

等轴态 TC4 钛合金热加工性能及显微组织

文 杨 明^{1,2} 梁益龙^{1,2} 钟 应¹

1. 贵州大学 材料与冶金学院 贵阳 550025;

2. 贵州省材料结构与强度重点实验室 贵阳 550025

摘要: 通过对 TC4 钛合金等轴组织进行热模拟压缩试验, 研究变形速率、变形温度、变形量等参数对 TC4 钛合金盘条组织和性能的影响。通过热加工图的绘制, 为 TC4 钛合在中低温区(500~800 °C)的加工控制提供理论基础, 对金相组织的观察表明, 显微组织特征和热加工图规律基本相符。

关键词: 材料科学与工程; TC4 钛合金; 显微组织; 热加工图

中图分类号: TG146.23; TG359

文献标志码: A

文章编号: 2095-1744(2013)06-0022-03

随着科学技术的发展, TC4 钛合金以其优异的力学性能、抗腐蚀性能和良好的生物相容性等综合性能而日益受到世界各国的重视, 不仅广泛应用于航空航天领域, 在民用领域的应用也得到开拓。TC4 是钛合金中应用最为广泛的一种合金, 但由于变形抗力较大, 难于在室温下进行加工, 其对热加工参数也较为敏感, 在成型过程中的工艺难以制定^[1-2]。为了解决钛合金热成形工艺的理论基础和试验依据, 对 TC4 钛合金盘条进行热变形行为及其影响规律的研究。

1 实验方法

试验材料的化学成分如表 1 所示。

表 1 TC4 原材料试样的化学成分 /%

成分	Fe	C	O	N	H	Al	V	Ti
含量	0.05	0.029	0.06	0.0037	0.0074	5.77	3.98	其余

将 TC4 钛合金盘条在 930 °C 保温 30 min 之后随炉冷至室温, 得到等轴态的(α + β)组织, 金相组织如图 1 所示。由等轴状的 α 相和 β 相转变组织组成, 等轴 α 相的晶粒尺寸为 3~5 μ m。

热压缩变形试验在 Gleeble-3500 热模拟试验机上进行, 压缩试验采用轴向平行于原材料棒料轴向的圆柱, 形状与尺寸以满足试验机试验要求为准。变形温度取 550, 600, 700, 800 °C, 变形速率分别为 0.001, 0.01 和 0.1 s⁻¹, 变形程度 ε 取 0.4~0.6。变形后喷气冷却至室温。



图 1 TC4 合金的显微组织

2 试验结果与分析

2.1 热加工图的制定

描述材料加工性好坏的图形称为加工图, 主要有两类, 一类是基于原子模型的加工图, 如 Raj 加工图, 另一类

基金项目: 贵阳市科技攻关项目(2010 筑科 I 合同字第 1-70 号);
遵义钢绳股份有限公司校企合作项目

收稿日期: 2013-01-29

作者简介: 杨 明(1981-), 男, 贵州铜仁市人, 讲师, 硕士, 主要从事材料加工及制备等方面的研究。

是基于动态材料模型 DMM(Dynamic Material Modeling)的加工图。基于 DMM 的加工图是将连续介质力学和不可逆热力学理论相结合,表征材料固有加工性能,在许多合金中得到验证,对优化材料的热加工工艺参数、改善材料的加工性、控制组织及避免缺陷的产生具有重要指导作用。

根据热变形过程中合金的能量消耗效率与变形温度及应变速率的变化关系,可建立能量耗散图,即 η - T - $\dot{\epsilon}$ ' 的变化规律图。将能量耗散图和失稳图进行叠加可建立其热加工图^[3-4],热加工图可定量描述合金的热加工性能。图 2 为应变量为 0.4~0.6 时,TC4 钛合金的热加工图。

由图 2(a)可知,当应变量为 0.4 时,在较低温度和较高的应变速率下,存在一个较大的失稳区,而自 700~750 ℃

这个温度区间,当应变速率较大时,也存在一个较大的失稳区。在 800 ℃ 左右,随着应变速率的增加,最大塑性功逐渐减小,在变形的过程中,温度的升高增加了再结晶的能力,变形功基本用于塑性变形过程。在这个变形量下,变形速率和温度对塑性的影响较大。在图 2(b)中,应变增大到 0.5,与图 2(a)相比,在相同的温度下,变形功有部分减小,但趋势不明显,说明在加大变形量后,通过提高温度改善塑性加工的能力减弱,特别是在图 2(c)中,这种趋势更为明显,以 650 ℃ 为分界线。随着应变量的增加,当应变达到 0.6 时,升高温度已经不能提高塑性变形的变形功。因此在工艺设计中,对于大的塑性变形,即使升高温度也不能改善 TC4 钛合金的热加工塑性。

