

细化变质对免热处理压铸 Al-Zn-Si-Cu 合金组织及性能的影响

张恩图¹, 郝建飞², 夏鹏², 陈斌², 王志鹏², 揭晓华¹, 李润霞²

(1. 广东工业大学材料与能源学院, 广东广州 510000; 2. 东莞理工学院材料科学与工程学院, 广东东莞 523000)

摘要: 采用压铸成形工艺制备Al-Zn-Si-Cu合金, 研究陶瓷纳米增强颗粒(TiC/TiB₂)和Al-10Sr变质剂对免热处理压铸Al-Zn-Si-Cu合金力学性能、导热/电性能、显微组织的细化变质效果。结果表明, 单独添加0.5%陶瓷纳米颗粒后, 与未添加细化剂的合金相比, α -Al相得到明显细化, 呈蔷薇状, 纤维状共晶Si相更加致密, 短棒状Al₂Cu相更加细小, 且Zn、Si、Cu元素在基体中含量增加, 此时力学性能得到提升, 导热/电性能略有下降, 主要是由于溶质元素的增加导致晶格发生畸变程度变大, 增大电子散射能力的同时减小电子的平均自由程, 使得金属的导热和导电能力下降; 经0.5%陶瓷纳米颗粒和0.1%Al-10Sr中间合金共同作用后, 共晶Si相棱角钝化, 基体中溶质元素含量进一步增加, 此时合金力学性能达到最佳, 其抗拉强度、屈服强度和伸长率分别为361 MPa, 213 MPa和6.8%, 热导率为118.73 W/(m·K)。

关键词: 免热处理压铸Al-Zn-Si-Cu合金; 晶粒细化; 变质处理; 力学性能; 显微组织

作者简介:

张恩图(1998-), 男, 硕士生, 主要从事铸造材料方面的研究工作。电话: 13137919884, E-mail: 1668394879@qq.com

通讯作者:

李润霞, 女, 教授。电话: 13724401717, E-mail: runxiali@163.com

中图分类号: TP391.9

文献标识码: A

文章编号: 1001-4977(2024)06-0746-07

基金项目:

广东省基础与应用基础研究基金区域联合基金重点项目(2022B1515120066); 广东省重点建设学科科研能力提升项目(2022ZDJS030); 国家自然科学基金专家推荐类原创探索计划项目(12150001); 东莞市科技特派员项目(20221800500773)。

收稿日期:

2024-03-04 收到初稿,
2024-04-08 收到修订稿。

节能减排和提升新能源汽车的续航里程是目前汽车行业的主流^[1-3], 而降低汽车自身的重量是最直接有效的手段。汽车轻量化目标的实现一般从材料、工艺和设计三方面入手^[4-6], 现在已经对其进行融合, 促进构件向大型化, 一体化压铸发展。大型构件压铸一体化可以极大简化车身制造的生产流程, 显著提高车身的生产效率^[7-11]。而压铸件需要经过热处理后方可达到性能要求, 但热处理过程中不可控因素较多, 最终会导致热处理后压铸件变形、起泡等质量缺陷。因此, 汽车市场急需免热处理材料来规避此现象, 使材料无需进行热处理, 在铸态条件下就能达到力学性能要求。

免热处理铝合金由于不能进行后续的热处理工艺进行性能强化, 因此试验前期的熔体处理过程十分重要, 传统熔体处理过程通常采用Al-Ti-B合金进行细化处理, 采用Al-Sr合金进行变质处理, 以达到细化合金晶粒的目的, 但是也存在着TiAl₃和TiB₂等有效形核粒子的尺寸较大, 易聚集下沉, 以及容易被Zr、Cr、Mn等元素“毒化”而导致细化衰退等缺点。且Al-Ti-B中间合金冶金质量差, 组分稳定性不佳, 还存在TiB₂的聚集、Si与TiAl₃的毒化作用等难以解决的问题, 这都对细化处理后产品的质量稳定性有较大影响。相对于传统细化剂, 纳米颗粒对合金的细化更有效, 一方面可以作为合金的形核质点, 另一方面可以在固液界面富集并形成钉扎, 达到促进形核, 减小平均晶粒尺寸的作用。

本文采用自主设计铝合金成分, 通过液态超声振动法结合压铸成形的工艺制备免热处理压铸铝合金铸件, 主要研究变质剂及陶瓷纳米颗粒细化剂对免热处理强化压铸铝硅合金组织和性能的影响, 以期提高铝合金性能, 满足现代汽车工业对高强度铝合金材料的性能要求。

1 试验材料及方法

试验材料为Al-Zn-Si-Cu合金, 采用纯铝锭(99.7%, 质量分数, 下同)、纯锌锭

(99.8%)、单晶Si和Al-50Cu合金熔炼配制, Al-10Sr中间合金为变质剂, TiC/TiB₂为陶瓷纳米颗粒细化剂, 余量为Al。为了研究细化变质处理对合金显微组织及力学性能的影响, 本试验共设计三组合金成分, 名义

