



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 115747634 A

(43) 申请公布日 2023.03.07

(21) 申请号 202211232868.5 *G22C 38/46* (2006.01)
(22) 申请日 2022.10.10 *G22C 38/54* (2006.01)
(71) 申请人 南京钢铁股份有限公司 *G22C 38/60* (2006.01)
地址 210044 江苏省南京市六合区卸甲甸 *B21J 5/00* (2006.01)
(72) 发明人 杨敏 韩玉梅 周蕾 彭学艺 *C21D 1/42* (2006.01)
邓伟 *C21D 9/30* (2006.01)
G22C 33/04 (2006.01)
(74) 专利代理机构 南京苏高专利商标事务所
(普通合伙) 32204
专利代理师 张婧

(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)

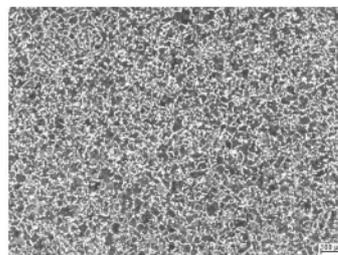
权利要求书2页 说明书6页 附图3页

(54) 发明名称

一种高品质非调质钢、曲轴及制备方法

(57) 摘要

本发明公开了一种高品质非调质钢、曲轴及制备方法,非调质钢的组分含量以质量百分含量计,包含:C:0.36~0.40%,Si:0.50~0.65%,Mn:1.30~1.60%,S:0.050~0.065%,P:≤0.025%,Cr:0.10~0.20%,Mo:≤0.04%,Cu:≤0.25%,Ni:≤0.25%,V:0.08~0.13%,Al:0.010~0.050%,N:0.012~0.020%,B≤0.0005%,H≤2.0ppm。本发明冶炼过程通过吹氮气不添加氮化物,并不使用较贵合金金属Mn,使用低碳锰铁合金实现≤5ppm残余B含量,可节约生产成本,适用于大批量经济化、工业化生产。



1. 一种高品质非调质钢,其特征在於,所述非调质钢的组分含量以质量百分含量计,包含:C:0.36~0.40%,Si:0.50~0.65%,Mn:1.30~1.60%,S:0.050~0.065%,P:≤0.025%,Cr:0.10~0.20%,Mo:≤0.04%,Cu:≤0.25%,Ni:≤0.25%,V:0.08~0.13%,Al:0.010~0.050%,N:0.012~0.020%,B≤0.0005%,H≤2.0ppm,其余为Fe和其他不可避免的杂质。

2. 根据权利要求1所述的高品质非调质钢,其特征在於,所述非调质钢的组分含量以质量百分含量计,包含:C:0.36~0.40%;Si:0.50~0.65%;Mn:1.35~1.55%;S:0.050~0.065%;P:≤0.020%;Cr:0.10~0.20%;Mo:≤0.03%;Cu:≤0.15%;Ni:≤0.15%;V:0.08~0.13%;Al:0.010~0.030%;N:0.013~0.020%;B≤0.0005%;H≤2.0ppm;其余为Fe和其他不可避免的杂质。

3. 根据权利要求1或2所述的高品质非调质钢,其特征在於,所述非调质钢的组织为珠光体和铁素体,圆钢的金相组织晶粒度可达到7级~8级。

4. 根据权利要求3所述的高品质非调质钢,其特征在於,所述非调质钢的抗拉强度≥900MPa,屈服强度≥800MPa,伸长率≥10%,断面收缩率≥35%。

5. 一种根据权利要求1至4任一所述高品质非调质钢的制备方法,其特征在於,包括如下步骤:

电炉冶炼、LF精炼、VD精炼、连铸、加热、轧制、探伤、感应加热、锻造和冷却步骤,

电弧炉冶炼出钢过程中严格控制下渣,出钢B≤0.0003%;出钢铝调整Al_t达0.020~0.030%;

LF精炼过程对成分按判定目标值进行点成分控制,分别使用高纯石墨碳材、锰铁、硅铁、铬铁、钒铁调整C、Mn、Si、Cr、V元素至判定范围下限或目标值,精炼过程吹N,前期使用SiC脱氧,白渣时间≥30min,Al_t含量在0.025%以上,精炼结束进真空前用FeS调整S达0.050~0.065%,成分调整至规定范围,温度合适后进VD真空脱气;