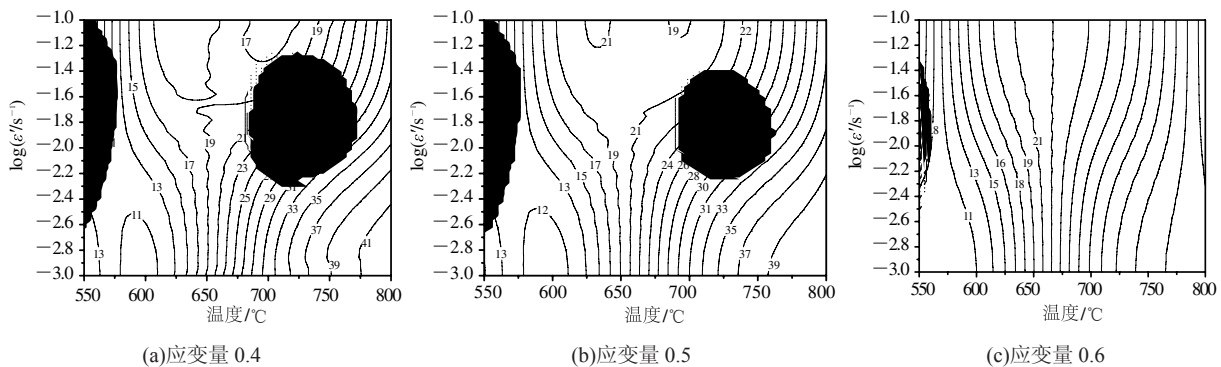


图 2 应变量为 0.4~0.6 时 TC4 钛合金热加工图

比较图 2 的三个图形可以发现,在 650~700 ℃ 的热加工区间,塑性功不论应变量和应变速率的变化趋势如何,变形功基本保持在 19~23 这个区间,即在该区间,热加工的参数选择面较大,易于实现工艺过程。在另外一个方面,最大塑性功出现在的区间范围较窄,变形量为 0.4~0.5,温度为 700~750 ℃,应变速率在 $10^{-2.4}$ ~ 10^{-3} ,即这个工艺区间,TC4 是易于发生变形,并且变形后的质量最好。为了实现提高生产效率,必须提高应变速率的情况下,通过热加工后的显微组织观察,适当地提高温度至 775~800 ℃,也能实现大变形快速拔制过程,满足生产要求。

2.2 加工参数对显微组织的影响

在变形度为 50%,应变速率为 0.01 s^{-1} 时,随着变形温度的升高,试样中心及边缘的显微组织变化规律见图 3。

由图 3 可以看出,在较低温度下(550~600 ℃)加工时,试样的中心出现明显的纤维组织,加工过程中产生的能量较低,材料中心未能发生再结晶,试样的边缘组织为明显的初始 α 相。当温度升高到 700 ℃ 时,试样的中心已经发生明显的再结晶,出现了 α 等轴组织和针状的 β 组织,而试样的边缘为初始 α 相,且其含量明显减少。当温度升高到 800 ℃ 时, α 相为椭球状组织,尺寸较大且均匀化程度低。当温度进一步升高到达 900 ℃ 时,试样的中心和边缘均为等轴态组织,为初始 α 相和 β 转变的 α 相,这种组织形貌可以明显的提高材料的塑性及断面收缩率。

