

生产管理中表面活性剂特性的分析

作者：Dipl.-Ing. Volker KDnic
Ralf Haberland
编译：翁开尔公司

优化工业清洗工艺的目的是更经济地使用表面活性剂，并达到一个稳定和高质量的清洗表面效果。通过测量技术来确定最佳的有效表面活性剂的浓度是很有必要的，这样就可以建立一个表面活性剂浓度和清洁效果的关系。

这篇文章介绍了一种先进的表面张力的测量方法，来确定有效的表面活性剂的浓度。在此方法的基础上，研制出新一代的在线表面张力仪。这些仪器可以连续监控清洗槽中的表面活性剂的浓度。

这篇文章告诉我们如何解读在控制程序中的测量结果。本文借鉴金属清洗过程中的在线测量方法，说明了如何提高生产中的质量控制水平。

关键词：表面张力，表面活性剂浓度，监控，清洁

1 介绍

在金属加工过程中，金属部件的清洗是在最终成型和表面处理中是至关重要的一步。金属部件的清洁程度决定了表面处理的质量，因此，极大的影响了零件的最终品质。这对电镀和其它大多数应用都特别重要。清洁过程都是水溶性的，这就意味着，一般清洁剂包括水，清洁剂，当然也有污染物，水性清洁剂由增加清洗能力的促净剂，和去除并乳化非水溶性污染物的表面活性剂（润湿剂）组成。

清洗工艺管理就是要保持清洁的最佳状态，这就意味着要保证促净剂和表面活性的浓度最佳而且稳定。本文将从表面活性剂特性分析的角度来讨论工艺管理，因此焦点将放在表面活性剂浓度的优化和监控。表面张力测量是浓度测量的相关技术基础。从这个点来看，工艺管理的核心问题是：

- 在清洗工艺管理中表面活性剂是如何起作用的？
- 在清洁过程中需要监控表面活性剂的什么效果？
- 如何最大程度优化表面活性剂的消耗量，来达到经济和动态的管理？
- 在生产过程中如何测量、监控和控制表面活性剂的浓度？
- 如何进行可靠的表面张力测量？
- 在过程控制中测量设备是如何应用的呢？

下面将回答这些问题，并最终预见今后的研究方向。

2 清洗工艺中表面活性剂的使用

在清洗工艺管理中表面活性剂是如何起作用的？

要在水槽中去除基材上的非水溶性污染物，需要使用表面活性剂，它可以吸附这些污染物。随着污染物和基材之间接触角的减少，污染物最终将会从基材上脱离出来。此外，表面活性剂必须通过乳化作用能够使油、脂液滴处于稳定，防止基材再次被污染。

毫无疑问，高质量和稳定的清洁过程是高品质产品的前决条件。通过优化清洗机和对清洗液浓度的设定，可以达到高质量清洁效果。稳定的清洗质量则需通过监视和控制清洗槽的状况来实现，从化学的角度来看这意味着监视和控制清洁剂的浓度。

对促净剂浓度的现场监控一般通过滴定法，而过去表面活性剂浓度监控是一个更复杂的程序，它主要在专业实验室进行，因此，实施起来要比促净剂的监控更为罕见。

不久来自汽车工业的50个金属部件制造商的研究报告显示，尽管促净剂和表面活性剂为各50%的剂量，但是几乎所有公司把控制表面活性剂和促净剂剂量都建立在促净剂的测量浓度基础上。为了在表面活性剂和促净剂之间得到一个合理的表面活性剂剂量添加比例值，他们偶尔会进行表面活性剂的浓度测量。

由于清洁剂用量仅仅基于促净剂浓度测量结果，所以表面活性剂浓度普遍都是超标的。显然，根据表面活性剂实际需求来添加，那么其消耗量将大大改善。

在清洁过程中需要监控表面活性剂的什么效果？

清洗槽中需要监视的是表面活性剂对基材的润湿和非水溶性污染物的乳化效果。这两种效果都是基于表面活性剂在界面的吸附。在清洗过程中不洁的工件是连续进入浴槽中的，此时表面活性剂将吸附在基材和污染物上。结果是游离的或有效的活性剂浓度降低，导致清洗能力下降。在吸附过程中整体表面活性剂的浓度不变，因此监控整体活性剂浓度毫无意义。故此，通过测量剩余的有效表面活性剂浓度即可监察到它的消耗量。

如何最大程度优化表面活性剂的消耗量，来达到经济和动态的管理？

理想情况下，清洗工艺需要最少的清洗剂用量达到最好的清洗效果。若把表面活性剂最少用量和稳定、优质的清洁效果关联起来，那么就可以得到浓度界限值。根据这些界限值来添加表面活性剂，意味着供求平衡。

