

中华人民共和国有色金属行业标准

YS/T 970—XXXX

代替 YS/T 970-2014

镍钛形状记忆合金相变温度测定方法

Phase change transformation measuring method for nickel-titanium
shape memory alloys

(送审稿)

202×-××-××发布

202×-××-××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/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》的规则起草。

本文件替代 YS/T 970-2014《镍钛形状记忆合金相变温度测定方法》，本文件与 YS/T 970-2014 相比，除编辑性修改外主要技术变化如下：

- a)增加了 A_{f-95} 、 A_{f-100} 术语定义，删除其他术语定义（见第 3 章）
- b)增加了 95%变形回复法测定 A_f 方法与原理（见第 4 章）
- c)增加了视觉测试系统，精简仪器设备表述（见第 5 章）
- d)增加了 A_{f-95} 转变温度判定方法（见第 8 章）
- e)增加了回复百分率法图例（见第 8 章）
- f)修改了图 5、图 6 中位移-温度曲线（见第 8 章，2014 年版第 7 章）

本文件由全国有色金属标准化技术委员会（SAC/TC243）归口。

本文件起草单位：有研亿金新材料有限公司、有研工程技术研究院有限公司、有研医疗器械（北京）有限公司、北京时代瀚连科技有限公司、有研亿金新材料（山东）有限公司、西安思维智能材料有限公司、中国有色金属工业标准质量计量研究所、苏州国嘉记忆合金有限公司

本文件主要起草人：冯昭伟、刘书芹、滕海涛、李艳锋、王振强、高宝东、白智辉、何金江、王江波、缪卫东、袁志山、张宝祥、宋晓云、李富强、韩步云。

本文件所代替的历次版本发布情况为：

- YS/T 970-2014

镍钛形状记忆合金相变温度测定方法

1 范围

本文件规定了镍钛形状记忆合金相变温度测定方法—弯曲和自由回复法。
本文件适用于通过测量热相变过程的回复变形量测定马氏体逆相变相变温度。

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 6379(所有部分) 测量方法与结果的准确度(正确度与精密度)

YS/T 1064 镍钛形状记忆合金术语

3 术语和定义

YS/T 1064界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

95%变形回复法马氏体逆相变结束温度 austenite finish temperature measured by bend and free recovery using the 95 percent recoverable deformation methodology

A_{f-95}

使用弯曲和自由恢复的95%变形回复法测量的丝材、管材、带材或器件的马氏体逆相变结束温度。

3.2

切线法马氏体逆相变结束温度 austenite finish temperature measured by bend and free recovery using the tangent methodology

A_{f-tan}

使用弯曲和自由恢复的切线方法测量的丝材、管材、带材或器件的马氏体逆相变结束温度。

4 原理

将样品冷却至完全马氏体相状态，用芯轴对样品进行弯曲变形，加热样品至完全奥氏体相状态。在加热过程中，样品发生马氏体逆相变，形状回复，测量和绘制样品运动与温度变化曲线。若发生两步相变，用切线法确定相变过程 R'_2 、 R'_1 和 A_2 、 A_1 。若发生一步相变，用切线法确定 A_2 和 A_1 。对于一步或两步相变，也可以使用弯曲和自由恢复的95%变形回复法测量 A_f 。

5 仪器设备

5.1 测量仪器设备可以选用LVDT系统、RVDT系统、视觉系统或可检测样品位移的等效仪器。

5.1.1 LVDT系统，测量精度优于0.05mm，测试装置示意图见图1。

5.1.2 RVDT系统，测量精度优于0.05°，测试装置示意图见图2。

5.1.3 视觉测试系统，包括数据采集模块、数据处理模块（摄像机、温度计、光源）等装置。

5.2 热电偶和温度指示器，分辨率优于0.1℃。

5.3 XY图线记录仪，或者等效手动或自动数据采集系统。

5.4 加热板和搅拌器。

5.5 导热液体，包括工业酒精、乙二醇或水等。

- 5.6 液氮或干冰。
- 5.7 芯轴，用于对处于马氏体状态的样品进行变形。
- 5.8 夹具，用于在回复变形过程中固定样品。

6 样品

- 6.1 样品为丝材、管材或带材，直径或厚度应为 0.3mm~3.0mm。若采用视觉系统（不与样品接触）进行测试时，样品的直径或厚度可以小于 0.3mm。
- 6.2 样品为冷加工热处理态、热加工热处理态或者完全退火态。
- 6.3 样品长度应保证可绕芯轴弯曲 90° 到 180°。

