

一种合金耐蚀钢筋及其制备方法

相关申请的交叉引用

本申请要求在 2022 年 6 月 22 日提交中国专利局、申请号为 202210708417.8、发明名称为“一种合金耐蚀钢筋及其制备方法”的中国专利申请的优先权，其全部内容通过引用的方式并入本文中。

技术领域

本申请涉及钢筋的技术领域，具体涉及一种合金耐蚀钢筋及其制备方法。

背景技术

钢筋混凝土结构是最主要的建筑结构，其耐久性不足已成为行业难题。合金耐蚀钢筋兼具普通钢筋的外形、力学性能、加工性能以及耐腐蚀性能，已经成为解决钢筋混凝土结构耐久性不足难题的重要手段，但是现有的合金耐蚀钢筋还存在一些难以充分推广使用的问题。

例如专利 CN112375995A 公开了一种 400MPa 级耐蚀钢筋及其生产方法，所述 400MPa 级耐蚀钢筋的成分按质量百分比包括：Cr：9.5-10.4%，Mo：1.0-1.2%，Mn：0.3-0.6%，Ni：0.01-1%，Cu：0.01-0.5%，C≤0.014%，N≤0.004%，Nb：0.01-0.05%，Si：0.2-0.6%，余量为 Fe 及不可避免的杂质。上述的耐蚀钢筋微观组织为贝氏体和铁素体，属于超低碳高合金耐蚀钢筋，具有优异的力学性能和耐腐蚀性能。

但是上述的耐蚀钢筋合金元素中 Cr、Mo 含量高，导致其生产成本较高，大大限制了耐蚀钢筋的应用。

发明内容

本申请要解决的技术问题在于克服现有技术中的耐蚀钢筋合金元素中Cr、Mo含量高，导致其生产成本较高，大大限制了耐蚀钢筋的应用的缺陷。

为此，本申请提供一种合金耐蚀钢筋，按重量百分比计，包括：C：0.05-0.25%、Si：1.05-2%、Mn：0.3-1.5%、Cr：0.5-2.5%、Ni：0.05-1%、O：0.001-0.005%、S：0.001-0.0035%、Ti：0.005-0.1%、Al：0.005-0.1%、V：0.005-0.03%、Nb：0.005-0.03%；余量为Fe和不可避免的杂质；

其中，所述Si、Mn的含量满足 $2 \leq \text{Si/Mn} \leq 5$ ；Si、Cr的含量满足 $0.75 \leq \text{Si/Cr} \leq 1.5$ ；Ti、Al的含量满足 $0.02\% \leq \text{Ti+Al} \leq 0.2\%$ 。

可选的，所述Si为1.2-1.8%；

和/或，所述Mn为0.4-1%；

和/或，所述Cr为0.85-2%。

可选的，所述Si为1.35-1.65%；

和/或，所述Mn为0.45-0.75%；

和/或，所述Cr为1.35-1.75%。

可选的，所述C为0.05-0.15%。

可选的，所述C为0.07-0.12%。

可选的，所述Ti为0.01-0.075%；

和/或，所述Al为0.01-0.075%。

本申请还提供前述的合金耐蚀钢筋的制备方法，包括依次进行的冶炼、精炼、连铸、轧制和冷却工序。

可选的，所述合金耐蚀钢筋的制备原料包括硅铁合金和硅锰合金，硅铁合金和硅锰合金的质量比为(2-5):1。

可选的，所述连铸工序中，拉速为2.5-3.5m/min；

和/或，所述冷却工序中，上冷床温度为820°C-1000°C；

和/或，所述轧制工序包括连铸钢坯加热、开轧、精轧的步骤。

可选的，所述连铸钢坯加热的温度为1150-1250°C；所述开轧温度为1000-1120°C；所述精轧的温度 $\geq 1000^\circ\text{C}$ 。

本申请技术方案，具有如下优点：

1. 本申请提供一种合金耐蚀钢筋，通过本申请配方中 Si、Mn、Cr、Al、Ti 的关联设计，利用 Si、Ti、Al、Mn 等元素来弥补 Cr 含量降低导致的耐腐蚀性下降，从而在无需在配方中添加 Mo 元素且大大降低了 Cr 元素的含量的情况下，也能获得力学性能和耐蚀性能均优异的合金耐蚀钢筋，大大降低了合金耐蚀钢筋的生产成本。

2. 本申请提供一种合金耐蚀钢筋，基于本申请的化学成分设计，不仅能够实现合金耐蚀钢筋的优异耐蚀性能，还使合金耐蚀钢筋具有优异的力学性能，较低的生产成本，适宜于实际生产加工。

3. 本申请提供一种合金耐蚀钢筋，在本申请的化学成分设计方案的前提下，结合制备方法中的冶炼技术和控轧控冷工序，保证了合金元素强化作用的发挥及铁素体+珠光体复相组织的获得，在保证合金耐蚀钢筋的耐蚀性能、力学性能的同时，降低了生产难度和生产成本。

