

不锈钢熔模铸件表面流纹的产生及防止

中国科学技术大学 许云祥*

蓬莱金义丰工业公司 邹广松 杨仁鸽 门秀英 李 磊

摘 要 详细分析了不锈钢熔模铸件表面流纹产生的原因,并提出了防止不锈钢铸件表面流纹的一系列措施。形成流纹的主要原因是型壳脱蜡时,在内表面形成了细小裂纹,浇注时型腔内气体被钢液逼入裂纹。有效防止流纹的措施包括:提高型壳透气性;提高浇注时型壳温度;降低钢液浇注温度等。

关键词: 熔模铸造 不锈钢 流纹

中图分类号: TG249.5 文献标识码: A 文章编号: 1001-2449(2001)06-0034-03

1 不锈钢熔模铸件表面流纹的产生

铸件表面流纹是铸件表面上深度为 0.05 ~ 1.00 mm 的流线状凹痕,是硅溶胶型壳不锈钢熔模铸件较常见的一种铸造缺陷。不锈钢熔模铸件表面流纹较容易产生在壁厚较厚、平面较大的外表面以及较大球形和圆柱面的外表面,而在铸件内腔却很少出现。

硅溶胶型壳熔模铸造碳钢件的生产实践表明:①扣箱生成密封的还原性气氛确实能大大减少表面流纹缺陷,但不能完全消除,表明氧化应是熔模铸造碳钢件产生表面流纹的主要原因之一,但不是唯一的原因;②铸件流纹相应部位可能有飞翅出现,但大多数流纹相应部位无飞翅,表明流纹不一定是低熔点 FeO 侵入型壳裂

纹的后果;③浇注后铸件表面确有深浅条纹,且基本能与型壳内表面的裂纹相呼应;④型壳内表面裂纹可以是浇注前就存在的,也可以是浇注过程中受钢液激裂热冲击产生的以及浇注后受铸件高温烘烤产生的;⑤熔模铸造碳钢件酸洗磷化后流纹更突出,更清晰明显。因此认为硅溶胶型壳熔模铸造碳钢件表面流纹产生的原因之一是:浇注后的铸件表面受由型壳裂纹渗入的空气中氧的影响,产生较铸件其他部位严重的氧化,因而在铸件表面出现颜色较深的条纹状铁的高价氧化物。铁的高价氧化物和基体及 FeO 的结合力很弱,在抛丸时容易脱落分离而形成流纹。酸洗、磷化时铁的氧化物溶解也使流纹更加突出明显。

* 许云祥,男,1939 年出生,教授,中国科学技术大学经济技术学院,合肥(230051),电话:0535-5667826 收稿日期:2001-07-20

- 7 Rudi R S, Kamado S, Ikeya N et al. High Temperature Strength of Semi-solid Formed Mg-Zn-Al-Ca Alloys. *Materials Science Forum*, 2000, 350: 79 ~ 84
- 8 Kamado S, Ikeya N, Rudi R S et al. Application of Semi-solid Forming to Mg-Zn-Al-Ca Alloys. *Materials Science Forum*, 2000, 350: 205 ~ 214
- 9 Ghosh D, Fan R, VanSchult C. Thixotropic Properties of Semi-solid Magnesium Alloys AZ91D and AM50. *Recent Developments in Light Metals*. Toronto, Canada, 1994. 377 ~ 386
- 10 Sannes S, Gjestland H, Amberg L. Thixotropic Magnesium Alloys. In: *Proceedings of the 2nd International Conference on the Processing of Semi-solid Alloys and Composites*. Cambridge, MA, USA, 1992.
- 11 Gebelin J C, Suery M, Favier D. Characterisation of the Rheological Behaviour in the Semi-solid State of Grain-refined AZ91 Magnesium Alloys. *Materials Science and Engineering*, 1999, 272A(15): 134 ~ 144
- 12 Gao D M, Garcia-Rejon A, Fan R et al. Numerical Modeling of Fluid Flow

and Heat Transfer in Thixomolding. In: *Advances in Powder Metallurgy and Particulate Materials*. Washington, DC, USA, 1996, 20(6): 77 ~ 84

