

文章编号: 1673-9981(2008)03-0219-04

## 液态与半固态 A380 铝合金压铸件 热处理前后组织性能的研究

刘艳华, 冯 贇

(江西渝州科技职业学院模具工程系, 江西 新余 338029)

**摘 要:**对 A380 铝合金液态与半固态压铸成形件在压铸态和 T6 热处理态下的力学性能与微观组织进行了研究。力学性能测试结果表明, 两种不同成形方法所得的成形件在压铸态时强度相差不大, 但半固态成形件的塑性几乎是液态成形件的 2 倍。经 T6 热处理后, 半固态压铸件的抗拉强度有所提高, 液态压铸件的抗拉强度却下降很大; 两者的延伸率均有所下降, 其中液态压铸件的延伸率下降幅度较大。微观组织研究结果表明, 半固态压铸成形件适合进行热处理。

**关键词:** A380 铝合金; 半固态压铸; 液态压铸; 力学性能; 显微组织

**中图分类号:** TG166.3

**文献标识码:** A

从 20 世纪 70 年代金属半固态加工技术问世以来<sup>[1-2]</sup>, 铝合金半固态加工技术一直是金属加工技术研究的热点<sup>[3]</sup>。目前, 铝合金成形工艺主要包括传统液态压铸、半固态压铸及固态下的锻造、挤压等<sup>[4]</sup>。半固态压铸成形工艺与液态压铸成形的最大差别在于, 前者用于压铸的坯料是具有一定固液比的浆料, 而后者是纯液态。国内对液态压铸成形的研究已经趋于成熟, 有关半固态成形技术、半固态成形件热处理方面的文献不多, 这些方面的研究也较少, 国内上海大学对半固态热处理工艺进行了一些研究, 并

取得了一些成就<sup>[5]</sup>。本文对 A380 铝合金半固态压铸成形件及液态压铸成形件的组织 and 性能进行了初步的探讨。

### 1 试验部分

#### 1.1 试样

试验所用材料为 A380 铝合金(YL112), 其成分列于表 1。

表 1 A380 铝合金化学成分

Table 1 The composition of A380 aluminum alloy

成分	Cu	Si	Mg	Fe	Ni	Mn	Zn	Al
含量 w/%	3.16	8.47	0.093	1.07	<0.2	0.278	1.58	余量

首先将 A380 铝合金融化, 再分别进行液态及半固态流变压铸, 压铸成形的圆形拉伸试样的直径为 6 mm。用机械加工去除试样表面的氧化皮及分型面处的毛刺飞边, 每种压铸方法分别取 6 个标距

60mm 的试样进行拉伸测试。液态及半固态流变压铸均采用相同的压射比压及压铸速度, 两种压铸方法所用的模具相同, 为一模四件。

收稿日期: 2008-04-21

作者简介: 刘艳华(1981-), 男, 江西樟树人, 硕士。

## 1.2 试验方法

将两种不同成形方法获得的试样经 T6 热处理, 热处理温度 485℃, 保温 2 h, 之后用 50~80℃ 水冷却, 然后在 170℃ 下时效 6 h. 将热处理前及热处理后的试样进行拉伸试验, 试验设备为 CSS-44200 型电子拉伸试验机, 加载速度为 50 N/s. 分别从热处理前及热处理后试样的相同部位取样, 经抛光、腐蚀后做成金相试样, 在金相显微镜下观看组织变化情况.

## 2 试验结果及讨论

### 2.1 压铸件的显微组织

#### 2.1.1 热处理前

图 1 为未经热处理的液态压铸与半固态压铸零件的显微组织.

