



B-Cr 变质对 20%Mg₂Si/A356-1.3%Fe 再生铝基复合材料组织和性能的影响

关玉芹¹, 杜 军¹, 吴桃泉¹, 曹 东², 李文芳¹, 许德英²

(1. 华南理工大学 材料科学与工程学院, 广州 510640;

2. 广州金邦有色金属合金有限公司, 广州 510340)

摘 要: 以 A356-1.3%Fe 再生铝合金为原材料, 通过 Mg-Si 熔体直接反应制备 20%Mg₂Si/A356-1.3%Fe 铝基复合材料, 研究 B 和 Cr 对复合材料组织中初始 Mg₂Si 和富 Fe 相变质行为以及研究变质处理对拉伸性能和耐磨性的影响。结果表明: B 和 Cr 分别对复合材料中的初生 Mg₂Si 相和 β -Fe 相具有较佳的变质效果, B-Cr 复合能够实现初生 Mg₂Si 相和 β -Fe 相的同步变质。针状 Fe 相全部转变成汉字状或骨骼状 α -Fe 相, 长径比减小近 90%, 初生 Mg₂Si 相由粗大的树枝晶状转变成细小的颗粒状, 平均尺寸由 70.2 μm 减小到 36.4 μm , 约下降 50%。与 A356-1.3%Fe 再生铝相比, 复合材料的耐磨性提高约 3 倍, 而经 B-Cr 变质的复合材料其抗拉强度提高 27%, 断裂应变提高 73%。

关键词: 再生铝; 复合材料; 初生 Mg₂Si; 富 Fe 相; 变质

文章编号: 1004-0609(2017)-04-0684-08

中图分类号: TG146.2

文献标志码: A

铝合金以其显著的轻质高比强特性而被广泛使用^[1], 随着铝合金用量的逐渐增加, 铝合金的回收再利用显得尤为迫切, 而杂质 Fe 是制约铝回收利用与品质保级的主要瓶颈^[2-3], 目前尚无有效去除或降低 Fe 含量的低成本技术。基于此, 本文作者所在团队提出以富 Fe 的再生铝作为基体, 利用熔体直接反应法制备 Mg₂Si 颗粒增强富 Fe 再生铝基复合材料, 利用 Mg₂Si 增强相和富 Fe 相的高硬特性以提升再生铝合金的性能。

在该复合材料中存在两种典型的合金相: Mg₂Si 和富 Fe 相。在普通铸造凝固条件下, Mg₂Si 相易生长成粗大树枝晶形态^[4-5], 而 Fe 含量较高时富 Fe 相往往以针状 β -Fe 相形式析出, 对基体产生割裂作用^[6], 严重危害铝合金性能。利用微量元素变质是控制和改变合金相形态的主要手段, 对于 Mg₂Si 相变质, 常见的合金元素有 P、Ba、Ca、Ce、Y, 以及一些盐类变质剂等^[7-9]。而对于铝合金中的 Fe 相变质, 常见的合金元素有 Mn、Sr、Ce、La、Cr 等^[10-12], 其中 Mn 被证明是最为有效的 Fe 相变质元素^[13-14]。但当前并无研究者开展 Mg₂Si 和富 Fe 相同步变质方面的研究, 且实验发现, 两种合金相各自的有效变质元素变质过

程中存在相互影响从而制约其变质效果。基于大量的实验探索, 发现 B 和 Cr 复合作用可实现 Mg₂Si 和富 Fe 相的同步细化变质, 并分析和测试变质前后组织和性能的变化, 以期对再生铝的拓展应用提供一条新的途径。

1 实验

1.1 复合材料制备及变质处理

利用金邦有色金属合金有限公司提供的 A356 再生铝合金为原材料(成分如表 1), 其中 Fe 含量为 1.3%, 记为 A356-1.3%Fe 再生铝。将 A356-1.3%Fe 再生铝在 720 $^{\circ}\text{C}$ 熔化保温 18~20 min。然后加入纯镁和 Al-20%Si 中间合金, 充分熔化后进行搅拌, 该熔体在浇铸后的凝固过程中析出 Mg₂Si 增强体。将温度升高至 750 $^{\circ}\text{C}$, 根据需要加入变质元素, 保温 8 min 后搅拌并精炼除气。将温度降低至 720 $^{\circ}\text{C}$, 静置 2 min 后出炉, 扒渣浇入经 300 $^{\circ}\text{C}$ 预热的钢模, 尺寸为 d 30 mm $\times$ 70 mm。空冷后切割取样, 磨样观察显微组织。Mg₂Si 含量设计为 20%, 即 20%Mg₂Si/A356-1.3%Fe 复合材

表 1 A356 再生铝合金和 20% Mg_2Si /A356-1.3%Fe 复合材料的化学成分

Table 1 Chemical compositions of A356 recycled aluminum alloy and 20% Mg_2Si /A356-1.3%Fe aluminum matrix composites

Material	Mass fraction/%				
	Si	Mg	Fe	Other impurity	Al
A356-1.3%Fe	7.04	0.39	1.3	About 0.1	Bal.
20% Mg_2Si /A356-1.3%Fe	14.3	13.0	1.3	About 0.1	Bal.

