

AZ31B 镁合金矫直过程中热力耦合模型下中性层偏移规律分析

王亚东¹, 刘翠荣¹, 马立峰², 李强³, 李玉贵¹, 桂海莲¹

(1. 太原科技大学 材料科学与工程学院, 山西 太原 030024)

(2. 太原科技大学 机械工程学院, 山西 太原 030024)

(3. 太原重型机械集团 技术中心, 山西 太原 030024)

摘要: 为了提高镁合金板材的矫直精度, 需要对镁板的中性层偏移规律进行分析。在室温下, 镁合金的塑性较差且拉压不对称性也较大。并且镁板在室温下矫直时, 压下量的控制不当会导致板材的矫直效果受到严重影响, 因此, 镁板常采用温矫的方法来提高矫直精度, 而且温度是影响镁板拉压不对称性的重要因素。本研究基于 CaBa2004 拉压不对称性屈服准则, 利用弹塑性力学的基本理论, 推导了 AZ31B 镁板在矫直过程中中性层偏移量计算公式, 运用 ABAQUS 有限元软件建立了热力耦合矫直模型, 得出了不同温度下的中性层偏移规律, 并利用实验对中性层偏移理论进行实验验证。

关键词: AZ31B; 矫直; 温度; 拉压不对称性; 热力耦合; 中性层偏移

中图分类号: TG146.22

文献标识码: A

文章编号: 1002-185X(2021)12-4395-07

镁合金作为目前最轻的金属材料之一, 具有强度高、散热好、易冲击等优点, 常用于航空航天、汽车、计算机、通讯等领域^[1-3]。镁合金板材在轧制或挤压等塑性变形中及运输过程中由于各种因素造成了板型缺陷, 常见的板型缺陷有边浪、瓢曲、镰刀弯, 为了消除这些板型缺陷, 矫直工艺在材料成型中显得尤为重要。但镁合金在室温下, 滑移系较少, 镁合金在室温下成型较差这一特性严重限制了镁合金的广泛应用^[4,5]。因此, 镁合金板材在矫直时, 将镁板的二次加热作为研究重点, 对镁板加热后矫直的中性层偏移规律研究显得尤为迫切。

目前, 关于镁合金矫直的合理温度的报道研究较少, 参考镁合金轧制中的温度, 文献[6]研究表明, 当温度较低时, 镁板会发生应力集中现象, 从而引起镁板发生边裂现象, 当温度过高时, 镁板的热脆性增强。Pan 等^[7]对 4 mm 的 AZ31B 镁合金薄板进行在线加热连轧, 结果表明, 当轧制温度大于 290 °C 时, 肉眼观察无裂纹产生。江海涛等^[8]研究发现当轧制温度在 250~300 °C 时镁板的塑性较差, 轧制温度在 350~400 °C 时加工时出现混晶组织。综合镁板的轧制温度以及镁板矫直的变形特点, 将所研究镁板的矫直温度定义在 150~200 °C 之间。

对于镁合金中性层的偏移上, 王利飞^[9]系统阐述了各个因素对镁合金中性层偏移的影响, 分析认为镁合金的在弯曲过程中拉伸和压缩变形机制的不同造成了镁合金的拉压不对称, 并随着温度的不断升高, 变形机制的变化导致拉压不对称性逐渐减弱, 中性层偏移也呈现出不同的变化。李甲骥等^[10]分析了弯曲时在不同的织构下, 塑性变形机制的不同导致了拉压不对称性的差异从而影响了中性层的偏移。上述学者通过阐述镁合金的塑性变形机制, 对镁合金的中性层偏移有了进一步的认识, 得出了拉压不对称性是影响镁合金中性层偏移的重要因素, 温度影响镁板的拉压不对称性。因此, 在辊式矫直中, 为了提高镁合金的矫直工艺, 探索不同温度下中性层偏移量的大小显得尤为重要。基于镁合金拉压不对称这一特殊性, 众多研究学者为体现拉压不对称性开发研究了众多宏观本构模型, 目前对拉压不对称性的模型主要分为 2 大类^[11], 其一为通过加入第三偏应力张量不变量来反映拉压不对称性的 CaBa2004 屈服准则; 其二为引入拉压不对称因子的 CPB06 系列屈服准则。

本研究以 RD 方向的 AZ31B 镁合金板为研究对

收稿日期: 2020-12-05

基金项目: 国家重点研发计划(2018YFA0707305, 2018YFB1307902); 山西省科技重大专项(20181102016); 国家自然科学基金(51675362)

