

基于多材质复合铸型的 A356 铝合金性能调控机制研究

闫丹丹^{1,2}, 单忠德^{1,3}, 臧勇²

(1. 中国机械科学研究总院集团有限公司 先进成形技术与装备国家重点实验室, 北京 100044)

(2. 北京科技大学, 北京 100083)

(3. 南京航空航天大学, 江苏 南京 210016)

摘要: 建立变壁厚回字形结构多材质复合铸型, 首先, 通过对 A356 铝合金在多材质复合铸型的充型、凝固过程模拟仿真, 获得多材质复合铸型铸件充型时间和温度场结果, 锆英砂与石英砂、铬铁矿砂与石英砂过渡处凝固时间呈阶梯状递减; 且锆英砂与石英砂过渡处及铬铁矿砂与石英砂过渡处铸件凝固时间更短, 金属液凝固速度更快。其次, 采用电子背散射衍射 (EBSD) 分析、电子显微探针 (EPMA) 分析对石英砂、铬铁矿砂、锆英砂复合铸型在重力铸造下 A356 铝合金铸件断口进行分析并进行抗拉强度测试。结果表明: 在相同壁厚时, 铬铁矿砂、锆英砂型铸件的晶粒尺寸细小, Al、Mg、Si 等元素分布均匀、力学性能提高, 断口呈现韧性断裂的特征; 同时随着壁厚减小, 同种材质砂型铸件晶粒细化、元素分布均匀、力学性能提高, 断口呈韧性断裂特征。

关键词: 多材质; 复合铸型; 微观组织; 性能调控

中图分类号: TG242.7; TG146.21

文献标识码: A

文章编号: 1002-185X(2022)06-2097-08

目前, 铝合金具有比强度、比刚度高、塑性好、易于成形等优点, 是轻合金中应用最广、用量最多的金属。随着铝合金铸件产量增加和铸件品质的提升, 砂型铸造领域对造型材料的种类以及质量的要求也在不断提高^[1-6]。单一造型材料不能兼备优良的强度、透气性、发气量等铸造性能, 同时铸型局部的导热系数、界面换热系数、热膨胀性等参数较低, 导致复杂铸件组织性能、力学性能及尺寸精度调控难, 难以满足复杂铸件的高性能铸造需求^[7-11]。常用的铝合金铸造成形工艺有砂型铸造、金属型铸造、压铸 (高压铸造)、低压铸造、挤压铸造和熔模精密铸造等^[12-19], 其中砂型铸造应用更为广泛。由于铸造铝合金在复杂、薄壁结构件成形中具有独特的优势, 因此有必要通过采用铬铁矿砂、锆英砂对其制备的铝合金铸件的组织和性能进行深入的研究^[20-25]。

不同种类的型砂具有不同的物理、化学特性, 因此提出多材质复合铸型成形方法, 实现铸型铸造性能可控、热物性可控、价格可控, 对不同壁厚的铝合金铸件实现综合性能可控。多材质复合铸型采用 3 种型砂制备铸型, 使复合铸型不同部位具有多种化学、物理、热物性、铸造性能 (见图 1)。

1 实验

所设计的变壁厚铝合金铸件, 形状为回字型薄壁结构, 回字型薄壁结构外形尺寸为 600 mm×300 mm×300 mm, 型腔最薄处 2 mm, 最厚处 20 mm, 截面为阶梯状, 沿轴向材料成分为石英砂、铬铁矿砂、锆英砂。采用粒度 210~105 μm (70~140) 目型砂进行铸型

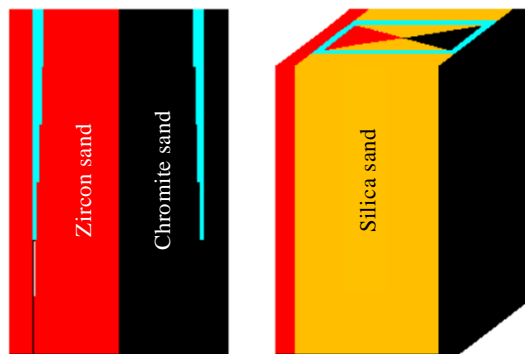


图 1 多材质复合铸型模型

Fig.1 Composite casting model of multi-material

收稿日期: 2021-08-21

基金项目: 国家杰出青年科学基金 (51525503); 先进成形技术与装备国家重点实验室基金 (SKL2020008)

作者简介: 闫丹丹, 女, 1991 年生, 博士生, 中国机械科学研究总院集团有限公司, 北京 100044, E-mail: 1937953038@qq.com

制备。石英砂为六方晶体如图 2a，主要成分 SiO_2 占 99.54%，酸耗值为 $1.3 \text{ mL}\cdot\text{g}^{-1}$ ，如表 1 所示；铬铁矿砂为尖角形如图 2b，主要成分 Cr_2O_3 占 45.91%，酸耗值为 $1.99 \text{ mL}\cdot\text{g}^{-1}$ ；锆英砂为圆形或者多角形如图 2c，主要成分 ZrO_2 占 66.26%，酸耗值为 $0.84 \text{ mL}\cdot\text{g}^{-1}$ 。铬铁矿砂的酸耗值是锆英砂的 2.36 倍，是石英砂的 1.53 倍，相对于酸性呋喃树脂粘接剂环境而言酚醛树脂粘接剂更有利于石英砂、铬铁矿砂、锆英砂进行固化反应。本研究采用苏州新业的酚醛树脂及相应固化剂进行复合铸型制备。具有以下优点，树脂砂流散性好，易于手工或机械填砂，铸件表面粗糙度好，尺寸精度高；固化速度快、均匀，硬透性好，更高的脱模性能和高温强度；砂芯(型)溃散性好、易再生，可减少裂纹缺陷；生产率很高，可使用时间与脱模时间之比可达 75% 以上；树脂不含 S、P，型砂发气量小，可降低气孔缺陷，铸件无表面球化衰退现象。适应性广，可生产铸铁、铸钢、有色金属。