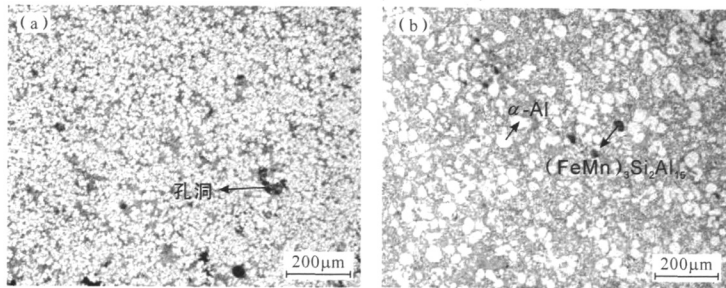


图 1 液态压铸及半固态压铸零件的显微组织

(a) 液态压铸件; (b) 半固态压铸件

Fig. 1 The microstructure of the die castings by

(a) liquid die casting; (b) semi-solid die casting

由图 1(a) 可见,  $\alpha$ -Al 相在液态成形件基体中呈细小的树枝晶状. 靠近表面部位的  $\alpha$ -Al 相细小, 这是金属液在金属模内快速凝固的结果; 中心部位的  $\alpha$ -Al 相较粗大. 在液态成形件不同部位均有较多的微孔洞, 最大孔洞尺寸约为 50  $\mu\text{m}$ , 小的为 10~20  $\mu\text{m}$ , 这些孔洞是液体金属高速充型时卷入气体而形成的. 由图 1(b) 可见, 大部分  $\alpha$ -Al 相 (图中白色部分) 在半固态成形件基体中呈近球状或非枝晶的节杆状, 还有少部分与  $\beta$ -Si 相共晶 (图中黑白相间部分). 半固态成形件的基体组织晶粒较大、分布较均匀, 在共晶组织中存在着少数细小的  $\alpha_2$ -Al 相, 它呈蔷薇状. 半固态成形件基体组织致密、孔洞较小, 这是半固态充型时金属流动平稳, 卷入的气体少.

#### 2.1.2 热处理后

图 2 为热处理后的液态与半固态压铸件的显微组织. 由图 2(a) 可见, 经热处理后液态成形件基体组织有一定的变化, 细小的  $\alpha$ -Al 树枝晶有聚集长大的倾向. 这是由于细小的  $\alpha$ -Al 树枝晶是快速凝固的结果, 因此是非稳定组织. 在 485℃ 下热处理时, 合金有缩小界面面积以降低界面能的自发趋势, 从而使细小的

$\alpha$ -Al 树枝晶合并长大. 经热处理后液态压铸件基体组织中的孔洞明显变大, 最大孔洞约为 200  $\mu\text{m}$ , 小的为 30~50  $\mu\text{m}$ . 这些孔洞是热处理前基体组织中的微小孔洞经热处理后膨胀而形成的. 由图 2(b) 可见, 热处理对半固态组织没有明显影响, 颗粒状  $\alpha$ -Al 相仍保持热处理前的球团状或非枝晶的节杆状, 共晶组织形态没有变化. 这是因为在 485℃ 下热处理时, 材料没有出现熔解, 经热处理后半固态压铸件基体组织几乎没有孔洞, 说明半固态金属成形件可以进行热处理, 而液态成形件不适宜进行热处理.

### 2.2 铸件的力学性能

#### 2.2.1 热处理前

不同成形工艺压铸态下铸件材料的抗拉强度及延伸率列于表 2. 由表 2 可知, 经过半固态加工后铸件材料的最大抗拉强度  $\sigma_b$  与液态压铸件的相比提高了 2.48%, 半固态压铸件的平均抗拉强度比液态压铸件的平均抗拉强度提高了 3.9%; 半固态压铸试样的最大延伸率  $\delta$  与液态铸件的相比提高了 91.5%, 平均延伸率值提高了 166.2%.

