

AZ80 镁合金热模拟压缩变形的实验研究

李艳辉¹, 李保成²

(1. 中北大学理学院, 山西 太原 030051; 2. 中北大学材料科学与工程学院, 山西 太原 030051)

摘要:采用 Gleeble-1500D 热模拟实验机, 对 AZ80 镁合金在 250℃~450℃ 之间, 应变速率为 0.001 s⁻¹、0.01 s⁻¹、0.1 s⁻¹、1 s⁻¹、5 s⁻¹ 进行热模拟压缩变形, 对试样宏观形貌与变形温度和应变速率进行了分析, 分析了流变应力与应变速度和温度的关系, 结果表明: AZ80 镁合金的压缩热变形属于动态再结晶型, 镁合金的变形抗力随着变形温度的上升而减小, 塑性随着变形温度的增加而有所提高。随变形温度的升高和应变速率的减小, 流变应力峰值向应变减小的方向移动, 同一变形速率下, 变形温度越高所对应的应力值越低。

关键词: AZ80 镁合金; 热模拟; 流变应力; 应变速率

Research on the Thermal Simulation Experiment of Compress Deformation of AZ80 Magnesium Alloy

Li Yanhui¹, Li Baocheng²

(1.School of Science, North University of China, Taiyuan 030051, China

2.School of Materials Science and Engineering, North University of China, Taiyuan 030051,China)

Abstract: By using the Gleeble-1500D simulation machine to compress the AZ80 magnesium alloy in order to produce simulation distortion during the temperature 250℃~450℃, the strain rate is 0.001 s⁻¹、0.01 s⁻¹、0.1 s⁻¹、1 s⁻¹、5 s⁻¹. Analyzing the macroscopical shape、strain temperature and the strain rate of sample, analyzing the relation between flow stress and strain temperature or the strain rate. The result indicates that the compressing deformation of AZ80 magnesium alloy is dynamic recrystallization. The deformation is minishing and the plastic is rising with the temperature rising. The peak value of flow stress is shifting to the direction where the strain minished with the rising of temperature and the minishing of strain rate. At the same strain rate the temperature goes higher with the corresponding strain become lower.

Key words: AZ80 magnesium alloy; thermal simulation; flow stress; strain rate

镁合金是目前工业应用中最轻的金属结构材料之一。由于镁合金的比强度、比刚度高, 消震性好, 且具有良好的切削加工性能, 因此, 镁合金在航空、汽车和电子通讯工业中得到日益广泛的应用。但是, 镁合金为密排六方结构, 独立滑移系较少, 故镁合金的室温塑性较低, 塑性加工能力较差。本文主要研究了 AZ80 镁合金高温压缩时的流变应力应变关系和同变形温度、变形速度对镁合金流变应力及宏观变形的影响, 为更加精确的确定 AZ80 镁合金加工参数提供理论依据。

1 实验方法

本次实验材料采用 AZ80 镁合金, 其化学成分见表 1。对全部坯料进行均匀化处理, 工艺为加热到 360℃, 保温 12 小时, 空冷至室温, 其目的为减弱、消除铸态组织中的不平衡共晶组织与晶内偏析。在坯料上切取小块试样, 加工成圆柱形压缩试样, 直径为 10mm, 长为 15mm。在 Gleeble-1500D 材料热模拟实验机上进行压缩实验, 压缩温度分别为 250℃、300℃、350℃、400℃、450℃, 应变速度分别 0.001 s⁻¹、0.01 s⁻¹、0.1 s⁻¹、1 s⁻¹、5 s⁻¹, 然后进行试

表 1 AZ80 镁合金化学成份(质量分数%)

Al	Zn	Mn	Cu	Fe	Ni	Si	杂质
8.9	0.53	0.20	<0.01	<0.005	<0.001	<0.01	0.3

样淬火。实验数据的采集由 Cleeble-1500D 的采集系统来完成,绘制出压缩变形的曲线。

2 实验结果

2.1 热模拟压缩试样的宏观形貌分析

图 1a~f 各图为试样压缩部分试样形貌图,可以看出,温度为 300℃~400℃,应变速率为 0.001 s⁻¹~1s⁻¹ 下试样形貌如图中 a、b 都较完好,没有发现裂纹。当温度为 250℃时,应变速率较小(0.001 s⁻¹~0.1 s⁻¹),试样表面裂纹细小,如图中 c、d 只在表面有细小裂纹,应变速率增大,试样有明显裂纹,如图中 e 的试样。在变形温度为 450℃时,不同应变速率下的试样表面均有裂纹,随着应变速率的增大裂纹增大,图 f 为温度 450℃,应变速率 5s⁻¹ 时压缩后的试样,此时的试样已经严重破裂。

