

新型低硅铸造铝合金耐腐蚀行为研究

曾瑞祥, 程腾飞, 杨弋涛

(上海大学材料科学与工程学院, 上海 200444)

摘要: 采用浸泡腐蚀试验、电化学极化和交流阻抗谱测试等手段, 并利用扫描电镜 (SEM) 和能谱 (EDS) 等分析方法, 研究了汽车转向节用新型低硅铸造铝合金在3.5%NaCl腐蚀介质下的腐蚀行为和规律。结果表明, 低硅铸造铝合金在3.5%NaCl腐蚀介质下, 其耐蚀性能与传统A356铝合金相当, 其腐蚀产物主要为 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 、 AlCl_3 及 Al_2O_3 ; 另外, Si含量在3%至4%变化时, Si含量增加引起二次枝晶壁间距减小, 耐蚀性能随Si含量增加而提高; 同时Cr元素的加入, 使得材料的局部腐蚀倾向降低, 但腐蚀速率有所提高。

关键词: 铸造铝合金; 耐蚀性能; 动电位极化; 交流阻抗谱

A356铝合金是 Al-Si-Mg 系亚共晶铸造铝合金, 具有优异的铸造性能、良好的强度重量比和加工性能等一系列优点, 已成为制造行业中最受重视的结构材料之一^[1]。随着汽车不断要求向轻量化发展, A356铸造铝合金在汽车转向节的生产中受到广泛地应用, 但在汽车整体向高性能、高科技发展的同时, A356已无法完全满足基于轻量化的高性能要求。在转向节的制造生产工艺较难改变的情况下, 开展了研制新材料以替代A356铝合金。新材料^[2]是对铸造铝硅合金进行材料成分的改良, 通过降低Si含量、添加Cr元素并略微提高Mg含量, 得到的新型低硅铸造铝合金力学性能有着较大幅度提升, 在T6热处理后抗拉强度提升29.5%达到350.7 MPa, 屈服强度提升45.1%达到303 MPa, 伸长率提升55.6%达到8.56%。然而铝合金在工作服役中可能会发生如应力腐蚀、晶间腐蚀和剥落腐蚀等局部腐蚀, 这会极大影响合金的强度、韧性等性能, 降低其服役时间并带来一定安全隐患, 使其使用潜力受到制约, 因此研究铝合金的耐腐蚀性能对实际生产应用有着重要的意义。对于新型低硅铸造铝合金, 成分优化中Mg含量的变化较小, 而Si、Cr的改变对铝合金的晶粒晶界分布、第二相的生成、表面氧化保护膜的形成等方面有着一定的影响, 所以着重在Si、Cr含量对耐蚀性能的影响上进行试验研究。

本文以成分优化后的新型低硅铸造铝合金为研究对象, 进行浸泡腐蚀失重实验、电化学动电位极化测试和交流阻抗谱测试, 并通过对比分析腐蚀产物、腐蚀速率、二次枝晶臂间距、极化曲线自腐蚀电位和阻抗值, 研究Si、Cr含量的变化对低硅铸造铝合金腐蚀行为的影响机理。

1 试验材料和方法

本试验材料是在A356铝合金铸锭的基础上, 通过加入纯铝、铝镁和铝铬中间合金进行成分调整, 以此得到5个不同低硅含量的试样 (S_1 - S_5) 和3个低硅加Cr的试样 (C_1 - C_3)。在电阻坩埚炉中进行熔炼, 分别加入精炼剂 (30%NaCl+30%KCl+20%NaF+20% Na_2SiF_6)、变质剂 (Al-Sr)、细化剂 (Al-Ti-B), 在温度为710~720 °C时进行浇注 (重力铸造)。将浇注得到的铝合金铸锭在540 °C固溶处理2 h后水淬, 170 °C下时效8 h。采用SPECTRO MAX6台式火花直读光谱仪分析熔炼所得铸锭化学成分, 如表1所示。

作者简介:

曾瑞祥 (1995-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为铸造铝合金的组织与性能优化及生产应用。E-mail: zrxjason@163.com

通讯作者:

杨弋涛, 男, 教授。电话: 021-66136550, E-mail: yangyitao@shu.edu.cn

中图分类号: TG146.21

文献标识码: A

文章编号: 1001-4977 (2019)

08-0872-08

收稿日期:

2019-04-03 收到初稿,

2019-04-21 收到修订稿。

浸泡腐蚀试验是分别取10 mm × 10 mm × 5 mm的4个平行试样,进行5天、10天、15天、20天的浸泡腐蚀试验。试样用水磨砂纸打磨至1 500#,经清洗烘干后,称量试样质量并测量试样表面积,再用细线对试样进行绑定,放入3.5% NaCl腐蚀液中进行浸泡。取出时,将试样放入不与试样发生反应的浓HNO₃中去除表面腐蚀产物,再用软毛刷在清水下冲洗,最后将试样放入无水乙醇中进行超声波清洗,烘干称重并计算腐蚀速率。腐蚀速率的计算公式如下:

$$R = \frac{8.76 \times 10^7 \times (M - M_1)}{STD} \quad (1)$$

式中: R 为腐蚀速率, mm/a; M 为腐蚀前试样重量, g; M_1 为腐蚀后试样重量, g; S 为试样的表面积, cm²; T 为腐蚀时间, h; D 为试样的密度, kg/m³。

