DOI:10.16410/j.issn1000-8365.2019.06.019

铝车轮低压铸造模具腐蚀起因分析

陈振明[1],林嘉华[2],付加攀[2],陈庆勋[1],赵海东[2]

(1.佛山市南海奔达模具有限公司,广东 佛山 528234;2.华南理工大学 国家金属材料近净成形工程技术研究中心,广东 广州 510640)

摘　要:利用光学显微镜和扫描电镜分析了铝车轮低压铸造模具腐蚀的形成原因。结果表明,模具型腔在表层涂料脱落后,与高温铝液直接接触而发生粘铝反应,进而形成 Fe-Al-Si 金属间化合物的过渡层。最终在高温铝液的反复作用下,过渡层不断扩散并从模具表面脱离,从而导致模具出现腐蚀现象。

关键词:铝合金车轮;低压铸造;模具;粘铝;腐蚀

中图分类号:TG241　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1000-8365(2019)06-0589-04

Study on Corrosion Cause of the Aluminum Wheel Mold During Low Pressure Die-casting Process

CHEN Zhenming[1], LIN Jiahua[2], FU Jiapan[2], CHEN Qingxun[1], ZHAO Haidong[2]

(1. Foshan Nanhai Superband Mould Co., Ltd., Foshan 528234, China; 2. Nation Engineering Research Center for Metallic Net Shape Forming, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

Abstract: The corrosion phenomenon in the wheel mold during low pressure die casting process was investigated with optical microscope and scanning electron microscope. The results show that the surface of the mold cavity reacts with the high-temperature aluminum liquid after the falling off of the coating, which results in soldering in the mold surface. Then, the transition layer is formed and it composes of Fe-Al-Si intermetallic compound. Finally, after the cyclic action of the high-temperature aluminum liquid, the transition layer continuously diffuses and falls off from the mold surface, and it eventually causes corrosion of the mold.

Key words: aluminum alloy wheel; low pressure die-casting; mold; soldering; corrosion

低压铸造作为一种精确铸造成形技术,是目前汽车铝合金车轮制造的主要方法[1-3]。实际生产中,低压铸造模具尤其是底模受到高温熔体的反复冲击作用,工作环境恶劣,极易发生冲蚀、粘铝以及腐蚀等现象[4,5],影响模具使用寿命,导致模具投入成本加大。本课题以低压铸造车轮模具为对象,研究其腐蚀形成原因,旨在为实际生产中模具维护保养及模具失效预防提供依据。

1　分析试样

图 1 所示为发生腐蚀的低压铸造车轮底模实物。该底模用于生产 18 英寸铝合金车轮铸件,其材料为 H13 钢。采用线切割方法从底模腐蚀浇口切取试样,并通过光学显微镜(Leica DMI 5000M)和扫描电镜(FEI Quanta 200)对比分析试样腐蚀区域和未腐蚀区域的微观组织特征。

2　结果与分析

2.1　微观组织分析

图 2(a)、2(b)所示分别为分析试样的正面和侧面示意图。在光学显微镜下,沿着模具型腔表面连续获取 50 倍的金相照片,随后合成得到腐蚀区域和未腐蚀区域的全景图(图 2c、2d)。为进一步分析,将腐蚀区域划分为区域 1、区域 2 以及区域 3,如图 2(c)所示。可知,在腐蚀区域 3# 和未腐蚀区域中,均观察到靠近模具型腔表面存在两层的异常组织,与模具基体存在明显的分界。

