

文章编号:1673-9981(2011)03-0218-04

5083 和 7020 变形铝合金加工图的研究*

梁奕清¹, 方刚²

1. 广东兴发铝业有限公司, 广东 佛山 528061; 2. 清华大学机械工程系, 北京 100084

摘要:在动态材料模型理论上,对 5083 和 7020 两种典型变形铝合金的加工图进行研究分析,结果表明:5083 铝合金适宜加工区的温度为 450~500℃、应变速率为 0.005~0.1s⁻¹;7020 铝合金适宜加工区的温度为 450~550℃、应变速率为 0.001~0.1s⁻¹.同时通过选取 7020 铝合金在不同加工条件下的压缩试样,进一步探讨了 7020 铝合金在不同加工条件下微观组织的演化规律,初步验证了加工图的判断.

关键词:变形铝合金;加工图;动态材料模型;塑性失稳准则;功率耗散效率

中图分类号: TG376

文献标识码: A

Prasad 和 Gegel 等人^[1]根据大塑性变形连续介质力学、不可逆热力学理论和物理系统模拟,建立了动态材料模型(DMM),该模型推导的加工图迄今为止已经在 200 多种合金中得到成功地应用.目前在国内外,根据加工图研究合金的热变形行为仅限于高温合金、钛合金及镁合金等少数几种合金^[2],在变形铝合金中的应用研究仍处于开拓阶段.5083 和 7020 是高性能变形铝合金材料中的两个典型牌号,为了研究 5083 和 7020 铝合金的热成形性能及成形过程中微观组织的演化规律,将动态材料模型理论引入到研究中,以突破高性能变形铝合金材料的挤压加工关键技术,提高生产效率及产品性能.本文在动态材料模型理论上,对 5083 和 7020 两种典型变形铝合金加工图进行了研究分析,并且探讨了 7020 铝合金在不同加工条件下微观组织的演化规律.

1 试验部分

在 Gleeble-1500D 型热力模拟试验机上进行等温压缩试验,获得 5083 和 7020 铝合金的流动应力曲线,在试验变形条件范围内分析流动应力与热变形之间的关系,计算出 5083 和 7020 铝合金热塑性

本构关系中的材料常数,在此基础上引入动态材料模型,对这两种典型合金的加工图进行研究.

根据耗散结构理论,动态材料模型认为变形体作为一个功率耗散体,在塑性变形中将外界输入的功率消耗在塑性变形引起的粘塑性热(G)和变形过程中组织演化所耗散的功率(J)两方面.这一过程由下面公式表示^[1-2]:

$$P = \sigma \dot{\epsilon} = G + J = \int_0^{\dot{\epsilon}} \sigma d\dot{\epsilon} + \int_0^{\sigma} \dot{\epsilon} d\sigma. \quad (1)$$

式(1)中 P 表示外界输入功率, σ 表示稳态流动应力, $\dot{\epsilon}$ 表示应变速率.变形过程中的应变速率敏感因子 m 和功率耗散效率 η 可由下面公式表示:

$$m = \frac{\partial(\ln\sigma)}{\partial(\ln\dot{\epsilon})}; \quad (2)$$

$$\eta = \frac{2m}{m+1}. \quad (3)$$

η 的物理意义是材料成形过程中,显微组织演化所耗散的能量与线性耗散能量的比值.根据温度及应变速率可绘制功率耗散图^[3],功率耗散图反映了加工过程中功率的耗散与温度、应变速率及变形量之间的关系,从而可分析变形过程中材料组织的演变.功率耗散效率高并不代表材料的内在加工性好,因为材料还存在加工失稳区.在加工失稳区内,

收稿日期:2010-10-16

* 基金项目:2006 年广东省教育部产学研结合项目(2006D90404013);2010 年广东省省部产学研合作重大科技专项(2010A090200078)

作者简介:梁奕清(1978-),男,广东茂名,工程师,学士.