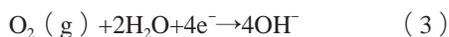
电化学实验的试样尺寸为10 mm × 10 mm × 5 mm。将试样用导电胶与铜导线相连接,再将试样的工作面以外部分用环氧树脂进行镶嵌保护,电化学极化曲线以及阻抗谱的测定,在标准电化学工作站(Gamry Reference 600)和三电极体系下进行电化学测量,包含作为参比电极的饱和甘汞电极(SCE),作为辅助电极的铂电极以及研究对象样品的工作电极。电解液为3.5% NaCl溶液,电极电位从-500 mV扫描至1 500 mV相对于E_{oc}电位,电位扫描速度为1 mV/s,在OCP上进行EIS测试,频率范围为10⁵ Hz至10⁻² Hz。利用体式显微镜对试样腐蚀后宏观形貌进行观察,并通过HITACHI SU-1500钨灯丝扫描电镜和能谱分别对腐蚀产物,试样产生的点蚀坑形貌特征进行观察分析。

2 试验结果和讨论

2.1 浸泡腐蚀

在浸泡腐蚀实验中,主要形成点蚀及少部分区域的均匀腐蚀。图1是对浸泡腐蚀产物的线扫描能谱分析,在腐蚀产物中主要存在着Al、O、Cl元素,结合文献[3]分析初步推测其主要腐蚀产物为Al(OH)₃、AlCl₃及Al₂O₃。对于本试验的低硅铸造铝合金,在浸泡腐蚀中点蚀的形成,其反应过程主要存在以下三个过程^[4-5]:

(1) 阳极区的Al基体首先在活性位置发生溶解反应,然后在腐蚀电解质的作用下,阴极区发生吸氧反应:



(2) 在溶液中,生成白色Al(OH)₃沉淀物,并进一步发生二次反应,导致惰性Al₂O₃的生成:



(3) 在表面形成的液膜中,Cl⁻和氧竞争吸附,

表1 铝合金的主要合金元素含量
Table 1 Chemical composition of main alloy elements in tested aluminum alloys w_B/%

试样	Si	Mg	Fe	Ti	Cr	Al
A356	7.03	0.31	0.101	0.136	0.001	余量
S1	2.62	0.60	0.144	0.051	0.004	余量
S2	3.03	0.58	0.140	0.053	0.002	余量
S3	3.50	0.63	0.135	0.066	0.003	余量
S4	3.98	0.59	0.108	0.083	0.002	余量
S5	4.49	0.57	0.143	0.071	0.002	余量
C1	3.57	0.60	0.145	0.066	0.086	余量
C2	3.48	0.54	0.154	0.064	0.259	余量
C3	3.53	0.53	0.121	0.062	0.535	余量

首先在铝合金表面的活性位发生吸附,这种吸附在氧化膜不完整或缺陷处增强,Cl⁻活化作用较强,容易通过氧化性保护膜内极小的孔隙,直接与金属发生反应,生成含Cl元素的灰白色腐蚀产物AlCl₃:



图2分别为不同Si、Cr含量随浸泡时间变化的腐蚀速率变化图。与A356铝合金相比,低硅铸造铝合金试样S₃、S₄、C₂的腐蚀速率均低于A356铝合金,其元素含量也满足在力学性能提升的要求范围内,可进行进一步的研究探讨。从动力学上分析,低硅铸造铝合金与A356铝合金的腐蚀速率变化接近,除了在试验前期5天时变化规律有部分突变,在其他天数时腐蚀速率变化趋势基本一致,其中试验前中期5~15天腐蚀速率的变化,基本随浸泡时间的增加呈现增大的趋势,而在试验后期浸泡20天时出现腐蚀速率下降的趋势。这是由于试验前期,铝合金与腐蚀液直接接触,腐蚀速率较快,而之后铝合金表面覆盖着腐蚀产物,主要为Al(OH)₃白色沉淀,保护了材料表面,使得腐蚀速率降低^[6]。另外,低硅试样S₂、S₅的腐蚀速率较高,S₂-S₄腐蚀速率较低;在加入Cr元素后,试样较相同Si含量但不添加Cr元素的S₃试样,腐蚀速率变化呈现略微升高的趋势,同时在含Cr元素的3个试样中,C₂腐蚀速率最低。

2.2 电化学腐蚀

通过动电位极化曲线测试(图3),进一步研究低硅铸造铝合金在3.5% NaCl溶液中的耐蚀性能。在电化学极化曲线中,所有样品的阳极区域都没有观察到钝化平台和点蚀的击穿电位,因此可以得出,点蚀电位(E_{pit})与自腐蚀电位(E_{cor})一致,点蚀自然发生在合金的腐蚀电位^[7]。极化曲线中自腐蚀电位 E_{cor} 越正,反映合金发生腐蚀的倾向越小,腐蚀电流密度(i_{cor})的

值越大,反映合金腐蚀速率较小^[8]。表2中的 E_{cor} 以及 i_{cor} 是由Cview2软件得到的电化学腐蚀特性,从表中可知试样 E_{cor} 值较A356铝合金的 -733.79 mV有一定的负移,反映低硅铸造铝合金的腐蚀倾向大于A356。但新型低硅铸造铝合金的 i_{cor} 值与A356接近,其反映的腐蚀速率大小规律与浸泡腐蚀实验基本一致,说明低硅铸造铝合金的耐蚀性能与A356基本相近。

对于极化曲线中反映的不同Si、Cr含量低硅铸造铝合金的耐蚀性能变化,如表2所示。在 S_1 向 S_2 变化时, E_{cor} 值明显负移, i_{cor} 值增大,与浸泡腐蚀规律一致,表现为腐蚀倾向增大,腐蚀速率增加。 S_2 至 S_5 变化时, S_2 - S_4 时 i_{cor} 值逐渐减小, S_5 试样增大,与浸泡腐蚀反映的腐蚀速率变化规律一致,腐蚀速率逐渐降低至

