



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 111690876 A

(43)申请公布日 2020.09.22

- (21)申请号 202010604060.X *G22C 38/46(2006.01)*
- (22)申请日 2020.06.29 *G22C 38/48(2006.01)*
- (71)申请人 马鞍山钢铁股份有限公司 *G22C 38/50(2006.01)*
地址 243000 安徽省马鞍山市九华西路8号 *G21D 1/18(2006.01)*
G21D 6/00(2006.01)
- (72)发明人 尹德福 汪开忠 张晓瑞 丁雷 *G21D 8/06(2006.01)*
于同仁 龚梦强 牟祖茂 姜婷 *G21D 9/52(2006.01)*
郝震宇 *G22C 33/04(2006.01)*
- (74)专利代理机构 安徽知问律师事务所 34134 *B21B 1/16(2006.01)*
代理人 于婉萍
- (51) Int. Cl.
G22C 38/02(2006.01)
G22C 38/04(2006.01)
G22C 38/06(2006.01)
G22C 38/42(2006.01)
G22C 38/44(2006.01)

权利要求书1页 说明书9页 附图2页

(54)发明名称

一种高强度螺栓用盘条及其生产方法

(57)摘要

本发明公开了一种高强度螺栓用盘条及其生产方法,属于紧固件用钢技术领域。所述高强度螺栓用盘条包括以下重量百分比的化学组分: C0.55%~0.60%、Si≤0.10%、Mn0.50%~0.80%、Cr1.20%~1.50%、Mo1.50%~1.80%、V0.02%~0.10%、Nb0.02%~0.08%、Ti0.05%~0.2%、Ni0.20%~0.30%、Cu0.20%~0.60%、Als0.015%~0.040%、P≤0.010%、S≤0.010%、H≤0.00015%、O≤0.0010%、N≤0.006%,其余为Fe和其它不可避免的杂质。采用本发明的技术方案能够有效解决现有高强度螺栓采用涂装方式进行防腐时防腐效果不理想,以及还会增加螺栓使用过程中的氢致延迟断裂问题的问题,显著提高了螺栓用盘条的耐蚀和耐延迟断裂性能,能够满足高强度螺栓的使用要求。

案例	C	Si	Mn	Cr	Mo	V	Nb	Ti	Ni	Cu	Als	P	S	O	N	耐蚀 指数	冲击 合格率
实施例 1	0.56	0.07	0.67	1.32	1.66	0.07	0.032	0.14	0.27	0.37	0.033	0.008	0.004	0.0007	0.0039	7.18	100%
实施例 2	0.58	0.09	0.65	1.28	1.70	0.06	0.031	0.17	0.28	0.40	0.034	0.006	0.003	0.0009	0.0038	7.09	100%
实施例 3	0.57	0.08	0.66	1.33	1.68	0.08	0.034	0.13	0.28	0.36	0.032	0.007	0.004	0.0008	0.0041	7.21	100%
实施例 4	0.55	0.07	0.67	1.31	1.71	0.07	0.029	0.16	0.26	0.35	0.031	0.008	0.005	0.0007	0.0038	7.15	100%
实施例 5	0.56	0.06	0.66	1.32	1.68	0.06	0.030	0.15	0.27	0.37	0.030	0.007	0.003	0.0008	0.0039	7.15	100%
对比例 1	0.45	0.08	0.57	1.14	2.15	-	0.038	-	-	-	0.033	0.017	0.006	0.0014	0.0057	1.78	100%
对比例 2	0.58	0.23	0.75	1.58	0.74	-	-	-	0.21	0.047	0.008	0.008	0.0019	0.0063	6.37	100%	

1. 一种高强度螺栓用盘条,其特征在于,所述高强度螺栓用盘条包括以下重量百分比的化学组分:C0.55%~0.60%、Si \leq 0.10%、Mn0.50%~0.80%、Cr1.20%~1.50%、Mo1.50%~1.80%、V0.02%~0.10%、Nb0.02%~0.08%、Ti0.05%~0.2%、Ni0.20%~0.30%、Cu0.20%~0.60%、Als0.015%~0.040%、P \leq 0.010%、S \leq 0.010%、H \leq 0.00015%、O \leq 0.0010%、N \leq 0.006%,其余为Fe和其它不可避免的杂质。

2. 根据权利要求1所述的一种高强度螺栓用盘条,其特征在于:所述盘条各化学组分的重量百分比满足 $0.7[C] \leq 0.2[Mo] + 0.20[V] + 0.10[Nb] + 0.03[Ti] + 0.25[Ni] \leq 0.8[C]$ 。

3. 一种高强度螺栓用盘条的生产方法,其特征在于,所述盘条包括如权利要求1或2所述的化学组分,其生产方法具体包括以下步骤:电炉冶炼 \rightarrow LF+RH真空精炼 \rightarrow 大圆坯连铸 \rightarrow 加热 \rightarrow 初轧开坯 \rightarrow 六机架连轧 \rightarrow 方坯轧制 \rightarrow 探伤、修磨 \rightarrow 高线加热炉加热 \rightarrow 控轧控冷 \rightarrow 减定径机 \rightarrow 吐丝机 \rightarrow 斯太尔摩冷却线 \rightarrow 盘条成品 \rightarrow 包装入库。

4. 根据权利要求3所述的一种高强度螺栓用盘条的生产方法,其特征在于:大圆坯连铸时中间包钢水目标温度稳定控制在液相线温度以上10~30 $^{\circ}$ C。

5. 根据权利要求4所述的一种高强度螺栓用盘条的生产方法,其特征在于:所述钢材加热时的均热段温度为1210~1250 $^{\circ}$ C,保温时间为370~390min。

6. 根据权利要求3-5中任一项所述的一种高强度螺栓用盘条的生产方法,其特征在于:所述高线加热炉加热时加热温度为980~1070 $^{\circ}$ C,方坯在炉时间不大于110min。

