

超声显微检测系统在涂层检测中的应用研究

吴时红 陈颖 何双起

(航天材料及工艺研究所,北京 100076)

文 摘 主要介绍了超声显微检测系统的组成及原理,采用超声显微检测系统对特种涂层的内部质量进行了超声检测的应用研究。结果表明:该系统能检测出涂层内部的裂纹、气孔、涂层与基体脱粘等缺陷。采用超声瑞利波声透镜,可有效检测出涂层表面及亚表面的缺陷。检测过程中实时显示被测样品的 A、B、C 三种扫描图像,缺陷检测结果直观。

关键词 超声显微镜,检测,涂层,缺陷

Application of Scanning Acoustic Microscope for Coat Testing

Wu Shihong Chen Ying He Shuangqi

(Aerospace Research Institute of Materials and Processing Technology, Beijing 100076)

Abstract The configuration and operating principles of scanning acoustic microscope is introduced, a special transducer for ultrasonic NDT of coat is studied and developed. The results suggest that the scanning acoustic microscope is suitable for inspecting defects of crack, porosity in coat as well as the disbond defect between coat and substrate. It is effective for inspecting defect of coat surface and subsurface, by means of scanning acoustic microscope. It can also display A model, B model and C model images of specimen simultaneously. The scanning acoustic microscope is more efficient, distinct and the images are easier to evaluate.

Key words Scanning acoustic microscope, Test, Coat, Defect

1 前言

涂层材料在航空航天领域得到了广泛的应用,用途包括:耐烧蚀防热、抗氧化、耐辐射、耐磨、密封等。随着涂层材料的广泛应用,对涂层质量的要求也越来越高。涂层的厚度直接影响涂层的性能,因此需要对涂层厚度进行测量。由于涂层内部存在孔洞、裂纹及涂层与基体材料间存在脱粘等缺陷,需要对涂层内部质量进行检测。目前,国内对涂层的检测主要是对涂层厚度进行测量,对涂层内部质量的检测相关报道较少。

普通超声波检测方法受到检测分辨率、灵敏度的限制,而具有高分辨率和高扫描精度等功能的超声显微检测技术^[1~2],特别适用于涂层内部质量的检测。根据特种涂层特点,我们建立了涂层专用超声显微检测系统,开展了涂层检测技术的研究工作。

2 超声显微检测系统

2.1 工作原理

超声显微检测系统主要由声透镜、脉冲发射/接收装置、超高速 A/D 卡、机械扫描装置等部件组成^[3],原理框图见图 1。

收稿日期:2005-02-03

作者简介:吴时红,1973年出生,工程师,主要从事超声无损检测技术的研究工作

计算机触发脉冲收发装置产生激励信号,激励压电晶片产生超声波。声波被声透镜聚焦到被检样品表面或内部,在样品界面或内部声特性不连续处产生反射。反射波被压电晶片接收并转换为电信号。回波信号经限幅、放大电路放大后送至 A/D 卡,转为数字信号,然后进行数字处理。同时,计算机控制机械扫描平台进行 $x - y$ 二维扫描,扫描过程中在计算机上实时显示样品的超声 A、B、C 扫描图像。

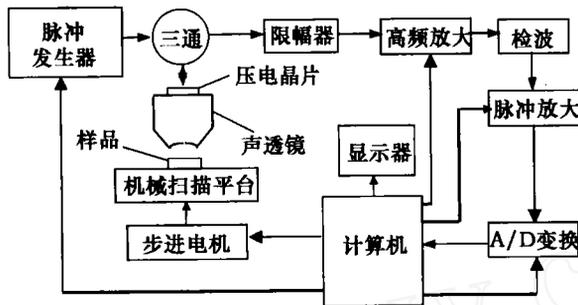


图 1 超声显微检测系统框图

Fig 1 Configuration of scanning acoustic microscope

2.2 工作模式

2.2.1 表面/亚表面成像

采用普通超声纵波由于盲区的存在而不能检测样品表面及亚表面缺陷,而采用超声瑞利波可以有效检测样品表面及亚表面缺陷^[4]。图 2 为超声显微检测系统表面/亚表面成像模式下的声波示意图。

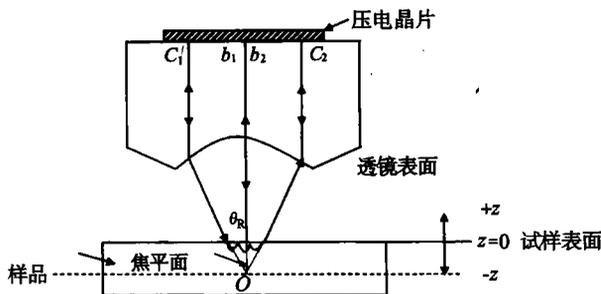


图 2 表面/亚表面成像模式下的声波示意图

Fig 2 Schematic diagram of sound wave for surface/sub-surface imaging model

θ_R 为瑞利波入射角; b_1 、 b_2 为超声纵波沿透镜轴线传播,经试样表面反射后沿原路返回的传播路径; C_1 、 C_2 为以瑞利角入射到样品表面,在样品表面激发出瑞利波,在液体内沿着与入射声波对称的路径返回声透镜的传播路径。

根据瑞利波产生的原理^[5],当采用大张角声透镜时能激励出瑞利波。由斯奈尔定律 (Snell): $\sin \theta_R = V_0 / V_R$, 其中 V_0 是液体的声速, V_R 是被测样品的瑞利波声速; 当入射角 $\theta_R = \arcsin (V_0 / V_R)$ 时,可在样品表面激励出瑞利波。瑞利波的传播与样品表面和亚表面结构有关,因而探头接收的信号就反映了样品表面和亚表面的结构信息。

