

# Ti-6Al-4V 合金网篮组织与拉伸性能定量关系研究

石晓辉<sup>1</sup>, 曾卫东<sup>1</sup>, 孙宇<sup>1</sup>, 韩远飞<sup>1</sup>, 赵永庆<sup>2</sup>, 郭萍<sup>2</sup>

(1. 西北工业大学 凝固技术国家重点实验室, 陕西 西安 710072)

(2. 西北有色金属研究院, 陕西 西安 710016)

**摘要:** 建立钛合金显微组织-拉伸性能定量关系对于组织-性能的控制及优化具有重要意义。基于定量金相学和体视学原理, 利用多元非线性回归方法建立了 Ti-6Al-4V 合金网篮组织-拉伸性能定量关系模型。模型自变量包括片状  $\alpha$  相厚度、片状  $\alpha$  相长宽比, 因变量为合金的室温拉伸性能。经验证表明, 所建立的多元回归模型对合金的拉伸性能具有较高的预测精度, 预测值与实验值相吻合。

**关键词:** 网篮组织; 拉伸性能; 定量关系; Ti-6Al-4V; 多元非线性回归

中图分类号: TG146.2<sup>+</sup>3

文献标识码: A

文章编号: 1002-185X(2016)09-2327-05

钛合金因具有密度小、比强度高、耐高温、耐蚀、可焊等优良的综合性能在航空领域得到广泛应用<sup>[1-3]</sup>。钛合金组织具有多样性, 通过不同的热加工工艺可以得到魏氏组织、网篮组织、混合组织、等轴组织<sup>[4]</sup>和三态组织<sup>[5]</sup>等。不同类型组织的性能各不相同, 同种类型组织中显微特征的差异也会造成性能显著变化。因此, 如何正确认识钛合金显微组织与力学性能之间的复杂关系是获得良好综合性能的关键。随着航空工业对钛合金构件性能要求日益提高, 建立组织与性能关系的定量分析模型也变得日益重要。

世界钛合金学术泰斗 Boyer, Semiatin 和 Lütjering 等人曾多次对钛合金显微组织与力学性能之间的关系进行了评述<sup>[6,7]</sup>。然而, 这些研究都仅仅是从热变形机理角度, 或者都是定性地描述显微组织与性能之间的关系, 未建立它们之间的定量关系。

近年来, 大量学者开始尝试建立钛合金微观组织与力学性能的定量关系。例如, Z. G. Zhang 等人<sup>[8]</sup>采用统计方法, 系统地研究了 Ti-3Al-5Mo-5V 合金的显微组织与力学性能及剪切变形带之间的关系。S. Kar 等人<sup>[9]</sup>利用人工神经网络方法建立了  $\beta$  处理两相钛合金的显微组织-拉伸性能定量关系。Xue Chen 等人<sup>[10]</sup>在研究 Ti<sub>2</sub>AlNb 合金显微组织与拉伸性能的关系时发现, 合金的屈服强度与片层  $\alpha$  相的厚度, 合金的延伸率与  $\beta_2$  相颗粒的直径均符合 Hall-Petch 关系。国外材料学家<sup>[11]</sup>及国内的张旺峰等人<sup>[12]</sup>则采用多元线性回

归方法分别建立了 TC6 钛合金与 TA15 钛合金强度和塑性与原始  $\beta$  晶粒尺寸和晶内组织参数的定量关系。

众所周知, 钛合金网篮组织有较好的断裂韧性、持久强度、热强性和抗蠕变性能, 是长期在高温环境中拉应力条件下服役零件的理想组织<sup>[13,14]</sup>。但这种类型的组织塑性较低, 从而限制了其应用。因此, 建立网篮组织钛合金显微组织-拉伸性能的定量关系, 从而实现拉伸性能的控制和优化具有重要指导意义。然而, 钛合金网篮组织与拉伸性能之间的定量关系研究却鲜有报道。

本研究以 Ti-6Al-4V 合金为例, 根据体视学和定量金相学<sup>[15-18]</sup>理论, 以 Image pro plus 6.0 专业图像处理软件为平台, 建立了该合金网篮组织显微组织特征参数-拉伸性能的多元非线性回归模型, 从而为实际应用中钛合金组织的优化提供参考。

