

双增强颗粒ADC-12合金复合材料的微观结构分析、显微硬度和压缩性能

西尔弗曼, 杰伊
印度

摘要: 本研究旨在测定用ADC-12合金、ADC-12合金复合材料增强的碳化硅(碳化硅)和锆石砂($ZrSiO_4$)颗粒的压缩性能。本实验采用搅拌铸造法制备了用ADC-12合金复合材料增强的碳化硅和 $ZrSiO_4$ 颗粒。采用不同重量比例的双加固组合(9+3)%、(6+6)%、(3+9)%wt,研究了这些复合材料的压缩性能。分别对碳化硅(碳化硅)和锆石砂($ZrSiO_4$)进行了压缩试验,以确定抗压强度和杨氏模量,研究了加固材料对不同重量百分比组合的影响。研究表明,锆砂($ZrSiO_4$)和碳化硅颗粒增强复合材料的拉伸强度为12%,在混合加固中变化(9+3)%,(6+6)%,(3+9)%考虑了用搅拌铸造技术合成的复合材料的密度、抗压强度和硬度等性能,并进行了比较。力学性能评价显示了硬度和抗压强度值随复合材料组合的变化。实验研究表明,基于微观结构和力学性能的ADC-12合金杂化钢筋的最佳体积分数为(6+6)wt.%组合。

关键词: ADC-12合金、增强剂、搅拌铸造、微观组织、力学性能、碳化硅和 $ZrSiO_4$ 颗粒。

MICROSTRUCTURAL ANALYSIS, MICROHARDNESS AND COMPRESSIVE BEHAVIOUR OF DUAL REINFORCED PARTICLES ADC-12 ALLOY COMPOSITE

Silverman, Jay
India

Abstract: The aim of this study was to determine the compressive properties of silicon carbide (SiC) and zircon sand ($ZrSiO_4$) particulate reinforced with ADC-12 alloy, ADC-12 alloy composite. In this experimental study, SiC and $ZrSiO_4$ particulates reinforced with ADC-12 alloy composite were manufactured by stir casting methods. Compressive properties of these composite materials were investigated by different weight percentages of dual reinforcement combinations (9+3)%, (6+6)%, (3+9)%wt. silicon carbide (SiC) and zircon sand ($ZrSiO_4$) respectively, The compressive tests were conducted to determine compressive strength and young's modulus to investigate the effects of reinforce materials on different combinations of weight percentages. The outcome of the investigations reveals that the tensile strength of composites reinforced by Zircon sand ($ZrSiO_4$) and silicon carbide particles with a total reinforcement 12% wt, and in this hybrid reinforcement the variations (9+3)%, (6+6)%, (3+9)% were taken in to account for investigating the properties such as density, compressive strength and hardness of the composites synthesized by Stir casting technique, also compared between each other's. The mechanical properties evaluation reveals variations in hardness and the compressive strength values with the composite combinations. From the experimental studies, the optimum volume fraction of hybrid reinforcement in ADC-12 alloy on the basis of microstructure and mechanical properties it is found that the (6+6) wt.% combination.

Keywords: ADC-12 alloy, reinforcements, stirs casting, Microstructure, Mechanical properties, SiC and $ZrSiO_4$ particles.

1 引言

铝合金基复合材料(MMCs)已经成为一种高质量的材料,能够用于先进的结构、汽车、电子、热管理和磨损应用。与传统材料相比,mmc提供了升高和环境温度应用所需的特定机械性能。在许多情况下,金属基体复合材料在改善物理、机械和热性能(比强度和模量、高温稳定性、导热系数和控制热膨胀系数)方面性能优越。金属基体复合材料的

性能优势是其量身定制的机械、物理和热性能,包括低密度、高比强度、高比模量、高导热系数、良好的疲劳响应、控制热膨胀能力、高耐磨性和耐磨性。一般来说,mmc的重量和强度和刚度是通过各种整体材料实现的。然而,连续纤维系统的材料责任包括低横向和层间的剪切强度、异物冲击损伤、机械/化学性能不相容,以及高的纤维和加工成本。能够过渡金属基复合材料从一个先进的复合材料具有成本效

