



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 108950385 A

(43)申请公布日 2018.12.07

(21)申请号 201810702989.9

(22)申请日 2018.06.30

(71)申请人 河北工业大学

地址 300130 天津市红桥区丁字沽光荣道8号

申请人 钢诺新材料股份有限公司

(72)发明人 王宝奇 蒲以松 冯红喜 黄龙霄
宋孟超

(51)Int.Cl.

G22C 38/02(2006.01)

G22C 38/04(2006.01)

G22C 38/06(2006.01)

G22C 38/20(2006.01)

G21D 8/00(2006.01)

G21D 1/18(2006.01)

权利要求书1页 说明书6页

(54)发明名称

锻造低成本高性能大规格磨球用钢及其生产方法

(57)摘要

一种低成本高性能大规格锻造磨球用钢,其化学成分的质量百分数为:C:0.58~0.72%、Mn:0.8~1.0%、Cr:0.6~0.8%、Si:0.6~0.9%、Al:0.01~0.06%、Cu≤0.2%、S≤0.025%、P≤0.025%,其余为铁和不可避免的杂质。本发明锻造磨球用钢采用电弧炉炼钢或转炉炼钢+炉外精炼+连铸+连轧工艺生产圆钢。采用本发明磨球用钢制造直径为130mm-150mm规格锻造磨球具有整体硬度(表面≥59HRC,芯部≥57HRC,体积硬度≥58HRC,耐磨性好,良好的抗冲击韧性,抗冲击破碎性能优良,破碎率低,组织细小且分布均匀,冲击疲劳寿命高,不易形状失效,生产成本低。

1. 低成本高性能大规格锻造磨球用钢,其特征在於,其化学组成成分的质量百分数为:
C:0.58~0.72%、Mn:0.8~1.0%、Cr:0.6~0.8%、Si:0.6~0.9%、Al:0.01~0.06%、Cu \leq 0.2%、
S \leq 0.025%、P \leq 0.025%,其余为铁和不可避免的杂质。

2. 低成本高性能大规格锻造磨球用钢,其特征在於,其化学组成成分的质量百分数为:
C:0.58~0.72%、Mn:0.8~1.0%、Cr:0.6~0.8%、Si:0.6~0.9%、Al:0.01~0.06%、Nb \leq
0.06%、Cu \leq 0.2%、S \leq 0.025%、P \leq 0.025%,其余为铁和不可避免的杂质。

3. 锻造低成本高性能大规格磨球用钢的生产方法,其特征在於,其工艺过程为:采用电
弧炉或转炉炼钢+LF精炼+VD真空精炼+连铸,轧制成直径90mm以上的圆钢,其轧制比不低于
15。

4. 用锻造低成本高性能大规格磨球用钢生产大规格磨球的方法,其特征在於,轧制圆
钢→步进炉加热→棒剪机剪切成单球所需长度→数控锤粗锻→空气锤精锻→锻后冷却至
800 \pm 10 $^{\circ}$ C→水淬→出水空冷至室温→低温回火。

锻造低成本高性能大规格磨球用钢及其生产方法

[0001]