VD真空脱气处理过程中,真空度≤1mbar下处理≥15min,破真空后静搅≥10min后,取样分析,可使用高氮化硅包芯线增氮,按目标喂入Al线,根据S分析结果可喂入硫磺线调整硫,硫磺线喂完静搅≥5min后,取样分析,根据分析结果再进行微调,所有元素满足判定范围且软吹氩时间满足工艺要求后即可进行连铸浇注。

6. 根据权利要求5所述的一种高品质非调质钢的制备方法,其特征在於:所述连铸浇注全程采用全保护浇注,连铸过程使用电磁搅拌,结晶器电磁搅拌强度150~300A,末端电磁搅拌500~700A,及轻压下技术,压下量8~13mm。

7. 根据权利要求6所述的一种高品质非调质钢的制备方法,其特征在於:所述轧制工艺包括加热、开轧和终轧;轧制加热温度为1200~1250℃,开轧温度为1050~1150℃,终轧温度为850~930℃。

8. 一种曲轴,其特征在於,所述曲轴由权利要求1至4任一所述的高品质非调质钢制备而成。

9. 一种根据权利要求8所述的曲轴的制备方法,其特征在於,包括如下步骤:感应加热、锻造成形、去毛边和冷却步骤,

感应加热的温度为1200~1240℃;

锻造成形包括始锻和终锻,始锻温度为1190~1230℃,终锻温度为1050~1100℃;将去

边后毛坯曲轴放置冷却线上。

10. 根据权利要求9所述的曲轴制备方法,其特征在于:所述冷却步骤中以 $1.0\sim 2.0^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 的冷速进行冷却,冷却至 $600\sim 700^{\circ}\text{C}$ 进入保温罩缓冷,控制锻件在保温罩内以 $<0.5^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 的冷速冷却至 $280\sim 350^{\circ}\text{C}$ 后,将其在水冷却至室温。

一种高品质非调质钢、曲轴及制备方法

技术领域

[0001] 本发明涉及调质钢的工艺方法,尤其涉及一种高品质非调质钢、曲轴及制备方法。

背景技术

[0002] 非调质钢具有优异的短流程、零变形、节能、低排放、易切削、性能均匀、高成材率等优势,减少加工工序约1/4,提高材料利用率5~10%,综合降低能耗和制造成本25%以上。

[0003] 由于国六新规的实行,发动机向高爆发压力方向发展,对发动机曲轴强度提出新的要求,为使汽车实现轻量化,非调质钢应向高强度高性能方向发展。传统的非调质钢抗拉强度750-850Mpan难以满足新的需求,开发更高强度的非调质钢满足发动机曲轴用钢新的变化。同时,传统的曲轴锻造技术工艺已很难满足以上技术要求。

[0004] 现有专利申请CN 113862576AB属于冶金行业特殊钢生产加工领域,一种非调质钢、曲轴及其生产方法,专利中介绍了一种中高碳非调质钢、曲轴及其生产方法。其主要对非调质钢中的成分、碳当量以及氮量的合理设计,使得非调质钢的淬透性能够满足要求,并使该非调质钢能够在后续的表面感应加热过程中获得良好的表面硬度;并通过对连铸工艺和控轧控冷工艺中工艺参数的控制,尤其是对轧制后圆钢的入坑缓冷温度的控制,从而减小了钢中的带状组织。但只能达到中强度使用要求而达不到高强度使用要求,屈服只能达到500Mpa以上,抗拉只能达到820Mpa以上,无法满足更高的使用要求。

[0005] 因此,亟待解决上述问题。

发明内容

[0006] 发明目的:本发明的第一目的是提供一种高品质非调质钢,通过经济的合金配比,达到沉淀强化、细晶强化及组织强化的协同作用,提高钢的强韧性。

[0007] 本发明的第二目的是提供该高品质非调质钢的制备方法,该制备方法通过控轧控冷技术获得较细的珠光体组织,可进一步提高强度。

[0008] 本发明的第三目的是提供一种由高品质非调质钢制备而成的曲轴。

[0009] 本发明的第四目的是提供该曲轴的制备方法,该制备方法通过对曲轴锻件在不同温度范围内控制其冷却速度,来调整曲轴锻件的组织,从而提高曲轴锻件的强度,使其满足高品质高强度汽车发动机曲轴的技术要求。