7. 根据权利要求3-5中任一项所述的一种高强度螺栓用盘条的生产方法,其特征在于,所述控轧控冷的工艺参数为:开轧温度为880~950 $^{\circ}$ C,终轧温度为780~840 $^{\circ}$ C;所述吐丝机吐丝温度为760~820 $^{\circ}$ C。

8. 根据权利要求3所述的一种高强度螺栓用盘条的生产方法,其特征在于:所述盘条还需进行性能检验,检验盘条力学性能时的热处理工艺包括淬火加热处理和高温回火处理,淬火加热时其加热温度为900~960 $^{\circ}$ C,高温回火时其回火温度为590~610 $^{\circ}$ C。

一种高强度螺栓用盘条及其生产方法

技术领域

[0001] 本发明属于紧固件用钢技术领域,尤其涉及一种高强度螺栓用盘条及其生产方法。

背景技术

[0002] 紧固件是我国装备制造业的基础性产业,广泛应用于国民经济的各个领域。近年来,随着我国汽车、风电、机械、建筑等各个行业的高速发展,对制造各类紧固件(如螺栓、螺母等)等零件使用的材料提出了设计应力和轻量化的要求,最有效的措施就是提高紧固件的强度。汽车车体轻量化是提高汽车燃油效率和减少CO₂排放的有效方法之一,由于发动机、行走部分零部件的小型、轻量化的需求,紧固件被用于比以往更高的拉伸负荷环境下,因此必须解决表面缺陷或钢中非金属夹杂物等缺陷导致其疲劳强度的降低,以及伴随着大气腐蚀和氢敏感性增加的延迟破坏等技术难题。

[0003] 作为最常见的一种紧固件,螺栓可用盘条制成,也可用圆钢制成。盘条是热轧后卷成盘状交货的成品,包括圆形、方形、矩形、六角等,由于绝大部分是圆形,所以一般所说的盘条通常是指圆形线材盘条,其直径相对较小;而圆钢则是指截面为圆形的实心长条钢材,其直径相对较大。

[0004] 超高强度紧固件作为联接部件的紧固件以及其他冷锻成型零件,提出了高设计应力和轻量化的要求,在这方面尤以汽车制造业的要求最强烈,原有的汽车用紧固件,尤其是发动机螺栓已难以满足汽车发动机高应力化的要求。然而,由于汽车运行的环境较为复杂,螺栓在各种大气环境中使用时会产生腐蚀,为延长其使用寿命,用于汽车方面连接使用的高强度螺栓均会采用涂装的方式进行防腐,如电镀或者热镀锌。但表面喷涂等方法的防腐年限一般为5~10年,因涂层的老化和分化,会降低螺栓的使用寿命,防腐效果不理想;同时超高强度螺栓电镀和热镀锌过程中引入的H元素也会增加螺栓使用过程中的氢致延迟断裂问题,因此汽车用超高强度紧固件必须具有优良的耐蚀性能,而且还要求其具有优异的耐延迟断裂性能,以满足汽车轻量化和高安全性的要求。

[0005] 经检索,关于螺栓用钢的专利已有相关公开。如,中国专利申请号为01129512.0的申请案公开了一种强度为1400~1600MPa耐延迟断裂的高强度螺栓用钢,该钢的具体成分为:C0.35~0.5%,Si0.01~0.09%,Mn≤0.30%,P≤0.010%,S≤0.008%,Cr0.5~1.5%,Mo0.7~1.5%,V0.20~0.50%,Nb0.01~0.08%,RE0.002~0.04%,Al0.005~0.05%,N0.006~0.015%,Ti和Zr中的任意一种或两种之和为0.01~0.15,其余为Fe及不可避免的杂质。该螺栓的最大抗拉强度仅为1580MPa,难以满足某些特殊应用场合下高强度螺栓的性能要求,且其化学成分添加了RE等,生产成本显著增加。

[0006] 又如,中国专利申请号为200810049411.4公开了一种抗延迟断裂的16.9级螺栓制作方法,该钢锭的化学成分范围应控制在C0.15~0.19%,Mn≤0.10%,Si≤0.10%,S≤0.005%,P≤0.008%,S+P≤0.010%,Cr1.80~2.00%,Ni9.50~10.50%,Co13.50~14.50%,Mo0.90~0.10%,Ti≤0.015%,O≤0.0020%,N≤0.0015%。该螺栓用钢不仅采用

真空感应熔炼+真空自耗熔炼、锻造成型和复合热处理等较复杂的生产工艺,且Ni和Co等贵重元素含量较高,导致其生产成本也较高,不适宜工业化生产。

发明内容

[0007] 1. 要解决的问题

[0008] 本发明目的在于克服现有高强度螺栓采用涂装方式进行防腐时防腐效果不理想,以及还会增加螺栓使用过程中的氢致延迟断裂问题的不足,提供了一种具有优良的耐大气腐蚀及耐延迟断裂性能的高强度螺栓用盘条及其生产方法。采用本发明的技术方案能够有效解决上述问题,显著提高了螺栓用盘条的耐蚀和耐延迟断裂性能,能够满足高强度螺栓的使用要求。

[0009] 2. 技术方案

[0010] 为了解决上述问题,本发明所采用的技术方案如下:

[0011] 本发明的一种高强度螺栓用盘条,所述高强度螺栓用盘条包括以下重量百分比的化学组分:C0.55%~0.60%、Si \leq 0.10%、Mn0.50%~0.80%、Cr1.20%~1.50%、Mo1.50%~1.80%、V0.02%~0.10%、Nb0.02%~0.08%、Ti0.05%~0.2%、Ni0.20%~0.30%、Cu0.20%~0.60%、Als0.015%~0.040%、P \leq 0.010%、S \leq 0.010%、H \leq 0.00015%、O \leq 0.0010%、N \leq 0.006%,其余为Fe和其它不可避免的杂质。

