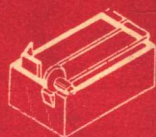




苏联电镀丛书

SULIAN DIANDU CONGSHU



第十册

变极性电流的电鍍

Н.Н.比比柯夫著



机械工业出版社

內 容 簡 介

在本丛书內叙述有电镀过程的基本知識，并总结有苏联和外国的技术經驗。

本丛书可供电镀車間的技术工人、实验員及工长参考之用。

本分册叙述了用变极性电流沉积金屬的过程基础和工艺。对换向电流所需的各种設備也作了簡要的概述。

苏联 Н. Н. Бибииков 著 'Гальванические покрытия на токе переменной полярности' (Машигиз 1958年 第一版)

*

*

*

著者: Н. Н. 比比柯夫 譯者: 刘玉振

NO. 3225

1960年7月第一版 1960年7月第一版第一次印刷

787×1092 1/32 字数 31 千字 印張 17/16 0,001— 9,141 册

机械工业出版社(北京阜成門外百万庄)出版

机械工业出版社印刷厂印刷 新华书店发行

北京市书刊出版业营业
許可証出字第 008 号

統一书号 15033·2195

定 价 (10-5) 0.19 元

目 录

序言	2
第一章 用变极性电流沉积金属	3
1 变极性电流	3
2 变极性电流沉积金属的原始依据	5
3 金属电流效率	8
4 分散能力	9
5 阳极过程	10
6 镀层性能	11
第二章 变极性电流沉积金属的工艺	12
7 镀铜	12
8 镀锌	19
9 氰化物电解液中镀黄铜	25
10 氰化物镀银	26
11 氰化物镀金	28
12 镀锡	28
13 镀铬	30
14 镀镉	32
15 镀镍	33
第三章 变极性电流获得的方法	36
16 选择变极性电流方法的原始依据	37
17 镀槽线路中电流的换向	39
18 直流发电机励磁电路中电流的换向	41

序 言

使用变极性电流沉积金属，在电镀、电铸技术上，还是一个很年青的部分，自从这种方法首次报导以及它在工业上的成长，仅是近十年的事。

因此，尽管对使用变极性电流沉积金属的方法，给予了以极大的注意，并将继续予以注意，但仍有很多问题不够明确。

还不可能最后地把适宜于使用变极性电流沉积金属的一切方法列出一个表来，很多工厂数据的介绍，并不是较好的，也不可能保证在使用新方法时，能够得到应该预期的效果，关于电流换向方法的适当的选择问题还不够明确。

因此，对变极性电流沉积金属工艺的阐明，有很大的困难，为了向读者广泛地介绍到现在为止已经收集到的关于沉积金属的新方法的资料，作者在现在出版的小丛书除包括电解液成份及工作规范外，还加进了一些工艺资料，这些资料还要求在生产中加以验证和改善。

这些资料，可以使得在电镀车间工作人员在主动检验各种推荐的资料时，能够找到他们在生产上最适用的方法。

第一章 用变极性电流沉积金属

交流和直流电在工程技术上有广泛的应用。当电路中电阻一定时，直流电的方向及大小不变。直流电电源有原电池，蓄电池，整流器及直流发电机。交流电周期性的改变其方向及大小，电源通常是交流发电机。

在不久以前电镀只用直流电，系由直流发电机和半波整流器（硒，氧化铜，硫化物）得到。自1947年起电镀方面开始应用变极性电流，从改变直流电之方向得到。

1 变极性电流

变极性电流，是变形的交流电，电流周期的改变其方向，当电路中电阻不变时，其绝对值不变。

图1所示为变极性电流之变化曲线，从图可见，原始电流为 $I_{正}$ ，经过之时间为 t_K 。这一段时间，相当于镀槽工作时间，即电流以正方向流动，零件此时为阴极。此后，由于接触器之移动，电流短时间被切断后，改变其方向，其大小为 $I_{反}$ ，时间为 t_a ，此时零件为阳极，之后，电流再短时间被切断后即息即达到 $I_{正}$ ，于是周期重新开始。