S_5 时升高,同时 E_{cor} 值由 -866.28 mV逐渐正移至 -809.62 mV,反映试样的局部腐蚀倾向有所下降。 C_1 - C_3 试样相对于Si含量同样接近3.5,但不含Cr元素的 S_3 试样,其 i_{cor} 值减小, E_{cor} 值正移,腐蚀倾向降低。而在Cr元素进一步增加后,试样 C_2 与 C_3 的 E_{cor} 值出现了一定的负移,显示其腐蚀倾向又有所增加。

为了更好地描述铝合金的耐蚀性能,进行了试样在3.5% NaCl溶液中的EIS阻抗谱测试,并利用ZSimDemo软件拟合阻抗数据得到等效电路模型。用图4等效电路模型拟合奈奎斯特图中的阻抗数据,发现迭代次数与吻合度值ChiSq最小。其中, CPE_{dl} 为等相位角元件, R_{ct} 为电荷转移电阻, C_{oxd} 和 R_{oxd} 为腐蚀产物层(包含产物膜和腐蚀产物)的电容和电阻, R_s 为溶液电

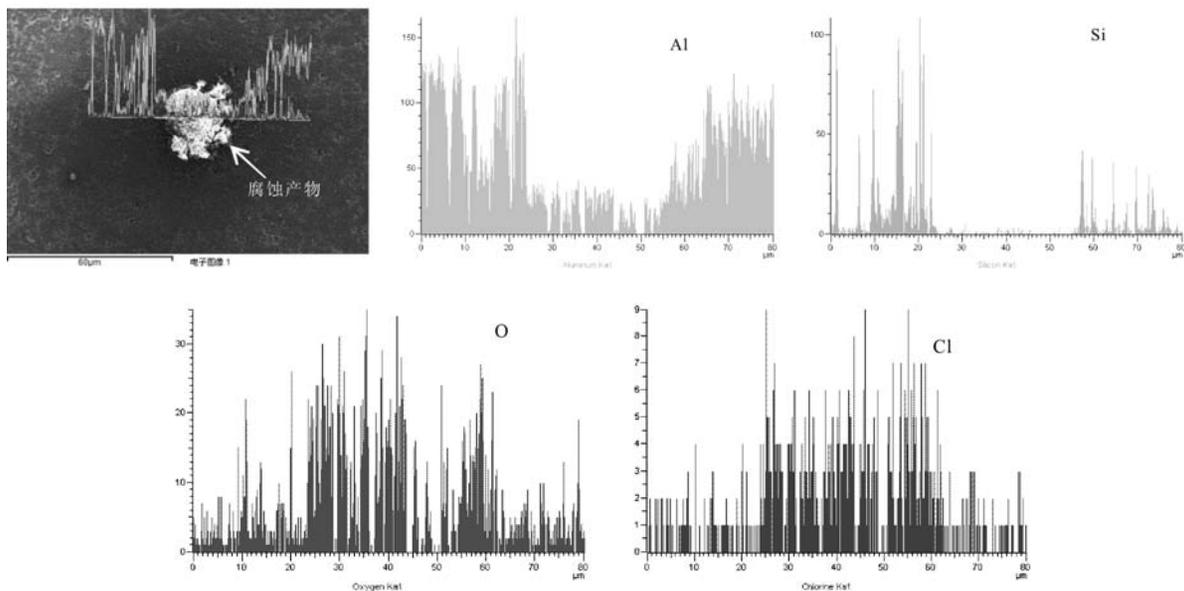


图1 浸泡腐蚀产物EDS线扫描分析

Fig. 1 EDS line scan analysis of soaking corrosion products

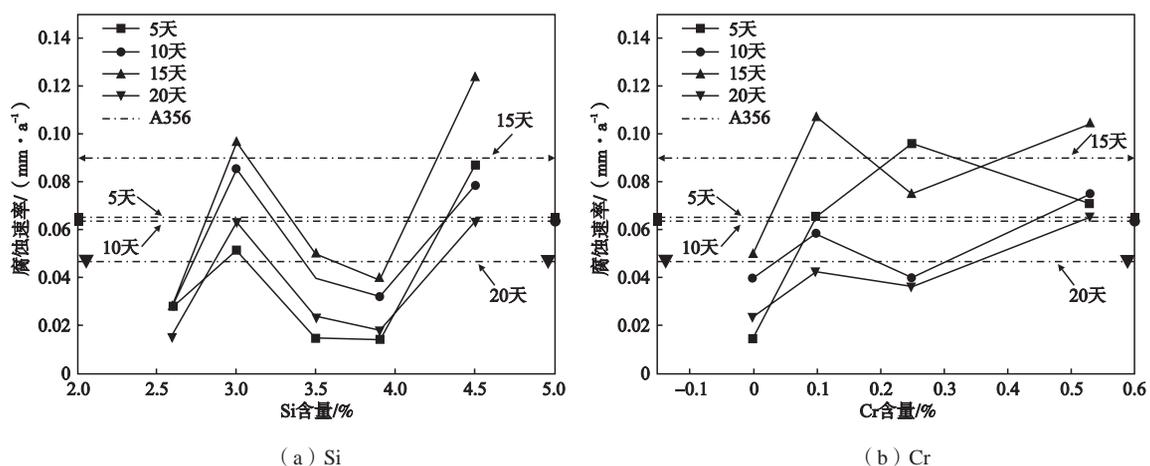


图2 不同Si、Cr含量随浸泡时间变化的腐蚀速率变化图

Fig. 2 Corrosion rate variation of aluminum alloys with different Si and Cr contents with immersion time

