《铜及铜合金无缝管 残余应力测试方法切割法》

送审稿编制说明

1. 任务来源

根据工信部《工业和信息化部 2019年第一批行业标准制修订和外文版项目计划》工信厅科函[2019]126号文件，其中项目编号“2019--0408T-YS ”《 铜及铜合金无缝管 残余应力测试方法切割法》行业标准由金龙精密铜管集团股份有限公司、浙江海亮股份有限公司、江西耐乐铜业有限公司、江阴和宏精工科技有限公司、无锡隆达金属材料有限公司、江苏萃隆精密铜管股份有限公司等负责起草，完成年限为2021年6月。

现行的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方法](http://www.standardcn.com/standard_plan/list_standard_content.asp?stand_id=GB/T@10567.1-1997)》、GB/T 10567.2-2007，《[铜及铜合金加工材残余应力检验方法 氨薰试验法](http://www.standardcn.com/standard_plan/list_standard_content.asp?stand_id=GB/T@10567.2-2007)》存在，距今已经超过10年。国际标准和国外标准没有现成的标准对比。随着铜管生产技术和制冷技术的发展，使用总量和场景范围不断增加，应力失效也不断发生，对铜管应力测试提出了更便捷、快速的要求，为适应国际和国内市场的竞争需要，持续提高产品的竞争能力，对《 铜及铜合金无缝管 残余应力测试方法切割法》标准进行制订。

2．工作概况和编制依据

标准制订计划任务正式下达后，立即成立了标准编制组，并落实修订起草任务，确定标准的主要起草人，拟定该标准的工作计划。具体分工为：金龙精密铜管集团股份有限公司总负责试验方法的信息收集、对比、资料汇总及执笔；浙江海亮股份有限公司、江西耐乐铜业有限公司、江阴和宏精工科技有限公司、无锡隆达金属材料有限公司、江苏萃隆精密铜管股份有限公司等负责起草等负责补充不同材质试验数据，验证、细化操作。各企业分工明确，紧密合作，共同完成标准的修订工作。

3．研究、起草过程

标准起草单位首先查阅了国内外有关铜及铜合金无缝管残余应力测试的标准和资料。国内外对残余应力的检测主要有两类，有损检测，如：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方法](http://www.standardcn.com/standard_plan/list_standard_content.asp?stand_id=GB/T@10567.1-1997" \t "_blank)、GB/T 10567.2-2007，[铜及铜合金加工材残余应力检验方法 氨薰试验法](http://www.standardcn.com/standard_plan/list_standard_content.asp?stand_id=GB/T@10567.2-2007" \t "_blank)，GB/T 8000-2001 热交换器用黄铜管残余应力检验方法 氨熏试验法，CB/T 3395-2013，[残余应力测试方法 钻孔应变释放法](http://www.standardcn.com/standard_plan/list_standard_content.asp?stand_id=CB/T@3395-2013" \t "_blank)，GB/T 24179-2009，[金属材料 残余应力测定 压痕应变法](http://www.standardcn.com/standard_plan/list_standard_content.asp?stand_id=GB/T@24179-2009" \t "_blank)；无损检测：DIN EN 15305-2009，[无损检测.X射线衍射法对残余应力分析用试验方法](http://www.standardcn.com/standard_plan/list_standard_content.asp?stand_id=DIN@EN@15305-2009" \t "_blank)。

铜及铜合金管材残余应力定量测量方法缺失，现有方法存在缺陷，氨薰试验法耗时长对TP2铜管缺乏敏感性，硝酸的亚汞法中汞盐有剧毒，配制和操作时必须要有特殊的防护措施，试验后的汞盐溶液和试样处理困难，X射线衍射法仪器昂贵、操作复杂、成本高、只对表面进行测量且对人体有害，现有方法对高效翅片管难以进行。资料显示磷含量超过0.004%时会发生应力腐蚀开裂，中央空调作为利润较高的产品市场不断加大，同时失效成本也大，缺少针对管材应力的方便快捷的检测方法。