7 试验步骤

7.1 冷却

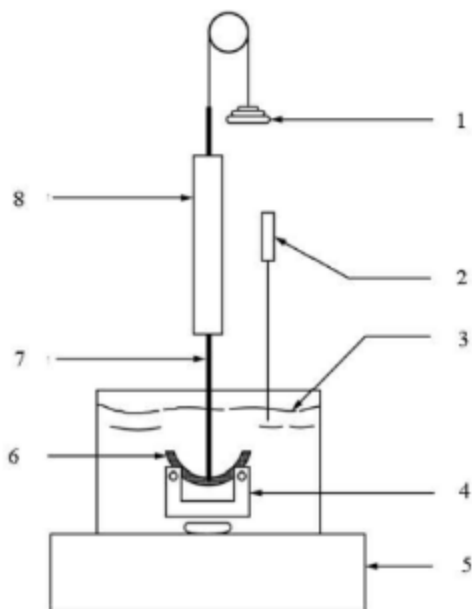
- 7.1.1 对于室温超弹性合金，使用液氮、干冰或其他方法使导热液体冷却至温度不高于-55℃。对于室温马氏体合金，冷却导热液体至温度不高于10℃。
- 7.1.2 把回复夹具、芯轴和样品一起放到导热液体里，保温时间不小于3min。

7.2 弯曲

- 7.2.1 在导热液体里使用芯轴将样品弯曲变形，贴在芯轴上绕制90° 到180°，样品外侧应变量为2.0~2.5%。
- 7.2.2 将样品放在回复夹具上固定，保证加热过程中样品自由回复，测试过程夹具和导热液体温度保持一致。

7.3 测量

- 7.3.1 使用LVDT系统测量时，降低LVDT的铁芯使其落到样品上，探头与样品接触。LVDT铁芯落在弯曲样品上的位置如图3所示上。
- 7.3.2 使用RVDT系统测量时，在水平面上夹持样品，确保探针和样品接触，见图4。探针应采用聚四氟乙烯包裹或者表面涂覆聚四氟乙烯，或者探针由聚四氟乙烯等低摩擦材料制成。
- 7.3.3 将热电偶放到导热液体里，靠近样品。
- 7.3.4 设定XY图形或数据接收显示处理系统，在x或y轴记录温度，另一个轴记录样品的运动。
- 7.3.5 在加热板上加热导热液体并搅拌，加热速率不高于4℃/min。
- 7.3.6 在导热液体高于 A_1 温度 10℃以上时，关闭加热板并停止记录，测试结束。通过观察样品变直以及温度-位移曲线变平直时，判断停止测试时点。



说明:

1-平衡块;

2-热电偶;

3-酒精浴或水浴;

4-回复夹具;

