



疲劳与断裂测试软件解决方案

利用MTS TestSuite™ 多用途试验应用软件平台提升测试的效率和产出

疲劳测试模块

- » 低周疲劳(LCF)
- » 高周疲劳(HCF)
- » 高级低周疲劳(ADVLCF)
- » 高级高周疲劳(ADVHCF)
- » 热-机械耦合疲劳(TMF)
- » 分析工具

断裂测试模块

- » 疲劳裂纹扩展(FCG)
 - 柔度法(CGFCG)
 - 直流电位法(DCPD)
- » 断裂韧性(FM)
 - K_{IC}
 - K_R 曲线
 - CTOD
 - J_{IC}
- » 分析工具

基于MTS TestSuite多用途试验应用软件的平台化、模块化设计，利用标准化的试验应用模板、报告模板以及分析工具，将软件用于材料力学性能疲劳与断裂测试，满足持续不断发展的材料力学性能测试需求和跨地区行业标准的变化。

作为MTS TestSuite多用途试验应用软件产品家族的一部分，这些模块充分发挥了MTS TestSuite试验应用软件平台的优势。用户可以利用TestSuite试验应用软件开放的环境、直观的图形化界面、流程图样式的开发过程、基于事件的响应机制、用户自定义的图形显示等功能，配合标准的报告样式，例如各种图表、曲线和数据表格等等，帮助用户深入了解材料力学测试应用的细节，满足定制化的测试需求。

这些软件模块可以帮助用户有效的节约开发时间和经费，用户可以发挥“拿来主义”，直接调用这些模板运行标准试验。所有模板的细节均对用户开放，可以进行必要的裁剪和修订，来满足特殊的试验需求。利用MTS TestSuite试验应用软件的虚拟样件功能，用户可以在没有实际样件的情况下对试验运行的过程进行必要的演练，判断试验的进程和效果是否满足要求。这一特性可以有效保护用户的投资，在实际运行试验之前就做的了然在胸。

MTS TestSuite试验应用软件提供了试验应用所必须的数据分析和报告功能。利用多用途的分析工具，进行试验数据的后处理，再通过自动化报告生成插件自动生成Microsoft Excel或者PDF格式的试验报告。

be certain.

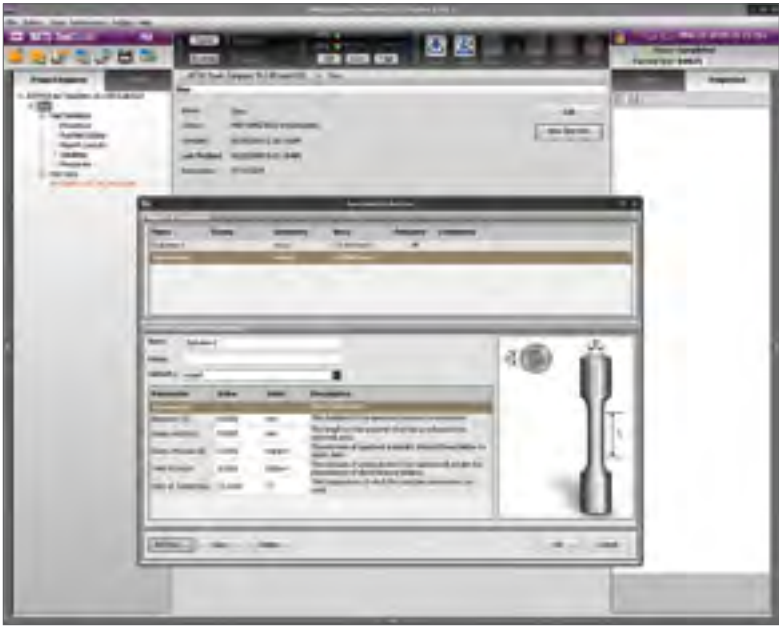
MTS TestSuite疲劳和断裂软件模块

根据需求定制

如果用户所需要运行的试验需求完全定制化，可以利用现有的软件模板，在模板的基础之上进行适度而且必要的修改。这一修订过程在图形化的MTS TestSuite软件平台中进行，直观、高效。还可以利用软件内建对Python编程语言的支持引入功能更加丰富的数据计算处理能力。同样，试验运行过程中的数据显示手段也可以自由定制。在多用途分析工具中，用户可以自由增加变量和计算以及图表等进行有效的情景假设(What-If)分析。