[0012] 更进一步的,所述盘条的各化学组分的重量百分比满足 $0.7[C] \leq 0.2[Mo] + 0.20[V] + 0.10[Nb] + 0.03[Ti] + 0.25[Ni] \leq 0.8[C]$ 。

[0013] 本发明的一种高强度螺栓用盘条的生产方法,所述盘条包括上述的化学组分,其生产方法具体包括以下步骤:电炉冶炼 \rightarrow LF+RH真空精炼 \rightarrow Φ 380mm大圆坯连铸 \rightarrow 加热 \rightarrow 初轧开坯 \rightarrow 六机架连轧 \rightarrow 150mm方坯轧制 \rightarrow 探伤、修磨 \rightarrow 高线加热炉加热 \rightarrow 控轧控冷 \rightarrow 减定径机 \rightarrow 吐丝机 \rightarrow 斯太尔摩冷却线 \rightarrow 盘条成品 \rightarrow 包装入库。

[0014] 更进一步的,大圆坯连铸时中间包钢水目标温度稳定控制在液相线温度以上10~30 $^{\circ}$ C。

[0015] 更进一步的,所述钢材加热时的均热段温度为1210~1250 $^{\circ}$ C,保温时间为370~390min。

[0016] 更进一步的,所述高线加热炉加热时加热温度为980~1070 $^{\circ}$ C,方坯在炉时间不大于110min。

[0017] 更进一步的,所述控轧控冷的工艺参数为:开轧温度为880~950 $^{\circ}$ C,终轧温度为780~840 $^{\circ}$ C;所述吐丝机吐丝温度为760~820 $^{\circ}$ C。

[0018] 更进一步的,所述盘条还需进行性能检验,检验盘条力学性能时的热处理工艺包括淬火加热处理和高温回火处理,淬火加热时其加热温度为900~960 $^{\circ}$ C,高温回火时其回火温度为590~610 $^{\circ}$ C。

[0019] 3. 有益效果

[0020] 相比于现有技术,本发明的有益效果为:

[0021] (1) 本发明的一种高强度螺栓用盘条,通过对其化学组分及含量进行优化设计,在提高C含量的同时添加了Nb、V、Ti、Mo等微合金化元素,利用各元素的综合协调作用,从而一方面可有效提高所得盘条的耐大气腐蚀性能,另一方面可提高其耐氢脆化特性,改善盘条

的耐延迟断裂性能,从而提高所得盘条的强度等级,满足高强度紧固件的使用要求,且避免了现有螺栓采用涂层防腐带来的问题。

[0022] (2) 本发明的一种高强度螺栓用盘条,通过对Nb、V、Ti、Mo、Ni的含量范围进行了进一步限定,利用各元素的复配协调作用,从而能够进一步改善盘条的耐延迟断裂性能,满足盘条的高强度使用要求;且其添加的Mo、V还显著提高了回火软化阻力,实现在高温下的超高强度;其添加的Mo以及Ni还可以提高盘条的耐大气腐蚀性能。

[0023] (3) 本发明的一种高强度螺栓用盘条,通过在其化学组分中添加了Cu、Ni以及Mo,并对其含量进行优化设计,并使其能够满足经验公式,从而不仅进一步提高了其耐蚀能力,其化学组分满足耐大气腐蚀性指数 $I \geq 7.0$,保证了盘条的耐大气腐蚀性能;还抑制了腐蚀环境中氢的发生及吸收,同时获得较高的缺口韧性。

[0024] (4) 本发明的一种高强度螺栓用盘条的生产方法,通过对其生产工艺中的化学组分、含量以及具体工艺参数进行了优化设计,利用各元素的综合作用,并在生产过程中严格控制其工艺参数,从而进一步保障了高强度螺栓用盘条的力学性能,也保证了其耐蚀和耐延迟断裂性能,满足汽车轻量化和高安全性的要求,且采用本发明超高强度螺栓用盘条的生产方法还能够节约能源,降低成本。

附图说明

[0025] 图1为本发明的实施例1-5以及对比例1-2的化学组分及冷敏性能图(wt%)。

[0026] 图2为本发明的实施例1-5以及对比例1-2的力学性能、耐延迟断裂及耐蚀性能图。

[0027] 图3为本发明的缺口拉伸延迟断裂试样。

[0028] 图4为本发明的实施例9中5组试验和2组对比试验的化学组分及冷敏性能图(wt%)。

[0029] 图5为本发明的实施例9中5组试验和2组对比试验的力学性能、耐延迟断裂及耐蚀性能图。

具体实施方式

[0030] 为解决现有汽车用高强度螺栓采用电镀或者热镀锌的涂装方式进行防腐时,其防腐效果不理想,且超高强度螺栓电镀和热镀锌过程中引入的H元素还会增加螺栓使用过程中的氢致延迟断裂问题,本发明提供了一种高强度螺栓用盘条,所述高强度螺栓用盘条包括以下重量百分比的化学组分: C 0.55%~0.60%、Si \leq 0.10%、Mn 0.50%~0.80%、Cr 1.20%~1.50%、Mo 1.50%~1.80%、V 0.02%~0.10%、Nb 0.02%~0.08%、Ti 0.05%~0.20%、Ni 0.20%~0.30%、Cu 0.20%~0.60%、Al \leq 0.015%~0.040%、P \leq 0.010%、S \leq 0.010%、H \leq 0.00015%、O \leq 0.0010%、N \leq 0.006%,其余为Fe和其它不可避免的杂质。并且该盘条个化学组分的重量百分比还满足:

[0031] ①、 $0.7[C] \leq 0.2[Mo] + 0.20[V] + 0.10[Nb] + 0.03[Ti] + 0.25[Ni] \leq 0.8[C]$ 。

