

Application News

No. i262

材料试验 AG-X Plus

钢板的面内反向加载的包辛格效应评价

摘要：本文利用岛津公司的 AG-X Plus 电子万能试验机，配合包辛格效应测试夹具，SG-50-50 引伸计，在不屈曲的情况下对 1mm 厚冷轧钢板（SPCC）进行包辛格效应评估的实例。试验表明使用岛津 AG-X Plus 电子万能试验机可以智能便利且精准地评估钢板的包辛格效应。

关键词：包辛格效应 面内反向加载试验 AG-X Plus 电子万能试验机

包辛格效应是指金属材料的一个特性，当向塑性变形金属材料施加与预变形相反的应力时，压缩屈服应力 σ_{VB} 的绝对值低于预变形时的屈服应力 σ_{VA} （图 2）。众所周知，根据这一特性构建材料模型可以精确预测钢板可能发生的回弹。然而，对于包辛格效应的评估，由于钢板在压缩荷载作用下容易屈曲，因此没有为此类测试建立的评估方法。

岛津公司 AG-X Plus 配置了适用于包辛格效应测量的夹具，其上配置了有防止压缩过程中钢板试样屈曲的机构，变形量可使用接触式引伸计 SG-50-50（专用于包辛格效应测试的夹具）直接测量。如本文所述，利用本试验机与专用夹具，可以进行面内反向加载试验并轻松获得的材料各个性能数据，其软件的使用便利性也可对数据进行整理汇编，使试验结果更加具体化体现。

实验部分

1.1 仪器

AG-X Plus 电子万能试验机 包辛格效应测量夹具

SG-50-50 接触式引伸计

1.2 分析条件

试验温度：室温

面内反向加载控制方式：位移控制

面内反向加载试验速率：1mm/min

传感器容量：100KN

引伸计标距：50mm

试样参数：按照 JIS Z 2241 制作 5 号哑铃状

平面内反向加载应变：0 ↔ 1% / 0 ↔ 2% / 0 ↔ 5%

循环次数：3

试验介绍

利用 AG-X Plus 电子万能试验机和包辛格效应测试夹具，对一种高强度钢板进行了平面内反向加载试验。包辛格效应测量夹具可以附加一个专用的接触式引伸计，从而能够精确测量试样中产生的应变。包辛格效应测量夹具还提供了一个支持使用应变计进行应变测量的选项。如下图 1。

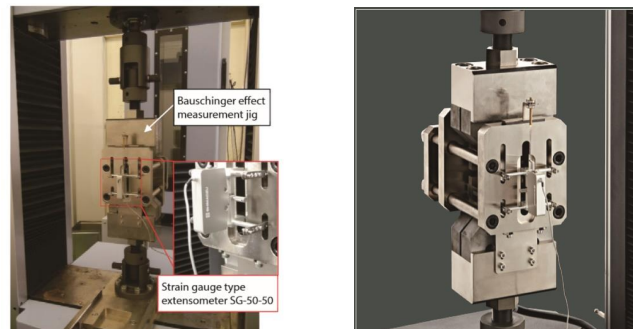


图 1 包辛格效应测试夹具

结果与讨论

3.1 试验结果

图 2 中显示通过对试样施加三种不同应变而获得的应力-应变曲线。结果表明，在本试验中使用的 SPCC 材料，其屈服点会在预变形时出现。为了评估包辛格效应，我们将卸载期间的弹性模量偏移 (-0.5%) 以获得压缩方向的屈服应力 σ_{VB} ，与屈服应力 σ_{VA} （即预变形中上屈服强度）之间的绝对值差计算出包辛格应力 σ_B ，表 2 中给出了通过该试验获得的结果。

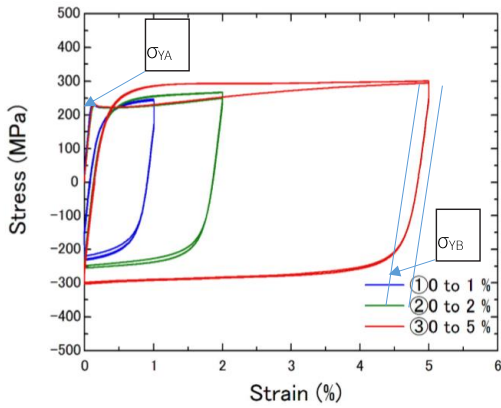


图 2 包辛格效应试验应力应变关系曲线

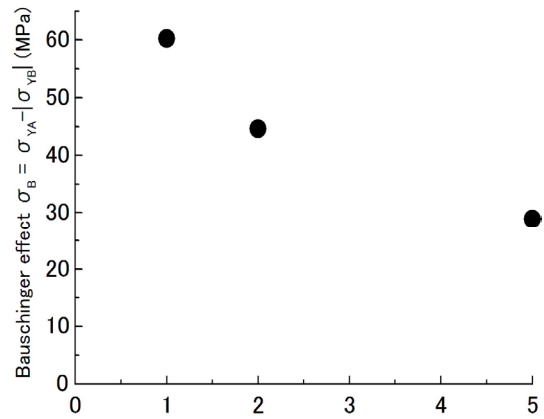


图 3 包辛格应力与应变关系图

表 1 试验数据结果

特征值	应变 1(1%)	应变 2(2%)	应变 3(5%)
预变形时弹性模量 (GPa)	214.7	201.3	216.7
卸载时弹性模量 (GPa)	180.6	164.0	154.0
上屈服强度 σ_{YA} (MPa)	235.3	230.3	233.2
反向加载时屈服强度 σ_{YB} (MPa)	-175.1	-185.7	-204.3
包辛格应力 $\sigma_B = \sigma_{YA} - \sigma_{YB} $	60.2	44.6	28.9

从图 2 中我们发现，在试件的反复拉压变形过程中，第二次的应力幅度大于第一次，几乎等于第三次的应力幅度。此外，应力幅值与拉压变形量呈正比，这表明应力幅值与循环应变宽度相关。表 1 表明，试样的较大应变导致卸载期间弹性模量较小，卸载期间有 3 个样品弹性模量 $3 < 2 < 1$ 。卸载过程中弹性模量减小的原因，是应力逆转后，立即出现的线性区域产生了非线性响应，并且该值跟应变关系较大。此外，压缩屈服应力 σ_{YB} 随着循环应变量的增大而增大。本试验中使用的试样，包申格应力 σ_B 与引起的应变呈反比（图 3）。

结论

上述试验所得包括包辛格应力在内的数据，在实际应用中可以添加入现今的计算机辅助工程（CAE）分析中，通过 CAE 分析可以有效提高研发效率。岛津公司 AG-X Plus 在包辛格效应测量试验上发挥良好的作用，可以在不使试件发生屈曲的情况下，准确评估钢板的包辛格效应。为计算机辅助工程提供准确的实验数据。