

Ti600 合金板材的轧制工艺与电子束焊接性能研究

洪 权, 戚运莲, 刘 向, 赵永庆

(西北有色金属研究院, 西安 710016)

摘要: 测试研究了 Ti600 高温钛合金板材在不同加工及热处理状态下的室温拉伸及高温蠕变性能, 分析对比了热机械处理工艺 (thermo mechanical process-TMP) 与常规加工热处理对合金板材组织形态特征与性能的影响规律与内在机制; 另外还对 Ti600 合金板材的焊接性能进行了研究。结果表明: 采用热机械处理工艺 (TMP) 可获得充分生长的片层状团束组织 (colony structure), 这种类型的组织显著提高了合金的高温蠕变性能。而且合金经电子束焊接后仍然具有良好的综合性能。

关键词: Ti600 钛合金; 板材; 焊接; 组织; 性能

中图分类号: TG146.2⁺3

文献标识码: A

文章编号: 1005-5053(2006)05-0031-04

高温钛合金是钛合金研究的一个十分重要的领域, 为满足新型先进航空发动机的设计要求, 世界各国都在竞相发展 600°C 以上长时间使用的高温钛合金^{[1], [2]}。Ti600 合金是西北有色金属研究院自行研制的一种近 α 高温钛合金^{[3], [4]}, 它含有少量稀土元素, 具有较好的综合性能, 特别是蠕变性能非常优异, 与英国 M1834 合金及美国 Ti1100 合金性能相当。板材是高温钛合金重要的半成品形式, 而且其焊接性能的优劣也直接影响其实际使用, 尤其是目前先进航空发动机正向着叶、盘一体化结构发展^{[5], [6]}, 因此高温钛合金的焊接性能就显得非常重要。本文就 Ti600 合金板材的加工工艺对组织性能的影响以及焊接性能进行了研究。

1 试验方法

试验所采用的 Ti600 属 Ti+Al+Sn+Zr+Mo+Sr 系合金, 并含有少量稀土元素 Y (约 0.1wt%), 经真空自耗电弧炉两次重熔制成 $\phi 150$ mm 的 25kg 铸锭, 在 1150°C 温度下进行开坯锻造制成厚度为 28mm 的板坯, 然后采用两种工艺加工成板材, A 工艺为常规轧制工艺, 轧制温度为 995°C, B 工艺采用热机械加工工艺 (TMP), 在轧前对板坯进行单相 β 区淬火 (1060°C/30'AC), 然后 995°C 下进行热轧。最终加工出的板材有两种规格, 分别为 11mm 的厚板和 2.5mm 的薄板。厚板经热处理后加工成棒状试样分别进行室、高温性能检测, 薄板经真空热处理后加工成板状试样进行性能测试; 焊接试验

采用真空电子束焊, 焊后经热处理进行性能检测。室温拉伸在 Instron1185 试验机上进行, 蠕变试验在 RD-2 试验机上进行, 金相观察采用奥林巴斯 PMG3 型金相显微镜。

2 试验结果及讨论

2.1 热处理制度对合金室、高温性能的影响

通过不同的热处理制度可使合金获得不同的组织形貌, 各种状态下的组织如图 1 所示。随着固溶温度的提高初生比例越来越少, 组织形貌由等轴双态组织向网篮组织转变, 结果室温塑性随初生 α 含量的增加而提高 (见表 1), 薄板的室温性能差别不大, 这可能是由于强烈织构对合金性能的影响起主导作用, 从而降低组织状态对室温的影响程度。而在高温蠕变性能的测试中, 不同类型的组织则表现出很大的差异 (见表 2), 网篮状组织具有非常明显的优势。

2.2 加工工艺对合金组织性能的影响

采用不同的热加工工艺也对合金的组织形貌及高温性能产生了较明显的影响, 由图 1 可以看出, 经 1020°C β 区处理后, A、B 工艺板材的组织均呈网篮状片层组织, 但 B 工艺片层组织的团束的体积明显较大, 它对应的高温蠕变性能较好; 而 A 工艺片层组织, 团束的尺寸较小, 且排列的较为混乱交织, 这时板材的蠕变性能有所降低; 两种工艺加工的板材经 990°C 两相区处理后及其组织都是等轴组织, 但他们的晶粒尺寸也有所差别, B 工艺板材的组织较为细小, 而相对应的其高温蠕变性能比 A 工艺板材略低一些, 这是由于合金的高温强度主要取决于晶内强度, 晶粒尺寸愈大, 晶界愈少, 高温强度则愈高。

