(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 103014754 B
(45)授权公告日 2017.09.22

(21)申请号 201210384341.4

(22)申请日 2012.09.21

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 103014754 A

(43)申请公布日 2013.04.03

(30)优先权数据
102011083321.8 2011.09.23 DE

(73)专利权人 科思创德国股份有限公司
地址 德国勒沃库森

(72)发明人 J·金特鲁普 A·布兰

(74)专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司 72001
代理人 赵苏林 李进

(51)Int.Cl.
C25B 11/08(2006.01)

(56)对比文件
CN 1880508 A,2006.12.20,
CN 1723577 A,2006.01.18,

审查员 张竞赛

权利要求书2页 说明书6页

(54)发明名称

耗氧电极及其制备工艺

(57)摘要

本发明公开了作为电解设备的耗氧电极，更具体地说是用于氯碱电解的耗氧电极，其包括新型催化涂层。还公开了该耗氧电极的制备工艺及其在氯碱电解或燃料电池技术中的用途。该耗氧电极至少包括导电载体、电触点和包含催化活性组分的气体扩散层，其特征在于所述涂层包含至少一种氟化聚合物、银颗粒形式的银和氧化银颗粒形式的氧化银，其通过选定的沉淀步骤制备。

CN 103014754 B

1.制备耗氧电极的工艺,其包括下列步骤:

a) 通过向初始进料的碱性溶液中计量加入银盐溶液并随后搅拌悬浮液至多10分钟来沉淀氧化银,在此过程中悬浮液的温度维持在10℃至50℃范围内,

b) 从步骤a)的悬浮液中分离沉淀的氧化银,

c) 在80℃至200℃的温度下干燥该氧化银,

d) 用导电载体材料、包含银颗粒的催化剂、和细粒的氟化聚合物对所得氧化银进行进一步加工,得到平板状的耗氧电极。

2.权利要求1所述的工艺,其中步骤c)在减压条件下进行。

3.权利要求1所述的工艺,其中在步骤c)中的干燥之后,所述氧化银的BET表面积在0.4至0.7 m^2/g的范围。

4.权利要求1所述的工艺,其中在步骤c)中的干燥之后,所述氧化银的d50在2至7 μm的范围,其中d50表示具有粒度分布的所有测量颗粒的50%小于该体积基粒度分布的直径。

5.权利要求1所述的工艺,其中,在进一步加工步骤d)中,使用0.5至20重量份的氟化聚合物,1至20重量份的银颗粒形式的银,以及60至98.5重量份的氧化银颗粒形式的氧化银。

6.权利要求1所述的工艺,其中,在进一步加工步骤d)中,采用干法制备工艺。

7.权利要求1所述的工艺,其中步骤a)中所用的碱性溶液是碱金属氢氧化物溶液,其中在该碱金属氢氧化物溶液中的碱金属氢氧化物相对于所述银盐是摩尔过量的。

8.权利要求7所述的工艺,其中碱金属氢氧化物溶液中的碱金属氢氧化物相对于所述银盐的摩尔过量的比例为至少1.1比1。

9.权利要求1所述的工艺,其中银盐溶液是硝酸银溶液,碱性溶液是NaOH水溶液,计量加入的时间小于10分钟,悬浮液搅拌至多5分钟,悬浮液的温度维持在10℃至50℃范围内,并且通过一次或者多次过滤悬浮液并洗涤氧化银来从步骤a)的悬浮液中分离沉淀的氧化银。

10.权利要求1-9中任一项所述的工艺,其中计量加入的时间小于1分钟且悬浮液的温度维持在25℃至30℃范围内。

11.权利要求3所述的工艺,其中在步骤c)中的干燥之后,所述氧化银的BET表面积在0.6至0.65 m^2/g的范围。

12.权利要求4所述的工艺,其中在步骤c)中的干燥之后,所述氧化银的d50在3至5 μm的范围。

13.权利要求5所述的工艺,其中,在进一步加工步骤d)中,使用2至10重量份的氟化聚合物,2至10重量份的银颗粒形式的银,以及70至95重量份的氧化银颗粒形式的氧化银。

14.权利要求5所述的工艺,其中,在进一步加工步骤d)中,所述干法制备工艺通过将氧化银、包含银颗粒的催化剂和细粒的氟化聚合物的粉末混合物与导电载体材料一起压制来进行,从而得到平板状的耗氧电极。