成分分别为Al-15Zn-8Si-2Cu, Al-15Zn-8Si-2Cu-0.5TiC/TiB₂及Al-15Zn-8Si-2Cu-0.5TiC/TiB₂-0.1Sr。实际合金成分经SPECTROMAX光电直读光谱仪测定, 如表1所示。

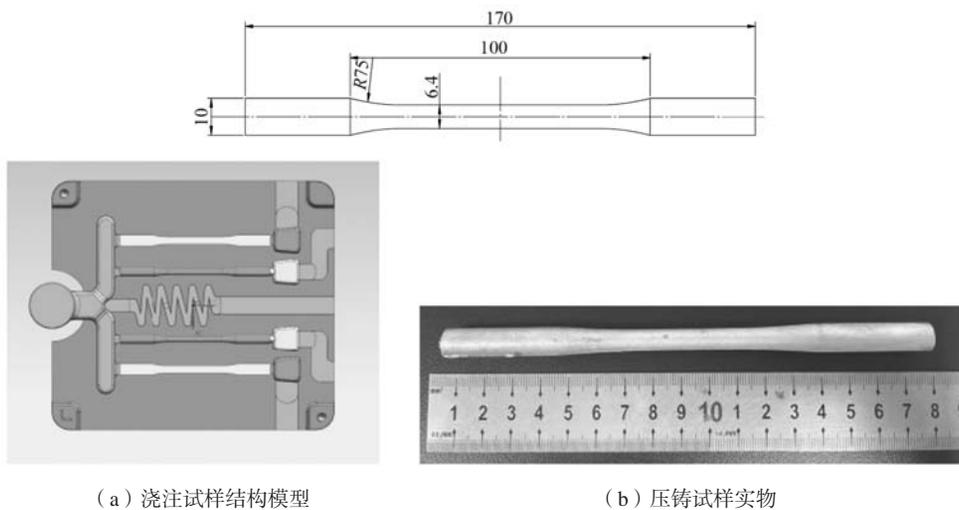
表1 试验合金成分
Table 1 Chemical composition of the alloy

试样	Zn	Si	Cu	Mn	Fe	Ti	B	Sr	Al	w _B /%
1 [#]	14.98	8.34	2.23	0.003	0.236	—	—	—	余量	
2 [#]	15.62	8.53	2.12	0.006	0.289	0.026	0.03	—	余量	
3 [#]	15.02	8.27	2.86	0.006	0.253	0.027	0.03	0.098	余量	

熔炼过程首先将纯铝锭和铝硅中间合金放入熔炼炉中, 将熔炼炉加热至760 ℃, 待炉内合金完全熔化后, 加入Al-50Cu中间合金和纯Zn锭。待完全熔化后加入0.1% Al-10Sr中间合金, 然后加入0.5%的TiC/TiB₂陶瓷纳米颗粒, 采用FB900型超声振动器, 超声波振动工艺参数设定功率为3 kW, 频率为20 kHz, 超声处理5 min。处理完成后静置, 准备压铸。压铸试验采用280 t立LK IMPRESS-III 压铸机, 铝液浇注温度为680~700 ℃, 压射低速0.10~0.15 m/s, 高速3.5~5.5 m/s, 试验所选取的比压为200 MPa, 保压时间为30 s, 模具温度为200 ℃。

试验完成后, 采用HD-B615A-S电脑伺服双柱拉力

材料试验机进行拉伸测试, 拉伸试棒尺寸如图1所示。金相试样由拉伸试棒尾部截取约20 mm段, 经过打磨抛光后使用凯勒溶液进行腐蚀, 用OLYMPUS GX-51型光学显微镜观察试样组织, 采用Verios G4 UC 型扫描电镜对铸件组织的第二相形貌和溶质元素分布等信息进行分析, 溶质元素分析在试样中心晶粒内部取点, 每个试样采五点, 取平均值。借助XRD分析合金的相组成, 采用HD-B615A-S电脑伺服双柱拉力材料试验机对合金力学性能测试, 浇注系统如图1所示。将试样表面磨抛至光洁, 采用 FIRST FD-102涡流电导仪进行电导率测试。



(a) 浇注试样结构模型

(b) 压铸试样实物

图1 浇注系统及拉伸试样尺寸

Fig. 1 Pouring system and tensile specimen size

2 试验结果与分析

2.1 细化变质对合金力学性能的影响

图2显示了纳米颗粒细化剂及变质剂对Al-15Zn-8Si-2Cu铸造合金力学性能的影响。由试验结果可知, 单独添加TiC/TiB₂纳米颗粒细化后, 合金的强度值和伸长率得到明显的提升, 联合添加纳米颗粒细化剂和变

