

无损检测材料的方法

| 方法 | 原理或检测 | 应用范围 | 特点 | 局限性 |
|-----------------|--|---|---|---|
| 声学发射 | 裂纹起裂和扩展率；焯冷却过程中内部裂纹；汽化或空穴；摩擦或磨损；塑性变形；相变 | 压力容器；受力结构；涡轮或齿轮；断裂力学研究；焊接；声学图像分析 | 远程的和连续的监视；永久记录；裂纹的动态(而不是静态)检测；可携；用三角测量不测定缺陷位置 | 传感器必须放在零件表面上；高度塑性材料产生低幅发射；零件必须是受力的或是运行着的；试验系统的噪声需要滤掉 |
| 声冲击(轻敲) | 金属或非金属材料或层板中的脱胶或脱层；涡轮叶片或叶片中的裂纹；压碎的芯子 | 铆焊或粘接的结构；栓接或铆接组套；涡轮叶片；涡轮状装置复合材料结构；蜂窝状装置 | 可携；易操作；可自动化；永久记录或正的仪表读数；无需耦合剂 | 零件几何形状和位置影响试验结果；冲击器和探针必须复位以适应；零件几何形状；需要参照基准；对脉冲发生器冲击率的要求可重复性有严格要求 |
| Barkhausen噪声分析 | 铁磁质中的残余应力 | 压气机叶片、叶轮盘、缸压器壳等喷气式发动机的零件 | 无损应力分析；永久记录；完全自动化 | 昂贵；需要参照基准；必须有培训过的操作者；尚无产生的手段 |
| 涡流(100Hz—10kHz) | 飞行器结构中紧固件孔周围表面下的裂纹 | 铝和钛的结构 | 可检测不能用射线照相检测的表面下裂纹 | 零件的几何形状；检测不了裂纹 |
| 涡流(10kHz—6MHz) | 表面缺陷和表面下的裂纹和伤痕；合金含量；热处理引起的变化；壁厚；涂层厚度；电导率；磁导率 | 管道；线材；滚珠轴承；对各类型的表面“抽样检查”；金属探伤器；金属分选；在%IACS中测电导率 | 操作者不需要专门技能；高灵敏度；用于对称零件有永久记录能力；用于不对称零件或接头接 | 导电金属；浅穿透深度(仅用于薄壁)；对零件几何形状、尺寸或掩盖掉灵敏度；需要参照基准；磁导率变化 |
| 涡流(直流电法) | 在非金属材料中的脱胶面积；金属芯子或金属芯子中的脱胶面积；金属芯子 | 金属芯子；蜂窝结构；金属贴片；蜂窝结构；碳纤维增强复合材料等的导电层板；粘合的金属板 | 可携；操作简便；不需要耦合剂；可自动化 | 试件或零件必须含导电材料以建立零件几何形状 |
| 电导率(直流电法) | 裂纹；裂纹深度；电导率；壁厚；腐蚀导致的壁减薄 | 金属材料；导电材料；板、壳、其他形状材料元件；杆、板、其他形状 | 只需用一个表面；电池电源或直流电源；可携 | 边缘效应；表面污染；要求表面接触良好；难于自动化；电极间距；需要参照基准 |
| 带电粒子 | 非金属材料表面缺陷；加衬金属的材料上的穿透金属的针眼；或使材料压缩、交变应力裂纹 | 玻璃；易碎的搪瓷制品；塑料或玻璃纤维等非均匀材料；玻璃与金属封层 | 可携；对不实用穿透损伤的材料有用 | 对薄层分辨率差；由水汽或纤维造成污染；大气条件；高压放电 |