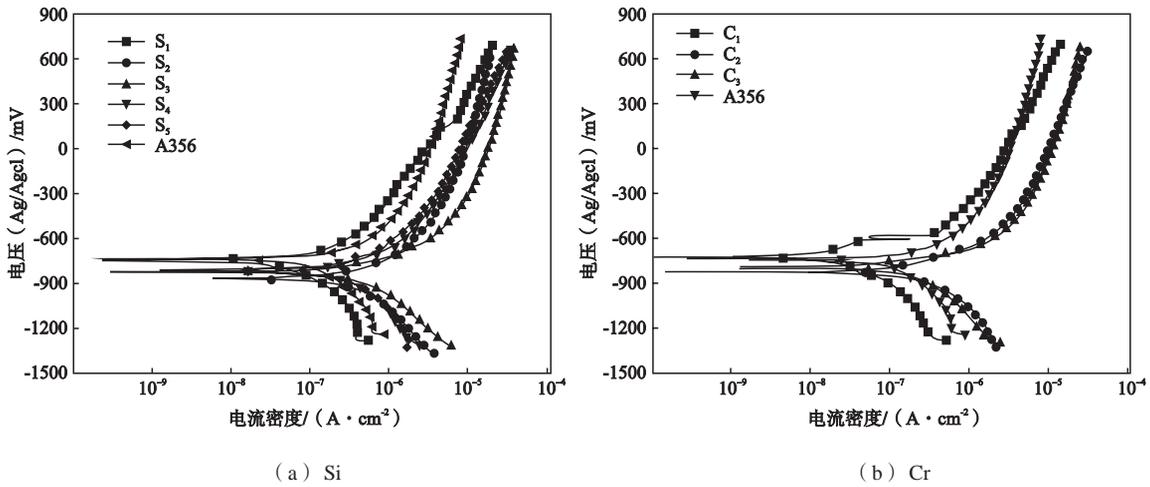


图3 不同Si、Cr含量铝合金在3.5% NaCl介质中的动电位极化曲线

Fig. 3 Dynamic potential polarization curves of aluminum alloys with different Si and Cr contents in 3.5% NaCl medium

表2 从图3动电位极化曲线及图5和图6阻抗数据拟合得到的腐蚀特性
Table 2 Corrosion characteristics obtained from the dynamic potential polarization curve in Fig. 3 and the impedance data in Fig. 5 and Fig. 6

试样	E_{cor}/mV	$i_{cor}/(\mu A \cdot cm^{-2})$	$CPE/(\Omega^{-1}cm^{-2}s^n)$	$R_{ct}/(\Omega cm^2)$
A356	-733.79	0.21	1.10×10^{-7}	25×10^4
S ₁	-748.81	0.10	6.45×10^{-7}	139×10^4
S ₂	-866.28	0.64	11.6×10^{-7}	2.79×10^4
S ₃	-823.24	0.36	96.7×10^{-7}	4.56×10^4
S ₄	-815.36	0.31	5.06×10^{-7}	5.82×10^4
S ₅	-809.62	0.59	5.41×10^{-7}	3.97×10^4
C ₁	-764.02	0.23	0.33×10^{-7}	6.70×10^4
C ₂	-821.14	0.22	73×10^{-7}	17.4×10^4
C ₃	-790.06	0.11	0.60×10^{-7}	7.37×10^4

阻, C_s 为溶液电解质电容。测量的阻抗数据由从高频到低频的两个时间常数组成, 高频段的 R_{oxd} 、 CPE_{oxd} 包含关于合金基体上的氧化物钝化层的信息, 以及其结构中的所有可能变化(缺陷, 厚度等)。而低频段的 R_{ct} 、 CPE_{dl} 对应于金属/电解质界面上的电荷转移过程, 该频率也对应于在发生点蚀的情况下的局部腐蚀过程^[9-10]。在图5a和图6a的奈奎斯特图中, 阻抗曲线都呈现相同的形状特征, 都为凹陷的电容式半圆形状, 这意味着腐蚀过程可能遵循相同的机制。低频区对应于 Cl^- 或点蚀形成时产生的腐蚀中间产物在钝化层上的脱吸附过程, 而奈奎斯特曲线上低频区的出现, 说明吸附在钝化层表面的 Cl^- 使钝化层发生了溶解和点蚀, 这与浸泡腐蚀中反映的腐蚀过程描述相符^[3]。

对于阻抗曲线半圆的直径, 试样耐腐蚀性能越好, 其直径越大。从图5a中得知在Si含量变化试样中, S₁试样的直径最大, 显示其耐蚀性能的优良, 同时S₂-S₅试样直径逐渐增大, 反映耐蚀性能得到提升。在添加

Cr元素的试样中, C₂试样的直径较大, 表现出较好的耐蚀性能, 这与极化曲线得到的规律相对应。另外, R_{ct} 代表电极表面反应的电荷转移电阻, 其值是表面上电子转移的量度, 与腐蚀速率成反比。 CPE_{dl} 代表工作电极界面的双电层电容, 在电极和周围电解质之间的界面上存在双电层, 这表明腐蚀过程主要受电荷转移

