铜合金弹性带材平面弯曲

疲劳试验方法

编制说明

（送审稿）

西北稀有金属材料研究院宁夏有限公司

2023年4月

铜合金弹性带材平面弯曲疲劳试验方法

1. 工作简况
2. 任务来源

根据2020年8月7日，国家标准化管理委员会《关于下发2020年第二批推荐性国家标准的通知》（国标委发[2020]37号）的要求，国家标准《铜合金弹性带材平面弯曲疲劳试验方法》制订项目由全国有色金属标准化技术委员会归口，计划编号：20202891-T-610，项目周期为24个月，完成年限为2022年9月。

1. 项目编制组单位

本项目由西北稀有金属材料研究院宁夏有限公司、中色（宁夏）东方集团有限公司、宁波兴业盛泰集团有限公司、广东省科学院工业分析检测中心、中铜华中铜业有限公司、中铝洛阳铜加工有限公司、清远楚江高精铜带有限公司、铜陵有色金属集团股份有限公司金威铜业分公司。

西北稀有金属材料研究院宁夏有限公司是中色（宁夏）东方集团有限公司下属控股子公司，是中国有色集团成员单位。公司主要从事金属铍及铍合金的科研、生产和销售，产品广泛应用于航天航空、核工业等高新技术领域。是我国唯一的铍材研究加工基地，是国家高新技术企业，建有稀有金属特种材料国家重点实验室和稀有金属铍材行业重点实验室。公司现有职工200多人，技术人员约占职工总数的50%，有宁夏唯一的中国工程院院士，享受政府特殊津贴专家3人，在读博士2人，硕士14人，中级以上职称73人。50多年来，公司共完成国家级、省部级等科研任务500多项，先后荣获国家科技进步二等奖3项，三等奖2项，国家科技发明奖2项，省部级科技奖40项。公司在载人航天等多项国家级重点工程项目中受到表彰，先后三次被评为国防科技工业协作配套先进单位，获得2007年高技术武器装备发展建设工程突出贡献奖。

宁波兴业盛泰集团有限公司在宁波慈溪地区发展起来的现代化企业集团，为中国高精度铜板带行业的领先制造商。公司一直致力于铜板带的专业化研究、生产、销售，其“三环”产品于2007年9月被国家质检总局评为“中国名牌产品”称号，是中国铜板带领域仅有的三大“中国名牌产品”之一。“三环”商标被认定为中国驰名商标和浙江省著名商标。公司的主要产品有：高精度引线框架用铜板带、高精度锡磷青铜板带、高精度锌白铜板带、高精度紫铜板带、高精度黄铜板带、高精度多元合金、铜锡锌合金及高铜合金等八大系列，其中以电子、汽车行业用的接插件铜带和引线框架用铜带为主导产品，是目前国内铜板带品种系列最全的生产企业之一，是本标准的第一验证单位。

广东省科学院工业分析检测中心始建于1971 年，先后隶属于广州有色金属研究院、广东省工业技术研究院（广州有色金属研究院），2015年12月经广东省机构编制委员会批准成为广东省科学院属下的独立二级事业法人单位。是我国从事矿产品、金属材料、冶金产品、化工产品、再生资源质量检测和性能评价、欧盟环保（RoHS）指令的有害物质检测、金属材料综合利用检测以及分析测试技术研究与技术咨询的专业机构。中心现有高、中、初级专业技术和管理人员100余人，其中教授有15人，高级工程师24人，硕博士20人，具有中级职称以上科技人员占80%。近十年来获得省部级科技进步奖20项。累计申请专利19件，其中授权发明专利8件、授权实用新型专利2件。承担国家、省级各类项目50余项，主持和参与国家、行业标准200余项，发表专著5部，发表论文300余篇，是本标准的第二验证单位。

中铜华中铜业有限公司（以下简称华中铜业）简况：华中铜业于2005年9月28日成立，注册资本11.93亿元。中国铝业集团有限公司控股，黄石市国有资产经营有限公司参股。公司高精度铜板带项目是我国高精度板带材产品产业化的示范项目，是世界500强企业中国铝业集团有限公司同湖北省开展战略合作的开局性项目，也是湖北100个重点项目之一，劳动用工为652人。以国内市场急需的高精度引线框架铜带、变压器铜带、电缆铜带、电子接插件铜带、汽车用铜带、太阳能铜带，LED铜带、压延铜箔用带坯、极耳材料、蚀刻材料等为主导产品。以“替代进口，面向出口”为市场定位。立足于振兴民族高精度铜板带加工事业，进入中国“三强”行列。我公司为压延铜箔用带坯主要生产厂家，拥有《一种高氧韧铜的熔铸生产工艺》自主发明专利技术成果，拥有从全连续熔铸炉到板带坯加工的完整生产线，产品质量获得国内压延铜箔厂家的好评，是本标准的参编单位。

中铝洛阳铜加工有限公司是综合性有色金属加工企业，拥有铜及铜合金高精度电子带、大管大棒、弥散强化无氧铜、宽厚板等多条生产线，产品涉及铜及铜合金板、带、箔、管、棒、型材，广泛应用于电子信息通讯、新能源、汽车、海洋工程、轨道交通、核电等领域。拥有国家级企业技术中心、国家实验室认证认可监督管理委员会认可的实验室、中国有色金属工业重金属加工材质检站、河南省铜镁材料和加工技术工程研究中心、中铝集团高性能铜板带加工技术重点实验室、有色行业铜及铜合金材料与加工工程技术研究中心。公司先后从德国、美国、法国、日本、英国、意大利等十二个国家引进了100多台(套)先进的无损探伤和理化检测设备，为有色金属产品的研制和生产打下了坚实的基础，公司拥有一支高素质的科研技术研发队伍，具备丰富的生产技术经验和技术开发能力，是本标准的参编单位。