料,成分如表 1 所列。分别采取 Al-3%B 和 Al-10%Cr 中间合金对复合材料进行变质处理,包括 0.2%B、0.8%Cr 单独变质及其 0.2%B-0.8%Cr 复合变质。

1.2 微观形貌及成分分析

距试样底部 20 mm 处取样,用水砂纸逐级打磨抛光后腐蚀。通过扫描电子显微镜(SEM)和 X 射线衍射仪(XRD)观测和分析复合材料组织特征和物相组成,并针对初生 Mg_2Si 相和 Fe 相尺寸进行测量,对于块状初生 Mg_2Si 相测量最大直径处尺寸,对于针状 β -Fe 相直接测量针状长度,对于汉字状或花朵状 α -Fe 相,测量两个垂直方向上尺寸的最大值相除,计算长径比,分别测量 150 个合金相尺寸求算术平均值作为最终尺寸。利用电子探针射线显微分析-波谱(EPMA-WDS)分析元素分布规律。

1.3 性能测试

采用 AG-X100KN 精密电子万能试验机测试试样的拉伸性能,拉伸试样标距为 30 mm $\times$ 6 mm $\times$ 2.5 mm,拉伸速度为 0.5 mm/min。采用 M-2000 型磨损试验机测试样品的磨损性能,环-块式干摩擦方式,磨损试样尺寸为 10 mm $\times$ 10 mm $\times$ 5 mm。磨损实验参数为:转速为 214 r/min,载荷为 200 N,时间为 20 min,对磨环为 GCr15。拉伸试样和磨损试样的数量均为 3 个,结果取其算数平均值。利用 SEM 分别观测拉伸断口和磨损表面形貌,分析断裂和磨损机制。

2 实验结果

2.1 微观组织及物相组成

图 1 所示为 20% Mg_2Si /A356-1.3%Fe 复合材料的 SEM-BSD 像和 XRD 谱。由图 1(a)可见,其组织中存在明显的暗灰色粗大树枝晶状合金相和白色的针状相,结合图 1(b)可知,其中粗大树枝晶状合金相为初

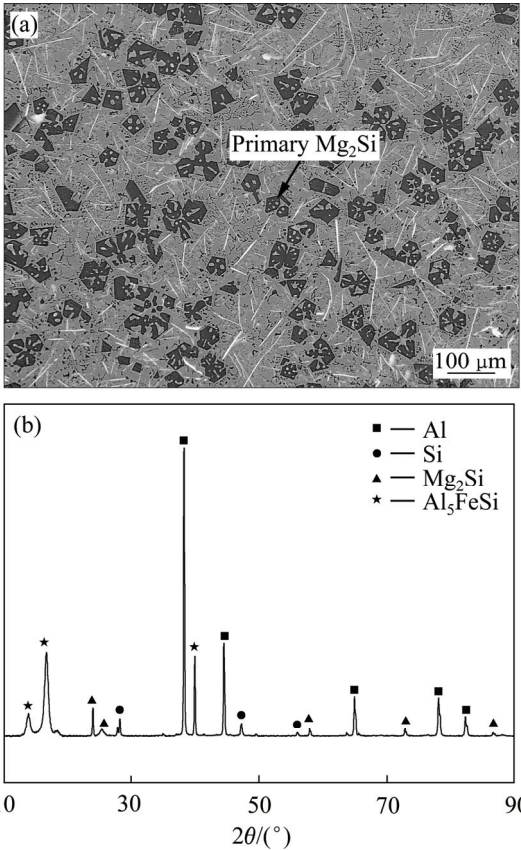


图 1 20% Mg_2Si /A356-1.3%Fe 再生铝基复合材料的 SEM-BSD 像及 XRD 谱

Fig. 1 SEM-BSD image(a) and XRD pattern(b) of 20% Mg_2Si /A356-1.3%Fe recycled aluminum matrix composites

生 Mg_2Si , 而针状相为 β -Fe(Al_5FeSi)相。之外,复合材料材料中还存在 α (Al)和共晶 Si 相。

图 2 所示为经 0.2%B 和 0.8%Cr 单独变质、0.2%B-0.8%Cr 复合变质的 Mg_2Si /A356-1.3%Fe 复合材料的 SEM-BSD 像和 XRD 谱。经 B 变质后(见图 2(a)),粗大的树枝晶状初生 Mg_2Si 相发生明显细化,呈细小颗粒状均匀分布在铝基体中,Fe 相仍全部呈现长针状形态。经 Cr 变质后(见图 2(b)),长针状 β -Fe 相消失,变成汉字状或骨骼状 α -Fe 相,同时初生 Mg_2Si 相形貌变得均匀规则,尺寸相对减小。而经 0.2%B-0.8%Cr 复合变质(见图 2(c)),长针状 β -Fe 相全部转变成汉字状或骨骼状 α -Fe 相,初生 Mg_2Si 相也有一定程度的细化,呈颗粒状均匀分布在基体中。由 B-Cr 复合变质复合材料的 XRD 谱(见图 2(d))可知,此时,富 Fe 相全部转变为 α -Fe($\text{Al}_8\text{Fe}_2\text{Si}$),并存在少量的 Al_3Cr 相。

