



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102251184 A

(43) 申请公布日 2011.11.23

(21) 申请号 201110194012.9

(22) 申请日 2011.07.12

(71) 申请人 北京工业大学

地址 100124 北京市朝阳区平乐园 100 号

(72) 发明人 符寒光 于震 雷永平 郭红星
蒋业华 周荣 郭长庆 岑启宏
窦永平

(74) 专利代理机构 北京思海天达知识产权代理
有限公司 11203

代理人 沈波

(51) Int. Cl.

C22C 38/32(2006.01)

C22C 33/04(2006.01)

权利要求书 1 页 说明书 7 页

(54) 发明名称

含铝 Fe-Cr-B 耐磨合金及其制备方法

(57) 摘要

含铝 Fe-Cr-B 耐磨合金及其制备方法，属于高温耐磨材料技术领域。合金的化学组成成分及质量百分数%是：0.35～0.50C, 12.0～14.0Cr, 1.5～1.8B, 3.0～3.5Al, 1.2～1.5Si, 0.08～0.15La, 0.08～0.15Ce, 0.22≤La+Ce≤0.28, 0.10～0.15Ti, 0.32～0.38Na, 0.12～0.20Zn, 0.16～0.20Mg, Mn<0.50, S<0.035, P<0.035, 余量为 Fe。该合金经熔炼、铸造成形、机械加工和淬火及回火处理后，具有硬度高和抗高温磨损性能好，还具有较低的生产成本，推广应用具有较好的经济效益。

1. 含铝 Fe-Cr-B 耐磨合金，其特征在于，化学组成及质量百分数%为：0.35～0.50C, 12.0～14.0Cr, 1.5～1.8B, 3.0～3.5Al, 1.2～1.5Si, 0.08～0.15La, 0.08～0.15Ce, 0.22≤La+Ce≤0.28, 0.10～0.15Ti, 0.32～0.38Na, 0.12～0.20Zn, 0.16～0.20Mg, Mn<0.50, S<0.035, P<0.035, 余量为Fe。

2. 权利要求1的含铝 Fe-Cr-B 耐磨合金的制备方法，其特征在于，包括以下步骤：

①将废钢和铬铁混合加热熔化，钢水熔清后加入硅铁；

②将钢水温度升至1530～1550℃，加入硼铁和金属铝，炉前调整成分合格后将温度升至1560～1580℃时出炉；

③将钛铁、金属锌、稀土镁合金和含钠变质剂破碎至粒度为6～10mm的小块，经150～180℃烘干2～3h后，置于浇包底部，用包内冲入法对钢水进行复合变质处理；

④用普通铸造方法成形，钢水浇注温度1440～1460℃；

⑤铸件经打磨清理后进行粗加工，然后随炉加热至1000～1020℃，保温2～3h后，油冷30～50min，再空冷至温度低于250℃后，继续入炉加热至250～280℃，保温6～8h后，炉冷至温度低于120℃后出炉空冷至室温，最后精加工至规定尺寸和精度。

含铝 Fe-Cr-B 耐磨合金及其制备方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种 Fe-Cr-B 耐磨合金及其制备方法, 特别涉及一种含铝 Fe-Cr-B 耐磨合金及其制备方法, 属于高温耐磨材料技术领域。

背景技术

[0002] 在冶金、电力、机械、建材、国防、军工和航空航天等许多工业部门都存在金属材料的高温磨损问题, 如轧钢时, 炽热钢坯与轧辊、导卫、顶头等工件的相对运动造成轧钢备件的磨损失效; 热锻成形加工时, 模具的高温磨损也是主要失效形式之一。还有一些机械零件也常因高温磨损而失效, 如汽车发动机排气阀门与阀座, 活塞套环与缸套等。