技术领域

[0002] 本发明涉及一种钢材,尤其是一种锻造低成本高性能大规格(130mm-150mm)磨球用钢。

背景技术

[0003] 近年来,随着富矿资源的日渐枯竭,矿石品位的下降,能源费用的增长,降低生产成本和提高效益是世界各国矿山工业面临的一个严峻问题,而大型高效的半自磨机投入使用成为矿山企业解决以上问题的重要手段。目前,在很多大型金属矿山磨矿流程中采用大型半自磨流程日渐增多,而半自磨机相比球磨机来说筒体直径显著增大,直径达7m以上,有的甚至达到10m以上,与其配套的锻造磨球直径均在120mm以上,尤其是直径在130mm-150mm的大规格锻造钢磨球,市场需求量巨大。当前采用中高碳钢、低合金钢和中碳低合金钢所制的大规格锻造磨球普遍存在淬透性不足,耐磨性差,硬度低,破碎率高,生产成本低,磨球使用寿命短等问题,无法满足实际矿山生产要求。为了降低磨耗,提高磨矿效率,降低生产成本,对所制造的大规格磨球要求具有较高的淬透性,较高的体积硬度($\geq 58\text{HRC}$),同时还要求磨球具有高的冲击疲劳寿命,10米落球疲劳寿命要求单颗钢球落球次数在5000次以上不出现破碎开裂现象,冲击功 $\geq 12\text{J}$ 。为满足低成本高性能大规格锻造磨球用钢的要求采用较高的碳含量(0.58~0.72%),尽量减少合金元素的添加,特别是贵金属元素添加,来实现低成本高性能大规格磨球用钢的开发。虽然,国内外大规格锻造磨球用钢及磨球生产工艺有较多的报道,但存在着所用钢成分设计不合理,很难同时兼顾磨球有较高的硬度和必要的韧性,合金元素添加量和淬透性之间的关系以及生产成本过高等诸多问题。如文献(大直径锻球的制备工艺及其磨损性能研究,孙浩等,铸造技术,2011,32(6):863-865)报道的磨球用钢(wt%) C:0.4~0.6%,Si:1.5~2.5%,Mn:2.0~3.0%,Co \leq 0.5%, Mo \leq 0.25%,B \leq 0.005%,坯料采用中频感应炉熔炼,冶金质量难以保证,生产效率低,同时Mn含量太高容易造成偏析和淬火开裂,Co能降低钢的淬透性,冲击韧性随Co含量的增加而降低且Co的价格昂贵,成本较高,因此要尽量降低Co的含量,此外钢中Mo含量还较高,若采用钢厂工业化批量生产,同样存在成本高的问题,加之所制造直径150mm磨球,采用锻后空冷,体积硬度为52.6HRC,整体硬度较低(52-53HRC),耐磨性差;文献(大直径锻造矿用耐磨钢球的研制,许兴军,金属热处理,2013,38(1):47-49)报道的直径为140mm和160mm的磨球用钢,其主要化学成分(wt%) C:0.75~0.90%,Si:0.2~0.4%,Mn:0.90~1.0%,Cr:0.88~0.96%,Ni:0.05~0.1%,Mo:0.06~0.13%,贵合金元素Mo以及Ni含量高,大批量生产成本较高,生产直径为140mm和160mm的磨球,为保证高的淬透性,提高体积硬度,加热温度需要在880~900℃之间及保温时间较长,晶粒易粗大,影响磨球性能。CN201310455888.3报道了一种高淬透性的大直径65MnCr磨球及其制备方法,该磨球钢成分为:C:0.55~0.75%,Si:0.1~0.5%,Mn:1.0~3.0%;Cr:0.5~1.5%,Al:0.01~0.1%,P \leq 0.1%,S \leq 0.01%,N \leq 0.01%,坯料采用电磁感应炉