清远楚江高精铜带有限公司（以下简称清远楚江），是本标准的参编单位。成立于2005 年5月份，2005年11月份正式生产经营，位于清远国家高新技术开发区创兴二路15号，目前公司占地面积120亩，员工750人。清远楚江系上市公司安徽楚江科技新材料股份有限公司（楚江新材，股票代码：002171）的全资子公司，是楚江新材布局在广东的高精铜带产业基地，主要从事铜及铜合金带材的研发与生产，2022年实际生产6.6万吨，2025年将具备年产9万吨的能力，产品应用于5G通讯、电子电器、汽车制造、家用电器、五金配件、服辅等领域。十五五期间，清远楚江将根据华南地区的市场需求及发展形势，再新建年产6万吨高精密铜带箔项目，该项目产品主要应用于新能源、绿色能源、电动汽车及其它电子、电器行业。未来，清远楚江将持续发展，打造国内领先、国际一流的高端铜基材料智能制造基地，产品覆盖华南地区，辐射东南亚。

铜陵有色金属集团股份有限公司金威铜业分公司是铜陵有色金属集团股份有限公司的下属分公司(以下简称金威)，母公司铜陵有色金属集团控股有限公司2021年世界500强第407位，集团主要从事有色金属类(矿山、冶炼及加工)，化工类、服务类及装备制造类等业务。金威铜业分公司项目总投资17.8 亿元，年产高精度铜及铜合金板带材10万吨，占地450余亩。主要是专业化生产黄铜、紫铜、框架材、磷青铜、锌白铜等各系列高精度铜及铜合金板带材产品。产品广泛应用于电子信息通讯、新能源、汽车、海洋工程、轨道交通、军工、机电、仪器仪表、日用五金、装饰等领域。公司先后从德国、美国、法国、日本、意大利等多个国家引进了先进的设备和检测仪器。项目采用先进成熟的熔铸和压延生产工艺，配备国际一流的自动控制系统，产品最大宽度为1250mm,最小厚度为0. 05mm:产品具有高附加值、高科技含量。目前，公司拥有获国家知识产权局授权专利18项，包括发明专利7项、实用新型专利11项，多项科技项目获得安徽省、铜陵市科技成果奖，其中高端电子铜带产业化关键技术研发、高精度铜及铜合金板带生产工艺关键技术研究获得安徽省技术成果二等奖、有色金属工业科学技术奖二等奖，2017 年获得中国铜板带十强，2020年获省级、国家级绿色工厂、环保诚信企业等奖励。公司拥有-支高素质的科研技术研发队伍，具备丰富的生产技术经验和技术能力。铜及铜合金板带箔材生产技术成熟，产品质量稳定、性能满足用户使用要求。尤其是德国引进世界先进的全连续铸造的无氧铜炉生产线具备年产5万吨无氧铜铸锭的生产能力，满足国内各行业的市场需求，也成为中国有色金属加工行业的亮点。金威是本标准的参编单位。

1. 主要参加单位和工作成员及其所做的工作

3.1主要参加单位情况

西北稀有金属材料研究院宁夏有限公司作为标准起草负责单位，标准的编制过程中，能积极主动收集国内外弹性铜合金弯曲疲劳试验方法标准，负责项目的总体实施和策划，公司能够带领编制组成员单位认真细致修改标准文本，征求多家企业的修改意见，编制实测数据统计表，最终带领编制组完成标准的编制工作。

宁波兴业盛泰集团有限公司负责对1~8#试验结果的复现性进行试验验证，并提供一验报告。

广东省科学院工业分析检测中心对1~8#试验结果的复现性进行试验验证，并提供二验报告。

中铜华中铜业有限公司、中铝洛阳铜加工有限公司、清远楚江高精铜带有限公司、铜陵有色金属集团股份有限公司金威铜业分公司是本标准的参编单位。

3.2 主要工作成员所负责的工作情况

主要工作成员及其所负责的工作见表1

表1 工作成员及所做工作

|  |  |
| --- | --- |
| 起草人 | 所做工作 |
| 焦晓亮、李美岁、曹虎成、刘峰、马肖、王少军 | 负责方案制定，开展试验、数据收集、标准文本编写等。 |
| 韩俊钢、崔书辉、娄东阁、方德祥、胡铜生 | 负责协助方案制定、组织协调、标准技术内容的审核、把关等。 |
| 郑芸、伍超群、董振兴、张新辉、赵晓巍、张健康 | 参与标准方法调研、技术参数确定，试验验证、协助标准技术内容的制定和审核等。 |
| 张保华、王鹏、赵健、许春伟、王平之 | 指导标准编写，并对标准材料提出修改意见。 |

1. 主要工作过程

4.1 起草阶段

（1）预研阶段

2018年5月至2018年9月，由西北稀有金属材料研究院宁夏有限公司对国内外关于铜及铜合金弯曲疲劳试验方法进行了调研，具体内容为：国外在对材料进行大量疲劳试验的基础上先后公布了带材弯曲疲劳试验方法标准, 并研制和生产了相应的带材弯曲疲劳试验机。我国至今未有铜合金弹性材料弯曲疲劳试验方法标准, 国内现有的旋转弯曲和拉压疲劳试验法均不适用。主编单位搜集了国内外有关资料结合具体实际, 设计制造了铜合金弹性材料复弯曲疲劳试验机。根据调研情况，由主编单位整理并编制形成了《铜合金弹性带材平面弯曲疲劳试验方法》标准项目建议书、标准草案及标准立项说明等材料。

（2） 立项阶段

2018年9月，西北稀有金属材料研究院宁夏有限公司向全体委员会议提交了《铜合金弹性带材平面弯曲疲劳试验方法》标准项目建议书、标准草案及标准立项说明等材料，全体委员会议论证结论为同意国家标准立项。由秘书处组织委员网上投票，投票通过后转报国标委，并挂网向社会公开征求意见。

2020年8月7日，国家标准化管理委员会下达了制定《铜合金弹性带材平面弯曲疲劳试验方法》国家标准的任务，计划编号为20202891-T-610，完成年限为2022年，技术归口单位为全国有色金属标准化技术委员会。