对变质前后 Mg_2Si /A356-1.3%Fe 复合材料中初生 Mg_2Si 相和富 Fe 相尺寸进行测量,尺寸平均值及其偏

差如表 2 所列。对于未变质复合材料，初生 Mg_2Si 相较为粗大，而 Fe 相呈现为典型的细长针状，具有很大长径比。B 变质可显著细化初生 Mg_2Si 相，其平均尺寸由 $70.2\text{ }\mu\text{m}$ 减小到 $28.9\text{ }\mu\text{m}$ ，降低约 60%，但 B 对 $\beta\text{-Fe}$ 相无变质作用。Cr 元素对 Fe 相变质效果明显，能够使针状 $\beta\text{-Fe}$ 相有效转变成骨骼状或汉字状 $\alpha\text{-Fe}$ 相，长径比由 20 减小到 3，同时能够一定程度上细化初生 Mg_2Si 相，使其尺寸减小近 30%。0.2%B-0.8%Cr 复合变质时，针状的 $\beta\text{-Fe}$ 相全部转变成汉字状或骨骼状的 $\alpha\text{-Fe}$ 相，长径比减小近 90%，初生 Mg_2Si 相平均尺寸由 $70.2\text{ }\mu\text{m}$ 减小到 $36.4\text{ }\mu\text{m}$ ，约下降 50%。可见 B-Cr 复合能够实现 $\text{Mg}_2\text{Si}/\text{A356-1.3\%Fe}$ 复合材料中的富 Fe 相和初生 Mg_2Si 相的同步变质。

2.2 拉伸性能和耐磨性测试

表 3 所列 A356-1.3%Fe 再生铝及 B-Cr 变质前后 $\text{Mg}_2\text{Si}/\text{A356-1.3\%Fe}$ 再生铝基复合材料的拉伸力学性能和磨损量。对 A356-1.3%Fe 再生铝合金，其拉伸性能和耐磨性均较差，而经 20% Mg_2Si 增强后，抗拉强度由 80.6 MPa 提高到 89.2 MPa，提高了 10%，断裂应变无明显变化，磨损量为原材料的 1/3，磨损性能提高 3 倍。经 B-Cr 变质后复合材料抗拉强度及应变均有一定提高，抗拉强度达到 114.3 MPa，断裂应变提高到 3.8%，分别提高 27%和 73%，而磨损量相对于变质前无显著变化。

