

稀土 Ce 对半固态挤压铸造 AlSi10Cu3Fe 合金组织及性能影响

马路路, 张南洋, 张 波, 张书维

(江苏安全技术职业学院, 智能制造与应急装备学院, 江苏徐州 221000)

摘要: 通过光学显微镜、X射线衍射仪、扫描电子显微镜、电子万能试验机、显微硬度计及导电仪等手段分析了稀土Ce元素对半固态挤压铸造AlSi10Cu3Fe合金组织及性能演变的影响。研究表明: 稀土Ce元素对半固态挤压铸造合金组织具有很好地细化作用, 稀土添加量为0.5%时半固态合金组织细化效果最好, 初生 α -Al相呈现出等轴晶或球状晶形态, 排列有序且分布非常均匀, 合金的平均晶粒尺寸和晶粒形状因子分别为48 μm 与0.75, 与不含稀土Ce的合金相比晶粒尺寸降低了51.51%, 形状因子提高了53.06%。与此同时, 半固态合金的力学性能也达到峰值, 其抗拉强度、伸长率及显微硬度分别为231.98 MPa、7.8%和HV100.15, 与不含稀土的合金相比, 分别提高了37.81%、59.18%和25.38%。不含稀土Ce及稀土Ce含量为0.5%的合金导电率分别为38.56% IACS和43.27% IACS, 稀土Ce的添加也有助于合金导电性能的提高。

关键词: AlSi10Cu3Fe合金; 半固态; 稀土Ce; 微观组织; 力学性能; 导电率

作者简介:

马路路(1985-), 女, 学士, 讲师, 研究方向为机械设计制造及其自动化。E-mail: 15852094974@163.com

中图分类号: TG146.2;

TG249.2⁺6

文献标识码: A

文章编号: 1001-4977(2024)

08-1137-07

基金项目:

江苏省高等学校自然科学重点研究项目资助(14589202301)。

收稿日期:

2023-11-09 收到初稿,

2024-01-10 收到修订稿。

半固态金属成形工艺结合了传统锻造加工及铸造成形的优点, 受到国内外大量研究学者的广泛关注。由于挤压铸造的高压凝固行为, 可以在一个成形步骤中获得接近净形状的高密度金属零件, 并具有优异的力学性能^[1-3]。半固态挤压铸造是半固态金属成形和挤压铸造相结合的产物, 其应用范围广、工艺简便、效率高、成形铸件组织致密、铸件力学性能良好且尺寸精度高, 对于节约资源和保护环境有着重要的指导意义^[4-6]。特别是汽车制造、军事工业及航空航天等工业领域对于半固态挤压成形技术的应用越来越多^[7]。刘岩等人^[8]利用剪切、振动耦合亚快速凝固制备出高性能Al-Si-Mg-Fe合金半固态浆料, 研究挤压压力及浇注温度对半固态挤压合金组织及性能的影响。研究结果显示: 随着浇注温度的逐渐降低, 初生 α -Al相的平均晶粒尺寸逐渐降低, 形状因子逐渐增大, 孔隙率也逐渐降低。挤压压力的增大使得半固态挤压合金的初生 α -Al相的晶粒逐渐变得细小且圆整, 合金的致密度也在不断提高。当浇注温度为670 $^{\circ}\text{C}$, 挤压压力为120 MPa时, 半固态挤压合金的拉伸性能达到峰值, 其屈服强度、抗拉强度及伸长率分别为191.7 MPa、278.6 MPa和3.4%。李乃拥等人^[9]利用半固态挤压铸造工艺制备出半固态ZCuSn10P1铜合金, 研究了不同挤压速率及成形比压对半固态铜合金组织及性能的影响。研究结果显示: 随着成形比压的逐渐增大, 半固态合金的晶粒尺寸由89.25 μm 减小至77.96 μm , 液相率由36.7%减少至22.3%。挤压速率的逐渐增大, 半固态合金的固相晶粒圆整度由1.54减小至1.32。当挤压速率为15 m/s, 成形比压为250 MPa时, 半固态合金的抗拉强度及伸长率分别为387 MPa和2.8%。目前, 关于挤压铸造工艺对半固态铝合金或铜合金的研究越来越多, 主要是集中在挤压速率、挤压压力或浇注温度等工艺方面的研究, 可以得到最佳的成形工艺参数。但是, 随着人们对高性能半固态挤压铸造合金的要求越来越高, 只是研究成形工艺参数来提高合金的性能还远远不够。稀土作为我国的宝贵财富, 其不仅具有净化合金熔体、去除熔体中的氢和氧化夹杂, 还可以对合金熔体起

