

文章编号:1000-582X(2005)10-0024-03

压铸铝合金 ADC12.1R 的组织、性能及成形性*

饶劲松,李华基,王翠玲,薛寒松

(重庆大学机械工程学院,重庆 400030)

摘要:在 ADC12 压铸铝合金成分的基础上,通过成分优化设计,并对合金进行晶粒细化及变质处理,获得了一种高性能的压铸铝合金 ADC12.1R,该合金经金属型重力浇注,其铸态力学性能达到:抗拉强度(σ_b)为 254.9 MPa,延伸率(δ_5)为 2.925%,硬度(HBS)为 102,均优于国内普遍使用的压铸铝合金 ZL112Y. 实际生产试验也表明 ADC12.1R 合金具有更好的压铸成形性、出型性及机械加工性能,能够满足工业生产应用的要求.

关键词:压铸铝合金;成分优化;混和稀土;变质处理;力学性能

中图分类号:TG146.2

文献标识码:A

铸造铝合金一直是航空、航天、军事和汽车工业中重要的结构材料;压力铸造以其尺寸精确、表面光洁、效率高等优点被广泛应用到铸造铝合金中. 目前我国压铸铝合金的抗拉强度普遍低于 240 MPa(金属型浇注),其综合力学性能较差,不能满足一些高强度结构件的要求,且硬度 HBS 低于 90,导致铸件的加工性能也较差,此外,压铸件一般不能进行热处理强化^[1]. 基于以上原因,为进一步扩大铝合金压铸件的应用范围,一方面需要研究新的压铸技术,另一方面更迫切需要开发出性能优越、成分易于控制的高性能压铸铝合金以满足工业生产.

化学成分的选择是合金获得好的力学性能的基础;有效的熔体处理可同时获得高纯净度的熔体及理想的变质和晶粒细化效果. 笔者在 ADC12 合金成分的基础上,通过成分设计和加入经优化配比后的混和稀土进行变质等熔体处理,开发出了一种新型高性能压铸铝合金 ADC12.1R,并在 XJS280 卧式冷室压铸机上进行了生产试验,其力学和机加工等性能均优于目前国内普遍使用的 ZL112Y 压铸合金.

1 ADC12.1R 合金成分设计

ADC12.1R 合金成分以 ADC12 合金成分为基础,为减少试验次数,合金中 Si、Mn、Ti、Fe 等元素的成分

取为定值,从 Mg 和 Cu 组元对合金力学性能影响的角度,经多次试验后,确定 ADC12.1R 合金最好的一组配方为 AlSiCu(2)Mg(2).

2 实验方法

实验所用原材料分别为:99.7% 铝锭,结晶硅,99.95% 镁锭,纯铜,Al-5Ti-3B 中间合金,Al-10% RE(RE 为混合稀土)中间合金,自制 Al-20% Fe 中间合金,Al-10% Mn 中间合金,99.95% 锌锭,无毒精炼剂和扒渣剂. 在 150 kg 的工业电炉内熔配 ADC12.1R 合金,将合金液升温至 750 °C,加入 Al-RE 中间合金进行变质处理,充分搅拌,并在 720 °C 温度进行精炼扒渣,随后静置降温至 680 °C 以备压铸.

使用 XJS280 卧式冷室压铸机进行压铸生产试验,压射比压为 30 MPa,压射速度为 2 m/s,模具温度为 200~250 °C,浇注温度为 680 °C,压铸零件为摩托车汽缸盖.

用新配制的 ZL112Y 合金熔化浇注相同的零件,在两种合金压铸零件的相同部位截取金相试样进行常规金相分析. 同时,采用金属型拉伸试样模分别浇注 ZL112Y 和 ADC12.1R 合金的金属型拉伸试样进行力学性能的测试和对比.

* 收稿日期:2005-05-12

作者简介:饶劲松(1980-),男,湖北天门人,重庆大学博士研究生,主要从事轻合金材料的研究.

