

氢对锻态 Ti-25Al-10Nb-3V-1Mo 合金 热压缩行为的影响^①

张 勇 张少卿 陶春虎

(北京航空材料研究所, 北京 100095)

摘 要 利用等温压缩方法研究了氢对 Ti₃Al 基的 Ti-25Al-10Nb-3V-1Mo 锻态合金热变形行为的影响。在 900~1 000 °C 范围内, 氢含量为 0.2% 的试样可使峰值流变应力比未氢化试样降低 25%~31%, 即相当于降低热压缩温度将近 50 °C。相同温度变形的试样中氢含量增加所产生的组织变化与在更高温度压缩后所产生的组织变化相当。

关键词 Ti₃Al 基合金 氢 热压缩

近年来研究表明, 氢处理不仅可显著改善钛合金组织与性能, 而且可明显提高钛合金的热变形能力及可锻性^[1-3]。因此, 对热变形抗力高的 Ti₃Al 基合金而言, 氢对改善其热变形能力可能会有类似的效果, 且工艺简单, 成本较低, 这将有助于促进 Ti₃Al 基合金的实用化进程。但目前有关这方面的研究工作尚很少见报道, 故本文研究氢对 Ti₃Al 基的 Ti-25Al-10Nb-3V-1Mo 锻态合金热压缩变形行为的影响, 并通过微观组织变化等因素探讨其机理。

1 试验材料与方法

试验材料采用直径为 d 16mm 的 Ti-25Al-10Nb-3V-1Mo 合金锻棒, 其化学成份(质量分数, %)为: Al, 14.2; Nb, 20.04; V, 3.36; Mo, 2.27; 其余 Ti。合金的 β 相变点测定为 1 120 °C。利用高温气体渗氢法于氢处理炉内进行氢化处理。氢化温度为 500 °C, 通过控制氢化时间及氢分压等因素使试样渗入所需氢含量。由于当试样中氢含量大于 0.4% 后(质量分数, 下同), 试样表面易产生裂纹, 故氢含量控

制为 0.1%, 0.2% 及 0.3%。采用称重法测定合金的氢含量。

热压缩试验所用试样尺寸为 d 8 mm \times 12 mm。试样表面涂有防氧化涂层。热压缩试验于 Gleeble-1500 型热加工模拟实验机上进行。试验温度为 900~1 000 °C, 真变速率为 0.1 s⁻¹。采用电阻法直接加热试样, 热电偶点焊于试样表面以控制温度。加热三分钟后试样达到所需温度, 保温 1 min 后进行压缩试验。压缩至 57% 真应变变形量后将试样水淬。

采用 Kroll 试剂显示试样的金相组织。采用双喷电解法制备 TEM 试样。在 H-800 型透射电镜上观察分析试样的微观组织。所有微观组织的取样方式均垂直于压缩应力轴。X 射线衍射试验在 Dmax-RB 型衍射仪上进行, 采用 Cu 靶, 40 kV, 120 mA 及石墨单色滤波器。