具体实施方式

提供下述实施例是为了更好地进一步理解本申请，并不局限于所述最佳实施方式，不对本申请的内容和保护范围构成限制，任何人在本申请的启示下或是将本申请与其他现有技术的特征进行组合而得出的任何与本申请相同或相近似的产品，均落在本申请的保护范围之内。

实施例中未注明具体实验步骤或条件者，按照本领域内的文献所描述的常规实验步骤的操作或条件即可进行。所用试剂或仪器未注明生产厂商者，均为可以通过市购获得的常规试剂产品。

本申请中硅铁合金的粒径为 10-30 mm，其主要成分以重量百分比计为：Si: 75%，S: 0.002%，C: 0.01%，Al: 0.1%，Ti: 0.01%，P: 0.02%，其余为铁和杂质，购自青海百通高纯材料有限公司。

本申请中硅锰合金的粒径为 10-30mm，其主要成分以重量百分比计为：Mn: 83%，Si: 1.94%，C: 0.65%，P: 0.15%，S: 0.005%，其余为铁和杂质，购自宁夏翼通实业有限公司。

本申请中铬铁合金的粒径为 30-50 mm，其主要成分以重量百分比计为：

Cr: 60%, Si: 0.87%, C: 0.14%, S: 0.002%, P: 0.034%, 其余为铁和杂质, 购自天津浩元金属材料有限公司。

本申请中钛铁合金的粒径为 10-30 mm, 其主要成分以重量百分比计为: Si: 1.85%, S: 0.014%, C: 0.04%, Al: 1.35%, Ti: 32.94%, P: 0.042%, Mn: 1.57%, 其余为铁和杂质, 购自锦州海鑫金属材料有限公司。

本申请中铌铁合金的粒径为 5-30 mm, 其主要成分以重量百分比计为: Nb: 65.92%, Si: 1.97%, C: 0.12%, Al: 0.94%, S: 0.018%, P: 0.258%, 其余为铁和杂质, 购自北京高科新材料科技有限公司。

本申请中钒氮合金的粒径为 5-10 mm, 其主要成分以重量百分比计为: V: 77.69%, S: 0.075%, C: 5.53%, N: 14.1%, P: 0.045%, 其余为铁和杂质, 购自江苏润丰合成科技有限公司。

本申请中镍由镍板加入, 镍含量 99.9%, 其余为铁和杂质元素, 购自江苏国燕特钢有限公司。

本申请中铝由铝粒加入, 铝含量 99.5%, 其余为铁和杂质元素, 购自许昌圣通金属材料有限公司。

实施例 1

本申请提供一种合金耐蚀钢筋, 按重量百分比, 包括: C: 0.07%、Si: 1.35%、Mn: 0.45%、Cr: 1.35%、Ni: 0.05%、O: 0.001%、S: 0.001%、Ti: 0.01%、Al: 0.01%、V: 0.005%、Nb: 0.005%; 余量为 Fe 和不可避免的杂质;

其中 Si、Mn 的含量满足 $Si/Mn=3$; Si、Cr 的含量满足 $Si/Cr=1$; Ti、Al 的含量满足 $Ti+Al=0.02\%$;

上述的合金耐蚀钢筋的制备方法, 包括如下步骤:

冶炼工序: 将铬铁合金、铌铁合金、钛铁合金、钒氮合金、硅铁合金、硅锰合金和镍板、铝粒于 1610°C 下冶炼获得钢水; 其中硅铁合金和硅锰合金的质量比为 3.3: 1, 铬铁合金、铌铁合金、钛铁合金、钒氮合金与硅锰合金的质量比为 3.3: 0.05: 0.1: 0.05: 1, 镍板加入量为 60kg, 铝粒加入量为 25kg; 硅锰合金加入量为 750kg;

精炼工序：向钢水中通入氩气并继续在 1550°C 下精炼 40min；

连铸工序：将精炼后的钢水使用连铸机制成连铸钢坯，连铸时设置拉速为 3m/min，获得的连铸钢坯的截面尺寸为 140mm²；

轧制工序：将连铸工序获得的连铸钢坯加热至 1190°C，加热时间为 100min，然后设置开轧温度为 1035°C、精轧温度为 1000°C，轧制获得直径为 14mm 的钢筋；

冷却工序：将轧制工序获得的钢筋冷却至 920°C 后，先移入冷床上冷却再空冷即可，冷床的传送速度为 2m/min。

实施例 2

本申请提供一种合金耐蚀钢筋，按重量百分比，包括：C：0.1%、Si：1.5%、Mn：0.55%、Cr：1.5%、Ni：0.5%、O：0.003%、S：0.0025%、Ti：0.05%、Al：0.05%、V：0.015%、Nb：0.015%；余量为 Fe 和不可避免的杂质；