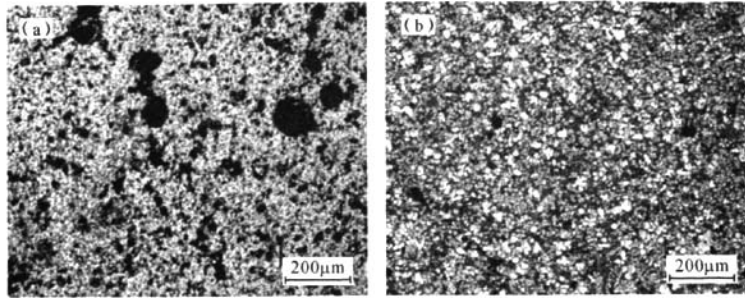


图 2 液态压铸件及固态压铸件热处理后显微组织

(a) 液态压铸件; (b) 半固态压铸件

Fig. 2 The microstructure of the die castings after T6 heat treatment

(a) by liquid die casting; (b) by semi-solid die casting

表 2 半固态和液态压铸件的力学性能

Table 2 The mechanical properties of the die castings

成型工艺	测量值		平均值	
	抗拉强度 $\sigma_b$ /MPa	延伸率 $\delta$ /%	抗拉强度 $\sigma_b$ /MPa	延伸率 $\delta$ /%
液态压铸	306.301	1.03.0.83	300	1.30
	313.297	1.3.1.67		
	261.322	1.42.1.54		
半固态压铸	292.298	2.7.3.1	311.7	3.46
	304.329	3.87.3.27		
	317.330	4.05.3.76		

液态压铸成形时,由于液态粘度较小、流动速率较大,易以紊流的流动方式成形,因此成形件易存在孔洞、疏松、偏析等缺陷;而半固态成形时,由于存在一定量的固相,半固态粘度较大、流动速率较小,易以层流的流动方式成形,因此成形件组织更致密、均匀。液态压铸成形时坯料处于液态,由于过冷度大、形核率较大,因此基体的晶粒较细。而半固态压铸成形时,坯料中已经存在一定比例的固相(主要是 $\alpha$ -Al相),在随后的压铸过程中,晶粒进一步长大,使基体组织的晶粒变大。

### 2.2.2 热处理后

半固态压铸件与液态压铸件在 T6 热处理之后的力学性能测定结果列于表 3。由表 3 可以看出:经过固溶热处理后,半固态成形件的最大抗拉强度及平均抗拉强度分别为 334 MPa 和 321 MPa,其强度几乎可以和锻铝相媲美,比原始态平均抗拉强度提高了 3.2%;液态成形件经过热处理后,最大抗拉强度和平均抗拉强度分别为 287 MPa 和 236 MPa,平

均抗拉强度与原始态的平均抗拉强度相比下降了 21.3%;经热处理后半固态与液态压铸件材料的延伸率 $\delta$ 均有所降低,但半固态压铸试样的延伸率与液态铸件相比,降低幅度小,液态成形件的平均延伸率比原始态平均延伸率降低了 59.2%,而半固态成形件的平均延伸率比原始态的降低了 34.4%。

在液态压铸成形的过程中,气体易被卷入金属液中,使成形后零件内部产生气孔,这些气孔在零件进行热处理时膨胀导致气孔增大,降低了零件的力学性能。半固态压铸的成形温度在液相线温度以下,比液态成形时温度低几十度,零件成形不易裹气,所成形零件的组织致密,在热处理时也不会导致气孔膨胀,可通过热处理改善材料的力学性能。经固溶处理后,低溶解度的元素由共晶组织溶入基体中,共晶组织中的 $\alpha$ -Al相与基体合并长大,在随后的时效过程中析出了弥散细小的强化相 $Mg_2Si$ ,所以半固态压铸件的强度明显得到提高。

热处理后压铸件的伸长率均降低,这是由于随着共晶组织中 Al, Mg 及 Si 等元素不断溶入基体中及第二相不断析出,使基体与第二相的晶界变得不连续,在拉伸时裂纹源不断增多,因此经热处理后压铸件的韧性降低。从压铸件热处理后的显微组织中也看出:在热处理过程中半固态压铸件基体的组织不象液态成形压铸件那样,呈现明显的短程树枝晶,其基体组织变得更加圆整。半固态成形件具有更均匀的组织,使沿着晶界析出的强化相分布更均匀<sup>[6-8]</sup>。所以与液态成形件相比,半固态压铸件伸长率降低的幅度较小。

