



中华人民共和国国家标准

GB/T 38537—2020

纤维增强树脂基复合材料超声检测方法 C 扫描法

Ultrasonic testing method for fiber reinforced resin matrix composites—
C-scan method

2020-03-06 发布

2021-02-01 实施

国家市场监督管理总局 发布
国家标准化管理委员会

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准由中国建筑材料联合会提出。

本标准由全国纤维增强塑料标准化技术委员会(SAC/TC 39)归口。

本标准起草单位：中国兵器工业集团第五三研究所、常州天马集团有限公司、北京玻璃钢研究设计院有限公司、航天材料与工艺研究所、矩阵科工检测技术(北京)有限公司、山东瑞祥模具有限公司、中航复合材料有限责任公司、中国航发北京航空材料研究院、美国物理声学公司北京代表处、利派普(北京)检测技术有限公司。

本标准主要起草人：凡丽梅、王从科、董方旭、郑素萍、孙良文、张彬、朱忠裕、杨节标、何双起、江运喜、边永丰、刘松平。

纤维增强树脂基复合材料超声检测方法

C 扫描法

1 范围

本标准规定了纤维增强树脂基复合材料超声 C 扫描法的方法原理、一般要求、成像系统、试块、耦合剂、检测程序、结果评定、记录与报告。

本标准适用于碳纤维及玻璃纤维等纤维增强树脂基复合材料制品(以下简称被检件)分层、气孔等缺陷的超声 C 扫描检测。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB/T 19799.1 无损检测 超声检测 1号校准试块

GB/T 27664.1 无损检测 超声检测设备的性能与检验 第1部分:仪器

GB/T 34892 无损检测 机械手超声检测方法

3 方法原理

超声 C 扫描法最常用的有接触式超声脉冲反射法、水浸式超声脉冲反射法和喷水式超声脉冲穿透法。接触式和水浸式超声脉冲反射法是根据超声波在材料中传播时,遇到不连续性产生的反射回波或材料底面产生的底面回波的幅度、相位、传播时间的变化对材料质量进行评定;喷水式超声脉冲穿透法将发射探头和接收探头分别安置在被检件的两侧,超声波由一个探头发射,穿过被检件进入另一个探头,根据透射波强度的变化对材料质量进行评定。

4 一般要求

4.1 检测人员

纤维增强树脂基复合材料超声 C 扫描检测人员应具备相应的技术资格。

4.2 检测环境

工作场地的温度及湿度应在仪器、设备及器材所允许的范围内,不应存在影响超声检测仪器正常工作的强磁、振动、高频、灰尘、腐蚀性气体和噪声等干扰源。

4.3 被检件

被检件表面不应存在影响超声检测结果的灰尘、杂质、污物、气孔、划伤、皱褶等。

5 成像系统

5.1 系统组成

超声 C 扫描成像系统由超声波检测仪、探头、扫查系统、计算机及软件组成。

5.2 超声波检测仪和探头

5.2.1 超声检测仪应符合 GB/T 27664.1 的规定,具有界面波、缺陷波和底面波跟踪的功能。

5.2.2 探头应采用标称频率 0.5 MHz~10 MHz 的圆形晶片平探头或聚焦探头,晶片尺寸为 10 mm~25 mm。

5.2.3 超声波检测仪和探头配合使用时,采用校准试块对其组合性能进行测试,组合性能指标应满足表 1 的要求。

表 1 超声波检测仪与探头性能指标

序号	性能	要求
1	垂直极限	100%
2	垂直线性	范围 5%~95%,误差 \leq 5%
3	水平极限	100%
4	水平线性	范围 0%~90%,误差 \leq 1%
5	动态范围	\geq 26 dB
6	增益调节	总增益量 \geq 60 dB,精度每 2 dB \pm 0.2 dB

5.3 扫查系统

扫查系统主要由机械扫查装置、被检件放置装置、探头夹持装置和给水装置等组成,其性能指标应满足表 2 的要求。采用机械手扫查方式时,其基本性能应满足 GB/T 34892 的规定。

表 2 扫查系统性能指标

组成装置	性能	要求
机械扫查装置	运动速度/(mm/s)	\leq 150
	扫查轴定位精度/mm	\leq 2
	扫查轴重复定位精度/mm	\leq 2
	扫查步进量/mm	1~5 连续可调
被检测件放置装置	旋转速度/(r/min)	\leq 100
	对中夹紧精度/mm	\geq 0.3
	定位精度/(°)	\leq 0.3
	重复定位精度/(°)	\leq 0.3

表 2 (续)

组成装置	性能	要求
探头夹持装置	调节精度/°	≤100
	定位精度/mm	≥0.3
	重复定位精度/mm	≤0.3
	对中误差/mm	≤0.3
给水装置	水过滤精度/μm	≤50

