



磁盘法净化转炉炼钢除尘废水

游 敬 熙

(首钢炼钢厂转炉废水净化小组)

摘 要

磁盘法是连续净化含铁磁性氧化物废水的新方法。本文是在首钢转炉废水净化小组磁处理研究和桂林钢厂应用磁盘法净化转炉废水的生产实践基础上, 阐明磁盘法净化废水的物理基础; 磁盘机的磁系设计; 磁盘法的净化工艺及其处理效果。

一、磁盘法净化的物理基础

氧气转炉除尘废水含铁磁性氧化物, 铁磁性粒子在磁场中, 总有降低它的自由磁极能的趋势。这种趋势使粒子发生磁聚和磁吸现象。趋势的大小, 和许多因素有关: 泥渣磁

性-磁感应强度、矫顽力、比磁化系数; 磁场强度和磁场梯度; 污水温度、pH 值和紊流度。

转炉泥渣的磁性, 首先取决于它的化学组成和其中铁氧化物的物质结构。根据首钢中心试验室分析, 三类典型的转炉泥渣的化学组成见表 1。

表 1 转炉泥渣的化学组成

类 型 \ 化学组成	TFe	ΣFe_xO_y	CaO	SiO ₂	MgO	C	Al ₂ O ₃	MnO	S	P
燃烧法(首钢炼钢厂)	64.81	92.21	3.00	1.20	0.43	0.17	0.48	0.75	0.10	0.04
半燃法(首钢试验厂)	62.73	72.96	4.70	1.20	0.79	0.77	0.52	0.65	0.16	0.03
未燃法(上钢一厂)	56.88	73.56	10.60	3.54	0.58	1.85	0.77	0.86	0.19	0.12

为判明泥渣中铁氧化物的结构, 我们进行了泥渣的 x 衍射分析。燃烧法红泥主要成分为 $\gamma-Fe_2O_3$ 和 Fe_3O_4 , 其次是 $CaFeSiO_4$, 还有少量 $4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$ 等; 未燃法黑泥主要成分为 Fe_3O_4 和 $\gamma-Fe_2O_3$ 以及少许 $CaFeSiO_4$ 等。无论 $\gamma-Fe_2O_3$ 还是 Fe_3O_4 均属强磁性物质。

比磁化系数 χ 是表示微泥渣磁性的主要指标, 它表示粒子在外磁场中被磁化的难易程度。当磁场特性一定时, χ 随粒子粒径的减小而降低, 然其矫顽力增大。随泥渣铁磁组分的增加, χ 增大^[1]。当场强变化时, 研究

χ 的变化规律对于经济、科学地设计磁处理设备具有一定的意义。

曲线(见图 1)表明, 转炉泥渣具有高的磁性, 可以在较低的磁场强度(130—500)下获得较大的比磁化系数 χ 。

沉降观察(见图 2)和数据分析指出:

- (1) 加磁沉降比自然沉降快 8—15 倍。场强越高, 沉速越快。
- (2) 加磁沉降时, 烧杯底部泥层密实, 自然沉降泥层较松。
- (3) 预磁沉降比自然沉降快 4—5 倍。

