

纯铝累积叠轧焊连接机理及力学性能

Bonding Mechanism and Mechanical Properties of Pure Aluminum
by Accumulative Roll-Bonded Welding Process

北京航空制造工程研究所 王耀奇 侯红亮
北京科技大学 黄重国 任学平

[摘要] 对退火态 L2 纯铝在室温条件下进行了 10 道次的累积叠轧焊试验, 利用光学显微镜观察叠轧道次对连接界面的影响, 并利用室温拉伸试验与显微硬度试验研究叠轧道次对其力学性能的影响。研究表明: 随着叠轧道次的增加, 试样的连接效果越好, 其连接机理为 N.Bay 机理; 材料的强度与显微硬度随道次的增加显著提高, 但延伸率却急剧降低。第 10 道次材料的抗拉强度、屈服强度和延伸率分别为 190.44MPa、152.27MPa 和 4.73%。

关键词: L2 纯铝 累积叠轧焊 连接机理 力学性能

[ABSTRACT] The accumulative roll-bonded (ARBed) welding tests of annealed pure Al L2 are carried out for 10 cycles at room temperature. The effect of rolling cycle on bonding interface by optical microscope and the effect of rolling cycle on the mechanical properties in tensile tests at room temperature and by microhardness tests are investigated. The research shows that the effect of the sample is better and better with the increase of the rolling cycles. The bonding mechanism is N.Bay. The strength and microhardness of the material is improved obviously with the increase of the cycles, but the elongation drops sharply. The tensile strength, yield strength and elongation of the material after 10th cycle are 190.44MPa, 152.27MPa and 4.73%, respectively.

Keywords: L2 pure aluminum Accumulative roll-bonded welding Bonding mechanism Mechanical properties

细晶材料相对于传统粗晶材料具有高强度、高硬度、高疲劳寿命和高速、低温超塑性等优良性能, 近些年受到了国内外专家、学者的广泛关注^[1]。

累积叠轧焊是一种利用大塑性变形来细化组织、改善性能的方法, 可以用于连续生产大块薄板类超细

晶材料, 对于超细晶材料的显微组织和力学性能分析以及今后的工业化应用具有现实意义。在国外, Satito 等人已将此技术应用于纯铝、铝合金, 如 1100 纯铝、5083Al-Mg 合金、8011 铝合金、6061 铝合金和 IF 钢等, 并且成功制备出超细晶材料。与原始材料相比, 这些材料在组织和性能上都发生了较大的改变^[2-7]。在国内, 相关研究正处于初始阶段, 本文通过 L2 纯铝的累积叠轧焊试验, 利用光学显微镜和力学实验研究了叠轧过程的连接机制与叠轧道次对材料力学性能的影响。

1 试验

试验所选用的材料是退火态 L2 纯铝, 其化学成分为: 0.25%Fe, 0.20%Si, 0.01%Cu, 其余为 Al。采用 1mm 厚, 200mm×30mm 的平板试样, 累积叠轧焊试验过程如图 1 所示。试样表面经除脂和去氧化膜处理, 叠合并固定在一起, 在室温条件下进行轧制, 压下量为 50%, 轧制后将试样从中间剪断, 重复上面的过程, 共进行 10 道次的叠轧试验, 整个试验过程是在无润滑的条件下进行的。

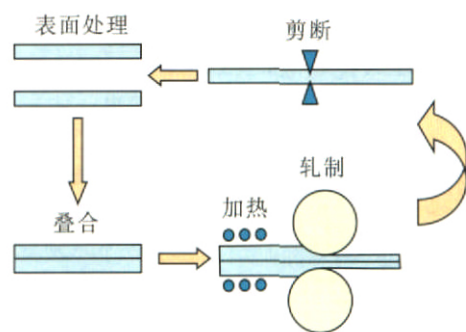


图 1 累积叠轧焊试验过程

Fig.1 ARBed welding experiment process

应用光学显微镜观察叠轧 0、2、4、6、8 和 10 道次试样的横截面, 研究叠轧道次对连接界面的影响; 应用 ZWICK100KN 电子万能材料试验机和 DMH-2 显微硬度计对累积叠轧试样进行室温拉伸试验和显微硬度试验, 研究其拉伸性能与显微硬度随叠轧道次的变化

情况。

2 结果与分析

2.1 连接机理

纯铝累积叠轧焊后,连接界面如图2所示。结果发现,叠轧后试样的中心都有一条连接线,这是最后一个道次轧制后留下的。随着道次的增加,试样表面的连接线增多,但是那些较早道次留下的连接线已经变得模糊不清了,说明连接效果越好,即使是最后一个道次,大部分也都已焊合,只有少部分区域留有未焊合的连接线。

累积叠轧焊是冷压焊的一种,现在关于冷压焊界面结合的理论较多,比如再结晶理论、金属键理论、能量理论、扩散理论和 N.Bay 机理^[8-13],前4种连接机理是从各自不同的角度提出的,具有一定的局限性。N.Bay 机理是由丹麦学者 N.Bay 提出的,他针对材料

