

喷射沉积连续挤压一步成形 7075 铝合金微观组织研究

陈业高¹ 施允洋¹ 张安民¹ 尹建成² 钟毅²

(1.宿迁学院机电工程学院; 2.昆明理工大学材料科学与工程学院)

摘 要 采用喷射沉积连续挤压方法制备 7075 铝合金以消除元素偏析、组织粗大、第二相分布不均和缩孔、缩松等缺陷,并将其微观组织和元素分布情况与铸态合金进行比较。研究表明,喷射沉积连续挤压 7075 铝合金杂质元素含量低、组织细小、合金元素分布均匀。金相组织观察表明喷射沉积使沉积坯平均晶粒尺寸比铸态合金显著减小,并呈等轴晶形态。经过连续挤压后,基体致密度提高,第二相细化,沿挤压方向均匀分布。TEM 组织观察表明,沉积坯在连续挤压过程中发生动态再结晶,平均再结晶晶粒尺寸为 3~5 μm。回归再时效处理后屈服强度和伸长率达到 493 MPa 和 12.6%,分别超过 AMS 4050H 航空标准的 9.6%和 26%。EDS 分析结果表明,喷射沉积连续挤压制备的 7075 合金主元素偏析得到很好抑制,杂质元素 O、C 的分布更加均匀,有利于合金综合性能提升。

关键词 高合金化;喷射沉积连续挤压;7075 铝合金;微观组织

中图分类号 TG146.21;TG115.21

文献标志码 A

DOI:10.15980/j.tzzz.2021.12.014

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Microstructure of One Step Forming 7075 Aluminum Alloy by Spray Deposition and Continuous Extrusion

Chen Yegao¹, Shi Yunyang¹, Zhang Anmin¹, Yin Jiancheng², Zhong Yi²

(1.School of Mechanical and Electrical Engineering, Suqian University;

2.Faculty of Materials Science and Engineering, Kunming University of Science and Technology)

Abstract: 7075 aluminum alloy was prepared by spray deposition and continuous extrusion to eliminate the defects such as element segregation, coarse structure and uneven distribution of second phase and shrinkage porosities and holes, and the microstructure and element distribution were compared with those of the as-cast alloy. The results indicate that the spray deposited and continuous extruded 7075 aluminum alloy has low content of impurity elements, fine microstructure and uniform distribution of alloying elements. The OM microstructure reveals that the average grain size of the deposited blank is significantly reduced compared with that of the casting alloy, presenting equiaxed crystal. After continuous extrusion, the matrix density is increased, and the second phase is refined and distributed uniformly along the extrusion direction. The TEM microstructure observes that the billets undergo dynamic recrystallization during continuous extrusion, and the average recrystallized grain size is 3~5 μm. The yield strength and elongation of alloy after retrogression and re-aging treatment reach 493 MPa and 12.6%, which exceed 9.6% and 26% of the aviation standard AMS 4050H limit, respectively. The EDS results demonstrate that the segregation of the main alloy elements prepared is well inhibited, and the impurity elements of oxygen and carbon are more evenly distributed, which is conducive to improving comprehensive properties of the alloy.

Key Words: High Alloying, Spray Deposition and Continuous Extrusion, 7075 Aluminum Alloy, Microstructure

有色金属因其具有比强度高、耐蚀、易变形加工和优异的物理化学性能等特点,广泛应用于航空、航天、汽车、机械制造、电力、通讯、建筑、家电等行业,但大多数

有色金属材料基体强度较弱,难以直接应用于工程结构材料,往往加入一种或多种合金元素来强化基体。并且,为了追求更高的综合性能,加入合金元素的含量有

收稿日期:2021-08-02;修改稿收到日期:2021-08-17
基金项目:国家自然科学基金资助项目(50874055, 51864027);宿迁市科技计划资助项目(K202003, Z2019111);宿迁学院科技计划资助项目(2016KY07)
第一作者简介:陈业高,男,1988 年出生,讲师,江苏宿迁(223800),E-mail:chenyegao0611@163.com
通信作者:钟毅,男,1963 年出生,教授,昆明(650093),E-mail:zy5125990@163.com
引用格式:陈业高,施允洋,张安民,等. 喷射沉积连续挤压一步成形 7075 铝合金微观组织研究[J]. 特种铸造及有色合金,2021,41(12):1 518-1 524.
CHEN Y G, SHI Y Y, HU C J, et al. Microstructure of one step forming 7075 aluminum alloy by spray deposition and continuous extrusion [J]. Special Casting & Nonferrous Alloys, 2021, 41(12):1 518-1 524.

逐渐升高的趋势。滕海涛等^[1]研究了高 Zn 含量对 7449、7056、7136 和 7095 等 4 种 Al-Zn-Mg-Cu 系铝合金的凝固态显微组织的影响,通过比较不同合金中一次凝固析出相的种类、形貌结构及合金元素在各相中的显微分布,揭示了不同凝固析出相的形成过程与机理。LI R 等^[2]制备了 Al-14Zn-2Li-2Mg-2Cu 合金,发现铸态时析出 Zn 和 Al-Zn 等相,轧制后有 $\text{Al}_3(\text{Li}, \text{Mg})$ 、 MgZn_2 和 Zn 纳米相析出,为高锌铝合金的沉淀转变研究和轻量化合金的发展提供参考。