15.通过权利要求1的工艺制备的耗氧电极,其至少包括导电载体,电触点,和包含催化活性组分的气体扩散层,其中该气体扩散层包含至少一种氟化聚合物、银颗粒形式的银和氧化银颗粒形式的氧化银。

16.权利要求15所述的耗氧电极,其中该耗氧电极包括d90小于13 μm的氧化银颗粒,其中d90表示具有粒度分布的所有测量颗粒的90%小于该体积基粒度分布的直径。

17.用于电解碱金属氯化物的电解池，其中该电解池包括权利要求15的耗氧电极作为阴极。

18.权利要求17所述的电解池，其中所述碱金属氯化物是氯化钠、氯化钾、或者它们的混合物。

19.权利要求18所述的电解池，其中所述碱金属氯化物是氯化钠。

耗氧电极及其制备工艺

[0001] 本发明涉及一种耗氧电极，更具体地是用于氯碱电解的耗氧电极，其包括基于银和细粒氧化银的新型催化剂涂层，同时涉及电解装置。本发明进一步涉及耗氧电极的制备工艺以及它在氯碱电解或燃料电池技术中的用途。

[0002] 本发明起始于本身已知的耗氧电极，该电极采用气体扩散电极形式，并且通常包括导电载体和包含催化活性组分的气体扩散层。

[0003] 工业规模电解池中耗氧电极的生产和操作的各种方案大体上都是现有技术中已知的。基本思路就是使用耗氧电极(阴极)替代电解(例如氯碱电解)中的析氢阴极。在Moussallem等人的出版物“Chlor-Alkali Electrolysis with Oxygen Depolarized Cathodes:History,Present Status and Future Prospects”,J.Appl.Electrochem.38(2008)1177-1194中可以找到各种可能的电池设计和解决方案的概述。

[0004] 为了能够应用在工业电解槽中，耗氧电极-下文也简称为OCE-必须满足一系列要求。例如，在通常80至90℃的温度下，所使用的催化剂和所有其他材料对于大约32重量%的氢氧化钠溶液以及纯氧必须是化学稳定的。同样地，由于该电极在具有面积通常大于2m^{2}的尺寸大小的电解槽(工业规模)中安装和操作，因此还要求高度的机械稳定性。其它性能还包括:高导电性，低层厚度，高内表面积和电催化剂的高电化学活性。同样，合适的疏水孔隙和亲水孔隙以及用于传导气体和电解质的相应孔隙结构也是必需的，正是由于这种不可渗透性(imperyiosity)使得气体和液体空间保持彼此分离。对于工业应用的耗氧电极，还要特别满足长期稳定性和低生产成本的要求。

[0005] 耗氧电极通常由载体元件，例如多孔金属板或金属丝网，和电化学活性涂层组成。电化学活性涂层是微孔的，并且由亲水成分和疏水成分构成。疏水成分使电解质难以渗透，从而使相应的孔隙保持通畅以用于将氧输送到催化活性位点。亲水成分使得电解质能够渗透到催化活性位点，同时使得氢氧根离子能够输送走。所用疏水成分通常是氟化聚合物如聚四氟乙烯(PTFE)，其还可以充当催化剂的聚合物粘合剂。对于采用银催化剂的电极，银充当亲水成分。对于碳担载的催化剂的情形，所用载体是具有亲水孔隙的碳，液体可经由该孔隙输送。

[0006] 氧在气相、液相和固体催化剂相接触的三相区中还原。

[0007] 气体经由疏水基体中的孔隙输送。亲水孔隙充满液体；水经由这些孔隙输送至催化位点，而氢氧根离子经由这些孔隙输送走。由于氧仅有限度地溶于水相中，因此为了输送氧必须有足够多的无水孔隙可供使用。

[0008] 许多化合物已经记载可作为氧还原的催化剂。

[0009] 例如，有报道使用钯，钌，金，镍，过渡金属氧化物和过渡金属硫化物，金属卟啉和金属酞菁，以及钙钛矿作为耗氧电极的催化剂。

[0010] 然而，只有铂和银在碱溶液中作为氧还原催化剂具有现实意义。

[0011] 铂对于氧还原具有非常高的催化活性，由于铂成本高，因此仅以担载的形式使用。已知且确认的载体材料是碳。碳将电流传导至铂催化剂上。通过碳表面的氧化，可以使碳颗粒中的孔隙亲水化，从而变得适合于输送水。然而，碳担载的铂电极在长期运行中稳定性不

