

6061 铝合金挤压环状条纹分析及挤压工艺对环状条纹的影响

兰天虹 卢 刚 黄 飞 李 振 韦祖祥 闫 焱
(广西南南铝加工有限公司,广西铝合金材料与加工重点实验室)

摘 要 通过组织观察,结合力学性能试验和拉伸断口形貌分析等方法对环状条纹进行分析,采用正交试验方法研究挤压工艺对 6061 铝合金环状条纹的影响。结果表明,切尾长度为 4 m 时,6061 铝合金环状条纹组织连续未受破坏,力学性能满足标准要求,低倍组织的差异会影响其氧化效果;增加压余长度或降低铸锭温度能够有效减短环状条纹长度。

关键词 挤压圆棒;环状条纹;显微组织;挤压工艺

中图分类号 TG146.21 **文献标志码** A

DOI:10.15980/j.tzzz.2023.07.026

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Analysis of Annular Stripe and Effect of Extrusion Process on Annular Stripe

Lan Tianhong, Lu Gang, Huang Fei, Li Zhen, Wei Zuxiang, Yan Yan
(Guangxi Key Laboratory of Materials and Processes of Aluminum Alloys,
Guangxi Nannan Aluminum Processing Co., Ltd.)

Abstract: The annular stripe was analyzed by structure observation, combining with mechanical property test and tensile fracture observation. Effects of extrusion process on 6061 aluminum alloy annular stripe were investigated by orthogonal testing method. The results indicate that the structure of annular stripe is continuous and undamaged with a cutting length of 4 m, and mechanical properties meet the standard requirements. The difference of low-magnification structure affects the oxidation effect, and the length of annular stripe can be reduced by increasing the length of discard or decreasing the temperature of ingot.

Key Words: Extruded Bars, Annular Stripe, Microstructure, Extrusion Process

缩尾是由于铝合金锭坯表面层及附着于挤压筒内的污物或润滑剂等,因金属的不均匀流动,在挤压后期进入挤压制品内部形成的缺陷^[1]。环状条纹是出现在铝合金挤压制品尾端横向低倍试样上类似二次缩尾,肉眼可见的明暗纹路,多出现在挤压圆棒、六角棒和方棒等实心制品上,根据制品形状和模具孔数的不同,环状条纹有同心圆状、月牙状和弧状等形态。有别于一次缩尾和二次缩尾,环状条纹金属组织连续性未受破坏。刘经树^[2]通过对铝合金环状条纹区与正常区高低倍组织比较及断口宏观形貌观察,探讨环状条纹对金属连续性和力学性能的影响。对于同一挤压条件下挤出的圆棒尾部不同部位的环状条纹的纵向对比目前研究报道较少。本研究通过对比不同部位 6061 铝合金环状条纹的组织、拉伸性能、拉伸断口形貌等,探讨环状条纹对制品性能的影响,采用正交试验方法研究不同挤压工艺参数

对环状条纹长度的影响,旨在为其影响因素及消除措施提供参考。

1 试验材料及试验方法

选取直径为 $\phi 462$ mm 的 6061 合金铸锭车皮至直径为 $\phi 448$ mm,使用 $\phi 80$ mm 单孔圆棒模具,按照表 1 挤压工艺参数在 75MN 挤压机上进行挤压,挤出后进行在线淬火,下线后采用 $170\text{ }^{\circ}\text{C}\times 10\text{ h}$ 时效处理之后,分别截取尾部 0.5、2.5、3.5、4.0、4.5 和 5.0 m 处的低倍组织观察拉伸试样。

表 1 6061 铝合金圆棒挤压工艺参数

Tab.1 Extrusion process parameters for 6061 aluminum bar					
模具 温度/ $^{\circ}\text{C}$	铸锭 温度/ $^{\circ}\text{C}$	挤压筒 温度/ $^{\circ}\text{C}$	挤压速度/ ($\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$)	压余/ mm	挤压 比
480	490	450	3.5	30	33:1

收稿日期:2023-03-17;修改稿收到日期:2023-04-22

基金项目:2021 年江南区科学研究与技术开发计划资助项目(2021111701)

第一作者简介:兰天虹,男,1989 年出生,工程师,南宁(530031),E-mail:276613778@qq.com

引用格式:兰天虹,卢刚,黄飞,等. 6061 铝合金挤压环状条纹分析及挤压工艺对环状条纹的影响[J]. 特种铸造及有色合金,2023,43(7):985-988.

