



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 112620383 B

(45) 授权公告日 2022.10.14

(21) 申请号 202011200989.2

(22) 申请日 2020.11.02

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 112620383 A

(43) 申请公布日 2021.04.09

(73) 专利权人 抚顺特殊钢股份有限公司
地址 113001 辽宁省抚顺市望花区鞍山路
东段8号

(72) 发明人 于杰 张鹏 王志刚 谷强
邹善仁 吴伟 王树财 王艾竹
李飞扬 侯智鹏 赵长顺

(74) 专利代理机构 大连格智知识产权代理有限
公司 21238
专利代理师 孙宇宏

(51) Int.Cl.

B21C 37/02 (2006.01)

B21J 5/00 (2006.01)

B21B 3/00 (2006.01)

B21B 37/00 (2006.01)

B21B 37/74 (2006.01)

G22C 1/02 (2006.01)

G22C 19/05 (2006.01)

G22B 9/18 (2006.01)

审查员 高聪娟

权利要求书2页 说明书4页

(54) 发明名称

一种高速飞航器用镍基高温合金宽厚扁材
的制造方法

(57) 摘要

本发明公开一种高速飞航器用镍基高温合金宽厚扁材的制造方法, GH4099合金是一种高热强性的弥散硬化材料, 主要依靠铝、钛与镍形成的 γ' 强化相, 碳与铬形成的碳化物提高GH4099合金的高温强度; 碳含量控制在0.03%~0.05%, 铝控制在2.00%~2.20%, 钛含量控制在1.20%~1.40%时综合性能最佳; 冶炼工艺采用保护气氛电渣重熔, 锻造开坯采用3150吨快锻机逐级镦粗+钢坯软包套拔长, 成品轧制加热温度按1130℃~1150℃控制。本发明的有益效果: 制造出宽厚扁材; 板材规格、高温性能及板型均达到技术指标要求。

1. 一种高速飞航器用镍基高温合金宽厚扁材的制造方法,其特征在于,工艺路线:优化成分配比→真空感应炉+保护气氛电渣炉冶炼→3150t快锻机开坯→坯料精整→1200t双辊转动不可逆热轧机轧制→理化检验→包装;

所述优化成分配比,碳:0.03%~0.05%、铬:17.00%~20.00%、钨:5.00%~7.00%、钼:3.50%~4.50%、铝:2.00%~2.20%、钛:1.20%~1.40%、钴:5.00%~8.00%、铁不大于2.00%、硼不大于0.005%、Ce不大于0.02%、锰不大于0.40%、硅不大于0.50%、磷不大于0.015%、硫不大于0.015%、余镍;

所述真空感应炉+保护气氛电渣炉冶炼,采用真空感应炉浇注 Φ 340mm锭坯,采用保护气氛电渣炉冶炼 Φ 460mm锭型,渣系 $\text{CaF}_2:\text{Al}_2\text{O}_3:\text{CaO}:\text{MgO}=60\%:20\%:10\%:10\%$,熔速按210kg/h设定;

所述3150t快锻机采用镦粗+拔长开坯,镦粗时压下量控制在300mm~400mm之间,锻造加热温度1150℃~1170℃,保证终锻温度不低于920℃,镦粗后锻坯直径不小于 Φ 510mm;拔长时单锤压下量控制在50mm~80mm,拔长总变形量控制在75%~85%之间,锻造成厚×宽为70mm~80mm×550mm扁坯;

所述精整,锻造开坯后,对扁坯精整处理,采用修磨机24粒砂轮对扁坯周身打磨,确保扁坯表面无裂纹缺陷;

所述1200t双辊转动不可逆热轧机轧制,轧制加热温度按1130℃~1150℃控制,1火次轧制,轧制变形量控制在20%~40%,保证终轧温度不低于950℃,轧制后利用余温在轧线进行热矫直。

2. 根据权利要求1所述一种高速飞航器用镍基高温合金宽厚扁材的制造方法,其特征在于,所述保护气氛电渣炉冶炼,氩气流量按 $6\text{m}^3/\text{h}$ 控制;所述3150t快锻机对锻坯镦粗锻造采用逐级压下,即对单火次总压下量进行均匀分配;拔长时在锻坯上覆盖软包套,减少锻造过程快速散热。

3. 根据权利要求1或2所述一种高速飞航器用镍基高温合金宽厚扁材的制造方法,其特征在于,成品规格:45mm×650mm×1100mm;

所述成分,碳:0.037%、铬:18.49%、钨:6.50%、钼:3.99%、铝:2.15%、钛:1.30%、钴:6.00%、铁:0.5%、硼:0.003%、铈:0.01%、锰:0.02%、硅:0.05%、磷:0.003%、硫:0.001%、余镍;

