

Hydrogen test scenarios

氢环境测试场景



本文件是我们IPS爱谱斯科技所知道的用于研究氢环境场景的不同测试系统变体的指南。对于每个选项，根据预算都有可能集成到现有的任何氢环境测试系统中。建议研究者在实际经济情况下考虑对现有氢环境系统的变种和集成，甚至是按需修改。在某些情况下，还必须考虑使用可能性的限制。本文讨论了氢气氛中的组件测试和氢渗透的主题（本文不涉及电解和燃料电池领域）。IPS爱谱斯科技的陈述侧重于工程考虑和从用户角度展示我们的氢环境场景测试系统。

在氢扩散或渗透中，必须区分氢原子H和氢分子H₂。电化学方法通常产生氢原子，它比氢分子更容易扩散。在压力方法测试的情况下，尽管有必要研究哪些结合是可行的，但通常还是氢分子起主导作用。

促进氢分子扩散的力包括：压力、机械变形和温度。通常这些因素的组合具有更大的影响，具体取决于应用目的和氢环境场景。

Electrochemical methods with atomic hydrogen

电化学方法产生氢原子H

基于很多实验室已经购置电化学工作站和/或拉伸试验机，本文从使用 **Devanathan** 电解池的氢渗透开始介绍。这是当今大多数电镀涂布机必须注意的机制，在各种电镀工艺的各个步骤中，通过化学反应或通过施加电流会产生氢原子H，H其具有扩散到金属中的趋势（例如在晶界处）。此时，涂层机必须证明扩散到材料中的氢原子量不会导致材料强度的显著减弱。此时可以使用 **Devanathan** 电解池进行相应的氢渗透测试。

待测材料放置在**Devanathan** 电解池的两个半电池之间，在所谓的加载侧（氢原子H由化学物质或电化学产生）而在测量侧（测量渗透过来的氢分子H₂）。

为了成功地进行这个实验，某些限制可能是必要的。由于科学背景，这些应该在已发表的论文或出版物中阅读得到。

因此，为了进行这个实验，需要一个**Devanathan** 电解池作为中心元件，以及至少一个恒电位仪/恒电流仪和一种适当的化学物质作为介质。如果有两个恒电位仪可用，则可以以更加集中的方式进行实验。此外，**Devanathan** 电解池还可以控制温度，如果有拉伸装置，样品也可以在实验过程中承受拉伸载荷测试。



IPS China Limited 爱谱斯中国有限公司

T: 400 011 5161

M: ips@ips-jaissle.cn

W: <http://www.ips-jaissle.com.cn>

一种选择是使用带有标准测量池的恒电位仪。在这里，圆形或扁平样品可以作为工作电极连接，并在制氢区域用阴极电位极化。如有必要，可对电解池进行温度控制。在一定持续一段时间后，将试样从电解池中取出，放入拉伸机中拉伸直至发生断裂。然后通过光学方式检查断裂模式并与无应力试样进行比较。这也是一种具有一定边界条件的方法，如果上述设备可用，则不需要任何额外支出。

另一个变体是使用所谓的管状测量池TubeCell。圆形试样安装在TubeCell单元中，并整体安装在拉伸机中，此时可对样品施加施加拉伸负载，同时化学或电化学方法都可以用作附加负载。样品的断裂模式仍是此分析方法的检查标准。该管状测量池TubeCell目前仅适用于室温。如果有测试需求，还可以配备双层夹套或在电池容器中配备加热线圈，以便在控制管状测量池TubeCell的温度。

Pressure variants with molecular hydrogen

氢分子H₂的压力变量

最简单的方法是将待测样品放置于一个小型高压釜内，然后填充加压氢气。一种升级是使用小型拉伸装置（恒定载荷）或四点弯曲试样，将其放置在高压釜中并夹住试样。然而，在这种情况下，高压釜必须更大。如果高压釜额外进行温度控制，则添加额外的影响因子。在价格方面，这样的系统处于压力测试的较低部分。

一个变体是所谓的空心试样技术。关于这一主题的第一份出版物可以追溯到 1984 年，正值 Prof. Dr.-Ing. Hans Schlachter 教授 60 岁生日之际。[LINK]

