



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 114774630 B

(45) 授权公告日 2024.05.03

(21) 申请号 202210421393.8 *G22C 33/06* (2006.01)
 (22) 申请日 2022.04.21 *G22C 38/02* (2006.01)
 (65) 同一申请的已公布的文献号 *G22C 38/04* (2006.01)
 申请公布号 CN 114774630 A *G22C 38/06* (2006.01)
 (43) 申请公布日 2022.07.22 *G22C 38/42* (2006.01)
 (73) 专利权人 河南中原特钢装备制造有限公司 *G22C 38/44* (2006.01)
 地址 459000 河南省济源市虎岭产业集聚 *G22C 38/46* (2006.01)
 区五三一工业园区 *G22C 38/60* (2006.01)

(72) 发明人 曹鹏敏 张相松 郝飞 许婷婷
 崔晓宁 赵东 赵林伟 段彦斌
 胡建成 王文 赵彩艳

(74) 专利代理机构 郑州科维专利代理有限公司
 41102
 专利代理师 亢志民

(51) Int.Cl.
G21C 7/06 (2006.01)
G21C 7/10 (2006.01)
G21D 1/18 (2006.01)
G21D 1/28 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 104313449 A, 2015.01.28
 CN 104328359 A, 2015.02.04
 CN 107460408 A, 2017.12.12
 CN 111979487 A, 2020.11.24
 CN 114107821 A, 2022.03.01
 JP 2002180183 A, 2002.06.26
 JP 2011042812 A, 2011.03.03
 JP 2019143171 A, 2019.08.29
 JP H08176671 A, 1996.07.09
 WO 2021169941 A1, 2021.09.02

审查员 刘彪

权利要求书1页 说明书4页

(54) 发明名称
 低成本低合金超高强钢及其制造方法

(57) 摘要

本发明涉及一种在低合金高强钢30CrMnSiA材料基础上加入Ni、V合金元素形成超高强度钢的低成本低合金超高强钢及其制造方法,采用电弧炉+真空精炼的冶炼方式,化学成分按照质量百分比为C:0.28-0.34%,Mn:0.80-1.10%,Si:0.9-1.20%,P≤0.010%,S≤0.008%,Ni:0.3~1.0%,Cr:0.80-1.10%,Mo:≤0.10%,V:0.07-0.20%,Cu:≤0.15%,Al:0.010~0.040;气体H≤2.0ppm,0≤15ppm,N≤50ppm,五害元素As≤0.006%,Sn≤0.006%,Pb≤0.001%,Sb≤0.006%,Bi≤0.001%,余量为铁;提高淬透性的同时提升材料的综合性能,具备高强度的同时兼备好的韧性,且只有微量的Ni,V,成本增加不明显,其力学

性能达到 $R_m \geq 1500\text{Mpa}$,冲击功 $KU_2 \geq 45\text{J}$,满足低成本航空航天承受高应力的大型结构件需求。

CN 114774630 B

1. 一种低成本低合金超高强钢的制造方法,其特征在于:所述低成本低合金超高强钢包括的化学成分按照质量百分比为C:0.28-0.34%,Mn:0.80-1.10%,Si:0.9-1.20%,P \leq 0.010%,S \leq 0.008%,Ni:0.3~1.0%,Cr:0.80-1.10%,Mo: \leq 0.10%,V:0.07-0.20%,Cu: \leq 0.15%,Al:0.010~0.040,气体H \leq 2.0ppm,0 \leq 15ppm,N \leq 50ppm,五害元素As \leq 0.006%,Sn \leq 0.006%,Pb \leq 0.001%,Sb \leq 0.006%,Bi \leq 0.001%,余量为铁;采用电弧炉冶炼+真空精炼的冶炼方式;其制造过程步骤如下:

步骤1)、配料操作:按照质量百分比原材料选择为20%~50%的优质钢屑、20%~40%的生铁或含镍生铁、10%~30%的返回钢料头;

步骤2)、电炉严格控制终点碳含量,按照质量百分比确保电炉出钢[C] \geq 0.05%、[P] \leq 0.003%;

步骤3)、精炼炉加强脱氧操作,根据残铝吹氩喂铝丝2.0-4.0m/t;精炼期间用碳粉1.0-2.0Kg/t、铝粉0.5-1.0Kg/t、硅钙粉或硅铁粉1.0-2.0Kg/t分3-4批次加入钢包精炼炉中进行脱氧并保持还原气氛,白渣保持 \geq 20分钟;

