

切削液的使用管理

第3讲：水基切削液的防腐蚀管理

李谨 中国石化润滑油公司上海研发中心 上海 200080

刘镇昌 济南库伦特科技有限公司 济南 250101

1. 金属腐蚀及其简要机理

金属腐蚀是一种由于化学或电化学反应引起的材料损坏。按腐蚀原理，金属腐蚀可分两类：①化学腐蚀（chemical corrosion）：是金属表面与腐蚀介质直接发生化学反应引起的腐蚀。腐蚀过程的特点是金属表面原子和氧化剂直接发生反应生成腐蚀产物，电子的传递在金属和氧化剂之间进行，无电流产生。通常，反应在干燥或高温的气体、非电解质溶液中进行，故又称为“干腐蚀”；②电化学腐蚀（electro-chemical corrosion）：是金属在电解质溶液中发生电化学反应所产生的腐蚀，电解质溶液多为水溶液，故又称为“湿腐蚀”。大凡工业金属都含有杂质，而杂质的电极电位一般高于母体金属。因此，当金属浸在电解质溶液中或与其长时间接触时，其表面会形成许多以金属为阳极、以杂质为阴极的腐蚀微电池，使金属产生阳极溶解而遭到腐蚀，故电化学腐蚀是金属最常见的腐蚀形式。由于水基切削液是用水将原液稀释后使用的电解质溶液，因此，金属与水基切削液接触所产生的腐蚀多为电化学腐蚀。正因为如此，使用水基切削液的场合，机床、工件的腐蚀问题比使用油基切削液时更容易发生。

金属电化学腐蚀的简要机理如下。图1是铁、铜在NaCl水溶液中形成的腐蚀电池原理示意图^[1]。铁、铜在3% NaCl溶液中的电极电位分别是-0.5V和+0.05V，氧的平衡电极电位是+0.815V。由阴极、阳极、电解质溶液和外电路构成的腐蚀电池的腐蚀过程包括三个环节：

- ①阳极过程：金属铁发生阳极溶解（氧化反应），以铁离子的形式进入溶液；
- ②阴极过程：从阳极通过外电路流过来的电子被来自电解质溶液并吸附于阴极表面的氧所吸收，发生阴极过程（还原反应）；
- ③电流流动：在外电路中有电子流动，在溶液中有离子迁移。

只要溶液中有氧不断到达阴极并发生还原反应，铁的溶解腐蚀就会一直进行下去。腐蚀电池的上述三个环节既彼此独立又紧密联系和相互依存。只要其中一个环节被阻断，腐蚀过程就会停止。防锈剂（亦称缓蚀剂）就是利用这个原理起作用的。

2 水溶性防锈剂及其作用

提高切削液的防腐蚀能力，主要通过合理地设计配方组成、特别是选择合适的水溶性防锈添加剂来实现。

依照金属腐蚀的电化学机理，水溶性防锈剂一般分为阳极型防锈剂、阴极型防锈剂和混合型防

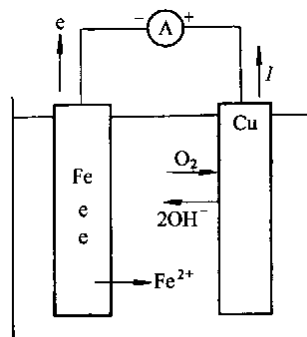


图1 铁铜电池的工作原理

锈剂三种类型。

1) 阳极型防锈剂 可以抑制阳极过程，增大阳极极化的缓蚀剂称为阳极防锈剂。其作用是防锈剂吸附于金属表面，阻碍金属离子进入溶液，或者是与金属表面反应生成氧化膜或钝化膜，阻碍阳极过程，从而起到缓蚀作用。当阳极型防锈剂用量不足或溶液过分稀释时，不足以有效地阻碍整个阳极表面的阳极过程，会形成大部分的钝化区和微小的活化区，即所谓大阴极小阳极的腐蚀电池（孔膜电池），导致局部阳极的加速点蚀，产生严重的腐蚀后果，故有“危险的”防锈剂之称。所以，使用阳极型防锈剂必须足量，并始终维持在安全浓度以上。常用的阳极型防锈剂包括两类：一类是氧化性物质，如铬酸盐、硝酸盐等；另一类是非氧化性物质，如磷酸盐、硫酸盐、碳酸盐、硅酸盐、苯甲酸盐等。

2) 阴极型防锈剂 可以抑制阴极过程，增加阴极极化的防锈剂称为阴极型防锈剂。其作用是增大阴极过程的过电位，使阴极反应难以启动或者在阴极表面形成难溶的化合物保护层，阻碍阴极过程，从而起到防锈作用。这类防锈剂不影响阳极过程，不改变活性阳极面积，不会导致膜孔电池，故又称为“安全的”防锈剂。但这类防锈剂使用浓度相对较大，防锈效率较低。工业应用的阴极型防锈剂主要有聚磷酸盐、碳酸钙及某些有机物。