益的应用商业市场涉及几个因素, 包括大材料生产能力, 可靠的静态和动态特性, 成本效益的处理, 和设计理念的改变基于经验和广泛的耐久性评估^[1]。铝的低耐磨性降低了其摩擦学用途; 用陶瓷颗粒增强的铝基复合材料已显示出显著的改进^[2-9]。对二次相颗粒增强材料^[10-15]的制备研究较多, 但对铝合金/ZrSiO₄/碳化硅的研究较少。本研究使用的铝合金在铝基复合材料生产工艺(16)中具有良好的铸造性能和流动性。本研究研究并比较了zrsio4和碳化硅增强颗粒对该合金微观结构和力学性能的影响。

2 所用材料及实验程序

本研究以知名铝合金ADC-12为基体材料, 以高纯锆石砂(ZrSiO₄)和碳化硅(碳化硅)为增强材料。ADC-12合金以钢锭的形式获得资助。ADC-12合金的成分分析采用湿法化学分析, 如表1所示。采用两步搅拌铸造法制备了该复合材料。所需数量的ADC-12合金在石墨坩锅中提取, 并在电

炉中熔化。熔体的温度被提高到750摄氏度。用石墨叶轮以630rpm的速度搅拌。在这个630转/分时, 在熔体中产生涡旋, 这有助于吸入熔体内的强化颗粒。作为加固的陶瓷颗粒按规定的比例取出, 用抹刀适当混合。搅拌颗粒后, 在450°C下预热以获得水分。本文选择了细品位的锆石砂和碳化硅颗粒。颗粒混合后, 允许熔体浆液在室温条件下在石墨坩锅中凝固。凝固后, 将混合物在炉中再次重新熔化, 以确保浆液处于完全液体状态, 然后用叶轮搅拌10-15 min。不同的研究者(17)早先也报道过类似的复合材料合成类型。在复合材料的生产过程中, ADC-12合金的用量、搅拌时间和搅拌器在坩锅中的位置保持不变, 以尽量减少与搅拌有关的变量对第二相颗粒分布的贡献。另一个细节见表2。以往的研究表明, 12%的锆石砂增强复合材料的钢筋具有较好的力学性能, 因此我们仅将钢筋限制在15%以内。此外, 这也符合表1中ADC-12合金的组成。

表1 ADC-12合金的成分

ADC12 Alloy	Si	Cu	Mg	Ni	Fe	Zn	Ti	Pb	Sn	Mn	Al
Wt%	11.8	1.2	0.9	0.9	0.3	0.2	0.02	0.02	0.005	0.4	Balance

表2 处理参数一览表

Parameter	1 st step	2 nd step
Melting temperature	750 ⁰ C	800 ⁰ C
Total stirring time	22-25 min	5 min

Mixing time	8-10 min	-
Blade angle	90 ⁰	90 ⁰
No of blades	4	4
Position of stirrer	Up to 2/3 depth in the melt	Up to 2/3 depth in the melt



图1 搅拌铸造机

图2 搅拌铸造机控制面板

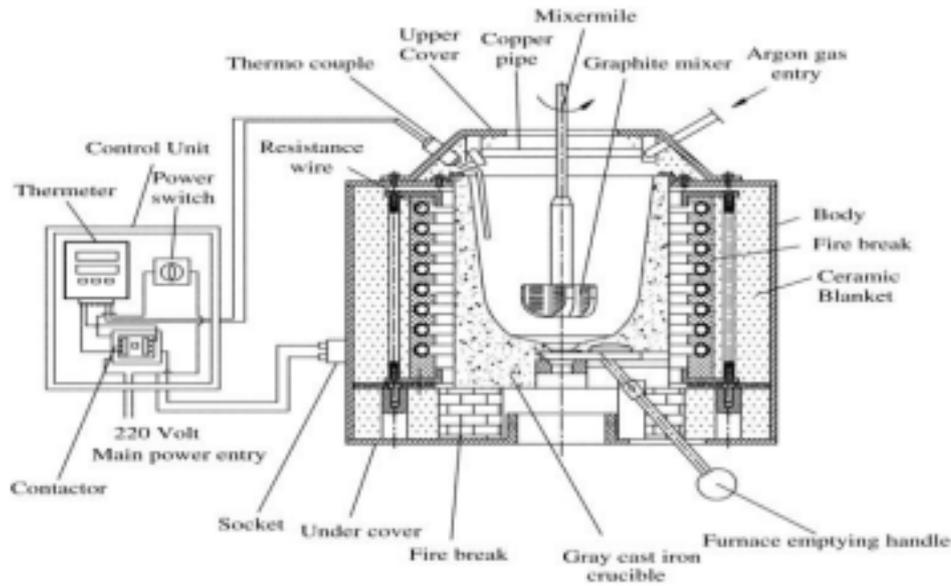


图3 铸造工艺^[18]