熔炼,冶金质量同样很难保证,生产效率低,钢坯经1050℃~1100℃加热后,轧制成直径130mm的磨球,900~950℃入水淬火2.5~3min,并在320~400℃回火6h,淬火温度太高,直径130mm的磨球在淬火过程中应力较大,容易产生裂纹甚至开裂,回火后磨球芯部硬度为50HRC,表面硬度53HRC,磨球硬度偏低,存在磨耗较高的问题。CN201310242666.3报道了一种大直径耐磨钢球及其生产工艺,其化学成分为:C:0.6~0.7%,Mn:0.95~1.25%,Ti:0.01~0.02%,Si:0.25~0.45%,S≤0.03%,P≤0.035%,其余为Fe,坯料经900~1050℃加热后,在750~900℃锻造成直径120mm-200mm的磨球,淬火温度为450℃,在300-350℃出水余热回火,然后缓冷48h,其磨球表面硬度为63-65HRC,芯部硬度为58-60HRC,冲击韧性≥18J/cm²,锻造温度较低,塑性降低,变形抗力增加,产生加工硬化,容易开裂,同时淬火温度低,整个工艺繁琐,耗时长效率低,不适合大批量生产。CN201510201330.1提供了一种大直径磨球用钢及其制造方法,其组成按质量百分数为:C:0.71~0.79%,Si:0.25~0.35%,Mn:0.80~0.95%,Cr:0.80~0.90%,P≤0.025%,S≤0.025%,Ni:0.05-0.1%,Mo:0.03-0.08%,Al:0.020-0.050%,Cu≤0.4%,Ti≤0.03%,其余为Fe和不可避免的杂质,采用电炉冶炼、LF精练+VD真空脱气处理、连铸全保护浇注成圆坯,轧制成直径120mm圆钢,未说明磨球规格。CN201010247793.9报道的高碳低合金大规格锻造矿用耐磨钢球及其制造方法,该耐磨钢球质量百分比组分:C:0.80~0.90%,Si:0.20~0.40%,Mn:0.90~1.00%,P≤0.020%,S≤0.020%,Cr:0.90~1.00%,Ni:0.05~0.15%,Mo:0.06~0.15%,Al:0.020~0.050%,Cu:0.1~0.25%,热轧圆钢加热至1050~1150℃保温一定时间后经空气锤锻造成直径125mm-160mm的磨球,锻后强冷至室温,再重新加热到850~880℃保温一定时间,在40-45℃的水中淬火并进行190-195℃低温回火。其磨球表面硬度可达60-62HRC,冲击韧性可以达到10-18 J/cm²,采用二次加热淬火工艺,降低了生产效率,提高了生产成本,同时钢中还含有Mo等贵金属元素同样存在上述原材料价格高的问题。

[0004] 上述涉及到的制造直径130mm-150mm大规格磨球,存在着为保证磨球高硬度和淬透性而必须在钢中添加更多的合金元素,甚至添加一些贵金属元素,批量生产成本很高;或者存在所制备的磨球整体硬度偏低的问题;或者仅涉及直径在120mm以上的大规格磨球用钢采用常规冶炼工艺,冶金质量难以保证,不利于大批量生产,或者存在磨球制造工艺不合理,性能不达标,繁琐耗时。

发明内容

[0005] 本发明所要解决的技术问题是提供一种低成本高性能大规格(130mm-150mm)锻造磨球用钢。

[0006] 本发明解决其技术问题的成分技术方案是:

一种低成本高性能大规格(130mm-150mm)锻造磨球用钢,其化学成分的质量百分数为:C:0.58~0.72%、Mn:0.8~1.0%、Cr:0.6~0.8%、Si:0.6~0.9%、Al:0.01~0.06%、Cu≤0.2%、S≤0.025%、P≤0.025%,其余为铁和不可避免的杂质。上述的Mn、Cr、Si多元合金化方案为最佳。

[0007] 各主要合金元素的作用和限定用量理由如下:

碳对钢的组织和性能影响较大,碳含量提高,有助于提高钢的淬透性,以及提高磨球淬火后的硬度。但是当碳含量过高,淬火钢的硬度并不会显著提高,而钢的塑性和韧性显著降

低,淬火变形开裂倾向增大。综合考虑,确定本发明钢的碳含量为0.58~0.72%。

[0008] 锰显著提高钢的淬透性,同时较高的锰含量能够有效的防止热脆现象。锰是本发明磨球用钢的主要添加合金元素,属于廉价合金元素。但锰含量过高,增大过热倾向,以及增加淬火后残余奥氏体的含量。因此,本发明磨球用钢中的锰含量为0.8~1.0%。

[0009] Cr的加入能够配合锰元素增强钢的淬透性,可提高高碳钢的硬度和耐磨性而不使钢变脆。本发明钢的Cr含量控制在0.6~0.8%。

[0010] 硅在本发明钢中适量添加,配合其它合金元素可提高钢的淬透性。过冷奥氏体转变时有助形成无碳化物贝氏体组织,从而提高钢的韧性,但过高的硅含量,增大高温变形抗力,影响成形效率。因此本发明钢的硅含量为0.6~0.9%。

[0011] Al为炼钢过程中脱氧元素,Cu、P、S为杂质元素,应尽量减少。

[0012] 本发明解决其技术问题的冶炼技术方案是:

锻造低成本高性能大规格(130mm-150mm)磨球用钢的生产工艺流程是:电弧炉或转炉炼钢+LF精炼+VD或RH真空精炼+采用全程保护和电磁搅拌控制的连铸+热轧+缓冷,获得直径90mm~100mm的圆钢,其轧制比要求大于15。

[0013] 本发明解决其技术问题的钢球生产技术方案是:

轧制圆钢→步进炉加热→棒剪机剪切成单球所需长度→数控锤粗锻→空气锤精锻→锻后冷却至 $800 \pm 10^{\circ}\text{C}$ →水淬→出水空冷至室温→低温回火。

[0014] 本发明低成本高性能锻造磨球用钢主要用于制造直径为130mm-150mm的大规格高性能锻造磨球,所制磨球主要运用在大型金属矿山的半自磨机一段磨机磨矿中,作为破碎大块矿石和研磨小颗粒矿石至200目以下的磨矿介质。

[0015] 与现有技术相比,本发明低成本高性能大规格(130mm-150mm)锻造磨球用钢,具有良好的淬透性,磨球锻造后采用余热淬火工艺,水中淬火一定时间后出水空冷至室温,进行低温回火,制备直径130mm-150mm锻造磨球平均体积硬度 $\geq 58\text{HRC}$,表面硬度 $\geq 59\text{HRC}$,芯部硬度 $\geq 57\text{HRC}$,冲击功 $\geq 12\text{J}$,单球落球次数 > 5000 次,组织细小分布均匀,抗冲击破碎性能优良,冲击疲劳寿命高。本发明的大规格锻造磨球用钢成分设计均为廉价的合金元素,并且含量相对较低,比目前用于制造大直径锻造磨球用钢的成本有大幅下降,且又能满足矿山的使用性能要求,提高半自磨机的磨矿效率。采用锻后余热淬火工艺,不仅节约资源和降低成本还提高磨球生产效率,能显著提高大直径锻造磨球产品的竞争力和市场占有率及经济效益。

具体实施方式

[0016] 下面结合实例对本发明作进一步说明。

[0017] 实施例1

本发明低成本高性能大规格(130mm-150mm)锻造磨球用钢,采用电弧炉炼钢+LF精炼+VD真空精炼,其熔炼成分(组成按质量百分数)为C:0.70,Mn:0.85,Cr:0.65,Si:0.85,Al:0.042%,Cu:0.13%,S:0.010,P:0.018,其余为铁和不可避免的杂质。

[0018] 采用全程保护连铸成直径500mm圆坯+热轧工艺,分别轧制成直径90mm、直径95mm和直径100mm的圆钢。

[0019] 将 $\Phi 90\text{mm}$ 、 $\Phi 95\text{mm}$ 和 $\Phi 100\text{mm}$ 圆钢坯料由步进天然气加热炉加热到 1150°C 左右,由

棒剪机剪切成单球所需长度,采用数控锤将圆钢进行粗锻,然后用空气锤进行精锻,将 $\Phi 90$ mm圆钢锻造成 $\Phi 130$ mm球,将 $\Phi 95$ mm圆钢锻造成 $\Phi 140$ mm球,将 $\Phi 100$ mm圆钢锻造成 $\Phi 150$ mm球。锻造后在待温淬火区域待磨球表面温度冷却至 800°C ,进入水中淬火,一定时间后出水空冷至室温, 200°C 低温回火6h。10米落球实验落球次数(单球) >5000 次,未出现破碎剥落掉块现象。回火后磨球的硬度,冲击功和10米单球落球次数如表1所示。

[0020] 实施例2

本发明低成本高性能大规格(130mm-150mm)锻造磨球用钢,采用电弧炉炼钢+LF精炼+VD真空精炼,其熔炼成分(组成按质量百分数)为C:0.62,Mn:0.83,Cr:0.68,Si:0.65,Al:0.043%,Cu:0.08%,S:0.009,P:0.017,其余为铁和不可避免的杂质。

