

中华人民共和国有色金属行业标准

YS/T××××-××××

铜-钢复合金属复合质量及
各向异性的检测 冲杯试验方法

Detection of composite quality and anisotropy
of copper-steel composite metal
— test method for stretching cup

(送审稿)

20××-××-××发布

20××-××-××实施

中华人民共和国工业和信息化部 发布

前 言

本文件按照 GB/T1.1-2020《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。

本文件由全国有色金属标准化技术委员会（SAC/TC243）提出并归口。

本文件起草单位：浙江松发特种新材料有限公司、中铝材料应用研究院有限公司、安徽国家铜铅锌及制品质量监督检验中心，浙江红旗机械有限公司、云南模二机械有限责任公司。

本文件起草人：

铜-钢复合金属复合质量及各向异性的检测 冲杯试验方法

1 范围

本文件描述了铜-钢复合金属冲杯试验检测方法的原理、试验条件、试验设备、试样、试验步骤、冲杯后复合质量的判定、各向异性的计算方法和试验报告。

本文件适用于厚度为0.15mm~3.6mm铜-钢复合板带（以下简称复合板带）的冲杯试验。其他金属复合板带可参照本文件。

2 规范性引用文件

下列文件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，标注日期的引用文件，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 5125 有色金属冲杯试验方法

GB/T 8170 数值修约规则与极限数值的表示和判定

GB/T 36162 铜-钢复合薄板和带材

JJG 583 杯突试验机

3 术语和定义

GB/T 5125 界定的及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

覆层金属裂纹 cladding metal crack

软态退火的复合金属进行冲杯试验后，试样形成的冲杯体外部形貌及冲杯体壁过渡圆弧区域，表面覆层金属与基体金属剥离而产生的裂纹、脱层、爆皮等缺陷，且缺陷处的基层金属完整无裂纹（见图1）。



a) 过渡圆弧区域表面裂纹



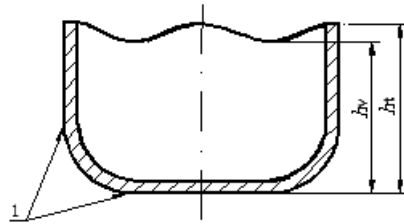
b) 过渡圆弧区域表面脱层爆皮

图1 冲杯试验覆层金属裂纹试样

4 方法原理

将复合板带上取圆片试样，用圆柱形冲头将试样夹紧压入规定的冲模中形成圆柱形杯体，取出

冲杯体并观测冲杯体外部形貌及冲杯体壁过渡圆弧区域形貌（冲杯体剖面示意图见图 2），测量杯体上缘的峰高和谷高计算各向异性。



说明：

1——冲杯壁过渡圆弧；

h_t ——峰高（冲杯体峰顶到冲杯底外表面的垂直距离）；

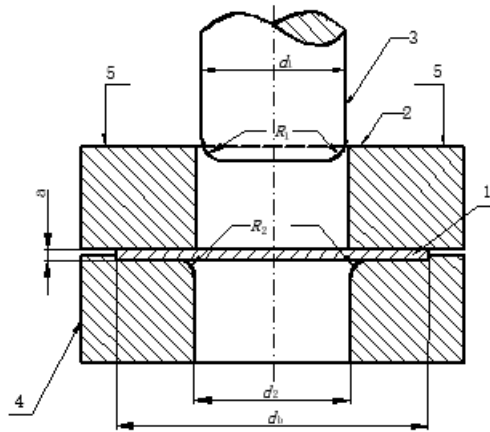
h_v ——谷高（冲杯体谷底到冲杯底外表面的垂直距离）。

图 2 冲杯体剖面示意图

5 试验设备及测量工具

5.1 试验设备

5.1.1 试验装置总布置示意图见图 3。冲头应能够沿着冲模、压边模和试验的中心线轴向移动。且在不损害冲杯上缘的情况下顺利取出冲压成形杯体。



说明：

1——试样；

2——压边模；

3——冲头；

4——冲模；

5——压边力；

a ——试样厚度；

d_0 ——圆片试样直径；

d_1 ——冲头直径；

d_2 ——冲模内径；

R_1 ——冲头圆角半径；

R_2 ——冲模圆角半径。

图 3 冲杯试验装置示意图

- 5.1.2 试验设备应具备可调整的压边力和冲压速度。
- 5.1.3 试验设备应具备定位装置确保试样圆片中心和试验设备同轴心。
- 5.1.4 试验可在专用的杯突试验机上配以冲模工具进行。
- 5.1.5 杯突试验机按照 JJG 583 的规定进行检定。

