

我国精铸原辅材料的现状和发展

陈冰

(北京航空航天大学)

摘要 论述了精铸原辅材料的发展现状和存在的不足,以及解决的措施。模料焙烧后形成的碳渣会导致铸件夹杂和反应性气孔出现,通过多层过滤和离心分离能消除这些缺陷。介绍了不同型壳材料的性能,及其存在问题和国内外的改进方法。对粘结剂和合金材料的应用,进行了简述,并对未来的发展作了说明。

关键词 精铸;原辅材料;硅溶胶

中图分类号 TG249.5

文献标志码 A

文章编号 1001-2249(2011)01-0153-04

DOI:10.3870/tzzz.2011.02.019

1 模料

从20世纪80年代以来,我国精铸模料的生产从自给自足逐步转变为专业化商品生产,目前已经有多品种、系列化的产品,但普遍存在回用性不佳、性能和质量不稳定的问题,因而,国产化率较低,无论产品开发、生产过程控制和质量监控等方面和国外的差距都十分明显。

需要强调指出的是,目前国内在模料回收-再生处理方面进展缓慢,问题依然较大。蒸气脱蜡后回收的旧蜡中常含有大约0.5% (质量分数,下同)的主要来自型壳的陶瓷类夹杂物 and 不同种类的氧化树脂,成为模料中残留灰分的主要来源。根据型壳焙烧程度,残灰有两种表现形式:型壳焙烧不充分表现为不同形态的“碳渣”(见图1)^[1],彻底焙烧后“碳渣”被烧尽,剩余陶瓷粉末。二者均为非金属夹杂的重要来源,前者不仅可能造成铸件夹杂,还可能产生反应性气孔(见图2)。

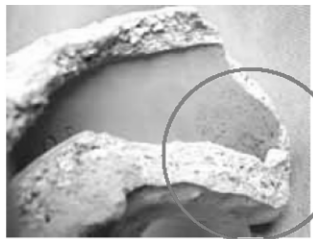


图1 焙烧后型壳中的模料残灰



图2 铸件中产生的气孔

目前去除灰分主要有以下2种基本手段。

(1)多层过滤 过滤网层数 >20 ,前面的滤网由金属丝编织而成,过滤较粗大的颗粒和氧化树脂;后面的则是一次性使用的纸质纤维材料,过滤细小颗粒。设备结构示意图见图3。

(2)离心分离 采用高速离心机将粉尘和水分分离出

去,获得灰分小于0.05%的纯净蜡液。较之于过滤法,此法效率较高,且无需专门脱水处理工序,更适合生产厂家现场使用。图4为离心分离法原理图^[2]。离心机需经常清理,定期清除附着在内壁上的固体沉积物。

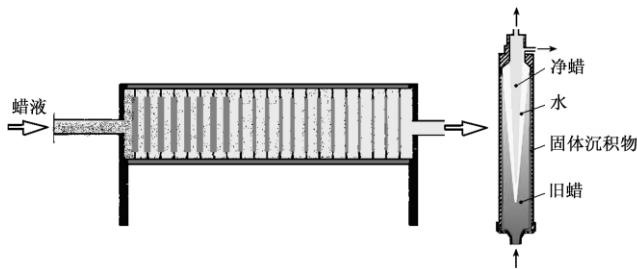


图3 过滤器设备结构简图

图4 离心分离机原理图

2 制壳耐火材料

2.1 面层耐火材料

2.1.1 锆石

锆石作为精铸型壳最佳的面层材料已成为国内外精铸界的共识。然而,由于锆石是天然矿产,含有某些有机物和其他杂质就不可避免。其中有的(特别是 Fe_2O_3 、磷酸钙等)会和涂料中的粘结剂、添加剂或其他耐火材料反应,使涂料浆pH值改变而迅速老化变质,使焙烧后的型壳内表面出现成片红斑或灰斑,造成铸件表面产生“黑皮”(见图5)^[2]。如 Fe_2O_3 含量严重超标、型壳耐火度严重受损,铸件表面则可能出现“灼伤”,乃至面目全非(见图6)^[1]。利用以电磁感应原理为基础的JSII-G1磁性物分析仪,测定粉料和撒砂料中磁性物含量,能有效遏制耐火粉料和撒砂料中微量感磁物质(如Fe、Mn、Ni、Co等杂质),与化学分析方法比较,其更为方便快捷,测量精度也能满足一般要求,适合生产现场使用。