其中 Si、Mn 的含量满足 Si/Mn=2.7；Si、Cr 的含量满足 Si/Cr=1；Ti、Al 的含量满足 Ti+Al=0.1%；

上述的合金耐蚀钢筋的制备方法，包括如下步骤：

冶炼工序：将铬铁合金、铌铁合金、钛铁合金、钒氮合金、硅铁合金、硅锰合金和镍板、铝粒于 1630°C 下冶炼获得钢水；其中硅铁合金和硅锰合金的质量比为 3.1：1，铬铁合金、铌铁合金、钛铁合金、钒氮合金与硅锰合金的质量比为 3.1：0.15：0.5：0.15：1，镍板加入量为 600kg，铝粒加入量为 130kg；硅锰合金加入量为 920kg；

精炼工序：向钢水中通入氩气并继续在 1555°C 下精炼 40min；

连铸工序：将精炼后的钢水使用连铸机制成连铸钢坯，连铸时设置拉速为 2.7m/min，获得的连铸钢坯的截面尺寸为 140mm²；

轧制工序：将连铸工序获得的连铸钢坯加热至 1210°C，加热时间为 110min，然后设置开轧温度为 1025°C、精轧温度为 1010°C，轧制获得直径为 25mm 的钢筋；

冷却工序：将轧制工序获得的钢筋冷却至 930°C 后，先移入冷床上冷

却再空冷即可，冷床的传送速度为 1.5m/min。

实施例 3

本申请提供一种合金耐蚀钢筋，按重量百分比，包括：C：0.12%、Si：1.65%、Mn：0.75%、Cr：1.75%、Ni：1%、O：0.005%、S：0.0035%、Ti：0.075%、Al：0.075%、V：0.03%、Nb：0.03%；余量为 Fe 和不可避免的杂质；

其中 Si、Mn 的含量满足 $Si/Mn=2.2$ ；Si、Cr 的含量满足 $Si/Cr=0.94$ ；Ti、Al 的含量满足 $Ti+Al=0.15\%$ ；

上述的合金耐蚀钢筋的制备方法，包括如下步骤：

冶炼工序：将铬铁合金、铌铁合金、钛铁合金、钒氮合金、硅铁合金、硅锰合金和镍板、铝粒于 1635℃ 下冶炼获得钢水；其中硅铁合金和硅锰合金的质量比为 2.5：1，铬铁合金、铌铁合金、钛铁合金、钒氮合金与硅锰合金的质量比为 2.7：0.3：0.8：0.3：1，镍板加入量为 1200kg，铝粒加入量为 250kg；硅锰合金加入量为 1250kg；

精炼工序：向钢水中通入氩气并继续在 1515℃ 下精炼 50min；

连铸工序：将精炼后的钢水使用连铸机制成连铸钢坯，连铸时设置拉速为 2.6m/min，获得的连铸钢坯的截面尺寸为 140mm²；

轧制工序：将连铸工序获得的连铸钢坯加热至 1210℃，加热时间为 110min，然后设置开轧温度为 1025℃、精轧温度为 1010℃，轧制获得直径为 32mm 的钢筋；

冷却工序：将轧制工序获得的钢筋冷却至 880℃ 后，先移入冷床上冷却再空冷即可，冷床的传送速度为 1.1m/min。

实施例 4

本申请提供一种合金耐蚀钢筋，按重量百分比，包括：C：0.05%、Si：1.2%、Mn：0.4%、Cr：0.85%、Ni：0.05%、O：0.001%、S：0.001%、Ti：0.005%、Al：0.025%、V：0.005%、Nb：0.005%；余量为 Fe 和不可避免的杂质；

其中 Si、Mn 的含量满足 $Si/Mn=3$ ；Si、Cr 的含量满足 $Si/Cr=1.41$ ；Ti、

Al 的含量满足 $Ti+Al=0.03\%$;

上述的合金耐蚀钢筋的制备方法, 包括如下步骤:

冶炼工序: 将铬铁合金、铌铁合金、钛铁合金、钒氮合金、硅铁合金、硅锰合金和镍板、铝粒于 1600°C 下冶炼获得钢水; 其中硅铁合金和硅锰合金的质量比为 3.5: 1, 铬铁合金、铌铁合金、钛铁合金、钒氮合金与硅锰合金的质量比为 2.5: 0.05: 0.05: 0.05: 1, 镍板加入量为 60kg, 铝粒加入量为 70kg; 硅锰合金加入量为 670kg;

精炼工序: 向钢水中通入氩气并继续在 1540°C 下精炼 30min;

连铸工序: 将精炼后的钢水使用连铸机制成连铸钢坯, 连铸时设置拉速为 3m/min , 获得的连铸钢坯的截面尺寸为 140mm^2 ;

轧制工序: 将连铸工序获得的连铸钢坯加热至 1230°C , 加热时间为 120min, 然后设置开轧温度为 1070°C 、精轧温度为 1050°C , 轧制获得直径为 28mm 的钢筋;

