

几种铸造铝合金的铸造性能、力学性能及耐蚀性

罗兵辉¹, 柏振海¹, 周 华², 张林和², 谢绍俊²

(1. 中南大学 材料科学与工程系, 湖南 长沙 410083; 2. 西南铝加工厂 技术处, 重庆 401326)

摘 要: 研究了 5 种铸造铝合金的铸造性能、力学性能及耐蚀性。5 种铸造铝合金分别为铝硅系的 A(ZL101, Al2711 %Si2013 %Mg), 铝镁系的 B(Al26150 %Mg20128 %Ti)、C(Al28158 %Mg2114 %Zn20107 %Ti)、D(ZL301, Al21010 %Mg20109 %Ti) 及新近研制开发的低镁低硅铝合金 E(Al2215 %Si2211 %Mg2018 %Mn2012 %Cr)。结果表明, 5 种铝合金具有良好的力学性能。合金 A 铸造性能较好, 耐蚀性差。合金 B、C、D 耐蚀性好, 但铸造性、抗应力腐蚀性能差。低镁低硅的铝合金 E 具有极好耐蚀性及其它综合性能。

关键词: 铝合金; 铸造性能; 力学性能; 耐蚀性; 应力腐蚀

传统的铸造铝合金有两类: 一是铝硅合金(如 ZL101、ZL102), 它们具有很好的铸造性能, 即流动性好、收缩率小, 加之热裂敏感性低, 力学性能好, 是广泛应用的铸造铝合金。目前我国 052 舰雷达天线底座即用该合金制造, 但 Al2Si 合金耐海水腐蚀性较差, 虽用漆保护, 应用时还是容易出现严重点蚀。另一类是铝镁合金(如 ZL301、ZL302) 有较好的耐海水腐蚀性能, 但铸造性能较差, 且存在应力腐蚀倾向。这两类铸造铝合金均不能满足舰船某些构件的应用需要。因此研制一种新型铸造铝合金, 使其铸造工艺性能、力学性能及耐蚀性(包括抗应力腐蚀性能) 等综合性能良好, 能满足舰船用铸造合金的要求, 具有重大国防意义。

1 试 验

试验材料为 A(ZL101, Al2711 %Si2013 %Mg), 铝镁系的 B(Al26150 %Mg20128 %Ti)、C(Al28158 %Mg2114 %Zn20107 %Ti)、D(ZL301, Al21010 %Mg20109 %Ti), 及新近研制开发的低镁低硅铝合金 E(Al2215 %Si2211 %Mg2018 %Mn2012 %Cr), 均为砂型铸造。将铸件材料经 T_4 处理, 即在一定温度加热保温, 淬火后自然时效, 各材料具体实施工艺见文献[1]。分别采用浇注锥形试样法、单螺旋试样法、热裂环测试法测试收缩率、流动性及抗热裂性, 具体测试方法按相关测试标准。

测定了砂型浇注试棒在 T_4 态下的拉伸强度及延伸率。试样尺寸为 $P20\text{ mm} \times 180\text{ mm}$, 平行试样 3 根。

耐蚀性能测试采用中性盐雾试验, 按 GB4. 11283 的《舰船电子设备环境试验盐雾试验》进行。采用间歇喷雾方法, 即连续喷雾 8 h, 停 16 h, 总计 24 h 为一周期, 共 24 周期。应力腐蚀是采用恒伸长速率试验法(CERT), 拉伸实验在 Instron8032 型电子拉伸机上进

行。每种试样分为两组: 一组在实验室空气中拉伸; 另一组在 310 %NaCl 水溶液中拉伸。盛装 NaCl 水溶液的容器焊接在试样夹具上, 保证试样变形部份始终渗在腐蚀介质中。

2 结果与讨论

2.1 力学性能与铸造性能

新研制的合金 E 与其它合金的成分及其 T_4 状态下力学性能见表 1。

表 1 试验合金成分及其力学性能

编 号	化学成分(质量分数P%)							力学性能	
	Si	Mg	Mn	Cr	Zn	Ti	Al	σ_b MPa	δ_5 P%
A(ZL101)	7.1	0.30					余	216	4.8
B		6.50				0.08	余	231	5.0
C		8.58			1.40	0.07	余	280	6.1
D(ZL301)		10.9				0.09	余	275	7.3
E	2.56	2.21	0.80	0.21		0.05	余	258	6.5

从表 1 可以看出, Al2Mg 系铸铝随 Mg 含量增加, 强度和塑性均有一定的升高。E 与 Al2Mg 系铸铝强度和塑性相当, 均高于 ZL101。

表 2 为 A、D 及 E 铸造工艺性能测试结果。合金 E 熔铸时收缩率及流动性稍弱于 ZL101, 但明显优于 ZL301。抗热裂性 ZL101 最好, E 次之, ZL301 较差。在金相显微镜下观察了 3 种铸件组织发现 Al2Si 是典型 (Al + Si) 共晶组织特征, 铸造性能好; ZL301 含镁量较高, 组织中呈枝晶网络的不定形相为 (Al_8Mg_5) 相, 可见 Mg 含量较高时, Al2Mg 合金晶界 相分布数量多,