| 方 法 | 测 量 或 检 测 | 应 用 范 围 | 优 点 | 局 限 性 |
|--------------------------------|---|---------------------------------------|---|--|
| 外逸电子发射 | 金属的疲劳 | 金属 | 只需利用一个表面；永久记录；定量 | 无表面膜或杂质；几何形状局限；需要熟练技术 |
| 粒子过滤器 | 裂纹；孔隙率；不同的吸收率 | 粘土、碳、粉末金属、混凝土等多孔材料；砂轮；高压绝缘子；卫生设备 | 着色的或有荧光的粒子；把零件烘烤超过400°F后不留残迹；使用迅速和容易；可携 | 使用前必须挑选粒子的大小和形状；对悬浮介质的穿透力有严格要求；必须控制粒子浓度；刺激皮肤 |
| 荧光检查摄影 (电影荧光摄影) (动画荧光摄影) | 容器中的填充高度；夹杂物；内表面的部件；密度变化；空隙、厚度；间距或位置 | 液滴中的粒子；有气蚀的情况；阀和开关的运行；小型固体燃料火箭发动机中的燃烧 | 高亮度像；实时观察；映像放大；永久记录；可观察移动着的物体 | 昂贵；几何形状不清楚；厚试样；要研究事件的速度；观察的范围 |
| 全息摄影 (声-液面悬浮) | 没有缺陷；脱层；空隙；孔隙度；多树脂或少树脂的面积；夹杂物；密度变化 | 金属；塑料；复合材料；层板；蜂窝结构；陶瓷；生物试样 | 不需建立全息底版；据实实时成像；液体表面对超声波迅速响应 | 只有直射技能；物体和参考光束必须叠加在特定的液面上；只用于浸没试验；需要激光器 |
| 全息摄影 (干涉测量法) | 应变；塑性变形；裂纹；脱胶面积；空隙和夹杂物；振动 | 胶结的和复合材料的结构；汽车或飞行器的轮胎；三维成像 | 试验物体表面可以以不规则；不需要专门的表面处理或涂层；与试验试样不实际接触 | 需要无振动环境；用重的基底减振；难于分辨所检测缺陷的类型 |
| 红外射线 (辐射仪) | 没有缺陷；热点；传热；等温线；温度范围 | 铜焊结点；粘接结点；金属镀层或涂层；粘接面积；温度监测气组件 | 对1.5°F温度变化灵敏；永久记录或热学图像；定量；随意；无需与零件接触；可携 | 发射能力；液氮冷却的检测器；严格的时间-温度关系；对于厚试样分辨率差；需要参照基准 |
| 泄漏试验 | 泄漏；氢，氨，烟，水，气泡，放射性气体；卤素 | 连接；焊接，铆钉，粘接；密封相件；压力容器；燃料罐或气体罐 | 对于不能用于其他无损检测方法检测的极小的紧密度与所选用方法有关 | 需要零件有两个可及表面；涂污的金属或污物会妨碍检测；费用与灵敏度有关 |
| 磁 | 裂纹；壁厚；硬度；抗磁力；磁导率；各向异性；磁场的厚度；涂层的厚度 | 铁磁金属材料；船舱清磁；液面高度控制；寻找贵重物品；非金属材料的部分 | 磁性材料特性测量；可以自动磁化；在非磁性材料中易于检测磁性物体；可携 | 磁导率；需要参照基准；边缘效应；探头卸下 |
| 磁粒子 | 表面和表面稍下一层的检测；裂纹；焊缝、孔隙度；夹杂物；磁导率的变化；对探明微小的磁导率变化最为敏感 | 铁磁材料，杆、锻件、焊接件、挤压等 | 在指出表面下的缺陷尤其是夹杂物方面优于穿透法；相对地快和花费少；可携 | 严格要求磁场的对中；试验后将零件去磁；零件在探伤前后必须清洁；用表面涂层屏蔽 |