但是高合金化材料在制备过程中存在元素偏析缺陷,导致合金的相分布不均和综合性能低下等。快速凝固+大塑性变形技术已成为抑制元素偏析、均匀化显微组织的重要手段。甘吉松等^[3]采用单辊熔体旋转法制备了 Al-10.7Zn-2.4Mg-0.9Cu 合金带材,然后利用热挤压将带材坯料制成棒材,对其微观组织研究表明,带材基体为等轴状的过饱和 α 固溶体,晶粒尺寸为 $3\sim 5\ \mu\text{m}$,合金经挤压后 η 相均匀分布。WEI L 等^[4]采用喷射成形法制备了 Al-8.19Zn-2.22Mg-2.25Cu-0.12Zr-0.04Fe 合金,与铸锭的枝晶形貌相比,沉积后的铸坯组织为等轴晶,直径约为 $65\ \mu\text{m}$,第二相分布均匀,晶界析出相的偏析程度明显降低。热挤压后铸造缺陷消除,组织细化,二次相沿挤压方向均匀排列,为二次相的弥散析出提供了有利条件。

喷射沉积+热挤压法是目前较为成熟的高性能合金材料制备方法之一。喷射沉积以较快的冷却速度细化晶粒,抑制合金元素偏析;热挤压以较高的静压力消除沉积坯的空隙,提高致密度。李海超^[5]采用喷射沉积+热挤压法制备了多组高合金化的 Al-Zn-Mg-Cu 合金,沉积坯组织呈现细小、均匀的等轴晶特征,平均晶粒尺寸约为 $40\ \mu\text{m}$ 。热等静压后沉积坯致密度达到 99.9% 以上,组织仍为等轴特征。LI L 等^[6]采用喷射沉积+热挤压法制备了 Al-8.15Zn-1.97Mg-2.46Cu-0.15Fe-0.13Zr-0.04Cr 合金,沉积态合金具有细小的等轴晶组织,晶粒尺寸约为 $63\ \mu\text{m}$,偏析和气孔率较低。经热挤压和固溶处理后,大部分粗大相被溶解,为后续的时效强化提供了有利条件。但喷射成形制备的合金沉积坯往往含有 1%~10% 的孔隙,需要经过后续的热加工来致密化,如热等静压、热轧、热挤压和楔形压制等^[7]。二次致密化预热温度一般为 $0.6\sim 0.7\ T_m$ (T_m 为熔点),这不仅增加了工序,浪费能源,还使得加工不能连续化,生产效率低。

针对喷射成形二次加热致密化处理带来的能源浪费、工序复杂等问题,本课题采用喷射沉积连续挤压技术制备 7075 铝合金。其原理见图 1。熔融的金属液经漏斗流出,在雾化气体的作用下被雾化,熔滴沿着气流

飞行;在流型控制器的作用下,熔滴被约束沉积到挤压轮轮槽里,随后挤压轮转动带动沉积坯进入挤压腔,经模具挤出成形。该技术将雾化后的熔滴沉积到挤压轮轮槽里形成连续挤压的坯料,实现雾化和挤压同步进行。连续挤压过程中,沉积坯处于高温状态,无需进行二次加热即可实现热挤压。

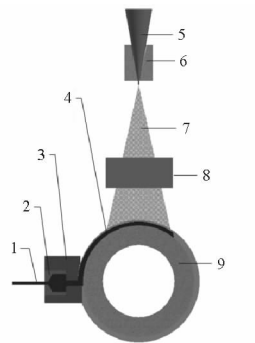


图 1 喷射沉积连续挤压原理图

Fig.1 Schematic diagram of spray deposition and continuous extrusion

1.产品 2.模具 3.型腔 4.沉积预件 5.漏斗
6.雾化器 7.雾化喷雾 8.控制器 9.挤压轮

本课题将对喷射沉积连续挤压技术制备的 7075 铝合金进行微观组织和元素偏析情况进行研究,通过与该合金的传统铸态组织相比,突出喷射沉积连续挤压技术的优势,为高合金化铝合金的制备提供新思路。

1 试验方法

试验用 7075 铝合金成分主要为 5.27% (质量分数,下同) 的 Zn、2.36% 的 Mg 和 1.66% 的 Cu,余量为 Al。喷射沉积连续挤压试验步骤如下:首先,将合金在箱式电阻炉中加热到 $750\ ^\circ\text{C}$ 保温 1 h;然后,将合金熔液转移到与熔体温度相同的雾化装置的漏斗中;其次,同时启动雾化装置和 LJ-350 型连续挤压机,则金属液被雾化成金属熔滴,在控制器的作用下沉积到挤压轮槽内;最后,沉积坯随挤压轮旋转进入挤压腔,通过定径带挤出成形。雾化装置位于挤压轮上方,喷嘴出口到轮面的最近距离为 250 mm。漏斗内径为 3 mm,雾化气体为 N_2 ,雾化气压为 0.19 MPa。挤压轮直径为 340 mm,转速为 4 r/min。模具的预热温度为 $380\ ^\circ\text{C}$ 。铸态试样制取是将 7075 合金在箱式电阻炉中加热到 $750\ ^\circ\text{C}$ 保温 1 h,然后直接浇注到金属型中。

利用 XJP-6A 型光学显微镜(OM)、XL30-ESEM-TMP 型扫描电镜(SEM)和 Tecnai G2 TF30 型透射电镜(TEM)表征和分析合金的微观组织与元素偏析情况。铸坯、沉积坯和挤压态合金试样经切割、粗磨、细磨、机械抛光和表面清洗依次处理。砂纸细磨至 2 500 目后进行机械抛光,抛光膏采用 $0.25\ \mu\text{m}$ 的金刚石研磨

