《铜及铜合金带、箔材弹性弯曲极限试验方法》—编制说明（送审稿）

一、工作简况

1.1任务来源

根据《工业和信息化部 2022 年第二批行业标准制修订和外文版项目计划》【工信厅科函〔2022〕158号】文件，《铜及铜合金带材弹性弯曲极限试验方法》行业标准（计划号： 2022-1024T-YS），由宁波博威合金板带有限公司、绍兴市特种设备检测院、安徽鑫科新材料股份有限公司、绍兴市质量技术监督检测院、有研工程技术研究院有限公司、宁波兴业盛泰集团有限公司、宁波金田铜业（集团）股份有限公司、浙江惟精新材料股份有限公司、凯美龙精密铜板带(河南)有限公司、苏州金江铜业有限公司等负责起草，完成年限为2023年。

本文件立项名称为《铜及铜合金带材弹性弯曲极限试验方法》，适用范围为铜及铜合金带材，为覆盖厚度0.05mm以上的箔材的测试需求，将标准名称更改为《铜及铜合金带、箔材弹性弯曲极限试验方法》，本文件规定了一种测定铜及铜合金带材弹性模量（E）和弹性弯曲极限σFB试验方法。

1.2立项目的和意义

为了提高铜合金带材的质量和市场竞争力，国内和国际市场高端客户对铜合金力学性能指标要求越来越高。传统的抗拉强度、屈服强度和延伸率已不能满足高端客户的需求。由于带材在应用领域都会涉及弯曲等问题，因此，对于铜及铜合金弯曲下的性能指标就显的尤为重要。其指标之一弹性弯曲极限（σFB）目前国内各行业均无统一的检测方法。目前，检测弹性弯曲极限需送到德国相关检测机构进行测试。

本标准制定的目的，主要是规定汽车连接器电子元器件、5G通信电子元器件、航空航天用电子元器件用铜及铜合金带材弹性弯曲极限测试方法，为判定汽车连接器电子元器件、5G通信电子元器件、航空航天用电子元器件用铜及铜合金带材产品弯曲性能优劣提供判定依据。目前，在高性能铜合金带材生产和研发上，博威合金开发了铜铬锆合金、铜镍锡合金、铜镍磷合金、铜镍硅钴合金、铜锡磷合金、铜锡镍硅合金等系列、60多个牌号的高精度、高性能合金板带，具有优异的物理性能、机械性能、折弯性能和加工性能，以及更好的公差控制、表面光洁度、抗热应松弛、高温软化、抗疲劳性能，广泛应用于汽车电子、5G通讯、消费电子、引线框架等领域。

因此，本标准的制定，对于促进我国高性能铜合金及汽车电子和通信电子产业具有重要的意义。本标准的制定有助于铜加工产品转型升级和国产化应用，并促进新产品、新技术发展，利于电子信息发展和产业化，提升高端铜合金材料供给质量和水平，符合工信部《关于促进制造业产品服务质量提升的实施意见（工信部科[2019]188号）》文件 第三章 增强质量提升动力 第七条 发挥标准带动作用的规定，和《促进制造业产品和服务质量提升的实施意见》解读（四）加快重点产业质量提升：“对于原材料工业，以提高产品质量的稳定性、一致性和耐久性为基础，增加高性能、功能性、 差别化产品的有效供给”。

1.3主要参加单位和工作成员所作的工作

本标准的负责起草单位**宁波博威合金板带有限公司**，是国家技术创新示范企业、国家级制造业单项冠军示范企业，拥有国家认定企业技术中心、国家级博士后科研工作站、国家认可实验室、国家地方联合工程研究中心等。先后承担国家“十四五”重点研发计划项目、国家“十三五”、科技支撑计划等项目，迄今已获得198项国内外发明专利，主持、参与我国国家、行业标准制修订工作26项，引领我国有色合金新材料行业持续发展。博威合金致力于有色合金新材料的研发和生产,服务于半导体、超大规模集成电路、5G/6G通讯、航空航天、高铁、船舶、新能源汽车等30多个行业，打破了多项国外企业对高端合金领域的垄断，解决了新材料“卡脖子”问题，助推我国产业升级。公司在有色合金新材料领域多种新材料的成功研发及产业化，为起草本行业标准提供了有力的技术支撑，具备了起草本国家标准的技术基础。

**绍兴市特种设备检测院**，是全市唯一一家特种设备综合性检验检测机构，主要从事全市辖区内15万余台（套）锅炉、压力容器、压力管道、电梯、起重机、场（厂）内机动车辆等特种设备安全性能监督检验检测及特种设备作业人员考试工作。机构拥有国家市场总局核准的特种设备甲类综合检验机构资质，核准项目39项，资质认定8大类32个项目，检验机构认可和实验室认可21个领域92个项目。全院设12个部门，员工180人，其中博士3人，硕士48人，高级职称37人，持有各类检验师证150本，各类无损检测证132本，其中Ⅲ级证12本。总建筑面积17000平方米，其中实验室面积约3100平方米，资产总额9927万元，其中检测装备总额约5000多万元。

**安徽鑫科铜业有限公司**成立于2016年11月08日，注册资金45000万元，是安徽省最大的精密电子铜带的生产厂家。隶属于安徽鑫科新材料股份有限公司，位于安徽省芜湖市经济技术开发区鑫科工业园，工业园占地300亩。安徽鑫科铜业有限公司是专业生产高精度电子铜带的加工企业，主导产品为高精度锡磷青铜、白铜、黄铜、框架材料、电镀材、热镀材等系列带材。产品畅销国内外，目前是世界连接器制造商泰科电子、莫仕等国际一流企业的战略合作商，产品出口美国、东南亚等国家及地区。

安徽鑫科铜业有限公司是国家级高新技术企业、拥有安徽省企业技术中心，安徽省铜合金材料加工工程研究中心,安徽省博士后工作站。2017年，被中国有色金属加工工业协会评为中国铜板带前三强企业。2021年新能源汽车用高精度铜带车间被认定为安徽省数字化车间。精密带材关键参数智能精准测量装置获得安徽省第八届工业设计大赛一等奖，鑫科智能制造工业互联网平台获批安徽省工业互联网平台。公司自成立以来，不断加大技术研发和投入，公司拥有多项省级以上科技成果，现有专利55项，其中发明专利15项，实用新型专利40项。主持和参与起草国家及行业标准35项，其中国家标准21项，行业标准14项，主导起草的《GB/T37568-2019铜及铜合金镀锡带》和《GB/T 26007-2017弹性元件和接插件用铜合金带箔材》被全国有色金属标准化技术委员会评为技术标准优秀奖二等奖和叁等奖。

绍兴市质量技术监督检测院，位于绍兴国家级检测试验科研基地内，占地90多亩、建筑面积9.6万平方米，是集检测、校准、测试、培训于一体的综合性技术机构。基地位于绍兴滨海新城核心地块，紧靠嘉绍大桥连线南出口，交通十分便利，地理位置优越。

本院目前拥有国家有色金属加工产品质量检验中心（浙江）、国家环保设备质量检验中心（浙江）、国家纺织化学品质量检验中心（浙江）（筹）三个国家中心。此外，本院还拥有5个浙江省级检验中心（纺织品与染化料产品质量检验中心、制冷配件设备质量检验中心、环保设备质量检验中心、有色金属及其加工产品质量检验中心、纺织机械产品质量检验中心）。