[0003] 高温磨损是一种严酷而复杂的工况, 对材料性能要求苛刻, 不仅要具有良好的耐热性、耐磨性, 而且应具有一定的高温强度、韧性与良好的热疲劳抗力, 传统金属材料往往很难同时满足这些性能要求, 从而导致使用寿命降低。例如耐热钢虽然具有良好的高温强度以及抗氧化能力, 但其高温抗磨性差, 难以满足在高温下抵抗磨损的要求; 高铬铸铁是目前应用已趋成熟的、具有优异抗磨损性能的材料, 由于其冶金学上的局限性, 抗高温氧化腐蚀性能又显不足; 工程结构陶瓷材料具有高硬度、高刚度、耐高温、耐腐蚀等优点, 但陶瓷材料的固有脆性及其加工成形困难, 制作成本高等缺点, 从而限制了其在工业中的实际应用。高速钢虽然具有较好的抗高温磨损性能, 但含有较多价格昂贵的钨、钼、铌、钒、钴等合金元素, 价格昂贵, 推广应用亦受到限制。

[0004] 另外, 高温抗磨材料使用环境恶劣, 消耗巨大。仅以冶金行业的轧钢为例, 据中国冶金报报道, 2010 年我国钢材年产量达到 79,627 万吨, 接近 8 亿吨, 其中轧辊消耗约为轧钢生产成本的 5%~10%。目前我国轧辊的吨钢消耗约为 1.2~1.4 公斤, 年消耗轧辊近 100 万吨, 年耗资 140 亿元以上, 而日本同期的轧辊吨钢消耗仅为 0.5~0.8 公斤。目前我国每年都需要花费大量外汇进口轧辊, 严重制约了我国轧钢行业的发展, 且造成材料、能源的巨大浪费。此外, 轧辊的质量不仅关系到轧钢生产成本和轧机作业率, 还在很大程度上影响轧材质量。为了提高耐磨材料的高温抗磨性能, 中国发明专利 CN1418975 公开了一种超高碳 Cr-Ni-C 高温耐磨合金材料, 该合金材料主要由 Cr、Ni、C 三种元素组成, 其化学成分为, Cr(wt%) 为 47~73、Ni(wt%) 为 16~48、C(wt%) 为 4.0~12, 其主要组织组成相是金属碳化物 Cr₃C₆ 及被 Cr、C 元素过饱和的镍基固溶体。该超高碳 Cr-Ni-C 高温耐磨合金材料可广泛应用于电力、能源、石油、化工、有色金属冶金、钢铁冶金、航空航天等工业装备中大量高温摩擦磨损机械运动副零部件的高温耐磨涂层的制备或高温摩擦磨损机械运动副零部件的整体铸造成形。中国发明专利 CN1394977 还公开了一种高温耐磨耐腐蚀 Cr-Ni-Si 金属硅化物合金材料, 该合金材料主要由 Cr、Ni、Si 三种元素组成, 其 Ni 的重量百分比为 30~53、Cr 的重量百分比为 42~65、Si 的重量百分比为 3.6~10; 该合金材料的主要组织组成相是: (a) Cr₁₃Ni₅Si₂ 金属硅化物固溶体 + 镍基固溶体; (b) Cr₁₃Ni₅Si₂ 金属硅化物固溶体 + Cr₃Si 金属硅化物固溶体; (c) Cr₃Si 金属硅化物固溶体 + Cr₁₃Ni₅Si₂ 金属硅化物固溶体 + 镍基固溶体。该合金材料可广泛应用于电力、能源、石油、化工、有色金属冶

