



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 110527883 B

(45) 授权公告日 2021.06.29

(21) 申请号 201910880093.4

G22C 1/02 (2006.01)

(22) 申请日 2019.09.18

G22F 1/057 (2006.01)

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 110527883 A

(56) 对比文件

CN 108330362 A, 2018.07.27

JP 2000119786 A, 2000.04.25

CN 108330362 A, 2018.07.27

(43) 申请公布日 2019.12.03

(73) 专利权人 江苏集萃精凯高端装备技术有限公司

审查员 刘锦霞

地址 215300 江苏省苏州市昆山开发区前进东路科技广场大楼3楼

(72) 发明人 闫锋 龙庆华

(74) 专利代理机构 苏州威世朋知识产权代理事务所(普通合伙) 32235

代理人 刘振龙

(51) Int. Cl.

G22C 21/16 (2006.01)

权利要求书1页 说明书5页

(54) 发明名称

一种含Cu-Mn-Mg的耐高温铸造铝合金及其制备方法

(57) 摘要

本发明涉及一种含Cu-Mn-Mg的耐高温铸造铝合金,包括以下质量百分含量的组分:Cu 1.0%~10.0%;Mn 0.1%~1.5%;Mg 0.1%~1.5%;X 0.1%~1.5%;杂质元素 \leq 0.15%;其余量为Al;其中X元素为Zr、V、Ti、Co、Cr、Ni中的任意一种或任意两种以上元素的组合。本申请设计了一种含Cu-Mn-Mg的耐高温铸造铝合金的组分,通过Mg元素的加入,细化了晶粒,提高了合金强度,同时还添加了X元素,X元素为Zr、V、Co、Cr、Ni中的任意一种或任意两种以上元素的组合,X元素与Al元素形成高温强化相,不仅可以增加合金的强度,尺寸较大的高温强化相分布于晶界处,可以控制强化相在高温下的长大速度,从而保证铸造铝合金在高温下保持良好的机械性能。

1. 一种含Cu-Mn-Mg的耐高温铸造铝合金,其特征在于,包括以下质量百分含量的组分:

Cu 8.0%;

Mn 0.7%;

Mg 0.3%;

Zr 0.2%;

Cr 0.2%;

Ti 0.15%;

杂质元素 $\leq 0.15\%$;

其余量为Al;

所述杂质元素中含有Fe元素,所述Fe元素的含量 $\leq 0.1\%$;

所述耐高温铸造铝合金是由如下步骤制备而成:

S1、将Al、Cu、Mn、Mg元素置于700℃~760℃下充分熔化、混合均匀后,扒渣,得到第一熔体;

S2、向温度维持在700℃~760℃的所述第一熔体内加入Zr、Cr、Ti元素,充分熔化,混合均匀,得到第二熔体;

S3、对所述第二熔体除气并调整所述第二熔体的成分,得到第三熔体;

S4、将所述第三熔体进行铸造,得到毛坯铸造铝合金;

S5、对毛坯铸造铝合金进行热处理,得到铸造铝合金;

其中,步骤S4中所述铸造的工艺为金属型铸造、低压铸造、差压铸造、挤压铸造中的任意一种,步骤S5中所述热处理的工艺为T6热处理,热处理中:固溶均匀化处理的温度区间为480℃~540℃,固溶均匀化处理的时间区间为5h~24h;时效强化的温度区间范围为150℃~220℃,时效强化的时间区间为8h~24h。

2. 根据权利要求1所述的含Cu-Mn-Mg的耐高温铸造铝合金,其特征在于,步骤S1和步骤S2中所述熔化的温度为750℃。

一种含Cu-Mn-Mg的耐高温铸造铝合金及其制备方法

技术领域

[0001] 本发明涉及铸造铝合金技术领域,尤其涉及一种含Cu-Mn-Mg的耐高温铸造铝合金及其制备方法。

背景技术

[0002] 铝合金是目前常用的轻质结构材料,特别是在交通运输的高端制造上展现出很大的优越性,这种材料具有优越的加工性能和广泛的来源,不但可以提供轻型结构,而且能有效地减低燃油发动机所产生的CO₂等有害气体,因此在汽车、火车、飞机等交通产品上有独特的应用优势。随着环保要求越来越高,高端制造的铝制品,如发动机,对工作温度和工作压力的要求均有明显的提高,常用的汽车汽油发动机,工作耐高温度提高了大约50℃。

