐蚀性优异的船舶用钢材

[57] 摘要

本发明提供一种不实施涂装与电防蚀也可以实用化的耐蚀性优异的船舶用钢材，特别是在电防蚀作用不到的压载舱内的上部和油罐上甲板等潮湿的大气环境中，对裂隙腐蚀等发挥优异的耐久性的船舶用钢材。所述钢材，含有 C：0.01～0.20%、Si：0.01～0.50%、Mn：0.01～2.0%、Al：0.05～0.50%、Cu：0.01～5.0%、Cr：0.01～5.0%，并将 P 以及 S 的含量抑制为：P：0.020% 以下（包括 0%）、S：0.010% 以下（包括 0%），余量由 Fe 以及不可避免的杂质构成。

1. 一种耐蚀性优异的船舶用钢材，其特征在于，以质量百分比计，含有 C: 0.04~0.18%、Si: 0.1~0.50%、Mn: 0.10~1.8%、Al: 0.05~0.40%、Cu: 0.05~4.00%、Cr: 0.05~4.50%、Ni: 0.05~4.50%、Ti: 0.008~0.20%，并将 P 以及 S 的含量抑制为：P: 0.020%以下并包括 0%、S: 0.010%以下并包括 0%，另外还含有 Ca: 0.0010~0.015%及 Mg: 0.0005~0.020%中的一种以上，

余量是 Fe 以及不可避免的杂质，

其中 Cr 含量[Cr]和 Al 含量[Al]的比[Cr]/[Al]为 1~50。

2. 根据权利要求 1 所述的船舶用钢材，其特征在于，以质量百分比计，还含有 Co: 0.01~5.0%。

3. 根据权利要求 1 所述的船舶用钢材，其特征在于，以质量百分比计，还含有 Se: 0.005~0.50%。

4. 根据权利要求 1 所述的船舶用钢材，其特征在于，以质量百分比计，还含有 Sb: 0.01~0.50%及/或 Sn: 0.01~0.50%。

5. 根据权利要求 1 所述的船舶用钢材，其特征在于，以质量百分比计，还含有 B: 0.0001~0.010%、V: 0.01~0.50%以及 Nb: 0.003~0.50%中任意一种以上。

耐蚀性优异的船舶用钢材

技术领域

本发明涉及一种在原油油轮、货船、客货船、客船、军舰等船舶中作为主要结构用材使用的船舶用耐蚀钢材，特别是涉及暴露在海水形成的盐分 and 高温潮湿环境下的耐蚀性优异的船舶用钢材。

背景技术

在上述各种船舶中作为其主要结构用材（例如，外板、压载舱、油罐等）使用的钢材，由于被暴露在海水形成的盐分和高温潮湿的环境下，所以经常受到腐蚀损伤。这样的腐蚀，有可能招致漏水和沉没等海难事故，所以有必要对钢材实施一些防蚀措施。作为目前为止所实行的防蚀手段，（a）涂装和（b）电防蚀等已经为人们所熟识。

其中，在由多重涂装所代表的涂装工序中，由于涂层缺陷存在的可能性高，且有时还会由于制造工序中的碰撞等造成涂层受伤，所以基体钢材露出的情况多。在这样的钢材露出部分，会局部并且集中的腐蚀掉钢材，所装载的石油类液体燃料就会发生早期泄漏。

另一方面，电防蚀对于完全被沉浸在海水中的部分非常有效，但是大气中受海水飞溅的部位等由于没有形成防蚀所必要的电路，所以防蚀效果不能被充分的发挥。还有，在防蚀用的牺牲阳极异常消耗或者脱落消失的时候，有时会立即有激烈的腐蚀。

上述技术之外，作为提高钢材自身耐蚀性的技术，例如还提出了专利文献1的技术。在这种技术中，公开了一种通过适当的调整钢材的化学成分，而形成耐蚀性优异的材料，即使不涂装也可以使用的造船用耐蚀钢材。还有，在专利文献2中，公开了一种通过适当地调节钢材的化学组成，提高涂层使用寿命的船舶用钢材。这些技术，可以说和以前相比较，能够确保某种程度上的耐蚀性。

但是,关于在更为严峻的腐蚀环境下的耐蚀性,仍然不能说是足够的,仍要求进一步提高耐蚀性。特别是,在异物与钢材的接触部分,由于构造上的原因或者防蚀涂层的损伤部分等所形成的[裂隙]部分的腐蚀(所谓的裂隙腐蚀)变得十分显著,有时会使寿命降低。到此为止所提出的技术方案中关于这一部分的耐蚀性是不充分的。

[专利文献 1]特开 2001-17381 号公报权利要求的范围等

[专利文献 2]特开 2002-26605 号公报权利要求的范围等

发明内容

本发明着眼于上述的情况,其目的在于提供一种即使不实施涂装和电防蚀也可以实用化的耐蚀性优异的船舶用钢材,特别是在电防蚀作用不到的压载舱内的上部以及油罐上甲板等潮湿大气环境下,对于裂隙腐蚀等发挥优异耐久性的船舶用钢材。

为了达到上述目的而研制的本发明的船舶用钢材,具有如下要点,含有 C: 0.04~0.18% (质量%的意思,下同)、Si: 0.01~0.50%、Mn: 0.10~1.8%、Al: 0.05~0.40%、Cu: 0.05~4.00%、Cr: 0.05~4.50%、Ni: 0.05~4.50%、Ti: 0.008~0.20%、Ca: 0.0010~0.015%, 并抑制 P 以及 S 的含量为 P: 0.020%以下(包括 0%)以及 S: 0.010%以下(包括 0%), 余量是 Fe 以及不可避免的杂质,并且, Cr 的含量[Cr]与 Al 的含量[Al]的比值([Cr]/[Al])为 1~50。

还有在本发明的船舶用钢材中,根据必要,使其还含有(1) Mg: 0.0005~0.020%, (2) Co: 0.01~5.0%, (3) Se: 0.005~0.50%, (4) Sb: 0.01~0.50%及/或 Sn: 0.01~0.50%, (5) B: 0.0001~0.010%、V: 0.01~0.50%及 Nb: 0.003~0.50%中任意一种以上,根据所含成分的种类,船舶用钢材的特性也会得到进一步改善。

在本发明的造船用钢材中,使其同时含有给定量的 Al 和 Cr 的同时,通过适当地调整化学组成,即使不实施涂装和电防蚀也可以得到实用化的耐蚀性优异的船舶用钢材,特别是实现了一种提高对裂隙腐蚀的耐蚀性,并且在电防蚀作用不到的压载舱内的上部以及油罐上甲板等潮湿的大气环境下,对于裂隙腐蚀等发挥优异的耐久性的船舶用钢材。这样的船舶用