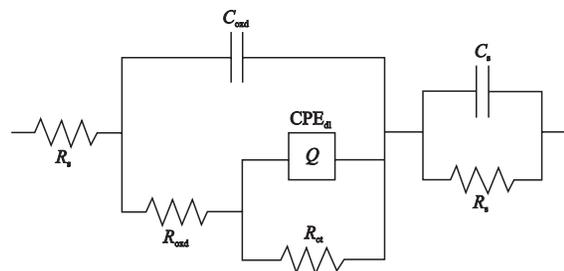


图4 EIS数据拟合得到等效电路模型
Fig. 4 Equivalent circuit used for fitting of EIS data

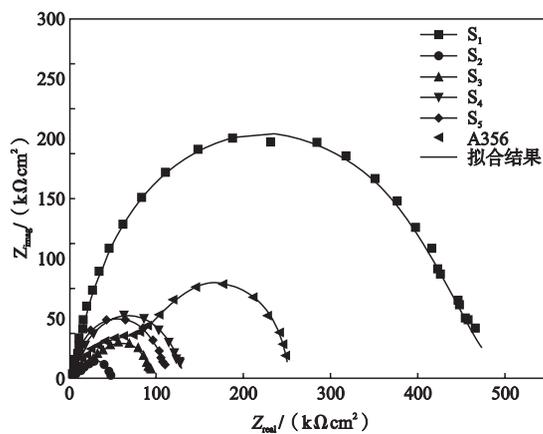
过程控制。 R_{ct} 的高值和 CPE_{dl} 的低值意味着样品的更好的防腐蚀能力,从表2中可知, C_2 试样的 R_{ct} 值明显高于其他试样, CPE_{dl} 的值略高,作为新型低硅铸造铝合金中力学性能最佳的试样,其耐蚀性能与A356合金相当但略低。在图5b和图6b的伯德图中,容抗弧模值 $|Z|$ 大小代表合金溶解阻力的大小,模值大,则阻力大,阳极的腐蚀速度慢,表明合金样品具有更好的耐蚀性能^[11]。图中显示,不同Si含量变化时,其变化规律与奈奎斯特图的规律基本一致, S_1 试样的容抗弧模值较大,耐蚀性能较好, S_2 - S_5 试样容抗弧模值随Si含量增加而增大,耐蚀性能提升。而在不同Cr含量变化时,容抗弧模值彼此接近略低于A356。

2.3 腐蚀行为分析

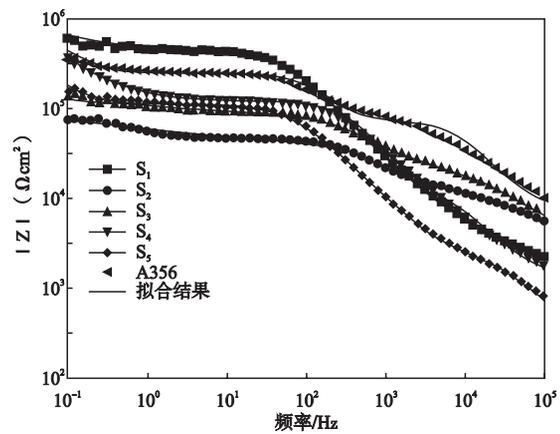
对于低硅铸造铝合金,研究不同Si、Cr含量的耐

蚀性能,主要受到元素变化引起的晶粒晶界变化的影响,以及析出相变化的影响。新型低硅铸造铝合金作为铸造铝合金的一类,常利用SDAS(二次枝晶臂间距)作为判定其晶粒细化程度。通过图7所示试样金相组织形貌进行统计,在晶粒得到细化时,第二相/金属间化合物颗粒易分解,使其尺寸低于某些临界尺寸,进而能够有效阻止第二相的阴极反应,使该部位很难发生腐蚀^[12]。

图8是C2铝合金试样SEM形貌及EDS点扫描分析。在对腐蚀特性产生影响的析出相中,图8a的1处能谱分析得到存在Al、Si、Mg元素,反映Si元素形成相对于铝基体的阴极相共晶硅相,以及作为阳极相的 Mg_2Si 强化相,2处存在Al、Si、Fe元素,显示Si元素形成作为阴极相的AlFeSi金属杂质相。而加入Cr元素后主要改变Fe相的生成与生长,如3处能谱扫描得到Al、Si、Fe、



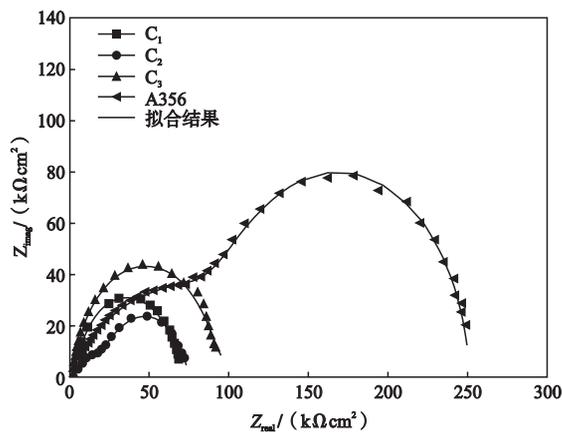
(a) Nyquist图



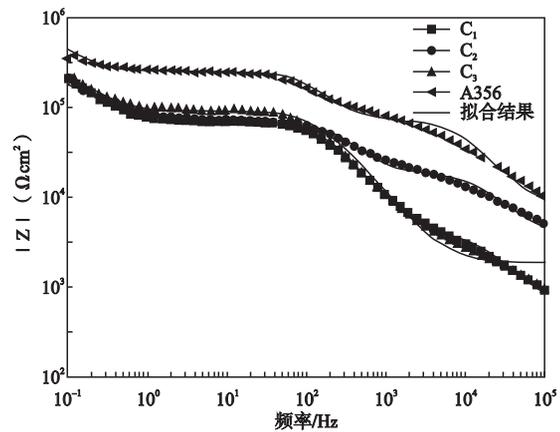
(b) Bode图

图5 不同Si含量铸造铝合金电化学阻抗谱

Fig. 5 Electrochemical impedance spectroscopy of cast aluminum alloys with different Si contents