5.4 计算机及软件

5.4.1 计算机的硬件配置应满足扫描运动控制、超声 C 扫描数据采集、C 扫描成像、图像后处理、图像存储要求。

5.4.2 数据采集卡的采样频率应不小于 100 MHz, A/D 量化等级不小于 12 bit。

6 试块

6.1 校准试块

校准试块应符合 GB/T 19799.1 的规定。

6.2 对比试块

6.2.1 应选用与被检件相同的原材料、厚度、工艺和表面状态制作对比试块,并采用比验收等级高一级的灵敏度进行检测。对比试块中不应存在影响使用的自然缺陷,对比试块的尺寸和缺陷可参见附录 A 和附录 B。

6.2.2 对比试块也可采用具有自然缺陷的被检件,自然缺陷类型、尺寸、位置、取向及分布情况应详细记录并应经各方确认。

6.2.3 对于曲率半径小于或等于 150 mm 的被检件,应采用曲面对比试块;对于曲率半径大于 150 mm 的被检件,可采用平面对比试块。

6.2.4 对比试块制作好之后,应按试块设计图纸,采用超声 C 扫描法进行验证,记录缺陷尺寸与验证测试结果的偏差,并对结果进行修正。

6.3 参考试块

采用厚度与对比试块相同的有机玻璃板制作参考试块,其表面粗糙度 R_a 应不超过 $3.2 \mu\text{m}$ 。

7 耦合剂

采用洁净、无气泡和无杂质的循环水作耦合剂,必要时水中可添加不损伤被检件和设备的防腐剂和润湿剂,水温应控制在 $10 \text{ }^\circ\text{C} \sim 35 \text{ }^\circ\text{C}$ 。

8 检测程序

8.1 工艺参数选择

8.1.1 方法类型和探头参数选择

根据被检件材料特性、结构特点和检测要求确定检测方法;根据复合材料声衰减特性及要求检出的

最小缺陷确定探头参数,检测方法和探头的选择可参见附录 C。

8.1.2 灵敏度确定

8.1.2.1 接触式超声脉冲反射法

将探头置于与被检件厚度相同或者相近的对比试块上,调整超声波检测仪,使要求检出的最小缺陷反射波高度达到检测仪荧光屏满刻度的 80%,以此时的分贝值作为检测灵敏度。

8.1.2.2 水浸式超声脉冲反射法

选择与被检件厚度相同或相近的对比试块,调整探头角度使发射波声束中心线与对比试块垂直,调整超声波检测仪,使要求检出的最小缺陷反射波高度达到检测仪荧光屏满刻度的 80%,以此时的分贝值作为检测灵敏度。

8.1.2.3 喷水式超声脉冲穿透法

选用与被检件相同厚度的对比试块,调整探头支架使发射探头与接收探头的轴线对中,并使水柱尽可能垂直于对比试块表面。设置闸门高度为屏幕高度的 20%~50%,调节报警闸门使穿透波处于闸门内,调节超声波检测仪,刚好能检出要求最小缺陷时的穿透波,以此时的分贝值作为检测灵敏度。

8.1.3 扫查间距确定

将探头对准对比试块中要求检出的埋深最小的最小缺陷位置,调节增益,使该缺陷的反射波高度达到检测仪荧光屏满刻度的 80%,然后沿缺陷的直径方向移动探头,找出反射波高度下降 6 dB 的两点距离;以不超过此距离的二分之一作为扫查间距,扫查间距应保证要求检出的最小缺陷至少能被连续检出 3 次,且此缺陷的超声 C 扫描图像清晰可辨。

8.1.4 扫查速度确定

扫查速度的选择应考虑操作人员的辨别能力和设备记录信号能力,应保证得到清晰的回波并能够稳定的触发记录。能清晰分辨要求检出的最小缺陷时,可选用检测系统允许范围内的更大扫查速度。

8.1.5 水程距离确定

8.1.5.1 水浸式脉冲反射法

调整水浸聚焦探头与对比试块之间的水程距离,使水浸聚焦探头的有效焦距落入对比试块中,同时使超声反射波在荧光屏上分辨,可通过式(1)计算:

$$S = F - \frac{C_2 T}{2C_1} \dots\dots\dots(1)$$

式中:

- S —— 水程距离,单位为毫米(mm);
- F —— 探头在水中焦距,单位为毫米(mm);
- C₂ —— 对比试块声速,单位为毫米每秒(mm/s);
- T —— 对比试块厚度,单位为毫米(mm);
- C₁ —— 水的声速,单位为毫米每秒(mm/s)。

8.1.5.2 喷水式脉冲穿透法

调整喷水探头与被检件间的水程距离,当使用水浸平探头时,应使被检件处于发射探头与接收探头

的有效工作区域；使用水浸聚焦探头时，应使被检件处于发射探头与接收探头的有效聚焦区域。

8.2 工艺卡编制

根据被检件材料、结构、尺寸、检测要求等内容编制工艺卡，一般应包括以下内容：工艺卡编号、被检件名称、纤维种类、树脂种类、成型工艺、检测序号、检测标准、设备型号、试块、检测工艺参数、检测示意图等，工艺卡编制可参见附录 D 或根据检测特点自行制定。

