

凹印制版电镀全自动夹具的设计

金洪勇, 雷沪

(天津现代职业技术学院, 天津 300352)

摘要: **目的** 为了解决传统凹印制版电镀时因人工装夹版辊夹紧强度差、劳动强度大, 导致的镀层不均匀、漏液、生产效率低等问题。**方法** 针对工件的装夹要求, 设计一种全自动版辊装夹机构, 对夹具的夹紧力、挠度以及导流能力进行验证计算, 并对夹具进行实证分析。**结果** 设计的全自动夹具夹紧强度高, 能为滚筒表面输送均匀的电流, 明显提高了镀层均匀性, 降低了劳动强度, 使生产效率提升了42%, 并解决了漏液问题。**结论** 全自动夹具在装版效率、镀层质量、漏液控制、能源消耗等方面明显优于手动夹具, 能够在生产中完全替代手动夹具, 具有良好的应用前景。

关键词: 凹印制版; 电镀; 版辊夹具

中图分类号: TB486 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2019)07-0126-08

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2019.07.019

Design of Automatic Chucking Appliance for Electroplating of Gravure Platemaking

JIN Hong-yong, LEI Hu

(Tianjin Modern Vocational Technology College, Tianjin 300352, China)

ABSTRACT: The work aims to solve the problems of uneven coating, liquid leakage and low production efficiency caused by poor effect and high labor intensity of manual clamping in electroplating of gravure platemaking. According to the chucking requirement of workpiece, an automatic chucking appliance was designed. The chucking force, deflection and diversion ability of the chucking appliance were verified and calculated, and the chucking appliance was analyzed empirically. The automatic chucking appliance had high clamping strength and could convey uniform current to the surface of the drum, thus obviously improving the uniformity of the coating, reducing the labor intensity, increasing the production efficiency by 42%, and solving the leakage problem. The automatic chucking appliance is superior to manual fixture in plate loading efficiency, coating quality, leakage control and energy consumption and can completely replace manual fixture in production and has a good application prospect.

KEY WORDS: gravure plate making; electroplating; chucking appliance

凹版印刷是包装印刷领域的一种主要工艺技术, 在烟酒包装、药品包装、塑料包装上得到了广泛的应用, 但不同于其他印刷生产方式的是, 凹印的制版工艺比较复杂, 尤其是版辊的制备需要经过复杂的电镀工艺流程^[1]。钢质版辊制作完后, 需要在表面先后镀

上镍层、底基铜层、分离层和雕刻铜层, 使凹印滚筒直径达到指定的数值^[2], 版辊回收再利用时, 雕刻铜层可以剥离^[3-4], 制版时滚筒表面的网穴就在这一层生成。凹印版辊图文雕刻完成后, 为了提高滚筒耐印力, 最后还需在雕刻层镀上一层坚硬的铬层^[5-6]。而

收稿日期: 2018-11-19

基金项目: “十三五”天津市高等职业教育教学改革研究项目(2018018)

作者简介: 金洪勇(1979—), 男, 硕士, 高级工程师, 天津现代职业技术学院副教授, 主要研究方向为色彩管理与色貌模型。

通信作者: 雷沪(1965—), 男, 高级工程师, 天津现代职业技术学院教授, 主要研究方向为软包装印刷。

在每一个电镀环节,凹印版辊都需要利用夹具装夹起来并运送到电镀槽中,夹具不仅起到装夹作用,还需要为版辊表面输送均匀的电流。

1 常规电镀工艺中版辊装夹存在的问题

在凹印版辊电镀过程中,版辊表面电流的均匀性直接影响镀层的质量。目前,版辊的表面电流一般通过人工装夹机构从版辊的两端提供,该方式采用导电极杠结合版堵、锁紧螺母、适配器的方法,装夹的每一个步骤都需要人工去完成,容易使版辊与极杠之间的接触为点接触或线接触,导致凹印版辊导电不良,版辊表面电流分布不均匀,表面镀层厚度不均匀,严重影响版辊镀层质量。而且,导电不良还会造成极杠发烫,使极杠导电性能减弱,缩短使用寿命。另外,人工装夹还容易造成版辊端孔密封不严,造成电镀溶液外泄,引起经济损失和环境污染^[7]。在整个凹印版辊的电镀过程中,如何提高装夹机构的导电效果以保证镀层的均匀性,并克服人工装夹劳动强度大、工作效率低的缺点,是目前亟待解决的问题。

2 全自动夹具的结构设计与工作原理

2.1 夹具的结构设计

2.1.1 工件分析

在电镀过程中,需要装夹的版辊为空心圆柱钢筒,尺寸最大的版辊质量一般不超过 200 kg,版辊两

端焊有版堵,版堵中心开有与印刷机组安装滚筒的顶锥相匹配的锥度为 10° 的圆孔。为了保证电镀质量,电镀时要求版辊始终处于水平状态并匀速旋转,表面充以均匀的电流。夹具本身必须拥有足够的机械强度,能够提供足够大的夹紧力以承受版辊的自重,装夹版辊后夹具不能弯曲,在电镀过程还能够持续均匀地通过电刷给版辊充电。