到良好地细化与变质效果^[10-12]。因此,本文通过挤压铸造工艺制备了不同稀土Ce含量的半固态AlSi10Cu3Fe合金,研究稀土Ce含量对半固态AlSi10Cu3Fe合金微观组织、力学性能及导电性能的影响,并且探讨其影响机理,旨在为制备高性能半固态挤压铸造铝合金提供指导。

1 试验材料与方法

采用纯铝、纯硅、纯铜及纯铁制备AlSi10Cu3Fe合金,利用功率为5 000 W的井式电阻炉对合金进行熔炼处理,合金随炉加热升温至750 °C,保温10 min以确保合金全部熔化,加入精炼剂C₂Cl₆对铝液进行除气除渣处理,以Al-10Ce(质量分数,%)中间合金的形式向铝液中加入不同含量的稀土Ce,并对铝液充分搅拌处理,随后铝液随炉降温至605 °C并保温10 min,然后在SCH-350A型间接挤压铸造机上将合金熔液浇注于模具内自然冷却,模具预热至250 °C,以避免试样内产生缺陷,浇注温度为600 °C,压强为150 MPa,保压时间为15 s,压射速度为0.2 m/s,浇注完成后,自然冷却,最后得到不同Ce含量(0%、0.25%、0.5%和0.75%)的半固态挤压铸造AlSi10Cu3Fe合金。

将得到的不同Ce含量的半固态挤压铸造AlSi10Cu3Fe合金进行研磨、抛光制备成金相试样,利用0.5%(体积分数)的HF水溶液进行刻蚀,在Olympus-DSX500型光学显微镜及配有能谱分析系统的Quanta200型扫描电镜上观察半固态合金的微观组织形貌。利用DHV-1000AV型显微硬度计对不同Ce含量的半固态挤压铸造AlSi10Cu3Fe合金进行硬度测试,负载为9.8 N,保压时间为10 s,每组试样表面测定8个点,取其平均值。将不同Ce含量的半固态挤压铸造AlSi10Cu3Fe合金线切割成拉伸试样(图1),室温拉伸试验在CSS-44200型电子万能试验机上进行,应变速率为0.000 667 s⁻¹,并利用扫描电镜观察拉伸断口形貌。利用HD-103型数字涡流导电仪测定半固态合金的导电率。

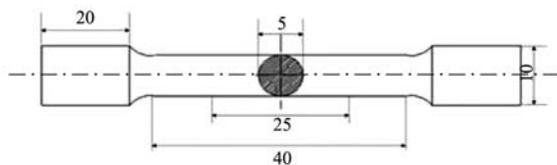


图1 拉伸试样的外形尺寸

Fig. 1 Dimensions and shape of the tensile specimen

2 试验结果与分析

2.1 物相分析

图2为不含稀土Ce及Ce含量为0.5%的AlSi10Cu3Fe

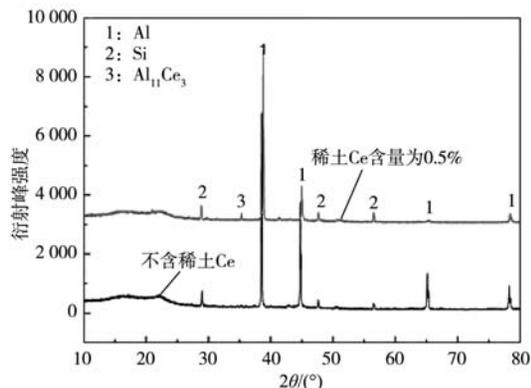


图2 不含稀土Ce及Ce含量为0.5%的AlSi10Cu3Fe半固态合金XRD衍射图谱

Fig. 2 XRD diffraction patterns of the AlSi10Cu3Fe semi-solid alloys without rare earth Ce and with a Ce content of 0.5%

半固态合金的XRD衍射图谱。从图谱中可以观察到,不含稀土Ce的半固态合金主要是由Al相及Si相两种相组成,而添加了稀土Ce后在衍射图谱中出现了Al₁₁Ce₃相的衍射峰,由此可知,在添加了稀土Ce后在半固态合金组织内生成了Al₁₁Ce₃稀土相,这是因为Ce元素极易与Al元素发生共晶反应,进而生成含Ce的稀土相。

