

锻压态 6063-0.3V 铝合金的组织与性能

郭正烜¹, 李子亮²

(1. 山西工程科技职业大学 建筑设计学院, 山西 晋中 030600; 2. 河北科技大学 材料科学与工程学院, 河北 石家庄 050091)

摘要: 采用先预压再主压的锻压流程进行了建筑用 6063-0.3V 铝合金的锻压试验, 并与合金锻压前的显微组织、力学性能和耐磨损性能进行了对比分析。结果表明: 锻压处理细化了 6063-0.3V 铝合金的内部晶粒, 提升了其力学性能和耐磨损性能。在始锻温度为 470 ℃、终锻温度为 360 ℃、预压阶段变形量为 2%、主压阶段变形量为 10%、锻压速度为 50 mm·min⁻¹ 和模具预热温度为 280 ℃的锻压工艺参数下, 获得了组织细小均匀、力学性能和耐磨损性能均较佳的锻压态建筑用 6063-0.3V 铝合金, 其平均晶粒尺寸为 14 μm、抗拉强度为 278 MPa、屈服强度为 234 MPa、断后伸长率为 9.2%、磨损 30 min 后磨损体积仅为 18.4×10⁻³ mm³。研究表明锻压处理是建筑用 6063-0.3V 铝合金获得较佳综合性能的有效途径。

关键词: 6063-0.3V 铝合金; 显微组织; 力学性能; 耐磨损性能; 细化晶粒; 锻压处理

DOI: 10.13330/j.issn.1000-3940.2025.02.029

中图分类号: TH164

文献标志码: A

文章编号: 1000-3940 (2025) 02-0235-07

Microstructure and properties of 6063-0.3V aluminum alloy in forging state

Guo Zhengxuan¹, Li Ziliang²

(1. College of Architecture and Design, Shanxi Vocational University of Engineering Science and Technology, Jinzhong 030600, China;

2. School of Material Science and Engineering, Hebei University of Science and Technology, Shijiazhuang 050091, China)

Abstract: The forging test of 6063-0.3V aluminum alloy for construction was carried out by using a forging process of pre-pressing first and then main pressing, and a comparative analysis was carried out on the microstructure, mechanical properties and wear resistance of the alloy before forging. The results show that the forging treatment refines the internal grains of 6063-0.3V aluminum alloy and improves its mechanical and wear resistance properties. Under the forging process parameters of the initial forging temperature of 470 ℃, the final forging temperature of 360 ℃, the deformation amount in the pre-pressing stage of 2%, the deformation amount in the main pressing stage of 10%, the forging speed of 50 mm·min⁻¹ and the die pre-heating temperature of 280 ℃, a 6063-0.3V aluminum alloy for construction in forging state with fine and uniform microstructure, good mechanical properties and wear resistance is obtained. Its average grain size is 14 μm, tensile strength is 278 MPa, yield strength is 234 MPa, elongation at break is 9.2% and the wear volume after 30 minutes of wear is only 18.4×10⁻³ mm³. The research indicates that the forging treatment is an effective way to obtain 6063-0.3V aluminum alloy for construction with better comprehensive performance.

Key words: 6063-0.3V aluminum alloy; microstructure; mechanical property; wear resistance; refined grains; forging treatment

铝合金由于密度小、耐蚀性好、比强度高等优点, 在建筑等领域得到广泛应用, 也吸引了较多学者和技术人员的研究兴趣^[1-2]。顾文秀等^[3]分析和探讨了 Al-Sr-La 中间合金改性对 A356 铝合金组织和性能的影响。宫子琪和郑理银^[4]研究了含 Sc 超高强度铝合金的成分优化及组织性能。田贺鑫等^[5]分析和探索了旋转挤压工艺对耐热铝合金组织及性能的影响规律。高珊珊等^[6]研究了公路建筑用铝合金表

面激光熔覆 FeCoNiCr 高熵合金涂层的组织与抗腐蚀性。孙庆武^[7]研究和探索了建筑用对接铝合金薄板应力模拟及焊接变形机理。张荣晟等^[8]研究和分析了半固态改性 6061 铝合金流变压铸试样的组织及力学性能。闫莹洁等^[9]分析了 Fe 含量对 7075 铝合金的显微组织与性能的具体影响。刘萌等^[10]探索了固溶成形工艺对 6016 铝合金组织及力学性能的影响规律。杨宁源等^[11]分析了 Fe 含量对 Al-1.04Mg-0.64Si-0.23Cu 合金析出相、力学性能和腐蚀性能的影响。田少颀等^[12]研究了 Sc 对 7056 铝合金组织和性能的影响。杜智渊等^[13]研究和分析了 Al-Cu-Mg-Si 系铝合金的注射成形。陈正周等^[14]探究了热处理