2.1.2 夹具的辅助支撑装置设计

针对工件的装夹要求,设计的夹具支撑装置由龙门架、尾座机构 1 和尾座机构 2 等 3 个部分组成,全自动夹具的结构和实物见图 1。

龙门架是整个夹具的支撑框架,由墙板、支撑钢梁、航吊挂柱组件、拉紧圆钢、圆锥滚子轴承等部分组成,见图 2。墙板的材质选用加工性能和力学性能都比较好的 45#钢^[8],其上分别加工有安装支撑钢梁、拉紧圆钢和圆锥滚子轴承的圆孔,尺寸见图 3。支撑钢梁起到支撑两端墙板的作用,两端分别用铁三角焊接在墙板上,以增强支撑强度。支撑钢梁的两端固定有材质为 T10 的航吊挂柱,便于行车吊起电镀夹具将版辊移至下一工序。拉紧圆钢用 2 个 M20 六角螺母固定在墙板中心位置,可以调节两端墙板的平行度,以保证支撑钢梁、拉紧圆钢和夹紧的版辊三者的轴线保持平行,使凹印版辊进入电镀槽后始终处于水平状态。圆锥滚子轴承内孔用于固定尾座机构,轴承端盖上有 4 个 M10 固定螺丝孔,可用 4 个固定螺钉通过法兰盘将尾座固定在墙板上。