图 3(a)~(c)所示为试样拉伸断口的 SEM 像。3 种材料的断口均存在大量光滑解理平面，呈典型的脆性

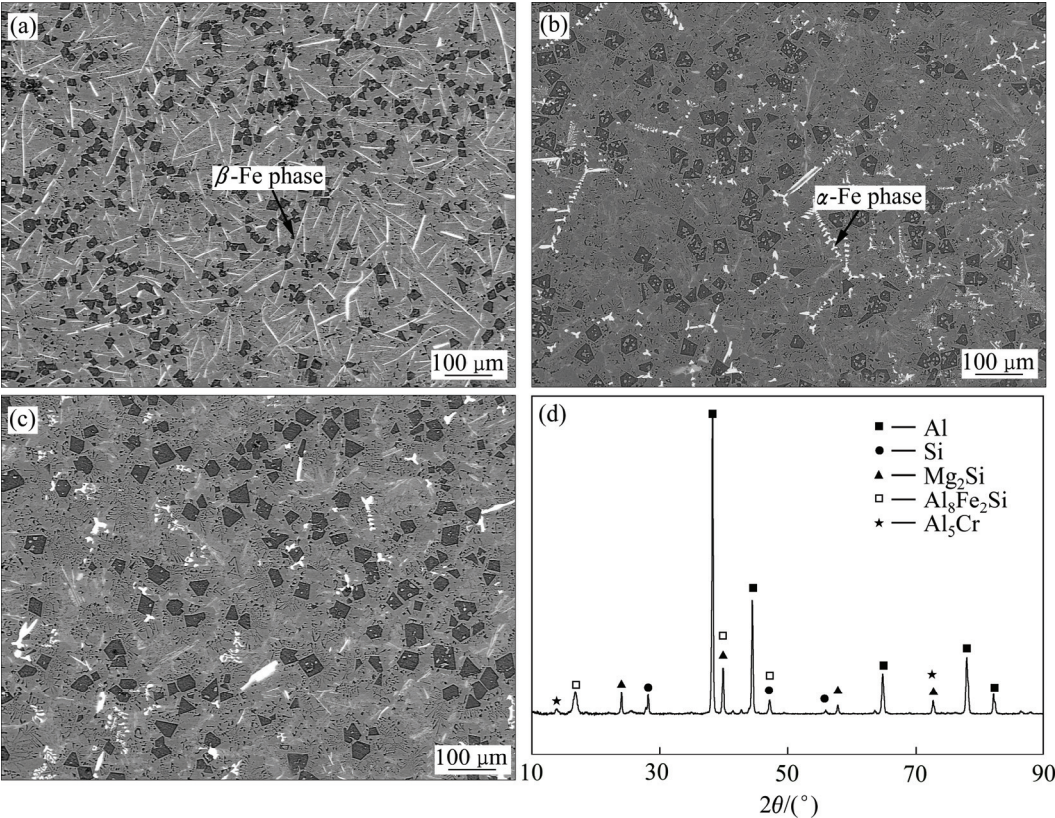


图 2 B、Cr 和 B-Cr 复合变质 20% $\text{Mg}_2\text{Si}/\text{A356-1.3\%Fe}$ 复合材料的 SEM-BSD 像及 B-Cr 复合变质样品的 XRD 谱
Fig. 2 SEM-BSD images of 20% $\text{Mg}_2\text{Si}/\text{A356-1.3\%Fe}$ recycled aluminum matrix composites modified by B(a), Cr(b) and B-Cr(c), and XRD pattern(d) of composites modified by B-Cr

表 2 变质前后 20% $\text{Mg}_2\text{Si}/\text{A356-1.3\%Fe}$ 复合材料中富 Fe 相和 Mg_2Si 相尺寸

Material	Length of Fe-rich phase/ μm	Width of Fe-rich phase/ μm	Aspect ratio of Fe-rich phase	Length of Mg_2Si phase/ μm
Unmodified	36.8 ± 17.2	1.8 ± 0.1	20.4	70.2 ± 21.3
Modified by B	43.5 ± 14.9	1.8 ± 0.1	24.2	28.9 ± 11.5
Modified by Cr	45.3 ± 17.6	14.9 ± 4.2	3.1	49.9 ± 17.5
Modified by B and Cr	37.2 ± 10.5	11.4 ± 2.9	3.3	36.4 ± 6.3

表 3 A356-1.3%Fe 再生铝及 $\text{Mg}_2\text{Si}/\text{A356-1.3\%Fe}$ 复合材料变质前后的拉伸力学性能和磨损量

Table 3 Tensile properties and wear loss of A356-1.3%Fe recycled aluminum and 20% $\text{Mg}_2\text{Si}/\text{A356-1.3\%Fe}$ recycled aluminum matrix composites before and after modification

Material	Tensile strength/MPa	Elongation to fracture/%	Wear loss/mg
A356-1.3%Fe recycled aluminum alloy	80.6±11.4	2.1±0.1	13.8±0.6
Unmodified 20% $\text{Mg}_2\text{Si}/\text{A356-1.3\%Fe}$	89.2±2.1	2.2±0.1	4.3±0.3
20% $\text{Mg}_2\text{Si}/\text{A356-1.3\%Fe}$ modified by B-Cr	114.3±8.5	3.8±0.4	4.1±0.1