收稿日期: 2004-07-21; 修订日期: 2004-11-08

作者简介: 洪权 (1968-), 男, 硕士, 高级工程师, (E-mail) hongquan@lm.cn.com。

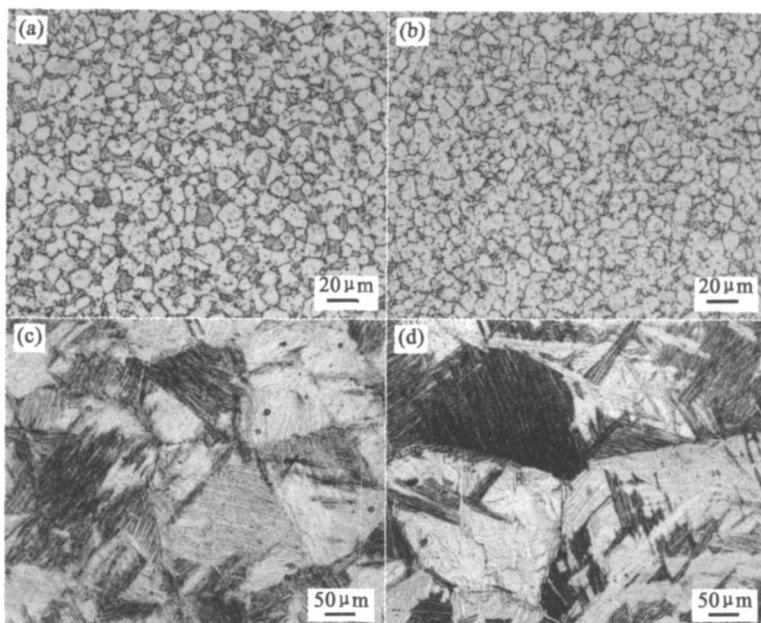


图 1 加工及热处理工艺对 T+600 合金板材显微组织的影响

Fig 1 Microstructure of T600 alloy plate in different condition (a) A process+ 990°C / 1h+ 650°C / 8h (b) B process+ 990°C / 1h+ 650°C / 8h (c) A process+ 1020°C / 1h+ 650°C / 8h (d) B process+ 1020°C / 1h + 650°C / 8h

表 1 不同热处理状态下 T+600 合金板材的室温拉伸性能 (A 工艺)

Table1 Tensile properties of T+600 alloy plate treated in different heat treatment condition(A process)

	Condition	σ_b /MPa	$\sigma_{0.2}$ /MPa	δ_5 /%	ϕ /%	E /GPa
Plate($\delta=11\text{m}$)	1060°C /2h AC+ 650°C /8h	1065	986	9.2	16	—
	1008°C /2h AC+ 650°C /8h	1075	987	12	18	—
	995°C /2h AC+ 650°C /8h	1007	963	15	19	—
Sheet($\delta=2.5\text{mm}$)	990°C /1h FC	1010	825	9.5	—	104
	1020°C /1h FC	965	885	13	—	117

表 2 加工及热处理性能对 T+600 合金板材蠕变性能的影响

Table2 Effects of rolling and heat treatment process on creep properties of T600 alloy plate

	Condition	Test Condition	ϵ_p /%
Plate($\delta=11\text{m}$)	A process+ 1020°C /1h+ 650°C /8h	600°C /150MPa/100h	0.112
	B process+ 1020°C /1h+ 650°C /8h		0.075
	A process+ 1060°C /1h+ 650°C /8h		0.058
	B process+ 1060°C /1h+ 650°C /8h		0.060
Sheet($\delta=2.5\text{mm}$)	A process+ 1020°C /1h+ 650°C /8h	600°C /150MPa/100h	0.309
	B process+ 1020°C /1h+ 650°C /8h		0.116
	A process+ 990°C /1h+ 650°C /8h		0.400
	B process+ 990°C /1h+ 650°C /8h		0.442

