



TTT 螺纹加工扭矩测试  
系统

“TTT 螺纹加工扭矩测试系统”作为用于润滑介  
质、螺纹加工刀具及涂层功效评估的多元化开发系  
统



一扇在摩擦学中的  
视窗

## TTT 螺纹加工扭矩测试系统

### 目录

- 3 **TTT 系统作为多元化的开发系统**  
技术—物理前提条件  
需求/效率/分析/解决方案
- 4 **“温度—传感器—测试法”**  
缘由/过程/温度值 $\Delta T$
- 5 **扭矩数值和温度数值**  
需求/面向实际的功效评估
- 6 **TTT 法**  
排除法/分析程序/评定
- 7 **评估参数:**  
**扭矩数据概览**  
扭矩/平均值/标准偏差  
概率统计（高斯法）/积分（面积计算）
- 9 **评定功能概览**  
双光标/图形平整/叠加/回程状况
- 12 **新款温度—传感器—装置TSE**  
温度值Delta T ( $\Delta T$ )  
特性/设计/局限性
- 13 **TTT实验室完整系统**  
X-Y-定位台 MPT—特性/优点/使用
- 14 **普通评定应用**  
分析程序和其它的软件优化
- 15 **计算公式&比较方法**  
分析程序/比较方法
- 16 **TTT法**  
螺纹种类比较/冷焊/有刀瘤的刀
- 17 **实例&功效比较**  
结果和分析
- 18 **结束语**  
附带效应/ TTT 法/技术秘诀/展望

## TTT 螺纹加工扭矩测试系统

### 用于功效评估比较的TTT系统

#### 技术-物理前提条件

**TTT** 系统作为多元化的开发系统和润滑介质及螺纹刀具的评估，代表性地应用于各种形式扭矩受控制的、过程受检测的螺纹制造的机械切削加工及成型加工。

#### 需求

正如同润滑剂制造要参照刀具的性能，刀具制造商也要参照润滑剂的状态和性能。

功效、质量、有效性的验证作为评估参数是不可或缺的。

所有方面的尺度标准是客户在制造中的要求及复杂性。这包含了材料构造以及切削速度和其它相关参数。

#### 解决方案

TTT螺纹加工扭矩测试系统设计为多元化的开发系统，在成型加工及切削加工过程中，通过对扭矩和温度的采集，对重要加工参数的实际验证进行可视化处理。用这种方式可以说明—根据FEMA, IQ, PQ, OQ \*—润滑介质、刀具几何特性及涂层的功效。

#### 分析

通过使用评定软件，使润滑介质的特性和刀具结构能被认知和评定。这尤其适用归纳与按切削速度及产生的温度所用不同材料和刀具涂层的添加物的整个相互关系。通过结合分析程序，单项测试的测试结果如同测试组那样直接被分析、评定并与任意的参考项（开发步进阶段或市场产品）对比。

#### 功效

根据基础的扭矩采集测试数据和温度差 $\Delta T$ ，能对实际发生的摩擦效应作用机制进行归类，并用相应的变更按照排除法对其作影响。

\*IQ Installation Quality / PQ Prozessqualität "Process - Procedural Quality" / OQ Operation Quality

## TTT 螺纹加工扭矩测试系统

### 温度—传感器—测试法

缘由

在升温最大的时间点采集刀具尖部的精确温度是非常复杂的。

温度值 $\Delta T$

可以计算出温度差  $\Delta T$  ( $\Delta T$ ) 作为方案替代。

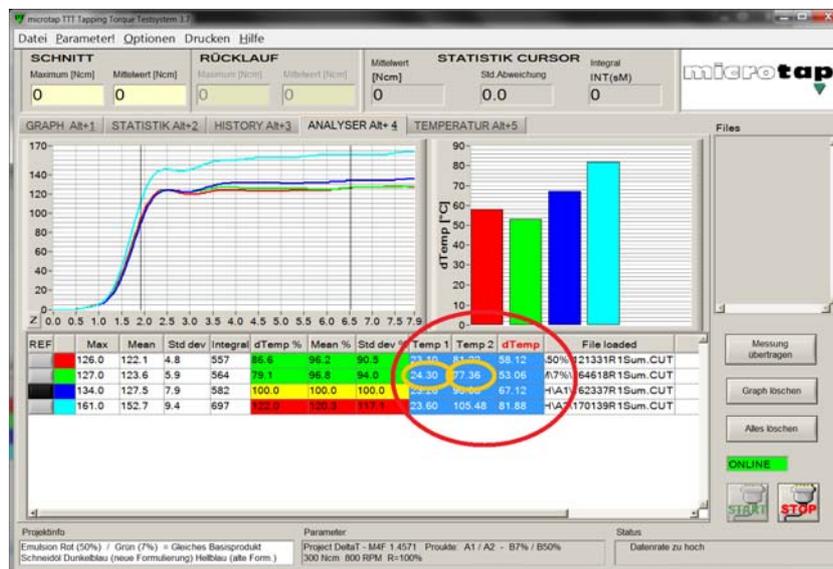
过程

通过温度传感器装置 **TSE**，使用红外温度采集法测得在测试刀具尖部上的起始温度...