[0010] 技术方案:为实现以上目的,本发明公开了一种高品质非调质钢,非调质钢的组分含量以质量百分含量计,包含:C:0.36~0.40%,Si:0.50~0.65%,Mn:1.30~1.60%,S:0.050~0.065%,P:≤0.025%,Cr:0.10~0.20%,Mo:≤0.04%,Cu:≤0.25%,Ni:≤0.25%,V:0.08~0.13%,Al:0.010~0.050%,N:0.012~0.020%,B≤0.0005%,H≤2.0ppm,其余为Fe和其他不可避免的杂质。

[0011] 其中,非调质钢的组分含量以质量百分含量计,包含:C:0.36~0.40%;Si:0.50~0.65%;Mn:1.35~1.55%;S:0.050~0.065%;P:≤0.020%;Cr:0.10~0.20%;Mo:≤

0.03% ; Cu: $\leq 0.15\%$; Ni: $\leq 0.15\%$; V: 0.08~0.13% ; Al: 0.010~0.030% ; N: 0.013~0.020% ; B $\leq 0.0005\%$; H $\leq 2.0\text{ppm}$; 其余为Fe和其他不可避免的杂质。

[0012] 优选的,非调质钢的组织为珠光体和铁素体,圆钢的金相组织晶粒度可达到7级~8级。

[0013] 再者,非调质钢的抗拉强度 $\geq 900\text{MPa}$,屈服强度 $\geq 800\text{MPa}$,伸长率 $\geq 10\%$,断面收缩率 $\geq 35\%$ 。

[0014] 本发明一种高品质非调质钢的制备方法,包括如下步骤:

[0015] 电炉冶炼、LF精炼、VD精炼、连铸、加热、轧制、探伤、感应加热、锻造和冷却步骤,

[0016] 电弧炉冶炼出钢过程中严格控制下渣,出钢B $\leq 0.0003\%$;出钢铝调整Alt达0.020~0.030%;

[0017] LF精炼过程对成分按判定目标值进行点成分控制,分别使用高纯石墨碳材、锰铁、硅铁、铬铁、钒铁调整C、Mn、Si、Cr、V元素至判定范围下限或目标值,精炼过程吹N,前期使用SiC脱氧,白渣时间 $\geq 30\text{min}$,Alt含量在0.025%以上,精炼结束进真空前用FeS调整S达0.050~0.065%,成分调整至规定范围,温度合适后进VD真空脱气;

[0018] VD真空脱气处理过程中,真空度 $\leq 1\text{mbar}$ 下处理 $\geq 15\text{min}$,破真空后静搅 $\geq 10\text{min}$ 后,取样分析,可使用高氮化硅包芯线增氮,按目标喂入Al线,根据S分析结果可喂入硫磺线调整硫,硫磺线喂完静搅 $\geq 5\text{min}$ 后,取样分析,根据分析结果再进行微调,所有元素满足判定范围且软吹氩时间满足工艺要求后即可进行连铸浇注。

[0019] 进一步,连铸浇注全程采用全保护浇注,连铸过程使用电磁搅拌,结晶器电磁搅拌强度150~300A,末端电磁搅拌500~700A,及轻压下技术,压下量8~13mm。

[0020] 优选的,轧制工艺包括加热、开轧和终轧;轧制加热温度为1200~1250℃,开轧温度为1050~1150℃,终轧温度为850~930℃。

[0021] 本发明一种曲轴,曲轴由上述高品质非调质钢制备而成。

[0022] 本发明一种曲轴的制备方法,包括如下步骤:感应加热、锻造成形、去毛边和冷却步骤,

[0023] 感应加热的温度为1200~1240℃;