冷却工序: 将轧制工序获得的钢筋冷却至 920°C 后, 先移入冷床上冷却再空冷即可, 冷床的传送速度为 1.2m/min 。

实施例 5

本申请提供一种合金耐蚀钢筋, 按重量百分比, 包括: C: 0.15%、Si: 1.8%、Mn: 0.9%、Cr: 2%、Ni: 1%、O: 0.005%、S: 0.0035%、Ti: 0.1%、Al: 0.1%、V: 0.03%、Nb: 0.03%; 余量为 Fe 和不可避免的杂质;

其中 Si、Mn 的含量满足 $Si/Mn=2$; Si、Cr 的含量满足 $Si/Cr=0.9$; Ti、Al 的含量满足 $Ti+Al=0.2\%$;

上述的合金耐蚀钢筋的制备方法, 包括如下步骤:

冶炼工序: 将铬铁合金、铌铁合金、钛铁合金、钒氮合金、硅铁合金、硅锰合金和镍板、铝粒于 1639°C 下冶炼获得钢水; 其中硅铁合金和硅锰合金的质量比为 2: 1, 铬铁合金、铌铁合金、钛铁合金、钒氮合金与硅锰合金的质量比为 2.5: 0.3: 1.2: 0.3: 1, 镍板加入量为 1200kg, 铝粒加入量为 30kg; 硅锰合金加入量为 1500kg;

精炼工序: 向钢水中通入氩气并继续在 1560°C 下精炼 45min;

连铸工序：将精炼后的钢水使用连铸机制成连铸钢坯，连铸时设置拉速为 2.5m/min，获得的连铸钢坯的截面尺寸为 140mm²；

轧制工序：将连铸工序获得的连铸钢坯加热至 1150°C，加热时间为 90min，然后设置开轧温度为 1000°C、精轧温度为 1000°C，轧制获得直径为 10mm 的钢筋；

冷却工序：将轧制工序获得的钢筋冷却至 820°C 后，先移入冷床上冷却再空冷即可，冷床的传送速度为 2.2m/min。

实施例 6

本申请提供一种合金耐蚀钢筋，按重量百分比，包括：C：0.05%、Si：1.05%、Mn：0.3%、Cr：0.8%、Ni：0.05%、O：0.001%、S：0.001%、Ti：0.025%、Al：0.005%、V：0.005%、Nb：0.005%；余量为 Fe 和不可避免的杂质；

其中 Si、Mn 的含量满足 Si/Mn=3.5；Si、Cr 的含量满足 Si/Cr=1.31；Ti、Al 的含量满足 Ti+Al=0.03%；

上述的合金耐蚀钢筋的制备方法，包括如下步骤：

冶炼工序：将铬铁合金、铌铁合金、钛铁合金、钒氮合金、硅铁合金、硅锰合金和镍板、铝粒于 1650°C 下冶炼获得钢水；其中硅铁合金和硅锰合金的质量比为 3.8：1，铬铁合金、铌铁合金、钛铁合金、钒氮合金与硅锰合金的质量比为 2.6：0.05：0.3：0.05：1，镍板加入量为 60kg，铝粒加入量为 20kg；硅锰合金加入量为 500kg；

精炼工序：向钢水中通入氩气并继续在 1550°C 下精炼 35min；

连铸工序：将精炼后的钢水使用连铸机制成连铸钢坯，连铸时设置拉速为 2.5m/min，获得的连铸钢坯的截面尺寸为 140mm²；

轧制工序：将连铸工序获得的连铸钢坯加热至 1180°C，加热时间为 100min，然后设置开轧温度为 1020°C、精轧温度为 1000°C，轧制获得直径为 18mm 的钢筋；

冷却工序：将轧制工序获得的钢筋冷却至 860°C 后，先移入冷床上冷却再空冷即可，冷床的传送速度为 1.4m/min。

实施例 7

本申请提供一种合金耐蚀钢筋，按重量百分比，包括：C：0.25%、Si：2%、Mn：1%、Cr：2.5%、Ni：1%、O：0.005%、S：0.0035%、Ti：0.1%、Al：0.1%、V：0.03%、Nb：0.03%；余量为Fe和不可避免的杂质；

其中Si、Mn的含量满足 $Si/Mn=2$ ；Si、Cr的含量满足 $Si/Cr=0.8$ ；Ti、Al的含量满足 $Ti+Al=0.2\%$ ；

上述的合金耐蚀钢筋的制备方法，包括如下步骤：

冶炼工序：将铬铁合金、铌铁合金、钛铁合金、钒氮合金、硅铁合金、硅锰合金和镍板、铝粒于1600°C下冶炼获得钢水；其中硅铁合金和硅锰合金的质量比为2.2：1，铬铁合金、铌铁合金、钛铁合金、钒氮合金与硅锰合金的质量比为3：0.3：1.1：0.3：1，镍板加入量为1200kg，铝粒加入量为250kg；硅锰合金加入量为1665kg；