作者简介: 王亚东, 男, 1993 年生, 硕士生, 太原科技大学材料科学与工程学院, 山西 太原 030024, 电话: 0315-2776763, E-mail: 1411491101@qq.com

象, 基于 CaBa2004 屈服准则, 根据弹塑性变形理论, 建立拉压不对称矫直模型, 推导了中性层偏移计算公式, 并且利用有限元模型建立热力耦合矫直模型, 得出不同温度下的中性层偏移规律。

1 理论分析

1.1 CaBa2004 拉压不对称屈服准则理论

CaBa2004 屈服准则在仅有第二偏应力张量不变量 J_2 的 Von Mises 屈服准则的基础上加入体现拉压不对称性的第三偏应力张量不变量 J_3 , 其中 CaBa2004 屈服准则的函数形式为^[11,12]:

$$f=(J_2)^{2/3}-cJ_3 \quad (1)$$

式(1)中 c 很好的体现镁合金这种hcp结构的拉压不对称性, 其表达式可以通过单轴拉伸和单轴压缩来说明。

$$c = \frac{3\sqrt{3}(\sigma_t^3 - \sigma_c^3)}{2(\sigma_t^3 + \sigma_c^3)} \quad (2)$$

式(2)中, σ_c 为压缩时的屈服应力, σ_t 为拉伸时的屈服应力。图1为不同温度下镁板拉伸压缩时的屈服应力。

1.2 AZ31B 镁合金板应力中性层偏移理论分析

AZ31B 镁板在矫直过程中, 单个矫直单元处的受力示意图如图2所示, 其中, F 为矫直辊施加的矫直力, 矫直速度方向施加 Z 方向约束, 速度反方向施加 Y 方向和 Z 方向的约束, 其中, 镁板的长为 L , 板宽为 b , 厚为 $2h$ 。

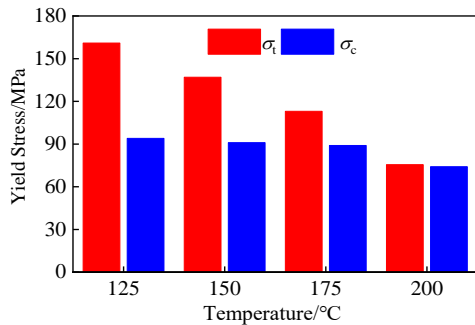


图1 不同温度下镁板拉伸压缩时的屈服应力

Fig.1 Yield stress of magnesium plate in tension and compression at different temperatures

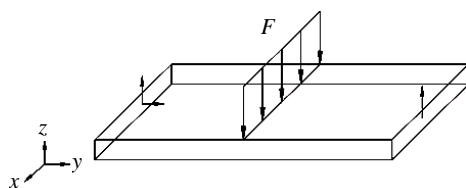


图2 镁板矫直单元受力图

Fig.2 Force diagram of magnesium plate straightening unit

为了简化计算过程, 做以下假设: (1)AZ31B 镁板发生塑性变形前后的体积不变; (2)镁板在发生塑性弯曲变形后, 横截面仍然保持为平面; (3)板宽上的变形忽略不计^[13,14]。

镁板的截面应力变形图如图3所示, 其中镁板的压缩区塑性应变区的应力为 σ_{y1} , 弹性高度为 y_1 , 拉伸区塑性应变区的应力为 σ_{y2} , 弹性高度为 y_2 , 其中, 中性层偏移量为 e , 并规定为压缩区偏移为“+”方向, 拉伸区偏移为“-”方向。

取主轴坐标系, 根据弹塑性力学理论, J_2 和 J_3 的形式为:

$$J_2 = \frac{1}{6}[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2] \quad (3)$$

$$J_3 = (\sigma_1 - \sigma_m)(\sigma_2 - \sigma_m)(\sigma_3 - \sigma_m) \quad (4)$$

式(3)、(4)中: σ_1 、 σ_2 、 σ_3 分别为3个主应力, σ_m 为静水压力。

在中厚板的矫直中, 可以近似为平面应变问题^[15],

因此, $\sigma_3 = 0$, $\sigma_m = \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2}$, 根据式(1) CaBa2004 平面应力屈服可写为:

$$f = \left[\frac{1}{3}(\sigma_1^2 - \sigma_1\sigma_2 + \sigma_2^2) \right]^{2/3} - \frac{c}{27} [2\sigma_1^3 + 2\sigma_2^3 - 3(\sigma_1 + \sigma_2)\sigma_1\sigma_2] \quad (5)$$