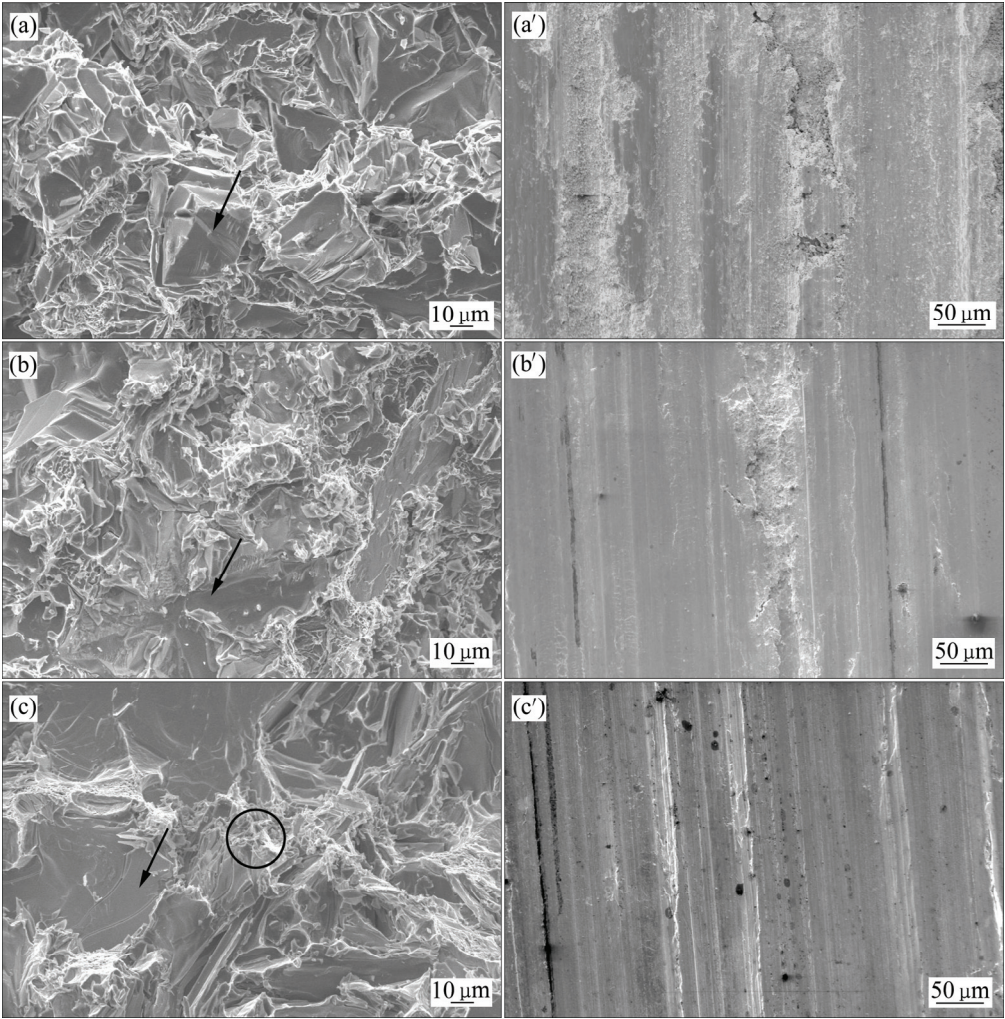


图 3 试样拉伸断口和磨损表面的 SEM 像

Fig. 3 SEM images of tensile fracture((a), (b), (c)) and worn surface((a'), (b'), (c')): (a), (a') A356-1.3%Fe recycled aluminum; (b), (b') 20% $\text{Mg}_2\text{Si}/\text{A356-1.3\%Fe}$ recycled aluminum matrix composites; (c), (c') 20% $\text{Mg}_2\text{Si}/\text{A356-1.3\%Fe}$ recycled aluminum matrix composites modified by combination of B and Cr

断裂特征。并在局部区域可观察到有明显的“冰糖”形貌,即存在沿晶断裂^[15]。而对于 B-Cr 变质复合材料,其中断口中可观察到少量的韧窝存在(图 3(c)中圆圈所注),即伴有一定的塑性撕裂,复合材料塑性有一定的改善。图 3(a')~(c')所示为磨损表面的 SEM 像,对 A356-1.3%Fe 再生铝合金(见图 3(a')),其磨损表面出现大面积剥落和塑性变形,剥落坑较深,摩擦过程中

产生明显的表面粘着转移和脱落,磨损量较大,耐磨性较差,主要表现为粘着磨损;而 $\text{Mg}_2\text{Si}/\text{A356-1.3\%Fe}$ 再生铝基复合材料(见图 3(b'))磨损后出现小面积的剥落,伴随一定量的犁沟,磨损表面相对光滑,复合材料主要表现为轻微的粘着磨损和磨粒磨损。经 B-Cr 变质后复合材料(见图 3(c'))的磨损表面主要以犁沟为主,合金主要表现为磨粒磨损。

3 分析与讨论

对于高 Fe 含量的 A356 铝合金, 其组织中含有大

量针状富 Fe 相。经 20%Mg₂Si 复合强化后, 对其基体物相组成不会产生显著影响, 富 Fe 相仍为针状 β -Fe(Al₃FeSi)相, 而经 B-Cr 复合变质后, 初生 Mg₂Si 相和 β -Fe 相均得到有效变质。图 4 所示为 B-Cr 变质的 20%Mg₂Si/A356-1.3%Fe 再生铝基复合材料的