本院下设办公室、人事科、技术质量科、事业发展科、纺织化工科、机电轻工科、材料建工科、民生计量科、产业计量科、产品质量鉴定科、质量技术基础研究所11个科室。拥有各类测量设备2000余台套，设备原值8000余万元。检测能力覆盖环保设备、金属材料、纺织与染化料、化工、通用机电设备、制冷配件、建设工程材料、消防工程、智能化工程、橡塑制品、家用电器、电线电缆、轻工产品、黄金珠宝、空气与水环境、食品相关产品等十九大类2000多个产品，并通过国家实验室认可和国家级、省级资质认定。

我院从2013年开始参与全国有色金属标准化技术委员会工作以来，为主或参与国家/行业标准制修订20多项，其中近10项标准水平达到国际先进水平、4项获有色标委会年度技术标准优秀奖。

**有研工程技术研究院有限公司**是国务院国资委管理的中央企业有研科技集团有限公司（原北京有色金属研究总院）的二级全资子公司。2018年1月11日在北京市怀柔科学城注册成立，承继了集团全部材料类研发资产和资质。主要从事有色金属新材料战略高技术和前沿技术研发，产业化关键技术和行业共性技术开发，中试生产和成果孵化转化。拥有有色金属材料制备加工国家重点实验室、智能传感功能材料国家重点实验室、国家有色金属新能源材料与制品工程技术研究中心、军用有色金属材料多品种小批量科研生产基地等四个国家级创新平台，担负国家第二批“大众创业、万众创新”示范基地的建设任务；下属单位历史上先后为“两弹一星”、“神舟飞船”、“载人航天”、“探月工程”等国家重点工程和有色金属行业提供了一大批新材料、新工艺、新技术和新设备，为我国有色金属工业体系建立和国防建设提供了强有力的科技支撑。

**宁波兴业盛泰集团有限公司**（以下简称兴业盛泰）位于宁波市杭州湾新区，占地面积28万平方米，建筑面积15万平方米，是一家专业研究、生产高精度铜及铜合金板带的现代化集团公司，也是中国高精度铜板带行业的领先制造商。公司一直致力于高精度铜板带的专业化研究、生产、销售，先后通过ISO9001和TS16949质量管理、ISO14001环境管理和OHSAS18001职业健康安全管理体系，其“三环”品牌荣获“中国名牌”称号，是中国该领域仅有的三大“中国名牌”之一，公司是宁波杭州湾新区国家级高性能金属新材料基地的核心企业，于2012年被中国有色金属加工工业协会评为中国铜板带十强企业，先后获得国家高新技术企业、宁波市高成长企业、浙江省工业行业龙头骨干企业、宁波市信息化和工业化深度融合示范企业、宁波市810实力工程企业等荣誉称号，同时还是中国有色金属加工工业协会的副理事长单位、中国有色金属学会理事单位、上海有色金属学会副会长单位等，2015年“超大规模集成电路引线框架用铜带的产业化”列入国家火炬计划专项。

兴业盛泰的主要产品有：高精度锌白铜带、集成电路引线框架铜带、高精度锡青铜带、高精度紫铜板带、高精度黄铜板带、高精度高铜铜带、高精度铜锡锌铜带等8大系列60多个牌号，是目前国内铜板带品种系列最全的生产企业之一。拥有水平连铸生产线11条，半连续铸造生产线10条，形成年25万吨的供坯能力，拥有热轧、粗轧、中精轧生产线多条，形成年产15万吨生产能力，连续3年稳居国内高精度铜合金板带产销量的首位。

先后承担国家“863”课题、国家发改委“双高一优”、国家发改委、工信部的“产业振兴和技术改造专项”以及科技部“十三五”“十四五”等重大项目；经过多年的发展及技术积累，兴业盛泰在高精度铜合金板带领域取得了多项研究成果和创新技术，在行业多个细分领域内占据市场“领头羊”的地位。近三年参与制修订国家和国家行业标准13项，企业拥有全部有效专利50余项，其中获得发明专利授权35项。

**宁波金田铜业（集团）股份有限公司**（证券代码：601609）建于1986年10月，专注铜加工三十余年，是全球领先铁铜及铜合金材料供应商，致力于为5G通讯、新能源汽车、轨道交通、电力物联网、智慧城市等战略性新兴产业发展提供铜材综合解决方案，形成了产业链完整、规模优势显著、产品种类齐全的竞争优势。公司立足宁波，放眼世界，持续推进全球化布局，在香港、美国、德国、日本等地设立子公司，建立全球供应链体系和销售网络，为国内外客户提供铜产品一站式的采购服务。公司建立了国家级企业技术中心、国家级博士后科研工作站和国家认可实验室，拥有国内外先进的全谱等离子体发射光谱仪、超高矫顽力永磁测量仪等先进检测仪器设备。并聚焦重点应用领域关键材料与技术，研发高强、高导、高精度的新型高端铜合金新材料，推动产品升级，打造技术竞争力。目前已拥有授权发明专利100多项，主持、参与国家/行业标准制订30余项，获得国家级、省部级科技进步奖10余项。2021年公司铜及铜合金材料总产量150多万吨，继续保持行业龙头地位。公司积极履行社会责任，长期恪守“生态重于生产”的环保理念，积极响应国家“碳达峰”、“碳中和”的战略目标，投入大量资金用于环境保护、节能降碳和生态建设，已成为行业内发展循环经济的典范，被授予国家循环经济试点单位、国家绿色示范工厂等荣誉。

**浙江惟精新材料股份有限公司**成立于2017年7月，位于浙江绍兴市杭州湾上虞经济技术开发区，是由国内高精度铜合金板带行业的多位资深人士与技术专家发起成立的股份有限公司。公司注册资本47660万元，占地13.2万平方米，建筑面积9.4万平方米，一期总投资10亿余元 ，项目一期建成达产后，年产各类高性能铜合金板带100000t。

惟精产品定位于研发生产各类高性能新型铜合金板带材，主要产品包括高性能的铜镍锌合金、铜锡磷合金、铜钛合金、铜铬锆合金及高纯无氧铜板带材，产品各项工艺技术与性能达到国际先进水平。产品广泛应用于电子信息、汽车船舶、高端装备、电力电气、航空航天等国家支柱产业。惟精引进了欧美和日本等国际先进设备，并在国外先进技术的基础上进行吸收、升级、创新，各类核心设备有德国SCHLOEMANN热轧机、日本IKUTA铣面机、美国UNITED-ALCOA初轧机、瑞典Outo Kumpu精轧机、德国WSP连续退火炉、日本IKUTA拉弯矫直机、美国STAMCO分剪机、意大利SALICO分剪机、意大利FIMI-SALICO分剪机、德国WALDRICH轧辊磨床等。惟精具有理化检测设备20多台套，其中进口光电直读光谱仪进行化学成份分析检测；拉力试验机、硬度计、折弯机、杯突试验机、粗糙度仪、导电率仪、金相显微镜、软化点试验炉等进行材料物理及机械性能的检测；盐雾试验机、高温氧化试验炉、高倍显微镜进行材料表面特性的检测，为了保证产品生产过程能够得到有效控制，公司同时配备了石油产品运动粘度试验器、石油产品颗粒计数器、铜片腐蚀试验器、石油产品开口闪点和燃点试验器、紫外分光光度计等10余台先进检测设备进行生产过程工艺清洗介质及工艺润滑介质品质的检测，严把产品质量关。 惟精通过了ISO14001环境管理体系、ISO45001职业健康安全管理体系、IATF16949质量管理体系、ISO9001质量管理体系。