[0021] 经过全程保护连铸成直径500mm圆坯+热轧工艺,分别轧制成直径90mm、直径95mm和直径100mm的圆钢。

[0022] 将 $\Phi 90$ mm、 $\Phi 95$ mm和 $\Phi 100$ mm圆钢坯料由步进天然气加热炉加热到 1150°C 左右,由棒剪机剪切成单球所需长度,采用数控锤将圆钢进行粗锻,然后用空气锤进行精锻,将 $\Phi 90$ mm圆钢锻造成 $\Phi 130$ mm球,将 $\Phi 95$ mm圆钢锻造成 $\Phi 140$ mm球,将 $\Phi 100$ mm圆钢锻造成 $\Phi 150$ mm球。锻造后在待温淬火区域待磨球表面温度冷却至 790°C ,进入水中淬火,一定时间后出水空冷至室温, 200°C 低温回火6h。其余同实施例1。

[0023] 实施例3

本发明低成本高性能大规格(130mm-150mm)锻造磨球用钢,采用转炉炼钢+LF精炼+RH真空精炼,其熔炼成分(组成按质量百分数)为C:0.68,Mn:0.88,Cr:0.72,Si:0.80,Al:0.045%,Cu:0.12%,S:0.007,P:0.014,其余为铁和不可避免的杂质。

[0024] 经过全程保护连铸成400mm方坯+热轧工艺,分别轧制成直径90mm、直径95mm和直径100mm的圆钢。

[0025] 将 $\Phi 90$ mm、 $\Phi 95$ mm和 $\Phi 100$ mm圆钢坯料由步进天然气加热炉加热到 1150°C 左右,由棒剪机剪切成单球所需长度,采用数控锤将圆钢进行粗锻,然后用空气锤进行精锻,将 $\Phi 90$ mm圆钢锻造成 $\Phi 130$ mm球,将 $\Phi 95$ mm圆钢锻造成 $\Phi 140$ mm球,将 $\Phi 100$ mm圆钢锻造成 $\Phi 150$ mm球。锻造后在待温淬火区域待磨球表面温度冷却至 795°C ,进入水中淬火,一定时间后出水空冷至室温, 200°C 低温回火6h。其余同实施例1。

[0026] 实施例4

本发明低成本高性能大规格(130mm-150mm)锻造磨球用钢,采用转炉炼钢+LF精炼+RH真空精炼,其熔炼成分(组成按质量百分数)为C:0.58,Mn:0.80,Cr:0.60,Si:0.60,Al:0.04%,Cu:0.12%,S:0.007,P:0.015,其余为铁和不可避免的杂质。

[0027] 经过全程保护连铸成400mm方坯+热轧工艺,分别轧制成直径90mm、直径95mm和直径100mm的圆钢。

[0028] 将 $\Phi 90$ mm、 $\Phi 95$ mm和 $\Phi 100$ mm圆钢坯料由步进天然气加热炉加热到 1150°C 左右,由棒剪机剪切成单球所需长度,采用数控锤将圆钢进行粗锻,然后用空气锤进行精锻,将 $\Phi 90$ mm圆钢锻造成 $\Phi 130$ mm球,将 $\Phi 95$ mm圆钢锻造成 $\Phi 140$ mm球,将 $\Phi 100$ mm圆钢锻造成 $\Phi 150$ mm球。锻造后在待温淬火区域待磨球表面温度冷却至 806°C ,进入水中淬火,一定时间后出水空冷至室温, 200°C 低温回火6h。其余同实施例1。

[0029] 实施例5

本发明低成本高性能大规格(130mm-150mm)锻造磨球用钢,采用电弧炼钢+LF精炼+RH真空精炼,其熔炼成分(组成按质量百分数)为C:0.65,Mn:0.9,Cr:0.70,Si:0.75,Al:0.032%,Cu:0.11%,S:0.007,P:0.017,其余为铁和不可避免的杂质。

[0030] 经过全程保护连铸成350mm方坯+热轧工艺,分别轧制成直径90mm、直径95mm和直径100mm的圆钢。

[0031] 将 Φ 90mm、 Φ 95mm和 Φ 100mm圆钢坯料由步进天然气加热炉加热到1150℃左右,由棒剪机剪切成单球所需长度,采用数控锤将圆钢进行粗锻,然后用空气锤进行精锻,将 Φ 90mm圆钢锻造成 Φ 130mm球,将 Φ 95mm圆钢锻造成 Φ 140mm球,将 Φ 100mm圆钢锻造成 Φ 150mm球。锻造后在待温淬火区域待磨球表面温度冷却至810℃,进入水中淬火,一定时间后出水空冷至室温,200℃低温回火6h。其余同实施例1。