钢材，在上述用途之外，可以用于作为原油油轮、货船、客货船、客船、军舰等船舶的外板等材料。

附图说明

图 1 是表示在耐蚀试验中使用的试验片 A 的外观形状の説明图。

图 2 是表示在耐蚀试验中使用的试验片 B 的外观形状の説明图。

图 3 是表示在耐蚀试验中使用的试验片 C 的外观形状の説明图。

图 4 是表示在耐蚀试验中使用的试验片 D 的外观形状の説明图。

图 5 是表示在耐蚀试验中使用的试验片 E 的外观形状の説明图。

图 6 是表示在耐蚀试验中使用的试验片 F 的外观形状の説明图。

具体实施方式

本发明者们，为了解决上述问题进行了不断的锐意研究。结果是，发现了通过使其同时含有给定量的 Al 和 Cr，并且适当地调整化学组成，就能够解决上述课题的造船用钢材，完成了本发明。

在本发明的钢材中，使其同时含有 Al 和 Cr 是十分重要的，这些成分欠缺哪一个，都不能够达到本发明的目的。关于这些成分的各个作用效果在下面进行叙述，通过同时使用这些元素，使耐蚀性得到提高的理由，可以进行如下考虑。

Al 具有在钢材表面上形成稳定的氧化物防蚀保护膜的效果。从钢材中腐蚀溶解的 Al^{3+} 离子与溶解氧等结合形成 Al 氧化物，这些 Al 氧化物在表面上堆积形成防蚀保护膜。这个保护膜的防蚀效果，在船舶的高氯化物环境不能说是很充分。另一方面，Cr 与上述 Al 同样在表面上形成稳定的氧化物保护膜，发挥对钢材的防蚀效果，但是单独的 Cr 氧化物的防蚀效果不能够说很充分。

上述 Al 氧化保护膜，在 pH 值为 5~8.5 左右的大约中性区域中稳定性非常高，当 pH 值超过 8.5 时其溶解性变高。船舶用钢材所暴露在其中的海水，在清洁的时候其 pH 值为 8 左右，在海藻等繁殖的海域其 pH 值将碱性化到达 9.5 左右。还有，在腐蚀的阴极反应发生的位置，由于溶解氧还原生成的 OH^- 离子，所以 pH 值有上升的倾向。因此，在船舶环境下，

Al 氧化物未必能够稳定地存在,反而在很多情况下容易溶解而无法得到其保护性。对此,由于 Cr 氧化物在碱性区域稳定性高,微量溶解的 Cr 离子通过水解平衡,具有可使 pH 值下降的效果,所以,抑制了海水 pH 值上升所导致的 Al 氧化物的溶解,发挥了确保其保护性的作用。因此,通过 Cr 氧化物和 Al 氧化物的适量共存,钢材的防蚀效果会成倍的增高。

这样的效果,通过控制为后述的适当含量而使其得到发挥,但是尤其是适当地控制这些含量的比值 ($[Cr]/[Al]$: 质量比) 为佳。即,这个值 ($[Cr]/[Al]$) 低于 1 的时候,则腐蚀的均匀性容易变得不充分,超过 50 则耐裂隙腐蚀性变得不充分。这个 $[Cr]/[Al]$ 的值,优选为 10~35 左右。

本发明的钢材,为了满足其作为钢材的基本特性,需要适当地调整 C、Si、Mn、Cu、P、S 等成分。这些成分范围限定的理由,与上述 Al、Cr 各元素的作用效果一起,在下面进行说明。

C: 0.04~0.18%

C 是为了确保材料强度所必要的元素。为了得到作为船舶的构造部件的最低强度、即大约 400MPa 左右(还要根据使用钢材的厚度确定),使其含有 0.04%以上是有必要的。但是,超过 0.18%而使其过量含有,则会恶化韧性。所以,C 的含量范围为 0.04~0.18%。还有,C 的含量优选下限为 0.08%。再有,C 的含量优选上限为 0.16%。

Si: 0.10~0.50%

Si 是为了脱氧和确保强度所必要的元素,不满 0.10%则不能够确保作为构造部件的最低强度。但是,超过 0.50%而使其过量含有,则会恶化焊接性。还有, Si 的含量优选上限为 0.40%, 0.30%以下为更佳。

Mn: 0.10~1.8%

Mn 与 Si 同样是为了脱氧及确保强度所必要的,不满 0.10%则不能确保作为构造部件的最低强度。但是,超过 1.8%而使其过量含有,则会恶化韧性。还有, Mn 的含量优选上限为 1.6%。

Al: 0.05~0.40%

如上所述, Al 具有在表面上形成稳定的氧化物防蚀保护膜的效果。Al 的含量减少则腐蚀溶解的 Al^{3+} 离子在海水中分散而不能在钢材表面上堆积,也就不能使其形成防蚀保护膜。为了使其充分发挥与 Cr 氧化物共

存下的耐蚀效果,使 Al 含有 0.05%以上是有必要的。如果是普通的钢材,Al 的含量超过 0.10%则会有焊接部韧性略微下降的焊接性的问题发生,但本发明的钢材,通过使 C、Si、P、S 处于适当的范围内,Al 的含量即使为 0.10%超~0.40%的范围,也能够确保具有与以往的钢材同等的焊接性。但是,Al 的含量超过 0.40%而过量含有,则会损害其焊接性。因此,Al 的含量范围为 0.05~0.40%。还有,Al 的含量优选下限为 0.08%,0.10%以上为更佳。

Cu: 0.05~4.00%

Cu 是有助于形成致密的表面锈层保护膜而大幅提高耐蚀性的有效元素。还有,通过含有 Cu 所形成的致密的锈层保护膜、与 Al 氧化物和 Cr 氧化物共存的稳定的氧化物耐蚀保护膜一起,对母材(钢材)的保护性有成倍的提高,使其发挥优异的耐蚀性。为了发挥这样的效果,使其含有 0.05%以上是有必要的,但是,过量含有则会恶化焊接性和热加工性,所以优选为 4.00%以下。

Cr: 0.05~4.50%

Cr 与 Al 同样在表面上形成稳定的氧化物保护膜而发挥钢材防蚀的效果。如本发明所上述,通过使 Al 氧化物与 Cr 氧化物共存,可以飞跃性地提高钢材的耐蚀性,为了发挥这样的效果,使其含有 0.05%以上的是必要的。但是,过量含有则会恶化焊接性,所以 4.50%以下是必要的。

P: 0.020%以下(包括 0%)

P 是使韧性和焊接性恶化的元素,应尽可能地抑制其含量。P 含量的所允许上限至 0.020%,如果超过则不能够确保作为船舶用钢材的焊接性。所以,P 的含量为 0.020%以下。还有,P 的含量的优选上限为 0.015%。

S: 0.010%以下(包括 0%)

S 与 P 同样是使韧性和焊接性恶化的元素,应尽可能的抑制其含量。S 含量的所允许上限至 0.010%,如果超过则不能够确保作为船舶用钢材的焊接性。所以,S 的含量为 0.010%以下。还有,S 的含量的优选上限为 0.008%。

本发明的船舶用钢材中的基本成分如上面所述,余量由 Fe 以及不可避免的杂质(例如 O 等)所构成,这些之外的不损害钢材特性的成分(例

如, Zr、N 等) 也可以允许存在。但是, 这些允许存在的成分, 其含量过多则会恶化韧性, 所以应该控制在 0.1% 左右以下。

还有, 在本发明的船舶用钢材中, 上述成分之外, 根据必要, 使其还含有 (1) Ni: 0.01~5.0%、Co: 0.01~5.0% 以及 Ti: 0.005~0.20% 中任意一种以上, (2) Ca: 0.0005~0.020% 及/或 Mg: 0.0005~0.020%, (3) Se: 0.01~0.50%, (4) Sb: 0.01~0.50% 及/或 Sn: 0.01~0.50%, (5) B: 0.0001~0.010%、V: 0.01~0.50% 以及 Nb: 0.003~0.50% 中任意一种以上, (6) Zn: 0.001~0.10% 等也是有效的, 根据所含成分的种类, 船舶用钢材的特性也会进一步得到改善。