8.3 被检件检测

8.3.1 检测前应清除被检件表面的灰尘、污染物或影响检测的异物等，可采用对被检件无影响的溶剂擦拭被检件表面。

8.3.2 目视检测被检件有无边缘分层，气孔、划伤、皱褶等影响超声检测的异常现象，若出现边缘分层或开口，应进行密封处理。对于影响超声检测结果的异常现象应在检测记录中注明。

8.3.3 在被检件上标记扫查零点，对被检件进行检测，做好检测记录及保存检测结果，检测结束后，应立即清除表面的水迹，便于被检件存放和储藏。

8.3.4 对于一次不能扫查完毕的大型构件，应分段进行扫查，并应在被检件的检测部位做标记和记录检测结果。

8.3.5 对于变截面构件，若声束无法完全与受检件表面垂直，可适当提高检测灵敏度进行检测。

9 结果评定

9.1 图像处理

调节数据采集系统中回波幅值对应的颜色设置，使超声 C 扫描图上显示的缺陷颜色和对比试块中的缺陷颜色一致，以此确定缺陷的图像特征（部分典型缺陷超声 C 扫描图参见附录 E），记录缺陷的尺寸、位置等信息。

9.2 缺陷标记

根据超声 C 扫描图像上缺陷的位置坐标和图像特征，在被检件表面进行缺陷轮廓的标记。

9.3 缺陷尺寸确定

9.3.1 接触式/水浸式超声脉冲反射法

9.3.1.1 对于小于或等于探头直径的缺陷，缺陷埋深和尺寸采用与对比试块比较的方法确定。若检出的缺陷与对比试块上缺陷埋深相同，采用对比试块缺陷尺寸来确定缺陷尺寸；若检出的缺陷与对比试块上缺陷埋深不同，采用与其声程相近的对比试块上缺陷的回波幅值确定缺陷尺寸。

9.3.1.2 对于大于探头直径的缺陷，缺陷尺寸采用半波高度法（6 dB 法）确定。

9.3.2 喷水式超声脉冲穿透法

9.3.2.1 对于小于或等于水柱直径的缺陷，按 9.3.1.1 的规定。

9.3.2.2 对于大于水柱直径的缺陷，可采用对比试块上稍大于水柱直径的缺陷作为标定缺陷（设其尺寸为 W ），测量标定缺陷的尺寸（设其为 A ），测量被检件中的缺陷尺寸（设其为 B ），则被检件中缺陷的测量尺寸为 $B - (A - W)$ 。

10 记录与报告

10.1 记录

记录一般应包括以下内容：

- a) 委托单位；
- b) 产品名称、材料、编号、数量；
- c) 本标准编号及检测方法；
- d) 仪器设备和探头的名称、型号；
- e) 对比试块名称、编号；
- f) 检测工艺文件；
- g) 缺陷位置、轮廓、缺陷类型、尺寸、深度；
- h) 检测人员、审核人员、日期。

10.2 报告

报告内容一般应包括如下内容：

- a) 报告编号；
- b) 委托单位；
- c) 收样日期和检测日期；
- d) 被检件名称、材料、编号、数量；
- e) 检测方法、检测标准；
- f) 检测图像，并用文字标注缺陷位置、轮廓、缺陷类型、尺寸、深度等信息；
- g) 结果评定；
- h) 检测人员、审核人员和批准人员。



附录 A

(资料性附录)

接触式/水浸式超声脉冲反射法对比试块

A.1 形状与尺寸

采用两层厚度为 0.02 mm~0.05 mm 的聚四氟乙烯薄膜或不透声材料,对于层压结构复合材料构件,在距离试块上表面位置第二层与第三层纤维布、试块二分之一厚度处(0.5H) 和下表面位置第二层与第三层纤维布预置圆形缺陷。对比试块的规格尺寸见表 A.1,对比试块的形状示意图见图 A.1。

表 A.1 对比试块规格尺寸

单位为毫米

试块编号	缺陷形状	尺寸	缺陷位置
1# 对比试块	圆形	$\phi 3.0$ 、 $\phi 6.0$ 、 $\phi 9.0$ 、 $\phi 12.0$	上表面第二层与第三层纤维布处
2# 对比试块	圆形	$\phi 3.0$ 、 $\phi 6.0$ 、 $\phi 9.0$ 、 $\phi 12.0$	试块二分之一厚度处
3# 对比试块	圆形	$\phi 3.0$ 、 $\phi 6.0$ 、 $\phi 9.0$ 、 $\phi 12.0$	下表面第二层与第三层纤维布处