| 方 法 | 测 量 或 检 测 | 应 用 范 围 | 优 点 | 局 限 性 |
|---|---|---|---|---|
| 磁 干 扰 | 裂纹；裂纹深度；裂纹中的断股； 导磁效应；非金属材料；铅 键层下面的研磨痕迹和锈纹 | 软磁金属；在钢筋混凝土中的钢筋 | 可以自动化；易于检测非金属材料 中的磁性物体；检测表面下的 缺陷 | 需要参照基准；需要受过培训的 操作人员；零件的几何形状； 贵重设备 |
| 微 波 (300MHz— 300GHz) | 非金属中的裂纹、空洞、膜状面 积等；成分的改变；凝固程 度；含水量；厚度测量；介电 常数；损耗角正切值 | 强化的塑料；化学产品；陶瓷； 树脂；橡胶；液体；聚氨酯泡 沫；天线屏蔽器 | 在电磁波谱中的红外线与无线电电 波之间；可辨；通常无需与零 件表面接触；可自动化 | 不能穿透金属；需要参照基准； 与有严格间距的零件成一角 度；零件几何形状；波干涉； 振动 |
| Mossbauer 效应 | 材料中的核磁共振，最通常的是 铁-57；其中磁畴的极化 | 检测和分辨试样或样品中的铁； 检测不锈钢中的铁膜；测量钢 中保留的奥氏体(2—35%)；材 料中磁畴与位错的相互作用 | 提供铁-57核四极矩—资料 | 有放射性危险；需要培训过的工 程师或物理学家；不可搬；用 精密仪器测频源和作谱分析 |
| 中子活化分析 (反应堆、加速器 或放射性同位素) | 由中子活化引起的辐射线发射； 钢中的氧；粮食产品中的氮； 金属和矿物中的硅 | 冶金；勘探；测井；海洋学；液 体或固体材料中的取过过程控制 | 自动化系统；准碲(90m的范 围)；快速；不与料点接触；制 备的样品极少 | 有放射性危险；衰变时间很快； 需要参照基准；灵敏度随照射 时间而变 |
| 渗 透 剂 (染色或荧光) | 通向零件表面的缺陷、裂纹、孔 隙、缝隙、折叠等；穿透性 油脂 | 所有具有无吸收作用表面的零件 (锻件、铸件等)；掩盖对 缺陷的读数 | 费用低；可搬；可用肉眼解释 检查结果；结果容易解释 | 涂层、氧化皮、油污、金属等表面 膜会妨碍缺陷检测；在检测前 后必须使零件清洁；缺陷必须 直通表面 |
| 射线照相 (来自反应堆、加 速器或钴-252的热 中子) | 铁或合金的氢污染；有缺陷的 或不适当加热的烟灰装置；金 属、非金属、非金属材料； 锈；腐蚀产物 | 烟火装置；金属的非金属材料 件；生物标本；核反应堆燃料 元件和控制材料；粘接结构 | 用氦、碘、铈、镭、钍、铀作高 中子俘获；用大多数金属作低 中子俘获；X射线或 γ 射线； 摄影的补充 | 设备非常贵；需要核反应堆或加 速器；需要培训过的物理学家； 需要放射性危险；不可搬； 需要铅或钨屏 |
| 射 影 (γ 射线) 60 钴 192 | 内部缺陷和变化；孔蚀度、夹杂 物、裂纹、未熔合、几何形状 变化、厚度、腐蚀、密度、位置 变化和厚度、间距和位置 | 通常不适用于X光机的场所(由 于光源不能放入小开口的零件 和/或得不到能源)；全景 像 | 初期费用低；永久记录；胶片， 小光源可放在有小开口的零件 中；可搬；反差不小 | 每个光源一个能级；光源衰变； 有放射性危险；必须培训过 的操作人员；影像分辨率低； 费用与光源尺寸有关 |
| 射 影 (X射线-胶片) | 内部缺陷和变化；孔蚀度、夹杂 物、裂纹、未熔合、几何形状 变化、厚度、腐蚀、密度、位置 变化和厚度、间距和位置；错 位；不对中 | 铸件；电气组件；焊接口；小、 薄、非金属的燃料火箭发动机；复 合材料 | 永久记录；胶片；可透能级 (5kV—25MV)；对密度变 化有高灵敏度；不需要耦合 剂；几何形状改变不影响射线 线条的方向 | 初期费用高；零件中的线性缺陷 的方位会是不利的；有放射性危 险；表示不出缺陷的深度；随着 射线散射的增加，灵敏度下降 |