目前国内生产锆石粉存在的又一问题是不重视

收稿日期:2010-11-20

作者简介:陈冰,男,1938年出生,教授,北京航空航天大学,通讯地址:北京航空航天大学内803楼1403室(100083),电话:010-82313235,E-mail:chenb803@yahoo.com.cn



图5 铸件表面“黑皮”



图6 铸件表面“灼伤”

粒度级配,不认真检测和控制粉料粒度级配,造成涂料浆粉液比波动大,影响型壳和铸件表面质量。耐火材料生产厂家应采用沉降管法或光电沉降仪法检测粉料的粒度组成,图7为美国生产锆石粉典型的粒度分布。

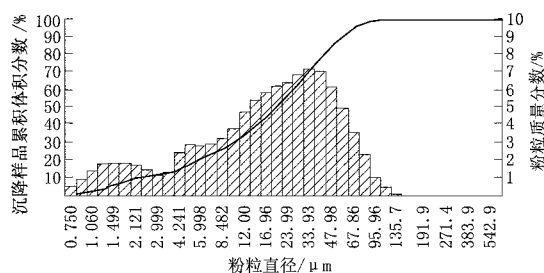


图7 锆石粉典型的粒度分布

作为面层撒砂料,混杂在锆砂中的铁质颗粒,无论以何种形式存在(包括游离Fe、或 Fe_2O_3 、 FeO 和 Fe_3O_4 等),都可能在型壳焙烧过程中转变成硅酸铁,在型壳内表面形成“墨点”(见图8),铸件相应部位则出现硅酸铁黑褐色斑疤或丘疹。利用专门的永久磁铁检测撒砂料中的Fe质颗粒,不失为一种简便快捷的方法。

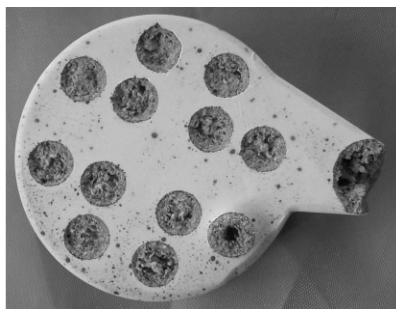


图8 型壳表面“墨点”

锆石属不可再生资源,全球储量不大。近年来更由于某些新兴国家经济快速发展,令锆石货源短缺,供应紧张、价格飙升,寻求新的面层制壳耐火材料成为摆在国内外精铸工作者面前的紧迫问题。近年来国外不乏采用熔融石英或刚玉作为锆石替代材料的报道。

2.1.2 熔融石英

熔融石英是天然优质石英经高温熔融后快速冷却所得非晶态产品,其纯净度高,铸件表面缺陷少,容易清砂。由于资源广泛、货源充足、成本比锆石低得多。但使用熔融石英粉料时,涂料粉液比不易达到期望的水

平,涂挂性不如锆石粉。浆料在蜡模边沿和棱角处容易流失,铸件棱角处容易产生飞边、毛刺;而在内角、凹槽则容易堆积,造成铸件夹砂等缺陷(见图9)。合理级配粉料粒度是解决此类问题的关键。图10为美国Minco公司生产的200F熔融石英粉的粒度分布^[3]。



图9 熔融石英作面层时产生的钢液渗漏

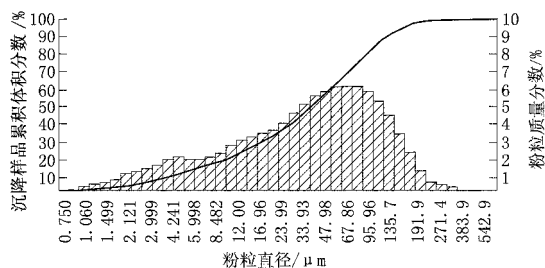


图10 200F 熔融石英粉的粒度分布

此外,由于熔融石英热膨胀系数很小,只用作面层材料时与背层材料的热膨胀系数不匹配,造成型壳焙烧时面层涂料层龟裂,铸件表面出现网状毛刺——脉纹(见图11)^[1]。此问题可考虑通过调整涂料和撒砂料的组成(不同耐火材料按适当比例混合),以缩小面层和加固层热膨胀系数的差异。

