

镁合金消失模铸造成形技术的研究现状及进展

杨明波,赵玮霖,杨慧,陈健

(重庆工学院材料科学与工程系,重庆 400050)

摘要:消失模铸造成形技术作为镁合金一项有发展前途的铸造新技术,其开发成功对于推动镁合金的广泛应用具有重要的意义。本文综述了近年来国内外针对镁合金消失模铸造成形技术在充型过程、组织和性能控制等方面的研究概况,并重点分析了工艺因素对充型过程的影响,指出了该技术目前还存在的问题,并对其今后的研究方向进行了展望。

关键词:消失模铸造;镁合金;充型过程;组织和性能

中图分类号:TG146.2+2;TG249.7 文献标识码:A 文章编号:1000-8365(2005)08-0670-04

Research and Development of EPC Process for Magnesium Alloys

YANG Ming-bo, ZHAO Wei-lin, YANG Hui, CHEN Jian

(Department of Materials Science and Engineering, Chongqing Institute of Technology, Chongqing 400050, China)

Abstract: Lost foam casting (LFC), as a potential technology for magnesium alloys, is significant for expanding application of magnesium alloy. In this paper, the current research status of LFC technology in mold-filling process, structure and properties for were reviewed and the effects of technological factors on the mold-filling process were analyzed emphatically. The existing problems and development direction in LFC were also pointed out.

Key words: EPC; Magnesium alloy; Mold-filling process; Structure and property

与普通砂型铸造、压力铸造、挤压铸造和金属型铸造等镁合金铸造成形技术相比,镁合金消失模铸造作为一种先进材料和先进工艺相结合的新技术,由于其自身具有的独特工艺优势^[1,2],使得国内外对于镁合金消失模铸造成形技术的研究开发一直予以了广泛的关注和高度的重视,并从充型过程、组织和性能控制等方面开展了许多卓有成效的工作^[3~18],取得了不少的成果。为了对镁合金消失模铸造成形技术这些已取得的研究成果有清楚的了解,本文综述了其研究开发的现状和最新进展。

1 镁合金消失模铸造成形技术

与镁合金压铸相比,镁合金消失模铸造可避免压铸昂贵的投资,并且平稳的充型过程还能克服压铸时的气孔缺陷,使镁合金铸件可通过热处理进一步提高力学性能,而与普通砂型铸造相比,由于镁合金消失模铸造采用不含抑制剂的干砂造型,除避免了镁合金与型砂中水分的接触和由此而产生的铸造缺陷外,还可减轻砂型铸造时的环境污染,并且消失模气化形成的

还原性气氛,还可抑制镁合金的氧化燃烧,从而避免了普通砂型铸造由于水分引起的镁合金燃烧难题^[5]。理论上镁合金热容量小、凝固潜热低和凝固区间大,似乎不适合消失模铸造成形,但美国铸造协会(AFS)和国内上海交通大学等单位的试验结果表明^[4~7]:只要工艺控制得当,如采用负压浇注、反重力可控气压浇注、合理设计浇注系统和提高浇注温度等,可以铸造出合格的镁合金消失模铸件。如2002年9月,《Foundry Management & Technology》、《Advanced Materials & Process》和《JOM》三家世界著名铸造期刊几乎同时对美国铸造协会(AFS)成功利用消失模铸造技术试验出合格的AE91E盒状和窗体铸件进行了报道^[2]。此外,国内上海交通大学在浇注温度为750和真空度为0.05 MPa条件下,采用消失模铸造也得到了充型完好、轮廓清晰的镁合金进气管铸件^[7],这些例子确认了消失模铸造成形技术完全可以用于镁合金消失模铸件的生产,消除了对于发展镁合金消失模铸造技术的疑虑,使人们看到了发展镁合金消失模铸造的美好前景。

2 镁合金消失模铸造成形技术的研究现状

2.1 镁合金消失模铸造充型过程的研究

(1) 浇注温度对充型过程的影响

据文献介绍,锌、铝、铜及铸铁消失模铸造过程中的充型速度几乎随浇注温度的升高而呈线性增加趋

收稿日期:2005-03-30; 修订日期:2005-05-21

基金项目:重庆市自然科学基金资助项目(8659);重庆市教委应用基础研究项目(KJ050603)