本研究建立回字型变壁厚复合铸型仿真模型，分别通过研究各部位凝固时间和不同壁厚及材质的复合铸型 A356 铝合金铸件晶粒尺寸、元素分布、力学性能及断口形貌，最终实现铝合金薄壁结构铸件凝固过程温度场和铸件性能的调控^[26-28]。

通过对回字形薄壁结构进行三维建，运用 AnyCasting 软件模拟多材质复合铸型在薄壁铸件凝固过程中的充型过程及温度场，得到铸件凝固过程时间、

温度场变化。在此基础上，分别进行石英砂、铬铁矿砂、锆英砂铸型制备，得到多材质复合 A356 铝合金铸件。

采用电子探针显微分析 (EPMA) 对 A356 铝合金的微观成分分布进行扫描分析。EPMA 的原理是利用聚焦高能电子束照射到 A356 铝合金表面，被照射的元素激发出特征 X 射线，按其波长及强度对固体表面微区进行定性及定量化学分析。通过电子背散射衍射 (EBSD) 技术对试样晶粒尺寸进行表征，EBSD 试样在机械抛光后要经过电解抛光，去除应力，电解抛光过程中电解液采用高氯酸乙醇溶液，EBSD 试样测试过程中真空度 $< 8.0 \text{ mPa}$ 。

对试样的抗拉强度、延伸率进行测试并对断裂试样的断口进行 SEM 观察。按照标准 GB/T 228.1-2010 室温执行，试样制备标准为 GB/T 2975，对 3 个试样进行拉伸试验，取其平均值作为最终试验结果。

2 结果与分析

2.1 数值仿真分析

运用 AnyCasting 进行模拟仿真，浇注过程中，金属液充填型腔过程平稳，无紊流发生。设计浇注系统如图 3 所示，圆柱形明顶冒口设计，使金属液较为平缓地经由冒口位置进入直浇道。

采用该浇注工艺缺陷产生率 2.142%，充型过程中金属液不易飞溅和氧化，充型稳定，实现顺序凝固。

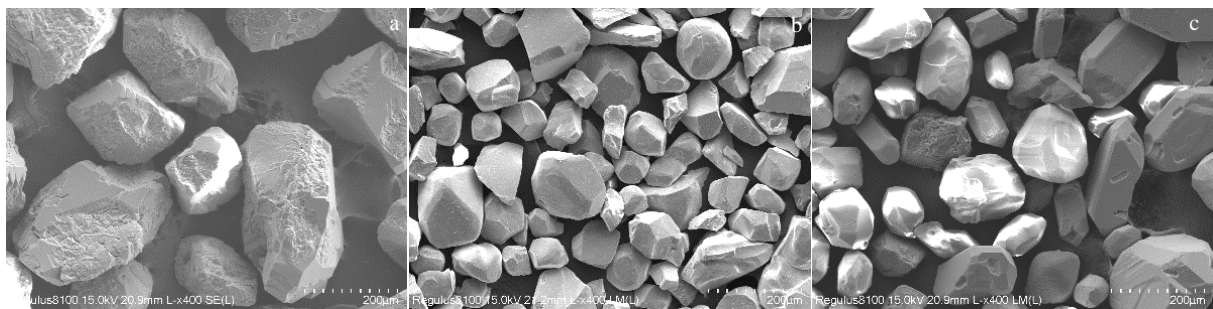


图 2 石英砂、铬铁矿砂、锆英砂 SEM 形貌

Fig.2 SEM morphologies of silica sand (a), chromite sand (b), and zircon sand (c)

表 1 砂粒基本化学成分及物理参数

Table 1 Basic chemical composition and physical parameters of sand grains

Material	Main component	Acid demand value/ $\text{mL}\cdot\text{g}^{-1}$	Specific surface area/ $\text{m}^2\cdot\text{kg}^{-1}$	Particle shape
Silica sand	SiO_2	1.30	26.20	Hexagonal system
Chromite sand	Cr_2O_3	1.99	45.56	Sharp-angled
Zircon sand	ZrO_2	0.84	31.06	Round/polygonal

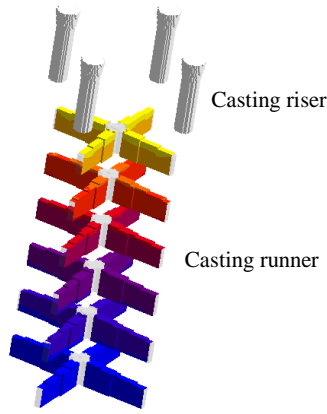


图 3 浇注系统
Fig.3 Gating system

金属液充型过程是复杂的流动场与温度场的耦合作用，金属液的流动，金属液与铸型、空气之间的热交换都对铸件质量起重要影响。

如图 4 所示，金属液通过重力作用自下而上经 4 个冒口均匀进入型腔中，总充型时间为 14.229 9 s。由图 5 充型结果可知，此浇注工艺参数下可实现合金溶液的平稳充型，充型过程的温度场大致上也符合实际生产情况。

