

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.
C22C 38/14 (2006.01)
C21D 8/02 (2006.01)



[12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200810200029.9

[43] 公开日 2010年3月24日

[11] 公开号 CN 101676425A

[22] 申请日 2008.9.18

[21] 申请号 200810200029.9

[71] 申请人 宝山钢铁股份有限公司

地址 201900 上海市宝山区富锦路果园

[72] 发明人 王 巍 王焕荣

[74] 专利代理机构 上海科琪专利代理有限责任公
司

代理人 郑明辉

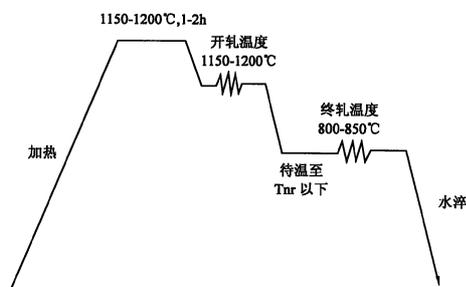
权利要求书 1 页 说明书 6 页 附图 2 页

[54] 发明名称

高强度马氏体耐磨钢及其生产工艺

[57] 摘要

本发明涉及一种铁基合金及其生产工艺，尤其是马氏体耐磨钢及其生产工艺。一种高强度马氏体耐磨钢，其化学成分按重量百分比计为： $0.1\% \leq C \leq 0.2\%$ ， $0.5\% \leq Si \leq 1.0\%$ ， $1.0\% \leq Mn \leq 2.0\%$ ， $P \leq 0.009\%$ ， $S \leq 0.004\%$ ， $Al \leq 0.03\%$ ， $0.02\% \leq Nb \leq 0.04\%$ ， $0.02\% \leq Ti \leq 0.03\%$ ， $0.015\% \leq V \leq 0.060\%$ ， $0.0015\% \leq B \leq 0.0020\%$ ，其余为 Fe 以及其它不可避免的杂质。本发明高强度马氏体耐磨钢生产工艺为：转炉或电炉冶炼 - 真空炉二次精炼 - 铸坯或铸锭 - 钢坯或钢锭再加热 - TMCP + 快速冷却工艺 - 钢板。本发明高强度马氏体耐磨钢具有极高的强度、硬度、韧性以及耐磨性，并且保证焊接性，降低成本。



1、一种高强度马氏体耐磨钢，其化学成分按重量百分比计为： $0.1\% \leq C \leq 0.2\%$ ， $0.5\% \leq Si \leq 1.0\%$ ， $1.0\% \leq Mn \leq 2.0\%$ ， $P \leq 0.009\%$ ， $S \leq 0.004\%$ ， $Al \leq 0.03\%$ ， $0.02\% \leq Nb \leq 0.04\%$ ， $0.02\% \leq Ti \leq 0.03\%$ ， $0.015\% \leq V \leq 0.060\%$ ， $0.0015\% \leq B \leq 0.0020\%$ ，其余为 Fe 以及其它不可避免的杂质。

2、如权利要求 1 所述的高强度马氏体耐磨钢，其生产工艺为：转炉或电炉冶炼—真空炉二次精炼—铸坯或铸锭—钢坯或钢锭再加热—TMCP+快速冷却工艺—钢板；

钢坯或钢锭再加热及其后的工序工艺参数为：钢坯或钢锭加热温度： $1150 \sim 1200^\circ\text{C}$ ，保温时间：1~2 小时，开轧温度： $1000 \sim 1070^\circ\text{C}$ ，在未再结晶温度以上多道次大压下且累计变形量 $\geq 80\%$ ，在 850°C 左右中间坯待温，然后进行最后 2-3 个道次轧制；终轧温度 $800 \sim 850^\circ\text{C}$ ，最后水淬冷却。