...当测量过程结束后立刻得出相对于起始温度的温度值。

差值表示温度值 $\Delta T$ 。



温度平均值和 $\Delta T$  对测试组的扭矩数据进行了补充。

## TTT 螺纹加工扭矩测试系统

### 扭矩数值和温度数值

#### TTT标准及TTT法

#### 需求 & 采集过程温度

通过使用温度传感器装置**TSE**，温度值 $\Delta T$ 作为外加评估因素为扭矩数据作补充。

#### 面向实际的功效评估

作为摩擦学过程\*的可视化，**TTT** 系统输出下列由被采集的扭矩变化分布得出的值：

1. **扭矩**(Mz 单位 Ncm)作为消耗掉的功率值
2. **平均值**(Mz Mean)作为消耗掉的平均功率(算术平均值)
3. **标准偏差**(Std. Dev.)作为扭矩相对平均值的平均偏差值(分布、同步 & 均匀性)
4. **高斯分布**/作为历史记录，概率分布作为产生的扭矩及其分布的图形表达(概率统计)
5. **积分**(INT)作为测试刀具上的总负荷值(负载)

温度传感器装置 **TSE** 输出起始及结束温度用以计算 $\Delta T$ 。

6. **Delta T** ( $\Delta T$ )作为表达摩擦学过程\*的热值

#### TTT 法& 标准

通过运用不同的TTT法（测试组生成）和特定的TTT标准（材料\*\* & 参数），来得出调整过的、可比较的及可重复的结果。为此而开发的一按任务要求一认真执行的TTT法及制定的TTT标准，能使得得出的结果在内部及在一个试验组内部相互进行比较。一种材料结构的每一块测试组测试板可以在一次装夹中得到**140**个准确的测试结果。

\*当有摩擦系数的情况下，在摩擦过程中的重要技术物理参数由四个值确定：

- 正交力 FN (扭矩)
- 速度 v (转数)
- 温度 T (Delta T)
- 负荷持续时间 tB (螺纹深度 / 时间)  
(GFT, 摩擦学, 2002版, 工作单 7, 页 8)

\*\*其它信息请参见资料“TTT测量设备”

# TTT 螺纹加工扭矩测试系统

## TTT法及数据评定

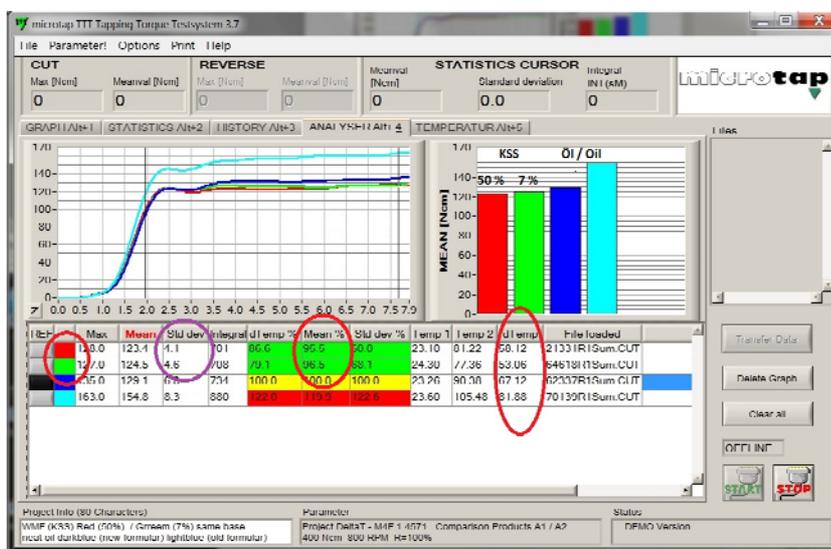
通过应用不同的 TTT 法(运用所谓的“排除法”)能使润滑材料单项成份的作用机理被归纳出来，并且能按刀具几何参数及涂层的特点对其归类。

### TTT 法

借助不同的 TTT 法，冷却润滑剂及润滑油配方的特性和某些因素的互相影响，其一是用不同的刀具涂层方法，另一是按切削速度用不同的螺纹轮廓和刀具几何参数，就得以一目了然并可被鉴定。通过相应的变换就能对其有系统性地影响。

