

切削液的使用管理

第 4 讲：水基切削液的防腐败管理

刘镇昌 济南库伦特科技有限公司 济南 250101

二战后世界经济的高速增长导致了资源的极度消耗和环境的日益恶化。上世纪七十年代以来发生的一系列全球生态环境破坏对经济发展带来的严重危害使人们从反面得到了教训：人类在高速度地发展物质生产的同时，也迅速地破坏着自身赖以生存的空间。环境、资源、人口已成为当今人类社会面临的三大主要问题。依靠科技进步，实施清洁生产，节约资源消耗，减少废物排放，建立与环境相协调的发展模式，已成为制造业可持续发展的必由之路。

本文涉及的就是通过加强管理减少废液排放的一个问题。众所周知，随着使用时间的推移，水基切削液会由于有效成分的消耗、浓度和 pH 值的变化而性能下降；由于漏油、切屑等杂质的混入而污浊；由于微生物的异常繁殖而腐败；导致机床和工件锈蚀、刀具磨损增大、加工质量变坏、甚至产生恶臭；最终不得不提早更换。为了延长切削液使用寿命、减少废液排放，对切削液采取严格的管理措施势在必行。

1 水基切削液中微生物的来源和生存环境

依靠切削液生产过程中的加热及防腐杀菌剂的作用，水基切削液的原液可以处于基本灭菌状态。但在在使用液中，通过供液系统、稀释水、被加工零件、机床、操作人员的手以及空气接触，会带入微生物菌种。水基切削液中含有微生物生长繁殖所必需的营养物质，例如：油脂、矿物油等有机物，从空气中溶解的氧（好氧性细菌生长所必需的物质），胺和酰胺类化合物等含有的氮（氮是分解氨基酸所必需的物质），防锈剂中的矿物质磷、硫以及水中含有的微量元素等；又有水分和适宜的温度，这样的环境很适合于微生物的生长和繁殖。若不加以控制，微生物会以异常惊人的速度繁殖。

2 水基切削液中微生物的种类及其繁殖

水基切削液中的微生物群主要是细菌和真菌。从腐败了的使用液中通常能够检查出的细菌浓度达到数千万～数亿个 / mL。检查出来的细菌主要有大肠杆菌、副大肠杆菌、肺炎球菌、普通变形杆菌、铜绿色伪单胞菌、好油伪单胞菌、沙门氏伤寒菌、金黄色葡萄球菌等。这些细菌有的是好氧性细菌，有的是厌氧性细菌。水基切削液中的真菌主要是霉菌和酵母菌。通常情况下，好氧性细菌、厌氧性细菌等与真菌共存。这些微生物对环境和营养物质有很强的适应能力。每种特定的环境往往生存着特定的微生物菌落。在适宜的环境下，他们每 20～30 分钟可分裂 1 次。最多见的是好氧性细菌，在合适的繁殖条件下会按几何级数增长，24 h 内产生的细菌数甚至可达数千万个。在周末或节假日，工厂休息，切削液处于静止状态，好氧性细菌的繁殖使切削液中含氧量减少，切削液变为缺氧状态，助长厌氧性细菌的繁殖。其中有一种硫酸还原菌，会不断地分解硫酸盐和磺酸盐中的含硫基团，使其生成硫化氢，暂时溶解在使用液中

或被浮油层覆盖。当休息结束、机床开动、切削液循环时，硫化氢被释放出来，车间内就会充满硫化氢臭气。“星期一早上的臭鸡蛋气味”就是这种细菌异常繁殖的结果。厌氧性细菌比好氧性细菌的繁殖速度慢，检查出的菌数也较少。以硫酸还原菌为代表的厌氧性细菌的大量繁殖引起恶臭发生，是使用液腐败的晚期征兆。不仅如此，文献【1】认为，微生物几乎能够破坏水基切削液中的各种有机物以及矿物油的烃结构。他们以不同的程度和速度消耗着切削液中的各种化合物。

霉菌和酵母菌也会引起切削液变质。由于他们的繁殖而生成的渣滓会堵塞过滤器、供液泵和供液管道，并经常浮在液面上形成被膜。霉菌一旦发生，就会发展到比细菌引起的腐败更糟糕的地步，很难根绝。这是因为霉菌是孢子生殖，用杀菌剂、防霉剂去杀灭它比杀灭细菌更困难。在发生霉菌时，要把渣滓完全除去，同时要反复用防霉剂水溶液冲洗切削液箱和循环系统，必须连孢子都完全除掉，冲洗不干净往往会再度孳生。

