

500°C下使用的ZT-3铸造钛合金

六二一所铸钛专业组

前 言

ZT-3铸造钛合金是根据工厂和设计部门提出的关于新机研制和老机改型对铸造钛合金的技术要求, 结合我国资源, 先后经过几年的努力, 自行研制出来的在500°C下长期使用的铸造钛合金。

全面性能鉴定结果表明, ZT-3合金具有良好的综合性能。它不仅在500°C下具有持久强度高、高温屈服强度高的特点, 而且在500°C下暴露100小时后的热稳定性也是良好的。

通过典型零件的浇铸表明, ZT-3合金的成型性良好, 无热裂倾向。而且合金是在退火状态下使用, 退火制度也简便易行。

另外, 我国航空工业中目前广泛使用的铸造钛合金的使用温度均在300~350°C以下, 而ZT-3合金的推广应用, 就可把使用温度从350°C提高到500°C。

ZT-3合金还处于刚开始推广应用阶段。

在使用过程中可能会暴露出各种矛盾, 随着矛盾的不断解决, 必将促使ZT-3合金更加完善。我们相信在工厂和设计部门的大力支持下, ZT-3铸造钛合金必将在我国航空工业中得到广泛的应用。

一、ZT-3合金的成份

ZT-3铸造钛合金是含 β 稳定元素(Mo)较高的Ti-Al-Mo系合金, 同时在合金中添加了快共析元素Si和我国丰产的稀土元素Ce。它属于 $\alpha+\beta$ 型合金, 由于组织中Si、Ce弥散化合物析出, 使合金具有足够的高温性能。

ZT-3合金化学成份的波动范围, 是根据几十个炉次的主要性能及全面性能鉴定结果归纳出来的(见表1)。合金成份只要在表1的波动范围内, 性能均能达到指标的要求, 但这不是ZT-3合金的正式成份上下限。正式的成份上下限有待今后在推广应用的实践中加以确定。

表 1 ZT-3合金的成份波动范围

元素(重量)百分数					杂质(重量)百分数					
波动范围					最大					
Al	Mo	Sn	Si	Ce	Ti	O	N	H	C	Fe
4.5~5.5	4.5~5.5	1.7~2.2	0.25~0.3	0.015~0.02	余量	0.15	0.05	0.0125	0.1	0.2

实验表明, ZT-3合金按下列成份:

Ti-5Al-5Mo-2Sn-0.25Si-0.02Ce 进

行配方, 均能达到性能指标。

二、ZT-3合金的制备工艺

制备母合金时所采用的原材料见表2。除

Al、Sn直接以条状或块状加入外，Mo、Si、Ce均以中间合金方式加入。

将配制成的合金元素与海绵钛一起放在500吨侧压机上，压制成 $\phi 60 \times 450$ 毫米长的电极，经氩弧焊接后放在25公斤真空自耗电弧炉中经两次重熔，即制备出母合金铸锭。

再将母合金铸锭作为电极，放在8公斤真空凝壳炉中进行熔化浇铸。熔化过程中的电流为5800~6000安培，电压为30伏左右。铸型为加工石墨梅花型，铸型的预热在电阻丝加热器

工成各种试棒。如加工好的试样需要进行热稳定性处理，则应在箱式或管式炉中进行500℃100小时暴露的热稳定性处理。

三、ZT-3合金的机械性能

现将ZT-3合金的机械性能列入表3，将ZT-3合金的典型机械性能列入表4，为了便于参考，并将周期强度列入表5。与苏联BT-9J铸造钛合金的主要性能相比（见表6）可以看出，ZT-3合金的室温性能与BT-9J相当，高温性能则优于它。

此外，从400~600℃之间的高温拉伸强度曲线（图1）及拉森-米勒图中的持久断裂曲线（图2）可以看出，应力随温度的下降趋势是比较平缓的，特别是在400~500℃之间，应力的变化更为稳定。从表4可以看出，在400~500℃之间的高温屈服强度值也是比较突出的。这是目前涡轮发动机的压气机设计中的重要设计参数。