2 试验结果

2.1 应力-应变行为

图 1(a)-(c) 为不同氢含量试样分别于 900 950 及 1000 °C 下热压缩变形后所得典型的真

^① 收稿日期: 1995-08-24; 修回日期: 1995-12-18

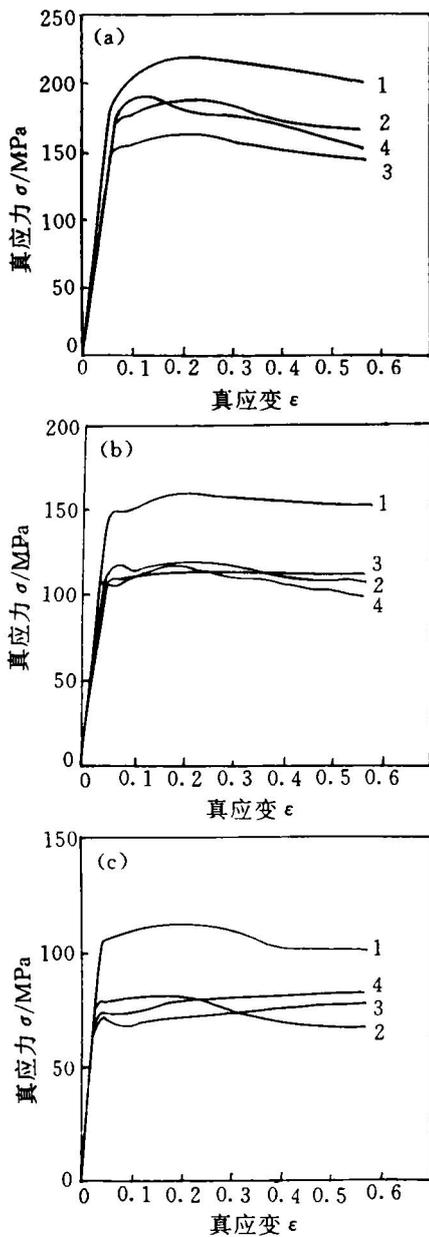


图1 不同温度热压缩的真应力-真应变曲线

(a)—900℃; (b)—950℃; (c)—1000℃

1—0%H; 2—0.1%H; 3—0.2%H; 4—0.3%H

应力-真应变曲线(σ - ϵ 曲线)。 σ - ϵ 曲线的特点为:(1)同一温度变形时,氢化试样的应力水平均低于未氢化试样。(2)随变形温度升高,氢化试样与未氢化试样的 σ - ϵ 曲线的应力水平下降。(3)随温度及氢含量增加, σ - ϵ 曲线上逐

渐显示出明显的屈服现象,并在更低的应变时产生应力稳定。(4)950℃变形时0.2%氢含量试样及1000℃变形时0.2%及0.3%氢含量试样的 σ - ϵ 曲线上产生屈服后,随应变增加应力硬化平缓出现应力稳定,显示出良好的塑性变形特征。其余试验条件下,各试样的 σ - ϵ 曲线中均出现应力硬化至峰值后发生应力下降。

图2为不同温度压缩变形时的峰值应力(或最大应力值)与氢含量的关系曲线。由图可见:(1)随热压温度增加,所有试样的峰值应力值降低。(2)同一温度变形时,氢化试样的峰值应力均比未氢化试样低。(3)氢含量为0.2%试样在各温度变形时均有最低峰值应力,其与未氢化试样在900、950及1000℃变形时的峰值应力相比较,分别降低了25%、27%和31%。(4)950及1000℃变形时各氢化试样的峰值应力相近,1000℃变形时氢化试样的峰值应力已很低,0.2%氢含量时峰值应力仅为77.4MPa。

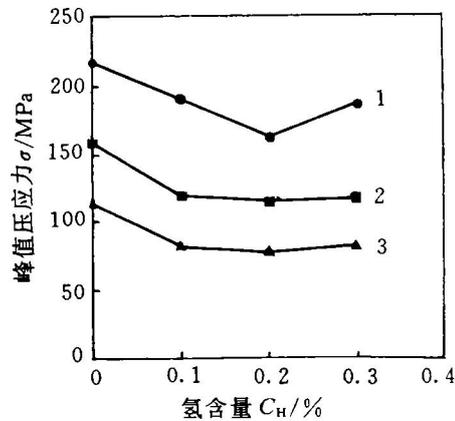


图2 热压缩峰值应力与氢含量的关系曲线

1—900℃; 2—950℃; 3—1000℃

图2还给出:0.2%氢含量试样在950℃压缩时的峰值应力为115.08MPa,其与未氢化试样在1000℃压缩时的112.45MPa基本相当。而0.2%氢含量试样在900℃压缩时的峰值应力为161.98MPa,略大于未氢化试样在950℃压缩时的158.47MPa。从流变应力角度分析,0.2%氢含量试样在900和950℃压

缩变形时的效果,分别与未氢化试样于950及1000℃压缩变形时的效果基本相当。而氢含量0.2%试样在1000℃压缩时所产生的应力应变行为已接近单相区变形的应力-应变行为^[4,5]。因此,在900~1000℃范围内,加氢0.2%可使试样的热压缩温度降低约50℃。

2.2 显微组织

图3a-b为未氢化及500℃氢化后氢含量为0.2%试样的金相组织。氢化后组织产生一定程度的碎化,仍保持原始组织的形貌即等轴状初生 α_2 及 β 转变组织。X射线衍射试验结果表明:含氢量0.1%的试样中未发现氢化物衍射峰,而含氢量为0.2%及0.3%试样中存在 δ 氢化物相,但其在金相组织中难以分辨。