惟精将秉承“信赖与担当、激情与奋斗、学习与创新”的价值观，坚持以客户为中心，通过完善的产品和服务体系，与客户建立相互信任、共同成长的长期战略合作关系，努力创建最值得信赖的铜合金板带箔专业提供商。

**凯美龙精密铜板带（河南）有限公司**（以下简称KMD）成立于2013年9月，位于新乡市人民西路282号。2022年河南省头雁培育企业，省“专精特新”中小企业，第四批国家 “专精特新”小巨人，国家两化融合贯标试点单位。拥有河南省精密铜合金板带工程技术研究中心等多个研发平台，参与起草铜板带相关国家标准15项，授权专利18项，承担着国家科技部十三五重点研发计划、省市重大科技专项等项目，取得了重大突破，如铜镍硅合金新工艺、热浸镀锡产品等。

KMD主要生产新型高强、高导、高弹、高精度、低残余应力的铜镍硅、铜铁磷、铜镁磷等合金大卷重铜板带及热浸镀锡铜合金板带及箔材，是国家 “工业强基”关键材料，已实现部分进口替代，其中热浸镀锡产品填补国内空白，连续多年国内市场占有率第一，被列入河南省“五基”基础材料扩能提级攻坚重点突破领域的高性能合金材料，也是河南28个产业链中铜产业链的关键材料。广泛应用于汽车端子连接器、精密接插件、高端电子元器件、大规模集成电路、高密度引线框架的制造等领域。

在管理体系方面，已获得SGS颁发的ISO9001:2015质量管理认证、IATF 16949:2016汽车质量管理体系认证、ISO14001:2015环境管理体系、ISO 45001:2018职业健康安全管理体系。为贯彻落实“中国制造2025”战略和国家《两化融合专项行动计划》，推进两化（信息化和工业化）深度融合，根据国家、省、市的统一安排和公司发展需要，公司于2018年着手引入两化融合管理体系，并先后获得“2018年两化融合管理体系贯标试点”及“河南省级制造业与互联网融合发展试点”。2019年11月公司获取两化融合管理体系证书。KMD坚持面向国家重大需求，秉承“卓越品质，使KMD成为连接用铜带行业的顶尖供应商”的发展理念,与北京科技大学、河南科技大学、河南省科学院等开展紧密的产学研用合作，在新产品、新工艺方面不断取得突破，打破国外垄断，实施进口替代。

**苏州金江电子科技有限公司**（以下简称金江公司）主要从事电子通讯用铜合金材料及元器件研发和生产制造。主要应用于航空航天、军工领域，主要产品也同时广泛应用于民用电子通讯行业及新能源电池及放射医疗设备行业。连续九年被评为江苏省高新技术企业；也是江苏省博士后创新实践基地；中南大学在金江公司成立了产学研基地，苏州市高新能合金新材料工程技术研究中心也落户在金江公司。

金江公司从成立之初就坚持自主研发、国产替代产品研发生产。拥有对应实际技术和产品发明专利34项，实用新型专利10项，授权商标1项。独家负责制定五项国家标准和国家有色金属行业标准，四项已由国家工信部发布实施，一项为工信部高性能材料专项。C17300易切削铍铜棒被评为专精特新产品。

金江公司技术和产品处于行业国际先进水平，先后实现了三种“卡脖子”高性能铜合金材料的首家国产化进口替代，承担国家科技部《航天航空器、导弹元件用高纯高铍铜带、铍箔、铍铝合金制造的合作研发（秘密）》（编号：2014DFR50530 ）国际科技合作专项，

铍铜微丝的研发和生产在金江公司取得了国产化装备配套的成功突破，2021年，中国航天工业集团中航光电股份有限公司破例授予公司“战略供应商”资格。

标准的主要起草人工作分工如下：

表1 标准编制组成员及职责

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 序号 | 起草人姓名 | 职责及分工 |
| 1 | 张明 | 负责整体工作指导、工作协调 |
| 2 | 陈纪东 | 负责标准框架搭建、整合、编制，检测方案的制定、测试及执笔 |
| 3 | 孟祥鹏 | 负责人员组织协调、方案审定 |
| 4 | 许丁洋 | 负责与秘书处、各单位对接，参与方案及测试结果讨论及制定 |
| 5 | 余焕伟、黄翔 | 协助标准方案制定、试验方法调研、资料搜集、数据收集等。 |
| 6 | 王琳 | 负责标准测试方法的执行 |
| 7 | 王生、刘爱奎 | 负责标准编写结构及工作协调 |
| 8 | 吴存慧、裘桂群、韩坦、沈忠昀 | 负责数据收集和指标验证，参加标准讨论、指标确定 |
| 9 | 彭丽军、苑和锋、郑芸、孙晓丽、鲁长建、杜锡勇、唐艳同、茆耀东 | 负责对比样品的测试，对标准内容进行审查，参与标准讨论。 |
| 10 | 冯丽婷、高文栋 | 负责数据收集和指标测试 |

1.4 主要工作过程

1.4.1预研阶段

根据客户市场端的需求，宁波博威合金板带有限公司从2018年2月起开始对该标准进行前期调研工作，通过对国内外相关标准的检索，设计工装，引进设备，内部对该检测方法进行立项研究，在本标准项目论证前已经积累了足够的检测数据以确保能够按时完成该项目。

1.4.2任务落实

在2019年12月，有色标委秘书处召开网络会议组织铜合金带、箔材相关企业会议对该项目进行任务落实。会后，根据会议精神，宁波博威合金板带有限公司对参与单位发函进行设备及可提供的样品等信息进行调研。

1.4.3标准立项

标准项目于2020年11月桐乡标准年会上提交全体委员会议讨论、申请立项，并与2022年7月下达标准计划。

1.4.4起草阶段

接到标准起草任务后，宁波博威合金板带有限公司、宁波博威合金材料股份有限公司立即成立了标准编制小组，主要由检测中心、技术部、研发中心等技术人员组成。首先整理各国的测试标准，经综合研究、分析、整合调查的资料，对铜及铜合金弹性弯曲极限的试验方法、工装夹具、测量装置等进行了反复试验、检测、验证和确定。开始了本标准的起草工作，经过编制小组多次内部讨论及广泛征求意见，于2021年12月8日形成了本标准的《讨论稿》。此后，经过标准编制小组内分工协作、试验、验证，以及多次内部讨论和广泛征求意见，于2023年3月形成了标准预审稿。2023年3月28日，在衡阳标准会议，各位专家对标准的预审稿、编制说明进行了总结和讨论，针对各家反馈的意见，经编制组讨论研究，提出具体修改意见及采纳情况。根据预审会议意见，编制组单位征集各单位样品进行测试验证，组织各单位寄送样品分别给博威、兴业、金田进行验证，并完成标准征求意见稿。

1.4.5征求意见阶段

通过网络和微信发送至标委会会员单位、非会员单位以及相关院校。共计28个，其中会员单位26个，占92.9%；非会员单位2个，占7.1%；科研院所、检测机构5个，占17.9%。编制组根据反馈的意见（详见《征求意见汇总处理表》），对标准进行修改和完善，于2023年8月10日形成了标准《送审稿》及《编制说明》。

