



(12)发明专利



(10)授权公告号 CN 104812921 B

(45)授权公告日 2018.01.19

(21)申请号 201380059354.7

(22)申请日 2013.11.14

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 104812921 A

(43)申请公布日 2015.07.29

(30)优先权数据

102012220765.1 2012.11.14 DE

(85)PCT国际申请进入国家阶段日

2015.05.14

(86)PCT国际申请的申请数据

PCT/EP2013/073812 2013.11.14

(87)PCT国际申请的公布数据

W02014/076174 DE 2014.05.22

(73)专利权人 菲特尔莫古纽伦堡公司

地址 德国纽伦堡诺皮奇大街67号

(72)发明人 罗曼·摩根施特恩

斯科特·肯尼哥勒 菲利普·科赫

罗伯特·威拉德 瑞娜·威斯

伊莎贝拉·索波塔 马丁·波普

其他发明人请求不公开姓名

(74)专利代理机构 北京驰纳智财知识产权代理
事务所(普通合伙) 11367

代理人 孙海波

(51)Int.Cl.

G22C 21/02(2006.01)

B22D 18/04(2006.01)

B22D 21/00(2006.01)

F16J 1/01(2006.01)

G22C 21/04(2006.01)

(56)对比文件

EP 0924310 A1,1999.06.23,

EP 1975262 A2,2008.10.01,

JP 特开2004-256873 A,2004.09.16,

EP 0924311 A1,1999.06.23,

审查员 潘晓萌

权利要求书2页 说明书5页

(54)发明名称

制造发动机部件的方法、发动机部件和铝合金的应用

(57)摘要

本发明描述了一种制造发动机部件的方法,尤其是制造内燃机用活塞的方法,其中采用重力铸造法对铝合金进行浇铸,且其中,所述铝合金包括以下合金元素:9至 ≤ 10.5 wt%的硅、 > 2.0 至 < 3.5 wt%的镍、 > 3.7 至 5.2 wt%的铜、 < 1 wt%的钴、 0.5 至 1.5 wt%的镁、 0.1 至 0.7 wt%的铁、 0.1 至 0.4 wt%的锰、 > 0.1 至 < 0.2 wt%的锆、 > 0.1 至 < 0.2 wt%的钒、 0.05 至 < 0.2 wt%的钛、 0.004 至 0.008 wt%的磷,所述铝合金还进一步包括铝和不可避免的杂质。此外,本发明还描述了一种发动机部件,尤其是内燃机用活塞,其中所述发动机部件至少部分由一种铝合金构成,本发明还描述了铝合金的用于制造发动机部件的应用,尤其是用于制造内燃机活塞的应用。

1. 一种制造发动机部件的方法,所述方法是制造内燃机用活塞的方法,其中采用重力铸造法对铝合金进行浇铸,

其中所述铝合金具有以下合金元素:9 wt%≤硅< 10 wt%,2.0 wt%<镍< 3.5 wt%,3.7 wt%<铜≤5.2 wt%,钴< 1 wt%,0.5 wt%≤镁≤1.5 wt%,0.1 wt%≤铁≤0.7 wt%,0.1 wt%≤锰≤0.4 wt%,0.1 wt%<铅< 0.2 wt%,0.1 wt%<钒< 0.2 wt%,0.05 wt%≤钛< 0.2 wt%,0.004 wt%≤磷≤0.008 wt%,以及作为其余成分的铝和不可避免的杂质。

2. 根据权利要求1所述的方法,其中所述铝合金优选具有0.6 wt%至0.8 wt%的镁。

3. 根据权利要求1至2中任一项所述的方法,其中所述铝合金优选具有0.4 wt%至0.6 wt%的铁。

4. 根据权利要求1至2中任一项所述的方法,其中在所述铝合金中,铁与锰之间的重量比例最高为5:1。

5. 根据权利要求4所述的方法,其中在所述铝合金中,铁与锰之间的重量比例为2.5:1。

6. 根据权利要求3所述的方法,其中镍和钴的总量优选为> 2.0 wt%且< 3.8 wt%。

7. 根据权利要求4所述的方法,其中所述铝合金的凹腔边缘区域,具有孔隙和夹杂物含量较少以及/或者初生硅少且颗粒小的精细微结构,其中孔隙率< 0.01 %以及/或者初生硅含量< 1 %,其中所述初生硅的平均长度为< 5 μm和/或最大长度< 10 μm,以及,金属间相和/或初生析出相的平均长度为< 30 μm和/或最大长度< 50 μm。