LAN T H, LU G, HUANG F, et al. Analysis of annular stripe and effect of extrusion process on annular stripe[J]. Special Casting & Non-ferrous Alloys, 2023, 43(7):985-988.

6061 铝合金低倍试样用 NaOH 溶液腐蚀后使用稀硫酸进行酸洗。在试验后 6061 铝合金低倍试样的环状条纹分界部位上切取金相试样,在 Axio Observer 3m 金相显微镜上进行显微组织观察。在对应的环状条纹分界部位上切取纵向试样,在 CMT5305 拉伸机上进行拉伸试验。使用 EV018 扫描电镜对拉伸断口进行观察,通过能谱仪对拉伸断口组织进行分析。选用不同挤压温度、挤压速度和压余长度进行三因素正交试验,分析挤压工艺对环状条纹长度影响。

2 试验结果分析

2.1 环状条纹低倍组织

图 1 为 6061 铝合金挤压圆棒尾部不同位置低倍组织。可以看出,不同切尾长度低倍试样呈现不同形态的环状条纹。随着切尾长度加长,环状条纹直径由小变大,外圈和内圈明暗分界区域由明显变得逐渐模糊。这

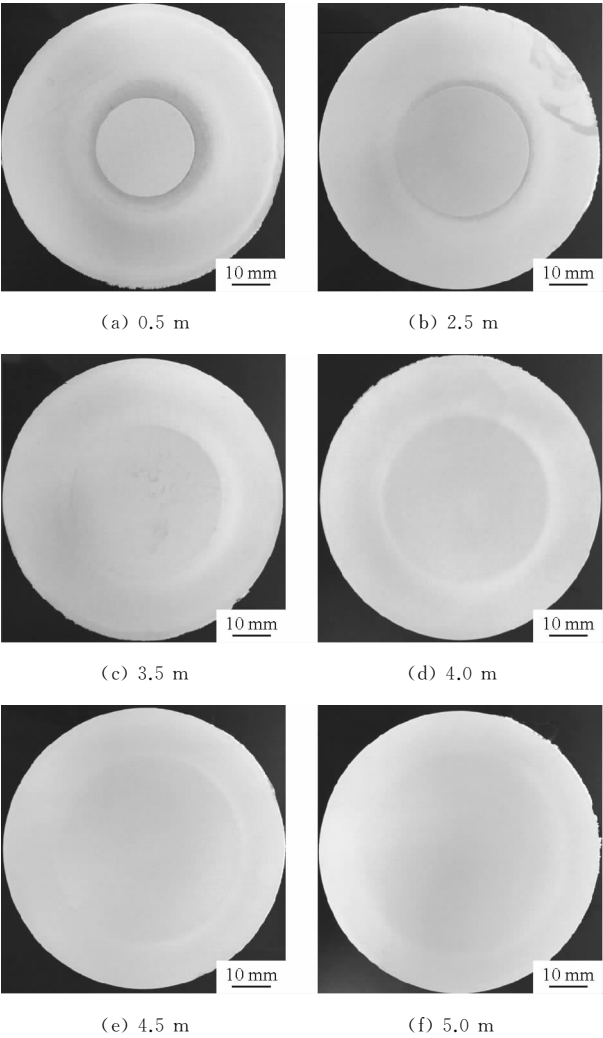


图 1 挤压圆棒尾部不同位置低倍组织

是因为挤压末期紊流阶段,铸锭表面金属和死区金属在挤压垫和挤压筒共同作用力下,发生横向流动进入制品导致,越往后铸锭中心金属越少,表层金属越多,金属流动形成的组织差异越明显。

2.2 环状条纹显微组织

图 2 为不同位置低倍试样上对应的环状条纹分界处的显微组织。可以看出,尾部 0.5 m 和 2.5 m 位置组织差异明显,随着切尾长度增加,分界由清晰变得模糊,尾部 4 m 位置达到临界状态,4 m 位置及以下组织差异没有明显区别,但低倍试样上仍有肉眼可以分辨的环状条纹。