单位为毫米

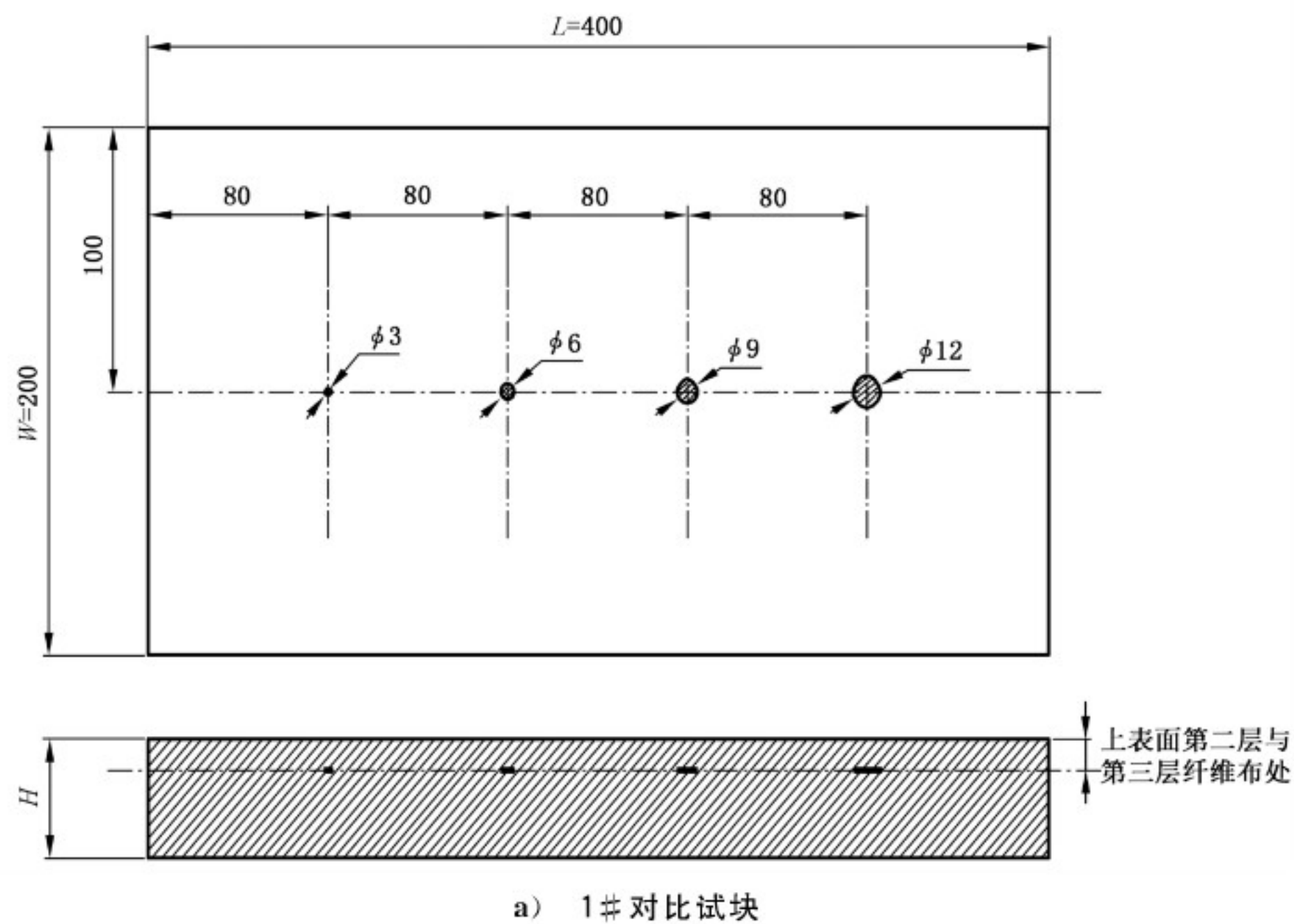