2.2 微观组织分析

图3为不同Ce含量的AlSi10Cu3Fe合金半固态组织形貌。从图3a中可以看出,未加入稀土Ce的AlSi10Cu3Fe合金主要是由初生 α -Al相及共晶Si相所构成,其中初生 α -Al相主要呈现出粗大的树枝晶状结构,取向没有明显规律,分布杂乱无章,共晶Si相杂乱无章地分布于晶界周围,存在明显的偏析聚集现象。图3b为添加了0.25%的稀土Ce后,AlSi10Cu3Fe合金半固态组织形貌,稀土元素的加入有效地改善了合金的半固态组织形态,初生 α -Al相尺寸明显得到细化,逐渐由未添加稀土元素的长条状向椭球状转变,晶粒圆整度也得到了明显提高,与此同时,共晶Si相局部成分偏析的现象也得到了极大改善。提高稀土Ce的加入量到0.5%后(图3c),半固态合金的微观组织形貌进一步得到细化, α -Al相呈现出等轴晶或球状晶形态,排列有序且分布非常均匀,晶粒圆整度极高,共晶Si相的分布也变得更为均匀,未观察到成分偏析现象。然而,当稀土Ce的加入量提高至0.75%时(图3d),合金的组织形貌明显有恶化的趋势,初生 α -Al相逐渐向长条状转变,变得有些杂乱无章,晶粒圆整度也大大降低,且晶粒尺寸也在逐渐增大,局部再次出现了共晶Si相成分偏析聚集的现象,由此可知,过量的加入稀土Ce反而会粗化半固态合金的组织形貌。

图4为稀土Ce含量对AlSi10Cu3Fe合金晶粒尺寸及形状因子的影响。从图可以观察到,未添加稀土Ce的

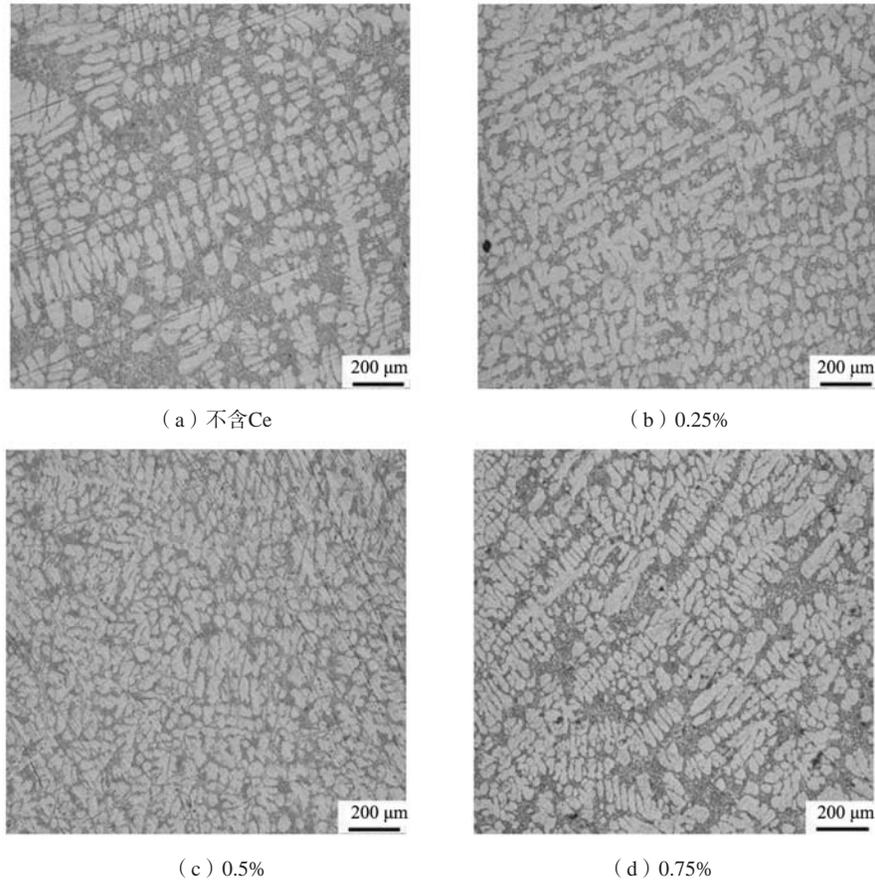


图3 不同Ce含量的AlSi10Cu3Fe合金半固态组织

Fig. 3 Semi-solid microstructures of the AlSi10Cu3Fe alloys with different Ce contents