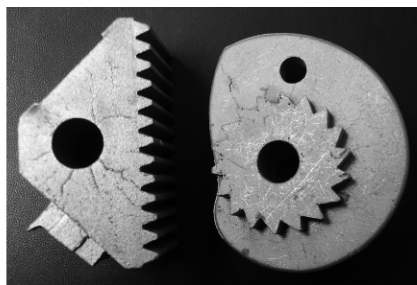


图11 熔融石英面层龟裂造成的脉纹

2.1.3 氧化铝 Al_2O_3 (含电熔刚玉和烧结刚玉)

Al_2O_3 的同质异晶体有6种,其中 $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ 属高温稳定型。这是因为其他各种晶型在高温下都将不可逆地转变为 α 型。凡岩相组成中主晶相为 $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ 的材料统称为刚玉。常见有电熔刚玉、轻烧($1400\sim 1450^\circ\text{C}$)刚玉和烧结($1750\sim 1800^\circ\text{C}$)刚玉。

(1)电熔白刚玉 我国熔模铸造用电熔白刚玉没有国家标准,只有航空工业标准HB 5347-1986。该标准对精铸用电熔白刚玉粉的化学成分、粒度级配作了明确规定,后又应某些厂家的要求增加了 $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ 含量 $\geq 90\%$ (质量分数)的规定。实践证明,凡化学成分、粒度

级配符合该标准要求的电熔刚玉粉与硅溶胶或硅酸乙酯粘结剂配制,面层涂料能满足生产精铸件的要求。但以此作为锆石的代用材料,成本并不占多大优势。如采用磨料级电熔刚玉,则由于粉料粒度分布窄,涂料浆粉液比达不到期望值,使铸件表面粗糙且清砂难,如果要使用此类材料作面层涂料,粒度须经适当级配。此外,涂料浆寿命往往也是需要解决的问题。

(2)轻烧或烧结刚玉 此类刚玉粉与硅溶胶配制面层涂料存在的问题是涂料浆寿命。在生产过程中,为了去除碱和碱土金属氧化物以及氧化铁等杂质,通常采用酸洗方法,使粉料中的残留酸难以除净,致使本应为中性的刚玉粉加水混合而成的浆料 pH 由中性降低至 4.0 左右,与硅溶胶配成涂料后 pH 从 10.4 下降到约 9.0,涂料粘度在 2~3 日内变化明显。所以,除尽残酸、随时监控涂料的 pH 值显得格外重要。

面层撒砂料采用烧结刚玉砂,由于二氧化硅含量低,有助于防止型壳表面产生硅酸铁“墨点”,而且价钱比锆砂便宜,但脱壳性稍差,采用化学清砂方法(如碱爆、碱煮等)尤甚。撒砂料中 Fe 质颗粒也必须严格控制,否则,焙烧后的型壳表面仍可能出现“墨点”,但此时出现的“墨点”不是硅酸铁,而是以铁铝尖晶石为主成分的复杂多元低熔点化合物。

近年来,国外也有采用刚玉作为锆石代用材料的报道,称刚玉粉与硅溶胶配制涂料面临的最大问题就是涂料寿命,普遍认为产生此问题的根本原因是由于氧化铝属两性氧化物,会与硅溶胶中的 NaOH 反应,造成 pH 下降,进而影响涂料浆寿命。于是,针对此问题提出如下对策:①采用对 pH 值变化不敏感的 Al^{3+} 表面改性硅溶胶(见图 12);②在刚玉粉表面涂覆二氧化硅膜(见图 13)^[4]。

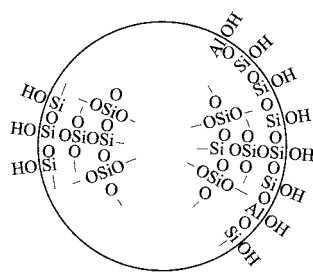


图 12 Al^{3+} 表面改性硅溶胶

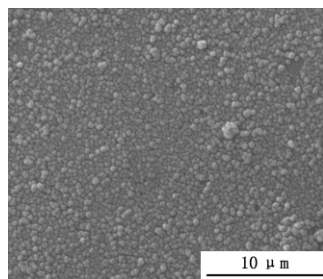


图 13 表面涂覆二氧化硅膜的刚玉粉

2.1.4 Al-Si 系耐火材料

鉴于耐火度限制,Al-Si 系耐火材料通常不作为铸钢精铸件的面层材料,但近年来国外有用烧结莫来石作面层撒砂料的报道,认为粒形好的烧结莫来石砂(商品名 REMASIL® 60 RG100)也是一种较理想的面层撒砂代用材料,其化学成分和粒形分别见表 1 和图 14^[5]。

