

Ti 含量对压铸 A380 合金缸壳体力学性能的影响

赵郁臻¹ 徐义武² 詹凤伟² 周海军¹ 薛小江¹ 钱志安¹ 王培建¹ 张 森¹ 康阳洋¹ 程汉明³
(1.广东鸿图南通压铸有限公司;2.通用汽车中国;3.南通鸿劲金属铝业有限公司)

摘 要 针对新一代发动机所用的 A380 合金下缸壳体,在性能上对材料的抗拉强度及屈服强度要求更高,提出了满足 -3σ 的全新目标。为此,通过不断调整铝液的化学成分及压铸工艺参数,确保最终目标指标得到实现。
关键词 化学成分;力学性能;工艺参数
中图分类号 TG146.21;TG249.2 **文献标志码** A
DOI:10.15980/j.tzzz.2023.04.024 **开放科学(资源服务)标识码(OSID):**



Ti Content on Improvement of Mechanical Properties of Lower Crankcase

Zhao Yuliu¹, Xu Yiwu², Zhan Fengwei², Zhou Haijun¹, Xue Xiaojiang¹, Qian Zhian¹,
Wang Peijian¹, Zhang Sen¹, Kang Yangyang¹, Chen Hanming³

[1.Guangdong Hongtu(Nantong) Die-casting Co., Ltd.; 2.GM China; 3.Nantong Hongjin Metal Aluminum Co., Ltd.]
Abstract: In view of the lower cylinder housing for the new generation engine, the tensile strength and yield strength of the alloy are the higher than other products in performance. Therefore, the final target can be achieved by constantly adjusting the chemical composition of liquid aluminum and the process parameters of die casting.
Key Words: Chemical Composition, Mechanical Properties, Processing Parameter

伴随着汽车排放国标 VI 要求,汽车行业相继开发出与之要求相匹配的发动机。基于此,通用汽车开发了 CSS 发动机。其中,CSS 675T(下缸体延伸配套体)直接应用于通用汽车(General Motor)2.7T 四缸发动机,以及全铝缸盖、缸体和塑料油底壳等材料^[1-3]。因此,本研究对如何提高材料力学性能进行了分析,旨在为类似项目的应用提供参考。

1 下缸壳体力学性能要求

CSS675T 由 3 个子零件共同构成。采用自主开发的 A380 耐磨铝合金,其在性能上需要满足 -3σ 的特殊要求。通过 MagMa 模流分析软件对铝液的充型过程进行模拟,对温度场的分布进行分析,优化模具方案,最终设计出合理的浇注方案和冷却系统。压铸过程中,使

收稿日期:2022-05-24;**修改稿收到日期:**2022-06-27
第一作者简介:赵郁臻,男,工程师,1990 年出生,江苏南通(226300),E-mail:zero-zhao@ght-china.com
引用格式:赵郁臻,徐义武,詹凤伟,等. Ti 含量对压铸 A380 合金缸壳体力学性能的影响[J]. 特种铸造及有色合金,2023,43(4):559-561.
ZHAO Y L, XU Y W, ZHAN F W, et al. Ti content on improvement of mechanical properties of lower crankcase[J]. Special Casting & Nonferrous Alloys, 2023, 43(4):559-561.

[8] MARSHA E D, DAVID C D, DAVID N S. Effects of Ti additions on the nanostructure and creep properties of precipitation-strengthened Al-Sc alloys[J]. Acta Materialia, 2005, 53: 4 225-4 235.

[9] LI Z M, JIANG H C, WANG Y L, et al. Effect of minor Sc addition on microstructure and stress corrosion cracking behavior of medium strength Al-Zn-Mg alloy[J]. Journal of Materials Science & Technology, 2018, 34(7): 1 172-1 179.

[10] DUAN J Q, YIN Z M, ZHAO K, et al. Microstructure evolution and Al₃(Sc_{1-x}Zr_x) precipitates' kinetics in Al-Zn-Mg alloy during homogenization[J]. Journal of Central South University, 2013, 20(3): 579-586.