步骤4)、VD真空除气,在 \leq 0.67mbar下保持时间 \geq 15分钟,然后解除真空压力后取样检测成分和气体含量,VD后在线定氢、定氧,控制[H] \leq 1.0ppm、[O] \leq 4.0ppm;取玻璃管样分析氮含量,控制[N] \leq 40ppm;按照质量百分比控制残[Al]0.010~0.040%,出钢前吹氩弱搅拌时间 \geq 15分钟;模铸采取氩气保护措施,减少钢液吸气;

步骤5)、在锻生产时,将坯料装入台车式加热炉,采用三段加热规范,在700 $^{\circ}$ C~800 $^{\circ}$ C预热后快速升温至1200 $^{\circ}$ C~1250 $^{\circ}$ C,坯料均温、保温后获得良好的塑性变形能力;

步骤6)、采用油压机镦粗、拔长开坯和径向锻造机锻造成型:锻造过程始锻温度1250 $^{\circ}$ C~900 $^{\circ}$ C,终锻温度 \geq 750 $^{\circ}$ C;油压机镦粗比2.0~2.3,镦粗后采用上下平砧拔长至正方,倒角至八方400mm~570mm,拔长至正方阶段每道次变形量20%~30%,油压机开坯后直接转运至径向锻造机;径向锻造机成型阶段每道次变形量20mm~150mm,径向锻造机根据设定的自动锻造程序将坯料外径锻小、长度锻长,完成新型低成本低合金超高强钢锻造成型;

步骤7)、利用锻后余热空冷至350~400 $^{\circ}$ C,目的是工件内、外温度趋于一致,使内部组织转变完成,同时细化晶粒,空冷后进行正火+回火预备热处理,正火温度900 \pm 20 $^{\circ}$ C,均温 \geq 5h,保温1.2h/100mm,空冷或风冷,进一步细化组织及晶粒度,为后续性能热处理获得高强度及好的韧性做好组织上的准备,650 \pm 10 $^{\circ}$ C扩氢及去应力回火,均温 \geq 5h,保温3h/100mm,炉冷至 \leq 200 $^{\circ}$ C出炉空冷;

步骤8)、性能热处理采用正火+淬火+低温回火,热处理制度如下:正火温度910 \pm 10 $^{\circ}$ C,均温 \geq 2h,保温1.2h/100mm,空冷或风冷;淬火温度890 \pm 10 $^{\circ}$ C,均温 \geq 2h,保温1.2h/100mm,采用水冷却,开始水温40~50 $^{\circ}$ C,尽量避免淬火显微裂纹产生;淬火后及时进行低温回火,回火温度230 \pm 10 $^{\circ}$ C,均温 \geq 2.5h,保温2h/100mm,空冷,保证材料具有高强度的同时,兼备好的韧性。

低成本低合金超高强钢及其制造方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种在低合金高强钢30CrMnSiA材料基础上加入Ni、V合金元素,形成超高强度钢的低成本低合金超高强钢及其制造方法。

背景技术

[0002] 在选用属于低合金CrMnSiA系列材料时,含碳量0.28~0.34%,牌号为30CrMnSiA,该材料价格便宜,在淬火和低温回火状态下使用时,钢的硬度和强度较高,主要制造重负荷、中等圆周速度、高强度的零件,如高压鼓风机叶轮、飞机上用的高强度零件等。

[0003] 在淬火和低温回火条件下,上述材料可以达到的力学性能指标为: $R_m:1500\sim 1800\text{MPa}$, $KU_2:32\sim 45\text{J}$,韧性不能满足更高速、高深度的工况要求,此外淬透性较差也制约了其用于大型结构件。近年来随着超高强钢应用领域的不断拓宽,需求量越来越大,低成本的材料应用越来越宽,对低成本的材料使用要求也进一步提高,该材料要求的力学性能为抗拉强度 $R_m\geq 1500\text{MPa}$,冲击功 $KU_2\geq 45\text{J}$,在现有合金体系下必然使冲击功的合格率较低;另外,传统的超高强度钢因对材料纯净度、气体含量要求较高,在冶炼时一般采用电弧炉冶炼+真空精炼+电渣重熔或更高成本的双真空冶炼,冶炼周期较长,成本较高,不能满足目前市场对低成本超高强度钢的需求,本发明以此为背景展开。