高强度马氏体耐磨钢及其生产工艺

技术领域

本发明涉及一种铁基合金及其生产工艺，尤其是马氏体耐磨钢及其生产工艺。

背景技术

耐磨钢广泛应用于冶金、建材、矿山、电力、水泥、工程机械以及煤炭等领域，并且有需求越来越多的趋势。目前广泛使用的耐磨钢从组织特征的角度主要分为奥氏体、马氏体和贝氏体耐磨钢。传统的耐磨钢即高锰钢冲击韧性高，其耐磨性原理主要是通过大的冲击载荷发生加工硬化而实现，而在较小的冲击力作用下，高锰钢不足以发生加工硬化，导致其耐磨性降低，故主要适合于高应力磨损条件。马氏体耐磨钢主要是指低碳多合金化低合金钢，一般通过淬火和回火热处理后使用，为提高淬透性，通常加入合金元素 Cr 和 Mo 以及 Ni 等。贝氏体耐磨钢主要是指中碳高硅合金钢，经相应的贝氏体相变热处理后使用。马氏体和贝氏体耐磨钢主要适用于低应力磨损条件。

钢中碳含量对耐磨钢的抗拉强度影响较大，碳含量越高，抗拉强度越高，碳含量较高时淬火形成的马氏体组织内部应力大，需进行低温热处理，同时也影响焊接性，因此，在强度满足要求的前提下，最好要降低碳的含量。现有的马氏体耐磨钢碳含量一般都比较高，如中国专利 CN1109919 和 CN1132263 这两种马氏体耐磨钢含碳量都在 0.4% 以上，CN1132264 含碳量略低，但也在 0.25-0.5%，而且为了提高淬透性，通常都加入了合金元素 Cr 和 Mo，并且这些钢种都需要淬火+回火等热处理工艺，这样就增加了的钢的生产成本。从组织特征看，由于绝大部分耐磨钢采用热处理工艺生产，因此其显微组织主要是回火马氏体和少量贝氏体，同时由于碳含量较高，淬火时可形成少量残余奥氏体。

中国专利 CN1865481 公开的耐磨钢虽然含碳量稍低，但是该钢种为贝氏体钢，主要应用于较大的冲击力的高应力磨损场合。

发明内容

本发明的目的在于提供一种高强度马氏体耐磨钢，该钢种在保证强度的基础上降低含碳量，在钢中加入低成本的微合金化元素代替传统耐磨钢中成本较高的贵金属元素，结合 TMCP（热机械控制加工）工艺以及轧后快速冷却淬火，无需进行诸如回火等热处理工序即可具有极高的强度、硬度、韧性以及耐磨性，并且保证焊接性，降低成本。

本发明是这样实现的：一种高强度马氏体耐磨钢，其化学成分按重量百分比计为： $0.1\% \leq C \leq 0.2\%$ ， $0.5\% \leq Si \leq 1.0\%$ ， $1.0\% \leq Mn \leq 2.0\%$ ， $P \leq 0.009\%$ ， $S \leq 0.004\%$ ， $Al \leq 0.03\%$ ， $0.02\% \leq Nb \leq 0.04\%$ ， $0.02\% \leq Ti \leq 0.03\%$ ， $0.015\% \leq V \leq 0.060\%$ ， $0.0015\% \leq B \leq 0.0020\%$ ，其余为 Fe 以及其它不可避免的杂质。

高强度马氏体耐磨钢生产工艺为：转炉或电炉冶炼—真空炉二次精炼—铸坯或铸锭—钢坯或钢锭再加热—TMCP+快速冷却工艺—钢板；

钢坯或钢锭再加热及其后的工序工艺参数为：钢坯或钢锭加热温度： $1150 \sim 1200^\circ\text{C}$ ，保温时间：1~2 小时，开轧温度： $1000 \sim 1070^\circ\text{C}$ ，在未再结晶温度以上多道次大压下且累计变形量 $\geq 80\%$ ，在 850°C 左右中间坯待温，然后进行最后 2-3 个道次轧制；终轧温度 $800 \sim 850^\circ\text{C}$ ，最后水淬冷却。

