

滞后环法测试铜合金的塑性延伸强度 R_p

AGX-009

摘要：一般来说，材料在弹性变形阶段，其应力和应变成正比例关系（即符合胡克定律），其比例系数称为弹性模量。然而对于一部分合金材料来说，其弹性变形过程中应力应变并不成正比例关系，力 - 延伸率曲线图的弹性直线部分不能明确确定，这时可以使用滞后环法测试其弹性模量，进一步求出其规定塑性延伸强度。

关键词：滞后环法 弹性模量 塑性延伸强度

塑性延伸强度 R_p 作为材料最重要的一个参数之一，无论是设计、品控与研究方面都有着重要的参考价值。一般来说，弹性模量在材料在弹性变形阶段，其应力和应变成正比例关系。然而对于一部分合金来说，弹性变形阶段的力 - 延伸率曲线直线部分不能明确确定，这使得在不同范围内取值的弹性模量存在较

大的差异，导致其规定塑性延伸强度差异也会比较大。使用滞后环方法可以较准确的测试塑性延伸强度数值。本文参照《GB/T 34505-2017 铜及铜合金材料室温拉伸试验方法》，使用岛津 AGX-V 100kN 万能试验机对铜合金板材进行滞后环拉伸试验。

■ 实验部分

1.1 仪器

AGX-V 100kN 100kN 气动楔形夹具 epsilon3542 引伸计

1.2 试验条件

样品名称：黄铜板材

试验类型：金属拉伸试验

样品数量：2 组

试验速度：按照标准测试速度

试验温度：室温

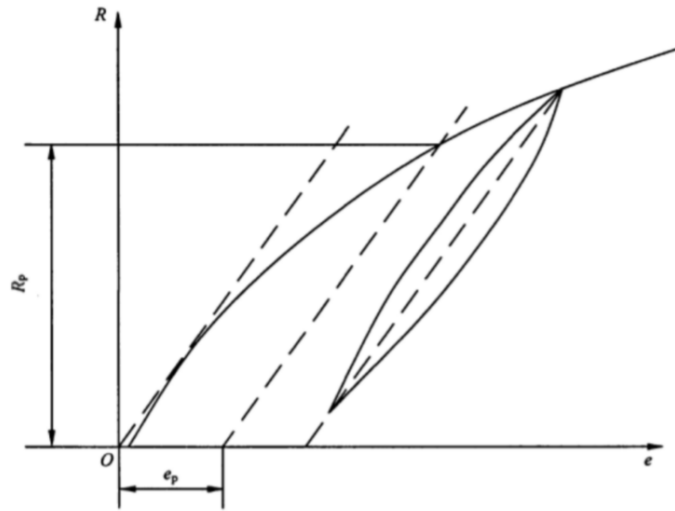
传感器容量：100kN

■ 试验介绍

本试验使用 AGX-V 100kN 万能试验机，搭配 100kN 气动楔形夹具进行试验。位移测量装置使用 epsilon 3542 引伸计。

滞后环法试验步骤：初始试验速度（在弹性阶段）使用 0.00025/s 应变控制速率，达到预期规定塑性延伸强度后（本试验取 160MPa，），将力值卸载至已达到力值的 10%，然后再继续加载，达到屈服阶段后切换 10mm/min 速率拉伸至断裂。

非滞后环法试验步骤：初始试验速度（在弹性阶段）使用 0.00025/s 应变控制速率，到达屈服阶段后切换至位移速率控制 10mm/min 拉至样品断裂。为了测试规定塑性延伸强度：过滞后环两端点画一直线，然后在横轴上与曲线原点距离等效于所规定的塑性延伸率的点，作平行于此直线的平行线，平行线与曲线的交截点的应力，则是规定塑性延伸强度。本试验规定塑性延伸强度取 $R_{p0.2}$ 。