虚拟样件

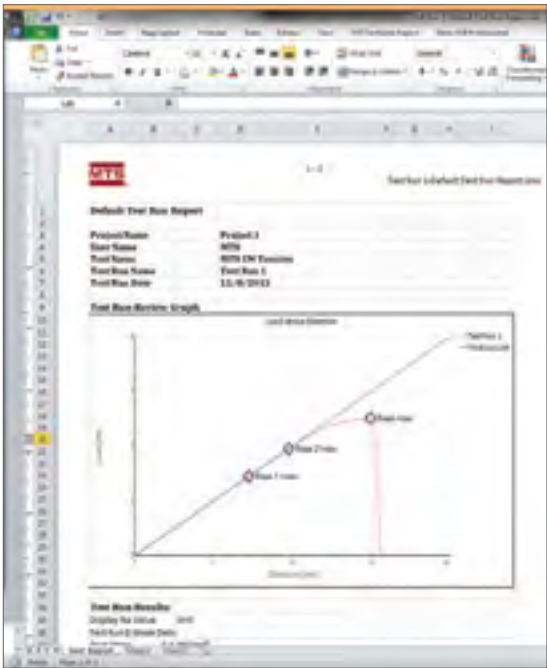
MTS TestSuite试验应用软件内建了虚拟样件功能，这一功能可适用所有疲劳和断裂试验软件模块。利用虚拟样件功能，客户可以在没有实际样件的情况下，对试验运行的完整过程进行初步的模拟。用户可以定义所有样件必需的参数，在模拟运行过程中，虚拟样件可以产生有意义的数据来表征材料样件在受力环境下的物理反馈，直到试验结束样件被“破坏”。在进行软件学习、培训以及演示试验的过程中，虚拟样件的功能会发挥重要的作用。同时也可以利用虚拟样件功能来确认当前的试验设置和流程是否可靠、有效。



为了避免被测试样件意外破坏，使用虚拟样件技术对试验的完整流程进行模拟，用户可以像运行真实试验那样设置所有参数，例如样件的尺寸、基本力学特性、引伸计参数等等。

功能强大的报告生成功能

所有疲劳与断裂软件模块均支持MTS TestSuite试验应用软件的自动化报告生成功能。在运行试验的过程中，可以任意调用自动化报告生成功能，导出试验数据，查看试验运行的结果。试验报告中不仅可以包含原始试验数据，还可以包含各种图表、曲线等等。在同一个试验运行的不同阶段可以反复调用报告模板，当然，也可以在同一个试验运行中调用不同的报告模板，这些模板以及报告构成了丰富的试验数据库。也可以在试验运行完毕后使用Microsoft Excel应用软件的TestSuite报告插件再来创建试验报告。



在运行试验的过程中自动创建试验报告。

低周疲劳(LCF)

MTS TestSuite 低周疲劳(LCF)测试模块包含了运行轴向等幅应变控制低周疲劳试验所需要的所有试验模板和报告模板，该模板支持试验运行的最高频率不超过12Hz。进行低周疲劳试验时，需要使用引伸计作为应变反馈信号的采集传感器。该模板符合ASTM E606和D3479标准和规范的要求，可以开展轴向等幅应变控制低周疲劳测试应用。当然，该模板可以转化在弹性变形范围空间具有更高频率的应力控制疲劳试验应用。

附加的功能：

- » 在线绘制滞后环曲线
- » 用户自定义循环保存数据
- » 试验终止和重启动
- » 试验参数可自由修订
- » 正弦、三角波或者梯形波指令信号
- » 虚拟样件功能

试验设置

低周疲劳测试需要从正确设置试验参数开始，包括设置正确的加载频率和应变端值。然后需要设置中止试验的关键参数，包括稳定循环的最小循环周次、稳定循环的下降率、检测到断裂时的应力下降水平、样件破坏失

效、峰值应变检测等等。还需要正确设置都有哪些数据和参数需要被保存。当应力水平的变化超过预设值同时也检测到应变反馈发生了足够的变化，则需要把启动循环周次、中止循环周次、记录数据周期、任意循环周期的相关数据等都保存下来。

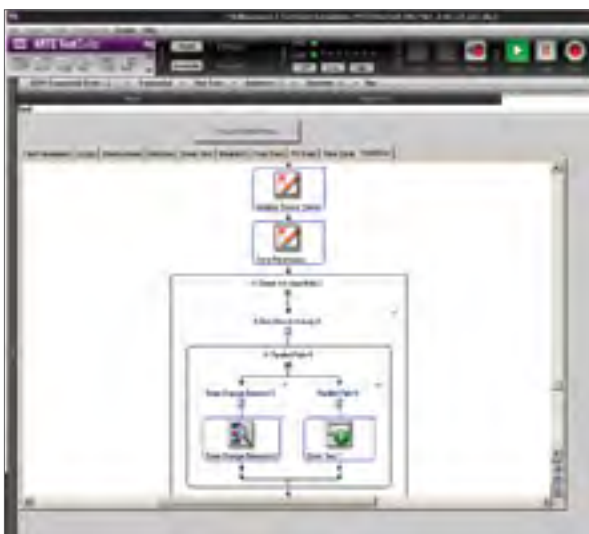
运行试验

低周疲劳试验软件模块能够最大化支持试验操作人员与试验应用本身之间的交互性。例如，在试验设置确认阶段来设置引伸计正确的零点和满量程，确认被测样件的模量，运行应变控制试验直至样件被破坏，还可以在试验运行的任意阶段来保持试验状态以及重新启动试验运行。在试验运行的过程中，用户可以自由设置运行时