- 13 张永忠,张奎,崔代金等.压铸镁合金及其在汽车工业中的应用. *特种铸造及有色合金*, 1993(3): 54 ~ 57
- 14 陈晓阳,曾大本.镁合金铸件的应用现状及发展前景. *铸造*, 1999(11): 53 ~ 55
- 15 王祝堂,韩德光,卢德惠.台湾省的镁合金压铸业. *轻合金加工技术*, 2000, 28(11): 6 ~ 8
- 16 Chiametta G. Why Thixo. In: Chiametta G L, Rosso M. *Proceedings of the 6th International Conference on Semi-solid Processing of Alloys and Composites*. Turin, ITALY, 2000.

(编辑:袁振国)

304 和 316 不锈钢熔模铸件也常出现表面流纹缺陷,且采用扣箱生成密封的还原性气氛也不能消除。在生产实践中发现 304 和 316 不锈钢熔模铸件的表面流纹与蒸气脱蜡后型壳内表面的细小裂纹有关。蒸气脱蜡后内表面有裂纹的型壳浇注后易出现流纹,而脱蜡后型壳内表面无裂纹的型壳浇注后铸件表面基本上无流纹缺陷。另外发现少数流纹与飞翅有关系,如图 1 所示,流纹处于飞翅的延长线上。

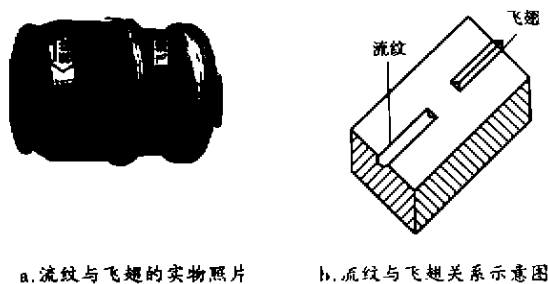


图 1 铸件表面的流纹与飞翅

分析认为,不锈钢熔模铸件表面流纹与气体有关。硅溶胶型壳蒸气脱蜡时蜡受热膨胀,型壳内层中的水分沸腾蒸发,使得型壳内表面产生细小裂纹,浇注时型腔内部分气体被钢液逼入型壳内层的裂纹。由于硅溶胶型壳透气性差,型壳内层裂纹中的气体受热膨胀,但又不能通过型壳及时排出,致使型壳内层裂纹中的气体压力升高。当气体压力如图 2 所示大于外压时,气体反压使钢液回缩,直到如式(1)中所示气体压力与外压平衡、铸件表层凝固为止,于是在型壳内层裂纹相应部位的铸件表面出现凹痕,形成流纹。

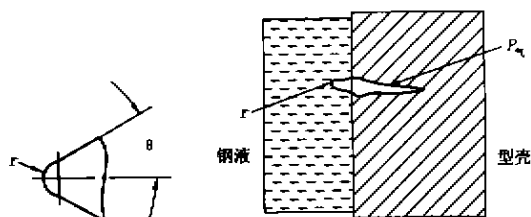


图 2 流纹形成过程示意图

$$P_{\text{气}} = P_{\text{a}} + \gamma H + 2\sigma \cos \theta / r \quad (1)$$

式中, $P_{\text{气}}$ 为裂纹中气体压力, P_{a} 为大气压力, γH 为钢液静压力, σ 为钢液表面张力, θ 为流纹斜角, r 为流纹最小曲率半径。

如果型壳内层有较宽、较长的裂纹,浇注时钢液将从裂纹宽处进入,形成飞翅。同时裂纹中的气体逼向窄处,窄处气体受热膨胀,压力升高而压迫相应部位的钢液,使其回缩,形成流纹(见图 1)。因此图 1 所示的流纹和飞翅实际上出自同一条型壳内层裂纹。

2 不锈钢熔模铸件表面流纹的防止

由以上分析可知,防止不锈钢铸件表面流纹的根本措施是防止型壳内表面开裂。另外减小侵入裂纹内气体的压力也可减少流纹。

2.1 防止型壳内表面开裂

生产现场解剖型壳发现,型壳脱蜡前,内表面光洁、平滑,无任何裂纹,而蒸气脱蜡后的型壳内表面则出现裂纹,浇注后铸件相应部位出现流纹。防止蒸气脱蜡时型壳内表面产生裂纹的关键是优化制壳、脱蜡等工艺。具体措施如下。

