

钛合金硬质夹杂缺陷分析

李雪飞 黄利军 黄旭 储俊鹏 张明杰

(北京航空材料研究院,北京 100095)

文 摘 采用 VAR 三次熔炼方法制备含有 YG8 刀具硬质合金杂质的铸锭,铸锭经开坯改锻制成 $\Phi 40$ mm 棒材,超声波探伤确定杂质位置。用光学显微镜和扫描电镜对杂质边缘的组织形貌及成分进行分析。研究表明,硬质合金部分熔化,边界含有明显的过渡区域,过渡区含有钛合金基体元素和刀具硬质合金元素并发生了扩散。杂质的存在会引起应力集中,容易萌生疲劳裂纹,进而影响产品的使用性能。

关键词 钛合金,硬质合金,杂质

中图分类号:TB30

DOI:10.3969/j.issn.1007-2330.2015.06.016

Analysis of Hard Impurity Defect of Titanium Alloy

LI Xuefei HUANG Lijun HUANG Xu CHU Junpeng ZHANG Mingjie

(Beijing Institute of Aeronautical Materials, Beijing 100095)

Abstract The ingot including impurity of YG8 cutter hard alloy was made by the measure of VAR. $\Phi 40$ mm bars were made from ingot by forging and the position of impurity was located by ultrasonic detection. The appearance of impurity was observed through optical microscope and SEM. The results show that hard alloy melts partially and the boundary has transition area. The transition area includes elements of titanium and elements of cutter hard alloy, where diffusion happens. The existence of impurity leads to stress focus which produces fatigue flaw easily, then influences the quality of product.

Key words Titanium, Hard alloy, Impurity

0 引言

钛合金具有比强度高、耐腐蚀和耐高温等一系列优异的综合性能,近年来航空用钛合金在国家需求的背景下发展迅速。二代机钛合金的用量不超过 2%,三代机钛合金用量就迅速升到了 15%,到四代机 F/A-22 钛合金的用量已经达到 41%^[1]。钛合金不仅在航空航天领域,而且在石油化工和兵器工业等各个领域内日益受到人们高度重视^[2-5]。由于钛合金加工性能比较差,在车削过程中容易引起粘刀、崩刃等现象,碎裂的刀具材料会带入钛合金铸锭中成为杂质^[6],进而影响钛合金的使用性能。因此,钛合金进行切削加工时刀具的选择很重要,关于钛合金切削加工用量和刀具的选择,洪都航空工业集团公司的傅勇进行了研究^[7]。另外,钛合金生产过程中也容易引入杂质,特别是熔炼过程引入的夹杂,电子束冷床熔炼对去除夹杂具有显著效果^[8]。

夹杂物的存在破坏了钛合金基体的连续性,容易造成应力集中,引起疲劳裂纹的萌生,并在一定条件下加速裂纹的扩展,降低材料的质量和使用可靠性^[9]。因此,认识夹杂物的性质、来源及形成机理,从工艺、质量控制等方面消除钛合金中的夹杂物,对于提高钛合金的冶金质量,保证钛合金零部件使用性能和可靠性具有十分重要的意义^[10]。本文以人为方式在 TB6 钛合金制备过程中引入硬质合金杂质,分析了合金变形后内部硬质合金杂质的特征,对钛合金生产过程中夹杂物的判定有一定的指导作用。

1 实验

1.1 材料

原材料为小颗粒零级海绵钛和 V-Al-Fe 三元中间合金,按 TB6 钛合金名义成分配料,硬质合金杂质为 YG8 刀具颗粒,原始颗粒为 4 mm 左右的块状。采用 VAR 电弧炉熔炼成 $\Phi 160$ mm 规格的铸锭。YG8

收稿日期:2015-07-10

作者简介:李雪飞,1989 年出生,硕士,主要从事钛合金材料技术研究。E-mail:lixuefeiavic@163.com
宇航材料工艺 <http://www.yhclgy.com> 2015 年 第 6 期