收稿日期: 2024-05-08; 修订日期: 2024-08-15

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (52078086)

作者简介: 郭正烜 (1981-), 男, 硕士, 讲师

E-mail: sxjygzx@126.com

对流变压铸铝合金力学性能和显微组织的影响规律。但是,随着建筑行业对铝合金性能要求的不断提高,迫切需要进一步提升铝合金性能。众所周知,锻压是一种常用的金属加工方法,通过对金属材料施加压力,使其发生塑性变形,从而改善其组织和性能。在合金的制备过程中,锻压加工可以有效消除材料内部缺陷和晶界变形,提高晶粒细化程度,增加晶界密度,从而提高材料的综合性能。在锻压态合金的组织研究方面,目前主要集中在晶粒细化、位错密度和析出相等的变化方面。通过采用金相显微镜和透射电子显微镜等先进仪器,可以清晰地观察到锻压后镁合金的晶粒尺寸减小、晶界清晰度增加以及位错密度增加的现象。此外,一些研究还发现锻压过程中,合金中的析出相也会发生变化,如析出相的尺寸和分布会受到锻压力的影响而发生变化,这些变化对合金的力学性能和耐蚀性能均具有重要的影响。郭正烜和李子亮^[15]探索了锻压条件对高强建筑用 Al-11.5Si-2Cu-0.5Fe 铝合金显微组织的影响规律。李旻昊等^[16]进行了镁合金锻压-弯曲反复变形的有限元数值模拟分析与实验研究。肖振宇等^[17]探索和分析了分步锻压工艺对 AZ91 镁合金组织演化及力学性能的影响规律。除了组

织方面的研究外,锻压态合金的性能研究也备受关注。目前,锻压态合金性能研究主要集中在力学性能方面。锻压态铝合金的组织与性能对于该材料的进一步研究和应用具有重要意义,通过对其组织与性能的深入研究,可以更好地了解锻压过程中铝合金内部发生的变化,为优化铝合金的制备工艺和提升其性能提供科学依据。同时,通过对锻压态建筑用铝合金组织与性能的研究,促进铝合金材料在建筑领域得到了进一步的发展和推广。

1 试验材料及方法

1.1 试验材料

选用经过均匀化处理的建筑用 6063-0.3V 铝合金棒料作为锻坯,均匀化处理工艺为 610 ℃保温 8 h,锻坯的直径为 Φ120 mm、长度为 280 mm。表 1 为 6063-0.3V 铝合金化学成分测试结果。6063-0.3V 铝合金的锻压试验在 1000 t 液压机上进行,锻压工艺流程如图 1 所示。表 2 为 6063-0.3V 铝合金的具体锻压工艺参数。6063-0.3V 铝合金试样锻压后未进行热处理。

表 1 6063-0.3V 铝合金试样的化学成分 (%, 质量分数)

Table 1 Chemical compositions of 6063-0.3V aluminum alloy samples (% , mass fraction)

化学元素	Mg	V	Fe	Cu	Mn	Cr	Zn	Ti	其他	Al
设计要求	0.5~0.9	0.2~0.4	≤0.35	≤0.1	≤0.1	≤0.1	≤0.1	≤0.1	≤0.15	余量
实测成分	0.736	0.314	0.142	0.032	0.043	0.019	0.021	0.026	0.088	余量

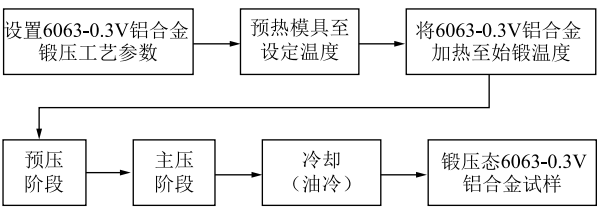


图 1 6063-0.3V 铝合金试样的锻压工艺流程

Fig. 1 Forging process flow of 6063-0.3V aluminum alloy samples

表 2 6063-0.3V 铝合金试样锻压工艺参数

Table 2 Forging process parameters of 6063-0.3V aluminum alloy samples

参数	始锻温度/℃	终锻温度/℃	预压阶段变形量/%	主压阶段变形量/%	锻压速度/(mm·min ⁻¹)	模具预热温度/℃
数值	470	360	2	10	50	280