如图 5 所示，为了更好地分析石英砂、铬铁矿砂、锆英砂 3 种材质铸造的铝合金铸件凝固过程的凝固规律，将 3 种材质复合铸件的结合位置进行分析。回字形变壁厚薄壁结构石英砂铸造铸件的完全凝固时间为 329.573 s，锆英砂、铬铁矿砂铸造铸件的完全凝固时间为 262.747 s 左右，相较铬铁矿砂凝固时间缩短了 25.43%。壁厚为 2 mm 时，石英砂、锆英砂、铬铁矿砂铸造铸件对铸件凝固时间影响不大，凝固时间为 62.268 s；壁厚为 4 mm 时，石英砂铸造铸件的凝固时间为 129.094 s，而锆英砂、铬铁矿砂铸造铸件凝固时间为 95.681 s，凝固时间缩短了 34.92%。壁厚为 8 mm 时，石英砂铸造铸件的凝固时间为 162.507 s，而锆英砂、铬铁矿砂铸造铸件凝固时间为 129.094 s，凝固时间缩短了 25.88%。壁厚

差距越大，石英砂与锆英砂、铬铁矿砂铸造铸件凝固时间差值越大。从石英砂、铬铁矿砂、锆英砂复合得到铸件的结合位置，及过渡位置可以看出，当壁厚大于 4 mm 时，锆英砂与石英砂、铬铁矿砂与石英砂过渡处凝固时间呈阶梯状递减；且锆英砂与石英砂过渡处与铬铁矿砂与石英砂过渡处铸件凝固时间更短，金属液凝固速度更快。

2.2 铸件试验分析

复合铸型采用石英砂、锆英砂、铬铁矿砂进行多材质复合砂型制备，如图 6 所示，浇注系统采用模拟

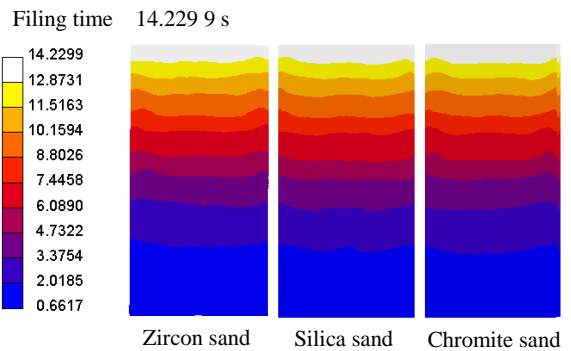


图 4 充形时间

Fig.4 Filling time

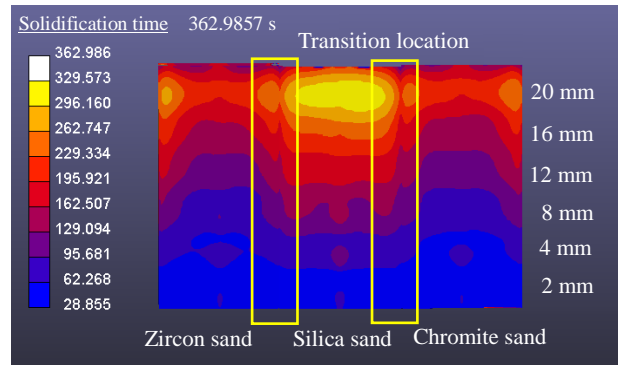


图 5 铸件凝固顺序

Fig.5 Gating solidification sequence

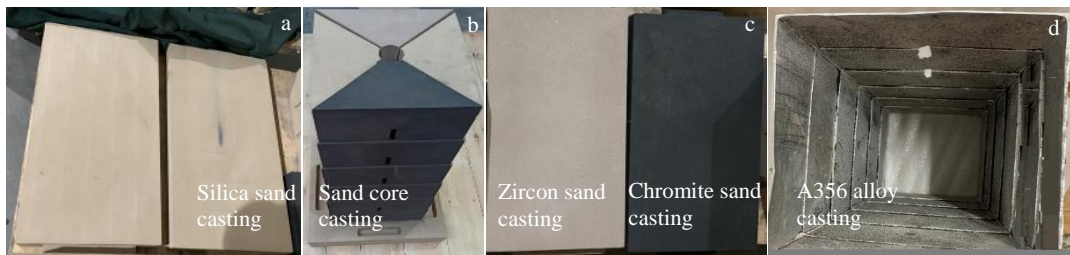


图 6 多材质复合铸型 A356 铝合金铸件制备

Fig.6 Preparation of A356 alloy casting of multi-material composite casting

仿真优化出的结果进行设计, 将 A356 铝合金金属液重力浇注成形, 获得多材质复合铝合金铸件, 如图 6d 所示。

2.2.1 A356 铝合金晶粒尺寸分析

不同激冷能力的型砂对铝合金铸件组织和性能的影响有显著区别。图 7a~7c 分别为铸件壁厚 8 mm 石英砂、铬铁矿砂、锆英砂铸型铸造得到铸件晶粒尺寸; 图 7d~7f 分别为铸件壁厚 20 mm 石英砂、铬铁矿砂、锆英砂铸型铸造得到铸件晶粒尺寸。通过分析石英砂、铬铁矿砂、锆英砂 3 种激冷铸型浇注铸件的晶粒尺寸可以看出, 复合铸型壁厚为 8 mm 时, 石英砂铸型铸造得到的铸件的晶粒平均面积为 287.140 μm^2 , 铬铁矿砂铸型铸造得到的铸件晶粒平均面积 237.209 μm^2 , 锆英砂铸型铸造得到的铸件的