足，这可能是由于铂也会催化载体材料的氧化。载体材料的氧化导致电极的机械稳定性降低。

[0012] 银对于氧还原同样具有高催化活性。

[0013] 根据现有技术，银也可以碳作为载体来使用，并且也可以细粒的金属银形式使用。

[0014] 包含碳担载的银的OCEs通常具有20-50g/m^2的银浓度。尽管从根本上讲，碳担载的银催化剂比相应的铂催化剂更耐用一些，但是它在氯碱电解条件下的长期稳定性仍然有限。

[0015] 本发明的目的是提供耗氧电极(OCE)，更具体地是用于氯碱电解并且其中使用了氧化银的耗氧电极，当这种OCEs用在氯碱电解中时使得能采用更低的工作电压，并且该OCEs的制备工艺克服了上文所述的现有技术中已知的OCEs的缺点。

发明内容

[0016] 本发明的实施方式是制备耗氧电极的工艺，其包括下列步骤：

[0017] a)通过向初始进料的碱性溶液中计量加入银盐溶液并随后搅拌悬浮液至多10分钟来沉淀氧化银，在此过程中悬浮液的温度维持在10℃至50℃范围内，

[0018] b)从步骤a)的悬浮液中分离沉淀的氧化银，

[0019] c)在80℃至200℃的温度下干燥该氧化银，任选地在减压条件下进行，

[0020] d)用导电载体材料、包含银颗粒的催化剂，和细粒的氟化聚合物对所得氧化银进行进一步加工，得到平板状的耗氧电极。

[0021] 本发明的另一实施方式是上述工艺，其中在步骤c)中的干燥之后，所述氧化银的BET表面积在0.4至0.7m^2/g的范围。

[0022] 本发明的另一实施方式是上述工艺，其中在步骤c)中的干燥之后，所述氧化银的d50在2至7μm的范围。

[0023] 本发明的另一实施方式是上述工艺，其中，在进一步加工步骤d)中使用0.5至20重量份的氟化聚合物，1至20重量份的银颗粒形式的银，以及60至98.5重量份的氧化银颗粒形式的氧化银。

[0024] 本发明的另一实施方式是上述工艺，其中，在进一步加工步骤d)中采用干法制备工艺。

[0025] 本发明的另一实施方式是上述工艺，其中，步骤a)中所用的碱金属氢氧化物溶液中的碱金属氢氧化物相对于所述银盐是摩尔过量的。

[0026] 本发明的另一实施方式是上述工艺，其中，碱金属氢氧化物溶液中的碱金属氢氧化物相对于所述银盐的摩尔过量的比例为至少1.1比1。

[0027] 本发明的又一实施方式是耗氧电极，其至少包括导电载体，电触点(electrical contact site)，以及包含催化活性组分的气体扩散层，其中该气体扩散层包含至少一种氟化聚合物，银颗粒形式的银以及通过上述工艺制备的氧化银颗粒形式的氧化银。

[0028] 本发明的另一实施方式是上述耗氧电极，其中该耗氧电极包括d90小于13μm的氧化银颗粒。

[0029] 本发明的又一实施方式是用于电解碱金属氯化物的电解池，其中该电解池包括作为阴极的权利要求8所述的耗氧电极。

[0030] 本发明的另一实施方式是上述工艺，其中，所述银盐溶液是硝酸银溶液，所述碱性溶液是NaOH水溶液，计量加入时间小于10分钟，悬浮液搅拌时间至多5分钟，悬浮液的温度维持在10℃至50℃范围内，且通过一次或者多次过滤该悬浮液并洗涤氧化银从步骤a)的悬浮液中分离沉淀的氧化银。

[0031] 本发明的另一实施方式是上述工艺，其中计量加入时间小于1分钟且悬浮液的温度维持在25℃至30℃范围内。

[0032] 本发明的另一实施方式是上述工艺，其中在步骤c)中的干燥之后所述氧化银的BET表面积在0.6至0.65m^2/g的范围。

[0033] 本发明的另一实施方式是上述工艺，其中在步骤c)中的干燥之后所述氧化银的d50在3至5μm的范围。

[0034] 本发明的另一实施方式是上述工艺，其中，在进一步加工步骤d)中使用2至10重量份的氟化聚合物，2至10重量份的银颗粒形式的银，以及70至95重量份的氧化银颗粒形式的氧化银。

