

无损检测译文集

第三机械工业部第二技术情报网编



国际航空编辑部

1979年10月

无损检测译文集



说 明

1. 本“译文集”系根据第二情报网1976~1977课题计划的规定,在628所科技处的直接组织领导和支持下,由120厂牵头,有621所、011基地、100厂和120厂情报部门的同志参加,共同收集、加工、整理而成。参加人员有621所的周荣斌、011基地的刘经豪、100厂的倪心一和120厂的张铁夫等同志。410厂和420厂情报部门的同志也承担了部分文章的译校工作。

2. 本“译文集”文章的收集范围,主要限于与发动机专业有关的部分内容,时间到1976年。

3. “索引”部分是前已出版的《无损检测专题索引》的续编,收集范围同前,时间包括1977、1978两年。

4. “译文集”和“索引”的资料来源,主要是国外公开出版的几种无损检测专业期刊,以及628所、科情所、科图、北图等单位的馆藏资料。

5. 本“译文集”和“索引”在编译出版过程中,曾得到628所资料室、621所四室、120厂和122厂理化室等单位许多同志的大力协助,于此一并致谢。

6. 由于我们水平有限、经验不足,因此,在文献的选译上,译文的质量上,索引内容的编选上,都难免有欠妥之处,敬请读者批评指正。

三机部第二情报网“无损检测”调研组

一九七九年五月

目 录

1. 喷气发动机钛合金盘的非破坏检验.....	1
2. Ti—6Al—4V合金冶金组织对超声响应特性的影响.....	7
3. 钛合金无损检验方法的可靠性和灵敏度评价 (节译)	16
4. 扩散连接的钛合金飞机零件的超声波探伤技术的研究.....	25
5. 超声波检验奥氏体不锈钢焊件的新方法.....	40
6. 奥氏体不锈钢和纯铁的结晶粒度与超声波的衰减常数之间的关系.....	50
7. 奥氏体铸钢的新型超声探伤法.....	62
8. 显示多种航空零件缺陷图象的涡流 C 扫描传真记录技术的新发展.....	72
9. 涡流法检验渗碳零件.....	77
10. 非磁性钢氮化层深度的无损检验.....	80
11. 采用涡流方法检验淬火层深度的可能性.....	83
12. 涡流检验用于渗铝层有几点不足.....	85
13. 复层厚度的测量方法和设备.....	89
14. 超声扫描系统.....	107
15. 硫酸锂超声探头.....	118
16. 超声无损检测探头系统.....	122
17. 制造超声探头的方法.....	129
18. 超声波探伤仪探头制造工艺的某些问题.....	134
19. 关于非周期压电式传感器的构造和制造工艺问题.....	138
20. 关于金属结构状态报废标准的规定.....	140
21. 飞机的玻璃纤维、石墨纤维以及碳纤维复合材料构件的无损检测技术.....	142
22. 玻璃纤维——增强塑料的无损检测: 说明成分特性及预测设计性能的关键.....	158
23. 金属表面粘接性能的无损检测.....	164
24. Northrop Nerair 公司 F—5 和 T—38 飞机粘接结构的无损检测	174
25. 无损检测专题索引.....	181

喷气发动机钛合金盘的非破坏检验

普拉特·惠特尼飞机公司用钛合金制造喷气发动机的某些关键性的构件已经十五年了。在这期间,积累的丰富的使用经验证明了为了确保材料质量,必须采取严格的材料处理控制和检验。应继续努力改进制造工艺的两个方面。除了改进无损检验的方法和制造工艺控制的方法以外,还建立了可以自动记录从钛的海绵体结构到发动机结构件整个制造历程的材料记录系统。这个系统有助于测定有污染物质的有缺陷构件,还可以当作检验制造过程中的故障的一种工具。当某些元件具有同样的缺陷时,通常就可以找到一种共性的检验方法,而详细地研究这种检验方法,问题很快就可以得到解决。

检验程序的重点(第一步)放在钛坯上,以便在其它工作开始前,就将不合格的材料排除掉。目前,由于钛合金在军用飞机上的应用更加引起有关政府机构和飞机制造商对这方面的检验的重视。由于飞机构件形状复杂,因此检验成品是困难的,因而更应该把检验的重点放在钛坯上。

但是,对于喷气发动机盘来说,各个构件则可以进行较高灵敏度的检验。在此种情况下,可以检验发动机盘的较薄截面,较好的显微结构和较大的表面面积。幸好是:最终使用的设计标准所要求的检验灵敏度比目前在钛坯检验中所得到的灵敏度要高得多。

Ti-6Al-4V合金应用于喷气发动机的压气机盘已经有了许多丰富的经验。直到目前,这种合金还是用于发动机关键构件上的唯一合金。虽然目前新研制的发动机上已经采用了各种其它的钛合金,但是本文所要讨论的将只限于6-4合金。

所碰见的这种合金材料的缺陷可以分成以下四类:(a)Ⅰ型,空隙偏析,(b)Ⅱ型,化学偏析,(c)夹杂物密度大和(d)气孔多,结构疏松度大。这四类当中,前三类有关文献资料作了很好的说明。Ⅰ型缺陷表现为被许多(填隙式的)稳定的 α (alpha)结构环包着的空隙。这些空隙的特征是硬度大(Rc55或更大)、面积通常比较小,并且是不连续的,可在构件截面的任何部位出现。由于空隙引起应力集中和四周环包着的 α (alpha)结构形式的脆性比较大,因此这种缺陷是最有害的,必须引起最大的注意。图1为Ⅰ型的典型缺陷。Ⅱ型的缺陷,即化学偏析,是主合金中含钛不足引起的。在盘锻件中,这种缺陷表现为 α (alpha)稳定结构或 β (beta)