说明：
 e —— 延伸率；
 e_p —— 规定的塑性延伸率；
 R —— 应力；
 R_p —— 规定塑性延伸强度。

图 1 滞后环测试示意图



图 2 样品尺寸图片

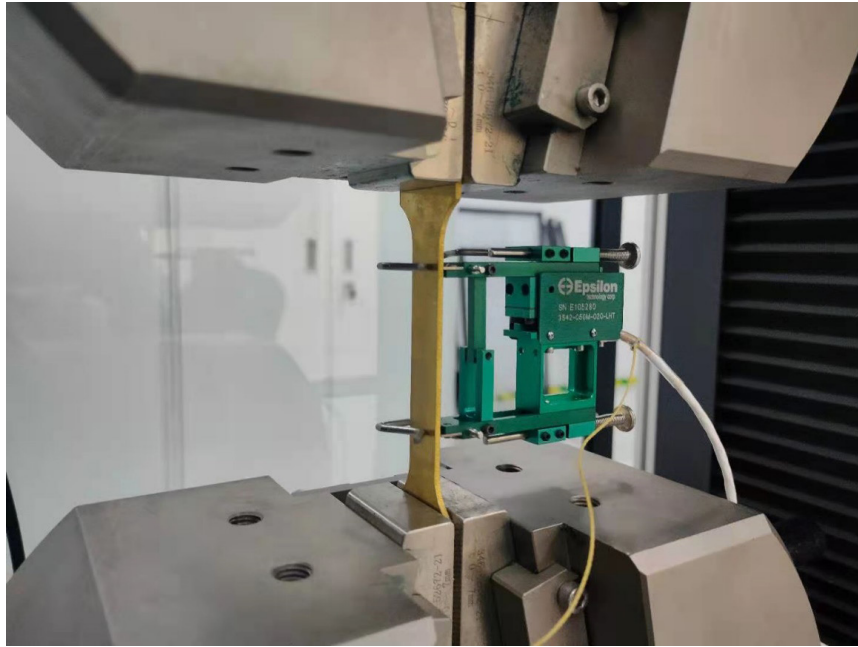


图3 试验拉伸过程

表1 样品尺寸数据

样品	宽度 (mm)	厚度 (mm)	平行长度 Lc (mm)
黄铜	15.03	2.0	65.00

■ 试验结果

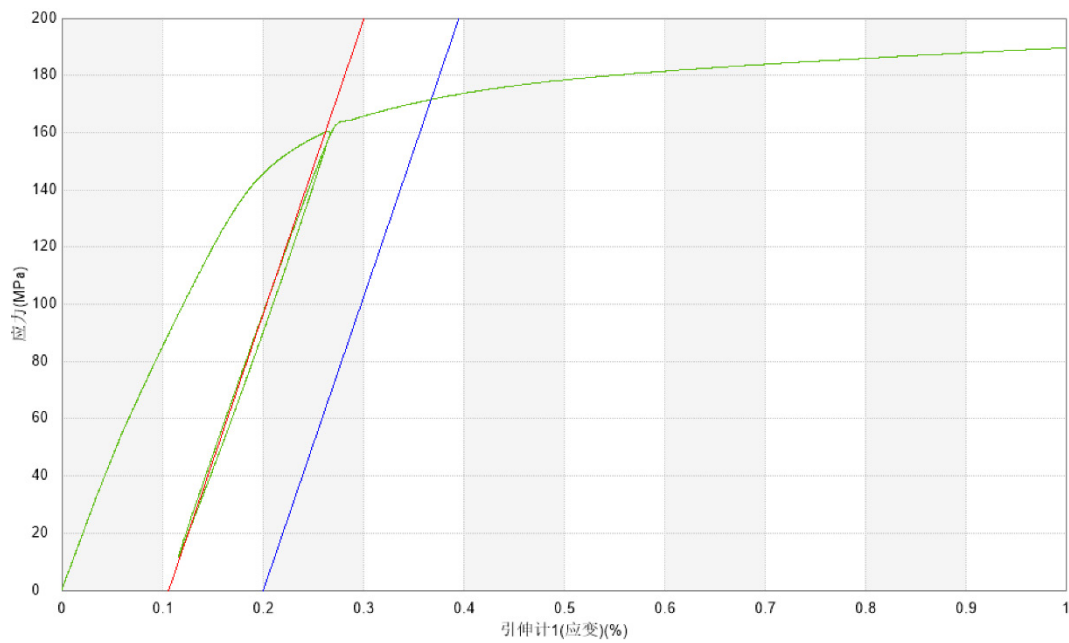


图4 滞后环试验结果图像 (弹性段)