4. 编制原则

（1） 本标准的起草原则是采用Crampton(克兰普顿)法。

（2） 结合生产状况，力求做到标准的规范性、合理性与实用性。

（3） 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》的要求进行编制的。

5．编制内容

本标准包括适用范围、符号、名称和单位、试验原理、试验设备、试样、试验方法、参数与建议和试验报告等八项内容。

本标准对影响残余应力检验的主要因素作了以下相应的规定：

（1） 明确了测量设备: 测量分度值不大于0.01mm。

（2） 规定了试样长度：截取全截面管长L，除另有要求为50mm。

（3）纵向切开位置：切开位置与测量方向垂直且经过轴心。

（4）参数与建议部分提供了一些常用材料的杨氏模量和泊松比，以及建议的残余应力限值。

经过对现用标准的调查研究，于2020年8月20日形成征求意见稿，提交9月成都标准工作会议讨论。

6．数据收集

预审后参与铜管厂家进行了试验，结果汇总如下。

（1）产品试验

表1：残余应力（TP2、TP1）

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 名称 | 牌号 | 状态 | 是否去应力退火 | 制样方式 | 原始外径(mm) | 厚度(mm) | 切开后管外径(mm) | 残余应力(MPa) |
| 光管 | TP2 | H55 | 否 | 电锯 | 16.02  | 0.65 | 16.07  | 16.6  |
| 光管 | TP2 | H55 | 否 | 电锯 | 16.03  | 0.65 | 16.07  | 13.3  |
| 光管 | TP2 | H55 | 否 | 手锯 | 16.03  | 0.65 | 16.06  | 9.9  |
| 光管 | TP2 | H55 | 否 | 手锯 | 16.02  | 0.65 | 16.07  | 16.6  |
| 光管 | TP2 | H55 | 否 | 手锯 | 16.03  | 0.65 | 16.05  | 6.6  |
| 光管 | TP2 | H55 | 否 | 手锯 | 28.62  | 1.2 | 28.74  | 23.0  |
| 光管 | TP2 | H55 | 否 | 手锯 | 28.60  | 1.2 | 28.74  | 26.8  |
| 光管 | TP2 | H55 | 否 | 手锯 | 28.60  | 1.2 | 28.72  | 23.0  |
| 光管 | TP2 | H55 | 否 | 手锯 | 28.62  | 1.2 | 28.74  | 23.0  |
| 光管 | TP2 | H55 | 否 | 手锯 | 22.21  | 1 | 22.26  | 13.3  |
| 光管 | TP2 | H55 | 否 | 手锯 | 22.21  | 1 | 22.26  | 13.3  |
| 光管 | TP2 | H55 | 否 | 手锯 | 22.22  | 1 | 22.24  | 5.3  |
| 光管 | TP2 | H55 | 否 | 手锯 | 22.21  | 1 | 22.24  | 8.0  |
| 光管 | TP2 | H55 | 否 | 手锯 | 42.08  | 1.5 | 43.34  | 136.1  |
| 光管 | TP2 | H55 | 否 | 手锯 | 42.08  | 1.5 | 43.34  | 136.1  |
| 光管 | TP2 | H55 | 否 | 手锯 | 42.08  | 1.5 | 43.04  | 104.4  |
| 光管 | TP2 | H55 | 否 | 手锯 | 42.06  | 1.5 | 43.34  | 138.3  |
| 光管 | TP2 | H55 | 否 | 手锯 | 15.97  | 1 | 16.19  | 111.7  |
| 光管 | TP2 | H55 | 否 | 手锯 | 15.95  | 1 | 16.14  | 96.9  |
| 光管 | TP2 | H55 | 否 | 手锯 | 15.93  | 1 | 16.17  | 122.3  |
| 光管 | TP2 | H55 | 否 | 手锯 | 15.95  | 1 | 16.15  | 101.9  |
| 光管 | TP2 | H55 | 否 | 手锯 | 21.99  | 1 | 22.05  | 16.2  |
| 光管 | TP2 | H55 | 否 | 手锯 | 22.00  | 1 | 22.06  | 16.2  |
| 光管 | TP2 | H55 | 否 | 手锯 | 21.99  | 1 | 22.06  | 18.9  |
| 光管 | TP2 | H55 | 否 | 手锯 | 21.99  | 1 | 22.05  | 16.2  |
| 光管 | TP2 | H55 | 否 | 手锯 | 22.25  | 1.2 | 22.31  | 19.0  |
| 光管 | TP2 | H55 | 否 | 手锯 | 22.25  | 1.2 | 22.31  | 19.0  |
| 光管 | TP2 | H55 | 否 | 手锯 | 22.25  | 1.2 | 22.30  | 15.9  |
| 光管 | TP2 | H55 | 否 | 手锯 | 22.25  | 1.2 | 22.32  | 22.2  |
| 光管 | TP2 | H55 | 否 | 手锯 | 38.22  | 1.5 | 38.80  | 77.0  |
| 光管 | TP2 | H55 | 否 | 手锯 | 38.22  | 1.5 | 39.02  | 105.6  |
| 光管 | TP2 | H55 | 否 | 手锯 | 38.22  | 1.5 | 38.70  | 63.9  |
| 光管 | TP2 | H55 | 否 | 手锯 | 38.23  | 1.5 | 38.76  | 70.4  |
