**《铜及铜合金板带箔材残余应力检验方法蚀刻分条法》行业标准**

**（预审稿）编制说明**

**中铝洛阳铜加工有限公司**

**2023-3-20**

**《铜及铜合金板带箔材残余应力检验方法蚀刻分条法》**

**行业标准（预审稿）编制说明**

**一、工作简况**

1 任务来源

铜合金材料是电子信息、航空航天、汽车等领域芯片支撑不可或缺的关键“结构-功能一体化”材料，随着新一代电子信息技术的发展，芯片向着高集成化、布线细微化、高流通能力方向发展，材料深加工技术也发生着重大变革，传统的物理冲压成形方式向无应力成形方式转变，其核心技术是残余应力控制，因此对铜合金板带箔材残余应力控制及检测方法提出了较高的要求。

全国有色标准化技术委员会有色标委《关于转发2022年第一批有色金属国家、行业、协会标准制（修）订项目计划的通知》[2022] 102号——附件2《2022年第一批有色金属行业标准项目计划表》下达制定行业标准《铜及铜合金板带箔材残余应力检验方法蚀刻分条法》，计划号2021-1357T-YS，起草单位为中铝洛阳铜加工有限公司、河南科技大学、宁波兴业盛泰集团有限公司、凯美龙精密铜板带（河南）有限公司、江西铜业集团板带公司、安徽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、苏州金江铜业有限公司、有研工程技术研究院有限公司、太原晋西春雷铜业有限公司、浙江惟精新材料有限公司，完成年限为2022年9月。

2立项目的和意义

残余应力是指金属件在变形加工或不均匀的温度场作用后存留在金属件内部的自相平衡的内应力。存在较大残余应力的金属构件在服役过程中，在外部载荷的作用下，会产生二次变形以及残余应力的重新分布，这会严重降低结构的刚度和稳定性，而且在温度和介质的共同作用下，还会严重影响构件的其它物理性能，从而大大降低产品的使用性能和使用寿命。

残余应力形变量的大小是评价合金材料抗内应力的量化指标，本标准的测量方法就是通过检测材料在残余应力完全释放后产生的形变量，通过变形量来定量的反应残余应力的大小。

为适应国际市场的竞争需要，提高我国铜及铜合金材料的市场竞争力，亟待制定材料残余应力形变测量的技术标准。该标准可起到规范市场、引导市场的作用，对推动有色行业和电子信息产业的发展有积极的作用。该标准投入使用后，可快速判断材料残余应力大小，不仅可产生较好的经济效益，且具有很高的社会价值，可加快铜及铜合金材料的国产化应用，完善行业检测方法标准体系。因此，制定铜及铜合金板带箔材残余应力蚀刻分条测量方法的标准是非常必要的。

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，提升高端引线框架铜合金材料供给质量和水平，符合“十三五”规划中电子信息产业的发展规划需求、原材料工业质量提升三年方案（2018-2020）中有色金属产品整体质量水平提高的要求。

目前主流使用的残余应力检测方法设备昂贵、检测效率较低。而蚀刻分条法检测内应力没有统一的规范化的方法标准，多以各种规程、内部企业标准进行检测，其中涉及的参数、规定不同时，检测结果也不同，无法在行业间进行沟通，更无法与客户标准进行统一，因此有必要制定本标准以满足残余应力规范化检测的市场需求。

通过本次标准制定，使残余应力检测参数和检测规定更规范，适应行业产品检测需要，使生产单位之间、生产单位与用户之间，对产品质量有一个统一的检测标准，稳定和指导生产工艺，提高铜及铜合金原材料的供给质量，提高原材料产品用户满意度。

本标准对残余应力测量提供了一套便捷的、操作简易、新的检测方法，通过快速检测铜合金材料残余应力作用下的形变量，以此判断材料残余应力大小。该测量方法具有技术先进、测量效率高、能及时配合规模化生产过程中的质量控制等优点，能更好的应用于铜加工行业对铜及铜合金板带箔材内应力变形的测量。本标准与GB/T 10567.1和GB/T 10567.2共同形成铜及铜合金加工材残余应力检验标准体系。