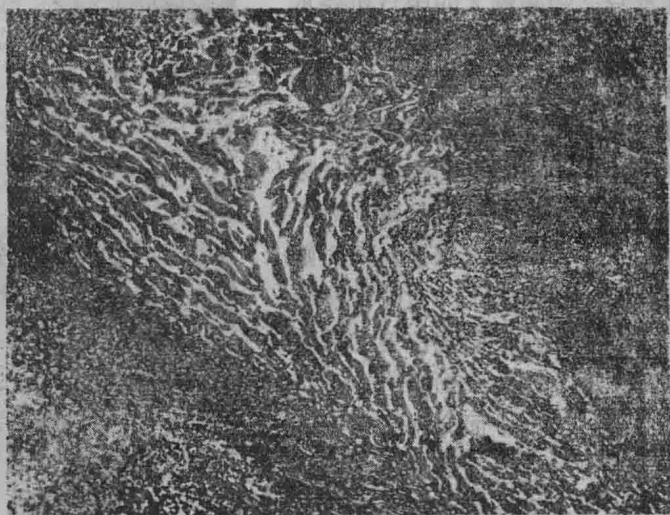


图1 6-4合金Ⅰ型缺陷—空隙分离

稳定结构的条纹。由于从熔炼到锻造大量的工艺过程，所以条纹通常长长地并且总是错纵交叉在成件表面上。富铝区域引起的 α (alpha) 稳定结构可以通过其硬度来鉴定，其硬度稍比基体金属大些，但比（填隙式的）稳定的 α (alpha) 结构又稍低些。图2所示为铝 α 的典型偏析。密度大的夹杂物通常是由熔炼时的外来物质所引起的。这种缺陷可以用常规的射线照相检验，目前，对于6—4合金来说，已不是一个主要问题了。第四类，气孔多。这一类发表的文献资料不多，这一类的缺陷没有I型缺陷那种四周环包着的脆性材料。但是，显现了严重的应力集中，因此，认为是一种严重的缺陷。图3所示为这种缺陷的典型实例。

喷气发动机的钛压气机盘分为用于风扇级的“厚盘”或用于更高级的“薄盘”。因为大的风扇叶片需要较大的承载能力，所以风扇盘有明显增厚的连接板和内孔部分。级数较大的压气机要求的叶片较小，要求盘截面更薄，通常不超过半英寸。由于截面薄而且表面-体积比大，所以可以采用射线照相法和表面检验法来保证这些薄盘的质量。但是，对于厚的风扇发动机盘来说，重点则放在超声波检验上。盘锻件按事先设计好的适于超声检验的形状（即平面与盘的平面平行）进行机械加工。该平面允许无畸变的声速垂直地进入盘的平面。由于锻造作业会使缺陷在发动盘平面



图2 I型缺陷—富铝6—4合金化学偏析

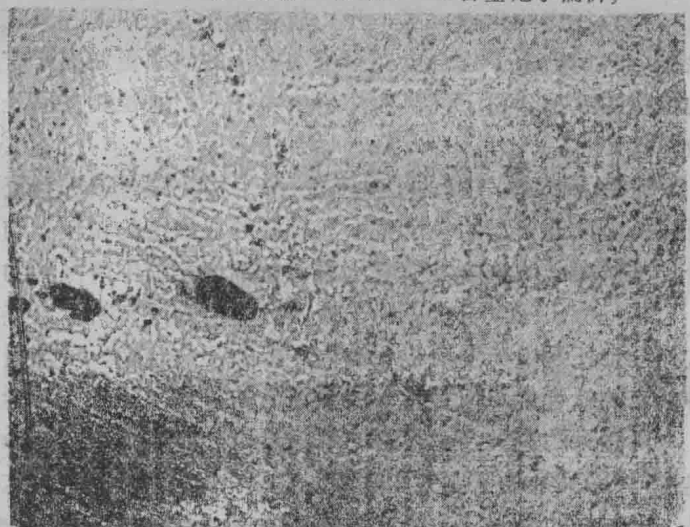


图3 盘锻件缺陷—白点（气孔）

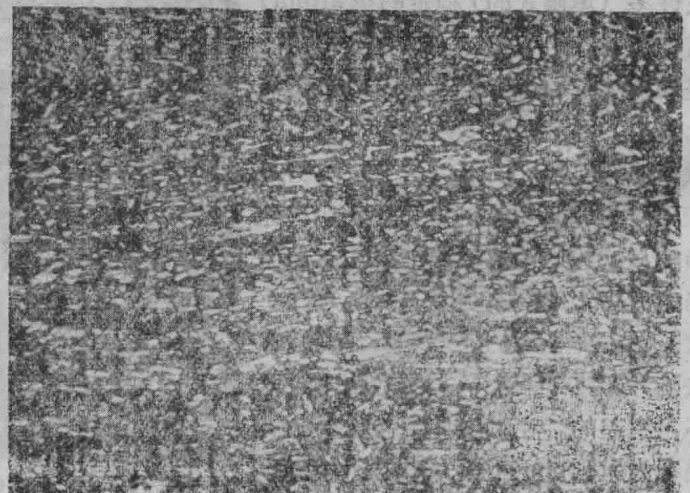


图4 超声波检查衰减信号得到的显微组织

内呈平面的，在这一方向上，利用超声传播就能得到最大的检验能力。这种检验方法是一种利用直径为3/4英寸的5 MHz 硫酸锂探头的浸渍脉冲反射法，既采用了宽频带又采用了调谐脉冲超声装置。目前的检验水平大约和1*平底孔（直径0.015英寸）的响应相等。为了保持这一检测水平，就需要控制扫描速度，控制指示系统和控制警报系统，以保证不规则的缺陷不致因响应时间不足或信号振幅不够而遗漏，为了获得等距振幅响应和检验前后面的清晰度，就要利用带有平底孔的各种梯级块，在不同的金属移动距离上进行调整。由于清晰度有限度，靠近表面的金属是不能检验的。但可以在检验形状中加添材料并在最后的机械加工中将其去除来补偿。对每一个零件的扫描要从每一面和各个边缘开始，以便对不在同一个平面上的缺陷提供一个完整的扫描范围和最好的方向。在保持检验水平中，最成问题的是要从对零件的检验未必有害的，变化不定的低倍式显微结构中获得随机信号。由于这些随机信号，就需要改进在日常生产检验中得到的各种显示的检查方法。利用聚焦探头是目前应用的最成功的方法。使用聚焦探头，可以获得直径极小的波束，由多晶粒反射能的积累而产生的随机信号也大大地减弱了。因为大部分反射能都是集中在真正缺陷的小范围内，所以其信号变得更为突出。由于厚度的限制和波束直径小而使得这种方法对于工件扫描来说毫无吸引力，但是对于信号鉴定研究来说，则可起到很好的作用。在这生产过程中通过广泛的金相学方面的分析研究，说明其结果是正确的。图4为采用这种方法鉴定产生随机信号的显微组织的实例。正如检验的缺陷所证明的那样，在确定盘质量方面超声检验是可行的方法。但是，要进一步改进检验的灵敏度、可靠性和一致性。目前正致力于建立设备和探头的标准化，以获得灵敏度更高的好的显微组织和确定更好的检验形状。