精炼工序：向钢水中通入氩气并继续在1540°C下精炼40min；

连铸工序：将精炼后的钢水使用连铸机制成连铸钢坯，连铸时设置拉速为2.7m/min，获得的连铸钢坯的截面尺寸为140mm²；

轧制工序：将连铸工序获得的连铸钢坯加热至1250°C，加热时间为120min，然后设置开轧温度为1120°C、精轧温度为1100°C，轧制获得直径为22mm的钢筋；

冷却工序：将轧制工序获得的钢筋冷却至1000°C后，先移入冷床上冷却再空冷即可，冷床的传送速度为1.45m/min。

实施例 8

本申请提供一种合金耐蚀钢筋，按重量百分比，包括：C：0.1%、Si：1.05%、Mn：0.35%、Cr：0.75%、Ni：0.15%、O：0.0025%、S：0.0025%、Ti：0.03%、Al：0.03%、V：0.01%、Nb：0.01%；余量为Fe和不可避免的杂质；

其中Si、Mn的含量满足 $Si/Mn=3$ ；Si、Cr的含量满足 $Si/Cr=1.4$ ；Ti、Al的含量满足 $Ti+Al=0.06\%$ ；

上述的合金耐蚀钢筋的制备方法，包括如下步骤：

冶炼工序：将铬铁合金、铌铁合金、钛铁合金、钒氮合金、硅铁合金、硅锰合金和镍板、铝粒于 1620°C 下冶炼获得钢水；其中硅铁合金和硅锰合金的质量比为 3.3: 1，铬铁合金、铌铁合金、钛铁合金、钒氮合金与硅锰合金的质量比为 2.1: 0.1: 0.3: 0.1: 1，镍板加入量为 180kg，铝粒加入量为 250kg；硅锰合金加入量为 585kg；

精炼工序：向钢水中通入氩气并继续在 1545°C 下精炼 40min；

连铸工序：将精炼后的钢水使用连铸机制成连铸钢坯，连铸时设置拉速为 3.5m/min，获得的连铸钢坯的截面尺寸为 140mm²；

轧制工序：将连铸工序获得的连铸钢坯加热至 1200°C，加热时间为 100min，然后设置开轧温度为 1020°C、精轧温度为 1000°C，轧制获得直径为 16mm 的钢筋；

冷却工序：将轧制工序获得的钢筋冷却至 880°C 后，先移入冷床上冷却再空冷即可，冷床的传送速度为 1.6m/min。

实施例 9

本申请提供一种合金耐蚀钢筋，按重量百分比，包括：C: 0.25%、Si: 1.5%、Mn: 0.3%、Cr: 1%、Ni: 0.05%、O: 0.001%、S: 0.001%、Ti: 0.1%、Al: 0.05%、V: 0.005%、Nb: 0.005%；

其中 Si、Mn 的含量满足 Si/Mn=5；Si、Cr 的含量满足 Si/Cr=1.5；Ti、Al 的含量满足 Ti+Al=0.15%；

上述的合金耐蚀钢筋的制备方法，包括如下步骤：

冶炼工序：将铬铁合金、铌铁合金、钛铁合金、钒氮合金、硅铁合金、硅锰合金和镍板、铝粒于 1650°C 下冶炼获得钢水；其中硅铁合金和硅锰合金的质量比为 5: 1，铬铁合金、铌铁合金、钛铁合金、钒氮合金与硅锰合金的质量比为 3.3: 0.05: 1.1: 0.05: 1，镍板加入量为 60kg，铝粒加入量为 125kg；硅锰合金加入量为 500kg；

精炼工序：向钢水中通入氩气并继续在 1560°C 下精炼 60min；

连铸工序：将精炼后的钢水使用连铸机制成连铸钢坯，连铸时设置拉速为 3.1m/min，获得的连铸钢坯的截面尺寸为 140mm²；

轧制工序：将连铸工序获得的连铸钢坯加热至 1230℃，加热时间为 120min，然后设置开轧温度为 1060℃、精轧温度为 1000℃，轧制获得直径为 22mm 的钢筋；

冷却工序：将轧制工序获得的钢筋冷却至 1000℃ 后，先移入冷床上冷却再空冷即可，冷床的传送速度为 1.45m/min。

实施例 10

本申请提供一种合金耐蚀钢筋，按重量百分比，包括：C：0.05%、Si：1.86%、Mn：0.93%、Cr：2.48%、Ni：1%、O：0.005%、S：0.0035%、Ti：0.005%、Al：0.015%、V：0.03%、Nb：0.03%；