[0032] 本发明的高强度螺栓用盘条,与高强度螺栓用圆钢的化学组分、性能及生产工艺均有不同,由于采用盘条制造螺栓时,还需进行冷敏工艺,因此盘条中的Si含量不宜过高,若其含量较高则不利于冷变形。为保证高强度性能,本发明对高强度螺栓用盘条的化学组分及含量进行了优化设计,对添加的各元素含量范围进行限定,在SCM435的基础上稍微提

高C含量,同时添加了Nb、V、Ti、Mo等微合金化元素,利用各元素的综合协调作用,从而一方面可有效提高所得盘条的耐大气腐蚀性能,另一方面可提高其耐氢脆化特性,改善盘条的耐延迟断裂性能,从而提高所得盘条的强度等级,满足高强度紧固件的使用要求,且避免了现有螺栓采用涂层防腐带来的问题。

[0033] 同时,本发明还采用公式①对添加的Nb、V、Ti、Mo、Ni的含量范围进行了进一步限定,利用各元素的复配协调作用,从而在高温回火时弥散析出大小45nm以下的Mo系、Nb系、Ti系、V系以及复合碳氮合金化物(即满足公式①可保证析出细小碳化物),一方面有利于提高耐氢脆化特性,进一步改善耐延迟断裂性能;另一方面弥散析出的碳化物尤其是Mo、V可显著提高回火软化阻力,使碳化物细小均匀球化,通过析出硬化以及对原奥氏体晶界的强化实现在高温下的超高强度,并具有蠕变性能,其添加的Mo元素可减少钢表面侵入的氢量,抑制腐蚀坑生成,提高盘条的耐大气腐蚀性能。

[0034] 另外,本发明通过添加Cu、Ni等元素,并对其添加的Cu、Ni等元素含量进行优化设计,并使其能够满足经验公式(即公式①),从而进一步提高了其耐蚀能力,其添加的Ni、Cu等元素,不仅提高其耐蚀能力,还抑制了腐蚀环境中氢的发生及吸收,同时获得较高的缺口韧性。为保证耐蚀性能,化学组分需满足耐大气腐蚀性指数 ≥ 7.0 ,保证其耐腐蚀性能。

[0035] 本发明的螺栓用盘条各化学组分中,C是用于确保淬火性和强度所需要的元素,随着其含量增大,其延展性和耐蚀性会降低。较高的C含量虽然对钢的强度等有利,但对钢的冷镦性能、塑性和韧性极为不利,且还会使屈强比降低、脱碳敏感性增大,恶化钢的抗疲劳性能和加工性能。Si是钢中主要的脱氧元素,具有很强的固溶强化作用,但硅能显著提高钢的变形抗力,其含量较高会导致冷镦开裂,对冷镦和冷挤压极为不利,且Si还能促进杂质元素的晶界偏聚,增加钢的延迟断裂敏感性,使钢的塑性和韧性下降,恶化钢的抗疲劳性能,故本发明硅含量不宜太高。

[0036] Mn也是淬火性提高元素,在用于达成高强度性能上是较为有用的元素,但过高的Mn含量会恶化钢的耐候性。Ni元素的加入能改善锈层结构,提高致密度和对钢表面的粘结性,提高了钢的耐蚀性能,抑制氢的吸附,进而对改善耐延迟断裂性能有益。Cu与上述Ni元素一样,也可提高耐蚀性,抑制氢侵入,对于进一步提高耐延迟断裂性是较为有效的元素,并可形成保护性较好的锈层;且Cu元素还能改变锈层的吸湿性,从而提高了临界湿度,但Cu含量过高会降低钢的高温塑性,在热加工过程中易产生裂纹。Cr元素是高强度螺栓钢中最常使用的合金元素,Cr能够有效提高钢的淬透性和回火抗力,以获得所需的高强度,同时Cr与Cu的复合加入,能够明显地提高钢的耐候性,Cr含量较小则难以起到上述作用,但Cr含量较大则会恶化钢的韧性和冷加工性。

[0037] Mo元素也是高强度螺栓钢中较常采用的合金元素,不仅可以显著提高钢的回火抗力,其形成的碳化物 Mo_2C 对氢有捕集作用,也可提高钢的耐延迟断裂性能;且Mo元素在原奥氏体晶界的偏聚还能够提高钢的晶界结合强度;此外,Mo元素还可减少钢表面侵入的氢量,抑制腐蚀坑生成,从而也提高了盘条的耐蚀性。V能使钢的晶粒微细化,并且利用回火时析出的碳化物,能够使强度和耐延迟断裂性提高;且V元素也可提高钢的回火抗力,在较高温度回火时析出的碳氮化钒除了可产生二次硬化进一步提高钢的强度外,还由于碳氮化钒具有较强的陷阱能,能够捕集氢使其均匀地分散在晶内,抑制氢的扩散和晶界偏聚,从而改善钢的耐延迟断裂性能。Nb元素也能够明细地细化晶粒,晶粒细化不仅能提高钢材的强韧性,