通过对温度值 $\Delta T$ 的计算，我们得到水分含量及与其它过程参数，如作业速度还有刀具涂层的滑移性能，互相影响的冷却效果的相应信息。

当同时观察扭矩数值，如与一种冷却润滑剂含水量的有关的标准偏差的平均值和 $\Delta T$ ，摩擦学的影响就显而易见了。

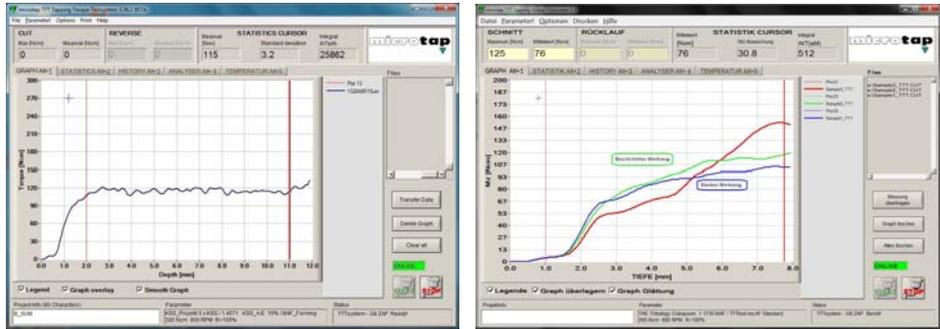


### 分析程序评定

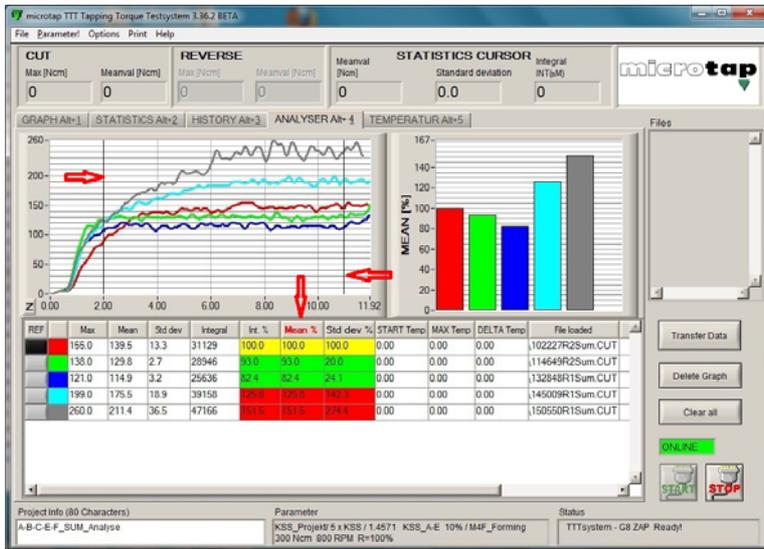
TTT 系统使按上述原则得到的测试结果及所得出的数据可视化。通过一体化的分析功能来评估所有产生的扭矩数值及温度数值，就能使兼容 MS Windows 的评定软件(MS-2000 / MS-XP / MS-Win7 32/64)进行面向实际的功效评估。

## TTT 螺纹加工扭矩测试系统

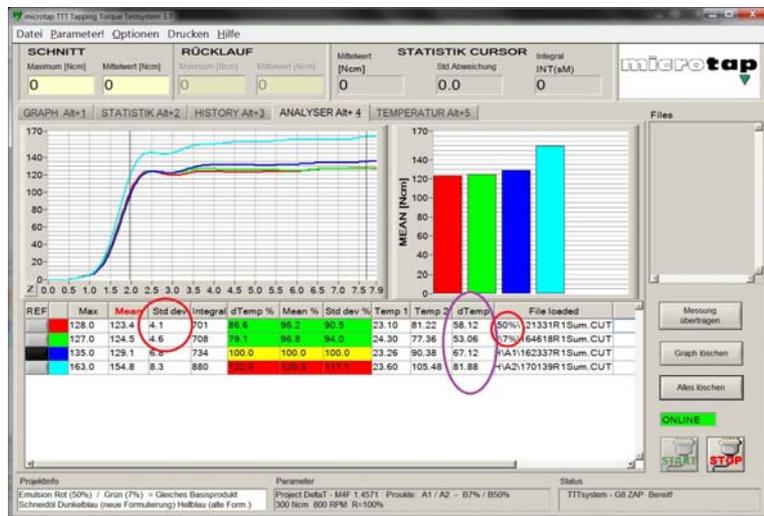
### 扭矩评估参数概览



扭矩 ..作为所消耗力的值(扭矩 Mz 单位 Ncm)



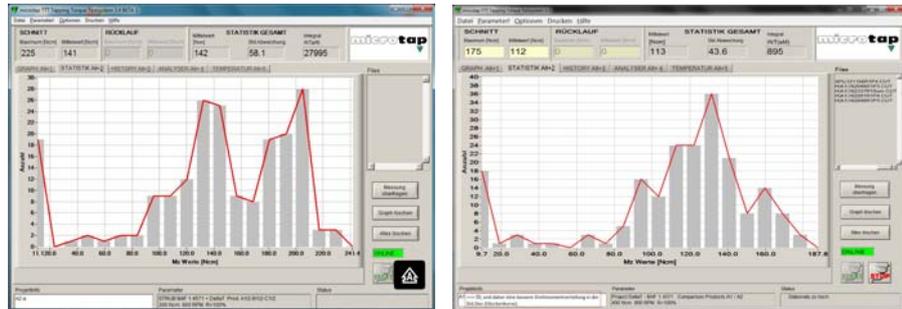
平均值 ..作为平均消耗力的值



标准偏差 ..作为扭矩相对平均值的平均偏差值

# TTT 螺纹加工扭矩测试系统

## 高斯钟形曲线 / 概率统计和积分



高斯概率分布

..作为产生的扭矩图形表达及其分布，当作历史记录表（概率统计）



积分

..作为测试刀具上的总负荷值

除了各测试数据如针对螺纹深度的扭矩、平均值以及标准偏差之外，通过“面积分”（梯形法），使得测试刀具上的总负荷(→ 摩擦 / 负载 / 磨损)能用积分值来表达并评估。