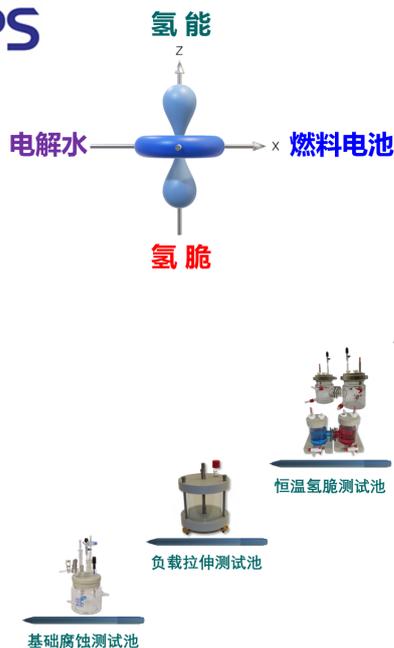
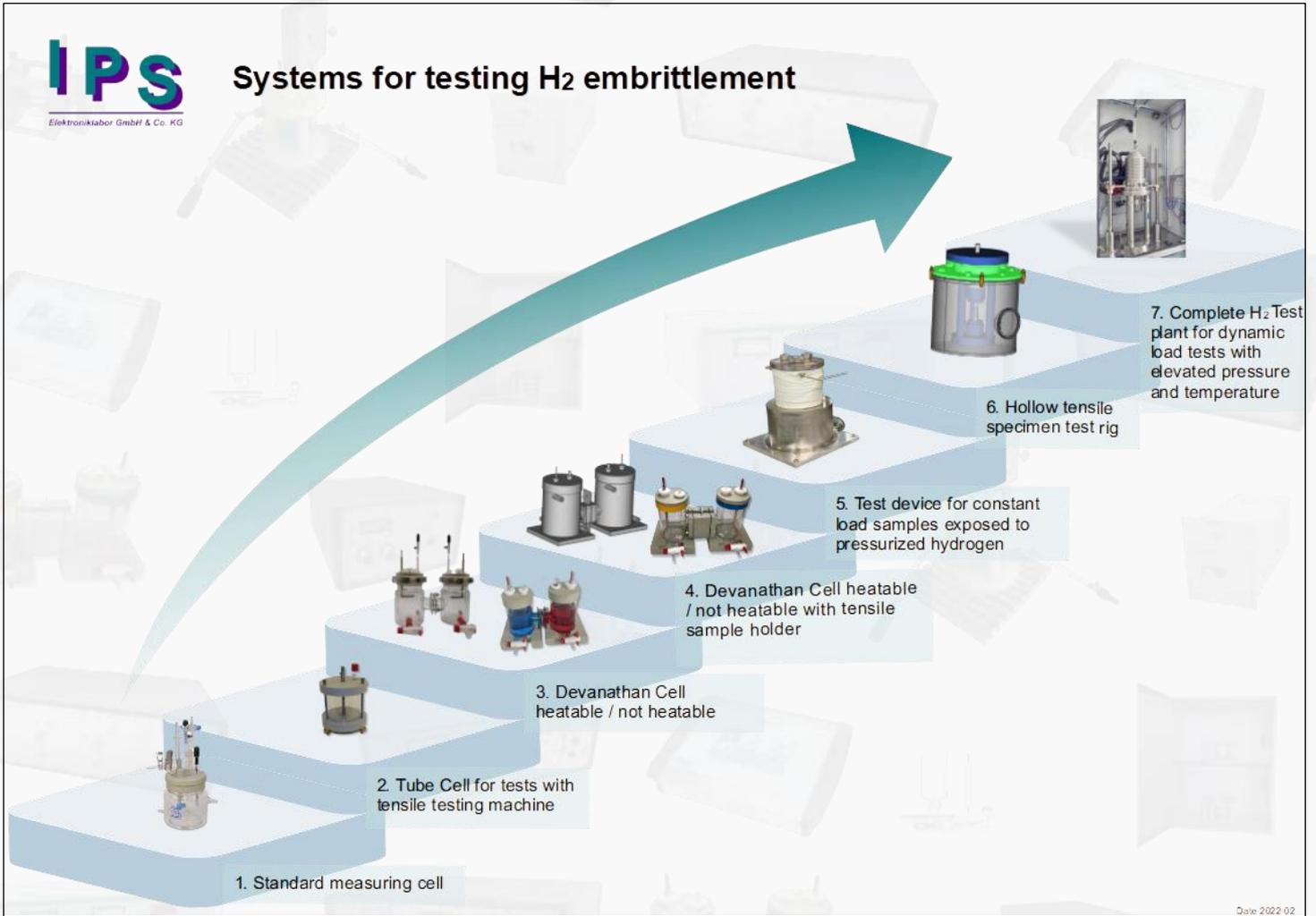
Contribution to the influence of pressurised hydrogen on the mechanical properties of steels
【<https://doi.org/10.1002/mawe.19840150508>】

此处将拉伸试样钻成空心。通过适当的装置将具有压力（例如 1000 bar）的氢气带入钻孔。可以用不同的方法（SSRT、循环疲劳）对样品进行机械加载。此外，还可以对样品加热。如果样品破裂，其中所含的氢气（以及进料管道系统中）会逸出到封闭拉伸装置的真空容器中。由于此测试的方式的氢气量少，因此不需要定义ATEX区，所以安全工程要求适中。对这样一个工厂的投资是在前面使用小型高压釜（静态拉伸测试）和现在动态测试时实用的拉伸试验机。

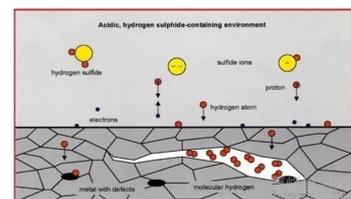
从目前的角度来看，这种测试系统最复杂的阶段是一个由拉伸试验机（最好是伺服液压）、一个带有内置负载框架的高压釜（20L 及以上）、一个带通风的外壳（用于收集逸出的氢气）、气体管理系统和与安全相关的 PLC。