作者简介:杨明波(1971-),重庆南川人,副教授,从事轻合金材料及铸造成形技术研究。

Email: yangmingbo@cqit.edu.cn

势^[19]。作者针对 AZ91D 镁合金消失模铸造进行的研究结果表明^[11]:随着浇铸温度升高,充型速度开始呈增加趋势,但随着温度的进一步提高,充型速度又有下降的趋势。这主要是由于在镁合金的浇注温度范围内,模样在流动前沿液态金属热作用下的主要热解产物为熔融液态产物,气态产物的数量相当少,因此模样熔融速率与熔融产物排外型腔速率间的平衡直接决定了消失模铸造的充型速度。当浇注温度较低时,随着浇注温度的升高,模样的热解速度加快,界面前沿推移速度提高。但随着浇注温度进一步升高,大量产生的气态产物会造成模样热解产物的排出速度下降。此外,虽然浇注温度升高增加了金属液的热含量并有利于模样熔融速率的提高,但浇注温度升高到一定程度后,模样分解产物的类型会发生变化,小分子分解产物逐渐增多,这些大量产生的小分子气态产物在液态金属流动前沿会产生较大的反压力,阻碍了液态金属的充填,从而导致充型速度下降。

(2) 真空度对充型过程的影响

由于密度较低的镁合金液产生的金属压头较小,使得液态产物在金属/模样界面间的传输缓慢,容易发生气化反应,而且到达金属-模样-涂料界面时的大部分液态产物也因难以通过狭窄的涂料通道迅速渗出涂层而积聚在金属-模样-涂料界面附近。而这些积聚的液态产物增加了金属液的流动阻力和传热阻力,延长了流动金属前沿处液态产物持续覆盖在涂料表面上的时间,并且在金属-模样界面间将形成较多的气态产物,对流动金属液产生较大的反压力^[7]。此外,不抽真空时金属-模样界面间较多液态热解产物的气化分解会进一步消耗金属液热含量,并且镁合金较低的充型速度也会增大金属液向周围环境的散热损失,导致模样热解速度及热解产物的排除速度不断降低^[7]。因此抽真空对于像镁合金这样热容量较小、熔点又较低金属的消失模铸造尤其具有特别重要意义。

刘子利等^[16]认为不抽真空时 AZ91 镁合金液前沿呈微凸形平缓地向前推进,而抽真空时,金属液会优先沿模样壁充填型腔而使流动前沿呈不规则的凹形形态,并且流动形态的凹形程度随真空度的提高而增大。Cho 等^[14~15]等也认为 AZ91 镁合金的充型速度也会受到真空度的影响,如果不加真空,合金液流动前沿形态呈凸状,但一旦真空度达到约 6.7 kPa,合金液流动前沿形态则呈凹状。此外,真空度的高低还直接影响其它工艺因素对充型速度的影响程度^[6],真空度较低时,真空度与浇注温度对充型速度的影响存在极强的交互作用,随着浇注温度提高,平均充型速度迅速增大,其增大速率随真空度的提高而提高。而在较高真

空度下,平均充型速度仍随浇注温度的提高而增大,但增大速率却随真空度的进一步提高而降低,真空度与浇注温度对充型速度的交互作用很弱。

镁合金消失模铸造过程中抽真空形成负压有利于充填过程,但也并不意味着真空度越高越好,也存在真空度临界值问题。

(3) 模样材料对充型过程的影响

董选普等^[18]的研究表明:EPMMA 和 StMMA 模样材料与 EPS 模样材料相比,由于模样的热解产物中苯乙烯大分子等的含量要少,热解消耗的热量少,有利于镁合金的充型;模样热解产物中小分子的数量较多,而且大部分是还原性气体,有利于镁合金的阻燃;

