

AZ31 镁合金板材纵波轧制变形规律及边部损伤分析

贾睿^{1,2}, 刘江林^{1,2,3}, 张明泽¹, 王涛^{1,2,3}, 黄志权⁴, 郑仁辉^{1,2}

(1. 太原理工大学 机械与运载工程学院, 山西 太原 030024)

(2. 太原理工大学 先进金属复合材料成形技术与装备教育部工程研究中心, 山西 太原 030024)

(3. 金属成形技术与重型装备全国重点实验室, 山西 太原 030024)

(4. 太原科技大学 机械工程学院, 山西 太原 030024)

摘要: 纵波轧制+平辊轧制 (LFR) 是一种减轻镁合金轧制边裂的新型轧制工艺, 通过一道次纵波轧制+二道次平轧, 可有效减少镁合金板材边裂。为了进一步明晰 LFR 变形规律, 通过对比 AZ31 镁合金板材纵波轧制+平轧 (LFR) 及平轧+平轧 (FFR) 热-力耦合有限元虚拟轧制对比和物理实验, 分析了纵波轧制变形区金属变形规律及其对板材边部损伤的影响。结果表明: 纵波轧制形成了异形搓轧区, 板材各部位受到较大的三向剪切作用; 急速金属流动产生的塑性变形热避免了板材边部降温, 有利于提升塑性; 剪切及温度影响促使 LFR 板材形成混晶组织, 降低了波谷部位损伤, 进而有效抑制了镁合金板材边裂的产生及发展。

关键词: 镁合金; 纵波轧制; 有限元法; 应变; 金相组织; 损伤

中图分类号: TG339; TG146.22

文献标识码: A

文章编号: 1002-185X(2024)01-0197-07

轧制是生产镁合金板材的主要方法之一, 但由于镁合金材料本身和板材轧制边部应力状态等, 在轧制过程中极易出现边裂缺陷, 对其发展及推广应用造成极大阻碍。针对镁合金板材轧制过程中极易出现边裂的问题, 众多学者分别通过改变轧前轧辊和板材状态及形貌^[1-5]、轧制中板材和轧辊状态^[6-7]、道次间轧辊状态及形貌^[8-9]等方法不同程度地抑制了镁合金板材边裂的产生及发展。

有限元方法可以通过虚拟轧制直观反映轧制过程中材料的变形规律。Ji 等^[10]使用 DEFORM 建立了 AZ31 板材异步轧制模型并研究了其变形机理。发现异步轧制中剪切应变对等效应变贡献较大, 且对晶粒细化有较大作用。Wang 等^[11]采用有限元法建立了波纹轧制铜铝复合材料的三维仿真模型, 通过交叉剪切带、显微组织、应力三轴度等参数分析了整个轧制过程的变形规律, 得出波纹轧制拉剪作用更强, 从而提高复合材料的质量的结论。Ma 等^[12]提出了一种制造具有高强度和延展性的 AZ31 镁合金板材的非对称压下轧制方法。采用有限元法分析和论证了该轧制过程的变形机理。结合一系列实

验得出了非对称压下轧制可以在整个板厚方向引入较大的剪切应力, 促进动态再结晶的发生, 从而形成细小均匀的组织, 弱化织构, 显著提高了 AZ31 的力学性能的结论。Shen 等^[13]通过实验结合有限元模拟研究了异步轧制中剪切应力应变与微观组织的关系。得出以下结论: 织构减弱晶粒细化有助于提高轧制镁合金的成形性和强度。异步轧制可以使组织细化织构弱化, 且在其实验范围内速比越大织构越弱晶粒越细。Zhang 等^[14]通过建立热、力、损伤耦合有限元模型研究了镁合金板材轧制的温度、损伤、轧制力的影响。模型预测出压下量增加会使损伤值、轧制力增大, 温度降低, 并分析得出轧制损伤是孔洞发展、剪切变形及等效应变导致。Ning 等^[15]使用损伤判据建立了有限元模型并结合轧制实验, 观察了板材微观组织, 并将边裂预判与实际裂纹进行了对比。结果表明其预判模型准确预测了边裂的萌生, 并说明拉应力较大及孪晶易于导致裂纹出现。Zhi 等^[9]研究了多种交叉轧制及温度对镁合金裂纹及组织的影响。研究显示晶粒尺寸、孪晶及织构会显著影响边裂, 并且表明晶粒细化、孪晶减少、织构减弱抑制边裂作用显著。

收稿日期: 2023-01-03

基金项目: 国家重点研发计划 (2018YFA0707300); 国家自然科学基金 (52075359, 52075357); 山西省科技重大专项 (20181102011); 中国博士后科学基金 (2020M670710); 广西有色金属及特色材料加工重点实验室开放课题 (2022GXYSOF12)

作者简介: 贾睿, 男, 1998 年生, 硕士生, 太原理工大学机械与运载工程学院, 山西 太原 030024, E-mail: 1179870220@qq.com