8. 根据权利要求5所述的方法,其中所述铝合金的凹腔边缘区域,硅析出相的面积的平均值< 100 μm²以及/或者金属间相的面积的平均值< 200 μm²。

9. 一种发动机部件,所述发动机部件是内燃机用活塞,所述发动机部件至少部分由铝合金构成,

其中所述铝合金具有以下合金元素:9 wt%≤硅< 10 wt%,2.0 wt%<镍< 3.5 wt%,3.7 wt%<铜≤5.2 wt%,钴< 1 wt%,0.5 wt%≤镁≤1.5 wt%,0.1 wt%≤铁≤0.7 wt%,0.1 wt%≤锰≤0.4 wt%,0.1 wt%<铅< 0.2 wt%,0.1 wt%<钒< 0.2 wt%,0.05 wt%≤钛< 0.2 wt%,0.004 wt%≤磷≤0.008 wt%,以及作为其余成分的铝和不可避免的杂质。

10. 根据权利要求9所述的发动机部件,其中所述铝合金优选具有0.6 wt%至0.8 wt%的镁。

11. 根据权利要求9至10中任一项所述的发动机部件,其中所述铝合金优选具有0.4 wt%至0.6 wt%的铁。

12. 根据权利要求9至10中任一项所述的发动机部件,其中在所述铝合金中,铁与锰之间的重量比例最高为5:1。

13. 根据权利要求12所述的发动机部件,其中在所述铝合金中,铁与锰之间的重量比例为2.5:1。

14. 根据权利要求11所述的发动机部件,其中镍和钴总量优选为> 2.0 wt%且< 3.8 wt%。

15. 根据权利要求12所述的发动机部件,其中所述铝合金凹腔边缘区域,具有孔隙和夹杂物含量较少以及/或者初生硅少且颗粒小的精细微结构,其中孔隙率< 0.01 %以及/或者初生硅含量< 1 %,其中所述初生硅平均长度< 5 μm和/或最大长度为< 10 μm,以及,金属间相和/或初生析出相的平均长度为< 30 μm和/或最大长度为< 50 μm。

16. 根据权利要求13所述的发动机部件,其中所述铝合金凹腔边缘区域,硅析出相的面积的平均值 $< 100 \mu\text{m}^2$ 以及/或者金属间相的面积的平均值 $< 200 \mu\text{m}^2$ 。

17. 一种铝合金用于制造发动机部件的应用,所述发动机部件是内燃机活塞,

其中所述铝合金具有以下合金元素: $9 \text{ wt}\% \leq \text{硅} < 10 \text{ wt}\%$, $2.0 \text{ wt}\% < \text{镍} < 3.5 \text{ wt}\%$, $3.7 \text{ wt}\% < \text{铜} \leq 5.2 \text{ wt}\%$, $\text{钴} < 1 \text{ wt}\%$, $0.5 \text{ wt}\% \leq \text{镁} \leq 1.5 \text{ wt}\%$, $0.1 \text{ wt}\% \leq \text{铁} \leq 0.7 \text{ wt}\%$, $0.1 \text{ wt}\% \leq \text{锰} \leq 0.4 \text{ wt}\%$, $0.1 \text{ wt}\% < \text{铅} < 0.2 \text{ wt}\%$, $0.1 \text{ wt}\% < \text{钒} < 0.2 \text{ wt}\%$, $0.05 \text{ wt}\% \leq \text{钛} < 0.2 \text{ wt}\%$, $0.004 \text{ wt}\% \leq \text{磷} \leq 0.008 \text{ wt}\%$, 以及作为其余成分的铝和不可避免的杂质。