膏。腐蚀剂采用 Keller 试剂,配比为 1% 的 HF+1.5% 的 HCl+2.5% 的 HNO₃+95% 的 H₂O(体积分数)。面扫描分析在 SEM 自带的能谱分析仪上进行,加速电压为 30 kV,Chi-squared 值为 7.605,出射角为 35.3°。

2 试验结果与分析

7075 铝合金铸态、沉积坯和喷射沉积连续挤压态的金相组织见图 2。铸态晶粒粗大,呈枝晶形态,平均大小为 50~100 μm。晶界较宽,且不连续分布,割裂基体的连续性。断续晶界的端部将成为裂纹扩展的源头,降低合金的断裂韧度。晶界附近偏聚着粗大的第二相和孔隙,固溶处理也难以使其完全回溶。残留的粗大相和孔隙使合金变形时受力不均,引起应力集中,导致裂纹失稳加速,降低合金的综合力学性能。

喷射沉积坯晶粒细小,呈等轴形态,平均大小为 5~10 μm。与铸态相比,晶粒被显著细化。雾化过程中,金属熔滴快速冷却,过冷度得到大幅提高。同时,较大

的比表面积又有利于潜热的释放,将进一步促进形核。单位体积内的临界晶核数目增加,使晶粒平均尺寸减小。快速冷却过程中不存在择优的热传输通道,使晶粒也不存在择优的生长方向,即晶粒以等轴形态长大,形成等轴晶组织。另外,在沉积过程中,金属液滴以高速不断冲击沉积层,使发育的枝晶碎裂,成为沉积层中液相金属非均匀形核的核心,形成细小的等轴晶。沉积坯腐蚀后的晶界较宽,为 1~2 μm,与铸态组织相当。由于沉积基底的特殊性,沉积坯中含有大量的搭接型孔隙,使沉积坯的致密度只有 80% 左右^[8]。搭接型孔隙将在连续挤压过程中被焊合,较大的气孔将被保留下来,成为影响合金性能的主要缺陷之一。连续挤压后,沉积坯致密化,粗大的晶界和孔隙消除,在 OM 条件下很难观察到晶界;第二相进一步细化,均匀分布在基体内。细小的第二相在固溶处理过程中将全部回溶,时效时将析出弥散的第二相,强化合金的基体,提高合金的综合力学性能和抗腐蚀性能。

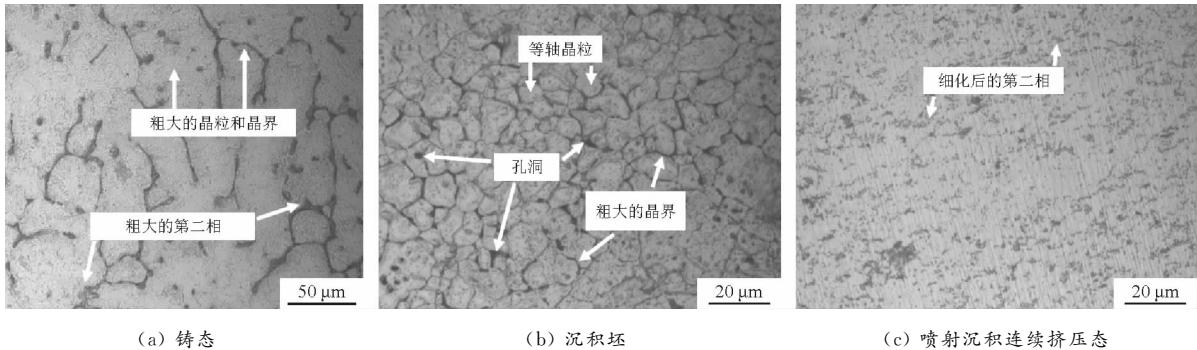


图 2 7075 铝合金铸态、沉积坯和喷射沉积连续挤压态横截面的金相组织

晶晶粒平均尺寸为 3~5 μm。大量细小的第二相在晶内和晶界生成,沿挤压方向均匀分布。雾化沉积阶段,快速凝固使合金元素来不及聚集析出,从而形成过饱和固溶体。连续挤压过程中,变形区内存在着强烈的内剪切带和相对较高的温度,为第二相的析出提供了驱动

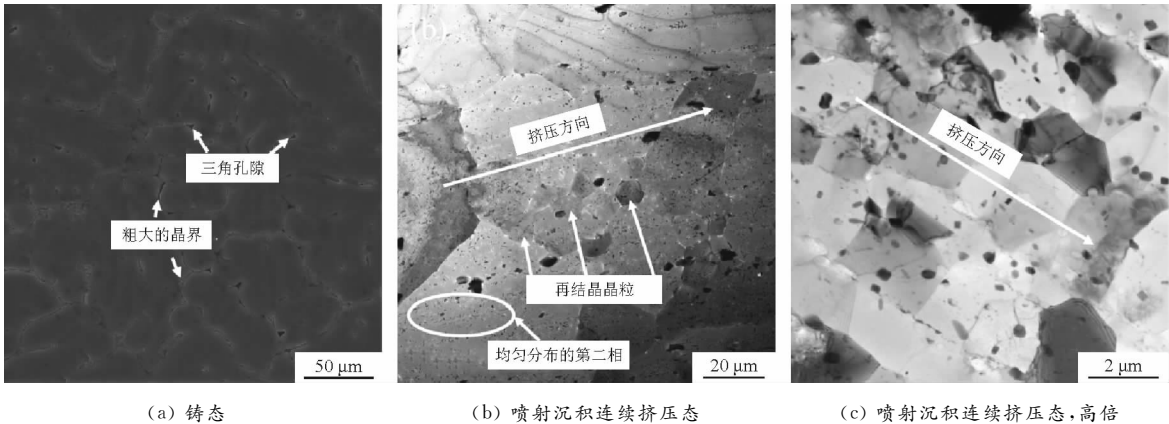


图 3 7075 铝合金铸态和喷射沉积连续挤压态纵截面微观组织

Fig.3 Longitudinal section of microstructure of as-cast 7075 aluminum alloy and spray deposited alloy

