

异步轧制对 3004 铝合金变形织构 及制耳率的影响^①

李 尧

(湖北工学院机械工程系, 武汉 430068)

摘 要 以 3004 铝合金为实验材料, 研究了异步轧制对该合金的变形织构以及相应的制耳率的影响。实验表明: 异步轧制和同步轧制板的主要变形织构是相同的, 均为纯铜型织构 $\{112\} < 111 > + \{213\} < 364 > + \{110\} < 112 >$, 但异步轧制产生的变形织构较同步轧制的强度高, 且随异步轧制速比的提高而增强。同时, 异步轧制的板材中还出现 $\{001\} < 110 >$ 织构。另外, 在相同压下率的情况下, 异步轧制板材的深冲制耳率均大于同步轧制的制耳率。

关键词 异步轧制 3004 铝合金 织构

异步轧制是在上、下工作辊线速度有差异的条件下进行轧制的一种轧制技术或方法^[1]。图 1 示出同步轧制和异步轧制时摩擦力分布。异步轧制时, 由于快速辊与慢速辊侧的中立点分别向出口和入口方向移动, 从而在变形区中

形成一个外力作用条件与应力状态都比较特殊的区域, 此区域位于两个中立点之间, 其上、下接触面的摩擦力方向相反, 形成了异步轧制所特有的“搓轧区”^[2]。由于搓轧区的存在, 造成了轧制过程变形特点和金属流动的特殊变

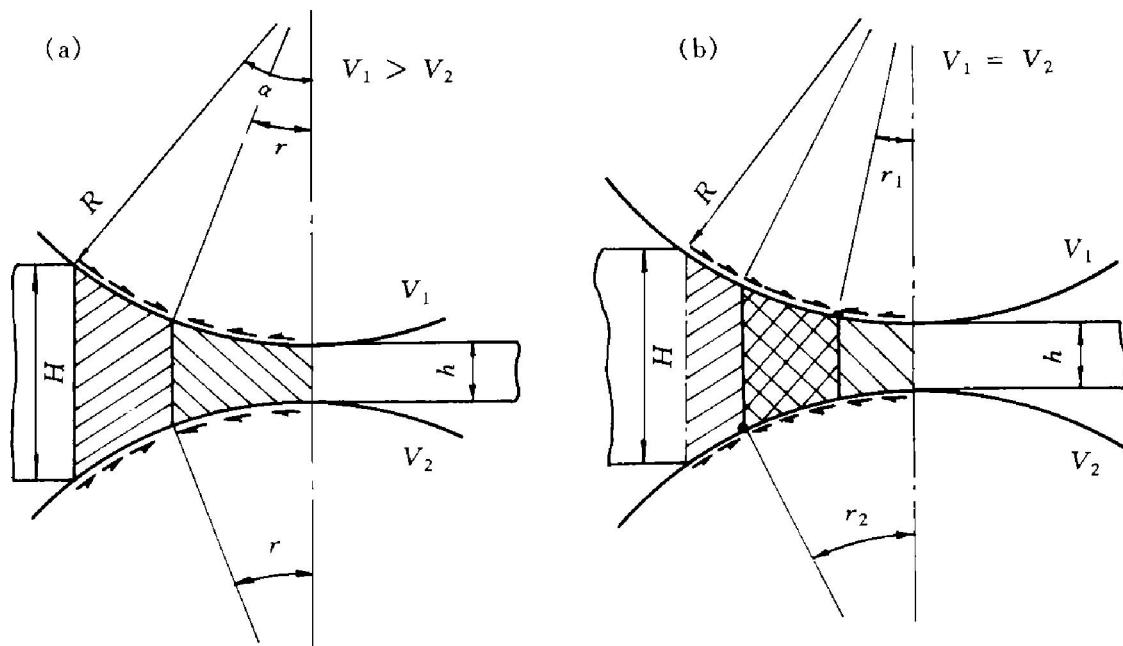


图 1 变形区的摩擦力分布

(a) —同步轧制; (b) —异步轧制

化。在搓轧区上、下表面,外摩擦力方向相反,减少了外摩擦所形成的水平压力对变形的阻碍作用。又由于方向相反的摩擦力,造成了搓轧区上、下表面金属流动速度不同,因而在变形区内引起剪切变形,导致了金属表面质量、金相组织、晶体位向和力学性能的变化^[3, 4]。本文以3004合金为实验对象,研究异步轧制对该合金的变形组织及其深冲制耳率的影响。