3 项目编制组及分工

标准制定计划任务正式下达后，中铝洛阳铜加工有限公司立即成立了标准编制组，并落实起草任务，确定标准的主要起草人，拟定该标准的工作推进计划。具体分工为：中铝洛阳铜加工有限公司总负责，负责试验方案确定、市场和铜加工行业信息收集、样品牌号、规格、状态的确定及样品提供的分工、资料汇总分析及执笔；河南科技大学、宁波兴业盛泰集团有限公司、凯美龙精密铜板带（河南）有限公司、江西铜业集团板带公司、安徽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、苏州金江铜业有限公司、有研工程技术研究院有限公司、太原晋西春雷铜业有限公司、浙江惟精新材料有限公司等单位部分样品提供、补充市场信息和标准数据的验证。各单位分工明确，通力合作，共同完成标准的修定工作。

中铝洛阳铜加工有限公司是国家“一五”期间兴建的156项重点工程之一，是国内具有影响力的综合性铜加工企业，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、国防、J工、核电等领域。产品广泛应用于电子信息、新能源汽车、海洋工程、轨道交通、电力装备等新兴领域，为神州系列飞船、大推力火箭、区域电子对抗、舰艇等国家重大战略工程提供了关键材料保障。公司拥有国家级企业技术中心、中国合格评定国家认可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。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80台(套)先进的设备和检测仪器，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能力。制/修订国家/行业标准186项，承担863计划、国家重大专项、JG项目等国家重大科研及固定资产投资项目49项；获省部级以上科技成果奖励112项。

宁波兴业盛泰集团有限公司（以下简称盛泰公司）是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。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。

凯美龙精密铜板带（河南）有限公司（以下简称公司）是由香港凯美龙股份有限公司投资的外商独资企业，主要生产新型高强、高导、高弹、高精度、低残余应力的铜镍硅、铜铬锆、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箔材，生产线设计年产能3.5万吨。产品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，满足了国内铜及铜合金板带材高端市场的需求。公司拥有河南省精密铜合金板带工程技术研究中心等两个省级和一个市级研发平台，参与起草铜板带相关国家标准13项，其中11项已发布实施，获全国有色金属标准化技术委员技术标准优秀奖贰等奖、三等奖各1项。公司授权专利14项，公司承担国家科技部十三五重点研发计划1项、新乡市新材料领域重大科技专项1项。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。2019-2021年被泰科公司连续三年评为“优秀供应商”。2021年被安费诺FCI授予质量改进优秀供应商。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。

江西铜业集团铜板带有限公司成立于1979年，为目前中国最大的阴极铜生产商之一，阴极铜产能达到120万吨/年，在铜以及相关有色金属领域，拥有勘探、采矿、冶炼、加工为一体的完整产业链，并通过对贸易、金融、物流等相关资源的有效整合，构成领先于国内同行的发展优势；为国内铜精矿自给率最高的公司，是国内最大、最现代化的铜生产和加工基地，黄金、白银、硒、碲、铼等稀贵金属和硫化工的重要生产基地；拥有八家矿山（含权益），五家冶炼厂，六家铜加工企业，三家稀散金属生产单位，一家稀土公司，以及财务公司、金瑞期货公司、国际贸易公司、物流公司等增值服务体系。公司坚持落实科学发展观，以先进企业文化为依托，走建设“资源节约型、环境友好型”企业道路，使企业成为全面、协调、可持续发展的典范。2016年2月21日公司荣获国家环保最高奖“第三届中华环境奖---2005年绿色东方企业环保奖”。2020年1月8日德兴铜矿、银山矿业、武山铜矿纳入自然资源部发的绿色矿山名录，2021年1月11日城门山铜矿、七宝山铅锌矿纳入2020年度国家级绿色矿山名录（自然资源部2021年第2号）。

安徽楚江高精铜带有限公司系安徽楚江科技新材料股份有限公司全资子公司，专业从事铜板带箔材生产。安徽楚江科技新材料股份有限公司位列中国制造业企业500强、中国民营企业制造业500强，是国家技术创新示范企业。公司专注于材料的研发与制造，业务涵盖先进基础材料和军工新材料两大板块，在安徽、上海、广东、江苏和湖南设有生产和研发基地，产品包括精密铜带、铜导体材料、铜合金线材、精密特钢、碳纤维复合材料和高端热工装备六大产业。其中：精密铜带年产能超27万吨，2017年被中国有色金属加工工业协会授予“中国铜板带材十强企业第一名”。公司依托国家级企业技术中心、资源综合利用行业技术中心、院士工作站、博士后科研工作站、省级工程中心等研发平台，积极开展新产品、新工艺、新技术的研究和开发，并取得了一系列成果。截止至2021年底，公司拥有有效专利683件，其中发明专利206件，主导及参与国家、行业标准47项。同时专门设立了铜及铜合金材料理化实验室，且通过多年的建设，公司在铜及铜合金材料检测方面已经具备了较强的设备优势，为产品的各项检测提供保障。