1.2 试验方法

显微组织分析:采用线切割法进行金相取样,经制样、浸蚀、抛光、吹干等流程后在 PG18 型金相显微镜下分别观察锻压前和锻压态 6063-0.3V 铝合金的显微组织,在样本制备时,以高精度切割机进行样本切割,确保切面平整,以减小对后续观测结果造成的不确定性,之后通过机械研磨和抛光对样本表面进行处理。在数据处理阶段,采用图像分析软件对获取的显微照片进行分析,完成晶粒尺寸的自动统计。为了确保结果的客观性,选取试样两侧端头和中间位置 3 个不同区域进行了 3 次重复测量,并对所有测量结果进行了统计学处理,确保数据的可信度。锻压前和锻压态 6063-0.3V 铝合金的平均晶粒尺寸的计算公式如式 (1) 所示。

$$D = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N d_i$$

(1)

式中： D 为合金试样的平均晶粒尺寸； d_i 为第 i 个晶粒的直径， $i=1, \cdots, N$ ； N 为晶粒的数量。

力学性能测试：采用线切割法分别在锻压前和锻压态 6063-0.3V 铝合金上切取拉伸试样，拉伸试样为圆棒状，夹持端直径为 $\Phi 20$ mm、夹持端长度为 20 mm、平行段直径为 $\Phi 10$ mm、平行段长度为 50 mm。为了尽可能地减小试验误差，锻压前和锻压态 6063-0.3V 铝合金分别切取 5 根拉伸试样，将测试值求取算术平均值后作为试样的力学性能测试值。锻压前和锻压态 6063-0.3V 铝合金试样的拉伸试验在室温条件下进行，采用的万能试验机型号为 UTM6000，拉伸速度为 $1\text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$ ，拉伸断口用 JSM6510 型扫描电镜（Scanning Electron Microscope, SEM）进行观察。

耐磨损性能测试：采用线切割法分别在锻压前和锻压态 6063-0.3V 铝合金上切取磨损试样，磨损试样为圆柱状，直径为 $\Phi 20$ mm、高度为 15 mm。为了尽可能地减小试验误差，锻压前和锻压态 6063-0.3V 铝合金分别切取 5 个磨损试样，将测试值求取算术平均值后作为试样的耐磨损性能测试值。锻压前和锻压态 6063-0.3V 铝合金试样的磨损试验也在

室温条件下进行，采用的磨损试验机型号为 MLD-10，对磨材料为试样本体，磨轮转速为 $300\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ ，磨损时间为 30 min，试样磨损后的表面形貌用 JSM6510 型扫描电镜进行观察。

2 试验结果及讨论分析

2.1 显微组织

锻压前和锻压态 6063-0.3V 铝合金试样的显微组织照片如图 2 所示。表 3 为锻压前和锻压态 6063-0.3V 铝合金试样的平均晶粒尺寸测量结果。由图 2 和表 3 可知，锻压前 6063-0.3V 铝合金试样的晶粒较为粗大、分布均匀性较差，有较多 Al_6Mn 颗粒状析出物，试样平均晶粒尺寸为 $118\text{ }\mu\text{m}$ 。选择本试验中的锻压工艺参数进行锻压后，6063-0.3V 铝合金试样的显微组织得到明显细化，试样的晶粒较为细小、分布均匀，平均晶粒尺寸为 $14\text{ }\mu\text{m}$ 。由此可以看出，采用本试验工艺参数进行锻压可使 6063-0.3V 铝合金试样获得晶粒细小、分布均匀的内部组织。