[0003] 但是常用的铝合金的高温性能较差,如Al-Si系列合金,其中Si元素能保证铸造铝合金具有较好的铸造性能,但含Si的Al-Cu合金高温稳定性能不好,高温条件下容易软化,当工作温度超过170℃时,Al-Si共晶相开始软化,铝合金铸件各项性能均会变差。因此,开发不含Si元素的铸造铝合金对提升铸造铝合金的耐高温性能成为科研工作者研发的主要方向,一般铸造铝合金中的固溶强化相和第二强化相均对铸造铝合金的机械性能具有一定的影响,但是沉淀强化相才是实现所需机械性能的关键。如何设计铸造铝合金的组分,使铸造铝合金中形成沉淀强化相,增加铸造铝合金的机械性能,并改变各种强化相的表面特点,防止强化相的长大,从而使铸造铝合金具有耐高温的特性。

发明内容

[0004] 本发明的目的在于解决了当前铸造铝合金耐高温机械性能差的问题,提供了一种含Cu-Mn-Mg的具有耐高温性能的铸造铝合金。

[0005] 为实现上述目的,本申请提供了一种含Cu-Mn-Mg的耐高温铸造铝合金,包括以下质量百分含量的组分:Cu 1.0%~10.0%;Mn 0.1%~1.5%;Mg 0.1%~1.5%;X 0.1%~1.5%;杂质元素≤0.15%;其余量为Al;其中X元素为Zr、V、Ti、Co、Cr、Ni中的任意一种或任意两种以上元素的组合。

[0006] 作为本申请的进一步改进,所述的含Cu-Mn-Mg的耐高温铸造铝合金包括以下质量百分含量的组分:Cu 2.0%~8.0%;Mn 0.1%~0.8%;Mg 0.1%~0.8%;X 0.1%~1.0%;杂质元素≤0.15%;其余量为Al;其中X元素为Zr、V、Ti、Co、Cr、Ni中的任意一种或任意两种以上元素的组合。

[0007] 作为本申请的进一步改进,所述的含Cu-Mn-Mg的耐高温铸造铝合金包括以下质量百分含量的组分:Cu 3.0%~6.0%;Mn 0.3%~0.6%;Mg 0.3%~0.7%;X 0.2%~0.8%;杂质元素≤0.15%;其余量为Al;其中X元素为Zr、V、Ti、Co、Cr、Ni中的任意一种或任意两种以上元素的组合。

[0008] 作为本申请的进一步改进,所述杂质元素中含有Fe元素,所述Fe元素的含量≤0.15%。

[0009] 作为本申请的进一步改进,所述Fe元素的含量 $\leq 0.1\%$ 。

[0010] 为实现上述目的,本申请还提供了一种含Cu-Mn-Mg的耐高温铸造铝合金的制备方法,包括如下步骤:S1、将Al、Cu、Mn、Mg元素置于 $700^{\circ}\text{C}\sim 760^{\circ}\text{C}$ 下充分熔化、混合均匀后,扒渣,得到第一熔体;S2、向温度维持在 $700^{\circ}\text{C}\sim 760^{\circ}\text{C}$ 的所述第一熔体内加入Zr、V、Co、Cr、Ni中的任意一种或任意两种以上元素的组合,充分熔化,混合均匀,得到第二熔体;S3、对所述第二熔体除气并调整所述第二熔体的成分,得到第三熔体;S4、将所述第三熔体进行铸造,得到毛坯铸造铝合金;S5、对毛坯铸造铝合金进行热处理,得到铸造铝合金。

[0011] 作为本申请的进一步改进,步骤S1和步骤S2中所述熔化的温度为 750°C 。

[0012] 作为本申请的进一步改进,步骤S5中所述热处理的工艺为T4热处理、T5热处理、T6热处理、T7热处理、多级热处理中的任意一种。

[0013] 作为本申请的进一步改进,步骤S4中所述铸造的工艺为金属型铸造、低压铸造、差压铸造、挤压铸造中的任意一种。

[0014] 本发明的有益效果在于,本申请设计了一种含Cu-Mn-Mg的耐高温铸造铝合金的组分,通过Mg元素的加入,细化了晶粒,提高了合金强度,同时还添加了X元素,X元素为Zr、V、Co、Cr、Ni中的任意一种或任意两种以上元素的组合,X元素与Al元素形成高温强化相,不仅可以增加合金的强度,尺寸较大的高温强化相分布于晶界处,可以控制强化相在高温下的长大速度,从而保证铸造铝合金在高温下保持良好的机械性能。