夹具 2 个尾座机构的结构基本相同,但尾座机构 2 要比尾座机构 1 多一个带动尾座机构旋转的传动齿

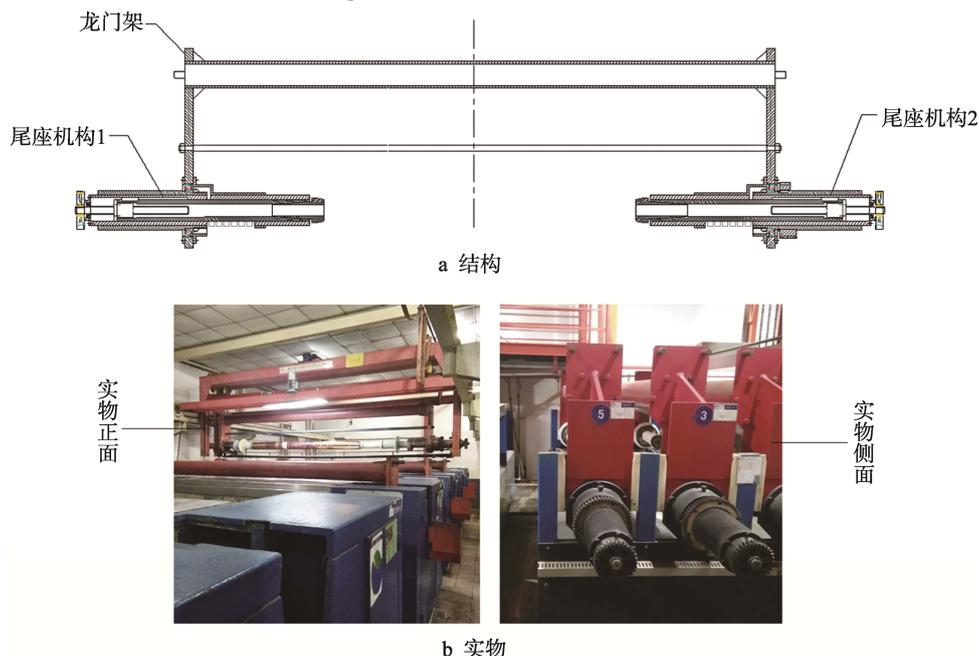


图 1 电镀全自动夹具的结构与实物
Fig.1 Structure and in kind of automatic chucking appliance

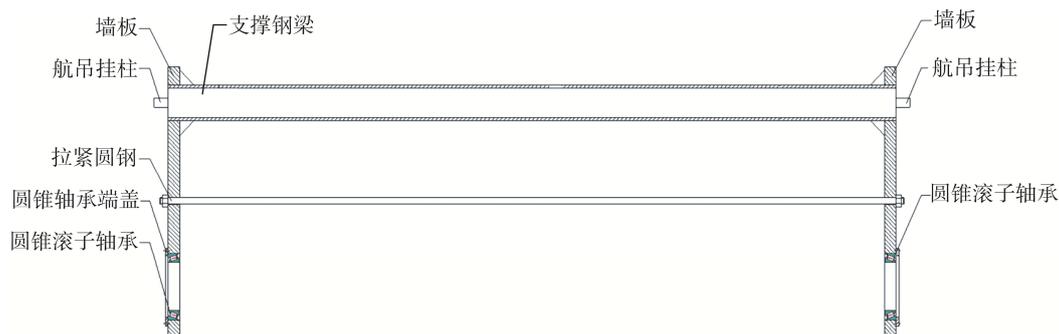


图2 龙门架结构
Fig.2 Structure of gantry

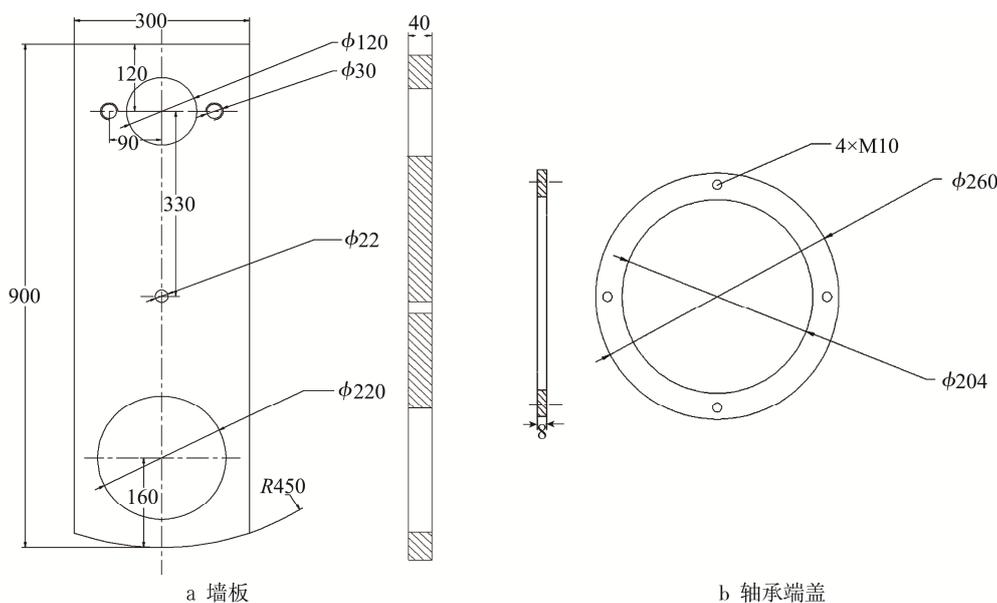


图3 墙板与轴承端盖结构
Fig.3 Structure of wall panels and bearing cover

轮,尾座机构2的结构见图4。尾座体是尾座机构的骨架,外端为无缝管钢套,包含左右两部分,见图5,通过锁紧螺母将尾座体与滚珠轴承内圆紧固,使尾座机构安装在龙门架圆锥滚子轴承的内孔,无缝管钢套内部镶嵌聚四氟的导电隔离套。聚四氟导电隔离套是芯轴的支撑体,它与无缝管钢套为过盈配合,而与芯轴为间隙配合,聚四氟导电隔离套内圆轴向铣有键槽,以便芯轴装夹版辊时可沿键槽滑动。

2.1.3 夹具夹紧方案设计

考虑到版辊两端开有锥度为 10° 的圆孔,夹具采用内孔定位的方式夹紧版辊^[9],在两个尾座机构的芯轴伸出端的内锥孔中配装顶尖,其结构尺寸见图6,在版辊装夹过程中,芯轴(图6a)在传动系统的作用下向前移动,使左右2个尾座机构的顶尖(图6b)分别从两端顶入版辊内孔中夹紧版辊,顶尖端面锥度也为 10° ,与版辊的两端的圆孔正好匹配。

夹具的传动机构由丝杠、支撑轴承、轴承端盖、丝杠螺母、夹紧齿轮组成,见图7。丝杠(图7a)表面有梯形螺纹,螺距为8 mm,丝杠尾端安装型号为

6306的支撑轴承,并通过轴承端盖(图7b)固定在芯轴的另一端。丝杠后端安装有夹紧齿轮(图7c),丝杠螺母通过沉头螺丝固定在芯轴上。装夹时,通过外部电机驱动夹紧齿轮,使丝杠旋转,通过丝杠螺母推动芯轴轴向移动以夹紧或松开版辊。

2.1.4 夹具的供电及旋转机构设计

芯轴和顶尖均采用耐磨性和导电性非常好的黄铜材质,除了起到装夹作用,还可以作为电镀时的供电载体。芯轴通过间隙配合安装在聚四氟隔离套中,它伸入无缝管钢套的部分,从顶端起下方开有一个缺口,见图5b,使黄铜芯轴能与前端部设有弧形的碳刷接触,以便碳刷给黄铜芯轴供电。供电时,碳刷在弹簧的作用下,其弧面始终与芯轴保持紧密接触,以保证供电电流的稳定性和均匀性。聚四氟隔离套具有良好的绝缘性能,可以保证尾座体芯轴与其他部分绝缘,仅将电流送至版辊表面。