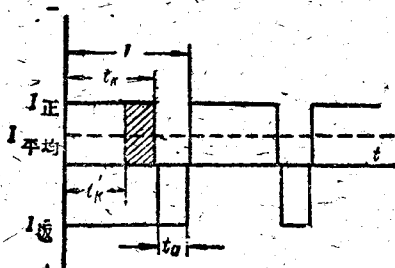


图1 变极性电流的变化曲线。

由图1可见变极性电流可用以下数值（参数）说明之：正向

电流 $I_{\text{正}}$ ，反向电流 $I_{\text{返}}$ ，金属阴极沉积时间（阴极周期） t_{κ} ，金属阳极溶解时间（阳极周期） t_a ，电流换向的全周期 T 。若接触器移动之时间不计，则 t_{κ} 与 t_a 之和，将为变极性电流之全周期。

为了减少变极性电流之参数，阴极及阳极时间可以参数 $\frac{t_{\kappa}}{t_a}$ 之比（ T 为已知）代替之。

当变极性电流通过电极时，为了在电极上能够使金属沉积，必需使在阴极周期时间通过之电量，大于在阳极周期时通过之电流^①。若在阳极周期内通过之电量大于在阴极时间通过之电量，则在电极上金属不能沉积，只能进行阳极溶解。

用变极性电流进行金属沉积时，并不是全部电量用之于金属之沉积，每一周期中，有一部分镀层阳极溶解。因此过程可以认为好像是这样进行的，即每一周期中电流 $I_{\text{正}}$ 通过之时间为 t'_{κ} ，通过之电量为 $q_{\kappa} - q_a$ 。

为了确定变极性电流金属沉积之电流效率，采用变极性电流平均值（ $I_{\text{平均}}$ 或 $D_{\text{平均}}$ ）这个概念变极性电流沉积金属之平均电流密度依公式计算之

$$D_{\text{平均}} = \frac{D_{\text{正}} t_{\kappa} - D_{\text{返}} t_a}{t_{\kappa} + t_a} = \frac{D_{\text{正}} t_{\kappa} - D_{\text{返}} t_a}{T}, \quad (1)$$

式中 $D_{\text{正}}$ ——正向电流密度，

$D_{\text{返}}$ ——返向电流密度，

t_{κ} ——阴极时间，

t_a ——阳极时间，

T ——电流变向周期。

若正向及返向电流密度相等，即 $D_{\text{正}} = D_{\text{返}} = D$ ，则平均电流密

① 在 t_{κ} 时间内及在 $I_{\text{正}}$ 的电流强度下通过线路的电量 $q_{\kappa} = I_{\text{正}} \times t_{\kappa}$ 。在阳极周期时间内通过的电量 $q_a = I_{\text{返}} \times t_a$ 。在图 1 中 q_{κ} 等于时间座标轴 t 上方的长方形面积。而 q_a 等于时间座标轴 t 下方的长方形面积。

度依下列公式決定：

$$D_{\text{平均}} = D \frac{t_k - t_a}{t_k + t_a} \quad (2)$$

式中 D ——正向或返向电流密度。

假設，金屬沉积时， $D = 5$ 安/分米²， $t_k = 15$ 秒， $t_a = 3$ 秒，即当 $T = 18$ 秒及 $\frac{t_k}{t_a} = \frac{5}{1}$ ，将 t_k ， t_a ，及 D 之数字代入公式 (2)，得到平均电流密度为：

$$D_{\text{平均}} = 5 \times \frac{15-3}{15+3} = 3.33 \text{ 安/分米}^2。$$

显然，将 t_k 及 t_a 之比代入公式 (2) 中，类似之結果亦能得到。

上例中 $\frac{t_k}{t_a} = \frac{5}{1}$ 时，得到

$$D_{\text{平均}} = 5 \times \frac{5-1}{5+1} = 3.33 \text{ 安/分米}^2。$$

$\frac{t_k}{t_a}$ 愈小，則电流利用之效率愈小，同时金屬沉积之速度愈

低，如在上例中，取 $\frac{t_k}{t_a} = \frac{3}{1}$ ，則平均电流密度值为

$$D_{\text{平均}} = 5 \times \frac{3-1}{3+1} = 2.5 \text{ 安/分米}^2。$$

知道了变极性电流平均电流密度， $D_{\text{平均}}$ 則一定厚度鍍层所需之時間可用电镀中一般应用之公式或手册表計算之。

2 变极性电流沉积金屬的原始依据

鍍槽接通直流电流后，由于金屬阳离子的放电，在零件表面上有金屬析出，阳极金屬同时受到溶解。电解液中阴极表面附近阳离子濃度降低，阳极表面处阳离子濃度增加。当選擇电流密度适当时，零件表面即有金屬鍍层沉积，厚度逐渐增加。在阴极和阳极附近阳离子保持一定之濃度，在电解过程中一直不变。