1.4.6审查阶段技术专家审查

2022年X月XX～XX日在XX省XX市，由全国有色金属标准化技术委员会主持，召开了《XXX》标准审定会，共有xx个单位的xx名专家（详见有色金属标准审定会专家签名表）参加了会议。【这个单位数和专家数，是审定会上的那张专家签字表，不要数错了】

与会专家对 《XXXX》标准的送审稿进行了认真审定，提出了xx条修改意见，编制小组会后按照专家的修改意见进行了修改，完善了《送审稿》及《送审稿编制说明》。

1. 委员审查

20xx年xx月xx日，全国有色金属标准化技术委员会在XX省XX市召开了全体委员会议。全国有色金属标准化技术委员会重金属分技术委员会（SAC/TC243/SC2）全体委员共计 66名，实际参与投票工作 XX名。会议经过认真的讨论，对《xxxx》标准制修订程序、征求意见的过程以及技术内容的确定等多方面进行了仔细审查。与会XX名委员全体投票通过，同意该标准《送审稿》及和《送审稿编制说明》通过审查，无修改意见，表决通过率为100%。

1. 委员电子投票【国标写，其他不写】

20XX 年X月X 日至X 月X 日，由全国有色重金属标准化分技术委员会在全国专业标准化技术委员会工作平台发起了《XX》报批稿及编制说明委员投票，该委员会有委员 66人，xx 人投赞成票，不赞成为零和弃权票为0，其余未投票，投赞成票率为 xx%。

1.4.7报批阶段

标准编制组对标准文本和编制说明进行完善，形成标准报批稿报送至全国有色金属标准化技术委员会（SAC/TC243）秘书处，上报至行标为：工业和信息化部审批、发布。

二、编制原则

本标准起草单位自接受起草任务后，成立了本标准编制工作组负责收集该测试方法的相关信息。确定了《铜及铜合金带、箔材弹性弯曲极限》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）根据国内铜及铜合金板带生产企业具体情况，力求做到标准的合理性与实用性；

3）完全按照GB/T 1.1和有色加工产品标准和国家标准编写示例的要求进行格式和结构编写。

三、标准主要技术内容的确定依据及主要试验和验证情况分析

1标准题目与适用范围

本文件立项名称为《铜及铜合金带、箔材弹性弯曲极限试验方法》，适用范围为铜及铜合金带材，为覆盖厚度0.05mm以上的箔材的测试需求，将标准名称更改为《铜及铜合金带、箔材弹性弯曲极限试验方法》，本文件规定了一种测定铜及铜合金带材弹性模量（E）和弹性弯曲极限 σFB试验方法。

本次共验证了多少试验，覆盖了铜、高铜、黄铜、青铜、白铜各类铜及铜合金，厚度范围从0.044~1.0mm。因此本文件适用于厚度为0.05mm~1.0mm的铜及铜合金带、箔材的弹性模量和弹性弯曲极限测试。

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，仅所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 10623-2008 金属材料 力学性能试验术语

GB/T 16825.1-2022 静力单轴试验机的检验 第1部分：拉力和（或）压力试验机测力系统的检验与校准

3术语与定义

GB/T 10623界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

弹性弯曲极限 spring bending limit

σFB

在不超过给定的塑性变形的情况下，材料所承受的最大弯曲应力值。

3.2

挠度 deflection

s

试样在受力时，试样中间在垂直于中间方向的线位移。

3.3

强制挠度 permanent deflection

S

试样放置在支撑件上，人为在试样中部施加载荷产生的挠度。（见图1中b）。

3.4

残余挠度 residual deflection

Sc

卸除强制挠度后试样残余的挠度。（见图1中c）。



F

 a)自由放置 b)加载 c)卸载

标引说明：

1——施力压头；

2——试样；

3、4——支撑件；

F——负载。

图1 弯曲弹性极限测试示意图

4 试验原理

本方法利用三点弯曲的形式，试样支撑在靠近测试样品端部的两个支撑件上，并且在支撑件之间的中间施加负载。通过测量弹性挠度确定弹性模量，测量残余挠度对应的强制挠度确定弹性弯曲极限。

5 试验设备

试验设备由样品支撑架（见图 2）、施加压头（见图 2）、试验机、激光测距仪组成。

5.1样品支撑架

样品支撑架（见图2）为两个相同的支撑件组成，支撑架的宽度应大于10.2mm，与试样接触的支撑边缘截面为60°角的三角形，边缘半径小于0.03mm。在支撑架下方装有滑轨，两个支撑件可以相向运动，两支撑件间距离在0.1mm-100mm的范围内连续可调，调整精度0.02mm。激光测距仪始终保持在两支撑架中心位置，与加载轴线一致。

本标准的样品支撑架参照欧标EN 12384:1999进行设计，另外本标准细化了支撑架实现移动的方式，即在支撑架下方装有滑轨，可利于实现机械控制两个支撑件相向运动，使两支撑件间距离在0.1mm-100mm的范围内连续可调，并保证调整精度以及两支撑架位置对称。

5.2施力压头

施力压头（见图2）为头部为90°且光滑平整的压块，压块上端连接传感器，下部尖端处对试样施加向下的压力。压头应位于支撑件中心。较欧标EN 12384:1999，本标准增加了压头形状的规定，确保测试的规范性和一致性，提高产品质量和可比性。



图2 试验工装示意图

5.3试验机

本标准较欧标EN 12384:1999增加了试验机的规定，为满足测试精度，对力传感器的量程及试验机位移控制精度提出要求。试验机的测力系统应按照GB/T 16825.1-2022进行校准，并且其准确度应为1级或者优于1级。传感器力值不应超过100N。试验机应能实现施力压头位移控制，位移精度不低于0.02mm。

5.4激光测距仪

欧标EN 12384:1999中未对挠度测试设备做具体要求，只规定挠度测试误差不得超过2μm。本标准根据目前挠度测试装置调研及通过对试验过程中操作可行性研究，确定使用激光测距仪来测试挠度，测试过程中与试样无接触，减少试验偏差，且设备精度高（验证试验用米依ILD2300-2激光测距仪，分辨率0.03μm，标称绝对误差≤±0.6μm），可明显提升测试精度。本标准规定了挠度值应在支撑架中心部位测量，测量时不应与试样接触，测量误差不应超过±0.002mm。测量挠度用的激光测距仪的误差不应超过±0.001mm。

6 试样

6.1 试样的切取与制备

6.1.1 因不同方向铜及铜合金的试样往往弯曲弹性极限性能有差异，在标准中对试样截取方向进行规定。试样应从带、箔材上轧制方向截取，当客户有要求时，可从其它方向截取，并在报告时予以说明。

6.1.2 铜合金的状态改变将影响其弯曲弹性极限的最终测试结果，为规避加工过程对检测结果的影响，如加工过程过热或变形将改变样品的状态，从而影响其弯曲弹性的最终结果，通常采取切割或铣削方式加工试样，并保持样品的原始状态，尽量避免试样过热和加工硬化对试验结果产生影响，且制样过程中不应拉直和弯曲试样，不应进行可能改变其应力状态的矫正。

6.1.3 为确保对弯曲弹性极限的检测结果最接近原始样品，规避其他因素对测试结果的影响。完成加工的试样应平整，无油污、氧化层，无毛刺，表面无划伤及其他人为或机械损伤。