式(5)中, 当 $f < \sigma_s$ 时, 为弹性变形; 当 $f > \sigma_s$ 时, 为塑性变形。 σ_s 为屈服应力。

压缩区上表面点的主应力状态为: $\sigma_1 = \sigma_{y1}$, $\sigma_2 = 1/2(\sigma_1 + \sigma_3)$, $\sigma_3 = 0$, $\tau_{xy} = \tau_{xz} = \tau_{yz} = 0$ 。其中, σ_{s1} 为压缩塑性区的屈服应力, 当达到塑性变形时根据式(5)压缩区的屈服函数关系式为:

$$\left[\frac{1}{3} \left(2\sigma_{y1}^2 - \frac{1}{2}\sigma_{y1}^2 \right) \right]^{2/3} - \frac{c}{27} \left(\sigma_{y1}^2 - \frac{1}{4}\sigma_{y1}^3 \right) = \sigma_{s1} \quad (6)$$

$$\sigma_{y1} = G(\sigma_{s1}, c) \quad (7)$$

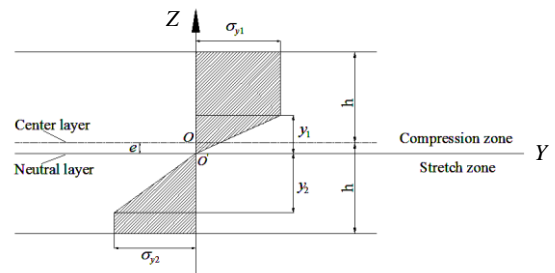


图3 镁板截面应力变形图

Fig.3 Deformation diagram of section stress of magnesium plate

拉伸区下表面的点的主应力状态为: $\sigma_1=\sigma_{y2}$, $\sigma_2=1/2(\sigma_1+\sigma_3)$, $\sigma_3=0$, $\tau_{xy}=\tau_{xz}=\tau_{yz}=0$ 。其中, σ_{s2} 为拉伸塑性区的屈服应力, 当达到塑性变形时, 拉伸区的屈服函数关系式为:

$$\left[\frac{1}{3} \left(2\sigma_{y2}^2 - \frac{1}{2}\sigma_{y2}^2 \right) \right]^{2/3} - \frac{c}{27} \left(\sigma_{y2}^2 - \frac{1}{4}\sigma_{y2}^3 \right) = \sigma_{s2} \quad (8)$$

$$\sigma_{y2} = H(\sigma_{s2}, c) \quad (9)$$

上式中拉伸区压缩区的屈服应力 σ_{s1} 、 σ_{s2} 是定值, 参数 c 为与温度相关的常数。

令 $\frac{\sigma_{y2}}{\sigma_{y1}} = N$, N 的计算是与 σ_c 、 σ_t 、温度有关的常数。

假设理想弹塑性镁合金板在受载发生弯曲变形时应力中性层偏移量为 e 。

$$\sum F_z = 0 \quad (10)$$

$$\sigma_{y1}(h+e-y_1) + \frac{1}{2}\sigma_{y1}y_1 = \sigma_{y2}(h-e-y_2) + \frac{1}{2}\sigma_{y2}y_2 \quad (11)$$

$$\sigma_{y1} \left(h+e-\frac{1}{2}y_1 \right) = \sigma_{y2} \left(h-e-\frac{1}{2}y_2 \right) \quad (12)$$

$$e = \frac{y_1 - Ny_2}{2(N+1)} + \frac{N-1}{N+1}h \quad (13)$$

令 $\frac{y_2}{y_1} = m$, m 为弹区比。

$$e = \frac{y_1(1-Nm)}{2(N+1)} + \frac{N-1}{N+1}h \quad (14)$$

式中, N 为常数。由式中可知, 测得拉伸压缩弹性区的高度, 即可得出中性层偏移量。

2 数值模拟

镁合金在热矫直过程中, 是属于典型的热力耦合过程, 热力耦合模拟过程是应力场与温度场 2 个物理场之间相互影响的过程, 因考虑到与实际的热矫直过

程中温度对变形的影响, 设置较为复杂, 需要对材料属性设置成与温度相关的参数, 且在预定义场要加入镁板的初始温度。因此, 建立准确的模型对模拟结果尤为重要。

2.1 几何模型的建立

利用 ABAQUS 有限元分析软件, 采用热力耦合的方法对镁合金板材进行建模, 建立的模型如图 4 所示, 取一个矫直单元为研究对象, 上辊分别赋予 1.75 和 2 mm 压下量, 其中矫直辊的辊径为 95 mm, 辊距为 100 mm, 镁板的尺寸为 200 mm×80 mm×6 mm, 矫直辊定义为可传热性刚体, 矫直件定义为可变形体。为防止镁板在矫直过程中出现滑动, 对板一侧施加 Y 方向和 Z 方向的约束, 另一侧施加 Z 方向约束。对矫直件进行 2 mm×4 mm×1 mm 网格划分, 在热力耦合下网格类型选择八结点热耦合六面体单元 (C3D8RT), 减缩积分, 沙漏控制。