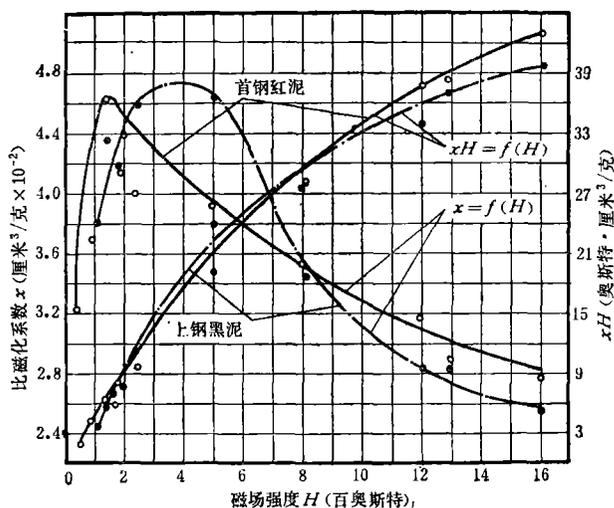


图1 转炉泥渣的磁化曲线

表2 低磁场强度下处理转炉废水效果

转炉废水原始悬浮物含量(ppm)		2000	2000	2000	2000	2000	2000	
取样时间(分)	2	剩余悬浮物 (ppm)	900	220	220	145	140	520
	9	剩余悬浮物 (ppm)	425	130	95	65	70	96
	14	剩余悬浮物 (ppm)	250	85	60	63	45	92
	19	剩余悬浮物 (ppm)	210	75	55	50	—	75
	31	剩余悬浮物 (ppm)	165	40	45	42	30	67
沉降性质		自然沉降	加磁沉降	加磁沉降	加磁沉降	加磁沉降	加磁沉降	预磁沉降
磁场强度(奥斯特)		0	660	950	1050	1150	(1150)	

(4) 在加磁和预磁沉降过程中, 均可清楚地看到粒子的磁聚现象。磁聚体呈链状。

图3是在岩相显微镜视场中观察到的转炉污水预磁前后的粒子变化情况。

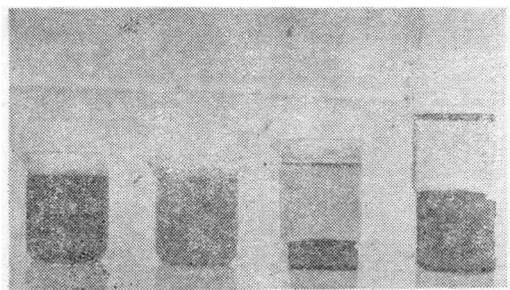
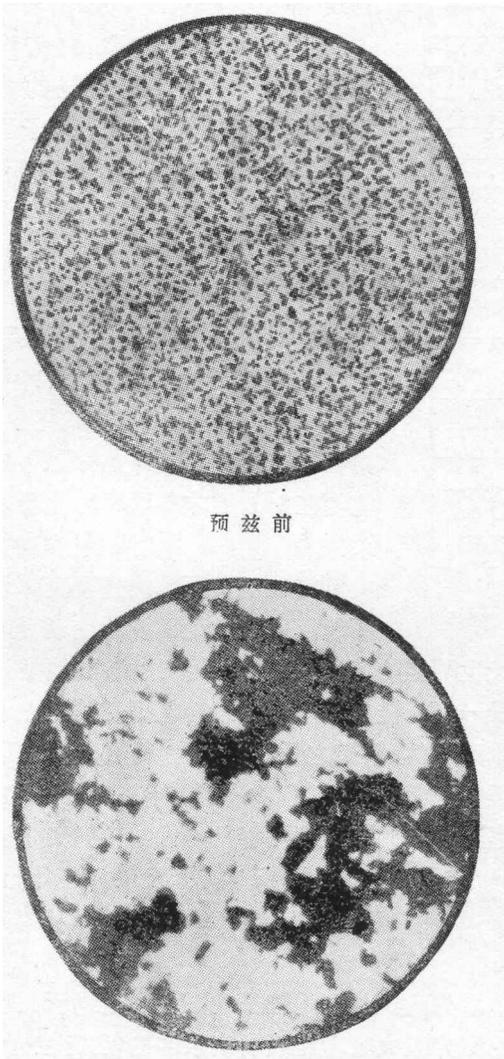


图2 自然沉降、预磁沉降和加磁沉降的对比

这些简单而清晰的物理现象, 就是我们提出预磁、磁滤以及磁盘法处理转炉废水的基本实验依据。

现在我们就磁场对铁磁性粒子的作用作一初步的分析。在均匀磁场中, 磁场梯度 $\frac{dH}{dX}$ (或 $\text{Grad } H$) = 0, 粒子只受转矩作用而取向于磁场。被磁化了的粒子, 在磁场中或在离开磁场后, 由于剩磁的存在均要产生磁聚现象而变为较大的磁聚粒子。废水预磁处理后沉速加快的原因盖出于此。预磁沉降效果和磁场强度的关系如图4。

但是, 在非均匀磁场中, 磁场对粒子的作用就不尽相同了。除磁场使粒子取向之外,



预磁前

预磁后

图3 预磁前和预磁后首钢炼钢厂转炉废水粒子粒度变化情况(放大倍数1200)