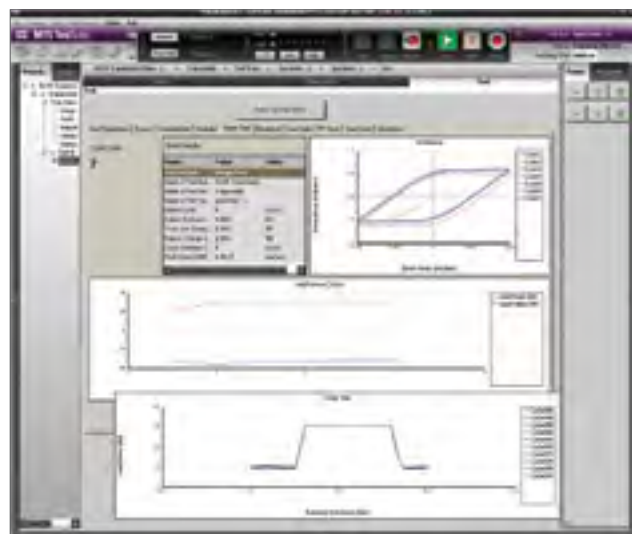
显示功能，例如模量检测、滞后环曲线、载荷峰谷值、载荷-时间曲线等等，或者利用示波器任意显示各种控制器内信号。MTS TestSuite的运行时显示可以设置多页面显示功能，不同的显示控件可以自由复制、拷贝、粘贴至新的显示页面显示数据，或者粘贴到Excel软件中用于生成报告。

报告生成和数据分析

当试验运行完毕之后，利用预先设置的试验模板来自动创建试验报告，报告中包含了所有必要的信息和试验数据。在报告分析工具中，用户可以增加必要的变量进行额外的数据处理和计算，实现更加丰富的数据后处理功能。



流程图式的试验过程便于理解低周疲劳试验的每个环节。



在运行时显示中同步监视试验数据，包括滞后曲线、峰谷值以及载荷-时间信号。

高周疲劳(HCF)

MTS TestSuite 高周疲劳(HCF)测试模块包含了运行轴向应力控制高周疲劳试验所需要的所有试验模板和报告模板，该模板支持试验运行的最高频率不超过70Hz，并且符合ASTM E466和D3479标准和规范的要求。

附加的功能：

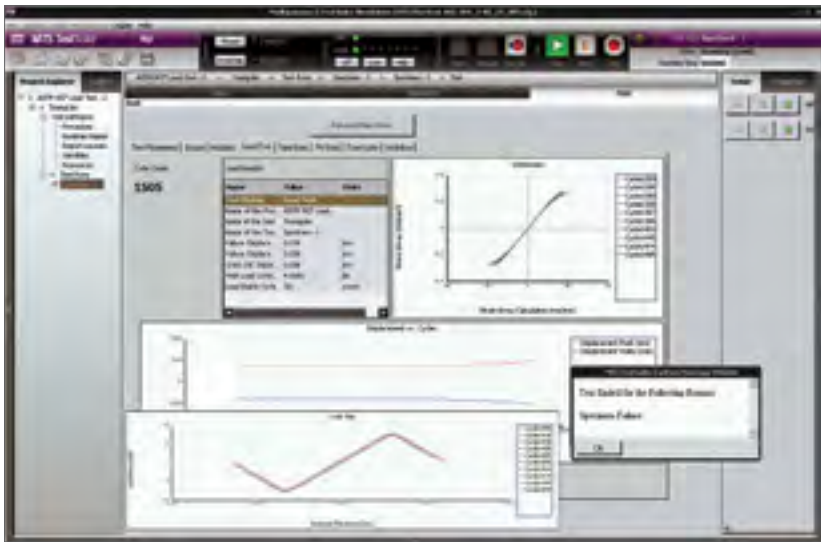
- » 在线绘制滞后环曲线
- » 用户自定义循环保存数据
- » 试验终止和重启动
- » 试验参数可自由修订
- » 正弦指令信号
- » 虚拟样件功能

报告生成和数据分析

当试验运行完毕之后，利用预先设置的试验模板来自动创建试验报告，报告中包含了所有必要的信息和试验数据。在报告分析工具中，用户可以增加必要的变量进行额外的数据处理和计算，实现更加丰富的数据后处理功能。

试验设置

高周疲劳测试需要从正确设置试验参数开始，包括设置正确的加载频率和应力水平端值。然后需要设置中止试验的关键参数，包括变形量、样件失效时应变水平的变化量、峰值载荷检测等等。还需要正确设置都有哪些数据和参数需要被保存。当应力水平的变化超过预设值，即高周疲劳试验到了最后阶段，则需要把启动循环周次、中止循环周次、记录数据周期、任意循环周期的相关数据等都保存下来。