纵波轧制是一种通过横向起皱抑制镁合金板材边裂的方法^[16]，改善了板材轧制过程中边部的应力状态。该方法一道次使用上下均为纵波的轧辊进行纵波轧制（longitudinal wave rolling, LR），上下轧辊的波峰与波谷相互咬合；随后二道次进行平轧（flat rolling, FR），将板材表面波纹轧平，如图 1 所示。此方法利用纵向波纹使波峰波谷金属流动分步进行，可显著减弱边部裂纹。为了探索此工艺过程中材料的形变规律，通过 AZ31 镁合金板材纵波轧制+平轧（LFR）和平轧+平轧（FFR）热-力耦合有限元模拟对比结合轧制实验分析纵波轧制变形区金属变形规律及其对板材边部损伤的影响，为 LFR 轧制镁合金板材提供理论支撑。

1 轧制模型的建立与验证

1.1 模型建立

镁合金轧制涉及大变形非线性热量传递等复杂问题。本研究建立了三维热力损伤耦合有限元模型，并做以下简化：（1）取沿板材 TD 方向的 1/2 进行仿真分析；（2）将轧辊视为刚体，但保留其热相关性能；（3）将镁合金板材视为各向同性弹塑性材料；（4）轧辊与板材之间采用库伦摩擦；（5）将板材缩短到 5 个变形区长度以缩小计算量。模拟轧制板材为 50 mm×30 mm×5 mm，网格尺寸为 0.2 mm×0.2 mm×0.2 mm，单元类型选用 C3D8RT。上下辊转速为 2 rad/s。建立的 1/2 模型如图 2 所示。



图 1 纵波轧制+平辊轧制示意图

Fig.1 Schematic diagram of longitudinal wave rolling+flat roll rolling

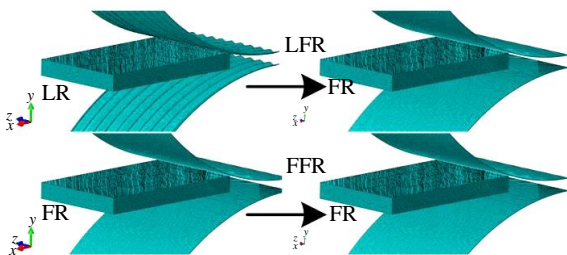


图 2 FFR 和 LFR 有限元模型图

Fig.2 Finite element model diagram of FFR and LFR

1.2 有限元模型验证

图 3a 以坐标云图展示了有限元 LR 板材和实际 LR 板材表面形貌。轧后板材沿 TD 方向起皱，有波峰、波谷、波腰 3 个特征位置。工作辊直径为 150 mm，LR 辊曲线参数与文献[17]一致。

实验采用商用 AZ31 镁合金板材，将购入的整块镁合金板材切割为 100 mm×60 mm×5 mm 的小板，打磨掉板材表面因切割而附着的物质，板材在轧制前经过 420 °C/12 h 氩气保护均匀化处理，处理后板材组织见图 4。随后在 Ar 气保护下的管式加热炉中 400 °C 下预热 20 min，然后 LR，待冷却后再次在 Ar 气保护下在管式加热炉中在 400 °C 下预热 20 min 并进行 FR。一二道次轧制压下率均为 27%。数据化处理得到的 LR 板材横截面数据与有限元模型的对比如图 3b 所示。有限元模型的结果略低于实测值，最大偏差小于 6.8%。

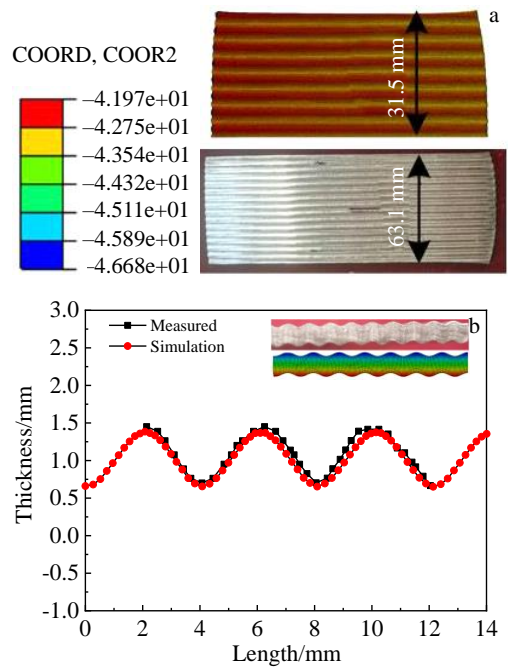


图 3 LR 模拟及实验轧制板材对比

Fig.3 Comparison of simulated and experimental LR sheet: (a) surface of sheet and (b) cross section of sheet