6.2 试样的尺寸

6.2.1 参照欧标EN 12384:1999，由于技术和计量的原因，根据试样的厚度分为A、B区间，试样尺寸应符合表2的规定。

表2试样尺寸

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 区间 | 厚度（t）mm | 宽度（w）mm | 长度（L）mm |
| A | 0.050～＜0.100 | 10.00+0.05 | 50 |
| 0.100～0.200 | 60 |
| B | 0.150～＜0.300 | 70 |
| 0.300～1.000 | 150 |

6.3 试样的数量、标识及使用

6.3.1从同一件样品应至少取四个试样，应明确标识带、箔材的正面和反面。不同表面（正面、反面）各测量两个试样。为规避其他因素的影响，保证测试结果的正确性，并参照欧标EN 12384:1999标准的规定，通常选择至少4个平行样（均属于同一件样品），其中正面、反面各个方向的样品至少各测试两个试样。顶部、底部参考试样的自然曲率来确定，纵向弯曲的带、箔材凸面表示为正面，凹面表示为反面，测试前对试样的正面、反面做明显标识。

6.3.2测量弹性模量的变形在弹性阶段，同一试样的弹性模量可以多次测量。为确定弹性模量而已经测试的试样可用于测试弹性弯曲极限，但由于试样的弹性和塑形特性因测试试样的弹性和塑形特性而改变，因此测试弹性极限的试样只能使用一次。

7 试验环境条件

铜合金的再结晶温度高，一般低于50℃的试验环境对测试结果均无影响，如无特殊规定，试验应在10℃~35℃的温度范围内进行。有些客户对测试温度要求较为严格，此时试验应在（23 ± 5）℃进行。

8 试验步骤

8.1 试验准备

由于试样的宽度和厚度参与计算，特别是厚度在计算弹性模量时提高到三次幂，应保证测量精度，另外本标准中为保证测试数据稳定，增加了对试样厚度及宽度偏差的要求。本标准规定在支撑间距范围内至少测量试样的三个位置的尺寸（厚度t和宽度w），厚度精确到0.001mm，宽度精确到0.01mm。试样要求厚度均匀，同一片试样上厚度偏差不超过0.002mm，宽度偏差不超过0.05mm，并取三次测量的平均值。

8.2 弹性模量的测定

8.2.1 测量弹性模量时的弹性挠度应在支撑架中间位置进行测量。在试样加载时测量挠度。测量误差应不超过0.002mm。

8.2.2测量弹性模量时，其支撑间距按照表3要求进行：

表3 不同样品区间对应测量弹性模量试验条件

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 区间 | 支撑间距l/mm | 负载F/N |
| A | 215.4×t  | 0.098±1%  |
| B | 100×t | 0.98±1%  |

当试样厚度小于0.07mm时，可以使用弹性模量理论值或者其他方法测得的弹性模量值来计算弹性弯曲极限。

8.2.3试样应对称放置在支撑架上，该位置为挠度测量的零位。给试样加载，测量由规定荷载（见表2）产生的强制挠度S，并记录。

8.2.4 将所测挠度值按照公式（1）计算弹性模量。计算结果精确到1000MPa。

 $E=\frac{F}{4×ω×s}×\left(\frac{l}{t}\right)^{3}$$E=\frac{F}{4·w·s}×\left(\frac{l}{t}\right)^{3}$ …………………… (1)

其中：

 E——弹性模量（杨氏模量），单位为牛顿每平方毫米（N/mm2）；

 F——载荷力值，单位为牛顿（N）；

 l——支撑间距，单位为毫米（mm）；

 s——按表3负载产生的挠度值，单位为毫米（mm）；

 t——试样的厚度，单位为毫米（mm）；

 w——试样的宽度，单位为毫米（mm）。

8.2.5在四个试样上分别测试弹性模量值，取平均值作为材料的弹性模量。

8.3弹性弯曲极限的测定

分两种情况测量弯曲弹性

8.3.1 残余挠度的测定

测量弹性弯曲极限时的残余挠度应在支撑架中间位置进行测量。在试样卸载时测量挠度。测量误差应不超过0.002mm。

8.3.2强制挠度的测定

8.3.2.1试样应对称放置在支撑架上，该位置为挠度测量的零位。按照公式（2）计算得到支撑间距l。

 $l=100\sqrt{k×t}$ …………………… (2)

其中：

k——为常数，为0.8mm；

l——支撑间距，单位为毫米（mm）；

t——试样的厚度，单位为毫米（mm）。

8.3.2.2当材料具有很高的弹性弯曲极限（＞700MPa）时，支撑间距应按照公式(3)来计算，并取残余挠度为25μm的值为该试样的弹性弯曲极限。

$l'=100\sqrt{k'×t}$ …………………… (3)

 其中：

 k'——为常数，0.4mm

l'——支撑间距，单位为毫米（mm）

 t——试样的厚度，单位为毫米（mm）

8.3.2.3对试样施加一定的载荷，使之产生2mm的强制挠度，保持5s～10s后，卸除载荷并立即测试其残余挠度，测量时间应控制在5s～10s。然后以给定的增量（0.667mm）逐渐加载和卸载，每次试样卸载后测量残余挠度，直至残余挠度≥50μm。当试样弹性弯曲极限＞700MPa时，直至残余挠度≥25μm。

8.3.2.4测试完成后，用公式（4）计算强制挠度$S^{\*}$，用线性插值法求得：

$S^{\*}=S\_{2}^{\*}+\left(S\_{1}^{\*}-S\_{2}^{\*}\right)\frac{50-S\_{c2}}{\begin{array}{c}\&S\_{C1}-S\_{C2}\\\&\end{array}}$ …………………… (4)

其中：

$S^{\*}$——产生残余挠度50μm时的强制挠度，单位为毫米（mm）；

 $S\_{2}^{\*}$——倒数第二次荷载时的强制挠度，单位为毫米（mm）；

 $S\_{1}^{\*}$——最后一次荷载时的强制挠度，单位为毫米（mm）；

$S\_{C2}$——倒数第二个荷载下的残余挠度，单位为微米（μm）；

$S\_{C1}$——最后一个荷载下的残余挠度，单位为微米（μm）。

注：$S^{\*}$表示产生残余挠度25μm时的强制挠度时，公式（4）中的50替代为25计算。

8.3.3弹性弯曲极限的计算

8.3.3.1当弹性弯曲极限不大于700Mpa时：

 带、箔材的弹性极限σFB按公式（4）计算。

$σ\_{FB}=\frac{6·E·t·s^{\*}}{l^{2}\sqrt{1+17（\frac{S^{\*}}{l}）^{2.4}}}$ …………………… (5)

其中：

$σ\_{FB}$——弹性弯曲极限，单位为牛顿每平方毫米（N/mm2）；

E——用公式（1）计算得到的弹性模量，单位为牛顿每平方毫米（N/mm2）；

t——试样厚度，单位为毫米（mm）；

l——支撑间距，单位为毫米（mm）；

S\*——用公式（4）计算得到的强制挠度，单位为毫米（mm）。

附录A的表A.1是为了更好的计算弹性弯曲极限，将E0=100000N/mm2作为弹性模量代入公式（5）中得到公式（6）所获得$σ\_{FB\*}$。

$σ\_{FB\*}=\frac{6·t·S^{\*}·100000}{l^{2}\sqrt{1+17（\frac{S^{\*}}{l}）^{2.4}}}$ …………………… (6)