其中 Si、Mn 的含量满足 $Si/Mn=2$ ；Si、Cr 的含量满足 $Si/Cr=0.75$ ；Ti、Al 的含量满足 $Ti+Al=0.02\%$ ；

上述的合金耐蚀钢筋的制备方法，包括如下步骤：

冶炼工序：将铬铁合金、铌铁合金、钛铁合金、钒氮合金、硅铁合金、硅锰合金和镍板、铝粒于 1600℃ 下冶炼获得钢水；其中硅铁合金和硅锰合金的质量比为 2.2：1，铬铁合金、铌铁合金、钛铁合金、钒氮合金与硅锰合金的质量比为 3.0：0.3：0.2：0.3：1，镍板加入量为 1200kg，铝粒加入量为 325kg；硅锰合金加入量为 1550kg；

精炼工序：向钢水中通入氩气并继续在 1540℃ 下精炼 30min；

连铸工序：将精炼后的钢水使用连铸机制成连铸钢坯，连铸时设置拉速为 2.8m/min，获得的连铸钢坯的截面尺寸为 140mm²；

轧制工序：将连铸工序获得的连铸钢坯加热至 1180℃，加热时间为 90min，然后设置开轧温度为 1020℃、精轧温度为 1000℃，轧制获得直径为 22mm 的钢筋；

冷却工序：将轧制工序获得的钢筋冷却至 950℃ 后，先移入冷床上冷却再空冷即可，冷床的传送速度为 1.45m/min。

对比例 1

本申请提供一种合金耐蚀钢筋，按重量百分比，包括：C：0.1%、Si：2.15%、Mn：0.3%、Cr：1%、Ni：0.05%、O：0.001%、S：0.0035%、Ti：

0.08%、Al: 0.07%、V: 0.005%、Nb: 0.005%;

其中 Si、Mn 的含量满足 $Si/Mn=7.17$; Si、Cr 的含量满足 $Si/Cr=2.15$;
Ti、Al 的含量满足 $Ti+Al=0.15\%$;

上述的合金耐蚀钢筋的制备方法,与实施例 8 的唯一区别在于:冶炼步骤中硅铁合金和硅锰合金的质量比为 6.5:1,铬铁合金、铌铁合金、钛铁合金、钒氮合金与硅锰合金的质量比为 3.6: 0.05: 0.8: 0.05: 1,镍板加入量为 60kg,铝粒加入量为 180kg;硅锰合金加入量为 500kg。

对比例 2

本申请提供一种合金耐蚀钢筋,按重量百分比,包括: C: 0.1%、Si: 1.5%、Mn: 1.65%、Cr: 1%、Ni: 0.05%、O: 0.001%、S: 0.0035%、Ti: 0.08%、Al: 0.07%、V: 0.005%、Nb: 0.005%;

其中 Si、Mn 的含量满足 $Si/Mn=0.91$; Si、Cr 的含量满足 $Si/Cr=1.5$;
Ti、Al 的含量满足 $Ti+Al=0.15\%$;

上述的合金耐蚀钢筋的制备方法,与实施例 8 的唯一区别在于:冶炼步骤中硅铁合金和硅锰合金的质量比为 0.8:1,铬铁合金、铌铁合金、钛铁合金、钒氮合金与硅锰合金的质量比为 0.6: 0.05: 0.8: 0.05: 1,镍板加入量为 60kg,铝粒加入量为 180kg;硅锰合金加入量为 2750kg。

对比例 3

本申请提供一种合金耐蚀钢筋,按重量百分比,包括: C: 0.1%、Si: 1.5%、Mn: 0.3%、Cr: 3%、Ni: 0.05%、O: 0.001%、S: 0.0035%、Ti: 0.08%、Al: 0.07%、V: 0.005%、Nb: 0.005%;

其中 Si、Mn 的含量满足 $Si/Mn=5$; Si、Cr 的含量满足 $Si/Cr=0.5$; Ti、Al 的含量满足 $Ti+Al=0.15\%$;

上述的合金耐蚀钢筋的制备方法,与实施例 8 的唯一区别在于:冶炼步骤中硅铁合金和硅锰合金的质量比为 4.5:1,铬铁合金、铌铁合金、钛铁合金、钒氮合金与硅锰合金的质量比为 10: 0.05: 0.8: 0.05: 1,镍板加入量为 60kg,铝粒加入量为 180kg;硅锰合金加入量为 500kg。

对比例 4

本申请提供一种合金耐蚀钢筋，按重量百分比，包括：C：0.1%、Si：1.5%、Mn：0.3%、Cr：1%、Ni：0.05%、O：0.001%、S：0.0035%、Ti：0.15%、Al：0.07%、V：0.005%、Nb：0.005%；

其中 Si、Mn 的含量满足 Si/Mn=5；Si、Cr 的含量满足 Si/Cr=1.5；Ti、Al 的含量满足 Ti+Al=0.22%；

上述的合金耐蚀钢筋的制备方法，与实施例 8 的唯一区别在于：冶炼步骤中硅铁合金和硅锰合金的质量比为 4.5:1，铬铁合金、铌铁合金、钛铁合金、钒氮合金与硅锰合金的质量比为 3.3：0.05：1.55：0.05：1，镍板加入量为 60kg，铝粒加入量为 180kg；硅锰合金加入量为 500kg。