## 1 实验

原材料为西北有色金属研究院提供的  $\Phi 130$  mm  $\times$  170 mm 的 Ti-6Al-4V 合金棒材, 其化学成分(质量分数, %)为: 6.12Al, 4.10V, 0.06Fe, 0.14O, 0.01C, 0.0021N, 0.001H, 余量为 Ti。采用金相法测得合金的相变点为 990 °C。锻造实验采用  $\beta$  锻造, 锻造温度为 1010 °C, 变形量为 80%, 在 3 t 自由锻锤上完成。为了得到不同显微组织特征参数的网篮组织, 将  $\beta$  锻造的圆饼切成 10 块分别进行退火处理。退火制度包括

收稿日期: 2015-09-21

基金项目: 教育部博士点基金(20116102110015); 国家重点基础研究发展计划(“973”计划)(2007CB613807)

作者简介: 石晓辉, 男, 1989 年生, 博士, 西北工业大学凝固技术国家重点实验室, 陕西 西安 710072, 电话: 029-88460516, E-mail: sxhtough@126.com

750、800、850、900、950 °C 5 个退火温度和 1、5 h 两个退火时间。每种退火制度下切取 2 个拉伸试样和 1 个金相试样。室温拉伸性能测试采用 INSTRON-1185 万能材料试验机进行。金相试样采用 OLYMPUS PMG 3 型光学显微镜 (OM) 和 JSM-6460 型扫描电子显微镜 (SEM) 拍照观察。应用王凯旋等人<sup>[19]</sup>建立的显微组织特征参数的定量测量分析模型与方法, 采用 Image-Pro Plus 5.0 图像分析软件测量不同工艺条件下的网篮组织特征参数。

## 2 结果及讨论

### 2.1 显微组织定量分析

图 1 为 Ti-6Al-4V 合金不同退火制度下的显微组织形貌。由图可知, Ti-6Al-4V 合金在  $\beta$  单相区变形并进行退火处理后, 显微组织呈现典型的网篮组织形态, 即原始  $\beta$  晶粒边界不同程度地被破碎, 晶内片状  $\alpha$  交错分布, 编织成网篮状。进一步观察可以发现, 随退火温度的升高, 片状  $\alpha$  相明显变短变粗, 而同一退火温度, 不同退火时间下, 晶内片状  $\alpha$  的形态变化却并不显著。根据 Lütjering 等<sup>[7]</sup>人的研究, 钛合金  $\beta$  晶粒的尺寸主要受锻造加热温度的影响, 集束尺寸主要与冷却速率相关, 由于本研究的锻造工艺和锻后冷却方式相同, 故原始  $\beta$  晶粒尺寸、集束尺寸、晶界  $\alpha$  相厚度、 $\alpha$  相体积分数等参数的变化很小。

众所周知, 影响网篮组织钛合金拉伸性能的显微组织特征参数有多种, 比如原始  $\beta$  晶粒尺寸、集束尺寸、晶界  $\alpha$  相厚度、 $\alpha$  相体积分数、 $\alpha$  相的厚度、形态、长宽比等。因此, 在建立模型之前, 必须从诸多显微

组织特征参数中找到影响网篮组织 Ti-6Al-4V 合金拉伸性能的主要参数。德国学者 Lütjering 等<sup>[7]</sup>指出, 影响合金拉伸性能的片状组织主要特征参数包括: 集束尺寸、 $\alpha$  片状厚度和  $\beta$  晶粒直径。Boyer<sup>[20]</sup>也同样认为片状  $\alpha$  相厚度能够直接影响  $\beta$  处理后 Ti-4Al-4V 合金的屈服强度和延伸率。Zhu 等人<sup>[21]</sup>发现, 片状  $\alpha$  相长宽比对合金拉伸性能也具有重要作用。然而, 由于本研究组织中原始  $\beta$  晶粒尺寸、集束尺寸、晶界  $\alpha$  相厚度、 $\alpha$  相体积分数等参数的变化很小, 因此, 本研究忽略上述参数的影响, 仅考虑片状  $\alpha$  相厚度 ( $\lambda_\alpha$ ) 和长宽比 ( $R$ ) 对合金拉伸性能的影响。

图 2 为不同退火制度下 Ti-6Al-4V 合金显微组织中  $\lambda_\alpha$  和  $R$  的定量表征。从图中可以发现, 退火温度对片状  $\alpha$  相厚度和长宽比的影响较大。随着退火温度升高, 片状  $\alpha$  相厚度显著增大, 长宽比显著降低。如退火温度从 750 °C 升高到 950 °C, 片状  $\alpha$  相厚度从 2.39  $\mu\text{m}$  增厚到 3.34  $\mu\text{m}$ , 长宽比从 16.5 下降到 8.2。退火保温时间对片状  $\alpha$  相厚度和长宽比的影响较小, 虽然延长退火时间, 片状  $\alpha$  相厚度有增大、长宽比有下降的趋势, 但总体上影响不大。