制造发动机部件的方法、发动机部件和铝合金的应用

技术领域

[0001] 本发明涉及一种制造和应用发动机部件,尤其是内燃机用活塞,的方法,其中采用重力硬模浇铸法对铝合金进行浇铸;一种至少部分由铝合金构成的发动机部件,以及铝合金用于制造这种发动机部件的应用。

背景技术

[0002] 近年来,人们对特别经济和环保的交通工具的要求与日俱增,这些交通工具必须满足较高的能耗和排放要求。此外,一直都需要设计性能尽可能高和能耗尽可能低的发动机。研发高性能和低排放的内燃机的关键因素在于:能够在越来越高的燃烧温度和燃烧压力条件下使用的活塞,这一点主要是由更高性能的活塞材料所实现的。

[0003] 原则上,内燃机用活塞必须具有较高的耐热性能,同时必须尽可能地轻巧且结实耐用。因此,如何构造微结构分布、形态学、成分以及高温强度最高的相的热稳定性是尤其重要的。进行相关的优化处理时,通常将孔隙和氧化夹杂物的较小含量考虑在内。

[0004] 所寻找的材料必须不但在等温振动疲劳强度(HCF),也在热机械疲劳强度(TMF)方面进行优化。为了实现最优的TMF特性,应使材料的微结构尽可能的精细。精细的微结构减小了相对较大的初生相(尤其是初生硅析出相)上产生微塑性或微裂纹的危险,从而也降低了裂纹生成和扩展的危险。

[0005] 在TMF负荷的作用下,由于合金的各组成部分,即基体和初生相之间的膨胀系数不同,在相对较大的初生相上,尤其是初生硅析出相上,会产生微塑性或微裂纹,所述微塑性或微裂纹可能显著降低活塞材料的使用寿命。已知的是,可以通过尽可能减小初生相来提高使用寿命。

[0006] 在使用重力铸造法的情况下,引入的各合金元素都有对应的浓度上限,在超过其上限时,合金的可铸造性将会降低甚至无法进行铸造。此外,在提高强度的元素浓度过高的情况下,会产生较大的片状金属间相,所述金属间相会大幅降低疲劳强度。

[0007] DE 44 04 420 A1描述了一种尤其可用于活塞和承受高温与高机械负荷构件的合金。这种铝合金含有8.0至10.0wt%的硅、0.8至2.0wt%的镁、4.0至5.9wt%的铜、1.0至3.0wt%的镍、0.2至0.4wt%的锰、低于0.5wt%的铁,以及选自铋、锆、钛、锑、钴、铬和钒的至少一种元素,其中这些元素中的至少一种的量 $>0.3\text{wt}\%$,且其中,这些元素之和 $<0.8\text{wt}\%$ 。

[0008] EP 0 924 310 B1描述了一种用于制造活塞,尤其是内燃机活塞的硅铝合金。这种铝合金的成分如下:10.5至13.5wt%的硅、2.0至小于4.0wt%的铜、0.8至1.5wt%的镁、0.5至2.0wt%的镍、0.3至0.9wt%的钴、至少20ppm的磷,以及0.05或0.2wt%的钛或者不超过0.2wt%的锆和/或不超过0.2wt%的钒,其余成分为铝和不可避免的杂质。

[0009] WO 00/71767 A1描述了一种适合于高温应用铝合金,例如承受高负荷的活塞或内燃机中其他应用。其中这种铝合金的成分如下:6.0至14.0wt%的硅、3.0至8.0wt%的铜、0.01至0.8wt%的铁、0.5至1.5wt%的镁、0.05至1.2wt%的镍、0.01至1.0wt%的锰、0.05至