尾座机构2的传动齿轮安装在尾座体外端的无缝管钢套上,见图8,其内圆上铣有通键槽,齿轮旋转时可通过平键带动尾座体一起转动,使版辊在镀槽中匀速旋转。

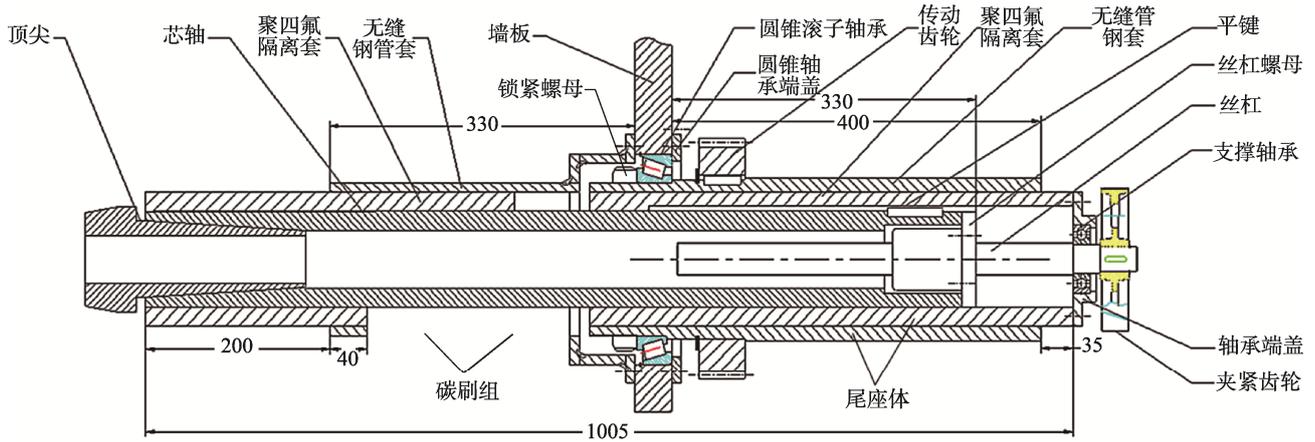
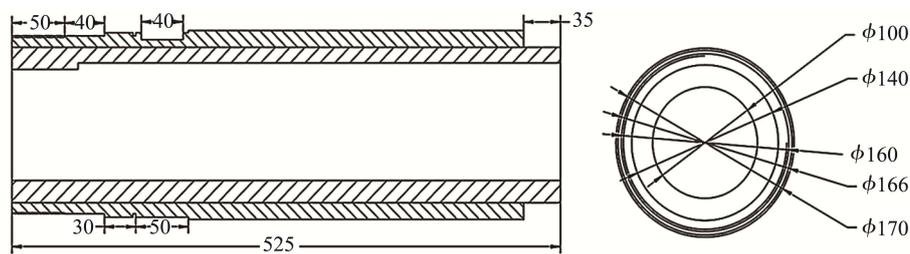
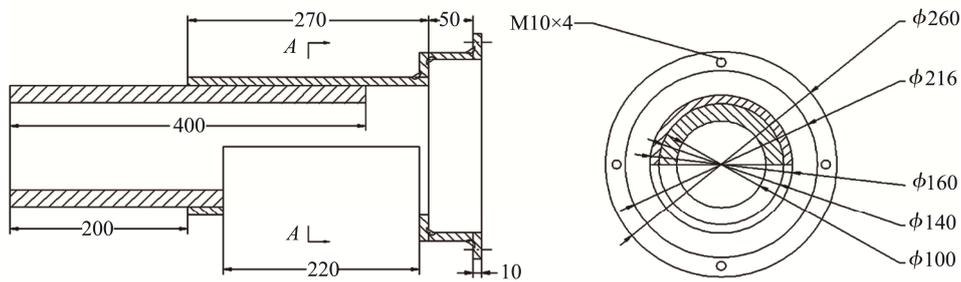


图 4 尾座机构的结构

Fig.4 Structure of tailstock

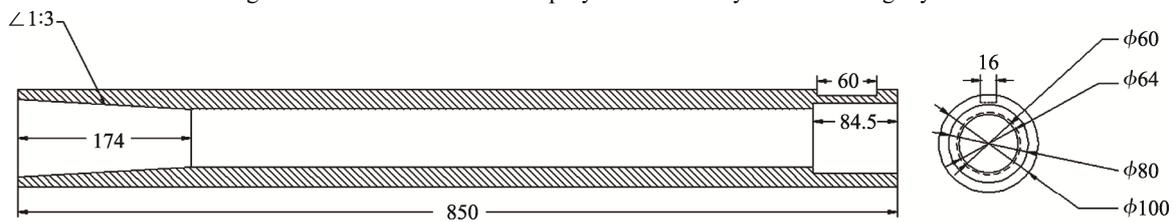


a 无缝钢管套

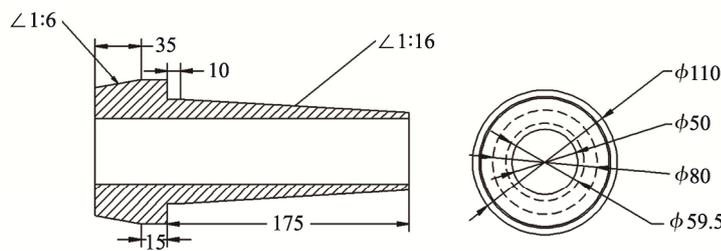


b 聚四氟导电隔离层

图 5 无缝钢管套与聚四氟导电隔离层
Fig.5 Seamless tube sleeve and polytetrafluoroethylene insulating layer