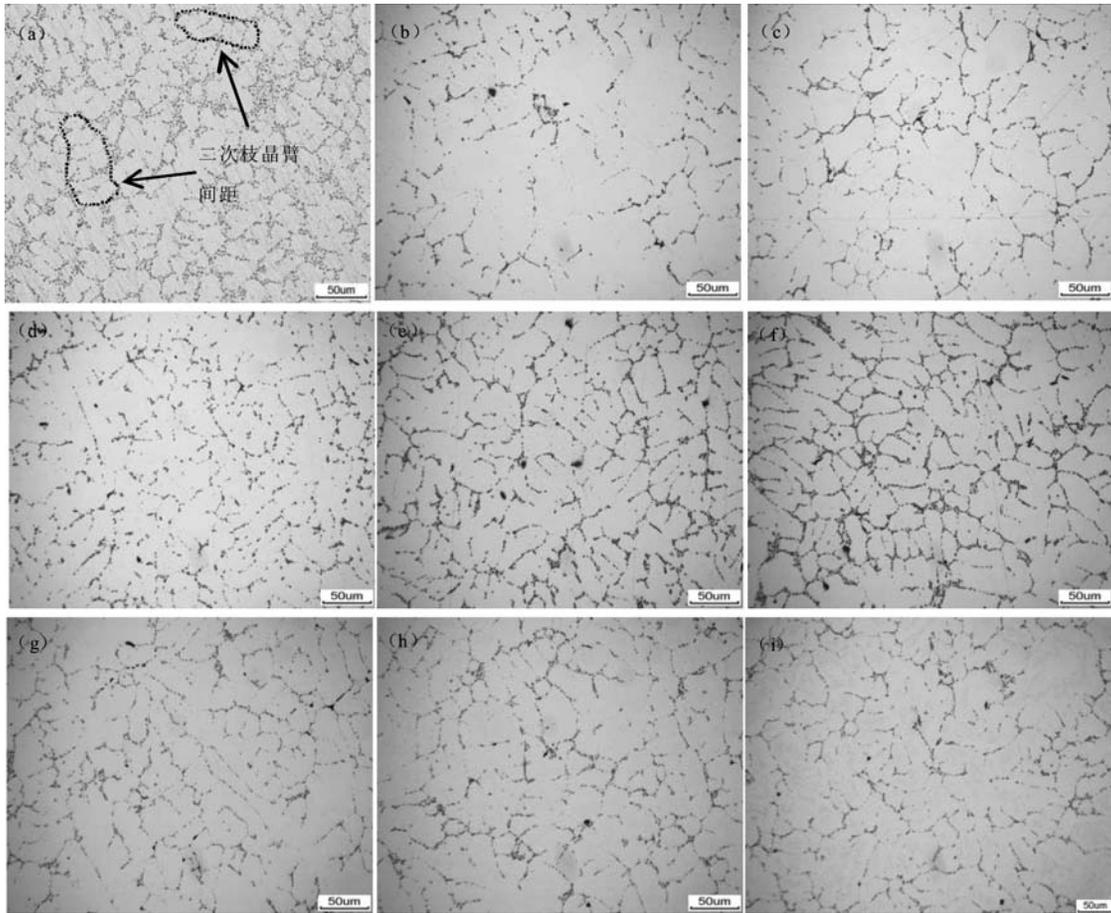
(a) Nyquist图



(b) Bode图

图6 不同Cr含量铸造铝合金电化学阻抗谱

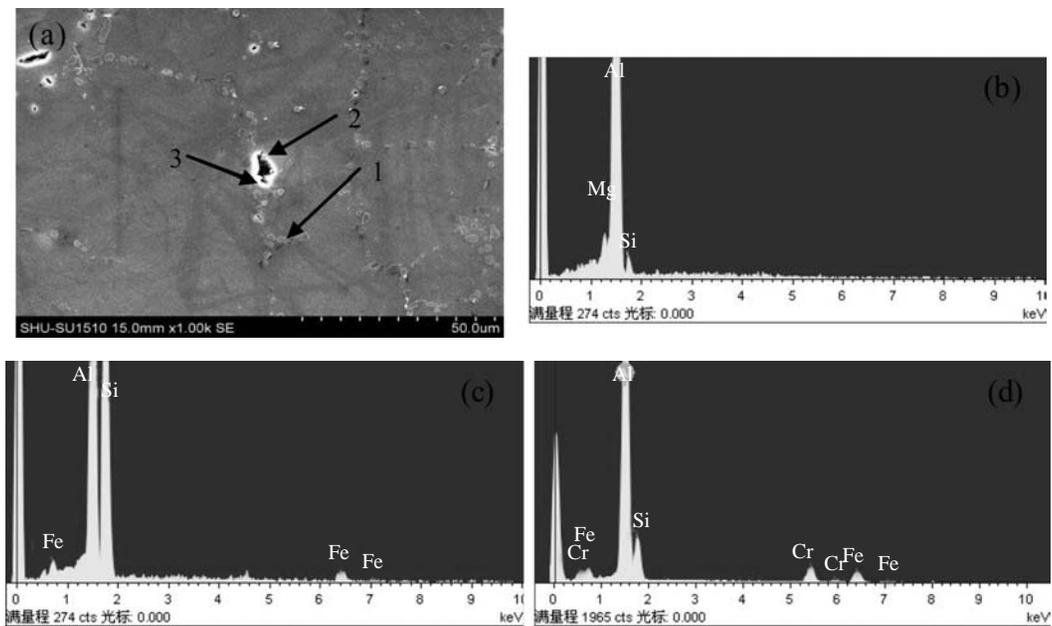
Fig. 6 Electrochemical impedance spectroscopy of low silicon cast aluminum alloys with different Cr contents