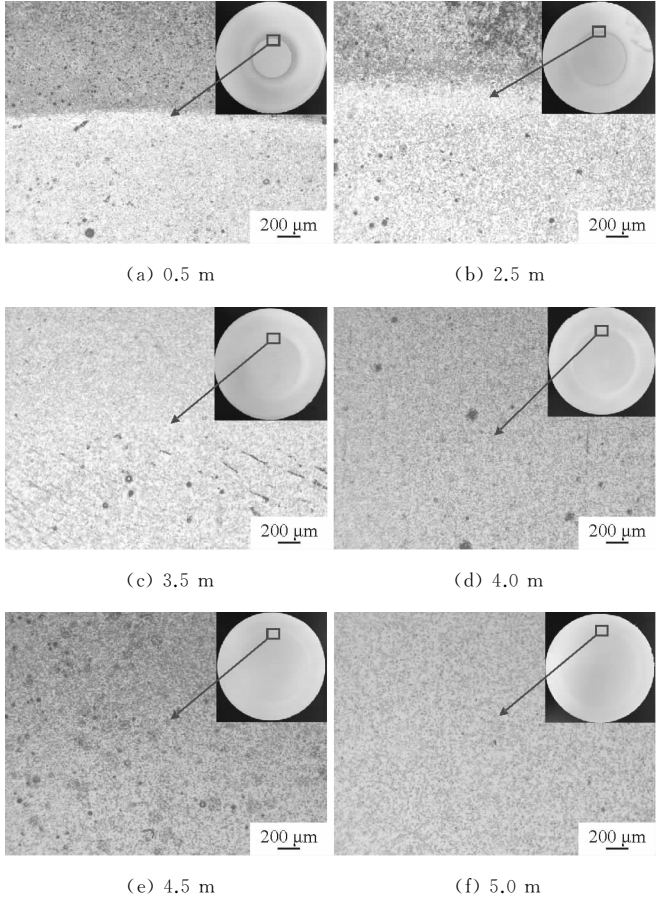


图 2 挤压圆棒尾部不同位置高倍组织

Fig.2 High-magnification structure of extruded bars at different locations of the end

2.3 室温拉伸力学性能

6061 挤压圆棒尾部不同位置环状条纹部位室温拉伸力学性能见表 2。GB/T 3191-2019 规定 6061 铝合金圆棒 T6 状态的力学性能标准为:抗拉强度 $\sigma_b \geq 260$ MPa、屈服强度 $\sigma_{0.2} \geq 240$ MPa、伸长率 $\delta \geq 8\%$ 。结果表明,尾部不同位置环状条纹部位力学性能均满足标准要求,但切尾 0.5 m 强度明显比其他切尾长度偏低,伸长率也相对较低,切尾 3.5 m 之后的试样力学性能相差不在 5 MPa 以内,趋于稳定。

表 2 6061 合金圆棒室温力学性能

Tab.2 Mechanical properties of 6061 aluminum alloy bar

尾部位置/m	$\sigma_{0.2}$ /MPa	σ_b /MPa	δ /%
0.5	301	343	9.5
2.5	327	357	11.0
3.5	332	362	10.5
4.0	334	363	11.5
4.5	331	364	12.0
5.0	335	364	11.5

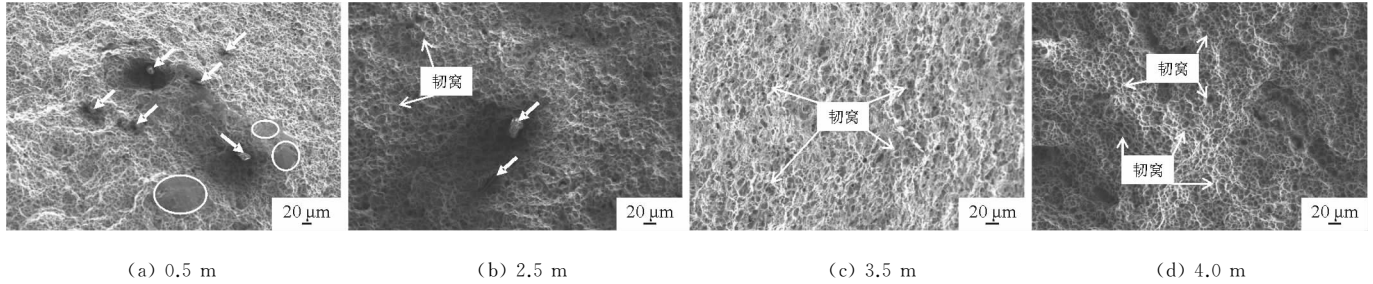


图 3 不同位置拉伸断口形貌

Fig.3 Tensile fracture morphologies at different locations

断口呈韧性断裂特征。

采用 EDS 对 0.5 m 和 2.5 m 位置拉伸断口夹杂物进行能谱分析,见图 4。可以看出,拉伸断口夹杂物质多为 C、O、N、Ca 以及少部分的 S、Na、Si 等杂质元素,