力。合金元素通过扩散的方式聚集、形核、长大,最后从基体中析出,形成分布均匀、尺寸细小的第二相。在温度上升阶段,位错的积累导致变形储能急剧上升,加速动态回复,甚至动态再结晶^[9]。

7075 铝合金铸态组织 EDS 面扫描见图 4。扫描区域包含粗大的晶界,宽度为 $1\sim3\ \mu\text{m}$ 。从元素的衍射斑

点看,Al 和 Cu 两种元素沿晶界出现明显的偏析现象,偏析区域的尺寸与晶界相当,杂质元素 O 也有沿着晶界偏析的趋势,Zn、Mg 和 Cr 等元素分布较均匀。晶界偏析的元素往往超过该区域的固溶度,形成粗大的化合物,成为腐蚀和裂纹的源头。因此,细化晶界和抑制元素偏析是提高材料性能的主要途径。

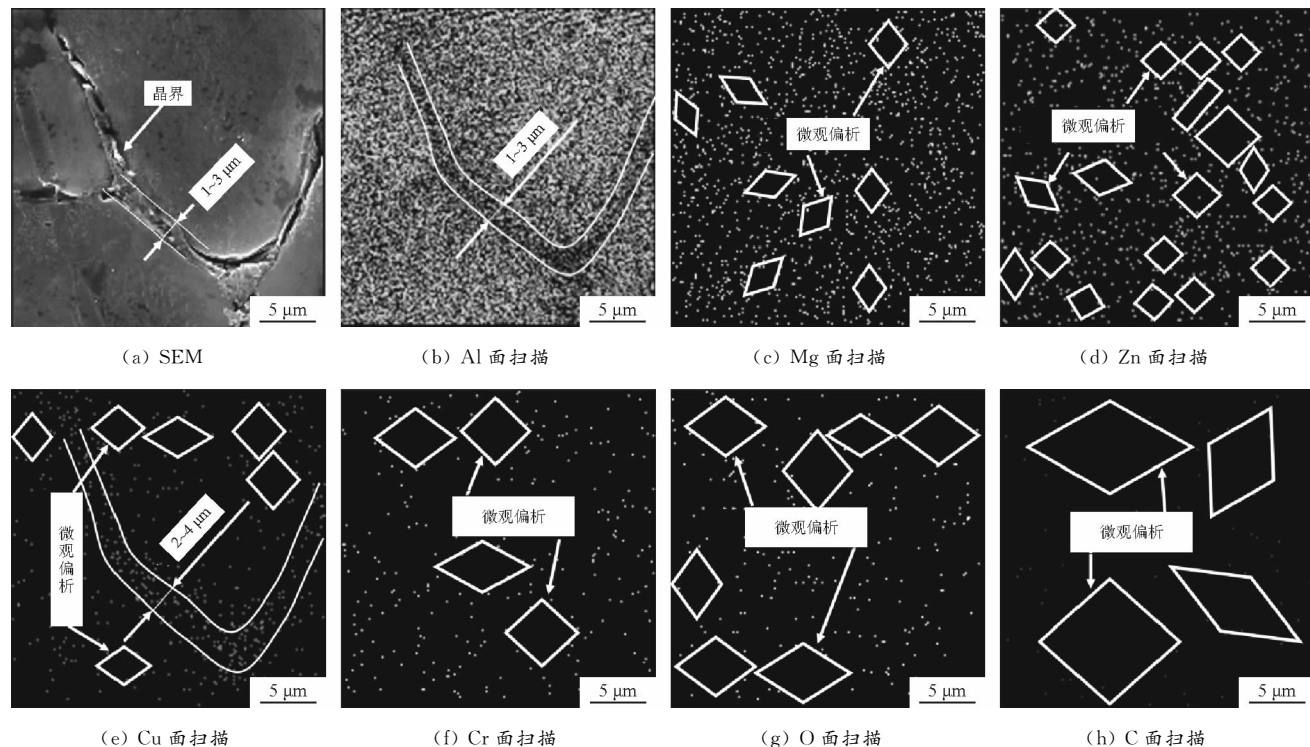


图 4 7075 铝合金铸态面扫能谱图

Fig.4 Surface scanning spectrum of the as-cast 7075 aluminum alloy

铸态合金晶界附近富集的 Cu 将对合金的性能非常不利。均匀分布的 Cu 能起到补充强化的作用,还可以降低合金晶内和晶界处的电位差,使合金获得高强高韧的同时兼具优异的抗应力腐蚀性能。但过高的 Cu 含量会导致 S 相与 θ 相生成,回溶易形成残留的 S 相,降低合金的韧性^[10]。