3) 混合型防锈剂 可同时抑制阳极过程和阴极过程的防锈剂称为混合型防锈剂。工业应用的混合型防锈剂多为有机物，如琼脂、生物碱及多种气相防锈剂。

上述不同类型的防锈剂配合使用时，可能强烈地相互促进防锈效果，这就是防锈剂的协同效应。利用协同效应可降低防锈剂使用浓度，提高防锈效果，取代有毒有害物，扩大防锈剂应用范围，具有明显的经济效益和社会效益。但是，也有相反的现象，即几种防锈剂混用，其防锈效率反而下降，即所谓的负协同效应，必须注意避免。

3 使用水基切削液时金属腐蚀的常见诱因与防止对策

使用水基切削液时引起金属腐蚀的诱因及防止对策可归纳如下^[2]。

(1) 稀释水的水质 水中的矿物质和盐类可能引起铁系和非铁系金属腐蚀。盐是酸和碱的反应生成物，溶解于水后呈金属离子和酸根离子形式存在。盐酸根和硫酸根会腐蚀多种金属。稀释水中若含有多量的氯化物、硫酸盐，不仅降低其防锈性能，也易引起使用液腐败。切削液的稀释水越纯净越不容易发生此类问题。此外，随着切削液的消耗、蒸发和不断补充，使用液中的盐分会越积越多，腐蚀性也会越来越强，必须加以注意。有关水质问题的对策后述。

(2) 零件表面结露 铁锈是铁、氧和水的化合物。通常，在相对湿度 30%以下不大会生锈；随着湿度的增高，水在金属表面结露，就容易发生电化学腐蚀。32.2℃的空气中能够含有 2 倍于 21.1℃空气中的水分含量。因此，如果厂房中白天很热，夜晚逐渐冷下来，气温通过露点，金属表面就会结露，在气候潮湿的季节和地区，这种情形引起生锈的可能性非常高。防止结露引起锈蚀的最好方法是加工后及时涂防锈油脂。

(3) 异种金属接触引起的腐蚀 异种金属接触并同处于电解质溶液中时，会产生电化学腐蚀。电极电位较低的金属将会不断因腐蚀而溶解。例如，大型飞机零部件放置在机床的铸铁床面上加工，如果放置时间过长，使用不恰当的切削液，就会产生腐蚀。铝或铜切屑落在有水基切削液的铸铁床面上，不及时清扫都会产生这种腐蚀。

(4) 嵌合性腐蚀 零件相互嵌合部分容易堆积污垢，当有水基切削液存在时，污垢下面或里面的液体缺氧，而污垢上面或外面的液体富氧，形成氧浓差电池，导致污垢内部或下面的金属被腐蚀。如果存在着切削液浓度差，还会形成液浓差电池而引起腐蚀。新配制的切削液可

能不至于发生问题，但随着使用液中金属离子的不断累积和微生物的生长繁殖，就可能增大嵌合性腐蚀的速度和强度。

(5) 大气环境引起的腐蚀 煤、油或煤气的燃烧以及电镀车间产生的亚硫酸气体会造成空气中酸性蒸气浓度较高。此外，近海地区大气中氯含量高，对铁和非铁金属都有腐蚀性。这类场合都必须维持较高的切削液使用浓度；工序间需要使用水置换防锈油保护已加工好的工件，或者用防锈纸、塑料膜包裹；否则极易产生腐蚀。

(6) 前工序残留物引起的腐蚀 热处理、电镀过程中残留在工件上的盐、酸等物质极易在后续工序引起腐蚀。因此，经过热处理或电镀的零件在进入后续工序前，应当进行彻底的清洗，避免残留物污染切削液。

(7) 盛装和搬运器具引起的腐蚀 未经特殊处理的木材（特别是生木料）、纸板等多呈酸性，用来放置或盛装零件时，一旦与切削液浸湿过的零件接触，亦会引起锈蚀。作为安全对策，零件放入前，应当预先涂擦水置换防锈油。用镀锌材料制成的篮子、箱子等摆放或盛装零件时，可能产生异种金属接触导致的电化学腐蚀（特别是使用容易与镀锌层起反应的切削液加工之后）。因此，应避免零件与镀锌材料接触。搬运箱中重叠堆放的零件容易生锈，箱子越深越容易生锈。因为底部空气不流通，其相对湿度接近于 100%，零件上附着的水分不能及时干燥。还要防止零件表面重叠，应当将零件分开放置。

(8) 后处理不当引起的腐蚀 切削加工特别是磨削加工后，经常使用压缩空气吹掉零件上的污物，同时也吹掉了起防锈作用的切削液膜，而且压缩空气中含有水分，容易引起锈蚀，特别是粗糙表面更易生锈。

(9) 微生物繁殖引起的腐蚀 水基切削液中由于微生物的生长繁殖会生成酸和盐，引起机床和工件变成茶色。硫酸还原菌造成的硫化氢使水基切削液变成黑色，也会使机床和工件表面发暗。定期实施清洁措施，清扫机床和切削液箱，使用清洁的水基切削液，有利于防止微生物造成的腐蚀。