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)，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。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、装饰领域等领域。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。公司拥有获国家知识产权局授权专利15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，2018年获省级、国家级绿色工厂、环保诚信企业等奖励。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能力。

苏州金江铜业有限公司成立于 2005 年，主要从事航空J工领域铜合金电子材料研发和制造的高新企业。2014 年获得江苏省高新企业认定，2017 年、2020 年通过了江苏省高新企业复评认定。公司拥有发明专利 14项，实用新型专利 10 项，授权商标 1 项，负责制定了二项国家标准 GB/T33970-2017、GB/T39153-2020 和二项国家有色金属行业标准 YS/T998-2014、YS/T1102-2016。承担国家科学技术部关于《\*\*元件用高纯高铍铍铜带、铍箔、铍铝合金制造的国际合作研究（MM）》项目，通过国家科技部验收。《金属材料纯净化制备新技术》获上海市科学技术奖一等奖，《大卷重原位复合 AL203 弥散强化铜线棒》获太仓市科技进步奖二等奖。2019 年《射频连接器的易车削铍铜棒》被评为江苏省专精特新产品。

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。

太原晋西春雷铜业有限公司隶属于中国兵器晋西工业集团，是J民技术互融性强、集科研和生产于一体的半导体集成电路框架材料用铜合金带专业化研发生产企业。高新技术企业\省级技术中心。主要产品有大规模集成电路用引线框架铜合金带、LED新光源用高精度铜带、5G手机背板用铜合金带及高端电子连接器用铜合金带等多个产品系列，主要用于电子、通讯、交通、环保、新光源、新能源等领域。被中国BQ工业集团评定为国内领先水平；核心产品C19400被中国BQ工业集团评定为国际先进水平。公司高度重视科技创新，承担了多项省部级科研项目，在项目研发过程中，获得授权发明专利7项、实用新型专利28项；公司荣获全国有色金属工业“卓越品牌”、山西省制造业单项冠军企业、山西省有色金属行业先进单位、第十一届（2016年度）中国半导体创新产品和技术、有色金属产品实物质量金杯奖等多项荣誉，获得省部级科技进步一等奖两项、二等奖三项、三等奖一项，山西省专利奖2项。

浙江惟精新材料有限公司公司成立于2017年7月，位于浙江绍兴市杭州湾上虞经济技术开发区，项目一期建成达产后，年产各类高性能铜合金板带100000t。公司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。公司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。公司具有理化检测设备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。

4 主要起草过程

在标准起草过程中，标准编制组成员查阅了国内外有关材料内应力的检测相关标准。国内对于材料应力检测的标准有：GB/T 10567.1-1997 《铜及铜合金加工材残余应力检验方法 硝酸亚汞试验法》和GB/T 10567.2-2007《铜及铜合金加工材残余应力检验方法 硝酸亚汞试验法》是利用铜及铜合金材料在一定的气氛中应力腐蚀破裂的敏感性，定性的确定加工材中是否存在残余应力。《GB/T 7704-2017 无损检测 X射线应力测定方法》及《GB/T 31218-2014 金属材料 残余应力测定全释放应变发》，标准对材料内应力的检测提供的方法依据，主要应用于黑色金属工件的应力检测。且此两种方法所需的信息量大、测量过程烦琐，检测效率低，很难满足目前的生产和使用需求。

欧盟标准EN 15305-2008《无损检测 X射线衍射法残余应力分析测试方法》和美国标准ASTM E915-10《残余应力测量用X射线衍射仪校准检定的标准试验方法》主要是用X射线衍射分析多晶试样或部件近表面区域宏观残余应力。不适用于铜及铜合金板带箔材的残余应力测量。

中铝洛阳铜加工有限公司采用铜及铜合金板带箔材 残余应力检验方法 蚀刻分条法进行了大量测定试验，在试验过程，检测方法易于操作，测量方便，对内应力大小能够进行定量评价，对公司控制铜及铜合金内应力，稳定和指导生产工艺改进起到积极推动作用。为满足国内、国际市场对铜及铜合金内应力测定日益增加的需求，经过标准编制组及有关人员的共同努力，通过对国内外现状及发展趋势的分析，并结合国内的实际情况，形成了《铜及铜合金板带箔材 残余应力检验方法 蚀刻分条法》标准草案。