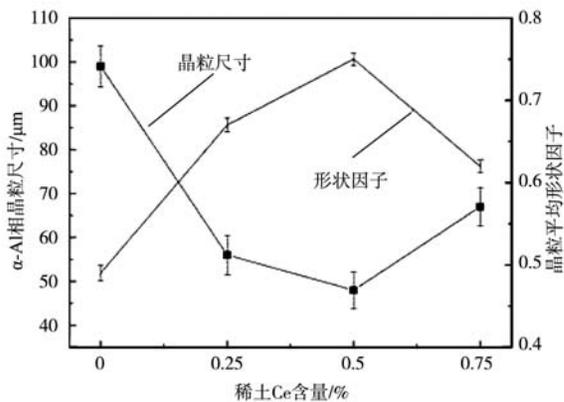


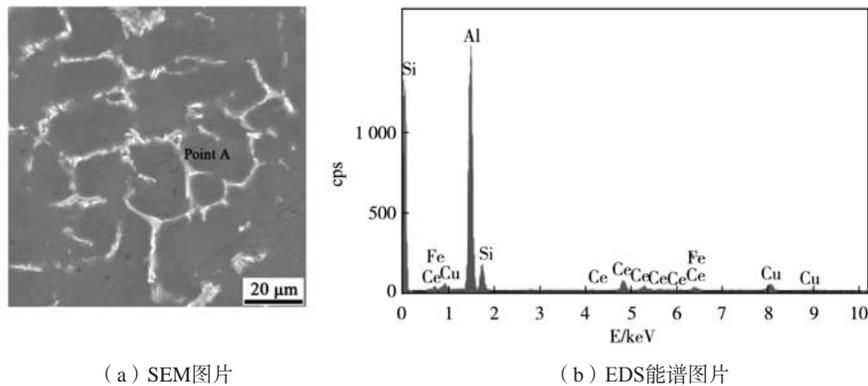
图4 稀土Ce含量对AlSi10Cu3Fe合金晶粒尺寸及形状因子的影响

Fig.4 Effect of rare earth Ce content on grain size and shape factor of the AlSi10Cu3Fe alloy

合金 α -Al相晶粒尺寸最大,晶粒平均形状因子最小,分别为99 μm 和0.49。随着稀土Ce的逐渐添加,合金的平均晶粒尺寸与晶粒形状因子逐渐得到改善,当稀土Ce含量为0.5%时, α -Al相晶粒尺寸减小至48 μm ,比不含稀土Ce的合金降低了51.51%,并且晶粒平均形状因子增加至0.75,比不含稀土Ce的合金提高了53.06%,由此可知,稀土Ce的加入对合金晶粒组织形貌具有极

大地改善作用。因为在合金熔体中稀土Ce的固溶度较小,平均分配系数远远小于1,在合金熔体组织凝固时会偏聚在固液界面前沿液相中,使得界面前沿液相中的原子浓度梯度增加,进而增大了成分过冷,枝晶缩颈熔断机会增大,有效地提高了合金熔体的形核率,导致合金组织的显著细化^[13-14]。但是当稀土Ce含量提高至0.75%时,合金的晶粒尺寸急剧增大,晶粒形状因子也陡然降低,分别为67 μm 和0.62,这主要是由于过量的稀土Ce加入使得合金组织内形成了大量的稀土金属间化合物,从而减少自由富集在合金固/液界面上的元素原子数,减小成分过冷,导致晶粒细化作用减弱,使得合金组织出现了明显粗化的趋势^[15]。

图5为稀土Ce含量为0.5%的AlSi10Cu3Fe合金半固态SEM-EDS显微照片。从图5a中可以看到,在晶界处分布白色的长条状或短棒状的第二相,且取向各异,无序排布。为了进一步验证白色区域的相成分,对该区域进行了EDS能谱分析,见图5b。从EDS能谱分析结果可知,此白色第二相主要是由Al、Si、Ce、Fe及Cu等元素组成,结合图2的XRD衍射图谱分析结果及相关研究^[16]表明,可以确定其为 $\text{Al}_{11}\text{Ce}_3$ 稀土相。



(a) SEM图片

(b) EDS能谱图片

图5 稀土Ce含量为0.5%的AlSi10Cu3Fe合金半固态SEM-EDS显微图片

Fig. 5 SEM-EDS micrographs of the semi-solid AlSi10Cu3Fe alloy with 0.5% rare earth Ce content