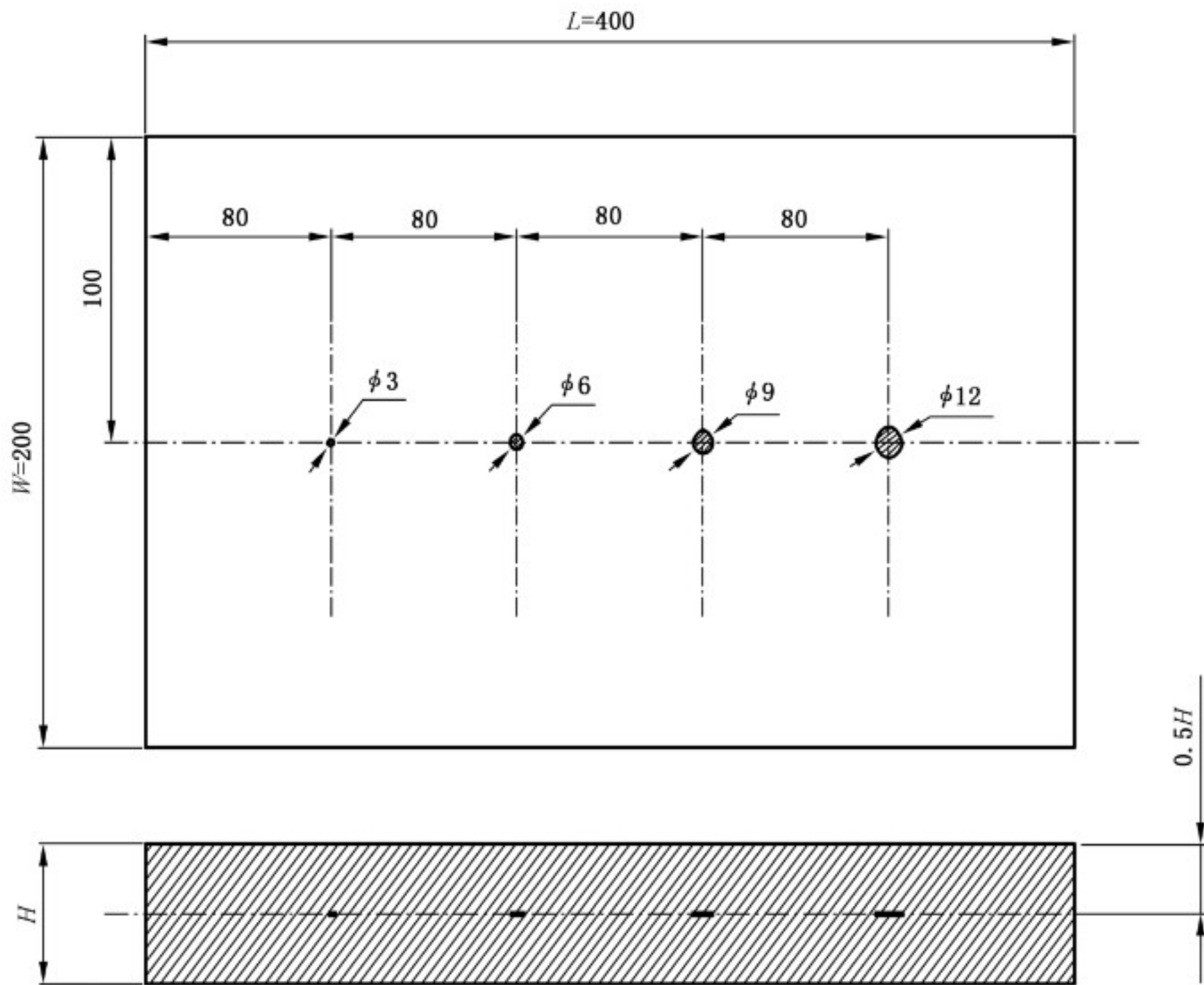
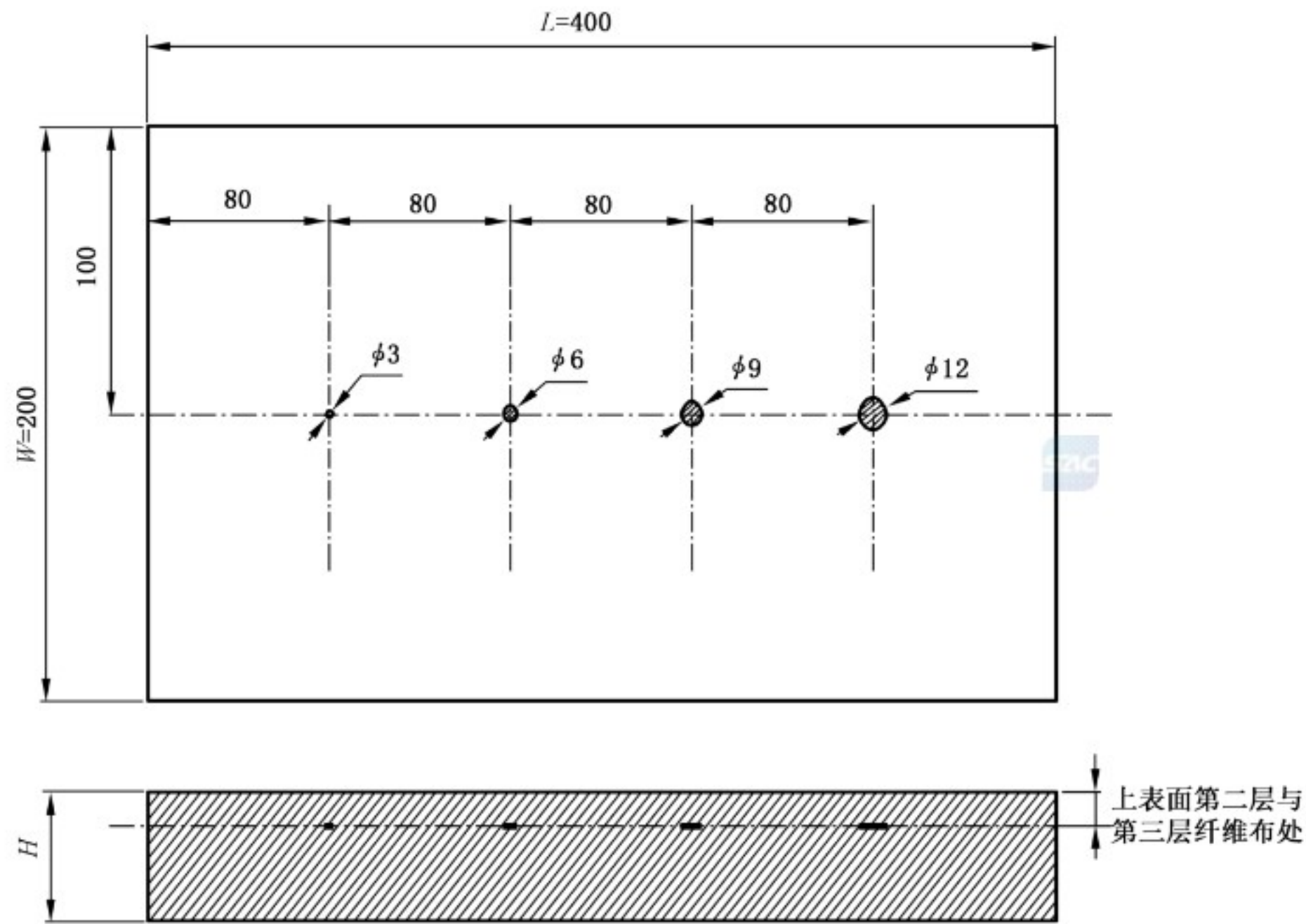