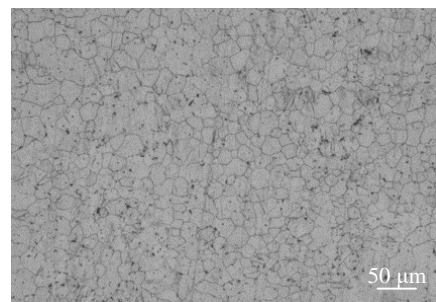


图 4 板材处理后的组织

Fig.4 Microstructure of sheet after treatment

2 结果与讨论

2.1 变形区正应力分析

LFR 轧制工艺具有显著的周期性，因此只研究 1 个周期表面波谷与波峰之间位置。如图 5 所示，根据板材与波纹辊接触状态的不同，LR 过程分为 3 个典型区域：波谷、波腰、波峰。每一次轧制过程首先由轧辊的波峰与板材相接触并逐步过渡到波腰，最后进行板材对轧辊波峰的填充。二道次 FR 轧制过程与其相反，首先压缩波峰并逐步过渡到波腰与波谷。

图 6 为 LR 变形区特征部位正应力分布情况。随着 LR 的进行轧辊首先接触波谷部位形成瞬间冲击致使波谷部位压应力增大，产生局部强正应力，此时波腰及波峰尚未接触轧辊应力值近乎为零，接着波腰部位逐渐产生正应力并缓慢增加，最后波峰部位接触轧辊并达到应力峰值；在变形区波谷部位正应力始终最大。

2.2 变形区剪切应力分析

搓轧区形成是异步轧制得以发展的原因之一^[18]。图 7 为搓轧区分析位置示意图，轧制区分为前滑区 (forward slip zone, FSZ)、后滑区 (back slip zone, BSZ) 和搓轧区，图 8a 为 1 位置，轧辊波峰与板材形成最大轧制区，

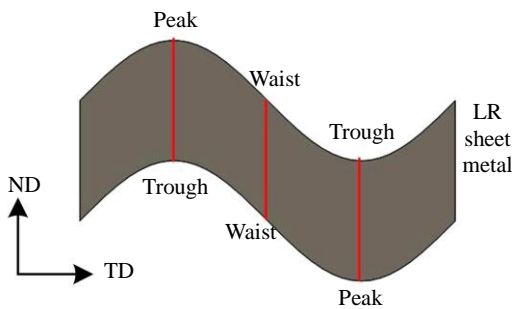


图 5 LR 特征部位对应示意图

Fig.5 Schematic diagram of LR characteristic locations

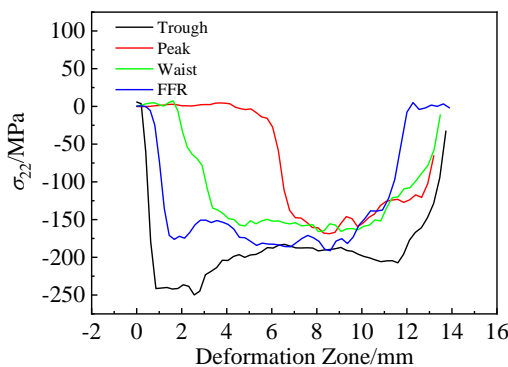


图 6 LR 和 FR 变形区表面正应力分布

Fig.6 Surface normal stress distribution in LR and FR deformation zones

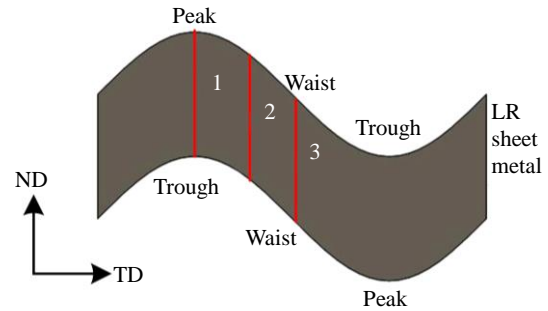


图 7 LR 交叉剪切带分析位置示意图

Fig.7 Diagram of the analysis location of LR cross shear band

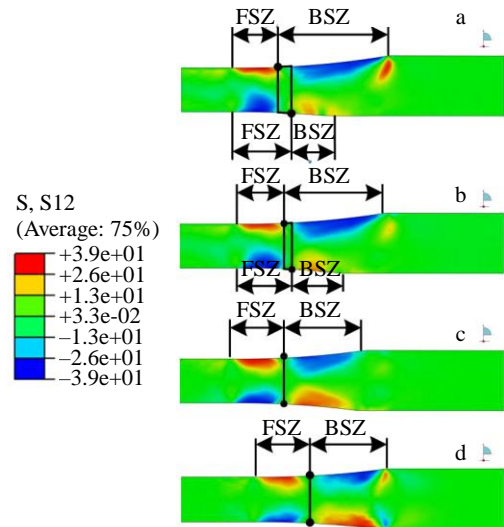


图 8 LR 与 FR 的交叉剪切带分布示意图

Fig.8 Cross shear band distribution diagrams of LR and FR: (a) LR peak trough position, (b) LR 1/2 wave waist position, (c) LR wave waist position, and (d) FR

