

ICS 25.160.20
CCS J 33



团 体 标 准

T/CWAN 0033—2021

铝合金搅拌摩擦焊体积型缺陷相控阵超声 检测规范

Specification for phased array ultrasonic testing of volumetric defects in friction stir
welding of aluminum alloys

2021-11-08 发布

2021-12-01 实施

中国焊接协会发布

目 次

前 言.....	II
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	1
4 一般要求.....	2
5 检测要求.....	3
附录 A（规范性）PA 对比试块.....	6
附录 B（规范性）铝合金搅拌摩擦焊接头检测结果分级.....	7

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国焊接协会提出并归口。

本文件起草单位：昆山哈工万洲焊接研究院有限公司、上海汽车集团股份有限公司乘用车分公司、哈尔滨工业大学、敏实汽车技术研发有限公司、诺力智能装备股份有限公司、上海凌云工业科技有限公司、昆山六丰机械工业有限公司、四川航天长征装备制造有限公司、北京宇航系统工程研究所、中车长春轨道客车股份有限公司、宁德时代新能源科技股份有限公司、广汽埃安新能源汽车有限公司、河北京车轨道交通车辆装备有限公司、中国电子科技集团公司第十四研究所。

本文件主要起草人：万龙、树西、姜喜栋、吕宗亮、刘自刚、黄体方、刘鑫、李小林、倪雷、樊良伟、黄永宪、孟祥晨、梁军强、迟珉良、韩振宇、朱栋、范纲衔、陈勇、王非凡、张欣盟、赵北明、徐义、李充、冯展鹰、王涛。

铝合金搅拌摩擦焊体积型缺陷相控阵超声检测规范

1 范围

本文件规定了采用相控阵超声检测技术（Phased-array ultrasonic testing, PAUT）检测铝合金搅拌摩擦焊接头体积型缺陷的检测要求及检测结果分级。

本文件适用于厚度为1.5 mm~10 mm的铝合金搅拌摩擦焊接头的检测与评定。其它接头形式、其它厚度的接头检测与评定可参照执行。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；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 3375 焊接术语

GB/T 12604.1—2005 无损检测术语超声检测

GB/T 32563—2016 相控阵超声检测方法

QJ 20043-2011 铝合金中厚板搅拌摩擦焊技术要求

QJ 20045-2011 铝合金搅拌摩擦焊超声相控阵检测方法

NB/T 47013.1 承压设备无损检测 第1部分：通用要求

NB/T 47013.15 承压设备无损检测 第15部分：相控阵超声检测

T/CWAN 0010—2018 焊接术语-焊接检验-

3 术语和定义

GB/T 3375、GB/T 32563-2016、QJ 20043-2011、QJ20045-2011 和 T/CWAN 0010—2018 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

表面犁沟 surface furrow

内部孔洞型缺陷延伸到搅拌摩擦焊缝正面形成的犁沟状焊接缺陷。

3.2

孔洞型缺陷 voids

搅拌摩擦焊缝内部沿焊接方向形成的虫状、隧道状等孔洞缺陷；从焊缝横断面看，一般呈不规则形状，有的带尖角或带缝隙。

3.3

未焊透 incomplete penetration

在焊缝根部存留有未连接的对接缝，并且对接缝实际连接的深度小于名义上要求的连接深度。

3.4

匙孔 keyhole

搅拌针抽出后未得到母材金属的填充而在焊缝尾端形成的孔洞。

3.5

线性扫描（线扫描） linear scanning

相控阵（PA）探头各组元声束接替进行直线性的扫描，其扫描角度与焦距均保持恒定。

3.6

扇形扫描（扇扫描） sectorial scanning

相控阵探头组元声束按一定步进角度连续进行扇状的扫描。

4 一般要求

4.1 检测人员

检测人员应按 GB/T 32563—2016 的规定取得相应资格证书，并应获得雇主对从事相控阵超声检测资格的认可。

检测人员应熟悉相控阵超声检测原理，能熟练操作相控阵超声检测设备。

检测人员应了解受检件情况，了解搅拌摩擦焊工艺知识，掌握搅拌摩擦焊工艺缺陷特点。

4.2 相控阵超声检测设备

相控阵超声检测设备的配置与性能应能满足检测要求，参考 QJ 20045-2011，至少应具有下列功能：

- a) 仪器支持探头阵元系列不少于 64 个；
- b) 线性扫描及扇形扫描；
- c) 扇形扫描与线性扫描角度范围为 30°~70°；
- d) A 型显示、B 型显示与 C 型显示。

