

# TA15 钛合金棒材缺陷分析

何 伟 杨军红 杜小平 马红征

(西部金属材料股份有限公司,西安 710016)

**文 摘** 某 TA15 钛合金棒料加工产品,在进行低倍检查时发现存在亮斑缺陷,对其亮斑区显微组织进行观察,确定了其异常区域;再用扫描电镜进一步分析确定该棒材异常区为富钛贫铝的化学成分偏析;显微硬度测试结果显示该棒材的偏析组织为非脆性偏析。实验结果表明,按照上述方法可以有效判定 TA15 合金成分偏析及其类型;对性能满足标准要求的非脆性偏析,按标准切除偏析后可交货。

**关键词** TA15 钛合金,亮斑缺陷,非脆性偏析

中图分类号: TG146.23

DOI:10.3969/j.issn.1007-2330.2015.02.020

## Analysis on Defects in TA15 Titanium Alloy Bar

HE Wei YANG Junhong DU Xiaoping MA Hongzheng

(Western Metal Materials CO.,LTD., Xi'an 710016)

**Abstract** Bright ghost defect were found on products which made of TA15 titanium alloy bar when macroscopic test. The microstructure is observed, by which the abnormal area for TA15 is principally determined. The chemical compositions of that area is characted by SEM, and the microhardness is tested by microhardness tester. The results show that the titanium content in the segregation is higher than that in the normal area, the aluminum content in the segregation is lower than that in the normal area, and the Vickers hardness in the segregation area is lower than that in the normal area, that is so called non-brittle segregation metallurgical defect. For the material of TA15 with segregation structure, when the properties is according with the standard, the bar can be delivered as long as cut-off the segment with segregation.

**Key words** TA15 titanium alloy, Bright ghost defect, Non-brittle segregation

### 0 引言

TA15 是一种高铝当量损伤容限型近  $\alpha$  钛合金,具有良好的热强性和可焊性,有接近  $\alpha$ - $\beta$  型钛合金的工艺塑性,是我国航空领域重要的结构材料<sup>[1]</sup>。

虽然 TA15 是近  $\alpha$  钛合金,但其性能与  $\alpha$ - $\beta$  型钛合金性能接近。因此,如果微区成分不均匀,必然会引起宏观组织及显微组织的异常,从而导致异常区域与正常区域硬度显著的差异性,而这种差异性会使材料在整体上表现为性能不均匀,最终萌生疲劳裂纹源,给零件使用的安全性也带来极大隐患,同时降低该合金的使用寿命<sup>[2]</sup>。

在对 TA15 钛合金低倍进行检查时,经常发现亮

条、亮斑等缺陷。这些缺陷虽然可能在生产过程中没有形成裂纹、孔洞等缺陷,又很难通过无损探伤的方法检测出来,而缺陷的存在可能会严重影响材料的使用可靠性和稳定性。因此,为了确保 TA15 钛合金棒材的使用可靠性,必须对亮条、亮斑这类缺陷进行分析,以及它对性能可能的影响。本文探讨了 TA15 合金棒材偏析中遇到的此类缺陷的分析与判定方法,旨在提高生产质量,为检验提供借鉴。

### 1 实验

#### 1.1 材料

笔者在对某 TA15 钛合金棒料进行低倍检查时发现,有一个不规则的亮斑缺陷,如图 1 所示,疑似偏

析缺陷。为判定该缺陷类型,分析该缺陷产生的原因,避免类似缺陷再次产生,对该 TA15 钛合金产品进行了进一步检测分析。



图1 低倍检查亮斑缺陷照片

Fig. 1 Black fringe defect photograph of macroscopic test

该棒材原料按标准要求配料,经三次真空自耗电弧炉熔炼,制成  $\Phi 640$  mm 的铸锭,取样分析化学成分

表1 TA15 钛合金原材料的化学成分

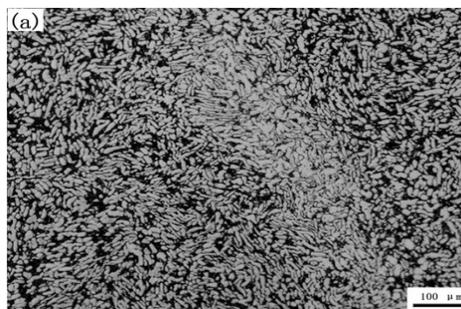
Tab. 1 Chemical compositions of TA15 titanium raw material