所述3150t快锻机采用镦粗+拔长开坯,镦粗时压下量控制在370mm,锻造加热温度1150℃~1170℃,终锻温度不低于950℃,镦粗后锻坯直径不小于 Φ 510mm;拔长开坯时单锤压下量80mm,拔长总变形量81.14%,锻造成厚×宽为70mm×550mm扁坯;

所述1200t双辊转动不可逆热轧机轧制,轧制加热温度按1130℃~1150℃控制,1火次轧制,轧制变形量35.71%,终轧温度960℃。

4. 根据权利要求1或2所述一种高速飞航器用镍基高温合金宽厚扁材的制造方法,其特征在于,成品规格:50mm×650mm×1100mm;

所述成分,碳:0.04%、铬:18.51%、钨:6.49%、钼:3.97%、铝:2.18%、钛:1.31%、钴:6.01%、铁:0.54%、硼:0.003%、铈:0.01%、锰:0.03%、硅:0.05%、磷:0.003%、硫:0.001%、余镍;

所述3150t快锻机采用镦粗+拔长开坯,镦粗时压下量控制在370mm,锻造加热温度1150

℃~1170℃,终锻温度不低于950℃,镗粗后锻坯直径不小于Φ510mm;拔长开坯时单锤压下量80mm,拔长总变形量79.79%,锻造成厚×宽为75mm×550mm扁坯;

所述1200t双辊转动不可逆热轧机轧制,轧制加热温度按1130℃~1150℃控制,1火次轧制,轧制变形量33.33%,终轧温度970℃。

一种高速飞航器用镍基高温合金宽厚扁材的制造方法

技术领域

[0001] 本发明属于高温合金制造领域,具体涉及一种用于900℃~950℃温度范围内高速飞航器气动结构部件用镍基高温合金宽厚扁材的制造方法,镍基变形高温合金牌号GH4099。

背景技术

[0002] GH4099是镍-铬基沉淀硬化型、依靠第二相析出强化的镍基变形高温合金,合金具有较高的热强性、组织稳定,并具有良好的冷热加工成形和焊接工艺性能,主要用于制造航空发动机燃烧室和加力燃烧室等高温焊接结构件。鉴于GH4099综合性能稳定的优点,航天设计部门选用GH4099作为高速飞航器气动结构部件,设计要求:厚度40mm~60mm×宽度400mm~650mm×长度1000mm~1100mm,板型满足不平度不大于15mm/m,高温性能符合表1规定。但该合金铝+钛含量3.3%,钨+钼+钴含量17%,合金熔炼过程中易形成偏析,锻造开坯和热轧开坯变形抗力大,坯料边角易出现裂纹倾向大,目前国内外资料中没有900℃~950℃性能满足表1规定的GH4099宽厚扁材制造方法的记载。

[0003] 表1 GH4099宽厚扁材力学性能指标

试验温度 (°C)	拉伸性能			
	抗拉强度 R_m (MPa)	屈服强度 $R_{p0.2}$ (MPa)	断后伸长率A (%)	断面收缩率Z (%)
900	≥425	≥370	≥30	≥40
950	≥220	≥175	≥30	----

发明内容

[0005] 本发明公开一种高速飞航器用镍基高温合金宽厚扁材的制造方法,目的在于获得规格超常、板型良好、性能优异的GH4099合金宽厚扁材。

[0006] 本发明技术方案:

[0007] 通过优化成分配比、设计保护气氛电渣重熔冶炼工艺、改进锻造开坯和板材轧制工艺实现上述目的。

[0008] 工艺路线:

[0009] 优化成分配比→真空感应炉+保护气氛电渣炉冶炼→3150t快锻机开坯→坯料精整→1200t双辊转动不可逆热轧机轧制→理化检验→包装。

[0010] 1. 冶炼

[0011] GH4099合金化学成分应符合表2规定。

[0012] 表2 GH4099合金化学成分

		化学成分 (%)													
元素	C	Cr	Ni	W	Mo	Al	Ti	Co	Fe	B	Ce	Mn	Si	P	S
[0013] 标准	≤	17.00	余	5.00	3.50	1.70	1.00	5.00	≤	≤	≤	≤	≤	≤	≤
	0.08	~ 20.00		~ 7.00	~ 4.50	~ 2.40	~ 1.50	~ 8.00	2.00	0.005	0.02	0.40	0.50	0.015	0.015
本品	0.03	17.00	余	5.00	3.50	2.00	1.20	5.00	≤	≤	≤	≤	≤	≤	≤
	~ 0.05	~ 20.00		~ 7.00	~ 4.50	~ 2.20	~ 1.40	~ 8.00	2.00	0.005	0.02	0.40	0.50	0.015	0.015

[0014] 采用真空感应炉浇注Φ340mm锭坯,采用保护气氛电渣炉冶炼Φ460mm锭型,渣系CaF₂:Al₂O₃:CaO:MgO=60%:20%:10%:10%,熔速按210kg/h设定。