| 光管 | TP2 | H55 | 否 | 手锯 | 15.85  | 0.79 | 15.98  | 53.2  |
| 光管 | TP2 | H55 | 否 | 手锯 | 15.85  | 0.79 | 15.96  | 45.1  |
| 光管 | TP2 | H55 | 否 | 手锯 | 15.85  | 0.79 | 15.96  | 45.1  |
| 光管 | TP2 | H55 | 否 | 手锯 | 15.85  | 0.79 | 15.97  | 49.2  |
| 光管 | TP2 | H55 | 否 | 手锯 | 15.84  | 0.75 | 15.94  | 39.0  |
| 光管 | TP2 | H55 | 否 | 手锯 | 15.84  | 0.75 | 15.96  | 46.7  |
| 光管 | TP2 | H55 | 否 | 手锯 | 15.84  | 0.75 | 15.97  | 50.6  |
| 光管 | TP2 | H55 | 否 | 手锯 | 15.84  | 0.75 | 15.94  | 39.0  |
| 光管 | TP2 | H55 | 否 | 手锯 | 15.90  | 0.79 | 16.07  | 69.0  |
| 光管 | TP2 | H55 | 否 | 手锯 | 15.90  | 0.79 | 16.10  | 81.0  |
| 光管 | TP2 | H55 | 否 | 手锯 | 15.90  | 0.79 | 16.10  | 81.0  |
| 光管 | TP2 | H55 | 否 | 手锯 | 15.90  | 0.79 | 16.11  | 85.0  |
| 光管 | TP2 | H55 | 否 | 手锯 | 15.92  | 0.79 | 16.05  | 52.8  |
| 光管 | TP2 | H55 | 否 | 手锯 | 15.91  | 0.79 | 16.04  | 52.8  |
| 光管 | TP2 | H55 | 否 | 手锯 | 15.91  | 0.79 | 16.01  | 40.7  |
| 光管 | TP2 | H55 | 否 | 手锯 | 15.91  | 0.79 | 16.04  | 52.8  |
| 光管 | TP2 | H55 | 否 | 手锯 | 28.60  | 1.20  | 28.68  | 15.4  |
| 光管 | TP2 | H55 | 否 | 手锯 | 28.60  | 1.20  | 28.68  | 15.4  |
| 光管 | TP2 | H55 | 否 | 电锯 | 16.02  | 0.65  | 16.08  | 19.9  |
| 光管 | TP2 | H55 | 否 | 电锯 | 16.02  | 0.65  | 16.03  | 3.3  |
| 光管 | TP2 | H55 | 否 | 电锯 | 16.02  | 0.65  | 16.08  | 19.9  |
| 光管 | TP2 | H55 | 否 | 电锯 | 16.02  | 0.65  | 16.08  | 19.9  |
| 光管 | TP2 | H55 | 否 | 手锯 | 19.05  | 1.00  | 19.08  | 10.8  |
| 光管 | TP2 | H55 | 否 | 手锯 | 19.05  | 1.00  | 19.08  | 10.8  |
| 光管 | TP2 | H55 | 否 | 手锯 | 19.05  | 1.00  | 19.08  | 10.8  |
| 光管 | TP2 | H55 | 否 | 手锯 | 19.05  | 1.00  | 19.08  | 10.8  |
| 光管 | TP2 | H55 | 否 | 手锯 | 9.52  | 0.70  | 9.57  | 50.4  |
| 光管 | TP2 | H55 | 否 | 手锯 | 9.55  | 0.70  | 9.62  | 70.0  |
| 光管 | TP2 | H55 | 否 | 手锯 | 9.50  | 0.70  | 9.58  | 80.8  |
| 光管 | TP2 | H55 | 否 | 手锯 | 9.50  | 0.70  | 9.56  | 60.7  |
| 光管 | TP2 | H55 | 否 | 手锯 | 35.00  | 1.20  | 36.34  | 166.0  |
| 光管 | TP2 | H55 | 否 | 手锯 | 35.00  | 1.20  | 36.14  | 142.0  |
| 光管 | TP2 | H55 | 否 | 手锯 | 35.00  | 1.20  | 36.12  | 139.6  |
| 光管 | TP2 | H55 | 否 | 手锯 | 15.89  | 0.70  | 16.13  | 86.1  |
| 光管 | TP2 | H55 | 否 | 手锯 | 15.88  | 0.70  | 16.10  | 79.1  |
| 光管 | TP2 | H55 | 否 | 手锯 | 15.88  | 0.70  | 16.18  | 107.3  |
| 光管 | TP2 | H55 | 否 | 手锯 | 15.88  | 0.70  | 16.12  | 86.2  |
| 光管 | TP2 | H55 | 否 | 手锯 | 25.43  | 1.00  | 25.48  | 10.1  |
| 光管 | TP2 | H55 | 否 | 手锯 | 25.43  | 1.00  | 25.51  | 16.2  |
| 光管 | TP2 | H55 | 否 | 手锯 | 25.42  | 1.00  | 25.50  | 16.2  |
| 光管 | TP2 | H55 | 否 | 手锯 | 25.41  | 1.00  | 25.48  | 14.2  |
| 光管 | TP2 | H80 | 否 | 手工锯 | 28.64  | 1.20  | 28.56  | -15.4  |