系统的熵产生率小于施加于变形体的应变速率,材料会发生塑性流动局部化,即产生加工失稳.加工失稳可根据下式判据^[2].

$$\xi(\dot{\epsilon}) = \frac{\partial \ln(m/(m+1))}{\partial \ln \dot{\epsilon}} + m > 0. \quad (4)$$

将加工失稳区域与功率耗散图进行叠加,可得到材料在某一变形量下的完整加工图.一般加工图中包括加工失稳区、危险区和安全区.安全区与金属的动态回复、动态再结晶及超塑性有关,而在加工安全区内功率耗散效率又与工件成形后微观组织的变化有关,根据它在一定温度和应变速率下的典型值,可对材料微观组织变化的机制进行解释,并且通过微观金相观察得以验证.通过加工图可分析材料的加工性能,在安全区内功率耗散效率越大,表征金属的内在可加工性越好.

2 结果与分析

2.1 5083 变形铝合金加工图的研究分析

首先对 5083 变形铝合金高温压缩试验数据进行整理,然后通过式(2)求出应变速率敏感因子 m ,通过式(3)求出功率耗散效率 η ,在温度和应变速率平面内绘制出 5083 铝合金在真应变为 0.6 时的功率耗散图(见图 1 中的等值曲线部分),再通过式(4)求得加工失稳区,在温度和应变速率平面空间绘制出 5083 铝合金的加工失稳图(见图 1 中的灰色区域),最后把功率耗散图和加工失稳图相互叠加,从而绘制出 5083 变形铝合金在高温热压缩实验条件下,真应变为 0.6 时的加工图(图 1).

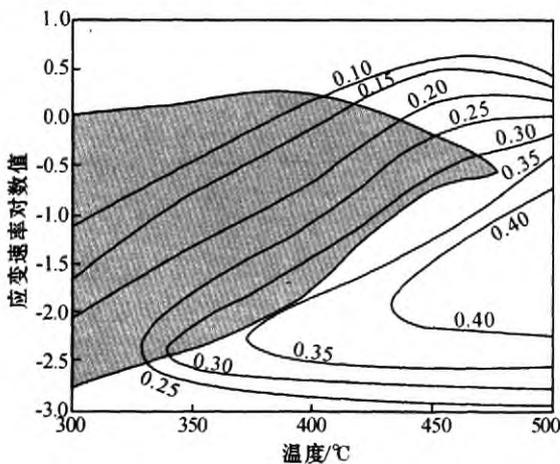


图 1 真应变量为 0.6 时 5083 变形铝合金的加工图
Fig. 1 Processing map of 5083 aluminum alloy at strain of 0.6

从图 1 可见:5083 铝合金在真应变为 0.6 时的加工失稳区范围较大,主要在温度 300~450 °C 及应变速率为 0.01~1 s⁻¹ 的区域,在这个区域内系统的熵产生率小于应变速率,导致材料塑性流动的局部化,从而产生加工失稳,表明这个区域是不适合加工区域,在实际的加工过程中应予以避免;在温度约为 500 °C 及应变速率为 1~5 s⁻¹ 的区域内,由于功率耗散效率随着应变速率的增加而急剧下降,材料的内在加工性急剧降低,表明该区域是加工危险区,在实际的加工过程中也应该加以避免;在温度区间为 450 °C 以上及应变速率为 0.005~0.1 s⁻¹ 的区间内,功率耗散效率较高,达到 40% 以上,根据金属动态回复和再结晶理论,5083 铝合金的熔点大约为 630 °C,其动态回复和再结晶的温度应该为 0.7~0.8T_m,即 440~500 °C,而铝合金是具有较高层错能的合金,其理论的动态再结晶应变速率大致在 0.001~0.1 s⁻¹ 区间,其理论的功率耗散效率最高可达 50% 左右,由此可知,这个区域是 5083 铝合金在应变为 0.6 时的适宜加工区,即安全区.

2.2 7020 变形铝合金加工图研究分析

通过运用与 5083 合金同样的技术步骤,可绘制出真应变量为 0.693 时 7020 变形铝合金的加工图(图 2).