而轧辊波谷与板材形成最小轧制区，从二维看形成了同速异径轧制，且此时异径比最大，形成最大的搓轧区^[19]；图 8b 在 2 位置，此时形成了异径比变小的同速异径轧制，其搓轧区较 1 位置的小；图 8c 在 3 位置，上下轧辊的波腰直径一致，因此无法形成搓轧区。相比之下，图 8d 为平辊轧制区示意图，与 LR 中波腰部位轧制形成的示意图近乎一致。此外通过提取摩擦应力上下表面的中性点位置发现波谷-波峰会形成如图 9a 所示的交错搓轧形貌。因此由搓轧区的变化构建出 LR 搓轧区形貌示意图如图 9b 所示。

2.3 变形区温度场及金属流动分析

镁合金比热容低，对轧制温度敏感^[20]。图 10a 显示 FR 板材由中部到边部的温度逐渐下降，越靠近边部降温越快，这是板材边部三向散热导致；LR 由中部到边部的温度反常上升，边部波峰的温度未正常下降，这是由

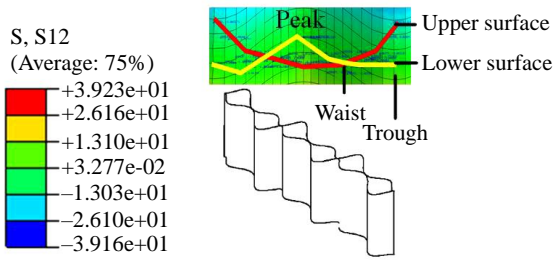


图 9 LR 变形区上下表面搓轧示意图

Fig.9 Rolling diagrams of upper and lower surfaces in LR deformation zone: (a) finite element model and (b) virtual build

于边部波峰未与轧辊良好接触导致，边部波峰的反常高温改变了边部低温状态，有利于减少边裂。此外由于 LR 分步轧制及较大变形，波谷部位温度较其它部位高。

图 10b 显示了 LFR 和 FFR 轧制温度变化过程，总体看 FFR 激冷效应较强，在平辊接触板材瞬间，板材温度垂直下降，而 LR 中板材的温降速率在逐渐减缓，且温降速率波谷>波腰>波峰，这是 LR 分步轧制导致，板材波谷优先接触轧辊，使波谷部位与其它部位瞬间形成

温差，其它部位的热量向波谷传递，使波谷的温降速率下降，此外波谷处塑性大变形产生大量变形热，在热传递与变形热的双重作用下，波谷温度逐渐超过其他部位温度；波腰温度在进入轧制前期下降较波谷缓慢，但由于与波谷的温差，会向波谷传递热量，导致轧制后期温降加快最终温度低于波谷部位；波峰部位由于最后轧制，向波腰波谷传递了部分热量且变形热较小导致其温度最低温降最快；在三者均稳定轧制时，波谷温度较向其他部位传递热量，最终 3 个部位的温度较平轧高。在二道次 FR 时，LR 板材波峰先被轧制，发生激冷效应^[21]，且发生大塑性变形，在波谷波腰传热及大变形热的作用下，波峰激冷效应减弱，接着波腰及波谷分别出现激冷效应，但波谷的减弱程度较低，这归因于波谷轧制前期无热补偿且变形热较少，而在轧制后期热传递以及变形热的作用下温度提高。

2.4 变形区金属流动分析

轧制中金属流动对于变形规律具有重要的影响。图 11a 中沿 ND 金属流动显示 LR 中越靠近边部波峰隆起度越小，FR 中边部与中部的高度无差别，图 11b 沿 TD 金属流动显示 LR 板材靠近中部位置没有向边部流动趋

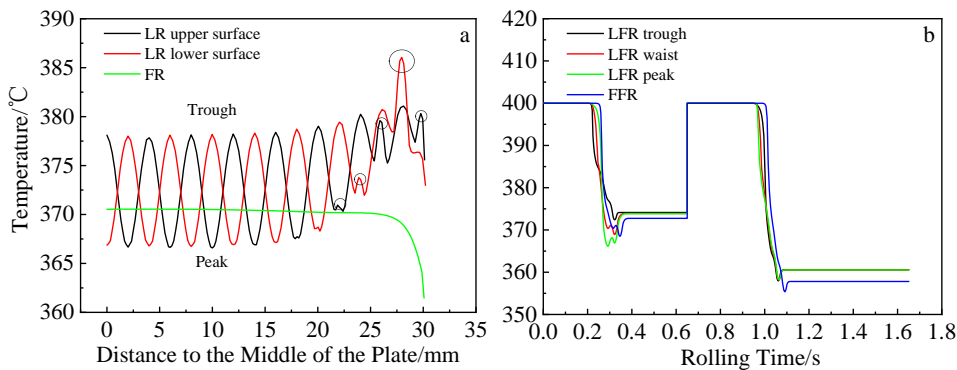


图 10 轧制温度对比

Fig.10 Comparison of rolling temperature: (a) temperature change on the neutral surface of LR and FR; (b) rolling temperature change on the characteristic parts of LFR and FFR