晶粒平均面积为 188.52 μm^2 ; 壁厚为 20 mm 时, 石英砂铸型铸造得到的铸件的平均晶粒面积为 559.97 μm^2 , 铬铁矿砂铸型铸造得到的铸件的平均晶粒面积为 456.511 μm^2 , 锆英砂铸型铸造得到的铸件的平均晶粒面积为 405.883 μm^2 , 因此不同材质砂型对铸件晶粒尺寸的影响显著。从多材质复合铸件不同壁厚晶粒直径尺寸可以看出, 相同壁厚时, 锆英砂铸造得到的铸件的晶粒尺寸最小, 其次是铬铁矿砂, 石英砂最大。同时, 相同材质下, 随着壁厚的增大, 铸件的晶粒尺寸显著增加, 晶粒粗化, 如图 8 所示。这是因为锆英砂和铬铁矿砂具有较好的激冷效果, 得到的铝合金铸件组织细小, 细晶强化作用使得铸件的力学性能也有较大提高, 特别是为薄

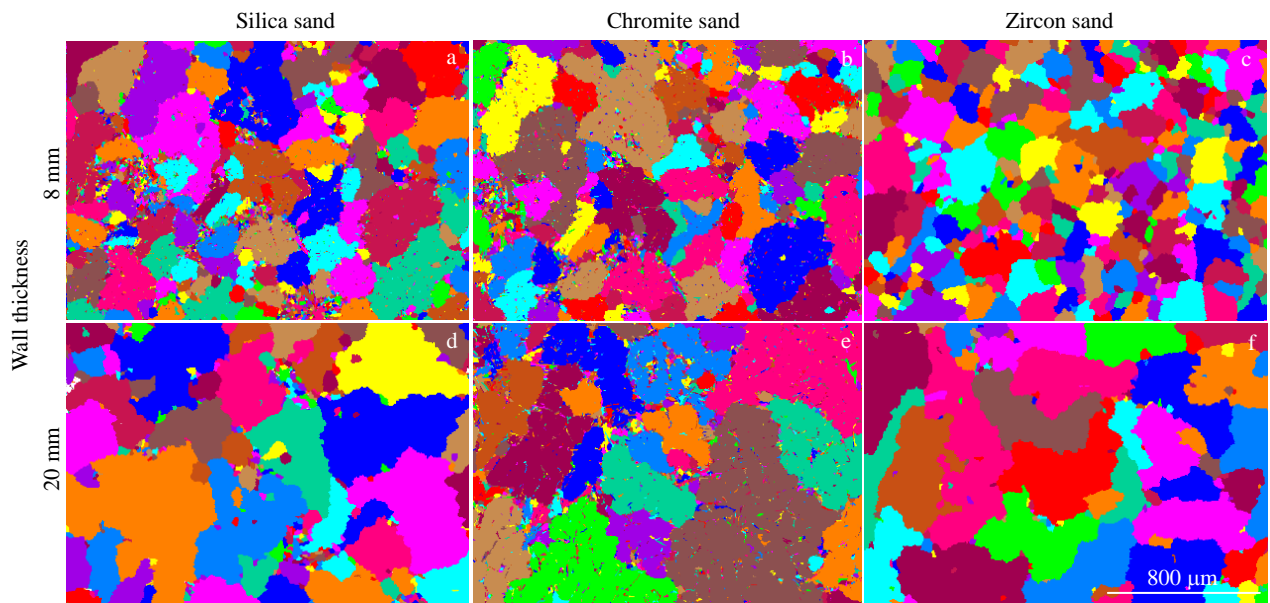


图 7 不同壁厚铸件的晶粒尺寸

Fig.7 Grain sizes of the casting with different wall thicknesses

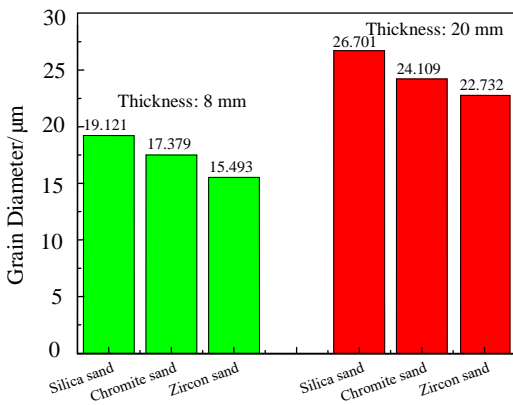


图 8 多材质复合铸件不同壁厚晶粒直径

Fig.8 Grain diameters of multi-material composite castings with different wall thicknesses