运行试验

高周疲劳测试应用的主菜单可以实现从加载试验到运行试验直到样件失效，在运行试验的过程中可以任意中止、暂停或者继续试验的运行。运行时显示可以实时同步显示例如滞后环曲线、峰值变形量、峰值载荷以及载荷-时间曲线等等，还可以显示实际峰谷值的柱状图。

运行时显示提供了高周疲劳数据展示的完整功能，包括滞后环曲线、峰值谷值变形量和载荷-时间数据等等。

运行时显示提供了高级低周疲劳数据显示的完整功能，包括滞后环曲线、峰值谷值应变量和载荷、应变-时间数据等等。

高级高周疲劳(ADVHCF)

MTS TestSuite 高级高周疲劳(ADVHCF)测试模块包含了运行具有温度环境的轴向应力控制高周疲劳试验所需要的所有试验模板和报告模板，该模板支持试验运行的最高频率不超过70Hz。该模板符合ASTM E466和D3479标准和规范的要求，需要通过系统载荷传感器作为主要反馈信号。对于在高低温环境下开展轴向应力控制高周疲劳试验的应用，还需要正确修订样件的热应变参数和温度控制参数。

附加的功能：

- » 温度环境支持，例如设置温度控制器的温度端值、热应变补偿等；
- » 绘制滞后环曲线
- » 用户自定义循环保存数据
- » 试验终止和重启动
- » 试验参数可自由修订
- » 正弦指令信号
- » 虚拟样件功能

试验设置

高级高周疲劳测试需要从正确设置试验参数开始，包括设置试验的环境温度，分别设置三区温控以及温度建立的时间，然后设置加载频率和应力水平端值，然后是循环的总次数、峰谷值变化的阈值、变形量的限制等等。还需要正确设置都有哪些数据和参数需要被保存，例如起始循环周次、中止循环周次、数据记录的频次以及相应的循环次数等等。最后需要设置启动斜坡以及斜坡至试验温度状态两个过程，分别会影响样件的冷却过程和加温过程。

运行试验

高周疲劳测试应用的主菜单可以实现从加载试验到运行试验直到样件失效，在运行试验的过程中可以任意中止、暂停或者继续试验的运行。运行时显示可以实时同步显示例如启动加温过程、滞后环曲线、峰值变形量、峰值载荷以及载荷-时间曲线等等，还可以显示实际峰谷值的柱状图。运行时显示功能还能够最多显示三个热电偶数据。所有试验数据的不同显示控件可以自由复制、拷贝、粘贴至新的显示页面显示数据，或者粘贴到Excel软件中用于生成报告。

报告生成和数据分析

当试验运行完毕之后，利用预先设置的试验模板来自动创建试验报告，报告中包含了所有必要的信息和试验数据。在报告分析工具中，用户可以增加必要的变量进行额外的数据处理和计算，实现更加丰富的数据后处理功能，例如实现温度-循环对应的数据曲线等等。



运行时显示提供了高级高周疲劳数据展示的完整功能，包括滞后环曲线、峰值谷值变形量和载荷、载荷-时间数据等等。

热机械耦合疲劳(TMF)

所谓热机械耦合疲劳测试是将热应变与机械应变组合在一起进行的材料力学性能测试。之前的高级低周疲劳测试是恒温条件下的材料力学性能测试，而热机械耦合疲劳则是将温度循环与应变循环组合在一起的力学性能测试。

MTS TestSuite热机械耦合疲劳(TMF)测试模块包含了开展热机械疲劳测试所需要的所有试验模板和报告模板，该模板符合ASTM E2368和ISO 12111标准和规范定义的应变控制-热机械耦合疲劳测试要求，包括具有时间修正的应用模板。这些模板还可以修改来满足更新的ASTM、ISO或者其他地方以及行业的标准规范。用户可以自由修改、添加计算公式、Python语言代码等实现功能更加丰富的数据处理计算。

试验设置

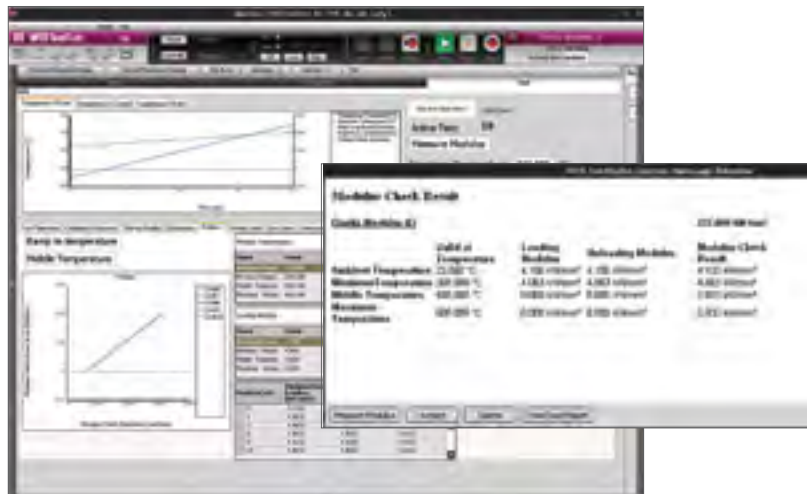
热机械耦合疲劳测试需要从正确设置试验参数开始，包括设置试验温度、机械应变水平和保持时间等，然后需要设置中止试验的关键参数，包括稳定循环的最小循环周次、稳定循环的下降率、裂纹萌生时的应力下降水平、检测到断裂时的应力下降水平等等。还需要正确设置都有哪些数据和参数需要被保存。当应力水平的变化超过预设值同时也检测到应变反馈发生了足够的变化，则需要把启动循环周次、中止循环周次、记录数据周期、任意循环周期的相关数据等都保存下来。