| 光管 | TP2 | H80 | 否 | 手工锯 | 28.64  | 1.18  | 28.55  | -17.1  |
| 光管 | TP2 | H80 | 否 | 手工锯 | 19.05  | 0.60  | 19.49  | 93.4  |
| 光管 | TP2 | H80 | 否 | 手工锯 | 19.05  | 0.59  | 19.36  | 65.1  |
| 光直管 | TP2 | H55 | 否 | 手锯 | 15.89  | 0.65 | 16.06  | 56.9  |
| 光直管 | TP1 | 1/2H | 否 | 手锯 | 15.92  | 0.7 | 16.08  | 57.4  |
| 光直管 | TP2 | H55 | 否 | 手锯 | 15.91  | 0.75 | 16.27  | 137.0  |
| 光直管 | TP1 | 1/2H | 否 | 手锯 | 18.94  | 0.55 | 19.06  | 24.0  |
| 光直管 | TP2 | Y | 否 | 手锯 | 18.93  | 1 | 18.97  | 14.6  |
| 光直管 | TP2 | Y | 否 | 手锯 | 18.83  | 1 | 18.89  | 22.1  |
| 光直管 | TP1 | 1/2H | 否 | 手锯 | 18.90  | 0.55 | 19.04  | 28.1  |
| 光直管 | TP1 | 1/2H | 否 | 手锯 | 15.87  | 0.6 | 15.98  | 34.2  |
| 光直管 | TP1 | H55 | 否 | 手锯 | 15.85  | 0.55 | 15.94  | 25.7  |
| 光直管 | TP1 | 1/2H | 否 | 手锯 | 15.96  | 0.55 | 16.00  | 11.3  |
| 光直管 | TP1 | 1/2H | 否 | 手锯 | 18.96  | 0.55 | 19.27  | 61.3  |
| 光直管 | TP1 | 1/2H | 否 | 手锯 | 15.91  | 0.55 | 16.07  | 45.2  |
| 光直管 | TP1 | 1/2H | 否 | 手锯 | 18.90  | 0.55 | 19.07  | 34.1  |
| 光直管 | TP1 | 1/2H | 否 | 手锯 | 15.89  | 0.57 | 16.08  | 55.7  |
| 光直管 | TP2 | H | 否 | 手锯 | 10.04  | 0.4 | 10.08  | 20.8  |
| 光直管 | TP2 | 1/2H | 否 | 手锯 | 15.99  | 0.55 | 16.05  | 16.9  |
| 光直管 | TP1 | 1/2H | 否 | 手锯 | 18.92  | 0.55 | 19.09  | 34.0  |
| 光直管 | TP1 | 1/2H | 否 | 手锯 | 15.86  | 0.55 | 15.98  | 34.2  |
| 光直管 | TP1 | 1/2H | 否 | 手锯 | 18.94  | 0.55 | 19.11  | 33.9  |
| 光直管 | TP1 | 1/2H | 否 | 手锯 | 18.95  | 0.58 | 19.03  | 16.9  |
| 光直管 | TP1 | 1/2H | 否 | 手锯 | 15.84  | 0.58 | 15.99  | 45.1  |
| 光直管 | TP2 | 1/2H | 否 | 手锯 | 15.95  | 0.6 | 16.08  | 39.9  |
| 光直管 | TP2 | 1/2H | 否 | 手锯 | 15.98  | 0.55 | 16.10  | 33.7  |
| 光直管 | TP1 | 1/2H | 否 | 手锯 | 18.97  | 0.55 | 19.15  | 35.8  |
| 光直管 | TP1 | 1/2H | 否 | 手锯 | 15.87  | 0.65 | 15.98  | 37.0  |
| 光直管 | TP2 | H55 | 否 | 手锯 | 15.98  | 0.55 | 16.11  | 36.5  |
| 光直管 | TP1 | H55 | 否 | 手锯 | 18.86  | 0.55 | 19.15  | 58.0  |
| 光直管 | TP2 | H55 | 否 | 手锯 | 15.90  | 0.96 | 16.04  | 69.2  |
| 光直管 | TP1 | H55 | 否 | 手锯 | 18.93  | 0.55 | 19.23  | 59.5  |
| 光直管 | TP2 | H55 | 否 | 手锯 | 22.14  | 0.9 | 22.51  | 87.7  |
| 光管 | TP2 | H80 | 否 | 手工锯 | 9.52  | 0.8 | 9.57  | 57.6  |
| 光管 | TP2 | H55 | 退火 | 手工锯 | 12.08  | 0.8 | 12.13  | 35.8  |
| 光管 | TP2 | H55 | 退火 | 手工锯 | 12.63  | 0.8 | 12.66  | 19.7  |
| 光管 | TP2 | H55 | 退火 | 手工锯 | 9.67  | 0.6 | 9.71  | 33.6  |
| 光管 | TP2 | H55 | 退火 | 手工锯 | 7.85  | 0.31 | 7.94  | 58.8  |
| 光管 | TP2 | H55 | 退火 | 手工锯 | 6.38  | 0.75 | 6.40  | 48.2  |
| 光管 | TP2 | H55 | 退火 | 手工锯 | 9.52  | 0.8 | 9.54  | 23.1  |
| 光盘管 | TP2 | O60 | 退火 | 手锯 | 9.46  | 0.8 | 9.47  | 11.7  |
| 光直管 | TP2 | O60 | 退火 | 手锯 | 22.00  | 1.2 | 22.01  | 1.6  |