2.2 镁板的材料属性

热力耦合模拟中, 对材料属性的设置需要设置成与温度相关的参数, 根据文献[16]材料的比热容和导热系数随温度的变化如图 5a、图 5c, 利用拉伸法测量出材料在不同温度下的弹性模量, 如图 5b 所示。

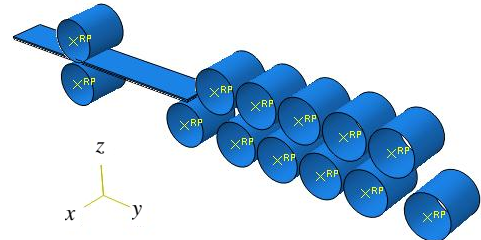


图 4 镁板辊系几何模型

Fig.4 Geometric model of roller system of magnesium plate

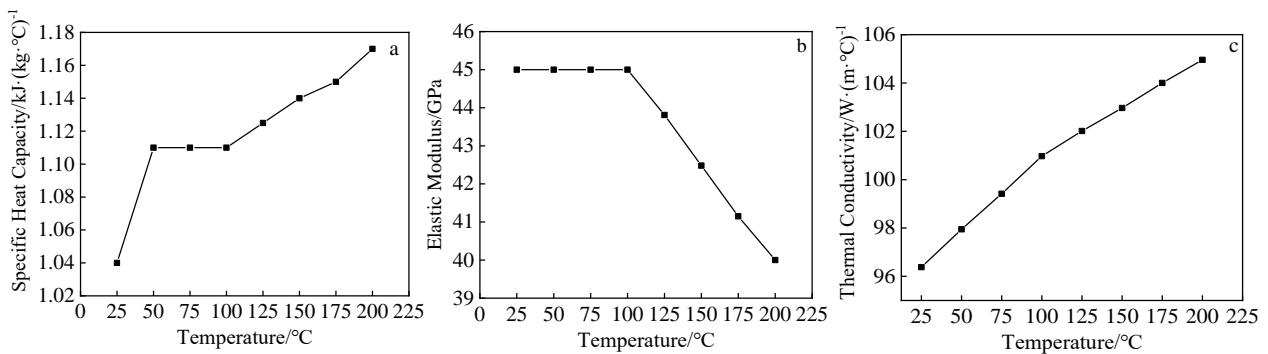


图 5 与温度相关的参数

Fig.5 Temperature-related parameters: (a) specific heat capacity, (b) elastic modulus, and (c) thermal conductivity

2.3 热边界条件设置

2.3.1 辐射换热

根据牛顿冷却定律和 Stefan-Boltzmann 定律，辐射换热系数为^[17,18]：

$$h_r = \varepsilon(\tau)\alpha(T + T_\infty)(T^2 + T_\infty^2) \quad (15)$$

其中辐射率可表示为：

$$\varepsilon(\tau) = \frac{T}{1000}(0.125\frac{T}{1000} - 0.38) + 1.1 \quad (16)$$

式中： α 为波尔兹曼系数， T 为矫直件温度； T_∞ 为环境温度； $\alpha=5.67 \times 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$ 。

2.3.2 热对流换热

矫直件与空气的对流，每个面不同，各面具体的对流系数计算公式为^[17,18]：

$$h_1 = 1.70(T - T_\infty)^{1/3} \quad (17)$$

$$h_2 = 1.13(T - T_\infty)^{1/3} \quad (18)$$

$$h_3 = 0.59\left(\frac{T - T_\infty}{12h}\right)^{1/5} \quad (19)$$

式中， h_1 为上表面对流换热系数， h_2 为下表面对流换热系数， h_3 为侧面对流换热系数， h 为板厚。

2.3.3 摩擦生热及塑性变形热

镁板由于在矫直过程为反复弯曲的过程，并发生弹塑性变形，从而产生了塑性变形热，矫直过程中产生的热量表达为^[17,18]：

$$Q = Mf \frac{\partial W^p}{\partial t} \quad (20)$$

式中， M 为热量转化效率， $\partial W^p/\partial t$ 为塑性功大小， f 为塑性变形发热转换为热能的百分比，对于金属材料 f 一般取 0.9^[17,18]。