| 方 法 | 测 量 或 检 测 | 应 用 范 围 | 优 点 | 局 限 性 |
|--|---|---|--|--|
| 辐射测量法 (X射线, β 射线, β 射线) (透射和同后散射) | 壁厚; 涂层厚度; 密度和成分的变化; 键合或空腔中的空腔; 夹杂物或空腔 | 薄板、板材、箔、带、管; 核反应堆的燃料棒; 罐、盒或容器; 电焊零件; 复合材料 | 完全自动化; 快速; 精度高; 要求过程控制; 可测 | 有放射性危险; β 射线只对超薄涂层有用; 辐射剂量; 需要参照基准 |
| 声 波 (小于 0.1MHz) | 金属或非金属材料或层板中的脱胶面积或脱层; 受控条件下下的粘接强度; 压碎的或断裂的心子; 金属插紧零件的固定连接 | 金属或非金属材料或层板的铜焊或粘接; 胶合板; 火箭发动机的喷管; 蜂窝结构 | 可携; 易于操作; 测定透测的脱胶面积; 可以自动化; 只利用一个所需要的表面 | 表面几何形状影响测试结果; 需要参照基准; 粘附或心体厚度变化影响检测结果 |
| 热 电 探 头 (热色涂料, 液晶) | 没有连接; 热点; 传热; 等温线; 温度范围; 冷却剂管路的阻塞 | 铜焊结点; 粘接结点; 金属键层或涂层; 电气组件; 温度监测 | 初期费用极低; 易于用在难以用其他方法检查的表面上; 无特殊操作技巧 | 只限于薄板表面; 要求严格的时-温-温度关系; 温度影响影像的保持力; 需要参照基准 |
| 热 电 探 头 | 热电势; 涂层厚度; 物理特性; Thompson效应; 半导体中的P-N结 | 金属分选; 金属上陶瓷涂层厚度; 焊零件 | 可携; 操作简单; 只需利用一个表面 | 热探头; 难以自动化; 需要参照基准; 表面污染; 导电涂层 |
| 层析X射线摄影法 | 边界; 表面重建; 裂纹尺寸、位置 and 方位 | 金属研究; 医学 | 极微(针尖)缺陷的定量; 影像显示用计算机控制 | 非常昂贵; 必须有高度培训过的操作人员 |
| 超 声 波 (0.1—25MHz) | 内部缺陷和变化, 裂纹, 未焊合、孔隙度、夹杂物、脱层、浸透、纹理; 厚度或速度; Poisson 比, 弹性模量 | 铁制的金属; 焊件; 铜焊结点; 粘接结点; 非金属; 运行中的零件 | 对裂缝极灵敏; 即刻可知试验结果; 自动化和永久记录的能力; 可携; 高穿透能力 | 需要耦合剂; 可能难于检验小、复杂零件; 需要参照基准; 需要培训过的操作人员作人工探伤; 专用的探头 |
| 超声波角反射 | 固体中的弹性性能、声衰减; 表面附近的金属性能梯度; 例如钢中的渗透; 金属晶粒结构和尺寸 | 金属; 非金属 | 只需利用一个表面; 永久记录; 定量的; 不需对样品实际接触; 试样制备极小 | 试验零件必须浸泡; 几何形状的限制性; 试验零件必须有一个受面光滑的面积; 需要测角仪装置; 需要熟练的技术人员 |

参 考 文 献

- 1 Nondestructive Inspection and Quality Control, ASM Metals Handbook, V. II, 8th Edition.
 - 2 Nondestructive Evaluation Technique Guide, A. Vary, N.A.S.A SP-3079, National Technical Information Services, Springfield, Va. 22151.
- 孟 珊 译 自: Selected Papers on Nondestructive Testing, Vol.1, Ultrasonic and Acoustic Emission (1984): 1—5.