(a) A356; (b) - (f) 试样 S₁-S₅; (g) - (i) 试样 C₁-C₃

图7 铝合金金相组织

Fig. 7 Microstructures of aluminum alloy samples with different Si and Cr contents



(a) C₂试样SEM形貌; (b-d) 1、2、3处点扫描能谱分析

图8 铝合金C₂试样SEM图像及EDS点扫描分析

Fig. 8 SEM image and EDS point scanning analysis of C₂ sample

Cr元素,其形成AlCrFeSi相,使AlFeSi相细化,消除了Fe的有害作用^[13-14]。表3所示为其能谱点扫描分析结果。

对低硅铸造铝合金的腐蚀行为进行分析,其耐蚀性能总体与A356相当。对于A356在电化学腐蚀中表现出更良好的性能,主要是因为虽然A356铝合金SDAS值 $20.7\ \mu\text{m}$ 与C₂试样的 $21.9\ \mu\text{m}$ 接近,细化程度接近,但Si含量的增加,通过改善合金铸造性能以改善合金组织,使组织均匀细化,引起作为阴极相的共晶硅相更多地富集在晶界及枝晶处(如图9a与b的对比所示),使得腐蚀更均匀,可降低局部腐蚀的倾向^[15]。

对于不同Si、Cr含量的低硅铸造铝合金的耐蚀性能变化,在3.0%Si时,耐蚀性能下降,主要是由于相对S₁试样Si含量为2.6%,作为阳极相的Mg₂Si强化相形成基本达到饱和,而更多的阴极相析出,例如AlFeSi金属杂质,同时SDAS在S₁时为 $34.9\ \mu\text{m}$,S₂时为 $33.7\ \mu\text{m}$,并没有得到明显的细化。而随着Si含量增加,耐蚀性能提升,这主要是因为随着Si含量的增加,合金SDAS下降较明显,合金组织更加均匀,使得腐蚀均匀,腐蚀倾向下降。而在Si含量变化至4.5%后的S₃试样,Si更多地聚集在晶界处,未继续起到组织细化的作用,其耐蚀性能没有进一步地提升。C₂试样是新型低硅铸造铝合金中力学性能最优的成分含量,在添加Cr元素后腐蚀倾向降低,一方面是由于Cr元素的加入与其他元素形成偏析相,偏析相均匀分布,使得腐蚀更加均匀,降低局部腐蚀的倾向。从图8对C₂试样的能谱分析可知,存在着AlCrFeSi偏析相,而其存在也降低了Fe元素的影响。另一方面Cr元素使得合金细化,Cr与Al基体结合形成Al₇Cr等弥散相,显著抑制再结晶产生及其晶粒长大,使晶粒得到细化,使合金均匀腐蚀。张新明等研究表明^[15],当Cr含量超过0.02%时,过量的Cr元素会显著降低熔体凝固前沿液相的成分过冷度,增大合金熔体的结晶范围,最终导致合金的晶粒出现了长大的现象,细化程度降低。这也体现在本试验中Cr元素

的增加,试样C₂与C₃的腐蚀速率有所升高,但Cr元素形成的析出相均匀分布以及减少Fe相的有害作用,使得耐蚀性能变化没有呈现一定的变化趋势,但在Cr元素为0.26时表现出较好的耐蚀性能。

3 结论

(1)对于成分优化后得到的新型低硅铸造铝合金,在力学性能较传统A356铝合金明显提升的情况下,通过浸泡腐蚀失重和电化学测试实验表明,新型低硅铸造铝合金与A356的耐蚀性能相当。

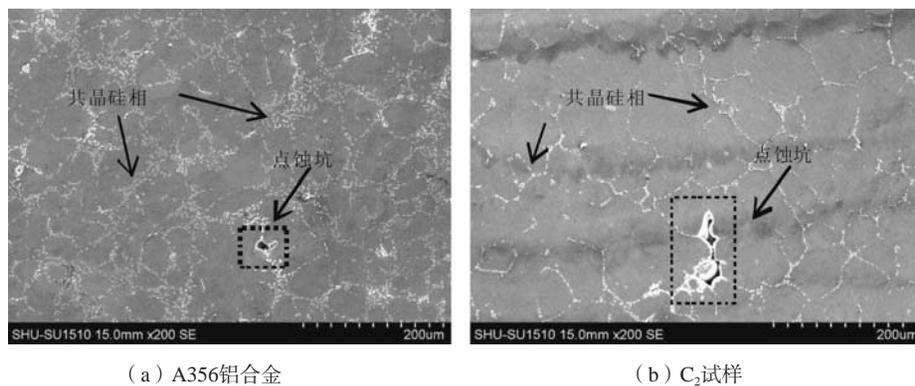
(2)在不同Si含量变化时,低硅铸造铝合金在Si含量为3.03%时耐蚀性能较差,在Si含量在3.03%~3.98%变化时,合金得到细化,耐蚀性能有所提高,在设定的成分优化区间,Si含量在3.2%~3.6%内,可保持良好的耐蚀性能。