从表中获得值后：用E/E0，其中E是用公式(1)计算所得，就可以获得$σ\_{FB}$。

8.3.3.2当弹性弯曲极限大于700Mpa：

带、箔材的弹性极限σFB用公式（3）调整支撑间距，在残余挠度为25μm的基础上进行测量，用l'替代l后，用公式(5)计算弹性极限。

如使用该方法测试弹性弯曲极限，需在试验报告中注明。

8.3.4在四个试样上分别测试弹性弯曲极限，取平均值作为试样的弹性弯曲极限，结果精确到1MPa。

本标准关于对弹性模量、弹性弯曲极限的测定基本上参照EN 12384:1999，情况如下:

1）EN 12384:1999中对挠度测量设备之规定了挠度测量误差为2μm，本标准规定使用无接触的激光测距仪进行挠度测量，考虑各厂家激光测距仪间的偏差及设备投入成本等，挠度测量误差参照EN 12384:1999仍定为2μm；

2）EN 12384:1999中对加载速度未做要求，在给定强制挠度位置保持约1s，测量时间也未做要求。为保证测试的稳定性，本标准中延长了强制挠度的保持时间并规定了测量时间，另外根据试验，在保证保持时间的情况下不同的加载速度（1s/mm-25s/mm实验室现有设备限制测试速度）对试验结果无明显影响，故参照EN 12384:1999未做加载速度要求

3）当材料具有很高的弹性弯曲极限时（大于700Mpa），由于所使用的设备类型不同，可能在设备达到行程极限时也无法实现50μm的永久变形，参照EN 12384:1999处理方式对支撑间距进行调整，并调整为25μm的永久变形；

4）EN 12384:1999中可以使用相应的单个值计算对应试样的弯曲弹性极限，本标准中规定在四个试样上分别测试弹性模量值，取平均值作为材料的弹性模量；

5）相对于EN 12384:1999规定弯曲弹性极限修约至10MPa，为提高测试结果精度，本标准规定结果精确到1MPa。

9 试验报告

试验报告应包含以下信息：

1. 试样名称，牌号、状态、厚度；
2. 试验日期和温度；
3. 试样的取样方向（非轧制方向取样时）；
4. 弹性模量*E*的获得方式（非此方法获得时）；
5. 弹性弯曲极限σFB，如有要求，提供每次测量值并标注试样的测试面（顶部向上/底部向上）；
6. 弹性弯曲极限残余挠度（非50μm时）；
7. 本文件编号。

四、标准中涉及专利的情况

无。

1. 预期达到的社会效益等情况
2. 项目的必要性阐述

铜合金材料是我国有色金属工业的重要组成部分。经过多年的快速发展，我国已经成为全球主要的铜合金材料生产国和消费国之一，综合实力明显增强。面对复杂多变的国内外宏观经济形势和发展环境，国内铜合金材料企业的规模和实力在过去中有了长足进步，产品竞争力明显提升，应用领域不断扩大，国产化水平不断提高，从而减少了国内对进口铜合金材料的依赖。产业的转型升级、结构优化使我国铜合金材料行业整体呈现了持续、快速的发展态势。

根据有色金属工业协会发布的数据，2022年，铜合金带材229万吨，箔材80万吨，呈现持续增长态势。随着新能源汽车、5G、6G通讯、航空航天用连接器的快速发展，对于铜合金的弯曲性能要求也越来越高，弯曲弹性极限是衡量材料弯曲性能的重要指标。新材料的快速发展，需要有配套的检测方法与之相适应。为了便于上下游形成统一的共识，急需制定铜及铜合金弯曲弹性极限测试相关标准，满足铜合金带、箔材上下游客户的需求。

1. 项目的可行性阐述

——企业技术储备与技术水平、产业化情况、满足用户需求情况、市场规模；

宁波博威合金板带有限公司是我国高精度、高性能铜合金板带材研发制造领域龙头企业，研发的系列高性能铜合金材料，成功应用于航空航天、5G通讯及新能源汽车等领域。先后承担国家重点研发计划和地方科技项目课题10余项，在国家“十三五”重点研发计划项目的资助下，研发了系列接插件用高性能铜合金板带材，获有色金属工业科学技术一等奖1项，课题结题验收评价为优秀。

博威拥有国家认定企业技术中心、国家地方联合工程研究中心、国家认可实验室、国家级博士后科研工作站等平台；拥有熔铸、热轧、铣面、粗轧、中轧、精轧、高温连续固溶、拉弯矫、张力退火等高性能铜合金带材生产全套设备；其研发平台配置了电感耦合等离子体发射光谱仪、SEM、EBSD、XRD、原子吸收分光光度计、碳硫分析仪等完整的理化、组织、摩擦磨损检测仪器设备，完全能满足本项目研发需求。在本标准立项前，博威合金联合下游验证客户、设备厂家对该标准做了大量的验证工作。

——拟要解决的主要问题，相关标准情况，存在的问题，研制标准的意义。

本标准的制定可解决高端铜合金重要性能指标-弹性弯曲极限（σFB）目前国内各行业均无统一的检测方法。在本标准制定前，国际上只有EN 12384:1999规定了弹性弯曲极限的检测，检测该指标需送到德国相关检测机构进行测试，测试周期长、费用高。本标准制定的目的，主要规定了汽车连接器电子元器件、5G通信电子元器件、航空航天用电子元器件用铜及铜合金带材弹性弯曲极限测试方法，为判定汽车连接器电子元器件、5G通信电子元器件、航空航天用电子元器件用铜及铜合金带材产品弯曲性能优劣提供判定依据。

本标准的制定有助于铜及铜合金板带箔产品转型升级和国产化应用，并促进新产品、新技术发展，利于电子信息发展和产业化，提升高端铜合金材料供给质量和水平，符合工信部电子 [2021]5号《基础电子元器件产业发展行动计划》政策的要求。

1. 标准的先进性、创新性、标准实施后预期产生的经济效益和社会效益

该标准的实施，对于促进铜及铜合金带、箔材的质量提升，满足基础电子元器件产业对基础材料的需求，促进铜合金带、箔材的健康发展，发挥着重要的作用。本标准能够为电子元器件国产化及材料和设备仪器等基础电子产业发展，对推进信息技术产业基础高级化、产业链现代化，乃至实现国民经济高质量发展，具有重要的经济效益及社会效益。

1. 采用国际标准和国外先进标准的情况

本标准在参考EN 12384:1999标准的同时，在充分考虑试验的可操作性及测试精度的基础上编制完成，相关标准对比情况见下表：

表4 本标准与EN 12384:1999的对比

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 项目 | 本标准 | EN 12384:1999 | 标准水平分析 |
| 样品支撑架 | 0.1mm-100mm的范围内连续可调，调整精度0.02mm。 | 15mm-100mm内连续可调，调整精度0.1mm。 | 优于 |
| 施力压头形状 | 有规定 | 未规定 | 优于 |
| 试验机 | 准确度应为1级或者优于1级，位移精度不低于0.02mm。 | 无要求 | 优于 |
| 测量挠度设备 | 采用无接触的激光测距仪测量，测量误差不应超过0.002mm。的激光测距仪的误差不应超过0.001mm。 | 未规定挠度测量设备，测量误差为0.002 | 优于 |
| 试验环境条件 | 试验应在10℃~ 35℃的温度范围内进行。对温度要求严格的试验，试验温度应为（23 ± 5）℃。 | 试验应在18-28℃范围内进行。 | 优于 |
| 试样尺寸精度 | 厚度精确到0.001mm，宽度精确到0.01mm。同一片试样上厚度偏差不超过0.002mm，宽度偏差不超过0.05mm | 试样的厚度应在中间测量，精确到1μm。 | 优于 |
| 强制挠度的保持时间及测试时间 | 对试样施加一定的载荷保持5s～10s后，卸除载荷并立即测试其残余挠度，测量时间应控制在5s～10s。 | 无要求 | 优于 |
| 弹性弯曲极限的结果 | 精确到1MPa | 精确到10N/mm2 | 优于 |