金、钢铁冶金等工业中大量存在的、在高温氧化及腐蚀等环境下承受摩擦磨损作用的机械运动副零部件。中国发明专利 CN1087683 还公开了一种高温耐磨 Ni₃Al 基合金，主要适用于高温耐磨或结构材料。合金的化学成分为 (at%) : Al 15.0 ~ 16.5%, Zr 1.0 ~ 2.5%, Cr 7.5 ~ 8.5%, Mn 0.4 ~ 0.6%, Ti 0.8 ~ 1.0%, B 0.2 ~ 0.5%, C 0.4 ~ 0.6%, 余为 Ni。本发明不仅具有良好的室温和高温塑性，而且具有较高的高温强度、硬度和高温抗氧化能力，同时，加工成型性能优良，高温下耐磨性能好，可用作炉底辊、轧辊及其它高温结构材料。中国发明专利 CN1125776 还公开了一种钨 - 铜 - 镍 - 碳高温耐磨合金，并用其制成的制品，解决了合金或零件在高温、特别在急冷急热的作业中耐磨性能差、使用寿命短等问题。该合金的组成 (重量百分含量) 为 15 ~ 50% WC, 15 ~ 30% Cu, 1 ~ 5% Ni, 1 ~ 6% C, 余量为 W；该合金中还可添加 (重量百分含量) 0.2 ~ 0.5% MoC 或添加 0.2 ~ 0.5% Cr₃C₂，以进一步提高其硬度和耐磨性。用该合金制造的零件 (如热轧钢导板头)，其使用寿命为 YG15 硬质合金导板头的 4 ~ 8 倍。本发明的合金亦适用于在高温作业中其它需要耐磨的相应领域。中国发明专利 CN1235203 还公开了一种铬镍氮铌高温耐热耐磨铸钢，其化学成分 (重量%) 为 :C 0.5 ~ 1.4%, Si ≤ 2.5%, Mn ≤ 2.5%, Cr 27.0 ~ 36.0%, Ni 10.0 ~ 20.0%, N 0.2 ~ 0.5%, Nb 0.1 ~ 1.0%, Re 0.2 ~ 0.5%, Fe 余量。用该耐热耐磨铸钢制造的发电锅炉喷燃器火嘴使用寿命长，并且不开裂。中国发明专利 CN1439738 还公开了一种用于各类烧结矿振动筛的多元高铬耐磨铸铁筛板及其制造方法，其化学成分是 (重量%) : C : 2.2 ~ 3.2 ; Cr : 18 ~ 28 ; Mn : 0.6 ~ 1.5 ; Si : 0.4 ~ 1.0 ; Mo : 0.4 ~ 1.5 ; Ni : 0.5 ~ 1.2 ; Nb : 0.1 ~ 0.5 ; Ca : 0.02 ~ 0.08 ; Zn : 0.008 ~ 0.050 ; Mg : 0.002 ~ 0.010 ; Ce : 0.03 ~ 0.10 ; Ti : 0.08 ~ 0.15。其余为 Fe 和不可避免的微量杂质。本发明筛板利用电炉生产，采用冷硬树脂砂型铸造，筛板抗弯强度高，达到 890MPa ~ 960MPa，硬度达到 55HRC ~ 60HRC，具有良好的耐磨性，冲击韧性达到 10J/cm² ~ 13J/cm²，使用中不断裂，抗氧化性好，使用性能明显优于 CrMnN 耐热钢筛板，生产工艺简单，不需要进行高温热处理，因而生产成本低。使用本发明筛板可以显著提高振动筛作业率，降低烧结矿筛分成本，具有很好的经济效益。中国发明专利 CN1451773 还公开了一种耐高温耐磨高强合金的制备方法，合金的成分为 C 0.05 ~ 0.08, Cr 18.0 ~ 20.0, Mo 4.5 ~ 5.5, Al 1.2 ~ 1.5, Ti 2.5 ~ 3.1, Fe 8.0 ~ 10.0, Ce < 0.025, B ≤ 0.005, Si ≤ 0.4, Mn ≤ 0.4, S ≤ 0.01, P ≤ 0.012, Ni 余量，采用真空感应熔炼技术，加料顺序为：在坩埚中从下至上依次装入部分小块 Ni+ 全部 Cr、全部 W、全部 Mo、全部 Fe+ 部分 C+ 剩余小块 Ni+ 长规格 Ni，剩余 C、全部 Al、全部 Ti 在合金化期加入，全部 CrB、全部 Ce 在合金化后期加入；精炼温度 : 1580 ± 10 °C；浇注温度 : 1450 ± 10 °C。用本发明方法制备出的合金在性能上可以达到甚至超过原仿制合金的技术指标。中国发明专利 CN85100649 还公开了一种铸造镍基高温合金，该合金具有在高温 (≥ 1200 °C) 下保持高温耐磨性和抗氧化性的特点，适用于制造轧钢厂高温加热炉部件，尤其是超高温磨损部件，优先选用的合金成分 (重量) 是：铬 30~35%、钨 10~15%、硅 0.5~0.8%、锰 0.4~0.8%、稀土 0.1~0.2% 或钙 0.05~0.08%、碳 0.40~0.50%、铁 5% 以下、镍 46~52%，其它为杂质。中国发明专利 CN86108289 还公开了一种新型的耐磨耐腐蚀钴基合金，其成分中以钼代替钨成分，具有极好的高温强度和抗氧化性能，能精密铸造各种零件及模具、泵轴和其他在强烈腐蚀介质下的强烈磨损件，能承受各种酸、碱、盐液的腐蚀，亦能作为高温下使用的强度较好的耐磨件。合金的化学成分如下 :0.5 ~ 2.5% (重量) 碳, 40 ~ 60% (重量) 钴, 25 ~

