

TB18 超高强韧钛合金显微组织中白斑研究

辛社伟¹, 刘向宏^{1,3}, 冯军², 周伟¹, 张新全², 李波², 李少强³, 王涛³

(1. 西北有色金属研究院 钛合金研究所, 陕西 西安 710016)

(2. 航空工业第一飞机设计研究院, 陕西 西安 710089)

(3. 西部超导材料科技股份有限公司, 陕西 西安 710018)

摘要: 针对一种高Mo当量亚稳 β 超高强韧钛合金TB18, 在两相区锻造、 β 区固溶时效后显微组织中的白斑进行了系统研究。通过力学性能测试、显微组织观察和进一步热处理试验, 分析白斑的形成机制和消除白斑可采取的措施。结果表明, TB18钛合金中的白斑是没有任何 α 相析出的 β 基体, 其硬度低、塑性高、冲击韧性高。白斑形成的原因与合金中 β 稳定元素的分布无关, 主要是锻造工艺引起的。可以通过优化锻造工艺或增加固溶度、预时效、延长时效时间等热处理手段从宏观组织上弱化或消除白斑, 但是如果从更精细的组织考虑, TB18钛合金中白斑无法完全消除, 只能从尺寸上减小, 这是由合金性质决定。本研究结果对TB18合金制备工艺改进和组织优化具有基础指导, 对同类合金的显微组织和性能分析也有重要的借鉴意义。

关键词: TB18合金; 白斑; 热加工; 热处理; 力学性能

中图分类号: TG146.23

文献标识码: A

文章编号: 1002-185X(2026)04-1013-06

1 引言

工艺决定组织结构, 组织结构决定力学性能, 因此对钛合金显微组织结构进行研究尤为重要。目前, 传统钛合金分为4种组织形态: 等轴组织、双态组织、魏氏组织和网篮组织^[1]。在合金成分确定的前提下, 这4种组织形态往往通过后期的加工和热处理进行调控, 不同的组织对应不同的力学性能优势。然而, 在实际加工中, 人们往往会获得不同于4种组织的异常组织, 或者在4种组织的基体中存在异常部分, 这些异常组织会对力学性能产生重要影响^[2-3], 因此需要深入细致的研究。现有文献表明, 在钛合金中这些异常组织有的来自于熔炼, 比如铸锭中存在难熔金属的夹杂^[4-5]、由于Mo、Fe、Cr元素偏析而导致的 α 或 β 斑等^[6-9]; 有些来自于锻造, 比如TC18合金中的黑斑等^[10-11]。对于这些问题, 科研人员给予了深入系统的分析, 根据分析结果, 针对性的通过工艺的改进消除相关异常组织, 为钛合金制备工艺的不断优化提供了基础理论指导。

近年来, 随着装备的不断提升, 对合金性能提出更高的要求, 特别是高强韧钛合金, 以TB6、TC18和Ti-55531合金为代表的高强钛合金已经无法满足高强度的使用要求^[12-13], 需要研制更高强度的新型高强韧钛合金, 由于新研合金具有创新性, 在制备过程中不可避免地出现一些

新的异常组织, 这些异常组织对合金力学性能具有重要影响, 亟待解释。

本工作研究对象为一种新型高强韧钛合金TB18^[14-16], 该合金是一种1300 MPa级超高强韧钛合金, 其为Ti-Al-Mo-V-Cr-Nb系的6元合金, 合金Mo当量达17, 相变点为790 °C, 为典型的亚稳 β 合金。为了获得良好的强度和断裂韧性匹配, 前期的大量研究表明, 该合金使用状态为两相区锻造后 β 区固溶+时效的热处理工艺。该状态下, 合金可以满足强度超过1300 MPa的同时, 断裂韧性超过60 MPa·m^{1/2}。但是该合金在制备过程中, 部分批次棒材在 β 区固溶+时效后晶粒内部或跨晶界出现明显较为均匀分布的白斑, 这种白斑严重影响合金组织和力学性能的均匀性。针对该异常组织情况, 本研究主要系统分析了白斑的性质、其对力学性能的影响以及可能的形成原因, 该研究结果可以为TB18合金制备过程中工艺改进和组织的优化提供基础指导。此外, 对于高Mo当量的亚稳 β 高强韧钛合金, 即使所谓的均匀组织中, 也大量存在尺寸较小, 弥散分布的“白点”, 本研究结果也会对相关问题的分析和解释提供重要参考。