图 A.1 接触式/水浸式超声脉冲反射法对比试块



b) 2# 对比试块

图 A.1 (续)



c) 3# 对比试块

说明：

L ——对比试块长度；

W ——对比试块宽度；

H ——对比试块厚度；

ϕ ——预置缺陷直径。

图 A.1 (续)

A.2 要求

A.2.1 对比试块可制作成 8 层、12 层、16 层、20 层、24 层、32 层。

A.2.2 对比试块制作好之后，应采用无损害、可长期保留的记录介质对对比试块进行分类标识，标识区域应避开预置缺陷。

A.2.3 当对比试块材料老化和性能产生变化时，可采用参考试块对缺陷进行判断与分析。

附录 B

(资料性附录)

喷水式超声脉冲穿透法对比试块

B.1 形状与尺寸

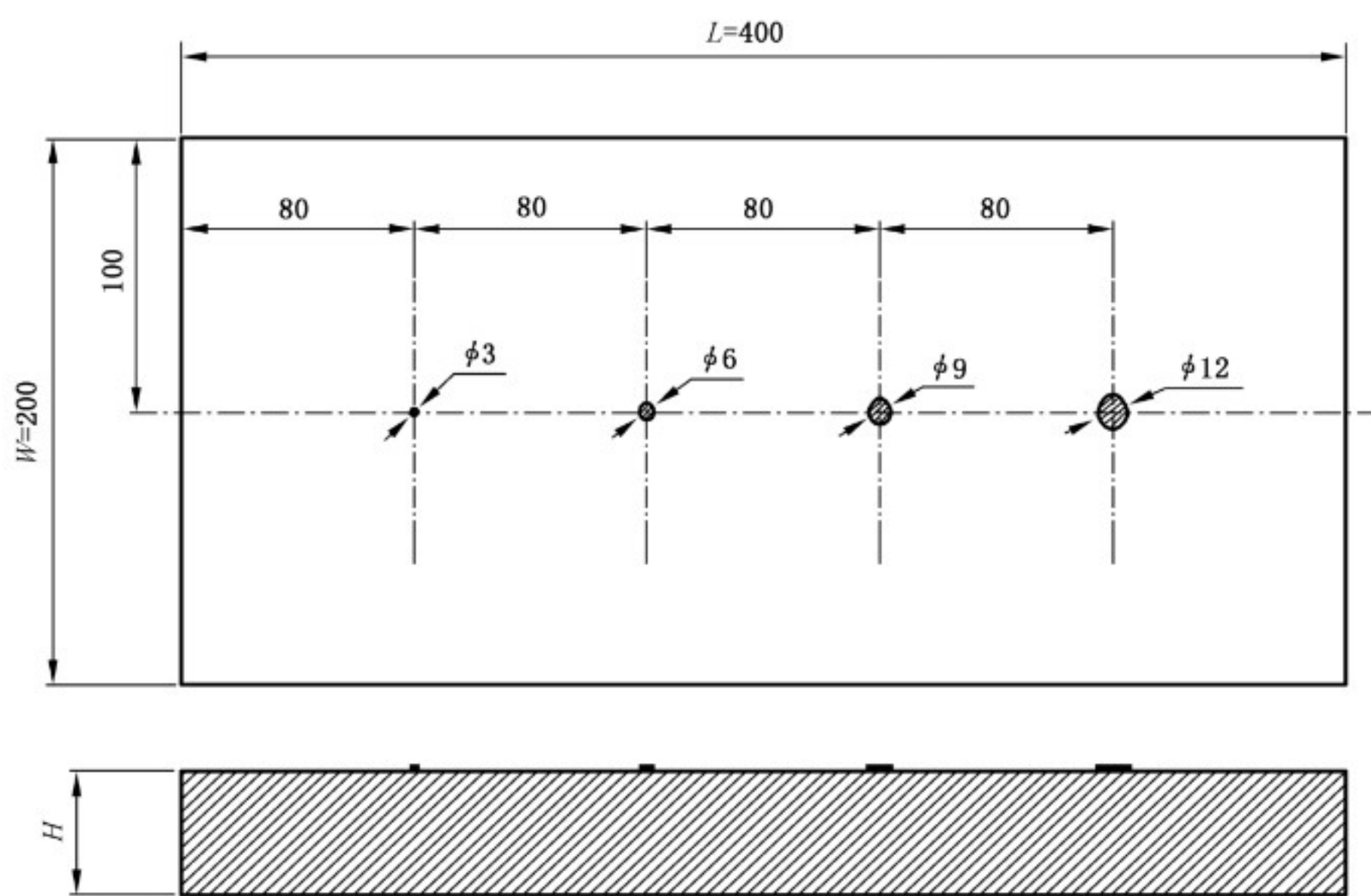
采用两层厚度为 0.02 mm~0.05 mm 的聚四氟乙烯薄膜或不透声材料在试块表面制作喷水式超声穿透法对比试块,对比试块的规格尺寸见表 B.1,对比试块的形状示意图见图 B.1。