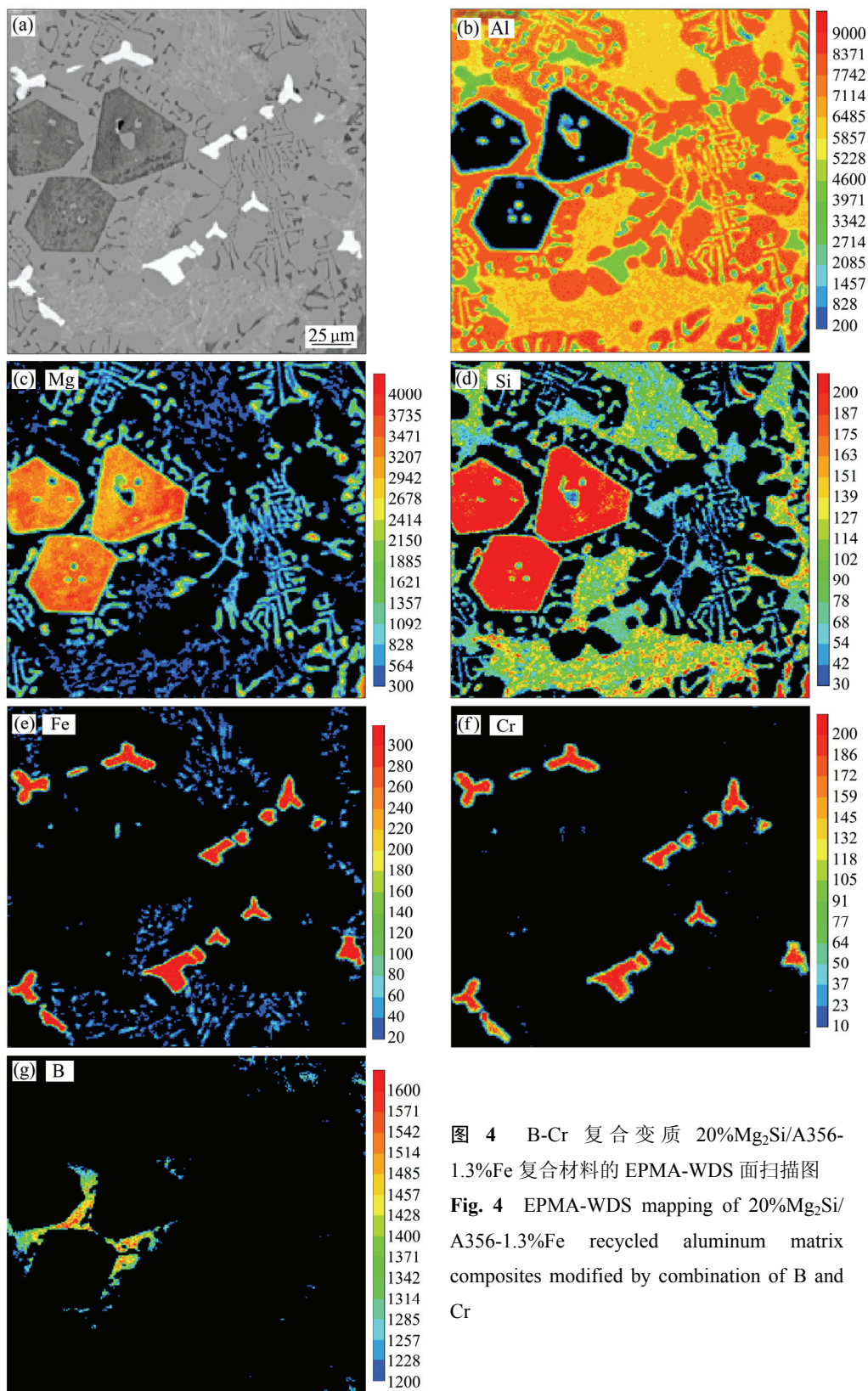


图 4 B-Cr 复合变质 20%Mg₂Si/A356-1.3%Fe 复合材料的 EPMA-WDS 面扫描图

Fig. 4 EPMA-WDS mapping of 20%Mg₂Si/A356-1.3%Fe recycled aluminum matrix composites modified by combination of B and Cr

EPMA-WDS 面扫描图, 其中包括 Al、Mg、Si、Fe、Cr 和 B 元素的分布, 图中色柱和数值表示有关元素的相对含量。可以明显看出, Cr 元素分布情况与 Fe 类似, 即 Cr 元素主要存在于 Fe 相之中。而 B 元素主要聚集在初生 Mg_2Si 相周围, 即证明 B 元素对初生 Mg_2Si 相的变质机制为吸附毒化, B 吸附在初生 Mg_2Si 相周围, 毒化 Mg_2Si 相生长台阶, 抑制初生 Mg_2Si 相生长成粗大的树枝晶状。通常认为 Cr 在 $\beta\text{-Fe}(\text{Al}_3\text{FeSi})$ 相中的固溶度较大^[16], 更容易进入到 Fe 相中造成晶格畸变, 抑制其生长, 而 EPMA-WDS 分析结果也显示 Cr 元素分布范围与 Fe 元素相似, 同时, Cr 原子向 $\beta\text{-Fe}$ 相内部扩散阻碍了 Fe 原子的扩散, 从而减缓 $\beta\text{-Fe}$ 相的生长, 使得 Fe 相不再沿单一方向生长呈粗大针状, 更倾向于向各个方向生长成为汉字状或骨骼状的 $\alpha\text{-Fe}$ 相。另一方面, Cr 元素与 Fe 元素原子大小相近, Cr 在铝熔体中易与 Fe、Si 形成 $\text{Al}_{13}(\text{FeCr})_4\text{Si}_{14}$ 金属间化合物^[17], 减少形成 Fe 相的 Fe 元素含量, 且随着 Cr 含量的增加, Fe 相倾向于由针片状转变成六边形或星状, 进而抑制针状 Fe 相的形成。

A356-1.3%Fe 再生铝合金中大量的针状 Fe 相对基体具有严重割裂作用, 且由于 Fe 与铝基体的弹性模量不同, 针状 Fe 相易沿晶界生长分布, 在针尖处易产生应力集中, 对铝合金性能产生不利影响, 导致其拉伸性能、耐磨性能均较差。经 Mg_2Si 增强后除出现大量 Mg_2Si 相外, 对其基体的物相组成不会产生显著影响。初生 Mg_2Si 相和 $\beta\text{-Fe}$ 相均为硬质相, 可一定程度上提高基体的强度和硬度, 但初生 Mg_2Si 相易生长成粗大的树枝晶状, 不能有效发挥其硬质增强相的作用, 因此, Mg_2Si /A356-1.3%Fe 再生铝基复合材料拉伸强度和应变量相对较差。然而, 由于 Mg_2Si 颗粒的存在可以减少磨环和铝基体的接触, 抵抗磨环对基体的摩擦, 减少粘着磨损^[18], 因此复合材料的耐磨性能有所提高。经 B-Cr 变质处理后, 初生 Mg_2Si 相发生明显细化, 呈颗粒状均匀分布, Fe 相也由针状 β 相转变成汉字状或骨骼状 α 相, 因此变质后复合材料强度和塑性均有一定改善, 拉伸强度和应变量分别提高 27% 和 73%。因为 B-Cr 变质细化了硬质相初生 Mg_2Si 相和 Fe 相, 磨损过程中剥落的硬质颗粒数量增加, 磨粒磨损倾向增大, 所以磨损量没有明显减小, 耐磨性未显著改善。