具体实施方式

[0015] 为使本申请的目的、技术方案和优点更加清楚,下面将结合本申请具体实施例对本申请技术方案进行清楚、完整地描述。显然,所描述的实施例仅是本申请一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本申请中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本申请保护的范围。

[0016] 一种含Cu-Mn-Mg的耐高温铸造铝合金,包括以下质量百分含量的组分:Cu 1.0%~10.0%;Mn 0.1%~1.5%;Mg 0.1%~1.5%;X 0.1%~1.5%;杂质元素 $\leq 0.15\%$;其余量为Al;其中X元素为Zr、V、Ti、Co、Cr、Ni等元素中的任意一种或任意两种以上元素的组合。该组分经过合适的处理工艺制备出未经热处理的毛坯铸造铝合金,在室温下展现出屈服强度超过400MPa,抗拉强度超过500MPa和延伸率超过5%的优异的机械性能;在 300°C 的温度下可以提供屈服强度超过200MPa,抗拉强度超过300MPa和延伸率不超过10%的优异的机械性能。需要强调的是,该毛坯铸造铝合金经过后续的热处理工艺可以对材料的机械性能进行调整。

[0017] 本申请中,所述的含Cu-Mn-Mg的耐高温铸造铝合金,优化为包括以下质量百分含量的组分:Cu 2.0%~8.0%;Mn 0.1%~0.8%;Mg 0.1%~0.8%;X 0.1%~1.0%;杂质元素 $\leq 0.15\%$;其余量为Al;其中X元素为Zr、V、Ti、Co、Cr、Ni等元素中的任意一种或任意两种以上元素的组合。

[0018] 本申请中,所述的含Cu-Mn-Mg的耐高温铸造铝合金,优化为包括以下质量百分含量的组分:Cu 3.0%~6.0%;Mn 0.3%~0.6%;Mg 0.3%~0.7%;X 0.2%~0.8%;杂质元素 $\leq 0.15\%$;其余量为Al;其中X元素为Zr、V、Ti、Co、Cr、Ni等元素中的任意一种或任意两种以上元素的组合。该组分经过合适的处理工艺制备出未经热处理的毛坯铸造铝合金,在室

温下展现出屈服强度超过400MPa,抗拉强度超过500MPa和延伸率超过5%的优异的机械性能;在300℃的温度下可以提供屈服强度超过200MPa,抗拉强度超过300MPa和延伸率不超过10%的优异的机械性能。需要强调的是,该毛坯铸造铝合金经过后续的热处理工艺可以对材料的机械性能进行调整。

[0019] 本申请中,所述含Cu-Mn-Mg的耐高温铸造铝合金的铸造过程中总会伴有杂质元素,尤其是Fe元素,Fe元素含量高时,容易降低合金流动性,损害铸件的品质,因此应控制Fe元素的含量,杂质元素中含有Fe元素,当杂质元素中Fe元素的含量 $\leq 0.1\%$ 时,铸件性能更优。

[0020] 本申请中,提供了一种含Cu-Mn-Mg的耐高温铸造铝合金的制备方法,包括如下步骤:S1、将Al、Cu、Mn、Mg元素置于700℃~760℃下充分熔化、混合均匀后,扒渣,得到第一熔体,所述的熔化温度优选为750℃时,效果更佳;S2、向温度维持在700℃~760℃的所述第一熔体内加入Zr、V、Co、Cr、Ni等元素中的任意一种或任意两种元素的组合,充分熔化,混合均匀,得到第二熔体,所述的熔化温度优选为750℃时,效果更佳;S3、对所述第二熔体除气并调整所述第二熔体的成分,得到第三熔体;检测第三熔体的成分,如果任意某一元素的成分含量未达到预定要求,则向保持700℃~760℃的熔体中加入可以使成分含量达到预定要求的相应元素(如Cu、Mn、Mg、X元素中的任意一种或几种),熔化完成后,再次进行检测,不断重复加入相应元素-熔化-检测的过程,进行第三熔体成分的调整,最终使第三熔体成分达到预定要求;S4、将所述第三熔体进行铸造,得到毛坯铸造铝合金,所述铸造的工艺为金属型铸造、低压铸造、差压铸造中的任意一种;S5、对毛坯铸造铝合金进行热处理,得到铸造铝合金。本制备过程中,Al、Cu、Mn、Mg、Zr、V、Co、Cr、Ni等元素加入时的状态为纯元素或母合金。