[0035] 本发明的另一实施方式是上述工艺，其中，在进一步加工步骤d)中所述干法制备工艺通过将氧化银、包含银颗粒的催化剂和细粒的氟化聚合物的粉末混合物与导电载体材料一起压制来进行，从而得到平板状耗氧电极。

[0036] 本发明的另一实施方式是上述电解池，其中所述碱金属氯化物是氯化钠、氯化钾、或者它们的混合物。

[0037] 本发明的另一实施方式是上述电解池，其中所述碱金属氯化物是氯化钠。

具体实施方式

[0038] 意外地发现，能够在氯碱电解中实现更低的电解池电压的氧化银可以，例如，通过下列步骤制备：

[0039] (1)通过向初始进料的碱性溶液中，特别是NaOH水溶液中，加入银盐溶液来沉淀氧化银，该银盐溶液优选硝酸银溶液，计量加入时间优选小于10分钟，更优选小于1分钟。随后，在至多50℃且至少10℃的温度下，优选在25℃至30℃的温度下，将悬浮液搅拌至多10分钟，优选至多5分钟，

[0040] (2)过滤该悬浮液并洗涤滤饼(该步骤重复两次或更多次，至少一次。最后一次洗涤后，将悬浮液再次过滤)，

[0041] (3)干燥所述氧化银，在该过程中氧化银首先在80至200℃的温度下干燥，优选在100至120℃下干燥，特别地该过程持续至多10小时，优选至多5小时，然后对该氧化银进行机械粉碎使团块解离，然后再次在80至200℃的温度下，优选在100至120℃的温度下再次干燥，持续至多2小时，优选至多1小时，然后所形成的氧化银至少用导电载体材料、银催化剂，和氟化聚合物加工得到OCE。

[0042] 因此，本发明提供了制备耗氧电极的工艺，其包括下列步骤：

[0043] a)通过向碱性溶液特别是NaOH水溶液中加入银盐溶液，优选硝酸银溶液，计量加入时间优选小于10分钟，更优选小于1分钟，然后搅拌悬浮液至多10分钟，优选至多5分钟，来沉淀氧化银，在此过程中该悬浮液的温度维持在10℃至50℃范围内，优选25℃至30℃，

[0044] b)从步骤a)的悬浮液中分离沉淀的氧化银，更具体地，通过一次或者多次过滤该

悬浮液并洗涤氧化银来分离沉淀的氧化银，

[0045] c)在80℃至200℃的温度下干燥该氧化银，任选地在减压条件下进行，

[0046] d)用导电载体材料、包含银颗粒的催化剂、和细粒的氟化聚合物对所得氧化银进行进一步加工，从而得到平板状的耗氧电极。

[0047] 在步骤c)中的干燥之后，所述氧化银的BET表面积优选在0.4至0.7m^2/g的范围，特别是在0.6至0.65m^2/g的范围。

[0048] 在步骤c)中的干燥之后，所述氧化银的d50在2至7μm的范围，特别是在3至5μm的范围。

[0049] 步骤a)所用的碱金属氢氧化物溶液中的碱金属氢氧化物优选相对于所述银盐是摩尔过量的。其比例优选为至少1.1比1。

[0050] 本发明还提供了耗氧电极，其至少包括导电载体、电触点、和包含催化活性组分的气体扩散层，其中该气体扩散层包含至少一种氟化聚合物，银颗粒形式的银和通过本发明工艺制备的氧化银颗粒形式的氧化银。此处以及后文，d50表示具有粒度分布的所有测量颗粒的50％小于该体积基粒度分布的直径。通常，粒度分布借助激光衍射光谱仪(例如MS2000 Hydro S)来测量。在测量过程中，粉末通常为添加有表面活性剂如Tween80的水分散体形式。分散操作通常借助持续15至300秒的超声处理来进行。

[0051] 另外，此处以及后文中，BET表面积表示通过DIN ISO9277测量的以m^2/g为单位的固体比表面积。

[0052] 所述新工艺进一步特别优选的方式的特征在于，在进一步加工步骤d)中，使用0.5至20重量份且优选2至10重量份的氟化聚合物，1至20重量份且优选2至10重量份的银颗粒形式的银，以及60至98.5重量份且优选70至95重量份的氧化银颗粒形式的氧化银。