综上所述, 退火温度是影响片状  $\alpha$  相厚度和长宽

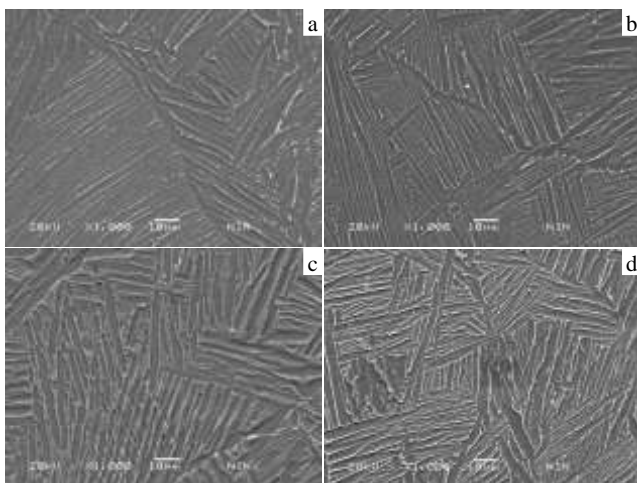


图 1 不同退火制度下 Ti-6Al-4V 合金网篮组织形貌

Fig.1 Basket-weave structure morphology for Ti-6Al-4V alloy under different annealing treatments: (a) 750 °C/1 h, (b) 750 °C/5 h, (c) 850 °C/1 h, and (d) 850 °C/5 h

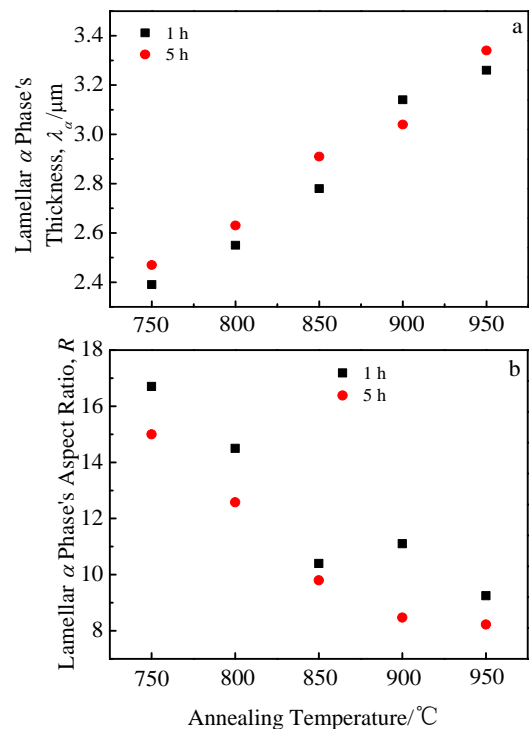


图 2 不同退火制度下 Ti-6Al-4V 合金显微组织定量表征

Fig.2 Quantitative characterization of microstructure parameters for Ti-6Al-4V alloy under different annealing treatments: (a) lamellar  $\alpha$  phase's thickness and (b) lamellar  $\alpha$  phase's aspect ratio

比的主要因素, 而退火时间影响较小。较高的退火温度促使片状  $\alpha$  相变短、变厚。根据 Stefansson 等人<sup>[22,23]</sup> 的研究, 高温下片状  $\alpha$  相的粗化是一个原子扩散的过程。退火温度越高, 原子的扩散就越快, 越充分, 片状  $\alpha$  相的粗化现象就越明显。在本研究范围内, 退火保温时间的差异对原子扩散的程度影响不大, 从而导致其对片状  $\alpha$  相形态影响较小。

### 2.2 显微组织-拉伸性能定量分析

确定最优的函数形式是保证所建 Ti-6Al-4V 合金显微组织-拉伸性能定量关系预测精度的关键。基于此, 本研究考虑先找到各单一参量对合金拉伸性能的影响趋势, 然后通过分析确定 Ti-6Al-4V 合金显微组织-拉伸性能定量关系的总关系式。最终通过数据点的拟合建立 Ti-6Al-4V 合金显微组织-拉伸性能定量关系。