(1) 提高型壳的导热性和面层型壳的透气性

蒸气脱蜡时,蒸气热量通过型壳传向蜡模表层,再由表层传向蜡模内层,蜡模受热膨胀而可能导致型壳开裂。如果型壳导热良好,热量传至蜡模表层,蜡模表层在蜡模整体膨胀前熔化,当型壳面层具有良好透气性时,蜡模表层熔化后的蜡液浸渗型壳面层,在蜡模和型壳之间出现间隙,减轻了蜡模整体受热膨胀对型壳产生的张力,防止了型壳开裂。因此面层涂料中的粉料和撒砂粒度应适当粗些,粉液比应适当低些。另外模组清洗后的刻蚀细纹也能适当容纳蜡模表层的熔蜡,强化型壳内层,缓冲蜡模的膨胀。

(2) 提高型壳干燥率

图 3 所示为型壳干燥率和型壳强度的关系。图 4 所示为型壳开裂倾向和型壳干燥率及脱蜡指数的关系。由图 3 可知,型壳越干燥,型壳强度越高,承受脱蜡时蜡模膨胀的能力越强,型壳越不容易开裂。另外干燥率低,型壳中残留水分多,脱蜡时会受蒸气高温作用而出现异常沸腾现象,导致型壳局部破损开裂。

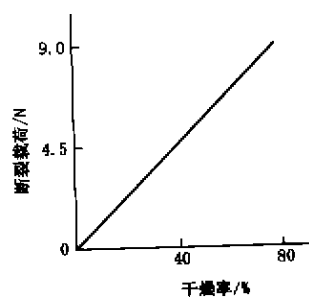


图 3 硅溶胶型壳干燥率与其强度的关系^[1]

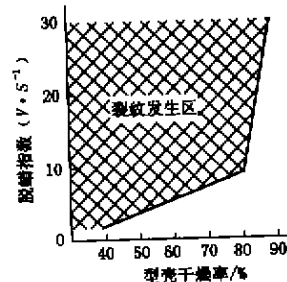


图 4 型壳开裂倾向和型壳干燥率及脱蜡指数的关系^[2]

型壳内表面裂纹主要与面层和第 2 层有关,因此面层和第 2 层的干燥率将影响内表面裂纹的产生。但众所周知,硅溶胶型壳的面层不允许干燥过快和过度。干燥过快、过度会引起面层开裂和剥离。可是第 2 层、第

3层制壳操作和干燥将间接影响面层的干燥,特别是第2层。第2层沾浆时粘结剂中的水分将向面层渗透,第2层沾浆操作慢,时间长,则渗入面层的水分多。另外第2层干燥时,面层水分同时也向外扩散而干燥。第2、第3层干燥充分,面层型壳的干燥率也相应提高。

(3) 改进组装工艺,降低脱蜡指数

由图4可知,脱蜡指数越低,型壳越不容易开裂。脱蜡指数中的 V 是指蜡的体积, S 是指出蜡口的断面积。对于模组面而言,脱蜡指数具有双重含义:一是每个蜡模的体积与内浇道截面积的关系;二是整个模组的体积与浇口杯截面积的关系。生产中发现,同样的蜡模,内浇道大,则脱蜡时型壳内层不容易产生裂纹,流纹较少。另外蜡模组数相同条件下,横(直)浇道过于粗大,型壳内表面容易开裂,流纹也相对严重。因此浇注系统设计时,应适当增大内浇道,减小横(直)浇道和适当减少组装蜡模的数量,设置辅助出蜡口以减小脱蜡指数。