4 结论

1) 20% Mg_2Si /A356-1.3%Fe 再生铝基复合材料主

要由 Al、Si、 Mg_2Si 、 $\beta\text{-Fe}(\text{Al}_3\text{Fe}_2\text{Si})$ 等相组成, 其中 Mg_2Si 相呈树枝晶状, 而 $\beta\text{-Fe}$ 呈长针状。B 可有效变质初生 Mg_2Si 相, 但不能变质 $\beta\text{-Fe}$ 相, 而 Cr 可有效变质 $\beta\text{-Fe}$ 相, 并对初生 Mg_2Si 相也具有一定细化作用。

2) B-Cr 复合能够实现初生 Mg_2Si 相和 $\beta\text{-Fe}$ 相同步变质, 针状 $\beta\text{-Fe}$ 相转变成汉字状或骨骼状 $\alpha\text{-Fe}$ 相, 长径比减小近 90%, 初生 Mg_2Si 相平均尺寸约下降 50%。B 吸附在初生 Mg_2Si 相周围毒化其生长台阶, 而 Cr 进入到 Fe 相中或与 Fe 形成新的合金相, 抑制 Fe 原子扩散, 减少长针状 Fe 相生成。

3) Mg_2Si 复合可显著改善 A356-1.3%Fe 再生铝的耐磨性, 耐磨性提高 3 倍。而经 B-Cr 变质后拉伸性能显著提高, 抗拉强度和断裂应变分别提高 27% 和 73%。变质处理对复合材料耐磨性能影响不大。

REFERENCES

- [1] 许国栋, 敖宏, 余元冠. 可持续发展背景下世界铝工业发展现状、趋势及我国的对策[J]. 中国有色金属学报, 2012, 22(7): 2040-2051.
XU Guo-dong, AO Hong, SHE Yuan-guan. Current status and development trend of aluminum industry in world and strategy suggestions in China under background of sustainable development[J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2012, 22(7): 2040-2051.
- [2] PARK W, NOGUCHI T. Influence of metal impurity on recycled aggregate concrete and inspection method for aluminum impurity[J]. Construction and Building Materials, 2013, 40(3): 1174-1183.
- [3] LIOU M. The effect of Fe-rich intermetallics on the microstructure, hardness and tensile properties of Al- Mg_2Si die-cast composite[J]. Materials and Design, 2013, 46(4): 881-888.
- [4] ZHANG J T, ZHAO Y G, XU X F, LIU X B. Effect of ultrasonic on morphology of primary Mg_2Si in in-situ $\text{Mg}_2\text{Si}/\text{Al}$ composite[J]. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 2013, 23(10): 2852-2856.
- [5] 林雪冬, 刘昌明, 吕循佳, 郝旭红. 离心铸造初生 Si 及 Si/ Mg_2Si 颗粒增强铝基复合材料的组织与性能[J]. 中国有色金属学报, 2012, 23(3): 695-702.
LIN Xue-dong, LIU Chang-ming, LU Xun-jia, HAO Xu-hong. Structures and properties of aluminum matrix composite reinforced by primary Si and Si/ Mg_2Si particles fabricated by centrifugal casting[J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2012, 23(3): 695-702.
- [6] 孙益民. 消除铁在铝合金中有害作用的途径[J]. 铸造技术,