表3 半固态压铸与液态压铸铸件热处理后的力学性能  
Table 3 The mechanical properties of the die castings after heat treatment

成型工艺	测量值		平均值	
	抗拉强度 $\sigma_b$ /MPa	延伸率 $\delta$ /%	抗拉强度 $\sigma_b$ /MPa	延伸率 $\delta$ /%
液态压铸+ T6 热处理	263,245.6	0.37,0.43	235.5	0.53
	286.6,218.5	0.32,0.58		
半固态压铸 +T6 热处理	168.5,231	0.83,0.67	321.1	2.27
	316.7,317.1	2.57,2.93		
	311.3,331.4	2.47,1.97		
	334,316.2	2.43,1.23		

### 3 结论

(1)半固态成形件的组织为非树枝晶,与液态成形件相比气孔少、组织致密、宏观性能好。

(2)在铸态下铝合金半固态压铸件的抗拉强度与液态压铸件的相当,但伸长率明显优于液态铸件,半固态铸件综合力学性能优于液态铸件。

(3)经 T6 热处理后半固态压铸件的抗拉强度提高,液态压铸件的抗拉强度降低。两者的延伸率均有所降低,但半固态压铸件的延伸率降低幅度较小。

### 参考文献:

- [1] FLEMINGS M C. Behavior of metal alloy in the semi-solid state [J]. Metallurgical Transaction B, 1991, 22B: 269-293.
- [2] GUO Jun. 半固态 Al-6.0%Si 合金的制备及变形性的研究[D]. 北京:北京有色金属研究总院, 1998:57.
- [3] 谢水生, 黄声宏. 半固态金属加工技术及其应用[M]. 北京:冶金出版社, 1999.
- [4] 祖丽君, 罗守靖. SiCP/2024 铝合金复合材料粉末混合-半固态挤压法制备[J]. 中国有色金属学报, 2000(10): 179-182.
- [5] 许璐萍, 张恒华, 邵光杰, 等. ZL101A 铝合金半固态连铸坯料的组织和力学性能[J]. 金属热处理学报, 2000(1): 40-43.
- [6] 余忠士, 张恒华, 邵光杰. 铝合金半固态成形件固溶热处理工艺优化研究[J]. 铸造, 2003, 11(52): 1078-1081.
- [7] 余忠士, 张恒华, 邵光杰, 等. 铝合金液态压铸与半固态压铸件的组性能研究[J]. 金属热处理, 2003, 28(1): 32-34.
- [8] 王开, 刘昌明, 邹茂华, 等. ZL112Y 铝合金半固态压铸过程微观组织的演变[J]. 中国有色金属学报, 2003, 13: 956-961.

## Microstructure and mechanical properties of A380 aluminum alloy by liquid and semi-solid die casting processes

LIU Yan-hua, FENG Yun

(Department of Mold Engineering, Jiangxi Yuzhou Scientific and Technological Institute, Xinyu 338029, China)

**Abstract:** The microstructure and mechanical properties of the products made of A380 aluminum alloy by the two different forming methods (semi-solid casting and liquid die casting) with the state of casting and T6 heat-treatment have been studied. Mechanical properties test showed that the two products exhibited similar tensile strength before heat treatment. However, the ductility of the semi-solid forming parts was almost one time higher than that of liquid forming parts. After T6 heat treatment, the tensile strength of the semi-solid die casting parts increased slightly, while it decreased dramatically for the liquid die casting parts. The ductility of two products decreased with different variation range. Further investigation of microstructure showed that the heat treatment was good for the semi-solid castings.

**Key words:** A380 aluminum alloy; semi-solid die casting; liquid die casting; mechanical property; micro-structure