依据清洗槽的大小和零件吞吐量，找出测量有效的表面活性剂浓度的时间间隔。依据它们的关系便可合理设置监控设备的测量间隔。

根据清洗槽内表面活性剂的实际需求量来添加表面活性剂，不仅仅降低成本，同时也是提供优质、稳定的清洗过程的基础。

3 监控表面活性剂浓度的测量技术

测量有效表面活性剂浓度的一种方法是模型支持测量。简单来说它是描述过程变量和测量变量关系的模型。

有效表面活性剂的主要作用是吸附在界面上并根据表面活性剂表面浓度来降低表面张力。因此，在一定的尺寸和时间内有效表面活性剂的浓度与表面张力降低有关，另外还跟与温度和其他有影响的物质有关，如公式 1所示。

$$\sigma = f(A, t_{\text{surface-age}}, C_{\text{active-surf.}}, T, C_x) \quad (1)$$

动态表面张力的测量表明，即使在清洗过程中常见的表面活性剂浓度远远高于CMC(临界胶束浓度)时，都能被监控。测量动态表面张力值的一种方法是最大气泡压力法，如图 1所示

气流通过浸在待测液体样品的毛细管，这样毛细管管尖就会产生气泡。气泡内的最大压力与表面张力有直接的关系。通过控制空气流量便可控制气成的气泡半径等于毛细管半径时，气泡达到最大压力。表面活性剂吸附的表面积、气泡的大小，取决于毛细管的设计。

公式 2描述了采用气泡压力法时表面活性剂浓度和动态表面张力的关系。包含其它表面活性物质对表面张力的影响。

$$\sigma = g(t_{\text{life}}, C_{\text{active-surf.}}, T) \pm \Delta\sigma_x \quad (2)$$

如果浴槽保护措施能够为其他表面活性物质提供稳定的浓度， $\Delta\sigma_x$ 可被忽略掉。那么公式 2中，动态表面张力取决于表面活性剂的浓度和 t_{life} 。

测量温度通常是工艺过程的温度，它提供了足够的温度平衡。最终，清洁浴槽中影响动态表面张力的是表面活性的浓度。比较不同非离子表面活性剂浓度的测量方法，发现气泡压力的方法适合测量表面活性剂的浓度。

