



镀铬气雾喷洗闭路循环新技术的研究*

吴泉山、杨玉泽

欧阳新举、张云才

(北京建中机器厂)

(四机部北京地区环境监测站)

镀件漂洗是电镀生产过程中的一个重要环节,它不仅由于用水量大,而且主要由于漂洗水中含有大量的金属离子,排放出去污染环境。近年来,国内外在镀件水洗方面有较大进展。如1972年西德先灵股份有限公司,首先提出喷雾清洗的方法,随后又生产出一套供喷雾清洗的设备。1978年北京市环境保护科学研究所提出双槽逆流漂洗和喷雾淋洗相结合的方法。这些研究都是利用升高水压,达到提高清洗的作用。我们根据喷雾器的原理,采取气雾喷洗和逆流漂洗相结合的方法,在镀件漂洗和镀件带出量方面做了些工作。

一、设计原理

气雾喷洗新技术的基本原理是借助压缩空气的气流,应用喷雾器的原理,使漂洗水通过喷嘴形成气雾,然后利用气雾的冲击作用,洗涤镀件表面的附着液,提高镀件的清洗效率。

在漂洗过程中,镀件表面的带出量往往是造成电镀废水增加的主要原因,尤其是挂镀装饰铬。由于镀层薄,时间短,出槽频繁,镀件的带出量大。我们采用喷气的方法,把镀件上的带出量降低到最低限度。

镀铬槽都有一定的蒸发量,特别是高温镀铬槽,它的蒸发量更大,必须用水来补充。我们把一天清洗镀件所用的水量,回收镀铬槽中去补充它的蒸发量,即构成电镀废水的闭路循环系统。

基于上述设计原理,气雾喷洗水来自尾

量槽,当压缩空气的气流通过喷嘴时,喷嘴的吸水管产生负压,将尾量槽的水沿吸水管吸入喷嘴,气流使水形成气雾,通过喷嘴喷射到镀件的表面,然后气雾凝聚成水珠,落在喷洗槽内,溢出回收入镀铬槽中,实现电镀无废水排放,如图1:

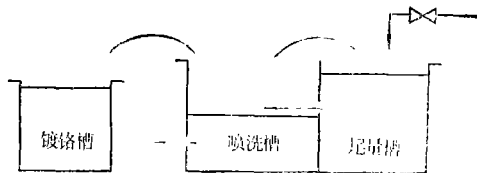


图1 气雾喷洗示意图

二、主要设备

1. 各种槽类: 有镀铬槽、喷洗槽和尾量槽。在喷洗槽内除装有喷气管和喷嘴外,还装有折形挡水板和网格净化器,如图2:

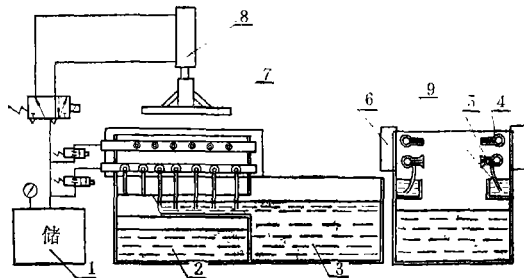


图2 喷洗槽的结构

1. 储气罐, 2. 喷洗槽, 3. 尾量槽, 4. 喷气管, 5. 喷雾嘴, 6. 通风管道, 7. 升降杆, 8. 气缸, 9. 吸水管。

* 本工作得到北京市环境保护科学研究所阎岚坡、覃显森同志的热情指导,特此致谢。
本报告由欧阳新举同志执笔

2. 控制部分：主要有气动伺服机构和电磁阀，使升降杆能上下移动并控制喷嘴开关，用定时器控制喷雾时间。

3. 喷嘴：一种是供喷洗用的叫喷雾嘴，共 20 个，嘴间距为 7 厘米，交错焊接在二根喷气管上。喷雾嘴的直径为 1.5 毫米，在嘴的下方接一吸水管。两喷气管间的距离可随镀件的大小而改变，对称地排列于喷洗槽的两边。另一种是供喷气用的叫喷气嘴，共 18 个，嘴间距为 8 厘米，其中有 10 个喷气嘴可随镀件的几何形状而改变喷气方向。

三、工 艺 流 程

镀件照一般电镀方法从镀铬槽中提取，把挂具直接挂在升降杆的横梁上，按下升降杆控制器，使升降杆降至喷洗槽底端，当再上升至喷气嘴水平处时，按下喷气控制器，开始进行喷气，（注意镀件切勿被吹干！）接着进行喷雾，至于喷雾时间，视其镀件的几何形状而定，用定时器控制，最后将镀件移入尾量槽漂洗。