35%（重量）铬，10～20%（重量）钼，其工艺加入元素锆<0.10%（重量），杂质元素为硅、铁、锰等。但是上述高温耐磨材料中，都含有大量价格昂贵的合金元素，成本高，推广应用困难。

[0005] 大量研究发现，在高铬钢基础上发展起来的Fe-Cr-B合金材料，与常用的高铬白口铸铁相比，由于硼元素的存在，具有更好的淬透性和淬硬性。加入的硼元素部分形成硼化物，部分进入碳化物，可以进一步提高碳化物硬度和高温稳定性还有部分硼进入基体，导致铸态基体硬度明显提高，达到HV800以上，促进Fe-Cr-B合金耐磨性的明显提高。但是，Fe-Cr-B材料的高温抗氧化性较差，且高温下基体硬度明显下降，导致高温磨损下金属基体不能对硬质相（碳化物、硼化物）提高良好的支撑，基体易优选磨损，硬质相在磨料的作用下易出现脆断和剥落，其优异的抗磨性能得不到充分发挥。因此提高Fe-Cr-B合金抗高温性能，对于扩大Fe-Cr-B合金材料在高温磨损环境下的应用，具有非常重要的作用。高温下铝元素形成的Al₂O₃氧化膜致密坚固，不具有挥发性，与Cr₂O₃氧化膜紧密结合，大大增加了铁基合金的高温抗氧化性。此外，铝是非碳化物形成元素，溶于高速工具钢合金中，可提高高速工具钢的回火稳定性、室温硬度和高温硬度，对改善高速工具钢的高温耐磨性有利[邓玉昆,陈景榕,王世章.高速工具钢.北京:冶金工业出版社,2002]。鉴于铝元素的上述独特作用，在Fe-Cr-B合金中加入适量铝元素，对于改善Fe-Cr-B合金的高温耐磨性是有益的。

发明内容

[0006] 本发明的目的是在Fe-Cr-B合金中加入一定数量的铝元素，改善Fe-Cr-B合金的高温抗氧化和磨损性能，另外，再加入少量的稀土、钛、锌、镁、钠等元素，改善硼化物的形态和分布，提高含铝Fe-Cr-B合金的铸造性能和力学性能。本发明含铝Fe-Cr-B合金可以用普通熔炼设备熔炼钢水，钢水流动性好，结晶温度低，采用普通铸造方法易成形。结合采用淬火加回火热处理工艺，可以获得硬度高和高温抗磨性好的含铝Fe-Cr-B合金。

[0007] 本发明的目的可以通过以下措施来实现：

[0008] 本发明含铝Fe-Cr-B合金的化学组成成分是（质量分数，%）：0.35～0.50C，12.0～14.0Cr，1.5～1.8B，3.0～3.5Al，1.2～1.5Si，0.08～0.15La，0.08～0.15Ce，0.22≤La+Ce≤0.28，0.10～0.15Ti，0.32～0.38Na，0.12～0.20Zn，0.16～0.20Mg，Mn<0.50，S<0.035，P<0.035，余量为Fe。