当电流密度增加时，阴极附近电解液中阳离子濃度降低，阳极附近，阳离子濃度增加。最后电流如一直增加，可使在阴极上

6
产生粉末状金属或烧焦之镀层。得到这种镀层的原因，是由于阴极附近阳离子浓度来不及从主槽液中得到补偿。阴极附近电解液中阳离子浓度剧烈降低，甚至可以等于零。

在电镀方面，存在着可以提高阳离子从槽液中远处达到阴极附近的速度，以及同时能够用提高阴极电流密度的方法。这些方法指的是提高在阴极放电的阳离子浓度和把电解液加热与搅拌。

提高阴极电流密度，可以采用间歇性电流，以及变极性电流来达到。

假使在高的电流密度下，进行金属沉积，当此种情况进行一段时间后，阴极附近电解液中阳离子浓度即将变为零。于是在阴极上产生粉末状金属沉淀，为了避免这种粉末状沉积物的生成，金属沉积在几秒钟内进行之后，电流应当切断。此时阴极附近电解液中（同样在阳极附近电解液中）以及主槽液中，阳离子开始平衡，之后全部电解液中浓度变为一致，于是金属沉积可再在几秒钟内重复进行。

阴极附近电解液及全部槽液中阳离子浓度的平衡，可以由由于间歇性电流而来的镀层阳极溶解而加速。

假使零件进行阳极处理之时间，小于在阴极沉积之时间，则在每一周期中，零件表面有厚度不大之金属层留下，周期反复进行，镀层逐渐增长。此后，金属阴极沉积与电流间断交替进行，则可以在比直流电流高的密度下得到光滑的镀层。

尽管变极性电流进行金属沉积时的速度，相当于平均电流密度，而此平均电流密度依公式（1）或（2）是比正向或反向的电流密度为小，但用这种方法进行金属之沉积可使电镀过程强化。这可以用上面所说的理由来解释，用变极性电流进行金属沉积，较用直流电可以采用较高的工作电流密度。

工作时用变极性电流，阴极时间愈短，阳极时间越长，则零件上工作电流密度之上限亦愈高。因而，变极性电流工作电流密度上限随 T 及 $\frac{t_c}{a}$ 之减小而增加。

使用变极性电流，并非对各种电镀过程都能够同样程度地提高其工作电流密度。电流密度提高只能体现在受到阳离子进入阴极附近的电解液层内的速度不足所限制的电镀过程，使用变极性电流才可望电流密度有最大程度的提高。如硫酸盐电解液镀锌及镀铜；均属于此种过程。反之，对于电流密度提高不受阳离子进入阴极附近的电解液层内的速度不足所限制的电镀过程，使用变极性电流不会使工作电流密度提高。譬如，用变极性电流沉积镍时，电流密度并不大大增加。

镀层周期性的阳极溶解不仅仅是增加阴极附近阳离子的浓度和提高电流密度的方法。对许多工艺来说（在氰化物电解液中镀铜、银、黄铜，镀铬及其他）镀层阳极溶解尚能得到平滑或光亮的镀层。应指出的，在氰化槽液中用变极性电流沉积金属铜、银以及少数其他金属，镀层周期性的阳极溶解，对表面状况所产生的影响，与电抛光达到者相类似。镀层表面光亮度或光洁度与电流换向工作规范有关。

因此，用变极性电流沉积金属时，除正确的选择电解液成份、电流密度及温度外，正确的选择金属在阴极的沉积时间及阳极溶解时间，是非常重要的。试验指出，这些数字的选定，应考虑每一电镀过程之特点。企图在所有的电镀过程中，采用同一种阴极沉积时间及阳极溶解时间将是错误的。

此外，对同一种电镀过程，采用不同的阴极及阳极加工时间，得到的结果是性质不同的镀层。因此，应按镀层要求性质的不同，对每一种情况，选择自己的阴极沉积及阳极溶解时间，以

保証得到最好之效果。

3 金屬电流效率

电鍍过程中直流电沉积金屬的电流效率依下式測定：

$$\eta = \frac{m \times 26.8 \times n}{Mq} \times 100\%, \quad (3)$$

式中， m ——阴极上金屬重量增加的克数；

26.8——法拉第常数；

n ——金屬之原子价；

M ——金屬之分子量；

q ——鍍槽电路中供給之电量，安培-小时。

用变极性电流时，不能用（3）計算电流效率。因为在这种情况下，有一部分电量不仅不参与金屬之沉积，反而进行鍍层之阳极溶解，因此，依（3）計算金屬电流效率，理論上当然总是小于100%。

