

doi: 10.3969/j.issn.1001-3849.2023.09.011

## 提高电镀硬铬镀层与基体金属结合力的方法

焦贵生<sup>1\*</sup>, 杜庆新<sup>2</sup>, 李小翻<sup>2</sup>, 魏开龙<sup>3</sup>, 李岩<sup>4</sup>, 李佳芯<sup>4</sup>, 陈涛<sup>4</sup>, 郭纪磊<sup>5</sup>,  
吴茂盛<sup>5</sup>, 黄洪福<sup>5</sup>, 程鑫宇<sup>6</sup>

(1. 天津市贵丰表面技术有限公司, 天津 300250; 2. 扬中市永新镀业有限公司, 江苏 扬中 212299;  
3. 德州联合石油科技股份有限公司, 山东 德州 253007; 4. 首顾(天津)表面处理科技有限公司, 天津 300480; 5. 东莞硕方精密工业科技科技有限公司, 广东 东莞 523131; 6. 本溪市通宝冶金设备制造有限公司, 辽宁 本溪 117110)

**摘要:** 本文通过在电镀硬铬生产实践中经常出现硬铬镀层与基体金属结合力的问题, 研究了影响硬铬镀层与基体金属结合力的因素。优化了电镀硬铬的操作工艺和增加了电镀硬铬特殊操作方法。结果表明, 通过优化操作工艺和增加了电镀硬铬特殊操作方法, 硬铬镀层的各项指标达到了一个最佳的数值范围, 使电镀硬铬镀层与基体金属结合力的合格率达到 96% 以上。

**关键词:** 硬铬镀层; 结合力; 方法

**中图分类号:** TQ153.1      **文献标识码:** A

## Methods of improving the adhesion between hard chromium plating and base metal

Jiao Guisheng<sup>1\*</sup>, Du Qingxin<sup>2</sup>, Li Xiaofan<sup>2</sup>, Wei Kailong<sup>3</sup>, Li Yan<sup>4</sup>, Li Jiaxin<sup>4</sup>,  
Chen Tao<sup>4</sup>, Guo Jilei<sup>5</sup>, Wu Maoshen<sup>5</sup>, Huang Hongfu<sup>5</sup>, Cheng Xinyu<sup>6</sup>

(1. Tianjin Guifeng Surface Technology Co., Ltd., Tianjin 300250, China;  
2. Yangzhong Yongxin Electroplant Co., Ltd., Yangzhong 212299, China;  
3. Dezhou United Petroleum Technology Co., Ltd., Dezhou 253007, China;  
4. Shougu (Tianjin) Surface Treatment Technology Co., Ltd., Tianjin 300480, China;  
5. Sofng Electric Co., Ltd., Dongguan 523131, China;  
6. Benxi Tongbao Metallurgical Equipment Manufacturing Co., Ltd., Benxi 117110, China)

**Abstract:** In this paper, the bonding force between hard chromium coating and base metal is often found in the production practice of hard chromium electroplating. The factors affecting the adhesion between hard chromium coating and base metal were studied. The operation process of hard chromium electroplating was optimized and the special operation method of hard chromium electroplating was added. The results show that: By optimizing the operation process and adding a special operation method for electroplating hard chromium, all the indexes of the coating have reached an optimum value range. The qualified rate of adhesion between hard chromium plating and base metal is over 96%.

**Keywords:** hard chromium plating; cohesion; method

收稿日期: 2023-05-04

修回日期: 2023-07-08

\*通信作者: 焦贵生(1962—), 男, 大专学历, 助理工程师, email: guifengbiaomian@126.com

电镀硬铬镀层具有其它一些金属镀层所不具有的优良综合性能,如硬度高、微裂纹、耐磨性、耐腐蚀性、耐重载性等,广泛应用于汽车减震杆、煤矿液压支架、石油钻杆、液压杆、活塞环等行业。电镀硬铬镀层与基体金属的结合力是镀层的主要检测指标之一。镀层结合力不良会直接影响镀件的使用状况和寿命。通过长期在生产实践中不断探索和对客户的售后服务过程中,总结出了提高电镀硬铬镀层与基体金属结合力的方法。

## 1 提高结合力的方法

### 1.1 基体材料因素

#### 1.1.1 基体表面

低碳钢镀硬铬时,按照制定的工艺流程规范操作,硬铬镀层和基体金属的结合力不会出现问题。当合金钢镀硬铬时,特别是合金钢中含铬、锰、镍、钨、钼、钒、铝等化学元素时,合金钢表面容易产生一层钝化膜。如果钝化膜处理不彻底,就会影响结合力了。