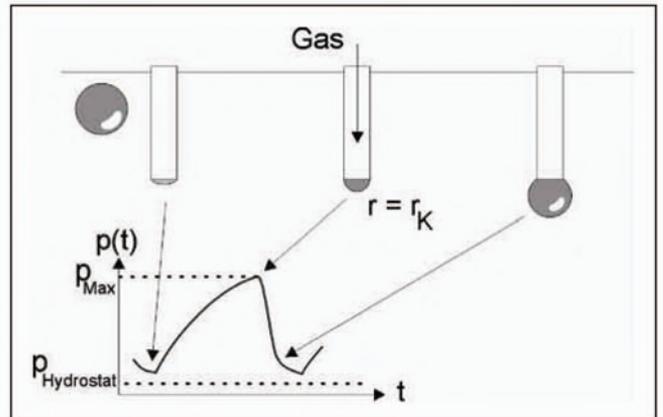


图 1 气泡压力法

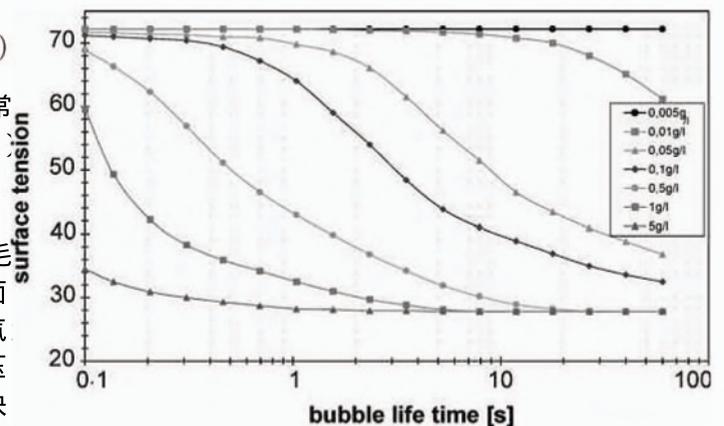


图 2显示一款离子型表面活性剂 SDBS在不同浓度时的动态表面张力：气泡寿命时间越短，那么对高浓度的分辨率就越好。对于浓度远高于 CMC的测量是可行的。

参照曲线图的制作：

如果表面张力只受表面活性剂浓度的影响，那么测量模型就可以简化为参照曲线。制作参照曲线的实验，必须再现工艺过程的条件如相同的温度和样品配比。

制作参照曲线的第一步是测量数个已知浓度样品的动态表面张力。从图中可知，所选取的最佳气泡寿命时间必须是能够很好的分辨出所需范围的浓度。然后就可以在选取的最佳气泡寿命时间下制作基于表面张力的参照曲线。为了实现快速测试的目的，气泡寿命时间应该选择尽可能短。图 3是 SDBS 基于 0.005g/l~1g/l 浓度范围的参照曲线，它是从图 2发展而来的。其最佳气泡寿命时间为 1s。

工艺模型：从测量到监测

监测是指监视检查生产过程中的变量是否在允许范围内。如上述方法，这个范围具有工艺特性并且只能通过清洁质量和表面张力的关系来获取。结果如图 4。

4 生产过程中表面张力的测量

工艺过程中准确的表面张力测量方法的特点是：

- 丨 使用方便，实验工作量少
- 丨 可以预防由于不当操作对总测量值的影响
- 丨 具有在线测量能力

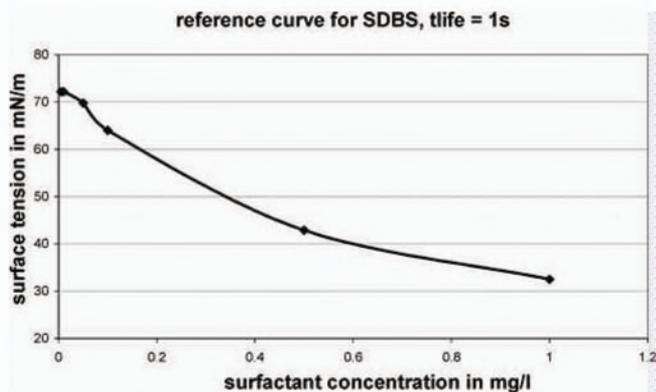


图 3 SDBS参照曲线，浓度范围为 0,005 g/l...1 g/l，气泡寿命时间为 tlife = 1 s

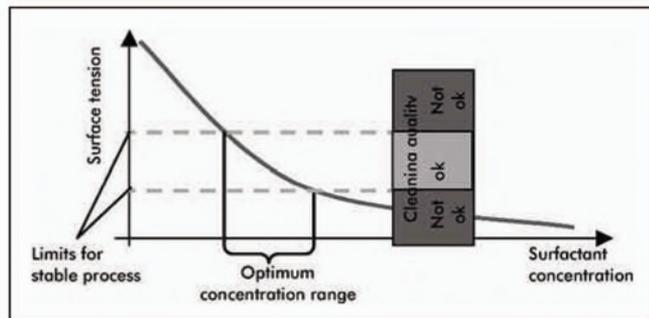


图 4 最佳的浓度范围的工艺模型

丨 线上和线下测量值之间的比较

SITA公司和德累斯顿工业大学研发了基于气泡压力测量法的表面张力仪，仪器的主要性能是：

- 丨 气泡压力测量不受毛细管进入深度的压力影响。仪器测量的是气泡形成过程中的最大压力差值而不是气泡的最大压力，如图 5所示
- 丨 可选的气泡寿命：电路可控制气流产生气泡。仪器可以根据使用者的需要来提供不同的气泡寿命。
- 丨 校准方法简单，水进行校准即可，确保测量准确。
- 丨 具有在线测量功能：如图 6所示的特殊设计的毛细管和测量容器，仪器具有自动校准和自我清洁功能，确保测量能够长时间稳定可靠。