为了比较和关联双粒子增强对力学和摩擦学性能的影响，五种不同的复合材料共包含12wt。制作了不同比例的% 钢筋，并用字母指定。

钢筋组合情况见表3。ADC-12合金/SiC/ZrSiO₄复合材料的抗压强度在通用试验机（型号MECH/UTE-40T）上进行了试验。

表3 复合材料中12%钢筋组合

Composite	ZrSiO ₄	SiC
A	3	9
B	6	6
C	9	3



图4 通用测试机（型号-MECH/UTE-40T）

在光学(EclipseMA-100和尼康)和扫描电子显微镜(JEOL, JSM-6390A, 日本)的不同放大倍数下进行了微观结构分析。在扫描电镜观察前，样品用Keller试剂进行机械抛光和蚀刻，以获得更好的对比度。采用（日本）显微硬度仪测量不同相的显微硬度。在100kgf载荷下，每个样品至少有5个压痕，对每组样品进行显微硬度测量。

2.1 钢筋颗粒的力学性能

2.1.1 锆石砂

锆石砂主要由硅酸锆(ZrSiO₄)和一些铅，以及一些稀土元素、钛矿物、独居石等组成。锆是一种很有前途的铝、锌和铅基复合材料（19）的增强材料。

表4 锆石砂的化学成分

composition	ZrO ₂	SiO ₂	HfO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO
Content (wt%)	67.22	30.85	1.39	0.11	0.029	0.014

表5 锆英石砂的力学性能

Properties	Zircon sand
M.P.(⁰ c)	2500
Limit of application (⁰ c)	1870
Hardness(Moh's Scale)	7.5
Density(g/cm ³)	4.5-4.7
Linear coeff. Of expansion(10 ⁻⁶ k)	4.5
Fracture toughness(MPa·m ^{1/2})	5
Crystal structure	Tetragonal

2.2.2 碳化硅

碳化硅是碳和硅唯一的化合物。它被用于磨料、耐火

材料、陶瓷和许多高性能的应用。碳化硅的晶体结构为四面体。

表6 碳化硅的力学性能

Properties	Silicon carbide
M.P. (⁰ c)	2200-2700
Limit of application (⁰ c)	1400-1700
Linear coeff. of expansion (10 ⁻⁶ k)	4.1-7.7
Density g/cm ³	4.9
Hardness (Moh's scale)	9
Fracture toughness(MPa·m ^{1/2})	4.6
Crystal structure	Hexagonal

3 结果和讨论

3.1 微观结构分析

复合材料的光学显微图如图5a-c所示。显微图清楚地显示所有研究的复合材料中没有树突状形态。在铸造过程中，枝晶结构可以被改变，这受到枝晶破碎、颗粒限制枝晶生长、颗粒与熔体之间的导热系数不匹配等因素的影响。树突状破碎可归因于搅拌作用对初始树突状臂的剪切。研究还发现，粒子的存在对溶质场的扰动可以改变枝晶尖端半径和枝晶尖端温度。随着粒子密度的增加，这些效应导致了树突到细胞的转变。此外，在粒子的存在下，枝晶的长度也会减少。陶瓷颗粒也是树突生长的屏障，如果冷却速率高，这种现象就更明显。在这项工作中报道，粒子可以被假定为树突生长的障碍。