2021年12月16日～17日由全国有色金属标准化技术委员会主持在海口召开该标准的讨论会。

编制组根据标准讨论会各专家意见提出的意见，对标准进行了修改，根据惨编单位反馈的意见，对标准修改稿进行了修改和完善，于2023年3月形成了形成了标准预审稿及编制说明。

**二、标准编制原则**

1 规范性原则。本标准根据《中华人民共和国标准化法》要求，在编写方式上执行GB/T1.1和GB/T1.3的规定,并按《有色金属加工产品国家标准、行业标准编写示例》的要求进行编制。

2 可靠性原则。标准规定的检测方法在同一实验室检测结果具有长期稳定性，不同实验室之间的检测结果具有一致性，能有效地规范铜及铜合金内应力的测定方法。

3 适用性原则。根据国内铜及铜合金生产和下游客户的具体情况，突出标准的实用性。对试验设备及试验条件提出了明确要求，完善试验条件及试验步骤、检测范围能普遍满足行业对铜及铜合金内应力的测试要求。

4 协调一致性原则。本标准在制订过程中，充分考虑铜及铜合金产品标准的相关内容要求，保证了标准的协调性与一致性。

**三、本标准的主要内容**

**1 范围**

本文件规定了铜及铜合金板带箔材残余应力测定分条变形法的符号和说明、原理、试验设备、试样、蚀刻及测量、测定结果数值修约和试验报告。

本文件适用于厚度0.1～1.0mm的铜及铜合金板带箔材内应力形变的半定量检验。

**2 符号及说明**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 测量参数 | 符号 | 单位 | 说明 |
| 挠曲高度 | δ | mm | 分切后的细条向上或向下翘起，其端部与基准面的距离。 |
| 侧弯 | ΔB | mm | 分切后的细条顶端向内或向外弯曲，细条边部与侧边的距离。 |
| 扭转角度 | θ | ° | 分切后的细条出现扭曲，顶端与基准面的夹角。 |

**3 原理**

采用分条的方法将铜及铜合金板带箔材分出2个应力完全释放的自由的对称细条，根据细条的变形量来定量的反映内应力的大小。

1. **仪器设备工具**

4.1 仪器

工具显微镜、千分尺、温度计。

4.2 设备

酸槽、加热装置

4.3工具

钢尺、刀片。

**5 材料**

浓硝酸、耐酸透明胶带

**6取样及制备**

6.1 取样

6.1.1 试样尺寸：厚度0.1～1.0mm，宽度12-80mm，长度200mm.