表面氧化膜被去除后,一旦与空气接触,仍会不同程度地被氧化这一事实,提出了自己的机理。他认为固相结合可划分为4个阶段,分别是:

(a)在一定压力下,覆膜破裂;(b)表面扩展导致纯净基材显露;(c)法向压力将基材挤压入覆膜裂缝中;(d)两种金属的活性面在间隙中汇合并形成真实结合(图3)。

固相结合的本质在于压力使接触面接近至原子间距离,由于原子吸附而产生大量的结合点,目前很多学者倾向于 N.Bay 机理。

累积叠轧焊的结合机理为 N.Bay 机理。影响其结合效果的过程包括表面处理与轧制连接。

(1)表面处理。叠轧前结合表面的状况是结合的先决条件,覆膜若在压力下不破裂,则不能真实结合。通过除脂和去氧化膜处理,将韧而软的氧化膜转变成硬而脆的加工硬化层,以便在轧制过程中表层可以破裂,为结合提供准备。

(2)轧制连接。叠轧过程中的压下量是结合关键,适当的压下量可为结合提供足够的压力,保证覆膜可以破裂,并且基材金属进入裂缝中形成冶金结合。

为了提高叠轧连接强度,叠轧后可以进行扩散热处理,在一定的温度和保温条件下,通过元素的互扩散,在结合界面处形成一个扩散层,使结合界面由点连接转变成面连接。

2.2 力学性能

退火态 L2 纯铝叠轧后拉伸性能随轧制道次的变化如图4所示。结果表明,材料的抗拉强度和屈服强度随轧制道次的增加而增加。第1道次的增幅最大,由母材的75.2MPa和62.85MPa分别提高到149.18MPa和136.43MPa,随着轧制道次的增加,强度的增加逐渐趋于平缓,第10道次达到最大,分别是190.44MPa和152.27MPa。强度增加的同时,材料的延伸率在第1道次急剧下降,接近母材延伸率的5%,之后随道次的增加略有升高,第10道次为4.73%。

经过数道次累积叠轧焊试验后,材料的显微组织和结构发生了显著的变化,晶粒内部位错密度大幅度增加,出现各种形变亚结构,这是试验初期材料强度急剧增加、塑性大幅度降低的主要原因,但位错密度不能无限制增加,而是有一个饱和值的,并且纯铝是一种高层错能的金属,在形变过程中容易发生动态回