表 B.1 对比试块规格尺寸

单位为毫米

缺陷形状	尺寸	缺陷位置
圆形	$\phi 3.0$ 、 $\phi 6.0$ 、 $\phi 9.0$ 、 $\phi 12.0$	表面

单位为毫米



说明:

L ——对比试块长度;

W ——对比试块宽度;

H ——对比试块厚度;

ϕ ——预置缺陷直径。

图 B.1 喷水式超声穿透法对比试块

B.2 技术要求

对比试块制作好之后,应采用无损害、可长期保留的记录介质对对比试块进行分类标识,标识区域应避开预置缺陷。

附 录 C
(资料性附录)
检测方法及探头参数

本标准推荐采用的检测方法和探头参数见表 C.1。

表 C.1 检测方法及探头参数

序号	被检件厚度	方法类型	探头参数
1	厚度 10 mm~120 mm	接触式超声脉冲反射法 水浸式超声脉冲反射法 喷水式超声脉冲穿透法	平探头,频率 0.5 MHz~5 MHz
2	厚度小于 10 mm	接触式超声脉冲反射法 水浸式超声脉冲反射法 喷水式超声脉冲穿透法	聚焦探头,频率 2.25 MHz~10 MHz 平探头,频率 0.5 MHz~5 MHz
缠绕件、模压件、编织件和手工制品推荐采用喷水式超声脉冲穿透法。 注：表中列出的探头类型和频率为推荐值,对于特殊情况(小缺陷、高衰减材料等检测),可使用其他频率。			



附录 D

(资料性附录)

纤维增强树脂基复合材料超声 C 扫描法工艺卡

纤维增强树脂基复合材料超声 C 扫描法的工艺卡见表 D.1。

表 D.1 纤维增强树脂基复合材料超声 C 扫描法工艺卡

被检件名称		被检件编号	
被检件材质		被检件规格尺寸	
纤维种类		树脂种类	
设备名称		设备型号	
探头型号		对比试块	
耦合剂		检测标准	
检测工艺参数			
检测方法		检测比例	
检测灵敏度/dB		检测频率/MHz	
水程距离/mm		扫查间距/mm	
检测部位示意图：			
编制		审核	
		制定日期	