刀具硬质合金元素主要包括质量分数为 92% WC 和 8% Co。TB6 钛合金铸锭的化学成分如表 1 所示。

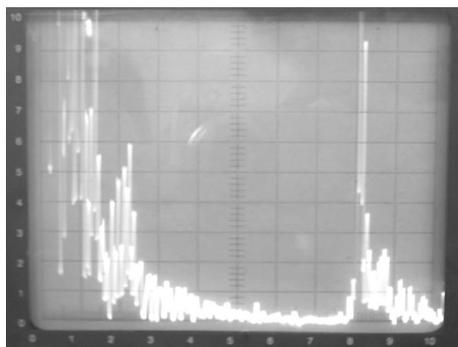
表 1 TB6 钛合金的化学成分

Tab.1 Chemical component of TB6 titanium alloy

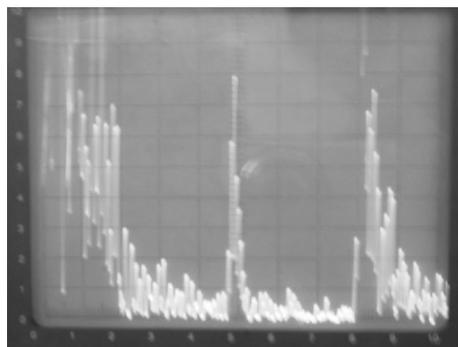
									wt%
Al	V	Fe	Ti	C	N	H	Y	O	
3.2	10	1.8	余量	0.05	0.05	0.015	0.005	0.13	

1.2 方法

将含有硬质合金杂质的 $\Phi 160$ mm 规格 TB6 钛合金铸锭经开坯改锻成 $\Phi 40$ mm 的圆棒。圆棒车光后通过超声波检测法确定杂质位置。在含杂质部位



(a) 无杂质



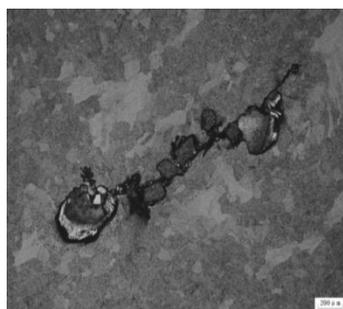
(b) 有杂质

图 1 超声波检测图

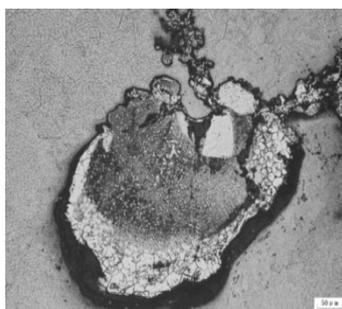
Fig.1 Picture of ultrasonic detection

将含有杂质的部位制备成金相试样,在光学显微镜下观察经过熔炼、锻造变形后的硬质合金形貌。硬质合金显微组织形貌如图 2 所示。由于硬质合金的熔点比钛合金的熔点高,所以硬质合金仍保持颗粒状,铸锭熔炼时硬质合金基本未熔化,但硬质合金中 Co 的熔点较低,发生部分熔化。图 2(a)为硬质合金的全貌图像,呈线形分布,线形的中部仍可以看到硬

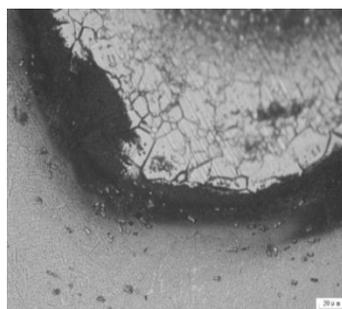
质合金的原始块状形貌,线形两端已经熔化呈扁平状,并向周围扩散。图 2(b)(c)的局部放大图像可以观察到融化后的硬质合金呈黑色的边界,并有明显的台阶,硬质合金边缘的晶粒较大,越靠近颗粒心部的晶粒越小,而且硬质合金和钛合金基体的过渡区有细小的颗粒。



(a) 全貌图



(b) 局部图



(c) 局部图

图 2 杂质的形貌

Fig.2 Appearance of impurity

2.2 能谱分析

如图 3 所示,在杂质、过渡区和钛合金基体组织上各取一点做能谱图,分别标记为点 1、2、3。Ti、Al、V、Fe 为 TB6 钛合金基体元素,基体组织中不含 C、W、Co 元素;图 3(a)中的能谱打在杂质中,除含有 C、W、Co 元素外还含有基体元素;图 3(b)中的能谱打

在过渡区上,在过渡区中主要为钛合金基体元素,另外还有 1.43% 的 C 元素,可见硬质合金与钛合金基体元素之间发生了互扩散现象。图 3(c)中的能谱打在钛合金基体上,只有 Ti、Al、V、Fe 基体元素。由表 2 的质量分数可以得出,基体元素的质量分数在点 3、2、1 中依次降低,C 元素在点 2、1 中依次降低,W、Co

元素只存在于点 1 处。硬质合金的主要成分为 WC 和 Co, WC 的熔点高于 TB6 钛合金的熔点, 熔炼铸锭时基本不发生熔化, 但 C 原子的原子半径比较小, 高