图 5 为 7075 铝合金喷射沉积坯 EDS 面分布图。可以看出,元素斑点分布均匀,无明显的偏聚现象,尤其对于易偏析的 Cu 来说,也未见明显的富集区,说明喷射沉积使合金元素分布均匀。与传统铸造工艺相比,快速冷却和凝固过程限制了合金元素的扩散,使晶界偏析减弱。均匀分布的合金元素,一方面可以起到均匀固溶强化的效果,使基体不同区域的微观性能整体得到提升;另一方面,在时效时均匀地析出细小的第二相,避免第二相的富集和粗化,为提高合金的抗腐蚀性能和抗应力腐蚀性能奠定良好的微观组织基础。

但从微观角度来看,合金元素也存在不均匀分布现象,即微观偏析。雾化过程中,由于液相凝固速度还不准限值的 9.6% 和 26%。喷射沉积连续挤压工艺制备

够快,合金元素仍具有短程扩散的驱动力和时间,导致沉积坯内部出现不同程度的微观偏析。更高的冷却速度可以改善微观偏析的情况,但需要更加苛刻的冷却条件。

图 6 为 7075 铝合金喷射沉积连续挤压态的横截面 EDS 面扫描图。从图 6 可见,Al、Zn、Mg、Cu 等主合金元素并未出现明显的偏析。与铸态相比,沉积坯组织偏析得到明显改善。此凝固过程可看成是液相部分混合时的固溶体不平衡凝固过程,溶质有效分配系数 k_e 介于 k_0 和 1 之间。 k_e 的大小取决于凝固速度 R 。 R 越小(铸造工艺),液相中溶质混合越均匀,凝固后溶质分布越不均匀,偏析越严重(见图 4)。相反, R 越大(喷射沉积工艺),液相中溶质混合越不均匀,凝固后溶质分布越均匀,偏析越轻(见图 6)。

与航空标准 AMS 4050H 相比,喷射沉积连续挤压的 7075 合金经回归再时效(RRA)处理后获得的力学性能具有更高的屈服强度和伸长率。经 RRA 处理后屈服强度和伸长率达到 493 MPa 和 12.6%,分别超过标的 7075 铝合金成分分布均匀,偏析程度降低,RRA 处