[11] 商宝川,尹志民,周向,等. 固溶-时效对 Al-Zn-Mg-Sc-Zr 合金板材组织与性能的影响[J].中国有色金属学报,2010,20(11): 2 063-2 069.

[12] LI B, PAN Q L, HUANG X, et al. Microstructures and properties of Al-Zn-Mg-Mn alloy with trace amounts of Sc and Zr[J]. Materials Science and Engineering, 2014, 616: 219-228.

[13] LIU T, HE C N, LI G, et al. Microstructural evolution in Al-Zn-Mg-Cu-Sc-Zr alloys during short-time homogenization[J]. International Journal of Minerals Metallurgy and Materials, 2015(5): 516-523.

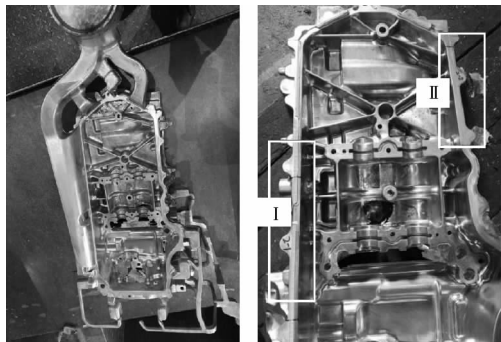
[14] 崔忠圻. 金属学与热处理[M]. 北京:机械工业出版社,2000.

[15] WANG S H, MENG L G, YANG S J, et al. Microstructure of Al-Zn-Mg-Cu-Zr-0.5Er alloy under as-cast and homogenization conditions[J]. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 2011(21): 1 949-1 954.

(编辑:栗万仲)

用模温机控制模具温度保持模具温度平衡,从而有效控制铸件的凝固顺序。

从产品本体取样, I 号位置靠近水口; II 号位置靠近水尾, 见图 1, 要求抗拉强度大于 155 MPa, 屈服强度大于 130 MPa, 伸长率大于 0.5%。改善前的抗拉强度均值为 203.8 MPa, 标准差为 27.54 MPa, 平均 -3σ 为 121.18 MPa。屈服强度均值为 161.7 MPa, 标准差为 10.86 MPa, 平均 -3σ 为 129.12 MPa。产品性能需改善。



(a) 下缸体 (b) 取样位置

图 1 下缸壳体及取样位置

Fig.1 Low cylinder shell and sampling position

2 问题分析及对策制定

2.1 铝液化学成分

该款产品材质为 A380 合金,具体化学成分见表 1。加入 Ti 后铝合金中晶粒尺寸明显变小,同时可以使得第二相粒子的成分有所改变,形成了富 Ti 和 Ce 的复杂化合物,且其数量较多,分布更为弥散均匀,从而提供了更多的非均匀形核核心,最终提升了细化晶粒效果,改善铝合金的力学性能。

表 1 A380 合金的化学成分

项目	w_B											其他元素	Al
	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Pb	Sn	Ti		
标准	7.5~9.5	1.3	2.5~4.0	0.6	0.3	—	0.5	1.2	0.3	0.2	0.2	0.5	余量
内控*	8.0~9.3	0.8~1.2	3.1~3.8	0.5	0.5	—	0.5	1.2	0.1	0.15	0.2	0.5	余量

初始对于 Ti 含量虽然要求小于 0.2%, 但实际过程中含量都低于 0.05%, 所以考虑提升 Ti 含量并确定优化值。

2.2 Ti 含量试验测定

为了确定 Ti 含量,做 2 组不同 Ti 含量的试验,第 1 组 Ti 含量控制在 0.10%~0.15% 范围内,第 2 组 Ti

含量控制在 0.15%~0.20% 范围内,见表 2。

表 2 不同试验组的化学成分

编号	w_B						
	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Ti	
1	8.93	1.03	3.36	0.19	0.21	0.12	余量
2	9.14	0.83	3.77	0.18	0.25	0.18	余量