a 芯轴



b 顶尖

图 6 芯轴与顶尖结构
Fig.6 Structure of mandrel and core clammer

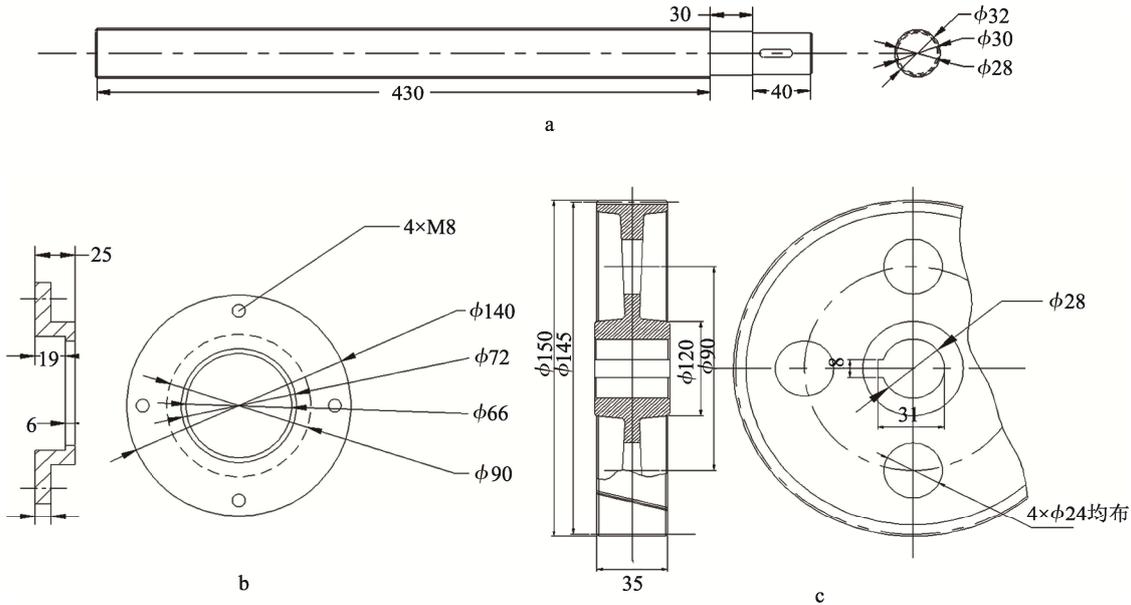


图7 丝杠传动机构

Fig.7 Transmission mechanism of lead screw

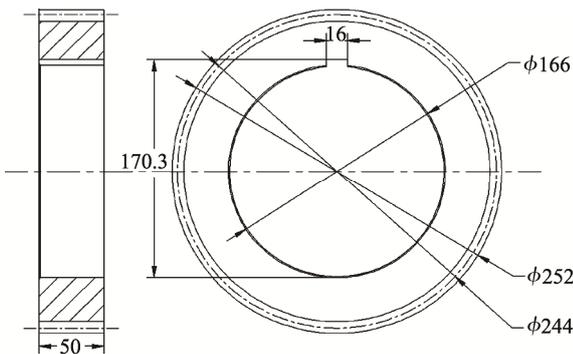


图8 传动齿轮

Fig.8 Transmission gear

2.2 夹具的工作原理

工作时，夹具的夹紧动力由外部减速电机提供，外部电机带动2个尾座机构的夹紧齿轮转动，从而带动丝杠旋转，丝杠螺母将芯轴向前（向后）推动，两端顶尖顶入（退出）放置于2个尾座母线位置上的版辊内孔，一起夹紧（放松）版辊。然后，通过行车将夹具及夹紧的版辊一同吊装到电镀设备上，使版辊浸入电镀槽溶液中。2个尾座机构的芯轴和外部提供电力的碳刷压合，碳刷通过气动行程和弹簧控制能够与黄铜芯轴保持紧密的面接触，而且接触面积始终不变。最后通过安装在尾座机构2外圆上的传动齿轮与外部动力齿轮啮合，带动尾座机构1、尾座机构2和夹紧的版辊一起转动，使版辊表面镀上均匀的镀层。

3 电镀全自动夹具的设计计算

3.1 夹紧力计算

版辊自身质量不大于200 kg，夹具分别从两端夹

紧工件，每一端必须支撑100 kg的质量，即980 N的重力。夹具夹紧力由外部电机驱动丝杠旋转而产生，外部减速电机的输出功率 P 为2 kW，转速 n 为12 r/min，电机的输出扭矩 T 为^[10-11]：

$$T=9550P/n=1592 \text{ N}\cdot\text{m} \quad (1)$$

在外部电机的推动下，丝杠产生的推力可用以下公式计算：

$$F=2\pi\eta T/L \quad (2)$$

式中： η 为丝杠传动效率，取值0.9； L 为丝杠的导程。这里的丝杠为单线螺纹，导程与螺距相等，即 $L=8 \text{ mm}$ ，计算可得 $F=1.1 \text{ MN}$ 。