检验程序的第二步是在盘（不管是厚的还是薄的）机加半成品的情况下进行的。这时，除没有经过机加的孔和叶片槽外，所有经过机加的成件都要检验。这种形状为射线照相提供了最佳的条件。由于软片部分边角感光过度，最薄的部分有一点点损失还是可用的。检测盘的厚度采用多重感光，其效果比使用灵敏度只有2%的X射线透度计好得多。这种方法在检验夹杂物和空隙密度大的缺陷方面是非常成功的。因为薄盘关键部件的最大厚度通常不到0.500英寸，所以这种方法对于检验I型的空隙缺陷和气孔是非常灵敏的。为了达到这种灵敏度，要利用250或300KVP装置（900—1500毫安/秒感光）和经过柯达自动信息处理机处理的柯达M软片。为了鉴定每个显示，该软片要在放大率相当于3倍的标准的胶片指示器中辨认。

零件机加成成件后，要进行新的阳极化处理程序，该程序是普拉特·惠特尼飞机分公司为改进钛偏析检验而研究的方法的一部分。从前采用的浸蚀阳极化处理方法是一种把材料变成金黄色，并且只对纯钛的偏析是灵敏的阳极化方法。新的蓝色浸蚀阳极化处理技术包括用酸性盐溶液浸蚀，在磷酸三钠中的阳极处理和部分剥去氧化层。与上述阳极处理方法相反，这种新的阳极处理方法可检验下列各种表面连接的合金偏析：

铝—稳定的 α (alpha) 型偏析—这种缺陷在浅蓝色本底上表现为有没有分支的不规则的深蓝色线条。图5为这种典型缺陷的黑白照片。因为真正的对比不是鉴定有没有颜色，而是缺陷的突起是采用这种方法的显著特点。

I型 α (alpha) 型的稳定偏析——这种类型的缺陷同样出现蓝色，但与铝稳定 α 型偏析的区别在于其硬度高。

钒稳定的 β (beta)型偏析——这种缺陷在浅蓝色本底上表现为浅灰或白色线条。与铝稳定的 α 型面积有关。图6为 β 偏析的显现，这也是一张黑白照片，不表示真的色对比。

化学纯钛——这种缺陷也表现为浅灰色或白色，并且只能在进一步的检验的情况下从钒稳定的 β 型偏析中偏析出来。

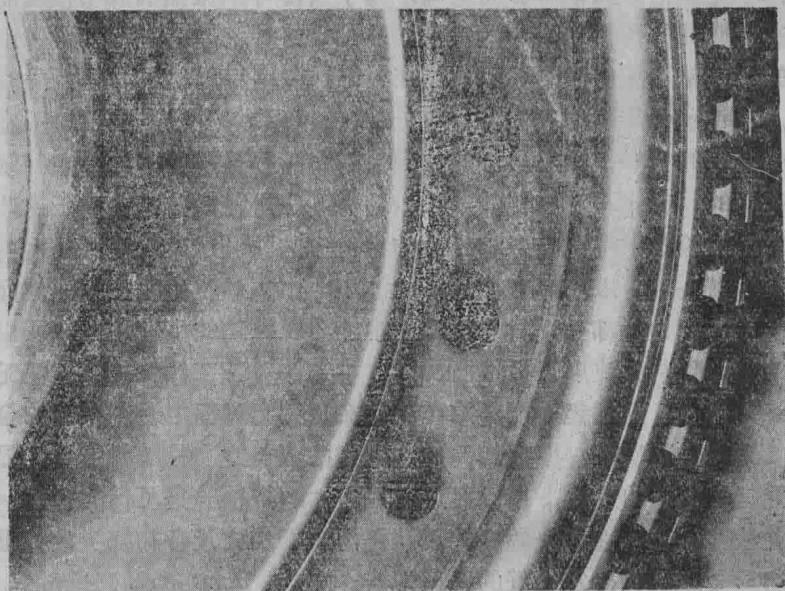


图5 6—4合金中 α 稳定结构的蓝色浸蚀阳极化显示。
显示为浅蓝衬底上的深蓝色。注意：黑白照片不表示实际零件上的全（部颜）色对比。

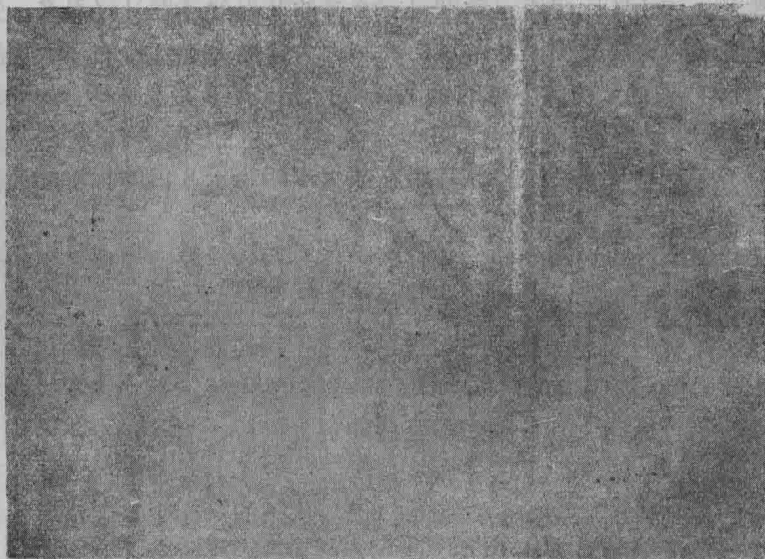


图6 6—4合金中 β 稳定结构的蓝色浸蚀阳极化显示。
显示为浅蓝衬底上的浅灰色。注意：黑白照片不表示实际零件上的全（部颜）色对比。

通过对试件的评价这种方法表明,材料的损耗从0.000040英寸到0.00006英寸是不足道的。从弯曲、低周疲劳、拉力、氢脆和显微组织试验结果表明Ti—6Al—4V材料的机械性能是不受影响的。这种方法是真正改进检验钛偏析的方法。这种方法在生产中的应用继续显示以前不被注意的附加材料的缺陷,而全面地评价这种方法只有在扩大其应用以后才能进行。附录A提供了检验程序的详细说明。