2.3 合金焊接性能

实验结果显示 T600 合金具有较好的可焊性, 焊接用板材采取常规 (A process) 轧制工艺加工, 数据显示焊接过程对合金的各项性能还是有一定影响, 尤

其应注意焊后热处理工艺的选择。由表 3 所示结果可以看出, 如果焊后采用 β 区固溶处理其室、高温性能与非焊接样品基本保持在同一水平, 而焊后采用两相区固溶处理的样品, 蠕变性能下降则比较严重, 这

是由于经两相区处理后样品的基体为双态组织,这种组织与焊缝区的粗大片层组织在性能上差异较大,这样在应力作用下就会产生集中变形,使合金的高温抗蠕变性能下降,这种差异在室温性能上也有所反映,两相区处理的样品室温延伸率仅为 8.4%,而面缩却达到 26%,说明集中变形比较严重。因此 Ti600 合金在焊接后必须采用 β 区固溶处理,以使基本组织与焊

缝组织保持较好的一致性。图 2 为 Ti600 合金板材焊缝的低倍及高倍组织形貌。图 2a 是焊缝热处理前的低倍组织,可看到焊接时所形成的漏斗形熔池;从图 2b 中可看到由基材向焊缝中心平行生长的柱状晶,图 2c 为焊缝过渡区高倍组织形貌,由于该区域在焊接过程中冷却速率较快,因而形成了细针状 α 相。

表 3 Ti600 合金板材焊接前后力学性能对比

Table 3 Effects of welding process on mechanical properties of Ti600 alloy plate

	Condition	σ_b /MPa	$\sigma_{0.2}$ /MPa	δ_5 /%	ϕ /%
Tensile properties	EBW + 1008°C /2.5h+ 650°C /8h	1014	971	8.4	26
	1008°C /2.5h+ 650°C /8h	1075	987	12	18
	EBW + 1060°C /1h+ 650°C /8h	1087	1005	6.8	11
	1060°C /1h+ 650°C /8h	1065	986	9.2	16
Creep properties	EBW + 1060°C /1h+ 650°C /8h			$\epsilon_p = 0.072$	
	1060°C /1h+ 650°C /8h			$\epsilon_p = 0.058$	
	EBW + 1008°C /2h+ 650°C /8h	600°C /150MPa/100h		$\epsilon_p = 0.482$	
	1008°C /2h+ 650°C /8h			$\epsilon_p = 0.085$	

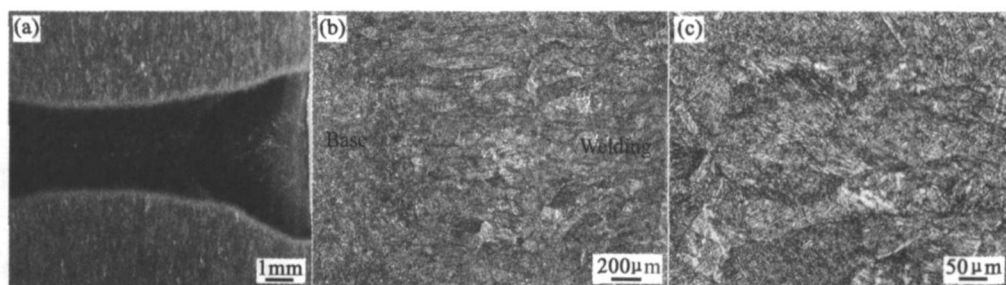


图 2 Ti600 合金板材焊缝区组织形貌

Fig.2 Microstructure of Ti600 alloy plate in weld zone

2.4 讨论

合金显微组织形貌及晶粒尺寸直接受到加工工艺的影响^[7],在热加工变形的金属与合金中,原始晶粒的大角度晶界是最不均匀的地方,因而晶核优先在这些晶界上形成,当加热开始时,材料中由于热变形的作用已经有了一定的动态再结晶核心,在随后的等温保持中,这些核心会进一步长大,其界面无需任何孕育期即能够迁移,因而晶粒尺寸较大(见图 1a);而在静态再结晶中,这种孕育期是非常必要的。变形量的增加一方面缩短静态再结晶的孕育期,而另一方面则增加变形材料在加热过程中发生动态再结晶的体积。采用 B 工艺加工的板材,由于在两次热轧之间增加一次热处理,因而消除了前一次热轧