本发明成分及工艺设计原理：

(1) 碳 C 是钢中最基本的元素，对钢的强度、硬度等影响较大，由于本发明主要是为了获得低碳马氏体耐磨钢，通过工艺控制而非通过合金化来提高强度，所以将碳含量范围定在 0.1-0.2% 较低水平。在此范围内，随着碳含量的增加，强度和硬度等也相应低增加；

(2) 硅 Si 能降低钢的临界冷却速度，但对淬透性的提高影响比锰小，不过当硅含量适当时，使钢具有良好的综合性能，故将钢的含量控制在 0.5-1.0%。

(3) 锰 Mn 也可以降低临界冷却速度，稳定奥氏体，推迟奥氏体向珠光体转变，大大提高淬透性，在低含量范围内，对钢具有很大的强化作用，能够提高钢的强度、硬度和耐磨性，同时具有固溶强化效果；使珠光体和贝氏体转变区分离，若含量太高，使 Ms（马氏体转变开始温度）点下降太多，会导致室温时残余奥氏体增加，不利于钢的强度、硬度和耐磨性，因此锰的含量控制在 1.0-2.0% 的范围内；

(4) 钢中磷 P 的含量较高($\geq 0.1\%$)时，形成 Fe_2P 在晶粒周围析出，降低钢的塑性和韧性，故其含量越低越好，一般控制在 0.009% 以内较好；

(5) 在钢中硫 S 含量较高时以 FeS-Fe 共晶体的形式存在于钢的晶粒周围，降低钢的力学性能，其含量与磷类似，也是越低越好，实际生产时通常控制在 0.004% 以内；

(6) 钢中加入少量的铌 Nb 一方面可以提高未再结晶温度，使钢在高温区轧制时具有足够的驱动力通过动态再结晶细化晶粒；同时，Nb 的加入对控制钢坯在再加热阶段的晶粒长大过程也有一定的抑制作用，考虑到低成本要求以及钢中 Nb 的通常加入量，将 Nb 的含量控制在 0.02-0.04%；

(7) 钛 Ti 和钒 V 的加入主要是为了细化晶粒，使钢坯在加热阶段奥氏体晶粒不至于生长的过于粗大，这样，在随后的多道次轧制过程中，可以使钢的晶粒得到进一步细化，提高钢的强度和韧性；同时，钛和钒的加热还可以在钢中形成弥散细小的碳化物、氮化物或碳氮化物析出相，从而提高钢的耐磨性；

(8) 钢中加入微量元素硼 B 可极大地提高钢的淬透性，可以比较容易地获得马氏体组织，但钢中硼的含量不宜加入太多，因为硼与晶界具有较强的结合力，容易偏聚到晶界处，对钢的性能产生不利影响，故钢中硼元素的含量一般控制在 15-20ppm 范围内。

从工艺上考虑，轧制过程中开轧温度为：1000~1070℃，在未再结晶温度以上多道次大压下且累计变形量 $\geq 80\%$ ，主要目的是细化奥氏体晶粒；在 850℃左右（即 T_{nr} 未再结晶温度以下）中间坯待温，然后进行最后 2-3 个道次轧制以获得少许变形的奥氏体晶粒；水淬是为了在接

近铁素体析出开始温度之上快速冷却至 200℃以下，以尽可能多地获得马氏体组织，避免铁素体形成，提高钢板的强度和耐磨性。

本发明具有以下有益效果：本发明马氏体耐磨制成的钢板强度级别达 1500MPa 以上，厚度在≤15mm 的范围内，屈服强度可达 1200MPa 左右，高强度低成本，并具有优异的力学性能和良好的焊接性能，有益效果包括以下 3 方面：

(1) 从力学性能的角度看，钢的强度和硬度高，耐磨性好。通过在未再结晶区进行的多道次大压下量轧制，利用动态回复和动态再结晶获得较细小的原奥氏体晶粒；在终轧结束铁素体转变温度之上进行 2-3 道次轧制后快速冷却，以获得尺寸较小且有少许形变的马氏体组织，避免形成铁素体组织，从而大大提高了钢的强度和耐磨性。