铸铁件有砂眼、孔隙高、含碳量高,镀硬铬时容易析氢,如前处理不彻底,也会影响结合力。

#### 1.1.2 基体应力

基体的应力对镀硬铬后的结合力有一定的影响。对钢的最大抗拉强度  $R_m$  在 1050 MPa 以上,并经机械加工、磨削、冷成形和冷矫正的工件,在清洗和镀硬铬之前应消除基体应力。实际操作见表 1<sup>[1]</sup>。

表 1 镀前消除应力

Fig.1 Stress relief before plating

钢的抗拉强度 $R_m$ /MPa	硬度 HRC	消除应力热处理条件
$R_m \leq 1050$	34	不要求
$1050 < R_m \leq 1450$	34 ~ 45	190 ~ 220 °C, 1 h
$1450 < R_m \leq 1800$	45 ~ 51.5	190 ~ 220 °C, 18 h
$R_m > 1800$	51.5	190 ~ 220 °C, 24 h

### 1.2 基体表面前处理不佳

工件镀前磨光、除油、除锈、除氧化膜是否彻底,直接影响到镀硬铬后的结合力<sup>[2]</sup>。要加强前处理每一道工序的质量控制。

#### 1.2.1 磨光

磨光的目的在于除去金属表面的毛刺、氧化皮、

腐蚀痕、划痕、砂眼及气孔等,使工件表面平整、光滑。电镀硬铬对基体的粗糙度要求比较高,一般工件要求  $R_a$  为 0.4  $\mu\text{m}$ 。要视工件的材料、形状及表面状态来决定磨光使用的磨轮组织、磨轮直径、磨轮圆周速度及冷却方法等。

工件的性状决定磨轮的硬度及转速。若工件的硬度较大,形状简单,则选用较硬的磨轮,转速也需高些;相反工件较软,形状较复杂,为了防止工件变形,应选用较软的磨轮,转速也应低些。

根据工件外形状况,可选用不同宽度和粒度的磨光轮,磨轮的圆周速度应控制在一定的范围内。过高时,磨轮损坏快,使用寿命短;过低时,生产效率低,故磨轮的圆周速度一定要适当。金属材料铸钢、合金钢磨光时的最佳圆周速度为 18 ~ 30 m/s。

#### 1.2.2 除油、除锈

电镀前的除油、除锈是保证镀层质量最基本的条件。个别的操作者对镀硬铬前的除油不太重视,认为镀前有一道阳极除油,就能将油污除净,然而有的抛光膏是很难除掉的。除不掉的抛光膏带入到镀液中去,会造成镀液有机物污染。

对于低碳钢、中碳钢、高碳钢、各种类牌号不锈钢(如 304 不锈钢不含钼元素,316 不锈钢含钼元素)、合金钢、铸铁件,电镀硬铬之前必须采取不同的前处理方法,以保证硬铬镀层与基体的结合力。

对于超高强度钢材料、氢脆敏感材料、受高负荷零件、薄钢钢片、弹簧片等,为了避免由渗氢而产生的氢脆,只能进行阳极电解除油,严禁阴极电解除油。

检验除油效果要看工件表面是否完全亲水,如完全亲水,即工件表面有一层完整的水膜(要求在 30 s 内无水膜断裂即无水珠挂留),而不允许有不亲水部分或挂有水珠。在操作时,若发现有不亲水现象,则不能入槽电镀,而应重新除油。

## 2 电镀硬铬使用的特殊方法

### 2.1 预热

预热对于保证工件硬铬镀层与基体金属结合力是一个重要的操作步骤。如不采取预热工序,工件进入镀槽后,工件与工艺要求的温度相差很大,这时立即通电电镀,那么这时就可能因为初镀时工件表面温度太低(偏离工艺要求)而产生黑色粗糙的镀层。在此镀层表面继续加厚的硬铬镀层就会显得镀

层更加粗糙,而且结合力也受到影响。钢铁工件可在镀硬铬镀槽中预热,铜和铜合金件可在热水槽中预热。为了保证工件的预热效果,在实际操作时,可根据工件的壁厚来确定预热时间。壁薄的工件预热时间可短一些,壁厚的工件预热时间可常一些,一般工件预热时间控制在 2~5 min 就可以了。

## 2.2 阳极处理

阳极处理(也称为反拔、反刻、反镀)目的就是工件表面除去氧化膜,使基体金属的结晶组织暴露出来并显现活化状态并形成一定的粗糙度。阳极处理是提高硬铬镀层与基体金属结合力的有效措施之一。阳极处理的电流通常控制在正常施镀电流的一半,相当于 25~30 A/dm<sup>2</sup>。阳极处理的时间随工件材料而定。一般碳素钢 30~60 s,合金钢宜适当延长,一般控制在 60~120 s,高碳钢时间不宜太长,通常控制在 10 s 以内。实际操作见表 2<sup>[1]</sup>。