检验程序的最后步骤是对发动机盘进行“旋转式荧光渗透剂”检验,包括给发动机盘装上叶片,并在真空容器中按发动机转速旋转发动机盘。

发动机盘转动时,荧光渗透剂就喷射到所有的表面上。然后将发动机盘从试槽里取出并用标准的黑光(红外光)程序检验。检验的目的是在发动机盘内产生发动机应力迫使不合格的材料产生裂纹。这种试验还产生一种张应力,可使荧光渗透剂渗入通常是不渗透的裂纹。由于I型缺陷脆性较大和表面与容积的比较大,所以这种方法对薄盘特别有效。

在交付之前,发动机盘的每个元件都进行了彻底的检验:用高灵敏度的超声波和射线照相检查工件表面下的缺陷;用大大改进了的浸蚀阳极化处理检查各种表面连接偏析和用动态荧光渗透检验表面裂纹。

附 录 A

蓝色浸蚀阳极化处理的详细说明

零件必须没有清洗或抛光化合物和其它杂质。正确的阳极化处理,要求在设计30V发生起始波动以后电流下降到零位。如果电流不下降,就表明零件上有杂质或暴露的保护涂层或/和暴露的金属(而不是处理夹具上的钛)。因为任何这些缺陷都可以引起一种不符合要求的蓝色,而在正常材料和偏析之间有不好的颜色对比。

阳极处理夹具的所有钢零件都要用一种硬的耐用材料遮蔽起来,例如Microsol Eloo 3。所有识别符号都必须用塑料带罩起来,以便保留。

检验程序由以下15个步骤组成,即:

1. 零件蒸气脱脂(除油)。
2. 将零件浸入120—180°F的重型强碱脱脂溶液中1~2分钟。
3. 在清洁的冷水中冲洗零件,并且检查水是否不间断流动,反复冲洗和清洗直到零件干净为止。
4. 在室温条件下,把零件挂在钛合金钩上,浸没在搅拌了的干酸性盐溶液(例如MacDermid Metex酸性盐M-629‘每加仑16盎斯’)中一分半钟。在浸渍状态中搅动零件。
5. 在清洁的冷水中彻底地冲洗浸蚀了的零件,用高压喷射压缩空气-水的方法清除粘附不牢的污迹。
6. 以最简便的操作方法把阳极化处理夹具与零件连接,越快越好。
7. 在清洁的冷水中冲洗夹住的零件。
8. 把夹住的零件浸渍在70±10°F、每加仑15盎斯的磷酸三钠溶液里,在浸渍状态下搅动

零件。以30V阳极化处理30秒，并且保证零件完全浸没之前不接通电源。在阳极化处理中不要搅动夹住的零件。

9. 取出夹住的零件在清水中冲洗。

10. 从阳极处理的夹具上卸下零件，挂在钛合金钩上，在清洁的冷水中冲洗。避免不必要的处理。

11. 把零件浸渍在硝酸—氢氟酸水溶液中。使用35%（按容积）工业用硝酸和2.5%（按容积）工业用氢氟酸。采用这种品级的硝酸和氢氟酸是为了最大限度地从衬底上去除蓝色，研究偏析和衬底两者颜色的最大差别。浸渍时间：Ti—6Al—4V 2~10秒；Ti—8Al—1V—Mo 15~20秒；Ti—6Al—2Sn—4Zr—2Mo 10~20秒。

12. 从酸中取出零件，浸没在清洁的冷水中越迅速越好并彻底冲洗。

13. 在热水（190~210°F）中冲洗。

14. 用干净的压缩空气吹干。

15. 检验。

处理槽中除两个酸洗槽必须加硬的聚氯乙烯（PVC）或其它相类似材料的衬里外，其余的可不加衬里。强碱脱脂溶液、阳极处理和热水清洗等三个槽子均应采用温度指示器。强碱槽、酸洗槽和阳极化处理槽里均应有机械搅动器，靠近酸性盐槽的冲洗槽应配有压力喷洗设备，而在酸洗槽和阳极化处理槽里还应配有计时器。

检波器在30V无载的情况下最大波动应为6%，并且也允许电压迅速上升到30V（1至3秒），最好是采用自动控制。最后，检波器应有一个时间制动开关，在3秒钟后切断1.2欧姆电阻器（与负载串联）。这个电阻器限制电流的起始波动，减少发生弧光的可能性。

译自 “TITANIUM SCIENCE AND TECHNOLOGY”

Volume 1, pp.733—741;

Plenum Press 1973

段 江译

刘经豪校

Ti—6Al—4V 合金冶金

组织对超响应特性的影响

引 言

目前,钛在各种大型非对称骨架结构锻件中的应用正日益增多。这种锻件通常需要横截面尺寸为16英寸或更大的毛坯。钛的超声传播衰减和噪声电平比以前构架中应用的铝和钢合金高得多。因此,探伤的灵敏度随着毛坯的规格和工件的截面厚度增大而明显地减弱。为了适应检验能力改进的要求,人们在研究灵敏度更高的仪器及检验技术方面已经作出了很大的努力。而匹兹堡·哈尔科(Alcoa)技术中心在进行这些研究的同时,还研究了低倍组织,显微组织以及临界(Subtransus)变形对钛合金毛坯的超声检验特性和各种航宇锻件所产生的影响,使这些材料的超声传播特性最佳化。