通过与欧标对比，本标准达到国际先进水平。

1. 与现行法律、法规、强制性国家标准及相关标准协调配套情况

本标准符合现行法律、法规的要求，并与其他同类国家标准、国家J用标准、行业标准无冲突、重叠和不协调之处。

八、重大分歧意见的处理经过和依据

暂无。

九、作为强制性或推荐性国家标准的建议

本标准是铜及铜合金板带材行业弯曲弹性极限的通用标准，建议作为推荐性行业标准发布。

十、贯彻标准的要求和措施建议

为使标准能更好地发挥作用，提高铜及铜合金板带生产企业的控制水平，建议针对本标准制订切实可行的贯彻措施，做好宣传培训工作，使各相关单位充分掌握标准中所规定的检测方法，并加强示范推广，让标准在铜及铜合金板带的生产和使用过程中得以广泛应用。同时，对标准执行情况进行跟踪调查，及时发现标准执行中的问题，不断修改完善，提升标准水平，提高标准的科学性、合理性、协调性和可操作性，以保证产品质量，满足国内、外市场及用户的需要。

十一、废止现行有关标准的建议

无。

十二、其他主要内容的解释和其他需要说明的事项。

无。

 《铜及铜合金带、箔材弹性弯曲极限试验方法》行业标准编制组

 2023年08月10日

附表：

附表1： C70250 TM03 0.200mm 弯曲弹性极限测试值

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 测试员一 | 测试员二 | 测试员三 |
| 弹性模量GPa | 平均弹性模量GPa | 弯曲弹性极限MPa | 平均弯曲弹性极限MPa | 弹性模量GPa | 平均弹性模量GPa | 弯曲弹性极限MPa | 平均弯曲弹性极限MPa | 弹性模量GPa | 平均弹性模量GPa | 弯曲弹性极限MPa | 平均弯曲弹性极限MPa |
| 1 | 131 | 132 | 327 | 323 | 130 | 131 | 325 | 320 | 131 | 132 | 326 | 321 |
| 2 | 133 | 327 | 130 | 324 | 133 | 314 |
| 3 | 132 | 324 | 131 | 310 | 132 | 329 |
| 4 | 133 | 315 | 131 | 320 | 133 | 313 |
| 5 | 131 | 131 | 316 | 322 | 131 | 130 | 310 | 316 | 132 | 133 | 331 | 327 |
| 6 | 130 | 333 | 132 | 328 | 133 | 327 |
| 7 | 131 | 313 | 129 | 310 | 133 | 328 |
| 8 | 130 | 326 | 128 | 317 | 133 | 322 |
| 9 | 132 | 131 | 312 | 321 | 127 | 127 | 312 | 317 | 133 | 133 | 311 | 315 |
| 10 | 132 | 330 | 127 | 310 | 133 | 320 |
| 11 | 131 | 313 | 128 | 322 | 133 | 323 |
| 12 | 130 | 327 | 127 | 325 | 133 | 306 |
| 13 | 130 | 131 | 315 | 317 | 131 | 129 | 339 | 321 | 130 | 131 | 302 | 313 |
| 14 | 131 | 318 | 128 | 322 | 131 | 313 |
| 15 | 131 | 321 | 127 | 314 | 131 | 323 |
| 16 | 131 | 314 | 128 | 309 | 131 | 315 |
| 17 | 131 | 131 | 308 | 317 | 129 | 128 | 334 | 326 | 131 | 131 | 318 | 316 |
| 18 | 131 | 325 | 127 | 333 | 130 | 331 |
| 19 | 132 | 311 | 129 | 314 | 132 | 312 |
| 20 | 130 | 322 | 127 | 321 | 129 | 301 |
| 21 | 130 | 130 | 318 | 326 | 129 | 129 | 318 | 317 | 131 | 131 | 316 | 321 |
| 22 | 131 | 323 | 129 | 328 | 130 | 332 |
| 23 | 131 | 333 | 128 | 319 | 131 | 311 |
| 24 | 129 | 329 | 129 | 303 | 131 | 326 |
| 25 | 131 | 132 | 310 | 314 | 127 | 128 | 310 | 320 | 131 | 131 | 321 | 315 |
| 26 | 132 | 302 | 129 | 334 | 132 | 312 |
| 27 | 132 | 320 | 128 | 329 | 131 | 314 |
| 28 | 131 | 323 | 129 | 305 | 131 | 311 |
| 29 | 130 | 130 | 316 | 310 | 131 | 130 | 325 | 324 | 131 | 131 | 326 | 325 |
| 30 | 131 | 308 | 130 | 331 | 131 | 325 |
| 31 | 130 | 307 | 129 | 313 | 130 | 325 |
| 32 | 130 | 309 | 129 | 327 | 131 | 323 |
| 33 | 130 | 130 | 325 | 324 | 131 | 131 | 317 | 316 | 131 | 131 | 332 | 322 |
| 34 | 130 | 303 | 130 | 316 | 129 | 325 |
| 35 | 130 | 331 | 131 | 318 | 132 | 313 |
| 36 | 130 | 337 | 131 | 312 | 130 | 318 |
| 37 | 131 | 132 | 329 | 322 | 130 | 130 | 317 | 322 | 131 | 130 | 323 | 315 |
| 38 | 131 | 317 | 128 | 312 | 130 | 322 |
| 39 | 132 | 324 | 131 | 328 | 130 | 307 |
| 40 | 132 | 317 | 129 | 329 | 130 | 308 |
| 最大值 | **132** | / | **326** | / | **131** | / | **326** | / | **133** | / | **327** |
| 最小值 | **130** | / | **310** | / | **127** | / | **316** | / | **130** | / | **313** |
| 极差 | **2** | / | **16** | / | **4** | / | **10** | / | **3** | / | **14** |
| 平均值 | **131** | / | **319** | / | **129** | / | **320** | / | **131** | / | **319** |
| 方差 | **0.50** | / | **24.91** | / | **1.32** | / | **10.88** | / | **1.02** | / | **23.42** |
| 标准差 | **0.67** | / | **4.74** | / | **1.09** | / | **3.13** | / | **0.96** | / | **4.59** |