对比例 5

本申请提供一种合金耐蚀钢筋，按重量百分比，包括：C：0.1%、Si：1.5%、Mn：0.3%、Cr：1%、Ni：0.05%、O：0.001%、S：0.0035%、Ti：0.08%、Al：0.15%、V：0.005%、Nb：0.005%；

其中 Si、Mn 的含量满足 Si/Mn=5；Si、Cr 的含量满足 Si/Cr=1.5；Ti、Al 的含量满足 Ti+Al=0.22%；

上述的合金耐蚀钢筋的制备方法，与实施例 8 的唯一区别在于：冶炼步骤中硅铁合金和硅锰合金的质量比为 4.5:1，铬铁合金、铌铁合金、钛铁合金、钒氮合金与硅锰合金的质量比为 3.3：0.05：0.8：0.05：1，镍板加入量为 60kg，铝粒加入量为 380kg；硅锰合金加入量为 500kg。

试验例 1

分别对实施例、对比例制备的合金耐蚀钢筋的力学性能按照国家标准 GB/T228.1-2010 金属材料拉伸试验第 1 部分：室温试验方法进行测试，并计算强屈比（即抗拉强度/屈服强度），测试结果见表 1；

表 1.试验例 1 的试验结果

试验例	力学性能				
	屈服强度 /MPa	抗拉强度 /MPa	断后延伸率 /%	最大力总伸长 率/%	强屈比

实施例 1	468	613	31.8	20.5	1.31
实施例 2	481	640	30.6	19.5	1.33
实施例 3	495	653	32.5	19.3	1.32
实施例 4	468	604	25.3	15.4	1.29
实施例 5	456	588	23.8	15.5	1.29
实施例 6	430	542	21.7	11.3	1.26
实施例 7	435	552	20.5	10.6	1.27
实施例 8	435	548	20.5	12.5	1.26
实施例 9	445	565	22.5	13.5	1.27
实施例 10	448	569	23	13.1	1.27
对比例 1	385	443	20.5	10.7	1.15
对比例 2	370	437	28.5	14.1	1.18
对比例 3	485	631	8.5	4.6	1.3
对比例 4	456	575	14.5	6.9	1.26
对比例 5	365	475	16.5	10.5	1.3

通过表 1 的数据可以看出：只有在本申请满足各元素比例条件下，才能同时保证屈服强度 $\geq 430\text{MPa}$ ，断后延伸率 $\geq 20.5\%$ ，强屈比 ≥ 1.26 ，最大力总延伸率 $\geq 10.6\%$ ，实现无需在配方中添加 Mo 元素且大大降低了 Cr 元素的含量的情况下，也能获得优异力学性能的效果。

试验例 2

采用蔡司光学显微镜在放大 200 倍的视场下分别观察实施例、对比例制备的合金耐蚀钢筋的组织类型并计算其中的铁素体体积占比，试验结果见表 2。

试验例 3

采用配有工作电极、参比电极、对电极系统的电化学工作站分别测试实施例、对比例制备的合金耐蚀钢筋表面钝化膜破裂的临界氯离子浓度值进行测试，并计算其临界氯离子浓度值相比型号为 HRB400 型钢筋的提升

倍数；具体测试方法为：测试样品在饱和氢氧化钠溶液中浸泡 48h，之后装入电化学工作站，并作为工作电极；每隔 24h 往电化学工作站溶液中加入 0.01mol/L 的氯化钠溶液，测试电压/电流-氯离子浓度曲线；当电流或电压出现急剧变化时，对应的氯离子浓度值即为临界氯离子浓度值；计算公式为提升倍数=合金耐蚀钢筋临界氯离子溶度值/HRB400 钢筋临界氯离子浓度值；测试结果见表 2；上述 HRB400 型钢筋的成分配比为 C:0.24%，Si:0.40%，Mn:1.40%，V:0.025%，P≤0.04%，S≤0.04%。

试验例 4

分别对实施例、对比例制备的合金耐蚀钢筋的耐氯盐腐蚀性能进行测试，并计算其耐氯盐腐蚀性相比型号为 HRB400 型钢筋的提升倍数；具体测试方法为：将各实施例、对比例的合金耐蚀钢筋截取 100mm 长的一端，采用车床进行车削加工获得直径为 8mm 的测试试样，在温度为 35℃、湿度为 80%将测试样品放入腐蚀溶液中进行盐雾腐蚀试验，测试腐蚀溶液氯盐为 5wt%的氯化钠溶液，其 pH 值为 7.0，测试时间为 14 天，采用电子显微天平测试腐蚀前后测试样品的重量。计算公式为：提升倍数=合金耐蚀钢筋腐蚀前后的重量变化值/HRB400 腐蚀前后的重量变化值；测试结果见表 2。上述 HRB400 型钢筋的成分配比为 C:0.24%，Si:0.40%，Mn:1.40%，V:0.025%，P≤0.04%，S≤0.04%。