一 般 检 验 程 序

试件由标准的16英寸圆形或方形的Ti—6Al—4V合金锻坯机加而成。锻坯的各种低倍组织清楚地显示出2英寸到1/4英寸的原始- β 晶粒的形状,而后分别把它们定为粗糙、细密低倍组织。为了提供2到7英寸之间变化的3个方向上的金属声程,所有试件的表面都加工成平的或互相平行的,其均匀的表面粗糙度(光洁度)不超过100微英寸(相当于 Δ_6) (按均方值法计算)。试件在由锻坯加工成形后,以及在每道锻造或热处理工序完成后都要经过超声检验。而每道加工程序后浸蚀表面出现的各种低倍组织的变化都要拍成照片。

所有超声检验都是以浸液法在2.25—5MHz英寸、用直径为0.75英寸的陶瓷探头和线性(纵向)脉冲反射检验仪来进行的。这些检验都是由单个检验员用标准检测仪和以水程(不变)为3英寸重复调节检验灵敏度的情况下进行的。

将任一指定的试件的反射衰减曲线与自动化工业Ti—6Al—4V可比金属声程参考标准反射衰减曲线进行比较的方法,是选为测定该试件超声传播特性的最佳方法。为测定反射的衰减检验仪器首先要使第二次反射波高达到80%的最大饱和状态,在适当的参考试块上进行标准化校验。参考试块一般要经过检验,检验时,声波沿直径为2—1/8英寸的重型轧辊的纵轴作平行运动。试件从纵向和相对于原坯轴的两个横向上进行超声检验。

首先按2/64英寸平底孔重新校准检验灵敏度到80%波高,然后在选取进入面和第一次反射波之间的中间深度部位进行超声噪声测量。为了对测量结果进行直接对比,要分别以2.25MHz和5MHz在2—0.100*和2—0.225*直径为2/64英寸的平底孔校准参考试块,保持坯

料的平均噪声电平约为20%的饱和状态。这些在灵敏度检验中所得到的差值，对于获得所测的超声噪声电平，进而鉴定与反射波同时出现的各种微小变化来说，是非常必要的。

低倍组织偏析的影响

为了测定低倍组织所产生的影响，特选出两炉顶部为粗低倍组织，底部为细低倍组织的Ti—6Al—4V合金坯料作为检验的材料。尽管每炉合金的顶部与底部在低倍组织上都存在着