分析不同变形温度和不同应变速率下 AZ80 镁合金热模拟压缩试验后试样的形貌,可发现如下规律:在变形温度较低时,低的应变速率下(250℃,0.001~0.1s⁻¹)压缩后的试样周围出现微小裂纹;高的应变速率下(250℃,1~5s⁻¹)的试样出现较大裂纹。并且当应变速率为 5s⁻¹ 时,试样开裂现象越明显,对试样的破坏程度也越大。因此可以认为,在同一变形温度下,应变速率越大,AZ80 镁合金的塑性越差。

在变形温度较高时,低的应变速率下(300~400℃,0.001~0.1s⁻¹)压缩后的试样完好,无开裂现象;高的应变速率下(400~450℃,1~5s⁻¹),压缩后试样出现裂纹,且随着应变速率的升高,甚至出现明显开裂。在温度为 450℃,应变速率为 5s⁻¹ 时,试样严重开裂。在同一应变速率下,变形温度越高的试样越不容易出现压裂,原因可能是温度较低时,

强烈的局部流变能够导致开裂。因此镁合金的变形抗力随着变形温度的上升而减小,塑性随着变形温度的增加而有所提高。在同一应变速率下,随着温度的升高,试样的破裂程度逐渐降低,但在温度 450℃,应变速率 5s⁻¹ 时,试样却严重破裂。

2.2 热模拟压缩应力—应变曲线分析

图 2 与图 3 中可以看出,AZ80 镁合金应力—应变曲线属于典型的单峰动态再结晶型。这说明 AZ80 镁合金在变形过程中易于发生动态再结晶^[1],其表现如下:当应变速率不变时,在同一应变条件下,AZ80 镁合金在变形过程中流变应力都是随着变形温度的升高而降低。当温度不变时,随着应变速率的增大,流变应力增大趋势。随着变形量的增加,镁合金材料的应力随应变增加而很快上升,到达峰值后又趋于下降,最后趋于—稳定值。曲线的变化可分为几个阶段来说明:在应力上升很快的微应变阶段属于加工硬化阶段,此阶段应力急剧增加到一峰值,说明该阶段加工硬化占主导,镁合金中只发生了部分动态回复或动态再结晶,其硬化作用大大超过软化作用;在不同的变形条件如变形温度不变,增加变形速率或者降低温度而变形速率不变的条件,流变应力相对提高,这时表现的是热加工硬化状态在相对加深,随变形量的增加,位错密度不断增高,使动态回复和动态再结晶加快,软化作用增强,加工硬化逐渐被动态回复和动态再结晶软化作用抵消,表现为曲线斜率逐渐减小;材料的应力随着应变增大到峰值后又下降,这表明到达峰值应力时,硬化和动态再结晶软化达到平衡,随着变形的继续进行,动态再结晶的软化作用逐渐加剧使得应力达到一定值后出现接近水平线,表明应力值接近恒定值,出现稳态流变行为,所以镁合金流动