表 1 REMASIL® 60 RG100 的化学成分和岩相组成^[8]

	$w_B/\%$			
	Al_2O_3	SiO_2	TiO_2	Fe_2O_3
	59	37	2.5	1.5
岩相组成	77% 莫来石 + 23% 玻璃相			

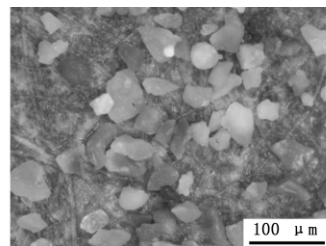


图 14 烧结莫来石砂粒形

2.2 背层耐火材料

2.2.1 Al-Si 系耐火材料

由于价格低廉、货源充足,国内外精铸型壳背层耐火材料主要使用 Al-Si 系耐火材料。我国此类耐火材料不但资源丰富,而且分布面广,但问题是生产厂家的质量差别较大。由于选矿不当,煅烧温度控制不严,产品化学成分和岩相组成缺乏保障,杂质(特别是 Fe_2O_3)含量高,影响涂料浆寿命和型壳耐火度和强度,使之成为型壳性能波动大的主要因素之一。过去通常认为背层撒砂料不会对铸件表面质量产生影响。其实,由于硅酸铁熔点低,且熔融后粘度小,距离型腔表面最近的硅酸铁砂粒在高温下完全可能被熔融并渗透到型壳表面形成较大孤立而分散的“墨点”(见图 15)^[1],铸件表面相应部位则产生黑斑(见图 16)^[1]。



图 15 型壳表面“墨点”

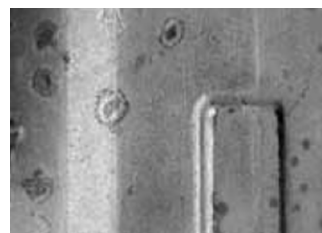


图 16 铸件表面黑斑

2.2.2 熔融石英

用熔融石英作背层材料最大的好处是热膨胀系数小,脱壳性好,但不能重复焙烧。一次焙烧后应立即浇注,且其成本比 Al-Si 系耐火材料高,所以,在美国应用较普遍,国内目前应用较少。

无论面层还是背层撒砂料均需严格控制粉尘含量,以免造成型壳分层及其他缺陷。

3 粘结剂硅溶胶

满足一般需求的标准型国产硅溶胶从总体来看质量较稳定,但聚合物或纤维增强的快干硅溶胶和特殊用途粘结剂与国外同类产品还存在较大差距。而且粘结

剂和耐火材料的匹配和协调等方面也不尽如人意,例如粉料改用氧化铝后的涂料稳定性和寿命问题;又如改用熔融石英后面层涂料流动性、涂挂性等与粘结剂匹配就存在问题。另外,目前精铸型壳普遍存在干燥速度慢、制壳周期长、脱壳性欠佳等问题,也要求粘结剂能进一步改进。一些特殊用途粘结剂(如用于浇注 Ti 和 TiAl 型壳粘结剂)需要深入研究和开发。

上述情况进一步反映出我国对硅溶胶的基础研究较薄弱,应用研究也跟不上实际需求。早在 20 世纪 70 年代,美国对硅溶胶的微观结构,例如胶粒直径控制和表面改性等方面就已进行了相当深入的研究,多种规格和用途的硅溶胶如雨后天春笋般涌现出来,商品硅溶胶 SiO_2 浓度最高可达 50% (现在更高达 60%); 胶体粒子直径为 4~36 nm; 离子稳定剂除 NaO 外,还有 NH_3 、 HCl 、 Al_2O_3 等多个品种,既有常规的 $\text{pH} \approx 9.0 \sim 11.0$ 的碱性硅溶胶,也有 $\text{pH} \approx 3.0$ 的酸性和 $\text{pH} \approx 4.0$ 的弱酸性硅溶胶^[6]。正是由于在常规标准硅溶胶生产方面的基础研究,为以后研制和开发聚合物或纤维增强硅溶胶打下了坚实基础。