加工所产生的应变能(内应力),所以在两相区退火处理时具有较长的再结晶孕育期^[7],使其晶粒尺寸较小(见图 1b),所对应的蠕变抗力也较低。

对热轧加工的板材进行单相区 β 热处理时,组织变化不仅有再结晶过程,而且会发生 α - β 的多型性转变^[8],B 工艺在热轧过程中由于增加一步热处理工序,有助于增加第二次热轧后亚晶及其晶界的完整性,减少整个亚晶内位错堆积的浓度^[9,10],经 β 处理后,其片层组织的团束生长比较充分(见图 1d),这种组织具有更好的高温抗蠕变性能^[11];而采用 A 工艺制备的板材,其团束状片层组织的生长受到组织等加工缺陷的影响,排列不规则,多为混乱的交织状(见图 1c),这种组织的蠕变抗力相对较低。

3 结 论

(1) 热机械处理工艺 (TMP) 对 T600 合金板材的组织性能具有明显的影响, 网篮组织中尺寸较大且平行生长的片层状团束有利于提高合金的蠕变性能;

(2) T600 合金具有较好的焊接性能, 焊后热处理应选择 β 区固溶处理, 可获得与焊接前同等水平的室、高温性能。

参考文献:

- [1] BANIA P J. An advanced titanium alloy for elevated temperature[J]. Journal of Metals March, 1988: 20-22.
- [2] BLENKINSOP PA. Developments in high temperature Ti alloy[J]. Titanium science and technology, 1984, 4: 2323-2338.
- [3] ZHANG Z Q, HONG Q. Microstructure and mechanical properties of a high temperature titanium alloy T+600[A]. SONG Jian, YIN Ru-yu. Proc of ICETS2000-ISAM[C]. 330-334.
- [4] HONG Quan, ZHANG Zhen-qi, YANG Guan-jun. Influence of thermomechanical processing and treatment on mi-

crostructure and mechanical properties of T600 Alloy[J]. ACTA Metallurgica Sinica, 2002(9), 38(Suppl): 135-137.

- [5] 江义军. 推重比 12-15 发动机技术途径分析[J]. 航空动力学报, 2001, 16(2): 103-107.
- [6] 郭海丁, 邬华芝, 等. TC4 钛合金焊接接头疲劳损伤演变模型研究[J]. 航空动力学报, 2003, 18(2): 197-201.
- [7] GORELIK S S. Recrystallization in metals and alloys[M]. Moscow: M R Publishers, 1981. 206-212.
- [8] BODYAKO N, Grodnenko A I. Peculiarities of phase and structure transformations in titanium alloys in the process of high-speed electric heat treatment[A]. G. Lutjering, Proceedings of the Fifth International Conference on Titanium, Munich, 1984. 1621-1628.
- [9] AUST K T. The Art and Science of Growing Crystals[M]. New York, Wiley, 1963.
- [10] WEINEM D, KUMPFERT J. Mechanical properties of the near-alpha titanium alloy tinetal 1100 with fine β -grain size[A]. Titanium, 95. Science and technology[C]. Birmingham, Oct 22-26, 1995. 1042-1049.
- [11] BANIA P J, HALL J A. Creep studies of T+6242 alloy[J]. Titanium Science and Technology, 1985: 2371.

Effects of Rolling Process on Microstructure and Properties of T600 Alloy Plates

HONG Quan, QI Yun-lian, ZHAO Yong-qing, YANG Guan-jun

(Northwest Institute for Nonferrous Metal Research, Xi'an 710016, China)

Abstract T600 alloy plate was chosen to study the influence of different rolling process and subsequent heat treatments on the tensile properties and creep resistance. Microstructure and mechanical properties have been investigated in common process and thermomechanical process (TMP). Effects of welding process on properties of T600 alloy plate were also studied. The results show that the thermomechanical process treated condition have superior creep resistance compared to common rolled process treated condition. T+600 alloy also possesses excellent properties after EB-welding process.

Key words T600 titanium alloy plate; EB-welding; microstructure; properties