2 实验

试验材料来自西部超导材料科技股份有限公司生产的不同批次TB18合金 Φ 400 mm棒材, 该棒材经过双相

收稿日期: 2025-04-10

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(52431001)

作者简介: 辛社伟, 男, 1978年生, 博士, 教授级高工, 西北有色金属研究院钛合金研究所, 陕西 西安 710016, E-mail: nwpu_xsw@126.com

区终锻后,采用 870 °C/2 h, AC+525 °C/4 h, AC 的热处理工艺,该工艺是前期经过大量试验获得的最佳热处理。在该工艺处理下,由于锻造工艺的不同,部分批次棒材组织中存在白斑,部分批次棒材为均匀组织。本实验所有的样品来自带白斑批次棒材和正常组织批次棒材。对样品进行力学性能测试、显微组织观察和进一步热处理试验,测试白斑样品的力学性能、显微硬度,观察白斑组织结构演化,分析白斑形成机制和消除白斑可采取的措施。

显微硬度是在 MVS-1000JMT2 维式硬度仪上进行,加载载荷为 500 g,加载时间为 10 s。金相(OM)、扫描电镜(SEM)和背散射电子衍射(EBSD)分别是在 OLYMPUS PMG 光学显微镜和 JSM-6460F 型扫描电镜上进行。透射电镜(TEM)分析在 JEM-200CX 型透射电镜上进行。

3 结果与分析

3.1 白斑形貌分析

图 1 为锻造和热处理后棒材组织,图 1a 为锻造后组织。两相区锻造后不同批次棒材的组织相似,几乎没有区别,都显示典型的双态组织。由于合金 Mo 当量高,初生等轴 α 相尺寸非常细小,为 1.5~2.0 μm 。热处理后不同批次棒材组织如图 1b、1c 所示,其中图 1b 为正常组织,图 1c 为白斑组织,可以看到相对于正常的均匀析出组织,图 1c 白斑非常明显,分布随机,有的分布于晶内,有的跨晶界分布,尺寸大小不等,但总体远小于 β 晶粒尺寸。

3.2 白斑对性能的影响

表 1 为不同样品对应的力学性能,可以看出含白斑样品强度低于正常样品,塑性和冲击韧性(a_{KU_2})高于正常样品,证明白斑的存在降低了合金的强度,提高了合金塑性和韧性。对白斑样品的白斑区和正常区进行维式显微硬度测试,白斑区维氏显微硬度平均为 305 HV,正常

区为 380 HV。白斑区硬度显著低于正常区硬度,证明白斑区为组织中的软相。图 2 为白斑样品的 SEM 形貌。可以清楚地观察到正常区为均匀析出的细小弥散 α 相,而白斑区没有任何 α 析出。此外,对于 TB18 合金,进行单独 β 区固溶处理后,合金强度显著下降,塑性和冲击韧性显著提高,固溶样品的显微硬度和白斑区相近,因此可以确定白斑区为无 α 相析出的 β 相。

由于在时效过程中,局部析出动力不足,导致形成未析出区。由于没有 α 相的析出,为单一的 β 相,耐腐蚀性能增强,在光学显微镜下为镜面反射,显示为白斑。而且由于其为单相 β ,区域内无 α 相的析出,因此硬度低、塑性好、冲击韧性高。