4 合金料

4.1 合金化学成分控制(包括原材料和铸件)

许多企业只重视控制合金主要成分而忽视杂质元素,所以,为了慎重起见,企业共享数据库中应有标准原文,并随时更新。另外,对某些危害严重的杂质元素还缺乏统一认识,例如,近年来国内一些企业生产的碳钢、低合金钢铸件又出现“脆断”,其实这一问题 20 世纪 70 年代就曾出现过,并一度成为当时业界内相当普遍存在的问题。后来,经研究发现是脱氧过程加铝过量或钢液被 B 污染所致。特别需要指出的是,许多发达国家的企业标准通常要比国际或国家标准的要求更严格,这当中就包含有企业自身的许多经验教训或试验和研究成果。例如对某些特殊用途钢, S 含量应低于 0.008% 而非 0.030%, 以避免产生显微疏松、微裂纹等微小或微观铸造缺陷,合金的工艺性能也更加稳定,有利于提高铸件抗疲劳、耐磨、耐腐蚀等性能。

4.2 炉料

目前国内精铸厂家大多采用由边角废料压成的打包料或回炉料作为金属炉料的主要来源。对于打包料,其化学成分一致性较差,混杂各种杂质元素的几率很大,而且熔炼过程中氧化严重。至于回炉料,按照目前国内流行的熔炼工艺,其中包含的夹杂物只会越积越

多。这种生产方式如不改变,要想稳定现有产品质量就很困难,更谈不上调整产品结构。合金料生产厂家如能提供经 AOD(氩-氧联合精炼)法的连续铸造母合金锭,并严格控制其化学成分、显微组织和性能,而精铸生产厂家广泛而有效地采用惰性气体保护下熔炼、浇注,或采用小型感应炉快速熔炼,或采用翻转炉熔炼浇注,以最大限度避免熔炼过程中合金氧化、吸气,铸件性能和冶金质量就将有希望迈上一个新台阶。采用感应炉熔炼低碳不锈钢或双相不锈钢时,低的含 C 量和加入合金化元素将使成本明显增加。一个现实和经济的办法就是采用 AOD 法生产的母合金锭。此法很容易将 C 含量降低至 0.01% 以下, N_2 气允许直接加入熔体中,并可将 S 含量降低至百万分之一级, MnS 夹杂将显著减少^[7]。

5 结语

精铸生产厂和原辅材料、设备供应厂商是同一个产业链上的不同环节,是利益共同体。从国外精铸业发展的经验看,精铸工业的发展,在很大程度上也就是原辅材料和设备的发展,可以说,原辅材料和设备的发展是精铸工业发展的主要推动力之一。希望我国精铸原辅材料和设备生产厂商能根据生产厂家不断变化发展的实际需求,研制和开发出更多的新材料、新设备,促进我国精铸工业的不断发展进步。

参 考 文 献

- [1] 陈冰. 熔模铸件缺陷分析及对策[C]. 武汉: 中国铸造协会精铸分会, 2007.
- [2] HANK HARVEY. The benefits of recycling wax in an investment casting foundry[J]. Incast, 2005(3): 20-22.
- [3] JERRY D. SNOW, DAVID H., et al. Permeable Prime Coats: Effect On Dewax Shell Cracking[C]. Investment Casting Institute 50th Technical Conference & Expo, USA, 2002.
- [4] CARTY W M. Using A Silica-Coated Alumina Grain to Extend Investment Casting Shell Suspension Lifetimes[C]. Investment Casting Institute 56th Technical Conference & Expo, USA, 2009.
- [5] MANUEL GUERRA JR. Reducing Zircon Sand Usage[C]. Investment Casting Institute 54th Technical Conference & Expo, USA, 2006.
- [6] RALPH K ILER. The Chemistry of Silica[M]. New York: Wiley-Interscience Publication, 1979: 416-418.
- [7] STEVE SIKKENG. Duplex Stainless Steels[C]. Investment Casting Institute 42th Technical Conference & Expo, USA, 1994.