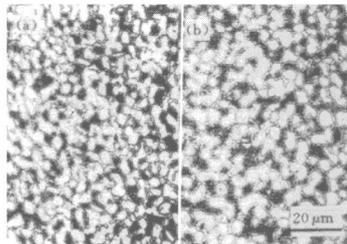


图3 Ti-25Al-10Nb-3V-1Mo 钎态合金未变形前的金相组织 (a)-原始态; (b) 500℃氢化至0.2%H

图4为不同温度变形后水淬试样的金相组织。由图4可见,变形温度与氢含量是影响组织形貌的主要原因。在900℃压缩后未氢化试样中的 α_2 相仍呈等轴状分布在 β 基体上,并混有一些长条状 α_2 相(图4a),这表明原始 α_2 相仅发生部分动态再结晶。随变形温度提高,等轴状 α_2 相的晶粒尺寸及其体积分额减少,长条状 α_2 相逐渐消失,即 α_2 相基本发生完全动态再结晶(图4c, 4e)。等温压缩时,由于试样中氢含量增加所产生的组织变化相当于在更高温度压缩时所产生的效果(图4b, 4d)。0.2%氢含量的试样在1000℃变形后,其淬火后所得的

β 基体上仅有很少的等轴状 α_2 相,说明变形已接近在 β 单相区进行(图4f),因此,试样的应力-应变行为与此有关。

图5为未氢化试样在900℃变形后水淬的TEM。由图可见含较高密度位错的长条状 α_2 相,其显然未处于完全再结晶状态,与其周围含位错密度较小的等轴状 α_2 相相比,这进一步证实了此时 α_2 相仅部分动态再结晶。随变形温度及氢含量的增加,TEM观察到 β 相在热变形过程中产生明显的动态回复现象,但未发现 β 相发生再结晶的证据。图6为0.2%氢含量的试样在1000℃变形后水淬的TEM。图中可见 β 相中通过动态回复过程形成的亚结构。

3 讨论

显微组织分析结果表明,热压缩过程中随氢含量的增加,试样中 α_2 相份额减少, β 相份额则相应增加。显然作为一种 β 稳定元素,氢可显著地降低 β 相变点,增加塑性的 β 相份额,从而随氢含量增加试样的峰值流变应力逐渐降低,应力-应变曲线形状也发生变化。但试样的氢含量过高时,氢对合金产生一定的强化作用,即氢在 β 相内引起的严重晶格畸变所产生的强化,将部分地抵消氢对热变形的有利作用,导致合金的流变应力回升。因此,氢含量为0.2%试样在900~1000℃热压缩时有最小的峰值应力。

对未氢化试样而言,900℃压缩变形时,部分原始 α_2 相发生动态再结晶使应力-应变曲线上出现流变应力降低现象,随变形温度升高, α_2 相份额下降,同时 β 相份额增加, β 相发生的动态回复对流变应力行为的影响也相应加强,最终使应力-应变曲线上出现流变应力稳定现象。同样,氢含量也对合金中 α_2 相和 β 相二者所占份额的相对比例有很大影响,从而引起合金的流变应力行为的变化,导致应力-应变曲线形状的变化。因此较高温度变形特别是1000℃变形时,尽管各氢化试样的峰值应力(或最大应力)比较接近,但不同氢含量试样的

流变应力行为则有较大变化。1 000 °C 变形时氢含量为 0.2% 及 0.3% 试样中, 由于 α_2 相份额极少, 变形基本于 β 单相区进行, β 相的动态回复控制流变应力行为, 所以, 其应力-应变曲线的形状不同于未氢化试样和 0.1% 氢含量试样的应力-应变曲线形状。

最后需说明的是, 氢化合金热压缩变形结束冷至室温后, 合金中的氢将以固溶状态或氢化物形式存在, 故须进行除氢处理, 以避免氢

对合金的室温性能产生的不利影响。试验表明氢化合金热压缩变形后, 采用 700 °C 真空退火处理 12 h, 可以使该合金内部的氢含量均小于 0.0033%, 即达到了安全使用的水平。