矫直过程中的摩擦形成热所产生的热量可以通过以下公式计算：

$$q_{fr} = MF^{fr}v_r \quad (21)$$

式中， F^{fr} 为摩擦力，产生热量与摩擦力和压力有关， v_r 为镁板速度与矫直辊线速度之差的绝对值。

2.3.4 镁板与矫直辊的换热

矫直辊相对于矫直件而言，矫直辊的温度相对较低，现场实际生产环境条件多变，传热过程非常复杂。而接触换热系数的精度直接影响到计算温度场时的准确性，实际研究中采用的热传导系数也不尽相同，参考文献[17-19]将换热系数分为 2 类：低于 100 °C 和高于 100 °C 加以区分。低于 100 °C 时，系数为 1~11 kW/(m²·°C)，高于 100 °C 时，系数为 6~40 kW/(m²·°C)。

2.4 模拟结果与分析

在实际的矫直中，应力中性层和应变中性层数值上有较小的差别，可大致认为两者相等，图 6 和图 7 分别为不同压下量和不同温度下的应变云图。云图中深蓝部分为弹性变形区域，其它颜色为塑性变形区域。云图中以中性轴为 0 点，左右各有 4~5 个节点。

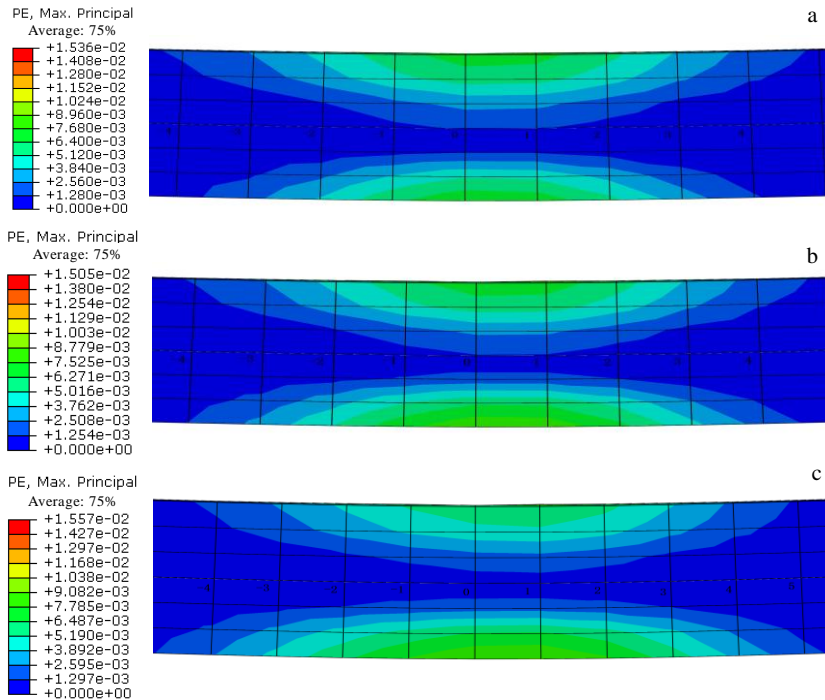


图 6 压下量为 1.75 mm、不同温度下的应变云图

Fig.6 Strain cloud diagrams under the reduction of 1.75 mm at different temperatures: (a) 150 °C, (b) 175 °C, and (c) 200 °C