（3）起草阶段

1） 召开标准进度汇报及进度协调会

2020年11月2日，根据国家标准化管理委员关于下达《铜合金弹性带材平面弯曲疲劳试验方法》制定计划的要求，由重金属标委秘书长牵头，组织召开了《铜合金弹性带材平面弯曲疲劳试验方法》制定协调会议，主编单位对标准的主要要求以及编制进度进行了汇报，各相关单位对标准的要求进行了充分讨论，并确定了标准的编制成员。于2020年12月重金属分标委会提供了桐乡标准会议纪要。

2）项目滞后原因说明

2021年标准起草组编写了《铜合金弹性带材平面弯曲疲劳试验方法》草案稿、确定了需要开展试验的铜合金牌号。由于分厂和405检测所无可以开展弹性铜合金带材平面弯曲疲劳试验的设备，导致标准试验工作进展滞后。

标准起草组与参编单位国标（北京）检验认证有限公司、有研工程技术研究院有限公司、等单位进行试验条件确认，这几家单位均不能开展该试验。最终导致标准试验工作滞后。

从项目立项开始先后与长春市彼特福科技有限公司和原青山机械厂进行了多次技术沟通，确定了设备结构形式和结构原理。

2022年1月项目承担单位西北稀有金属材料研究院宁夏有限公司铍铜分厂进行了物资申报，并提交设备技术协议。2022年3月15日集采中心组织挂网招标。2022年6月26日集采中心完成两轮次公开招标后最终确定由吴忠继仁试验机有限公司中标。7月29日双方单位签订技术协议。9月1日集采中心与吴忠继仁试验机有限公司通知开始制作试验机。由于突发疫情吴忠继仁试验机有限公司无法按期交付试验机。

3）验证单位验证

2023年2月，起草单位将两种规格5种状态的样品和试验报告发送给各验证单位进行验证和文本校核。至2023年3月中旬，第一验证单位宁波兴业盛泰集团有限公司使用英斯特朗 E1000，第二验证单位广东省科学院工业分析检测中心使用8801液压疲劳试验机分别进行测试，反馈验证报告并提出意见。综合验证单位意见，起草单位对标准进行修改完善，形成了《铜合金弹性带材平面弯曲疲劳试验方法》（讨论稿）。

4.2 征求意见阶段

编制组通过会议、邮件、中国有色金属标准质量信息网上公开等方式对《铜合金弹性带材平面弯曲疲劳试验方法》预审稿及其编制说明进行意见征集。征集意见3条，形成了《标准征求意见稿意见汇总处理表》。

4.3 预审阶段

来自中铝洛阳铜加工有限公司、宁波兴业盛泰集团有限公司、苏州金江铜业有限公司、凯美龙精密铜板带（河南）有限公司、太原晋西春雷铜业有限公司、江铜板带、有研工程技术研究院有限公司、浙江惟精新材料股份有限公司、铜陵有色金属集团股份有限公司金威铜业分公司、中铜华中铜业有限公司、宁波博威合金板带有限公司等单位的35位专家对《铜合金弹性带材平面弯曲疲劳试验方法》预审稿进行了充分讨论。形成10条建议及意见：

1. 范围厚度规格建议调整至0.1mm~1.0mm
2. “原理”建议增加表示寿命的方式，参照JCBA日本标准以及国内标准进行调整。
3. 优化试验条件描述；建议增加“应力循环频率不应引起试样过热或试验机共振。”和“装在试验机上的试样不允许承受所需规定弯曲应力以外的其他应力。”的内容。
4. 优化试验机结构形式，使试验机具有广泛适用性。
5. 试样增加条形试样，使试样具备广泛兼容性。
6. 调整试验步骤顺序，使更便于操作。
7. 建议去掉弯曲应力计算中数字修约按GB/T8170规定执行。
8. 建议试样的夹持力应尽可能小，以降低试样于钳口内断裂的概率，可利用可调式扭力扳手将试样固定在夹具上（力矩推荐值3N·m）。
9. 文中图示、字体、标引序号说明等按照GB/T 1.1-2020要求修改。
10. 参照软化温度标准对疲劳寿命表征方式进行修改，实现两个未知数、一个未知数下试验结果表示形式。

按照会议专家组意见，编制组充分讨论形成了《铜合金弹性带材平面弯曲疲劳试验方法》送审稿及其编制说明。

4.3 审定阶段

4.4 报批阶段

1. 标准编制原则

本文件制定单位自接受起草任务后，成立了本文件编制工作组，负责收集生产、检验数据、市场需求及客户要求等信息。初步确定了《铜合金弹性带材平面弯曲疲劳试验方法》标准起草所遵循的基本原则和编制依据：

1. 查阅相关标准和国内外客户的相关技术要求；
2. 根据国内外铜及铜合金带材企业具体情况，力求做到标准制定科学、先进，满足市场和科研需要；
3. 根据技术发展水平及测试数据确定技术指标取值范围，力求做到标准修订经济合理、实用；
4. 完全按照GB/T 1.1和方法标准和国家行业标准编写示例的要求格式和结构进行编写。
5. 标准主要内容的确定依据