图 3a 和 3c 所示为片状  $\alpha$  相厚度与 Ti-6Al-4V 合金拉伸性能的对对应关系。可以发现, 片状  $\alpha$  相厚度的增大导致合金的拉伸断裂强度 (UTS) 和屈服强度 (YS) 持续降低, 延伸率 (EL) 和断面收缩率 (RA) 持续升高。合金的强度及塑性与片状  $\alpha$  相厚度呈倒“S”型曲线关系。片状  $\alpha$  相厚度在 2.7~3.1  $\mu\text{m}$  范围内, 合金的拉伸性能变化平缓, 强度变化在 15 MPa 以内, 塑性变化在 1% 以内。而在此范围之外, 合金的拉伸性能变化较大。

众所周知, 位错在合金中滑移越容易, 则合金的

塑性越高。Ti-6Al-4V 合金的宏观塑性包括两方面的贡献, 一是位错在  $\beta$  基体中的滑移距离。众所周知, 位错更容易在较软的相中滑移。因此, 退火状态下较软的  $\beta$  基体是合金中位错的优先滑移路径。二是位错切过  $\alpha$  相所产生的变形<sup>[24]</sup>。

在片状  $\alpha$  相厚度 < 2.7  $\mu\text{m}$  范围内, 位错基本可以切过  $\alpha$  相。另外, 由于本研究组织中  $\alpha$  相体积分数基本相同, 因此随着片状  $\alpha$  相厚度的增加, 相邻片状  $\alpha$  相之间的  $\beta$  基体厚度也随之增加, 位错在  $\beta$  基体中有更长的滑移距离。位错切过  $\alpha$  相所引起的变形以及位错在  $\beta$  基体中越来越长的滑移距离使得 Ti-6Al-4V 合金的塑性快速增加<sup>[24]</sup>。在片状  $\alpha$  相厚度 2.7~3.1  $\mu\text{m}$  范围内, 随着片状  $\alpha$  相厚度增加, 位错越来越倾向于在  $\alpha/\beta$  界面塞积<sup>[24]</sup>, 此时  $\alpha$  相变形对合金的宏观塑性不再有贡献, 仅靠位错在  $\beta$  基体中更长的滑移距离使得合金塑性缓慢增加。在片状  $\alpha$  相厚度 > 3.1  $\mu\text{m}$  范围内, 虽然位错已不能切过  $\alpha$  相, 但是随着片状  $\alpha$  相厚度的增加, 其长度也缩短, 当位错在遇到  $\alpha$  相时能够更加容易地绕过<sup>[24]</sup>, 故位错在  $\alpha/\beta$  界面塞积变少, 从而参与更多变形。位错更加自由的滑移方向以及位错在  $\beta$  基体中更长的滑移距离使得合金塑性快速增加。

图 3b 和 3d 所示分别为片状  $\alpha$  相长宽比与合金拉伸性能的对对应关系。可以发现, 抗拉伸断裂强度 (UTS) 和屈服强度 (YS) 随片状  $\alpha$  相长宽比的增加逐渐升高,