Ni: 0.05~4.50%、Co: 0.01~5.0% 以及 Ti: 0.008~0.20% 中任意一种以上

Ni、Co 以及 Ti 中的任何一种都是提高耐蚀性的有效元素。其中, Ni 以及 Co 是有助于形成致密的表面锈层保护膜而大幅提高耐蚀性的有效元素。为了使其发挥这样的效果, 优选含有 Ni: 0.05% 以上、Co: 0.01% 以上, 但是过量含有则会恶化焊接性和热加工性, 所以优选为 Ni: 4.50% 以下、Co: 5.0% 以下。使其含有 Co 的时候, 更优选下限为 0.05%, 更优选上限为 4.50%。

Ti 是有助于表面锈层保护膜的致密形成, 提高其环境的封闭性, 从而大幅度提高耐蚀性, 并且抑制裂隙内部的腐蚀, 使耐裂隙腐蚀性得到提高的元素。为了确保这样的环境下所要求的耐蚀性, 使其含有 0.008% 以上为佳, 但是超过 0.20% 而过量含有则会恶化加工性和焊接性。Ti 的优选上限为 0.15%。

Ca: 0.0010~0.015% 及/或 Mg: 0.0005~0.020%

Ca 以及 Mg 是通过溶解而显示出升高 pH 值的作用, 抑制发生了铁的溶解的局部阳极的水解作用所引起的 pH 值降低, 从而抑制腐蚀反应, 提高耐蚀性的有效元素。这样的效果, 通过含有 Ca: 0.0010% 以上、Mg: 0.0005 以上而得到有效的发挥。但是 Ca 超过 0.015%、Mg 超过 0.020% 而过量含有则会恶化其加工性和焊接性。含有 Mg 时的优选下限为 0.0010%, 优选上限为 0.015%。

Se: 0.005~0.50%

Se 是抑制发生了腐蚀的溶解反应的位置的 pH 值降低从而抑制腐蚀反应，发挥提高耐蚀性作用的元素。通过使其含有这样的 Se，局部的 pH 值变化不易发生，从而具有提高腐蚀均匀性的作用。还有，在物质移动被限制的、容易局部发生 pH 值降低的[裂隙部]，根据上述的理由，使其效果（抑制局部腐蚀的效果）有效地发挥。为了确保这样环境下所要求的耐蚀性，Se 的含量 0.005%以上为佳。但是，超过 0.50%而过量含有则会恶化加工性和焊接性。据此，Se 的含量为 0.005~0.50%。还有，Se 含量的优选下限为 0.008%，0.010%以上更佳。再有，Se 含量的优选上限为 0.45%，0.40%以下为更佳。

Sb: 0.01~0.50%及/或 Sn: 0.01~0.50%

Sb 以及 Sn 是有助于 Cu、Ni、Ti 等所生成锈层保护膜的致密形成和 Se、Ca、Mg 等产生的 pH 值降低作用，从而提高耐蚀性的元素。为了发挥这样的作用，使其含有任何一种 0.01%以上为佳。但过量含有则会恶化加工性和焊接性，所以 0.50%以下为佳。使其含有这些元素的时候，优选下限为 0.02%，优选上限为 0.40%。

B: 0.0001~0.010%、V: 0.01~0.50%以及 Nb: 0.003~0.50%中任意一种以上

在船舶用钢材中，根据适用部位，有时会有更高的强度的要求，这些元素是提高强度必要的元素。其中，使 B 含有 0.0001%以上则会提高淬硬性，对提高强度有效，但是超过 0.010%而过量含有则会恶化母材韧性，故不佳。使 V 含有 0.01%以上对提高强度有效，超过 0.50%而过量含有则会招致钢材的韧性的恶化，故不佳。使 Nb 含有 0.003%以上会对提高强度有效，超过 0.50%而过量含有则招致钢材的韧性恶化。还有，这些元素的优选下限，B 为 0.0003%，V 为 0.02%，Nb 为 0.005%。还有优选上限，B 为 0.0090%，V 为 0.45%，Nb 为 0.45%。

Zn: 0.001~0.10%

Zn 与盐分和硫进行反应，在钢材表面形成氯化锌和硫化锌的沉淀层，具有阻断环境中的水分接触钢材基体从而抑制腐蚀的效果。在物质移动被限制住的涂层内或裂隙部分，氯化锌和硫化锌不会发散到海水里去，而是很容易在钢材表面上沉淀，因此，特别是涂层下或裂隙部分的抑制腐蚀的

效果大。

为了确保达到这样的效果所要求的耐蚀性，Zn 的含量为 0.001%以上是必要的。但是，超过 0.10%而过量含有则会恶化加工性和焊接性。据此，Zn 含量为 0.001~0.10%。还有，Zn 含量的优选下限为 0.003%，0.005%以上为更佳。再有，Zn 含量的优选上限为 0.09%，0.08%以下为更佳。

在对本发明的钢材进行焊接形成焊接构造物的时候，使用通常的焊接条件或者焊材进行焊接时，上述有效元素的浓度在焊接接头处发生变化，因此有时焊接部的耐蚀性并没有被发现。特别是，Al、Cu 以及 Cr 的含量在熔敷金属与母材的比值（熔敷金属的含量/母材的含量）均低于 0.3 的时候，由这些元素添加所产生的耐蚀性成倍提高的效果没有出现，熔敷金属部分的耐蚀性不充分。还有，由于此比值超过 3.0 则会恶化焊接部的韧性，所以从机械强度的角度考虑为不佳。因此，这个比值推荐调整为 0.3~3.0，优选范围为 0.5~2.0。

还有，关于 Al、Cr 以外的提高耐蚀性的有效元素 Ni、Co、Ti、Ca、Mg、Se、Sb、Sn、Zn，添加这些的时候，熔敷金属与母材的含量的比值（熔敷金属的含量/母材的含量）推荐调整为 0.3~3.0，优选范围为 0.5~2.0。

本发明的船舶用钢材，基本上不实施涂装钢材自身也会发挥优异的耐蚀性，但根据需要，也可以与如后述实施例所示的焦油环氧树脂涂料、或者其以外的代表性的多重耐蚀涂装，富锌漆、预涂底漆等其他的防蚀方法同时使用。实施这样的防蚀涂装的时候，如后述实施例所示，涂层自身的耐蚀性（涂装耐蚀性）也会变得良好。

下面，举实施例对本发明进行具体的说明，本发明并不受下述实施例所限制，在符合前、后所述的构思范围内，添加适当的变更后实施当然也是可能的，这些任何一个都包含于本发明的技术范围之内。

[实施例]