而且还可以改善钢材的低温性能,同时提高回火抗力还可改善高强度钢耐延迟断裂性能,其碳化物的氢陷阱结合能低于碳化钒、碳化钛,对氢的捕集作用稍差。

[0038] Ti元素除细化晶粒、析出强化和固定N、S的作用外,弥散析出的TiC是钢中陷阱能最高的氢陷阱之一,能够捕集氢使其均匀地分散在晶内,抑制氢的扩散,从而改善钢的耐延迟断裂性能。Ti含量较低则起不到上述作用,但Ti含量较高则生成的粗大氮化物会恶化钢的塑韧性。S、P等杂质元素在晶界处偏聚,将使耐延迟断裂性能大大降低,P元素能在钢液凝固时形成微观偏析,随后在奥氏体化温度加热时偏聚在晶界,使钢的脆性显著增大,从而增加钢的延迟断裂敏感性;S元素形成MnS夹杂物在晶界偏析,从而也增加了钢的延迟断裂敏感性,在尽量减少杂质P、S的同时,可通过减少促进晶界偏析的Mn实现晶界强化。H是钢中最有害的元素,H在固态钢中溶解度极小,在高温时融入钢液,冷却时来不及逸出而积聚在组织中形成高压细微细孔,尤其对于超高强度紧固件来说,在后期的使用过程中容易产生氢脆延迟断裂。O在钢中形成各种氧化物夹杂,在应力的作用下,这些氧化物夹杂处容易产生应力集中,导致微裂纹的萌生,从而恶化钢的力学性能特别是韧性和抗疲劳性能,因此,在冶金生产中需采取适当措施尽可能降低其含量。N在钢中析出 Fe_4N ,扩散速度慢,导致钢产生时效性,同时N还会降低钢的冷加工性能。

[0039] 本发明的一种高强度螺栓用盘条的生产方法,所述盘条包括上述的化学组分,其生产方法具体包括以下步骤:电炉冶炼→LF+RH真空精炼→ Φ 380mm大圆坯连铸→加热→初轧开坯→六机架连轧→150mm方坯轧制→探伤、修磨→高线加热炉加热→控轧控冷→减定径机→吐丝机→斯太尔摩冷却线→盘条成品→包装入库。

[0040] 电炉冶炼时,出钢进行脱氧合金化,并严格控制出钢过程下渣。LF炉精炼时,将C、Si、Cr、Mn、Mo、V、Nb、Ti、Ni、Cu等元素调至目标值。RH炉真空脱气时纯脱气时间不小于20分钟,保证真空处理后 $H \leq 0.00015\%$ 。大圆坯连铸时,中间包钢水目标温度稳定控制在液相线温度以上 $10 \sim 30^\circ\text{C}$,连铸 Φ 380mm圆坯。

[0041] 线材轧制路线: Φ 380mm圆坯→加热→轧制为 $150\text{mm} \times 150\text{mm}$ 方坯→探伤、修磨→高线加热炉加热→高速线材控轧控冷轧制→斯太尔摩冷却线控冷→ Φ 16mm线材盘条成品。其中钢材加热时的均热段温度为 $1210 \sim 1250^\circ\text{C}$,优选为 1230°C ;保温时间为 $370 \sim 390\text{min}$,优选为 380min (若采用 Φ 450mm圆坯进行轧制,其保温时间可为 420min)。所述高线加热炉加热时加热温度为 $980 \sim 1070^\circ\text{C}$,优选为 $1020 \sim 1060^\circ\text{C}$;方坯在炉时间不大于 110min ,优选为 $90 \sim 105\text{min}$ 。所述线材进行控轧控冷轧制时,其开轧温度为 $880 \sim 950^\circ\text{C}$,优选为 $900 \sim 920^\circ\text{C}$;其终轧温度为 $780 \sim 840^\circ\text{C}$,优选为 $800 \sim 820^\circ\text{C}$ 。所述吐丝机吐丝温度为 $760 \sim 820^\circ\text{C}$,优选为 $780 \sim 800^\circ\text{C}$ 。

[0042] 所述盘条钢材还需进行性能检验,检验盘条力学性能的热处理工艺包括淬火加热处理和高温回火处理,热处理过程中,为使Nb、V、Mo等合金元素充分溶解到奥氏体中,淬火加热温度不能过低;但温度过高容易使奥氏体晶粒过分长大,且容易产生脱碳,导致紧固件韧性和耐延迟断裂特钢较差,因此,淬火加热时其加热温度设定为 $900 \sim 960^\circ\text{C}$,优选为 $910 \sim 930^\circ\text{C}$ 。由于Nb、V、Mo等合金元素形成的碳化物在 500°C 以上时所产生的析出强化特性才能显示出来,但温度过高则会导致碳化物过分长大,不利于析出强化;同时,高温回火热处理能够使原奥氏体晶粒内的碳化物细微分散,提高紧固件的延迟破坏特性,因此高温回火时其回火温度优选为 $590 \sim 610^\circ\text{C}$ 。

[0043] 本发明通过对其生产工艺中的化学组分、含量以及具体工艺参数进行了优化设计,利用各元素的综合作用,并在生产过程中严格控制其工艺参数,具体对RH炉真空脱气时间、钢材加热时的温度和保温时间以及高线加热炉加热和控轧控冷等过程的工艺参数进行控制,以及对检验过程中热处理时淬火和高温回火温度进行把控,从而进一步保障了高强度螺栓用盘条的力学性能,也保证了其耐蚀和耐延迟断裂性能,满足了汽车轻量化和高安全性的要求。采用本发明生产的耐蚀及耐延迟断裂性能优异的高强度螺栓用盘条,热处理后抗拉强度 $R_m \geq 1600\text{MPa}$, 屈强比 $R_{P0.2}/R_m \geq 0.9$, 断后伸长率 $A \geq 10\%$, 断面收缩率 $Z \geq 50\%$, 组织为回火索氏体+弥散均匀分布的细小碳化物,回火索氏体含量 $\geq 94\%$, 常温冲击吸收功 $KV_2 \geq 50\text{J}$, 1/3冷镦全部合格,在720MPa循环应力条件下疲劳寿命 ≥ 1000 万次,采用室温下慢应变速率拉伸试验(SSRT)评价,延迟断裂强度比 $R = R_{ch}/R_{ch0} > 0.55$ (充氢试样的缺口抗拉强度为 R_{ch} ,未充氢试样的缺口抗拉强度为 R_{ch0}),采用缺口强度比评价缺口敏感性, $NSR = \sigma_c/R_m > 1$ (光滑试样抗拉强度为 R_m ,缺口抗拉强度为 σ_c),盘条的耐大气腐蚀性指数 $I \geq 7.0$ 。