[0021] 本申请中,为了实现铸造铝合金所述的机械性能,热处理是必不可少的生产环节,含Cu-Mn-Mg的耐高温铸造铝合金的制备方法的步骤S5中铝合金的铸造工艺中常用的热处理工艺包括T4热处理、T5热处理、T6热处理、T7热处理等经过固溶和时效阶段的热处理工艺。本申请中可以选择T4热处理、T5热处理、T6热处理、T7热处理、多级热处理等中的任意一种,多级热处理即材料经过多个固溶和时效阶段,各种不同的热处理工艺均可以制备出具有耐高温的铸造铝合金,而热处理工艺可以选择是针对不同铸件的机械性能的要求提出,针对不同的铸件选择不同的热处理工艺可以节省生产成本。T6是一种可以提供最好的屈服强度的热处理工艺;T4是可以实现最好的延伸率的热处理工艺;T5是在不太多降低延伸率的前提下可以适当提高屈服强度的热处理工艺。T6热处理分两步实现:第一步为固溶热处理,首先是均匀化,根据铸造工艺的不同均匀化的温度不同,一般均匀化的温度是400℃~600℃,时间可以是几分钟,也可以是几个小时,对重力铸件而言,温度是450℃~520℃左右,时间为6h到48h;其次是淬火,用温水或热水都可以。第二步是时效强化,一般控制的温度是150℃~220℃,时效时间为数小时,具体时间根据铸件的结构和大小决定。

[0022] 本申请为了佐证按照所提供耐高温铸造铝合金的成分以及制备工艺制备的铸造铝合金具有优异的耐高温性能,提供了三组实施例,按照三组实施例中提供的组分制备毛坯铸造铝合后进行热处理,热处理中:固溶均匀化处理的温度区间为480℃~540℃,固溶均匀化处理的时间区间为5h~24h;时效强化的温度区间范围为150℃~220℃,时效强化的时间区间为8h~24h。本申请为了验证经过不同处理工艺制备出的铸造铝合金铸件均具有耐高温的性能,还将经过不同工艺制备出的铸造铝合金进行加工,得到满足ASTM B557M-10要

求的拉伸样品尺寸。然后根据国际标准规程对试样进行常温和300℃高温性能测试,所得结果如表一所示。表一中,T4热处理工艺的步骤中:固溶热处理的优选温度为510℃,固溶热处理的优选时间为10h;T6热处理工艺的步骤中:固溶热处理的优选温度为510℃,固溶热处理的优选时间为10h,时效强化处理的优选温度为180℃,时效强化处理的优选时间为24h。

[0023] 表一:经过不同工艺制备的铸造铝合金铸件在不同温度下的机械性能

合金成分	热处理		屈服强度 (MPa)	抗拉强度 (MPa)	延伸率 (%)
Al-6Cu-0.5Mn-0.3Mg-0.3Ni-0.2Zr	常温	铸态	220	330	4
		T4 热处理	160	280	11
		T6 热处理	410	512	5.5
	300℃	T6 热处理	208	323	9
Al-7.5Cu-0.4Mn-0.2Mg-0.2Zr-0.2V	常温	铸态	228	332	3.5
		T4 热处理	165	288	10
		T6 热处理	418	515	5.5
	300℃	T6 热处理	210	328	8.8
Al-8Cu-0.7Mn-0.3Mg-0.2Zr-0.2Cr-0.15Ti	常温	铸态	232	341	3
		T4 热处理	173	279	8
		T6 热处理	422	521	5
	300℃	T6 热处理	239	342	8

[0025] 由表可知,常温状态下机械性能最好的铸件是经过T6热处理制备的铸件,本申请针对常温下机械性能最好的铸件进行了300℃的高温性能测试,经表中性能参数比较可知,经过T6热处理的铸件在常温(即室温)下的机械性能达到屈服强度超过400MPa,抗拉强度超过500MPa和延伸率超过5%;经过T6热处理的铸件在300℃高温下的机械性能达到屈服强度超过200MPa,抗拉强度超过300MPa和延伸率不超过10%。本申请中铸造铝合金样品的名称是按质量百分含量命名的,含义如下,如:Al-6Cu-0.5Mn-0.3Mg-0.3Ni-0.2Zr表示铸造铝合金中包含Cu、Mn、Mg、Ni、Zr的质量百分含量分别为6.0%、0.5%、0.3%、0.3%和0.2%,其余量为Al。