附录 E
(资料性附录)
部分典型缺陷超声 C 扫描图

E.1 碳纤维增强树脂基复合材料分层缺陷超声 C 扫描图见图 E.1。

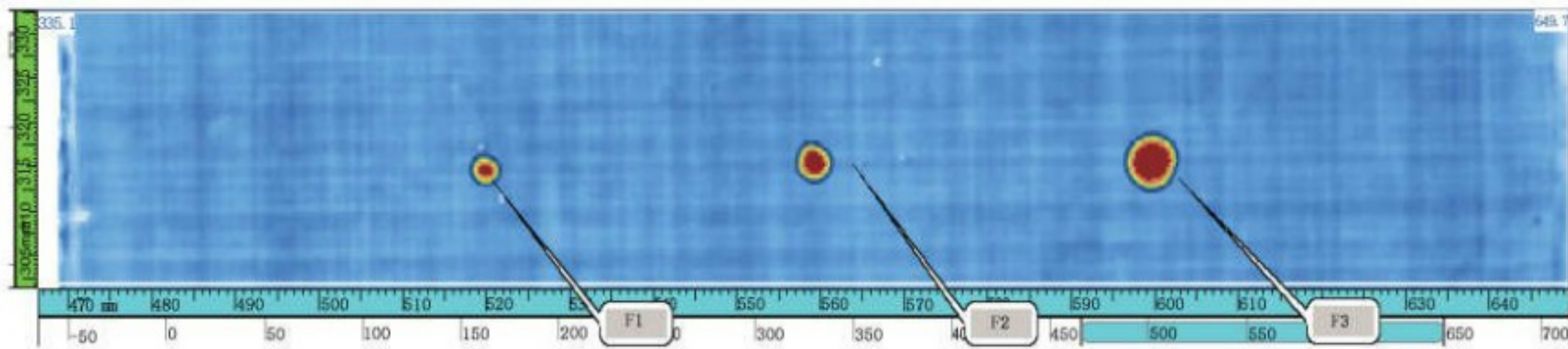


图 E.1 碳纤维增强树脂基复合材料分层缺陷超声 C 扫描图

E.2 玻璃纤维增强树脂基复合材料分层缺陷超声 C 扫描图见图 E.2。

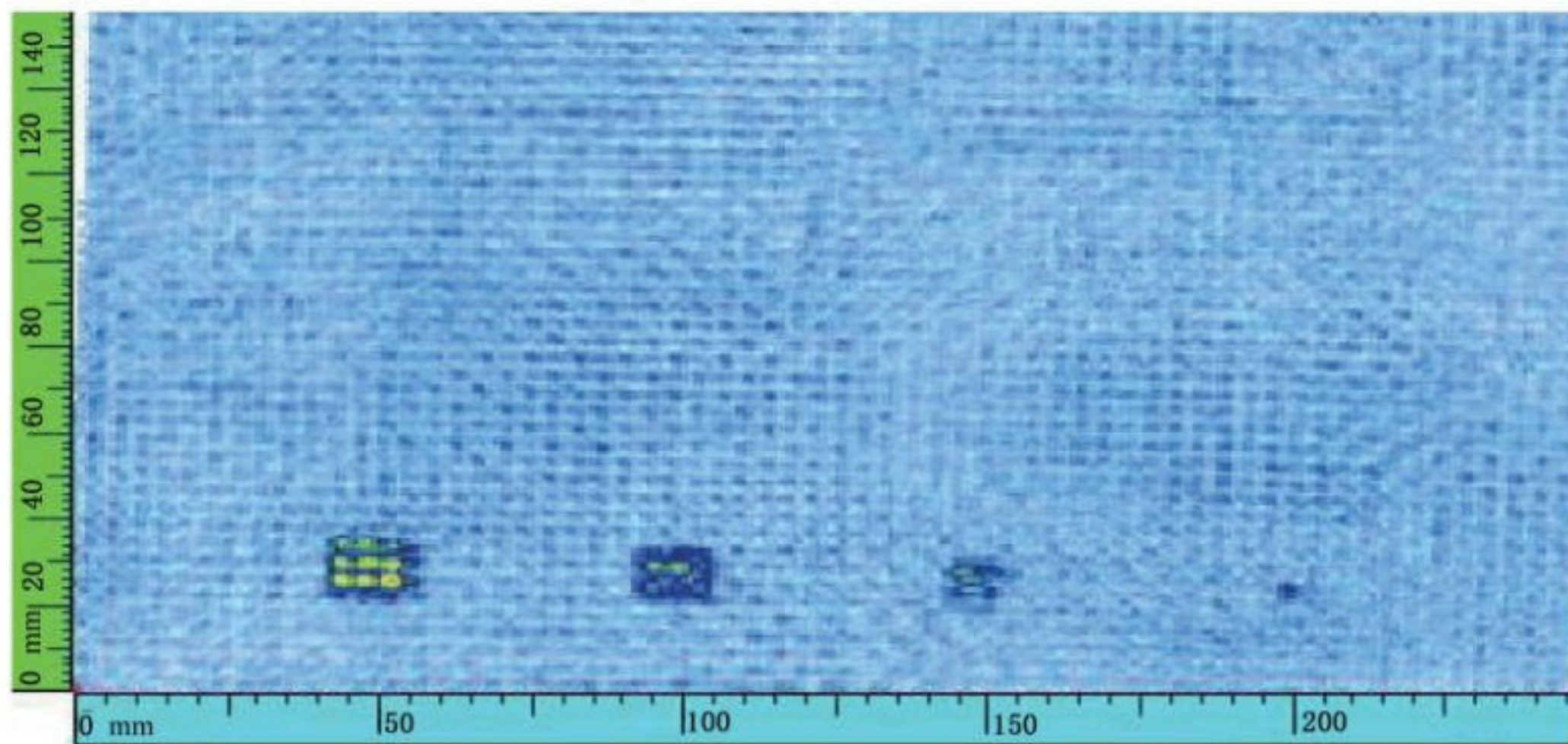


图 E.2 玻璃纤维增强树脂基复合材料分层缺陷超声 C 扫描图