四、分 析 方 法

1. 水样分析：用二苯碳酰二肼比色法*。
2. 气样分析：在通风管壁上凿孔，用盛有 10 毫升吸收液的多孔玻板吸收管进行采样，然后按水样分析方法分析。
3. 镀件带出量测定：参照北京市环境保护科学研究所介绍的方法进行测定。

五、试 验 结 果

1. 镀铬槽蒸发量和带出量的测定

槽液的蒸发量主要与槽液温度、蒸发面积、每日工作量和车间的通风条件有关。在槽液温度为 45℃、铬酐浓度为 300—350 克/升、镀铬槽表面积为 0.39 米²、每日通风 15 小时、工作量为 550—600 分米²/日（镀件 25—30 挂）的情况下，槽液的蒸发量平均每日为 11 升。

影响镀件带出量的因素更为复杂，我们按电镀的吊挂形式和操纵要求，对不同镀件的带出量进行测量，结果如表 1。

表 1 不同镀件的带出量

镀件名称	面积 (dm ²)	形状	吊挂 形式	槽液 温度	槽液 浓度 (g/l)	带出量 (ml/dm ²)
带孔压条	0.59	长方形 柱状	水平	常温	300	0.8
滑块	1.91	正方形 有盲孔	水平	常温	300	1.3

在相同条件下，由于镀件的几何形状不同，镀件单位面积的带出量也不同。

2. 喷洗效率的测定

喷洗效率，就是镀件在气雾喷洗前、后镀件六价铬附着量之差与喷洗前镀件六价铬附着量之百分比。

$$\eta = \frac{M_1 - M_2}{M_1} \times 100\% \quad (1)$$

η ——喷洗效率；

M_1 ——喷洗前镀件含 Cr(VI) 量；

M_2 ——喷洗后镀件含 Cr(VI) 量。

喷洗效率是气雾喷洗的一个重要指标。若镀件的喷洗效率高，电镀喷洗的质量好，镀件带入尾量槽的六价铬含量少，尾量槽的浓度变化不大，反之，尾量槽的浓度上升。我们对不同镀件的喷洗效率进行试验，结果如表 2、表 3。

从表 3 看出，不同镀件在不同浓度的回收液中漂洗时，镀件单位面积带出的六价铬量不同，通过喷洗后，几何形状简单的镀件和几何形状复杂的镀件喷洗效率均高。用统计方法计算，喷洗前与喷洗后六价铬的含量，差别有高度显著性，从而保证了镀件的喷洗质量。

为了提高喷洗效率，镀件在喷洗前和喷洗后采取喷气的方法，它既可减少镀件的带出量，还可缩短喷洗时间。试验条件同表 2，结果如表 4。

* 中国医学科学院卫生研究所编，《水质分析法》，人民卫生出版社，1979 年。

表 2 不同镀件喷洗效率的试验条件

镀 件 名 称	面 积 (dm ²)	气 压 (kg/cm ²)	喷洗时间 (sec)	尾量槽浓度 (mg/l)	回收液浓度 (g/l)
带孔压条	0.59	5.2	50	5.2	3.7
滑 块	1.91	5.0	60	4.5	2.9

表 3 不同镀件的喷洗效率

类别 镀件名称	喷洗前 Cr ⁶⁺ 含量		喷洗后 Cr ⁶⁺ 含量		η	P
	平 均 值 (mg)	平 均 值 (mg/dm ²)	平 均 值 (mg)	平 均 值 (mg/dm ²)		
带孔压条	2.33±0.32	3.95	0.09±0.06	0.15	96%	$P<0.01$
滑 块	2.14±0.15	1.12	0.14±0.05	0.07	94%	$P<0.01$

表 4 镀件喷洗前喷气与不喷气的比较

类别 镀件名称	喷洗前不喷气 Cr ⁶⁺ 带出量		喷洗前喷气 Cr ⁶⁺ 带出量		比 值	P
	带出量平均值 (mg)	单位面积带出量 平均值 (mg/dm ²)	带出量平均值 (mg)	单位面积带出量 平均值 (mg/dm ²)		
滑 块	11.47±1.61	6.01	2.14±0.15	1.12	5.4	<0.01