1 名称确认

本文件立项名称为《铜合金弹性带材平面弯曲疲劳试验方法》。

2 标准的适用范围

本文件规定了铜合金弹性带材平面弯曲疲劳试验方法的规范性引用文件、术语和定义、原理、试验条件、仪器设备、样品、试验步骤、结果表示、试验报告。

本文件适用于厚度为0.1～1.0mm的铜合金弹性材料在室温条件下平面弯曲疲劳性能的试验方法。

3 原理

将制备好的试样装于固定悬臂恒定挠度型疲劳试验机上，并对其施加负荷，以一定的频率反复弯曲，直至试样失效或至指定循环次数。原理示意见图1。



标引序号说明：

1——紧固螺栓；

2——固定夹块；

3——加载装置；

4——试样；

图1 原理示意图

4 试验条件

4.1 试验环境为室温（10℃～35℃）。

4.2 应力循环频率不应引起试样过热或试验机共振。

4.3 装在试验机上的试样不允许承受所需规定弯曲应力以外的其他应力。

4.4 应夹紧试样端部，夹具的中心线应与试验机的施力轴线重合，确保试样无间隙地准确传递循环负荷。

4.5 试验中每个试样施加负荷应保持一致，负荷的动态误差不得超过±1%。

5 试验机

可使用各种不同类型的固定悬臂恒定挠度型疲劳试验机，但均应满足如下要求：
5.1 试验机应有自动计数装置

5.2 试验机加载系统应满足试验的要求，可以采用机械对试样施加载荷，载荷允许偏差为±1%。

5.3 试验机的频率应能满足弯曲疲劳频率要求

5.4 试样固定装置应牢固可靠，以保证试验过程中试样不发生松动。夹持装置应保证试样的装夹是可再现的。

5.5 应有工作可靠的试样失效或指定循环数时的停机装置。
5.6 试验机和所用的控制测量系统应定期检定。

6 试样

6.1 试样尺寸

6.1.1 本方法选用悬臂试样，形状如图2所示。其试验部分可为变截面形（见图2a）、等截面形（见图2b），试验部分横截面均为矩形；夹持端形状和尺寸可根据试验时采用的试验机设计。可以根据具体情况，采用其他形状的试样进行试验，但应在试验报告中说明。

1. 变截面形试样(适用于厚度≥0.4mm）



标引序号说明：

l——试样长度大于60mm；

b——受力点试样的宽度10±0.2mm；

h——受力点试样的厚度；

b）等截面形试样(适用于厚度≥0.1mm）

图2 试样形状

6.1.2 同一批疲劳试验所使用的试样应具有相同的的形状和尺寸。

6.1.3 试样的轴线与带材轧制方向同轴或对称。

6.1.4 试样横截面厚度尺寸的测量误差不大于0.5%。

6.2 试样加工

6.2.1 试样所采用的加工工艺应尽量使试样表面产生的残余应力和加工硬化减至最小；在加工过程中应防止过热或其他因素的影响而改变材料的疲劳性能，力求试样表面质量均匀一致。

6.2.2 试样精加工后，应仔细清洗、妥善保存，以防止试样变形、表面损伤和腐蚀。

6.2.3 试样工作部分与圆弧过渡部分的连接应光滑不得有凹陷。

6.3 试样要求

6.3.1试样表面应为接收状态的表面，边缘不得进行倒圆或磨光，但毛刺可以轻轻磨除。

6.3.2试样加工不能改变试样原有状态。

7 试验步骤

7.1 弯曲应力计算

试样最大弯曲应力S用悬臂梁公式（1）计算：

  .............. （1）

式中：

P——施加的载荷，单位为牛顿（N）；

L——施力点到受力点的距离，单位为毫米（mm）；

b——受力点试样的宽度，单位为毫米（mm）；

h——受力点试样的厚度，单位为毫米（mm）。

计算结果保留至小数点后两位。

7.2 载荷的静态标定

试验机如具备载荷传感装置可直接记录载荷P无需静态标定,如无该装置，可按以下步骤进行载荷的静态标定：试样上粘贴应变片逐个进行静态标定的方法，标定方法如下：在试样工作区粘贴一片应变片，与应变显示仪连接；把试样宽端固定，窄端附上一金属片延长至施力点，然后在施力点垂直地逐步逐级加上砝码作为载荷P，数据稳定后记录应变显示仪所示的应变值，直至试样承受的应力等于或稍大于所要求的试验应力。把试样反复安装，测量2～3次。

7.3 安装试样

安装试样时首先应完成对中检查，使试样与试验机上、下夹具间保持同轴，保证力均匀地分布在试样的整个断面上，并尽量减少试样承受规定弯曲应力以外的其他应力。试样的夹持力应尽可能小，以降低试样于钳口内断裂的概率，可利用可调式扭力扳手将试样固定在夹具上（力矩推荐值3 N·m）。

7.4 试验频率

试验频率一般在5 Hz~200 Hz范围内，建议采用的试验频率为5 Hz~100 Hz，同一批试样的试验应在相同频率下进行。在高频率时，试样会产生较大热量，从而影响疲劳寿命和疲劳强度的试验结果。如果试样发热，建议降低试验频率。如果试样温度超过35℃，应在报告中注明。

7.5 施加载荷

7.5.1 施加载荷应平稳、准确、不得超载。

7.5.2 若通过偏心加载装置和应力比调节装置把载荷调到要求值，得出的载荷代入式（1）即为试样所受弯曲应力。

7.5.3 试验机如具备载荷传感装置可通过控制系统把载荷调到要求值。

7.6 失效判据和试验终止

7.6.1失效判据

除非另有协议，失效判据应是试样在规定应力下，一直连续试验至试样断裂或达到规定的循环次数。试样断裂应发生在等截面试样的标矩长度内，或其他类型试样最大应力截面处，否则试验结果无效。

7.6.2试验终止

当双方协商的条件满足（试样失效或达到规定的循环周次）时，终止试验。试验过程中如其他条件导致试验中断，需在试验报告中注明中断时的循环次数和间歇时间。

8 实验室间验证结果

由于试样没有标准值，本试验采用对照试验来验证方法的准确度。按照对照试验原则，在单一试验条件变量的条件下，按照试样步骤对QBe2、C17410 2个牌号的CY2、CY2S、CY4、CY4S、1/2HT 5种状态进行了8种应力的测试。按照本方法分别进行了11次测定，结果见表12。按照标准要求对每个样品各进行11次独立测定。按照GB/T 6379.2-2004确定标准测量方法的重复性和再现性的基本方法的规定，对试验数据进行了统计分析，结果见表2。