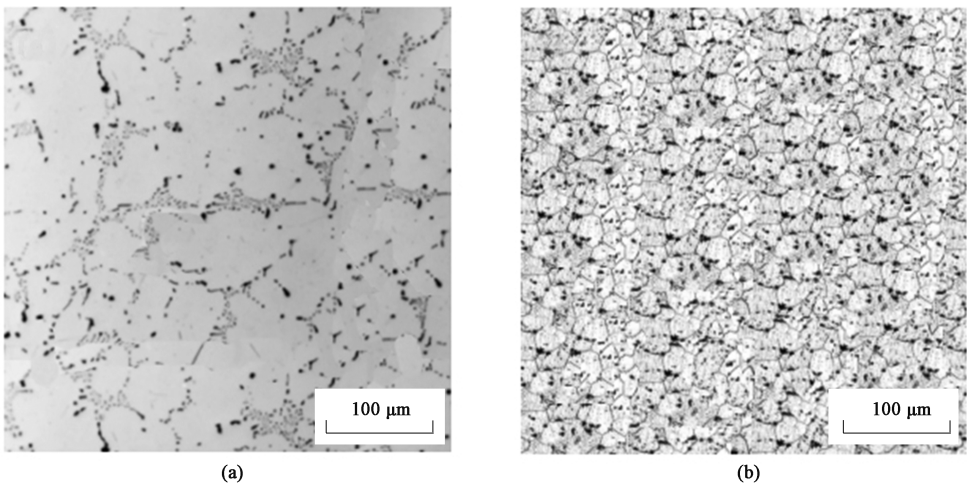


图 2 6063-0.3V 铝合金试样的显微组织照片

(a) 锻压前 (b) 锻压态

Fig. 2 Microstructure photos of 6063-0.3V aluminum alloy sample

(a) Before forging (b) Forging state

表 3 6063-0.3V 铝合金试样平均晶粒尺寸

Table 3 Average grain sizes of 6063-0.3V aluminum alloy sample

试样	最小晶粒尺寸/ μm	最大晶粒尺寸/ μm	平均晶粒尺寸/ μm
锻压前	31	186	118
锻压态	11	22	14

2.2 力学性能

锻压前和锻压态 6063-0.3V 铝合金试样的力学性能测试结果如表 4 所示。由表 4 可知，与锻压前进行比较，选择本试验中的锻压工艺参数进行锻压后，6063-0.3V 铝合金试样的抗拉强度、屈服强度均得到了较大的提升，锻压态 6063-0.3V 铝合金试样的抗拉强度、屈服强度和断后伸长率分别达到

278 MPa、234 MPa 和 9.2%。此外，从表 4 还可以看出，锻压态 6063-0.3V 铝合金 5 个拉伸试样的力学性能最大测试值和最小测试值与平均值之间的差异均较小，说明锻压态 6063-0.3V 铝合金力学性能的均匀性较佳。图 3 为锻压前和锻压态 6063-0.3V 铝合金试样的拉伸断口形貌 SEM 照片。由图 3 可

知，锻压前和锻压态 6063-0.3V 铝合金试样的拉伸断口均表现为比较明显的韧性断裂特点，断口中存在较多的韧窝和撕裂棱；但是，锻压前 6063-0.3V 铝合金试样的韧窝较为浅显、粗大，而锻压态 6063-0.3V 铝合金试样的韧窝更为深邃、细小，表现出更好的拉伸性能。

表 4 6063-0.3V 铝合金试样的力学性能测试结果
Table 4 Test results of mechanical properties for 6063-0.3V aluminum alloy samples

试样	抗拉强度/MPa			屈服强度/MPa			断后伸长率/%		
	最小测试值	最大测试值	平均值	最小测试值	最大测试值	平均值	最小测试值	最大测试值	平均值
锻压前	197	215	206	155	172	163	6.5	8.9	7.8
锻压态	276	279	278	234	235	234	9.0	9.3	9.2

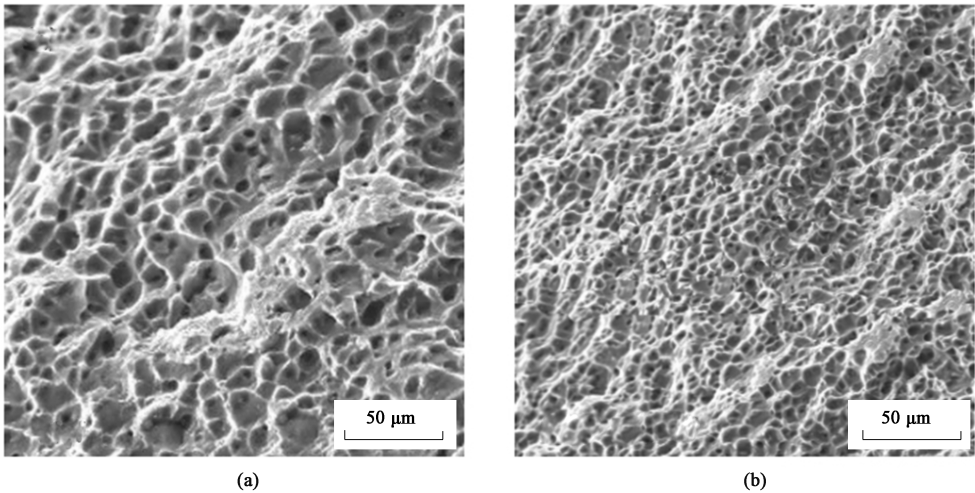


图 3 6063-0.3V 铝合金试样拉伸断口 SEM 照片
(a) 锻压前 (b) 锻压态
Fig. 3 SEM photos of tensile fracture for 6063-0.3V aluminum alloy sample
(a) Before forging (b) Forging state