2.4 拉伸断口组织

图 3 为 0.5、2.5、3.5 和 4.0 m 对应位置的拉伸试样断口 SEM 图。从图 3a 中可以看到,箭头处存在大量的夹杂物,同时在图中椭圆形区域还存在剪切断裂平面,导致强度和伸长率相对其他位置偏低。图 3b 中箭头处也可以看到少量夹杂物,但未发现剪切断裂平面,主要为韧窝形的韧性断裂。图 3c 和图 3d 均未发现夹杂物,

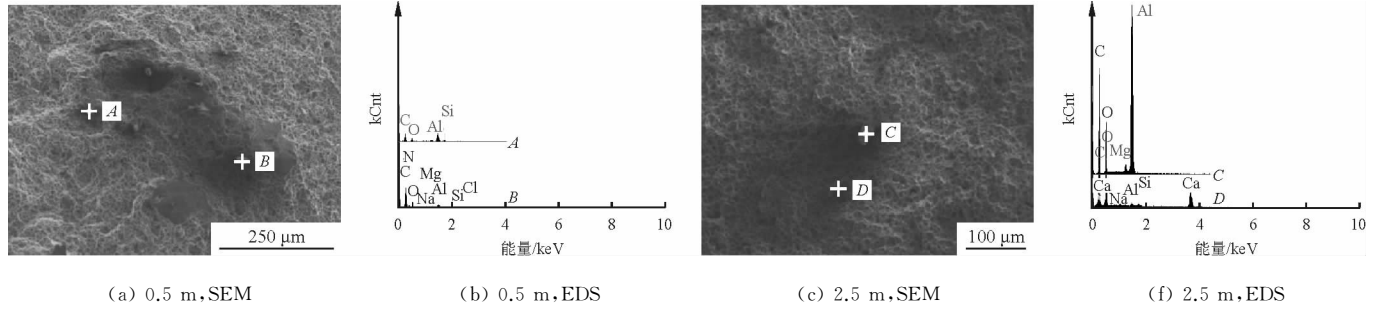


图 4 拉伸断口夹杂物的 EDS 图谱

Fig.4 EDS results of tensile fracture inclusions

流动,带入挤压圆棒之中形成。

2.5 挤压工艺对环状条纹长度的影响

为了进一步分析挤压工艺对环状条纹长度的影响,采用正交试验(DOE),在 75 MN($\phi 460$ mm 挤压筒)单动卧式正向挤压机进行,分析不同的挤压温度、挤压速度和压余长度对 6061 合金 $\phi 80$ mm 圆棒环状条纹长度的影响。为了减少试验过程中其他因素引起的干扰,除了作为变量的 3 个因素外,其余挤压参数相同,试验方案及结果见表 3。表 4 为正交试验对环状条纹消失位置的分析。

由表 4 可知,挤压工艺的 3 个因素对环状条纹消失长度影响的极差值由大到小的顺序依次为:压余长度>挤压温度>挤压速度。由此可见压余长度对环状条纹

消失长度影响最大。此外,挤压温度因素的极差值略微低于压余长度,也是影响环状条纹长度的主要因素。

表 3 正交试验方案及结果

Tab.3 Scheme and result of orthogonal testing

编号	挤压温度/ ℃	挤压速度/ ($\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$)	压余长度/ mm	环状条纹消失 位置/m
1	520	5	60	5.1
2	520	3	40	5.6
3	520	1	20	7.0
4	500	5	40	5.4
5	500	3	20	6.2
6	500	1	60	4.7
7	480	5	20	6.0
8	480	3	60	4.3
9	480	1	40	4.8

表 4 正交试验对环状条纹消失位置的分析
Tab.4 Analysis of the disappearance position of annular stripe through orthogonal testing

