

铝合金压铸模表面等离子喷涂强化的研究

赵建国^{1,2}, 蒋辉¹, 李建昌¹, 樊云飞¹, 郝建军^{1,2}

(1. 河北农业大学 机电工程学院, 保定 071000;

2. 河北省轻金属合金材料工程技术研究中心, 保定 071000)

[摘要] 针对铝合金压铸模具极易出现点蚀、磨损以及脱模性能差等问题,采用等离子喷涂工艺在模具材料 H13 钢基体上制备 $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$ 陶瓷硬质涂层,通过正交试验优化了喷涂电流、喷涂电压、喷涂距离。分析结果表明:采用优化工艺对模具材料进行表面强化处理,显著改善了模具材料的硬度、耐磨性及脱模性,表面平均硬度最高可达 976.1HV,摩擦系数在 0.4 左右,浸高温铝液后的粘铝较少。

[关键词] 铝合金; 压铸模; 等离子喷涂; 表面强化; 脱模性能

[中图分类号] TG174.442

[文献标识码] A

[文章编号] 1001-3660(2012)06-0082-03

Research on Surface Strengthening on Aluminum Alloy Die Casting Die by Plasma Spraying

ZHAO Jian-guo^{1,2}, JIANG Hui¹, LI Jian-chang¹, FAN Yun-fei¹, HAO Jian-jun^{1,2}

(1. College of Mechanical and Electrical Engineering, Agricultural University of Hebei, Baoding 071000, China;

2. Light Metal Alloy Materials Engineering Research Center of Hebei, Baoding 071000, China)

[Abstract] Aluminum alloy die casting die currently has a problem that the surface is easy to generate pitting, wear, poor knockout performance. In order to solve this problem, the $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$ ceramic coating on mould H13 by plasma spraying was prepared. We have designed orthogonal experiment based on current, voltage and spraying distance and optimized spraying parameters. The results show that by surface strengthening with the optimized process, the hardness of $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$ coating is 976.1HV, the friction factor is about 0.4. The coating wear hardness, wear resistance and knockout performance are improved significantly.

[Key words] aluminum alloy; die casting mould; plasma spraying; surface strengthening; knockout performance

铝合金压铸件生产中,压铸模受到铝合金熔液高速、高压冲刷及合模、开模、冷却过程中的剧烈热交换等作用,极易因工作表面出现龟裂、腐蚀磨损、麻点、粘铝、脱模变差等早期失效而报废^[1-4]。与国外相比,国内铝合金压铸模具的寿命更短,一般为 4~8 万模次,仅相当于德国、日本等发达国家的 1/3 或 1/5^[5-8]。为了提高模具的使用寿命,国内外学者针对模具表面强化开展了大量的研究工作,并取得了丰硕的成果。

目前,模具表面强化工艺主要有电火花表面强化法、渗硼法、离子氮化法、CVD 法、PVD 法、激光表面强化法、离子注入法等^[9-11]。生产实践表明,这些表面强化工艺在延长模具使用寿命方面发挥了重要作用,但都存在不足:电火花表面强化的效率低,强化层薄且表面粗糙;渗硼层脆性大;离子氮化层硬度低且硬度和

渗层不均匀,易引起变形超差等问题;CVD 和 PVD 的沉积温度高,对工件影响大;激光表面强化法、离子注入法等所需设备昂贵,投资较大。上述不足是制约这些表面强化技术在工业生产中得到更广泛应用的关键和瓶颈。

文中结合铝合金压铸模具失效分析和模具的实际工作要求,采用等离子喷涂技术在 H13 基体上制备 $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$ 陶瓷硬质涂层,着重围绕工艺参数优化、涂层耐磨性和脱模性分析展开研究,以期获得能指导生产实践的高效率、低成本强化工艺。

1 试验

1.1 喷涂涂层

以 50 mm×50 mm×3 mm 的 H13 钢(4Cr5MoSiV1)

[收稿日期] 2012-08-10; **[修回日期]** 2012-11-08

[基金项目] 河北农业大学非生命学科与新兴学科科研发展基金

[作者简介] 赵建国(1979—),男,河北涞源人,博士生,讲师,主要研究方向为金属材料表面防护及改性。

作为基材,喷涂材料选用 $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$ 陶瓷粉末。为了增强涂层与基体的结合强度,对基体表面进行喷砂处理;采用砂粒 G14 激冷钢砂,喷砂压力 0.6 MPa,喷砂角度 $85^\circ \sim 90^\circ$,喷砂距离 150 mm,基体表面出现均匀的麻点及金属光泽后停止喷砂。