图1：TP2铜管残余应力）

表2：残余应力（翅片管、内螺纹）

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 名称 | 牌号 | 状态 | 是否去应力退火 | 制样方式 | 原始外径(mm) | 厚度(mm) | 切开后管外径(mm) | 残余应力(MPa) |
| 翅片管 | TP2 | H55 | 否 | 手锯 | 15.68  | 0.86  | 15.83  | 68.24  |
| 翅片管 | TP2 | H55 | 否 | 手锯 | 15.68  | 0.86  | 15.83  | 68.24  |
| 翅片管 | TP2 | H55 | 否 | 手锯 | 15.69  | 0.86  | 15.84  | 68.15  |
| 翅片管 | TP2 | H55 | 否 | 手锯 | 15.68  | 0.86  | 15.83  | 68.24  |
| 翅片管 | TP2 | H55 | 否 | 电锯 | 15.71  | 0.86  | 15.82  | 49.98  |
| 翅片管 | TP2 | H55 | 否 | 电锯 | 15.72  | 0.86  | 15.84  | 54.42  |
| 翅片管 | TP2 | H55 | 否 | 电锯 | 15.72  | 0.86  | 15.83  | 49.91  |
| 翅片管 | TP2 | H55 | 否 | 电锯 | 15.71  | 0.86  | 15.84  | 58.99  |
| 翅片管 | TP2 | H55 | 否 | 手锯 | 18.94  | 2.06  | 18.99  | 37.60  |
| 翅片管 | TP2 | H55 | 否 | 手锯 | 18.93  | 2.06  | 18.98  | 37.64  |
| 翅片管 | TP2 | H55 | 否 | 手锯 | 18.93  | 2.06  | 18.98  | 37.64  |
| 翅片管 | TP2 | H55 | 否 | 手锯 | 18.94  | 2.06  | 18.99  | 37.60  |
| 19冷凝管 | TP2 | H55 | 否 | 电锯 | 18.85 | 1.72 | 18.97 | 75.79  |
| 16冷凝管 | TP2 | H55 | 否 | 电锯 | 15.92 | 1.75 | 16 | 72.16  |
| 25.4蒸发管 | TP2 | H55 | 否 | 电锯 | 25.13 | 1.4 | 25.62 | 139.90  |
| 19蒸发管 | TP2 | H55 | 否 | 电锯 | 18.91 | 1.63 | 19.1 | 112.58  |
| 内螺纹 | TP2 | H80 | 否 | 手工锯 | 7.93  | 0.43 | 8.05  | 106.1  |
| 内螺纹 | TP2 | H55 | 退火 | 手工锯 | 7.12  | 0.42 | 7.20  | 86.1  |