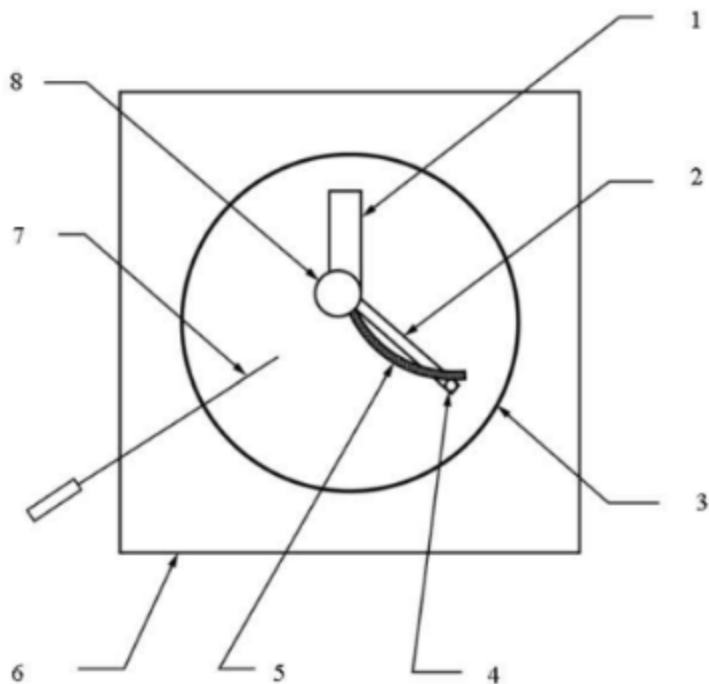
5-加热板/搅拌器;

6-样品;

7-LVDT 铁芯;

8-LVDT 线圈支架夹具固定位置。

图 1 LVDT系统测试装置正视图示意图



说明:

1-回复夹具;

2-RVDT 触针;

3-装酒精或水的烧杯;

4-探针;

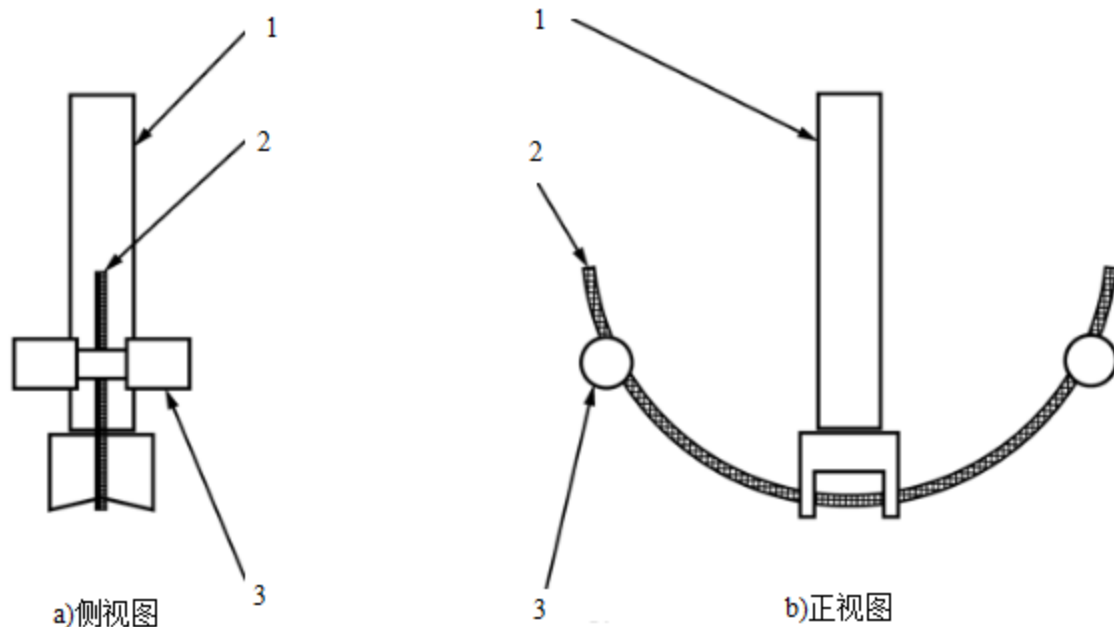
5-样品;

6-加热板/搅拌器;

7-热电偶;

