

等温锻造Ti-6Al-4V合金的显微组织

金属系金属物理专业 邓光福等

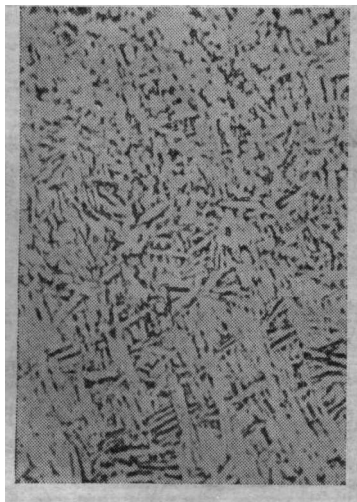
通过简单等温顶锻试验,研究了形变量、形变温度、热处理等因素对TC₄合金显微组织的影响。结果表明,等温锻造可以获得均匀的等轴 α 相+转变 β 的组织。等轴 α 相的数量、形状以及 β 晶粒大小,可通过改变锻造条件而加以控制。

一、材料和程序

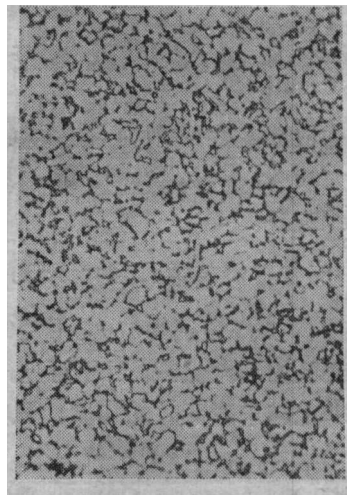
试验材料是 $\phi 25$ 的TC₄锻棒。 $\alpha + \beta/\beta$ 相变点 $T_0 \sim 990^\circ\text{C}$ 。平均成分如下:

Al	V	O	N	H ₂	Fe	Si	Ti
6.38	4.23	0.105	0.016	0.0027	0.19	0.034	余量

锻棒横截面组织不甚均匀,近中心处是针状或篱笆状 α 组织。边缘处是细的全等轴 α 相(见照片1,2)。锻造试样是由上述锻棒加工成 $\phi 20$ 的园柱体,高度为26mm、18mm 二种。



照片 1 $\times 500$
试样原始组织(中心部分)



照片 2 $\times 500$
试样原始组织(边缘部分)

试验在50吨压力机上进行。通过控制可以在相当宽的范围内改变压下速率(1~3mm/分至50mm/分),用一个电炉使试样和模具加热并保持恒温,等温区温度变化约 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ 。模具是用镍基高温合金(GH49)加工而成。为了便于对比形变前后材料显微组织的变化,模具设计如图一所示。顶锻时,试样二端形变量甚小,基本上保留了未形变的组织。模具与试样接触部分用玻璃润滑。

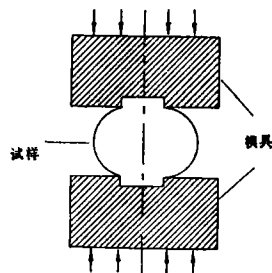
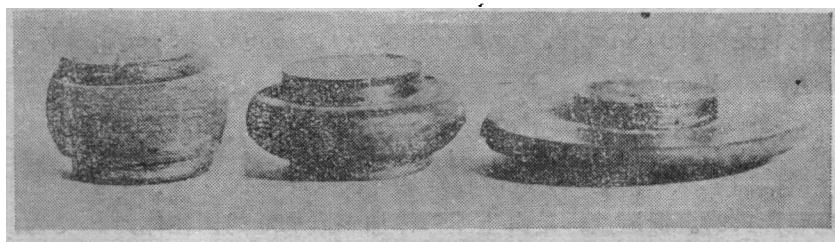


图 1

锻造程序如下:

试样先在相应的锻造温度下保温一小时,然后开始锻造,压下速率均为1~3mm/分,相当于形变速率为0.003/秒。整个锻造过程约4~5分钟完成,锻后空冷。照片3是形变量分别为30%、50%、80%时锻件的外形。