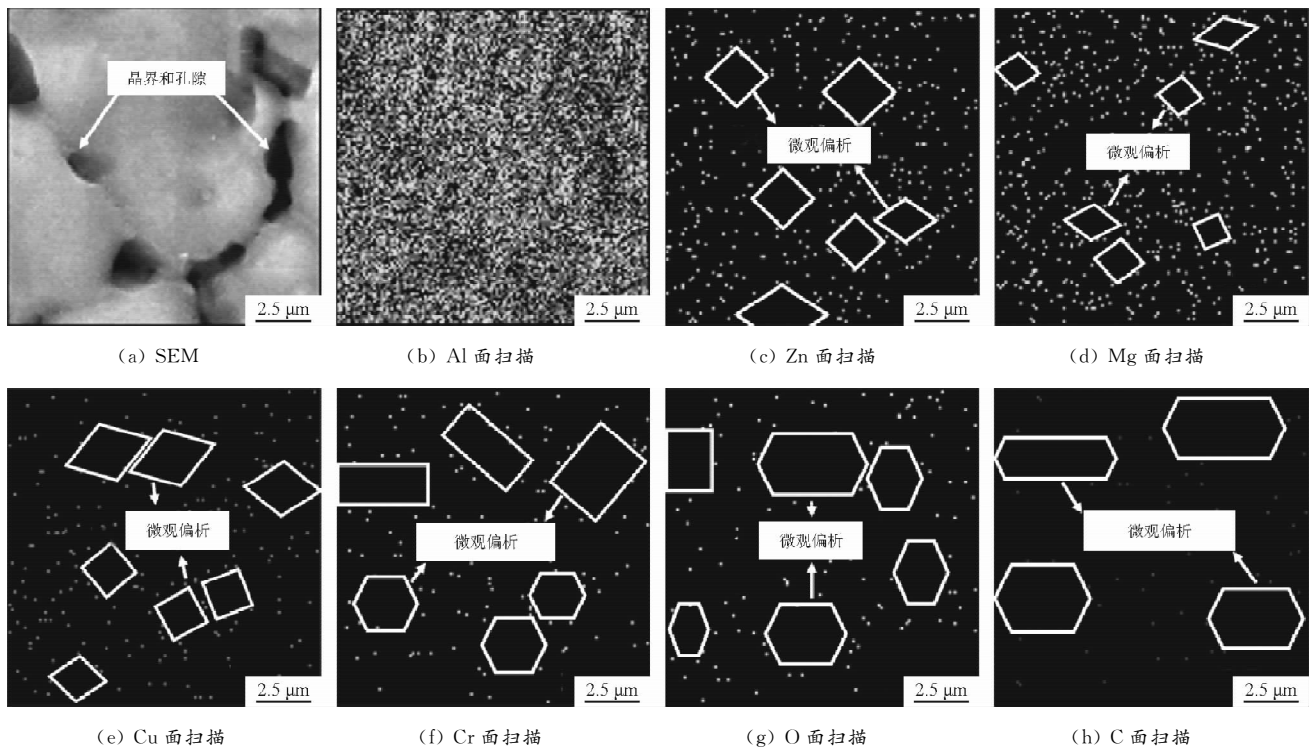


图 5 7075 铝合金沉积坯面扫描能谱图

Fig.5 Surface scanning spectrum of deposited billet of 7075 aluminum alloy

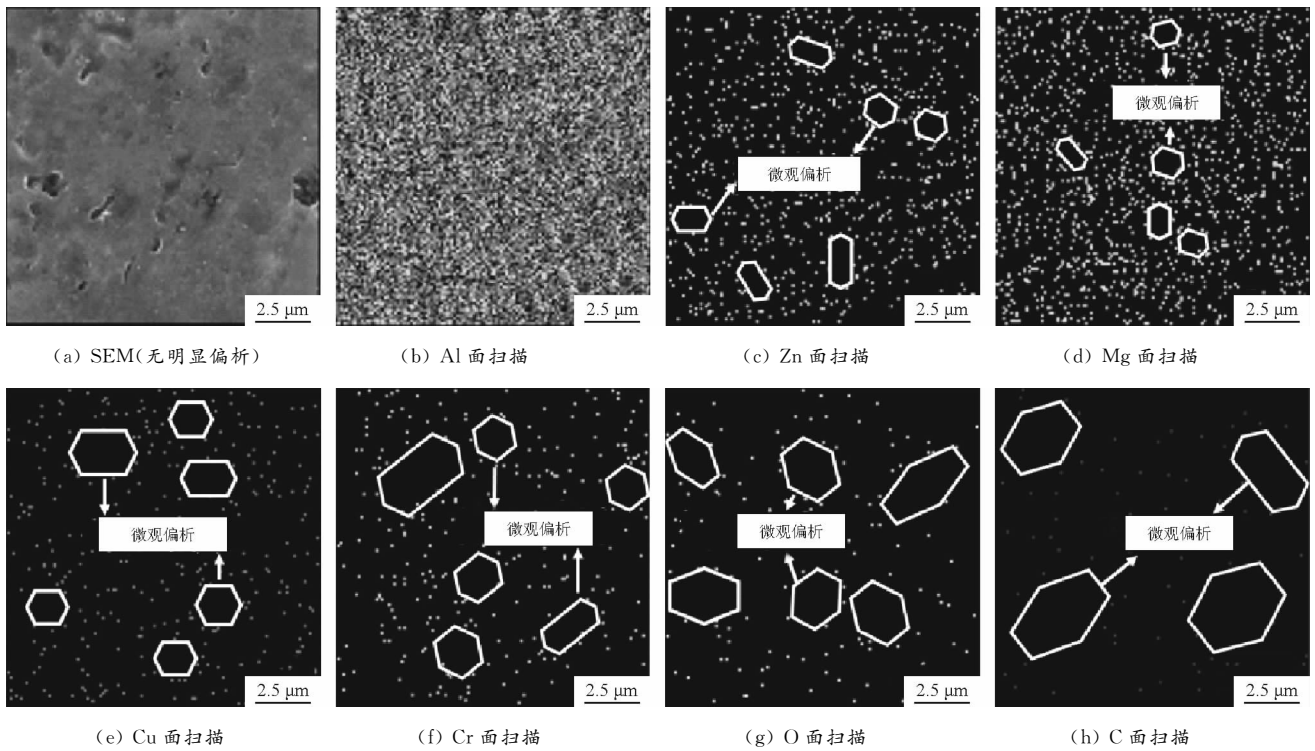


图 6 7075 铝合金挤压态面扫描能谱图

Fig.6 Surface scanning spectrum of as-extruded 7075 aluminum alloy

理后沉淀相尺寸减小,为提高合金力学性能奠定了基础^[11]。

7075 铝合金铸态和喷射沉积连续挤压态 EDS 面扫描衍射峰见图 7,各元素的衍射强度、质量分数和摩尔分数见表 1。合金经过连续转角 90°挤压后,孔隙和

晶界被细化或消除,致密度得到提高。与铸态相比,铝基体的质量分数和摩尔分数分别提高了 4.32% 和 7.95%。

Cu 在铸态合金中的质量分数为 1.52%,高于喷射沉积连续挤压态 42.06%。从图 4 可以看出,铸态合金

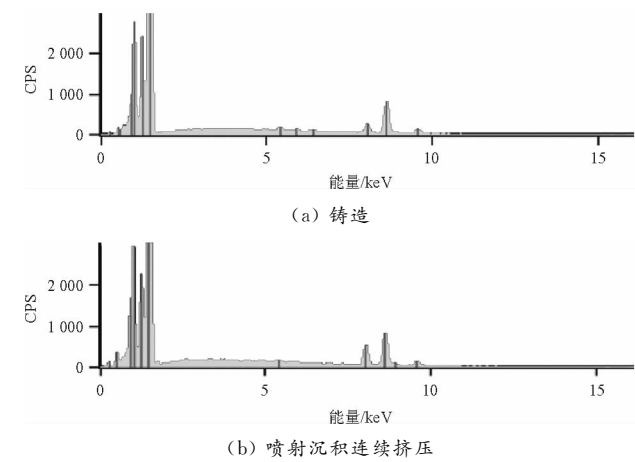


图 7 7075 铝合金面扫描各元素衍射能谱
Fig.7 Surface scanning diffraction spectrum of each element of 7075 aluminum alloy

表 1 7075 铝合金面扫描各元素的含量
Tab.1 Content of each element in face scanning of 7075 aluminum alloy