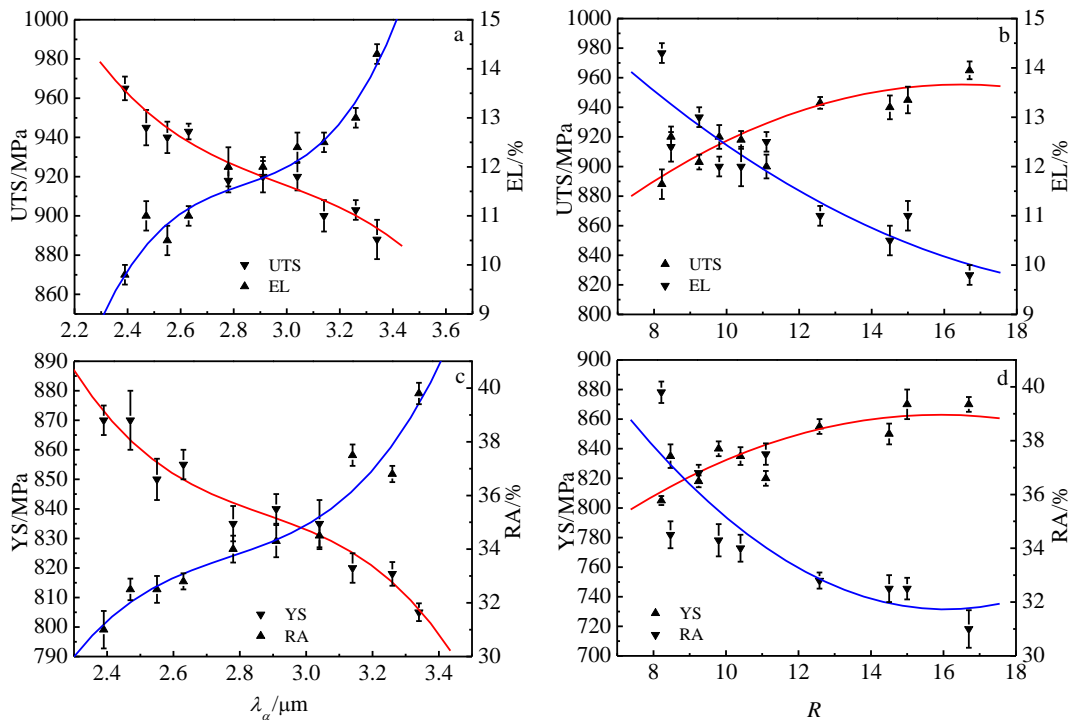


图 3 Ti-6Al-4V 合金网篮组织组织特征对拉伸性能的影响

Fig.3 Effects of basket-weave structure morphology of Ti-6Al-4V on its tensile properties: (a, c) lamellar  $\alpha$  phase's thickness, and (b, d) lamellar  $\alpha$  phase's aspect ratio

而合金的延伸率 (EL) 和断面收缩率 (RA) 则逐渐降低。理论上<sup>[11]</sup>, 同样体积分数的  $\alpha$  相,  $\alpha$  相长宽比越大,  $\alpha/\beta$  之间的相界面积就越大, 而  $\alpha/\beta$  相界面是阻止位错运动的主要屏障, 因此片状  $\alpha$  相长宽比越大, 位错运动阻力越大, 导致 Ti-6Al-4V 合金强度升高, 塑性降低。

为了找到最优的表达 Ti-6Al-4V 合金片状  $\alpha$  相厚度及长宽比与拉伸性能的函数关系, 作者比较了多项式、指数式等多种函数的拟合精度。最终发现三次多项式能够更好地表达片状  $\alpha$  相厚度与合金拉伸性能的

$$UTS/MPa = 2789.7 + 15R - 0.45R^2 - 1995.4\lambda_\alpha + 678.4\lambda_\alpha^2 - 77.7\lambda_\alpha^3 \quad (2)$$

$$EL/\% = -113.2 - 0.47R + 0.011R^2 + 133.9\lambda_\alpha - 46.7\lambda_\alpha^2 + 5.5\lambda_\alpha^3 \quad (3)$$

$$YS/MPa = 2426.5 + 14R - 0.44R^2 - 1721.4\lambda_\alpha + 591.9\lambda_\alpha^2 - 68.6\lambda_\alpha^3 \quad (4)$$

$$RA/\% = -146.8 - 1.5R + 0.047R^2 + 203.6\lambda_\alpha - 72.9\lambda_\alpha^2 + 8.8\lambda_\alpha^3 \quad (5)$$

分析式 (2) 和 (4) 可以看出,  $b_1$  为正,  $c_1$  为负, 而式 (3)、(5) 中  $b_1$  为负,  $c_1$  为正。故增加片状  $\alpha$  相厚度会减小合金强度、提高合金塑性; 而增加片状  $\alpha$  相长宽比则具有相反的效果。以上结果与 Lütjering 等<sup>[7]</sup> 人的研究结论一致。对各式中的显微组织参数求偏导, 便可大致得到单个参数对合金拉伸性能的影响程度。经分析发现, 片状  $\alpha$  相厚度每增加 0.1  $\mu\text{m}$ , 合金的抗断裂强度和屈服强度会分别降低约 17 和 28 MPa, 而延伸率与断面收缩率会相应增加约 1.4% 和 3.9%; 而片状  $\alpha$  相长宽比每增加 1, 合金的抗断裂强度和屈服强度会分别增加约 6 和 5 MPa, 而延伸率与断面收缩率会相应降低约 0.3% 和 0.6%。对比可以发现, 片状  $\alpha$  相厚度较小的波动便可引起退火态 Ti-6Al-4V 合金拉伸性能的较大幅度改变。当片层  $\alpha$  相厚度被控制在 3  $\mu\text{m}$ , 且片层  $\alpha$  相长宽比控制在 10 左右时, Ti-6Al-4V 合金退火组织可使强度与塑性得到良好匹配, 此时抗拉伸断裂强度可达到 920 MPa 左右, 延伸率则能达到 12% 左右。