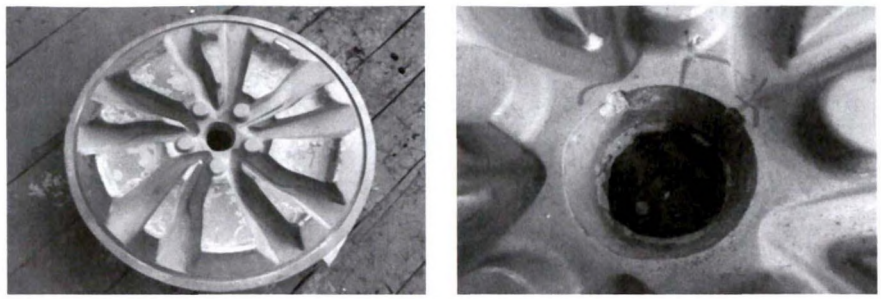
图 3~图 5 所示分别为腐蚀区域 1、区域 2、区域 3 的微观组织。

(1)区域 1 的微观组织中,观察到两种不同的组织形貌(图 3a),并以明显的“界面”(如图 3a 中虚线所示)分割开;“界面”附近,在靠近模具基体组织一侧,出现明显的过热组织(图 3d),此现象主要因模具局部温度过高导致晶粒发生再结晶而引起。

收稿日期:2019-01-24

基金项目:佛山市重大科技项目(应用型核心技术攻关领域)(2016AG100932)

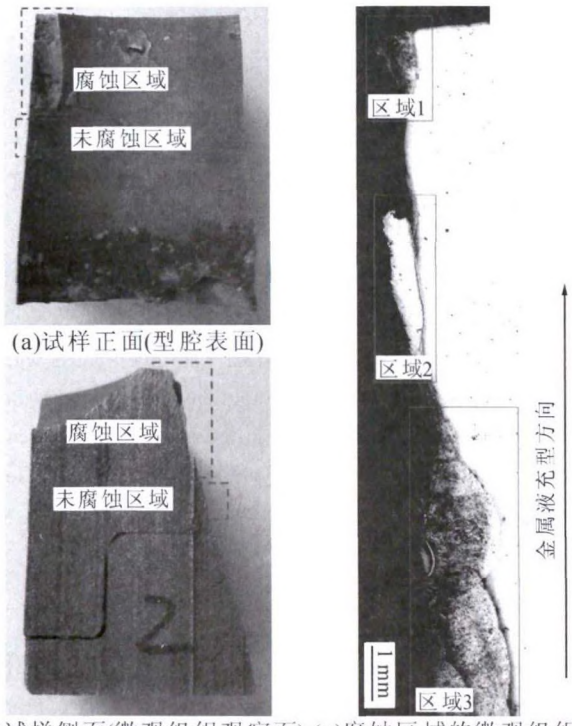
作者简介:陈振明(1989-),广东湛江人,硕士,工程师.主要从事铝合金铸造研究方向方面的工作.电话:0757-85216885,E-mail:chenzhenming@superband.com.cn



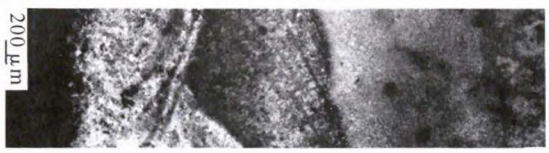
(a)低压铸造车轮底模　(b)腐蚀区域

图 1 发生腐蚀的低压铸造车轮底模

Fig.1 Corrosion wheel mold for low pressure die-casting



(a)试样正面(型腔表面)　(b)试样侧面(微观组织观察面)　(c)腐蚀区域的微观组织



(d)未腐蚀部位的微观组织

图 2 底模腐蚀分析用试样

Fig.2 Samples of the corrosion mold

(2)区域 2 中,明显观察到粘铝现象,其微观组织存在两种类型(图 4b、4c)。沿模具基体至表层方向,图 4(b)的微观组织特征依次呈现为 H13 组织、异常组织(与区域 1 相似)、过渡组织、粘铝层,图 4(c)则为 H13 组织、过渡组织、粘铝层。

(3)区域 3 的微观组织中,同样观察到异常组织(图 5a),与模具基体形成明显的分界(图 5a 中虚线)。图 5b 为图 5a 的局部放大图,可观察到"界面"两侧的组织明显不同,且靠近模具基体一侧出现明显的过热 H13 钢组织(与区域 1 相似)。