1 实验材料及方法

1.1 材料

材料为由东北轻合金加工厂提供的6.5 mm厚的3004铝合金热轧板坯,成分为: Mn 1.05, Mg 1.10, Si 0.23, Fe 0.35, Cu 0.19, Zn 0.09, Ti 0.03, 余量Al。

1.2 工艺及轧制方法

6.5 mm $\rightarrow$ 热轧至 2.0 mm $\rightarrow$ 盐浴炉退火 (560 $^{\circ}\text{C} \times 15\text{S}$) $\rightarrow$ 冷轧至 1.33 mm $\rightarrow$ 盐浴炉退火 (560 $^{\circ}\text{C} \times 15\text{S}$) $\rightarrow$ 冷轧至 0.34 mm (轧制速比分别为 1.00、1.17、1.28、1.39)

1.3 轧机和退火设备

(1) $d300\text{mm}$ 二辊实验轧机、轧制速度任意可调。

(2) ($d90\text{mm}/d200\text{mm}$) $\times 200\text{mm}$ 四辊轧机,且通过更换齿轮可实现异步轧制,轧制速比 i 可调整为 1.00、1.17、1.28、1.39。

(3) 退火热处理设备: 外热式盐浴炉,功率 30 kW, 型号 B-30。

1.4 冲杯试验

将 0.34 mm 厚的冷轧板坯冲成 $d138\text{mm}$ 的圆坯,再深拉成 $d85\text{mm}$ 的杯。制耳率计算为^[5, 6]: $e = (\text{凸峰的平均高度} - \text{凹谷的平均高度}) / \text{冲杯的平均高度} \times 100\%$ 。

1.5 组织的测算

采用三维取向分析术,即 ODF 分析。

在 D-MAX3AX 衍射仪上,用半自动织构测角仪进行测试,选 Cu 靶 K_{α} 标识 X 射线为 X 射线源,电压 40 kV, 电流 25 mA。

用 U-1200 计算机指挥测试且同时采集

{111}、{200}、{220} 三张不完整极图的数据, $\Delta\alpha = 5^{\circ}$, $\Delta\beta = 5^{\circ}$, 用背射法同心同步进行扫描,每步停留 2 s。用二步法计算无宏观统计对称的 ODF 图,并同时绘制 ODF 图。ODF 图以恒 ϕ 截面图表示。

2 结果及讨论

图 2 分别示出同步轧制和异步轧制板材织构的 ODF 图。从 ODF 图中可见,异步轧制时的变形织构和同步轧制的变形织构类型是相同的,均为纯铜型织构,主要织构为 {112} $\langle 111 \rangle$ 、{123} $\langle 364 \rangle$ 和 {110} $\langle 112 \rangle$ 。但异步轧制时,其变形织构的强度高于同步轧制的强度。其中 {112} [111] 织构是主要的。另外我们还可见到 (001) [UVW] 织构,在 ODF 图中具体在 $\theta = 0^{\circ}$ 、 $d + \phi = 30^{\circ}$ 或 60° 处可找到。根据国内外文献来看,目前还没有这方面的报道。这类织构在扭转变形中称为 C 组元 (001) [110]。对于同步轧制,从 ODF 图中 (图 2 (a)),可见 $\theta = 0^{\circ}$ 、 $d + \phi = 30^{\circ}$ 或 60° 处没有织构。因此, C 组元在同步轧制中是不出现的。

实际上,异步轧制可看作是由拉伸、压缩以及剪切变形的迭加而成,它可简化成如下变形模型,见图 3。同步轧制的变形模型可用图中虚线所示部分表示。因此异步轧制所产生的织构应是同步轧制产生的织构和纯剪切产生织构的迭加,这样异步轧制产生的织构,除了有同步轧制产生织构外,还多了一个由剪切变形产生的织构。