4.3 相控阵探头

相控阵探头应能满足检测要求，参考 QJ 20045-2011，至少应具有下列功能：

- a) 线阵列；
- b) 楔块角度范围在 0°~60°；
- c) 频率不低于 5 MHz；
- d) 晶片阵元数不少于 32 个；
- e) 孔径不低于 8 个晶片阵元。

相控阵探头应配有厂家鉴定证明，并应给出下述参数：

- a) 探头类型；
- b) 工作频率；
- c) 楔块角度；
- d) 第一晶片距楔块前端的距离；
- e) 晶片尺寸及间距；
- f) 晶片数量。

仪器探头的组合性能要求参考 NB/T 47013.15 标准。

4.4 PA 对比试块

对于厚度为 1.5 mm~10 mm 的搅拌摩擦焊接头的检测，检测用的 PA 对比试块见附录 A。

4.5 耦合剂

耦合剂包括接触法耦合剂与液浸法耦合剂。

接触法耦合剂应选用能保证良好声耦合，同时对探头及受检件无损伤且便于清理的介质。常用的接触法耦合剂有水、油类、脂类、水溶性凝胶等。

液浸法（包括局部喷液耦合）耦合剂应选用去离子水或者纯净水作耦合剂。

4.6 场地

检测场地不应有影响检测的强磁、强震动、高噪声等。

工作现场应避开明亮的光线。

4.7 电源

在信号幅度调整到显示屏满刻度 50%的情况下，电源电压波动引起的信号幅度变化应不超过满刻度 $\pm 2.5\%$ ，否则应使用稳压器。

5 检测要求

5.1 受检件

受检件接头表面应去除毛刺、油垢、飞边、表面起皮等。

受检件探头扫查移动区，除接头正面因焊接自然形成的表面下凹外，不应存在影响检测的凸起或下凹。一般情况，受检件探头扫查移动区的表面粗糙度应不大于 $6.3\mu\text{m}$ ，接头根部表面粗糙度应不大于 $3.2\mu\text{m}$ ，且不存在可见的沟槽。

一般情况，受检件接头经表面检验合格后，方可进行相控阵超声检测。

5.2 检测方式

推荐接头正面单侧横向检测或者接头背面单侧横向检测，如有必要，可采用接头正面双侧横向检测或者接头背面双侧横向检测进行精细检测。

检测前应首先在受检件接头确定检测基准线，并确定检测方向。

楔块中心应位于焊缝宽度内部，以声束覆盖整个的检测区域为原则，一般情况下与焊缝中心重合。

检测前应采用探头扫查 PA 对比试块，将深度不小于被检测焊缝深度的横孔扫查出来。扫查对比试块的工况应与实际检测工况一致，包括耦合剂、楔块与受检件之间距离等。

5.3 扫描设置

推荐使用一次波检测。

相控阵探头孔径推荐使用 16 个晶片阵元，步进推荐使用 1 个晶片阵元，扫查角度推荐使用 $40^\circ\sim 50^\circ$ 。

检测工艺验证时，推荐使用线性扫描和扇形扫描结合验证。

检测产品时可仅使用线性扫描。

扫描显示推荐采用横截面视图显示。

聚焦深度依据产品要求进行设置，一般推荐使用的聚焦深度为 $(\delta-1)\text{mm}$ ，其中 δ 为焊缝深度。

5.4 灵敏度调节

5.4.1 基准灵敏度

选取 PA 对比试块上埋深与检测深度和直径相同或接近的横孔作为基准孔。通过调节探头，找到基准孔的反射波峰值。再通过调节“增益”，将该反射波高调至显示屏某一刻度（如满刻度的 80%），以此时的灵敏度作为基准灵敏度，以此时的波高作为基准波高。