变极性电流的金屬电流效率之計算，应用以下公式計算：

$$\eta_{cp} = \frac{m \times 26.8 \times n}{M(D_{正}t_K - D_{返}t_a)} \quad (4)$$

依公式（4）已知金屬电流效率，鍍层厚度需要之時間可計算如下。

氰化物电解液鍍銅在下列条件进行：

$$T = 18 \text{ 秒。}$$

$$\frac{t_K}{t_a} = \frac{5}{1} (t_K = 15 \text{ 秒, } t_a = 3 \text{ 秒})$$

$$D = 4.5 \text{ 安/分米}^2$$

試驗測定及依公式（4）計算銅的电流效率为75%，求出鍍层厚度10μ 需用之時間。

依公式(1) 求出平均电流密度

$$D_{\text{平均}} = \frac{4.5 \times 5 - 4.5}{5 + 1} = 3 \text{ 安/分米}^2$$

当铜之电流效率为 100%，镀层厚度为 10μ ，电流密度为 3 安/分米²，需用之时间为 8 分。当电流效率为 75% 时，则沉积需用之时间为：

$$\frac{8 \times 100}{75} = 10.7 \text{ 分。}$$

直流电沉积金属时，电流效率不会超过 100%。相反使用变极性电流，电流效率可能超过 100%。

这可以这样解释；依公式(4) 计算电流效率时，系假设金属依理论值溶解。但是，假使镀层在阳极时间内产生钝化，金属溶解量小于理论值，而在阴极时间内，金属之沉积量接近于理论值时，则金属之电流效率 $\eta_{\text{平均}}$ 将大于 100%。当金属在阳极时间内产生钝化时，电流效率可小于 100%，但这必须金属在阴极时间内之沉积量小于理论值。

4. 分散能力

直流电沉积金属时，零件表面镀层分布均匀之程度决定于电解液之分散能力。电解液之分散能力愈高，则金属沉积在阴极表面镀层之厚度愈均匀。分散能力好的电解液，有镀铜、镀锌、镀黄铜的氰化物电解液等，分散能力低的电解液有镀铜、镀锌、镀铬的酸性电解液以及其他电解液。

每一种电解液之分散能力与很多因素有关，首先是阴极电位变化速度与电流密度增加之关系，电解液之导电能力，以及电流密度对阴极金属电流效率之影响。详细的说明参考本电镀技术小丛书第 1 册。

直流电沉积金属时，电解液之分散能力，与阳极过程之关系，较上述各因素要小些。变极性电流金属沉积时，阴极上镀层分布均匀的程度，与阴极及阳极有同等的关系。

变极性电流沉积金属时，零件表面镀层分布均匀之程度，决定于在阴极时间内，镀层沉积之均匀度，同样也决定于在阳极时间内金属除去之均匀度。由于阴极时间长，阳极时间短，很显然金属沉积之均匀度对零件表面金属分布之影响，较之金属除去之均匀度要大。

试验证明，使用变极性电流可以改善分散能力（镀铬，氰化物镀银，酸性电解液镀锌），也可以使分散能力变坏（酸性镀铜，及焦磷酸镀铜）或对分散能力不产生影响。

应当指出，以上列举之因素未考虑几何形状（电解器形状、电极之几何形状）对在阴极上金属分布之重大影响。

5 阳极过程

由于使用变极性电流，阳极电流密度上限，亦可能提高。阳极之时间愈短，阴极之时间愈长，则电流密度之上限将愈高。因此，阳极电流密度上限将随 T 及 $\frac{t_a}{t_k}$ 之减小而增加。

这种现象的解释可如下，聚积在阳极表面的阳离子，当在阴极周期时，部分地放电于电极上。结果，电极附近阳离子的浓度，不能达到这样的数值，使它在阳极处形成在电解液中溶解的生成物。

对使用直流电时金属阳极溶解无任何困难之电镀过程，当使用变极性电流时，实际上对阳极性能也不发生重大影响。属于这一类的过程有酸性镀锌，酸性镀铜及其他。

对使用直流电，阳极容易钝化之电镀过程，当使用变极性电

流时, 阳极过程之进行, 则有极大的改善。例如直流电氰化鍍銅过程之强化, 由于使用高的电流密度, 阳极产生鈍化, 因而受到限制, 这是大家所知道的。黃銅阳极在氰化电解液中, 鍍及其他阳极在相应的电解液中, 在高的电流密度下也均易鈍化。