(编辑: 张正贺)

cation, Lanzhou University of Technology, Lanzhou, China) 2011,31(2)0145~0148

Abstract Reverse squeezing casting AM60B magnesium alloy wheel was conducted. Forming process of the wheel was described. With mould temperature of 240~280 °C, pouring temperature of 680~700 °C, reverse squeezing force of 82~100 MPa for 20~25s and filling velocity of 0.91 m/s, mechanical properties of AM60B magnesium alloy wheel can reach 218~227 MPa in tensile strength, 66~71 in hardness (HBS) and 9.8%~10.7% in elongation as well as $(17.5\sim 18.7)\times 10^4$ J/m² in impact toughness, respectively.

Key Words: Magnesium Alloy, Wheel, Reverse Squeezing Casting

Wear Behavior of As-extruded Magnesium Alloy AZ61

Hu Zhi¹, Yan Hong¹, Nie Qiao², Zhou Guohua^{1,3}, Liu Xiaoliang¹ (1. Institute of Advanced Forming, Nanchang University, Nanchang, China; 2. Jiangxi Jiangling Non-ferrous Die Casting Plant, Nanchang, China; 3. Physical Science and Technology College, Yichun University, Yichun, China) 2011,31(2)0149~0152

Abstract Wear behavior of as-extruded magnesium alloy AZ61 was examined at loading of 10~120 N and sliding velocity of 0.5~1.5 m/s. Microstructure of worn surface was observed by SEM (scanning electron microscope), and wear mechanism of the materials at different loadings was described. The results show that wear weight loss is increased with increasing in sliding velocity and loading. Wear mechanism of the as-extruded AZ61 magnesium alloy is classified into mild wear and severe wear. Abrasive wear, oxidation and delamination wear are the dominant wear mechanisms in the mild wear, where wear degree and wear rate exhibits mild and small. With loading increasing to 100 N and 120 N, plastic deformation and surface melting are the dominant role in the severe wear, where wear degree and wear area are more serious and larger.

Key Words: AZ61 Magnesium Alloy, Wear Behavior, Mild Wear, Severe Wear

Present Status and Development of Raw-auxiliary Materials for Investment Casting at Home Chen Bing (Beihang University, Beijing, China) 2011, 31(2)

0153~0156

Abstract Present status and existing shortcomings of raw-auxiliary materials for investment casting were reviewed, and countermeasures were presented. Carbon slag resulted from baked pattern can result in inclusion and reactive gas hole in the investment castings. These defects can be eliminated through multi-pile filtration and centrifugal separation. Properties of different shell mold materials and its problems as well as improving measures were surveyed. Application of bonding agent and alloy materials was introduced briefly, and developing tendency was proposed.

Key Words: Investment Casting, Raw-auxiliary Materials, Sol Silicate

Control System Design of Horizontal Ohno Continuous Casting Machine Chen Xiaochun (Jiangyin Polytechnic College, Jiangyin, China) 2011,31(2)0157~0159

Abstract A control system for realizing temperature, fluid position height and pulling velocity during Ohno continuous casting process was described, which was composed of AI-808 artificial intelligent temperature controller with fuzzy self regulating to decide PID control function, touchscreen and PLC. The practical application shows that the control system exhibits the advantages of simple operation, reliable work and short developing period, friendly man-computer interface as well as subjected to adverse circumstance.

Key Words: OCC, Temperature Controller, PLC, Touchscreen

Countermeasures of Mud-core Sintering for Forklift Balancer——Combination Application of Alcohol Cr-Fe Powder Coating with Graphite Powder Coating Shan Baohua¹, Xie Mingguo¹, Wang Songlin², Wu Laifa¹, Wu Xiaoting¹ (1. Hefei Forging-casting Plant of Anhui Heli Holding Co., Ltd., Hefei, China; 2. Department of Mechanical Engineering, Anhui Tongling Institute, Tongling, China) 2011,31(1)0159~0160

Abstract Traditional technology for mud-core fabrication was modified to resolve the problems in mud-core sintering for balancer by analyzing sintering mechanism of the mud-core, obtaining acceptable effects. Formation of anti-sintering layer of mud core was greatly improved by combining graphite powder coating with alcohol Cr-Fe powder coating to resolve the per-