式 (2) 至 (5) 对数据点拟合的相关系数可分别达到 0.96、0.93、0.95 和 0.90。故运用式(1)的函数形式表达 Ti-6Al-4V 合金显微组织-拉伸性能定量关系精度较高。与文献[12]所建立的多元线性回归模型相比, 本研究所建模型是基于单一显微组织-拉伸性能关系整合而成, 且采用多元非线性回归方式, 故可更好地反映 Ti-6Al-4V 合金高度非线性的显微组织-拉伸性能定量关系。

### 3 结 论

1) 增加片状  $\alpha$  相厚度会减少合金强度、提高合金塑性, 而增加片状  $\alpha$  相长宽比则具有相反的效果。当片层  $\alpha$  相厚度被控制在 3  $\mu\text{m}$  且片层  $\alpha$  相长宽比控制

对应关系。而二次多项式在表达片状  $\alpha$  相长宽比与合金拉伸性能的对数关系中效果较好。为了综合考虑片状  $\alpha$  相厚度及长宽比对合金拉伸性能的影响, 本研究采用式(1)的函数形式建立 Ti-6Al-4V 合金显微组织-拉伸性能定量关系式:

$$\text{拉伸性能} = a + b_1 R + b_2 R^2 + c_1 \lambda_\alpha + c_2 \lambda_\alpha^2 + c_3 \lambda_\alpha^3 \quad (1)$$

式中,  $R, \lambda_\alpha$  分别代表片状  $\alpha$  相长宽比和片状  $\alpha$  相厚度,  $a, b_1, b_2, c_1, c_2, c_3$  均为常数。

对数据点进行拟合之后, 得到的定量关系如式(2)~(5)所示:

$$UTS/MPa = 2789.7 + 15R - 0.45R^2 - 1995.4\lambda_\alpha + 678.4\lambda_\alpha^2 - 77.7\lambda_\alpha^3 \quad (2)$$

$$EL/\% = -113.2 - 0.47R + 0.011R^2 + 133.9\lambda_\alpha - 46.7\lambda_\alpha^2 + 5.5\lambda_\alpha^3 \quad (3)$$

$$YS/MPa = 2426.5 + 14R - 0.44R^2 - 1721.4\lambda_\alpha + 591.9\lambda_\alpha^2 - 68.6\lambda_\alpha^3 \quad (4)$$

$$RA/\% = -146.8 - 1.5R + 0.047R^2 + 203.6\lambda_\alpha - 72.9\lambda_\alpha^2 + 8.8\lambda_\alpha^3 \quad (5)$$

在 10 左右时, Ti-6Al-4V 合金退火组织可使强度与塑性得到良好匹配, 此时抗拉伸断裂强度可达到 920 MPa 左右, 延伸率则能达到 12% 左右。

2) 片状  $\alpha$  相厚度、长宽比与拉伸性能关系分别用三次多项式和二次多项式表示精度较高。采用三次多项式与二次多项式组合的函数形式能够很好地表达网篮组织 Ti-6Al-4V 合金显微组织-拉伸性能定量关系。

### 参考文献 References

[1] Li Xingrong(李兴荣), Zhang Hui (张 晖), Zhang Wangfeng (张旺峰) *et al.* *Rare Metal Materials and Engineering* (稀有金属材料与工程) [J], 2012, 41(7): 1243

[2] Zhao Yongqing(赵永庆), Zhao Xiangmiao(赵香苗), Zhu Kangying(朱康英) *et al.* *Rare Metal Materials and Engineering* (稀有金属材料与工程) [J], 1996, 25(5): 1

[3] Cao Chunxiao(曹春晓). *Rare Metals Letters*(稀有金属快报) [J], 2006, 25(1): 17

[4] Chen Huiqin, Cao Chunxiao. *Trans Nonferrous Met Soc China*[J], 2012, 22(3): 503

[5] Zhou Yigang, Zeng Weidong, Yu Hanqing. *Mater Sci Eng A*[J], 2005, 393: 204

[6] Boyer R R, Wallem D R. *Microstructure/Property Relationships of Titanium Alloy*[M]. Warrendale, PA: TMS, 1994: 125