照片3 × 1

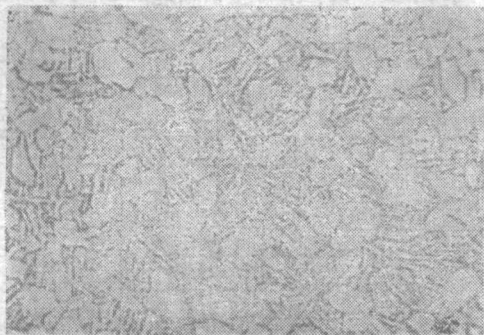
二、结果和讨论

试样锻造温度分别为 $T_0 - 10^{\circ}$ (980 $^{\circ}\text{C}$), $T_0 - 20^{\circ}$ (970 $^{\circ}\text{C}$), $T_0 - 30^{\circ}$ (960 $^{\circ}\text{C}$),形变量分别为30%, 50%, 80%。顶锻后将试样沿直径方向切开,分别进行低倍组织和显微组织观察。

1、形变量对等轴 α 相的形状和 β 晶粒大小的影响

照片4、5、6分别为970 $^{\circ}\text{C}$ 形变30%、50%、80%后试样的显微组织,照片7是试样无形变区的显微组织。对比可见,当形变量少于50%时,等轴 α 相轮廓和 β 晶粒大小,基本上与未形变时的相同。只有当形变量达80%之后,等轴 α 相强烈拉长,边界也变得较为圆滑, α 相颗粒变细, β 晶粒也得到细化,低倍组织的流线细致均匀(见照片8)。

在其它温度下形变时,形变量的这种作用均相似,但随着形变温度下降,作用更为显著(可参看照片9、6、10)。



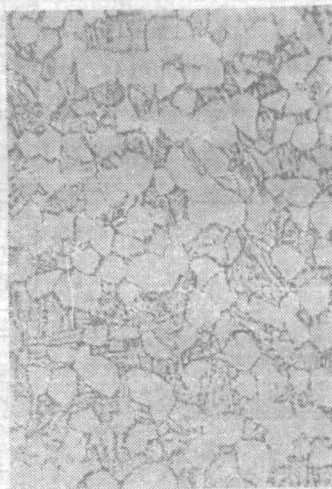
照片4 ×500
970°C 30%



照片5 ×500
970°C 50%



照片6 ×500
970°C 80%

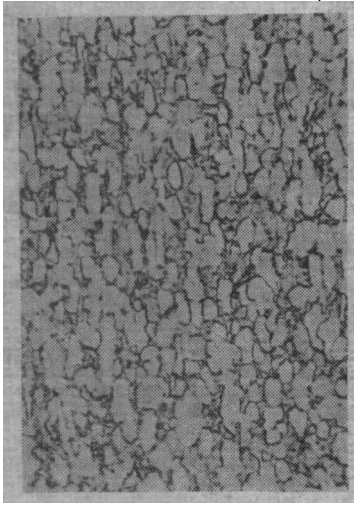


照片7 ×500
970°C 未形变区组织



A 970°C 50% B 970°C 80% C 960°C 80%

照片8 ×1



照片9 ×500
960°C 80%



照片10 ×500
980°C 80%

2、形变温度对等轴 α 相量的影响

照片9、6、10分别是在960°C、970°C、980°C形变80%后的显微组织。随着温度升高，拉长了的等轴 α 相量逐渐减少，分别为64%，55%，30%， α 相被拖长的程度减弱， α 相的颗粒、 β 晶粒则相应增大。

3、形变对 β 晶粒的影响

为了观察 β 晶粒在形变过程中的变化，试样在锻造前进行如下的 β 处理：1000°C，20分AC以获得均匀的 β 晶粒。照片11、12、13是经 β 处理后，在980°C形变30%、50%