在一般情况下，如果活菌数的增长超过某一极限，则会因为营养物不足和自身的分泌物引起的污染而死亡。但由于使用液中要定期补充新鲜的水和原液，于是微生物繁殖得以反复进行。最终将导致切削液严重腐败变质。

3 水基切削液性状和环境对微生物生长繁殖的影响

(1) 稀释水质的影响 稀释水质对微生物繁殖影响颇大。表 1 记录了不同水质对切削液中微生物繁殖的影响（出处：原始文献【2】，引用文献【3】）。结果表明，无论是合成切削液还是乳化切削液，稀释水的硬度越高，微生物繁殖越快。这是因为硬度较高的水含有更多的有机物、矿物质、微量元素等，这些都是微生物生长繁殖所需的营养物质。

表 1 水质对水基切削液中细菌繁殖的影响（单位：活菌数×10⁶ 个 / mL）

切削液种类	稀释水	经 过 日 数				
		0	1	2	3	4
合成切削液 (浓度 4%)	蒸馏水	0.1	1.2	1.5	2.2	4.8
	软水 (72ppm)	0.1	3.4	5.5	6.1	6.7
	硬水 (700ppm)	0.1	3.1	8.1	9.8	9.1
乳化切削液 (浓度 4%)	蒸馏水	0.1	2.8	4.5	8.6	9.1
	软水 (72ppm)	0.1	14.7	10.2	13.2	15.9
	硬水 (700ppm)	0.1	10.5	16.3	21.0	33.4

(2) 使用液 pH 值的影响 对于大多数微生物来说，可生长的环境 pH 范围在 5-9，但不同种类的微生物最适合生长的环境 pH 值不尽相同。环境的 pH 值变化剧烈，会改变营养物质的供给状态，影响菌体细胞膜的电荷性质、稳定性和对物质的吸收能力。对于微生物的生长非常不利；过酸、过碱的环境都会使菌体表面蛋白变性，最终导致其死亡。图 1 是对微生物繁殖与水基切削液 pH 值的关系的研究结果【4】。由图可见，当 pH 值在 8.2 以下时，经过两天活菌数就达到 10⁸ 个/mL；而当 pH 在 8.7 时，需要 7 天才接近这个数值；当 pH 值提高到 9.2 时，大多数微生物死亡，经过 1 天就减少到很低的水平，而且一周内其数量不随时间的延长而增加。由此可见，切削液维持较高的 pH 值对抑制微生物的生长繁殖有利。而且，还有利于改善其对黑色金属的防锈性能。但是，pH 值过高 (>10) 容易引起操作人员的皮肤疾患。因此，从防止

腐败、抑制腐蚀和劳动卫生的观点来看，保持使用液的 pH 值在 9-9.5 之间为宜。

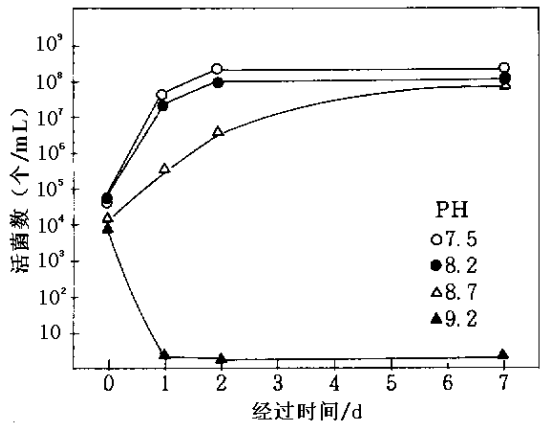


图 1 微生物繁殖与水基切削液的 pH 值的关系

(3) 使用液浓度的影响 浓度是标志水基切削液有效成分含量的指标，恰当的浓度是保持水基切削液处于最佳工作状态所必需的。抗菌性能（耐腐败性能）、pH 值、防锈性能、润滑性能等都与切削液的浓度密切相关。浓度过低则有效成分不足，防腐败性能降低。如图 2 所示（出处：【原始文献【5】，引用文献【3】），随着浓度从 1%~5% 升高，微生物数量明显降低。