发明内容

[0004] 本发明的目的在于克服现有技术中存在的不足而提供一种力学性能满足 $R_m\geq 1500\text{MPa}$, $KU_2\geq 45\text{J}$ 的低成本低合金超高强钢及其制造方法,满足航空航天承受高应力的大型结构件应用需求。根据上述目的,本发明的合金设计在于在30CrMnSiA基础上加入微量的V,Ni,提高材料淬透性的同时,提升材料的冲击功;并采用经济型的冶炼方式,提高钢水的纯净度、降低五害、气体含量。

[0005] 为达上述目的,本发明采用如下技术方案:

[0006] 一种低成本低合金超高强钢,所述低成本低合金超高强钢包括的化学成分按照质量百分比为C:0.28-0.34%,Mn:0.80-1.10%,Si:0.9-1.20%, $P\leq 0.010\%$, $S\leq 0.008\%$,Ni:0.3~1.0%,Cr:0.80-1.10%,Mo: $\leq 0.10\%$,V:0.07-0.20%,Cu: $\leq 0.15\%$,Al:0.010~0.040;气体 $H\leq 2.0\text{ppm}$, $O\leq 15\text{ppm}$, $N\leq 50\text{ppm}$,五害元素As $\leq 0.006\%$,Sn $\leq 0.006\%$,Pb $\leq 0.001\%$,Sb $\leq 0.006\%$,Bi $\leq 0.001\%$,余量为铁。

[0007] 一种低成本低合金超高强钢的制造方法,所述低成本低合金超高强钢包括的化学成分按照质量百分比为C:0.28-0.34%,Mn:0.80-1.10%,Si:0.9-1.20%, $P\leq 0.010\%$, $S\leq 0.008\%$,Ni:0.3~1.0%,Cr:0.80-1.10%,Mo: $\leq 0.10\%$,V:0.07-0.20%,Cu: $\leq 0.15\%$,Al:0.010~0.040。气体 $H\leq 2.0\text{ppm}$, $O\leq 15\text{ppm}$, $N\leq 50\text{ppm}$,五害元素As $\leq 0.006\%$,Sn $\leq 0.006\%$,Pb $\leq 0.001\%$,Sb $\leq 0.006\%$,Bi $\leq 0.001\%$,余量为铁;采用电弧炉冶炼+真空精炼的冶炼方式;其制造过程步骤如下:

[0008] 步骤1)、配料操作:按照质量百分比原材料选择为20%~50%的优质钢屑、20%~40%

的生铁或含镍生铁、10%~30%的返回钢料头；

[0009] 步骤2)、电炉严格控制终点碳含量,按照质量百分比确保电炉出钢[C]≥0.05%、[P]≤0.003%；

[0010] 步骤3)、精炼炉加强脱氧操作,根据残铝吹氩喂铝丝2.0-4.0m/t;精炼期间用碳粉1.0-2.0Kg/t、铝粉0.5-1.0Kg/t、硅钙粉或硅铁粉1.0-2.0Kg/t分3-4批次加入钢包精炼炉中进行脱氧并保持还原气氛,白渣保持≥20分钟；

[0011] 步骤4)、VD真空除气,在≤0.67mbar下保持时间≥15分钟,然后解除真空压力后取样检测成分和气体含量,VD后在线定氢、定氧,控制[H]≤1.0ppm、[O]≤4.0ppm;取玻璃管样分析氮含量,控制[N]≤40ppm;按照质量百分比控制残[Al]0.010~0.040%,出钢前吹氩弱搅拌时间≥15分钟;模铸采取氩气保护措施,减少钢液吸气；

[0012] 步骤5)、在锻生产时,将坯料装入台车式加热炉,采用三段加热规范,在700℃~800℃预热后快速升温至1200℃~1250℃,坯料均温、保温后获得良好的塑性变形能力；