2.2 能谱分析

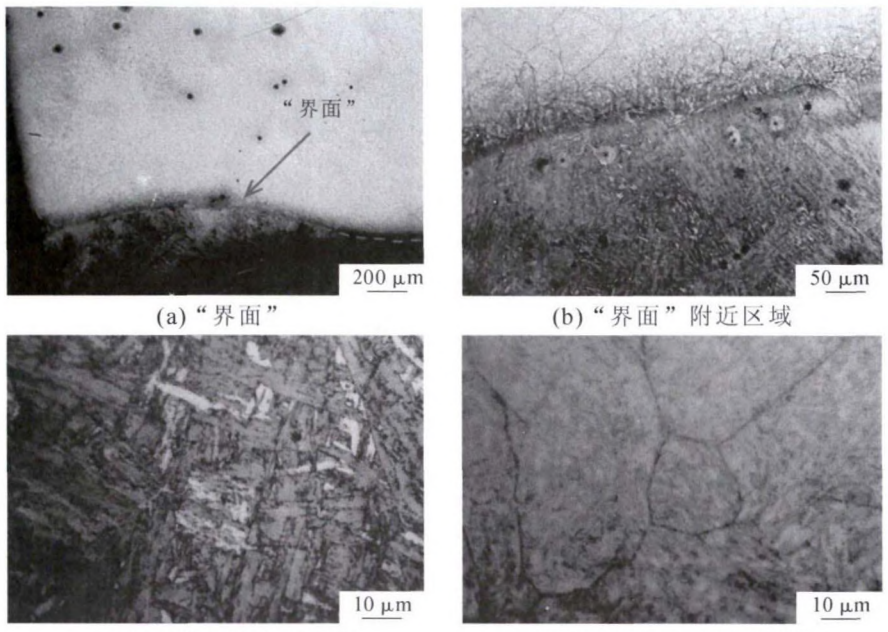
针对微观组织的观察结果,对特征部位进行能谱分析,以确定各组织的成分组成。图 6 为腐蚀区域 1 中位于"界面"两侧组织的能谱分析结果。其中靠近模具基体一侧主要含有 Fe、Cr、Si、V 等元素,为正常的 H13 模具钢成分(4Cr5MoSiV);而靠近型腔表面一侧出现了大量 C、O 元素,以及 Mn 元素。因此,"界面"两侧的材料组织与成分均不同。结合底模浇口的加工方法分析,可以判定在腐蚀区域和未腐蚀部位中观察到的异常组织为多道焊接的焊材,其中 C 元素因焊芯材料而引起,而 O 元素为焊接过程吸入所致。

图 7 为腐蚀区域 2 中从模具基体至型腔表面粘铝区域(图 4c)的线扫描结果。可知,过渡层组织中含有 Fe、Al 等元素,其原因为铝熔体 Al 元素和模具钢中 Fe 元素在模具表面形成 FeAl 金属间化合物[6],其后与铝熔体形成 FeAlSi 金属间化合物过渡层,其导热系数低,导致粘铝现象严重。

低压铸造过程中,底模型腔表面的涂料受到充型过程中铝液的冲击、脱模过程中铸件与模具之间的摩擦等综合作用[7,8],当涂料与模具表面的结合力不足时,涂料发生脱离导致模具表面的暴露部位在下一模次中直接受到高温铝液的侵蚀作用;此外,由于底模温度较高,尤其是靠近升液管的浇口部位,补喷的涂料与模具结合力小,易于脱落。最终,随着铸造生产循环的持续进行,模具侵蚀不断恶化,最终出现局部剥落现象。因此,腐蚀区域 1 和区域 2 中,由于高温铝液的反复侵蚀作用,其补焊材料发生了剥落,微观上仅观察到少量类似于区域 3 中的多道焊接组织,而宏观上观察到底模的浇口腐蚀脱落现象。

3 结论

低压铸造生产中,由于缺少涂料的保护,模具钢与高温铝液直接接触,模具钢中 Fe 元素和铝熔体 Al 元素在模具表面形成 FeAl 金属间化合物,再与铝熔体形成 FeAlSi 金属间化合物层,其导热系数