壁复杂铝合金铸件的制造提供了新方法和新工艺。

2.2.2 A356 铝合金元素分布

图 9 为壁厚为 8 mm 时多材质复合铸型铸件的 EPMA 元素面分布, 图 10 为壁厚为 20 mm 时多材质复合铸型铸件的 EPMA 元素面分布。图 9b~9d 分别为石英砂铸型铸造得到铸件的 Al、Mg、Si 元素 EPMA 面分布, 图 9f~9h 分别为铬铁矿砂铸型铸造得到铸件的 Al、Mg、Si 元素 EPMA 元素面分布, 图 9j~9l 分别为锆英砂铸型铸造得到铸件的 Al、Mg、Si 元素 EPMA 元素面分布; 图 10 以此类推。

壁厚为 8 mm 时锆英砂、铬铁矿砂、石英砂铸型铸造 A356 铝合金 Al 元素的 EPMA 面分布如图 9b、9f、9i 所示, 大量的红色区域代表 Al 元素; Mg 元素面分布如图 9c、9g、9k 所示, 图中蓝色斑点代表 Mg 元素分布

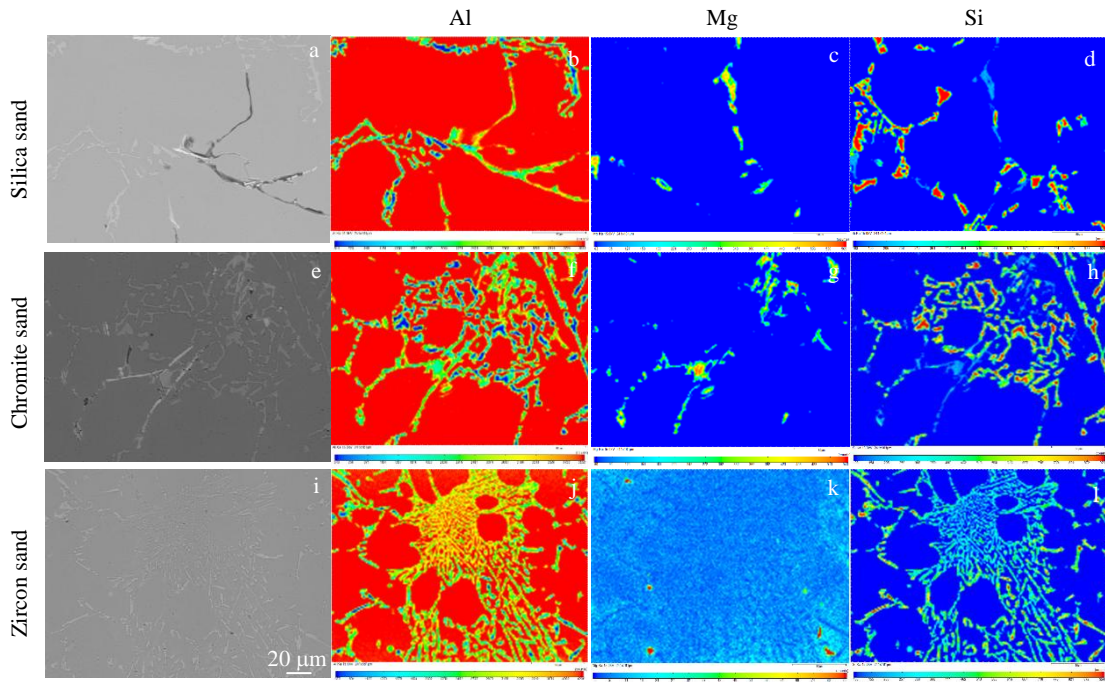


图 9 壁厚为 8 mm 的多材质复合铸件 EPMA 元素面分布

Fig.9 EPMA element mappings of multi-material composite casting with the wall thickness of 8 mm