8-RVDT 线圈。

图 2 RVDT 系统测试装置顶视图示意图



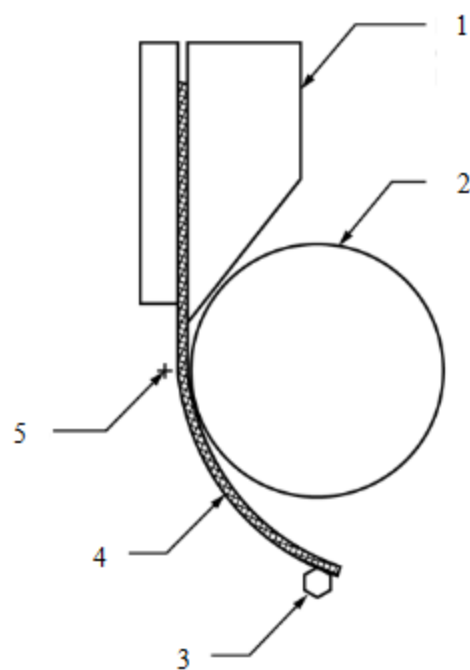
说明:

1—LVDT 铁芯;

2—样品;

3—限位针销。

图3 测试时LVDT铁芯与样品的位置关系示意图



说明:

1—回复夹具;

2—芯轴;

3—探针;

4—样品;

5—RVDT 轴位置。

图4 RVDT测试时探针与样品的位置关系示意图

8 相变温度的确定

8.1 使用切线法确定相变温度 R'_s 、 R'_f 、 A_s 或 A_f ，或者用95%变形回复法确定 A_{f-95} 。

8.2 在切线法中，对于一步相变，中间切线应和曲线的最陡部分相切，见图5；对于两步相变，中间切线的第一线应和第一步相变曲线最陡部分相切，第二线应和第二步相变曲线的最陡部分相切，见图6。

8.3 回复百分率法确定相变温度 A_{f-95} 的示意图见图7。当变形回复率达到95%时，曲线上温度确定为 A_{f-95} 。在低于 -55°C 温度下开始测试时，需将样品在 -55°C 的变形视为完全变形状态（即0%回复率）。在位移-温度曲线上，超过恒定斜率点对应温度值 10°C 的位置，视为100%变形回复。

8.4 用切线法或95%变形回复法在温度-位移曲线上确定相变温度值，修约到 1°C 。

9 平行测试

9.1 平行测试两组样品，每组样品测试得出5个结果，取其算术平均值，修约到 0.1°C 。

9.2 需进行精密度试验时，按GB/T 6379的规定进行。在重复性条件下测试两组样品，每组样品测试得出5个结果。由试验相关方共同得出重复性限（ r ）、再现性限（ R ）或允许差数据。

10 报告

试验报告应包括下列内容：

- a) 样品的标识，包括规格、批号和热处理状态；
- b) 样品尺寸；
- c) 随温度变化的位移量关系或温度-位移曲线；
- d) 相变温度结果；
- e) 使用仪器型号、精度等级、量程；
- f) 本标准编号；
- g) 试验日期；
- h) 所有未被本标准规定的操作，包括试验中的异常现象；
- i) 与测试过程或测试结果相关的注解。