表 2.试验例 2-4 的试验结果

编号	组织类型	铁素体占比/%	与 HRB400 相比， 临界氯离子浓度 值提升倍数	与 HRB400 相比，耐氯盐腐蚀 性能提升倍数
实施例 1	铁素体+珠光体	53	4.5	6.6
实施例 2	铁素体+珠光体	55	4.2	7.5
实施例 3	铁素体+珠光体	58	4.8	8.2
实施例 4	铁素体+珠光体	63	3.3	3.7
实施例 5	铁素体+珠光体	65	3	4.9

实施例 6	铁素体+珠光体	73	2.4	2.7
实施例 7	铁素体+珠光体	70	2.2	3.2
实施例 8	铁素体+珠光体	68	2.1	3.3
实施例 9	铁素体+珠光体	68	2.2	3.5
实施例 10	铁素体+珠光体	65	2.7	3.4
对比例 1	铁素体+珠光体	75	2.1	5
对比例 2	铁素体+珠光体	80	1.1	3
对比例 3	铁素体+珠光体+ 贝氏体	33	2.5	4.5
对比例 4	铁素体+珠光体	40	3	5.6
对比例 5	铁素体+珠光体	85	3	7

通过上述表 2 的结果可知，本申请的一种合金耐蚀钢筋中，铁素体在组织类型中的占比达到 53-73%，与 HRB400 相比，临界氯离子浓度值提升 2.1 倍以上，耐氯盐腐蚀性能提升 2.7 倍以上，综合性能显著提高。

通过从表 1 和表 2 的数据综合得出，在本申请的组成配比下可以兼顾力学性能和耐蚀性能，综合性能显著；且本申请的组成配比中无 Mo 元素且 Cr 元素的含量大大降低，成本显著降低。

显然，上述实施例仅仅是为清楚地说明所作的举例，而并非对实施方式的限定。对于所属领域的普通技术人员来说，在上述说明的基础上还可以做出其它不同形式的变化或变动。这里无需也无法对所有的实施方式予以穷举。而由此所引伸出的显而易见的变化或变动仍处于本发明创造的保护范围之内。

权 利 要 求 书

1. 一种合金耐蚀钢筋，其特征在于，按重量百分比计，包括：C：0.05-0.25%、Si：1.05-2%、Mn：0.3-1.5%、Cr：0.5-2.5%、Ni：0.05-1%、O：0.001-0.005%、S：0.001-0.0035%、Ti：0.005-0.1%、Al：0.005-0.1%、V：0.005-0.03%、Nb：0.005-0.03%；余量为Fe和不可避免的杂质；

其中，所述Si、Mn的含量满足 $2 \leq \text{Si/Mn} \leq 5$ ；Si、Cr的含量满足 $0.75 \leq \text{Si/Cr} \leq 1.5$ ；Ti、Al的含量满足 $0.02\% \leq \text{Ti+Al} \leq 0.2\%$ 。

2. 根据权利要求1所述的一种合金耐蚀钢筋，其特征在于，所述Si为1.2-1.8%；

和/或，所述Mn为0.4-1%；

和/或，所述Cr为0.85-2%。

3. 根据权利要求2所述的一种合金耐蚀钢筋，其特征在于，所述Si为1.35-1.65%；

和/或，所述Mn为0.45-0.75%；

和/或，所述Cr为1.35-1.75%。

4. 根据权利要求1所述的一种合金耐蚀钢筋，其特征在于，所述C为0.05-0.15%。

5. 根据权利要求4所述的一种合金耐蚀钢筋，其特征在于，所述C为0.07-0.12%。

6. 根据权利要求1所述的一种合金耐蚀钢筋，其特征在于，所述Ti为0.01-0.075%；

和/或，所述 Al 为 0.01-0.075%。

7. 权利要求 1-6 任一项所述的一种合金耐蚀钢筋的制备方法，其特征在于，包括依次进行的冶炼、精炼、连铸、轧制和冷却工序。

8. 根据权利要求 7 所述的制备方法，其特征在于，所述合金耐蚀钢筋的制备原料包括硅铁合金和硅锰合金，硅铁合金和硅锰合金的质量比为 (2-5):1。

9. 根据权利要求 7 所述的制备方法，其特征在于，所述连铸工序中，拉速为 2.5-3.5m/min；

和/或，所述冷却工序中，上冷床温度为 820°C -1000°C；

和/或，所述轧制工序包括连铸钢坯加热、开轧、精轧的步骤。

10. 根据权利要求 9 所述的制备方法，其特征在于，所述连铸钢坯加热的温度为 1150-1250°C；所述开轧温度为 1000-1120°C；所述精轧的温度 $\geq 1000^{\circ}\text{C}$ 。