[0013] 步骤6)、采用油压机镦粗、拔长开坯和径向锻造机锻造成型:锻造过程始锻温度1250℃~900℃,终锻温度≥750℃;油压机镦粗比2.0~2.3,镦粗后采用上下平砧拔长至正方,倒角至八方400mm~570mm,拔长至正方阶段每道次变形量20%~30%,油压机开坯后直接转运至径向锻造机;径向锻造机成型阶段每道次变形量20mm~150mm,径向锻造机根据设定的自动锻造程序将坯料外径锻小、长度锻长,完成新型低成本低合金超高强钢锻造成型；

[0014] 步骤7)、利用锻后余热空冷至350~400℃,目的是工件内、外温度趋于一致,使内部组织转变完成,同时细化晶粒,空冷后进行正火+回火预备热处理,正火温度900±20℃,均温≥5h,保温1.2h/100mm,空冷或风冷,进一步细化组织及晶粒度,为后续性能热处理获得高强度及好的韧性做好组织上的准备,650±10℃扩氢及去应力回火,均温≥5h,保温3h/100mm,炉冷至≤200℃出炉空冷；

[0015] 步骤8)、性能热处理采用正火+淬火+低温回火,热处理制度如下:正火温度910±10℃,均温≥2h,保温1.2h/100mm,空冷或风冷;淬火温度890±10℃,均温≥2h,保温1.2h/100mm,采用水冷却,开始水温40~50℃,尽量避免淬火显微裂纹产生;淬火后及时进行低温回火,回火温度230±10℃,均温≥2.5h,保温2h/100mm,空冷,保证材料具有高强度的同时,兼备好的韧性。

[0016] 本发明相对于现有技术有以下优点:

[0017] 采用本发明生产的超高强度钢,只在GB/T3077标准中30CrMnSiA的基础上加入了微量的Ni,V,提高淬透性的同时提升材料的综合性能,具备高强度的同时兼备好的韧性,且只有微量的Ni,V,成本增加不明显,其力学性能达到 $R_m \geq 1500\text{Mpa}$,冲击功 $KU_2 \geq 45\text{J}$;冶炼方式采用电弧炉冶炼+真空精炼,代替目前国内超高强钢采用电弧炉冶炼+真空精炼+电渣重熔或更高成本的双真空的冶炼方式,其材料及生产工艺科学、经济,满足低成本航空航天承受高应力的大型结构件应用需求。

具体实施方式

[0018] 以下实施例是对本发明的详细描述,实施例仅仅是对本发明最佳实施方式的描述,并不对本发明的范围有任何的限制。

[0019] 实施例1:一种低成本低合金超高强钢,锻件规格为 $\varphi 350 \times 2700$,冶炼方式采用电

弧炉冶炼+真空精炼,低成本低合金超高强钢的化学成分的重量百分数如下:C:0.28-0.34%,Mn:0.80-1.10%,Si:0.9-1.20%, $P \leq 0.010\%$, $S \leq 0.008\%$,Ni:0.3~1.0%,Cr:0.80-1.10%,Mo: $\leq 0.10\%$,V:0.07-0.20%,Cu: $\leq 0.15\%$,Al:0.010~0.040;气体H ≤ 2.0 ppm,O ≤ 15 ppm,N ≤ 50 ppm,五害元素As $\leq 0.006\%$,Sn $\leq 0.006\%$,Pb $\leq 0.001\%$,Sb $\leq 0.006\%$,Bi $\leq 0.001\%$,余量为铁。

[0020] 一种低成本低合金超高强钢的制造步骤如下:

[0021] 步骤1)、加强配料操作,按照质量百分比原材料选择为20%~50%优质钢屑、20%~40%生铁或含镍生铁、10%~30%返回钢料头;

[0022] 步骤2)、电炉严格控制终点碳含量,按照质量百分比确保电炉出钢[C] $\geq 0.05\%$ 、[P] $\leq 0.003\%$;

[0023] 步骤3)、精炼炉加强脱氧操作,根据残铝吹氩喂铝丝2.0-4.0m/t;精炼期间用碳粉1.0-2.0Kg/t、铝粉0.5-1.0Kg/t、硅钙粉或硅铁粉1.0-2.0Kg/t分3-4批次加入钢包精炼炉进行脱氧并保持还原气氛,白渣保持 ≥ 20 分钟;