数据来源	Al	Zr	V	Mo	Si	Fe	C	N	H	O
实测值	5.82	2.15	1.80	1.35	0.01	0.02	0.01	0.01	0.001	0.06
标准值	5.5~7.1	1.5~2.5	0.8~2.5	0.5~2.0	≤0.15	≤0.25	≤0.08	≤0.05	≤0.015	≤0.15

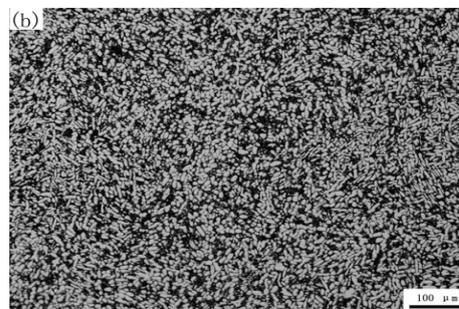
## 2 结果与讨论

### 2.1 显微组织

在低倍组织观察的基础上,对亮斑处进行研磨、



(a) 缺陷区与过渡区



(b) 正常区域

图2 TA15 钛合金不同区域的显微组织照片 100×

Fig. 2 Microstructure of different region of the TA15 titanium alloy

由图2可见,TA15 钛合金亮斑缺陷区与正常区域的显微组织区别非常明显,缺陷区  $\alpha$  相含量非常高,只有极少量  $\beta$  相。而正常区  $\alpha$  相与  $\beta$  相的含量均在正常水平。因此,从显微组织的结果已经完全可以判定亮斑缺陷为偏析缺陷。

### 2.2 微区成分

在已显微组织检验的试样上切取包括一小块缺陷区域和正常组织的扫描电镜试样,然后进行缺陷区域标识,采用扫描电镜的能谱仪(EDS)分别对缺陷区域和正常区域进行微区成分分析和 SEM 观察,检测区域如图3所示,结果见表2,SEM 观察照片见图4。

表2中的正常区域能谱分析结果验证了整批材料化学成分的检测结果,整批材料的化学成分是合格

分,结果如表1所示。该结果符合 GB/T 3620.1—2007 钛合金成分国家标准,说明整批材料的化学成分没有问题。

然后钛合金铸锭在相变点以上开坯,下料后,再经过多次墩拔锻造,加工成成品前坯料,最后在相变点以下成型,制成成品钛合金棒材毛坯料,经扒皮,抛光,最后为成品棒材。送检时,任取一支棒材下料取样,检查低倍横截面。锻造生产过程均符合要求。

### 1.2 实验仪器

用 ZEISS Observer. A1m 光学金相显微镜观察棒材显微组织。用 JSM-6460 钨灯丝扫描电子显微镜进行微区成分分析。用 401MWD 显微硬度计进行显微硬度测试。

抛光、腐蚀,在显微镜上进行观察,其缺陷区域、过渡区域及正常区域的显微组织如图2。

的。在亮斑缺陷区域却出现了明显的富钛和贫铝元素的情况。由此,判定该 TA15 合金棒材为典型的富钛贫铝型的偏析。

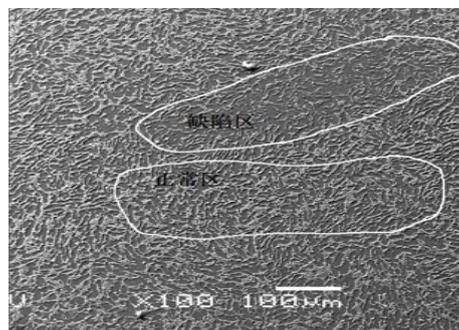
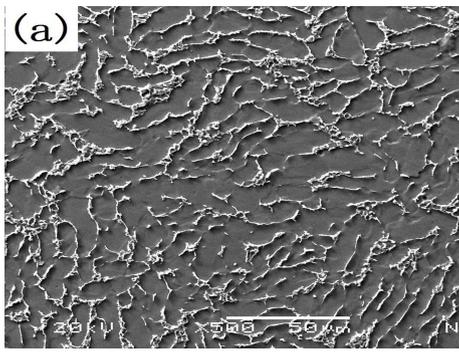
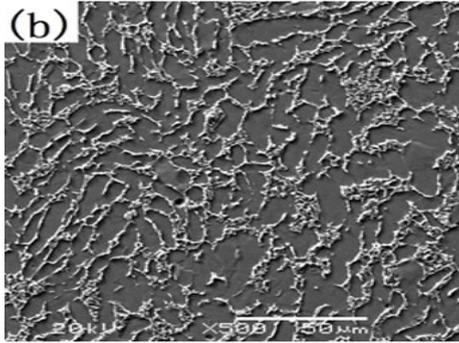