[0044] 对采用本发明的上述组分及工艺流程生产得到的螺栓用盘条进行性能检验,具体检验过程及检验结果如下:

[0045] 拉伸、冲击和缺口拉伸延迟断裂性能试验:将钢材先进行淬火处理,淬火加热时其温度为 $900 \sim 960^\circ\text{C}$,优选为 $910 \sim 930^\circ\text{C}$,再保温30min后油冷;然后再进行回火处理,回火温度为 $590 \sim 610^\circ\text{C}$,再保温120min,经空冷热处理工艺后,加工成 $\Phi 10\text{mm}$ 的标准拉伸试样和 $\Phi 5\text{mm}$ 的缺口拉伸延迟断裂试样,如图3所示。淬回火热处理后其力学性能如图2所示。

[0046] 疲劳试验:按照GB/T 4337-2015《金属材料疲劳试验旋转弯曲方法》标准进行旋转弯曲疲劳试验。将经过粗加工和热处理的钢材加工成旋转弯曲疲劳试样,在PQ1-6疲劳试验机上进行20根基数试验,采用轴向应变控制,应变循环比 R 为-1,频率为83Hz,室温为 20°C ,疲劳试验加载波形为正弦波,试验结束判据为 10^7 次或试样失效。

[0047] 耐大气腐蚀试验:为了验证钢的大气腐蚀性能,按照GB/T 19746-2018《金属和合金的腐蚀盐溶液周浸试验》和GB/T 10125-2012《人造气氛腐蚀试验盐雾试验》的方法,进行288h周浸腐蚀试验和72h盐雾腐蚀试验。其试验结果如图2所示。

[0048] 下面结合具体实施例对本发明进一步进行描述。

[0049] 实施例1

[0050] 本实施例的高强度螺栓用盘条,其生产过程采用本发明的生产工艺,其工艺参数为:RH炉真空脱气时纯脱气时间为20分钟;大圆坯连铸时中间包钢水目标温度稳定控制在液相线温度以上 10°C ;所述钢材加热时的均热段温度为 1210°C ,保温时间为370min;所述高线加热炉加热时加热温度为 980°C ,方坯在炉时间为90min;所述线材控轧控冷轧制时开轧温度为 880°C ,终轧温度为 780°C ;所述吐丝机吐丝温度为 760°C 。所述检验盘条力学性能的热处理过程中淬火加热时其加热温度为 900°C ,高温回火时其回火温度为 590°C 。

[0051] 本实施例采用的化学组分及含量见图1,其拉伸、冲击和缺口拉伸延迟断裂性能试验、疲劳试验和耐大气腐蚀试验的试验结果如图1及图2所示。

[0052] 实施例2

[0053] 本实施例的高强度螺栓用盘条,采用了本发明的生产工艺,其工艺参数为:RH炉真空脱气时纯脱气时间为25分钟;大圆坯连铸时中间包钢水目标温度稳定控制在液相线温度以上 20°C ;所述钢材加热时的均热段温度为 1230°C ,保温时间为380min;所述高线加热炉加

热时加热温度为1070℃,方坯在炉时间为105min;所述线材控轧控冷轧制时开轧温度为950℃,终轧温度为840℃;所述吐丝机吐丝温度为820℃。所述检验盘条力学性能的热处理过程中淬火加热时其加热温度为960℃,高温回火时其回火温度为610℃

[0054] 本实施例采用的化学组分及含量见图1,其拉伸、冲击和缺口拉伸延迟断裂性能试验、疲劳试验和耐大气腐蚀试验的试验结果如图1及图2所示。

[0055] 实施例3

[0056] 本实施例的高强度螺栓用盘条,采用了本发明的生产工艺,其工艺参数为:RH炉真空脱气时纯脱气时间为25分钟;大圆坯连铸时中间包钢水目标温度稳定控制在液相线温度以上30℃;所述钢材加热时的均热段温度为1250℃,保温时间为390min;所述高线加热炉加热时加热温度为1020℃,方坯在炉时间为110min;所述线材控轧控冷轧制时开轧温度为900℃,终轧温度为800℃;所述吐丝机吐丝温度为780℃。所述检验盘条力学性能的热处理过程中淬火加热时其加热温度为910℃,高温回火时其回火温度为600℃。

[0057] 本实施例采用的化学组分及含量见图1,其拉伸、冲击和缺口拉伸延迟断裂性能试验、疲劳试验和耐大气腐蚀试验的试验结果如图1及图2所示。

[0058] 实施例4

[0059] 本实施例的高强度螺栓用盘条,采用了本发明的生产工艺,其工艺参数为:RH炉真空脱气时纯脱气时间为25分钟;大圆坯连铸时中间包钢水目标温度稳定控制在液相线温度以上30℃;所述钢材加热时的均热段温度为1230℃,保温时间为380min;高线加热炉加热时加热温度为1060℃,方坯在炉时间为100min;所述线材控轧控冷轧制时开轧温度为920℃,终轧温度为820℃;所述吐丝机吐丝温度为800℃。所述检验盘条力学性能的热处理过程中淬火加热时其加热温度为930℃,高温回火时其回火温度为600℃;

[0060] 本实施例采用的化学组分及含量见图1,其拉伸、冲击和缺口拉伸延迟断裂性能试验、疲劳试验和耐大气腐蚀试验的试验结果如图1及图2所示。

[0061] 实施例5

[0062] 本实施例的高强度螺栓用盘条,采用了本发明的生产工艺,其工艺参数为:RH炉真空脱气时纯脱气时间为25分钟;大圆坯连铸时中间包钢水目标温度稳定控制在液相线温度以上30℃;所述钢材加热时的均热段温度为1230℃,保温时间为380min;高线加热炉加热时加热温度为1050℃,方坯在炉时间为100min;所述线材控轧控冷轧制时开轧温度为910℃,终轧温度为810℃;所述吐丝机吐丝温度为790℃。所述检验盘条力学性能的热处理过程中淬火加热时其加热温度为920℃,高温回火时其回火温度为600℃;