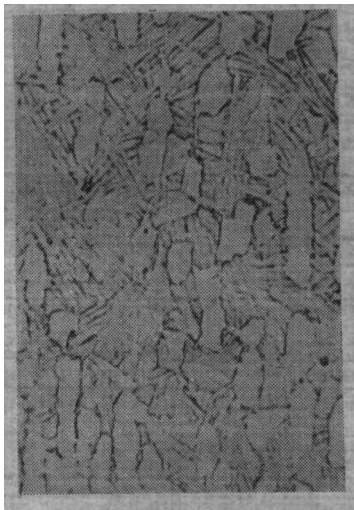


照片11 ×500
 β 处理+980°C 30%

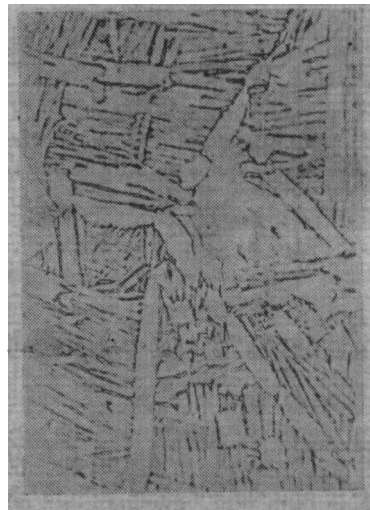


照片12 ×500
 β 处理+980°C 50%

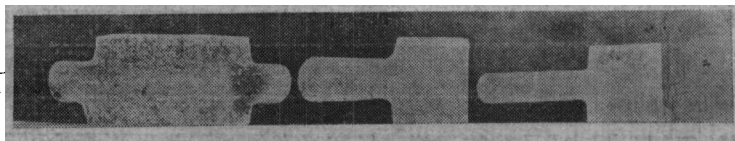
80%时试样的显微组织, 照片14是试样未形变区的组织。可见, 经 β 处理并在980°C长期保温后, 在粗大的晶粒边界和晶粒内部可以产生杆状的 α 相。这种粗大 β 组织直到形变50%时仍然没有多大改变, 只当形变量达80%时, 才获得较细的 β 晶粒, 此时拉长的等轴 α 相轮廓变得较为园滑, 大部分沿 β 晶粒边界分布。 β 晶粒因形变而细化的过程随形变温度降低而显著, 这还可以从低倍组织中观察出来(见照片15)。



照片13 ×500
 β 处理+980°C 80%



照片14 ×500
 β 处理+980°C 1hr 未形变区



A B C
980°C 50% 980°C 80% 960°C 80%
照片15 ×500

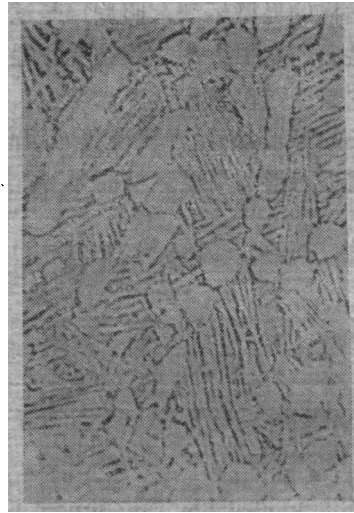
4. 等温锻造试样对热处理的反应

为了鉴定经等温锻造后试样热处理的可能性, 曾将各种试样进行高温固溶退火处理。试验结果表明, 对于未经 β 处理试样, 不管原来锻造温度和形变量, 均可获得均匀的等轴 α 相+转变 β 的显微组织, 照片16为960°C形变80%试样固溶退火后的组织, 原来因形变而拉长的 α 相也变成等轴的。而对于经 β 处理的试样, 则只当形变量达80%时才能获得相同的反应(见照片17), 但这时的 α 相比较多地保留原先因形变被拉长的特征, 边界也较园滑。

形变温度较低的试样对热处理的反应更为敏感。



照片16 ×500
960°C形变80%+980°C, 2.5hr AC



照片17 ×500
β处理, 980°C形变80%+980°C, 2.5hr, AC

三、初步结论

1、等温锻造可以获得低倍组织流线细致均匀, 显微组织是等轴 α +转变了的 β 的锻件组织。

2、由形变量、形变温度对显微组织的影响中, 可以认为基本上符合一般加工再结晶时形变和温度对晶粒度影响的规律。即形变量越大, 形变温度越低, 等轴 α 相和 β 晶粒则较细, 等轴 α 相拉长程度也越明显; 相反则等轴 α 相和 β 晶粒也变得粗大。

3、等轴 α 相的数量可以改变锻造温度而进行控制。

4、原始组织为粗大 β 晶粒的试样, 只有当在 $(\alpha+\beta)$ 相区形变达80%时才能获得细化的 β 晶粒。这与有关 β 锻造的报导相同。实验表明, 当有粗大 β 晶粒存在时, 无论对锻造或热处理后的显微组织都有显著的影响, 这方面工作应进一步研究。

5、经受一定形变量的锻造试样, 均具有良好的热处理反应。

参 考 文 献

- (1) K. M. K. Vikarmi, N. M. Parikh, T. Watmogh J. of Inst. of metal 1972. Vol 100. P. 146.
- (2) S. Z. Figlin 等. Light metal Age 1973. vol. 31 No 9-10, P. 12.
- (3) T. E. Green 等, The Science Technology and Application of Titanium First Edition 1970 P. 111-120.