关于ZT-3合金的正式技术条件，将在推广应用的实践过程中提出。

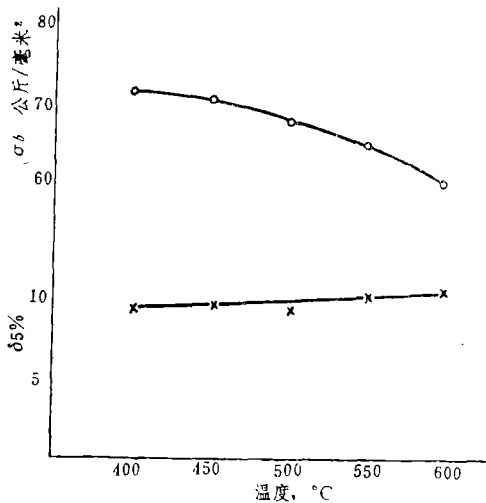
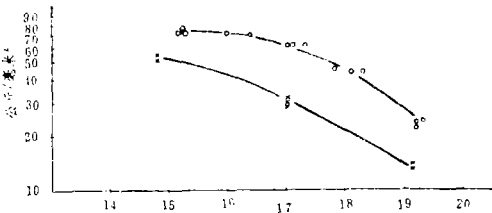


图 1 ZT-3合金高温拉伸性能

○——拉伸强度 ×——延伸率

中进行，待加热到800℃保温30分钟左右，最后浇铸出梅花锭来。再将梅花锭经砂轮切割成梅花棒毛坯，接着将梅花棒毛坯放在箱式电炉中进行650℃1小时空冷的退火处理，然后加



$P = T(20 + \log t) \times 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{K} \text{—小时}$

图 2 ZT-3合金拉森-米勒图(Lasen-Miller图)

○——持久断裂 ×——0.2%蠕变

表 2 ZT-3合金采用的原材料

名 称	海 绵 钛	Al	Sn	Al—Mo	Al—Si	Al—Ce
方 式	(抚顺301厂)	铝条、铝箔	块 状	中间合金	中间合金	中间合金
规 格	一 级	L1	1号	约80%Mo	约12%Si	约4%Ce
纯 度		99.5%	99.95%			

表 3 ZT-3合金的机械性能

σ_b 公斤/毫米 ²	$\sigma_{0.2}$ 公斤/毫米 ²	δ_5 %	ψ %	a_K 公斤米/厘米 ²	$\sigma_{>100}^{500^\circ\text{C}}$ 公斤/毫米 ²	$\sigma_b^{500^\circ\text{C}}$ 公斤/毫米 ²	δ_5 %	ψ %
不 小 于								
95	85	4	8	2	55	63	4	15

表 4 ZT-3合金的典型机械性能

室温机械性能*									
E 公斤/毫米 ²	σ_b 公斤/毫米 ²	$\sigma_{0.2}$ 公斤/毫米 ²	σ_p 公斤/毫米 ²	δ_5 %	ψ %	a_K 公斤米/厘米 ²	HB	σ_{-1}^{**} 公斤/毫米 ²	τ_{sp} 公斤/毫米 ²
11400	99	88	75	4	8	2	310	20	72
高温机械性能*							热稳定性		
试验温度, °C	σ_b 公斤/毫米 ²	$\sigma_{0.2}$ 公斤/毫米 ²	δ_5 %	ψ %	$\sigma_{>100}^{t^\circ\text{C}}$ 公斤/毫米 ²	$\sigma_{0.2}^{t^\circ\text{C}}$ 公斤/毫米 ²	σ_b 公斤/毫米 ²	δ_5/δ_5^{***}	ψ'/ψ^{***}
400	72	58	4	15	71	53	102	$\geq 75\%$	$\geq 75\%$
450	70	55	4	15	70				
500	68	52	4	15	61	30			
550	64		4	15	44				
600	60		4	15	23				

* 表示性能数据为3~4个炉次测试结果的平均值。

** 表示光滑疲劳极限的循环次数 $N > 1 \times 10^7$ 。

*** 表示热稳定性, 经500°C 100小时暴露的 δ_5 %, ψ %与未经暴露的 δ_5 %, ψ %的比值, 均大于或等于75%。

表 5 ZT-3合金的周期强度

$K = \frac{\sigma_n}{\sigma_b}$	最大应力 公斤/毫米 ²	最小应力 公斤/毫米 ²	频 率 次/分	总循环次数 N
1	134.96	—	—	一次拉断
0.7	94.49	9.45	10	1717
0.6	80.99	8.10	10	2850
0.5	67.50	6.75	10	5842