6.1.2 试样要求：表面不允许有磕碰伤、弯折、裂纹、扭曲，取样过程中不允许有附加应力。

6.2 制样

6.2.1 用耐酸透明胶带严密包覆待测试样。

6.2.2 用钢卷尺和刀片将准备蚀刻的切口两面胶带刻划掉，然后平稳放置在硝酸中腐蚀。

6.2.3 将样品腐蚀透，迅速放入清水中冲洗掉残酸，然后小心的用刀片将测量部位的胶带去掉。

6.2.4制样部位尺寸：细条宽度2±0.2mm，长度100±0.5mm，切口宽度0.2～1.5mm。

6.2.5 腐蚀介质为浓硝酸，温度25～35℃，将切口部分腐蚀透。

**7 测量及结果**

7.1 试样放置

选取细条挠曲方向对应的带材表面为基准面，试样基准面呈水平、横向垂直或纵向直立三种状态悬空放置。

7.2 参数的测量

7.2.1 挠曲高度（δ）

试样横向垂直放置，调整工具显微镜基准直线与基准面相切，然后转动微分轮使基准直线与挠曲最高点相切，微分轮移动的距离即为挠曲高度（δ）。

7.2.2 侧弯（ΔB）

试样水平放置，选取基准体的外侧为基准边，测量侧弯（ΔB）。

7.2.3 扭转角度（θ）

7.2.3.1 测角仪测量

试样纵向直立放置，在工具显微镜下如图1所示，以B，C，为基准边并使工具显微镜上基准线与其相切，转动测角仪，使基准线与另一边AB或CD重合，直接读出角度。



图1扭转角度的测量

7.2.3.2手动测量

如果仪器不具备测角仪，按照挠曲高度的测量方法测量AA，、BB，和B，A，或CC，、DD，和D，C，,则θ按公式（1）或公式（2）计算出来。

θ=arctg［（AA＇- BB，）/B，A，］…………………………………………………………（1）

θ=arctg［（CC，- DD，）/ D，C，］…………………………………………………………（2）

7.2.4 测量精度

由于试样本身存在残余弧度，蚀刻以及测量基准选择等因素误差较大，一般情况下，挠曲和侧弯的精度达到0.1mm，扭转角的精度为1度可满足要求。

7.2.5 参数的方向

挠曲方向与毛刺方向相反为正，相同为负；侧弯向基准体外为正，向内为负；细条外侧向毛刺反方向扭转为正，同方向为负。

7.2.6 其他

蚀刻和测量过程禁止产生附加应力。

试样可能有一定的残余弧度，基准面与基体的顶端不在同一个平面上，测量时建议用方型夹具加持紧靠切口根部未分切的基体，边部细条和基体在基准面同一侧，挠曲高度为二者与基准面高度之差，若在两侧，则相加。

测量和计算结果的修约按GB/T 8170的规定执行，修约数位应与标准中极限值数位一致。

**四 验证试验**

编制了试验方案，明确样品的要求、试验方法及步骤，对标准检测的一致性进行分析评价。

对31组不同牌号铜合金材料（主要是国内市场下游客户对铜及铜合金内应力要求较多的引线框架材料、紫铜、黄铜、青铜等），中铝洛阳铜加工有限公司、河南科技大学、宁波兴业盛泰集团有限公司、凯美龙精密铜板带（河南）有限公司、江西铜业集团板带公司、铜陵有色金属集团股份有限公司金威铜业分公司、苏州金江铜业有限公司、太原晋西春雷铜业有限公司、浙江惟精新材料有限公司等单位按照标准草案进行检测，检测结果一致性较好，其极差离差结果离散度小，误差能趋于一定范围内。按照本文件要求检测，能够准确反馈铜及铜合金内应力大小。

**五 标准水平分析**

根据我国铜及铜合金的生产企业和用户对铜及铜合金残余应力的要求情况，经过大量试验验证，确认基本试验过程后起草的新标准。国内没有针对铜及铜合金残余应力蚀刻分条法检测的方法标准，本标准的起草，填补了铜及铜合金残余应力蚀刻分条法检测标准的空白，达到了国内先进标准的水平。

**六、与现行相关法律、法规、规章及相关标准，特别是强制性标准的协调性**

本标准属于新制定检测方法标准，没有现行的法律、法规、规章制度等对其要求，本领域没有强制性标准，与现行法律、法规相协调、无冲突。

**七、重大分歧意见的处理经过和依据**

无。

**八、作为强制性国家标准的建议**

 本标准建议不作为强制性标准，而建议作为推荐性标准。

**九、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。

**十、废止现行有关标准的建议**

无。

**十一、其它应予说明的事项**

无。

**十二、预期效果**

本检测方法标准是在大量的残余应力测量试验的基础上制定的，本测量试验方法具有普遍性、广泛性、适用性和科学性。对公司控制产品质量，稳定和指导生产工艺有重要意义，对行业产品残余应力蚀刻分条法测量规范化、制度化起指导作用，在实际生产实践中，在制度层面上避免因测量方法不规范、不统一造成的经济损失。

《铜及铜合金加工板带箔残余应力检验蚀刻分条法》行业标准编制组

二零二三年三月二十日

附页 验证试验结果

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 牌号 | 规格（mm） | 状态 | δ | ΔB  | θ | 验证单位 |
| C19400 | 0.127 | H | 2.00 | 0 | 0 | 洛铜 |
| 2.05 | 0 | 0.05 | 河科大 |
| 2.03 | 0 | 0.03 | 楚江 |

试样1：δ极差为0.10，最大离差0.05；

ΔB极差为0，最大离差0；

θ极差为0.1，最大离差0.03。

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 牌号 | 规格（mm） | 状态 | δ | ΔB  | θ | 验证单位 |
| C19400 | 0.127 | H | 3.10 | 0 | 0 | 洛铜 |
| 3.08 | 0.02 | 0 | 河科大 |
| 3.09 | 0.02 | 0 | 楚江 |

试样2：δ极差为0.02，最大离差0.01；

ΔB极差为0.02，最大离差0.01；

θ极差为0，最大离差0。

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 牌号 | 规格（mm） | 状态 | δ | ΔB  | θ | 验证单位 |
| C19400 | 0.152 | H | 4.36 | 0 | 0 | 洛铜 |
| 4.42 | 0 | 0.01 | 河科大 |
| 4.40 | 0.05 | 0.07 | 楚江 |