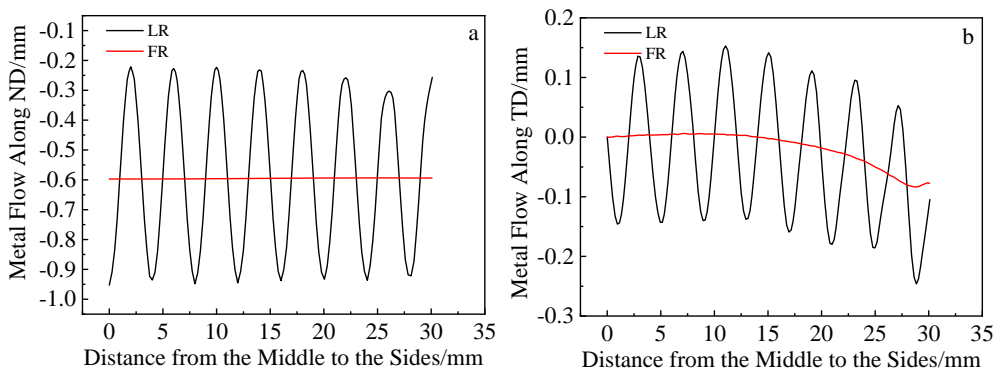


图 11 板材轧制过程的金属流动情况

Fig.11 Metal flow during sheet rolling along ND (a) and TD (b)

势,但在靠近边部位置金属向边部流动较强,导致隆起金属不足波峰无法完全接触轧辊,这种边部流动趋势与FR时TD金属流动情况相似。波峰隆起不仅减弱激冷效应而且导致剪切失利和流动减弱。

2.5 金相组织分析

剪切作用对于晶粒的破碎^[10]、动态再结晶、滑移系开启有极大贡献^[21-23]。由图12中可以看出,LFR在整个板材表面引发了三向剪切应变,其中LR的RD-ND应变波谷>平轧>波腰>波峰,这意味着LR波谷处搓轧效果远大于波峰处的。LR板材经FR使板材各部位发生“揉搓”,即先在前滑区将一道次产生的变形进行回复然后在后滑区使单元再次大变形;波峰波谷处揉搓作用较FFR明显。对于RD-TD应变,波腰部位最大,波谷部位次之,波峰部位最小;对于TD-ND应变,波腰部位最大,波谷部位次之,波峰部位最小;这2个方向的应变中波腰部位较波谷部位大2倍以上,远大于波峰部位及FFR板材。FFR除RD-ND向剪切应变外其它剪切应变近乎为0。另外波峰及波腰部位RD-ND应变主要发生于二道次FR阶段,波谷部位RD-ND应变在一二道次变化均较大。LR板材FR依然有较大剪切应变是由于LR板材特殊的表面形貌在FR强制引发了剪切应变。LR也开动了TD应变。波谷剪切效果最强,波腰剪切效果仅次于波谷,波峰剪切效果较差,FFR剪切效

果最差。

板材的微观组织对于裂纹的萌生扩展有较大影响^[24]。图12为LFR与FFR板材距边部15mm处的微观组织图。图中显示波谷部位动态再结晶充分,晶粒较细且较为均匀,近乎没有孪晶,波腰部位出现部分孪晶及较少大晶粒,波峰部位孪晶数量增多,大尺寸晶粒增多,组织颇不均匀;FFR组织极不均匀,粗大晶粒最多,孪晶数量较多。但FFR组织与LFR波峰组织相比晶粒尺寸更大,粗大晶粒更多,组织更不均匀,孪晶体积分数大。LFR较FFR有效细化了晶粒,在波谷-波峰形成细-粗的过渡组织。

2.6 边部裂纹

有限元模型可以有效预测边裂情况。本研究使用ABAQUS的孔洞模型^[25]预测边裂。图13a中显示LFR和FFR板材边部损伤均较中部大。LFR波峰部位损伤值较大,而波腰波谷部位损伤值极小。LFR和FFR板材边部较中部损伤大的原因是中部边部温差导致金属流动不同使边部存在附加拉应力^[26];但LFR波谷波峰金属流动差异导致波峰被赋予额外拉应力,两者叠加导致波峰的损伤较大。