2.3 耐磨损性能

锻压前和锻压态 6063-0.3V 铝合金试样的耐磨损性能测试结果如表 5 所示。由表 5 可知，与锻压前进行比较，选择本试验中的锻压工艺参数进行锻压后，6063-0.3V 铝合金试样的磨损体积明显减小，5 个锻压态合金试样的耐磨损性能均得到了较大的提升，锻压态 6063-0.3V 铝合金试样在磨损 30 min 后磨损体积仅为 $18.4\times10^{-3}\text{ mm}^3$ 。而锻压前 6063-0.3V 铝合金试样在磨损 30 min 后磨损体积高达 $47.2\times10^{-3}\text{ mm}^3$ 。此外，从表 5 还可以看出，锻压态 6063-0.3V 铝合金 5 个磨损试样的磨损体积最大测试值和最小测试值与平均值之间的差异均较小，说明锻压态 6063-0.3V 铝合金耐磨损性能的均匀性较佳。图 4 为锻压前和锻压态 6063-0.3V 铝合金试样

磨损 30 min 后的表面形貌扫描电镜（SEM）照片。由图 4 可知，锻压态 6063-0.3V 铝合金试样磨损后，磨痕较细、少量颗粒状起皮，磨损较轻微；但锻压前 6063-0.3V 铝合金试样磨损后，起皮严重、表面较多的大片状起皮，磨损较严重。

表 5 6063-0.3V 铝合金试样的耐磨损能测试结果
Table 5 Wear resistance test results of 6063-0.3V aluminum alloy samples

试样	磨损体积/($\times10^{-3}\text{ mm}^3$)		
	最小测试值	最大测试值	平均值
锻压前	31.8	66.5	47.2
锻压态	16.8	19.9	18.4

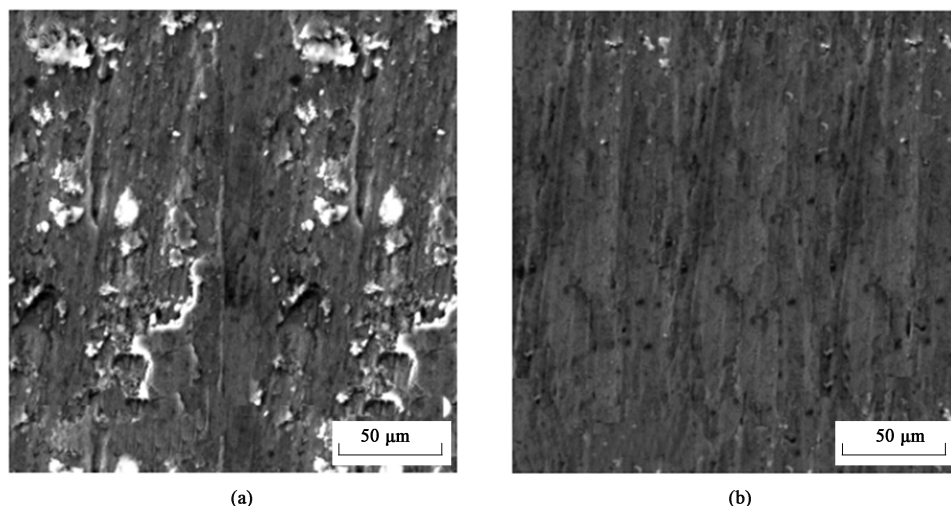


图4 6063-0.3V 铝合金试样磨损后表面形貌 SEM 照片

(a) 锻压前 (b) 锻压态

Fig. 4 SEM photos of surface topography for 6063-0.3V aluminum alloy samples after wear