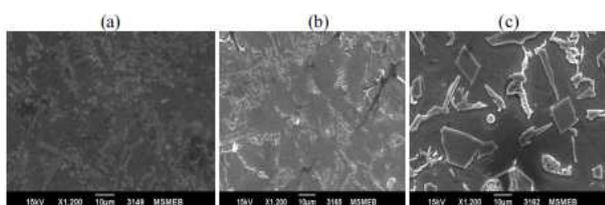


图5 复合材料A、b复合材料B、c复合材料C的扫描电镜显微图

用12%的碳化硅和锆石砂颗粒以3:1的比例增强的复合材料B的扫描电镜显微图如图5a所示。显微图显示了合金基体中颗粒的精细微观结构和均匀分布。精细的微观结构和树枝状形态的缺失可以归因于这里采用的两步搅拌铸造过程，其中延长的混合和搅拌时间被分叉。共晶硅的菌落排列在粒子的附近。此外，在粒子附近，与基质硅相比，共晶硅具有球状形貌或钝化形貌。每一个粒子都有一个共晶硅群，这表明了粒子在共晶硅成核中的作用。碳化硅和锆石砂颗粒为成核提供了有效的场所同时也限制了枝晶的生长，并对基质进行了更精细的结构修饰，从而导致强度的提高。

本工作中含12%碳化硅和锆石砂颗粒比例为1:1的复合材料B的扫描电镜图显示了良好的键合。它描述了微观结构和共晶硅的细化。共晶硅和分散的粒子密集地排列，几乎覆盖了整个基体。共晶硅细化到更精细的尺度，并在作为菌落的粒子附近成核。在一些地方观察到粒子的聚集，一些聚集的粒子在样品抛光过程中脱落。但细颗粒在制备的复合材料中虽然不明显，但有聚类的趋势。

含12%碳化硅和锆石砂颗粒的复合材料C的比例为1:3的扫描电镜显微图如图5c所示。共晶硅的分布较粗，颗粒分

布均匀。粒子周围的共晶硅菌落在显微图中更为明显。共晶硅的分布更加精细，粒子周围的形态由腔泡状转变为球状。在基体中，与长针形或针状相比，共晶硅具有钝化形态。然而，细颗粒和硅从不同的成核点推动界面形成了网络结构。此外，在一些地方还观察到细颗粒的聚集。

结构分析表明，微观结构精细，而共晶硅具有钝化和球状形态特征。这种细化可能导致复合材料的更好的摩擦学和力学性能。共晶硅在粒子附近的定植增强了粒子的耐磨能力。增强颗粒均匀分布在合金基体中。微观结构分析也揭示了颗粒与合金基体之间良好的键合关系。此外，孔隙率在最

低水平，在光学检查中没有观察到，尽管在复合材料的相同位置可见聚类。微观结构分析表明，碳化硅的加入对其微观结构和共晶硅的细化有显著的影响。微观结构和共晶硅的细化度随着硅增强颗粒分率的增加而增加。在所有的复合材料中观察到的最显著的特征是没有树突状生长，这是由于复合材料的两步搅拌铸造过程。

3.2 复合材料的显微硬度和密度

对复合材料不同相的显微硬度测量，以了解增强颗粒对合金基体的影响。这一点如表4所示。对嵌入的增强颗粒以及颗粒和基体附近进行了显微硬度测量。

表4 锆英石砂的化学组成

composition	ZrO ₂	SiO ₂	HfO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO
Content (wt%)	67.22	30.85	1.39	0.11	0.029	0.014

表7 显微硬度(Hv)和密度的变化情况

Composite	Particle (Hv)	Interface (Hv)	Matrix (Hv)	Density g/cm ³
A	228.03	121.38	73.06	2.716
B	165.10	109.81	61.43	2.735
C	180.43	111.91	63.98	2.715

3.3. 压缩试验

室温拉伸试验采用通用试验机(modelMECH/UTE-40T)进行。采用车床制备了用于压缩试验的ADC-12合金复合样品。通过试验得到平均响应值。

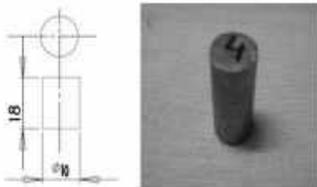


图6 试样尺寸

复合材料A和C的抗压强度基本相似，但C的抗压强度较

高 A. 具有等量双强化的复合材料，即复合材料B比复合材料C具有更好的强度含50%碳化硅和50%锆石砂的复合材料具有更好的抗压强度双粒子在基体中具有不同的作用，碳化硅颗粒细化了共晶硅，而锆石砂颗粒对基体具有良好的粘附特性。复合材料B是50%锆石砂和50%碳化硅颗粒的组合，与复合材料C&A和25%锆石砂和75%碳化硅颗粒相比，抗压强度更好。