图3 能谱分析区域示意图

Fig. 3 Energy spectrum analysis positions



(a) 缺陷区域



(b) 正常区域

图4 TA15棒材的SEM照片

Fig.4 SEM micrographs of theTA15 titanium alloy

表4 TA15钛合金棒材力学性能

Tab.4 Mechanical properties of TA15 titanium alloy bar

数据来源	抗拉强度 /MPa	规定非比例 延伸强度/MPa	断后伸长率 /%	断面收缩率 /%	400℃抗拉强度 /MPa	持久性能 /h
实测值	1020	930	15	38	750	>50
标准值	≥885	≥825	≥8	≥20	≥570	≥50

## 2.5 讨论

从显微组织的结果来看,它符合富钛偏析显微组织的形貌——即偏析区的等轴初生 $\alpha$ 相含量高于基体。而微区成分分析结果也完全证明该亮斑为富钛贫铝偏析。

从对偏析区和正常区的显微硬度测试结果来看,偏析区的平均显微硬度比正常区低7%,也符合差别在10%以下的规律,再次印证了富钛偏析的结论。而且可以进一步认定该偏析是一种非脆性偏析。这种偏析不会对材料整体的力学性能产生明显的影响。

这种化学成分偏析主要与钛合金的熔炼工艺有关,在铸锭生产中就已存在。我国目前绝大部分生产厂家对于钛合金的冶炼生产都采用三次真空熔炼自耗电弧炉熔炼法。该方法在冶炼过程中,由于海绵钛、中间合金的粒度分布不均匀,会造成合金元素分布不均,引起局部区域合金元素贫化或富集,致使该区域的合金相变点偏离正常合金的相变点,在以后的热加工过程中,容易出现异常组织,形成冶金缺陷<sup>[3]</sup>。

由此可见亮斑是一种冶金缺陷,要预防和避免亮

表2 TA15钛合金缺陷区与正常区域的能谱分析结果

Tab.2 Energy spectrum analysis results of defect region and normal region

分析区域	Ti	Al	wt%
缺陷区	95.63	4.29	
正常区	86.49	6.54	

## 2.3 显微硬度

分别对缺陷区和正常区域进行显微维氏硬度测试。结果如表3所示。由表3可见,缺陷区的硬度要低于正常区域7%左右,由此可以进一步证实亮斑缺陷为富钛贫铝的偏析。

表3 TA15钛合金缺陷区与正常区域显微维氏硬度值

Tab.3 Microhardness of defect region and normal region

分析区域	缺陷区	正常区	HV
1	298	318	
2	295	315	
3	294	317	

## 2.4 力学性能

该批TA15钛合金棒材的力学性能如表4所示,均符合标准要求。

条的产生,必须从改进冶炼工艺着手。建议在TA15钛合金冶炼过程中,提高电极的焊接质量,严格控制海绵钛和中间合金的化学成分和颗粒大小、分布应尽量均匀等<sup>[4]</sup>。

## 3 结论

(1)经过显微组织观察、微区成分分析及扫描电镜观察和显微硬度测试,确定该批TA15钛合金棒材为富钛贫铝的非脆性偏析。

(2)对该TA15合金棒材中不影响使用的偏析,只要性能满足标准要求,切除偏析后可继续交货。

## 参考文献

- [1]洪权,张振祺. Ti-6Al-2Zr-1Mo-1V合金的热变形行为[J]. 航空材料学报,2001,21(1):10-12
- [2]朱勤,张延生,何龙. TC4合金棒材成分偏析组织的分析与判定[J]. 稀有金属快报,2007(5):37-39
- [3]蔡建明,张旺峰,李臻熙等. TC11钛合金叶片上亮条和暗条的性质及控制[J]. 材料工程,2005(1):16-19
- [4]刘俊,汤光平,桂杨珠. TC4钛合金棒料亮条纹缺陷分析[J]. 理化检验—物理分册,2011,47(10):646-648

(编辑 任涛)