且呈网状分布,从表2看,其固液相线温度间隔大,因而铸造性能差;合金E中晶界化合物由电镜分析得出为 Mg_2Si 、 $(Al) + Si$ 共晶和 $Al(MnFeSi)$ 化合物的混合物^[2],由于存在强化相 Mg_2Si ,使合金E具有较高强度,同时,共晶组织的存在及其固液相线温度间隔小的特征,使其铸造性能较好。

表2 3种铸造铝合金铸造性能

合金	液相线与固相线温度 P	收缩率 $P\%$		流动性(螺旋试样 P mm)	抗热裂性(第一裂纹出现时环的宽度 P mm)
		线收缩率	体收缩率		
A(ZL101)	610~579	3.8	1.1	770	0 ¹⁾
D(ZL301)	612~499	4.9	1.3	600	22.5
E	640~612	4.4	1.4	646	12.5

1) 为未出现裂纹

212 耐蚀性

21211 盐雾喷射腐蚀 从4种试样A(ZL101)、C、D(ZL301)及E盐雾腐蚀试验后表面状况可以看出:C及D均可见明显的局部腐蚀(点蚀),且程度相当。A抗腐蚀性差,以均匀腐蚀为主。E合金表面未见明显局部腐蚀痕迹,只是表面由原来亮灰色变为暗灰色,表现很好的耐蚀性。E合金表现的优良耐蚀性与其构成成分有关。其中镁和硅为主要合金元素,生成强化相 Mg_2Si 。锰的加入减少铁的有害影响,增大合金元素的固溶度。另外,其与铝形成的化合物 $MnAl_6$ 电极电位几乎与铝相同,故有很好的耐蚀性。铬和钛细化铸造组织,提高铸锭质量。另外,铬提高铝锰系和铝锌锰系合金的抗应力腐蚀性能。

21212 抗应力腐蚀性能 采用恒应变速率($\dot{\epsilon} = 115 \times 10^{-6} s^{-1}$)分别对B、C、D及E试样在空气和310%NaCl水溶液中进行CERT试验,结果见表3。

表3 $\dot{\epsilon} = 115 \times 10^{-6} s^{-1}$ 时的CERT结果

编号	σ_{MPa}		$P\%$		空气 - NaCl 空气
	空气	NaCl 水溶液	空气	NaCl 水溶液	
B	232	226	7.0	3.9	0.44
C	272	234	7.2	3.6	0.50
D	289	231	6.7	3.2	0.52
E	261	252	6.8	5.3	0.22

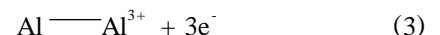
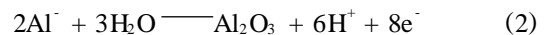
材料应力腐蚀敏感性的指标定义为:

$$E_{loss} = \frac{\text{空气} - \text{NaCl}}{\text{空气}} \quad (1)$$

若 E_{loss} 小,则应力腐蚀敏感性小;反之, E_{loss} 大,则应力腐蚀敏感性大。由表3看出,各合金在310%NaCl

水溶液腐蚀介质中力学性能均较空气中下降,合金B、C、D的 E_{loss} 较大,且随Mg含量增加,强度升高, E_{loss} 增大,塑性变化不大,说明随Mg含量增加,铝镁合金的应力腐蚀敏感性增大。合金E中Mg含量低,由于存在强化相 Mg_2Si ,使其中强度与上述合金相比不致下降,但 E_{loss} 较三合金明显减小,即其应力腐蚀敏感性显著减小。以上结果可由下述观点加以解释。

应力腐蚀是氢致断裂过程^[3]。在腐蚀介质中拉伸变形时,暴露出来的新鲜铝合金表面与环境中的水可能发生如下几个重要的电化学反应^[4]:



这样所形成的氢原子具有活性,通过吸附、扩散或位错输送到材料内部而导致氢脆。本实验中采用的应变速率很小($\dot{\epsilon} = 115 \times 10^{-6} s^{-1}$),试样有较多的时间与介质发生反应,从而能吸收更多的氢,因此其应力腐蚀敏感性也较高。研究表明^[5],高镁的铝合金($w(Mg) > 5\%$),Mg的晶界产生偏析,这样一方面使晶界断裂应力及晶界结合能下降,导致晶界脆化;另一方面,由于 Mg_2H 相互作用,Mg偏析必然加速应力腐蚀裂纹的形成与扩展,从而提高应力腐蚀敏感性。合金E中Mg、Si形成 Mg_2Si 相($m(Mg) - m(Si) = 1173 - 1$),过剩Si在合金中以单质Si存在,形成 $(Al) + Mg_2Si + Si$ 三相共晶组织^[6],对应力腐蚀敏感性无影响,故其应力腐蚀敏感性低。