1.2wt%的钛、0.05至1.2wt%的锆、0.05至1.2wt%的钒、0.001至0.10wt%的铈,其余成分为铝。

[0010] DE 103 33 103 B4描述了一种由铝铸造合金制成的活塞,其中该铝铸造合金包含:0.2wt%或以下的镁、0.05至0.3wt%的钛、10至21wt%的硅、2至3.5wt%的铜、0.1至0.7wt%的铁、1至3wt%的镍、0.001至0.02wt%的磷、0.02至0.3wt%的锆,其余成分为铝和杂质。此外在该案中,活塞内所含的非金属夹杂物的尺寸大小小于100 μm 。

[0011] EP 1 975 262 B1描述了一种铝铸造合金,成分如下:6至9%的硅、1.2至2.5%的铜、0.2至0.6%的镁、0.2至3%的镍、0.1至0.7%的铁、0.1至0.3%的钛、0.03至0.5%的锆、0.1至0.7%的锰、0.01至0.5%的钒和以下元素中的一种或多种:0.003至0.05%的铈、0.02至0.2%的铈和0.001至0.03%的钠,其中钛和锆的总量小于0.5%,当总量设置为100wt%时,其余成分为铝和不可避免的杂质,其中上述百分比值均为质量百分比。

[0012] WO 2010/025919 A2描述了一种制造内燃机活塞的方法,其中由硅铝合金制成的活塞坯件在加入铜成分的同时进行浇铸并随后进行加工完成。因此,在该发明中,规定所述铜占所述硅铝合金的比例最大值为5.5%,并且规定,在这种硅铝合金中加入钛(Ti)、锆(Zr)、铬(Cr)和/或钒(V),并且所有成分之和为100%。

[0013] 专利申请DE 102011083969涉及一种制造发动机部件的方法,尤其是制造内燃机用活塞的方法,其中采用重力铸造法对铝合金进行浇铸,还涉及一种至少部分由铝合金构成的发动机部件,以及铝合金用于制造发动机部件的应用。其中这种铝合金的合金元素如下:6至10wt%的硅、1.2至2wt%的镍、8至10wt%的铜、0.5至1.5wt%的镁、0.1至0.7wt%的铁、0.1至0.4wt%的锰、0.2至0.4wt%的锆、0.1至0.3wt%的钒、0.1至0.5wt%的钛,其余成分为铝和不可避免的杂质。这种铝合金优选具有少于30ppm的磷含量。

[0014] JP 2004 256873 A公开了一种具有如下成分的合金:质量百分比为9.5至11.5%的硅、质量百分比为5.0至7.7%的铜、质量百分比为3.5至5.5%的镍、质量百分比为0.55至1.5%的镁、质量百分比为0.003至0.1%的磷、质量百分比为0.15至0.7%的铁,并在需要时,包含以下金属中的至少一种:质量百分比为0.005至0.3%的钛、质量百分比为0.02至0.3%的锆、质量百分比为0.02至0.3%的钒、质量百分比为0.001至0.1%的硼,和质量百分比为0.1至0.7%的锰,其余成分大体上为铝。

[0015] 此外,JP 2000 204428 A涉及一种由成分如下的铝合金制成的活塞:11至16%的硅、0.5至2.0%的镁、3至7%的铜、0.2至1.5%的铁、0.2至1.0%的锰、0.003至0.15%的磷,以及 $\leq 0.002\%$ 的钙,其中所含杂质可以 $\leq 0.2\%$ 。此外还可含有0.01至0.3%的钛、0.0001至0.03%的硼、0.01至0.3%的铬、0.01至0.3%的锆或类似的元素。

[0016] 最后,JP H8-134577 A描述了一种含有1-7%的铜、10-16%的硅、0.3-2%的镁、0.5-2%的铁、0.1-4%的锰、0.01-0.3%的钛、0.001-0.02%的磷、0.0001-0.02%的钙,以及需要时含有0.2-6%的镍的铝合金。

发明内容

[0017] 本发明的目的是提供一种制造发动机部件的方法,尤其是制造内燃机用活塞的方法,其中采用重力铸造法对铝合金进行浇铸,从而以重力铸造法制造出具有高的耐热性的发动机部件。