试样3：δ极差为0.06，最大离差0.03；

ΔB极差为0.05，最大离差0.03；

θ极差为0.07，最大离差0.07。

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 牌号 | 规格（mm） | 状态 | δ | ΔB  | θ | 验证单位 |
| C19400 | 0.152 | H | 1.78 | 0.66 | 0 | 洛铜 |
| 1.83 | 0.61 | 0 | 河科大 |
| 1.82 | 0.67 | 0.02 | 楚江 |

试样4：δ极差为0.05，最大离差0.03；

ΔB极差为0.06，最大离差0.04；

θ极差为0.02，最大离差0.01

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 牌号 | 规格（mm） | 状态 | δ | ΔB  | θ | 验证单位 |
| C19400 | 0.152 | H | 1.06 | 1.52 | 0 | 洛铜 |
| 1.12 | 1.49 | 0 | 河科大 |
| 1.03 | 1.48 | 0 | 楚江 |

试样5：δ极差为0.09，最大离差0.05；

ΔB极差为0.04，最大离差0.02；

θ极差为0，最大离差0。

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 牌号 | 规格（mm） | 状态 | δ | ΔB  | θ | 验证单位 |
| C19400 | 0.2 | H | 0.56 | 0.93 | 0.04 | 洛铜 |
| 0.56 | 0.89 | 0.01 | 河科大 |
| 0.55 | 1.02 | 0 | 江铜 |

试样6：δ极差为0.01，最大离差0.01；

ΔB极差为0.13，最大离差0.07；

θ极差为0.04，最大离差0.02。

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 牌号 | 规格（mm） | 状态 | δ | ΔB  | θ | 验证单位 |
| C19400 | 0.203 | H | 2.66 | 0.12 | 0 | 洛铜 |
| 2.64 | 0.10 | 0.03 | 河科大 |
| 2.64 | 0.15 | 0.08 | 楚江 |

试样7：δ极差为0.02，最大离差0.01；

ΔB极差为0.05，最大离差0.03；

θ极差为0.08，最大离差0.04。

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 牌号 | 规格（mm） | 状态 | δ | ΔB  | θ | 验证单位 |
| C19400 | 0.25 | H | 3.2 | 0 | 0 | 洛铜 |
| 3.15 | 0 | 0.07 | 河科大 |
| 3.17 | 0.05 | 0.02 | 楚江 |

试样8： δ极差为0.05，最大离差0.03；

ΔB极差为0.05，最大离差0.03；

θ极差为0.07，最大离差0.05。

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 牌号 | 规格（mm） | 状态 | δ | ΔB  | θ | 验证单位 |
| C19400 | 0.254 | H | 2.02 | 3.0 | 0.8 | 洛铜 |
| 2.05 | 2.95 | 0.76 | 河科大 |
| 2.06 | 3.05 | 0.78 | 楚江 |

试样9： δ极差为0.04，最大离差0.02；

ΔB极差为0.1，最大离差0.05；

θ极差为0.04，最大离差0.02。

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 牌号 | 规格（mm） | 状态 | δ | ΔB  | θ | 验证单位 |
| C19400 | 0.381 | H | 11.28 | 0.24 | 7.4 | 洛铜 |
| 11.20 | 0.22 | 7.3 | 河科大 |
| 11.25 | 0.25 | 7.36 | 楚江 |

试样10：δ极差为0.08，最大离差0.04；

ΔB极差为0.03，最大离差0.02；

θ极差为0.1，最大离差0.05。

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 牌号 | 规格（mm） | 状态 | δ | ΔB  | θ | 验证单位 |
| C19400 | 0.381 | H | 6.28 | 0.15 | 2.1 | 洛铜 |
| 6.25 | 0.14 | 2.05 | 河科大 |
| 6.26 | 0.11 | 2.12 | 楚江 |

试样11： δ极差为0.03，最大离差0.02；

ΔB极差为0.04，最大离差0.02；

θ极差为0.07，最大离差0.04。

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 牌号 | 规格（mm） | 状态 | δ | ΔB  | θ | 验证单位 |
| C19400 | 0.4 | H/2 | 3.58 | 0.12 | 0 | 洛铜 |
| 3.02 | 0 | 0 | 河科大 |
| 3.76 | 0.13 | 0.13 | 楚江 |

试样12：δ极差为0.14，最大离差0.1；

ΔB极差为0.18，最大离差0.08；

θ极差为0.13，最大离差0.09。

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 牌号 | 规格（mm） | 状态 | δ | ΔB  | θ | 验证单位 |
| C19400 | 0.503 | H | 5.9 | 0.5 | -10.9 | 洛铜 |
| 6.1 | 0.4 | -10.6 | 河科大 |
| 6.15 | 0.4 | -10.8 | 楚江 |