（1）试验测试—西材院

西材院根据本文件进行了数据测试对自测数据进行分析，分析试验数据如表2所示

表2 试验测试数据统计表

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 样品编号 | 测定结果/次（n=11） | 平均值/次 | SD/次 | RSD/% |
| 1# | 4473207，4445623，4523651，4673215，4476520，4565230，4798512，4982156，4781530，4673251，4567821 | 4632792 | 167490.42 | 3.77 |
| 2# | 4783991，4832586，4765982，4832617，4768562， 4743208 ，4731589，4765987，4796560，4765286，4792652 | 4779910 | 32282.28 | 0.70 |
| 3# | 406813，405813，404813，402813，408614，409546，407650，398462，397520，405860，408765 | 405151 | 4035.75 | 1.00 |
| 4# | 93208， 91208， 92808， 93308，92210， 91953， 92654， 93581，92652， 98563， 94865， | 93364 | 1965.91 | 2.10 |
| 5# | 10243668， 10231658，10213654，10203632， 10248522，10239561，10256895， 10236532，10295462，10226582， 10246302， | 10240224 | 24011.05 | 0.24 |
| 6# | 318779，317865，315423，314685，318951，319622，316525，325647，318569，321565，314854 | 318407 | 3217.83 | 1.01 |
| 7# | 27439， 27846， 27958， 27765，26520， 29561， 27842， 28563，27858， 28056， 26985， | 27853 | 786.33 | 2.76 |
| 8# | 306696，305895，296875，298642，298952，301562，295894，288653， 295682，308431，297625 | 299537 | 5773.72 | 2.01 |

分析：由上表结果可知，本法的RSD%在0.24%～3.77%之间，精密度较好，能满足方法分析要求。采用格拉布斯检验方法，对上表数据进行异常值情况分析，结果见表3。

表3 格拉布斯检验试验测试数据分析

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 样品 | /% |  SD/% | G1/% | Gn/% | 舍弃界限值/n=11,a=0.05 | 结论 |
| 1# | 4632792.364 | 175083.1601 | 1.069031216 | 1.995415414 | 2.234 | 无异常值 |
| 2# | 4779910.909 | 33735.71952 | 1.43236634 | 1.562323011 | 2.234 | 无异常值 |
| 3# | 405151.7273 | 4062.177993 | 1.878727935 | 1.081752876 | 2.234 | 无异常值 |
| 4# | 93364.54545 | 2004.766889 | 1.075708835 | 2.59304689 | 2.234 | 有异常值 |
| 5# | 10240224.36 | 25220.53351 | 1.450895701 | 2.190185086 | 2.234 | 无异常值 |
| 6# | 318407.7273 | 3156.16696 | 1.17950898 | 2.29369131 | 2.234 | 有异常值 |
| 7# | 27853.90909 | 771.1991817 | 1.72965574 | 2.213553839 | 2.234 | 无异常值 |
| 8# | 299537 | 6049.216254 | 1.799241347 | 1.470273111 | 2.234 | 无异常值 |

分析：根据格拉布斯检验方法，查表得：n=11,a=0.05时，舍弃界限值为2.234。上表中存在异常值，应舍弃4#和6#最大值。

表4 舍弃最大值后精密度计算

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 样品编号 | 测定结果/次（n=10） | 平均值/次 | SD/次 | RSD/% |
| 4# | 93208， 91208， 92808， 93308，92210， 91953， 92654， 93581，92652， 94865， | 93364 | 740.51 | 0.79 |
| 6# | 318779，317865，315423，314685，318951，319622，316525，318569，321565，314854 | 318407 | 2150.55 | 0.67 |

由上表结果可知，本法的RSD%在0.67%～0.79%之间，精密度较好，能满足方法分析要求。

（2）试验测试—一验

表5 第一验证单位数据精密度分析

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 样品编号 | 测定结果/次（n=11） | 平均值/次 | SD/次 | RSD/% |
| 1# | 4438324， 4406983， 4576634， 4376285， 4545682， 4493567， 4673362， 4697352， 4395627，4773694， 4628235 | 4545976 | 139966.43 | 3.07 |
| 2# | 4638861，4689236，4723842，4813295，4746252，4743716，4668134，4691983，4587235， 4633584，4712217 | 4695305 | 65918.53 | 1.40 |
| 3# | 391321，412958，396549，415622，421561，397366，399210，389739，392037，419287，396271 | 402901 | 12460.16 | 3.08 |
| 4# | 95167，92963，89961，91469，90923 91872，91457，95618，90329，94522，93214 | 92499 | 2035.18 | 2.20 |
| 5# | 10364951，10263185，10193692，10295107，10309341，10133964，10269218，10213563，10234067，10239581，10368219 | 10262262 | 64644.44 | 0.62 |
| 6# | 301934，308612，313947，321651，313382，325719，304257，306416，314162，316487，319672 | 313294 | 7538.68 | 2.40 |
| 7# | 27326，28293，28134，28645，29361，28213，28492，26423，28637，27372，28481 | 28125 | 838.03 | 2.97 |
| 8# | 303829，303458，315724，298614，297592，316294，295761，293612，309465，312409，305847 | 304782 | 8371.85 | 2.74 |

分析：由上表结果可知，本法的RSD%在0.62%～3.07%之间，精密度较好，能满足方法分析要求。采用格拉布斯检验方法，对上表数据进行异常值情况分析，结果见表6。

表6 格拉布斯检验第一验证单位数据分析

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 样品 | /% |  SD/% | G1/% | Gn/% | 舍弃界限值/n=11,a=0.05 | 结论 |
| 1# | 4545976.818 | 139966.4383 | 1.212375054 | 1.626941319 | 2.234 | 无异常值 |
| 2# | 4695305 | 65918.53911 | 1.63944774 | 1.789936512 | 2.234 | 无异常值 |
| 3# | 402901.9091 | 12460.16827 | 1.176118656 | 1.377779437 | 2.234 | 无异常值 |
| 4# | 92499.54545 | 2035.186448 | 1.247328203 | 1.532269709 | 2.234 | 无异常值 |
| 5# | 10262262.55 | 64644.44077 | 1.984680259 | 1.63906522 | 2.234 | 无异常值 |
| 6# | 313294.4545 | 7538.688098 | 1.506953783 | 1.648104457 | 2.234 | 无异常值 |
| 7# | 28125.18182 | 838.030787 | 2.031168597 | 1.47466919 | 2.234 | 无异常值 |
| 8# | 304782.2727 | 8371.852255 | 1.334265392 | 1.375051413 | 2.234 | 无异常值 |