先用 ZB-80 等离子喷枪在不送粉的情况下预热基体,预热温度 $(200 \pm 10)^\circ\text{C}$,然后制备厚 0.3 mm 的 $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$ 涂层。在涂层制备过程中,等离子喷涂电压、电流、喷涂距离对涂层的质量影响较大。送粉量一定时,若喷涂功率过小,则喷涂材料熔化不良,涂层中易出现夹渣缺陷,且涂层致密性差,与基体结合不牢固,表面强度不高,耐磨性差;反之,如果喷涂功率过大,粉末熔化完全,但粉末烧损、氧化严重,同样影响涂层质量。此外,如果喷涂距离过小,熔融粉末的加速时间短,动能低,会使得涂层结合强度差,且容易使工件局部温度过高,导致工件出现热变形,涂层应力变大;若喷涂距离过大,熔滴到达工件表面时的温度过低或氧化程度大,也会降低涂层的结合强度。因此,选择涂层表面性能的主要影响因素——喷涂电流 I 、喷涂电压 U 、喷涂距离 L ,以涂层显微硬度为考察指标,根据 $L_9(3^3)$ 正交表进行正交试验,以优化这三个工艺参数。因素水平见表 1,用极差分析法和方差分析法进行数据分析与处理。喷涂时,其它工艺参数见表 2。

表 1 因素及水平

Tab. 1 Factors and levels

水平	因素		
	喷涂电流/A	喷涂电压/V	喷涂距离/mm
1	550	50	100
2	600	55	130
3	650	60	150

表 2 其它喷涂参数

Tab. 2 Other spraying parameters

氩气压力 /MPa	氢气压力 /MPa	喷涂厚度 /mm	送粉速率 /($\text{g} \cdot \text{min}^{-1}$)
0.6	0.3	0.3	38~40

1.2 测试方法

涂层显微硬度用 MH-6 显微硬度计进行测试,同一试件在相同条件下重复测量 3 次,取算术平均值作为测试结果。

用 HSR-2M 往复摩擦磨损试验机对比涂层与 H13 钢基体的摩擦系数,以验证涂层的强化特性。试验参数如下:载荷为 10 N,运行速度为 200 次/min,时间 20 min。用 LEICADM4000m 光学显微镜观察涂层的摩擦磨损形貌。

在两块相同形状、相同表面积的 H13 钢基体上分别喷涂水基脱模剂层和 $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$ 涂层,将两试样同

时浸入高温铝液 1 min,取出后用 BSA224S 型分析天平测试其粘铝量,以验证涂层的脱模性能。

2 结果与讨论

2.1 正交试验分析

涂层硬度测量结果及极差分析结果见表 3,方差分析见表 4。根据表 3 数据,确定各因素影响涂层硬度的主次顺序为 I, L, U 。此外由表 3 还可知,喷涂距离增大,涂层显微硬度呈下降趋势,极差值 R 为 42.6;喷涂电流增大,显微硬度呈上升趋势,极差值 R 达到 73;喷涂电压增大,涂层的显微硬度变化较小,且比较平稳,极差值 R 仅为 8.1。综合考虑,确定最优方案组合为 $A_3B_2C_1$,即试验 8#所设计的工艺。由表 4 可知,因素 A 和因素 C 的改变对涂层硬度有显著影响,因素 B 的改变对涂层硬度影响不大。

表 3 正交试验设计及结果

Tab. 3 Design and result of orthogonal test

编号	因素			显微硬度 HV	
	A	B	C	涂层	H13 钢
1#	1	1	1	903.0	300.5
2#	1	2	2	879.5	306.8
3#	1	3	3	861.2	297.1
4#	2	1	2	902.0	304.0
5#	2	2	3	892.4	311.6
6#	2	3	1	922.7	306.0
7#	3	1	3	920.5	297.9
8#	3	2	1	976.1	316.9
9#	3	3	2	965.9	277.1
K_1	2643.7	2725.5	2801.8		
K_2	2717.1	2748.0	2747.4		
K_3	2862.5	2749.8	2674.1		
K_1'	881.2	908.5	934.0		
K_2'	905.7	916.0	915.8		
K_3'	954.2	916.6	891.4		
R	73	8.1	42.6		

注: K 为各因素某一水平的试验结果之和, $K'=K/3$, R 为极差。

表 4 $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$ 涂层硬度方差分析

Tab. 4 Hardness variance analysis of $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$ coating

方差来源	偏差平方和 S	自由度 f	平均偏差平方和 S/f	F 值	显著性
I	8267	2	4133.5	32.99	* 为最显著因素
U	122.22	2	61.11	0.49	[*] 为最不显著因素
L	2737	2	1368.5	10.92	(*) 为一般因素
误差(e)	250.58	2	125.29		
总和(T)	11376.8	8			
$F_{\alpha}: F_{0.10}(2,2)=9 \quad F_{0.05}(2,2)=19$					

2.2 摩擦磨损性能分析

H13 钢基体与最优工艺所得涂层的摩擦系数变化曲线见图 1。由图 1 可知, H13 的摩擦系数稳定在 0.8 左右, 而 $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$ 涂层的摩擦系数稳定在 0.4 左右, 远低于 H13, 说明耐磨性较好。