在过程控制中测量设备是如何应用的呢？

图 7展示了应用于清洗工业分析的测量仪器。

1. 表面活性剂分析的实验室仪器。
2. 对表面张力仪进行快速控制的仪器
- 3 在线测量仪器，直接对机器清洗过程中进行连续的监测

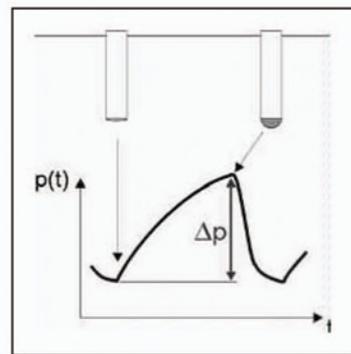


图 5 气泡压力差法

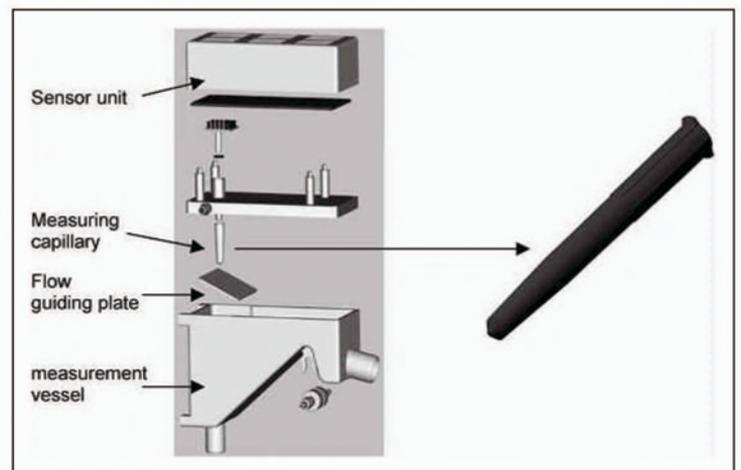
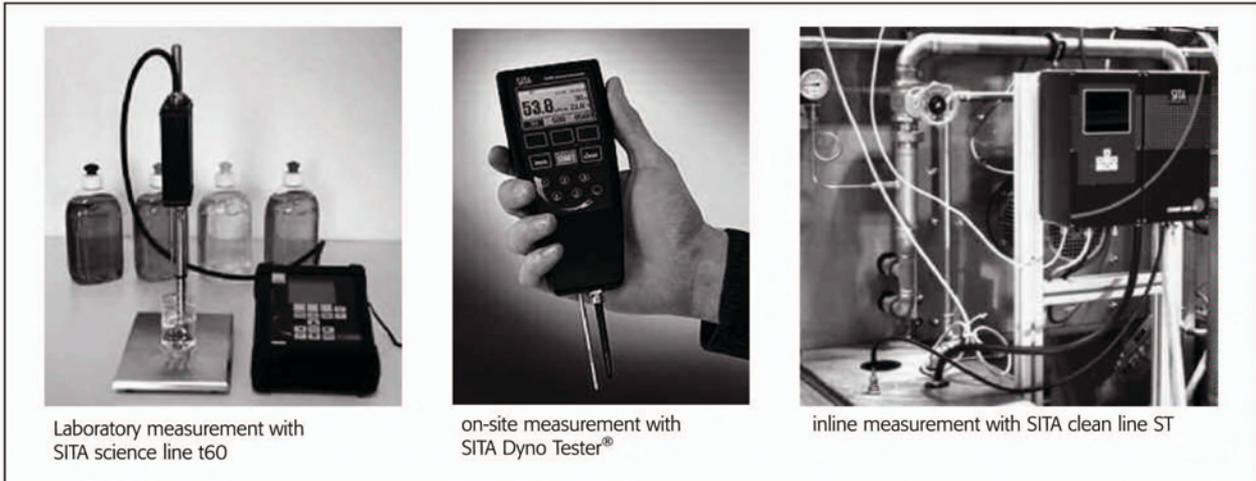