2.2.2 内部成像

图 3 为超声显微检测系统内部成像模式的原理图。

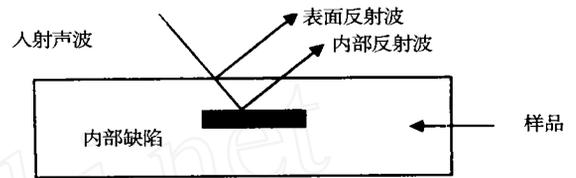


图 3 内部成像模式下的声波示意图

Fig 3 Schematic diagram of sound wave for inside imaging model

采用超声纵波当入射信号到达表面,一部分声波被反射回来,产生表面回波,剩下的声波继续沿样品传播直到在内部的不连续处(裂纹、孔洞、分层)产生第二次回波。

3 实验与结果

3.1 涂层表面和亚表面的裂纹检测

采用超声显微检测系统和特制的专用声透镜,对装于超高速涡轮泵上发现泄漏的密封动环(镀铬-碳化铬涂层)进行了检测。检测选用声透镜频率为 50 MHz,聚焦部件曲率半径 $R = 4 \text{ mm}$; 扫描范围 $20 \text{ mm} \times 20 \text{ mm}$,扫描点数 320×320 。检测结果见图 4。从图 4 看出涂层表面及亚表面存在放射状裂纹和环状裂纹。

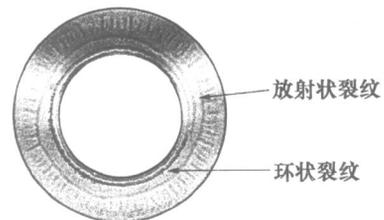


图 4 涂层裂纹检测结果

Fig 4 Inspecting result of crack defects

3.2 涂层内部孔洞的检测

对涂层内部较深部位缺陷的检测,可采用超声纵波。图 5 为密封动环上氧化铬涂层内部模拟缺陷的检测结果。模拟缺陷是从氧化铬涂层的基体向涂层内通过电火花加工制得,模拟缺陷大小在 0.2 ~ 0.3 mm 之间。检测中使用声透镜频率为 75 MHz,聚焦部件曲率半径 $R = 7$ mm;扫描范围 45 mm \times 15 mm,扫描点数 120 \times 40。从图 5 中可以看出,超声显微检测系统的检测效果良好。

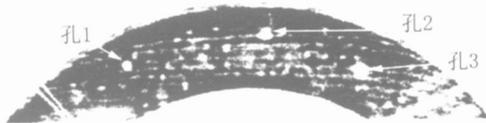


图 5 涂层内部孔洞的检测结果

Fig 5 Inspecting result of porosity defects

3.3 涂层脱粘缺陷的检测

在吸波涂层试样中制作了大约 3 mm 和 5 mm 的人工模拟脱粘缺陷,涂层厚度约为 0.5 mm。采用声透镜频率为 20 MHz,聚焦部件曲率半径 $R = 14$ mm。通过超声显微检测系统对涂层试样进行了检测。检测的扫描范围为 40 mm \times 40 mm;扫描点数为 100 \times 100。检测结果见图 6,图中黑色区域为人工制作的模拟脱粘缺陷。

从图 6 可以看出该检测系统可以实现对涂层脱粘缺陷的检测。

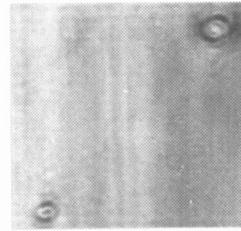


图 6 涂层脱粘缺陷检测结果

Fig 6 Inspecting result of disbond defects

4 结论

(1) 超声显微检测系统可广泛应用在涂层内部质量的检测中,能够有效检测出涂层材料内部孔洞、涂层与基体间的脱粘等缺陷。

(2) 普通超声纵波由于存在盲区无法检测涂层表面缺陷,而超声显微检测系统中利用声透镜可激励出瑞利波,利用瑞利波可有效检测涂层表面及亚表面的缺陷。

参考文献

- 1 Briggs A. Acoustic microscopy. Oxford: Oxford Science Publication, 1992: 127
- 2 Shirai Y. Three-dimensional computer vision. Berlin: Springer-Verlag, 1987: 10
- 3 陈戈林,刘隶放,龙勤,王爱宝. 台式多功能声显微镜的研制. 无损检测, 2000; 22(12): 535 ~ 538
- 4 Liang K, Bennett S D, Khur Yakub B T, Kino G S. Precision measurement of rayleigh wave velocity perturbation. Applied Physics Letters, 1982; 41(12): 1 124 ~ 1 126
- 5 吴振一,陈戈林,张克潜. 球面换能器汇聚系统 $V(Z)$ 曲线的射线理论. 声学学报, 1998; (13): 437 ~ 442

(编辑 李洪泉)

复合材料壳体外表面密封隔热涂层材料

本成果采用硅树脂 DC - 805、环氧树脂 E - 51、低分子量聚酰胺、催化剂及填料等作为涂层材料。该涂层兼有环氧树脂和硅树脂的优点,具有良好的耐高低温性能、很强的气体密封性和较宽的温度适用范围、并具有优良的耐水和耐盐水性,可在恶劣环境(如外压、150 高温、- 40 低温、潮湿及盐雾等)下,可对复合材料壳体有效保护。该树脂体系工艺性好、粘接性优良、成本低。

(陕西西安航天复合材料研究所,西安 710025)

·李连清·