3.3 白斑成分分析

很显然,出现白斑是由于 α 相的不均匀析出导致,在白斑区,由于析出动力不足,导致形成无 α 相析出的单一 β 相。造成析出动力不足的原因很多,其中一个原因是微区的 Mo 当量增加,导致 β 相稳定性增加。由于 TB18 属于典型的亚稳 β 钛合金,Mo 当量高达 17,含有大量难熔 Mo、V、Nb 以及易偏析元素 Cr。真空自耗电弧熔炼固有的缺陷使其难以完全实现合金元素的均匀化,可能存在 β 稳定元素的偏聚区,导致局部 Mo 当量升高, β 相稳定性增加。因此,对微区的成分进行了分析。采用了选区、打点等方法对数十个样品白斑区和非白斑区进行了近百个能谱分析,2 个区域的主元素含量平均值如表 2 所示。结果表明,合金元素并没有存在分布不均匀情况,白斑区的 β 稳定元素含量反而略低于正常区域,这主要是由于腐蚀造成。对于 α 相正常析出区, β 稳定元素会在 α 和 β 相之间进行重新分布,使得 β 相中 β 稳定元素含量高于未析出 α 相的区域。这样的组织在腐蚀过程中, α 和 β 相界面优先腐蚀,由于 α 相片层厚度很小,导致 α 相更多被腐蚀,残留更多的基体 β 相,

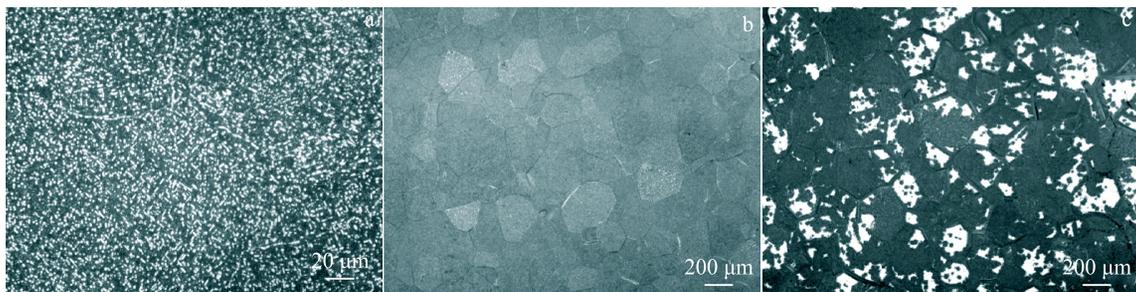


图 1 锻造和热处理后 TB18 合金棒材组织

Fig.1 Microstructures of TB18 alloy bar after forging (a); normal (b) and white blocks (c) microstructures of TB18 alloy bar after heat treatment

表 1 不同样品的力学性能

Table 1 Mechanical properties for different samples

Sample	R_m / MPa	$R_{p0.2}$ / MPa	A / %	Z / %	a_{KU_2} / $\text{J}\cdot\text{cm}^{-2}$
White block	1330	1245	7.5	15	33
Normal	1350	1260	6.5	12	27

因此正常区 β 稳定元素反而略高于白斑区。为了避免腐蚀的影响,对试样抛光后采用精度更高的电子探针进行分析,结果发现不同区域元素的分布并没有规律性的不同。进一步证明了白斑的存在并不是由于元素的分布不均导致微区 β 稳定系数增高造成的。

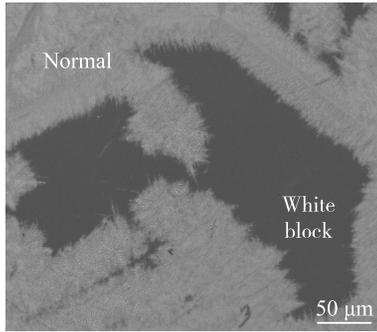


图2 白斑样品的SEM形貌

Fig.2 SEM image of sample with white blocks

表2 图2中标记区域的EDS成分分析

Table 2 EDS analysis results of different areas marked in Fig.2 (wt%)

Area	Al	V	Cr	Nb	Mo	Ti
White block	4.56	4.91	5.76	0.94	5.12	Bal.
Normal	4.44	5.20	5.82	0.92	5.03	Bal.