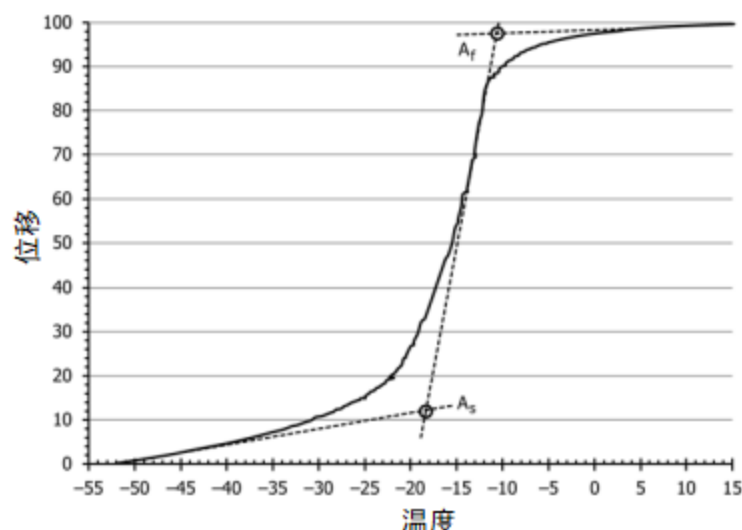


图5 切线法：一步相变转变一切线和相变温度

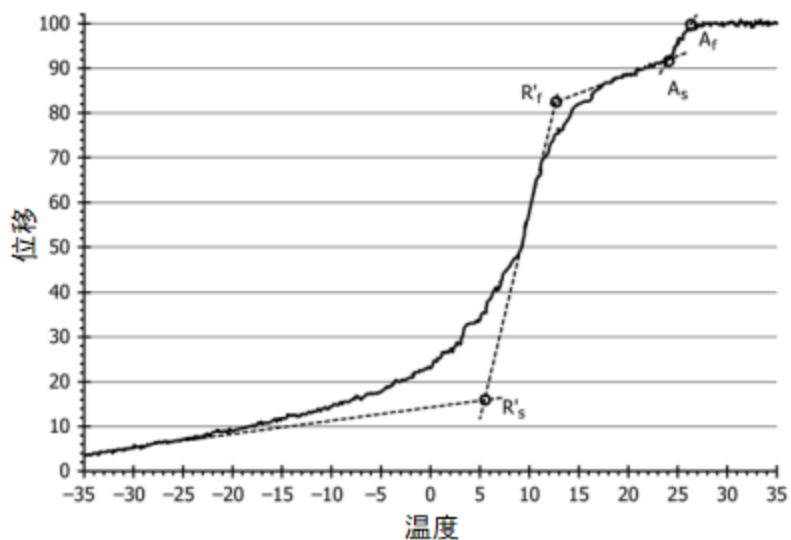
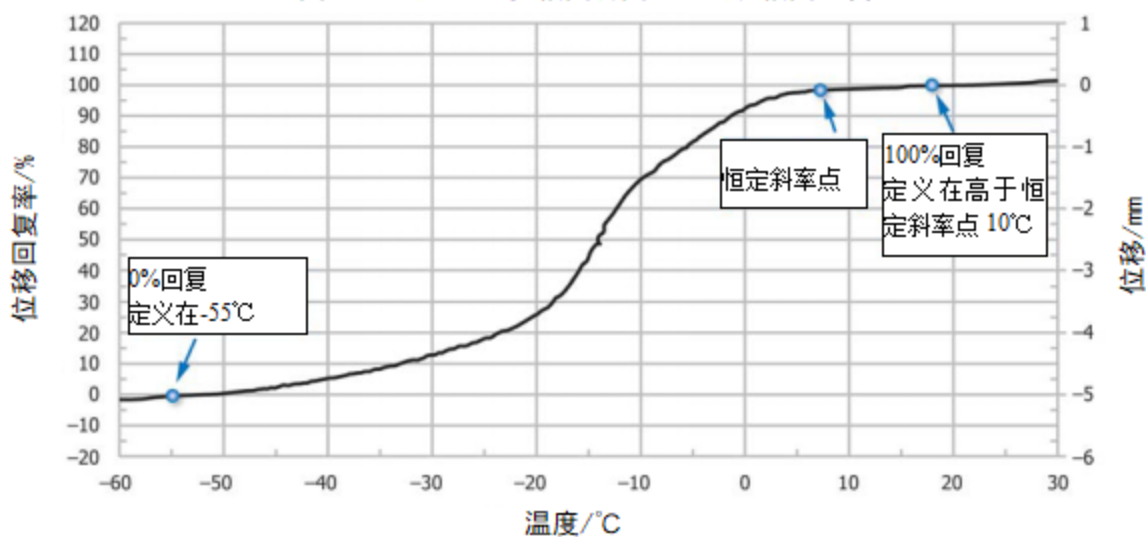


图6 切线法：两步相变转变一切线和相变温度

图7 回复百分率法：相变温度 A_{f-95}