2.3 拉伸性能分析

图6为稀土Ce含量对AlSi10Cu3Fe合金拉伸性能的影响。由图可知，稀土Ce含量由0逐渐增加至0.75%，半固态合金的抗拉强度及伸长率均呈现出先逐渐增加至峰值而后降低的变化趋势。不含稀土Ce的合金抗拉强度及伸长率分别为168.33 MPa和4.9%，而添加了0.5%的稀土Ce后，合金的抗拉强度及伸长率均达到峰值，分别为231.98 MPa和7.8%，与不含稀土的合金相比，其抗拉强度及伸长率分别提高了37.81%和59.18%。稀土Ce的添加极大地细化了合金的微观组织形貌，有效地减小了初生 α -Al相的晶粒尺寸，晶粒得到细化，使得晶界面积增大，进而阻碍了位错的运动。位错难以穿越晶界而只能在晶界前塞积，形成位错墙，进而阻碍后续的位错运动，从而使得合金的力学性能得到显著提高^[17]。但是当稀土Ce含量为0.75%时，合金的抗拉强度及伸长率降低了许多，这是由于稀土的过量加入使得合金微观组织形态粗化所导致的，并且根据Ao等人^[18]的研究表明：过量稀土的添加

还会在合金组织内生成较多粗大的长条状或针刺状的富Ce稀土相，在合金受到外力拉伸作用时，这些稀土相极易造成应力集中，使得裂纹源增多，从而降低合金的强度及塑性。

2.4 显微硬度分析

图7为稀土Ce含量对AlSi10Cu3Fe合金显微硬度的影响。由图可以看出，随着稀土Ce含量的逐渐增加，半固态合金的显微硬度先逐渐升高而后迅速降低，显微硬度的变化趋势与拉伸性能的变化趋势一致。未加入稀土Ce的半固态合金的显微硬度为HV79.88，合金的表面较软，显微硬度较低。而添加了稀土Ce后合金的硬度得到了显著提高，尤其是当稀土Ce含量为0.5%时，半固态合金的显微硬度达到最高，为HV100.15，与不含稀土的合金相比较提高了25.38%。稀土Ce的加入对合金显微硬度有显著提高，主要是稀土对合金组织有明显细化作用，根据合金的硬度与合金的晶粒尺寸Hall-Petch关系式^[19]可知：

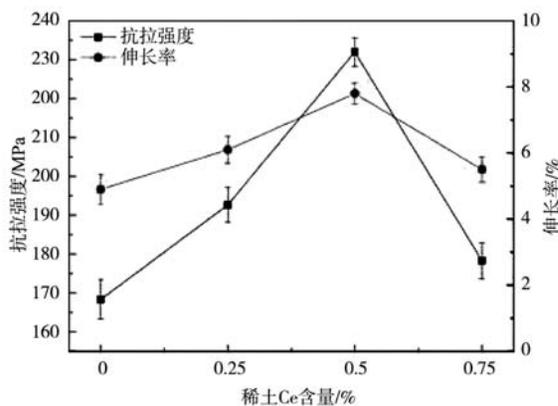


图6 稀土Ce含量对AlSi10Cu3Fe合金拉伸性能的影响

Fig. 6 Effect of rare earth Ce content on tensile properties of the AlSi10Cu3Fe alloy

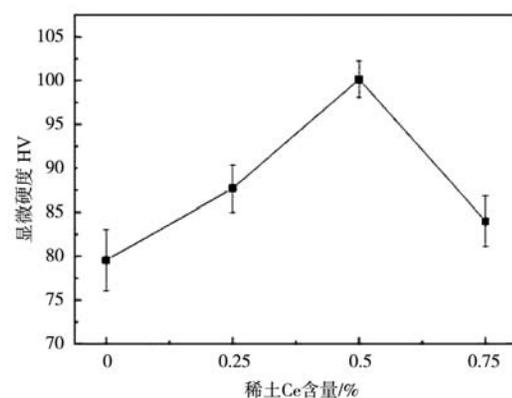


图7 稀土Ce含量对AlSi10Cu3Fe合金显微硬度的影响

Fig. 7 Effect of rare earth Ce content on microhardness of the AlSi10Cu3Fe alloy

$$H_v = H_0 + kd^{-1/2} \quad (1)$$

式中： H_v 表示显微硬度， H_0 和 k 均为不同合金材料的不同常数， d 表示合金材料的平均晶粒大小。由式(1)可知，合金材料的平均晶粒尺寸越小，则合金材料的显微硬度越大，这也就是稀土Ce的加入极大提高合金显微硬度的关键原因。与此同时，稀土Ce的加入也改善了合金组织内共晶Si相的局部偏析聚集现象，减少了因第二相颗粒局部偏聚而产生应力集中导致合金材料性能降低的情况发生。