泡沫发泡粒小,能够制造薄壁复杂铸件的模样。因此有可能更适合镁合金消失模铸造。尽管 EPMMA 和 StMMA 模样材料较 EPS 模样材料存在以上适合于镁合金消失模铸造的优势,但其存在的不足之处仍然让人难以对其应用前景抱大的希望,EPMMA 和 StMMA 模样材料较 EPS 模样材料不利于镁合金液充型的因素有:EPMMA 玻璃化转变温度高,坍塌温度高,要液化成比较稀的产物需要吸收较多热量,因此在浇注过程中会降低金属液前沿的温度;汽化温度较低,发气量大;气氛中小分子较多,容易从涂料的空隙中渗透溢出;在透气性较低的涂料中容易形成背压而影响充型。

由于模样密度直接决定了参与分解的高聚物的质量,因此模样密度必然会对金属充型速度有一定影响。据作者和其它研究者的研究结果^[2,11~13]:随着 EPS 模样密度的增加,AZ91D 镁合金消失模铸造平均充型速度呈下降趋势。这主要是由于模样密度越高,一方面发生热解需要的热容量越大,造成液态金属的温度下降较快,从而导致充型速度下降;另一方面模样密度越高,在单位时间产生的热解产物越多,大量聚集液态金属界面前沿的熔融产物必然会阻碍液态金属的充填,同样也会造成充型速度下降。此外,模样珠粒之间的孔隙对充型速度也有影响。如果孔隙多,那么高温的气态产物就可以进一步扩散到模样内部,对珠粒进行预热,从而加速模样分解,提高金属液充型速度。

(4) 浇注系统对充型过程的影响

吴和宝等^[10]的研究结果,可控气压下镁合金消失模铸造存在一个临界阻流面积,其大于重力消失模铸造临界阻流面积,且随着铸件模数的增大而增大,但其对充型速度的影响较小。事实上,只有当浇注系统的某个截面的面积小到能产生足够的阻力损失使得其截面流量不足以让型腔液面的前进速度大于模样分解产

物的逸出速度时,该截面才能成为阻流截面,并且模样分解产物的逸出速度越低,阻流截面面积越小,因此正常使用的浇注系统各组元截面积对充型速度没有太大影响。由此可以理解,内浇道的尺寸和数量对充型速度无明显影响,其位置的不同决定注入方式(底注、顶注、侧注)首先通过影响静压头,进而在主要因素不利于充型的情况下对充型速度产生一定影响,这一点在刘子利等^[6]的研究结果中得到了证实:浇注方式对AZ91合金流动形态和充型时间的影响不大,但与顶注式和侧注式相比,底注式充型最为平稳、浇注充型时间最长,其次分别为侧注式和顶注式。

静压头对镁合金消失模铸造充型速度有一定的影响,但不是决定性影响。静压头和充型速度之间的关系受模样材料、涂料、真空度等因素的影响较大,目前关于这方面的研究还基本没有开展。

(5) 涂层和模样尺寸对充型过程的影响

涂层对充型过程的影响主要体现在阻碍模样分解产物的逸出。由于涂层对液态分解产物溢出速度的影响比对气态产物的大得多,因此涂层对充型速度影响的显著性与模样分解产物的类型及数量有关。在镁合金的浇注温度范围内,由于EPS模样液态分解产物的分子量大、粘度高和流动性差,对涂料的渗透能力较差,因此涂层对镁合金充型速度的影响相对较明显。但需要注意的是,涂层对充型速度的影响与铸件几何形状密切相关,当模样的模数较大时,涂层可供分解产物逸出的暴露面积相对较小,其对充型速度的影响显著下降。此外,涂层绝热性能也会影响充型前沿液态金属及模样液态分解产物的温度,从而影响金属液的流速和泡沫的分解速度及液态分解产物的逸出速度,进而影响充型速度^[19]。

在目前进行的镁合金消失模铸造充型研究中,对模样尺寸和涂料透气性对镁合金消失模铸造充型速度的影响基本上考虑较少。但这并不说明它们对合金充型速度的影响不大。实际上,由于模样的形貌尺寸和涂料的透气性会分别对模样的熔融速率和金属/模样界面间熔融产物的排除速率产生较大的影响,因此它们同样是影响镁合金消失模铸造充型速度的重要因素。