调节基准灵敏度时，楔块与 PA 对比试块表面距离与角度与实际检测时楔块与焊缝表面距离与角度应相同。

5.4.2 检测灵敏度

检测时，应视检测需要在基准灵敏度基础上增加 $(1\sim 5)\text{dB}$ ，即为检测灵敏度。但须注意噪声应不影响检测。

调节检测灵敏度时，楔块与 PA 对比试块表面距离与角度与实际检测时楔块与焊缝表面距离与角度应相同。

5.5 校准和检查

每隔 12 个月至少对相控阵超声仪器和探头组合进行一次校准并记录。

每隔 6 个月至少对相控阵超声仪器和探头组合性能中的组合频率、扇扫角度范围以及扇扫角度分辨力进行一次运行核查并记录。

每隔 1 个月至少对阵元有效性进行一次核查，在相控阵探头中允许存在失效阵元，但失效阵元数量不应超过相控阵探头阵元总数的 1/4，且不应出现相邻阵元连续失效。

每次检测前应检查仪器设备器材外观、线缆连接和开机信号显示等情况是否正常。

校准和检查应符合 NB/T 47013.15 要求。

5.6 检测作业

5.6.1 初检

采用局部水耦合或水浸耦合检测。

实际检测时，楔块与焊缝表面距离与角度与灵敏度调节时楔块与 PA 对比试块表面距离与角度应相同。实际检测采用的耦合剂应与检测系统设置和校准时的耦合剂相同。

按检测规程（检测工艺卡）调整检测仪器、设置检测参数进行检测。

采用线性扫描方式。

5.6.2 复检

根据初检结果，对发现的缺陷部位通过更加细致的复检确定缺陷的具体数据。推荐采用扇形扫描与线性扫描。

如果从接头两侧均能检测到同一缺陷，其缺陷数据（当量、尺寸等）以反射波峰值大的一侧检测为准。

缺陷判定应注意排除非缺陷信号干扰。

5.6.3 缺陷当量

在缺陷深度（声程）确定后，将缺陷检测与 PA 对比试块同深度（声程）的横孔检测相比较，来确定缺陷当量。

如对比试块上没有与缺陷深度相同的横孔，可选择与缺陷深度最接近的横孔进行比较。

5.6.4 缺陷测定

复检时，通过仔细扫查精确确定缺陷位置。

在接头延伸方向上的相邻两缺陷（不一定在一直线上），其间距小于较小缺陷长度时，应作为一条缺陷处理，以两缺陷长度之和（不含间距）作为缺陷指示长度。

5.7 检测分级

检测结果分级应综合考虑下列因素：

- a) 产品结构情况；
- b) 产品可靠性要求；
- c) 产品检测要求；
- d) 相控阵超声检测结果（缺陷当量、缺陷指示长度等）；
- e) 其它因素。

铝合金搅拌摩擦焊接头的检测，其检测结果分级见附录 B。

5.8 检测报告

针对每个产品都应有对应的检测报告。

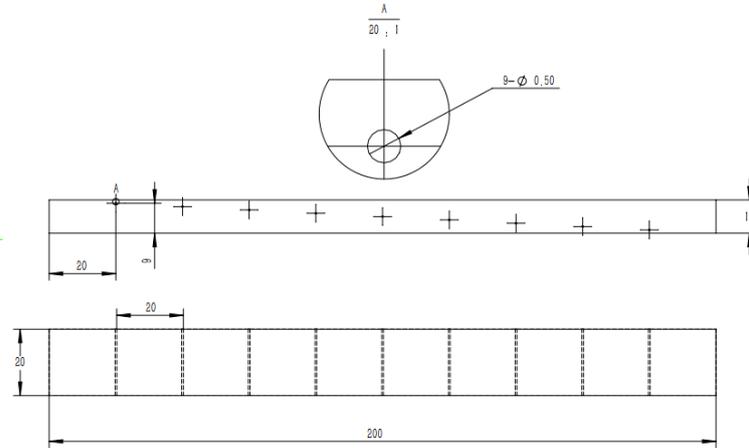
检测报告一般应包括：

- a) 报告编号；
- b) 送检单位；
- c) 受检件名称、图号、编号；
- d) 检测标准；

- e) 使用的设备系统（相控阵超声设备型号、探头型号、试块型号）；
- f) 操作者资质；
- g) 验收等级；
- h) 缺陷情况；
- i) 评定结果；
- j) 报告人、审核人等签署；
- k) 报告日期。