试样13： δ极差为0.25，最大离差0.15；

ΔB极差为0.1，最大离差0.06；

θ极差为0.3，最大离差0.16。

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 牌号 | 规格（mm） | 状态 | δ | ΔB  | θ | 验证单位 |
| LY65 | 0.254 | H/2 | 14 | 0 | 9.3 | 洛铜 |
| 13.8 | 0 | 9.13 | 河科大 |
| 13.6 | 0 | 9.1 | 楚江 |

试样14：δ极差为0.4，最大离差0.2；

ΔB极差为0，最大离差0；

θ极差为0.2，最大离差0.12。

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 牌号 | 规格（mm） | 状态 | δ | ΔB  | θ | 验证单位 |
| LY65 | 0.254 | H/2 | 13.5 | 0 | 8.8 | 洛铜 |
| 13.1 | 0 | 8.23 | 河科大 |
| 13.2 | 0.15 | 8.5 | 楚江 |

试样15： δ极差为0.4，最大离差0.2；

ΔB极差为0.15，最大离差0.1；

θ极差为0.57，最大离差0.29。

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 牌号 | 规格（mm） | 状态 | δ | ΔB  | θ | 验证单位 |
| C19210 | 0.127 | H02 | 3.1 | 1.2 | 0.45 | 洛铜 |
| 3.2 | 1.2 | 0.36 | 河科大 |
| 3.5 | 1.0 | 0.57 | 江铜 |

试样16：δ极差为0.01，最大离差0.003；

ΔB极差为0.3，最大离差0.167；

θ极差为0.14，最大离差0.06。

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 牌号 | 规格（mm） | 状态 | δ | ΔB  | θ | 验证单位 |
| C19210 | 0.381 | H | 6.62 | -2.72 | 12.5 | 洛铜 |
| 6.65 | -2.11 | 12.6 | 河科大 |
| 6.23 | -2.23 | 12.2 | 楚江 |

试样17： δ极差为0.42，最大离差0.27；

ΔB极差为0.61，最大离差0.37；

θ极差为0.4，最大离差0.23。

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 牌号 | 规格（mm） | 状态 | δ | ΔB  | θ | 验证单位 |
| C19210 | 0.381 | H | 2.3 | 3.0 | 5.85 | 洛铜 |
| 2.34 | 3.2 | 6.05 | 河科大 |
| 2.25 | 3.3 | 5.60 | 楚江 |

试样18： δ极差为0.09，最大离差0.04；

ΔB极差为0.3，最大离差0.13；

θ极差为0.45，最大离差0.23。

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 牌号 | 规格（mm） | 状态 | δ | ΔB  | θ | 验证单位 |
| C19210 | 0.381 | H | 3.32 | 1.06 | 1.60 | 洛铜 |
| 3.25 | 0.58 | 1.72 | 河科大 |
| 3.38 | 1.21 | 1.75 | 楚江 |

试样19： δ极差为0.13，最大离差0.06；

ΔB极差为0.63，最大离差0.37；

θ极差为0.15，最大离差0.09。

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 牌号 | 规格（mm） | 状态 | δ | ΔB  | θ | 验证单位 |
| C19210 | 0.381 | H | 5.52 | 0.34 | -9.8 | 洛铜 |
| 5.78 | 0.32 | -9.5 | 河科大 |
| 5.54 | 0.38 | -10.3 | 楚江 |

试样20： δ极差为0.26，最大离差0.16；

ΔB极差为0.04，最大离差0.03；

θ极差为0.8，最大离差0.43

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 牌号 | 规格（mm） | 状态 | δ | ΔB  | θ | 验证单位 |
| C19210 | 0.5 | H | 4.38 | -1.28 | 0 | 洛铜 |
| 4.51 | -1.2 | 0.21 | 河科大 |
| 4.49 | -1.25 | 0.15 | 楚江 |

试样21： δ极差为0.13，最大离差0.08；

ΔB极差为0.08，最大离差0.04；

θ极差为0.21，最大离差0.12。

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 牌号 | 规格（mm） | 状态 | δ | ΔB  | θ | 验证单位 |
| C5191 | 0.15 | H | 2.2 | 0.3 | 0.24 | 洛铜 |
| 2.4 | 0.5 | 0.26 | 河科大 |
| 2.5 | 0.1 | 0.14 | 江铜 |