3 实验结果与分析

3.1 ADC12.1R 与 ZL112Y 金相组织和力学性能比较

图1和图2分别为ADC12.1R合金和ZL112Y合金压铸态金相组织,表1和表2为两种合金力学性能测试的结果。

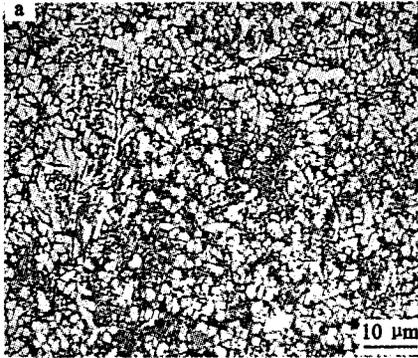


图1 ADC12.1R合金的压铸态金相组织

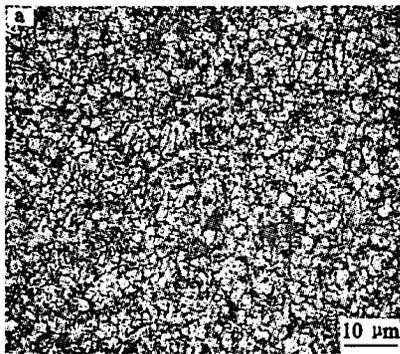


图2 ZL112Y合金的压铸态金相组织

表1 ADC12.1R合金的力学性能(重力浇注)

试样号	σ_b /MPa	δ_5 /%	HBS
1	254.9	3.20	104.0
2	254.9	3.20	99.5
3	253.0	2.80	106.0
4	256.8	2.50	98.9
平均值	254.9	2.93	102.0

表2 ZL112Y合金的力学性能(重力浇注)

试样号	σ_b /MPa	δ_5 /%	HBS
1	207.7	1.83	93.3
2	202.0	1.33	88.2
3	217.1	1.50	93.3
4	220.9	1.33	89.2
平均值	211.7	1.50	91.0

从以上实验结果中可以看到,合金的力学性能与共晶硅的形态、大小和分布存在很大的关系。在ZL112Y合金中,图2所示,共晶硅相呈现出粗大的针片状,这种针状硅相严重割裂基体组织,破坏基体组织的连续性,从而对合金材料的力学性能产生不良影

响^[2]。在ADC12.1R合金中,图1所示,因采用稀土变质处理,从根本上改变了铝硅合金中硅相的生长方式,使合金中的共晶硅相明显地向短杆状或粒状转变,大大减少了对合金性能的伤害,这也促使了合金材料力学性能的提高。

3.2 ADC12.1R合金的压铸工艺性

图3和图4分别为有浇注系统和已切除浇注系统的压铸件内外表面。

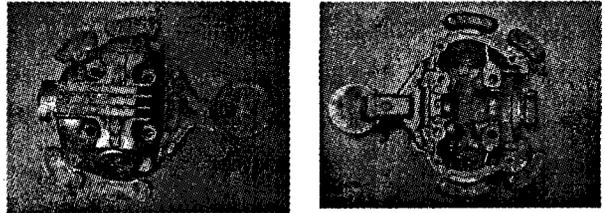


图3 带浇注系统的摩托车汽缸盖铸件



图4 切除浇注系统的摩托车汽缸盖头铸件

从铸件的外观观察:

1) 合金液充型效果良好,压铸的铸件没有发现冷隔、裂纹、缩陷、欠铸及轮廓不清晰等缺陷,色泽均匀,无翘曲变形;

2) 合金的出型性好,压铸件的表面光洁,无粘附物痕迹,没有出现粘模拉伤的现象;

3) 内部质量较好,组织细小,均匀,断面上没有肉眼可见的缩松、缩孔及明显的夹杂。

3.3 ADC12.1R合金的机械加工性能

加工试验表明,ADC12.1R合金压铸的零件,其硬度比ZL112Y高,没有明显的硬质点,加工过程没出现打刀现象,车屑较短,易断裂,加工表面光洁度及成品率均高于ZL112Y生产的零件,合金的机械加工性能得到提高。这主要是因为稀土不仅能细化共晶硅,而且也对打刀硬质点初生硅起到了抑制和细化作用,图2中初生硅相很明显,图1中没有初生硅相。