根据格拉布斯检验方法，查表得：n=11,a=0.05时，舍弃界限值为2.234。上表中不存在异常值。

（3）试验测试——二验

表7 第二验证单位数据精密度分析

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 样品编号 | 测定结果/次（n=11） | 平均值/次 | SD/次 | RSD/% |
| 1# | 4383263，4423176，4393581，4368439，4583754，4435218，4523746，4421575，4336481，4613766，4631852 | 4464986 | 93713.93 | 2.09 |
| 2# | 4546172，4583716，4693815，4776253，4703119，4539461，4685736，4621647，4683427，4736492，4748273 | 4665282 | 80460.71 | 1.72 |
| 3# | 393528，403176，396159，393804，385196，391687，383742，396916，394715，406189，406257 | 395579 | 6929.65 | 1.75 |
| 4# | 96217，96519，92519，92341，91642，89346，92237，94067，93284，92034，92166 | 92942 | 2142.79 | 2.30 |
| 5# | 10284615，10074853，10167294，10148273，10382167，10462195，10336941，10267926，10518436，10413762，10183694 | 10294559 | 144279.48 | 1.40 |
| 6# | 306849，292912，306346，318437，306492，306728，297434，299576，318451，298279，298463 | 304542 | 8496.10 | 2.78 |
| 7# | 26429，26945，28372，28067，27942，27847，28348，27637，28674，27781，27948 | 27817 | 676.79 | 2.43 |
| 8# | 306696，305895，296875，298642，298952，301562，295894，298653，295682，308431，297625 | 300446 | 4688.43 | 1.56 |

由上表结果可知，本法的RSD%在1.40%～2.78%之间，精密度较好，能满足方法分析要求。采用格拉布斯检验方法，对上表数据进行异常值情况分析，结果见表8。

表8 格拉布斯检验第二验证单位数据分析

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 样品 | /% |  SD/% | G1/% | Gn/% | 舍弃界限值/n=11,a=0.05 | 结论 |
| 1# | 4545976.818 | 93713.93251 | 1.371252397 | 1.780584178 | 2.234 | 无异常值 |
| 2# | 4695305 | 80460.71866 | 1.563767019 | 1.379184572 | 2.234 | 无异常值 |
| 3# | 402901.9091 | 6929.655704 | 1.708165673 | 1.540913496 | 2.234 | 无异常值 |
| 4# | 92499.54545 | 2142.796677 | 1.678604941 | 1.668889516 | 2.234 | 无异常值 |
| 5# | 10262262.55 | 144279.486 | 1.522784995 | 1.551685343 | 2.234 | 无异常值 |
| 6# | 313294.4545 | 8496.106627 | 1.368915794 | 1.637049306 | 2.234 | 无异常值 |
| 7# | 28125.18182 | 676.7935513 | 2.051249934 | 1.265862051 | 2.234 | 无异常值 |
| 8# | 304782.2727 | 4688.439157 | 1.016135807 | 1.703106049 | 2.234 | 无异常值 |

根据格拉布斯检验方法，查表得：n=11,a=0.05时，舍弃界限值为2.234。上表中无异常值。

1. 综合分析

按照文件要求对1~8#试样进行对照试验，测试11次。按照GB/T 6379.2-2004确定标准测量方法的重复性和再现性的基本方法的规定，对收到的数据进行了统计分析，结果见表9。