[0024] 锻造成形包括始锻和终锻,始锻温度为1190~1230℃,终锻温度为1050~1100℃;将去边后毛坯曲轴放置冷却线上。

[0025] 其中,冷却步骤中以1.0~2.0℃/s的冷速进行冷却,冷却至600~700℃进入保温罩缓冷,控制锻件在保温罩内以 $< 0.5\text{℃/s}$ 的冷速冷却至280~350℃后,将其在水冷却至室温。

[0026] 有益效果:与现有技术相比,本发明具有以下显著优点:

[0027] (1) 本发明工艺方案冶炼过程通过吹氮气不添加氮化物,并不使用较贵合金金属Mn,使用低碳锰铁合金实现 $\leq 5\text{ppm}$ 残余B含量,可节约生产成本,适用于大批量经济化、工业化生产。

[0028] (2) 本发明采用LF+VD冶炼及保护性浇注,结合电磁搅拌和轻压下连铸新技术,获得高洁净、高均质冶金质量。

[0029] (3) 本发明采用含V、N等元素的中碳微合金非调质钢棒材,通过控轧控冷工艺,获得晶粒细小、均匀的组织,其晶粒尺寸和珠光体片层间距细小及获得合理的铁素体含量,提

高了热轧态圆钢有高强度同时并获得高韧塑性。

[0030] (4) 本发明工艺方案生产的曲轴用钢不需要进行调质处理,通过锻后控制冷却方式及冷却速率,促使铁素体在过冷奥氏体晶内形核,并获得较多细小晶内铁素体。此外,细小晶内铁素体的析出有利于将未相变的过冷奥氏体分割,导致转变后珠光体团细化,进一步解决了非调质钢强度有余而韧性不足的问题。曲轴的屈服强度达650~670Mpa,抗拉强度达960~980Mpa,延伸率 $\geq 12\%$,断面收缩率 $\geq 30\%$,用户可直接用于车削加工,且切削性能好。

附图说明

[0031] 图1(a)~图1(d)为本发明中圆钢边部和心部金相的示意图;

[0032] 图2(a)~图2(d)为本发明中曲轴组织的示意图。

具体实施方式

[0033] 下面对本发明的技术方案作进一步说明。

[0034] 本发明一种高品质非调质钢,非调质钢的组分含量以质量百分含量计,包含:C:0.36~0.40%,Si:0.50~0.65%,Mn:1.30~1.60%,S:0.050~0.065%,P: $\leq 0.025\%$,Cr:0.10~0.20%,Mo: $\leq 0.04\%$,Cu: $\leq 0.25\%$,Ni: $\leq 0.25\%$,V:0.08~0.13%,Al:0.010~0.050%,N:0.012~0.020%,B $\leq 0.0005\%$,H $\leq 2.0\text{ppm}$,其余为Fe和其他不可避免的杂质。本发明提供了一种发动机非调质曲轴用钢,选择最经济的合金配比,冶炼过程不添加昂贵的金属Mn,使用低碳锰铁合金,以达到控B目的,并控制一定N含量,添加V、Ti微合金元素,N与V、Ti结合形成M(C,N)的化合物,以及通过添加适量的Al与N结合形成AlN化合物。通过控制析出弥散细小的M(C,N)的化合物和AlN化合物达到沉淀强化、细晶强化及组织强化的协同作用,提高钢的强韧性。此外,通过控轧控冷技术获得较细的珠光体组织,可进一步提高强度。

[0035] 本发明中进一步优选的非调质钢的组分含量以质量百分含量计,包含:C:0.36~0.40%;Si:0.50~0.65%;Mn:1.35~1.55%;S:0.050~0.065%;P: $\leq 0.020\%$;Cr:0.10~0.20%;Mo: $\leq 0.03\%$;Cu: $\leq 0.15\%$;Ni: $\leq 0.15\%$;V:0.08~0.13%;Al:0.010~0.030%;N:0.013~0.020%;B $\leq 0.0005\%$;H $\leq 2.0\text{ppm}$;其余为Fe和其他不可避免的杂质。本发明采用含V、N等元素的中碳微合金非调质钢棒材,通过控轧控冷工艺,获得晶粒细小、均匀的组织,其晶粒尺寸和珠光体片层间距细小及获得合理的铁素体含量,提高了热轧态圆钢有高强度同时并获得高韧塑性。