表 2 镀层厚度与阳极处理时间的关系

Fig.2 Relationship between coating thickness and anodic treatment time

项目	阳极处理时间/min		
材质	镀层厚度/ $\mu\text{m}$		
	5	25	125~250
低碳钢	<0.5	2~4	5~10
高碳钢	0.25~0.5	1.5~3	3~5
镍铬钼钢	1	5~6	10~15
镍铬钢	0.5~1	2~3	5
高速钢、不锈钢	0.2~0.25	0.25~0.5	1~2
铸铁	0.05~0.08	0.08~0.15	0.3~0.5

## 2.3 阶梯式给电

工件在小电流密度下电镀硬铬时,工件上只有氢原子在阴极上放电,由于初生态的氢原子具有很强的还原能力,它能把金属基体的氧化膜中的金属元素还原成金属,即由钝态变成活化状态。合金钢(含铬、锰、镍、钨、钼、钒、铝)、不锈钢表面极易钝化,阶梯式给电对于易钝化金属来说是提高硬铬镀层结合力的一种有效方法之一<sup>[3]</sup>。操作步骤如下:

(1) 0~2 min 之内电流逐渐调至工艺要求的 20%;

(2) 2~3 min 之内电流逐渐调至工艺要求的 40%;

(3) 3~4 min 之内电流逐渐调至工艺要求的

60%;

(4) 4~5 min 之内电流逐渐调至工艺要求的 80%;

(5) 5~6 min 之内电流逐渐调至工艺要求的 100%;

随后镀至厚度要求结束。

阶梯式给电也可作为电镀硬铬过程中因停电而继续加厚镀铬层的补救办法。

## 2.4 大电流冲击

大电流冲击的目的是用以改善镀硬铬液的覆盖能力,并使镀层均匀,对于结构复杂的工件及粗糙表面镀硬铬尤其重要<sup>[4]</sup>。

铸铁可分为灰铸铁、球墨铸铁和可锻铸铁。铸铁件一般含 2.2%~2.8% 的碳和 0.8%~3% 的硅。铸铁件导电性差,表面含有较多的游离石墨和碳化物,由于氢在碳(石墨)上析出的过电位较在铁上析出的过电位低,使氢在碳表面析出,造成电流效率下降,妨碍铬金属的沉积。铸铁件表面粗糙,组织结构疏松,微观表面积比需电镀的表面积大许多,用正常电流密度施镀,往往铬层覆盖不全或无镀层。

因此,在铸铁件上镀硬铬时,必须采取大电流冲击电镀。具体操作方法为:铸铁件入槽镀铬时,先进行 1~2 min 大电流冲击电镀,冲击电流密度比正常电流密度大 2~3 倍。这样的电流密度使铸铁件阴极极化增大,在其表面迅速沉积上一层铬,然后在恢复到正常的电流密度施镀。

大电流冲击电镀是铸铁件镀硬铬不可缺少的一个操作方法,这种方法也可用来提高复杂的工件镀硬铬低区覆盖能力。

## 3 严格按工艺规范操作,加强镀液的维护与管理

现代电镀硬铬溶液一般采用标准的镀铬溶液:铬酐 220~270 g/L,硫酸 2.2~2.7 g/L,三价铬 3~4 g/L。在实际生产过程中,镀铬液一般温度控制在 60 °C,波动范围不超过  $\pm 2$  °C,温度太高或太低都会对镀铬层的结合力产生影响。加入添加剂的镀硬铬液一般电流密度要达到 50~60 A/dm<sup>2</sup>。但当遇到镀液组分失调,镀液温度失控,工艺方法变更,基体材料更换,镀件的几何形状过于复杂,应设置而未设置辅助阳极或屏蔽阴极等各种因素时<sup>[5-8]</sup>,按工艺文件规定的电流密度配送电流时就可能难以获得理想的硬铬镀

层了。为此,要根据镀件和镀液的实际情况及时调整电流密度。

镀硬铬溶液在长期的使用过程中,由于工件掉入槽内而未及时捞出造成工件基体腐蚀溶解、工件进行阳极处理时表面杂质的化学溶解、工件在受镀过程中内腔、盲孔、及其他低电流密度区的腐蚀溶解,这都会使镀铬溶液的杂质、铜杂质、氯离子杂质、有机物杂质、硝酸根杂质逐步积累,当这些杂质积累到一定量时,就会使镀硬铬溶液的颜色变浑、变黑、导电率下降、槽电压升高、电流不稳定、分散能力下降、光亮范围缩小、镀层的结合力和硬度下降。为此,要必须加强镀铬液的维护与管理,把故障现象消灭在萌芽状态<sup>[9-10]</sup>。

#### 4 镀层厚度的控制

在设计工件镀硬铬时,要考虑镀铬层厚度要符合实际需求。较厚的镀层虽然可以保证工件有更高的耐磨、耐热、耐压、耐冲击性,但镀层的脆性也随之增加,结合力变差。稍受一些外力冲击,便会使镀层崩落。为了保证铬层质量,对镀铬层的厚度有一定的限定,尤其是受力的重要结构件,应特别注意。硬铬镀层最好保持在 0.15 mm 以内,并包括磨加工余量。