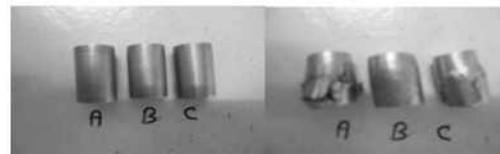


图7 测试前的复合材料 图8 试验后的复合材料

表8 复合材料A的抗压强度

Ultimate compressive load (KN)	19.040
Ultimate compressive strength (N/mm ²)	242.424
Deflection at ultimate load (mm)	1.600
Maximum deflection (mm)	1.700

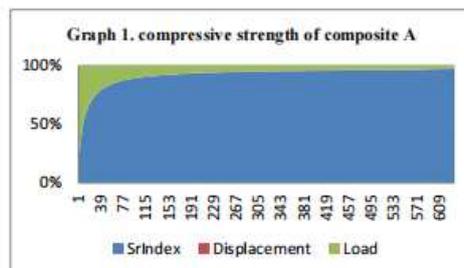


表9 复合材料B的抗压强度

Ultimate compressive load (KN)	34.320
Ultimate compressive strength (N/mm ²)	437.904
Deflection at ultimate load (mm)	3.400
Maximum deflection (mm)	3.800

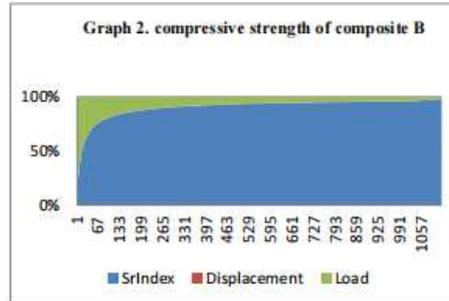
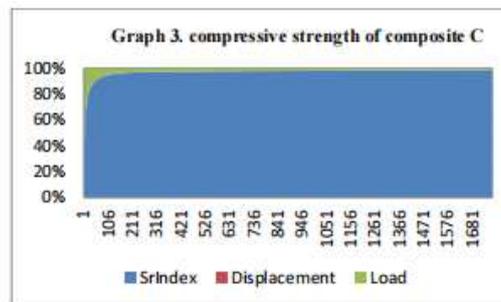


表10 复合材料C的抗压强度

Ultimate compressive load (KN)	16.112
Ultimate compressive strength (N/mm ²)	238.850
Deflection at ultimate load (mm)	2.500
Maximum deflection (mm)	2.600



通过对复合材料的显微硬度和抗压强度行为的分析，发现以一定比例混合的双粒子增强只对提高显微硬度和抗压强度有效。与锆石砂颗粒相比，碳化硅颗粒能更好地增强压缩性能。复合材料B由于颗粒与基体界面的高显微硬度，具有较好的抗压强度。

4 结论

本研究研究了碳化硅和ZrSiO₄陶瓷晶粒粒度和混合比例对复合材料显微硬度和抗压强度特性的影响。从目前对双粒子增强复合材料进行的研究结果中可以得出以下结论。微尺寸颗粒增强复合材料的显微结构和显微硬度，对显微硬度和抗压强度行为有积极的影响。我们发现，随着钢筋尺寸的增加，微观结构的异质性增加。据观察，在双粒子增强复合材料中，大颗粒在防止团聚方面是有用的。

1. 双粒子在复合材料中具有不同的功能。碳化硅细化了共晶硅，其中硅酸锆提供了良好的内部粘合强度和显微硬度。

2. 从搅拌铸复合材料的微观结构中可以看出，在复合材料中没有观察到形貌。

3. 与其他组合相比，50%碳化硅和50%锆石砂颗粒增强复合材料(复合材料B)具有更好的抗压强度。

4. 与其他组合相比，高达12wt%的钢筋能产生更好的机械性能。

REFERENCES

[1] S. Soresh, A. Mortensen, and A. Neddleman, "Fundamentals of metalmatrix composites", Butterworth-Heinemam, 16, 297-298 (2000).
[2] A. T. Alpas and J. Zhang, "Wear rate transitions in cast aluminumsilicon alloys reinforced with SiC particles", Scripta Metall Mater., 26, 505-509 (1992).
[3] H. Akbulut, M. Durman, and F. Yilmaz, "Dry wear and friction properties of Al₂O₃ short fiber reinforced Al-Si (LM 13) alloy metal matrix composites", Wear, 215, 170-6 (1998).