[0018] 本发明用以达成上述目的的解决方案为权利要求1所述的方法。相关的从属权利要求中说明了本发明的其他优选实施方式。

[0019] 本发明的另一目的是提供一种发动机部件,尤其是内燃机用活塞,所述发动机部件/活塞具有高的耐热性能且至少部分地由铝合金构成。

[0020] 本发明用以达成上述目的的解决方案为权利要求8所述的主体,相关的从属权利要求中说明了其他优选实施方式。

[0021] 在本发明的方法中,所述铝合金具有以下合金元素:

[0022]	硅:	9 wt%	至	≤ 10.5 wt%,
	镍:	> 2.0 wt%	至	< 3.5 wt%,
	铜:	> 3.7 wt%	至	5.2 wt%,
	钴:		至	< 1 wt%
	镁:	0.5 wt%	至	1.5 wt%,
	铁:	0.1 wt%	至	0.7 wt%,
	锰:	0.1 wt%	至	0.4 wt%,
	锆:	> 0.1 wt%	至	< 0.2 wt%,
	钒:	> 0.1 wt%	至	< 0.2 wt%,
	钛:	0.05 wt%	至	< 0.2 wt%,

[0023] 磷: 0.004 wt% 至 0.008 wt%,

[0024] 以及作为其余成分的铝和不可避免的杂质。

[0025] 所述铝合金优选具有:

[0026] $>$ 约9至 $\leq$ 约10.5,更优选为 $<$ 约10,尤其优选为 $<$ 约9.5,或者进一步优选为约9.5至约10.5wt%的硅;

[0027] $>$ 约2.3,更优选为 $>$ 约3至 $<$ 约3.5或进一步优选为约2.5,尤其优选为约2.9至约3wt%的镍;

[0028] $>$ 约3.8,更优选为 $>$ 约4,尤其优选为 $>$ 约4.8至约5.2或进一步优选为 $>$ 约3.7至约 $<$ 5,尤其优选为 $<$ 4,或进一步优选为约4,特别优选为约4.1至约4.6wt%的铜;

[0029] $>$ 约0.5,更优选为 $>$ 约0.9至 $<$ 约1wt%的钴;

[0030] 约0.5,更优选 $>$ 约0.6,尤其优选为约0.7至 $<$ 约1.5,进一步优选为 $<$ 约0.8或更优选为 $>$ 约1,进一步更优选为 $>$ 约1.3至约1.5wt%的镁;

[0031] $>$ 约0.5,更优选 $>$ 约0.6至约0.7,或进一步更优选为约0.45至约0.5wt%的铁;

[0032] 约0.1至 $<$ 约0.2或更优选 $>$ 约0.25至约0.4wt%的锰;

[0033] 约0.12,更优选为约0.13至约0.19wt%的锆;

[0034] 约0.12至约0.14wt%的钒;

[0035] 约0.05至 $<$ 约0.15或更优选约0.11,尤其优选为约0.12至约0.13wt%的钛;以及

[0036] 约0.005至约0.006wt%的磷。

[0037] 通过所选的铝合金能够采用重力铸造法制造出具有较高比例分布精细、耐高温、热稳定的相,以及精细微结构的发动机部件。相对于活塞和类似发动机部件的公知制造方法,通过选择本发明的合金降低了如在氧化物或初生相处发生裂纹生成和扩展的风险,从而延长了TMF-HCF的使用寿命。

[0038] 本发明的合金,尤其是相对较低的硅含量导致按照本发明制造的活塞中,至少在

其承受高度热负荷的凹腔边缘区域具有相对较少且更精细的初生硅,从而所述合金为根据本发明制造的活塞带来了良好的特性。由此可以利用重力铸造法制造出具有高耐热性能的发动机部件。本发明的铜、铅、钒和钛的含量,尤其是相对较高的铅、钒和钛含量使提高强度的析出相含量达到有利的水平,然而同时不会形成较大的片状金属间相。此外,本发明的钴和镍含量有利于提高合金的耐热性。其中,镍有助于构造热稳定的金属间相。钴还提高了合金的硬度和总体强度。作为成核剂的磷有助于使初生硅析出相尽可能以精细、分布均匀的方式析出。