顶尖着力点的受力情况见图9，支撑版辊自重的力 F_4 可计算为：

$$F_4 = F \cdot \sin \alpha \cdot \mu \cdot \sin \alpha = 4757 \text{ N}$$

式中： F 为丝杠推力； α 为顶尖的锥度； μ 为顶尖与版辊内孔间的摩擦因数^[12]，取值为0.16。

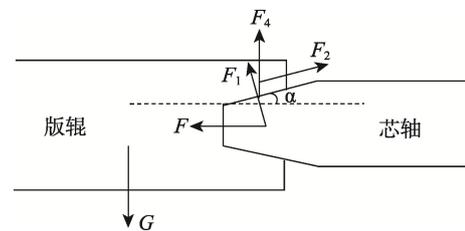


图9 顶尖着力点受力分析

Fig.9 Force analysis of core clamped pressure point

可以看出，夹具提供的夹紧力远大于版辊自身的重力，因而能够牢牢夹紧版辊。由于电镀过程中工件的旋转方向与丝杠的进给旋转方向相反，因而能够保证夹紧的版辊不会产生松动。

3.2 夹具支撑工件自重的挠度计算

为了保证镀层厚度的均匀性，电镀时，版辊必须始终处于水平位置，这就要求夹具夹紧版辊时，在版辊的重力作用下不能发生弯曲变形，即具有很小的扭转角和挠度，否则电镀过程中版辊倾斜，旋转时会扬起液花，影响镀层质量。夹具支撑版辊自重的扭转角和挠度可利用下面的公式计算^[13-14]：

$$I = \frac{\pi(D^4 - d^4)}{64} \quad (3)$$

$$\theta = \frac{Fl^2}{2EI} \quad (4)$$

$$\omega = \frac{Fl^3}{3EI} \quad (5)$$

式中： I 为芯轴截面对 x 轴的惯性矩； D 为芯轴外径； d 为芯轴内径； F 为芯轴着力点受到版辊的压力（980 N），见图 10； E 为黄铜芯轴的弹性模量，取值 106 GPa； l 为顶尖着力点到龙门架墙板的距离，约为 570 mm。

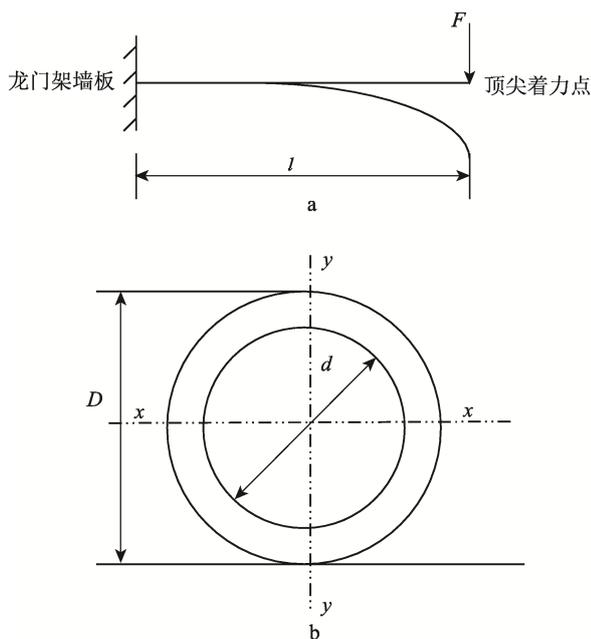


图 10 夹具的扰度和惯性矩

Fig.10 Disturbance and moment of inertia of chucking appliance

计算可得 $I=4.27 \mu\text{m}$ ， $\theta=0.02^\circ$ ， $\omega=0.013 \text{ mm}$ ，可以看出，夹具在版辊的重力作用下，扭转角和挠度都非常小，能够满足电镀的要求。

3.3 夹具导流能力计算

电镀时，夹具不仅要夹紧版辊，还要利用芯轴与碳刷的紧密接触持续给版辊供电，尾座机构芯轴的导流能力计算方法如下：

芯轴截面积 $S=\pi(R^2 - r^2)=201 \text{ cm}^2$ ；芯轴的最低载流量= $S \times$ 最小安全载流量= $1.206 \times 10^5 \text{ A/mm}$ （黄铜芯轴的最小安全载流量为 6 A/mm^2 ^[15]）；对于直径为 280

mm，长为 2.8 m 的最大幅面版辊来说，可以在其表面产生的电流密度=最低载流量/ $(\pi \times 280 \times 2800) \text{ A/mm}^2=5 \text{ A/cm}^2$ ，因此，可以满足不同型号版辊电镀的需要。