[0009] 本发明上述含铝Fe-Cr-B合金用电炉熔炼，其制造工艺步骤是：

[0010] ①将废钢和铬铁混合加热熔化，钢水熔清后加入硅铁；

[0011] ②将钢水温度升至1530～1550℃，加入硼铁和金属铝，炉前调整成分合格后将温度升至1560～1580℃时出炉；

[0012] ③将钛铁、金属锌、稀土镁合金和含钠变质剂破碎至粒度为6～10mm的小块，经150～180℃烘干2～3h后，置于浇包底部，用包内冲入法对钢水进行复合变质处理；

[0013] ④用普通铸造方法成形，钢水浇注温度1440～1460℃；

[0014] ⑤铸件经打磨清理后进行粗加工，然后随炉加热至1000～1020℃，保温2～3h后，油冷30～50min，再空冷至温度低于250℃后，继续入炉加热至250～280℃，保温6～8h后，炉冷至温度低于120℃后出炉空冷至室温，最后精加工至规定尺寸和精度。

[0015] 合金材质的性能是由金相组织决定的,而一定的组织取决于化学成分及热处理工艺,本发明化学成分是这样确定的:

[0016] 碳:碳是含铝 Fe-Cr-B 合金中的主要元素,其主要作用是提高基体硬度,改善合金耐磨性。含碳量过低,基体硬度低,耐磨性差,含碳量过高,淬火过程中易出现裂纹,且碳含量过高,材料的抗高温氧化性能下降,综合考虑,将碳含量控制在 0.35 ~ 0.50%。

[0017] 铬:铬是含铝 Fe-Cr-B 合金中的主要合金元素,部分铬进入硼化物,形成铁铬硼化物,铁铬硼化物的脆性明显小于铁硼化合物,可以确保铁铬硼化物具有良好的抵抗磨损的能力,且使用中铁铬硼化物不会开裂和剥落。部分铬进入基体,有利于提高基体的抗氧化性能。但是,铬是缩小 γ 相区的元素,加入量过多,淬火组织中易出现低硬度的珠光体基体,不利于改善含铝 Fe-Cr-B 合金的耐磨性,综合考虑,将铬含量控制在 12.0 ~ 14.0%。

[0018] 硼:硼也是含铝 Fe-Cr-B 合金中的主要合金元素,主要是为了获得高硬度的铁铬硼化物,部分硼溶入基体,有利于改善含铝 Fe-Cr-B 合金的淬透性和淬硬性。硼加入量过少,铁铬硼化物数量少,合金耐磨性低,硼加入量过多,铁铬硼化物数量太多,使含铝 Fe-Cr-B 合金的强度和韧性大幅度降低,综合考虑,将硼含量控制在 1.5 ~ 1.8%。

[0019] 铝和硅:铝和硅是良好的脱氧元素,在钢水中具有良好的脱氧效果,可以确保钢水的高质量。此外,铝和硅是非碳化物、硼化物形成元素,主要溶于基体,具有明显提高基体强度的作用。特别是铝具有明显提高基体高温硬度的作用,可以确保 Fe-Cr-B 合金在高温下具有良好的抗磨能力。此外,在高温氧化时,铝和硅与氧的亲和力比铁大,形成复杂富铝氧化膜和富硅氧化膜,这类氧化膜不易剥落,有利于抑制氧化的进一步扩展。但是,铝和硅加入量过多,易出现夹杂,损害材料的强度和韧性,且硅明显降低 Fe-Cr-B 合金的淬透性,综合考虑,将铝含量控制在 3.0 ~ 3.5%,硅含量控制在 1.2 ~ 1.5%。

[0020] 稀土和镁:稀土和镁具有很强的脱氧、脱硫能力,稀土还具有细化凝固组织的作用,镁的加入还有利于改善铁铬硼化物的形态和分布,提高含铝 Fe-Cr-B 合金综合性能,稀土以镧铈混合稀土形式加入,合适的镧加入量为 0.08 ~ 0.15%,合适的铈加入量为 0.08 ~ 0.15%,且 $0.22\% \leq La+Ce \leq 0.28\%$,镁的合适加入量为 0.16 ~ 0.20%。