[0015] 2. 锻造开坯

[0016] 3150t快锻机采用镦粗+拔长开坯,镦粗时压下量控制在300mm~400mm之间,锻造加热温度1150℃~1170℃,保证合金终锻温度不低于920℃,镦粗后锻坯直径不小于Φ510mm;拔长时单锤压下量控制在50mm~80mm,拔长总变形量控制在75%~85%之间,锻造成厚×宽为70mm~80mm×550mm扁坯。

[0017] 3. 坯料精整

[0018] 锻造开坯后,对扁坯精整处理,采用磨机24粒砂轮对扁坯周身打磨,确保扁坯表面无裂纹缺陷。

[0019] 4. 板材轧制

[0020] 采用1200t双辊转动不可逆热轧机轧制,轧制加热温度按1130℃~1150℃控制,1火次轧制,轧制变形量控制在20%~40%,保证终轧温度不低于950℃,轧制后利用余温在轧线进行热矫直。

[0021] 本发明GH4099合金宽厚板材化学成分选取理由如下:GH4099合金是一种高热强性的弥散硬化材料,具有复杂的相组成,主要依靠铝、钛与镍形成的γ'强化相,碳与铬形成的碳化物提高GH4099合金的高温强度。碳含量控制:GH4099合金高温性能随着钢中的一次碳化物越多,降低愈严重,为改善合金的高温性能,钢中的碳含量控制在0.03%~0.05%。铝、钛含量控制:为保证900℃高温强度不小于425MPa,屈服强度不小于370MPa;950℃高温强度不小于220MPa,屈服强度不小于175MPa,合金中铝含量控制在2.00%~2.20%,钛含量控制在1.20%~1.40%时综合性能最佳。

[0022] 本发明创新点说明:

[0023] 1. 冶炼工艺采用保护气氛电渣重熔生产GH4099合金Φ460mm钢锭,GH4099合金中铝+钛元素含量3.3%,钨+钼+钴元素含量17%,合金熔炼过程中易形成偏析,为保证铝、钛元素烧损均匀,采用保护气氛电渣炉冶炼GH4099合金;为避免GH4099合金电渣冶炼时固液两相区过宽,易偏析元素充分聚集,氩气流量按6m³/h,渣阻摆动按4,熔速按210kg/h进行设定。

[0024] 2. 锻造开坯采用3150t快锻机逐级镦粗+锻坯软包套拔长

[0025] 为使板坯宽度达到设计要求,采用3150t快锻机对高温合金锭进行镦粗锻造,因高温合金导热性差,合金初熔温度低等特点,为避免高温合金锭镦粗时造成心部过热,恶化产品质量,采用逐级压下,即对单火次总压下量进行均匀分配;GH4099合金主要以γ'相进行

强化, γ' 相最大析出量约占合金的22%~24%, 当合金终锻温度低于920℃时, γ' 相大量析出, 导致钢坯塑性急剧下降, 容易在锻坯角部处形成低温拉裂, 为保证锻坯角部终锻温度大于920℃, 在锻坯拔长时覆盖软包套, 减少锻造过程快速散热, 避免锻坯角部处温度过早损失, 保证板坯质量。

[0026] 3. 成品轧制加热温度按1130℃~1150℃控制

[0027] 试验表明GH4099合金经1150℃加热后晶粒急剧长大, 轧制温度按1130℃~1150℃控制既可以使GH4099合金在锻造过程中析出的 γ' 强化相及二次碳化物充分进行回溶, 降低轧制过程中变形抗力, 使合金动态再结晶更均匀。

[0028] 4. 成品宽厚扁材利用轧制余热在线进行热矫直

[0029] 该规格板材在轧制过程中易出现板型翘曲, 利用轧制余热对GH4099合金宽厚扁进行热矫直。矫直方向与成品轧制方向垂直, 通过调整辊缝间距, 轧机操作手与轧机工人的协同配合, 使板型达到设计要求。

[0030] 本发明的有益效果: 通过对碳、铝、钛含量的精确控制, 制定 Φ 460mm 锭型保护气氛电渣炉新工艺, 以及对锻造开坯、宽厚扁轧制工艺的改进, 制造出GH4099合金宽厚扁材; 板材规格、高温性能及板型满足以下要求:

[0031] 板材规格: 40mm~60mm (厚度) \times 400mm~650mm (宽度) \times 1000mm~1100 (长度);

[0032] 高温性能符合表1规定;

[0033] 板型: 板材不平度不大于15mm/m。

具体实施方式

[0034] 下面通过实施例详述本发明。

[0035] 实施例1、实施例2共同采用真空感应炉浇注 Φ 340mm 锭坯、保护气氛电渣炉冶炼 Φ 460mm 锭型、采用 $\text{CaF}_2:\text{Al}_2\text{O}_3:\text{CaO}:\text{MgO}=60\%:20\%:10\%:10\%$ 渣系, 熔速按210kg/h进行设定。