表 5 不同镀件喷洗水量

镀 件 名 称	气 压 (kg/cm ²)	镀件总面积 (包括挂具面积) (dm ²)	喷洗时间 (sec)	用 水 量 (ml)	
				每挂用水量	每平方米用水量
带孔压条	5	26.09	50	583	22.4
滑 块	5	22.1	60	700	31.7

表 6 生产中不同镀件喷洗水量

试 验 号	试验镀件挂数	试验镀件总面积 (dm ²)	用 水 量 (l)			回收液量 (l)	
			总 量	每挂平均 用 水 量	每平方米 用水量	总 量	每挂平均 回收液量
1	6	106	3.4	0.567	0.032	1.35	0.225
2	32	481	16.26	0.508	0.034	8.74	0.273
3	41	467.04	25.24	0.616	0.054	13.25	0.323
4	32	338.4	16.98	0.531	0.050	7.55	0.236
5	158	—	102.84	0.651	—	54.2	0.343
1—4 合计	111	1392.44	61.88	0.556	0.043	30.89	0.264
1—5 合计	269	—	164.72	0.604	—	85.09	0.304

镀件喷洗前喷气与不喷气,其 Cr^{6+} 带出量相差 5 倍以上。

喷洗效率这个指标表现不出喷洗水的用量,对气雾喷洗来说,还不能充分表示它的喷洗作用。因此对镀件单位面积的用水量进行试验,结果如表 5。

在生产过程中,由于镀件的几何形状不同(如弯板、支架、套筒、旋钮、面板等)和每挂镀件的总面积大小不一,所以镀件的单位面积用水量比试验时略有增加。我们对 111 挂镀件面积(包括挂具面积)进行统计,其总面积为 1392.44 分米²,平均单位面积用水量为 42.53 毫升,详见表 6。

由表 6 看出,使用气雾喷洗平均每挂用水量为 0.604 升,平均每挂回收液量为 0.304 升。若每天工作量按 30 挂镀件计算,喷洗水用量共 18.12 升,总回收液量为 9.12 升,除去镀铬槽每天的蒸发量外,完全可能实现电镀无废水排放。若与回收槽-流动水清洗相比(每天用水量 1600 升),前者比后者每天节约水量约一吨半以上。

3. 尾量槽(最终清洗槽)浓度的测定

尾量槽的水用来喷洗和漂洗镀件,故尾量槽的水要不断进行补充,其补充量是清洗水用量与补充喷洗槽水量之和。镀件喷洗后在尾量槽中漂洗,会带入一定量的铬酐进入尾量槽,所以清洗效率对尾量槽中六价铬的浓度影响很大。

$$C = \frac{M}{Q_0} \quad (2)$$

M ——镀件喷洗后带入尾量槽六价铬量。

Q_0 ——补充尾量槽的清水量。

C ——补充尾量槽水的浓度。

如果喷洗效率高,镀件喷洗后带入尾量槽六价铬含量少,则补充尾量槽水的浓度低。反之,喷洗效率低,镀件带入尾量槽六价铬含量多,补充尾量槽水的浓度高,所以喷洗效率与补充尾量槽水的浓度呈负相关。

尾量槽在喷洗前的浓度为:

$$C_n = \frac{M_n}{V_n} \quad (3)$$

C_n ——尾量槽的浓度。

M_n ——尾量槽 Cr^{6+} 的含量。

V_n ——尾量槽的体积。

n ——尾量槽漂洗的挂数。

镀件喷洗后,若补充尾量槽水的浓度高,与尾量槽原来的浓度混合后,尾量槽的最终浓度增加。故补充尾量槽水的浓度与尾量槽原来的浓度呈正相关。即 $C > C_n$ 时,尾量槽最终浓度增加, $C = C_n$ 时,尾量槽最终浓度不变, $C < C_n$ 时,尾量槽最终浓度降低。关于最终清洗水(尾量槽)的浓度,目前我国尚无规定,在生产过程中我们连续监测尾量槽的浓度平均为 5.92 ± 1.54 毫克/升。

4. 回收液浓度的测定

镀件从镀铬槽中提出后,在回收液中进行漂洗,它的浓度变化与镀件的挂数呈正相关。即镀件的挂数越少,喷洗水的用量也随之减少,因而从尾量槽向喷洗槽补充的水量应越多,故回收液的浓度越低。若喷洗镀件的挂数达到一天的限度时,尾量槽不需向喷洗槽内补充水量,从而回收液的浓度升高。为了解决一天镀件挂数过多的问题,除计划好每天的工作量外,还可把几何形状复杂的和几何形状简单的镀件交叉进行喷洗,使回收液的浓度维持在 3.08 ± 1.1 克/升左右。