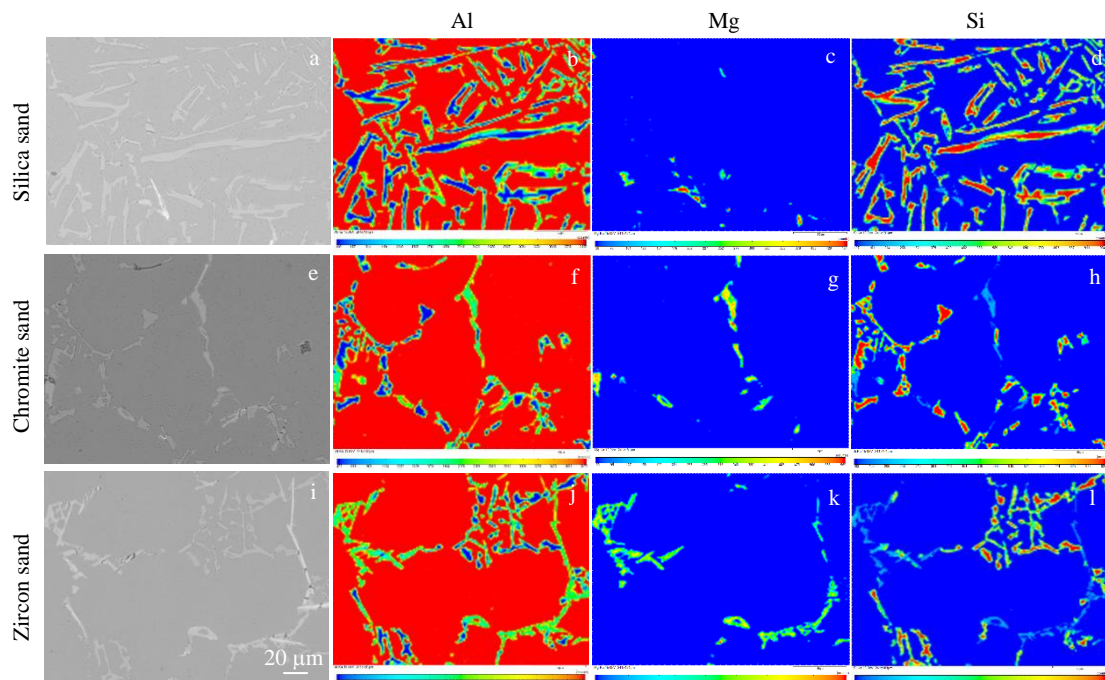


图 10 多壁厚为 20 mm 的材质复合铸件 EPMA 元素面分布

Fig.10 EPMA element mappings of multi-material composite casting with the wall thickness of 20 mm

情况，可以看出锆英砂铸型 Mg 元素分布均匀，没有出现块状偏析区，铬铁矿砂铸型中 Mg 元素在偏析区出现零散分布，石英砂铸型出现较多的 Mg 元素成分偏析区；

Si 元素分布如图 9d、9h、9l 所示，可以看出锆英砂铸型 Si 元素集中程度较低，铬铁矿砂铸型 Si 元素在偏析区出现零散分布、且集中程度升高（出现大量红色斑点），石

英砂铸型出现较多的 Si 元素成分偏析区, Si 元素集中程度最高; Si 元素的面分布显著影响合金的力学性能, 偏析越严重, 力学性能较差, 因此锆英砂砂型对铸件元素偏析情况抑制效果最明显。针对壁厚 20 mm 铸件, 锆英砂中 Mg 元素分布均匀, Si 元素也相对硅砂中聚集程度降低(硅砂砂型铸造中有大量板条状 Si 元素聚集区), 偏析情况最少, 其力学性能最优。

2.2.3 力学性能分析

分别对壁厚为 8、20 mm 石英砂、铬铁矿砂、锆英砂铝合金铸件进行力学性能测试和 SEM 断口分析。将石英砂、铬铁矿砂、锆英砂铸型铸造得到的铸件进行抗拉强度测试。在室温条件下壁厚为 8 mm 位置的石英砂最大力、抗拉强度、延伸率分别为 3.645 kN、99 MPa、1.8%, 铬铁矿砂最大力、抗拉强度、延伸率分别为 4.998 kN、137 MPa、2.5%, 锆英砂最大力、抗拉强度、延伸率分别为 5.434 kN、161 MPa、3.0%; 壁厚为 20 mm 位置的石英砂最大力、抗拉强度、延伸率分别为 3.385 kN、93 MPa、1.5%, 铬铁矿砂最大力、抗拉强度、延伸率分别为 4.415 kN、121 MPa、2.0%, 锆英砂最大力、抗拉强度、

延伸率分别为 5.044 kN、136 MPa、2.0%, 如表 2 所示。

壁厚为 8、20 mm 时, 同种材质锆英砂力学性能最好, 铬铁矿砂次之, 石英砂最差。同种材质壁厚越小的铸件其抗拉强度、延伸率越高, 其中铸件晶粒明显细化、元素分布均匀是使铸件力学性能提高的主要原因。随着晶粒直径的减小, 合金的力学性能提高; 随着壁厚的增加, 同种材质铸型铸造得到的铸件力学性能降低。这是因为较高的冷却速率使 α -Al 晶粒、共晶 Si 晶粒被明显细化, 在 A356 合金的塑性变形过程中, 位错容易在共晶 Si 相周围富集, 粗大的片状共晶 Si 晶粒容易引起应力集中, 进而导致微裂纹的产生和扩展。因此, 可使用高冷却速率或极短的局部凝固时间的方法来减小合金的晶粒尺寸、提高元素分布以提高合金的力学性能, 如锆英砂、铬铁矿砂替代石英砂进行不同壁厚铸件性能的综合调控。

2.2.4 SEM 断口分析

对不同壁厚的铝合金试样拉伸断口进行 SEM 分析, 铸造铝合金试样的拉伸断口形貌如图 11 所示。图 11a~11c 分别为壁厚为 8 mm 时石英砂、铬铁矿砂、锆

表 2 多材质复合铸件材质不同壁厚铸件的性能

Table 2 Performance of castings with different thickness for multi-material composite casting

Wall thickness/mm	Materials	Maximal force/kN	Tensile strength/MPa	Tensile strength error/%	Elongation/%	Plastic elongation error/%
8	Silica sand	3.645	99	3.1	1.8	2.1
	Chromite sand	4.998	137	4.2	2.5	1.9
	Zircon sand	5.434	161	3.6	3.0	2.2
20	Silica sand	3.385	93	3.1	1.5	1.7
	Chromite sand	4.415	121	2.6	2.0	1.4
	Zircon sand	5.044	136	4.1	2.0	2.5