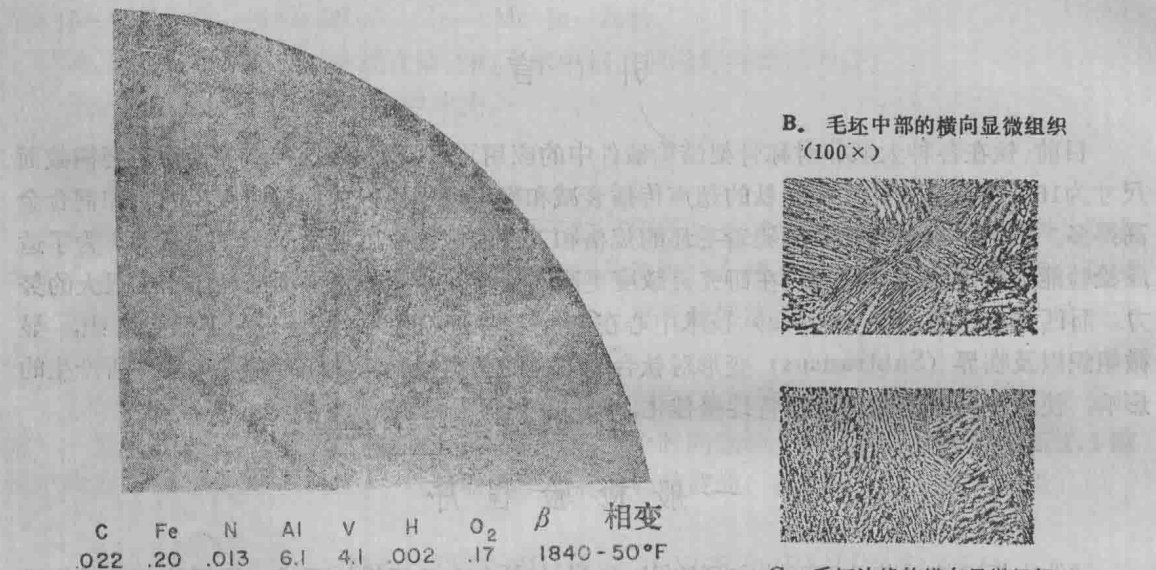


图1 交付状态结构，顶部毛坯TMCA熔批K5142，16英寸直径Ti—6Al—4V

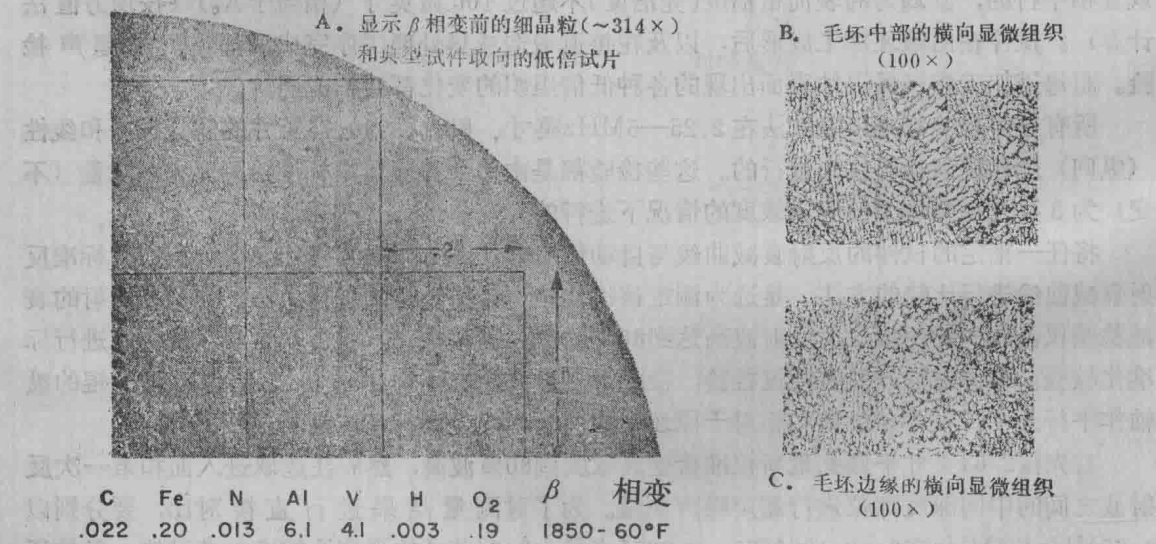


图2 交付状态结构，底部毛坯TMCA熔批K5142，16英寸直径Ti—6Al—4V合金

明显的差异，然而，如图 1 和图 2 所证明的那样，从金相学的角度来评价，证明上述材料在显微组织上并没有多大的差别。这两炉合金的化学分析也说明，其化学成分也无甚不同，为了进行比较，图 3 和图 4 示出了自动化工业参考标准和一直径为30英寸的 Ti—6Al—4V 合金的铸件的典型结构。

图 2 简略地示出了用4件直径为16英寸的锻坯制作的20块2"×2"×3"试样。将这些试样在 2.25MHz 时得到的典型反射衰减曲线，与铸件坯块和可比金属声程超声参考标准件的相似响应曲线进行比较。由于这些反射衰减曲线在形状上大体相似，但其大小并不相等，因此，根据下列公式便可很方便地作出每条曲线来：

$$dB=20\log I_x-20\log I_0$$

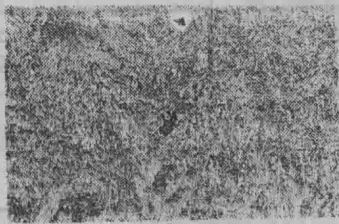
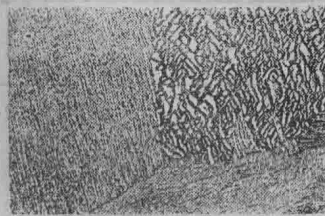


图 3 自动化工业参考标准的典型横向显微组织 (100 X)



A、β相变前粗晶粒 (~314x) 的横向低倍试样



B、坯块中心的横向显微组织 (100x)

图 4 直径为RMI 30英寸的Ti—6Al—4V合金块的低倍和显微组织

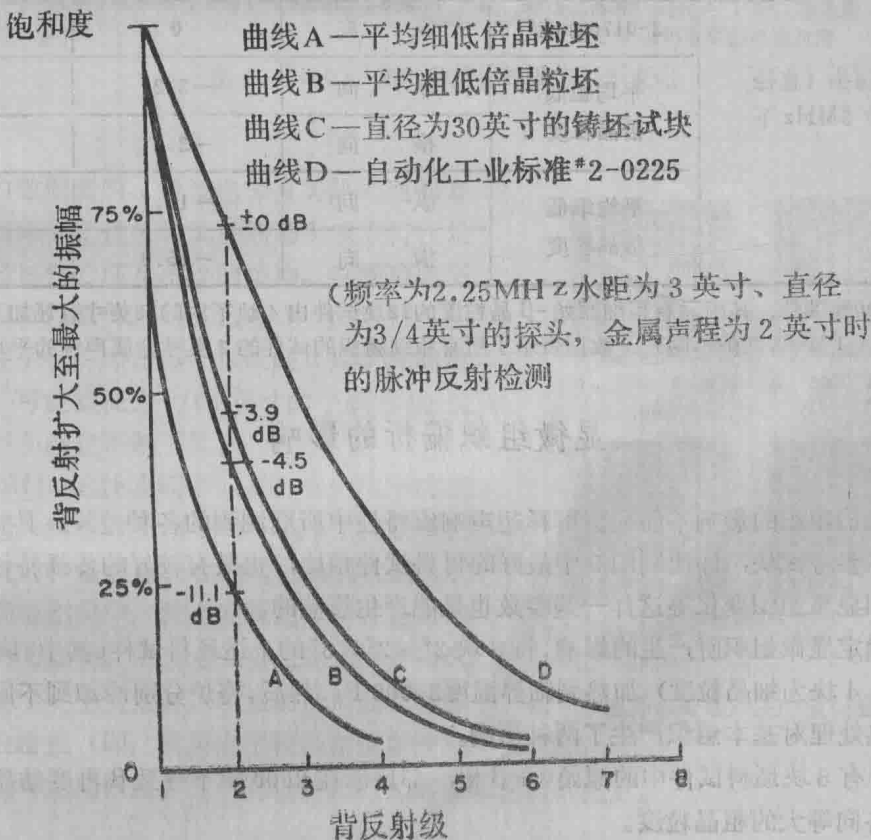


图 5 各试件典型的横向背射法衰减曲线

式中, I_x 和 I_0 是分别从选择的试件中和参考试块上测得的第二次反射波振幅。同样, 图 5 也包含了dB的相对损耗, 以便在0dB点上将每条实曲线与参考试样的曲线进行比较。

表 1 以频率和检验方向函数的方式, 概括了上述坯料试件的低倍晶粒度偏析对反射衰减及超声噪声电平的影响。如果其它因素相同的话, 那么这些数据就表明:

- (1) 粗低倍组织材料的传播损耗比细低倍组织材料的传播损耗低。
- (2) 横向反射响应略比纵向反射响应强一点。
- (3) 采用2.25~5MHz所得的反射波形相同。
- (4) 在任一探头频率下, 纵向噪声电平都比横向噪声电平低得多。

表 1 低倍组织晶粒度偏析对Ti-6Al-4V典型反射和噪声电平响应的影响的比较

频 率	试 件	试 验 方 向	第二次反射的db (额定) 值	平均噪声电平 饱和度 (0%)
在陶瓷探头 (直径 为3/4") 2.25MHz 下	2-0175标准*	纵 向	0	0
	平均粗低 倍晶粒度	纵 向	-6.0	0
		横 向	4.5	1.5
	平均细低 倍晶粒度	纵 向	-11.3	2
		横 向	-11.1	19
在陶瓷探头 (直径 为3/4") 5MHz 下	2-0175标准*	纵 向	0	0
	平均粗低 倍晶粒度	纵 向	-5.2	<2
		横 向	-2.2	13
	平均细低 倍晶粒度	纵 向	-18.7	2
		横 向	-15.9	10