表9 试验室间结果统计

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 样品编号 | 试验单位 | 测定结果/次（n=11） | 平均值/次 | SD/次 | RSD/% |
| 1# | 西北稀有金属材料研究院宁夏有限公司 | 4473207 4445623 4523651 4673215 4476520 4565230 4798512 4982156 4781530 4673251 4567821 | 4632792 | 167490.42 | 3.77 |
| 1# | 宁波兴业盛泰集团有限公司 | 4438324 4406983 4576634 4376285 4545682 4493567 4673362 4697352 4395627 4773694 4628235 | 4545976 | 139966.43 | 3.07 |
| 1# | 广东省科学院工业分析检测中心 | 4383263 4423176 4393581 4368439 4583754 4435218 4523746 4421575 4336481 4613766 4631852 | 4464986 | 93713.93 | 2.09 |
| 2# | 西北稀有金属材料研究院宁夏有限公司 | 4783991 4832586 4765982 4832617 4768562 4743208 4731589 4765987 4796560 4765286 4792652 | 4779910 | 32282.28 | 0.7 |
| 2# | 宁波兴业盛泰集团有限公司 | 4638861 4689236 4723842 4813295 4746252 4743716 4668134 4691983 4587235 4633584 4712217 | 4695305 | 65918.53 | 1.4 |
| 2# | 广东省科学院工业分析检测中心 | 4546172 4583716 4693815 4776253 4703119 4539461 4685736 4621647 4683427 4736492 4748273 | 4665282 | 80460.71 | 1.72 |
| 3# | 西北稀有金属材料研究院宁夏有限公司 | 406813 405813 404813 402813 408614 409546 407650 398462 397520 405860 408765 | 405151 | 4035.75 | 1 |
| 3# | 宁波兴业盛泰集团有限公司 | 391321 412958 412958 415622 421561 397366 399210 389739 392037 419287 396271 | 402901 | 12460.16 | 3.08 |
| 3# | 广东省科学院工业分析检测中心 | 393528 403176 396159 393804 385196 391687 383742 396916 394715 406189 406257 | 395579 | 6929.65 | 1.75 |
| 4# | 西北稀有金属材料研究院宁夏有限公司 | 93208 91208 92808 93308 92210 91953 92654 93581 92652 94865 | 93364 | 1965.91 | 2.1 |
| 4# | 宁波兴业盛泰集团有限公司 | 95167 92963 89961 91469 90923 91872 91457 95618 90329 94522 93214 | 92499 | 2035.18 | 2.2 |
| 4# | 广东省科学院工业分析检测中心 | 96217 96519 92519 92341 91642 89346 92237 94067 93284 92034 92166 | 92942 | 2142.79 | 2.3 |
| 5# | 西北稀有金属材料研究院宁夏有限公司 | 10243668 10231658 10213654 10203632 10248522 10239561 10256895 10236532 10295462 10226582 10246302 | 10240224 | 24011.05 | 0.24 |
| 5# | 宁波兴业盛泰集团有限公司 | 10364951 10263185 10193692 10295107 10309341 10133964 10269218 10213563 10234067 10239581 10368219 | 10262262 | 64644.44 | 0.62 |
| 5# | 广东省科学院工业分析检测中心 | 10284615 10074853 10167294 10148273 10382167 10462195 10336941 10267926 10518436 10413762 10183694 | 10294559 | 144279.48 | 1.4 |
| 6# | 西北稀有金属材料研究院宁夏有限公司 | 318779 317865 315423 314685 318951 319622 316525 318569 321565 314854 | 318407 | 3217.83 | 1.01 |
| 6# | 宁波兴业盛泰集团有限公司 | 301934 308612 313947 321651 313382 325719 304257 306416 314162 316487 319672 | 313294 | 7538.68 | 2.4 |
| 6# | 广东省科学院工业分析检测中心 | 306849 292912 306346 318437 306492 306728 297434 299576 318451 298279 298463 | 304542 | 8496.1 | 2.78 |
| 7# | 西北稀有金属材料研究院宁夏有限公司 | 27439 27846 27958 27765 26520 29561 27842 28563 27858 28056 26985 | 27853 | 786.33 | 2.76 |
| 7# | 宁波兴业盛泰集团有限公司 | 27326 28293 28134 28645 29361 28213 28492 26423 28637 27372 28481 | 28125 | 838.03 | 2.97 |
| 7# | 广东省科学院工业分析检测中心 | 26429 26945 28372 28067 27942 27847 28348 27637 28674 27781 27948 | 27817 | 676.79 | 2.43 |
| 8# | 西北稀有金属材料研究院宁夏有限公司 | 306696 305895 296875 298642 298952 301562 295894 288653 295682 308431 297625 | 299537 | 5773.72 | 2.01 |
| 8# | 宁波兴业盛泰集团有限公司 | 303829 303458 315724 298614 297592 316294 295761 293612 309465 312409 305847 | 304782 | 8371.85 | 2.74 |
| 8# | 广东省科学院工业分析检测中心 | 306696 305895 296875 298642 298952 301562 295894 298653 295682 308431 297625 | 300446 | 4688.43 | 1.56 |



图3 相对标准差雷达图

表10 试验室间结果综合分析

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 样品编号 | 试验单位 | 测定结果/次（n=11） | 平均值/次 | SD/次 | RSD/% |
| 1# | 西北稀有金属材料研究院宁夏有限公司宁波兴业盛泰集团有限公司广东省科学院工业分析检测中心 | 4473207 4445623 4523651 4673215 4476520 4565230 4798512 4982156 4781530 4673251 4567821 4438324 4406983 4576634 4376285 4545682 4493567 4673362 4697352 4395627 4773694 4628235 4383263 4423176 4393581 4368439 4583754 4435218 4523746 4421575 4336481 4613766 4631852 | 4632792.36 | 175083.16 | 3.77 |
| 2# | 西北稀有金属材料研究院宁夏有限公司宁波兴业盛泰集团有限公司广东省科学院工业分析检测中心 | 4783991 4832586 4765982 4832617 4768562 4743208 4731589 4765987 4796560 4765286 4792652 4638861 4689236 4723842 4813295 4746252 4743716 4668134 4691983 4587235 4633584 4712217 4546172 4583716 4693815 4776253 4703119 4539461 4685736 4621647 4683427 4736492 4748273 | 4779910.90 | 33735.71 | 0.70 |
| 3# | 西北稀有金属材料研究院宁夏有限公司宁波兴业盛泰集团有限公司广东省科学院工业分析检测中心 | 406813 405813 404813 402813 408614 409546 407650 398462 397520 405860 408765 391321 412958 412958 415622 421561 397366 399210 389739 392037 419287 396271 393528 403176 396159 393804 385196 391687 383742 396916 394715 406189 406257  | 405151.72 | 4062.17 | 1.00 |
| 4# | 西北稀有金属材料研究院宁夏有限公司宁波兴业盛泰集团有限公司广东省科学院工业分析检测中心 | 93208 91208 92808 93308 92210 91953 92654 93581 92652 94865 95167 92963 89961 91469 90923 91872 91457 95618 90329 94522 93214 96217 96519 92519 92341 91642 89346 92237 94067 93284 92034 92166 | 93364.54 | 740.51 | 0.79 |
| 5# | 西北稀有金属材料研究院宁夏有限公司宁波兴业盛泰集团有限公司广东省科学院工业分析检测中心 | 10243668 10231658 10213654 10203632 10248522 10239561 10256895 10236532 10295462 10226582 10246302 10364951 10263185 10193692 10295107 10309341 10133964 10269218 10213563 10234067 10239581 10368219 10284615 10074853 10167294 10148273 10382167 10462195 10336941 10267926 10518436 10413762 10183694 | 10240224.36 | 25220.53 | 0.24 |
| 6# | 西北稀有金属材料研究院宁夏有限公司宁波兴业盛泰集团有限公司广东省科学院工业分析检测中心 | 318779 317865 315423 314685 318951 319622 316525 318569 321565 314854 301934 308612 313947 321651 313382 325719 304257 306416 314162 316487 319672 306849 292912 306346 318437 306492 306728 297434 299576 318451 298279 298463 | 318407.72 | 2150.55 | 0.67 |
| 7# | 西北稀有金属材料研究院宁夏有限公司宁波兴业盛泰集团有限公司广东省科学院工业分析检测中心 | 27326 28293 28134 28645 29361 28213 28492 26423 28637 27372 28481 26429 26945 28372 28067 27942 27847 28348 27637 28674 27781 27948 27439 27846 27958 27765 26520 29561 27842 28563 27858 28056 26985 | 27853.90 | 771.19 | 2.76 |
| 8# | 西北稀有金属材料研究院宁夏有限公司宁波兴业盛泰集团有限公司广东省科学院工业分析检测中心 | 306696 305895 296875 298642 298952 301562 295894 288653 295682 308431 297625 303829 303458 315724 298614 297592 316294 295761 293612 309465 312409 305847 306696 305895 296875 298642 298952 301562 295894 298653 295682 308431 297625 | 299537 | 6049.21 | 2.01 |