运行时显示可以显示温度循环稳定状态以及必要的温度梯度误差。

运行试验

在运行热机械耦合疲劳测试的时候，需要首先设置引伸计以及应变测量的功能确认，设置弹性模量、热稳定状态，然后设置应变控制的斜坡加载速率，确认温度循环热应变补偿以及机械应变的数据范围，录入确认穿越零点的应力条件。最后，设置温度循环和机械应变循环的相位关系。



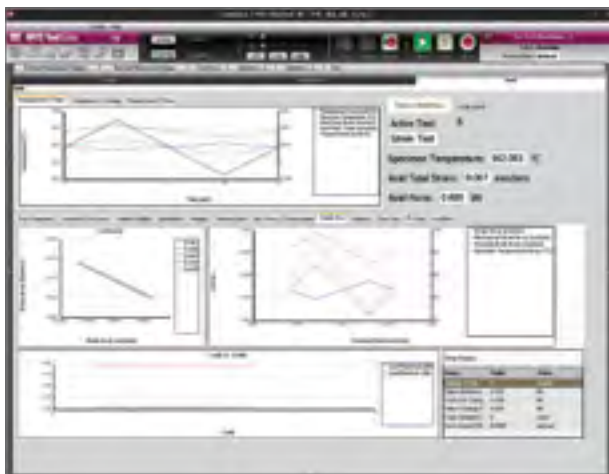
报告生成和数据分析

当试验运行完毕之后，利用预先设置的试验模板来自动创建试验报告，报告中包含了所有必要的信息和试验数据。在报告分析工具中，用户可以增加必要的变量进行额外的数据处理和计算，实现更加丰富的数据后处理功能，例如实现温度-循环对应的数据曲线等等。

弹性模量检测确认材料的加载和卸载过程的模量，此处还可以显示温度斜坡、模量监测和相关数据的补偿等。所有数据最后会汇总显示在窗体内，供用户确认无误。



通过直观的图形界面显示零应力水平温度循环热应变补偿。



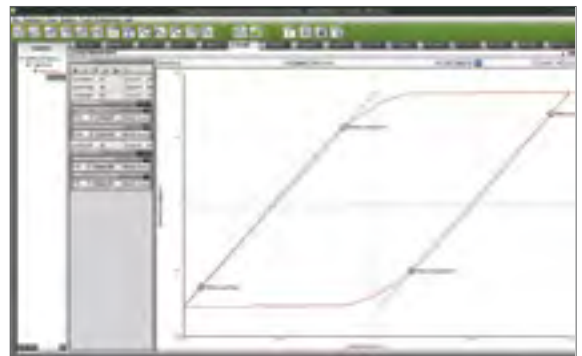
在试验运行的过程中，运行时显示可以显示温度循环、应变循环的完整过程，包括温度监测、机械应变的峰值等。



运行“0”应力测试，简单的试验控制流程实现真正的零机械应力，让温度循环起来同时监控应力变化。

多用途分析工具

多用途分析工具是用于数据后处理的独立工具，可以对测试数据进行深入的分析。假以时日，就可以建立起内容、信息丰富的疲劳数据库，帮助用户实现特殊的疲劳测试需求，获取更好的试验效率和数据精度。这一工具能够帮助用户进行必要的的数据后处理，图形化的界面简单易用，符合工程师的操作习惯。