※ 20块试件, 其中具有粗细原始-β晶粒度的12块试件由 4 块不同的16英寸锻坯加工而成 (TMCA两炉不同)。数据表示了所有粗细组织的试件的 2 英寸金属声程的平均响应。

显微组织偏析的影响

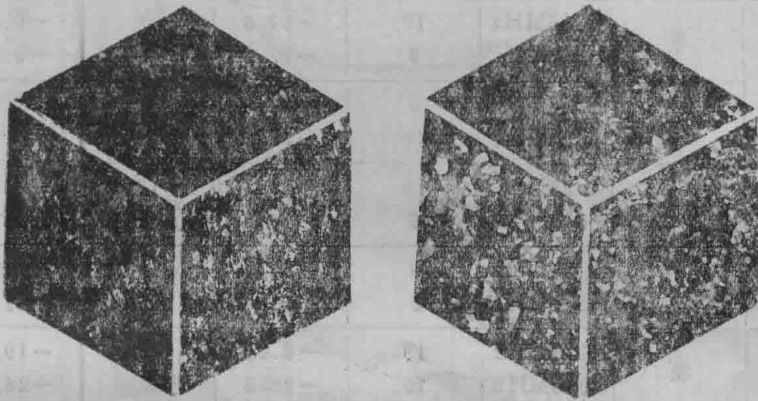
单靠低倍组织的影响不能完全解释超声响应特性中所观测到的各种差异。具有细低倍晶粒度的标准参考试块, 即使同图 5 中最好的材料试件相比, 也具有较好的传播特性。这就表明, 其它如显微组织变化等这样一些参数也是能产生影响的。

为了确定显微组织所产生的影响, 将 8 块 2"×2"×3"的上述坯料试件 (其中4块呈原始-β粗晶粒度, 4 块为细晶粒度) 加热到临界温度2,000°F, 然后, 将炉分别冷却到不同的温度。这样一些热处理对基本组织产生了两种影响。

- (1) 所有 8 块坯料试件中的原始α+β相, 都足以在 2000 °F下导致β再度结晶, 进而产生较小的各向等大的粗晶粒度。

(2) 将炉子以每小时100—150°F的速度冷却到不同的临界 (Subtransus) 温度, 便可产生出多种不同的显微组织情况。呈 α 相的显微组织的数量和大小是随着炉子在1800—1600°F 临界范围内的温度不断下降而增长的。

图 6 所示为在2000°F下 β 再结晶引起的典型低倍组织的变化。值得注意的是, 正如原先是不同的低倍组织经过再结晶后出现的晶粒度差异所表明的那样, 新的低倍晶粒尺寸就是原先晶粒尺寸的一个函数。图 7 为由不同的临界热处理阶段产生的典型显微组织。而表 2 则详细地列出了与这些显微组织有关的反射和噪声电平响应的变化。



A. 显示 β 相变前可变晶粒度的标准方坯低倍组织 B. 相同试件加热到2000°F后, 低倍组织虽已缩减但仍显示出可变粒度

图 6 2000°F 热处理产生的低倍组织变化

表 2 的数据表明, 通过选择有关热处理的方法, 改进或降低上述坯料试件的超声响应特性是可行的。经过热处理及水淬的结构, 其噪声电平最低, 反射响应最好, 甚至比参考标准特性还好。增加在炉子冷却过程中形成的 α 片状物的数量和粗度, 可使直径为 3/64 英寸的平底孔的反射, 声电平和响应不断下降。

2. 25MHz 的检验频率似乎对噪声电平的变化较为敏感, 然而, 使用 5MHz 时, 毫无疑问会出现更大的传播衰减。在这些新的再次结晶的各向等大低倍组织中, 没有发现超声特性在方向上受到相应的影响。当上述低倍组织通过 β 再次结晶作用继续发生变化时, 较粗的低倍晶粒材料的超声检验特性 (即: 噪声电平较低和反射波较高) 一般比可比显微组织材料的较精细的低倍晶粒材料的更好。

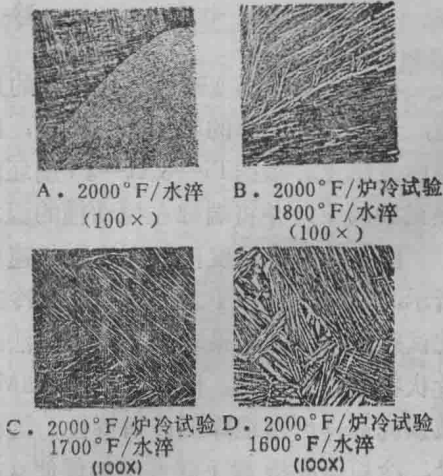


图 7 选择热处理产生的横向显微组织状态

表 2

显微组织对 2 英寸金属声程的 Ti—6Al—4V 合金
坯料试件的超声反射和横向噪声电平响应的影响的比较

试验热处理周期	原低倍晶 粒度	探头频率	未经热处理		热处理后		3孔*响应*
			标准噪声 0%	第二次 BR的db	标准噪声 0%	第二次 BR的db	
坯料试件加热 到2000°F, 水 淬	精	2.25MHz	19	-14.5	0	+0.5	72.5%
		5.0MHz	8	-19.2	1	+0.2	85%
	粗	2.25MHz	17	-8.5	0	+0.9	80%
		5.0MHz	10	-15.3	1	-2.9	94.0%
加热到2000°F, 炉冷却到1800°F, 水淬	精	2.25MHz	19	-12.6	0	-0.3	67.5%
		5.0MHz	8	-17.0	4	-0.9	75.0%
	粗	2.25MHz	9	-5.0	0	+0.8	72.5%
		5.0MHz	10	-7.5	1	-0.3	70.0%
加热到2000°F, 炉冷却到1700°F, 水淬	精	2.25MHz	19	-13.2	12	-5.7	57.5%
		5.0MHz	8	-16.0	11	-15.3	18.5%
	粗	2.25MHz	9	-9.7	4	-2.1	70.0%
		5.0MHz	8	-5.0	10	-11.0	54.0%
加热到2000°F, 炉冷却到1600°F, 水淬	精	2.25MHz	19	-6.0	15	-10.5	40%
		5.0MHz	16	-22.2	2	-24.1	17.5%
	粗	2.25MHz	19	-2.1	8	-5.0	65%
		5.0MHz	14	-15.0	8	-18.1	37.5%