由表10可以看出实验室间检测数据相对标准偏差RSD为0.24%~3.77%，达到数据稳定性要求。

9 结论

以上实验结果表明：本法方法经过试验步骤合理，检测结果表面试验方法可行，具有较好的精密度和准确度，能够满足铜合金弹性带材弯曲疲劳试验方法的测定的要求。

四、标准中涉及专利的情况

未检索到本文件涉及到的相关国内外专利。

五、预期达到的社会效益

1、项目的必要性简述

装备制造业是经济社会发展的支柱性、基础性产业，是提升我国综合国力的基石。而标准是产业发展和质量技术基础的核心要素，是装备制造行业管理的重要手段。标准的先进性、协调性和系统性决定了装备质量的整体水平和竞争力。坚持标准引领，标准与产业发展相结合、标准与质量提升相结合、国内标准与国际标准相结合，不断优化和完善装备制造业标准体系，加强质量宏观管理，完善质量治理体系，提高标准的技术水平和国际化水平，可提升我国制造业质量竞争能力，推动我国从制造大国向制造强国、质量强国转变。弹性铜合金带铍青铜、锡磷青铜、镍硅青铜等因其足够的强度、优良的弹性及良好的导电性, 已经广泛地用于制造电子元器件, 如开关、继电器、接触器、接插件的各种簧片等。这些元器件要接受成百成干甚至数百万级的反复操作,有的文献甚至提出要考虑设计寿命达40年。在上述使用条件下,元器件的可靠性在很大程度上要取决于材料的疲劳性能。国外铜合金弹性带材弯曲疲劳性能早已引起足够重视, 并进行了深入的研究。因此，通过开展铜合金弹性带材弯曲疲劳试验方法的研究，推动铜合金弹性材料行业进步，制定技术标准，在未来的产业发展中将会产生巨大的经济效益。

国外研制新的铜基弹性材料时, 均要考虑疲劳等综合性能, 甚至有的材料宁可牺牲一点强度来换取较高的疲劳性能, 以获得优良的使用性能。在对材料进行大量疲劳试验的基础各国先后公布了带材弯曲疲劳试验方法标准, 并研制和生产了相应的带材弯曲疲劳试验机。我国至今未有铜合金弹性材料弯曲疲劳试验方法标准, 国内现有的旋转弯曲和拉压疲劳试验法均不适用。目前国内未见报道铍青铜和锡磷青铜的反复弯曲疲劳性能数据, 以及对疲劳性能的好坏, 只有定性的概念。

国内一些单位在开发新的铜合金带材时, 只能做某种模拟疲劳试验。因此, 得出的数据虽可说明一些问题, 但对于一种材料来说, 则缺乏通用性和代表性。各个材料之间无法比较, 难于作出正确的评价, 这就直接影响了新材料的开发工作。因此，开展铜合金弹性带材疲劳试验方法的研究，制定方法标准是非常必要的。

2、标准预期的作用和效益

标准颁布实施后，将推动铜合金弹性材料行业进步，制定技术标准，在未来的产业发展中将会产生巨大的经济效益。铜合金弹性带材弯曲疲劳试验方法标准的制定更好地适应了我国国防军工和工业的发展需求，促进我国高弹性、铜合金材料研发生产。

六、标准水平

1、采用国际标准和国外先进标准的情况

无

2、与国际标准及国外同类标准水平的对比

弹性铜合金带铍青铜、锡磷青铜、镍硅青铜等因其足够的强度、优良的弹性及良好的导电性, 已经广泛地用于制造电子元器件, 如开关、继电器、接触器、接插件的各种簧片等。这些元器件要接受成百成干甚至数百万级的反复操作,有的文献甚至提出要考虑设计寿命达40年。在上述使用条件下,元器件的可靠性在很大程度上要取决于材料的疲劳性能。国外铜合金弹性带材弯曲疲劳性能早已引起足够重视, 并进行了深入的研究。美国材料协会颁布了ASTM B593 铜合金弹簧材料弯曲疲劳试验的标准试验方法，日本颁布了JIS Z2275-1978 金属板平面弯曲疲劳试验方法。与此两种方法相比核心内容与国际标准一致。在不改变原有标准技术指标的情况下，增加了部分内容优化了试验步骤，以使标准符合国情，更具有操作性。标准颁布实施后，将推动铜合金弹性材料行业进步，制定技术标准，在未来的产业发展中将会产生巨大的经济效益。铜合金弹性带材弯曲疲劳试验方法标准的制定更好地适应了我国国防军工和工业的发展需求，促进我国高弹性、铜合金材料研发生产。

本标准的制定填补了国内空白，达到国内领先水平。

七、与现行法律、法规和强制性国家标准的关系

本文件与现行法律、法规相协调、无冲突。相关领域内没有强制性国家标准。

八、重大分歧意见的处理和依据

无重大分歧。

九、标准作为强制性或推荐性国家（或行业）标准的建议

建议本文件为推荐性国家标准。

十、贯彻标准的要求和措施建议

无

十一、废止现行有关标准的建议

无。

十二、其它应予说明的事项

无。

《铜合金弹性带材平面弯曲疲劳试验方法》国家标准起草组

 2023年4月