附表2 不同厚度弯曲弹性极限测试结果

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 样品牌号 | 状态 | 厚度mm | 弹性模量GPa | 平均弹性模量Gpa | 弯曲弹性极限MPa | 平均弯曲弹性极限MPa |
| 1 | C5191 | 固溶 | 0.080 | 116 | 119 | 296 | 302 |
| 121 | 303 |
| 121 | 307 |
| 118 | 303 |
| 2 | C5191 | 固溶 | 0.080 | 122 | 120 | 299 | 305 |
| 124 | 508 |
| 124 | 466 |
| 121 | 510 |
| 3 | C42300 | 固溶 | 0.150 | 118 | 118 | 285 | 294 |
| 118 | 296 |
| 122 | 290 |
| 113 | 305 |
| 4 | C42300 | 固溶 | 0.150 | 117 | 117 | 329 | 296 |
| 116 | 258 |
| 118 | 338 |
| 115 | 257 |
| 5 | C72500 | 固溶 | 0.400 | 128 | 127 | 508 | 509 |
| 126 | 513 |
| 127 | 505 |
| 127 | 508 |
| 6 | C72500 | 固溶 | 0.400 | 129 | 126 | 506 | 515 |
| 123 | 517 |
| 122 | 514 |
| 128 | 523 |
| 7 | C5210 | 气退 | 0.500 | 104 | 105 | 396 | 408 |
| 104 | 406 |
| 105 | 403 |
| 105 | 426 |
| 8 | C5210 | 气退 | 0.500 | 102 | 104 | 407 | 419 |
| 104 | 403 |
| 103 | 421 |
| 107 | 443 |
| 9 | C14415 | R420 | 1.000 | 129 | 130 | 233 | 260 |
| 130 | 288 |
| 129 | 230 |
| 130 | 288 |
| 10 | C14415 | R420 | 1.000 | 129 | 130 | 239 | 264 |
| 130 | 273 |
| 129 | 257 |
| 130 | 285 |
| 11 | C19010 | TM10 | 0.044 | 130 | 131 | 432 | 407 |
| 132 | 425 |
| 131 | 385 |
| 130 | 385 |
| 12 | C19010 | TM10 | 0.044 | 130 | 130 | 410 | 397 |
| 129 | 410 |
| 130 | 391 |
| 129 | 378 |
| 13 | C5191 | EH | 0.150 | 109 | 110 | 260 | 265 |
| 108 | 272 |
| 112 | 267 |
| 112 | 267 |
| 14 | H65 | O60 | 0.200 | 93 | 95 | 143 | 140 |
| 95 | 139 |
| 97 | 136 |
| 95 | 140 |
| 15 | C1100 | O | 0.500 | 102 | 103 | 77 | 74 |
| 103 | 74 |
| 101 | 74 |
| 105 | 73 |
| 16 | C2600 | HO4 | 0.250 | 98 | 100 | 199 | 198 |
| 99 | 201 |
| 101 | 198 |
| 102 | 193 |

附表3 C70250 TM03 0.250mm 不同加载速度弯曲弹性极限测试值

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 加载速度s/mm | 弯曲弹性极限MPa | 平均弯曲弹性极限MPa |
| 1 | 1 | 320 | 319 |
| 325 |
| 312 |
| 318 |
| 2 | 5 | 324 | 320 |
| 319 |
| 316 |
| 320 |
| 3 | 10 | 332 | 323 |
| 326 |
| 316 |
| 328 |
| 4 | 15 | 319 | 315 |
| 323 |
| 305 |
| 313 |
| 5 | 20 | 323 | 318 |
| 318 |
| 313 |
| 317 |
| 6 | 25 | 328 | 322 |
| 316 |
| 318 |
| 326 |

附表4 不同材料不同速率测试弯曲弹性极限测试值

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 样品牌号 | 厚度mm | 加载速度s/mm | 弯曲弹性极限（顶部）GPa | 弯曲弹性极限（底部）MPa | 平均弯曲弹性极限MPa |
| 1 | C19010 | 0.620 | 1 | 403 | 396 | 400  |
| 5 | 407 | 397 | 402  |
| 10 | 400 | 398 | 399  |
| 15 | 403 | 407 | 405  |
| 20 | 398 | 408 | 403  |
| 25 | 399 | 405 | 402  |
| 2 | C5210 | 0.500 | 1 | 420 | 416 | 418 |
| 5 | 421 | 415 | 418 |
| 10 | 426 | 417 | 422 |
| 15 | 425 | 418 | 422 |
| 20 | 422 | 417 | 420 |
| 25 | 425 | 420 | 423 |
| 3 | C5191 | 0.145 | 1 | 241 | 237 | 239  |
| 5 | 238 | 245 | 242  |
| 10 | 241 | 237 | 239  |
| 15 | 247 | 237 | 242  |
| 20 | 241 | 240 | 241  |
| 25 | 237 | 242 | 240  |
| 4 | C18665 | 0.100 | 1 | 380 | 390 | 385 |
| 5 | 379 | 398 | 389 |
| 10 | 385 | 400 | 393 |
| 15 | 386 | 396 | 391 |
| 20 | 380 | 392 | 386 |
| 25 | 384 | 401 | 393 |

附表5 同样样品（C2600）不同单位测试结果对比

样品名称：黄铜带 样品牌号：C2600 样品状态：HO4 样品规格:0.250mm

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 测试单位一（金田） | 测试单位二（兴业） | 测试单位三（博威） |
| 弹性模量GPa | 平均弹性模量GPa | 弯曲弹性极限MPa | 平均弯曲弹性极限MPa | 弹性模量GPa | 平均弹性模量GPa | 弯曲弹性极限MPa | 平均弯曲弹性极限MPa | 弹性模量GPa | 平均弹性模量GPa | 弯曲弹性极限MPa | 平均弯曲弹性极限MPa |
| 1 | 98 | 100 | 199 | 198 | 112 | 111 | 194 | 202 | 110 | 105 | 208 | 204 |
| 2 | 99 | 201 | 110 | 193 | 108 | 211 |
| 3 | 101 | 198 | 110 | 202 | 101 | 198 |
| 4 | 102 | 193 | 111 | 217 | 102 | 199 |
| 弹性模量最大值 | 111 | 弹性模量最小值 | 100 | 极差 | 11 | 弹性模量平均值 | 105 | 标准差 | 5.52 |
| 弯曲弹性极限最大值 | 204 | 弯曲弹性极限最小值 | 198 | 极差 | 6 | 弯曲弹性极限平均值 | 201 | 标准差 | 3.08 |

附表6 同样样品（C7025）不同单位测试结果对比

样品名称：青铜带 样品牌号：C7025 样品状态：TM03 样品规格:0.200mm

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 测试单位一（金田） | 测试单位二（兴业） | 测试单位三（博威） |
| 弹性模量GPa | 平均弹性模量GPa | 弯曲弹性极限MPa | 平均弯曲弹性极限MPa | 弹性模量GPa | 平均弹性模量GPa | 弯曲弹性极限MPa | 平均弯曲弹性极限MPa | 弹性模量GPa | 平均弹性模量GPa | 弯曲弹性极限MPa | 平均弯曲弹性极限MPa |
| 1 | 133 | 133 | 347 | 345 | 128 | 128 | 335 | 324 | 134 | 133 | 347 | 339 |
| 2 | 134 | 339 | 127 | 318 | 135 | 344 |
| 3 | 133 | 334 | 123 | 348 | 125 | 331 |
| 4 | 131 | 358 | 132 | 296 | 136 | 335 |
| 弹性模量最大值 | 133 | 弹性模量最小值 | 128 | 极差 | 5 | 弹性模量平均值 | 131 | 标准差 | 2.92 |
| 弯曲弹性极限最大值 | 345 | 弯曲弹性极限最小值 | 324 | 极差 | 21 | 弯曲弹性极限平均值 | 336 | 标准差 | 10.82 |