* 为了验证反射波衰减数据足以代表探伤灵敏度的变化, 在经过实验热处理的试件的 3 英寸宽的横向上钻出直径为 3/64 英寸的平底孔。这些位于金属的 2.25 英寸的有效距离内的 3* 孔的响应表示变化的结构状态。S T D. P T.—M. D. 标准块 2.25 英寸处 3* 孔饱和度的 80%。

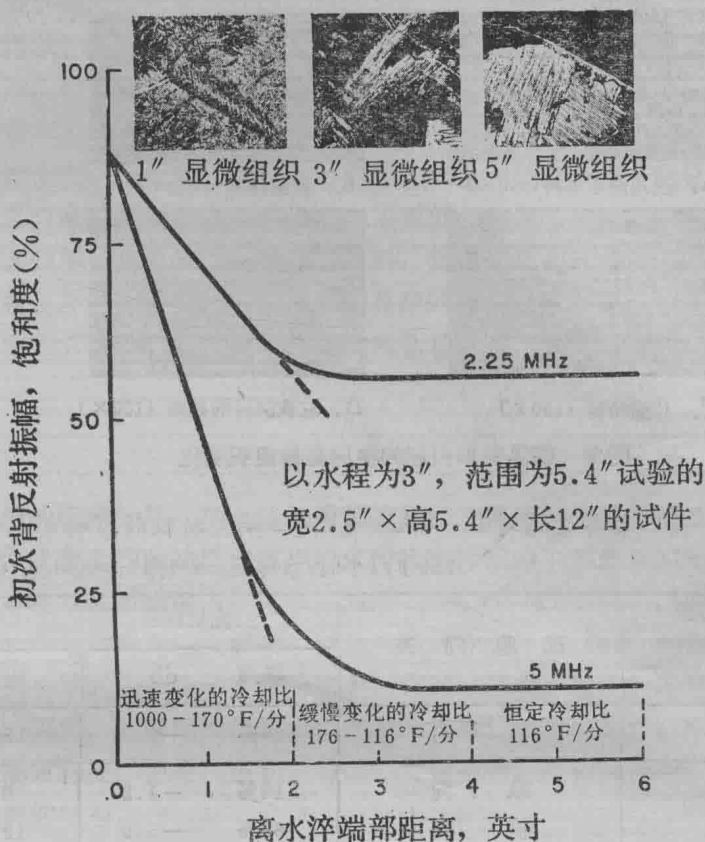
冷却速度的影响

在结束由于非变形的 α 片状物的形状的数量变化所引起的显微组织的影响的研究之前, 进行一次简单的端部淬火试验, 以确定控制显微组织的截面厚度极限, 进而使超声检验特性最佳化。根据 Ti—6Al—4V 扁坯段的长度, 热电偶置于中厚度的部位, 然后, 将此段加热至 2000°F, 并将端部在搅动槽的温水中淬火。

图 8 为临界温度范围内的冷却速度变化对第一次反射振幅变化所产生的巨大影响。如图所示, 1850—1600°F 之间的中厚度冷却速度为每分钟由 1000 下降到 1160°F。由此冷却速度变化试验所得到的结果表明, 用水淬法延缓全截面厚度为 6 英寸或小于 6 英寸的材料中形成 α 片状物是最合适的。同样, 使用 2.5MHz 时产生的衰减损耗并不象使用 5MHz 时所出现的衰减损耗那样严重地降低传播特性。这就提供了可能波长/粒度效应。当淬火面处于加工状态时, 冷却速度持续下降并更加促使 α 相成分变粗。这时, 反射响应在离淬火面 3 英寸以远的距离持续下降。

临界 (Subtransus) 变形的作用

因为 $\alpha + \beta$ 钛合金中的临界处理的主要作用是使 α 片状物细化, 从而研究各种理想的综



〔注：图中“冷却比”应为“冷却速度”〕

图8 Ti—6Al—4V棒条淬火试验的冷却速度极限

合机械特性(见参考文献1),这样就可预先考虑超声反应特性中的有关变化。为了研究 α 片状物的细化对超声反应的影响,特将一般常用的直径为16英寸的Ti—6Al—4V坯料作为试用材料。这种材料低倍组织呈细晶粒,而且仅具有 $\alpha + \beta$ 最后处理的标准常量。从邻接区对3块锻坯进行加工,并把其加热到1700°F:其中一块的横截面在经过拉伸后缩小了15%;第二块缩小了50%;第三块经过3道每次拉伸50%,然后再加热的工序。从每块坯料上取下3—1/4英寸的立方块,然而再把每块加工成表面光洁度为100微英寸=2.5微米,按均方值法计算。在进行超声检验以前,每个立方块都在1750°F的高温下经受热处理和水淬。

表3列出了不同量的 $\alpha + \beta$ 变到在2.25和5.0MHz时对超声响应所产生的影响。

随着临界处理量的增大,噪声电平减弱,而反射响应则增大。这种趋向在这两个频率下都很明显,尤其是5MHz时更是如此。图9所示为周期变形产生的各种显微组织的变化。增大临界变形的量,可产生小于热处理和水淬过的显微组织的 α 粒子量。

虽然,作为每次试验的条件,超声检验都是最后消除应力循环退火(1300度/2小时/气冷)的前后进行的,但是在临界处理及热处理温度下经过水淬的材料中并没有发现任何超声响应特性或100×显微组织方面的明显变化。然而,由于热处理的结果,按 β 相水淬的Ti—6Al—V4试件的传播衰减显现出逐渐增长,同时,那些在100×下可转化为微小的 α 片状物则得到了综合沉淀。