图2：残余应力（翅片管、内螺纹）

表:3：残余应力（白铜直管）

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 名称 | 牌号 | 状态 | 是否去应力退火 | 制样方式 | 原始外径(mm) | 厚度(mm) | 切开后管外径(mm) | 残余应力(MPa) |
| 19 | BFe10-1-1 | H80 | 否 | 电锯 | 18.82 | 1.74 | 19.02 | 135.28  |
| 25 | BFe10-1-1 | H80 | 否 | 电锯 | 25.32 | 1.65 | 25.78 | 161.80  |
| 16x1 | BFe10-1-1 | H80 | 否 | 电锯 | 15.92 | 1 | 16.06 | 76.20  |
| 12x0.95 | BFe10-1-1 | H80 | 否 | 电锯 | 11.98 | 0.95 | 12.09 | 100.40  |
| 28x1.5 | BFe10-1-1 | H80 | 否 | 电锯 | 27.93 | 1.5 | 28.07 | 37.27  |
| 光管 | 白铜 | H55 | 否 | 手锯 | 12.86  | 0.5 | 13.00  | 58.27  |
| 光管 | 白铜 | H55 | 否 | 手锯 | 12.86  | 0.5 | 12.95  | 37.60  |
| 光管 | 白铜 | H55 | 否 | 手锯 | 12.78  | 0.5 | 12.81  | 12.75  |
| 光管 | 白铜 | H55 | 否 | 手锯 | 12.78  | 0.5 | 12.81  | 12.75  |
| 光管 | 白铜 | H55 | 否 | 手锯 | 11.97  | 1.2 | 11.98  | 11.64  |
| 光管 | 白铜 | H55 | 否 | 手锯 | 11.97  | 1.2 | 11.99  | 23.27  |
| 光管 | 白铜 | H55 | 否 | 手锯 | 11.98  | 1.2 | 11.98  | 0.00  |
| 光管 | 白铜 | H55 | 否 | 手锯 | 11.98  | 1.2 | 11.99  | 11.63  |
| 光管 | 白铜 | H55 | 否 | 手锯 | 9.89  | 0.6 | 9.89  | 0.00  |
| 光管 | 白铜 | H55 | 否 | 手锯 | 9.89  | 0.6 | 9.90  | 8.53  |
| 光管 | 白铜 | H55 | 否 | 手锯 | 9.88  | 0.6 | 9.90  | 17.07  |
| 光管 | 白铜 | H55 | 否 | 手锯 | 9.88  | 0.6 | 9.90  | 17.07  |
| 光管 | 白铜 | H55 | 否 | 手锯 | 6.02  | 0.75 | 6.04  | 57.41  |
| 光管 | 白铜 | H55 | 否 | 手锯 | 6.02  | 0.75 | 6.04  | 57.41  |