#### 5 镀后加工

##### 5.1 磨削

有些工件镀硬铬后因为精度的要求还要进行磨削加工。当磨削加工时出现了镀层剥落现象,这时需要调整磨削的速度不要太高、过刀量不要太大。要加强磨削区域的冷却,避免产生因局部温度过高而引起镀铬层结合力下降<sup>[11-12]</sup>。

一般镀铬层的磨削条件为<sup>[11]</sup>:一往返行程横向进给量 0.002~0.005 mm/台面,每转工件纵向进给量 2~5 mm/min,磨轮圆周速度 30~50 m/s,工件圆周速度不少于 5~25 m/min,冷却液量 20~30 L/min。此条件磨削的铬层硬度变化量为 2%~5%,对镀层结合力的影响可忽略不计。

##### 5.2 热处理

镀硬铬后的热处理主要是为了除去电镀过程中吸附在硬铬镀层及钢件中的氢气。这是因为大部分电流消耗在氢的析出上,而氢在析出时,很容易扩散到硬铬层和基体金属中去,这会使工件镀层表面脆

性增加、疲劳强度降低。材料强度越大,其氢脆敏感性越大。因此规定 HRC 大于 40 以上的高强度钢材,在电镀硬铬后 4 h 内进行除氢处理。具体热处理操作要根据钢的最大抗拉强度来确定除氢的温度和时间,见表 3。

表 3 电镀铬层钢件热处理

Fig.3 Heat treatment of chromium plated steel parts

钢的最大抗拉强度 $R_m$ /MPa	除氢处理要求
$R_m \leq 1050$	无要求
$1050 < R_m \leq 1450$	190~220 °C, 至少 2 h
$1450 < R_m \leq 1800$	190~220 °C, 至少 6 h
$R_m > 1800$	190~220 °C, 至少 18 h

#### 6 结语

通过分析影响电镀硬铬镀层与基体金属的结合力的因素,找到了提高镀层结合力的有效方法。在电镀硬铬生产过程中,有较多质量问题是没有按照操作工艺执行才出现问题的。因此有必要将镀硬铬的整个过程纳入质量控制体系中,并结合必要的设备、仪器加强管理与监督,以保证工艺的严格执行。

(1) 制定工艺流程时要充分考虑工件的材料牌号、热处理情况以及材料应力、磁性等因素。

(2) 保证入槽时工件表面的清洁度等表面状态符合要求。

(3) 按工件的材料牌号、几何形状的复杂程度、硬铬镀层要求的厚度来确定镀硬铬操作工艺(预热、阳极处理、阶梯式给电、大电流冲击)。

(4) 加强镀硬铬液的维护与管理。镀液的杂质要控制在工艺范围之内,尽量将因杂质过高而影响结合力的问题消除在萌芽状态中。

(5) 根据钢材的抗拉强度做好镀硬铬后的除氢工艺。

#### 参考文献

- [1] 胡如南, 陈松祺. 实用镀铬技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 2005.
- [2] 郭敏智, 谢焕钧, 李立群. 镀前处理对 GH4169 电镀铬的影响[J]. 电镀与精饰, 2022, 44(6): 7-10.
- [3] 郑瑞庭. 电镀实践 1000 例[M]. 北京: 化学工业出版社, 2011.



- 
- [4] 曾华樑. 电镀技术问题对策[M]. 北京: 机械工业出版社, 2007.
- [5] 王宗雄, 储荣邦. 镀硬铬老化液的再生回用[J]. 表面工程与再制造, 2020, 20(6): 27-28.
- [6] 胡剑锋, 尹中秋, 毛喆, 等. 电镀硬铬槽液的质量控制要求[J]. 材料保护, 2022, 55(2): 195-198.
- [7] 王芳层. 基于螺杆钻具转子镀铬工艺的研究与应用[J]. 黑龙江科学, 2022, 13(12): 41-43.
- [8] 刘伟, 高光辉. 内孔镀硬铬常见故障探究[J]. 内燃机与配件, 2018, 1: 172-174.
- [9] 王明娣. 45 钢镀铬活塞杆盐雾腐蚀缺陷分析及对策[J]. 福建冶金, 2019, 48(6): 33-37.
- [10] 赵金航, 李博. 一种超高强度钢镀硬铬新工艺研究[J]. 电镀与精饰, 2022, 44(4): 16-19.
- [11] 胡瑞华. 几何因素影响镀硬铬层均匀性的分析[J]. 电镀与涂饰, 2017, 36(13): 711-714.
- [12] 米海洛夫. 机械加工后铬镀层机械性能的变化[M]. 北京: 机械工业出版社, 1960.