使用变极性电流沉积金屬时, 可以在提高电流密度下, 阳极不会鈍化, 例如在氰化物电解液中鍍銅和鍍黃銅。

6 鍍层性能

变极性电流获得之鍍层与直流电获得之鍍层在性能上, 如显微組織、孔隙度、表面光洁度, 以及机械性能等均有所不同。

变极性电流使用高的电流密度, 是使鍍层結晶細小的先决条件, 例如自酸性电解液中, 得到銅、鋅及其他金屬的鍍层, 便是这样的。

沉积物結晶細小, 可以降低孔隙度。孔隙度降低, 是抗腐蝕性能提高的原因。在腐蝕条件恶劣情况以及热带气候使用的零件或产品, 可以使用这种鍍层来作为防护鍍层。

变极性电流获得的鍍层, 具有細小的結晶結構, 在許多情况之下, 引起硬度之增加。氰化鍍銀、酸性鍍銅及少数其他鍍层, 它的硬度可以提高。有些鍍层使用变极性电流較使用直流电鍍层之硬度提高虽不多, 如銀提高 8~10%, 銅提高 15~20%, 但对貴金屬而言, 鍍层硬度之提高无疑的是有很大意义的。

直流电鍍的鍍和鉻鍍层有很大的內应力, 鍍层有內应力, 則鍍层底金屬鋼之疲劳强度、腐蝕-疲劳强度降低。用之于交变負荷的鋼零件 (特別由合金鋼制备之零件) 不推荐以鍍和鉻作为防蝕的鍍层。用变极性电流有得到內应力低的鍍鉻鍍层之可能, 因而扩大了它在机械制造方面使用之范围。

使用換向电流可以改善鍍層外觀，例如氰化物電解液中可以得到光亮的銅、銀、黃銅鍍層。在許多情況之下可以免去機械拋光。變極性电流酸性鍍銅，較用直流電獲得的鍍層光滑。例如變極性电流鍍銅當銅鍍層厚達十分之几毫米，甚至几毫米時，不產生瘤狀物。

變極性电流多孔鍍鉻，可以達到這樣的光滑表面，許多零件在鍍鉻之後，需要進行機械加工者，用此法電鍍則可以免去這種工序。

第二章 變極性电流沉積 金屬的工艺

變極性电流金屬沉積之工艺过程与一般電鍍过程不同之点，仅在鍍槽進行鍍層被復操作方法上，有所不同。準備工序（除油、酸洗、弱侵蝕等）以及結尾工序（洗滌、干燥等）仍依一般電鍍車間採用之工序進行。鍍槽改用換向电流進行工作，不需要改變常用之工艺路綫，槽液的準備、調整、分析控制等工作，仍是一樣。因此，以下僅就變極性电流進行鍍層被復的操作工艺加以敘述。

1.7 鍍銅

用變極性电流有两种方法鍍銅，即氰化物鍍銅及硫酸鹽電解液鍍銅，已經得到工業之應用。第一種方法在國內外已經廣泛採用，第二種方法的使用受到較多的限制。但有根據設想，第二種方法將來在工業上亦將得到採用。

氰化物電解液中鍍銅 氰化鍍銅電解液雖然有其嚴重的缺

点,有毒,制备电解液用的化学药品价值高,工作时槽液不稳定,但它在工业上继续采用,而未被代替,此由于鋼的零件能在此种槽液中直接鍍上銅,槽液之分散性能力高,得到的鍍层結晶細致,与底金屬結合力好。

为改善氰化物电解性能,进行了許多工作,有些缺点(如工作电流密度低、氰化物消化大)由于使用阳极去极剂,已經消除。但电解液中加去极剂(酒石酸鉀鈉等)更使成本增加。氰化物电解液鍍銅,当使用变极性电流时,可以避免使用价昂之化学药品亦能提高工作电流密度,改善鍍层质量。关于使用变极性电流,在氰化物电解液中鍍銅最好的电解液成份及工作条件,尚未取得一致的意見。国外工业上起先采用含有酒石酸鉀鈉的电解液。而后开始采用含游离氰化物低及不加酒石酸鉀鈉的电解液。