(2) 从生产成本的角度看，与其它传统耐磨钢不同，本发明中钢的化学成分较为简单，没有添加 Cr、Mo 等贵金属元素，而是加入了常用的低成本微合金元素如 Nb、Ti、V 等，这样可有效地降低钢的生产成本，节约资源。

(3) 从工艺实现的角度看，制造成本低，生产工艺简单且易实现。通过添加 Nb、Ti、V 和 B 等微合金元素并采用 TMCP 控轧控冷+快速冷却工艺生产出具有高强度、高硬度和良好耐磨性和冲击韧性的钢板，工艺过程简单。实际生产过程中的关键工艺控制因素为待温温度和终轧温度，尤其是轧后冷却速度。前者主要目的是获得细小的奥氏体组织；后者要求冷速要尽量快，以形成淬火马氏体组织，二者结合获得细小的马氏体组织，在提高钢的强度、硬度和耐磨性的同时，保持一定的韧性。

附图说明

下面结合附图和具体实施方式对本发明作进一步说明。

图 1 为本发明高强度马氏体耐磨钢轧制工艺示意图；

图 2 为本发明高强度马氏体耐磨钢实施例 1、3 和 5 的温度夏比 V 型横向冲击曲线；

图 3 为本发明高强度马氏体耐磨钢实施例 1 的显微组织照片；

图4为本发明高强度马氏体耐磨钢实施例3的显微组织照片。

具体实施方式

炼钢得到成分如表1的钢坯,按照表2的轧制工艺加工,得到15mm厚度的本发明耐磨钢板,钢板性能参数如表3。

表1 钢坯成分

序号	化学成分 (wt%)									
	C	Si	Mn	P	S	Al	Nb	Ti	V	B
实施例1	0.11	0.49	1.10	0.008	0.001	0.022	0.023	0.021	0.014	0.0015
实施例2	0.13	0.55	1.38	0.009	0.001	0.022	0.027	0.023	0.022	0.0017
实施例3	0.15	0.58	1.48	0.009	0.003	0.023	0.032	0.025	0.030	0.0018
实施例4	0.17	0.72	1.70	0.008	0.002	0.023	0.036	0.028	0.048	0.0018
实施例5	0.20	0.98	1.98	0.008	0.001	0.022	0.042	0.031	0.059	0.0019

表2 轧制工艺

序号	加热温度 ℃	轧制工艺 (钢坯厚度 220 mm)		冷却参数 ℃/s
		1070~900℃轧制厚度 mm	900~800℃轧制厚度 mm	
实施例1	1150	220-40	40-15	水冷
实施例2	1170	220-40	40-15	水冷
实施例3	1180	220-40	40-15	水冷
实施例4	1190	220-40	40-15	水冷
实施例5	1200	220-40	40-15	水冷

表3 钢板性能参数

序号	屈服强度 MPa	抗拉强度 MPa	延伸率%	-20℃横向 V 型冲击功
实施例1	1160	1450	12.8	32
实施例2	1190	1495	12.3	33

实施例 3	1238	1585	11.0	35
实施例 4	1320	1665	11.8	36
实施例 5	1395	1743	11.5	38

从表 1、表 2 和表 3 中可以看出，对于含碳量较低的实施例 1，其屈服强度为 1160MPa，抗拉强度为 1450MPa；相对于实施例 1 提高 C 含量以及调整 Nb, Ti、V 的含量得到的实施例 3、实施例 4 和实施例 5 试验钢的强度明显提高，屈服强度在 1200MPa 以上，抗拉强度同时提高到 1580-1743MPa，这与钢中碳含量以及微合金元素 Nb, Ti, V 的增加有关。值得注意的是，实施例 5 尽管抗拉强度高达 1743MPa，但是其延伸率与强度相对较低的实施例 1 试验钢不相上下。综合比较而言，实施例 5 试验钢的综合性能更佳。总之，采用本发明中的轧制工艺技术可以较为稳定地获得强度级别在 1600MPa 甚至 1700MPa 以上的高强度低碳马氏体耐磨钢，且钢中不必加入价格昂贵的金属元素如 Cr, Mo, Ni 等，有效地降低了生产成本。