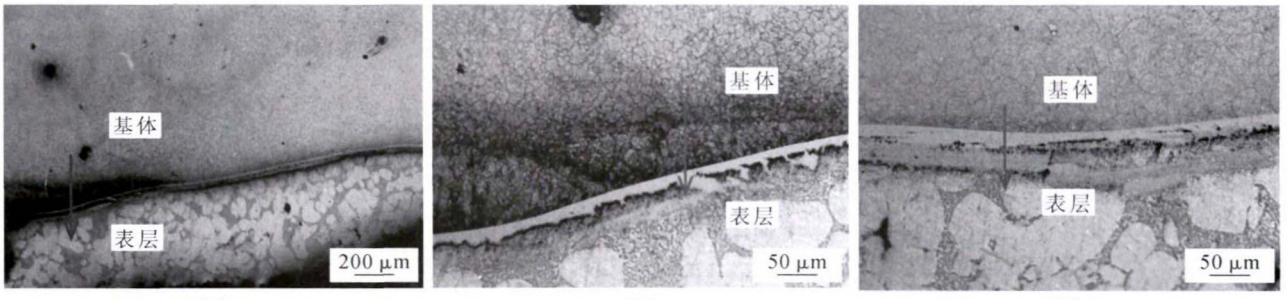


(a)“界面”　(b)“界面”附近区域

(c)“界面”下方特殊组织　(d)“界面”上方过热组织

图 3 腐蚀区域 1 的微观组织

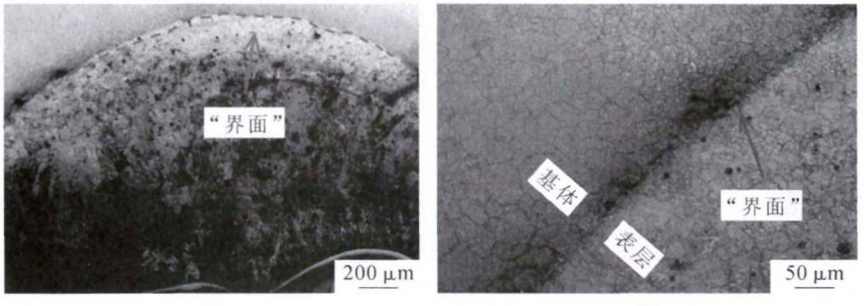
Fig.3 Microstructure of the corrosion area No.1



(a)　(b)　(c)

图 4 腐蚀区域 2 的微观组织

Fig.4 Microstructure of the corrosion area No.2



(a)　(b)

图 5 腐蚀区域 3 的微观组织

Fig.5 Microstructure of the corrosion area No.3

低，导致粘铝严重，并最终造成模具出现腐蚀，甚至局部剥落现象。为保证模具寿命和铸件质量，生产中发生粘铝必须及时清除，涂料层是防止粘铝扩散以及过渡层形成的最佳措施。

参考文献：

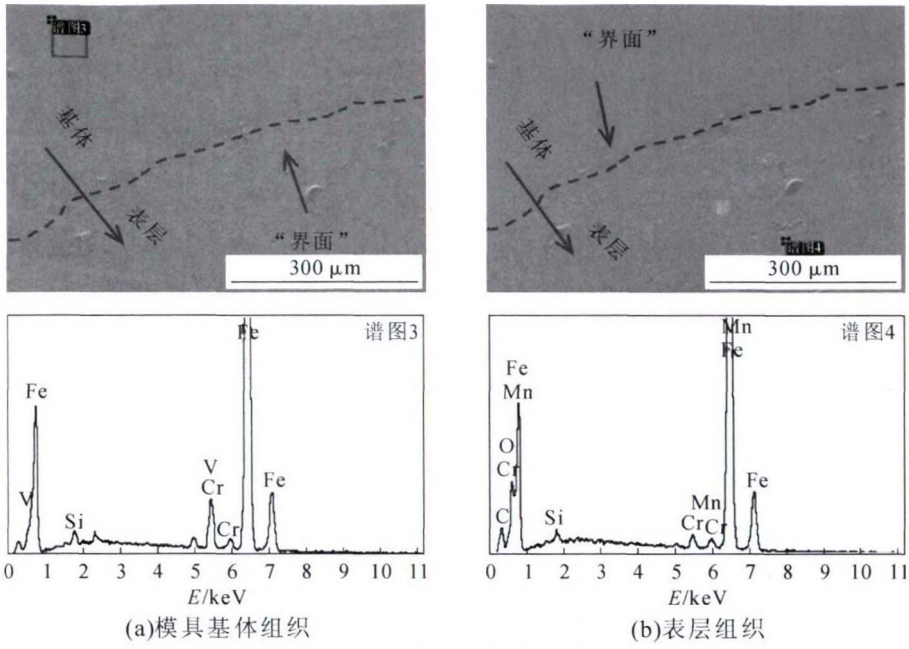
[1] 介石磊，彭俊，郝春雨. 汽车铝合金轮毂低压铸造工艺研究[J]. 铸造技术，2017，38 (11): 2785-2788.