2.3 压铸试制工艺条件

保温炉要提前清炉,记录清炉时间和状态,浇入铝液后保温 10 min 后清理表面浮渣并作记录,压铸过程每 1 h 清理保温炉炉渣,并作记录,保温炉 2 次/每班检查化学成分以及 K 模,并记录,铝液温度要求控制在 $\pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 内。压铸工艺参数见表 3 和表 4,压铸前确认压铸真空系统状态,并跟踪记录真空机过程参数。

表 3 压铸试制模具参数

压室有效长度/ mm	压室充满度/ %	试模次数	产品质量/ kg	浇注质量/ kg	冲头直径/ mm	投影面积/ cm ²	止口尺寸/ mm
904	31.1	4	4.75	9.7	130	1 268.8	$\phi 200 \times 25$

表 4 压铸试制工艺参数

压射位置/mm		速度/(m · s ⁻¹)		位置/mm		速度/(m · s ⁻¹)	
50		0.1		680		5.00	
150		0.2		860		5.00	
280		0.2		865		1.00	
增压位置/mm	铸造压力/MPa	压射延时/s	压射时间/s	冷却时间/s	增压流量/%	循环周期/s	
840	8	1	9	9	70	95	

采用圆头刀具将圆弧部分一次车加工成形,防止出现接刀痕;力学性能试棒尺寸,见图2。

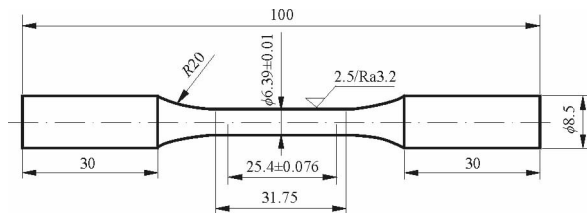


图 2 试棒尺寸

Fig.2 Specimen dimension

3 力学性能改善结果分析

第1组共取样23根试棒,平均Ti含量为0.12%,I号和II号位置试棒的力学性能结果见表5。

第 2 组共取样 19 根试棒,其中 I 号位置 15 个试样,II 号位置 4 个试样,平均 Ti 含量为 0.18%,力学性能结果见表 6。

从表 5 和表 6 可以看出,测试的两组成分,不论 Ti 含量高低,由 II 号位置的测试结果可见 A380 合金本身

表 5 第 1 组(Ti 含量为 0.12%)的力学性能
Tab.5 Mechanical properties of the first group alloy
with 0.12% Ti

编号	I 号位置		II 号位置	
	σ_b /MPa	$\sigma_{0.2}$ /MPa	σ_b /MPa	$\sigma_{0.2}$ /MPa
1	248.81	144.57	270.34	155.82
2	200.22	152.5	274.51	159.48
3	226.16	140.89	270.79	154.88
4	247.53	157.64	222.41	155.21
5	229.87	147.04	255.31	157.32
6	203.73	149.9	267.28	164.77
7	236.82	143.05	270.57	152.85
8	236.91	142.29	271.87	158.04
9	253.36	146.09	267.78	153.58
10	220.7	141.33	216.34	151.64
11	253.61	153.71	228.51	162.63
12	214.99	142.71	217.2	157.25
13	168.79	132.81	267.03	157.07
14	231.38	137.7	270.07	153.11
15	250.27	138.54	254.2	154.94
16	214.98	135.53	185.91	170.18
17	229.78	151.79	215.17	154.67
18	216.11	150.82	219.09	139.15
19	242.46	163.17	259.63	160.33
20	224.05	142.51	203.16	150.69
21	237.72	141.39	273.01	160.43
22	223.47	138.96	271.69	171.47
23	233.41	141.18	275.95	154.25
平均	228.05	145.05	249.04	156.95

表 6 第 2 组(Ti 含量为 0.18%)合金的力学性能
Tab.6 Mechanical properties of the secondary group of
alloy with 0.18% Ti