[0063] 本实施例采用的化学组分及含量见图1,其拉伸、冲击和缺口拉伸延迟断裂性能试验、疲劳试验和耐大气腐蚀试验的试验结果如图1及图2所示。

[0064] 本发明还提供了对比例1和对比例2,采用了本发明所述的生产工艺,其所用的化学组分及含量与实施例1-5不同,具体可见图1,其拉伸、冲击和缺口拉伸延迟断裂性能试验、疲劳试验和耐大气腐蚀试验的试验结果如图2所示。由图2可知,实施例1-5的强度均达到1600MPa,伸长率均达到10%以上,面缩率均达到50%以上,呈现出优良的耐延迟断裂性能和塑韧性,且实施例1-5均具有疲劳强度720MPa以上的优良的疲劳特性,相较于对比例而言,实施例1-5的周浸试验的腐蚀率低于0.9g/(m².h),盐雾试验的腐蚀率低于0.8g/(m².h),耐腐蚀性能更好。

[0065] 实施例6

[0066] 本实施例的高强度螺栓用盘条,采用了本发明的生产工艺,所述高强度螺栓用盘条包括以下重量百分比的化学组分:C0.55%、Si0.10%、Mn0.50%、Cr1.50%、Mo1.50%、V0.10%、Nb0.08%、Ti0.20%、Ni0.30%、Cu0.20%、Als0.015%、P0.010%、S0.010%、H0.00015%、O0.0010%、N0.006%,其余为Fe和其它不可避免的杂质,且其重量百分比满足公式①。

[0067] 其生产过程中的工艺参数为:RH炉真空脱气时纯脱气时间为25分钟;大圆坯连铸时中间包钢水目标温度稳定控制在液相线温度以上30℃;所述钢材加热时的均热段温度为1230℃,保温时间为380min;高线加热炉加热时加热温度为1050℃,方坯在炉时间为100min;所述线材控轧控冷轧制时开轧温度为910℃,终轧温度为810℃;所述吐丝机吐丝温度为790℃。然后对其生产得到的盘条进行性能检验,所述热处理过程中淬火加热时其加热温度为920℃,高温回火时其回火温度为600℃。

[0068] 实施例7

[0069] 本实施例的高强度螺栓用盘条,采用了本发明的生产工艺,所述高强度螺栓用盘条包括以下重量百分比的化学组分:C0.60%、Si0.10%、Mn0.80%、Cr1.20%、Mo1.80%、V0.02%、Nb0.02%、Ti0.05%、Ni0.30%、Cu0.60%、Als0.040%、P0.010%、S0.010%、H0.00015%、O0.0010%、N0.006%,其余为Fe和其它不可避免的杂质,且其重量百分比满足公式①。

[0070] 其生产过程中的工艺参数为:RH炉真空脱气时纯脱气时间为25分钟;大圆坯连铸时中间包钢水目标温度稳定控制在液相线温度以上30℃;所述钢材加热时的均热段温度为1230℃,保温时间为380min;高线加热炉加热时加热温度为1050℃,方坯在炉时间为100min;所述线材控轧控冷轧制时开轧温度为910℃,终轧温度为810℃;所述吐丝机吐丝温度为790℃。然后对其生产得到的盘条进行性能检验,所述热处理过程中淬火加热时其加热温度为920℃,高温回火时其回火温度为600℃;

[0071] 实施例8

[0072] 本实施例的高强度螺栓用盘条,采用了本发明的生产工艺,所述高强度螺栓用盘条包括以下重量百分比的化学组分:C0.60%、Si0.10%、Mn0.80%、Cr1.20%、Mo1.80%、V0.10%、Nb0.02%、Ti0.05%、Ni0.20%、Cu0.60%、Als0.040%、P0.010%、S0.010%、H0.00015%、O0.0010%、N0.006%,其余为Fe和其它不可避免的杂质,且其重量百分比满足公式①。

[0073] 其生产过程中的工艺参数为:RH炉真空脱气时纯脱气时间为25分钟;大圆坯连铸时中间包钢水目标温度稳定控制在液相线温度以上30℃;所述钢材加热时的均热段温度为1230℃,保温时间为380min;高线加热炉加热时加热温度为1050℃,方坯在炉时间为100min;所述线材控轧控冷轧制时开轧温度为910℃,终轧温度为810℃;所述吐丝机吐丝温度为790℃。然后对其生产得到的盘条进行性能检验,所述热处理过程中淬火加热时其加热温度为920℃,高温回火时其回火温度为600℃。

[0074] 实施例9

[0075] 本实施例采用本发明所述的生产工艺,其化学组分及含量与上述实施例有所不同,所述高强度螺栓用盘条包括以下重量百分比的化学组分:C0.55%~0.60%、Si≤

0.10%、Mn0.50%~0.80%、Cr1.20%~1.50%、Mo1.50~1.80%、V0.20%~0.40%、Nb0.02%~0.07%、Ni0.20%~0.30%、Cu0.20%~0.60%、Als0.015%~0.040%、P≤0.010%、S≤0.010%、H≤0.00015%、O≤0.0010%、N≤0.006%，其余为Fe和其它不可避免的杂质，且其重量百分比满足：

[0076] $0.7[C] \leq 0.2[Mo] + 0.20[V] + 0.10[Nb] + 0.03[Ti] + 0.25[Ni] \leq 0.8[C]$ 。

[0077] 针对本实施例提出的化学组分进行了5组试验和2组对比试验，2组对比实验与5组试验的化学组分及含量不同，具体可见图4，其试验结果可见图4及图5。相对于对比实验而言，按照本实施例的化学组分进行的试验，其耐蚀和耐延迟断裂性能以及其余力学性能也得到了良好的改善。