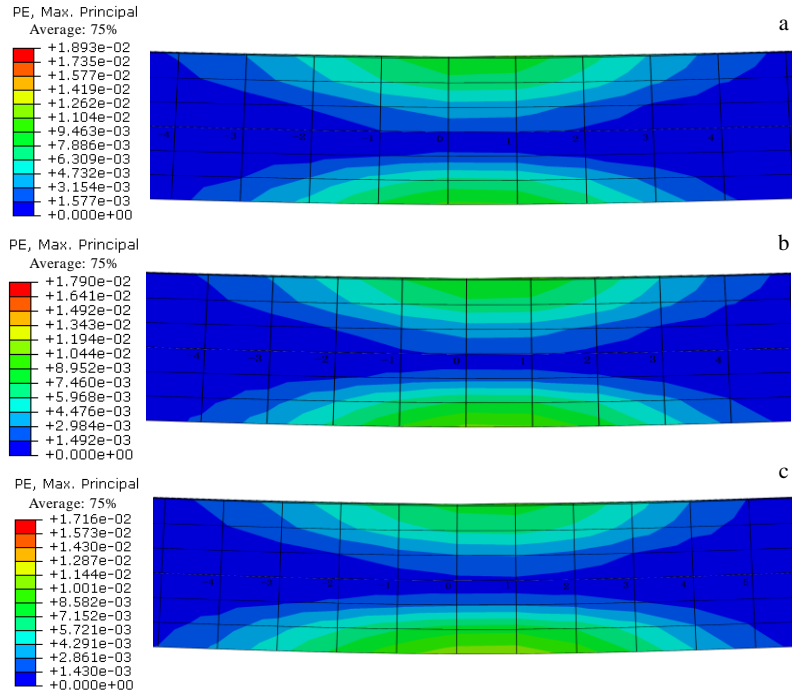


图 7 压下量为 2 mm、不同温度下的应变云图

Fig.7 Strain cloud diagrams under the reduction of 2 mm at different temperatures: (a) 150 °C, (b) 175 °C, and (c) 200 °C

不同压下量和不同温度下，各节点的理论值和模拟值的中性层偏移量如图 8 所示，中性层偏移曲线大致呈现“U”字型，同一压下量下，随着温度的升高，拉压不对称性逐渐减弱，中性层偏移有向内（压缩方

向）偏移的趋势。在靠近 0 坐标的左右处，中性层偏移量较大，这是由于此处的受力较大。其次，由于金属的流动性，造成 4 节点坐标和 5 节点坐标处的中性层偏移量较大。当镁板的初始温度为 200 °C 时，镁板

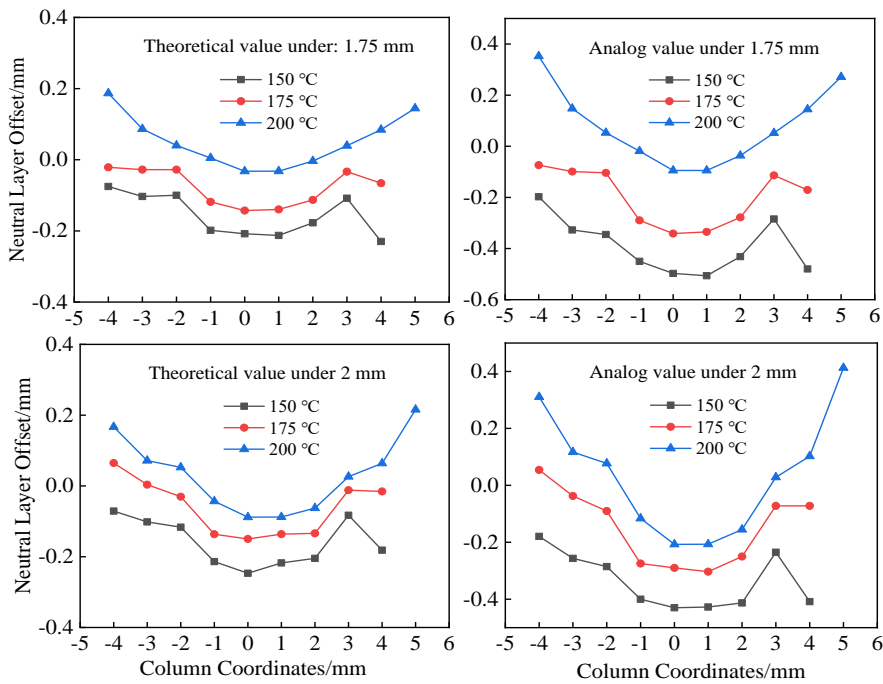


图 8 不同温度和不同压下量下各节点的中性层偏移量

Fig.8 Neutral layer offset of each node under different temperatures and different reductions

的拉压不对称性减小，-4、-3、-2 和 3、4、5 节点的中性层偏移量均向受力压缩方向偏移。由此可见，拉压不对称性是影响镁合金中性层偏移的重要因素。

3 实验

实验材料选择挤压态 AZ31B 镁合金，镁板尺寸为 330 mm×60 mm×6 mm，实验器材有金属划线笔、砂纸、WDW-E100 万能试验机、加热炉，实验前用砂纸将镁板侧面打磨处理，用金属划线笔划分 3 mm×1 mm 的网格。将镁板分别加热到 150、175、200 °C，分别置于万能试验机压头处，并于网格的中性线对齐，将镁板其下压 2 mm。将下压后的板材拍照处理，置于 CAD 中，将图片进行处理，如图 9 所示。