由于剪切产生的变形的对称性要比拉伸、压缩和轧制产生的少,因此它所产生的织构并没有很好的对称性。

根据文献 [7-10],剪切变形中除常见到的 {112} $\langle 110 \rangle$ 织构外,还出现 C 组元,这与我们的结果是一致的。纯剪切也是使金属发生塑性变形的一种应力状态。对于高层错能金属,在变形量较大时,仍能产生交滑移,而铜型织构正是交滑移的最终结果^[11]。同时由于剪切的作用,出现了 C 组元。这说明,在相同

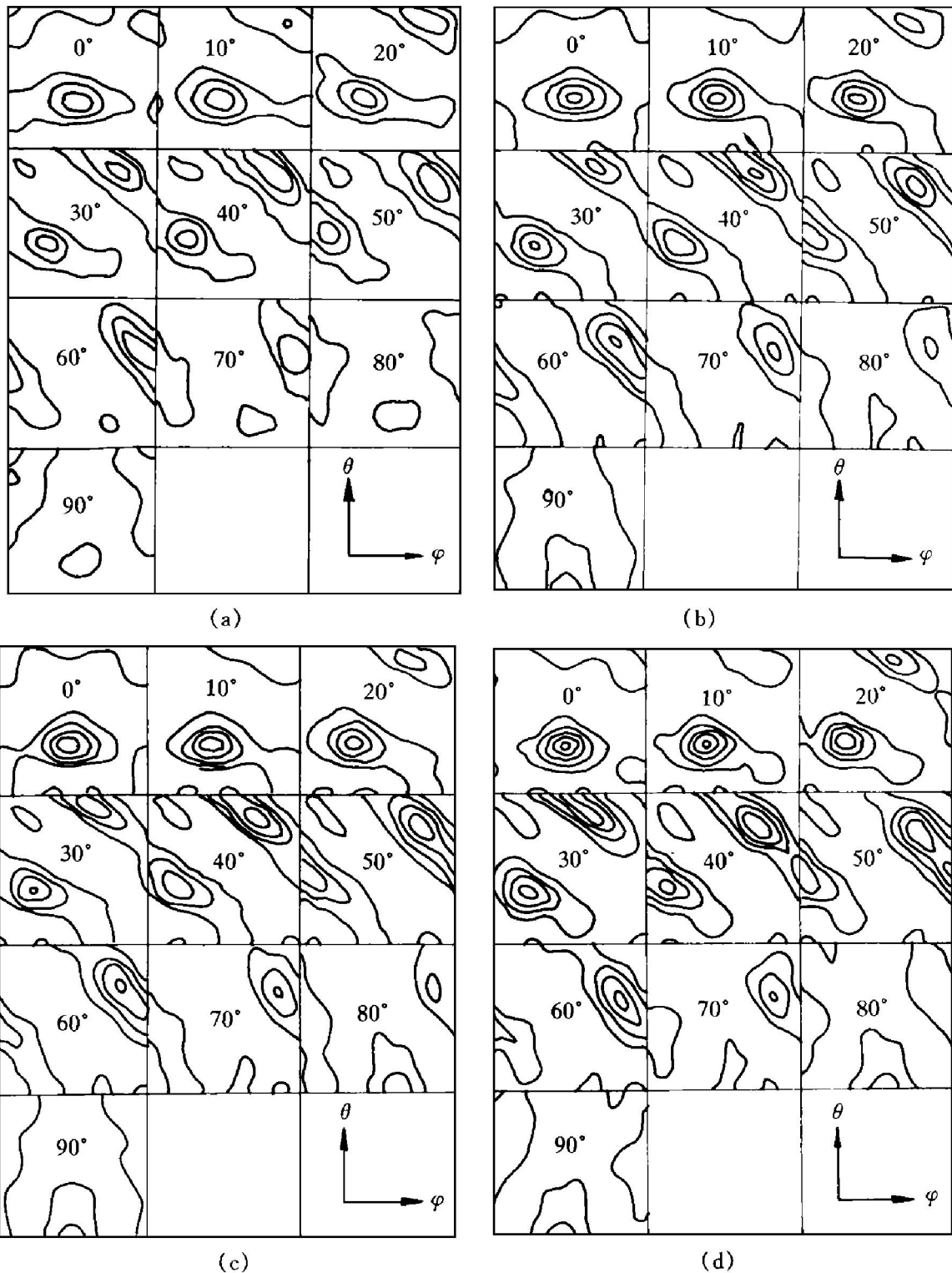


图2 冷轧 3004 合金的 ODF 图(强度等级 1, 3, 5, 7, 9, $\varepsilon = 74\%$)