(a) Before forging (b) Forging state

2.4 讨论与分析

锻压是铝合金改性的关键工艺之一，其效果直接影响材料的组织和性能。在锻压工艺参数的设计上，考虑到 6063-0.3V 铝合金的各项性能指标要求，以及对不同温度下的铝合金材料性能和锻压成形特点进行研究分析，在始锻温度和终锻温度上避免采用过高或过低的温度，调整温度可以有效控制金属的流动性和塑性，从而使得产品在锻压过程中更加均匀和稳定，本文确定了 6063-0.3V 铝合金的始锻温度和终锻温度。根据 6063-0.3V 铝合金的特点，通过对不同压力参数下产品形貌和力学性能的影响进行分析，选取了恰当的锻压压力设定，使得 6063-0.3V 铝合金在成形过程中受力更加均匀和合理，这样不仅可以保证产品的强度和硬度达到要求，还可以减小工艺中的能耗和设备磨损。本文还对锻压速度进行了恰当的设置，恰当的锻压速度可以有效控制金属的形变和变形速率，从而使得产品在成形过程中形貌更加精细、表面更加光滑。此外，将锻压工序细分为预压和主压两个阶段，两者均对最终的微观组织和宏观性能有着至关重要的影响。在预压阶段，材料在较低的变形程度下进行塑性变形，有助于减小内部缺陷，为后续主压阶段提供更均匀的微观组织基础。在主压阶段，6063-0.3V 铝合金的变形更加剧烈，晶粒将进一步细化，且晶粒细化的均匀性是提高合金整体性能的关键。锻压完成后，不可忽视的是 6063-0.3V 铝合金的冷却过程，适宜的冷却速度将避免材料出现应力集中及过硬现象，保障材

料具有良好的塑性与韧性，本文采用油冷方式。

在显微组织方面，采用本试验设定的锻压工艺参数锻压后，6063-0.3V 铝合金的晶粒尺寸较细小，晶界清晰，且分布均匀。这表明锻压工艺能够有效改善 6063-0.3V 铝合金的晶粒结构，从而提高材料的强度和塑性。因此，锻压态 6063-0.3V 铝合金具有较好的组织稳定性和组织均匀性。

在力学性能方面，采用本试验设定的锻压工艺参数锻压后，6063-0.3V 铝合金的抗拉强度、屈服强度和伸长率均有所增加。这意味着，锻压工艺可以有效增强铝合金的力学性能，使其适用于更广泛的工程领域。

在耐磨损性能方面，采用本试验设定的锻压工艺参数锻压后，6063-0.3V 铝合金的耐磨损性能有所提高，表明锻压工艺对于改善 6063-0.3V 铝合金的表面性能具有显著的作用。

综上，锻压态 6063-0.3V 铝合金具有优良的组织稳定性、力学性能和耐磨损性能，而且生产成本适中、工艺简便。锻压工艺是一种有效改善铝合金性能的方法，对于提高 6063-0.3V 铝合金的应用前景具有积极的意义。从成本和工艺的角度来看，锻压工艺对 6063-0.3V 铝合金的生产成本并无明显增加，且操作简便，适用范围广。因此，锻压态 6063-0.3V 铝合金在实际生产中具有一定的推广价值。在未来的研究中，将进一步深入探讨锻压工艺对 6063-0.3V 铝合金性能的影响机制，并结合实际工程应用，进一步完善 6063-0.3V 铝合金的锻压生产工艺，

推动其在工程领域的应用。

3 结论

(1) 锻压处理显著细化了建筑用 6063-0.3V 铝合金的内部晶粒,提高了合金的力学性能,改善了合金的耐磨损性能。

(2) 在始锻温度为 470 ℃、终锻温度为 360 ℃、预压阶段变形量为 2%、主压阶段变形量为 10%、锻压速度为 $50 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ 和模具预热温度为 280 ℃ 的锻压工艺参数下,获得了组织细小均匀、力学性能和耐磨损性能均较佳的锻压态建筑用 6063-0.3V 铝合金,其平均晶粒尺寸为 $14 \mu\text{m}$ 、抗拉强度为 278 MPa、屈服强度为 234 MPa、断后伸长率为 9.2%、磨损 30 min 后的磨损体积仅为 $18.4 \times 10^{-3} \text{ mm}^3$ 。

参考文献:

- [1] 汤捷,谢航,吕强,等. 基于生命周期的轻型商用车轻量化碳排放研究 [J]. 汽车工程学报, 2024, 14 (3): 502-510.
- Tang J, Xie H, Lyu Q, et al. Life cycle-based carbon emission study of lightweighting in light commercial trucks [J]. Chinese Journal of Automotive Engineering, 2024, 14 (3): 502-510.
- [2] Xiao J, Cao J G, Song C N, et al. The collapse deformation prediction model of wide 7075 aluminum alloy intermediate slab based on particle swarm optimization and support vector regression during hot rolling process [J]. Journal of Materials Engineering and Performance, 2024, 33 (2): 1034-1050.
- [3] 顾文秀,周细应,彭以辉,等. Al-Sr-La 中间合金改性对 A356 铝合金组织和性能的影响 [J]. 材料热处理学报, 2024, 45 (5): 70-80.
- Gu W X, Zhou X Y, Peng Y H, et al. Effect of Al-Sr-La intermediate alloy modification on microstructure and properties of A356 aluminum alloy [J]. Transactions of Materials and Heat Treatment, 2024, 45 (5): 70-80.
- [4] 宫子琪,郑理银. 含 Sc 超高强度铝合金成分优化及组织性能研究 [J/OL]. 有色金属科学与工程, 1-11 [2024-05-15]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/36.1311.tf.20240513.1711.002.html>.
- Gong Z Q, Zheng L Y. Study on the optimization of scandium super high-strength aluminum alloy composition and microstructure properties [J/OL]. Nonferrous Metals Science and Engineering, 1-11 [2024-05-15]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/36.1311.tf.20240513.1711.002.html>.
- [5] 田贺鑫,马冬梅,艾子清,等. 旋转挤压工艺对耐热铝合金组织及性能的影响 [J]. 辽宁工业大学学报 (自然科学版), 2024, 44 (2): 71-74.
- Tian H X, Ma D M, Ai Z Q, et al. Effect of rotary extrusion process on microstructure and properties of heat-resistant aluminum alloy [J]. Journal of Liaoning University of Technology (Natural Science Edition), 2024, 44 (2): 71-74.
- [6] 高珊珊,李刚,都志强. 公路建筑用铝合金表面激光熔覆 Fe-CoNiCr 高熵合金涂层的组织与抗腐蚀性 [J]. 铸造, 2022, 71 (7): 839-844.
- Gao S S, Li G, Du Z Q. Microstructure and corrosion resistance of laser-cladded FeCoNiCr high-entropy alloy coating on aluminum alloys for highway architecture applications [J]. Foundry, 2022, 71 (7): 839-844.
- [7] 孙庆武. 建筑用对接铝合金薄板应力模拟及焊接变形机理研究 [J]. 太原学院学报 (自然科学版), 2022, 40 (4): 12-16.
- Sun Q W. Research on stress simulation and welding deformation mechanism of butt-joined aluminum alloy sheets for construction [J]. Journal of Taiyuan University (Natural Science Edition), 2022, 40 (4): 12-16.
- [8] 张荣晟,毛卫民,李乃拥. 半固态改性 6061 铝合金流变压铸试样组织及力学性能 [J]. 特种铸造及有色合金, 2024, 44 (4): 516-520.
- Zhang R S, Mao W M, Li N Y. Microstructure and mechanical properties of semi-solid modified 6061 aluminum alloy samples by rheo-diecasting [J]. Special Casting & Nonferrous Alloys, 2024, 44 (4): 516-520.
- [9] 闫莹洁,吴名冬,肖代红,等. Fe 含量对 7075 铝合金的显微组织与性能影响 [J]. 特种铸造及有色合金, 2024, 44 (4): 551-558.
- Yan Y J, Wu M D, Xiao D H, et al. Effects of Fe content on microstructure and properties of 7075 aluminum alloy [J]. Special Casting & Nonferrous Alloys, 2024, 44 (4): 551-558.
- [10] 刘萌,李新亚,臧勇,等. 固溶成形工艺对 6016 铝合金组织及力学性能的影响 [J]. 金属热处理, 2023, 48 (2): 138-143.
- Liu M, Li X Y, Zang Y, et al. Effect of solution forming process on microstructure and mechanical properties of 6016 aluminum alloy [J]. Heat Treatment of Metals, 2023, 48 (2): 138-143.
- [11] 杨宁源,周慧慧,张志豪. Fe 含量对 Al-1.04wt.% Mg-0.64wt.% Si-0.23wt.% Cu 合金析出相、力学性能和腐蚀性能的影响 [J]. 材料科学与工艺, 2021, 29 (3): 64-74.
- Yang N Y, Zhou H H, Zhang Z H. Effect of Fe content on precipitation phase, mechanical properties, and corrosion properties of Al-1.04wt.% Mg-0.64wt.% Si-0.23wt.% Cu alloy [J]. Materials Science and Technology, 2021, 29 (3): 64-74.
- [12] 田少颀,李静媛,张俊龙,等. Sc 对 7056 铝合金组织和性能的影响 [J]. 工程科学学报, 2019, 41 (10): 1298-1306.
- Tian S K, Li J Y, Zhang J L, et al. Effect of Sc on the microstructure and properties of 7056 aluminum alloy [J]. Chinese Journal

of Engineering, 2019, 41 (10): 1298–1306.