图 1 为本发明高强度马氏体耐磨钢轧制工艺示意图，由图可见，钢坯或钢锭加热温度：1150~1200℃，保温时间：1~2 小时，开轧温度：1000~1070℃， T_{nr} 未再结晶温度以下中间坯待温，终轧温度 800~850℃，最后水淬冷却。

图 2 为本发明高强度马氏体耐磨钢制成 15mm 厚的钢板在不同温度下的夏比 V 型冲击试验结果。由图可见，试验钢板的冲击功值随着温度的降低而减小，从室温时的 44-53J 减小到-60℃时的 20J 左右。

图 3 和图 4 分别为实施例 1 和实施例 3 的显微组织照片，从图中可以看出，钢板的组织均为马氏体+少量贝氏体组织。若通过优化轧制工艺或热处理工艺等手段细化马氏体或贝氏体组织，则其强度和韧性将会有明显的改善效果。

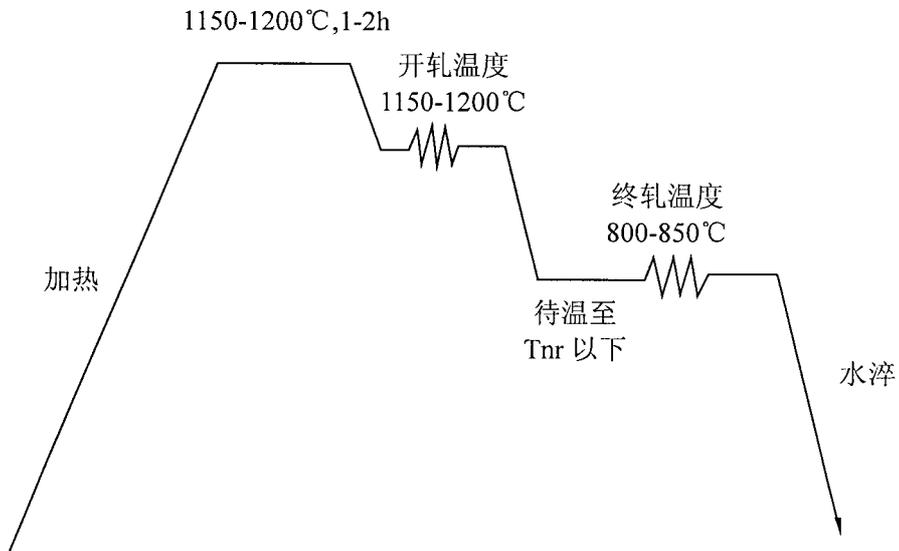


图 1

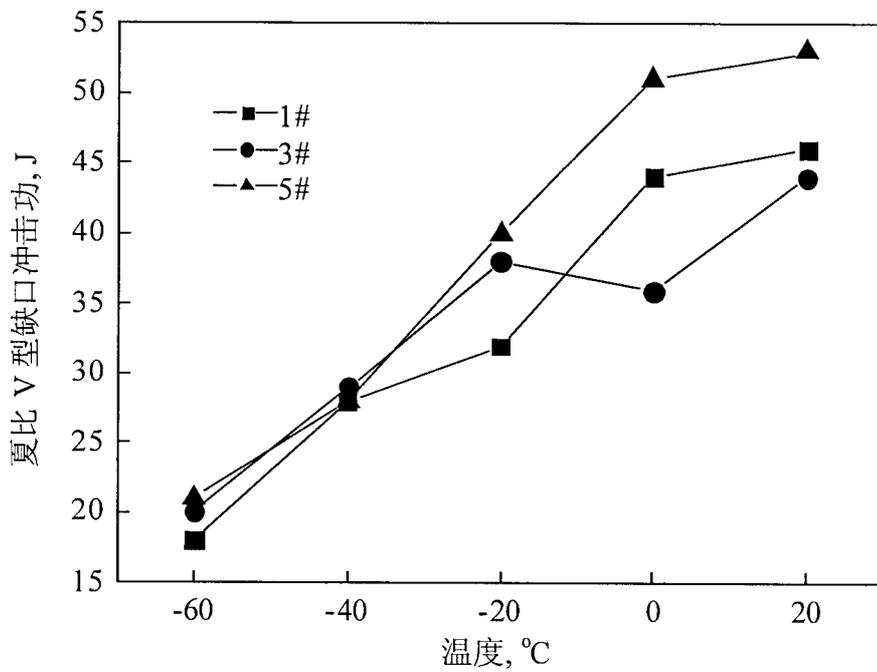


图 2

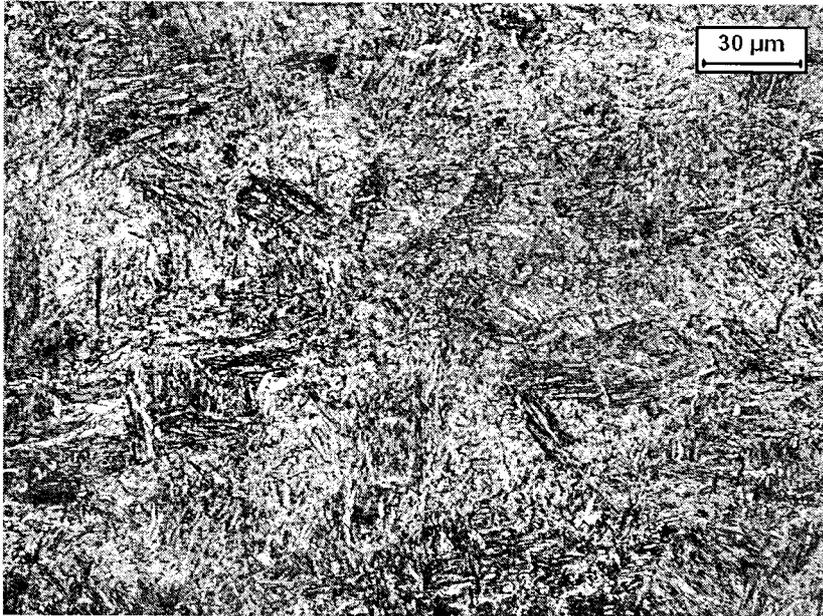


图 3

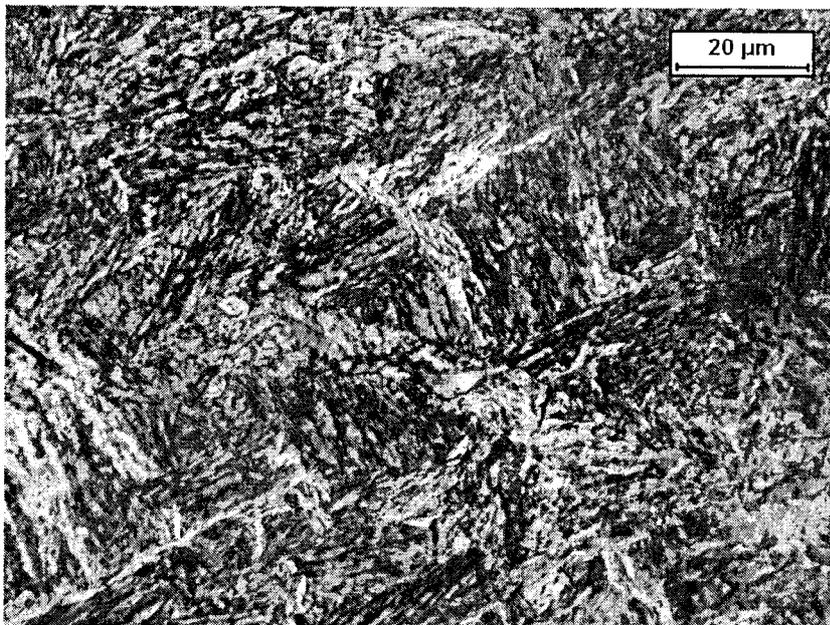


图 4