[2] 李宁，培浩，胡亚辉，等. 铝合金轮毂低压铸造的数值分析研究[J]. 铸造技术，2017，38 (6): 1482-1486.

[3] 李振华，李培杰，孙万好. 低压铸造铝合金轮毂模具局部温度控制[J]. 特种铸造及有色合金，2012，32 (2): 142-144.

[4] Zhu Y, Schwam D, Wallace J F, et al. Evaluation of soldering, washout and thermal fatigue resistance of advanced metal materials for aluminum die-casting dies [J]. Materials Science and Engineering: A, 2004, 379 (1-2): 420-431.

[5] Klobčar D, Tušek J, Taljat B, et al. Thermal fatigue of materials for die-casting tooling [J]. Materials Science and Engineering: A, 2008, 472 (1-2): 198-207.



(a)模具基体组织　　(b)表层组织

图 6 腐蚀区域 1 的能谱分析结果

Fig.6 EDS results of the corrosion area No.1

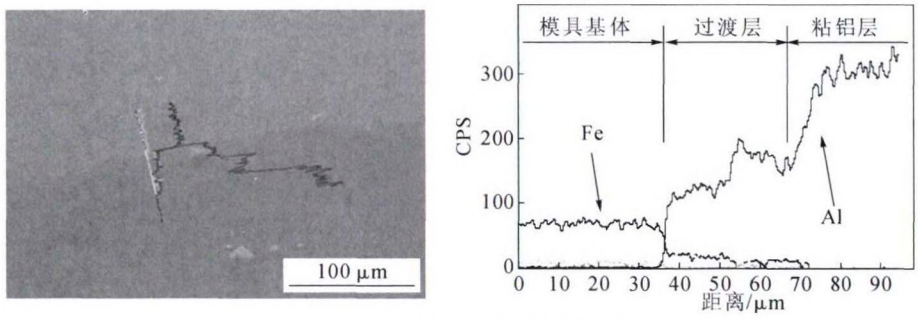


图 7 腐蚀区域 2 的能谱分析结果

Fig.7 EDS results of the corrosion area No.2

[6] Shankar S, Apelian D. Die soldering: mechanism of the interface reaction between molten aluminum alloy and tool steel [J]. Metallurgical and materials transactions B, 2002, 33 (3), 465-476.

[7] 王森,王韬. 低压铸造铝合金轮毂底模涂料使用性能改进[J]. 铸造,2018,67 (4): 369-372.

[8] 王森，廖卫军. 低压铸造铝合金轮毂模具保温涂料附着力的改进[J]. 特种铸造及有色合金,2017,37 (11): 1215-1217.

技术资料邮购

《铸件均衡凝固技术及应用实例》

本书由西安理工大学魏兵教授编著。共8章：1、铸铁件均衡凝固与有限补缩；2、铸铁件冒口补缩设计及应用；3、压边浇冒口系统；4、浇注系统大孔出流理论与设计；5、铸件均衡凝固工艺；6、铸钢、白口铸铁、铝、铜合金铸件的均衡凝固工艺；7、浇注系统当冒口补缩设计方法；8、铸件填充与补缩工艺定量设计实例。全书320页。

特快专递邮购价：226元。

邮购咨询：李巧凤　　电话/传真：029-83222071　　技术咨询：13609155628