质剂后, 对比单独添加细化剂和未添加的合金试样, 合金的力学性能得到进一步的提升。变质剂可以改善合金中共晶Si相的形貌。在本试验合金成分中, 合金的力学性能取决于 α -Al和共晶Si的尺寸、形貌和分布, 溶质元素在基体中固溶度及其第二相的尺寸和分布。从力学性能结果可以得到: 不加晶粒细化剂和变质剂

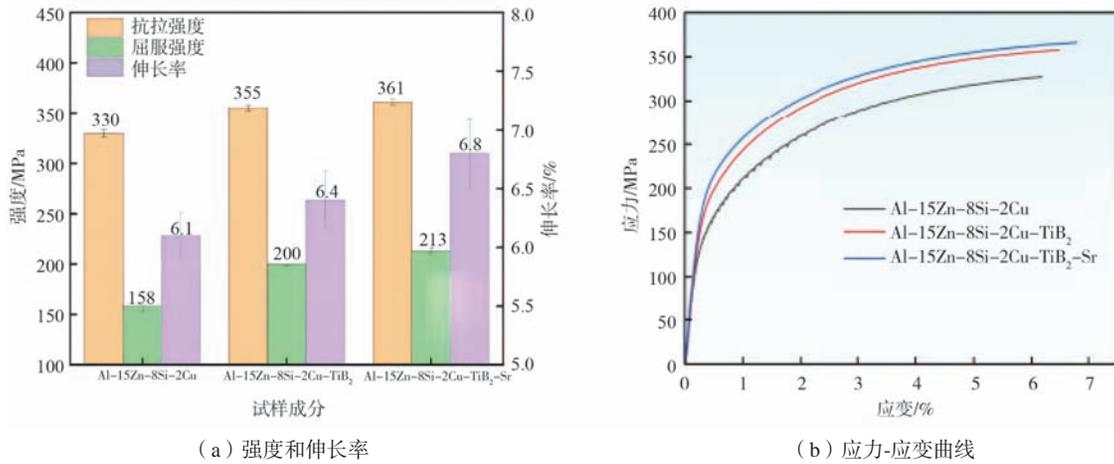


图2 添加细化剂变质剂前后Al-Zn-Si-Cu合金的力学性能
Fig. 2 Mechanical properties of Al-Zn-Si-Cu alloy before and after adding refiner modifier

的合金其屈服强度为158 MPa，抗拉强度为330 MPa，伸长率为6.1%，在TiC/TiB₂纳米颗粒细化剂和Al-10Sr变质剂的联合作用下，合金的屈服强度、抗拉强度和延伸率分别达到了213 MPa、361 MPa和6.8%，与未添加细化剂变质剂的合金相比分别提高了34.9%，9.3%和11.0%。

图3显示了纳米颗粒细化剂及变质剂添加前后Al-15Zn-8Si-2Cu合金的断口形貌，对比三组合金成分下合金的断口形貌可以观察到，未添加细化剂及变质剂的合金中，由于合金组织中的Si相未发生变质，形貌仍会以板条状为主，较为粗大，所以在加载时，容易在粗

大块状Si相处极易产生应力集中。当应力强度达到极限时，Si相会发生断裂，大量微孔互相连接从而产生微裂纹，随后互相连接并持续扩展，最终试样断裂，所以合金断口形貌中显示出了较多大尺寸的解理平台，韧窝数量较少，如图3a、d所示。添加TiC/TiB₂纳米颗粒后，合金晶粒得到一定细化，解理平台尺寸显著减小，如图3b、e所示。联合添加纳米颗粒细化剂和变质剂后，合金拉伸断口中存在相对明显的韧窝，解理平台的尺寸显著减小，由于Sr元素的变质作用，共晶Si相发生钝化，割裂作用降低，减少因应力集中而发生的开裂，因此具有更高的强度和塑性，如图3c、f所示。