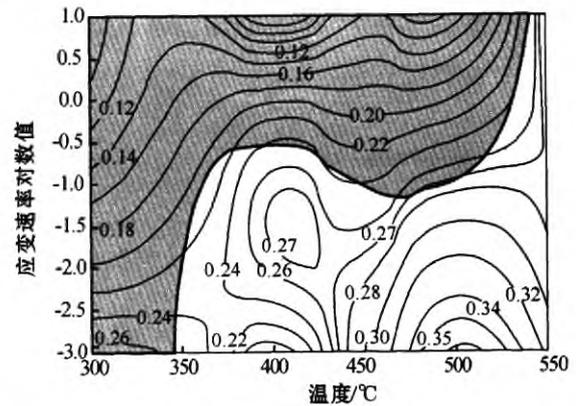


图 2 真应变量为 0.693 时 7020 变形铝合金的加工图
Fig. 2 Processing map of 7020 aluminum alloy at strain of 0.693

从图 2 可以看出,在温度为 450~550 °C 及应变速率为 0.001~0.1 s⁻¹ 的加工区域内,功率耗散效率较高为 27%~36%,并且在温度 500 °C、应变速率 0.001 s⁻¹ 时取得最大值为 36%.7020 铝合金的熔点约为 604~645 °C,根据动态再结晶理论,发生动态回复和动态再结晶的温度为 0.7~0.8T_m,即

450~550 ℃,而对于高层错能的铝合金,发生动态再结晶的应变速率范围为 $0.001\sim 0.1\text{ s}^{-1}$.由此可以得出,在温度为450~550 ℃及应变速率为 $0.001\sim 0.1\text{ s}^{-1}$ 的区域,该区域为动态再结晶区域,适宜进行加工,而7020铝合金的最优加工条件为温度500 ℃、应变速率为 0.001 s^{-1} .

为了验证加工图的判断,选取不同加工条件下的压缩试样,观察其微观组织(图3).从图3(a)和图3(b)可以看出,在变形失稳区晶粒不均匀,粗大现象严重,对应晶粒尺寸分别为 $257.670\text{ }\mu\text{m}$ 和 290.803

μm .比较而言,在温度450 ℃、应变速率 0.001 s^{-1} ,温度500 ℃、应变速率 0.001 s^{-1} 及温度500 ℃、应变速率 1 s^{-1} 加工条件下(图3(c)至图3(e)),变形后试样的晶粒较细且生长均匀,晶粒尺寸分别为 $211.910\text{ }\mu\text{m}$, $224.288\text{ }\mu\text{m}$ 和 $205.101\text{ }\mu\text{m}$.图3(f)为初始晶粒组织,晶粒尺寸为 $174.919\text{ }\mu\text{m}$.这是由于试样经压缩后进行空冷,而高温条件下,在变形结束后易出现晶粒长大的现象,因此无法看出再结晶晶粒细化现象.