图3：残余应力（白铜管）

表4：残余应力（黄铜直管）

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 名称 | 牌号 | 状态 | 是否去应力退火 | 制样方式 | 原始外径(mm) | 厚度(mm) | 切开后管外径(mm) | 残余应力(MPa) |
| 25.x1.2 | H65 | HR04 | 否 | 电锯 | 24.99 | 1.2 | 25.16 | 37.50  |
| 19x0.8 | H65 | HR04 | 否 | 电锯 | 18.98 | 0.8 | 19.07 | 22.99  |
| 24.x1.00 | H65 | HR04 | 否 | 电锯 | 23.99 | 1 | 24.15 | 31.92  |
| 28x1.03 | H65 | HR04 | 否 | 电锯 | 28.02 | 1.03 | 28.08 | 9.08  |
| 32x1.11 | H65 | HR04 | 否 | 电锯 | 32.01 | 1.11 | 32.1 | 11.24  |
| 直管 | H65 | H80 | 否 | 手工锯 | 24.1 | 0.98 | 24.86 | 143.69  |
| 直管 | H65 | H80 | 否 | 手工锯 | 24.08 | 0.99 | 24.83 | 143.54  |
| 直管 | H65 | H80 | 否 | 手工锯 | 24.09 | 0.99 | 24.85 | 145.28  |
| 直管 | H65 | H80 | 否 | 手工锯 | 24.1 | 0.99 | 24.84 | 141.45  |
| 直管 | H65 | H80 | 否 | 手工锯 | 24.08 | 0.98 | 24.85 | 145.76  |
| 直管 | H65 | H80 | 否 | 手工锯 | 38.38 | 1.3 | 40.45 | 200.36  |
| 直管 | H65 | H80 | 否 | 手工锯 | 38.4 | 1.2 | 40.09 | 152.27  |
| 直管 | H65 | H80 | 否 | 手工锯 | 38.41 | 1.25 | 40.22 | 169.28  |
| 直管 | H65 | H80 | 否 | 手工锯 | 38.42 | 1.3 | 40.25 | 177.82  |
| 直管 | H65 | H80 | 否 | 手工锯 | 38.4 | 1.25 | 40.31 | 178.28  |
| 直管 | H65 | H80 | 否 | 手工锯 | 34.65 | 0.9 | 35.77 | 94.00  |
| 直管 | H65 | H80 | 否 | 手工锯 | 34.6 | 0.92 | 35.26 | 57.53  |
| 直管 | H65 | H80 | 否 | 手工锯 | 34.62 | 0.92 | 35.52 | 77.83  |
| 直管 | H65 | H80 | 否 | 手工锯 | 34.6 | 0.9 | 35.42 | 69.61  |
| 直管 | H65 | H80 | 否 | 手工锯 | 34.61 | 0.91 | 35.35 | 63.62  |
| 直管 | H65 | H80 | 否 | 手工锯 | 28.19 | 2.42 | 28.59 | 138.83  |
| 直管 | H65 | H80 | 否 | 手工锯 | 28.19 | 2.44 | 28.64 | 157.20  |
| 直管 | H65 | H80 | 否 | 手工锯 | 28.2 | 2.42 | 28.62 | 145.56  |
| 直管 | H65 | H80 | 否 | 手工锯 | 28.22 | 2.42 | 28.55 | 114.57  |
| 直管 | H65 | H80 | 否 | 手工锯 | 28.2 | 2.44 | 28.68 | 167.38  |
| 直管 | H65 | H80 | 否 | 手工锯 | 13.98 | 0.68 | 14.27 | 114.26  |
| 直管 | H65 | H80 | 否 | 手工锯 | 13.98 | 0.69 | 14.28 | 119.85  |
| 直管 | H65 | H80 | 否 | 手工锯 | 14.01 | 0.68 | 14.25 | 94.49  |
| 直管 | H65 | H80 | 否 | 手工锯 | 13.99 | 0.66 | 14.28 | 110.74  |
| 直管 | H65 | H80 | 否 | 手工锯 | 14 | 0.67 | 14.28 | 108.46  |
| 直管 | H65 | H80 | 否 | 手工锯 | 19.98 | 1.5 | 20.19 | 90.26  |
| 直管 | H65 | H80 | 否 | 手工锯 | 19.98 | 1.5 | 20.21 | 98.76  |
| 直管 | H65 | H80 | 否 | 手工锯 | 20.01 | 1.51 | 20.18 | 73.48  |
| 直管 | H65 | H80 | 否 | 手工锯 | 20.02 | 1.51 | 20.19 | 73.41  |
| 直管 | H65 | H80 | 否 | 手工锯 | 19.99 | 1.5 | 20.22 | 98.66  |
| 直管 | H65 | H80 | 否 | 手工锯 | 25.4 | 1.15 | 26.26 | 171.39  |
| 直管 | H65 | H80 | 否 | 手工锯 | 25.4 | 1.15 | 26.25 | 169.46  |
| 直管 | H65 | H80 | 否 | 手工锯 | 25.41 | 1.16 | 26.24 | 166.91  |
| 直管 | H65 | H80 | 否 | 手工锯 | 25.41 | 1.15 | 26.25 | 167.40  |
| 直管 | H65 | H80 | 否 | 手工锯 | 25.4 | 1.16 | 26.25 | 170.93  |
| 直管 | H65 | H80 | 否 | 手工锯 | 29.6 | 1.25 | 30.9 | 205.36  |
| 直管 | H65 | H80 | 否 | 手工锯 | 29.6 | 1.25 | 30.8 | 190.18  |
| 直管 | H65 | H80 | 否 | 手工锯 | 29.61 | 1.27 | 30.78 | 188.45  |
| 直管 | H65 | H80 | 否 | 手工锯 | 29.62 | 1.26 | 30.75 | 180.69  |
| 直管 | H65 | H80 | 否 | 手工锯 | 29.59 | 1.26 | 30.82 | 196.43  |