3.4 白斑EBSD和TEM分析

排除了元素分布不均导致的微区 β 稳定系数的不同,需分析是否存在晶粒内部取向的差异而导致的局部形核动力的不同。因为对于 β 晶粒,由于微区变形的差异,会在晶粒内部形成取向差^[17],这些取向差会影响第二相析出的形核^[18]。因此进行了白斑区和正常区的EBSD分析,分析结果如图3所示。图3b为图3a的IPF图,可以看到,虽然图3a在部分晶粒显示明显的白斑,而IPF图每个晶粒内没有显示出任何微区取向的不同。图3d为单个晶粒放大的IPF,可以看到虽然晶内存在白斑(图3c),

但微区取向没有任何差别。因此可以判定晶粒内析出的不同与晶内微区取向没有关系。为了进一步更直观地观察和确认晶粒内白斑和正常区组织,进行了TEM分析,如图4所示。图4a显示正常析出区形貌,衍射斑点进一步明确为非常细小的片层 α 相, α 片层厚度约为50 nm,正是由于TB18合金在时效过程中可以析出大量极为细小弥散的片层 α ,合金才具有超过1300 MPa以上的强度。图4b为白斑区的形貌,可以看到白斑区没有任何析出物,衍射斑点进一步证实其为体心立方的 β 相。在TEM中对白斑区和析出区能谱进行了分析,选择位置如图4c所示,其微区能谱结果和电子探针结果相似,都表明白斑区元素成分和析出区相同,进一步排除了微区元素不均匀的影响。

3.5 热处理对白斑的影响

从上述测试和分析可以看出,白斑区为无析出区,主要是析出动力不足,因此如何从热处理工艺考虑促进白斑区 α 相的析出是消除白斑的方法之一。

考虑的第1种方法是不改变现有热处理工艺参数的前提下,增加低温预时效。因为现有的热处理时效温度高,时效后形成 α 相, α 相属于稳定相,形核能高,对形核位置有选择性,一旦部分位置非均匀形核, α 相依赖非均匀形核迅速长大,抑制了其它位置的形核,导致不均匀析出^[19]。而较低温度的预时效可以形成一些亚稳过渡相,其形核能低,便于弥散析出^[20]。后续在预时效的基础上增加二级正常时效,可以依赖弥散析出的过渡相形成 α 相,从而有利于 α 相的均匀析出。

图5a、5b分别为合金在870 °C固溶分别空冷和水淬

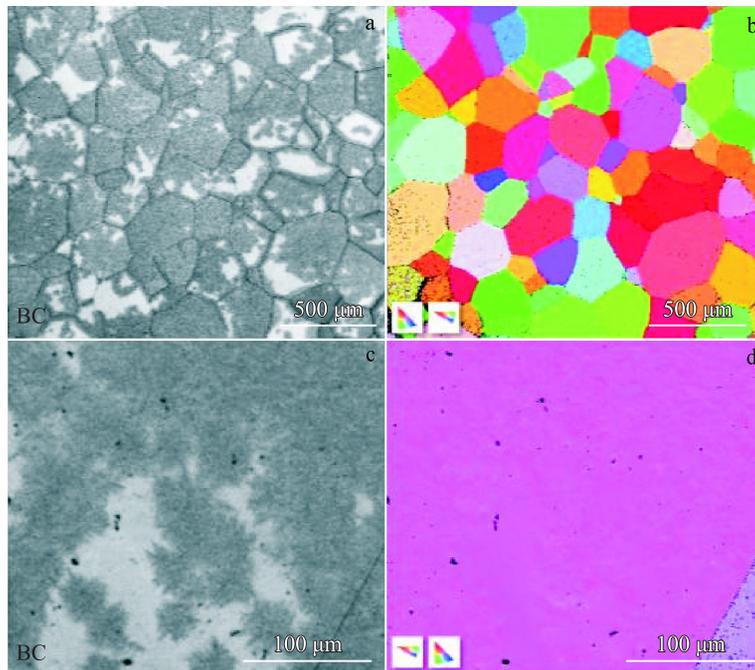


图3 白斑样品的EBSD分析

Fig.3 SEM images (a, c) and IPFs (b, d) of the samples with white blocks: (a–b) many grains and (c–d) single grain