规定镁板纤维的拉伸为正应变，压缩为负应变。将 CAD 处理后的图片导入 Get Data 软件中，测出镁板的各列应变，镁板应变的实验数据如表 1 所示。

将应变值输入 origin 软件中，应变值如图 10 所示，将中性层附近值放大，可得出每一列的中性层应变值。如图 11 所示。

从图 11 中可以得出，中性层偏移向拉伸方向偏移。a 列的中性层偏移量为-0.175 mm，b 列的中性层偏移量为-0.231 mm，c 列的中性层偏移量为-0.236 mm，d 列的中性层偏移量为-0.164 mm，平均值为-0.202 mm。

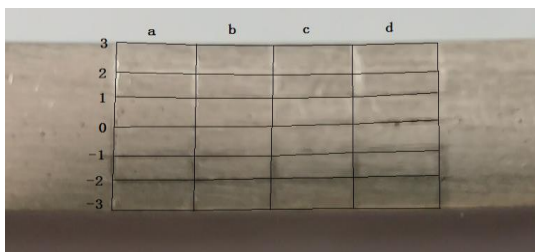


图 9 镁板下压后 CAD 处理网格图

Fig.9 CAD process mesh map of magnesium plate after pressing down

表 1 150 °C 下镁板的应变

Table 1 Strain of magnesium plate at 150 °C

Row	Line			
	a	b	c	d
3	-0.135	-0.111	-0.103	-0.147
2	-0.099	-0.076	-0.071	-0.112
1	-0.057	-0.044	-0.034	-0.064
0	-0.0087	-0.0098	-0.0088	-0.0096
-1	0.041	0.033	0.029	0.049
-2	0.087	0.075	0.064	0.092
-3	0.128	0.113	0.107	0.136

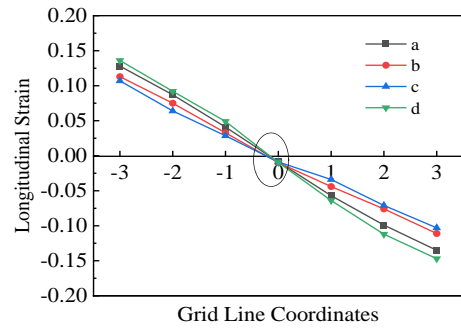


图 10 150 °C 下镁板的应变图

Fig.10 Strain diagram of magnesium plate at 150 °C

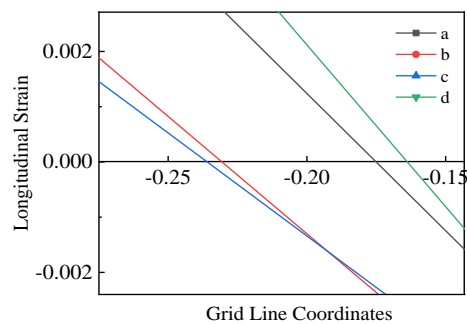


图 11 图 10 中局部放大图

Fig.11 Partial enlarged view in Fig.10

当压下量为 2 mm 时，通过图 8c 和 8d 各节点的中性层偏移量分别求出理论、模拟的平均值。不同温度下的理论、模拟、实验的平均值如表 2 所示。

从表中的数值可以得出，理论、模拟、实验数值上存在极小的差异，客观上也证明了镁合金中性层偏移理论的可用性。

表 2 中性层偏移量的理论、模拟、实验的平均值

Table 2 Average value of theory, analog and experiment of neutral layer offset

Temperature/°C	Theoretical value/mm	Analog value/mm	Experimental value/mm
150	-0.160	-0.337	-0.202
175	-0.061	-0.148	-0.090
200	0.031	0.036	0.023

4 结论

1) AZ31B 在热力耦合加载过程中，存在中性层偏移现象，随着温度的升高，拉压不对称性逐渐减弱，镁板的中性层偏移方向上发生了改变。

2) 利用弹塑性力学和拉压不对称性基本理论，推导的中性层偏移计算公式中，说明镁合金在矫直过程中中

性层偏移量不仅与板厚和弹区比有关,还与温度有着密切的联系,在优化镁合金的矫直工艺时应考虑板厚、矫直辊的压下量、镁合金板的温度对矫直效果的影响。

3) 利用有限元模拟分析了镁板的中性层偏移量,确定了不同温度下、不同压下量下中性层偏移的变化规律,并利用实验证实了镁合金中性层偏移理论的合理性,为镁板的矫直工艺的提高提供了理论基础。