使用这样的系统，可以在环境加压氢气气氛中通过缓慢的拉伸/压缩测试或基本上原位进行测试样品的疲劳测试。恒温器还可提供温度控制（-40 °C 至 200 °C）。这套设施所需的安全设备使其整体昂贵且运营成本较高。

下图说明了IPS爱谱斯科技关于氢环境测试场景不同配置组合



Hydrogen Embrittlement



Customized for electrochemical research

1. Standard measuring cell 标准测量池

实验室中经常有恒电位仪/恒电流仪、测量池，有时甚至是拉伸试验机。拉伸试样在腐蚀测量池中被阴极极化产生氢气。这种氢气渗透到样品中（如果需要，需添加硫脲和改变温度）。在规定的时间内，将样品从电池中取出，夹在拉伸试验机中并进行机械加载，直到样品断裂。“正常”样品显示断裂点处的典型颈缩，用 H₂ 损坏的样品显示脆性断裂。

设备要求：

- 恒电位仪/恒电流仪
- 测量池
- 拉力试验机
- 可选项：温度控制

2. Tube Cell with a load testing machine 用负载试验机试验的管状电解池

通过使用该测试池，可以一次完成上述测试过程。形拉伸试样同时被拉紧和电化学极化，以显著减少测试时间。

设备要求：

- 恒电位仪/恒电流仪
- 管式测量池
- 负载测试机

3. Devanathan Cell heatable / not heatable 控温Devanathan测试池

Devanathan测试池，通常称为双半池，允许将样品像膜一样夹在中间进行测试。左侧，通常称为装载侧，氢气以电化学方式（也可能通过酸洗纯化学方式）产生，氢气产生并扩散到钢材中。右侧，通常称为测量侧，以电化学方式测量氢感应电流。这样的测试，通常是扁平样品，同时也可以可以在负载试验机中极化后拉到断裂点。

设备要求：

- 1台或2台恒电位仪/恒电流仪
- **Devanathan** 测试池
- 可选项：负载测试机、温度控制

4. Devanathan Cell heatable / not heatable with tensile sample holder 带拉伸样品架的控温Devanathan测试池

设备设置如 3，但此处拉伸试样直接插入我们为 **Devanathan** 测试池开发的拉伸试样支架中。样品以电化学方式暴露于氢渗透环境并机械地承受拉应力。

设备要求：

- 1台或2台恒电位仪/恒电流仪
- **Devanathan**测试池
- **Devanathan** 测试池的拉伸样品架
- 可选项：负载测试机、温度控制

5. Test device for constant load samples exposede to pressurized hydrogen 加压氢气恒载样品试验装置

这个紧凑的装置包含三个部分：小型高压釜、高压泵 (1000bar) 和加热器 (200 °C)。样品用一个小“恒定负载”张力装置进行机械预加载，随后完全放入高压釜中（一次 3 个样品）。然后使高压釜达到标称压力并加热。通过该装置，样品可以从外部加载加压氢气和温度。在规定的测量时间后，终止实验并取出样品。如果样品没有损坏，还可以将它们继续夹在负载系统中来完成。此系统同样适合 4 点弯曲试样。

设备要求：

- 高压高压反应釜
- 加热和控制系统

6. Hollow tensile specimen test rig 空心拉伸试样试验台

该设备由拉伸试验机（拉伸和压缩）、带阀门和控制装置的增压系统（1000bar）、带阀门和控制装置的真空室以及必要时的残余气体分析组成。空心钻孔样品首先抽真空，然后用 1000bar 氢气加压。这里的渗透流路是由内向外。样品被真空室包围，环境空气被抽空，例如，用户可以在真空回路中进行残余气体分析，以检测扩散的氢气。真空室还具有保护作用。如果样品破裂，则样品和管道中所含的氢气会逸出到腔室中并耗尽。不会向实验室释放氢气。此外，还有一个用于样品的加热装置，这会给样品带来额外的应力。除了实验持续时间和残余气体分析外，裂缝模式还可以提供有关实验进展的进一步信息。由于整套系统的价格非常高，前期可以只选择高压部分，并在后期逐渐升级。

设备要求：

- 负载试验机
- 增压系统 (1000bar)
- 真空设备
- 安全相关的控制系统
- 可选项：残余气体分析

7. Complete H2 test plant for dynamic load test with elevated pressure and temperature 用于高压和高温动态负载测试的完整 H2 测试设备

该测试系统提供了在压力和温度下将拉伸试样机械加载到高压釜中的可能性。确保了各种各样的氢环境测试实验。即使在适度的测试条件下也会有大于 1000 升甚至更多的氢气从体系中逸出，所以需要有一个适当控制的综合安全系统柜。这样的系统安装必须在调试前获得当地 TÜV 的批准。

设备要求：

- 伺服液压负载试验机
- 高温高压釜
- 高压灭菌器
- 通过屋顶通风的保护室
- 用于气体控制和气体测量的仪表和阀门的配电柜
- 稳压器
- 安全相关的控制系统