- 2009, 30(4): 520–522.
- SUN Yi-min. Elimination measures of harmful iron element in aluminum alloy[J]. Foundry Technology, 2009, 30(4): 520–522.
- [7] CHEN K, LI Z Q, LIU S J, YANG J N, SUN Y D, BIAN S G. The effect of Ba addition on microstructure of in situ synthesized $Mg_2Si/Mg-Zn-Si$ composites[J]. Journal of Alloys and Compounds, 2009, 487(1): 293–297.
- [8] LI C, LIU X, WU Y. Refinement and modification performance of Al-P master alloy on primary Mg_2Si in Al-Mg-Si alloys[J]. Journal of Alloys and Compounds, 2008, 465(1): 145–150.
- [9] 章爱生, 万盛耀. 钇对 $Mg_2Si/AZ91D$ 复合材料中 Mg_2Si 相变质的影响[J]. 热加工工艺, 2012, 41(18): 113–115.
- ZHANG Ai-sheng, WAN Sheng-yao. Effect of yttrium on modification of eutectic Mg_2Si phase in $Mg_2Si/AZ91D$ composite[J]. Material and Heat Treatment, 2012, 41(18): 113–115.
- [10] SHEN H, YANG W D, LIANG H, YAO G C. Research advance in harmful effects and removal of impurity Fe from Al and Al alloys[J]. Advanced Materials Research. 2011, 295(297): 751–759.
- [11] TAYLOR J A. Iron-containing intermetallic phases in Al-Si based casting alloys[J]. Procedia Materials Science, 2012, 1(16): 19–33.
- [12] 王志伟, 闫洪, 熊俊杰. Sr 变质对 ADC12 合金摩擦磨损性能的影响[J]. 中国有色金属学报, 2016, 26(5): 1075–1083.
- WANG Zhi-wei, YAN Hong, XIONG Jun-jie. Effect of Sr modification on friction and wear properties of ADC12 alloy[J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2016, 26(5): 1075–1083.
- [13] HWANG J Y, DOTY H W, KAUFMAN M J. The effects of Mn additions on the microstructure and mechanical properties of Al-Si-Cu casting alloys[J]. Materials Science and Engineering A, 2008, 488(2): 496–504.
- [14] 张磊, 焦万丽, 尉海军, 姚广春. 锰结合预先热处理对铝硅合金中富铁相组织和力学性能的影响[J]. 中国有色金属学报, 2005, 15(3): 369–374.
- ZHANG Lei, JIAO Wan-li, YU Hai-jun, YAO Guang-chun. Influence of manganese and pre-heat treatment on microstructure and mechanical properties of Al_2Si alloy[J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2005, 15(3): 369–374.
- [15] 于斌, 靳庆臣. 金属断口宏观形貌几何特征定量测量及分析[J]. 有色金属, 2010, 62(3): 1–5.
- YU Bin, JIN Qing-chen. Macroscopic morphology geometric features quantitative measurement and analysis of metal fracture[J]. Nonferrous Metals, 2010, 62(3): 1–5.
- [16] 李荣德, 赵素彦, 周振平. Cr 和 Mg 对 Al-5%Fe 合金中初生 Al_3Fe 相形貌的影响[J]. 沈阳工业大学学报, 2008, 30(1): 284–287.
- LI Rong-de, ZHAO Su-yan, ZHOU Zhen-ping. Effect of Cr and Mg on morphology of primary Al_3Fe phase in Al-5%Fe alloy[J]. Journal of Shenyang University of Technology, 2008, 30(1): 284–287.
- [17] TIMELLI G, FABRIZI A, CAPUZZI S, BONOLLO F, FERRARO S. The role of Cr additions and Fe-rich compounds on microstructural features and impact toughness of $AlSi_9Cu_3(Fe)$ diecasting alloys[J]. Materials Science and Engineering A, 2014, 603(5): 58–68.
- [18] 付宇. Mg_2Si/Al 梯度复合材料的制备及其显微组织和耐磨性能研究[D]. 长春: 吉林大学, 2010: 50–63.
- FU Yu. Research on microstructure and friction resistance of Mg_2Si/Al gradient composite materials by centrifugal casting[D]. Changchun: Jilin University, 2010: 50–63.

Effects of B-Cr on microstructure and mechanical properties of 20%Mg₂Si/A356-1.3%Fe recycled aluminum matrix composites

GUAN Yu-qin¹, DU Jun¹, WU Tao-quan¹, CAO Dong², LI Wen-fang¹, XU De-ying²

(1. School of Materials Science and Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China;

2. Guangzhou Jinbang Non-ferrous Alloy Limited Company, Guangzhou 510340, China)

Abstract: A356-1.3%Fe recycled aluminum alloy was chosen as raw material to prepare 20%Mg₂Si/A356-1.3%Fe composites by direct melt reaction between Mg and Si. Modification behaviors of B and Cr elements on primary Mg₂Si and Fe-rich phases in the composites and its influence on tensile properties and wear resistance were mainly investigated. The results show that the elements of B and Cr can effectively modify primary Mg₂Si and Fe-rich phases, respectively. Simultaneous modification of primary Mg₂Si and Fe-rich phases can be effectively achieved by the combination of B and Cr. All of the needle-like β -Fe phases are changed into α -Fe phase like Chinese-script characters or skeleton. The aspect ratio of Fe-rich phase is reduced by 90%. Morphologies of primary Mg₂Si phase are changed from coarse dendrite to small granular. Its average size is reduced by about 50% from 70.2 μm to 36.4 μm . Compared with A356-1.3%Fe recycled aluminum, the wear resistance of the composites is improved by 3 times, and the tensile strength and elongation to failure of the composites modified by B and Cr are increased by 27% and 73%.

Key words: recycled aluminum alloy; composites; primary Mg₂Si phase; Fe-rich phase; modification

Foundation item: Project(2013B090500091) supported by the Production and Research Cooperation of Frontier Technology Special Funds Research Projects of Guangdong Province, China

Received date: 2016-03-18; **Accepted date:** 2016-08-15

Corresponding author: DU Jun; Tel: +86-20-87113597; E-mail: jundu@scut.edu.cn

(编辑 何学锋)