5.2 试验工具

5.2.1 试验装置如图 3 所示，其中冲头及冲模应满足下列基本要求：

- 冲头及冲模表面应抛光，表面粗糙度参数 Ra 不大于 $1.6 \mu\text{m}$ ；
- 冲头及冲模应选用优质合金钢，硬度满足 HRC (58~60)；
- 冲头及冲模圆角半径过渡应缓和、光滑；
- 除非产品标准或双方协议中另有规定，冲头及冲模的尺寸组合应按表 1 的规定选择。
- 冲头直径及圆角半径偏差、冲模直径及圆角半径偏差应符合表 2 的规定。

表 1 冲头与冲模的尺寸组合

单位为毫米

试样厚度 a	冲头尺寸		冲模尺寸	
	d_1	R_1	d_2	R_2
0.15~0.17	32	2.5	32.43	2.5
>0.17~0.20		2.5	32.50	2.5
>0.20~0.24		2.5	32.60	2.5
>0.24~0.29		2.5	32.75	2.5
>0.29~0.35		2.5	32.90	3.0
>0.35~0.40		2.5	33.05	3.0
>0.40~0.45		2.5	33.20	4.0
>0.45~0.5		2.5	33.35	4.0
>0.5~0.6		4.0	33.50	5.0
>0.6~0.7		4.0	33.80	5.0
>0.7~0.8		4.0	34.10	6.0
>0.8~1.0		6.0	34.50	6.0
>1.0~1.2		6.0	35.00	7.0
>1.2~1.4		6.0	35.60	7.0
>1.4~1.7		8.0	36.30	8.0
>1.7~2.0		8.0	37.00	8.0
>2.0~2.5		9.0	38.50	9.0
>2.5~3.6		9.0	34.50	9.0

注：表中的模具间隙为 $(1.25 \sim 1.62)a$ ，若需要其他模具间隙时，可按有关技术条件或需双方协议规定执行。

表 2 冲头及冲模直径偏差和圆角半径

单位为毫米

冲头直径偏差	冲模直径偏差	冲头或冲模圆角半径偏差
0 -0.05	+0.05 0	± 0.05

5.3 测量工具

应选用精度为±0.02mm 的测量工具进行冲杯前和冲杯后试样的尺寸测量。

6 试验条件

- 6.1 冲杯试验应在室温 10℃~35℃ 的温度范围内进行。
- 6.2 试验设备应能提供 1kN~15kN 可调的压边力和 1mm/min~25mm/min 可调的冲压速度。
- 6.3 冲头及冲模的安装应保持两者同轴心。
- 6.4 冲模应满足试样放入冲模中后两者同轴心。
- 6.5 试验润滑：机油或工业用凡士林等。

7 试样

- 7.1 试样的状态应符合 GB/T 36162 中 O60、O61 的规定。
- 7.2 试样尺寸及其允许偏差应符合表 3 的规定。

表 3 试样直径及允许偏差

单位为毫米

试样直径	直径偏差
52	0 -0.15
55	
60	

- 7.3 试样数量：各向异性率测试大于等于 3 块，制样前应明确标识出复合金属的轧制方向；复合质量测试大于等于 6 块，制样前应明确标识出复合金属的正反两个面。
- 7.4 试样可采用冲制、机加或线切割的方式制成圆片。截面应无毛刺，表面应光滑、清洁，覆层应完整，无挫伤、划伤、擦伤、露钢、气泡等缺陷。
- 7.5 试样不允许敲打或冷、热加工。