[0036] 本发明调质钢曲轴经过淬火+中高温回火处理后,毛坯曲轴基体组织由珠光体+铁素体组成;圆钢的曲轴金相组织晶粒度可达到7级~8级,其力学性能也较高,抗拉强度 $\geq 900\text{MPa}$,屈服强度 $\geq 800\text{MPa}$,伸长率 $\geq 10\%$,断面收缩率 $\geq 35\%$ 。尽管42CrMo调质钢具有较好的强度和力学性能,但需要使用较昂贵Mo、Cr合金元素,并存在曲轴淬火变形及因调质能耗高等缺陷,受到一定使用限制。

[0037] 本发明中一种高品质非调质钢的制备方法,包括如下步骤:

[0038] 电炉冶炼、LF精炼、VD精炼、连铸、加热、轧制、探伤、感应加热、锻造和冷却步骤,

[0039] 电弧炉冶炼出钢过程中严格控制下渣,出钢B $\leq 0.0003\%$;出钢铝调整Alt达0.020

~0.030%；本发明工艺方案冶炼过程通过吹氮气不添加氮化物，并不使用较贵合金金属Mn，使用低碳锰铁合金实现 $\leq 5\text{ppm}$ 残余B含量，可节约生产成本，适用于大批量经济化、工业化生产；

[0040] LF精炼过程对成分按判定目标值进行点成分控制，分别使用高纯石墨碳材、锰铁、硅铁、铬铁、钒铁调整C、Mn、Si、Cr、V元素至判定范围下限或目标值，精炼过程吹N，前期使用SiC脱氧，白渣时间 $\geq 30\text{min}$ ，Alt含量在0.025%以上，精炼结束进真空前用FeS调整S达0.050~0.065%，成分调整至规定范围，温度合适后进VD真空脱气；

[0041] VD真空脱气处理过程中，真空度 $\leq 1\text{mbar}$ 下处理 $\geq 15\text{min}$ ，破真空后静搅 $\geq 10\text{min}$ 后，取样分析，可使用高氮化硅包芯线增氮，按目标喂入Al线，根据S分析结果可喂入硫磺线调整硫，硫磺线喂完静搅 $\geq 5\text{min}$ 后，取样分析，根据分析结果再进行微调，所有元素满足判定范围且软吹氩时间满足工艺要求后即可进行连铸浇注；本发明采用LF+VD冶炼及保护性浇注，结合电磁搅拌和轻压下连铸新技术，获得高洁净、高均质冶金质量；

[0042] 连铸浇注全程采用全保护浇注，连铸过程使用电磁搅拌，结晶器电磁搅拌强度150~300A，末端电磁搅拌500~700A，及轻压下技术，压下量8~13mm；

[0043] 轧制工艺包括加热、开轧和终轧；轧制加热温度为1200~1250℃，开轧温度为1050~1150℃，终轧温度为850~930℃。

[0044] 本发明中一种曲轴由上述高品质非调质钢制备而成。本发明一种曲轴的制备方法，包括如下步骤：感应加热、锻造成形、去毛边和冷却步骤，

[0045] 感应加热的温度为1200~1240℃；

[0046] 锻造成形包括始锻和终锻，始锻温度为1190~1230℃，终锻温度为1050~1100℃；将去边后毛坯曲轴放置冷却线上；以1.0~2.0℃/s的冷速进行冷却，冷却至600~700℃进入保温罩缓冷，控制锻件在保温罩内以 $< 0.5\text{℃/s}$ 的冷速冷却至280~350℃后，将其在水冷却至室温。

[0047] 本发明通过对曲轴锻件在不同温度范围内控制其冷却速度，来调整曲轴锻件的组织，从而提高曲轴锻件的强度，使其满足高品质高强度汽车发动机曲轴的技术要求。本发明方法生产的曲轴用钢不需要进行调质处理，通过锻后控制冷却方式及冷却速率，促使铁素体在过冷奥氏体晶内形核，并获得较多细小晶内铁素体。此外，细小晶内铁素体的析出有利于将未相变的过冷奥氏体分割，导致转变后珠光体团细化，进一步解决了非调质钢强度有余而韧性不足的问题。曲轴的屈服强度达650~670Mpa，抗拉强度达960~980Mpa，延伸率 $\geq 12\%$ ，断面收缩率 $\geq 30\%$ ，用户可直接用于车削加工，且切削性能好。