4 讨论

4.1 稀土对初生硅的变质作用

由于合金在液相存在成分起伏,所以在共晶或亚共晶Al-Si合金中出现过共晶初生硅是不足为奇的。初生硅显微硬度 $H_v = 1\ 000 \sim 1\ 300$,接近 α 相的

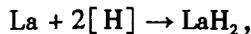
20倍,所以初生硅是造成铝合金铸件中硬质点现象的主要原因^[3].而在ADC12.1R合金中加入RE变质后,在初生硅界面前沿合金液中,RE元素高度富集,在这些微区中,高浓度的RE能抑制Si的各向异性生长,使初生硅细化^[4].从而决定了ADC12.1R合金成形件优良的机加工性能.

4.2 稀土对共晶硅的变质作用

共晶硅片的生长具有{111}惯习面及<211>择优长大方向,共晶硅片表面具有一些无规则原子级台阶,这些层状原子级台阶与硅片基体间存在孪晶关系.共晶硅片上的孪晶沟槽及共晶硅生长界面上的固有台阶可为硅原子的附着提供有利的位置,从而使硅晶体沿着<211>方向迅速长大成片状共晶硅^[5-6].加入稀土变质后,稀土原子同硅晶体{111}面上内在台阶相互作用,使被吸附的稀土原子产生{111}孪晶,孪晶密度增加使硅的生长方式发生改变,阻碍了硅晶体沿{111}面铺开长大,抑制了板片状硅的生长,从而使板片状Si晶体变成分枝密集而又相互交叉连接的纤维状共晶硅^[7].此外,又因稀土原子在硅铝相交界面、硅相分枝和转折的夹角等处富集,促使硅相产生缩颈和熔断,形成变质后合金中存在的短杆状和粒状共晶硅^[8].

4.3 稀土对铝合金熔体的净化作用

1) 稀土的去气作用.氢是铝铸件中产生针孔的主要原因,能显著降低铝合金的强度.稀土元素能与氢相互作用生成稳定稀土氢化物(ReH₂、ReH₃),从而改变氢在铝液中的状态,降低铝液中游离氢的含量^[2].以La为例:



其焓变为 $\Delta H_{298\text{K}} = -207\,625.6 \text{ J/mol}$,

其熵变为 $\Delta S_{298\text{K}} = -148.63 \text{ J/K} \cdot \text{mol}$.

在共晶点附近温度580℃,即853K时,反应的自由能变为:

$$\Delta G_{853\text{K}} = \Delta H_{298\text{K}} - T \times \Delta S_{298\text{K}} = -80\,844.21 \text{ J} < 0.$$

因此,从热力学上讲,稀土元素均可能在铝硅合金共晶温度时与熔体中的[H]形成氢化物,而且氢化反应是放热反应,随温度下降,此反应更易进行,所以在液态铝中,加入稀土时,从理论上讲完全可以形成稳定的稀土氢化物,且随着温度下降,这种氢化物越来越稳定,从而达到固氢的作用.

2) 稀土的除杂作用^[7].在铝合金中的夹杂物主要

是Al₂O₃,它的存在不仅使合金的加工性能和机械性能降低,而且恶化铸造性能.以La为例:



反应的自由能变可表示为:

$$\Delta G = -76\,500 + 68.13 T.$$

当合金温度为720℃,即在993K时其自由能变: $\Delta G = -8\,848 \text{ J} < 0$,因此,从热力学上讲,在标准状态下,稀土元素均能将Al₂O₃中的Al还原出来,使铝液中的Al₂O₃夹杂物含量明显降低.此外,稀土氧化物具有熔点高、比重大的特点,很容易进入熔渣中.