(a) $-i = 1.00$; (b) $-i = 1.17$; (c) $-i = 1.28$; (d) $-i = 1.39$

的压下率,即几何变形相同时,异步轧制中的搓轧区激发更多的滑移系参与滑移和交滑移,引起的实际变形程度较同步轧制的高,造成铜型织构较同步轧制的织构强和 C 组元的出现。另外根据冲杯试验结果可证实这一点。异步轧制使 45° 制耳率上升。对于同步轧制,由于剪

切作用较弱,在 ODF 图中没有见到 C 组元。异步轧制压下率增加,除了铜型织构增强外, $\{001\} \langle 110 \rangle$ 也相对增加。另外可看到 $\{001\} \langle 110 \rangle$ 在整个变形织构中占的比重很小,这是由于异步轧制中由纯剪切所产生的变形占的比重很小的缘故。

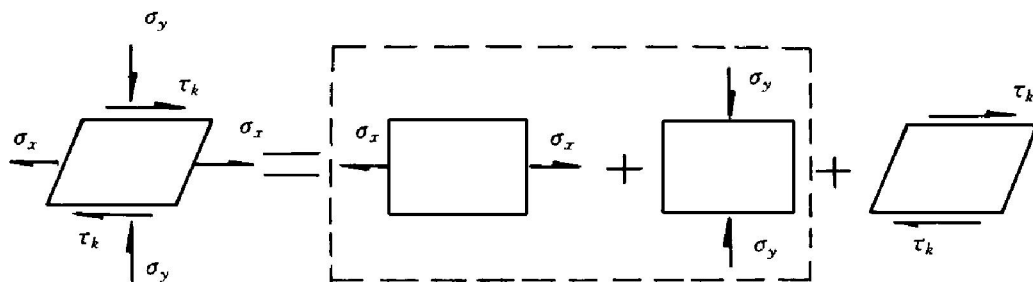


图3 异步轧制时搓轧区的受力状态简化模型

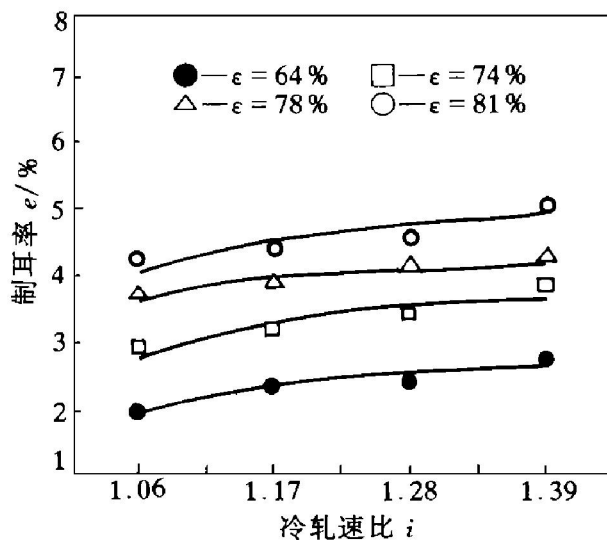
实际上,铜型织构增强,出现 $\{001\} < 110 >$ 织构,是相对于纯剪切意义上的转动,是异步轧制所特有的。山城太一^[12]等人也曾做过异步轧制Al和Cu的工作,他认为异步轧制金属的变形织构与同步轧制的没有区别。但根据我们的实验结果它们是有差异的,除了变形织构均为 $\{112\} < 111 > + \{213\} < 364 > + \{110\} < 112 >$ 纯铜型织构外,异步轧制中还出现 $\{001\} < 110 >$ 织构,而且纯铜型织构的强度也相应大些。这是由于异步轧制和同步轧制的受力状态的差异引起的织构演变的差异。

由于各织构的体积百分数的和应该不变,在 $\{112\} < 111 >$ 增加而且还出现 $\{001\} < 110 >$ 织构的情况下,必然伴随着别的织构相对减弱。仔细分析ODFs图可见到,异步轧制中的立方织构 $\{001\} < 100 >$ 较同步轧制弱。