2.5 导电性能分析

图8为稀土Ce含量对AlSi10Cu3Fe合金导电率的影响。从图中可以明显看出，随着稀土Ce含量的不断提高，AlSi10Cu3Fe合金的导电率呈现出先增大而后降低的变化趋势。不含稀土Ce的合金导电率为38.56% IACS，添加了0.25%、0.5%及0.75%稀土Ce的AlSi10Cu3Fe合金导电率分别为40.33% IACS、43.27% IACS和40.05% IACS。稀土Ce的添加有效提高了半固态合金的导电性能，因为Ce元素有效地细化了 α -Al相粗大的树枝晶，并且减小了共晶Si相的尺寸，消除了共晶Si相偏聚现象，减弱了其对电子传输的阻碍效应^[20]，同时稀土元素的添加有效地消除了合金内的夹渣与孔

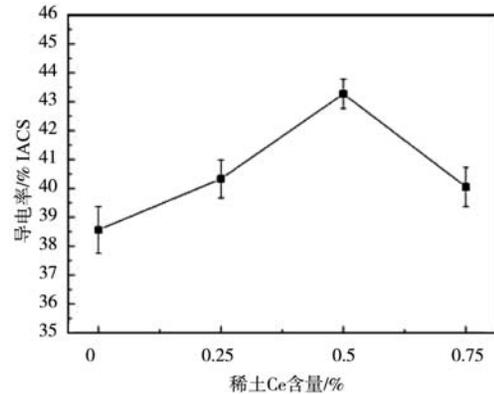


图8 稀土Ce含量对AlSi10Cu3Fe合金导电率的影响
Fig. 8 Effect of rare earth Ce content on conductivity of the AlSi10Cu3Fe alloy

隙点缺陷，使得合金组织更加致密，这就大幅度提高了合金的导电性能。但是稀土元素添加过量时，会与Al液形成大量富Ce稀土金属间化合物，从而增加了电子流通过的难度，降低了合金的导电性能^[21]。

2.6 断口形貌分析

图9为不同Ce含量的AlSi10Cu3Fe合金室温拉伸断口形貌。从图9a中可以观察到，未添加稀土Ce的半固

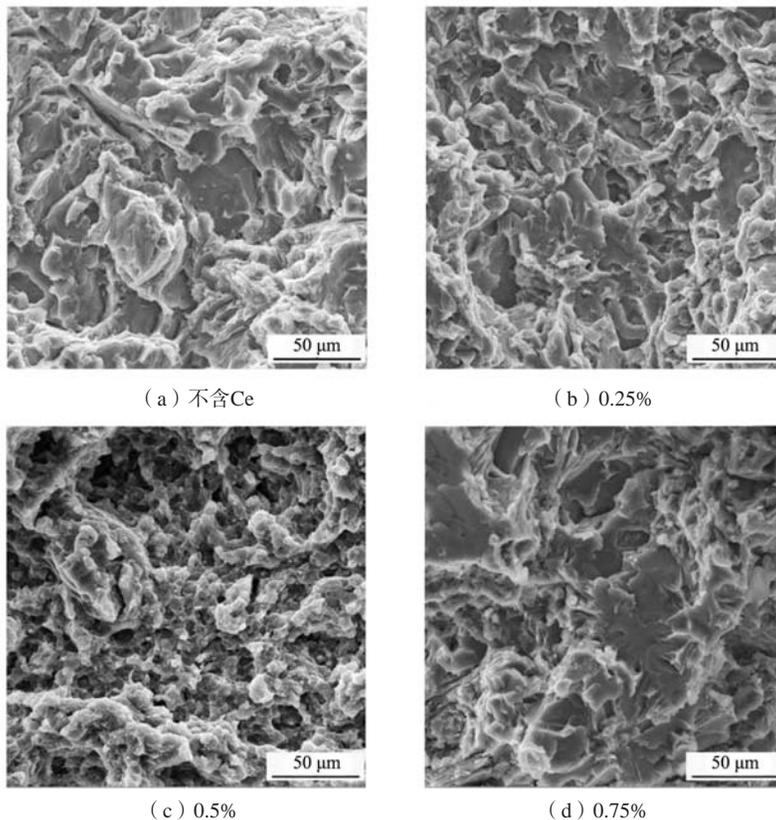


图9 不同Ce含量的AlSi10Cu3Fe合金室温拉伸断口形貌

Fig. 9 Tensile fracture morphologies of the AlSi10Cu3Fe alloys with different Ce contents at room temperature