试样22：δ极差为0.3，最大离差0.17；

ΔB极差为0.4，最大离差0.2；

θ极差为0.12，最大离差0.07。

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 牌号 | 规格（mm） | 状态 | δ | ΔB  | θ | 验证单位 |
| C5191 | 0.2 | H | 2.92 | 0.94 | -9.4 | 洛铜 |
| 2.76 | 1.52 | -9.5 | 河科大 |
| 2.68 | 1.37 | -9.47 | 楚江 |

试样23： δ极差为0.24，最大离差0.13；

ΔB极差为0.58，最大离差0.34；

θ极差为0.1，最大离差0.05。

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 牌号 | 规格（mm） | 状态 | δ | ΔB  | θ | 验证单位 |
| C5210 | 0.15 | H | 0.42 | 0.30 | 0.24 | 洛铜 |
| 0.23 | 0.25 | 0.26 | 河科大 |
| 0.26 | 0.50 | 0.20 | 江铜 |

试样24： δ极差为0.19，最大离差0.11；

ΔB极差为0.25，最大离差0.15；

θ极差为0.06，最大离差0.03。

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 牌号 | 规格（mm） | 状态 | δ | ΔB  | θ | 验证单位 |
| C5210 | 0.15 | H | 4.06 | 0 | 0 | 洛铜 |
| 3.56 | 0.12 | 0.15 | 河科大 |
| 3.78 | 0 | 0.12 | 楚江 |

试样25： δ极差为0.5，最大离差0.26；

ΔB极差为0.12，最大离差0.08；

θ极差为0.15，最大离差0.09。

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 牌号 | 规格（mm） | 状态 | δ | ΔB  | θ | 验证单位 |
| C5210 | 0.15 | H | 3.94 | 0 | 0 | 洛铜 |
| 3.58 | 0.14 | 0.16 | 河科大 |
| 4.03 | 0.11 | 0.12 | 楚江 |

试样26：δ极差为0.45，最大离差0.27；

ΔB极差为0.14，最大离差0.08；

θ极差为0.16，最大离差0.09。

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 牌号 | 规格（mm） | 状态 | δ | ΔB  | θ | 验证单位 |
| C5210 | 0.15 | H | 2.53 | 0.12 | 0 | 洛铜 |
| 2.59 | 0.22 | 0.13 | 河科大 |
| 2.68 | 0.10 | 0.2 | 楚江 |

试样27： δ极差为0.15，最大离差0.08；

ΔB极差为0.12，最大离差0.07；

θ极差为0.2，最大离差0.11。

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 牌号 | 规格（mm） | 状态 | δ | ΔB  | θ | 验证单位 |
| C7025 | 0.195 | TM02 | 0.92 | 0.26 | 0.21 | 洛铜 |
| 0.83 | 0.23 | 0.23 | 河科大 |
| 1.0 | 0.20 | 0.10 | 江铜 |

试样28： δ极差为0.17，最大离差0.08；

ΔB极差为0.06，最大离差0.03；

θ极差为0.13，最大离差0.08。

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 牌号 | 规格（mm） | 状态 | δ | ΔB  | θ | 验证单位 |
| C7025 | 0.5 | TM02 | 0.45 | 0.15 | 0.25 | 洛铜 |
| 0.53 | 0.15 | 0.21 | 河科大 |
| 0.6 | 0 | 0.124 | 江铜 |

试样29： δ极差为0.15，最大离差0.07；

ΔB极差为0.15，最大离差0.10；

θ极差为0.12，最大离差0.07。

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 牌号 | 规格（mm） | 状态 | δ | ΔB  | θ | 验证单位 |
| C1100 | 1.0 | H02 | 6.3 | 1.5 | 0.41 | 洛铜 |
| 6.1 | 1.3 | 0.32 | 河科大 |
| 6.0 | 1.8 | 0.236 | 江铜 |

试样30： δ极差为0.3，最大离差0.16；

ΔB极差为0.5，最大离差0.27；

θ极差为0.17，最大离差0.08。

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 牌号 | 规格（mm） | 状态 | δ | ΔB  | θ | 验证单位 |
| H65 | 0.8 | H | 4.8 | 3.6 | 0.14 | 洛铜 |
| 5.2 | 3.2 | 0.12 | 河科大 |
| 5.0 | 3.5 | 0.247 | 江铜 |

试样31： δ极差为0.4，最大离差0.2；

ΔB极差为0.4，最大离差0.23；

θ极差为0.13，最大离差0.07。