实施例 1

下表 1~3 所示的化学组成的钢材通过转炉进行熔炼，通过连续铸造以及热轧制作成各种钢板。对所得到的钢板进行切割以及表面磨削，最后制作成 100×100×25 (mm) 大小的试验片（试验片 A）。试验片 A 的外

观形状如图 1 所示。

〈表 1~3 见后〉

还有,如图 2 所示,使 4 个 $20 \times 20 \times 5$ (mm) 的小试验片与 $100 \times 100 \times 25$ (mm) 的大试验片(与上述的试验片 A 相同)相接,制作成形成了裂隙部的试验片 B。此形成裂隙的小试验片与大试验片为相同化学组成的钢材,表面与上述试验片 A 同样进行了表面磨削。接下来在小试验片的中心开设 $\phi 5$ mm 的小孔,基材侧(大试验片侧)开设螺丝孔,用 M4 塑料螺丝固定。

再有,使用了平均厚度为 $250 \mu\text{m}$ 的全面喷涂过焦油环氧树脂(底漆:富锌底漆)的试验片 C(图 3)。下面为了调查防蚀用涂膜受损、基体钢材露出时的腐蚀的进展程度,在试验片 C 的一面用刻刀做成深达(钢材)基体的刻刀伤(长:100mm,宽:约 0.5mm)。

在上述表 1~3 所示的各化学组成的试验用材中,分别用各 5 个试验片 A、试验片 B、试验片 C 进行了腐蚀试验。此时的腐蚀试验方法如下所述。

[腐蚀试验方法]

模拟电防蚀作用不到的压载舱内的上部等潮湿的大气环境,使其附着海盐颗粒并保持潮湿状态进行了腐蚀试验(腐蚀试验 A)。还有,把在兵库县加古川市采集的海水 7.5ml 基本均匀的滴在试验面上,并使经过干燥的试验片在温度: 50°C 、湿度: 95%RH 的恒定温度湿度的试验槽内水平放置进行腐蚀。试验时间为 6 个月,每一个月追加海水 5.0ml 滴在试验面上。在这个试验中,使用了上述的试验片 A 以及试验片 B,对其耐全面腐蚀性、腐蚀均匀性以及耐裂隙腐蚀性进行了评价。

还有,模拟了油罐内的上甲板的腐蚀环境,将试验片水平设置在温度保持在 50°C 的试验槽内,以 1L/min 的速度通过由 5vol% O_2 -10vol% CO_2 -0.01vol% SO_2 -0.3vol% H_2S 组成的腐蚀性气体,对试验片进行腐蚀(腐蚀试验 B)。这时,试验槽内的湿度控制在 98%RH 以上,并保持湿润状态,以使一直处于水蒸气饱和状态。试验时间为 6 个月。这个试验,每一个月追加海水 5.0ml 滴在试验面上。在这个试验中,使用了上述的试验片 A 以及试验片 C,对其耐全面腐蚀性、腐蚀均匀性以及涂装

耐蚀性进行了评价。

(1) 对于试验片 A, 把试验前后的重量变化换算成平均板厚的减少量 D_{ave} (mm), 算出 5 个试验片的平均值, 评价各试验用材的耐全面腐蚀性。还有, 使用触针式三维形状测定装置测定试验片 A 的最大侵蚀深度 D_{max} (mm), 由平均板厚减少量 $[D_{ave} \text{ (mm)}]$ 进行标准化处理 (即, 算出 D_{max}/D_{ave}), 对腐蚀的均匀性做出评价。还有, 试验后的重量测定以及板厚测定, 是通过在柠檬酸氢二铵水溶液中利用阴极电解法[JISK8284] 除去铁锈等腐蚀产物后进行的。

(2) 对于试验片 B, 对裂隙部 (接触面) 进行了肉眼观察, 调查了是否有裂隙腐蚀发生, 当裂隙腐蚀发生被确认的时候, 用上述的阴极电解法除去腐蚀产物, 使用触针式三维形状测定装置测定了最大裂隙腐蚀深度 D_{crev} (mm)。

(3) 对于实施过涂装处理的试验片 C (附有刻刀伤), 用卡尺测量与刻刀伤垂直方向的涂层的膨起宽度, 5 个试验片中最大的膨起宽度定义为最大值。

上述耐全面腐蚀性 (D_{ave})、腐蚀均匀性 (D_{max}/D_{ave})、耐裂隙腐蚀性 (D_{crev})、涂装耐蚀性 (膨起面积率以及最大膨起宽度) 的评价基准如下表 4 所示。腐蚀试验结果如下表 5~7 所示。

〈表 4~7 见后〉

根据这些结果可以进行下一步的考察。首先, 在任何一种腐蚀试验中, 在 Al、Cu 以及 Cr 的含量都不满足本发明所规定的适当范围的时候 (No.2~6), 与历来的普通钢材 (No.1) 进行比较, 耐全面腐蚀性稍稍改善。但是腐蚀均匀性与涂装耐蚀性的改善效果没有得到确认。

相对于此, 含有适量 Al、Cu 以及 Cr 的情况下 (No.7~55), 由于这些元素的添加产生的复合效果, 任何一个的耐蚀性都有大幅提高, 腐蚀均匀性、耐裂隙腐蚀性以及涂装耐蚀性也得到提高。这样的耐蚀性的提高, 被认为是由于 Al 氧化物和 Cr 氧化物共存的稳定的氧化物防蚀保护膜, 和含有 Cu 而形成的致密的锈层保护膜的保护作用而产生的复合效果。

其中可知, 通过在同时使用 Al、Cu 以及 Cr 的基础上, 再含有 Ni、Co、Ti、Ca、Mg 等提高耐蚀性的元素 (No.11~15), 从而使钢材的耐全

面腐蚀性大幅地提高。特别是,通过含有 Ca 与 Mg, 腐蚀均匀性和耐裂隙腐蚀性的提高得到确认(No.14~15), 推断为由于这些元素具有对局部 pH 降低的抑制作用而抑制了局部的腐蚀。

另外, 确认了通过含有 Ni、Co 或者 Ti, 而提高涂装耐蚀性的效果(No.11~13 等), 推断为由于这些元素的绣层致密化作用的复合效果而阻止了涂层损伤部分的腐蚀的进展。

再有, 通过使其含有 Se, 大幅提高了耐蚀性(No.35、36 等), 这是由于 Se 对局部 pH 值变化的抑制效果, 有助于对于裂隙腐蚀等局部腐蚀的耐蚀性的提高。还有, No.7、8、9、10 等结果也明确表明, 通过适当的调整 ($[Cr]/[Al]$) 的比值, 得到各种耐蚀性大幅提高的优异结果。

更有, 使其含有 Zn 的试验用材(No.44、45、46 等), 得到了涂装耐蚀性与耐裂隙腐蚀性进一步提高的结果。例如, 在 Al、Cu 以及 Cr 的基础上再添加适量 Zn 的 No.45, 与只添加 Al、Cu 以及 Cr 的 No.8 相比较, 在压载舱内的耐裂隙腐蚀性与油罐上的甲板背面的涂装耐蚀性上均得到了提高的结果。如上所述通过 Zn 添加而提高耐蚀性, 被推断为在钢材的表面上形成的氯化锌和硫化锌的沉淀层阻断了环境中的水分, 从而具有抑制腐蚀效果的作用。