态AlSi10Cu3Fe合金断口表面呈现出明显的解理台阶及解理平面,还存在非常明显的长条裂纹,此时合金表现出较低的应力,属于解理断裂的断裂形式。如图9b所示,添加了0.25%的稀土Ce后,合金的断口表面形貌出现了些许改善,解理台阶数量有所减少,存在比较明显的撕裂棱,仍然是以解理断裂机制为主。如图9c所示,添加0.5%的稀土Ce后合金的断口形貌发生了明显变化,脆性平坦区和撕裂棱消失,在断口表面出现了比较明显且数量较多的韧窝,即合金的强度及塑性均得到了一定改善,虽然韧窝形状尺寸大小不一,分布也不均匀,但是总体观察合金的断裂机制已经转变为解理断裂,即介于脆性断裂和韧性断裂之间的一种断裂形式。如图9d所示,稀土Ce加入量为0.75%时,合金的拉伸断口表面的韧窝又消失殆尽,平坦且光滑的解理台阶重新出现,表现出比较明显的解理断裂特征。

3 结论

(1) 稀土Ce对半固态挤压铸造AlSi10Cu3Fe合

金组织起到了显著地细化作用,当稀土Ce含量为0.5%时,半固态合金初生 α -Al相由粗大树枝晶状结构转变为细小等轴晶或球状晶形态,其平均晶粒尺寸和晶粒形状因子分别为48 μm 与0.75,与不含稀土Ce的合金相比晶粒尺寸降低了51.51%,形状因子提高了53.06%。在添加稀土Ce后,半固态合金组织内Ce元素主要以稀土金属间化合物 $\text{Al}_{11}\text{Ce}_3$ 相存在。

(2) 通过添加稀土元素Ce的方式可以有效地提高半固态AlSi10Cu3Fe合金的力学性能。当稀土Ce含量为0.5%时,半固态合金的抗拉强度、伸长率及显微硬度均达峰值,分别为231.98 MPa、7.8%和HV100.15,与不含稀土的半固态合金相比,分别提高了37.81%、59.18%和25.38%。

(3) 随着稀土Ce含量的不断提高,AlSi10Cu3Fe合金的导电率呈现出先增大而后降低的变化趋势。不含稀土Ce的合金导电率为38.56% IACS,添加了0.5%稀土Ce的AlSi10Cu3Fe合金导电率为43.27% IACS,稀土Ce的添加对合金导电性能具有促进作用。

参考文献:

- [1] WANG Yongfei, ZHAO Shengdun, ZHANG Chenyang. Microstructures and mechanical properties of semi-solid squeeze casting ZL104 connecting rod [J]. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 2018, 28: 235-243.
- [2] GUAN Renguo, ZHAO Zhanyong, ZHANG Qiusheng, et al. Effect of the casting temperature on temperature field and microstructure of A2017 alloy during an innovative continuous semisolid rolling process with a vibrating sloping plate device [J]. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2013, 67 (1-4): 917-923.
- [3] JIANG Jufu., WANG Ying, LIU Jun, et al. Microstructure and mechanical properties of AZ61magnesium alloy parts achieved by thixo-extruding semisolid billets prepared by new SIMA [J]. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 2013, 23 (3): 576-585
- [4] 元鹏,李伯龙,王同波,等.挤压铸造工艺对Al-7Si-0.4Mg-0.3Er汽车左支架组织与性能的影响[J].稀有金属材料与工程,2020,49(4):1360-1365.
- [5] 郭红丽,李勇.半固态挤压铸造下稀土Y强化机械零件用ZL105铝合金的制备与性能[J].材料与冶金学报,2022,21(6):442-447.
- [6] 周照耀,曹小兵,秦杰,等.机械振动对挤压铸造A356铝合金组织与性能的影响[J].华南理工大学学报(自然科学版),2017,45(2):46-51.
- [7] 肖寒,陈泽邦,陆常翁,等.半固态挤压铸造ZCuSn10铜合金的组织演变[J].材料热处理学报,2015,36(12):37-43.
- [8] 刘岩,高民强,杨莉,等.半固态挤压铸造Al-Si-Mg-Fe合金的组织与性能[J].特种铸造及有色合金,2023,43(6):747-752.
- [9] 李乃拥,肖寒,熊迟,等.半固态挤压铸造铜合金的组织与力学性能[J].稀有金属材料与工程,2018,47(9):2813-2820.
- [10] 姚丽娟,坚增运,朱满,等.富铈混合稀土对A356铝合金凝固组织和力学性能的影响[J].铸造,2016,65(2):166-171.
- [11] 赵渊博,安旭,赵琦,等.Pr、Ce复合稀土变质处理对ADC12合金耐磨性能的影响[J].铸造,2023,72(3):282-287.
- [12] 黄斌,何国强.固溶处理对体育器材用(La+Yb)/ZL105合金耐腐蚀性能的影响[J].铸造,2023,72(7):857-862.
- [13] 钟江伟,张鸿,陈彦旭.稀土元素La、Ce含量对Cu-0.4Cr-0.2Zr-0.15Mg合金组织和性能的影响[J].中国有色金属学报,2016,26(5):1092-1099.
- [14] 李红英,孙远,宾杰,等.Ce对耐热铝导体材料铸态组织和性能的影响[J].中南大学学报(自然科学版),2011,42(10):3026-3032.
- [15] 李红英,赵菲,阳慎兰.富Ce混合稀土加入量对铝合金组织与导电性能的影响[J].中国有色金属学报,2020,30(4):719-727.
- [16] FANG Miao-miao, YAN Hong, SONG Xian-chen, et al. Effect of (Pr+Ce) additions on microstructure and mechanical properties of AlSi5Cu1Mg alloy [J]. Applied Sciences, 2019, 9 (9): 1856.
- [17] 姜巨福,王迎,肖冠菲,等.变质细化和热处理对挤压铸造成形A356铝合金构件性能的影响[J].材料研究学报,2020,34(12):