5 结论

1) 经过成分优化,采用混和稀土变质成功研制了一种高性能压铸铝合金——ADC12.1R.

2) 采用混合稀土对压铸铝合金进行变质处理,可使合金的组织得到明显的改善,初生硅被抑制和细化,共晶硅由针片状转变为短杆状和粒状,ADC12.1R合金铸态力学性能(重力浇注)达到:拉伸强度(σ_b)为254.9MPa、延伸率(δ_5)为2.925%、硬度(HBS)为102,其综合力学性能优于我国目前生产中常用压铸铝合金ZL112Y.

3) 通过合金材料实际零件的压铸生产试验表明,ADC12.1R具有良好的压铸成形性、出型性及切削加工性能,能够满足工业生产应用的要求.

参考文献:

- [1] 陈荣石,穆光华.高强度压铸铝合金及其热处理研究[J].铸造设备研究,1998,20(6):52-54.
- [2] 李华基,刘昌明.稀土和镧变质的Al-Si-Mg合金[J].重庆大学学报(自然科学版),2000,23(4):26-29.
- [3] 唐多光,毛协民.稀土变质消除铝合金铸件中硬质点[J].特种铸造及有色合金,2001,1:40-43.
- [4] CHANG J Y, KIM G H, MOON I G, et al. RE Concentration in the Primary Si Crystal in RE Added Al-21wt% Si Alloy[J]. Script Mater, 1998, 39(3):307-314.
- [5] 陈玉勇,贾均.稀土对铝合金处理效果的研究[J].中国稀土学报,1989,7(3):41-46.
- [6] 姚书芳,毛卫民.铸造铝硅合金细化变质处理的研究进展[J].铸造,2000,49(9):512-515.
- [7] 唐多光,李庆春.铸造铝合金精炼变质途径的新探讨[J].特种铸造及有色合金,1999,5:42-44.
- [8] 钟声.稀土在铝硅合金中细化和变质作用微观机制[J].长春大学学报,2001,11(4):9-11.

Review of Application of Compton Scattering to Nondestructive Evaluation of Materials

LI Zhi-hai¹, ZHOU Shang-q¹, LIU Shou-ping¹, SHI Quan¹, QIU Shao-yu², LI Cong²

(1. College of Materials Science and Engineering, Chongqing University, Chongqing 400030, China;

2. National Key Laboratory for Nuclear Fuel and Materials, Nuclear of Power Institute of China, Chengdu 610041, China)

Abstract: Compton Scattering occurs when the incident x-ray (or γ -ray) photon ejects a electron from an atom and an x-ray photon of longer wavelength is scattered from the atom. It is proved that the scattering wavelength varies with the scattering angle, and the scattering intensity depends on the atomic number and electron density of the scatted volume. The authors introduce the main applications of Compton scattering-density measurement, thickness measurement and flaw detection with Compton scatter imaging and other applications in the field of security testing, medicine technology and food processing. Review of application of Compton scattering to nondestructive evaluation of materials is also given.

Key words: Compton scattering; Compton scatter imaging; nondestructive evaluation

(编辑 李胜春)

(上接第26页)

Study and Application of High Property Die Casting Al Alloy

RAO Jin-song, LI Hua-ji, WANG Cui-ling, XUE Han-song

(College of Mechanical Engineering, Chongqing University, Chongqing 400030, China)

Abstract: A kind of new high property die casting Al alloy is developed by ingredient optimum design and modification treatment on the base of Japanese ADC12 alloy. It is seen from the result of the new alloy experiment of gravity pouring in metal mold that the as-cast mechanics property values of tensile strength (σ_b) 254.9 MPa, elongation (δ_5) 2.925% and hardness (HBS)102 are all better than ZY112Y alloy. The practical production test shows that this kind of die casting Al alloy has good performance of shaping, discharging from mold and machining. It can satisfy the requirements of the industrial production.

Key words: die casting Al alloy; ingredient optimum; RE; modification; mechanical property

(编辑 成孝义)