元素	铸态			挤压态		
	C_{ps}/nA	$w_B/\%$	$x_B/\%$	C_{ps}/nA	$w_B/\%$	$x_B/\%$
Al	0.47	85.32	84.00	0.46	89.01	90.68
Zn	0.08	5.04	2.05	0.06	5.32	2.24
Mg	0.08	1.82	1.99	0.06	2.12	2.40
Cu	0.07	1.52	0.64	0.04	1.07	0.46
Cr	0.03	0.25	0.13	0.02	0.26	0.14
O	0.02	3.50	5.82	0.01	0.97	1.67
C	0.01	2.40	5.30	0.01	1.00	2.29
其他	—	0.15	0.07	—	0.25	0.12

面扫描区域包含粗大的晶界,Cu 易偏析于此,使该区域 Cu 含量偏高。而喷射沉积连续挤压态合金面扫区域未见粗大晶界,Cu 没有形成偏析。Cu 作为影响时效过程和强化基体的重要元素,其在基体内分布的均匀程度将对不同区域析出相的析出顺序、种类、形态和数量等产生重要影响。进而,相分布的不均匀性又将对合金的抗腐蚀性能有着极大的影响,主要表现在点腐蚀、晶间腐蚀和应力腐蚀等类型上^[12]。

当富集区的 Cu 含量超过该区域的溶解度时,就会溶解到 δ 相或 η 相等析出相中,提高析出相与 α 固溶体之间的电位差。在腐蚀环境中,含 Cu 的析出相充当阴极不受腐蚀,而充当阳极的基体相被腐蚀。因此,只要有腐蚀介质,在整个合金中将形成连续的点腐蚀。并且,Cu 分布越不均匀,这种点腐蚀就越深。晶界附近偏析的 Cu 在时效过程中将溶解到晶界析出相中,提高了析出相的电位,使晶界两侧的无析出带充当阳极,在腐蚀介质中首先发生腐蚀,形成连续的晶间腐蚀,大大降低合金的力学性能和抗腐蚀能力。另外,Cu 对应力腐蚀抗力有着重要的影响。Cu 溶解在 α 固溶体、析出相和晶界无析出带中,提高了其电位,使阳极的溶解极性减弱,降低阳极相的腐蚀速率,进而提高应力腐蚀抗力。

因此,使 Cu 均匀分布在基体中,避免偏析引起的晶间腐蚀和不均匀点腐蚀,是提高 7XXX 系合金耐蚀性能的重要途径。

铸态和喷射沉积连续挤压态两种状态的 7075 铝合金在相同条件下熔炼,铸态 O、C 的质量分数分别为 3.5% 和 2.4%,高于喷射沉积连续挤压态 260.82% 和 140.00%。经分析,铸态合金杂质 O 和 C 含量较高主要源于杂质在基体中的偏析。图 4 和图 6 选取的面扫描区域最大的区别在于有无粗大的晶界,而铸态组织(见图 4)中包含粗大的晶界,在晶界附近出现 O 和 C 的偏析,使其含量较高。而喷射沉积连续挤压态合金无明显晶界(见图 6),偏析被抑制,所以面扫描 O、C 含量较低。凝固过程中,O 和 C 易形成 CO、O₂ 和 CO₂ 等气孔或针孔,成为裂纹萌生的源头。另外,O 还易与 Mg 和 Al 形成氧化物,偏聚于晶界附近,降低晶粒间的结合强度。

3 结 论

(1)利用喷射沉积连续挤压技术制备的 7075 铝合金,沉积坯晶粒呈等轴形态,平均晶粒尺寸为 5~10 μm 。合金元素分布均匀,易偏析于晶界的 Cu 也被抑制。

(2)连续挤压后 7075 铝合金沉积坯中粗大的晶界和孔隙被细化和消除,基体致密度得到提高。经过连续剪切变形后,合金元素分布更加均匀,第二相细小,沿挤压方向均匀分布。

(3)挤压过程中 7075 铝合金沉积坯受到剧烈的剪切作用,位错积累导致变形储能急剧上升,引起基体动态再结晶,再结晶晶粒平均大小为 3~5 μm 。其经回归再时效处理后屈服强度和伸长率分别超过标准 AMS 4050H 限值的 9.6% 和 26%。

参 考 文 献

[1] 滕海涛,熊柏青,张永安,等. 高 Zn 含量 Al-Zn-Mg-Cu 系铝合金的凝固态显微组织[J]. 中国有色金属学报, 2015, 25(4): 852-865.
[2] LI R, REN Z, WU Y, et al. Mechanical behaviors and precipitation transformation of the lightweight high-Zn-content Al-Zn-Li-Mg-Cu alloy[J]. Materials Science and Engineering, 2021, A802: 140 637.
[3] 甘吉松,张大童,梁光兴,等. 快速凝固+热挤压制备 Al-10.7Zn-2.4Mg-0.9Cu 合金的组织 and 性能[J]. 材料热处理学报, 2020, 41(1): 27-32.
[4] WEI L, HAN B, YE F, et al. Influencing mechanisms of heat treatments on microstructure and comprehensive properties of Al-Zn-Mg-Cu alloy formed by spray forming[J]. Journal of Materials Research and Technology, 2020, 9(3): 6 850-6 858.
[5] 李海超. 喷射沉积 Al-Zn-Mg-Cu 合金成分优化及热加工组织调控[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学, 2018.
[6] LI L, WEI L, XU Y, et al. Study on the optimizing mechanisms of superior comprehensive properties of a hot spray formed Al-Zn-Mg-Cu alloy[J]. Materials Science & Engineering, 2019, A742: 102-108.