注: 每个数据为三个试样结果的平均值。

表 6 ZT-3合金与苏联BT-9ЛI 铸造钛合金的性能比较

牌 号	σ_b 公斤/毫米 ²	$\sigma_{0.2}$ 公斤/毫米 ²	δ_5 %	ψ %	a_K 公斤米/厘米 ²	$\sigma_{>100}^{500^\circ\text{C}}$ 公斤/毫米 ²	$\sigma_b^{500^\circ\text{C}}$ 公斤/毫米 ²	δ_5 %	ψ %
不 小 于									
ZT-3	95	85	4	8	2	55	63	4	15
BT-9ЛI*	95	83	4	8	2	50	57	4	15

* 引自С.Г.Глазунов和В.Н.Моисеев “Конструкционные Ti Спл.”
《Металлургия》1974, Стр.221.

四、ZT-3合金的物理性能

ZT-3合金的比重为4.65克/厘米³。线膨胀系数列入表7，比热列入表8。

表7 ZT-3合金的线膨胀系数

试验温度, °C	线膨胀系数 $\alpha \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$
20~100	9.12
20~200	9.25
20~300	9.43
20~400	9.46
20~500	9.62
20~600	9.66
20~700	9.85
20~800	10.12
20~900	10.48
20~1000	10.81

表8 ZT-3合金的比热

试验温度 °C	试样重量 克		热 焓 改 变 $\Delta H_{t-0} / ^\circ\text{C}$ 卡/克	平均比热 cp 卡/克度
	测前	测后		
100		5.363	12.06	0.121
300		2.885	38.82	0.129
500		2.885	70.05	0.140
800		2.889	118.2	0.148

五、ZT-3合金的铸造工艺

及退火制度

为了考察ZT-3合金的铸造工艺，我们选择了典型零件发动机放气环带，采用加工石墨型与离心浇铸工艺，先后进行了七个炉次的零件浇铸试验。结果表明，ZT-3合金成型性良好，铸件经吹砂、酸洗后检验，未发现任何裂

纹迹象。

关于ZT-3合金的退火制度，经各种温度退火处理与机械性能测试结果表明，铸态与650°C保温1小时空冷退火后的综合性能都比较好。从图3与图4的金相图片可见，组织上也无明显差别，都是在 β 相基体上 α 片状呈“网篮”形排列，并存在原始的 β 晶界。考虑到如果铸件不进行退火处理，将会产生由于内应力造成的不均匀性，为了便于今后的推广应用，推荐650°C保温1小时空冷作为ZT-3合金的退火制度。

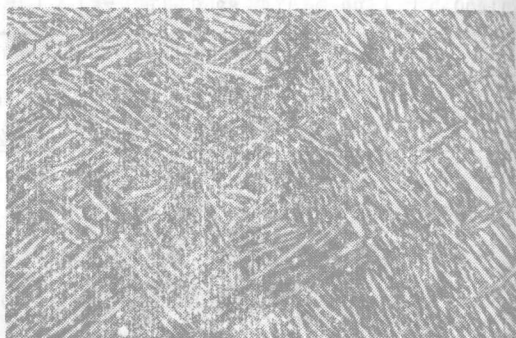


图3 ZT-3合金铸态组织 ×500

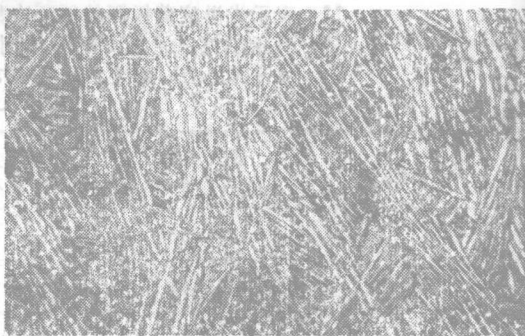


图4 ZT-3合金 650°C 1小时空冷退火组织 · ×500

结 束 语

通过上述介绍可以看出，ZT-3合金成份稳定，综合机械性能良好。它的特点是在500°C下具有足够的热稳定性，经典型铸件浇铸实验表明，它的铸造工艺性能也是良好的。因此，建议ZT-3铸造钛合金，于目前阶段可在新机和改型机种的机匣、后整流舱、压气机整流叶片以及支架等静止零件上推广应用。