温条件下原子运动加剧, 与基体元素发生互扩散, 因此在过渡区能检测到 C 原子的存在。

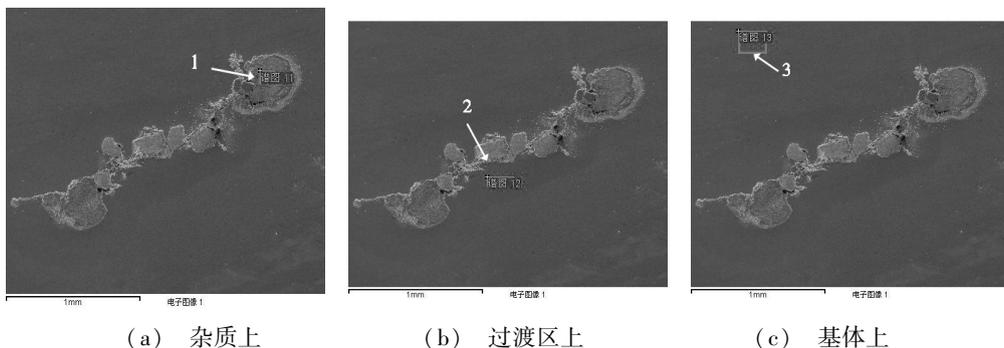


图 3 能谱图

Fig. 3 Picture of power

表 2 质量百分比
Tab. 2 Quality percent

点(图 3)	Ti	Al	V	Fe	C	W	Co	wt%
1	41.14	1.02	4.65	1.21	7.97	30.67	0.71	
2	84.54	2.77	9.56	1.70	1.43	-	-	
3	85.69	2.85	9.69	1.77	-	-	-	

2.3 杂质对钛合金断裂的影响

钛合金制品的断裂行为大部分是由于杂质的存在所引起的。夹杂物的边缘形貌和颗粒尺寸大小对钛合金制品的疲劳断裂性能具有非常大的影响, 夹杂物在材料基体内部会引起晶格畸变导致应力集中。钛合金制品在交变应力的作用下会产生微裂纹, 微裂纹优先在夹杂物尖角处萌生, 裂纹扩展速率也比球状夹杂物快得多。裂纹尖端曲率半径越小, 引起的应力集中越严重, 裂纹扩展速率越快, 钛合金制品疲劳寿命相对越低。因此在钛合金制品应尽量避免夹杂物^[11]。

3 结论

(1) 硬质合金的熔点高于钛合金, 经过熔炼后的硬质合金只是部分熔化而没有完全混融, 熔化后的硬质合金边缘呈黑色并有明显的台阶; 硬质合金的晶粒尺寸由颗粒边缘向中心依次减小。

(2) 硬质合金和钛合金基体之间有过渡边界, 过渡区上既包含基体元素又包含杂质元素, 钛合金基体元素和硬质合金杂质元素发生了互扩散。

(3) 硬质合金杂质的边缘形貌和尺寸大小对钛合金的疲劳性能有显著影响, 杂质颗粒越尖, 尺寸越

大, 疲劳寿命相对越低; 反之越高。

参考文献

[1] Powell A, Pal U, Avyle J Van Den. Proceedings of the 1997 international symposium on liquid metal processing and casting[C]. Pittsburgh: VMD/AVS, 1997

[2] 王向东, 刘铭得, 张顺福, 等. 21 世纪我国的钛工业[J]. 金属学报, 1999, 35(增 1): 12-14

[3] 郭景杰, 盛文斌, 苏彦庆. Ti-6Al-4V 合金熔体离心铸造过程流态分析[J]. 特种铸造及有色合金, 2000(4): 13-16

[4] 李东英. 我国钛资源的利用[J]. 金属学报, 1999, 35(增 1): 9-11

[5] 黄旭, 等. 先进航空钛合金材料与应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 2012: 113

[6] 舒群, 郭永良, 陈子勇, 等. 铸造钛合金及其熔炼技术的发展现状[J]. 材料科学与工艺, 2004, 12(3): 332-336

[7] 傅勇, 等. TA15、TB6 钛合金切削加工用量和刀具的选择. 航空制造技术, 2006(7): 59-61

[8] 冯雅奇, 陈战乾, 陈峰, 等. 电子束熔炼扁锭成分组织研究[J]. 稀有金属材料与工程, 2008, 37(增 3): 115-117

[9] 邹金文, 汪武祥. 粉末高温合金中夹杂物特性及其对材料断裂行为的影响[J]. 金属学报, 1999, 35(增刊 2): 381

[10] 蔡建明, 马济民, 曹春晓. 钛合金高密度夹杂物缺陷的性质与预防[C]. 全国第五届航空航天装备失效分析会议论文集, 2006

[11] 邹金文, 汪武祥. 粉末高温合金中夹杂物特性及其质量控制[J]. 粉末冶金技术, 2001, 19(1): 7-11

(编辑 任涛)