(3)通过Cr元素的加入,可改善低硅铸造铝合金的局部腐蚀问题,电化学测试反映腐蚀速率有所降低,耐蚀性能得到提升,在不同Cr含量变化时,由于Cr元素引起的AlCrFeSi偏析相和晶粒细化的作用,在本试验范围内,Cr元素含量为0.26%时具有较好的耐蚀性能。

(4)对低硅铸造铝合金在3.5%NaCl溶液中的腐蚀行为进行分析,发现二次枝晶臂间距SDAS表征的合金细化程度,Si含量的增加以及Cr元素的添加,SDAS减小,耐蚀性能提升。同时Si含量在3.98%后继续增加,会使得Si元素更多富集在晶界处,对耐蚀性能影响不大。

表3 标记于图8中各点EDS点扫描分析结果
Table 3 EDS point scan analysis results marked at each point in Fig. 8

试样编号	Al	Si	Mg	Fe	Cr
1	96.22	3.06	0.72		
2	47.90	49.29		2.81	
3	73.93	9.02		10.78	6.27



(a) A356铝合金

(b) C₂试样

图9 铝合金动态电位极化测试后点蚀SEM图像(7%HF蚀刻后)

Fig. 9 SEM pitting image of samples A356 and C₂ after dynamic potential polarization test (after 7% HF etching)

参考文献:

- [1] OGRIS E, WAHLEN A, LÜCHINGER H, et al. On the silicon spheroidization in Al-Si alloys [J]. Journal of Light Metals, 2002, 2 (4): 263-269.
- [2] 李鹏飞. 汽车转向节的铸造铝合金性能提升研究 [D]. 上海: 上海大学, 2019.
- [3] 乔岩欣, 周洋, 陈书锦, 等. 双轴肩搅拌摩擦焊对6061-T6铝合金表面组织及其在3.5%NaCl中腐蚀行为的影响 [J]. 金属学报, 2016, 52 (11): 1395-1402.
- [4] 周和荣, 李晓刚, 董超芳, 等. 铝合金在NaHSO₃溶液中干湿周浸腐蚀行为 [J]. 中国腐蚀与防护学报, 2008, 28 (06): 345-350.
- [5] 李鹏. 飞机铝合金结构件的腐蚀机理与控制 [J]. 全面腐蚀控制, 2006 (2): 36-38.
- [6] 邵麟. 铝合金在3.5%NaCl溶液中的腐蚀行为研究及外加阴极电流保护 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2012.
- [7] ÖZTÜRK İ, HAPĞI AĞAOĞLU G, ERZİ E, et al. Effects of strontium addition on the microstructure and corrosion behavior of A356 aluminum alloy [J]. Journal of Alloys and Compounds, 2018, 763: 384-391
- [8] 文九巴. 防腐用铝基阳极材料 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2012.
- [9] MORETO J A, MARINO C E B, BOSE FILHO W W, et al. SVET, SKP and EIS study of the corrosion behavior of high strength Al and Al-Li alloys used in aircraft fabrication [J]. Corrosion Science, 2014, 84: 30-41.
- [10] MANASA S, JYOTHIRMAYA, SIVA T, et al. Effect of inhibitor loading into nanocontainer additives of self-healing corrosion protection coatings on aluminum alloy A356 [J]. Journal of Alloys and Compounds, 2017, 726: 969-977
- [11] FLAMINI D O, CUNCI L, SAIDMAN S B. Electrochemical characterisation of gallium-aluminium amalgams [J]. Materials Chemistry and Physics, 2008, 108 (1): 33-38.
- [12] 刘振云, 赵明, 王学良, 等. 晶粒晶界对铝合金耐蚀性能的影响 [J]. 北京化工大学学报 (自然科学版), 2016, 43 (5): 57-62.
- [13] 时军. 6063铝合金阳极氧化耐蚀性能研究 [D]. 扬州: 扬州大学, 2013.
- [14] 张晓燕, 李家锐, 卢锦德, 等. Cr元素含量对Al-Cu系铸造铝合金性能的影响 [J]. 热加工工艺, 2010, 39 (15): 31-33.
- [15] 张新明, 周志乐, 唐建国, 等. Cr元素对Al-Mg-Si-Cu铝合金组织与性能的影响 [J]. 材料工程, 2013 (12): 49-53, 58.

Corrosion Resistance Behaviors of New Low Silicon Cast Aluminum Alloy

ZENG Rui-xiang, CHENG Teng-fei, YANG Yi-tao

(School of Materials Science and Engineering, Shanghai University, Shanghai 200444, China)

Abstract:

Corrosion behaviors of a new low-silicon cast aluminum alloy for automobile steering knuckle in 3.5% NaCl corrosion medium was studied by means of soaking corrosion test, electrochemical polarization, AC impedance spectroscopy, scanning electron microscopy (SEM) and energy dispersive spectroscopy (EDS). The results show that the corrosion resistance of the low-silicon cast aluminum alloy in 3.5% NaCl corrosion medium was comparable to that of traditional A356 aluminum alloy. The corrosion products were mainly Al(OH)₃, AlCl₃ and Al₂O₃. In addition, when the Si content increased from 3% to 4%, the secondary dendrite wall spacing decreased, the corrosion resistance increased, and the addition of Cr decreased the corrosion tendency of the alloy, but the corrosion rate increased.

Key words:

cast aluminum alloy; corrosion resistance; potentiodynamic polarization; AC impedance spectrum