[0039] 所述铝合金优选具有0.6%至0.8wt%的镁,所述镁在该优选的浓度范围内有助于有效地构成提高强度的次生相,而不形成过量的氧化物。此外,作为备选或补充方案,所述合金优选具有0.4wt%至0.6wt%的铁,所述铁有利地减小了合金在铸模中的粘连倾向,同时在所述的浓度范围内,片状相的形成仍受到限制。

[0040] 有利地,铁与锰之间的所述重量比优选最高约为5:1,优选约为2.5:1。在本实施方式中,所述铝合金最多含有五份铁和一份锰,优选约2.5份铁和一份锰。通过该比例实现了所述发动机部件尤其有利的强度特性。

[0041] 此外优选地,镍和钴总量 $>2.0\text{wt}\%$ 且 $<3.8\text{wt}\%$ 。其中,所述下限保证了有利的合金强度,而上限有利地确保了精细的微结构,避免了形成会降低强度的粗糙、片状的晶相。

[0042] 所述铝合金,尤其在承受高负荷的凹腔边缘区域,优选具有孔隙和夹杂物含量低以及/或者初生硅少且颗粒小的精细微结构。其中孔隙含量低优选指孔隙率 $<0.01\%$ 且初生硅含量 $<1\%$ 。此外,精细的微结构优选指所述初生硅的平均长度约 $<5\mu\text{m}$ 且最大长度约 $<10\mu\text{m}$,以及,金属间相和/或初生析出相的平均长度为 $<30\mu\text{m}$ 且最大长度为 $<50\mu\text{m}$ 。

[0043] 进一步优选的是,所述铝合金,尤其在凹腔边缘区域中,硅析出相的面积的平均值 $<\text{约}100\mu\text{m}^2$ 以及/或者金属间相的面积的平均值 $<\text{约}200\mu\text{m}^2$ 。

[0044] 所述铝合金微结构的特征优选通过量化结构分析来进行。为此,首先制备金相磨样,并通过光学显微设备,尤其为在技术方面特别重要的凹腔边缘区域拍摄相应的显微图片。例如可以使用倒置入射光显微镜。随后在指定的放大率下拍摄细节图,通过计算机汇总成一个平面(例如 $5.5\text{mm} \times 4.1\text{mm}$),并借助图像处理软件测定出特定晶相的面积和面积比率。

[0045] 所述精细微结构尤其有助于改善热机械疲劳强度。对初生相大小的限制可以减小裂纹生成和扩展的风险,从而显著提高TMF-HCF的使用寿命。此外,由于孔隙和夹杂物的缺口效应,尤其有利的是将其含量保持在较低的水平。

[0046] 本发明的发动机部件至少部分地由上述铝合金中的一种构成。本发明的另一个独立的方面在于上述铝合金的用于制造发动机部件,尤其是内燃机活塞的应用。其中尤其采用重力铸造法来加工所述铝合金。

具体实施方式

[0047] 示例:

[0048] 作为上述铝合金的示例,在此列举一种具有10.5wt%的硅;3wt%的镍;4.1wt%的铜;0.7wt%的镁;0.5wt%的铁;0.2wt%的锰;0.13wt%的铅;0.12wt%的钒;0.13%的钛,以及0.006wt%的磷的合金1;一种具有9.5wt%的硅;2.9wt%的镍;4.0wt%的铜;0.7wt%

的镁;0.45wt%的铁;0.2wt%的锰;0.12wt%的铅;0.12wt%的钒;0.12wt%的钛,以及0.006wt%的磷的合金2;以及一种具有9.5wt%的硅;2.5wt%的镍;4.6wt%的铜;0.7wt%的镁;0.45wt%的铁;0.2wt%的锰;0.19wt%的铅;0.14wt%的钒;0.11wt%的钛,以及0.005wt%的磷的合金3。