(4) 脱蜡时快速装壳,迅速升压、缓慢降压

脱蜡时型壳开裂现象同装壳和升压情况密切相关。脱蜡初期热量如能通过型壳迅速传至蜡模表层,蜡模表层在蜡模整体膨胀前熔化,蜡的一部分浸入型壳内表面,一部分由浇注系统熔出,此时型壳将不容易开裂。为此要求压力能迅速升至0.7~0.8 MPa。最好是脱蜡釜附设贮压蒸气罐,以保证高压蒸气进入脱蜡釜后压力不会有大的下降。快速装壳,可以保证脱蜡釜内温度不会有较大的下降。脱蜡结束后应慢慢打开排气阀泄压。降压太快,型壳内外压力差大,型壳内层在残留蒸气压力作用下向外膨胀,也会导致型壳开裂和破损。

(5) 使用熔点低、粘性小、收缩率小的模料

熔点低、粘度小的模料在脱蜡初期快速升压时容易熔出。收缩率小的模料脱蜡时对型壳产生的膨胀张力小,因此型壳内表面不容易开裂。

2.2 减小侵入裂纹内气体的压力

(1) 提高型壳的透气性

由式(1)可知,当裂纹中气体压力大于裂纹处钢液的外压时,钢液将回缩形成流纹。裂纹中气体的压力可以用气态方程式 $PV = nRT$ 估算。

假定浇注前型壳裂纹中的气体压力、体积、温度、摩尔数为 P_1, V_1, T_1, n_1 , 浇注后型壳裂纹中的气体压力、体积、温度、摩尔数为 P_2, V_2, T_2, n_2 。其中 P_1 为大气压力, T_1 为浇注前型壳温度, T_2 近似于浇注终止时钢液温度, $V_1 = V_2$ 。由气态方程式得

$$P_1 V_1 = n_1 R T_1$$

$$P_2 V_2 = n_2 R T_2$$

$$P_2/P_1 = (n_2 T_2)/(n_1 T_1)$$

假定, $K_p = P_2/P_1$, 定义为裂纹中气体压力增长率, $K_n = n_2/n_1$, 定义为排气率, 则

$$K_p = K_n T_2/T_1 \quad (2)$$

型壳透气性越好, 裂纹内残留气体的摩尔数 n_2 越小, K_n 也越小, 裂纹中气体压力的增长率 K_p 越小, 流纹减轻。

提高型壳透气性, 除采用粒度较粗的耐火粉料和撒砂外, 还可在过渡层、背层涂料中加入适量石墨粉和在撒砂中加入适量碳粒砂、沥青砂等易燃物。

(2) 提高浇注时型壳温度和降低钢液浇注温度。

浇注时型壳温度即式(2)中 T_1 。钢液浇注温度低, T_2 低。由式(2)可知降低 T_2 , 增大 T_1 , 相应 K_p 值降低, 流纹减轻。

3 结 论

(1) 不锈钢熔模铸件表面流纹产生的另一原因是: 硅溶胶型壳蒸气脱蜡时型壳内表面出现细小裂纹, 浇注时型腔内气体被钢液逼入裂纹, 裂纹内未及时排出的气体受热膨胀, 压力升高, 反压使钢液回缩, 使未凝固铸件表面出现凹痕, 形成流纹。

(2) 提高型壳透气性和第2、第3层的干燥率, 改进组装工艺, 降低脱蜡指数, 脱蜡时快速升压、缓慢降压, 采用熔点低、粘性小、收缩率小的模料, 以及提高浇注时型壳温度、降低钢液浇注温度等措施可以防止流纹产生或减轻流纹程度。

参 考 文 献

- 1 佟天夫, 陈冰, 姜不居. 熔模铸造工艺. 北京: 机械工业出版社, 1991.
- 2 山屋洋. 精密铸造的基本与应用技术. 铸锻造与热处理, 1992(9): 15~20

(编辑: 张振斌)

欢迎订购《铝合金及其加工手册》(修订版)、 《汉英冶金工业词典》

由王祝堂、田荣璋两位教授主编的《铝合金及其加工手册》(修订版)已出版, 全书共1500千字, 精装定价148元(邮购155元含邮挂费)。

《汉英冶金工业词典》, 由九位科学院、工程院院士及一批教授、专家组成的编委会审定出版。定价120元(邮购125元, 含邮挂费)。

电 话: (0731)2250942 邮 编: 410005

地 址: 湖南省长沙市定王台图书城2楼47号

中南工业大学出版社定王台服务部

联系人: 陈玲玲。