[0053] 优选使用非担载的银作为所述催化剂。对于包括由非担载的金属银组成的催化剂的OCEs，自然不存在由于催化剂载体分解导致的稳定性问题。

[0054] 对于包括非担载的银催化剂的OCEs的制备，所述银优选至少部分以氧化银的形式引入，然后将其还原为金属银。银化合物的还原还导致晶体排列的变化，更特别地还会导致在各银颗粒之间形成桥连。这使得结构得到了整体强化。

[0055] 包括银催化剂的耗氧电极的制造原则上可分为湿法和干法制造工艺。

[0056] 在干法工艺中，催化剂和聚合物组分(通常为PTFE)的混合物粉碎成细颗粒，随后散布到导电载体元件上并在室温下压制。这种工艺记载在，例如，EP1728896A2中。

[0057] 在湿法制造工艺中，使用由混在水中或其它液体中的催化剂和聚合物组分组成的糊状物或悬浮液。在悬浮液制备过程中，为了增加其稳定性，可以加入表面活性物质。随后糊状物通过丝网印刷或压延涂敷到载体上，而粘度较小的悬浮液则通常喷洒于其上。涂敷了糊状物或悬浮液的载体经干燥和烧结。烧结在聚合物熔点区域内的温度下进行。另外，烧结后，所述OCEs还可以在比室温更高的温度下固结(至多到聚合物的熔点，软化点或分解点)。

[0058] 将通过这些工艺制备的电极引入到电解槽中而无需预先使氧化银还原。在电解槽充满电解质后，氧化银在电解电流的作用下还原为金属银。

[0059] 很多公开文献记载了使用硝酸银和氢氧化钠溶液基于沉淀法来制备氧化银。例如，US771872B2记载了纽扣电池用的氧化银粉末的制备和使用。该工艺基本包括4个步骤，

混合硝酸银水溶液和氢氧化钠溶液、随后经过至少30分钟(在最佳效果实施例中甚至长达12小时)的长时间搅拌来进行沉淀,过滤悬浮液并随后在减压条件下高温干燥。这样制得的粉末的d50值介于1至500μm且BET表面积小于5m^2/g。这种制备工艺的缺点是极长的后续搅拌时间,从而大大延长了工业规模生产工艺中的生产时间。另一个缺点在于,在如此长的后续搅拌时间内,单个颗粒会聚集,导致颗粒直径变大,这会在后续的进一步加工中导致不均匀的电极结构,例如在DE10148599中记载的OCE制备工艺中。

[0060] US20050050990记载了制备氧化银细颗粒的不同工艺,在该工艺中或者在沉淀过程中加入分散剂,或者将沉淀用的氢氧化钠溶液和硝酸银溶液同时计量加入到初始进料的氢氧化钠溶液中。在这些情形中,粉末在沉淀、过滤和干燥之后还经受湿磨。这使得氧化银颗粒的d50小于3μm并且d90小于8μm,BET表面积大于0.9m^2/g。上述两种工艺与本发明所述工艺相比都存在缺点。第一种工艺中,额外加入了分散剂,其随后又必须再次除去;在第二种工艺中,两种溶液的计量加入必须同时,这导致计量加入的复杂性程度增大。另外,湿磨工艺还包括进一步的工艺步骤。

[0061] 在本发明的一个特别有利的方式中,所述新工艺配置为,在进一步加工步骤d)中,采用干法制备工艺,更具体地通过将氧化银,包含银颗粒的催化剂和细粒的氟化聚合物的粉末混合物与导电载体材料一起压制,得到平板状的耗氧电极。

[0062] 本发明还提供了耗氧电极,其至少包括导电载体,电触点,和包含催化活性组分的气体扩散层,其中该气体扩散层包含至少一种氟化聚合物,银颗粒形式的银以及通过本发明上述新工艺制备的氧化银颗粒形式的氧化银。

[0063] 所述涂层优选包含0.5至20重量份且优选2至10重量份的氟化聚合物,1至20重量份且优选2至10重量份的银颗粒形式的银,以及60至98.5重量份且优选70至95重量份的氧化银颗粒形式的氧化银。

[0064] 包括氧化银的OCE可以,例如通过本身已知的技术,以湿法或干法工艺制备。这些工艺,特别是,如上面所述进行。

[0065] 所述新型耗氧电极优选连接作为阴极,特别是在用于碱金属氯化物电解的电解池中,该碱金属氯化物优选氯化钠或氯化钾,更优选为氯化钠。本发明因此还提供了电解设备,特别是用于氯碱电解的电解设备,其包括上述新型耗氧电极作为耗氧阴极。