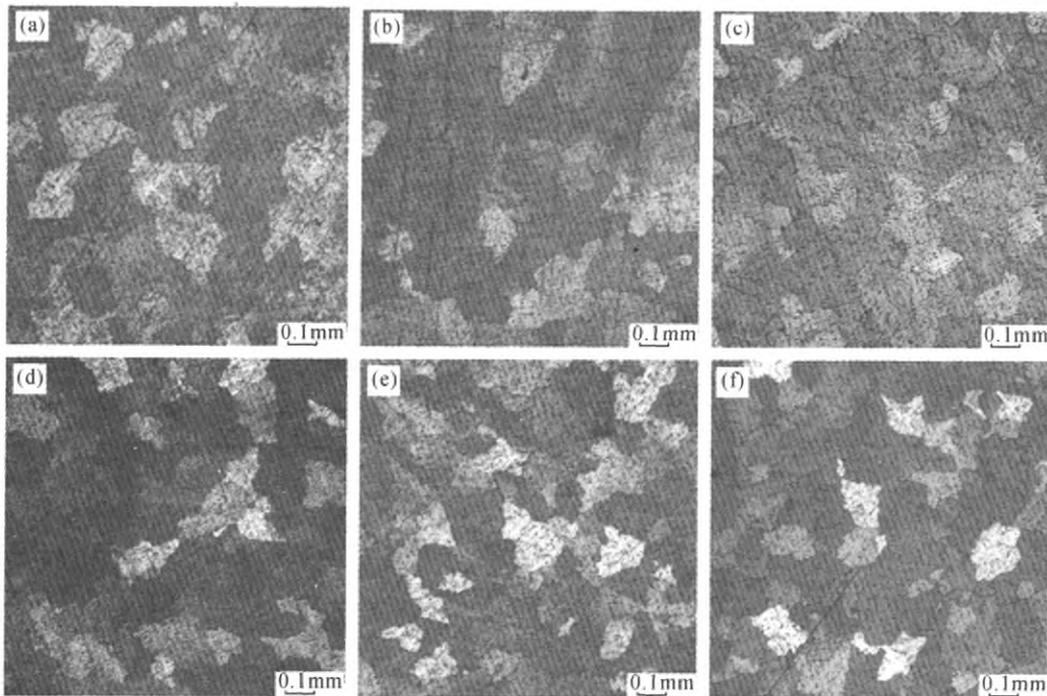


图3 不同变形条件下7020铝合金的微观组织

(a)300℃,0.1 s⁻¹; (b)350℃,10 s⁻¹; (c)450℃,0.001 s⁻¹; (d)500℃,0.001 s⁻¹; (e)500℃,1 s⁻¹; (f)变形前

Fig.3 The microstructure of 7020 aluminum alloy under different deformation conditions

(a)300℃,0.1 s⁻¹; (b)350℃,10 s⁻¹; (c)450℃,0.001 s⁻¹; (d)500℃,0.001 s⁻¹;

(e)500℃,1 s⁻¹; (f) the microstructure before deformation

3 结 语

(1)5083和7020变形铝合金的加工图均由加工失稳区、危险区和适宜加工区(安全区)三部分组成.5083铝合金适宜加工区的温度为450~500℃、应变速率为 $0.005\sim 0.1\text{ s}^{-1}$;7020铝合金适宜加工区的温度为450~550 ℃、应变速率为 $0.001\sim 0.1$

s^{-1} .为制定变形铝合金加工工艺提供了非常重要的理论依据,值得深入研究探讨并进行工业推广应用.

(2)通过选取不同加工条件下的7020铝合金压缩试样,观察其微观组织,初步验证了加工图的判断,为深入开展变形铝合金加工图研究分析指明了方向.

参考文献:

[1] PRASAD Y V R K, GEGEL H L, DORAIVELU S M.

(下转第224页)

sion speed is 17m/min, the defect is more visible. Too low extrusion temperature leads to non-uniform size and distribution of dynamic recrystallization grains, thus deepening the defect of structure strip. Too high extrusion temperature or speed results in inhomogeneity of the metal flow at the part where wall thickness changes, causing the non-uniformity of structure distribution and deepening the defect of structure strip. The best condition is when the extrusion temperature is at 490 °C and speed at 12m/min

Key words: aluminum profile; extrusion; structure stripe

(上接第 220 页)

et al. Modeling of dynamic material behavior in hot deformation forging of Ti-6242[J]. Metallurgical Transactions, 1984, 15(10):1883-1892.

[2] 李庆波,周海涛,蒋永峰,等.加工图的理论研究现状与展望[J].有色冶金设计与研究,2009,30(4):1-6.

[3] RAJ R. Development of a processing map for use in worm forming and hot forming processes[J]. Metallurgical and Materials Transactions A, 1981, 12 (6): 1089-1097.

Research on processing maps of 5083 and 7020 wrought aluminum alloy

LIANG Yiqing¹, FANG Gang²

1. Guangdong Xingfa Aluminium Co., Ltd., Foshan 528061, China; 2. Tsinghua University, Department of Mechanical Engineering, Beijing 100084, China

Abstract: Based on the dynamic material theory, the processing maps of representative wrought aluminum alloys including 5083 aluminum alloy and 7020 aluminum alloy are researched. The results show that the optimum processing temperature for 5083 aluminum alloy is 450-500°C with strain rate 0.005-0.1 s⁻¹, while the optimum processing temperature for 7020 aluminum alloy is 450-550°C with strain rate 0.001-0.1 s⁻¹. Samples of 7020 aluminum alloy in different compressing conditions are selected for analyzing its microstructure evolution, thus preliminarily testifying the judgment of processing map.

Key words: wrought aluminum; processing maps; dynamic material model (DMM); plastic instability criterion; efficiency of power dissipation.