[0026] 本申请中,针对提供的含Cu-Mn-Mg的耐高温铸造铝合金,合金元素的组分及含量对合金性能起了非常重要的作用,各元素的作用如下:

[0027] Cu元素:Cu在铝合金中的溶解度较高,在凝固过程中Cu会以固溶相的形式存在于凝固组织中,Al元素与Cu元素在铸造铝合金的制备中一般会形成Al₂Cu强化相,针对含Cu-Mn-Mg的耐高温铸造铝合金,Al₂Cu强化相是铸造铝合金的主要强化相。

[0028] Mg元素:针对含Cu-Mn-Mg的耐高温铸造铝合金,Mg元素的加入量低于1%,Mg元素的添加量虽然较少,但Mg元素在初生铝相中有较高的固溶度,在凝固过程中绝大多数Mg元素会以固溶态的形式存在于初生铝相中,对基体起到固溶强化作用。经实验验证,少量Mg元素的添加对于细化凝固组织晶粒大小有着很大帮助,对比未加Mg合金,在相同金属型铸造条件下,含Mg合金平均晶粒尺寸(93μm~107μm)比不含Mg合金平均晶粒尺寸(102μm~123μm)小10%~15%。Mg元素的作用可以归结为:一、可以提高合金强度;二、可以起到细化晶粒的作用。

[0029] X元素: X元素为Zr、V、Co、Cr、Ni等元素中的任意一种或任意两种以上元素的组合, 针对本发明提供的含Cu-Mn-Mg的耐高温铸造铝合金的组分可知, X元素的加入量很小, 但是X元素可以使铝合金熔铸时增加过冷成分, 细化晶粒, 减少二次晶粒间距, 减少合金中的气体和夹杂, 并使夹杂相趋于球化, 还可降低熔体表面张力, 增加流动性, 有利于浇注成锭, 对工艺性能有着明显的影响。如Ti、Zr、Y、Ni等元素加入后, 在合金中会形成AlTi、AlZr、AlY、AlNi等耐高温相, 这类耐高温相在金属熔体凝固过程中为最先形成的相, 因此部分细小颗粒可以作为形核支点, 细化后续形成的初生铝相进而实现组织的晶粒细化。尺寸较大的耐高温相则分布于晶界处, 对基体组织起到强化钉扎作用, 控制强化相在高温下的生长速度, 进而保证合金在高温条件下可以实现很好的机械性能。由于X元素的加入, 可以使合金凝固组织细化, 在凝固后期最终形成的Al₂Cu相可以在凝固组织中更好的均匀分布, 因此X元素对控制Al₂Cu相的分布也有着重要影响。因此, X元素的作用可以归结为: 一、可以细化晶粒, 进而提高合金铸造过程的流动性能及铸造性能; 二、均匀分布Al₂Cu强化相, 使铸造铝合金成分均匀, 具有稳定的机械性能; 三、在组织中形成耐高温相, 这种高温强化相在铸造铝合金组织中起到钉扎晶界的作用, 可以强化组织以及控制强化相在高温下的生长速度。

[0030] Mn元素: 能提高脱模性, 防止铸造过程中铝合金在高温条件下与铁制/钢制模具发生反应, 还可作为形成第二相强化所需的金属间化合物。

[0031] 综上所述, 本申请设计了一种含Cu-Mn-Mg的耐高温铸造铝合金的组分, 通过Mg元素的加入, 细化了晶粒, 提高了合金强度, 同时还添加了X元素, X元素为Zr、V、Co、Cr、Ni中的任意一种或任意两种以上元素的组合, X元素与Al元素形成高温强化相, 不仅可以增加合金的强度, 尺寸较大的高温强化相分布于晶界处, 可以控制强化相在高温下的长大速度, 从而保证铸造铝合金在高温下保持良好的机械性能。

[0032] 以上仅结合目前考虑的最实用的优选实施例对本申请进行描述, 需要理解的是, 上述说明并非是对本申请的限制, 本申请也并不限于上述举例, 本技术领域的普通技术人员在本申请的实质范围内所做出的变化、改型、添加或替换, 也应属于本申请的保护范围。