[0021] 钛:含铝 Fe-Cr-B 合金中加入钛后,可以与钢液中的碳化合,生成细小的 TiC 颗粒,TiC 颗粒熔点高,且与 γ 相的错配度为 3.9%。根据 Turnbull 和 Vonnegut (Turnbull D and Vonnegut B. Nucleation Catalysis. Industrial and Engineering Chemistry. 1952, 44(6) :1292 ~ 1298) 提出的错配度理论,在合金凝固过程中,当两相错配度小于 12%,高熔点的化合物相能作为非自发核心,促进形核,使铸态组织细化,而且,错配度越小,效果越明显。TiC 与高温 γ 晶格具有很低的错配度,同时又具有很高的熔点,因此强烈的促进形核,可成为结晶核心,使铸态晶粒细化,改善含铝 Fe-Cr-B 合金的强韧性。此外, TiC 颗粒还可以作为共晶 $(Fe, Cr)_2B$ 铁铬硼化物的结晶核心,促进 $(Fe, Cr)_2B$ 铁铬硼化物的断网和孤立分布,也有助于提高含铝 Fe-Cr-B 合金的强韧性。钛加入量过少,形成的 TiC 质点过少,对含铝 Fe-Cr-B 合金组织细化和 $(Fe, Cr)_2B$ 铁铬硼化物的断网影响不明显,加入量过多, TiC 质点过多且易聚集长大,不利于细化含铝 Fe-Cr-B 合金组织,改善其力学性能。综合考虑,将钛含量控制在 0.10 ~ 0.15%。

[0022] 锌:含铝 Fe-Cr-B 合金组织中加入少量锌后, $(Fe, Cr)_2B$ 铁铬硼化物变得细小、孤立和均匀,基体间的联系得以加强,有利于促进含铝 Fe-Cr-B 合金强度和耐磨性的提高,合

适的锌加入量为 0.12 ~ 0.20%。

[0023] 钠 : 钠加入含铝 Fe-Cr-B 合金可降低含铝 Fe-Cr-B 合金的初晶结晶温度和共晶结晶温度, 初晶结晶温度和共晶结晶温度的下降, 有助于钢水在液相线和共晶区过冷, 而合金的结晶过冷度增大, 会使形核率增加, 因此, 钠使初晶奥氏体晶核增多, 初晶奥氏体细化, 初晶奥氏体的细化导致共晶反应时残留钢液相互被隔开的趋势增强, 进而导致共晶组织的细化。此外, 钠在共晶结晶时选择性地吸附在共晶铁铬硼化物择优生长方向的表面上, 形成吸附薄膜, 阻碍钢液中的铬、硼、铁等原子长入共晶铁铬硼化物晶体, 降低了共晶铁铬硼化物择优方向的长大速度, 促使共晶铁铬硼化物由网状变成断网状和孤立块状分布, 有利于提高含铝 Fe-Cr-B 合金韧性。钠合适的加入量是 0.32 ~ 0.38%

[0024] 锰 : 锰降低含铝 Fe-Cr-B 合金的高温抗氧化性能, 因此将其含量控制在 0.50% 以下。

[0025] 硫和磷 : 硫和磷是含硼高铬耐磨合金中的有害元素, 须严格控制其含量, 其中硫含量不得超过 0.035%, 磷含量不得超过 0.035%。

[0026] 本发明含铝 Fe-Cr-B 合金的热处理工艺是这样制订的 :