详细的面积计算

“梯形法”描述的数学方法为，数值上近似计算函数  $f(x)$  在区间  $[a, b]$  的积分（数字积分法）。

在给定的区间里，尽可能多地用最多梯形数替代曲线  $y = f(x)$  下的总面积：

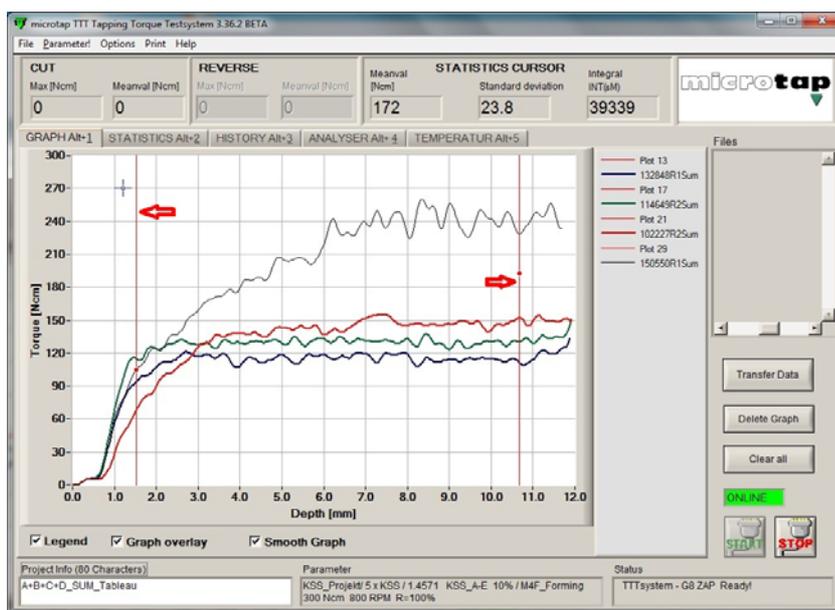
所有梯形面积的和( $\Sigma A$ )  $A = \frac{a+b}{2} \times h$  得出一个近似的摩擦“参