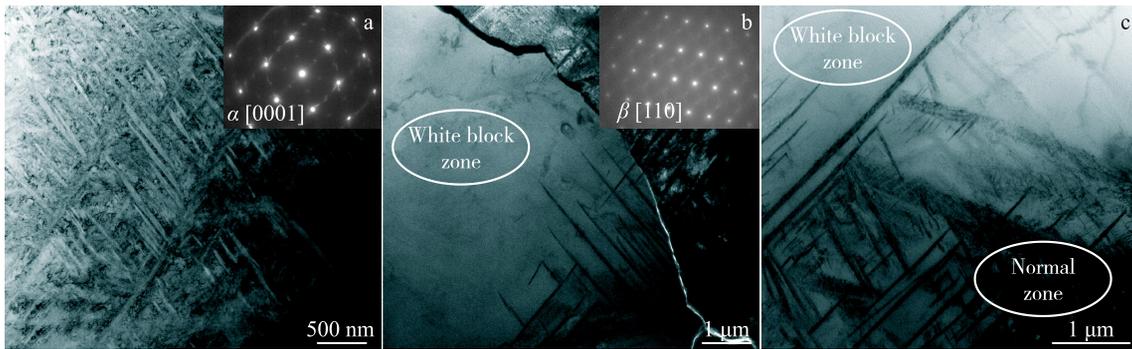


图4 白斑样品的TEM分析

Fig.4 TEM images and SAED patterns of normal zone (a) and white block zone (b); selected areas for XPS analysis (c)

后 400 °C 预时效, 然后在 525 °C 时效后的显微组织。对比图 5a 和图 1c 可以看到, 预时效可以明显改善 α 相的析出行为, α 相的析出均匀性提高, 白斑显著减少。对比图 5a 和 5b, 可以看到固溶水淬+预时效后可以明显改善 α 相的析出尺寸和均匀性, 图 5c 为图 5b 放大图, 可以看到图 5b 中晶粒内的灰色区域全部为更为均匀细小的 α 相, 白斑完全消失。主要是因为水淬的固溶能力更强, 同时可以保留大量空位等缺陷, 有利于过度相在晶内的形核析出, 从而获得更为弥散细小的 α 相, 完全消除了白斑。经过预时效处理后, 虽然可以改善 β 相的均匀析出能力, 形成更为均匀细小弥散分布的 α 相, 一定程度提高合金的强度, 但合金的塑性、冲击韧性和断裂韧性会降低。

除预时效外, 在原有时效温度的基础上, 进一步增加时效时间, 促进未析出区的进一步析出也是可以考虑的另一种热处理工艺。图 5d 为在合金原有 525 °C/4 h 时效基础上延长时效时间到 8 h, 可以看到随时效时间的延长, 未析出区逐渐开始析出。证明虽然白斑区 α 相析出动力不足, 但通过延长时效时间可以得到有效改善。

除以上所述热处理工艺外, 其它增加固溶度促进析出的方法, 比如提高固溶温度、提高固溶后冷却速率、降低时效温度、延长时效时间都可以有效减弱或从宏观组织角度消除白斑, 但获得的 α 相尺寸被明显改变, 显著影响了合金强度、塑性和韧性匹配。

4 讨论

4.1 锻造对白斑的影响

对于本研究的样品, 有些批次存在白斑, 有些批次没有白斑, 而所有批次的热处理工艺是一样的, 很显然造成白斑的主要原因是在热处理前。前文大量分析表明, 白斑的存在和元素微区的均匀性没有关系, 这排除了铸锭熔炼问题。因此, 可以确定白斑主要是由锻造引起的。虽然不同批次锻造组织几乎没有差别, 都是包含有细小等轴 α 相的双态组织(图 1a), 并且后续的超过相变点 80 °C 的 β 区固溶对锻造组织有均匀化的作用, 但前期锻造工艺差异还是影响到固溶后的时效析出行为, 造成不同区域 α 相析出驱动力不同。TC18 合金锻造后 β 相区空烧黑斑和本研究的现象具有相似之处, 都存在锻造后组织相同, 但是 β 相区固溶后不同晶粒性质差别很大^[10-11]。因此, 对锻造工艺的规范化、精确化和稳定化控制是消除白斑的根本方法。可以预测, 不同批次棒材在后期成品锻造过程中, 由于锻造温度和变形量的差异, 虽然最终的组织几乎相同, 但是在棒材不同区域变形均匀性和应力存在差别, 影响了 β 相区固溶重结晶后不同 β 晶粒的性质, 导致时效析出驱动力不同和 α 相的析出具有选择性。