4 电镀全自动夹具的装配与实验验证

4.1 夹具的装配

夹具的装配包含 2 个步骤，先装配龙门架，后装配 2 个尾座机构。龙门架装配时，先将加工好的支撑钢梁和拉紧圆钢两端分别插入两块墙板的定位孔中，调整钢梁使 2 个墙板处于对称平行的位置，用支撑三角形角铁将支撑钢梁和墙板焊接固定在一起，然后通过六角螺母锁紧拉紧圆钢，锁紧圆钢时要确保拉紧圆钢与支撑钢梁保持平行，接下来安装圆锥滚子轴承及其密封端盖，最后安装吊装挂柱。

装配尾座机构 1 时，先将聚四氟导电隔离套安装在尾座体的无缝管钢套内，使其与无缝钢套上有外螺纹的一端对齐，然后将尾座体由外向内插入龙门架墙板上的圆锥滚子轴承内孔中，并用紧固螺母锁紧；将丝杠螺母安装在芯轴端面，将键槽安装完平键后的芯轴沿聚四氟导电隔离套键槽插入，并将丝杠顶端旋入螺母至芯轴内，在丝杠尾端安装支撑轴承及轴承端盖，并将端盖固定在聚四氟导电隔离套上，再将夹紧齿轮安装在丝杠末端，最后将芯轴支撑体套在芯轴上，并用螺钉固定在龙门架的墙板上。装配尾座机构 2 时，先安装无缝钢套外端的传动齿轮，其他装配流程与尾座机构 1 完全相同。2 个尾座机构安装完成后，要注意母线保持在一条直线上。

4.2 夹具实证分析

4.2.1 装版效率试验分析

人工夹具需要两人配合在专用装版台上才能完成版辊的装夹，而全自动夹具仅需 1 人操作，根据企业“三班两运转”的生产组织安排，镀铜工序人员可由原来的 6 人减少至 3 人。

为了检验全自动夹具的装版效率，选择 3 组人员，以及直径分别为 160, 180, 200 mm，长 1150 mm 的 3 种常用规格版辊，每种版辊装夹 5 次进行实验，每组装夹各规格版辊平均时间统计见表 1。

表 1 装版效率比较
Tab.1 Comparison of clamping efficiency min

分组	版辊直径/mm			平均时间
	160	180	200	
第1组	11/3	12/3	13/3	12/3
第2组	10/2.8	11/2.8	12/2.8	11/2.8
第3组	12/3.2	13/3.2	14/3.2	13/3.2

由表1可知,3组人员采用人工夹具装夹3种规格版辊的平均时间为12 min,而采用自动夹具仅需3 min,显著提高了装夹效率。

4.2.2 镀层均匀度试验分析

选择上述3种规格的版辊,每种规格5根,在控制最低镀铜厚度 $5\mu\text{m}$ 、铜层硬度(190~210度)情况下,分别采用手动夹具和全自动夹具进行镀铜实验以检测镀层的均匀性。达到 $5\mu\text{m}$ 镀层厚度,手动夹具电流值需设定为 13 A/dm^2 ,自动夹具电流值需设定为 10 A/dm^2 ,电镀时间为90 min,电镀液温度为 38° ,电镀液密度为 19 g/L ^[16]。采用九点测量法(轴向左、中、右,周向均匀选3个点),选取每根版辊厚度的最大值和最小值作为该版辊的测量数值^[17],测量结果见表2。

由实验结果可以看出,要达到最低 $5\mu\text{m}$ 的镀层厚度,自动夹具只需要较低的电流密度,耗用的电能少,而且膜层厚度差要比人工夹具低很多,表现出非常好的镀层均匀性。

表2 镀层均匀性比较

Tab.2 Comparison of uniformity of coatings μm

铜层厚度	版辊直径/mm			平均值
	160	180	200	
最大值	9.0/5.8	8.3/5.5	7.3/5.1	8.2/5.5
最小值	4.8/5.5	5.4/5.2	5.2/5.0	5.1/5.3
厚度差	4.2/0.3	2.9/0.3	2.1/0.1	3.1/0.2

4.2.3 生产效率统计分析

该夹具已应用于多家制版企业的电镀生产线,选取了某一企业使用夹具前后5个月的装夹版辊数量以及漏液情况,以检测全自动夹具的稳定性和效率(产量单位:根/月),统计结果见表3。

表3 生产效率与漏液次数比较

Tab.3 Comparisons of production efficiency and leakage times

月份	手动夹具		月份	全自动夹具	
	产量	漏液次数		产量	漏液次数
3月	2853	5	8月	4032	0
4月	2792	3	9月	4180	0
5月	2960	5	10月	4103	0
6月	3006	7	11月	4125	1
7月	2870	6	12月	4218	0
平均值	2896	5	平均值	4131	0.2

由表3可知,采用全自动夹具后,漏液次数由原来的月均5次降低至0.2次,基本上解决了漏液问题;夹具装夹版辊数量由原来的月均2896根增加至4131根,生产效率提高了42%。