[0048] 实施例1

[0049] 本实施例1提供一种高品质非调质钢及曲轴，非调质钢的组分含量以质量百分含量计，包含：C:0.38%，Si:0.56%，Mn:1.4%，S:0.058%，P:0.013%，Cr:0.16%，Mo:0.02%，Cu:0.05%，Ni:0.11%，V:0.11%，Al:0.016%，N:0.0155%，B:0.0004%，H:0.00013ppm，其余为Fe和其他不可避免的杂质。

[0050] 本发明中一种高品质非调质钢的制备方法，包括如下步骤：

[0051] 电炉冶炼、LF精炼、VD精炼、连铸、加热、轧制、探伤、感应加热、锻造和冷却步骤，

[0052] 电弧炉冶炼出钢过程中严格控制下渣，出钢B $\leq 0.0003\%$ ；出钢铝调整Alt达0.020~0.030%；本发明工艺方案冶炼过程通过吹氮气不添加氮化物，并不使用较贵合金金属

Mn,使用低碳锰铁合金实现 $\leq 5\text{ppm}$ 残余B含量,可节约生产成本,适用于大批量经济化、工业化生产;

[0053] LF精炼过程对成分按判定目标值进行点成分控制,分别使用高纯石墨碳材、锰铁、硅铁、铬铁、钒铁调整C、Mn、Si、Cr、V元素至判定范围下限或目标值,精炼过程吹N,前期使用SiC脱氧,白渣时间 $\geq 30\text{min}$,Alt含量在0.025%以上,精炼结束进真空前用FeS调整S达0.050~0.065%,成分调整至规定范围,温度合适后进VD真空脱气;

[0054] VD真空脱气处理过程中,真空度 $\leq 1\text{mbar}$ 下处理 $\geq 15\text{min}$,破真空后静搅 $\geq 10\text{min}$ 后,取样分析,可使用高氮化硅包芯线增氮,按目标喂入Al线,根据S分析结果可喂入硫磺线调整硫,硫磺线喂完静搅 $\geq 5\text{min}$ 后,取样分析,根据分析结果再进行微调,所有元素满足判定范围且软吹氩时间满足工艺要求后即可进行连铸浇注;本发明采用LF+VD冶炼及保护性浇注,结合电磁搅拌和轻压下连铸新技术,获得高洁净、高均质冶金质量;

[0055] 连铸浇注全程采用全保护浇注,连铸过程使用电磁搅拌,结晶器电磁搅拌强度150~300A,末端电磁搅拌500~700A,及轻压下技术,压下量8~13mm;

[0056] 轧制工艺包括加热、开轧和终轧;轧制加热温度为1200~1250 $^{\circ}\text{C}$,开轧温度为1050~1150 $^{\circ}\text{C}$,终轧温度为850~930 $^{\circ}\text{C}$ 。

[0057] 本发明中一种曲轴由上述高品质非调质钢制备而成,一种曲轴的制备方法,包括如下步骤:感应加热、锻造成形、去毛边和冷却步骤,

[0058] 感应加热的温度为1200~1240 $^{\circ}\text{C}$;

[0059] 锻造成形包括始锻和终锻,始锻温度为1190~1230 $^{\circ}\text{C}$,终锻温度为1050~1100 $^{\circ}\text{C}$;将去边后毛坯曲轴放置冷却线上;以1.0~2.0 $^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 的冷速进行冷却,冷却至600~700 $^{\circ}\text{C}$ 进入保温罩缓冷,控制锻件在保温罩内以 $< 0.5^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 的冷速冷却至280~350 $^{\circ}\text{C}$ 后,将其在水冷却至室温。

[0060] 表1给出了实施例1-3以及对比例1-3的非调质钢化学成分以及曲轴性能对比,表中未提及的内容与实施例1相同。

[0061] 表1非调质钢化学成分(wt,%)