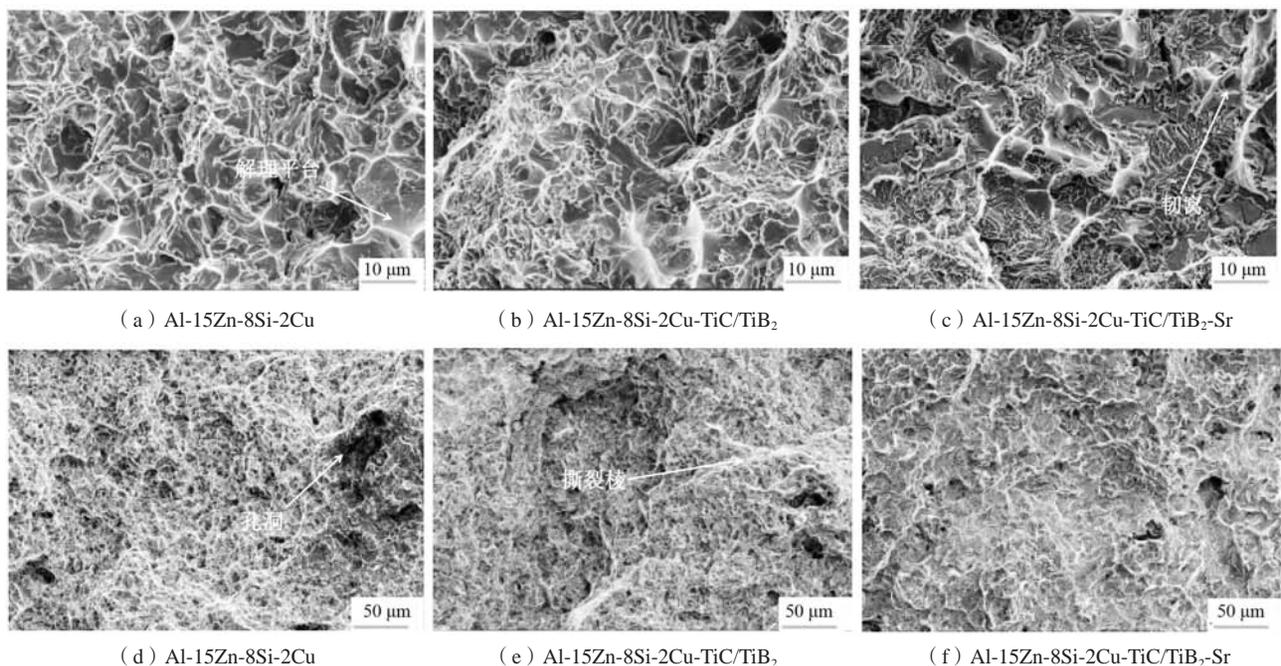


图3 添加细化剂和变质剂前后Al-Zn-Si-Cu合金的断口形貌
Fig. 3 Fracture morphology of Al-Zn-Si-Cu alloy before and after adding refiner and modifier

2.2 细化变质处理对合金热导率的影响

图4为纳米颗粒细化剂及变质剂添加前后Al-15Zn-8Si-2Cu合金的热导率, 根据测试结果显示, 在未添加纳米颗粒细化剂及变质剂前, 合金的热导率可达到 $111.82 \text{ W} \cdot (\text{m} \cdot \text{K})^{-1}$, 添加纳米颗粒细化剂及变质剂后, 合金热导率呈小幅度下降, 添加Al-10Sr变质剂后, 合金的热导率发生上升, 达到 $118.73 \text{ W} \cdot (\text{m} \cdot \text{K})^{-1}$ 。

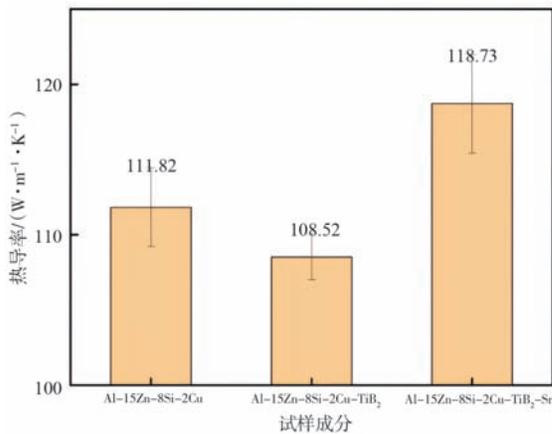


图4 添加细化和剂变质剂前后Al-Zn-Si-Cu合金的热导率
Fig. 4 Thermal conductivity of Al-Zn-Si-Cu alloy before and after adding refiner and modifier

金属特有的良好导电、导热性质是由其中的电子决定的。金属中的正离子按一定的方式排列为晶格, 而从原子中分离出来的外层电子成为自由电子, 自由电子的性质与理想气体中的分子相似, 形成自由电子气, 当大量自由电子发生定向移动, 就会形成电流。Wiedemann-Franz 定律可以很好地反映金属材料的热导率与电导率之间的关系^[12-14]。这个定律认为金属的热导率和电导率之比不受到材料本身的影响, 只和材料的温度有关。金属的热导率(λ)与电导率(σ)之比与温度(T)成正比, 即:

$$\lambda = L\sigma T + C \quad (1)$$

式中: λ 为热导率, L 为洛伦兹系数, σ 为电导率, T 为开尔文温度, C 为晶格导热系数, Olsson等人列出了利用式(1)来理论计算铝合金热导率时其中 L 和 C 的常用取值, 即 $L=2.1 \times 10^{-8} \text{ W} \cdot \Omega \cdot \text{K}^2$, $C=12.6 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ ^[15]。因为Wiedemann-Franz 定律在不同的温度下都可以运用, 且和实际情况非常吻合, 所以在室温下测得电导率后转换为热导率是比较可靠的。