当2种板材裂纹萌生后,LFR板材裂纹向中部扩展过程中在波腰波谷部位迅速遭遇无损伤防线极强的“拦截”,而FFR板材损伤值下降较漫长,相比之下对裂纹

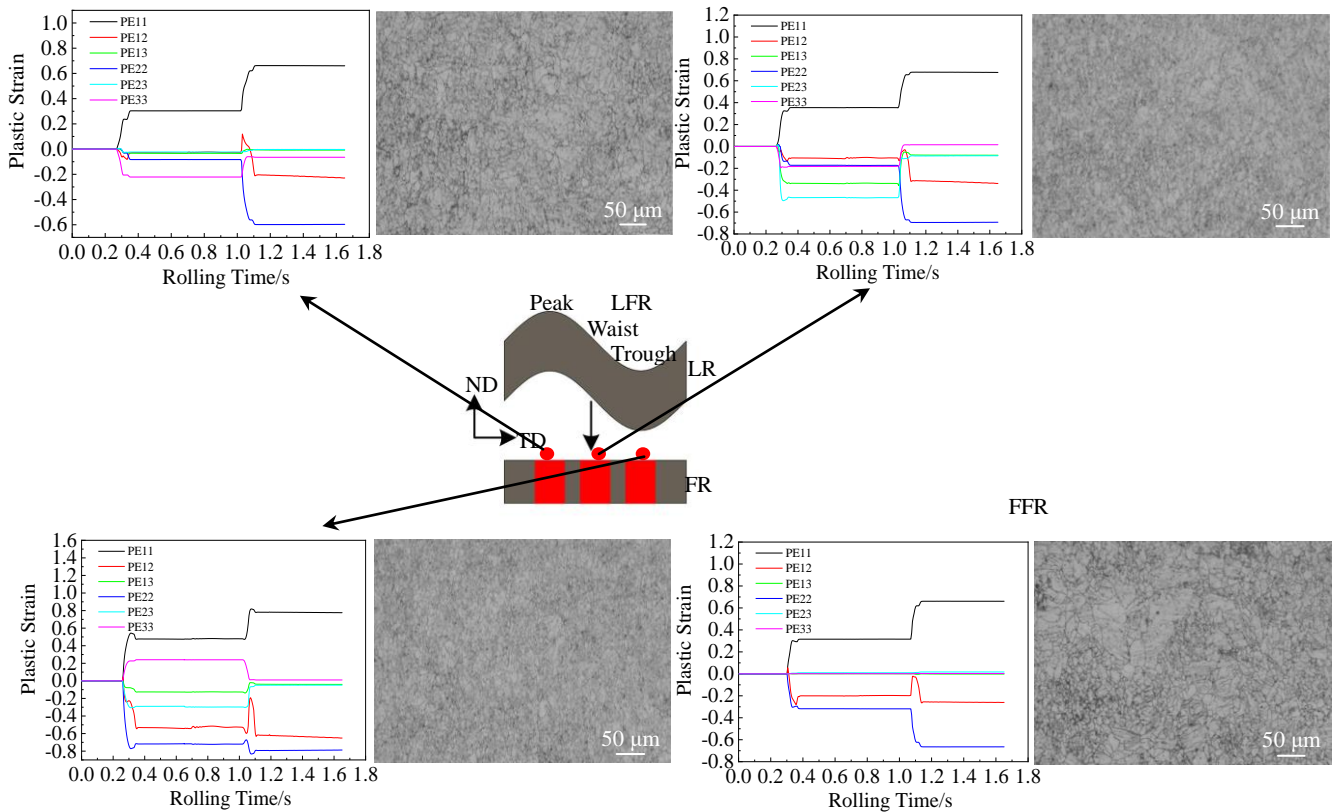


图 12 LFR 不同特征位置和 FFR 的应变及微观组织

Fig.12 Strains and microstructures of LFR at different characteristic positions and FFR

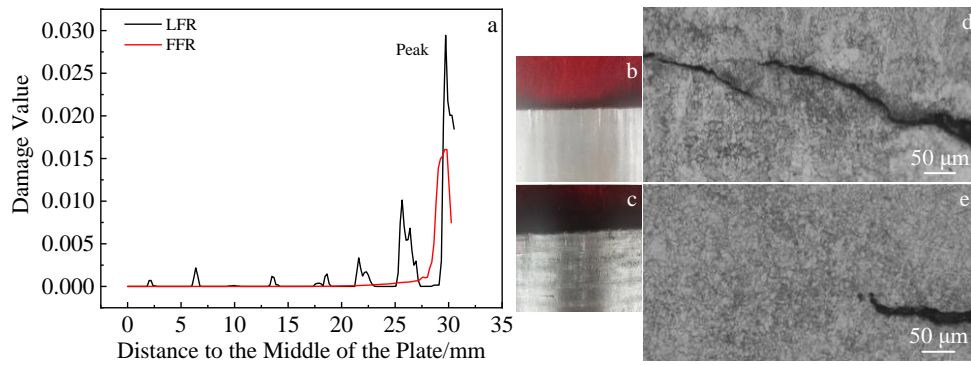


图 13 LFR 和 FFR 的损伤及边裂对比图

Fig.13 Damage and edge cracks of LFR and FFR: (a) simulated damage comparison, (b) FFR sheet edge cracking, (c) LFR sheet edge cracking, (d) FFR crack tip structure, and (e) LFR crack tip structure