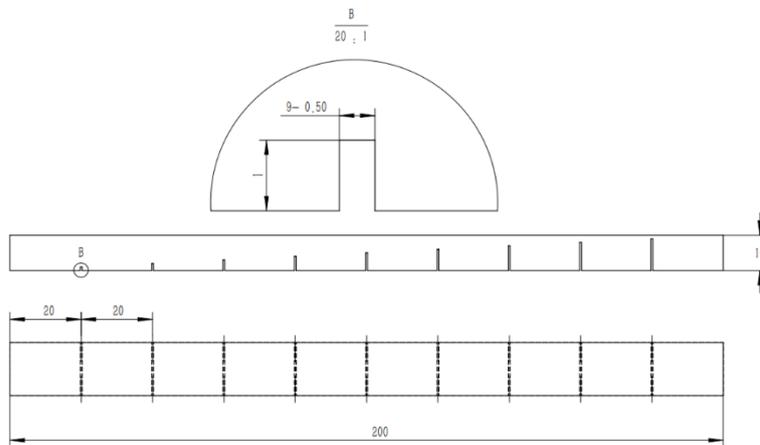
附录 A
(规范性)
PA 对比试块

A.1 采用与受检件相同的材料、相同的搅拌摩擦焊工艺焊接对比试块。具体情况见图 A.1 和图 A.2。



- a 9 个横孔尺寸相同，均为 $\Phi 0.5$ mm，尺寸公差 ± 0.05 mm。
- b 每个横孔在厚度方向上的高度差为 1 mm，尺寸公差 ± 0.05 mm。
- c 表面粗糙度不大于 $3.2 \mu\text{m}$ 。

图 A.1 PA 对比试块 1 (横孔型缺陷)



- a 9 个通槽宽度尺寸相同，均为 0.5 mm，尺寸公差 ± 0.05 mm。
- b 每个通槽深度在厚度方向上的高度差为 1 mm，尺寸公差 ± 0.05 mm。
- c 表面粗糙度不大于 $3.2 \mu\text{m}$ 。

图 A.2 PA 对比试块 2 (通槽型缺陷)

A.2 根据检测具体情况，对比试块可以做相应的变化，人工反射体的形式与数量及位置亦可做相应的增减与变化。

附 录 B
(规范性)
铝合金搅拌摩擦焊接头检测结果分级

铝合金搅拌摩擦焊接头相控阵超声检测，视缺陷当量、缺陷指示长度的不同，将检测结果分为 A、B、C 三个级别，其中 A 级为最高级，C 级为最低级。具体分级见表 B.1。

表 B.1 铝合金搅拌摩擦焊接头相控阵超声检测结果分级

焊缝深度 δ mm	评定级别	缺陷情况	
		缺陷幅度 D_i	缺陷指示长度 E mm
$1.5 \leq \delta < 3$	A	$D_i < V0.5 \text{ mm} - 4 \text{ dB}$	$E \leq 3$
	B	$D_i < V0.5 \text{ mm} - 2 \text{ dB}$	$E \leq 4$
$3 \leq \delta < 7$	A	$D_i < V0.5 \text{ mm} - 2 \text{ dB}$	$E \leq 4$
	B	$D_i < V0.5 \text{ mm} - 1 \text{ dB}$	$E \leq 5$
$7 \leq \delta < 10$	A	$D_i < V0.5 \text{ mm} - 2 \text{ dB}$	$E \leq 5$
	B	$D_i < V0.5 \text{ mm} - 1 \text{ dB}$	$E \leq 6$
$1.5 < \delta \leq 10$	C	超过B级	
注：V0.5 mm-X dB表示缺陷当量比V0.5 mm尺寸横孔/通槽基准灵敏度低X dB，即为该级别评定灵敏度。			