5. 铬雾净化

气雾喷洗产生大量水雾,必须净化回收,否则水雾携带六价铬随通风管道排放出去污染环境。我们采用折形挡水板和二次网格净化器进行净化,测排气筒中空气的六价铬含量平均为 0.019 毫克/米³,车间中央和呼吸带六价铬含量为微量,符合国家排放标准。

六、镀槽蒸发量与喷洗水用量的关系

气雾喷洗水的流经途径如图 3。

只有当 $Q \geq Q_1$ 时,才能实现电镀无废

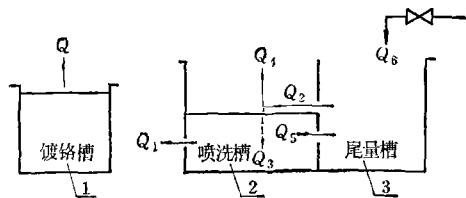


图3 气雾喷洗水流途径示意图

Q ——电镀槽蒸发量 Q_1 ——回收液量 Q_2 ——每挂喷洗水用量 Q_3 ——每挂喷洗时进入喷洗槽水量 Q_4 ——通风或蒸发带走水量 Q_5 ——向喷洗槽补充水量 Q_6 ——补充清水量

水排放。在无通风和无蒸发量的条件下， $Q_2 = Q_3$ ，设计要求 $Q_1 \gg Q_2$ ，即 $Q \gg Q_2$ 。为了使 $Q = Q_1$ ，需要以 nQ_2 来平衡，并使 $Q = Q_1 = nQ_2$ 。当 n （挂数）少时，则 $Q > Q_1 > nQ_2$ 。为保持各槽水量就需要由 Q_5 来补充，使 $Q = Q_1 = nQ_2 + Q_5$ 。在有通风和有蒸发量的条件下，因 $Q_2 = Q_3 + Q_4$ ，同样要使 $Q = Q_1$ ，需要 nQ_3 来补充，以达到 $Q = Q_1 = nQ_3$ 。当 n （挂数）少时，需要用 Q_5 来补充，使 $Q = Q_1 = nQ_3 + Q_5$ ，以达到电镀槽蒸发量与喷洗水用量之间的平衡。

能否满足上述条件，需要掌握下列参数。

- (1) 电镀槽的日蒸发量 (Q)
- (2) 电镀周期和每日工作量 (n)
- (3) 每挂喷洗水用量 (Q_2)

$$Q_2 = \pi r^2 V t x \quad (4)$$

式中 πr^2 ——每条吸水管的截面积；
 V ——吸水管在一定气压下的流速； t ——每挂喷洗时间； x ——吸水管的数目。

在气压为 5 公斤/厘米²、喷洗时间为 60 秒，吸水管直径为 2.0 毫米的条件下，实测每条吸水管的吸水量为 35 毫升，共 20 个喷雾

嘴（即 20 条吸水管），故每挂喷洗水用量为 700 毫升。

一天电镀工作量所需的喷洗水量为：

$$Q_d = \sum_{i=1}^n Q_2 \quad (5)$$

由于有通风和自然蒸发量及每挂镀件表面积大小不同等原因，喷洗水约有一半被损失掉，故 $Q_3 = \frac{1}{2} \pi r^2 V t x$ ，因此一天电镀工作量所能回收的喷洗水量为：

$$Q_b = \sum_{i=1}^n Q_3 \quad (6)$$

按电镀槽一天的蒸发量为 11 升计算

$$n = \frac{11000 \text{ 毫升}}{350 \text{ 毫升}} = 31$$

本电镀槽一天最大工作量为 31 挂。

七、结 论

1. 气雾喷洗新技术是应用喷雾器的原理，采取气雾喷洗与逆流漂洗相结合的方法，改变了电镀以漂洗为主的方式，同时对镀件带出量也采取喷气的措施，使喷洗效率达 96% 左右，保证了镀件的清洗质量。它不仅回收原材料，而且大量节约用水，是一项把污染消除在生产工艺过程中的积极措施。实现电镀无废水排放，达到保护环境的目的。

2. 这项新技术具有设备简单、结构紧密、占地面积小、投资少的特点。在技术上工艺流程短，操作方便，在生产中有一定的使用价值，适合于推广。

3. 由于时间关系，这项新技术在电镀生产中还仅适用于挂镀，对于其它镀种是否适合，有待进一步研究。