参量	挤压温度/ ℃	挤压速度/ (m·min ⁻¹)	压余长度/ mm
K ₁	17.7	16.5	14.1
K ₂	16.3	16.1	15.8
K ₃	15.1	16.5	19.2
k ₁	5.9	5.5	4.7
k ₂	5.4	5.4	5.3
k ₃	5.0	5.5	6.4
R	0.9	0.1	1.1
最优水平	480	3	60
影响因子	压余长度>挤压温度>挤压速度		
最优组合	挤压温度为 480℃,挤压速度为 3 m/min,压余长度为 60 mm		

3 分析与讨论

3.1 环状条纹检测分析

铸锭表层主要为氧化皮、偏析瘤等,表面的污物主要是铸锭在铸造、机加工和转运存储过程中引入的油污和灰尘,这些金属和非金属杂质在挤压后期进入制品内部形成缺陷^[3]。根据图 1 和图 2,切尾长度短的部位试样环状条纹明显,断口组织能够看到夹杂物质。随着切尾长度加长,环状条纹明暗分界区域由逐渐变得模糊,这是由于越往前铸锭表层金属发生横向流动越少,圆棒主要为铸锭芯部金属,在挤压后期铸锭表层金属发生横向流动,逐渐进入到制品中,越往后内外层金属组织差异越明显,甚至会因为表面清理不干净将污物带入制品中。通过对比高倍和低倍组织发现,同一位置高倍组织没有明显组织区别的情况下,低倍试样宏观上还能够观察到较浅的环状条纹,这是因为低倍试验采用碱液进行腐蚀,细微的组织差异也会存在电化学反应差异。铝合金中各相和化合物腐蚀的顺序和程度不同,腐蚀后会放大试样的组织差异,能够通过肉眼进行分辨。除了含有夹杂物质的位置试样力学性能偏低以外,其余位置的力学性能相差不大,且均能满足标准要求,说明环状条纹对制品的强度没有影响。因此,在低倍试片上出现发亮的环状条纹,组织连续并未开裂,不认为是缺陷^[4],若制品后续用途仅考虑强度,不进行氧化处理作为外观件使用,可减少切尾长度,提高成品率。

3.2 挤压工艺对环状条纹长度影响

从表 4 可以看出,挤压工艺的 3 个因素中,压余长度和挤压温度对尾部环状条纹影响较大,其中压余长度影响最大,其次是挤压温度,挤压速度几乎无影响。压余长度越长环状条纹消失的长度越短,加长压余长度,

可缩短挤压紊流阶段,减少铸锭表层金属和表面污物进入制品之中,这是最直接有效减短环状条纹的措施。另外,挤压温度越低环状条纹的长度越短,这是因为挤压温度越高,铝合金的变形抗力就越小,金属流动性也就越好,金属与挤压筒和挤压垫的摩擦力相对变小,表层金属更容易流入芯部,环状条纹长度就会越长。挤压速度快慢仅对金属流动的快慢有影响,对金属之间内在的相对流动的差异没有太大影响,因此不是影响环状条纹长度的主要因素。

4 结 论

- (1)6061 合金铸锭不同切尾长度试验表明,切尾长度为 4 m 时,环状条纹高倍组织无差异,低倍组织仍存在肉眼可见的组织差异,此差异不影响组织的连续性,力学性能与其他部位没有差别且满足标准要求,若制品后续用途仅考虑强度,不进行氧化处理作为外观件使用,切尾长度可按 4 m 进行锯切。
- (2)压余长度对环状条纹长度影响最大,挤压温度影响次之,挤压速度对环状条纹几乎无影响,加大压余长度、适当降低挤压温度可减少环状条纹长度。

参 考 文 献

[1] GB/T 3246.2-2012,变形铝及铝合金制品组织检验方法(第 2 部分):低倍组织检验方法[S].
[2] 刘经树. 铝合金挤压制品环状条纹对制品性能的影响[J]. 铝加工, 2001, 24(2): 24-27.
[3] 吴俊峰. 2A12 铝合金棒环纹分析[J]. 热加工工艺, 2019, 48(1): 245-251.
[4] 刘静安, 单长智, 侯绎, 等. 铝合金材料主要缺陷与质量控制技术[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2014.

(编辑:栗万仲)

欢迎关注
“特种铸造”
微信公众号



- 微官网
- 微商城
- 本刊会议
- 收录动态
- 稿件系统

- 行业动态
- 铸造前沿
- 经典案例
- 铸造学堂
- 专利与发明

- 联系我们
- 免费推广
- 铸造职场
- 产品库
- 企业库