高强韧钛合金的白斑是组织不均匀的一个表现, 由于其尺寸较小, 远小于传统意义的 β 斑, 分布均匀, 对瞬时力学性能影响不大。而且其属于基体组织中的软相, 而高强韧钛合金 β 区固溶时效后塑性和冲击韧性较差, 白斑的存在反而有利于合金塑性和冲击韧性的提高, 容

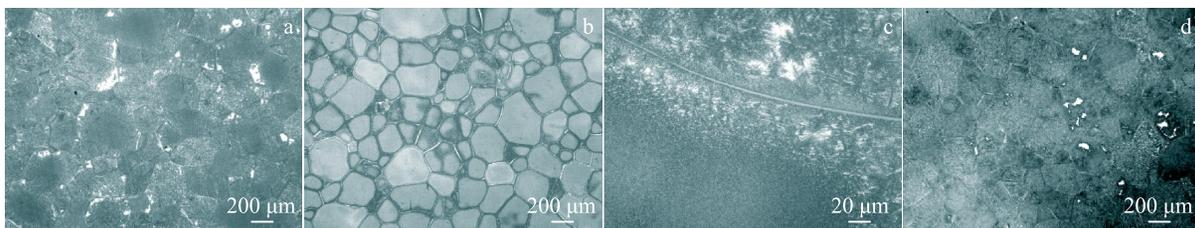


图5 不同热处理工艺下TB18合金组织

Fig.5 Microstructures of TB18 alloy after different heat treatments: (a) 870 °C/2 h, AC + 400 °C/1 h, AC + 525 °C/4 h, AC; (b-c) 870 °C/2 h, WQ + 400 °C/1 h, AC + 525 °C/4 h, AC; (d) 870 °C/2 h, AC + 525 °C/8 h, AC

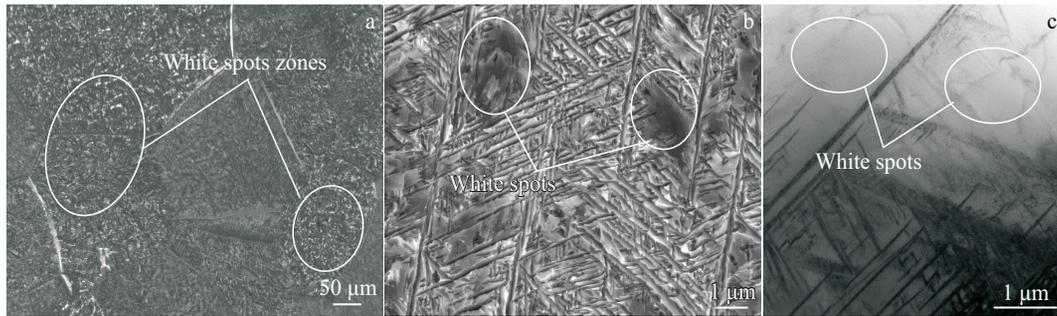


图6 TB18合金正常均匀组织中的“白点”的形貌

Fig.6 OM (a), SEM (b), and TEM (c) images of the white spots of the normal microstructure of TB18 alloy

易被误认为有利因素,显然这种认识是不正确的。白斑的存在是合金组织不均匀性的体现,虽然对瞬时性能影响不大,但局部位置的弱化必然影响长时使用性能,比如疲劳裂纹的萌生和扩展,从而影响合金的安全使用,需要通过工艺的优化予以消除。