- [4] S. Skolianos and T. Z. Kattamis, "Tribological properties of SiC reinforced Al-4.5% Cu-1.5% Mg alloy composites", *Mater. Sci. Eng. A*, 163, 107-12 (1993).
- [5] Y. Sahin, M. Kok, and H. Celik, "Tool wear and surface roughness of Al₂O₃ particlereinforced aluminum alloy composites", *J. Mater.Process Technol.*, 128, 280-91 (2002).
- [6] M. K. Surappa, S. C. Prasad, and P. K. Rohatgi, "Wear and abrasion of cast Al-Alumina particle composites", *Wear*, 77, 295-312 (1982).
- [7] A. Sato and R. Mehrabian, "Aluminum matrix composite: fabrication and properties", *Metall. Trans. B*, 7B, 443-51 (1976).
- [8] J. K. M. Kwok and S. C. Lim, "High-speed tribological properties of some Al/SiC composites: Wear mechanisms", *Comp. Sci. Technol.*, 59, 65-75 (1999).
- [9] J. K. M. Kwok and S. C. Lim, "High-speed tribological properties of some Al/SiC composites: Frictional and wear-rate characteristics", *Comp. Sci. Technol.*, 59, 55-63 (1999).
- [10] A. T. Alpas and J. Zhang, "Wear rate transitions in cast aluminumsilicon alloys reinforced with SiC particles", *Scripta Metal Mater.*, 26, 505-509 (1992).
- [11] H. Akbulut, M. Durman, and F. Yilmaz, "Dry wear and friction properties of Al₂O₃ short fiber reinforced Al-Si (LM 13) alloy metal matrix composites", *Wear*, 215, 170-6 (1998).
- [12] S. Skolianos and T. Z. Kattamis, "Tribological properties of SiC reinforced Al-4.5% Cu-1.5% Mg alloy composites", *Mater. Sci. Eng. A*, 163, 107-12 (1993).
- [13] Y. Sahin, M. Kok and H. Celik, "Tool wear and surface roughness of Al₂O₃ particlereinforced aluminum alloy composites", *J. Mater.Process Technol.*, 128, 280-91 (2002).
- [14] M. K. Surappa, S. C. Prasad and P. K. Rohatgi, "Wear and abrasion of cast Al-Alumina particle composites", *Wear*, 77, 295-312 (1982).
- [15] A. Sato and R. Mehrabian, "Aluminum matrix composite: fabrication and properties", *Metal Trans. B*, 7B, 443-51 (1976).
- [16] A. Banerji, S. V. Prasad, M. K. Surappa, and P. K. Rohatgi, "Abrasive wear of cast aluminum alloy-zircon particle composites", *Wear*, 82, 141- 151 (1982).
- [17] The American Society for Testing and Materials, *Handbook of Standard Test Method of Tension Testing Wrought and Cast Aluminum and Magnesium Alloy products - B557*, The American Society for Testing and Materials, 1994. *International Journal of Mining, Metallurgy & Mechanical Engineering (IJMMME)* Volume 1, Issue 1 (2013) ISSN 2320 - 4060 (Online)
- [18] Manoj Singla, D. Deepak Dwivedi, Lakhvir Singh, Vikas Chawla-"Development of Aluminium Based Silicon Carbide Particulate Metal Matrix Composite". *Journal of Minerals & Materials Characterization & Engineering*, page 455-467, 2009.
- [19] Wang, Y.-Q., Song, J.-I., "Dry Sliding Wear Behavior of Al₂O₃ Fibre and SiC Particle Reinforced Aluminum based MMCs Fabricated by Squeeze Casting Method", *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 21 (7) (2011) 1441-1448.