8 试验步骤

- 8.1 试样的厚度测量应精确至 0.01mm，按照表 1 选择合适的冲头及冲模。
- 8.2 标记试样相对于复合金属薄板（带）的轧制方向方位。
- 8.3 在试样两面均匀涂抹少量润滑剂。
- 8.4 将试样放入冲模中，并保持试样与冲头和冲模同轴心。
- 8.5 调整压紧装置，对试样施加适当压边力，使试样拉延时不出现失稳而起皱褶或破裂。
- 8.6 冲杯试验用试样直径、压边力及冲压速率组合，可按表 4 的要求进行。
- 8.7 让冲头慢慢接触试样，以可控制的均匀速度移动冲头或冲模直至冲制成杯体，杯体底部平整及杯身圆柱周向无凸缘，且冲杯壁的过渡弧光滑。
- 8.8 取出冲杯体，标记冲杯体峰高相对与复合金属的轧制方向方位。
- 8.9 冲杯体高度尺寸测量：将冲杯体径向和底部平面进行固定，同时可自由轴向转动冲杯体而保证冲杯体底部平面倾斜度为 0，确保测量高度的准确性，转动冲杯体一周，测量冲杯体的每一个峰高 h_f 和谷高 h_v ，精确到 0.01mm。
- 8.10 复合质量冲杯试验，正反两面各做三次，并保证每一面有两次冲杯体符合要求。

8.11 出现以下情形之一时，试验结果无效，应重新做相同数量的试验：

- a) 冲压的杯身圆柱出现不同轴心，或冲杯体峰高呈现整体偏一个方向上倾斜；
- b) 有不规则变形、皱褶；
- c) 除覆层裂纹以外的其他缺陷情况。

表 4 试样直径、压边力及冲压速率组合

厚度 mm	试样直径 mm	压边力 kN	冲压速率 mm/min
<0.2	52	1	15
0.20~≤1.07	52	2	15
1.07~≤1.1	55	5	15
1.1~≤2.0	55	5	20
2.0~≤3.6	55	5	25

注：试验厚度不大于 3.1mm 时，若需方有要求，可协商选择圆片直径 60mm、压边力及冲压速率组合。

9 试验结果

9.1 复合质量

9.1.1 肉眼或放大镜仔细观察冲杯壁底部过渡区域形貌，检查过渡圆弧区域表面覆层金属的完好状况。

9.1.2 冲杯体外部形貌覆层裂纹级别判定按表 5 进行，裂纹特征示意图见附录 A。

表 5 冲杯体外部形貌覆层裂纹级别

裂纹级别	0 级	1 级	2 级	3 级
过渡圆弧和底部覆层特征	无裂纹	局部微裂纹	多处裂纹或局部爆裂	环状裂纹或环状爆裂

9.2 结果计算

9.2.1 峰高平均值

峰高平均值用 \bar{h}_t 表示，按公式 (1) 计算。

$$\bar{h}_t = \frac{\bar{h}_{t1} + \bar{h}_{t2} + \bar{h}_{t3} + \dots}{N_t} \dots \dots \dots (1)$$

式中：

\bar{h}_t ——峰高 h_t 的平均值，单位为毫米；

N_t ——冲杯体峰高数量；

$\bar{h}_{t1} + \bar{h}_{t2} + \bar{h}_{t3} + \dots$ ——峰高 1+峰高 2+峰高 3+……，单位为毫米。

9.2.2 谷高平均值

谷高平均值用 \bar{h}_v 表示，按公式 (2) 计算。

$$\bar{h}_v = \frac{\bar{h}_{v1} + \bar{h}_{v2} + \bar{h}_{v3} + \dots}{N_v} \dots \dots \dots (2)$$

式中：

\bar{h}_v ——谷高 h_v 的平均值，单位为毫米；

N_v ——冲杯体谷高数量;

$\bar{h}_{v1} + \bar{h}_{v2} + \bar{h}_{v3}$ ——谷高 1+谷高 2+谷高 3+……, 单位为毫米

9.2.3 制耳平均值

制耳平均值用 \bar{h}_e 表示, 按公式 (3) 计算。

$$\bar{h}_e = \bar{h}_t - \bar{h}_v \dots\dots\dots (3)$$

式中:

\bar{h}_e ——制耳平均值, 单位为毫米;

\bar{h}_t ——谷高 h_t 的平均值, 单位为毫米;