[0024] 步骤4)、VD真空除气,在 ≤ 0.67 mbar下保持时间 ≥ 15 分钟,然后解除真空压力后取样检测成分和气体含量,VD后在线定氢、定氧,控制[H] ≤ 1.0 ppm、[O] ≤ 4.0 ppm;取玻璃管样分析氮含量,控制[N] ≤ 40 ppm;按照质量百分比控制残[Al]0.010~0.040%,出钢前吹氩弱搅拌时间 ≥ 15 分钟;模铸采取氩气保护措施,减少钢液吸气;

[0025] 步骤5)、锻造采用3.1T的钢锭,在锻生产时,将坯料装入台车式加热炉,采用三段加热规范,在 $750^\circ\text{C} \pm 20$ 预热后快速升温至 1200°C ,坯料均温、保温后获得良好的塑性变形能力;

[0026] 步骤6)、采用油压机镦粗、拔长开坯和径向锻造机锻造成型;锻造过程始锻温度 $1100^\circ\text{C} \pm 30^\circ\text{C}$,终锻温度 $800^\circ\text{C} \pm 30^\circ\text{C}$;油压机镦粗比2.0,镦粗后采用上下平砧拔长至正方,倒角至八方 520mm ,拔长至正方阶段每道次变形量23%,油压机开坯后直接转运至径向锻造机;径向锻造机成型阶段每道次变形量80mm,径向锻造机根据设定的自动锻造程序将坯料外径锻小、长度锻长,完成低成本低合金超高强钢锻造成型;

[0027] 步骤7)、锻后进行预备热处理,空冷至 $350 \sim 400^\circ\text{C}$,避免尺寸效应导致组织转变滞后,正火温度 $900 \pm 20^\circ\text{C}$,均温 $\geq 5\text{h}$,保温4h,空冷,进一步细化组织及晶粒度,为后续性能热处理获得高强度及好的韧性做好组织上的准备, $650 \pm 10^\circ\text{C}$ 扩氢及去应力回火,均温 $\geq 5\text{h}$,保温11h,炉冷至 $\leq 200^\circ\text{C}$ 出炉空冷;

[0028] 步骤8)、锻件预备热处理后,在锻件冒口加长端切取长125mm检验试料,加工成壁厚为30mm的随炉试环与本体一起热处理,热处理制度如下:正火温度 $910 \pm 10^\circ\text{C}$,均温1.5h,保温2h,出炉空冷;淬火温度 $890 \pm 10^\circ\text{C}$,均温1.5h,保温2h,采用水冷却15~20min,开始水温 $40 \sim 50^\circ\text{C}$,在 $230 \pm 10^\circ\text{C}$ 均温3h,保温3h,出炉空冷,出炉后在试环的1/2半径切取拉伸、冲击试样,其力学性能检测结果如表1:

[0029] 表1 力学性能检测结果

[0030]

炉锭号	Rp0.2 (MPa)	Rm (MPa)	A (%)	Z (%)	KU ₂ (J)
E2111156-1	1353	1668	10.5	45	57
	1379	1672	11	46	60
E2111156-3	1414	1714	10	47	57

	1384	1686	11	50	60
E2111156-4	1414	1714	10.5	50	68
	1383	1704	11.0	51	69
E2111156-7	1386	1720	10.0	51	66
	1362	1710	11.0	48	66

[0031] 力学性能检测结果表明,采用电弧炉冶炼+真空精炼冶炼的合金体系下,提升材料的综合性能。通过在配料时选用优质钢屑、生铁、返回钢料头原材料,控制As、Sn、Pb、Sb、Bi等有害杂质含量,提高了钢水纯净度,电炉出钢过程中随钢流加入合金,缩短冶炼时间,在钢包中调整温度、微调合金,真空脱气,保证成分、温度均匀性,气体含量低;S、P、五害、气体总和控制在350ppm以内;锻造采用油压机墩粗+拔长+精锻机成型,不允许返炉,有效的保持破碎后的晶粒及位错,淬火前增加一次正火,进一步细化晶粒,为材料具备高强高韧性做好组织准备,淬火方式采用水冷+低温回火等一系列的工艺方法,保证具备高强度的同时具备良好的韧性,材料力学性能达到 $R_m \geq 1500\text{Mpa}$,冲击功 $KU_2 \geq 45\text{J}$,其材料及生产工艺科学、经济,满足低成本航空航天承受高应力的大型结构件应用需求。