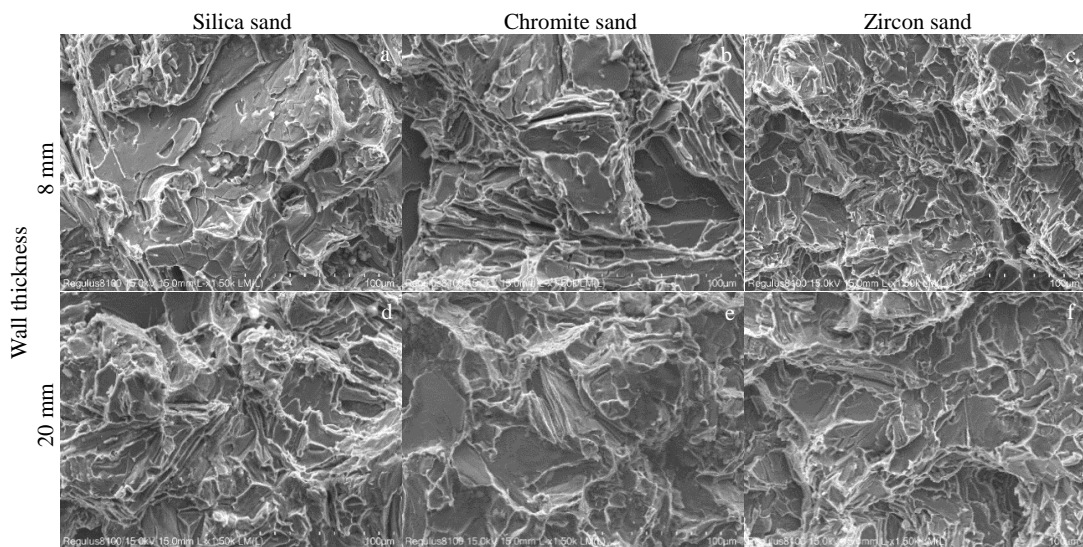


图 11 不同壁厚铸件的断口 SEM 形貌

Fig.11 Fracture SEM morphologies of the casting with the different wall thicknesses

石英砂型铸造得到的铸件断口 SEM 形貌; 图 11d~11f 分别为壁厚为 20 mm 时石英砂、铬铁矿砂、锆英砂型铸造得到的铸件断口 SEM 形貌。结果表明, 当壁厚为 8 mm, 石英砂型、铬铁矿砂型、锆英砂型铸件试样的拉伸断口均表现出韧性断裂的特征, 为脆性断裂和韧窝断裂的混合断裂模式, 且石英砂试样断口处的韧窝较浅, 分布不规则且间距大, 其抗拉强度最差; 而铬铁矿砂、锆英砂合金试样则呈等轴韧窝, 而且韧窝形状较圆润, 深度深, 抗拉强度优于石英砂。当壁厚为 20 mm 时, 3 种砂型铸件均出现少量脆性断口形貌, 抗拉强度变差。

3 结 论

1) 石英砂与锆英砂、铬铁矿砂过渡处凝固时间呈阶梯状递减状态; 且锆英砂与石英砂过渡处及铬铁矿砂与石英砂过渡处铸件凝固时间更短, 金属液凝固速度更快, 锆英砂有更强的综合调控能力。

2) 在相同壁厚时, 相较于石英砂铸造得到的铸件, 铬铁矿砂、锆英砂铸造得到的铸件晶粒细化, 元素分布更均匀。对于同种砂型铸件, 随着壁厚的减小, 铸件晶粒显著细化, 元素分布更均匀。

3) 在相同壁厚时, 石英砂、铬铁矿砂、锆英砂型得到铸件力学性能逐渐提高, 韧性断口断裂的特征越明显。对于同种砂型铸件, 随着壁厚的减小, 铸件力学性能提高, 韧性断口特征越明显。