[0027] 铸件经打磨清理后进行粗加工, 然后随炉加热至 1000 ~ 1020℃, 保温 2 ~ 3h 后, 使含铝 Fe-Cr-B 合金实现奥氏体化, 保温过程中, 部分 $(Fe, Cr)_2B$ 铁铬硼化物溶解, 进入基体, 提高高温奥氏体的淬透性和淬硬性, 使淬火后的基体组织以高硬度的马氏体为主, 有利于提高含铝 Fe-Cr-B 合金的耐磨性。此外, 高温加热和保温过程中, $(Fe, Cr)_2B$ 铁铬硼化物还会出现孤立化和团球化趋势, 促进含铝 Fe-Cr-B 合金机械性能的进一步提高。淬火后的含铝 Fe-Cr-B 合金内应力大, 在淬火油中的冷却时间不宜过长, 且淬火后要及时回火, 以消除应力, 稳定组织, 回火加热至 250 ~ 280℃, 保温 6 ~ 8h 后, 炉冷至温度低于 120℃ 后出炉空冷至室温, 效果最好。

[0028] 本发明含铝 Fe-Cr-B 合金具有硬度高和力学性能好等特点, 特别具有良好的抵抗高温磨损能力, 用于制造热轧线材轧机的导辊、高线预精轧机的辊环和穿孔机顶头, 都取得了良好的使用效果, 使用中无断裂和破碎现象出现, 使用安全可靠。本发明制造穿孔机顶头的使用寿命比高镍铬合金钢顶头提高 40% 以上, 但生产成本比高镍铬合金钢降低 35% 以上。推广应用本发明成果, 可为企业带来很好的经济效益。

[0029] 本发明与现有技术相比, 具有以下优点 :

[0030] 1) 本发明含铝 Fe-Cr-B 合金中, 不含镍、钼、钨、钒、铌、钴等昂贵合金元素, 具有较低的生产成本, 比含钼高铬铸铁每吨降低成本 1200 ~ 1500 元。

[0031] 2) 本发明含铝 Fe-Cr-B 合金具有硬度高和高温耐磨性好等特点, 其中硬度达到 65.5 ~ 68.0 HRC, 在 600℃ 下的高温抗磨性能优于含钼高铬铸铁, 接近高碳高钒高速钢, 但生产成本比高碳高钒高速钢降低 40% 以上。

[0032] 3) 本发明含铝 Fe-Cr-B 合金还具有较好的力学性能, 其中冲击韧性达到 10 ~ 12 J/cm², 抗拉强度达到 720 ~ 780 MPa。

具体实施方式

[0033] 下面结合实施例对本发明做进一步详述 :

[0034] 实施例 1

[0035] 本发明含铝 Fe-Cr-B 耐磨合金及其制备方法采用 500 公斤中频感应电炉熔炼，其制造工艺步骤是：

[0036] ①将废钢和铬铁混合加热熔化，钢水熔清后加入硅铁；

[0037] ②将钢水温度升至 1533℃，加入硼铁和金属铝，炉前调整成分合格后将温度升至 1562℃时出炉；

[0038] ③将钛铁、金属锌、稀土镁合金和含钠变质剂破碎至粒度为 6～10mm 的小块，经 180℃烘干 2h 后，置于浇包底部，用包内冲入法对钢水进行复合变质处理；

[0039] ④用普通铸造方法成形，钢水浇注温度 1445℃；

[0040] ⑤铸件经打磨清理后进行粗加工，然后随炉加热至 1020℃，保温 2h 后，油冷 30min，再空冷至温度低于 250℃后，继续入炉加热至 280℃，保温 6h 后，炉冷至温度低于 120℃后出炉空冷至室温，最后精加工至规定尺寸和精度。含铝 Fe-Cr-B 耐磨合金铸件的成分见表 1，含铝 Fe-Cr-B 耐磨合金铸件的力学性能见表 2。

[0041] 实施例 2

[0042] 本发明含铝 Fe-Cr-B 耐磨合金及其制备方法采用 500 公斤中频感应电炉熔炼，其制造工艺步骤是：

[0043] ①将废钢和铬铁混合加热熔化，钢水熔清后加入硅铁；

[0044] ②将钢水温度升至 1549℃，加入硼铁和金属铝，炉前调整成分合格后将温度升至 1577℃时出炉；

[0045] ③将钛铁、金属锌、稀土镁合金和含钠变质剂破碎至粒度为 6～10mm 的小块，经 150℃烘干 3h 后，置于浇包底部，用包内冲入法对钢水进行复合变质处理；