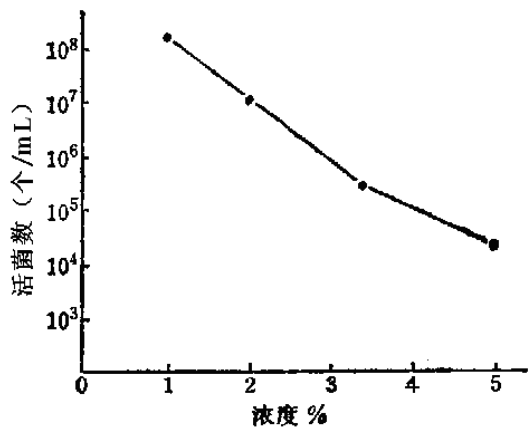


图 2 水基切削液稀释浓度对微生物繁殖的影响

试验条件：微乳化切削液，液量 20L，其中添加了切屑和润滑油，30 日内白天用泵循环。

(4) 环境温度的影响 在细胞中进行的生物化学反应是生命活动的基础，而这些反应需要在一定的温度下进行。对于大多数微生物来说，温度太低，不利于营养物质的运输和各种生命过程的进行；在温度适当升高时，细胞内的生物化学反应速度加快，就能加速微生物的生长；然而，温度过高，可引起细胞中生物大分子如蛋白质、核酸和其它细胞组分不可逆的变性作用，使蛋白质失去进行生物化学反应的功能；当温度超过微生物所能忍受的极限时，就会导致其死亡。当然，由于自然界环境与生物种类的多样性，也存在极少数嗜冷微生物与嗜热微生物。

微生物繁殖的最佳温度略低于人体温度，多数微生物最适宜的温度范围为 30~35 ℃。夏季是微生物繁殖的最适宜季节。表 2 是浓度为 4% 的乳化切削液在不同温度下保温 1 小时后测定微生物数量的结果【6】。

表 2 不同温度下保温 1 小时后微生物的数量变化

乳化液温度, °C	40	50	55	60
活菌数, 个/mL	3×10^8	2×10^8	2×10^4	少于 2×10^4

结果表明, 温度从 40℃到 50℃, 微生物的活菌数减少了三分之一; 而当加温到 55-60℃时, 活菌数降低了 4 个数量级, 数量急剧减少。说明适度加热可以抑制微生物的生长繁殖。这可能是在较高温度下循环使用的轧制液几乎不发生腐败现象的原因。

4 微生物繁殖可能带给水基切削液的危害

微生物在水基切削液中的繁殖会引起多方面的问题:

- (1) 使用液气味和颜色变化 (变成灰褐色, 桃色);
 - (2) 细菌产生的酸引起使用液 pH 值降低, 防锈性能变坏;
 - (3) 使用液的切削性能 (加工质量、刀具寿命) 下降;
 - (4) 生成渣滓或油泥状粘稠物, 影响机床运动, 导致供液管道、供液泵和过滤器堵塞;
 - (5) 使表面活性剂分解, 导致使用液不稳定, 甚至破乳、分离;
 - (6) 产生腐败臭气 (酸腐臭、硫化氢臭气), 使作业环境恶化, 并影响作业人员的健康。
- 上述过程发展到最后阶段不得不更换新液。

5 水基切削液中微生物的检测方法

微生物检测的目的是检知切削液中微生物的种类、数量和繁殖情况, 可采用各种成熟的显微镜检查和图像识别技术; 切削液腐败的发展状况可以通过微生物接种培养并测定不同时间点的活菌数来跟踪; 一般借用已有的污染水体微生物检测方法, 需要专门的设备, 而且周期长; 即使采用玉米粉法之类的简易微生物培养试验, 一般也需要 5 天才能得出结果 (参阅文献【7, 8, 9】); 多用于切削液产品或防腐杀菌剂的开发研究。

在切削液现场管理中, 不一定都需要做严密的测定, 往往进行简易的半定量或定性检查即可达到目的。使用简易微生物检测器能快速得出半定量的结果, 已有一些商品出售, 虽然目前成本较高, 但却是发展方向。

随着切削液腐败的进行, 上述的各种负面影响都会表现出来。有经验的管理人员通过综合观察使用液的臭气和外观变化, 测定 pH 值、检查防锈性等, 就能够定性感知使用液的腐败程度, 并采取相应的对策。

6 抑制微生物繁殖的措施

造成水基切削液腐败的主要原因是微生物的过度繁殖。防腐管理必须从抑制微生物的繁殖入手。可采取的措施有:

- (1) 选用少含微生物营养源组分的切削液, 适量使用防腐杀菌剂以阻止微生物的繁殖。
- (2) 注入新液时, 首先把机床周围及供液系统内的切屑和异物完全清除, 并用杀菌剂充分洗净。不清洗干净就等于向新液中投放腐败菌种。
- (3) 稀释水用符合饮用标准的自来水或软化水, 避免使用硬度过高的水。
- (4) 定期检查使用液的 pH 值, 当发现 pH 值有降低倾向时, 应补充新液或添加 pH 提高