3 结 论

1) Al2Si系铸铝的熔炼铸造工艺性能优良,但耐蚀性差。Al2Mg系铸铝有较高的力学性能,优良的抗蚀性,但铸造工艺性能差,而且存在明显的应力腐蚀倾向,其应力腐蚀是氢致断裂过程造成的。

2) 低镁低硅的Al2Mg2Si系铸铝铸造时有良好流动性,收缩率较小,热裂敏感性较低,铸造性能较好, T_4 状态下的有较高力学性能,耐蚀性明显优于ZL101合金,与铝镁系B(Al26150% Mg20108% Ti),C(Al28158% Mg2114% Zn20107% Ti),D(ZL301, Al21019% Mg20109% Ti)三合金相比,应力腐蚀敏感性低,无局部腐蚀,故是作为舰船耐蚀铸件的理想材料。

参 考 文 献

- [1] 罗兵辉,柏振海,周华. 中南工业大学学报, 1998, 29(6): 570
- [2] 褚武扬. 氢损伤与滞后断裂. 北京: 冶金工业出版社, 1988
- [3] Speidel M O. Metall trans, 1975, 6A(4): 631
- [4] Song R G, Tseng M K, Zhang B J. Acta Metall Mater, 1996, 44: 3241
- [5] 王祝堂,田荣璋. 铝合金及其加工手册. 长沙: 中南工业大学出版社, 1988

(下转第71页)

图4是混合粉末在转速为180 r/min,以10 mL酒精为过程控制剂的条件下,球料比分别取10:1,40:1,球磨20 h后粉末的电镜照片。在实验中改变球料比的方法是减少粉末的量,保持球的重量不变。可以看出粉末在球料比为40:1的条件下,粉末略细。这是由于粉末量的减少,粉末受到球碰撞的几率增加,且球与球之间的粉末相对较少,更容易受到球的碰撞冲击而变形和细化。

3 结 论

用机械合金化将Ni、Co、Cr、Mo多元素混合粉末球

磨20 h,可以形成镍基过饱和固溶体。加入酒精作为过程控制剂,不同的球磨工艺,对镍基合金粉末的粒度有很大的影响。实验中以酒精为过程控制剂,加入量为10 mL,球磨转速为180 r/min,球磨20 h,球料比为40:1时可获得约为3 μm 的镍基合金粉末。

参 考 文 献

- [1] 株洲硬质合金厂编著. 硬质合金的生产. 北京: 冶金工业出版社, 1974
- [2] 孙宝琦. 硬质合金, 1996, (1): 47

A Process for Ni₂based Solid Solute Ultrafine Powder by Mechanical Alloying

BAI Zhenhai, LI Wenxian, TANG Rong, TANG Dunqiang

(Department of Materials Science and Engineering, Central South University, Changsha 410083, Hunan, China)

Abstract: The effects of milling parameters on the size of Ni₂based solid soluted powders made by the mechanical alloying were investigated. The Ni₂based powder of about 3 μm has been successfully produced with ethanol as the processing control agent (PCA), the rotating speed of 180 rpm, milling for 20 hours and a ratio of 40 ball:1 powder.

Key words: mechanical alloying; Ni₂based ultrafine powder; milling process

(上接第68页)

Casting Mechanical Properties and Corrosion Behaviour of Some Casting Al Alloys

LUO Binghui¹, BO Zhenghai¹, ZHOU Hua², ZHANG Linghe², XIE Shaojun²

(1. Department of Materials Science and Engineering, Central South University, Changsha 410083, Hunan, China;

2. Southwest Aluminium Fabrication Plant, Chongqing 401326, China)

Abstract: Casting mechanical properties and corrosion behaviour of Al₂₇11Si₂₀13Mg (A), Al₂₆15Mg₂₀18Ti (B), Al₂₈15Mg₂₁14Zn₂₀107Ti (C), Al₂₁019Mg₂₀109Ti (D), Al₂₂15Si₂₂11Mg₂₀18Mn₂₀12Cr (E) were investigated. The results indicate that these Al alloys had good mechanical characteristics. The alloy A had excellent casting properties whilst poor in corrosion resistance. The alloys B, C, D exhibited a high corrosion resistance but inferior in casting properties and SCC. The alloy E showed outstanding corrosion resistance and other comprehensive properties due to appropriate Mg and Si in it.

Key words: Al alloys; casting property; mechanical property; corrosion resistance; stress corrosion