通过交互式的数值与图形分析做出关键判断。

通过交互式的图形工具实现试验数据的后处理和分析工作，疲劳分析工具适用于：

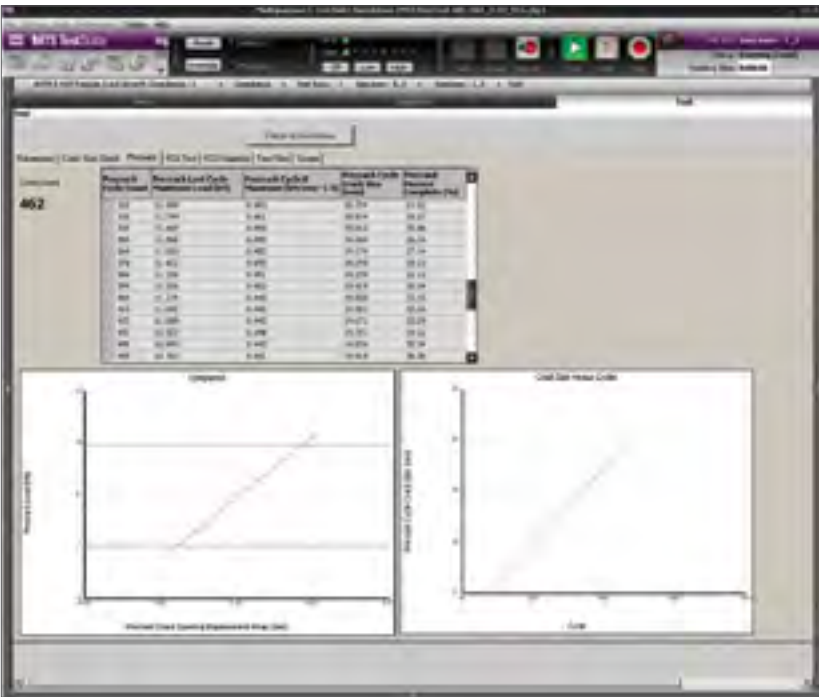
- » 完整的试验后处理和分析(可以脱离试验或者系统计算机使用)；
- » 试验数据再分析，更新必要的参数；
- » 多组样件数据分析；
- » 交叉样件数据对比分析；
- » 直观的分析评估某些假象状况；

如果购买了MTS TestSuite自动报告生成工具可以用于创建具有定制分析功能的试验报告。

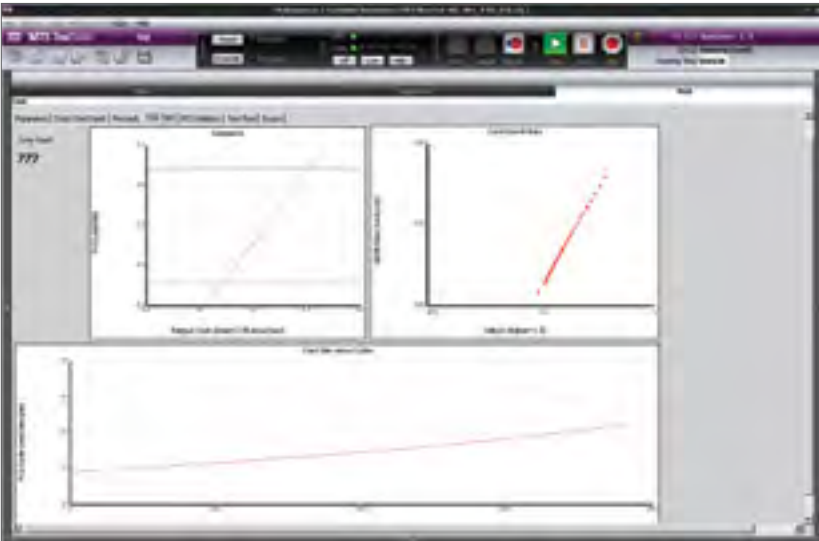
断裂测试

疲劳裂纹扩展(FCG)

MTS TestSuite 疲劳裂纹扩展(FCG)测试模块包含了进行疲劳裂纹扩展测试应用所需要全部试验模板和报告模板，这些模板完全兼容ASTM E647测试标准和规范，其试验结果可以包括在线的载荷-变形量曲线、裂纹长度-循环周次曲线、da/dN曲线等。在试验运行的任意阶段可以停止当前的试验运行或者修改试验参数。



运行时显示可以提供测试过程中的全部细节，例如预制裂纹、测试参数设置、显示循环柱状图、COD-载荷、裂纹长度-循环周次等。



运行时显示可以提供测试过程中的全部细节，例如预制裂纹、测试参数设置、显示循环柱状图、COD-载荷、裂纹长度-循环周次等。

柔度法疲劳裂纹扩展模块

支持使用柔度法和位移规(COD)进行疲劳裂纹扩展测试应用，全面兼容ASTM E647试验标准和规范，其中的主要功能包括裂纹长度检测、预制裂纹、裂纹增长率等等，支持FFC(T)、M(T)和SE(B)样件形式。测试结果包括在线的载荷-变形量曲线、裂纹长度-循环周次曲线、da/dN曲线等。在试验运行的任意阶段可以停止当前的试验运行或者修改试验参数。

直流电位法裂纹扩展模块(DCPD)

支持使用直流电位法(DCPD)测量裂纹长度进行疲劳裂纹扩展测试。在利用直流电位法(DCPD)模块进行测试时，需要通过参考样件来对比换算得出被测样件实际的裂纹长度。通常，在无法使用柔度法的环境下，例如高温环境下，使用直流电位法来测量裂纹长度，因此该模块还可以反算补偿热效应电压。MTS系统公司可以提供特别定制的直流电位法测量裂纹长度的产品来实现非标准的测试应用。