剂，使其保持在微生物难于生长繁殖的范围。

(5) 定期检查使用液浓度，发现不足时应及时补充新液或原液；高温季节水分蒸发量大，要检查盐离子浓度，如果过高，易引起乳化液分解，须及时补充软水；保持使用液在规定的正常浓度下工作。

(6) 定期检查微生物繁殖情况。若已经察觉到腐败征兆，就需要采取防腐杀菌措施。一般认为，当活菌数超过 $10^6/\text{mL}$ 时，应立即添加防腐杀菌剂控制其繁殖。

(7) 注意防止漏油混入，设置能迅速除去漏油的装置。

(8) 采用有效的排屑方式，避免切屑特别是微细切屑在液箱内长时间沉积。

(9) 节假日等长时间停机时，过去主张采取曝气的方法，即使切削液循环搅动，或向液箱内鼓入空气，以防止厌氧性细菌的繁殖，同时也及时排除臭气。但是，最近有资料认为，微生物在有氧条件下亦会生成低级酸而导致恶臭，空气中的二氧化碳溶入切削液后会使得 pH 值下降，又促进微生物的繁殖。因此，正确的做法是在停机前适当提高使用液的浓度和 pH 值（维持在 9 以上），并适量添加防腐杀菌剂（出处：原始文献【10】，引用文献【3】）。

以上是水基切削液防腐措施的要害。其中第（2）点因为需要增加排水处理量以及冲洗费时等问题而不太被采用。但这是延缓发生初期感染的有效措施，应积极付诸实用。

为了防止水基切削液腐败，往往不得不使用防腐杀菌剂。使用防腐杀菌剂时必须注意安全性和生态环境问题。杀菌力强的防腐杀菌剂的使用浓度不宜过大，否则会引起操作人员的皮肤炎，同时在废液处理时，如果到凝聚处理工序还未能回收药剂，则在最终的加菌淤渣处理时加入的有益微生物也会被杀死；排出的废水使鱼类等水生物受到危害，从而对生态环境造成恶劣的影响。此外，防腐杀菌剂的种类应有所变化，只使用特定的防腐杀菌剂会使细菌产生耐药性，致使杀菌效果逐渐减弱。总的说来，不能单纯依赖防腐杀菌剂去防止切削液腐败。使用液的防腐管理是必不可少的重要环节。

在水基切削液的使用液管理方面，应以防腐为长远目标，把浓度管理、防锈管理以及其它性状项目的管理结合起来，制成管理记录表，定期进行检查。表 3 针对集中供液方式给出了一个管理记录表的样本供读者参考（出处：原始文献【7】，引用文献【3】）。

表 3 切削液管理记录表

供给机床号:MF—5					切削液名称:SQ—3						
液箱号:16					生产厂家:D 厂						
液箱容量:50000L					电话:						
设定浓度 5%±0.5% pH:9±0.5					管理责任人:×××						
记录年月日	浓度/%	pH	臭气	外观	防锈性能	切削性能	补给量/L				备注
							原液	用水	防腐剂	pH 提升剂	
2006. 04. 01	5	9. 0	◎	◎	◎	◎	—	—	—	—	
2006. 04. 15	4	8. 5	◎	◎	△	△	1000L	9000L	—	—	
2006. 04. 30	4. 5	9. 0	◎	◎	◎	◎	200L	3000L	—	—	
2006. 05. 15			◎	◎	◎	◎	200L	3000L	—	—	

注：◎无变化；△稍有变化；×显著变化。

参考文献

- 1 T. 曼格, W 德雷泽尔. 润滑剂与润滑. 赵旭涛, 王建明译. 北京: 化学工业出版社, 2003
- 2 E. O. Bennett. ASLE. 1972, 28 (6): 237
- 3 刘镇昌. 金属切削液----选择、配制与使用. 北京: 化学工业出版社, 2007.9
- 4 J. Shintaku, M. Noda, M. Hirose, H. Fujimaki. The International Symposium on Metal Working Lubrication, ASME. 1980: 25
- 5 廣瀬. 最近の切削加工と切削油剤講習會教材. 日本潤滑學會. 1976
- 6 山中靖彦, 野田昌宏. 切削、研削油剤の保守管理. 潤滑. 1980, 25 (3): 152
- 7 廣井 進, 山中康夫. 切削液与磨削液. 刘镇昌译. 北京: 机械工业出版社, 1987
- 8 井上真由美. 金属加工油の微生物による障害とその防止対策. 機械技術. 1977, 25 (9): 58-60
- 9 傅树琴. MMAC2 乳化切削油的研究 (一). 石油商技. 1996 (3): 2-8
- 10 日本関西特殊工作油株式会社网站 <http://www.ktk-lub.com/hanasi15.htm>