图 6 专为在线测量设计的毛细管和测量容器。



Laboratory measurement with SITA science line t60

on-site measurement with SITA Dyno Tester®

inline measurement with SITA clean line ST

图 7 清洗工艺分析用仪器设备

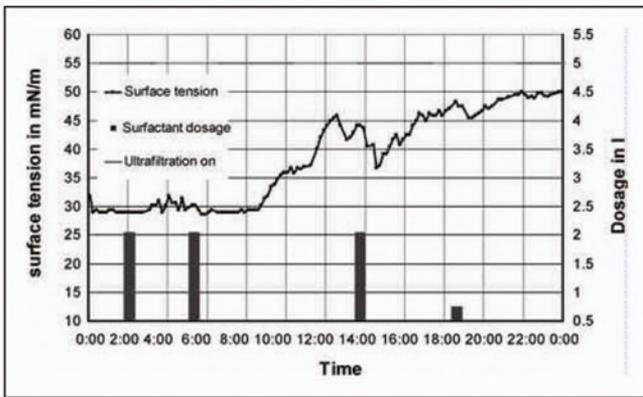


图 8 表面张力的连续监测，表明表面活性剂浓度减少的趋势。表面张力的上限设定在 45 mN/m

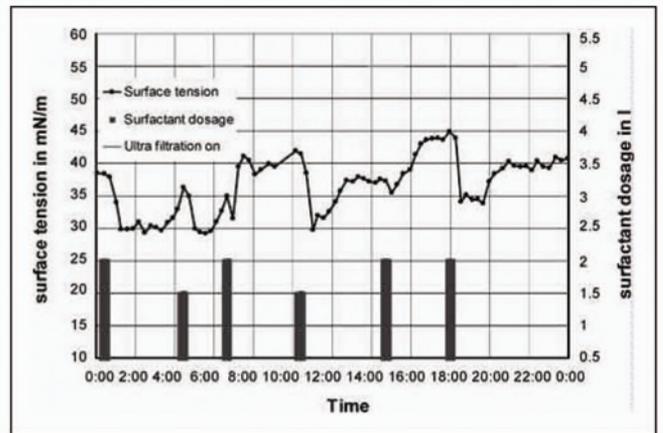


图 9 基于表面张力连续监测的表面活性剂添加量优化

采用 SITA 连续表面张力监测的清洁曲线 ST，燃机零件生产厂便可优化清洁剂的配比。图 8 显示了表面张力在实验过程中的变化。

优化之前，表面张力在 30 mN/m 时显示表面活性剂浓度很高。只要表面张力值低于 45 mN/m 那么就可以保证稳定的清洗质量。当表面张力在 45 mN/m 以上持续相当长一段时间的时候，清洗质量变差。因此，与清洁剂的供应一致，表面张力的上限设定在 45 mN/m。这样表面活性剂的用量便可减少。浴槽的连续监测可以确保表面活性剂浓度保持充足，如图 9 所示。表面张力仪的典型应用如下：

- ▮ 传动部件的生产，如轴承，齿轮，轴
- ▮ 汽车 - 车身 - 零部件的生产
- ▮ 电镀槽表面活性剂的控制

5 在未来的研究中这种测量技术将很普遍

在清洁的过程中优化表面活性剂浓度的下一步是研发表面活性剂计量自动添加法则。它必须满足

清洁工业的特定要求。主要事项有：

- ▮ 任何环境下必须确保表面活性剂和促净剂浓度的合适度，不得过高或是过低。
- ▮ 促净剂浓度监测和控制的工艺模式扩展
- ▮ 过程规范管理文件的实施

参考文献

1. Steiner-Adler, A.: Untersuchungen zur Tensidverteilung in Reinigungsbädern in der Metall verarbeitenden Industrie. Dissertation TU Chemnitz, 2001.
2. König, V., Schulze, L.: 1. Fortschrittsbericht zum Projekt Optimale Konstruktion der Prozessmesstechnik zum Erreichen einer hohen Verfahrenssicherheit bei Metallreinigungsprozessen. IFTE, TU Dresden, 2004.
3. Matthes, E., Gottschalk, B., Fritsche, H.-B., Schmedding, T., Belger, N., Nitschke, T.: Neue Messtechnik senkt Betriebskosten. JOT 6 (2003).
4. Penz, O., Schaab, A., Brunn, K.: Technischer Brief „Methoden zur Bestimmung nichtionischer Tenside“. Firmenschrift www.surtec.de/TB/TB14D.pdf.
5. Haberland, R.: Dimensionierung und Gestaltung von Oberflächenspannungsmessgeräten für den Prozess-Einsatz, Dissertation TU Dresden, 2004.

Received: ■
Revised: ■

▮ Correspondence to

Volker König
Institut für Feinwerktechnik
Technische Universität Dresden
01069 Dresden, Germany
E-mail: volker.koenig@ifte.de

这篇文章的作者

Dipl.-Ing. Volker KDnig出生于1973, 1999年他毕业于德累斯顿工业大学的机电和电子设计专业, 直到2002年进入SITA Messtechnik GmbH 公司成为表面张力的仪器研究工程师。从2002年开始在德累斯顿工业大学从事研究开发工业清洗过程处理测量技术。

Dr.-Ing. Lothar Schulze 教授生于1950年, 于1976年在德累斯顿工业大学获得电子设计专业博士学位。直到1989他一直着手研发低电压开关齿轮并做了10年的研发经理。然后任职德累斯顿工业大学机电和电子设计学院的执行总裁助理直到1998, 从1996年起他在德累斯顿的SITA Messtechnik股份有限公司任总经理, 从2003年起他成为德累斯顿工业大学机电和电子设计学院产品开发的名誉教授。

Ralf Haberland 出生于1969年, 1996年毕业于德累斯顿工业大学的机电和电子设计学院家用洗衣机传感器技术专业。如今他是德累斯顿的SITA Messtechnik股份有限公司的技术主管并且从事实验室和工艺测量设备的开发。