数”。

## TTT 螺纹加工扭矩测试系统

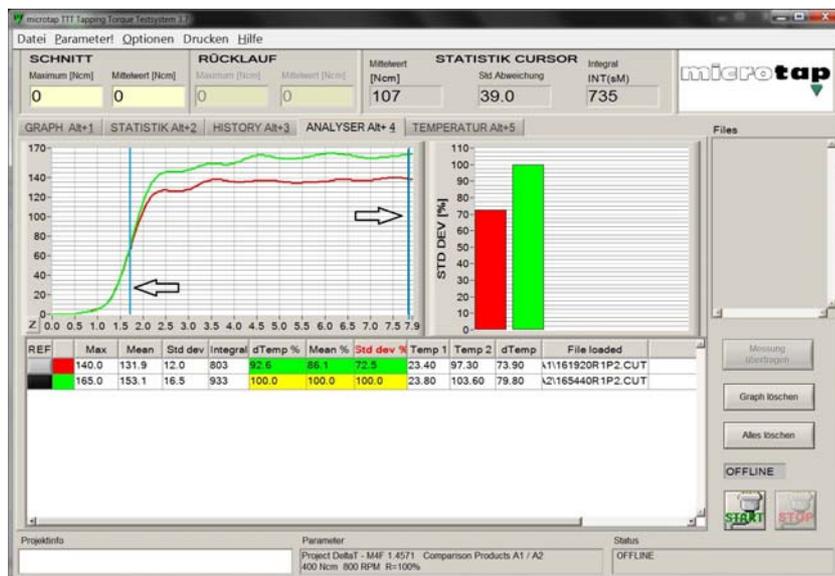
### 评定功能概览

“双光标”功能使得在测试曲线图中的观察灵活而详细。



曲线图中的双光标

被显示的测试数据可以用“双光标”在曲线图中也可在分析程序中限定、选择，并根据光标定位对不同的加工区及要求范围进行评估。



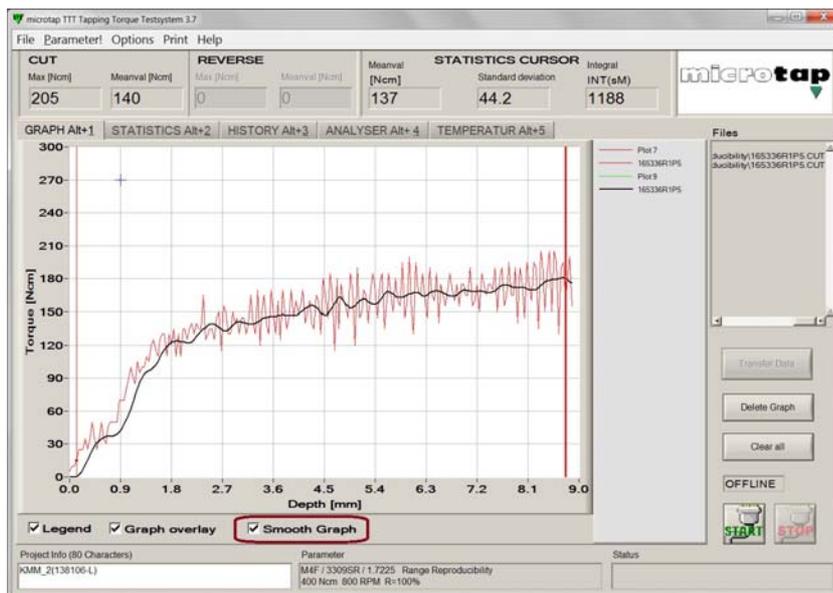
功能柱状图

全部统计数据的评定范围允许在不同的加工区及要求范围，对所针对的测试数据进行详细观察和评估。

## TTT 螺纹加工扭矩测试系统

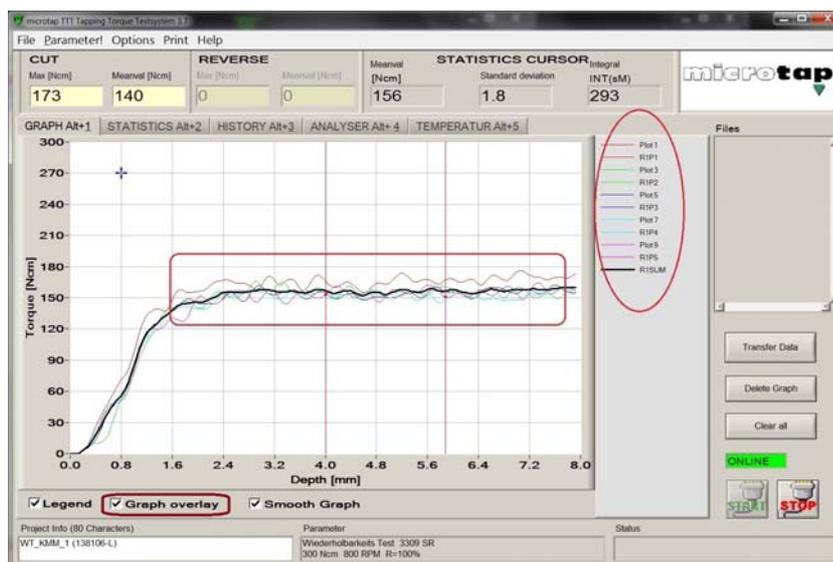
### 图形平整及叠加

“图形平整”功能可以在原始数据和平整结果之间灵活地观察。



#### 图形平整

在目录项“图形”中，功能选项框（开关）可以快速实现切换未平整的原始数据的显示（图形平整）。



#### 叠加

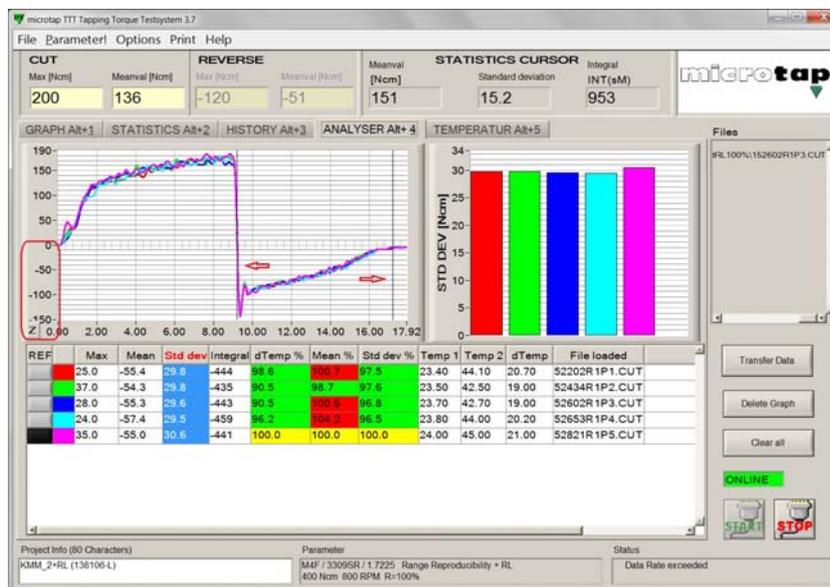
用叠加功能可以一目了然地在曲线图表中显示一个测试组的所有测试数据及一个测试组的平均值（sum.cut “黑”）。