2.2 消失模铸造镁合金的组织 and 性能研究

田学锋等^[16]对消失模重力铸造及随后热处理条件下AZ91合金的组织 and 力学性能进行了研究,结果表明:AZ91镁合金消失模铸件在铸态下的组织除主要由初生 γ -Mg枝晶及离异共晶沉淀相 γ -Mg₁₇Al₁₂组成外,还存在其他工艺条件下未曾发现的新相Al₃₂Mn₁₅,而获得的合金的各项力学性能均高于合金

树脂砂型铸造时的各对应值,并且经过热处理后合金的综合力学性能还有较大幅度提高。刘子利等^[17]对消失模铸造阻燃镁合金AZBR1(Mg-9Al-0.5Zn-0.3Be-RE)的组织 and 力学性能进行试验研究后发现:RE的加入在组织中出现了枝条状共晶Al₁₁RE₃相,并未形成粗大Al₂RE相,同时晶界上离异共晶相的数量大大减小,且呈不连续网状或孤立块状分布。当降低模样厚度和浇注温度时,合金组织明显细化,共晶Al₁₁RE₃相和相的尺寸减小,分布更为均匀。而合金的力学性能与消失模铸造AZ91镁合金的基本相当,断裂方式为以解理为主的脆性断裂。此外,刘子利等^[4]还研究了模样厚度、位置和真空度对消失模铸造AZ91镁合金铸件质量、组织及力学性能的影响,其研究结果表明:在真空浇注条件下合金的组织被明显细化,但真空度进一步增大时细化效果却不明显。此外,试验结果还发现:镁合金消失模铸件的显微组织具有较大的壁厚效应,其中铸件位置对组织的影响与是否采用抽真空措施有关,当铸件壁厚较小时,铸件的力学性能总体较差。

3 结束语

尽管国内外针对镁合金消失模铸造成形技术在充型过程、组织和性能控制等方面已开展了一定的研究,并取得了一定的成绩,但总的来讲存在以下几个主要问题:用于消失模铸造成形技术研究的镁合金材料的种类还较少,目前主要集中在AZ91合金系,而其它镁合金材料的消失模铸造成形工艺的研究涉及较少。组织和性能控制方面的研究工作才开始,目前的研究还仅局限在对特定镁合金材料在特定消失模工艺条件下合金的组织 and 性能进行研究,对于不同材料在不同工艺条件下的组织和性能变化研究较少。产品开发和应用基本上刚起步,虽然目前已试制出了汽车进气歧管等镁合金消失模铸件,但离工业化应用存在相当的距离。很多基础性方面的工作还没有开展,如用于镁合金消失模铸造的涂料的研制,不同模样材料对镁合金消失模铸造成形工艺及其组织性能的影响,充填入干砂的粒度和紧实度对镁合金消失模铸造充型性能的影响,镁合金消失模表面铸渗技术研究和镁合金消失模铸造成形过程的数值模拟研究等,可以设想,如果这些问题能够得到有效解决,那么镁合金消失模铸造成形技术的工业化应用进程将会大大加快。

参考文献

- [1] 董选普,樊自田,黄乃瑜,等. 镁合金消失模铸造的优势及关键[J]. 特种铸造及有色合金, 2003, (4): 30-32.