断裂韧性模块

MTS TestSuite 断裂韧性(FM)模块包含了进行相应断裂韧性测试应用所需要全部试验模板和报告模板，这些模板完全兼容ASTM 或ISO 测试标准和规范，包括ASTM E399、ASTM E561、ISO 12135、ASTM E1820等标准所定义的下列测试：

- » 平面应变断裂韧性 K_{IC}
- » 板材平面应力KR曲线
- » 裂纹尖端张开位移CTOD
- » 延性断裂韧性 J_{IC}

平面应变断裂韧性(K_{IC})测试模块

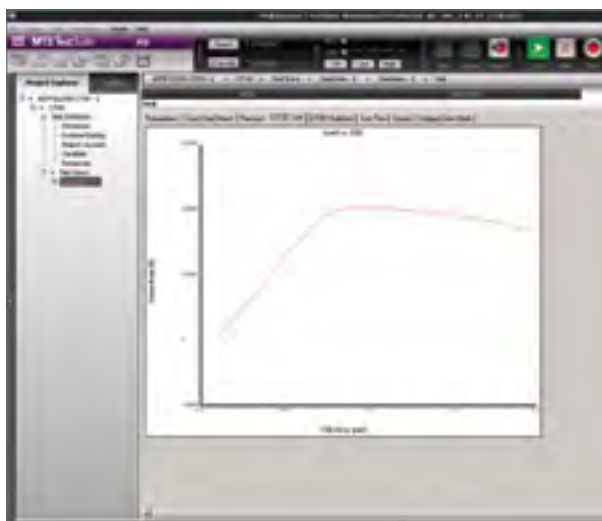
平面应变断裂韧性(K_{IC})测试模块主要包含了预制裂纹和断裂测试两个阶段，裂纹长度采用柔度法和COD位移规实现测试和计算。疲劳裂纹扩展阶段包含裂纹长度预设，预制裂纹以及 K_{Ic} 测试。主要测试过程包含加载、COD测试、作动缸位移控制等功能。这一测试模板全面兼容ASTM E399测试标准和规范，支持FFC(T)和SE(B)样件形式。



运行时显示可以提供测试过程中的全部细节，例如预制裂纹、测试参数设置、显示循环柱状图、COD-载荷、裂纹长度-循环周次等。

板材平面应力KR曲线测试模块

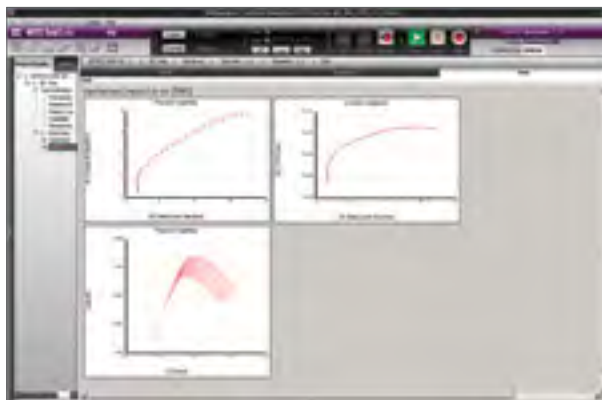
金属板材平面应力KR曲线的测试是在一定的加载速率下进行的拉伸测试，即让试样的应力强度因子K在规定的速率范围内进行拉伸测试，通过计算得出 $KR-\Delta a$ 阻力曲线。金属板材平面应力KR曲线是应力强度因子表达材料韧性随着裂纹扩展而变化的曲线。该测试模板完全兼容ASTM E561测试标准和规范，包括疲劳预制裂纹以及断裂测试两个阶段，支持M(T)和C(T)样件形式，可以采用裂纹直接测量或者柔度法计算裂纹长度的方式。



运行时显示可显示预制裂纹阶段的CTOD数据以及载荷-COD数据等。

裂纹尖端张开位移(CTOD)测试模块

裂纹尖端张开位移(CTOD)测试包含了进行类似测试应用的完整测试模板和报告模板。CTOD数值可以视同于断裂韧性数据，该软件模块完全兼容ISO 12135测试标准，支持的样件形式包括FFC(T)、LLC(T)和SE(B)等。在MTS TestSuite试验应用软件中也包含了符合旧标准ASTM E1290的测试模板和报告模板。



在运行CTOD测试应用时，运行时显示可以将显示J积分、裂纹长度-CTOD、载荷-COD等数据。

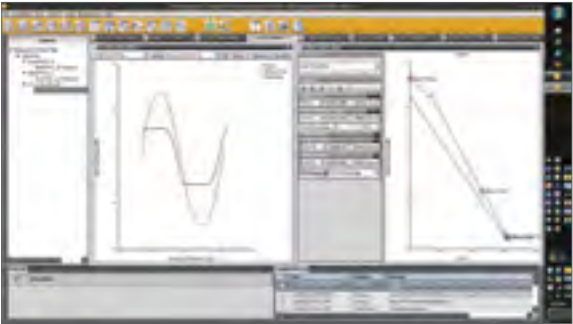
延性断裂韧性(J_{IC})测试模块

延性断裂韧性(J_{IC})测试可以得出J-R曲线、CTOD-R值曲线、J积分、CTOD数值等数据，该试验模板完全兼容ASTM E1820测试标准和规范，支持预制疲劳裂纹测试，使用柔度法进行裂纹长度计算，在线载荷-位移曲线，试验终止和再启动模式等。支持FFC(T)、LLC(T)和SE(B)等形式的样件。