## 回程状况概览



### 回程状况

在回程状况中（刀具无载荷退出），一由于表面相对滑移时特别是有易卡材料时仅存在摩擦作用一通过加入润滑介质及添加物（为了高低摩擦值）可以看出滑移性能的好坏。



### 回程扭矩值和分析

在曲线图中回程数据作为负值镜面对称地显示出来。显示的回程扭矩测试数据可用“双光标”在分析程序中设定。

### 提示

要注意的是，由于回程数据的影响，载荷下带有回程的测试数据可能会有某种意义上的“失真”。此影响可以开关切换。

## TTT 螺纹加工扭矩测试系统

### 温度值Delta T ( $\Delta T$ ) 概览

**设计** 温度传感器装置由温度测量单元包括光学部件、固定杆及其它调整部件组成。

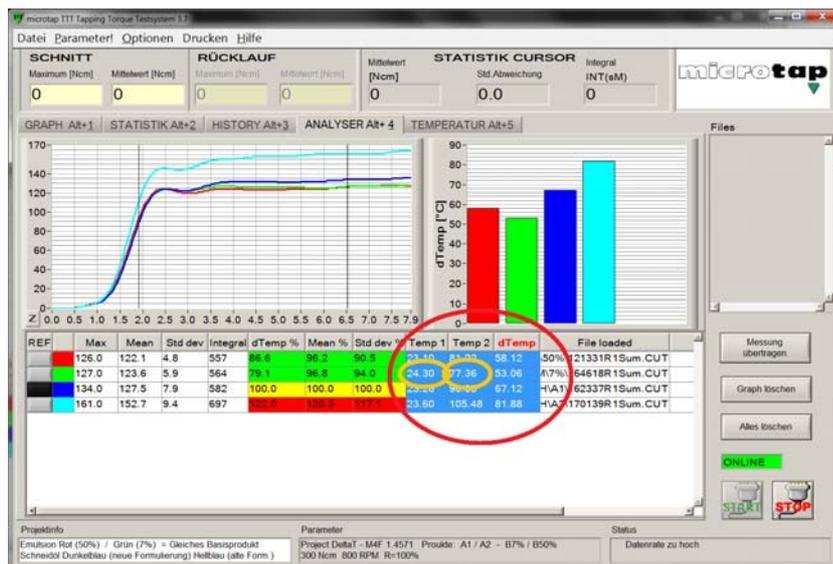
**特性** 在分析程序中温度差 $\Delta T$ 从“评定&分析软件”WinPCA中得到的数据中计算得出。  
用温度传感器，可以在由添加物形成的与摩擦相关的膜层上，经济性地贴切实实地对温度的影响进行研究。



带激光的间距调整装置用于定位

### 限制 / 局限性

温度传感器测量法更适合于螺纹成型加工，因为在螺纹切削加工时，由于切屑和其它因素，光学部件弄脏的风险大一可能会输入失真的测试数据。当偏差大时，清洁光学部件及刀具并在保存前重新测量。



### 温度值

...描述摩擦学过程的其它视窗

## TTT 螺纹加工扭矩测试系统

集成了microtap X-Y定位台MPT的 TTT系统作为实验技术多元化的开发系统

### 启动和操纵功能

- X-Y 定位台 MPT 的启动功能
  - 带有自动定位的功能启动（出厂设置）
  - 当多功能嵌条放开时，启动并固定住
  - 当启用发动机停止功能时，用脚踏开关或手动启动杆来启动

### 特性

- 电磁固定用于手工操作的可靠的工件定位
- 当切削开始后电磁固定才起作用
- 顺畅的交叉滚子导轨能使得刀具对中

### 优点

- 上述各种启动功能可以使操作者能根据情况选择相应的方法获得可靠无误的测量结果
- 当进行同时最优对中时，确保工件定位可靠对中

### 使用

- 避免不对中的、倾斜的或过切&过成型的螺纹
- 避免由不对中引起的测量差错
- 根据实验结果高效快速地完成高品质的螺纹及测试组



TTT System

## 普通 WinPCA3 应用

### 实验组同步

- 由于项目相关或今后的使用，如备份产生测试组的可重复的指令，尤其是所参加的实验组的同步，所有测试数据及参数的设置可以保存并重新调用。
- 特定的/项目相关的测试组参数组(\*.par)和操作者设置(\*.cfu)
- 简单的测量汇总(\*.cut 或 sum.cut)用以分析性地对比性地评定（无需其它程序）
- 鲜明的颜色区分有利于产品分类和图形显示及分析，甚至于图表名和文件名表达
- 用于柱状图的对比数据选择简单，可以在分析程序中，也可使用光标
- 所有统计数据以百分率列入以进行高效率的比较，例如与参照项，单个产品及研发步进阶段，及或市场及竞争产品

### 软件优化

(从 WinPCA-V2.5 版本开始)

- 一体化的分析程序
- 数据记录(\*.cut)可选择地接受并保存
- 自动生成一个测试组(sum.cut)的平均值
- 可定义一个测试组的测量数
- 手动和自动产生单个测试组的“sum.cut”
- 用鲜明的颜色显示 sum.cut
- 叠加图形来直接对比。用颜色区分不同的产品、润滑介质及刀具及或涂层
- 为了演示出色，可任意改变线宽、线迹和色度等等
- 在分析程序中按项目备注信息及评定结果
- 可选是否组合回程状况