881-891.

- [18] AO Xiaohui, XING Shuming, YU Baishui, et al. Effect of Ce addition on microstructure and mechanical properties of A380 aluminum alloy prepared by squeeze-casting [J]. International Journal of Minerals Metallurgy and Materials, 2018, 25 (5) : 554563.
- [19] 路君, 曾小勤, 丁文江. 晶粒度与合金强度关系 [J]. 轻金属, 2008 (8) : 59-64.
- [20] 赵燕, 张宇博, 李廷举, 等. 稀土元素La对Al-0.5Mg-0.24Si合金组织和性能的影响 [J]. 特种铸造及有色合金, 2021, 41 (10) : 1219-1223.
- [21] 于小健, 吉卫喜, 钱陈豪, 等. Sr-Y复合变质对Al-7Si合金组织和性能的影响 [J]. 材料科学与工程, 2021, 29 (3) : 49-56.

Effect of Rare Earth Ce on Microstructure and Properties of Semi-Solid Squeeze Casting AlSi10Cu3Fe Alloy

MA Lu-lu, ZHANG Nan-yang, ZHANG Bo, ZHANG Shu-wei

(School of Intelligent Manufacturing and Emergency Equipment, Jiangsu College of Safety Technology, Xuzhou 221000, Jiangsu, China)

Abstract:

The effects of rare earth Ce on the microstructure and properties of semi-solid squeeze cast AlSi10Cu3Fe alloy were analyzed by means of optical microscope, X-ray diffractometer, scanning electron microscope, electronic universal testing machine, microhardness tester and conductivity meter. The results showed that the rare earth Ce had an excellent refining effect on the microstructure of the semi-solid squeeze cast alloy, when the rare earth addition was 0.5%, the microstructure refining effect of the semi-solid alloy was the best, the primary α -Al phase presented an equiaxed or spherical crystal morphology, and the distribution was very uniform and orderly. The average grain size and grain shape factor of the alloy were 48 μm and 0.75, respectively. The grain size was reduced by 51.51% and the shape factor was increased by 53.06% compared with those of the alloy without Ce. At the same time, the mechanical properties of the semi-solid alloy also reached the peak, and its tensile strength, elongation and microhardness were 231.98 MPa, 7.8% and HV 100.15, respectively, which were increased by 37.81%, 59.18% and 25.38% compared with the alloys without rare earth. The electrical conductivity of alloys without rare earth Ce and 0.5% rare earth Ce was 38.56% IACS and 43.27% IACS, respectively. The addition of the rare earth Ce also contributed to the improvement of the electrical conductivity of the alloys.

Key words:

AlSi10Cu3Fe alloy; semi-solid; rare earth Ce; microstructure; mechanical property; conductivity