\bar{h}_v ——谷高 h_v 的平均值, 单位为毫米。

9.2.4 最大制耳值

最大制耳值用 $\bar{h}_{e,max}$ 表示, 按公式 (4) 计算。

$$\bar{h}_{e,max} = \bar{h}_{t,max} - \bar{h}_{v,min} \dots\dots\dots (4)$$

式中:

$\bar{h}_{e,max}$ ——最大制耳高度, 单位为毫米;

$\bar{h}_{t,max}$ ——峰高 h_t 的最大值, 单位为毫米;

$\bar{h}_{v,min}$ ——谷高 h_v 的最小值, 单位为毫米。

9.2.5 各向异性率

各向异性率用 Z 表示, 按公式 (5) 计算。

$$Z = \frac{\bar{h}_e}{\bar{h}_v} \times 100\% \dots\dots\dots (5)$$

式中:

Z ——各向异性率, %

\bar{h}_e ——平均制耳高度, 单位为毫米;

\bar{h}_v ——谷高 h_v 的平均值, 单位为毫米。

9.2.6 轧制方向各向异性率

轧制方向各向异性率用 Z_0 表示, 按公式 (6) 计算。

$$Z_0 = \frac{h_{0t,max} - \bar{h}_v}{\bar{h}_v} \times 100\% \dots\dots\dots (6)$$

式中:

Z_0 —— 0° 轧制方向各向异性率, %

$\bar{h}_{0t,max}$ —— 0° 轧制方向峰高 h_t 的最大值, 单位为毫米;

\bar{h}_v ——谷高 h_v 的平均值, 单位为毫米。

9.2.7 90° 轧制方向各向异性率

90° 轧制方向各向异性率用 Z_{90} 表示, 按公式 (7) 计算。

$$Z_{90} = \frac{h_{90t,max} - \bar{h}_v}{\bar{h}_v} \times 100\% \dots\dots\dots (7)$$

式中:

$Z_{90,\max}$ ——90° 轧制方向各向异性率，%

$\bar{h}_{90,\max}$ ——90° 轧制方向峰高 h_f 的最大值，单位为毫米；

\bar{h}_v ——谷高 h_v 的平均值，单位为毫米。

如未产品标准中规定，各向异性率按 GB/T 8170 的规定修约到 0.1%。

10 试验报告

试验报告应包括如下信息：

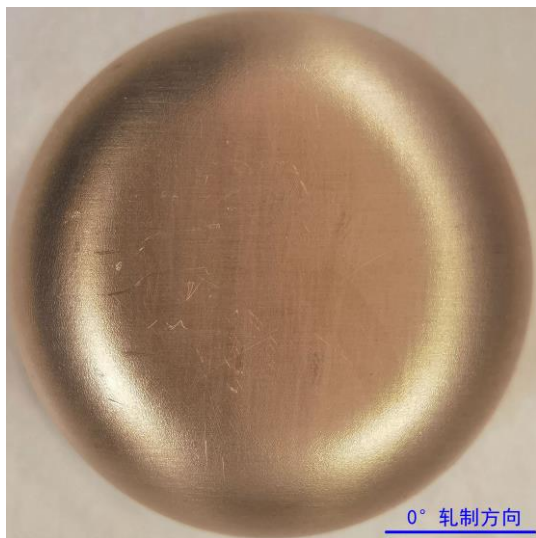
- a) 试样名称、牌号、状态、规格；
- b) 试样的委托单位；
- c) 试样的详细资料说明；
- d) 本文件编号；
- e) 实测试样的厚度和圆片直径；
- f) 压边力和冲压速率；
- g) 复合质量判定；
- h) 根据9.2节得到的试验结果（由产品标准或双方协商决定）；
- i) 如有要求，可选以下选项检测项目：
 - 峰高数量及其方位；
 - 最大峰高和谷高、最小峰高和谷高；
 - 冲杯体形貌；
 - 冲模和冲头参数；
 - 所使用润滑剂的类型；
 - 本文件未规定的操作或可能影响试验结果的任何情况。
- j) 试验者和审核者签名、检测部门盖章，试验日期。

(规范性)