扩展抑制较差,从而导致 LFR 板材裂纹较短,而 FFR 板材裂纹较长。此外,LR 由于波峰与邻近波谷距离较短,一般情况下无法精准保证边部均为同一部位,因此 LFR 板材裂纹出现与否与 LR 时的边部具体哪一个特征部位有较大关系。图 13b 和 13c 为 LFR 和 FFR 板材的边裂对比图,图中显示 FFR 板材的裂纹较多深度较大,而 LFR 板材裂纹数量少深度小;此外观察发现 LFR 裂纹均停止在天然印记附近,而该印记就是波谷部位。这与模拟损伤结果很好地达成一致。

裂纹附近的组织有利于分析边裂扩展及停止的原因。图 13d 和 13e 为 2 种轧制方式边部裂纹尖端组织图,图中显示裂纹附近多存在细晶组织,这是由于应力集中与变形能的释放引发的动态再结晶造成的^[27];LFR 裂纹尖端前方存在大量均匀细晶区域且存在极细晶,晶界数量的急剧增加对裂纹的扩展起到了较强的拦截作用^[28];但 FFR 板材裂纹尖端及附近组织较为不均匀且晶粒尺寸较大,对于裂纹的扩展更为有利。

综上所述,LFR 使各向剪切应变开启且不同特征部位各向剪切应变差异较大从而在板材中形成相对粗细过渡的梯度组织。波谷波腰部位由于各向剪切应变较大,轧制温度较高,动态再结晶较充分,在降低非基面滑移临界剪切应力的同时自身较大的剪切作用促进更多滑移系的启动,因此孪晶数量较少,晶粒较细;而波峰及 FFR 板材由于轧制温度相对低,剪切作用较差导致难以开启更多滑移系引发大量孪生启动协助 C 轴方向应变,动态再结晶不充分,粗大晶粒及孪晶数量多。波谷波腰组织细小且较均匀,波峰及 FFR 组织较不均匀且孪晶较多,晶界数量的增多^[9]及孪晶数量的减少可以有效抑制裂纹的萌生及扩展,不均匀组织及大量孪晶易于导致应力集中出现从而诱发裂纹的出现^[29-31]。因此 LFR 可以有效抑制边裂的萌生及扩展。

3 结 论

1) LR 在镁合金板材中形成特殊的搓轧区,其特殊的分步轧制方式使板材轧制温度相对于 FFR 有一定提升。LR 在轧制中引起较大的三向剪切变形,且 LR 板材的特殊表面形貌会在 FR 中再次引入三向剪切变形。

2) LFR 板材组织整体较 FFR 组织细,其中波谷及波腰剪切应变及等效塑性应变较大,轧制温度相对高,导致这 2 个部位的晶粒细小且较均匀,孪晶数量较少。

3) LFR 较 FFR 具有显著的边裂抑制作用。板材边裂数量少深度小,裂纹统一停止在波谷附近位置处,这归因于波谷附近的均匀细晶组织对于裂纹的扩展起到了较强的抑制作用。

参考文献 References

- [1] Kim S J, Kim D, Lee Y S *et al.* *Metals and Materials International*[J], 2015, 21(4): 719
- [2] Wang H Y, Yu Z P, Zhang L *et al.* *Scientific Reports*[J], 2015, 5(1): 1
- [3] Tian J, Lu H H, Zhang W G *et al.* *Journal of Magnesium and Alloys*[J], 2022, 10(8): 2193
- [4] Huang Z Q, Huang Q X, Wei J C *et al.* *Journal of Materials Processing Technology*[J], 2017, 246: 85
- [5] Kim W J, Park J D, Wang J Y *et al.* *Scripta Materialia*[J], 2007, 57(8): 755
- [6] Liu Q, Feng B, Yang H *et al.* *Journal of Materials Research and Technology*[J], 2022, 19: 5037
- [7] Kuang J, Li X H, Zhang R K *et al.* *Materials & Design*[J], 2016, 100: 204
- [8] Ding Y P, Le Q C, Zhang Z Q *et al.* *Journal of Materials Processing Technology*[J], 2013, 213(12): 2101
- [9] Zhi C C, Ma L F, Huang Q X *et al.* *Journal of Materials Processing Technology*[J], 2018, 255: 333