参考文献 References

- [1] Mao Jianhui(毛建辉), Zhang Yuxian(张玉贤), Jiang Luwen(姜路文) et al. *China Metallurgy*(中国冶金)[J], 2021, 31(5): 66
- [2] Wang Xianfei(王先飞), Pan Long(潘 龙), Cui Enqiang(崔恩强) et al. *Aerospace Manufacturing Technology*(航天制造技术)[J], 2020(5): 9
- [3] Dong Fangzhu(董方铸), Wang Hongwei(王宏伟), Wang Zhonghua(王 中 华) et al. *Aerospace Manufacturing Technology*(航天制造技术)[J], 2018(4): 54
- [4] Guo Lijun(郭莉军), Shan Zhongde(单忠德), Liu Limin(刘丽敏) et al. *Chinese Journal of Engineering*(工程科学学报)[J], 2021, 43(2): 273
- [5] Zhou Yuli(周玉立), Zhang Junchao(张俊超), Lin Shipeng(林师鹏) et al. *Special Casting & Nonferrous Alloys*(特种铸造及有色合金)[J], 2021, 41(4): 416
- [6] Zhou Yuli(周玉立), Zou Chun(邹 纯), Zhao Mingbao(赵明宝) et al. *Special Casting & Nonferrous Alloys*(特种铸造及有色合金)[J], 2019, 39(4): 353
- [7] Shan Z D, Guo Z, Du D et al. *Frontiers of Mechanical Engineering*[J], 2020, 15(2): 328
- [8] Liu Liming(刘丽敏), Shan Zhongde(单忠德), Liu Feng(刘 丰) et al. *Foundry*(铸造)[J], 2018, 67(11): 955
- [9] Liu L M, Shan Z D, Liu F et al. *China Foundry*[J], 2018, 15(5): 343
- [10] Xiong Xiaoqing(熊小青). *Foundry Technology*(铸造技术)[J], 2007, 28(7): 958
- [11] Li Yan(李 岩), Gai Lei(盖 磊), Liu Zhixin(柳智鑫). *Foundry Technology*(铸造技术)[J], 2014, 35(11): 2473
- [12] Niu Haixia(牛海侠), Zhang Qiong(张 琼), Li Lei(李 磊). *Journal of Lanzhou Institute of Technology*(兰州工业学院学报)[J], 2020, 27(6): 83
- [13] Zhang Yunpeng(张云鹏), Wang Meng(王 猛), Lin Xin(林 鑫) et al. *Foundry Technology*(铸造技术)[J], 2018, 39(9): 2000
- [14] Li Dong(李 栋), Zeng Jianming(曾建明), Ma Yuan(马 原) et al. *Special Casting & Nonferrous Alloys*(特种铸造及有色合金)[J], 2020, 40(4): 398
- [15] He Ruoxu(何若虚). *Foundry Technology*(铸造技术)[J], 2020, 69(7): 761
- [16] Yang Ke(杨 珂), Xia Chengrui(夏承睿), Wu Qin(吴 勤) et al. *Special Casting & Nonferrous Alloys*(特种铸造及有色合金)[J], 2020, 40(11): 1283
- [17] Li Zhimeng(李志猛), Zuo Yubo(左玉波), Zhu Qingfeng(朱庆丰) et al. *Special Casting & Nonferrous Alloys*(特种铸造及有色合金)[J], 2021, 41(1): 108
- [18] Jiang Jufu(姜巨福), Wang Ying(王 迎), Xiao Guanfei(肖冠菲) et al. *Chinese Journal of Materials Research*(材料研究学报)[J], 2020, 34(12): 881
- [19] Guo Wenxuan(郭文选), Si Naichao(司乃潮), Sun Shaochun(孙少纯) et al. *Special Casting & Nonferrous Alloys*(特种铸造及有色合金)[J], 2011, 31(9): 859
- [20] Zheng Weidong(郑卫东), Pan Junjie(潘 俊 杰), Huang Yongqing(黄永庆) et al. *Special Casting & Nonferrous Alloys*(特种铸造及有色合金)[J], 2017, 37(5): 512
- [21] Wei Jian(魏 剑), Wu Long(吴 龙), Hu Zhou(胡 周). *Journal of Qindao University of Technology*(青岛理工大学学报)[J], 2021, 42(2): 149
- [22] Liu Xiao(刘 筱), Zhu Biwu(朱必武), Li Luoxing(李落星) et al. *Foundry Technology*(铸造技术)[J], 2017, 38(2): 445
- [23] Bai Bin(白 宾), Chen Weidong(陈伟东), Yan Shufang(闫淑芳) et al. *Chinese Journal of Rare Metals*(稀有金属)[J], 2016, 40(12): 1265
- [24] Qin Xuezheng(秦学政), Qiu Zhanjiang(邱占疆), Qin Xuehong(秦学红) et al. *Shandong Chemical Industry*(山东化工)[J], 2019, 48(16): 165
- [25] Sun Yi(孙 义), Zhao Yugang(赵玉刚), Liu Guangxin(刘广鑫) et

- al. Hot Working Technology*(热加工工艺)[J], 2020, 49(7): 60
[26] Zheng Cirong(郑赐荣), Ding Xu(丁旭), Yang Jiakai(杨家财) *et al. Hot Working Technology*(热加工工艺)[J], 2016, 45(23): 111
[27] Tian Yingxin(田迎新), Zeng WeiHe(曾维和), Zeng Xiaoqin(曾小勤) *et al. Foundry*(铸造)[J], 2015, 64(11): 1102
[28] Chen Yong(陈勇), Yang Xiangjie(杨湘杰). *Foundry*(铸造)[J], 2009, 58(3): 249

Performance Control Mechanism of A356 Aluminum Alloy Based on Multi-Material Composite Casting

Yan Dandan^{1,2}, Shan Zhongde^{1,3}, Zang Yong²

- (1. State Key Laboratory of Advanced Forming Technology and Equipment, China Academy of Machinery Science and Technology Group Co., Ltd, Beijing 100044, China)
(2. University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China)
(3. Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China)

Abstract: A multi-material composite casting model with variable wall thickness structure was built. Firstly, by simulating the filling and solidification process of A356 alloy in the multi-material composite casting mold, the filling time and temperature field results of the multi-material composite casting mold were obtained. The solidification time of zircon sand with silica sand, chromite sand with silica sand decreases progressively. The solidification time of casting is shorter at the transition of zircon sand with silica sand and chromite sand with silica sand, and the solidification speed of metal liquid is faster. Fracture morphology of A356 alloy casting with silica sand, chromite sand and zircon sand composite casting in gravity casting was investigated by EBSD and EPMA, and the tensile strength test was carried out. The results show that at the same wall thickness, the grain size of chromite sand and zircon sand castings is smaller, the concentration ratio of Al, Mg, Si and other elements is lower, the mechanical properties are improved, and the fracture is characterized by ductile fracture. At the same time, with the decrease of wall thickness, the grain size of sand castings of the same material is refined, the concentration ratio of elements is reduced, the mechanical properties are improved, and the fracture surface presents the characteristics of ductile fracture.

Key words: multi-material; composite casting; microstructure; performance control

Corresponding author: Shan Zhongde, Ph. D., Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, P. R. China, E-mail: shanzd@cam.com.cn