编号	I 号位置		II 号位置	
	σ_b /MPa	$\sigma_{0.2}$ /MPa	σ_b /MPa	$\sigma_{0.2}$ /MPa
1	223.23	165.96	276.17	166.91
2	207.05	156.47	281.79	167.99
3	204.14	156.24	274.2	170.43
4	243.78	158.45	279.86	169.32
5	241.99	158.66	273.88	164.33
6	234.87	152.54	261.44	167.94
7	210.73	153.43	281.86	166.96
8	216.35	161.42	271.38	169.31
9	233.22	160.53	269.24	172.80
10	214.98	160.92	258.55	166.86
11	233.87	156.18	269.67	170.84
12	207.59	164.96	271.64	170.60
13	237.52	166.72	267.65	170.09
14	227.28	162.37	271.89	170.11
15	224.08	154.43	248.09	171.71
16	—	—	280.11	174.20
17	—	—	269.55	171.27
18	—	—	278.53	171.03
19	—	—	257.34	166.74
平均	224.05	159.29	270.68	169.44

性能均能达到力学性能要求。同一组测试(即成分相同时),II 号位置的屈服强度平均值比 I 号位置高 10~12 MPa、抗拉强度平均值高 21~49 MPa,这说明 I 号位置

的性能低不是因为合金成分,而是组织方面的差异。 σ 值反映了性能的波动, σ 越小性能越稳定,对比 I 号和 II 号位置的 σ 值可见,I 号位置力学性能波动大,推测是由于 I 号位置的组织中的夹渣、气孔等缺陷或组织不均匀而导致。Ti 含量是解决屈服强度性能不达标问题的关键,重点在于减少 σ 值,Ti 含量在 0.10%~0.15%(0.12%)时试棒的抗拉强度和屈服强度都明显低于 Ti 含量在 0.15%~0.20%(0.18%),故要控制 Ti 含量在 0.15%~0.20% 较好。

4 结 语

通过试验发现,控制 Ti 含量并使其在 0.15%~0.20% 范围内更有利于满足平均-3 σ 的要求。

参 考 文 献

[1] 赵郁臻.铝合金压铸件的强度及材质对品质的影响[J]. 工程技术, 2016(10): 245-245.
[2] 赵郁臻.铝合金压铸件缺陷产生与控制[J]. 工程技术, 2016(11): 274-274.
[3] 孟显娜,张辉,李落星.添加 Ti 对 Al-Mn-Mg-RE 合金的显微组织和力学性能的影响[J].中国科技论文在线, 2011(2): 92-97.

(编辑:张正贺)

《特种铸造及有色合金》征订启事

《特种铸造及有色合金》杂志是中国科学技术协会主管、中国机械工程学会铸造分会和武汉机械工艺研究所共同主办的全国性科技期刊,是对国内外公开发行的中文核心期刊,中国科技论文统计与分析用刊,SA、CA、MA、AJ、Scopus 等国内外权威数据库及检索系统收录期刊,并获得全国优秀科技期刊一等奖、国家期刊奖、新中国 60 年有影响力的期刊、湖北十大有影响力的自然学术期刊等。

本刊主要报道各种(黑色和有色合金)特种铸造方法、各种有色合金及复合材料成形的理论、工艺、设备、材料、测试与控制、计算机应用等方面的科技成果、生产技术和现场经验,并报道各相关学科和交叉学科,如挤压铸造(液态模锻)、半固态加工、电子封装、高熵合金、非晶合金(金属玻璃)、焊合、粉末冶金、合金化、热处理、表面处理等方面的学术研究和技術信息以及上述内容的国内外发展动向、行业活动、学术会议、消息动态等。

本刊诚征国内外广告,业务范围:铸造及有色合金材料、辅助材料、铸造及相关设备、铸造生产线、测控与控制设备、仪器仪表、计算机应用软件、铸造展会等。

本刊为月刊,标准(大)16 开,邮发代号 38-109。邮发订价每期 20 元,全年 240 元,如须快递,费用另计。全国各地邮局均可订阅,也可直接向本刊编辑部邮购,本刊还提供过刊、压铸宝典和年会专刊邮购服务。

特种铸造及有色合金杂志社(武汉)有限公司

地址:武汉市江岸区九万方路 26 号
邮编:430019
电话:027-85358206,85486024
传真:027-85358127
投稿网址:www.special-cast.com
邮箱:tzzz@special-cast.com