- [10] Ji Y H, Park J J, Kim W J. *Materials Science and Engineering A*[J], 2007, 454: 570
- [11] Wang T, Liu W L, Liu Y M *et al.* *Journal of Materials Processing Technology*[J], 2021, 295: 117157
- [12] Ma R, Wang L, Wang Y N *et al.* *Materials Science and Engineering A*[J], 2015, 638: 190
- [13] Shen Y T, Ou X R, Chen Z J. *Materials Science Forum*[J], 2015, 816: 433
- [14] Zhang D F, Dai Q W, Lin F *et al.* *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*[J], 2011, 21(5): 1112
- [15] Ning F K, Jia W T, Hou J *et al.* *Materials Research Express*[J], 2018, 5(5): 056528
- [16] Wang Tao(王涛), Liu Jianglin(刘江林), Qi Yanyang(齐艳阳) *et al.* *Chinese Patent*(中国专利), CN109909303B[P], 2019
- [17] Liu Z B, Wang X Y, Liu M S *et al.* *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*[J], 2020, 32(8): 2598
- [18] Aboutorabi A, Assempour A, Afrasiab H. *International Journal of Mechanical Sciences*[J], 2016, 105: 11
- [19] Luo Dexing(罗德兴), Chen Qi'an(陈其安), Liu Liwen(刘立文). *Journal of Iron and Steel Research*(钢铁研究学报)[J], 2004, 16(1): 40
- [20] Jia W T, Le Q C. *Materials & Design*[J], 2017, 121: 288
- [21] Ding Yunpeng(丁云鹏), Zhu Qiang(朱强), Ma Qingwu(马庆武) *et al.* *Rare Metal Materials and Engineering*(稀有金属材料与工程)[J], 2017, 46(3): 722
- [22] Zhang T, Li L, Lu S H *et al.* *Journal of Computational Science*[J], 2018, 29: 142
- [23] Tamimi S, Gracio J J, Lopes A B *et al.* *Journal of Manufacturing Processes*[J], 2018, 31: 583
- [24] Chen L J, Jing Q L, Li H. *Applied Mechanics and Materials*[J], 2015, 723: 914
- [25] Wang Xinyi(王心怡). *Research of Rolling Stress State and Edge Crack Damage of AZ31 Magnesium Alloy*(AZ31 镁合金轧制应力状态分析及边裂损伤研究)[D]. Taiyuan: Taiyuan University of Science and Technology, 2018
- [26] Pekguleryuz M, Celikin M, Hoseini M *et al.* *Journal of Alloys and Compounds*[J], 2012, 510(1): 15
- [27] Zhu B W, Liu X, Xie C *et al.* *Journal of Materials Science & Technology*[J], 2020, 50: 59
- [28] Liu Q, Song J F, Pan F S *et al.* *Metals*[J], 2018, 8(10): 860
- [29] Chen X H, Pan F S, Mao J J *et al.* *Journal of Materials Science*[J], 2012, 47(1): 514
- [30] Guo F, Zhang D F, Yang X S *et al.* *Materials Science and Engineering A*[J], 2014, 607: 383
- [31] Nazari-Onlaghi S, Sadeghi A, Karimpour M *et al.* *Materials Science and Engineering A*[J], 2021, 812: 14110

Analysis on Deformation Law and Edge Damage of AZ31 Magnesium Alloy Sheet in Longitudinal Wave Rolling

Jia Rui^{1,2}, Liu Jianglin^{1,2,3}, Zhang Mingze¹, Wang Tao^{1,2,3}, Huang Zhiquan⁴, Zheng Renhui^{1,2}

(1. College of Mechanical and Vehicle Engineering, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, China)

(2. Engineering Research Center of Advanced Metal Composite Forming Technology and Equipment, Ministry of Education, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, China)

(3. National Key Laboratory of Metal Forming Technology and Heavy Equipment, Taiyuan 030024, China)

(4. School of Mechanical Engineering, Taiyuan University of Science and Technology, Taiyuan 030024, China)

Abstract: Longitudinal wave rolling+flat roll rolling (LFR) is a new rolling process to reduce edge cracks and basal texture of magnesium alloy. This process can prepare magnesium alloy sheets with light edge cracks through one-pass longitudinal wave rolling+two-pass flat rolling. However, LFR process deformation law is obscure. In this research, the thermo-mechanical coupling finite element virtual rolling comparison and physical experiments of LFR and flat rolling+flat rolling (FFR) of AZ31 plate were conducted, and the metal deformation law in the longitudinal wave rolling deformation zone and its influence on the edge damage of the plate were analyzed. The results show that a special-shaped rolling area forms in the longitudinal wave rolling, which causes shear strain in different parts of the sheet. Furthermore, the temperature drop at the edge of the plate is avoided due to the plastic deformation heat generated by rapid metal flow, which is beneficial to improving the plasticity. The influence of shear strain and temperature promotes the formation of mixed microstructure of LFR sheet and reduces the damage of trough, effectively inhibiting the generation and development of edge crack of magnesium alloy sheet.

Key words: magnesium alloy; longitudinal wave rolling; finite element method; strain; metallographic organization; damage

Corresponding author: Liu Jianglin, Ph. D., Associate Professor, College of Mechanical and Vehicle Engineering, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, P. R. China, E-mail: liujianglin@tyut.edu.cn