参考文献 References

- [1] Aghion E, Bronfin B, Eliezer D. *Journal of Materials Processing Tech*[J], 2001, 117(3): 381
- [2] Liu Zhiyong(刘智勇), Jiang Xianquan(蒋显全), Mu Feng(穆锋) et al. *Light Metals*(轻金属)[J], 2008(12): 59
- [3] Ding Rui(丁睿), Cai Qingwu(蔡庆伍), Wei Songbo(魏松波). *Journal of University of Science and Technology Beijing*(北京科技大学学报)[J], 2008(3): 258
- [4] Song G S, Zhao Y Y, Yang C B et al. *Journal of Shenyang Aerospace University*[J], 2018, 35(3): 57
- [5] Liao Longhuan(廖龙欢), Zhao Dingzang(赵丁藏), Jiang Yuanyuan(江媛媛) et al. *Hot Working Technology*(热加工技术)[J], 2012, 41(22): 70
- [6] Behrens B A, Schmidt T I. *Journal of Materials Processing Technology*[J], 2007, 187(3): 761
- [7] Pan F S, Zeng B, Jiang B et al. *Journal of Alloys and Compounds*[J], 2017, 693: 414
- [8] Jiang Haitao(江海涛), Lu Chunjie(陆春洁), Duan Xiaoge(段晓鹤) et al. *Journal of University of Science and Technology Beijing*(北京科技大学学报)[J], 2012, 34(7): 808
- [9] Wang Lifai(王利飞). *Thesis for Doctorate*(博士论文)[D]. Chongqing: Chongqing University, 2015
- [10] Li Jiayi(李甲骥). *Thesis for Master*(硕士论文)[D]. Chongqing: Chongqing University, 2016
- [11] Li Feifan(李非凡), Lei Liping(雷丽萍), Fang Gang(方刚). *Journal of Plasticity Engineering*(塑性工程学报)[J], 2020, 27(1): 1
- [12] Cazacu O, Barlat F. *International Journal of Plasticity*[J], 2004, 20(11): 2027
- [13] Huang Q X, Gui H L, Li Y et al. *China Sciencepaper*[J], 2015, 10(10): 1178
- [14] Wang Jinwei(王金伟), Gui Hailian(桂海莲), Wang Xiaogang(王效岗) et al. *Machinery Design & Manufacture* (机械设计与制造)[J], 2013(10): 69
- [15] Gui Hailian(桂海莲), Huang Qingxue(黄庆学), Ma Lifeng(马立峰) et al. *Journal of Chongqing University*(重庆大学学报)[J], 2010, 33(5): 95
- [16] Li Yang(李洋), Ma Lifeng(马立峰), Jiang Zhengyi(姜正义) et al. *Rare Metal Materials and Engineering* (稀有金属材料与工程)[J], 2019, 48(7): 2185
- [17] Zhang Chunlin(张春林). *Thesis for Master*(硕士论文)[D]. Wuhan: Wuhan University of Science and Technology, 2010
- [18] Liu Lian(刘炼). *Thesis for Master*(硕士论文) [D]. Wuhan: Wuhan University of Science and Technology, 2013
- [19] Tseng A A, Tong S X, Raudensky M et al. *Steel Research*[J], 1996, 67(5): 188

Analysis of Neutral Layer Offset Laws of AZ31B Magnesium Alloy During Straightening Under Thermo-Mechanical Coupling Model

Wang Yadong¹, Liu Cuirong¹, Ma Lifeng², Li Qiang³, Li Yugui¹, Gui Hailian¹

(1. School of Materials Science and Engineering, Taiyuan University of Science and Technology, Taiyuan 030024, China)

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

(3. Technology Center, Taiyuan Heavy Industry Co., Ltd, Taiyuan 030024, China)

Abstract: To improve the straightening accuracy of magnesium alloy plates, the neutral layer offset law of magnesium plates was analyzed. At room temperature, the plasticity of magnesium alloy is poor and the tension-compression asymmetry is also large. And when the magnesium plate is straightened at room temperature, improper control of the amount of pressure will cause the straightening effect of the magnesium plate to be seriously affected. Therefore, temperature correction is often used to improve the straightening accuracy and the temperature is an important factor affecting the tension-compression asymmetry of magnesium plate. Based on the CaBa2004 tension-compression asymmetry yield criterion and the basic theory of elastoplastic mechanics, the formula for calculating the neutral layer offset in the straightening process of AZ31B magnesium plate was derived. A thermo-mechanical coupling straightening model was established by ABAQUS finite element software to derive the neutral layer offset law at different temperatures, and the neutral layer offset theory was verified by experiment.

Key words: AZ31B; straightening; temperature; tension-compression asymmetry; thermo-mechanical coupling; neutral layer offset

Corresponding author: Gui Hailian, Ph. D., Professor, School of Materials Science and Engineering, Taiyuan University of Science and Technology, Taiyuan 030024, P. R. China, Tel: 0086-315-2776763, E-mail: guihailian@tyust.edu.cn