此外,到現在为止,国外工业上仍然使用加有机物及其他附加剂的电解液。例如在捷克 Стракониц 城摩托車工厂,他們的鍍槽能得到发光的銅鍍层,不需机械抛光,槽液长期工作很稳定,所用槽液及规范如下:

氰化亚銅 CuCN	85~100克/升
氰化鈉 NaOH	30克/升
碳酸鈉 Na_2CO_3	3~5克/升
硫氰酸銨 NH_4CNS	15克/升
酒石酸鈉 $\text{Na}_2\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	8~12克/升
发光剂	0.03~0.05克/升
全周期 T	44~46秒
阴极時間 t_k	38秒
阳极時間 t_a	6~8秒
$\frac{t_k}{t_a}$	$\frac{4.7}{1} \sim \frac{6.3}{1}$
零件电流密度	3~5安/分米 ²

电解液温度

55~65°C

发光剂取含硫酸锰50克/升之溶液0.5升，及含酒石酸40克/升之溶液0.5升，混合制备之。

苏联广泛采用低氰化物含量，不加阳极去极剂的电解液。

生产经验指出，有些使用换向电流的这种电解液，当 $t_k = 10$ 秒， $t_a = 1$ 秒，不能保证阳极足够的活化。在这种条件下工作，阳极钝化，表面被复暗色膜。结果铜的阳极电流效率降低，铜在电解液中的浓度下降。为了保持电解成份不变，需要有系统的向电解液中加入氰化亚铜。工厂实践指出，电解液中加入氨或磷酸铵，可以保证阳极处于活化状态。加入这种附加剂后，阳极在电解液中呈现玫瑰红色，工作时电解液稳定，氰化铜浓度不致降低。电解液中不含磷酸铵，阳极阴极面积比取2.5~3。若电解液加入磷酸铵则其相对比，可以降低。二代磷酸铵盐之浓度，维持在5克/升。增加其浓度尚未见有推荐者。当阳极钝化时，才加磷酸铵以校正电解液。以 Яблочкова 命名的电光工厂及其它企业所用之槽液及规范如下：

氰化亚铜 CuCN	60~70克/升
游离氰化钠 NaCN	6~12克/升
碳酸钠 Na_2CO_3	15~30克/升
一氢磷酸铵 $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$	5克/升
全周期 T	11秒
阴极时间 t_k	10秒
阳极时间 t_a	1秒
$\frac{t_k}{t_a}$	$\frac{10}{1}$
零件电流密度 D	3~4安/分米 ²
电解液温度	60~70°C
电流效率	55~60%

变极性电流用之于氰化物电解液镀铜，不仅是提高金属沉积速度的方法，也是得到厚度大的平滑光亮镀层，不需机械抛光的方法。苏联工业上广泛采用阳极时间较短的工作规范（ $T = 11$ 秒， $\frac{t_K}{t_a} = \frac{10}{1}$ ）。用这种换向电流电镀规范工作由工业经验指出，可得平滑及半光亮的镀层。而更光亮的镀层，可自这样的工作规范得到： $T = 18$ 秒及 $\frac{t_K}{t_a} = \frac{5}{1}$ 。若周期相同，但 $\frac{t_K}{t_a}$ 缩至 $\frac{3}{1}$ ，则镀层的光亮度降低。光亮度最低的镀层的规范为 $T = 10$ 秒及 $\frac{t_K}{t_a} = \frac{10}{1}$ 。表1为用不同工作规范换向电流所得到的铜镀层，光亮度的测定结果。铜镀层抛光之后，其反光度定为100%。

表1 换向电流规范对铜镀层光亮度的影响

全周期 T 秒	阴阳极时间比 $\frac{t_K}{t_a}$	反光能力 %
18	$\frac{3}{1}$	37.9
18	$\frac{5}{1}$	61.0
18	$\frac{10}{1}$	30.7
10	$\frac{10}{1}$	27.7

镀铜电解液成份如下：CuCN 67.5~75克/升，NaCN（游离）7.4~10克/升，NaOH 1.2~6克/升，试样上的电流密度 4安/分米²，温度 50~60℃。

变极性电流镀铜，镀层之光亮度，还可以提高。其方法是使电解液搅拌，连续过滤或采用移动阴极。电解液之清洁度，可采用连续过滤，或适当的周期性过滤达到之，这是得到高度光亮度镀层的必要条件。