[13] 杜智渊, 吴茂, 邱婷婷, 等. Al-Cu-Mg-Si 系铝合金的注射成形 [J]. 中国有色金属学报, 2019, 29 (11): 2471–2480.

Du Z Y, Wu M, Qiu T T, et al. Metal injection molding of Al-Cu-Mg-Si alloy [J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2019, 29 (11): 2471–2480.

[14] 陈正周, 宋朝辉, 罗文博. 热处理对流变压铸铝合金力学性能和显微组织的影响 [J]. 中国有色金属学报, 2018, 28 (3): 518–527.

Chen Z Z, Song C H, Luo W B. Effect of heat treatment on mechanical properties and microstructure of rheo-diecasting aluminum alloy [J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2018, 28 (3): 518–527.

[15] 郭正烜, 李子亮. 锻压条件对高强建筑 Al-11.5Si-2Cu-0.5Fe 铝合金显微组织的影响 [J]. 锻压技术, 2024, 49 (5): 13–16, 83.

Guo Z X, Li Z L. Influence of forging conditions on microstructure

of high strength building Al-11.5Si-2Cu-0.5Fe aluminum alloy [J]. Forging & Stamping Technology, 2024, 49 (5): 13–16, 83.

[16] 李旻昊, 卢立伟, 张家龙, 等. 镁合金锻压-弯曲反复变形的有限元数值模拟分析与实验研究 [J]. 锻压技术, 2023, 48 (2): 52–61.

Li M H, Lu L W, Zhang J L, et al. Finite element numerical simulation analysis and experimental research on forging-bending repeated deformation for magnesium alloys [J]. Forging & Stamping Technology, 2023, 48 (2): 52–61.

[17] 肖振宇, 杨溢, 袁星宇, 等. 分步锻压工艺对 AZ91 镁合金组织演化及力学性能的影响 [J]. 中国有色金属学报, 2018, 28 (11): 2173–2181.

Xiao Z Y, Yang Y, Yuan X Y, et al. Effects of interrupted forging on microstructural development and mechanical properties of cast AZ91 Mg alloy [J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2018, 28 (11): 2173–2181.



中国机械工程学会塑性工程分会 2025 年活动计划

序号	活动类别	活动名称	活动组织者	时间	地点
1	学术交流	第三届先进塑性成形基础研究青年学者论坛	中国机械工程学会塑性工程分会	5 月	太原
2		全国锻压行业质量提升与标准创新发展大会暨全国锻压标准化技术委员会年会	中国机械工程学会塑性工程分会、全国锻压标准化技术委员会	6 月	重庆
3		第十九届全国塑性工程学术年会暨第十一届全球华人塑性技术研讨会	中国机械工程学会塑性工程分会	10 月	秦皇岛
4	大学生赛	“太平洋精锻杯”第二届中国大学生塑性工程创新创业大赛	中国机械工程学会塑性工程分会	3–8 月	太原
5	工程能力评价	材料成形与改性（锻压）工程能力评价；机械工程类工程能力评价	中国机械工程学会塑性工程分会	全年	
6	技术培训	锻压技术与装备培训班——自由锻、模锻工艺与装备	中国机械工程学会塑性工程分会	4 月	泰安
7		锻压技术与装备培训班——主题待定	中国机械工程学会塑性工程分会	11 月	待定
8	国际交流	第十三届板材成形数值模拟国际会议（NUMISHEET 2025）	中国机械工程学会塑性工程分会组织参加	7 月	慕尼黑
9		第十一届先进制造技术与应用材料国际学术会议	中国机械工程学会塑性工程分会协办	4 月	长沙
10	期刊出版	《锻压技术》 《塑性工程学报》	中国机械工程学会、中国机械总院集团 北京机电研究所有限公司	全年	
11	成果鉴定	成果鉴定	中国机械工程学会塑性工程分会	全年	
12	工作会议	十三届三次主任委员办公会	中国机械工程学会塑性工程分会	2 月	北京
13		十三届三次常务委员会会议	中国机械工程学会塑性工程分会	10 月	秦皇岛
14		十三届三次委员（扩大）会议	中国机械工程学会塑性工程分会	10 月	秦皇岛