4.2 白斑的演化

由上分析可知,可以通过锻造或热处理工艺一定程度消除白斑,优化组织。但是仔细分析图1b所谓的正常均匀组织,仍然可以发现大量晶粒内部存在“白点”组织。后续通过对TB18合金白斑批次棒材锻造工艺优化,最终也消除了白斑,但和图1b相似的“白点”依然存在,如图6a所示,其在SEM中显示为基体中分布有片状灰色析出物(图6b),从形态上极易被误认为 β 基体析出片状 α 相,TEM中清晰显示其为无析出的 β 相(图6c)。因此,可以认为,对于TB18合金,无论是采取什么工艺,从根本上无法完全消除“白斑”,只会让其尺寸减小到一定程度。在长期的工程实践中发现,不止TB18合金,这种无析出的“白点” β 相广泛存在于TB6、TB8、TB9和Ti-55531等亚稳高强韧 β 钛合金中,而且随着 β 稳定系数的提高,这种“白点”现象越显著。可以认为对于高强亚稳 β 钛合金,不存在 α/β 交织的完全均匀组织,而是形成一种在 α/β 交织组织的基体上弥散分布尺寸很小的无析出 β 相的混合“异构”组织,由于点状无析出区 β 相尺寸极小(0.5~2 μm),分布弥散,对拉伸、冲击等瞬时力学性能影响不大,在组织分析中极易被忽略,但是对于疲劳等长时循环加载样品,由于无析出区 β 相在组织中属于弱项,必然对裂纹的萌生和扩展产生影响,从而影响合金力学性能的稳定性的,在相关分析中应予以重视。

5 结论

1) 超高强韧TB18钛合金 β 区固溶+时效后组织中白斑是没有任何 α 相析出的 β 基体,由于没有 α 相的析出,耐腐蚀性能增强,在光学显微镜下为镜面反射,显示为白斑。而且由于其为固溶的 β 相,因此硬度低、塑性高、冲击韧性高。

2) TB18钛合金中白斑的微区元素分布和其它位置

没有差别,造成白斑的原因与合金铸锭熔炼无关,主要是锻造工艺引起的,锻造造成的组织遗传行为使得固溶后不同晶粒性质不同,不同位置 α 相的析出行为不同。

3) 白斑是TB18钛合金组织不均匀的表现。单从消除白斑角度考虑,可以通过增加固溶度、预时效、延长时效时间等手段去除,但是不可避免地引起其它力学性能的恶化,最有效的处理方法是调整和优化锻造工艺。

4) 从更精细的组织考虑,TB18钛合金中白斑无法消除,只能从尺寸上减小,这是合金性质决定的。

参考文献 References

- [1] Xin Shewei(辛社伟). *Titanium Industry Progress*(钛工业进展)[J], 2013, 30(3): 12
- [2] Yang Yujing, Ma Yingjie, Wang Qian et al. *Materials Science and Engineering A*[J], 2025, 940: 148532
- [3] Yang Rui, Ma Yingjie, Lei Jiafeng et al. *Acta Materials*[J], 2021, 57(11): 1455
- [4] Zhang Lijun(张利军), Bai Yu(白钰), Zhou Zhongbo(周中波) et al. *Special Casting & Nonferrous Alloys*(特种铸造及有色合金)[J], 2011, 31(7): 594
- [5] Cai Jianming(蔡建明), Ma Jimin(马济民), Hao Mengyi(郝孟一) et al. *Failure Analysis and Prevention*(失效分析与预防)[J], 2007, 2(2): 51
- [6] Zhou Yigang(周义刚), Yu Hanqing(俞汉清), Zhang Hengbi(张恒毕) et al. *Journal of Northwestern Poly Technical University*(西北工业大学学报)[J], 1990, 8(4): 425
- [7] Yu Hanqing(俞汉清), Zeng Weidong(曾卫东), Hu Xianhong(胡鲜红) et al. *Rare Metal Material and Engineering*(稀有金属材料与工程)[J], 1995, 24(5): 23
- [8] Zhang Lijun(张利军), Zhou Zhongbo(周中波), Chang Hui(常辉) et al. *The Chinese Journal of Nonferrous Metals*(中国有色金属学报)[J], 2013, 23(8): 2206
- [9] Li Wei(李维), Yun Pengfei(贲鹏飞), Hou Peng(侯鹏) et al. *Mechanical Engineering and Automation*(机械工程及自动化)[J], 2014, 2: 101
- [10] Sun Jifeng(孙继锋), Huang Aijun(黄爱军), Yang Yi(杨义) et al. *Heat Treatment*(热处理)[J], 2015, 30(5): 48
- [11] Shao Hui, Shan Di, Wang Kaixuan et al. *Journal of Alloys and Compounds*[J], 2019, 797: 10