- [2] 张大付,吴和宝,樊自田. 镁合金的性能特征及其消失模铸造研究的新动向[J]. 中国铸造装备与技术, 2004, (3): 4-8.
- [3] 吴和宝,樊自田,黄乃瑜,等. 可控气压下镁合金消失模铸造工艺参数的研究[J]. 铸造, 2004, 53(8): 583-586.
- [4] 刘子利,丁文江,朱燕萍,等. 镁合金进气歧管消失模铸造工艺的试验初探[J]. 汽车工艺与材料, 2001, (11): 6-9.
- [5] 刘子利,丁文江,胡晶玉,等. 消失模铸造 AZ91 镁合金的研究[J]. 材料科学与工艺, 2001, 9(2): 189-194.
- [6] 刘子利,吴国华,丁文江,等. 镁合金负压消失模铸造充型过程的研究[J]. 铸造, 2002, 51(4): 209-213.
- [7] 刘子利,吴国华,丁文江,等. AZ91 镁合金负压消失模铸造充型速度的研究[J]. 航空材料学报, 2002, 22(2): 12-16.
- [8] Liu Zili, Hu Jingyu, Ding Wenjiang, et al. Effect of Processing Parameters on Mold Filling in Magnesium Alloy EPC Process[J]. AFS Trans, 2001, 101: 1-14.
- [9] Zili Liu, Jingyu Hu, Qudong Wang, et al. Evaluation of the Effect of Vacuum on Mold Filling in the Magnesium EPC Process [J]. Journal of Materials Processing Technology, 2002, 120: 94-100
- [10] 吴和宝,樊自田,黄乃瑜,等. 镁合金反重力消失模铸造临界阻流面积的研究[J]. 特种铸造及有色合金, 2004, (6): 65-66.
- [11] Mingbo Yang, Fusheng Pan, Shuangquan Tang. Effects of Technological Factors on Mold-filling Velocity of Magnesium Alloys in the Expendable Pattern Casting (EPC) Process[J]. Materials Science Forum, 2005, 488-489: 317-320.
- [12] 胡晶玉,刘子利,王渠东. AZ91 镁合金负压消失模铸造流动性的研究[J]. 特种铸造及有色合金, 2000, (3): 16-19.
- [13] L Bichler, C Ravindran, A Machin. Challenges in Lost Foam Casting of AZ91 alloy [J]. Materials Science Forum, 2003, 426-432: 533-538.
- [14] G S Cho, K W Lee, S K Kim, et al. Expendable Pattern Casting of AZ91D Magnesium alloy [J]. Materials Science Forum, 2003, 426-432: 623-628.
- [15] G S Cho, K W Lee, A L Kenaga. Molding Filling Behavior of AZ91D Mg Alloy in the EPC Process[C]. Proceeding of the 1st KoreaJapan Conference for Young Foundry Engineers, Japan, 2002: 195-197.
- [16] 田学锋,樊自田,黄乃瑜,等. 消失模重力铸造镁合金组织及性能的研究[J]. 特种铸造及有色合金, 2004, (5): 51-53.
- [17] 刘子利,陶杰,李子全,等. 消失模铸造阻燃镁合金的组织与力学性能[J]. 南京航空航天大学学报, 2004, 36(4): 407-411.
- [18] 董选普,樊自田,黄乃瑜,等. 镁合金消失模铸造模样的热解特征[J]. 铸造, 2005, 54(2): 134-137.
- [19] 袁子洲,优珊. 消失模铸造工艺因素对金属液充型速度影响的研究述评[J]. 铸造, 2003, 52(9): 652-656.

邮购

铸造技术资料

资料名称	邮购价
铸件均衡凝固技术及其应用(机械工业出版社)	62 元
铸件浇注系统当冒口补缩设计方法(西安理工大学)	44 元
型砂(第 2 版)(上海科技出版社)	70 元
负压实型铸造及铸件质量(冶金工业出版社)	28.5 元
合金元素在铸铁中的应用(西安交通大学出版社)	15 元
《铸造技术》杂志 1995~2003 年(1 年 6 册)	51 元
《铸造技术》杂志 2004 年(1 年 12 册)	99 元
《铸造技术》杂志 2005 年(1 年 12 期分寄)	96 元(挂号 132 元)
铸造手册(第 6 卷)特种铸造(第 2 版)	82 元
铸造手册(第 5 卷)铸造工艺(第 2 版)	98 元
铸造手册(第 4 卷)造型材料(第 2 版)	48 元
铸造手册(第 3 卷)铸造非铁合金(第 2 版)	78 元
铸造手册(第 2 卷)铸钢(第 2 版)	74 元
铸造手册(第 1 卷)铸铁(第 2 版)	88 元
(铸造手册一套 6 册 468 元)	
新版《铸造技术标准手册》(中国物资出版社)	定价: 460.00 元
邮局汇款: 710048 西安理工大学 608# 铸造技术杂志社	
银行汇款户名: 西安市铸造学会	
帐号: 3700 0235 0908 9312 711	
开户行: 西安工行互助路分理处	
电话: (029) 82312292 82312421	
传真: (029) 83282430	
Email: zzjs @263. net. cn	