[0036] 实施例1

[0037] 成品规格: 45mm \times 650mm \times 1100mm

[0038] 化学成分见表3。

[0039] 表3化学成分

[0040]

化学成分 (%)															
元素	C	Cr	Ni	W	Mo	Al	Ti	Co	Fe	B	Ce	Mn	Si	P	S
标准	\leq 0.08	17.00 ~ 20.00	余	5.00 ~ 7.00	3.50 ~ 4.50	1.70 ~ 2.40	1.00 ~ 1.50	5.00 ~ 8.00	\leq 2.00	\leq 0.005	\leq 0.02	\leq 0.40	\leq 0.50	\leq 0.015	\leq 0.015
本成品	0.03~ 0.05	17.00 ~ 20.00	余	5.00 ~ 7.00	3.50 ~ 4.50	2.00 ~ 2.20	1.20 ~ 1.40	5.00 ~ 8.00	\leq 2.00	\leq 0.005	\leq 0.02	\leq 0.40	\leq 0.50	\leq 0.015	\leq 0.015
实施例1	0.037	18.49	余	6.50	3.99	2.15	1.30	6.00	0.50	0.003	0.01	0.02	0.05	0.003	0.001

[0041] 合金经3150t快锻机采用镦粗+拔长进行开坯, 镦粗时压下量控制在370mm, 锻造加热温度1150℃~1170℃, 终锻温度不低于950℃, 镦粗后锻坯直径不小于 Φ 510mm; 拔长时单锤压下量80mm, 拔长总变形量81.14%, 锻造成厚 \times 宽为70mm \times 550mm扁坯; 锻造开坯后, 对扁坯精整处理, 采用方钢修磨机24粒砂轮对扁坯周身打磨, 确保合金扁坯表面无裂纹缺陷;

采用1200t双辊转动不可逆热轧机轧制,轧制加热温度按1130℃~1150℃控制,1火次轧制,轧制变形量35.71%,终轧温度960℃,轧制后利用余温在轧线进行热矫直。

[0042] 成品经性能、不平度检验全部满足标准要求,实测不平度10mm/m,性能结果如表4。

[0043] 表4力学性能

	试验温度 (°C)	拉伸性能			
		抗拉强度 R_m (MPa)	屈服强度 $R_{p0.2}$ (MPa)	断后伸长率A (%)	断面收缩率Z (%)
[0044] 指标	900	≥ 425	≥ 370	≥ 30	≥ 40
	950	≥ 220	≥ 175	≥ 30	----
实施例1	900	492/491	432/430	36/41	53/59
	950	292/297	249/251	73/60	----

[0045] 实施例2

[0046] 成品规格:50mm×650mm×1100mm

[0047] 化学成分见表5。

[0048] 表5化学成分

化学成分 (%)																
元素	C	Cr	Ni	W	Mo	Al	Ti	Co	Fe	B	Ce	Mn	Si	P	S	
[0049] 标准	\leq 0.08	17.00 ~ 20.00	余	5.00 ~ 7.00	3.50 ~ 4.50	1.70 ~ 2.40	1.00 ~ 1.50	5.00 ~ 8.00	\leq 2.00	\leq 0.005	\leq 0.02	\leq 0.40	\leq 0.50	\leq 0.015	\leq 0.015	
	本成品	0.03~ 0.05	17.00 ~ 20.00	余	5.00 ~ 7.00	3.50 ~ 4.50	2.00 ~ 2.20	1.20 ~ 1.40	5.00 ~ 8.00	\leq 2.00	\leq 0.005	\leq 0.02	\leq 0.40	\leq 0.50	\leq 0.015	\leq 0.015
实施例2	0.04	18.51	余	6.49	3.97	2.18	1.31	6.01	0.54	0.003	0.01	0.03	0.05	0.003	0.001	

[0050] 合金经3150t快锻机采用镦粗+拔长进行开坯。镦粗时压下量控制在370mm,锻造加热温度1150℃~1170℃,终锻温度不低于950℃,镦粗后锻坯直径不小于 $\Phi 510$ mm;拔长时单锤压下量80mm,拔长总变形量79.79%,锻造成厚×宽为75mm×550mm扁坯;锻造开坯后,对扁坯精整处理,采用修磨机24粒砂轮对扁坯周身打磨,确保合金扁坯表面无裂纹缺陷;采用1200t双辊转动不可逆热轧机轧制,轧制加热温度按1130℃~1150℃控制,1火次轧制,轧制变形量33.33%,终轧温度970℃,轧制后利用余温在轧线进行热矫直。