实施例 2

下表 8 中所示化学组成的钢材通过转炉进行熔炼, 通过连续铸造以及热轧制作各种钢板。对所得到的钢板进行切断以及表面磨削, 最后制作成 $300 \times 150 \times 25$ (mm) 大小的试验片 D'。使用表 9 中所示的化学成分的焊接材料, 进行埋弧焊, 用 2 个 D' 制作了如图所示的接头试验片 D (图 4)。还有, 所有的焊接材料的线径为 4.8mm, 坡口形状为 V 字形。热量输入量适当地调整为从 1 到 10KJ/mm。

还有, 在试验片 D 的焊接部上使 2 个 $60 \times 60 \times 5$ (mm) 的小试验片相接, 制作成形成了裂隙部的试验片 E (图 5)。形成裂隙用的小试验片的化学组成与试验片 D 的母材相同, 表面与上述试验片 D 同样进行了表面磨削。接下来在小试验片的中心开设 $\phi 10$ mm 的小孔, 基材侧 (大试验片侧) 开设螺丝孔, 用 M8 塑料螺丝固定。

再有, 使用了平均厚度为 $250 \mu\text{m}$ 的全面喷涂过焦油环氧树脂 (底

漆：富锌底漆）的试验片 F（图 6）。下面为了调查防蚀用涂膜受损、基体钢材露出时的腐蚀进展程度，在试验片 F 的一面，沿与焊接线垂直和水平的方向用刻刀做成深达基体的刻刀伤（长：200mm，宽：约 0.5mm）。

对于使用前面表 8、9 中所示母材以及焊接材料制作的接头试验片，分别使用各 5 个试验片 D、试验片 E 以及试验片 F 进行了腐蚀试验。这时的腐蚀试验方法（实船的暴露试验）如下所述。

[腐蚀试验方法]

将制作成的试验用材、各试验片 D~F 各 5 个分别安装在 VLCC 油罐内面的底板上，经过 5 年的通常航行后，调查了各试验用材的腐蚀状况。5 年的暴露后，对于试验片 D，在柠檬酸氢二铵水溶液中利用阴极电解法 [JISK8284] 除去了铁锈等腐蚀产物。还有，对于试验片 E，取下形成裂隙部用的小试验片，用同样的方法除去了铁锈等腐蚀产物。

(1) 对于试验片 D，把试验前后的重量变化换算成平均板厚的减少量 D_{ave} (mm)，算出 5 个试验片的平均值，评价各试验用材的耐全面腐蚀性。还有，使用触针式三维形状测定装置测量试验片 D 的最大侵蚀深度 D_{max} (mm)，由平均板厚减少量 $[D_{ave}$ (mm)] 进行标准化处理（即，算出 D_{max}/D_{ave} ），对腐蚀的均匀性做出了评价。

(2) 对于试验片 E，使用触针式三维形状测定装置，测定了大试验片侧的最大裂隙腐蚀深度 D_{crev} (mm)。

(3) 对于实施过涂装处理的试验片 F（附有刻刀伤），用卡尺测量垂直于刻刀伤的方向的涂层的膨起宽度，5 个试验片中最大的膨起宽度定义为最大值。

上述耐全面腐蚀性（平均板厚减少量： D_{ave} ）、腐蚀均匀性（ D_{max}/D_{ave} ）、耐裂隙腐蚀性（ D_{crev} ）、涂装耐蚀性（最大膨起宽度）的评价基准如下表 10 所示。腐蚀试验结果如下表 11 所示。还有，在表 11 中， $I(Al)$ 为熔敷金属的 Al 含量/母材的 Al 含量， $I(Cu)$ 为熔敷金属的 Cu 含量/母材的 Cu 含量， $I(Cr)$ 为熔敷金属的 Cr 含量/母材的 Cr 含量。

焊接部的 Al、Cu 或者 Cr 的含量不满足关系式 (1)、(2) 或者 (3) 的 No.56、No.57 以及 No.58，其耐全面腐蚀性优异，但是腐蚀均匀性和涂装耐蚀性没有得到令人满意的结果。这是在焊接金属的部分有腐蚀进行的结

果。相对于此，满足该比值关系式（1）、（2）或者（3）的 No.59～66,对于任何一种腐蚀特性，都确认了具有提高耐蚀性的结果，作为焊接结构显示出了优异的耐蚀性。

还有，本实施例是以埋弧焊的焊接部为评价对象，但是敷料电弧焊与电渣焊等其他焊接方法也能够得到相同的效果。还有，使用的焊接材料不仅限于表 9 的范围，焊接条件也不仅限于本实施例。

【表 1】

No.	试验用材的化学组成 (质量%)															[Cr]/[A:]
	C	Si	Mn	P	S	Al	Cu	Ni	Cr	Co	Ti	Ca	Mg	Se	其他	
1	0.16	0.19	1.28	0.019	0.008	0.02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
2	0.17	0.19	1.05	0.018	0.009	0.05	0.11	-	-	-	-	-	-	-	-	
3	0.16	0.18	0.98	0.017	0.007	0.08	-	-	4.02	-	-	-	-	-	50.3	
4	0.17	0.20	1.20	0.018	0.008	0.12	0.12	-	0.009	-	-	-	-	-	0.1	
5	0.16	0.19	0.99	0.016	0.008	0.18	0.008	-	0.10	-	-	-	-	-	0.6	
6	0.13	0.19	1.01	0.018	0.009	0.04	0.10	-	0.009	-	-	-	-	-	0.2	
7	0.14	0.28	1.12	0.017	0.008	0.052	0.25	-	0.05	-	-	-	-	-	1.0	
8	0.13	0.19	1.15	0.016	0.008	0.101	0.012	-	0.11	-	-	-	-	-	1.1	
9	0.11	0.16	1.08	0.018	0.009	0.053	0.89	-	2.64	-	-	-	-	-	49.8	
10	0.17	0.34	0.97	0.019	0.009	0.142	0.32	-	4.99	-	-	-	-	-	35.1	
11	0.14	0.24	1.08	0.015	0.008	0.055	0.24	0.30	0.14	-	-	-	-	-	2.5	
12	0.16	0.25	0.92	0.018	0.009	0.097	0.28	-	0.18	0.09	-	-	-	-	1.9	
13	0.15	0.23	0.91	0.019	0.009	0.114	0.15	-	0.15	-	0.058	-	-	-	1.3	
14	0.10	0.24	1.24	0.018	0.009	0.107	1.01	-	3.79	-	-	0.0028	-	-	35.4	
15	0.09	0.12	1.21	0.017	0.007	0.221	0.30	-	0.25	-	-	-	0.0049	-	1.1	
16	0.08	0.19	1.31	0.017	0.008	0.115	0.29	0.35	0.19	0.04	-	-	-	-	1.7	
17	0.18	0.24	1.33	0.018	0.008	0.124	0.06	1.28	0.27	-	0.018	-	-	-	2.2	
18	0.15	0.23	1.29	0.019	0.008	0.336	0.09	0.014	2.55	-	-	0.0057	-	-	7.6	
19	0.19	0.24	1.10	0.016	0.008	0.221	0.08	0.21	1.14	-	-	-	0.0022	-	5.2	
20	0.16	0.38	1.09	0.017	0.008	0.180	2.85	-	0.22	0.19	0.012	-	-	-	1.2	
21	0.19	0.29	1.12	0.018	0.009	0.102	0.58	-	0.21	4.98	-	0.0006	-	-	2.1	
22	0.16	0.22	1.21	0.019	0.008	0.152	0.29	-	0.19	0.11	-	-	0.0005	-	1.3	