图4：残余应力（黄铜直管）

（2）残余应力与热处理相关性试验

拉制铜管的硬度和抗拉强度成正相关，即硬度随抗拉强度的高低变化而同向变化。用黄铜HSn70-1 φ19.05×1.15退火坯管冷拉拔成φ15.77×1.29直铜管做退火试验试样，采用7种不同的去应力退火工艺，得到不同的残余应力值，其结果列于表5。

表5 退火铜管的试验数据

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 退火温度,±10℃ | 残余应力,MPa | 全浸在硝酸亚汞溶液中30min后的表现 |
| 1 | 20（未退火） | 182  | 多条网状裂纹 | 落地无金属响声 |
| 2 | 230  | 120  | 环形裂纹较多的细网状裂纹 | 落地无金属响声 |
| 3 | 260  | 90  | 两条纵向裂纹贯穿全长，无分枝，长度一条40mm，一条20mm | 落地无金属响声 |
| 4 | 280  | 72  | 两条纵向裂纹贯穿全长，无分枝 | 有金属响声 |
| 5 | 310  | 65  | 两条纵向裂纹贯穿全长，无分枝 | 有金属响声 |
| 6 | 330  | 53  | 无裂纹 | 金属响声清脆 |
| 7 | 350  | 43  | 无裂纹 | 金属响声清脆 |
| 8 | 370  | 11  | 无裂纹 | 金属响声清脆 |

残余应力与退火温度变化的关系

0

20

40

60

80

100

120

140

160

180

200

未退火

230

260

280

310

330

350

370

℃

MPa

图5：残余应力与退火温度变化的关系

7. 修订

（1）2020.9.23-25日，在四川成都召开有色金属标准工作会议，对标准征求意见稿进行了预审，来自有色金属工业协会、业内专家对标准提出了相关意见和建议。

表5：预审意见处理

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 标准章节编号 | 建议 | 是否采纳 | 修改情况 |
| 1 | 范围 | 增加壁厚； | 采纳考虑翅片管范围 | 外径5mm～54mm、壁厚0.4mm～3mm |
| 2 | 4 符号、名称和单位 | 符合规范（使用符号，用斜体，下标不用斜体） | 采纳 | 4 符号、名称和单位 |
| 3 | 5 试验原理 | 计算公式从试验原理部分移至试验方法；公式中式中字母说明规范；公式简化；说明翅片管计算时壁厚以总壁厚计算； | 采纳 | 3 试验原理7.6 试验计算 |
| 4 | 6.1切割设备 | 明确切割锯片厚度，明确要求用线切割，或采用不同精度不同要求。 | 采纳 | 5.1 切割设备 可采用线切割、电锯、手锯，应能切割样品而不使样品过热变色、明显变形，如使用电锯、手锯，锯片、锯条厚度应不大于0.8mm。 |
| 5 | 9测量建议参数 | 表2移到公式后 | 采纳删除TU2、T2两种材质 | 7.6 试验计算表2 |
| 6 | —— | 增加应力符合性要求参考JIS3300； | 未采纳 |  |

（2）其他修改：

范围部分增加“无缝光管、内螺纹管及无缝翅片管”；

7.3增加“测量位置与端口距离大于10mm”；

增加“8 试验结果评定当产品标准中未规定时，残余应力限值由供需双方协商确定”。

7.制订标准的意义

（1）建议标准，使《铜及铜合金无缝管 残余应力测试方法 切割法》更精确、详细、具体、规范。

（2）《铜及铜合金无缝管 残余应力测试方法 切割法》的制订，能够在现场进行较为快捷的检测，能更好地为我国铜及铜合金管材行业的生产服务，提升产品质量、为国民经济的发展服务。

《铜及铜合金无缝管 残余应力测试方法切割法》行业标准编制组

2021年3月3日