如果对板坯进行换向异步轧制会出现什么情况呢?换向异步轧制使由剪应力产生的切应变方向反向, $\{001\} < 110 >$ 织构会消失吗?事实上,换向和单向异步轧制的结果相同。换向后,剪切应变发生反向,似乎剪切变形为零,回到了同步轧制的情况,但织构不反转,即织构发展是不可逆的。因此 $\{001\} < 110 >$ 织构并不消失,而且铜型织构也没有减弱。由此可见,通过对异步轧制的研究,看到织构发展的不可逆,至少对3004合金是如此。

3004合金轧制时出现了织构,将这种板材进行深冲时出现了与轧制方向成 45° 、 135° 、 225° 和 315° 方向的四个耳子,即制耳。冷轧压下率增加时,Cu型织构强度增加,制耳率 e 增大。无疑制耳率 e 的大小与变形织构强度相

关。相同的变形程度下,异步轧制的板材深冲时制耳率高于同步轧制的制耳率(见图4)。异步轧制的速比 i 增加,制耳率得到提高,其原因就是异步轧制合金板的变形织构较同步轧制板的强度高。因此,其深冲制耳率高于同步轧制的。

图4 冷轧速比 i 对制耳率 e 的影响

3 结论

(1) 异步轧制3004合金时织构仍为纯Cu型织构: $\{112\} < 111 > + \{213\} < 364 > + \{110\} < 112 >$ 。在同样的变形程度下,铜型织构的强度大于同步轧制的强度。ODF图上,在 $\theta = 0^\circ$, $d + \phi = 30^\circ$ 或 60° 处有一个组分(001)[110],类似于纯剪切或扭转中的C组元,同步轧制不出现该组元。

(2) 相同变形程度下, 异步轧制合金板的深冲制耳率高于同步轧制合金板的深冲制耳率。

参考文献

- 1 李 尧, 崔建忠, 马龙翔. 钢铁, 1990, 25(4): 41.
- 2 朱 泉. 钢铁, 1980, 15(6): 1.
- 3 潘大伟. 东北工学院学报, 1983, 2: 23.
- 4 林大为. 东北工学院学报, 1983, 2: 49.
- 5 Vanhoutte P. Mater Sci and Eng, 1987, 95: 115.
- 6 葛列里克(苏) S S 著. 全建民等(译). 金属和合金的再结晶. 北京: 机械工业出版社, 1985: 94.
- 7 Houe P, Aernoudt E, Sekine K. In: The Sixth International Conference on Textures of Materials, Sept 28/Oct 3, Tokyo, Japan, 1981: 337.
- 8 Montheillet F, Gilormini P, Jonas J. J Acta Metall, 1985, 33(4): 705.
- 9 Montheillet F, Cohen M, Jonas J. J Acta Metall, 1985, 32(11): 2077.
- 10 Rollett A D, Lowe T, Kocks U F *et al.* In: Kallend J S, Gotlstein G (ed). ICOTOM8, The Metallurgical Society, 1988: 473.
- 11 Richards T L, Pugh S F. J Inst Met, 1959–1960, 88: 399.
- 12 山城太一, 新谷定彦, 福田洋志. 塑性加工, 1984, 25(280): 375.

EFFECTS OF CROSS SHEAR ROLLING ON DEFORMATION TEXTURES AND DEEP DRAWING EARING OF 3004 ALUMINIUM ALLOY

Li Yao

*Department of Mechanical Engineering,
Hubei Institute of Technology, Wuhan 430068*

ABSTRACT Effects of cross shear rolling on the deformation textures and the deep drawing earing of 3004 aluminium alloy were studied. The experimental results showed the deformation texture is just copper type texture, $\{112\} \langle 111 \rangle + \{213\} \langle 364 \rangle + \{110\} \langle 112 \rangle$, in the symmetric or cross shear rolling. However the strength of the copper type texture in the cross shear rolling is stronger and increases with increasing speed ratio of the cross shear rolling, and C component, i. e. $\{001\} \langle 110 \rangle$, has appeared. Compared with the symmetric rolling, the cross shear rolling can result in the increasing of the deep drawing earing of the alloy sheet at the same rolling reduction.

Key Words cross shear rolling 3004 aluminium alloy texture

(编辑 朱忠国)