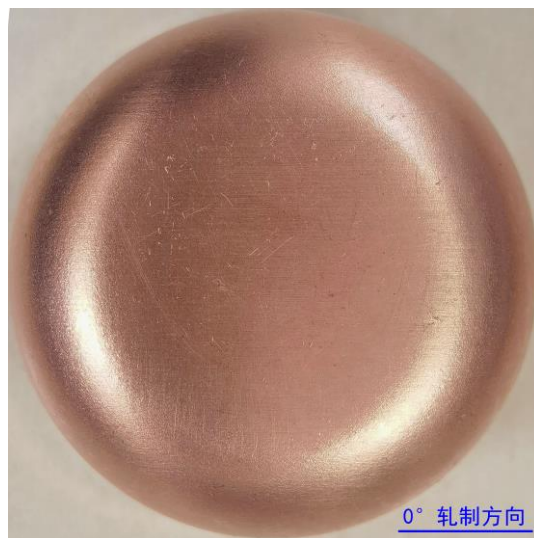
复合金属冲杯试验试样表面覆层金属裂纹级别图

A.1 覆层金属裂纹0级图

冲杯试验试样覆层金属裂纹0级见图A.1 a) ~图A.1 b)。



a) H90 覆层过渡圆弧区域表面无裂纹



b) T2 覆层过渡圆弧区域表面无裂纹

图A.1 冲杯试验后冲杯体表面底部圆弧区域无裂纹形貌 裂纹0级

A.2 覆层金属裂纹1级图

冲杯试验试样覆层金属裂纹1级见图A.2 a) ~图A.2 b)。



a) 过渡圆弧区域表面局部微裂纹



b) 过渡圆弧区域表面微裂纹

图A.2 冲杯试验后冲杯体表面底部圆弧区域裂纹形貌 裂纹1级

A.3 覆层金属裂纹2级图

冲杯试验试样覆层金属裂纹 2 级见图 A.3 a) ~图 A.3 b)。



a) 过渡圆弧区域表面裂纹

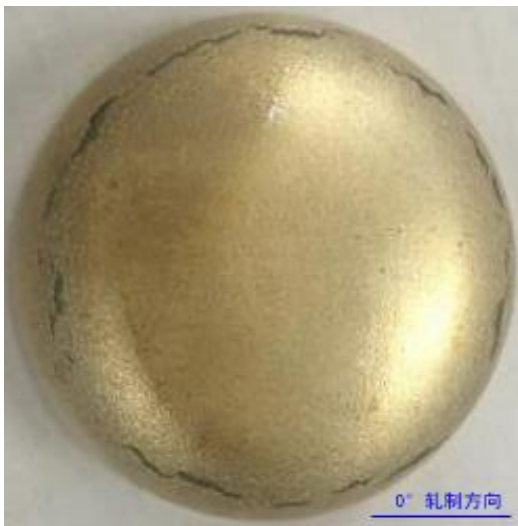


b) 过渡圆弧区域表面局部爆裂纹

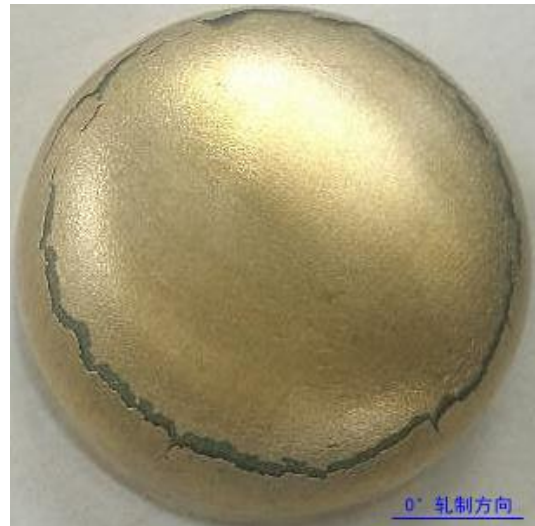
图A.3 冲杯试验后冲杯体表面底部圆弧区域裂纹形貌 裂纹2级

A.4 覆层金属裂纹3级图

冲杯试验试样覆层金属裂纹 3 级见图 A.4 a) ~图 A.4 b)。



a) A 面冲杯后圆角过渡圆弧区域环状裂纹



b) B 面冲杯后圆角过渡圆弧区域环状爆裂纹

图A.4 冲杯试验后冲杯体表面底部圆弧区域环状裂纹形貌 裂纹3级