退火温度对 Al₂O₃/Cu 弥散强化铜合金组织性能的影响

敬云兵^{1,2} 彭冬冬^{2,3} 甘春雷² 郭志强¹ 张冬平² 周楠²

(1.沈阳工业大学材料科学与工程学院; 2.广东省科学院新材料研究所; 3.南昌航空大学航空制造工程学院)

摘 要 采用扫描电镜、X 射线衍射仪和拉伸试验机等手段,研究了退火温度对 0.2Al₂O₃/Cu 弥散强化铜合金棒材微观组织、组织、力学性能与电导率的影响。结果表明,退火处理后试样中的纤维组织没有发生明显变化;随着退火温度升高,合金中的立方结构 {001} <100> 和黄铜结构 {011} <211> 组分含量增加,高斯结构 {011} <100> 组分含量逐渐减少,合金中的小角度晶界数量增加,大角度晶界数量小幅下降,且大角度晶界主要分布在取向差为 50°~60° 范围内;显微硬度 (HV) 从 150 降至 121,合金的抗拉强度由 551 MPa 降至 378 MPa,屈服强度由 539 MPa 降至 323 MPa,伸长率从 9.6% 增加至 15.9%,电导率从 52.316 MS/m 增加至 54.520 MS/m,提高了 0.464~2.204 MS/m。

关键词 0.2Al₂O₃/Cu 弥散强化铜合金;退火温度;组织;性能

中图分类号 TG146.1⁺1;TG113.25 **文献标志码** A

DOI:10.15980/j.tzzz.2021.12.015

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Effects of Annealing Temperature on Microstructure and Properties of Al₂O₃/Cu Dispersion Strengthened Copper Alloy

Jing Yunbing^{1,2}, Peng Dongdong^{2,3}, Gan Chunlei², Guo Zhiqiang¹, Zhang Dongping², Zhou Nan²

(1.School of Materials Science and Engineering, Shenyang University of Technology;

2.Institute of New Materials, Guangdong Academy of Sciences;

3.School of Aeronautical Manufacturing Engineering, Nanchang Hangkong University)

Abstract: The effects of annealing temperature on microstructure, texture, mechanical properties and electrical conductivity of the 0.2Al₂O₃/Cu dispersion strengthened copper alloy bars were investigated by means of scanning electron microscope, X-ray diffraction and mechanics tester. The results indicate that no obvious change is observed in the fiber structure of the annealed alloy specimens. With the increase of annealing temperature, the proportion of cube {001} <100> and brass {011} <211> texture is increased, and the goss {011} <100> texture is gradually decreased. The small-angle grain boundaries in the alloy are increased to varying degrees, while the large-angle grain boundaries are decreased slightly, which are mainly distributed in the range of 50°~60° misorientation. The micro hardness, tensile strength and yield strength of the alloy are decreased from 150 HV, 551 MPa and 539 MPa to 121 HV, 378 MPa and 323 MPa, respectively, while the elongation is increased from 9.6% to 15.9%, and the conductivity is increased from 52.316 MS/m to 54.520 MS/m, which is increased by 0.464~2.204 MS/m.

Key Words: 0.2Al₂O₃/Cu Dispersion Strengthened Copper Alloy, Annealing Temperature, Texture, Performance

收稿日期:2021-07-14;修改稿收到日期:2021-09-02
基金项目:广东省科学院资助项目(2020GDASYL-20200503001-03,2020GDASYL-20200103133);广东省科技计划资助项目(2014B070706027)
第一作者简介:敬云兵,女,1993 年出生,硕士研究生,沈阳(110870),E-mail:jingyunbing225@163.com
通信作者:郭志强,男,1981 年出生,副教授,沈阳(110870),E-mail:guozhiqiang217@163.com
引用格式:敬云兵,彭冬冬,甘春雷,等.退火温度对 Al₂O₃/Cu 弥散强化铜合金组织性能的影响[J].特种铸造及有色合金,2021,41(12):1 524-1 528.
JING Y B, PENG D D, GAN C L, et al. Effects of annealing temperature on microstructure and properties of Al₂O₃/Cu dispersion strengthened copper alloy[J]. Special Casting & Nonferrous Alloys, 2021, 41(12):1 524-1 528.

[7] CAI W D, LAVERNIA E. Modeling of porosity during spray forming[J]. Materials Science & Engineering, 1997, A226-228: 8-12.

[8] CAI W D, LAVERNIA E. Modeling of porosity during spray forming: Part I. Effects of processing parameters[J]. Metallurgical & Materials Transactions, 1998, B29(5): 1 085-1 096.

[9] REN J, WANG R, PENG C, et al. Ultra-high strength Al-Zn-Mg-Cu alloys with high zinc content prepared via powder hot extrusion [J]. Micron, 2021, 144: 103 015.

[10] MONDAL C, MUKHOPADHYAY A K. On the nature of T-Al₂Mg₃Zn₃ and S-Al₂CuMg phases present in as-cast and annealed 7055 aluminum alloy[J]. Materials Science and Engineering, 2005, A391(1/2): 367-376.

[11] CHEN Y G, ZHONG Y, YIN J C, et al. Spray conform 7075 Al [J]. Rsc Advances, 2015(5): 97 612-97 618.

[12] 刘存玉. 铜在 Al-Zn-Mg-Cu 系铝合金中的作用[J]. 材料工程, 1993(2): 6-9.

(编辑:栗万仲)