【表 2】

No.	试验用材的化学组成(质量%)														[Cr]/[Al]
	C	Si	Mn	P	S	Al	Cu	Ni	Cr	Co	Ti	Ca	Mg	Se	其他
23	0.17	0.19	1.00	0.015	0.008	0.102	0.34	-	0.97	-	0.055	0.0196	-	-	9.5
24	0.14	0.27	1.18	0.017	0.008	0.498	0.30	-	1.16	-	0.026	-	0.0197	-	2.3
25	0.19	0.30	1.16	0.018	0.007	0.063	1.88	-	2.37	-	-	0.0095	0.0054	-	37.6
26	0.09	0.24	1.40	0.016	0.009	0.110	0.79	0.33	0.18	0.05	0.03	-	-	-	1.6
27	0.16	0.29	1.22	0.018	0.009	0.172	3.02	0.12	0.41	0.2	-	-	0.001	-	2.4
28	0.17	0.28	1.06	0.015	0.008	0.120	0.25	-	0.15	0.012	0.092	0.0029	-	-	1.3
29	0.16	0.35	1.39	0.018	0.009	0.110	0.24	-	0.15	0.2	0.019	0.0082	-	-	1.4
30	0.06	0.19	0.97	0.017	0.007	0.290	0.19	-	2.48	-	0.12	0.0038	0.0082	-	8.6
31	0.18	0.28	0.95	0.016	0.008	0.483	0.28	0.36	0.55	0.17	0.045	-	0.0122	-	1.1
32	0.18	0.19	0.99	0.018	0.008	0.092	0.18	0.2	0.42	1.52	-	0.002	0.0031	-	4.6
33	0.18	0.19	1.22	0.019	0.009	0.101	1.28	4.98	1.12	0.13	0.034	0.0018	0.0029	-	11.1
34	0.17	0.23	1.09	0.018	0.008	0.119	0.42	0.5	0.33	2.21	0.009	0.0045	0.0018	-	2.8
35	0.10	0.34	1.12	0.017	0.008	0.121	0.18	0.18	1.22	0.16	-	-	0.0078	0.012	10.1
36	0.05	0.35	1.20	0.016	0.008	0.068	4.98	0.25	1.59	3.09	-	-	-	0.29	23.4
37	0.16	0.23	1.19	0.018	0.009	0.321	0.69	0.73	3.98	-	0.197	0.008	0.0031	0.498	12.4
38	0.18	0.25	0.93	0.019	0.008	0.136	0.23	0.28	1.99	0.09	0.033	0.0018	0.0007	0.18	14.6
39	0.13	0.31	0.92	0.018	0.009	0.112	0.29	0.34	3.74	0.12	-	-	-	0.005	33.4
40	0.11	0.12	0.98	0.017	0.008	0.104	2.04	0.19	1.54	0.3	0.092	-	-	0.04	14.8
41	0.05	0.18	1.00	0.019	0.008	0.184	0.22	0.23	4.88	0.18	0.088	0.0025	0.0023	0.21	26.5
42	0.06	0.29	1.22	0.018	0.009	0.051	0.17	0.2	1.25	-	0.023	-	0.0012	0.37	24.7
43	0.10	0.16	1.07	0.018	0.008	0.17	0.25	0.19	2.33	0.09	0.013	0.0018	0.002	0.09	13.7

表3 试验用材的化学组成(mass%)

No.	C	Si	Mn	P	S	Al	Cu	Ni	Cr	Co	Ti	Ca	Mg	Se	其他	Cr/Al	备注
44	0.12	0.24	1.02	0.016	0.007	0.06	0.22	—	0.05	—	—	—	—	—	Zn:0.009	0.8	本发明
45	0.12	0.20	1.01	0.018	0.008	0.08	0.11	—	1.02	—	—	—	—	—	Zn:0.012	12.8	"
46	0.14	0.19	0.96	0.017	0.007	0.05	0.33	0.50	0.49	—	—	—	—	—	Zn:0.099	9.8	"
47	0.15	0.21	1.18	0.018	0.009	0.07	0.29	0.21	2.29	0.09	0.013	—	—	—	Zn:0.026	32.7	"
48	0.15	0.21	1.01	0.018	0.008	0.11	0.45	—	1.55	—	—	0.0022	—	—	Zn:0.030	14.1	"
49	0.14	0.24	1.22	0.018	0.008	0.08	0.19	0.31	0.98	—	0.009	—	0.0034	—	Zn:0.019	12.3	"
50	0.11	0.20	0.99	0.019	0.009	0.07	0.30	0.19	0.91	0.05	—	—	—	0.009	Zn:0.021	13.0	"
51	0.09	0.28	0.97	0.018	0.008	0.07	0.17	0.29	0.85	—	—	0.0019	0.0029	0.26	Zn:0.002	12.1	"
52	0.07	0.27	0.89	0.015	0.007	0.12	0.28	—	3.49	—	—	—	—	—	Sb:0.11,Zn:0.082	29.1	"
53	0.10	0.19	1.24	0.018	0.009	0.13	1.00	1.09	1.88	—	0.028	—	—	—	Sn:0.09,Zn:0.023	14.5	"
54	0.08	0.20	1.10	0.017	0.008	0.06	0.34	0.34	0.89	—	0.010	—	0.0037	—	Sn:0.38,Zn:0.044	14.8	"
55	0.06	0.18	0.97	0.018	0.009	0.05	0.59	0.75	0.59	—	—	—	—	0.018	Sb:0.05,Zn:0.022	11.8	"

【表 4】

试验片	评价特性	测定项目	判定			
			×	△	○	◎
A	耐全面腐蚀性	D-ave (mm)	1. 00mm 以上	0. 25mm以上 1. 00mm未滿	0. 10mm以上 0. 25mm未滿	0. 10mm未滿
	腐蚀均匀性	D-max/D-ave	2. 5以上	2. 0以上 2. 5未滿	1. 5以上 2. 0未滿	1. 5未滿
B	耐裂隙腐蚀性	D-crev (mm)	1. 00mm 以上	0. 25mm以上 1. 00mm未滿	0. 10mm以上 0. 25mm未滿	0. 10mm未滿
C	涂装耐蚀性	最大膨胀幅度(mm)	10mm以上	2mm以上 10mm未滿	1mm以上 2mm未滿	1mm未滿