# TTT 螺纹加工扭矩测试系统

## WinPCA的计算公式和方法

### 测试公式

扭矩测量结果在过程监控下进行采集并用评估软件比较。在显示屏上单个数值在图形曲线中被显示。

用于计算平均值和标准偏差的公式如下：

$$\text{平均值 (中值)} = \sum_{i=0}^{n-1} x_i / n \quad \text{StDev} = \sqrt{\sum_{i=0}^{n-1} [x_i - \text{ave}]^2 / n}$$

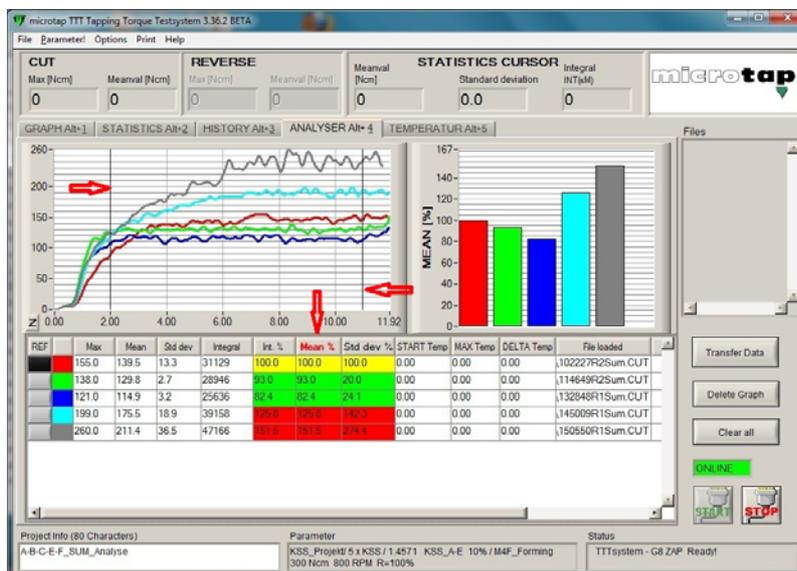
平均值/算式表达式为数量 n 的算式

$$” a_1, a_2, \dots, a_n \quad \chi_A = \frac{a_1 + a_2 + \dots + a_n}{n} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n a_k “$$

$$\text{对于两个项 a 和 b} \quad ” \chi_A = \frac{a + b}{2} “$$

### 分析程序和比较方法

最大扭矩、平均扭矩、标准偏差和概率统计（按高斯法），以及积分值和 Delta T 值根据光标定义用图形和柱状图显示。



表中的评估显示了相对于参考值(100% / 黄)，五项测量的平均值在光标范围内的差别。

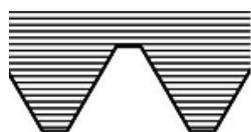
## TTT 螺纹加工扭矩测试系统

### TTT法（螺纹成型加工和螺纹切削加工）

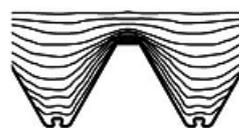
#### 螺纹成型加工

作为证明润滑介质功效的标准测量方法，螺纹成型加工较为适合。

相对于螺纹成型加工（典型的成型加工），当进行螺纹切削加工（典型的切削加工）时所需的加工力矩及扭矩较小。



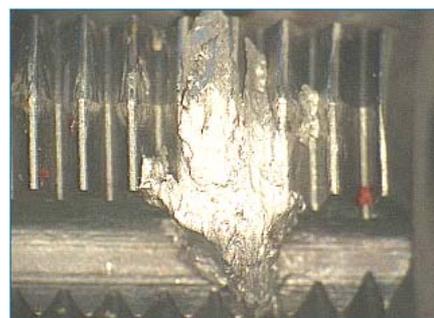
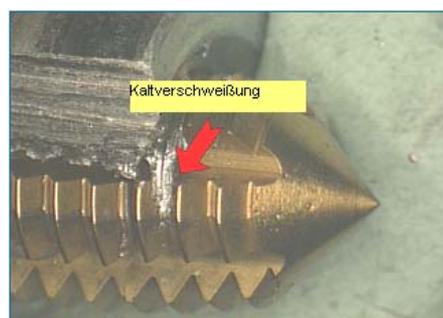
螺纹切削时的纤维方向



螺纹成型时的纤维方向

#### 螺纹种类比较

通过对比螺纹成型和切削加工(较小的  $M_z$ )的测试数据，能对高及低摩擦的功能性进行评定。



#### 冷焊

当润滑膜破裂并且相互作用的表面熔接时，就产生冷焊。这种情况下测试刀具严重损坏且不能再使用。

#### 表面

用放大镜及数码显微镜检查时，能容易地确定测试刀具上的状况及熔接。(数码显微镜作为 TTT 系统的选项)