700 ℃ 时,当应变速率不断增大时,试样由中心到边缘的显微组织变化见图 4。

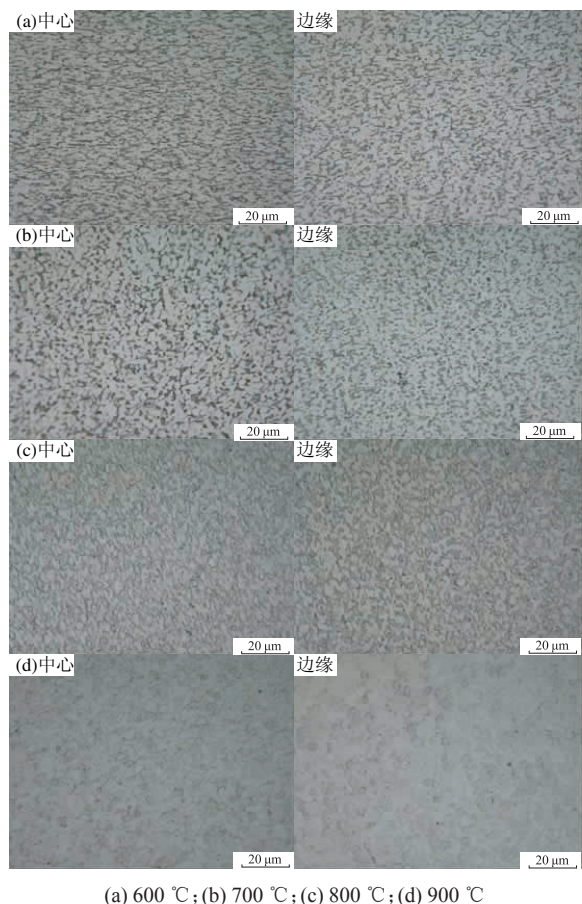
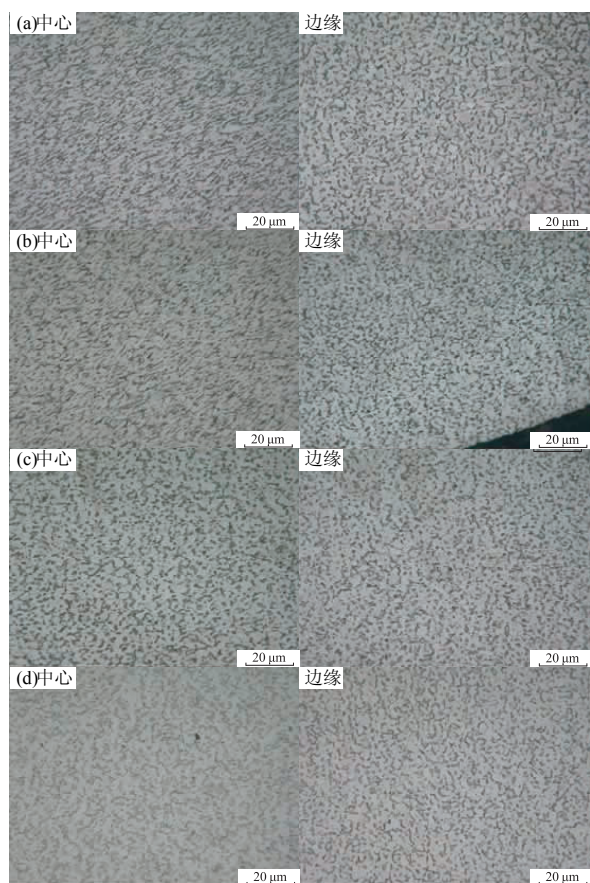


图 3 $\dot{\epsilon}'=0.01 \text{ s}^{-1}$ 时 TC4 钛合金显微组织随变形温度的变化



(a) 1 s^{-1} ; (b) 0.1 s^{-1} ; (c) 0.01 s^{-1} ; (d) 0.001 s^{-1}

图4 700 °C时 TC4 钛合金显微组织随着变形速率的变化

由图4可知,在变形速率为 1 s^{-1} 和 0.1 s^{-1} 时,试样的中心为纤维状组织,而边缘为明显的等轴组织,当变形速率降低到 0.01 s^{-1} 时,材料的中心和边缘为针状的 β 组织和 β 相的转变组织次生 α 相,并且 α 相为不规则的几何形状,在 0.001 s^{-1} 的应变速率下, β 相的转变组织次生 α 相等轴化程度增加,等轴组织为细晶组织,具有较好的

力学性能。

3 结论

1)应变对热加工图的影响较大,变形量较低时,随变形温度升高及应变速率降低,能量消耗效率逐渐升高。在变形温度 800 °C 左右、应变量为 0.4 时,能量消耗效率达到峰值,约为 41%。当应变达到 0.6 时,能量消耗效率最大值仅为 21%,升高温度不能提高塑性变形的变形功。

2)TC4 钛合金最大塑性功出现的区间范围较窄。变形量为 0.4~0.5,温度为 775~800 °C,应变速率 $10^{-2.4} \sim 10^{-3}$,变形功基本保持在 39~41,即这个工艺区间,TC4 易于发生变形,并且变形后的质量最好,易于实现大变形快速成型,满足生产要求。

3)在变形度为 50%,应变速率为 0.01 s^{-1} 时,随着变形温度的升高,变形温度在 800 °C 附近,材料的显微组织为等轴态的细晶组织。当变形温度一定时,材料随着变形速率的降低呈现等轴化的趋势变得明显,在 700 °C 时,应变速率为 0.01 s^{-1} 时即可观察到明显的等轴细晶组织,其显微组织的特征与热力学加工图规律基本相符。

参考文献

- [1] Osakada K, Yang G, Mori K. Determination of optimum forming path in three-roll bending by combination of fuzzy reasoning and finite element simulation [J]. Annals of CIRP, 1993, 42 (1): 291-294.
- [2] Li M, Liu X, Xiong A, et al. Modeling of microstructure during hot working process by ANN[C]// Jiang Zhuangde. Proc of the ICAMT' 99. New York, USA: Science Press New York Ltd, 1999: 1342-1345.
- [3] Srinivasan N, Prasad Y V R K. Hot working characteristics of ni-monic 75, 80A and 90 superalloys: a comparison using processing maps [J]. Journal of Materials Processing Technology, 1995, 51: 171-192.
- [4] Gronostajski Z. The deformation processing map for control of microstructure in CuAl9.2Fe3 aluminum bronze [J]. Journal of Materials Processing Technology, 2002, 9(125/126): 119-124.