案例	C	Si	Mn	Cr	Mo	V	Nb	Ti	Ni	Cu	Als	P	S	O	N	耐蚀 指数	1/3 冷镦 合格率
实施例 1	0.56	0.07	0.67	1.32	1.66	0.07	0.032	0.14	0.27	0.37	0.033	0.008	0.004	0.0007	0.0039	7.18	100%
实施例 2	0.58	0.09	0.65	1.28	1.70	0.06	0.031	0.17	0.28	0.40	0.034	0.006	0.003	0.0009	0.0038	7.09	100%
实施例 3	0.57	0.08	0.66	1.33	1.68	0.08	0.034	0.13	0.28	0.36	0.032	0.007	0.004	0.0008	0.0041	7.21	100%
实施例 4	0.55	0.07	0.67	1.31	1.71	0.07	0.029	0.16	0.26	0.35	0.031	0.008	0.005	0.0007	0.0038	7.15	100%
实施例 5	0.56	0.06	0.66	1.32	1.68	0.06	0.030	0.15	0.27	0.37	0.030	0.007	0.003	0.0008	0.0039	7.15	100%
对比例 1	0.45	0.08	0.57	1.14	2.15	-	0.038		-	-	0.033	0.017	0.006	0.0014	0.0057	1.78	100%
对比例 2	0.58	0.23	0.75	1.58	0.74	-	-		-	0.21	0.047	0.008	0.008	0.0019	0.0063	6.37	100%

图1

案例	屈服强度 $R_{p0.2}$ (MPa)	抗拉强度 R_m (MPa)	屈强比	伸长率 A (%)	面缩率 Z (%)	冲击功 KV ₂ (J)	R_{ch}/R_{ch0}	$\sigma_c R_m$	周浸腐蚀速 率 (288h) (g/(m ² ·h))	盐雾腐蚀速 率 (72h) (g/(m ² ·h))
实施例 1	1531	1659	0.92	12.5	51	54	0.59	1.58	0.86	0.74
实施例 2	1564	1682	0.93	11.5	52	55	0.61	1.63	0.75	0.66
实施例 3	1538	1669	0.92	12.0	55	53	0.63	1.61	0.81	0.75
实施例 4	1564	1659	0.94	12.0	54	57	0.57	1.57	0.76	0.68
实施例 5	1524	1647	0.93	12.5	53	56	0.59	1.59	0.83	0.74
对比例 1	1342	1498	0.90	9.0	49	48	0.56	1.50	2.75	1.71
对比例 2	1421	1574	0.90	9.5	40	42	0.55	1.49	1.09	0.89

图2

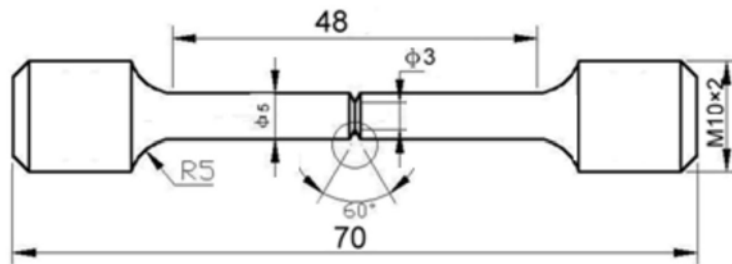


图3

案例	C	Si	Mn	Cr	Mo	V	Nb	Ni	Cu	Als	P	S	O	N	耐蚀 指数	1/3 冷墩 合格率
实施例 1	0.55	0.05	0.65	1.31	1.65	0.28	0.034	0.28	0.36	0.032	0.009	0.001	0.0008	0.0034	7.17	100%
实施例 2	0.57	0.07	0.63	1.28	1.69	0.29	0.029	0.29	0.39	0.031	0.007	0.003	0.0007	0.0038	7.11	100%
实施例 3	0.56	0.06	0.64	1.30	1.66	0.29	0.032	0.27	0.38	0.034	0.009	0.004	0.0006	0.0037	7.14	100%
实施例 4	0.58	0.05	0.64	1.32	1.63	0.30	0.030	0.28	0.37	0.033	0.009	0.003	0.0006	0.0048	7.17	100%
实施例 5	0.56	0.09	0.67	1.33	1.62	0.28	0.025	0.27	0.35	0.032	0.008	0.002	0.0009	0.0042	7.22	100%
对比例 1	0.45	0.08	0.57	1.14	2.15	-	0.038	-	-	0.033	0.017	0.006	0.0014	0.0057	1.78	100%
对比例 2	0.58	0.23	0.75	1.58	0.74	-	-	-	0.21	0.047	0.008	0.008	0.0019	0.0063	6.37	100%

图4

案例	屈服强度 $R_{p0.2}$ (MPa)	抗拉强度 R_m (MPa)	屈强比	伸长率 A (%)	面缩率 Z (%)	冲击功 KV ₂ (J)	R_{ch}/R_{ch0}	σ_c/R_m	周浸腐蚀速率 (288h) (g/(m ² ·h))	盐雾腐蚀速率 (72h) (g/(m ² ·h))
实施例 1	1531	1659	0.92	12.5	51	54	0.59	1.58	0.86	0.74
实施例 2	1564	1682	0.93	11.5	52	55	0.61	1.63	0.75	0.66
实施例 3	1538	1669	0.92	12.0	55	53	0.63	1.61	0.81	0.75
实施例 4	1564	1659	0.94	12.0	54	57	0.57	1.57	0.76	0.68
实施例 5	1524	1647	0.93	12.5	53	56	0.59	1.59	0.83	0.74
对比例 1	1342	1498	0.90	9.0	49	48	0.56	1.50	2.75	1.71
对比例 2	1421	1574	0.90	9.5	40	42	0.55	1.49	1.09	0.89

图5