[0032] 实施例6

本发明低成本高性能大规格(130mm-150mm)锻造磨球用钢,采用转炉炼钢+LF精炼+VD真空精炼,其熔炼成分(组成按质量百分数)为C:0.60,Mn:0.95,Cr:0.75,Si:0.70,Al:0.047%,Cu:0.09%,S:0.005,P:0.016,其余为铁和不可避免的杂质。

[0033] 经过全程保护连铸成直径500mm圆坯+热轧工艺,分别轧制成直径90mm、直径95mm和直径100mm的圆钢。

[0034] 将 Φ 90mm、 Φ 95mm和 Φ 100mm圆钢坯料由步进天然气加热炉加热到1150℃左右,由棒剪机剪切成单球所需长度,采用数控锤将圆钢进行粗锻,然后用空气锤进行精锻,将 Φ 90mm圆钢锻造成 Φ 130mm球,将 Φ 95mm圆钢锻造成 Φ 140mm球,将 Φ 100mm圆钢锻造成 Φ 150mm球。锻造后在待温淬火区域待磨球表面温度冷却至793℃,进入水中淬火,一定时间后出水空冷至室温,200℃低温回火6h。其余同实施例1。

[0035] 实施例7

本发明低成本高性能大规格(130mm-150mm)锻造磨球用钢,采用转炉炼钢+LF精炼+VD真空精炼,其熔炼成分(组成按质量百分数)为C:0.72,Mn:1.0,Cr:0.80,Si:0.90,Al:0.05%,Cu:0.09%,S:0.006,P:0.020,其余为铁和不可避免的杂质。

[0036] 经过全程保护连铸成400mm方坯+热轧工艺,分别轧制成直径90mm、直径95mm和直径100mm的圆钢。

[0037] 将 Φ 90mm、 Φ 95mm和 Φ 100mm圆钢坯料由步进天然气加热炉加热到1150℃左右,由棒剪机剪切成单球所需长度,采用数控锤将圆钢进行粗锻,然后用空气锤进行精锻,将 Φ 90mm圆钢锻造成 Φ 130mm球,将 Φ 95mm圆钢锻造成 Φ 140mm球,将 Φ 100mm圆钢锻造成 Φ 150mm球。锻造后在待温淬火区域待磨球表面温度冷却至802℃,进入水中淬火,一定时间后出水空冷至室温,200℃低温回火6h。其余同实施例1。

[0038] 表1 本发明低成本高性能大规格(130mm-150mm)锻造磨球用钢
锻造成磨球产品的性能

序号	磨球规格 (mm)	表面硬度(HRC)	芯部硬度(HRC)	体积硬度(HRC)	无缺口冲击功(J)	单球落球次数
实施例 1	130	60.7	59.2	60.1	21	6491
	140	60.3	58.6	59.7	24	5870
	150	59.8	58.0	59.1	28	6245
实施例 2	130	60.1	58.5	59.5	26	5987
	140	59.7	58.2	59.0	29	6015
	150	59.2	57.6	58.3	34	5976
实施例 3	130	60.5	59.0	59.9	22	6235
	140	60.0	58.8	59.6	25	5885
	150	59.6	58.5	59.2	27	6030
实施例 4	130	60.0	58.4	59.4	27	5756
	140	59.7	58.1	58.9	31	5636
	150	59.0	57.3	58.2	37	5845
实施例 5	130	60.3	58.9	59.7	21	6012
	140	59.9	58.6	59.3	24	5476
	150	59.5	58.2	58.9	26	5678
实施例 6	130	60.2	58.7	59.6	23	5642
	140	59.8	58.4	59.2	25	6215
	150	59.4	57.9	58.7	29	5936
实施例 7	130	61.1	59.7	60.6	19	6123