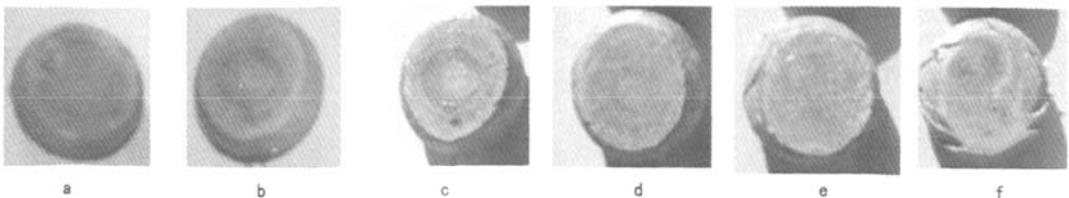


图 1 AZ80 镁合金压缩后试样的部分形貌图

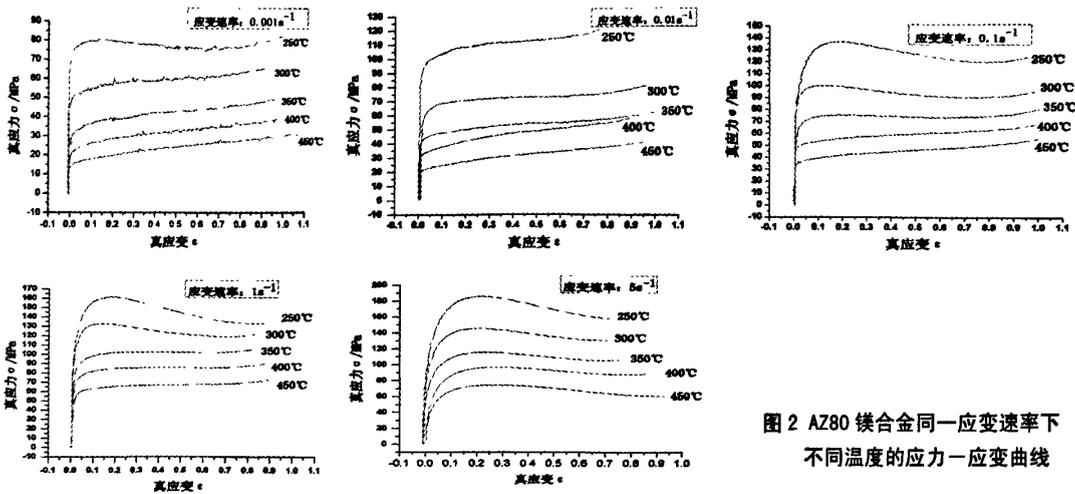


图2 AZ80 镁合金同一应变速率下不同温度的应力-应变曲线

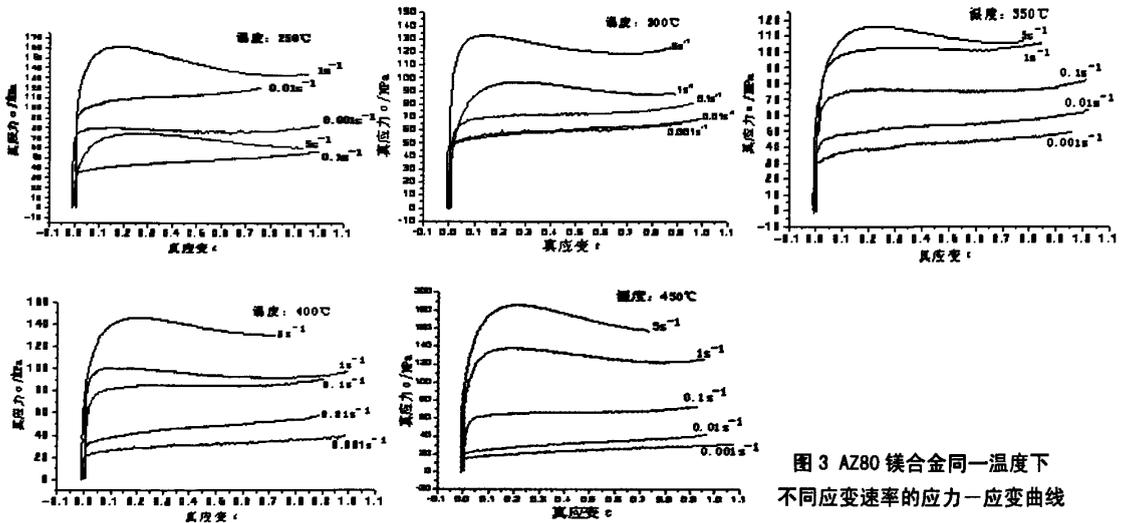


图3 AZ80 镁合金同一温度下不同应变速率的应力-应变曲线

应力曲线总体呈现为软化结果。

3 分析及讨论

温度和应变速率是影响峰值应力的两个重要因素。随温度升高,变形速率减小,应力峰值朝应变减小方向移动。一般认为,应变速率较低时,材料中的储能能较高,从而有利于材料在热变形过程中发生动态再结晶。在较高的应变速率下,塑性变形时单位应变的变形时间缩短,能发生运动的位错的数目增加,同时由于动态回复、动态再结晶等提供的软化过程时间缩短,塑性变形不充分,导致

流变应力的增大。在同一应变速率下,随着温度的升高,原子的热激活能的作用越大,原子振动加强,原子间的临界切应力减弱,滑移系的临界切应力下降,导致镁合金的变形抗力降低。此外,温度越高,动态回复或动态再结晶就越容易发生,进而导致峰值随着温度的升高而提前^[2]。