[0066] 可供选择地,所述耗氧电极可优选在燃料电池中连接作为阴极。

[0067] 因此,本发明进一步提供了所述新型耗氧电极在碱性条件下用于氧还原的用途,特别是在碱性燃料电池中,用在饮用水处理中,例如用于制备次氯酸钠,或者用在氯碱电解中,特别是用于LiCl、KCl或NaCl的电解。

[0068] 所述新型OCE更优选用在氯碱电解中,特别是在氯化钠(NaCl)电解中。

[0069] 因此,本发明还进一步提供了用于碱金属氯化物电解的电解池,该碱金属氯化物优选氯化钠或氯化钾,更优选氯化钠,其特征在于它包括上述的本发明耗氧电极作为阴极。

[0070] 后文将通过实施例对本发明作详细的阐述,但这些实施例不构成对本发明的约束。

[0071] 为了所有有用的目的,所有上述参考文献以引用方式全文并入本说明书。

[0072] 虽然显示和描述了实施本发明的某些特定结构,但是对本领域技术人员显而易见地,在不偏离本发明基本发明构思的精髓和范围的前提下可对各个部分作出各种改变和重

排，并且本发明的基本发明构思不局限于本文显示和描述的特定形式。

[0073] 实施例

[0074] 实施例1

[0075] 将160g氢氧化钠溶解在去离子水中并且稀释得到1.3升氢氧化钠溶液。随后，同样将499g硝酸银(AGFA，工业级，袋装产品)用去离子水溶解并稀释得到1.3升硝酸银溶液。在搅拌条件下(桨式搅拌器，VA搅拌桨，150rmp)我们在室温下在5升烧杯中初始装入所述氢氧化钠溶液，并在250rpm的搅拌速率下于20秒内加入所述硝酸银溶液。随后继续搅拌5分钟。

[0076] 随后将悬浮液在瓷质抽滤器上通过白色网格滤膜(white-band filter)过滤10分钟。滤饼用去离子水在抽滤器上再洗涤五次，每次使用半升水。然后，将整个滤饼在3升去离子水中制成浆料，在抽滤器上用新的白色网格滤膜过滤并用去离子水洗涤三次，每次使用半升水。

[0077] 滤饼在真空干燥箱中于120℃干燥5小时。随后，较大的团块通过机械破坏(碾碎)，并且滤饼在真空干燥箱中于120℃再次干燥1小时。

[0078] 对于所制备的氧化银(I)，通过BET测量，测得0.63m^2/g的BET比表面积。将氧化银(I)样品在水/Tween80混合物中超声预处理300秒后，在MS2000HydroS上借助激光衍射测定粒度分布，发现该氧化银(I)的d50为3.97μm。

[0079] 将由7重量％的Dyneon TF2053Z型PTFE粉末，86重量％的通过上述制备工艺制备的氧化银(I)，以及7重量％的Ferro331型银粉末组成的0.16kg粉末混合物在IKA混合器中混合4次，每次15秒。在操作过程中，粉末混合物的温度保持在50℃以下。混合后，粉末混合物通过网眼大小为1.0mm的筛网过筛。

[0080] 过筛后的粉末混合物随后涂敷到丝厚度为0.14mm且网眼大小为0.5mm的镍丝网上。所述涂敷利用2mm厚的模板来进行，并且所述粉末借助网眼大小为1mm的筛网来涂敷。超出该模板厚度的多余粉末通过刮刀去除。在除去模板之后，涂敷有所述粉末混合物的载体通过辊压机压制，压制力为0.26kN/cm。从该辊压机上取下耗氧电极。

[0081] 将所制得的耗氧阴极用在氯化钠溶液(浓度为210g/l)的电解中，其中采用DuPONT N982WX离子交换膜，并且在OCE和膜之间有3mm的包含氢氧化钠溶液的间隙。电解液温度为90℃；氢氧化钠溶液的浓度是重量32％。在该OCE背向含氢氧化钠溶液的间隙的那一侧计量加入纯度为99.5％的氧气。所用的阳极是涂覆有含钌的混合贵金属氧化物的钛金属网(制造商：De Nora，LZM型)。活性电极的底面积和所述膜的底面积均为100cm^2。氢氧化钠溶液的流率和盐水的流率各自介于5至10l/h，且氧气流率介于45至55l/h。

[0082] 电流密度为4kA/m^2，测得的电解池电压为2.02V。