在金属材料中, 自由电子作为主要载体, 当元素以固溶的形式加入时会使得晶格发生畸变, 当合金元素以第二相的形式存在时又会引入新的界面, 两种情况下均增大电子散射, 减小电子的平均自由程, 使得金属的导热和导电能力下降。在本试验所设计的试验合金材料中, 由于合金中纳米颗粒的添加, 复合材料中颗粒含量较多, 晶粒度细, 进而会增大合金的散射面积, 降低合金热导率。加入Al-10Sr前, 共晶Si相呈粗大的板条状, 聚集分布, 电子难以通过或绕过共晶Si晶粒完成能量的传输, 在经过细化变质处理后, 共晶Si相发生细化, 合金致密度提高, 原子间距缩短, 基体连接性增强, 自由电子自由程增大, 因此对合金的热导率起到了提升作用^[16]。

2.3 细化变质处理对合金显微组织的影响

图5为纳米颗粒细化剂及变质剂添加前后Al-15Zn-8Si-2Cu合金的XRD能谱, 根据PDF卡片分析, 得出本试验合金成分主要有Al、Si、富Zn相及Al₂Cu相等4种物相组成, 从图中可以看出随着纳米颗粒TiC/TiB₂的添加, 合金试样中Si(111)、Al(111)、Al₂Cu(311)及Zn(002)等衍射峰所对应的衍射峰向右发生了偏移, 根据X射线衍射基本理论, 可以用布拉格公式说明峰对应的衍射角度以及和相应的晶面间距之间的关系, 公式:

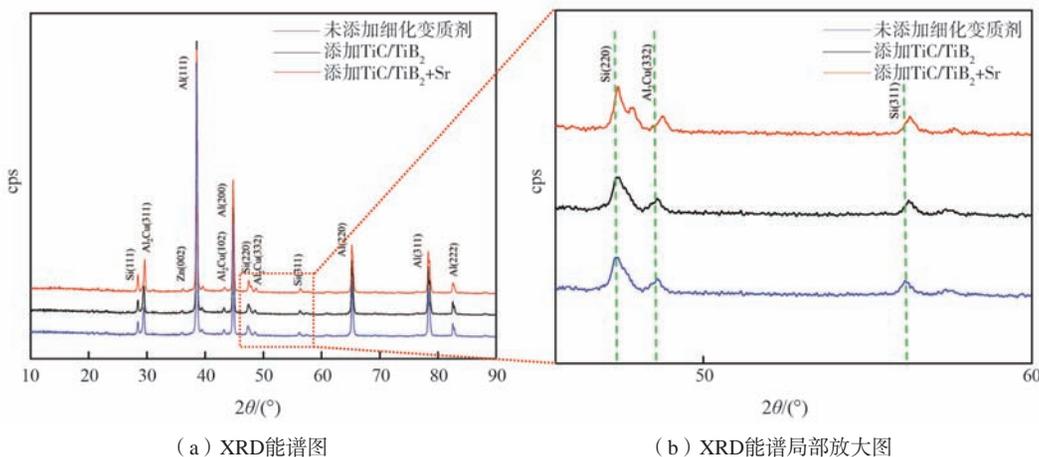


图5 添加细化剂和变质剂前后Al-Zn-Si-Cu合金的XRD能谱
Fig. 5 XRD spectra of Al-Zn-Si-Cu alloy before and after adding refiner and modifier

$$2d\sin\theta=n\lambda \quad (2)$$

式中： d 为晶面间距； θ 为衍射角； λ 为X射线波长； n 为常数。 α -Al为面心立方结构，在室温下的晶格常数 a 为0.404 96 nm，晶面间距和晶格常数的关系满足如下公式：

$$d = \frac{a}{\sqrt{h^2+k^2+l^2}} \quad (3)$$

式中： d 为晶面间距； a 为晶格常数； h 、 k 、 l 为晶面指数。合金试样的衍射峰都向右移动，则 2θ 角变大，而晶面间距 d 与 θ 成反比，由公式(2)可知 d 与晶格常数 a 成正比， d 减小，则Al的晶格常数 a 也减小，说明添加纳米颗粒后，晶粒发生细化，促进Si原子固溶进入Al

基体中，Al在成形时发生了晶格畸变，而铝的原子半径 $r_{Al}=0.143$ nm大于硅的原子半径 $r_{Si}=0.117$ nm，所以导致Al的晶格常数 a 减小。同时也可以观察到，Al-15Zn-8Si-2Cu-TiC/TiB₂和Al-15Zn-8Si-2Cu-TiC/TiB₂-Sr试样所对应的XRD曲线中富Zn相及Al₂Cu相所对应的衍射峰，相对于Al-15Zn-8Si-2Cu试样所对应的衍射峰强度显著增加，进一步说明纳米颗粒的添加会导致Al基体发生晶格畸变，进一步促进溶质原子固溶到基体中，起到固溶强化的作用。