[7] Lütjering G. *Mater Sci Eng A*[J], 1999, 263(2): 117

[8] Zhang Z G, Wu G Q, Song H *et al.* *Mater Sci Eng A*[J], 2008, 487: 488

[9] Kar S, Searles T, Lee E *et al.* *Metall Mater Trans A*[J], 2006, 37(3): 559

[10] Xue Chen, Zeng Weidong, Wang Wei *et al.* *Mater Sci Eng A*[J], 2013, 573: 183

[11] Wang Jinyou(王金友), Ge Zhiming(葛志明) Zhou Yanbang

- (周彦邦). *Aeronautical Titanium Alloy*(航空用钛合金)[M]. Shanghai: Shanghai Metallurgy Press, 1985: 1
- [12] Zhang Wangfeng(张旺峰), Cao Chunxiao(曹春晓), Li Xingwu(李兴无) *et al. Rare Metal Materials and Engineering* (稀有金属材料与工程)[J], 2009, 38(6): 972
- [13] He Shulin, Lei Xiaojun, Wang Xiaoxiang *et al. Trans Nonferrous Met Soc China*[J], 2010, 20(S1): 43
- [14] Sha Aixue, Li Xingwu, Yu Qingru *et al. Trans Nonferrous Met Soc China*[J], 2005, 15(8): 1167
- [15] Pellissier G E, Purdy S M. Translated by Sun Huilin(孙惠林). *Morphology and Quantitative Metallography*(体视学和定量金相学)[M]. Beijing: China Machine Press, 1980: 1
- [16] Liu Guoquan(刘国权). *Computerized Tomography Theory and Applications*(CT理论与应用研究)[J], 2000, 9(S): 6
- [17] Tiley J, Searles T, Lee E *et al. Mater Sci Eng A*[J], 2004, 372: 191
- [18] Collins P C, Welk B, Searles T *et al. Mater Sci Eng A*[J], 2009, 508: 174
- [19] Wang Kaixuan(王凯旋), Zeng Weidong(曾卫东), Shao Yitao(邵一涛) *et al. Rare Metal Materials and Engineering*(稀有金属材料与工程)[J], 2009, 38(3): 398
- [20] Boyer R R, Rack H J, Venkatesh V. *Mater Sci Eng A*[J], 1998, 243(1): 97
- [21] Zhu J C, Wang Y, Liu Y *et al. Trans Nonferrous Met Soc China*[J], 2007, 17(S1A): 490
- [22] Stefansson N, Semiatin S L. *Mater Trans A*[J], 2002, 34A: 691
- [23] Stefansson N, Semiatin S L, Eylon D. *Metall Mater Trans A* [J], 2002, 33A: 3527
- [24] Yu Hanqing(俞汉清), Chen Jinde(陈金德). *Fundamental of Metal Plastic Forming*(金属塑性成形原理)[M]. Beijing: China Machine Press, 1998: 16

## Quantitative Analysis on Microstructure-Tensile Property Relationship for Ti-6Al-4V Alloy with Basket Weave Structure

Shi Xiaohui<sup>1</sup>, Zeng Weidong<sup>1</sup>, Sun Yu<sup>1</sup>, Han Yuanfei<sup>1</sup>, Zhao Yongqing<sup>2</sup>, Guo Ping<sup>2</sup>

(1. State Key Laboratory of Solidification Processing, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China)

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

**Abstract:** It is of great value to establish the microstructure-tensile property relationship for the control and optimization of titanium alloys' properties. Based on quantitative metallography and stereology, the quantitative relationship between microstructure and tensile property for Ti-6Al-4V alloy with basket-weave structure was established using multielement non-linear regression. In this model, the independent variables included thickness and aspect ratio of lamellar  $\alpha$  phase, while the dependent variables were strength and ductility of Ti-6Al-4V alloy. The results show that the multiple regression model built in present paper can precisely describe the microstructure-tensile property relationship of Ti-6Al-4V alloy with basket-weave structure, namely the prediction values are consistent with the experimental.

**Key words:** basket-weave structure; tensile property; quantitative relationship; Ti-6Al-4V; multielement non-linear regression

Corresponding author: Zeng Weidong, Ph. D., Professor, State Key Laboratory of Solidification Processing, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, P. R. China, Tel: 0086-29-88494298, E-mail: zengwd@nwpu.edu.cn