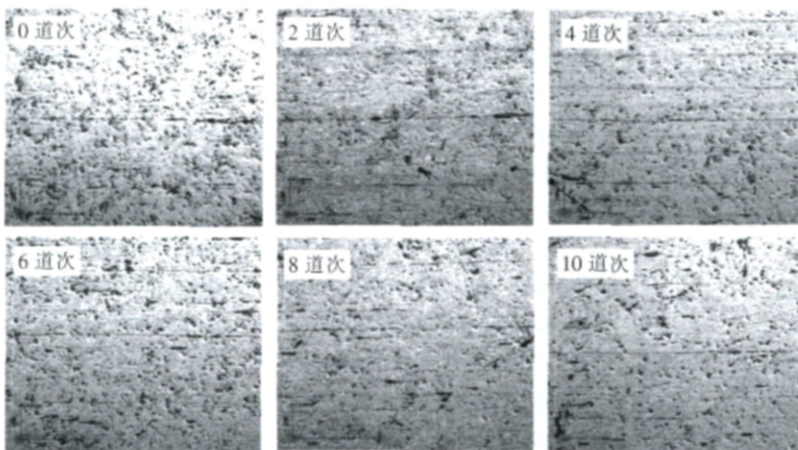


图2 纯铝累积叠轧焊连接界面

Fig.2 Bonding interface of pure aluminum ARBed welding

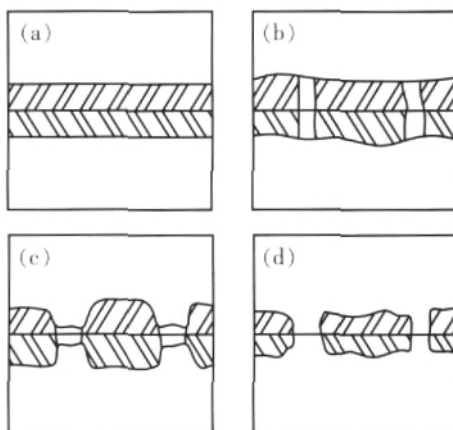


图3 N.Bay 连接机理

Fig.3 N.Bay bonding mechanism

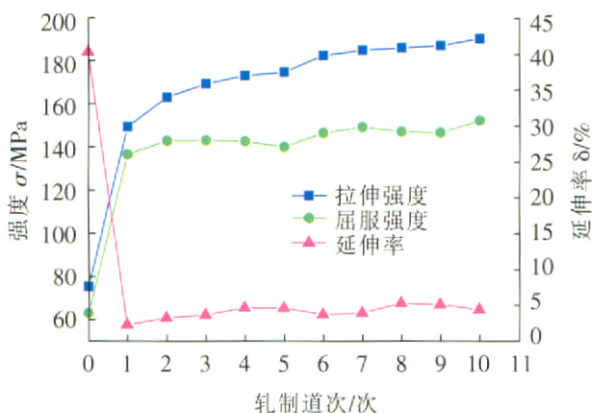


图4 拉伸性能随道次的变化

Fig.4 Changes in tensile properties with cycles

复,这在一定程度上抵消了位错密度的增加,因而在试验后期材料的强度取决于产生的亚晶及超细晶。

退火态 L2 纯铝经过 10 道次累积叠轧焊试验后,显微维氏硬度随道次的变化如图 5 所示,结果显示,材料的显微维氏硬度的变化与抗拉强度和屈服强度的变化相似,随着道次的增加而增加,第 1 道次的增幅最大,由母材的 25.7 增加到 42.3,第 10 道次的时候达到最大 49.3,是母材的 1.93 倍。

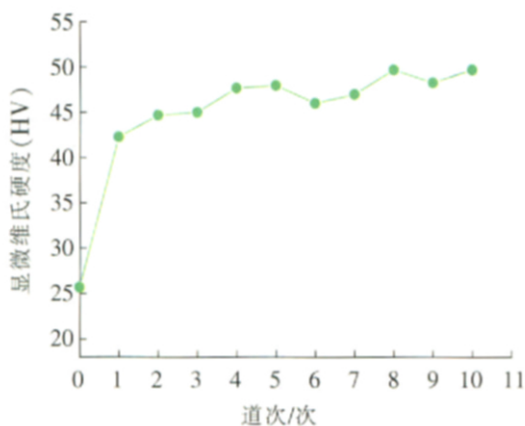


图5 显微维氏硬度随道次的变化

Fig.5 Changes in microhardness with cycles

随着轧制道次的增加,试样中累积的应变也逐渐增加,这是显微维氏硬度随道次增加的主要原因。此外,由于累积叠轧焊是在无润滑的条件下进行的,因此表面剪切力所产生的应变对总应变的增加有所贡献,对显微维氏硬度的增加也有一定的作用。

3 结论

(1) 累积叠轧焊的结合机理为 N.Bay 机理。表面

处理与轧制连接过程是决定结合成败的关键。

(2) 叠轧后材料强度随道次的增加而增加,10 道次后材料的抗拉强度与屈服强度分别为 190.44MPa 和 152.27MPa,这是由位错强化和细晶强化共同作用的结果;叠轧后延伸率却急剧下降,10 道次后达 4.73%。

(3) 叠轧后材料表面的显微维氏硬度的变化与强度相似,其硬度的增加是由叠轧过程中累积应变所致。

参 考 文 献

- [1] Mishra R S, Valiev R Z, Mukherjee A K. The observation of tensile superplasticity in nanocrystalline materials. *Nanostruct Mater*, 1997, (9): 473-476.
- [2] Xing Z P, Kang S B, Kim H W. Softening behavior of 8011alloy produced by accumulative roll bonding process. *Scripta Materialia*, 2001,(45): 597-604.
- [3] Y Saito, N Tsuji, H Utsunomiya, et al. Ultra-fine grained bulk aluminum produced by accumulative roll-bonding (ARB) process. *Scripta Materialia*, 1998, 39(9): 1 221~1 227.
- [4] N Tsuji, Y Saito, H Utsunomiya, et al. Ultra-fine grained bulk steel produced by accumulative roll-bonding (ARB) process. *Scripta Materialia*, 1999, 40(7): 795-800.
- [5] Seong-Hee Lee, Yoshihiro Saito, Tetsuo Sakai, et al. Fabrication and refinement of 6061 (P)/6063 aluminum Laminate by accumulative roll-bonding (ARB) process. *Materials Science Forum*, 2000, 331-337: 1 169-1 174.
- [6] N Tsuji, K Shiotsuki, H Utsunomiya, et al. Low temperature superplasticity of ultra-fine grained 5083 aluminum alloy produced by accumulative roll-bonding. *Materials Science Forum*, 1999, 304-306: 73-78.
- [7] N Tsuji, Y Saito, Y Ito, et al. Ultra-fine grained ferrous and aluminum alloys produced by accumulative roll-bonding. *The minerals, metals & Materials Society*, 2000: 207-218.
- [8] 丁旭光,张质良.双金属固相结合机理与研究趋势.锻压技术,1997,(4): 32-36.
- [9] 王立东,阮雪榆.双金属固相结合研究及其发展趋势.中国机械工程,1997,9(1): 106-107.
- [10] 李云涛,杜则裕,马成勇.金属冷压焊界面结合机理探讨.天津大学学报,2002,35(4): 516-520.
- [11] 亢世江,吕玉申,陆军芳.金属冷压焊结合机理的试验研究.机械工程学报,1999,35(2): 77-80.
- [12] 丁旭光,张质良.双金属成形的冷焊工艺与应用.金属成形工艺,1997,15(1): 46-50.
- [13] 陈翠欣,韩文祥,林成新.双金属冷压焊固相结合强度的分析和计算.金属成形工艺,2001,19(2): 8-9.

(责编 微凉)