多用途分析工具

多用途分析工具可以用于进行包括疲劳裂纹扩展、断裂韧性测试的数据后处理应用。该工具可以独立运行，可以进行数据的深度挖掘获取有意义的定制化的结果。用户可以创建定制化完整的分析测试应用，满足各种定制化的客户分析需要。

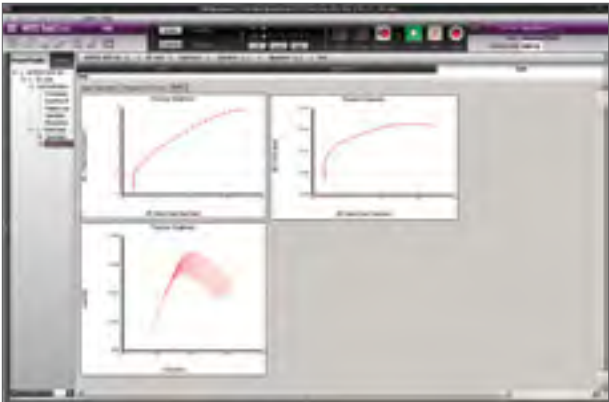
如果购买了MTS TestSuite自动报告生成工具可以用于创建具有定制分析功能的试验报告。



多用途分析工具提供了数字化、图形化的分析工具，可以实现断裂试验的数据后处理分析。



在运行J1c测试应用时，运行时显示可以将显示J积分、裂纹长度-循环、载荷-COD等数据。



在运行J1c测试应用是，可以显示裂纹长度 - J数值/CTOD数值，载荷-COD数值等。

MTS TestSuite材料力学疲劳测试支持的标准

疲劳模块	适用范围	标准	主要内容
低周疲劳	轴向应变控制低周疲劳测试最高频率不超过12Hz 应变控制低周测试可转换为应力控制高周测试	E606 D3479	试验模板 报告模板 分析定义
高周疲劳	轴向应力控制高周疲劳测试最高频率不超过70Hz	E466 D3479	试验模板 报告模板 分析定义
高级高周疲劳	等幅值应变控制疲劳测试不超过12Hz 可以修正计算热膨胀系数	E606 D3479	试验模板 报告模板 分析定义 自定义波形动作
高级高周疲劳	轴向应力控制高周疲劳测试最高频率不超过70Hz 可以修正计算热膨胀系数	E466 D3479	试验模板 报告模板 分析定义
热机械耦合疲劳(TMF)	温度循环与应力循环耦合疲劳测试	E2368 ISO 12111	测试模板 报告模板

MTS TestSuite材料力学断裂韧性测试支持的标准

疲劳模块	适用范围	标准	主要内容
柔度法疲劳裂纹扩展	使用柔度法和位移规进行疲劳裂纹扩展测试	E647	试验模板 报告模板 分析定义
直流电位法疲劳裂纹扩展	使用直流电位法测量裂纹长度进行疲劳裂纹扩展测试	E647	试验模板 报告模板 分析定义
平面应变断裂韧性(K _{IC})	预制裂纹疲劳扩展, 使用柔度法和COD 位移规进行裂纹长度测量与计算	E399	试验模板 报告模板 分析定义
板材平面应力KR曲线	预制裂纹疲劳扩展, 可使用柔度法和COD 位移规进行裂纹长度测量与计算	ASTM E561	试验模板 报告模板 分析定义
尖端裂纹扩展(CTOD)断裂韧性	材料和焊接接头抗断裂性能的有效测试方法 CTOD的试验结果可以作为断裂韧性指标	ISO 12135	试验模板 报告模板 分析定义
延性断裂韧性(J _{IC})	预制裂纹疲劳扩展, 使用柔度法和COD 位移规进行裂纹长度测量与计算	E1820	试验模板 报告模板 分析定义



美特斯工业系统(中国)有限公司
MTS Systems(China) Co., Ltd.

上海

电话: 021-24151000

传真: 021-24151199

北京

电话: 010-65876888

传真: 010-65876777

电邮: MTSC-Info@mts.com

<http://www.mts.com>

<https://www.mtschina.com/>

ISO 9001 Certified QMS

相关参数指标若发生变化, 恕不另行通知。

MTS是MTS系统公司的注册商标, MTS TestSuite是MTS系统公司的商标, 这些商标在美国境内注册, 在其他国家和地区也受到法律保护。RTM No.211177

© 2021 MTS Systems Corporation.

100-637-757 Fatigue Fracture_ZH 2/21