【表 5】

No.	压载舱内			油罐上甲板背面			综合判定
	耐全面腐蚀性	腐蚀均匀性	耐裂隙腐蚀性	耐全面腐蚀性	腐蚀均匀性	涂装耐蚀性	
1	×	×	×	×	×	×	×
2	△	×	×	△	×	×	×
3	△	×	×	△	×	×	×
4	△	×	×	△	×	×	×
5	△	×	×	△	×	×	×
6	△	×	×	△	×	×	×
7	○	△	△	○	△	△	△~○
8	○	△	△	○	△	△	△~○
9	○	△	△	○	△	△	△~○
10	○	△	△	○	△	△	△~○
11	◎	△	△	◎	△	○	○
12	◎	△	△	◎	△	○	○
13	◎	△	△	◎	△	○	○
14	◎	○	○	◎	○	△	○
15	◎	○	○	◎	○	△	○
16	◎	△	△	◎	△	○	○
17	◎	△	△	◎	△	○	○
18	◎	○	○	◎	○	○	○~◎
19	◎	○	○	◎	○	○	○~◎
20	◎	△	△	◎	△	○	○
21	◎	○	○	◎	○	○	○~◎
22	◎	○	○	◎	○	○	○~◎

【表 6】

No.	压载舱内			油罐上甲板背面			综合判定
	耐全面腐蚀性	腐蚀均匀性	耐裂隙腐蚀性	耐全面腐蚀性	腐蚀均匀性	涂装耐蚀性	
23	◎	○	○	◎	○	○	○~◎
24	◎	○	○	◎	○	○	○~◎
25	◎	○	○	◎	○	△	○
26	◎	△	△	◎	△	○	○
27	◎	○	○	◎	○	○	○~◎
28	◎	○	○	◎	○	○	○~◎
29	◎	○	○	◎	○	○	○~◎
30	◎	○	○	◎	○	○	○~◎
31	◎	○	○	◎	○	○	○~◎
32	◎	○	○	◎	○	○	○~◎
33	◎	○	○	◎	○	○	○~◎
34	◎	○	○	◎	○	○	○~◎
35	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎
36	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎
37	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎
38	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎
39	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎
40	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎
41	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎
42	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎
43	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎

表 7 腐蚀试验结果

No.	压载舱内			油罐上甲板背面			综合判定	备注
	耐全面腐蚀性	腐蚀均匀性	耐裂隙腐蚀性	耐全面腐蚀性	腐蚀均匀性	涂装耐蚀性		
44	△	△	△	△	△	△	△	本发明
45	○	○	△	○	△	△	△~○	"
46	◎	○	○	◎	○	○	○~◎	"
47	◎	○	○	◎	○	○	○~◎	"
48	○	◎	◎	○	○	○	○~◎	"
49	◎	◎	◎	◎	○	○	○~◎	"
50	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	"
51	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	"
52	◎	○	○	◎	○	○	○~◎	"
53	◎	○	○	◎	○	○	○~◎	"
54	◎	◎	◎	◎	○	○	○~◎	"
55	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	"

表 8 接头试验片母材的化学成分(mass%)

No.	C	Si	Mn	P	S	Al	Cu	Ni	Cr	Co	Ti	Ca	Mg	Se	其他	Cr/Al	备注
M1	0.08	0.18	0.99	0.012	0.007	0.09	0.52	—	1.02	—	—	—	—	—	—	11.3	本发明
M2	0.13	0.21	1.15	0.011	0.007	0.08	0.30	0.44	0.83	0.02	—	—	—	—	—	10.4	"
M3	0.11	0.23	1.04	0.013	0.003	0.12	1.09	—	0.59	—	—	0.0038	—	—	—	4.9	"
M4	0.12	0.19	1.02	0.014	0.004	0.11	0.35	0.21	1.29	—	0.013	—	0.0043	—	—	11.7	"
M5	0.10	0.18	1.00	0.014	0.004	0.06	0.19	—	2.03	—	—	—	—	0.006	B:0.0008	33.8	"
M6	0.11	0.24	1.13	0.012	0.005	0.08	0.28	—	1.17	—	—	—	—	—	Sn:0.09	14.6	"
M7	0.10	0.18	1.25	0.015	0.007	0.10	0.33	0.50	1.05	—	—	0.0021	0.0029	—	Sn:0.22	10.5	"
M8	0.13	0.22	0.98	0.0011	0.008	0.11	0.31	—	0.36	—	0.022	—	—	—	Zn:0.021,V:0.012	3.3	"

表 9 制作接头试验片用的焊接材料的化学成分(mass%)

No.	C	Si	Mn	Al	Cu	Cr	Fe
W1	0.10	0.21	1.58	0.06	0.05	1.10	Bal.
W2	0.12	0.20	1.59	0.02	0.24	0.55	Bal.
W3	0.12	0.21	1.35	0.08	0.61	0.19	Bal.
W4	0.12	0.20	1.41	0.03	0.50	2.54	Bal.
W5	0.11	0.20	1.29	0.05	0.08	1.52	Bal.
W6	0.13	0.21	1.19	0.06	2.89	0.19	Bal.
W7	0.11	0.20	1.36	0.15	0.18	0.64	Bal.
W8	0.11	0.23	1.48	0.07	0.10	6.02	Bal.
W9	0.12	0.24	1.55	0.08	0.25	0.70	Bal.
W10	0.12	0.21	1.28	0.30	0.45	1.29	Bal.
W11	0.14	0.22	1.30	0.09	0.59	0.17	Bal.

表 10 腐蚀试验结果的评价标准

试验片	评价特性	测定项目	判定			
			×	△	○	◎
D	耐全面腐蚀性	D-ave(mm)	3.00 以上	0.50 以上 3.00 未滿	0.10 以上 0.50 未滿	0.10 未滿
	腐蚀均匀性	D-max/D-ave	5.0 以上	2.0 以上 5.0 未滿	1.5 以上 2.0 未滿	1.5 未滿
E	耐裂隙腐蚀性	D-crev(mm)	3.00 以上	0.50 以上 3.00 未滿	0.10 以上 0.50 未滿	0.10 未滿
F	涂装耐蚀性	最大膨起宽度 (mm)	10 以上	2 以上 10 未滿	1 以上 2 未滿	1 未滿

表 11 腐蚀试验结果（实船暴露试验）

No.	母材	焊接材料	I(AD)	I(Cu)	I(Cr)	耐全面 腐蚀性	腐蚀 均匀性	耐裂隙 腐蚀性	涂装 耐蚀性	综合判定
56	M1	W1	0.50	0.28	1.09	○	△	△	×	×~○ 比较例
57	M1	W2	0.29	0.89	0.63	○	×	△	△	×~○ "
58	M1	W3	0.93	1.21	0.29	○	△	○	×	×~○ "
59	M1	W4	0.33	0.98	2.49	○	○	○	○	○ 本发明
60	M2	W5	0.67	0.30	1.88	◎	○	○	○	○~◎ "
61	M3	W6	0.59	2.97	0.31	◎	◎	○	○	○~◎ "
62	M4	W7	1.38	0.54	0.49	◎	◎	◎	○	○~◎ "
63	M5	W8	1.24	0.52	2.96	◎	◎	◎	◎	◎ "
64	M6	W9	0.92	0.88	0.58	◎	◎	◎	○	○~◎ "
65	M7	W10	2.99	1.45	1.32	◎	○	◎	◎	○~◎ "
66	M8	W11	0.77	1.93	0.62	◎	◎	◎	◎	◎ "