(10) 切削液成分变化引起的腐蚀 切削液中的防锈剂浓度会随着使用时间的延长而减少，使切削液防锈性能下降。这时应及时补充添加剂、新液或者彻底更换切削液。

4 使用水基切削液的防腐蚀管理要点

针对产生腐蚀的各种诱因，防腐蚀管理措施可重点从以下几方面着手。

(1) 定期检查切削液的使用浓度，维持其正常值

金属切削液使用中遇到的大多数问题都能够追溯到没有能够将金属切削液维持在推荐使用的浓度水平。实践表明，一个使用浓度在 5% 表现出极好的切削液，若在 3% 的浓度下使用，则可能出现严重问题。浓度过稀，防锈剂和防腐剂的浓度低，防锈性能不足，而且微生物容易滋生繁殖；当然，使用液的浓度太高，虽会给黑色金属提供较好的防锈和防腐保护，但不经济，同时还容易引起皮肤发炎；与之相关的碱性上升还会引起有色金属的腐蚀问题。关于切削液的浓度管理，读者可参考上一讲的内容^[3]或文献【4】。

(2) 充分认识和重视稀释水水质的影响

溶解于水中的离子通过相互作用会直接成为腐蚀剂，或通过提高切削液的导电性而提高切削液的腐蚀性。应尽量避免使用氯含量高于 100PPM 和硫酸盐含量高于 200PPM 的水。由于蒸发会使贮液槽及中心系统中的水逐渐减少，金属切削液中这些离子的浓度也会随之上升从而引起腐蚀问题。对于那些水中离子含量较高地区来说，建议选择抗硬水性能好的切削液，或者预

先对稀释水进行软化处理，或者采用去离子水配制切削液。否则，就只好适当增大配制浓度来提高切削液的防腐效果。切削液的常用稀释浓度为 5%，而其中的防锈添加剂在原液中所占比例很少超过 20%；就是说，防锈剂在使用液中的浓度一般不足 1%；占 95%的稀释水的质量好坏对切削液性能的影响有多大是不言而喻的，但是，现实中却往往被忽视。

（3）关注有色金属的腐蚀问题

铝和铜是最常用的有色金属材料。铝的化学性质非常活泼，铝件对切削液的腐蚀很敏感，轻者变色，重者产生白锈甚至孔蚀。铝的安全区电位低于水发生氢时的电位，因此，铝在酸、碱溶液中，均表现为既发生阳极溶解，又发生阴极释氢。在阴离子存在和碱性环境下，会促进腐蚀的发生。应控制铝合金切削液的 pH 值在 7.5~8.5 之间。另外，当铝和其他高电位金属接触时，还会发生接触腐蚀。铜是不太活泼的金属，在中性和碱性水溶液中比较稳定。若与含脂肪酸皂的切削液长时接触，会发生反应形成浅绿色腐蚀物；铜的变色和腐蚀更主要的原因是与切削液中的含硫添加剂反应生成铜的硫化物。常用的解决方法是在切削液中加入适量的铜合金防锈剂，如苯并三氮唑及其衍生物。

（4）对使用中出现的 ([2]) ([5]) 问题进行综合分析

当使用水基切削液的机床或工件出现锈蚀时，不要只是简单地找切削液的原因。应该分析腐蚀从什么地方开始、在什么情况下发生的。如果腐蚀问题是由于过度稀释而导致防腐能力不足引起的，那么，补救的办法就是相应地提高切削液的使用浓度；如果切削液还被微生物污染，那么上述措施只能解决部分问题，还应考虑在切削液中添加适量的防腐杀菌剂；如果腐蚀发生在被腐蚀金属接触不到切削液的区域，那么问题很可能是空气中的水蒸汽引起的，此时，通过增大使用液的浓度并不能解决问题；如果工件从机床上取出后置于纸板或其它类似的吸水材料上，可能腐蚀出于同样的原因。吸水材料的作用就像灯芯吸油一样将水蒸汽返回工件的周围，而这些水蒸汽中并没有防锈剂，因而很容易引起金属零件的电化学腐蚀。

总之，需要对切削液实施全面的管理和维护。包括对切削液的选购、保管、配制、使用、净化、更换等各个环节实行全方位监控。锈蚀是水基切削液使用现场发生频率最高、影响因素最复杂的问题。可以说与上述各个环节都有关系。受篇幅所限，不能详述，读者可参阅有关专门书籍（如参考文献 [2]、[5]）。

参考文献

- 1 张天胜. 缓蚀剂. 北京：化学工业出版社，2002.4
- 2 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
- 3 傅树琴，刘镇昌. 水基切削液的浓度管理. 机械工程师，2008（2）： ? -?
- 4 张璐熠，朱明，傅树琴. 切削液的浓度测试方法及其应用. 石油商技，2004（1）： 40-43
- 5 Jerry P. Byers. Metalworking Fluids (2nd Edition). London & New York: CRC Press, Taylor and Francis Group, Society of Tribologists and Lubrication Engineers, 2006