图6为纳米颗粒细化剂及变质剂添加前后Al-15Zn-8Si-2Cu合金的显微组织，图6a、c和e是光学显微组织图，图6b、d和f是扫描电镜组织图，从光学显微组织中

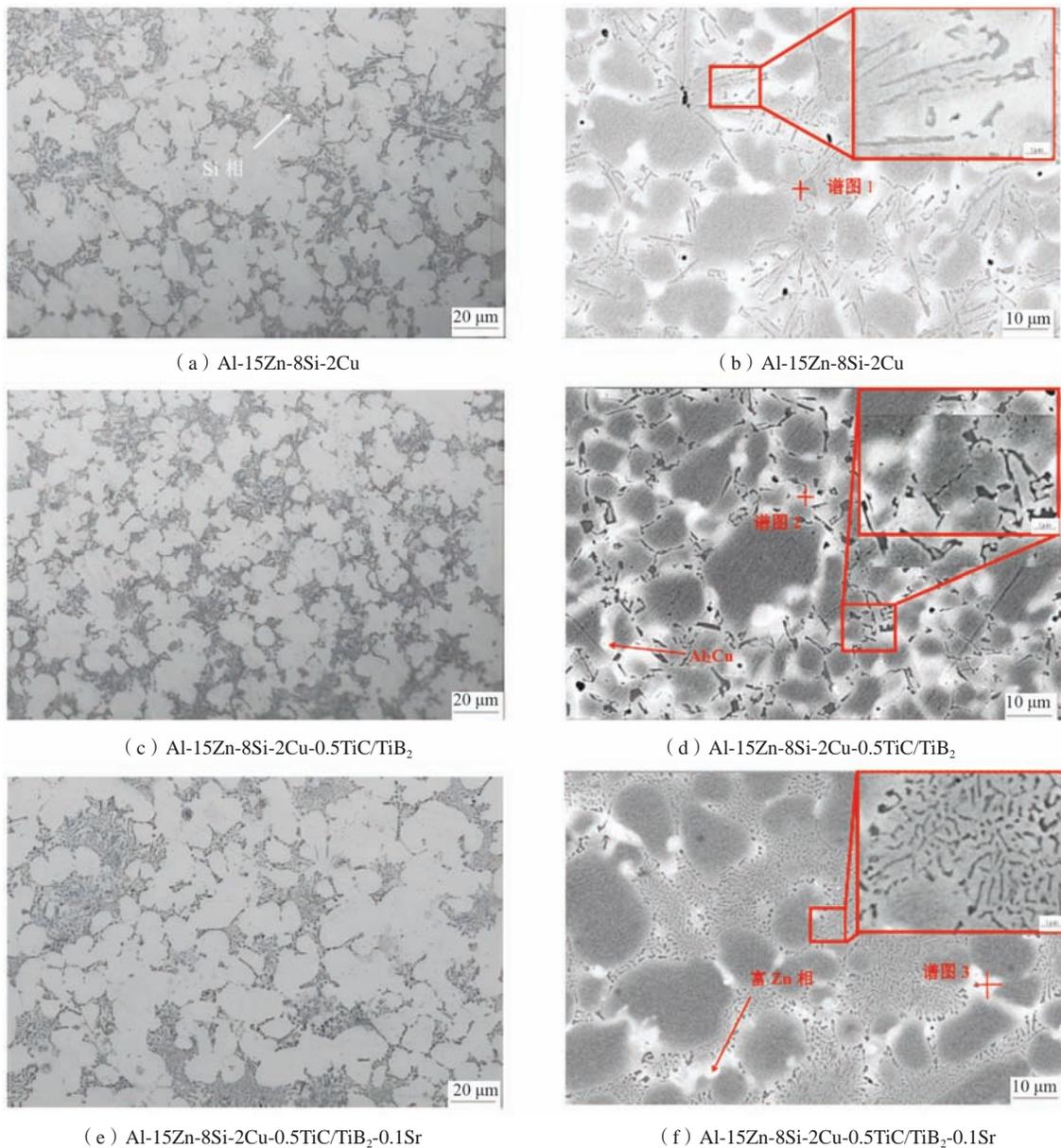


图6 添加细化剂和变质剂前后Al-Zn-Si-Cu合金的显微组织

Fig. 6 Microstructure of Al-Zn-Si-Cu alloy before and after adding refiner and modifier

可以观察到合金主要由 α -Al枝晶和共晶Si相组成,未添加细化剂和变质剂合金组织中存在较为粗大的 α -Al枝晶和板条状的共晶Si相,在扫描电镜组织中可以观察到圆点状和短棒的第二相分布在晶界处,如图6a和b所示。添加TiC/TiB₂纳米颗粒后,基体组织中 α -Al枝晶尺寸显著减小,且合金组织更为致密,如图6c、d所示。添加Al-10Sr中间合金变质处理后,共晶Si相发生明显的钝化,由板条状转变为短棒状,对基体的割裂作用降低,此时 α -Al呈近等轴状,如图6e、f所示,此