以下试验为不使用滞后环法试验图像：

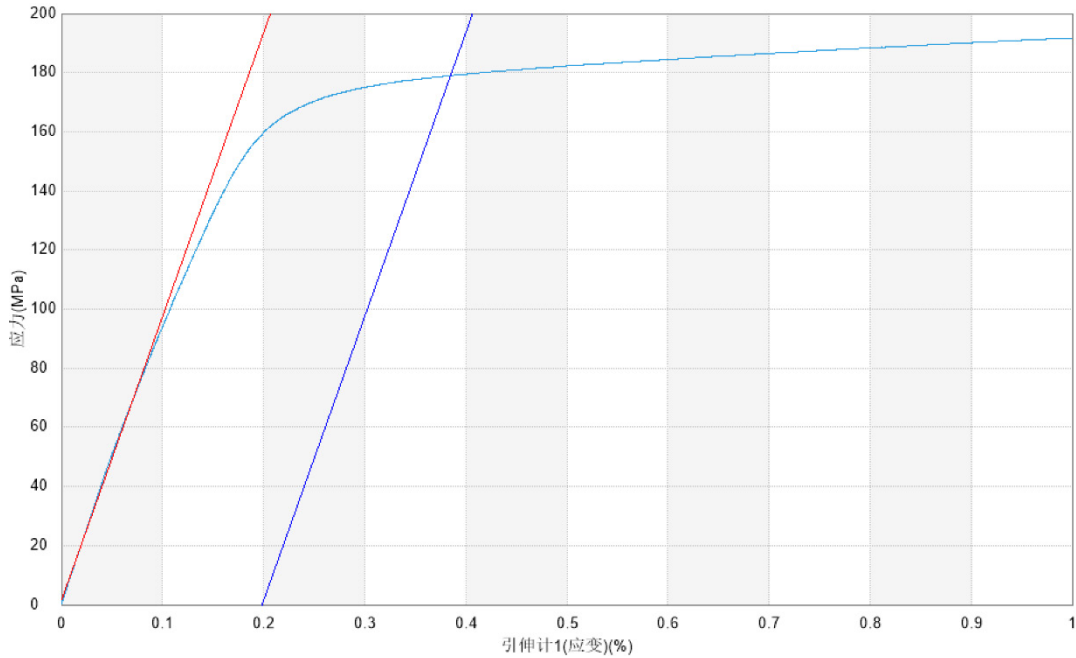


图 5 非滞后环法试验结果图像（弹性段）

表 2 试验结果数据

试验组	弹性模量 (GPa)	规定塑性延伸强度 Rp0.2 (MPa)
滞后环法	102.656	171.526
非滞后环法（自动弹模计算）	96.012	178.917
非滞后环法（手动选取直线段）	88.608	179.391

从图表可得，有无使用滞后环法试验所得数据弹性模量数据有一定差距。

对于黄铜样品，其弹性阶段的直线阶段较不明显，使用滞后环法将样品加载至 160 MPa 接近屈服，卸载至 16 Mpa 后，重新加载至样品断裂，计算所得的弹性模量为 102.656 GPa；

自动弹模计算是计算机通过整体图像直线整体趋势进行计算，所得结果为 96.012 GPa；

使用手动选取直线段则是在 10 MPa-120 MPa 区间内进行最小二乘法计算，所得结果为 88.608 GPa。

可以发现使用滞后环法与自动弹模进行确认的结果相近，与手动选取直线段相比结果差距较大。

滞后环法与非滞后环法区别：非滞后环法使用手动选取应力 - 应变曲线直线段某个区间进行拟合计算，根据所选区间不同其弹性模量变化较为明显。而滞后环法是以滞后环两端点连线的斜率来计算弹性模量，由机器自动得出，其所得弹性模量结果不会产生差异。

滞后环法优势：对于此类合金，直观选取某个范围测试其弹性模量变化较大，难以选到合理区域，采用滞后环法可以有效避开取值区间不合理的误区，其计算结果与整体趋势拟合的自动弹性模量更为接近。参考《GB/T 34505-2017 铜及铜合金材料室温拉伸试验方法》，对此类试验建议采用滞后环法进行试验，其它方式也可作为参考。

■ 结论

岛津的 AG 系列电子万能试验机可以自动控制滞后环法进行试验。对于在弹性阶段中，应力 - 应变不能用简单正比例关系代替的金属材料来说，该方法能有效避免弹性模量取值不准确的问题，且能自动的绘制曲线与弹性模量辅助线进行计算，所得结果可以自动得出，大大提升试验效率。

岛津应用云