- [12] Xin Shewei(辛社伟), Zhou Wei(周伟), Li Qian(李倩) *et al. Materials China*(中国材料进展)[J], 2021, 40(6): 441
- [13] Xin Shewei(辛社伟), Liu Xianghong(刘向宏), Zhang Siyuan(张思远) *et al. Rare Metal Materials and Engineering*(稀有金属材料与工程)[J], 2023, 52(11): 3971
- [14] Liu Xianghong(刘向宏), Zhao Ning(赵宁), Wang Tao(王涛) *et al. Rare Metal Materials and Engineering*(稀有金属材料与工程)[J], 2024, 53(11): 3101
- [15] Zhou wei(周伟), Liu Xianghong(刘向宏), Feng Jun(冯军) *et al. Rare Metal Materials and Engineering*(稀有金属材料与工程)[J], 2022, 51(9): 3129
- [16] Zhou Wei(周伟), Xin Shewei(辛社伟), Liu Xianghong(刘向宏) *et al. Titanium Industry Progress*(钛工业进展)[J], 2025, 42(3): 8
- [17] Lai Yunjin, Xin Shewei, Zhang Pingxiang *et al. International Journal of Minerals Metallurgy and Materials*[J], 2016, 23(5): 1
- [18] Zhang Hang, Zhang Jinyu, Liu Shuaiyang *et al. Acta Materialia*[J], 2023, 255: 119082
- [19] Hao Mengyuan, Wang Yalong, Li Pei *et al. JOM*[J], 2021, 73: 3082
- [20] Xin Shewei(辛社伟). *Titanium Industry Progress*(钛工业进展)[J], 2021, 38(6): 37

Research on White Blocks of TB18 Ultra-High Strength and Toughness Titanium Alloys

Xin Shewei¹, Liu Xianghong^{1,3}, Feng Jun², Zhou Wei¹, Zhang Xinquan², Li Bo², Li Shaoqiang³, Wang Tao³

(1. Titanium Alloy Research Center, Northwest Institute for Nonferrous Metal Research, Xi'an 710016, China)

(2. AVIC the First Aircraft Institute, Xi'an 710089, China)

(3. Western Superconducting Technologies Co., Ltd, Xi'an 710018, China)

Abstract: The white blocks of TB18 high Mo equivalent metastable β ultra-high strength and toughness titanium alloy were studied. The alloy which was forged in the two-phase region and then solid solution and aging treatment in β region. The formation mechanism and elimination methods of white blocks were analyzed by mechanical property testing, microstructure observation, and further heat treatment experiments. The results indicate that the white blocks in TB18 titanium alloy are β matrix without any precipitation of α phase, with low hardness, high plasticity, and high impact toughness. The reason for the formation of white blocks is not related to the distribution of β -stable elements in the alloy, but mainly caused by the forging process. White blocks can be weakened or eliminated from the macroscopic structure by optimizing forging or heat treatment processes, such as increasing solubility, pre-aging, and extending aging time. However, from a more detailed microstructure analysis, the white blocks in TB18 titanium alloy cannot be completely eliminated but can only be reduced in size, which is determined by the characteristics of the TB18 alloy. The results of this study have a fundamental guiding role in improving the preparation process and optimizing the microstructure of TB18 alloy, and also produce important reference significance for the microstructure and performance analysis of similar alloys.

Key words: TB18 alloy; white block; hot working; heat treatment; mechanical property

Corresponding author: Xin Shewei, Ph. D., Professor, Titanium Alloy Research Center, Northwest Institute for Nonferrous Metal Research, Xi'an 710016, P. R. China, Tel: 0086-29-86231078, E-mail: nwpu_xsw@126.com