[0062]

成分	C	Si	S	P	Mn	Ni	Cr	Mo	V	Cu	Al	B	N	H
实施例1	0.38	0.56	0.058	0.013	1.40	0.11	0.16	0.02	0.11	0.05	0.016	0.0004	0.0155	0.00013
实施例2	0.39	0.57	0.055	0.015	1.39	0.10	0.15	0.01	0.11	0.06	0.015	0.0003	0.0158	0.00014
实施例3	0.37	0.55	0.053	0.012	1.41	0.12	0.14	0.01	0.12	0.04	0.017	0.0003	0.0151	0.00012
对比例1	0.37	0.59	0.060	0.013	1.43	0.12	0.14	0.04	0.16	0.05	0.008	0.0008	0.0131	0.00017
对比例2	0.39	0.62	0.059	0.015	1.38	0.14	0.13	0.03	0.15	0.06	0.009	0.0009	0.0139	0.00018
对比例3	0.40	0.64	0.063	0.012	1.45	0.15	0.12	0.04	0.16	0.04	0.010	0.0008	0.0135	0.00016

[0063] 表2曲轴性能

序号	屈服强度 (MPa)	抗拉强度 (MPa)	断后伸长率 (%)	断面收缩率 (%)
实施例 1	650	970	17	38
实施例 2	655	970	16	37
实施例 3	660	975	15	35
对比例 1	645	960	12	35
对比例 2	650	965	13	33
对比例 3	660	970	13	30

[0064]

[0065] 结合图1(a)~图1(d),可以看出基于高温奥氏体形变-温度协同作用的再结晶行为及规律,高温形变后Ar3以上高温区快冷抑制再结晶晶粒长大、Ar3~Ar1两相区精确控冷调整铁素体与珠光体比例,获得如下图1(a)~图1(d)中圆钢均匀细小F+P组织。本发明中通过控制锻造曲轴毛坯冷却工序,将切边后工件自Ar3温度以上分散于冷却线上,以1.0~2.0 °C/s的冷速快速冷却至Ar1温度,此处Ar3温度以上采用快冷可以防止奥氏体晶粒长大。在Ar3~Ar1温度之间快冷抑制铁素体的析出、细化珠光体片层间距,达到提高曲轴锻件强度的目的。之后再冷却至600~700 °C的曲轴锻件放入保温罩内进行缓冷,控制曲轴锻件在罩内以<0.5 °C/s的冷速冷却至280~350 °C,喷水冷却至室温。所得曲轴锻件的组织为珠光体+少量铁素体,贝氏体组织基本消失,其连杆轴颈部铁素体含量为5~10%,如图2(a)~图2(d)所示。

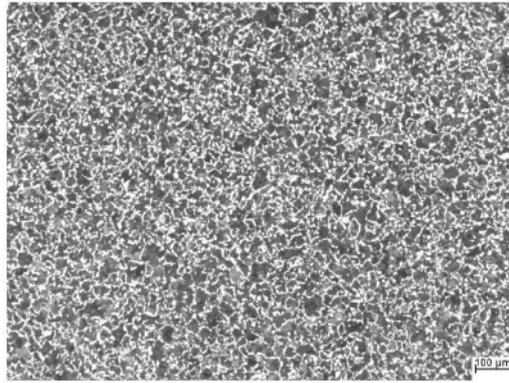


图1 (a)

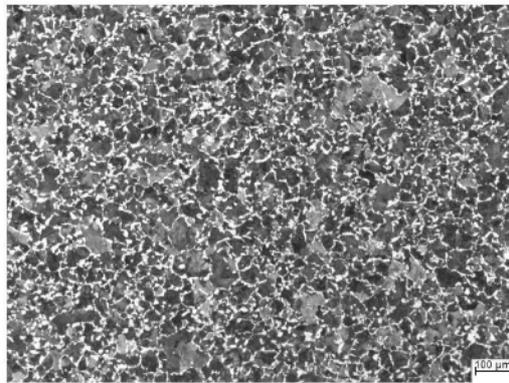


图1 (b)