[0046] ④用普通铸造方法成形，钢水浇注温度 1459℃；

[0047] ⑤铸件经打磨清理后进行粗加工，然后随炉加热至 1000℃，保温 3h 后，油冷 50min，再空冷至温度低于 250℃后，继续入炉加热至 250℃，保温 8h 后，炉冷至温度低于 120℃后出炉空冷至室温，最后精加工至规定尺寸和精度。含铝 Fe-Cr-B 耐磨合金铸件的成分见表 1，含铝 Fe-Cr-B 耐磨合金铸件的力学性能见表 2。

[0048] 实施例 3

[0049] 本发明含铝 Fe-Cr-B 耐磨合金及其制备方法采用 500 公斤中频感应电炉熔炼，其制造工艺步骤是：

[0050] ①将废钢和铬铁混合加热熔化，钢水熔清后加入硅铁；

[0051] ②将钢水温度升至 1541℃，加入硼铁和金属铝，炉前调整成分合格后将温度升至 1573℃时出炉；

[0052] ③将钛铁、金属锌、稀土镁合金和含钠变质剂破碎至粒度为 6～10mm 的小块，经 160℃烘干 3h 后，置于浇包底部，用包内冲入法对钢水进行复合变质处理；

[0053] ④用普通铸造方法成形，钢水浇注温度 1450℃；

[0054] ⑤铸件经打磨清理后进行粗加工，然后随炉加热至 1010℃，保温 3h 后，油冷 40min，再空冷至温度低于 250℃后，继续入炉加热至 260℃，保温 7h 后，炉冷至温度低于 120℃后出炉空冷至室温，最后精加工至规定尺寸和精度。含铝 Fe-Cr-B 耐磨合金铸件的成分见表 1，含铝 Fe-Cr-B 耐磨合金铸件的力学性能见表 2。

[0055] 表 1 含铝 Fe-Cr-B 耐磨合金铸件成分（质量分数，%）

[0056]

元素	C	Cr	B	Al	Si	La	Ce	Ti
实施例 1	0.49	13.55	1.50	3.30	1.23	0.15	0.09	0.14
实施例 2	0.36	13.97	1.78	3.48	1.48	0.08	0.14	0.13
实施例 3	0.44	12.01	1.63	3.05	1.46	0.14	0.13	0.10
元素	Na	Zn	Mg	Mn	S	P	Fe	
实施例 1	0.33	0.19	0.17	0.34	0.018	0.032	余量	
实施例 2	0.35	0.15	0.17	0.37	0.016	0.030	余量	
实施例 3	0.38	0.14	0.20	0.30	0.019	0.033	余量	

[0057] 表 2 含铝 Fe-Cr-B 耐磨合金铸件力学性能

[0058]

力学性能	硬度 /HRC	抗拉强度 /MPa	冲击韧性 /J·cm ⁻²
实施例 1	68.0	10.3	725
实施例 2	65.5	11.9	770
实施例 3	66.7	11.0	755

[0059] 本发明含铝 Fe-Cr-B 合金具有硬度高和力学性能好等特点,特别具有良好的抵抗高温磨损能力,用于制造热轧线材轧机的导辊、高线预精轧机的辊环和穿孔机顶头,都取得了良好的使用效果,使用中无断裂和破碎现象出现,使用安全可靠。其中本发明制造热轧线材轧机导辊的使用寿命比含钼高铬铸铁导辊提高 30%以上,而生产成本比含钼高铬铸铁每吨降低 1200 ~ 1500 元;本发明制造高线预精轧机辊环的使用寿命与高碳高钒高速钢辊环相当,但生产成本比高碳高钒高速钢降低 40%以上;本发明制造穿孔机顶头的使用寿命比高镍铬合金钢顶头提高 40%以上,但生产成本比高镍铬合金钢降低 35%以上。推广应用本发明成果,可为企业带来很好的经济效益。