时达到最优力学性能。为了进一步探究合金的细化变质效果,采用了Image Pro软件对合金的晶粒尺寸进行了分析,分析测试结果如表2所示,从表中可以看出,合金经过细化处理后,晶粒的平均尺寸明显减小,圆整度大幅提高。此时 α -Al晶粒的平均面积为31.5 μm^2 ,圆整度达到0.79,等效直径为26.8 μm ,二次枝晶间距为26.8 μm 。进一步经变质处理后,合金的晶粒尺寸变化幅度较小,等效直径为22.4 μm ,圆整度得到小幅度的提升达到0.84。

表2 合金 α -Al晶粒尺寸定量统计
Table 2 Quantitative statistics of grain size of α -Al alloy

合金成分	平均面积/ μm^2	圆整度	等效直径/ μm	二次枝晶间距/ μm
Al-15Zn-8Si-2Cu	39.2	0.65	35.7	23.6
Al-15Zn-8Si-2Cu-TiC/TiB ₂	31.5	0.79	26.8	20.4
Al-15Zn-8Si-2Cu-TiC/TiB ₂ -Sr	29.9	0.84	22.4	18.8

图6b、d、f右上方为对应合金SEM局部放大图,表3为不同位置的合金成分EDS能谱分析,根据能谱分析结合XRD结果可以得出,图谱1对应的块状相为Si相,图谱2中对应白色短棒第二相,该相为Al₂Cu相,图谱3为灰色长条状第二相,该相为富Zn相。进一步对三种合金成分下基体进行扫描,扫描结果见图7,发现三种合金成分下基体中Si、Zn、Cu元素含量有一定差异,复合添加TiC/TiB₂纳米颗粒和Al-10Sr中间合金后,基体中的溶质元素含量进一步提升,根据XRD图谱可以得出,纳米颗粒的添加使 α -Al发生晶格畸变,促进溶质原子固溶到基体中,进而加大了合金的固溶强化作用。

表3 对应EDS能谱
Table 3 Corresponds to the EDS energy spectrum

元素	谱图1		谱图2		谱图3	
	wt.%	at.%	wt.%	at.%	wt.%	at.%
Al	4.28	3.88	67.88	79.67	22.48	50.48
Zn	1.59	1.34	5.69	3.43	72.31	45.98
Si	93.28	94.16	1.28	1.36	0.81	1.24
Cu	0.85	0.62	25.15	15.54	4.4	2.3

3 结论

(1) 未添加陶瓷颗粒和变质剂的免热处理压铸铝合金其屈服强度为158 MPa,抗拉强度为330 MPa,伸长率为6.1%,在TiC/TiB₂纳米颗粒细化剂和Al-10Sr变质剂的联合作用下,合金的屈服强度、抗拉强度和伸长率分别达到了213 MPa、361 MPa和6.8%,与未添加

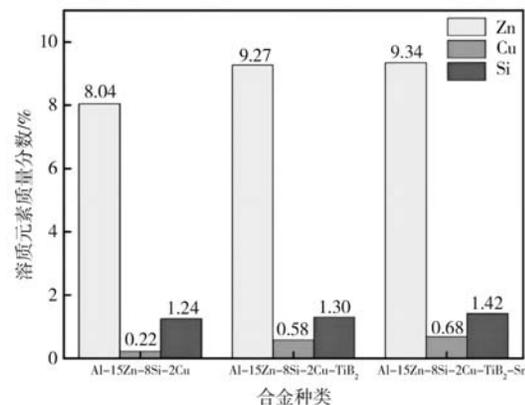


图7 合金基体中溶质元素含量

Fig. 7 Content of solute elements in alloy matrix

细化剂和变质剂的合金相比分别提高了34.8%, 9.3%和11.0%。

(2) 在未添加纳米颗粒细化剂及变质剂前,合金的热导率可达到 $111.82 \text{ W} \cdot (\text{m} \cdot \text{K})^{-1}$,复合添加TiC/TiB₂纳米颗粒和Al-10Sr变质剂时,合金的热导率发生上升,达到 $118.73 \text{ W} \cdot (\text{m} \cdot \text{K})^{-1}$,主要是由于共晶Si相发生细化,合金致密度提高,原子间距缩短,基体连接性增强,自由电子自由程增大。

(3) 复合添加TiC/TiB₂纳米颗粒和Al-10Sr中间合金后, α -Al枝晶转变为蔷薇状,共晶Si相发生钝化,Al₂Cu相细化,同时基体中的溶质元素含量进一步提升,纳米颗粒的添加使 α -Al发生晶格畸变,促进溶质原子固溶到基体中,进而加大了合金的固溶强化作用。

参考文献:

- [1] 文浩, 罗斌, 谢达明. 压铸铝合金在汽车上的应用及发展 [J]. 世界有色金属, 2017 (14): 269-271.
- [2] 黄正华, 张银帅, 宋东福, 等. 压铸铝合金的应用及研究进展 [J]. 材料研究与应用, 2017, 11 (1): 1-5.
- [3] 梁涛. 压铸铝合金中合金元素的作用及应用 [J]. 硅谷, 2012 (2): 150-170
- [4] 袁晓光, 黄宏军, 苏仕方, 等. 不断发展的铝合金压铸技术—第四届中国国际压铸会议铝合金压铸部分述评 [J]. 铸造, 2005, 54 (1): 16-19.
- [5] WANG E R, HUI X D, WANG S S, et al. Improved mechanical properties in cast Al-Si alloys by combined alloying of Fe and Cu [J]. Materials Science and Engineering A, 2010, 527 (29-30): 7878-7884.
- [6] SHIN S S, KIM E S, YEOM G Y, et al. Modification effect of Sr on the microstructures and mechanical properties of Al-10.5Si-2.0Cu recycled alloy for die casting [J]. Materials Science & Engineering A, 2011: 532.
- [7] 梁鹏. 真空压铸铝合金发动机缸体缺陷与热处理研究 [D]. 重庆: 重庆大学, 2017.
- [8] 周永欣, 吕振林, 赵西城. 铸造Al-Si合金变质剂的研究现状和发展动态 [J]. 铸造技术, 2004 (1): 13-14.
- [9] 万里, 罗吉荣, 兰国栋, 等. 挤压铸造过共晶A390合金的组织与力学性能 [J]. 华中科技大学学报 (自然科学版), 2008 (8): 92-95.
- [10] FINKELSTEIN A, SCHAEFER A, CHIKOVA O, et al. Study of Al-Si alloy oxygen saturation on its microstructure and mechanical properties [J]. Materials, 2017, 10 (7): 786.
- [11] 孙守庄. 轮毂用高性能铸铝合金的微合金化研究 [D]. 重庆: 重庆大学, 2010.
- [12] 刘强, 黄新. 材料物理性能 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2009.
- [13] OLAFSSON P, SANDSTROM R, KARLSSON Å. Comparison of experimental, calculated and observed values for electrical and thermal conductivity of aluminium alloys [J]. Journal of Materials Science, 1997, 32: 4383-4390.
- [14] MULAZIMOGLU M H, DREW R A L, GRUZLESKI J E. The electrical conductivity of cast Al-Si alloys in the range 2 to 12.6 wt pct silicon [J]. Metallurgical Transactions A, 1989, 20: 383-389.
- [15] CHEN J K, HUNG H Y. Effect of casting and heat treatment processes on the thermal conductivity of an Al-Si-Cu-Fe-Zn alloy [J]. International Journal of Heat and Mass Transfer, 2017: 189-195.
- [16] CHEN J K, HUNG H Y, WANG C F, et al. Thermal and electrical conductivity in Al-Si/Cu/Fe/Mg binary and ternary Al alloys [J]. Journal of Materials Science, 2015, 50: 5630-5639.

The Effect of Refinement and Modification on the Microstructure and Properties of Al-Zn-Si-Cu Alloy Die-Casting Without Heat Treatment

ZHANG En-tu¹, HAO Jian-fei², XIA Peng², CEN Bin², WANG Zhi-peng², JIE Xiao-hua¹, LI Run-xia²

(1. School of Materials and Energy, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510000, Guangdong, China; 2. School of Materials Science and Engineering, Dongguan University of Technology, Dongguan 523000, Guangdong, China)

Abstract:

Al-Zn-Si-Cu alloy was prepared by die casting process. The effect of ceramic nano-reinforced particles (TiC/TiB₂) and Al-10Sr modifier on mechanical properties, thermal/electrical properties and microstructure of Al-Zn-Si-Cu alloy was studied. The results show that after adding 0.5% ceramic nanoparticles alone, the α -Al phase is obviously refined, showing nearly rose-like shape, the fibrous eutectic Si phase is denser, the short rod-like Al₂Cu phase is finer, and the content of Zn, Si and Cu elements in the matrix is increased, and the mechanical properties are improved. The thermal conductivity/electrical properties decreased slightly, mainly due to the increase of solute elements led to a greater degree of lattice distortion, increasing the electron scattering ability while decreasing the mean free path of electrons, resulting in a decrease in the thermal conductivity and electrical conductivity of metals. After the co-action of 0.5% ceramic nanoparticles and 0.1% Al-10Sr, the eutectic Si phase is angular passivated, and the solutes content in the matrix further increases. At this time, the mechanical properties of the alloy reach the best, with the tensile strength, yield strength and elongation of 361 MPa, 213 MPa and 6.8%, respectively. Thermal conductivity 118.73 W/(m·K).

Key words:

die casting Al-Zn-Si-Cu alloy without heat treatment; grain refinement; deterioration treatment; mechanical properties; microstructure