4 结论

(1) 氢化处理可显著降低钛合金 Ti-25Al-10Nb-3V-1Mo 合金的热压缩峰值应力。在 900

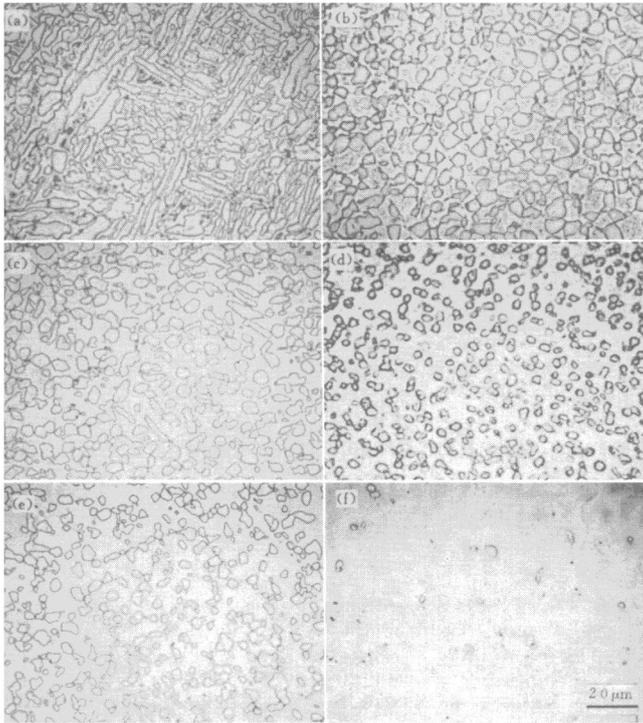


图4 不同温度及氢含量试样热压缩($\epsilon=57\%$)后水淬的金相组织

(a)、(c)、(e)—分别于 900、950 和 1000 °C 变形的未氢化试样;

(b)、(d)、(f)—分别于 900、950 和 1000 °C 变形的 0.2% H 试样

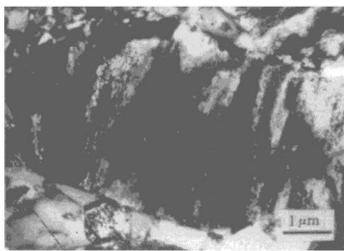


图5 未再结晶的长针状 α_2 相
(未氢化, 900 °C, $\epsilon = 57\%$)



图6 β 相动态回复形成的亚晶组织
(0.2% H, 1000 °C, $\epsilon = 57\%$)

~1000 °C 变形时, 0.2% H 试样的峰值流变应力比未氢化试样降低 25%~31%。从流变应力角度考虑, 0.2% 氢含量可降低热压温度约 50 °C。所有试样的峰值应力亦随热压温度升高而降低。

(2) 同一温度压缩时, 试样中氢含量增加所产生的组织变化相当于在更高温压缩后所产生的组织变化。随热压缩温度升高, 氢化与未氢化试样中 α_2 相由部分动态再结晶发展至完全动态再结晶, 同时 α_2 相所占份额下降, β 相所占份额增大。当试样的氢含量增至 0.2% 后, 1000 °C 变形接近或基本于 β 单相区进行, 此时流变行为为受 β 相动态回复控制。

参考文献

- 1 Zwicker U, Schleicher V. US 2892742, 1959.
- 2 Kell W R, Smith P R, Bidwell L R, Rosenblum M E, Gurney F J, Mahajan Y. In: Kimura H *et al* eds, Proc. Fourth Int Conference on Titanium, New York: TMS-AIME Warrendale PA, 1980; 2477.
- 3 Kolachev B A, Livanov V A, Nosov V K. Titanium Metal Science and Technology, 1978, 3: 269.
- 4 Semiatin S L, Lark K A, Barker D K, Seetharaman V, Marquardt B. Metal Trans, 1992, 23A: 295.
- 5 Sagar P K, Banerjee D, Prasad Y V R K. Mater Sci Eng, 1994, A177: 185.

EFFECT OF HYDROGEN ON HOT COMPRESSION BEHAVIOR OF A WROUGHT Ti-25Al-10Nb-3V-1Mo ALLOY

Zhang Yong, Zhang Shaoqing, Tao Chunhu

Institute of Aeronautical Materials, Beijing 100095

ABSTRACT The effect of hydrogen on hot deformation behavior of a wrought α_2 Titanium aluminide alloy, Ti-25Al-10Nb-3V-1Mo, was investigated by the isothermal hot compression test as a function of hydrogen content and temperature. A reduction (25%~31%) in the peak stress was obtained when the alloy was added by 0.2% H, which corresponds to decreasing the deformation temperature by about 50 °C. The microstructural changes produced by increasing the hydrogen content at a fixed deformation temperature correspond to those obtained by raising the deformation temperature.

Key words Ti₃Al-base alloy hydrogen hot compression

(编辑 彭超群)