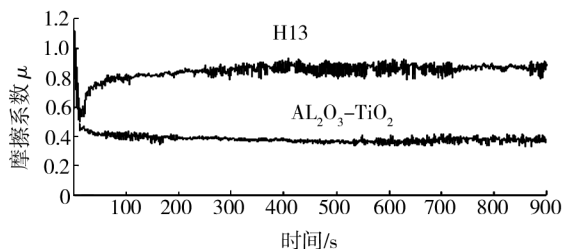


图 1 摩擦系数对比

Fig. 1 Contrast of friction coefficient

图 2a 为基体 H13 钢表面的摩擦磨损形貌, 可以看到明显的切削和犁型, 沟痕较多 (B 处), 甚至还出现了局部小面积脱落 (A 处), 表明 H13 基体抗摩擦磨损的性能较差。图 2b 为 $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$ 涂层表面的摩擦磨损形貌。由图 2b 可知, 在相同的试验条件下, $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$ 涂层未出现较为明显的犁型和切削等摩擦磨损迹象, 主要是由于具有较高硬度和高耐磨性的 Al_2O_3 陶瓷材料起到了一定的作用。

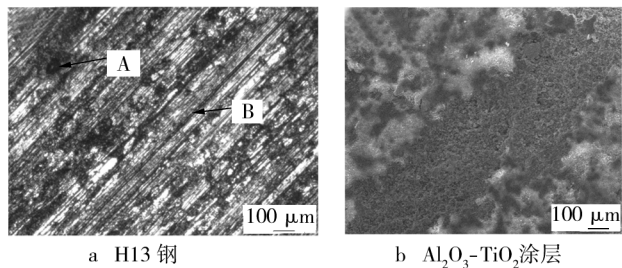


图 2 摩擦磨损形貌

Fig. 2 Morphology of friction and wear

2.3 脱模性能分析

图 3 是喷涂水基脱模剂层试样和喷涂 $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$ 涂层试样从铝液中取出后的粘铝效果图, 可见在相同情况下, 前者粘铝较为严重, 经测量, 平均粘铝量为 51.25 g, 脱模性能较差; 后者粘铝较少, 经测量, 平均粘铝量为 20.45 g, 脱模性能明显更好。

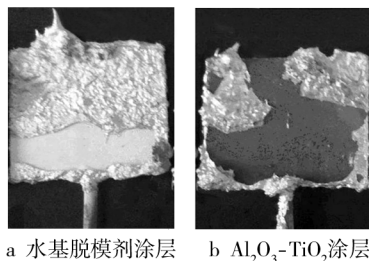


图 3 涂层脱模效果

Fig. 3 Effect of coating knockout

3 结论

1) 等离子喷涂 $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$ 涂层时, 喷涂电流对涂层硬度的影响较大, 喷涂距离次之, 而喷涂电压的影响较小。优化的喷涂工艺参数为: 喷涂电流 650 A, 喷涂电压 55 V, 喷涂距离 100 mm。

2) 等离子喷涂 $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$ 涂层的平均硬度最高可达 976.1HV, 摩擦系数仅为 0.4 左右, 且涂层浸高温铝液后的粘铝较少, 表明涂层的耐磨性和脱模性较高。

[参 考 文 献]

- [1] 李世光. 如何提高铝合金压铸模具的整体质量和使用寿命[J]. 铸造技术, 2008, 29(6): 754—755.
- [2] 赖华清. 压铸模具的失效形式及提高其使用寿命的途径[J]. 中国新技术新产品, 2009(5): 112—113.
- [3] 常秀坤. 关于提高铝合金压铸模具寿命的探讨与研究[J]. 模具技术, 2004(5): 40—42.
- [4] SHARAMA APURBBA kr. Microwave Processing of Sprayed Alumina Composite for Enhanced Performance[J]. The European Ceramic Society, 2002(2): 2849—2860.
- [5] 胡心平, 戴挺, 吴炳尧. 压铸模具钢的选择与提高压铸模具寿命的途径[J]. 特种铸造及有色合金, 2003(4): 41—43.
- [6] 李超. 提高铝合金压铸模具寿命的措施[J]. 金属加工(冷加工), 2010(4): 55—57.
- [7] 姜萌. 提高压铸模具寿命的途径研究[J]. 装备制造技术, 2009(10): 25—26.
- [8] FRIISA Martin, PERSSONA Christer, WIGRENB Jan. Influence of Particle in-flight Characteristics on the Microstructure of Atmospheric Plasma Sprayed Yttria Stabilized ZrO_2 [J]. Surface and Coatings Technology, 2001(4): 115—127.
- [9] 赵昌盛. 我国模具材料的应用及模具的表面强化技术[J]. 机械工人, 2005(5): 21—25.
- [10] 谢嘉生, 徐妍娜. 提高模具使用寿命的表面强化新技术[J]. 锻压机械, 2000(3): 37—39.
- [11] 钱苗根, 姚寿山, 张少宗. 现代表面技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 2008.