#### 有刀瘤的刀

同样用显微镜/放大镜可以识别比如测试刀具（或裂口）上的刀瘤形成。

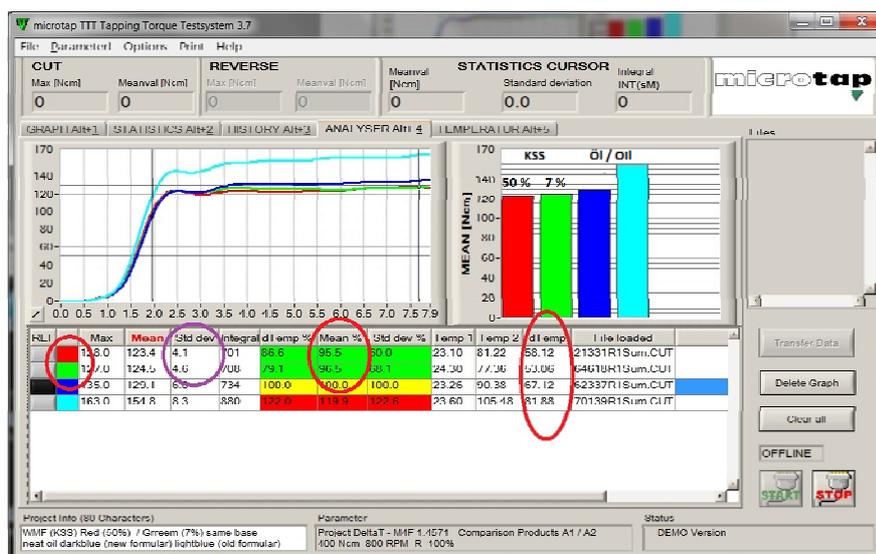
为了最好地判断螺纹表面，应该把加工好的螺纹剖开并用显微镜对表面进行仔细观察。

# TTT 螺纹加工扭矩测试系统

## 切削润滑油和冷却润滑剂的功效对比

### 实例

在用 800 转数和 8mm 深度成型加工螺纹 M4 时，采用奥氏体钢 X6CrNiMoTi17-12-2 (V4A / 1.4571 / 316Ti)，切削润滑油的功能性将直接用 **KSS** 冷却润滑剂来作实际对比研究。



### 结果和分析

柱状图中的红色和绿色是两种冷却润滑剂。深蓝和浅蓝各是一种用于不锈钢的切削润滑油，其中深蓝色的是按客户要求开发出的一个优化产品。区别及改进在此能非常印象深刻地看出。在这个例子中深蓝色产品被设置为参考项(100%)。

根据所有采集的测试数据得出两种 KSS 产品切削性能更好，在表格评估中此结论用绿色醒目标识出。被优化的切削润滑油设置为参考项(黄 / 100%)。（老切削润滑油/浅蓝）位于所有数据下面，因为相对参考项，即被优化的切削润滑油，显示的是较差值。

在右侧柱状图中，KSS 浓度的对比，在此 50% (红) 和 7% (绿)，清楚地显示出在  $\Delta T$  值中较高含水量(93%)的“效果”——但同时也有较高的标准偏差，数值 4.6 相对 4.1 (10%)。

在与纯润滑油，深蓝 (被优化的切削润滑油产品) 和浅蓝的对比中，KSS 红和绿在所有参数值里相对两种切削润滑油要好。这个结果并不令人吃惊。KSS 的开发进展显著。

## TTT 螺纹加工扭矩测试系统

### TTT法、技术秘诀及展望

#### 附带效应

在润滑介质动态测试过程中，一个已知的问题是所谓的“附带效应”。当用同一测试刀具（应该）执行不同的测试组（用不同的润滑介质）时就会出现。

指的是在刀具上的能自己化学作用的添加物（表面活跃的物质）从一种润滑介质（试样）“拖带及传递”到下一种上。要注意的是由此导致的作用原理，在加工中当遇到某一特定温度(!)，表面活跃的添加物局部形成所谓的反应层(reaction layers)，如FeS (Eisensulfide, Pyrit)。这些反应层比如会改变表面的非金结构，改变局部电子结构并增大表面。由此能推断，（起码）在起反应时，其不是附在表面一如书中常描述的一，而是自身变成了表面。因此时常不能用“化学清除”来去除添加物的残余物，如用汽油或丙酮来清除并对测试刀具通风干燥。

#### TTT 法

目的是要避免测试失真。为此而开发的TTT 法能识别出“附带效应”。由此而得出的结果可以作为新的认知。

#### 测试刀具损耗补偿

当仅用一个测试刀具对不同润滑介质的对比测试组其中之一系列进行测试时，同样用专为测试刀具减小费用而开发的其它TTT法，来实现测试刀具损耗的外加补偿。

#### 嵌入用户标志

根据需求，可把用户的标志嵌入到WinPCA中。这样可以把评估结果按公司对内对外情况显示并转递（无需其它软件）。

#### 展望

在与TTT用户的合作过程中，我们致力于继续完善TTT系统，并对每个合作和建议感到高兴。

如果您有疑问，请寄电子邮件至[dehua@dulinmachine.com](mailto:dehua@dulinmachine.com)。我们将很乐意及时与您联系。