5 结语

该夹具利用丝杠推动芯轴夹紧版辊,配合精度高,能保证装夹过程中夹紧力的稳定性,装夹效果好;供电时,碳刷与芯轴为弧面接触,且接触面积始终保持不变,可以确保供电的稳定性,导电效果好、镀层质量高;显著提高了电镀生产效率,并解决了人工夹具容易出现漏液的问题。本夹具已应用于电镀生产线上,具有较好的市场前景和推广价值。

参考文献:

- [1] GRAVURE E F. Gravure Process and Technology[M]. New York: Example Product Manufacturer, 2003.
- [2] HELMUT KIPPAN. Handbook of Print Media[M]. Springer, 1998: 48—51.
- [3] 吴伟权, 缪凤, 万传云. 凹版印刷滚筒快速镀锌工艺的研究[J]. 电镀与环保, 2016, 36(1): 8—11.
WU Wei-quan, MIU Feng, WAN Chuan-yun. Study on Rapid Galvanizing Process for Gravure Plate Cylinder [J]. Electroplating and Pollution Control, 2016, 36(1): 8—11.
- [4] WEN Qin-xue, WANG Qiong, LI Xin-qi. Enhanced Organics and Cu^{2+} Removal in Electroplating Wastewater by Bioaugmentation[J]. Chemosphere, 2018 (212): 476—485.
- [5] 代红敏. 镍凹版表面磁控溅射 TiN 膜层性能研究[D]. 西安: 西安理工大学, 2007.
DAI Hong-min. Study of Magnetron Sputtering TiN Films Used on Nickel Intaglio Plate [D]. Xi'an: Xi'an University of Technology, 2007.
- [6] ZHANG Yue-fei, CHEN Qiang, WANG Zheng-duo. Preparation of Cr Hard Coatings by Ion Beam Assisted Electron Beam Vapor Deposition on Ni and Cu Substrates[J]. Surface and Coatings Technology, 2007 (201): 5190—5193.
- [7] ZHU Dan-dan, YANG Shan-shan, ZHAN Si-hui. Waste Management in a Typical Chinese Gravure Plate-making Industry[J]. Environmental Nanotechnology Monitoring and Management, 2014(2): 50—56.
- [8] GB/T 699—2015, 优质碳素结构钢[S].
- [9] GB/T 699—2015, Quality Carbon Structural Steels[S].
- [9] 王光斗, 王春福. 机床夹具设计手册[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2000.
WANG Guang-dou, WANG Chun-fu. Machine Tool Fixture Design Manual[M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 2000.
- [10] 刘建鹏, 陈红艳. 壳体的铣夹具设计[J]. 内燃机与配件, 2019(23): 56—59.
LIU Jian-peng, CHE Hong-yan. Design of Milling Fixture for Shell[J]. Internal Combustion Engines and Accessories, 2019(23): 56—59.

- [11] 吴凤君, 姜一. 稀土电机在扶余油田的应用[J]. 能源技术, 2002(5): 222—224.
WU Feng-jun, JIANG Yi. The Application of Rare Earth Motor in Fuyu Oilfield[J]. Energy Technology, 2002(5): 222—224.
- [12] 安付行. 铸铁材料的铣削加工夹紧力计算分析研究[J]. 湖南农机, 2014(5): 117—121.
AN Fu-hang. Cast Iron Material Milling Clamping Force Calculation Analysis and Study[J]. Hunan Agricultural Machinery, 2014(5): 117—121.
- [13] 张明影. 工程力学[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2010.
ZHANG Ming-ying. Engineering Mechanics[M]. Beijing: Beijing University of Technology Press, 2010.
- [14] 冀伟, 蔺鹏臻, 刘世忠. 波形钢腹板 PC 组合箱梁桥的挠度计算与分析[J]. 西南交通大学学报, 2018(1): 46—55.
JI Wei, LIN Peng-zhen, LIU Shi-zhong. Deflection Calculation and Analysis of PC Box Girder Bridges with Corrugated Steel Webs[J]. Journal of Southwest Jiaotong University, 2018(1): 46—55.
- [15] GB 4706.1—2005, 家用和类似用途电器的安全 第1部分: 通用要求[S].
GB 4706.1—2005, Household and Similar Electrical Appliances-Safety-Part 1: General Requirements[S].
- [16] 李景轩. 一种新型锌镍合金电镀工艺及镀层的耐蚀性[J]. 材料保护, 2018(9): 74—79.
LI Jing-xuan. Study on the Zn-Ni Alloy Electroplating and Corrosion Resistance of Coating[J]. Materials Protection, 2018(9): 74—79.
- [17] 刘磊, 卢思佳, 周帅, 等. 电子元器件镍金复合镀层厚度测试方法研究[J]. 中国测试, 2017(3): 9—14.
LIU Lei, LU Si-jia, ZHOU Shuai, et al. Study on Testing Method of Ni-Au Composite Coating Thickness for Electronic Components[J]. China Measurement and Test, 2017(3): 9—14.