如图2当应变速率不变时,变形温度越高,所对应的流变应力越低,另外,温度升高或变形速率降低,应力峰值朝应变减小方向移动,即变形过程中越早达到流变应力峰值,这可能因为随着温度的升高,非基面滑移系的 (下接第31页)

熔体中气体随惰性气体析出,同时液态金属吸收大气中的水蒸气并与之反应,继续形成氢,开始静置时,析出的气体量大,随着静置时间的延长,析出气体渐少。考虑到熔体粘稠度、生产效率等综合因素,本合金采用10~15min的静置时间。

3.2.3 提高铸造温度

铸造温度的提高,同时提高了熔体的流动性,熔体粘稠度降低,有利于气体析出。

3.2.4 保证原辅材料、铸造工具的干燥

原辅材料、铸造工具干燥,从源头上降低了熔体中的氢含量。同时尽量选择在干燥季节进行生产。

3.2.5 采用三转子在线除气

铸造在线采用除气装置,相当于增加了熔体精炼时间,是非常有效的精炼方式。

4 结论

综上所述,4004高硅铝合金铸造,为了减少和消除气孔的产生,可采取以下措施:

- (1) 延长精炼时间;
- (2) 增加变质前的静置过程;
- (3) 提高铸造温度;
- (4) 保持原辅材料及铸造工艺的干燥,尽可能在干燥季节生产;
- (5) 铸造在线使用除气装置。

(上接第27页)

临界切应力下降,更多的滑移系被启动,导致镁合金的变形抗力降低,塑性增强。温度越高,动态回复或动态再结晶就越容易发生进而导致峰值随着温度的升高而提前^[2-3];但是再结晶形核需要时间,因此应变速率越低,动态再结晶越能够充分完成,从而在较低应变时达到峰值应力。在低的应变速率条件下,0.001 s⁻¹~0.01 s⁻¹,材料几乎在完成加工硬化阶段后直接进入稳态流变状态,而且温度越高,材料越早达到稳定的流变应力状态。温度越高,应变速率越小,峰值应力与流变应力相差越小,这在图2中的低应变速率下可以看出,在应变速率为0.1 s⁻¹~1 s⁻¹,温度较高时(350℃~450℃),应力应变曲线在应变为0.1之后几乎成一水平直线,且温度越高越明显,这说明材料在变形过程中没有出现峰值应力。因此镁合金材料在进行热加工时在应变速率相同的情况下,应尽可能地在较高温度下变形。而在应变速率为5 s⁻¹下的任何温度下也没有表现出这一现象,可能是因为应变速率大,镁合金中动态回复或动态再结晶来不及发生变形已完成,热加工变形是一个热激活过程,对外加应力、应变速率和温度极其敏感。

4 结论

AZ80镁合金的压缩热变形属于动态再结晶型,在所有应力应变曲线中,在开始阶段都因加工硬化作用曲线升高很快,随着应变的进行,应力达

到一峰值然后就下降并逐渐趋于稳定。

在所有的应变速率下应力-应变曲线均出现峰值应力,随变形温度的升高和应变速率的减小,应力峰值向应变减小的方向移动。峰值应力的出现是动态再结晶软化作用的结果,变形温度对动态再结晶发生的临界变形量的影响趋势即峰值应变越大再结晶越难进行。

应力应变曲线在后期趋于稳定,说明AZ80镁合金进入了稳态流变,且随着温度的升高,应变速率的减小,进入稳态流变的时间越短。在同一变形速率下,变形温度越高所对应的应力值越低。

参考文献

- [1] 肖盼,刘天模. AZ61B镁合金热模拟挤压变形的研究[J]. 兵器材料科学与工程, 2006, 7(4): 22-25.
- [2] Yang X, Miura H, Sakai T. Dynamic evolution of new grains in magnesium alloy AZ31 during hot deformation [J]. Materials Transactions, 2003, 44: 197-203.
- [3] Galiyev A, Kaibyshev R, Gotstein G. Correlation of plastic deformation and dynamic recrystallization in magnesium alloy ZK60. Acta Mater, 2001, 49: 1199-1207.
- [4] Galiyev A, Kaibyshev R, Sakai T. Continuous dynamic recrystallization in magnesium alloy. Materials Science Forum, 2003, 419-422: 509-514.
- [5] Bamet M R. Influence of deformation conditions and texture on the high temperature flow stress of magnesium. Journal of Light Metals, 2001(1): 167-172.