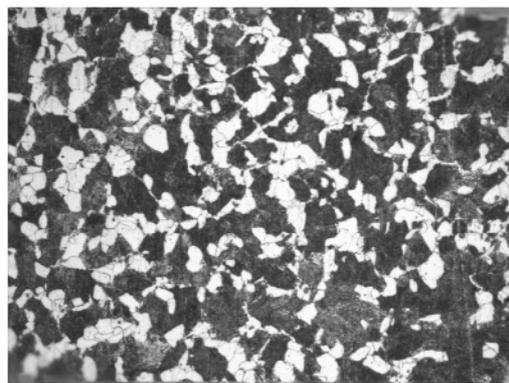


图1 (c)

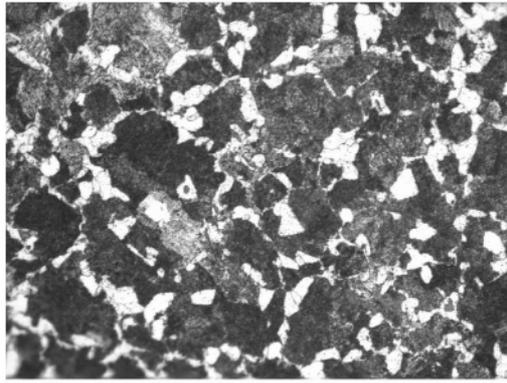


图1 (d)

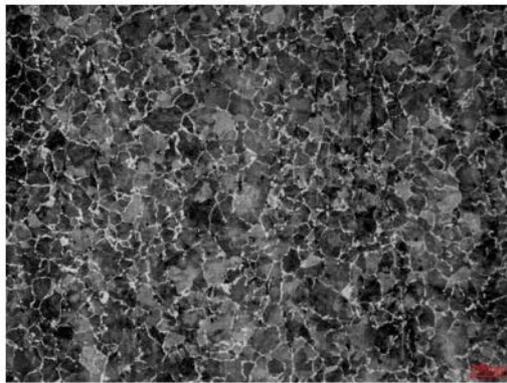


图2 (a)

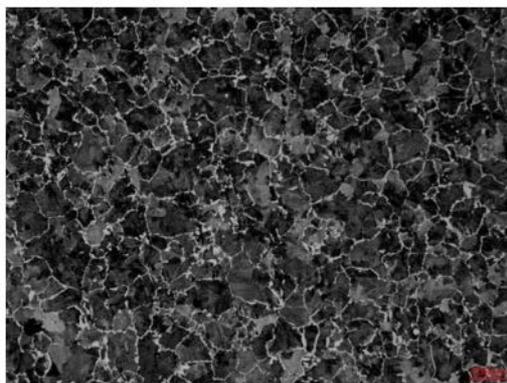


图2 (b)

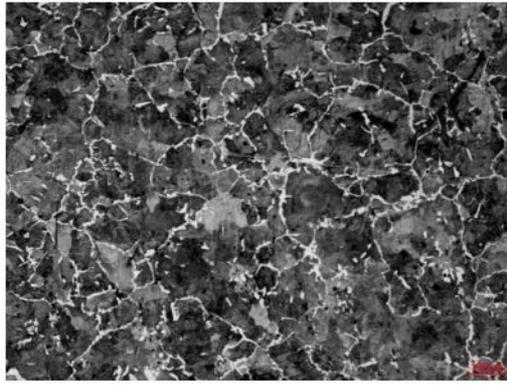


图2(c)

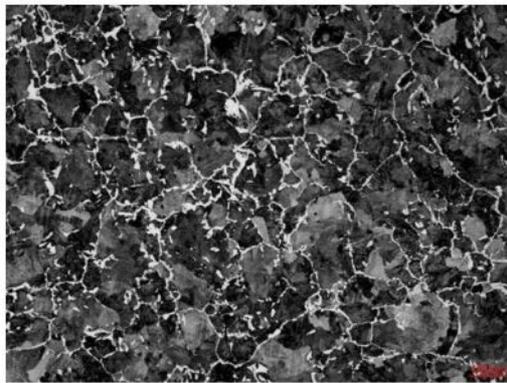


图2(d)