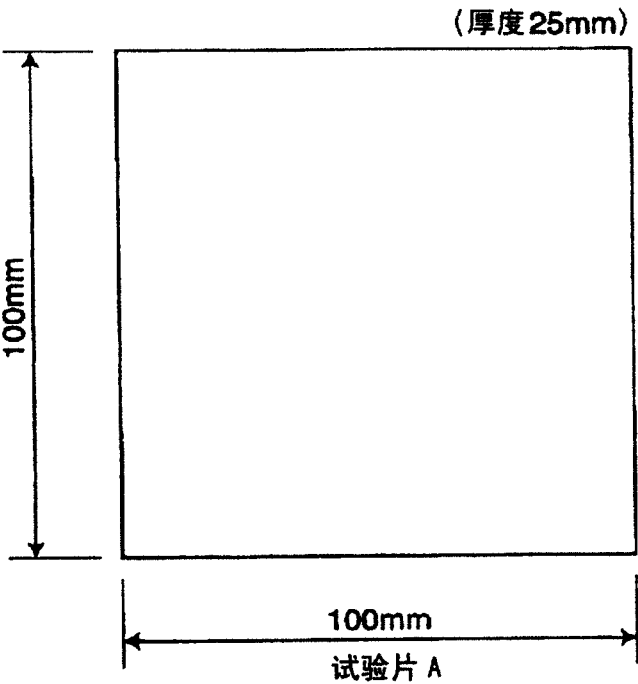


图 1

小试验片 20×20×5mm

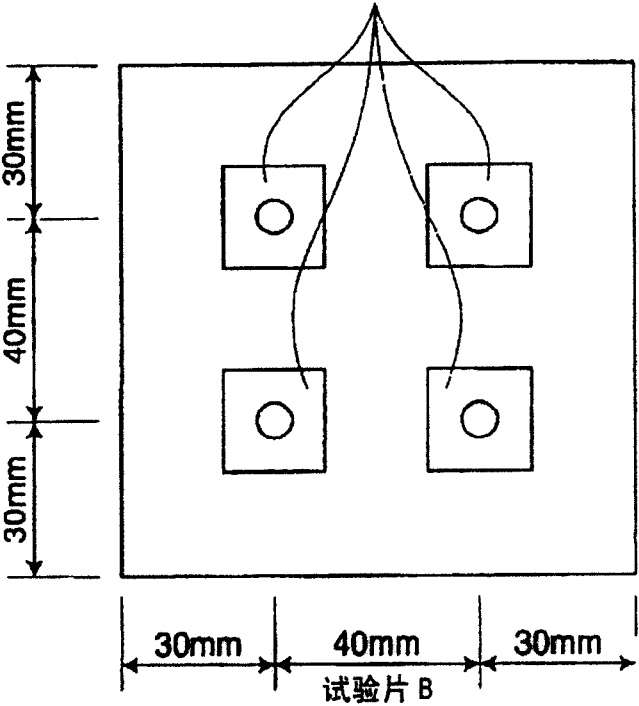


图 2

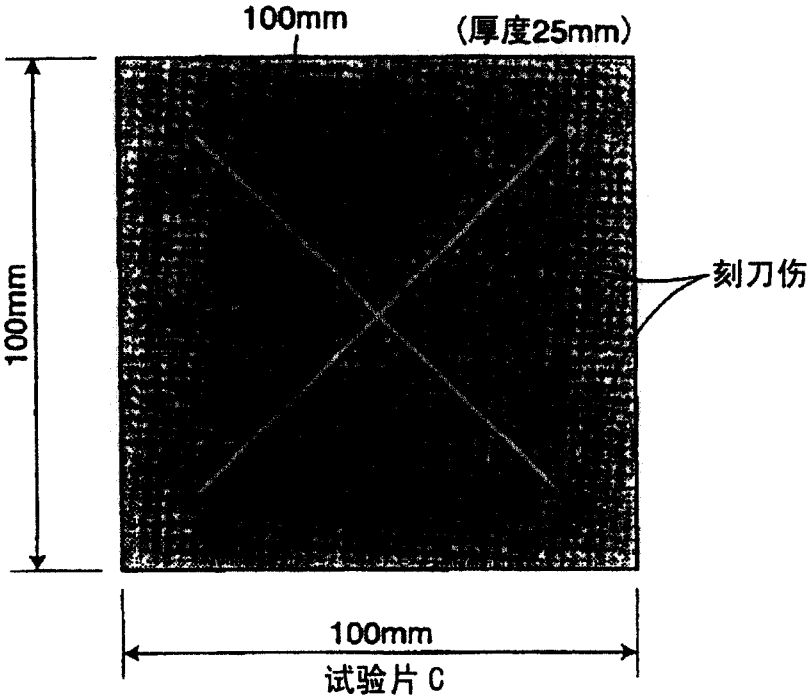


图 3

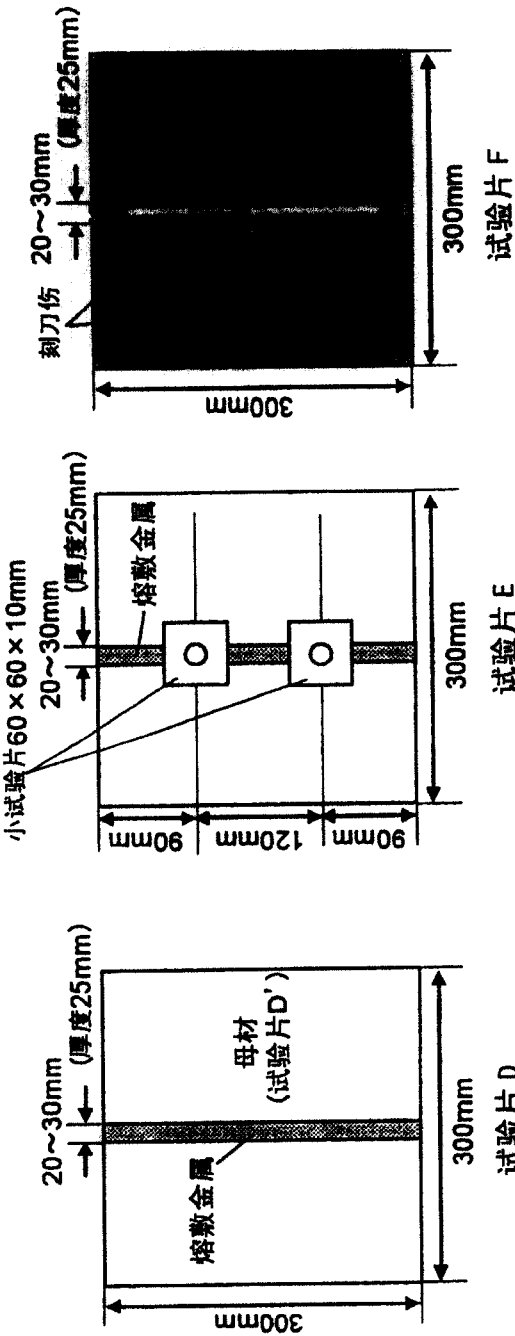


图 6

图 5

图 4