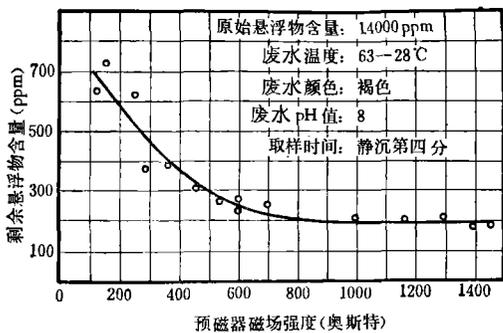


图4 预磁效果和预磁器场强的关系

由于磁场梯度 $\frac{dH}{dX} \approx 0$, 因此粒子还要受磁力的引吸作用而向磁场不均匀性高的方向移动. 作用在粒子上的磁力 $F_{\text{磁}}$

$$F_{\text{磁}} = \frac{\pi d^3 \delta}{6} \chi H \text{ Grad } H$$

式中 d ——假定粒子为球形, d 为其直径 (厘米)

δ ——粒子的密度(克/厘米³)

χ ——比磁化系数(厘米³/克)

H ——粒子所在位置的磁场强度(奥斯特)

$\text{Grad } H$ ——粒子所在位置的磁场梯度 (奥斯特/厘米)

显然这个磁力的大小受粒径 d 、比磁化系数 χ 、磁场强度 H 及其梯度 $\text{Grad } H$ 四者的影响. 后三者对磁力的影响将在磁系设计中讨论, 这里着重研究粒径 d 和磁力 $F_{\text{磁}}$ 的关系. 由上式可知, $F_{\text{磁}}$ 和 d^3 成正比, d 稍有增大, $F_{\text{磁}}$ 将显著增加. 然而转炉废水中悬浮粒子甚小, 燃烧法转炉废水粒子大多在一微米左右, 而未燃法粒子也不过数十微米而已^[2]. 非但如此, 转炉废水中还存在相当部分顺磁性和抗磁性粒子, 如钙、硅、镁、锰的氧化物和碳等. 因此, 要强化磁盘法的净化过程就必须增大悬浮物粒径; 以及使磁性和非磁性粒子凝聚或絮凝.

从粒子在水中运动的动力学来看, 粒子在磁场中除受 $F_{\text{磁}}$ 的作用外, 还要受到来自粒子运动方向上水的阻力 $F_{\text{阻}}$ 的影响.

$$F_{\text{阻}} = \frac{18\mu v}{d\delta}$$

式中 μ ——水的粘度(泊)

v ——粒子在磁力作用方向上的运动速度(厘米/秒)

可见, 粒径的增大可一举兼收增大 $F_{\text{磁}}$, 减小 $F_{\text{阻}}$ 的双重效果.

为此我们对高分子絮凝剂聚丙烯酰胺的絮凝效果作了四因子五水平的正交试验, 找到了加碱比、水解浓度、水解时间和投药量之

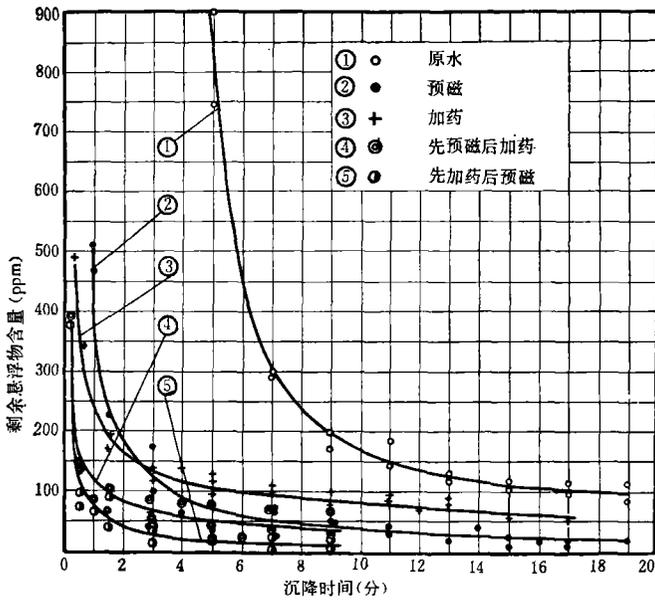


图5 转炉废水沉降曲线

间的最佳关系。药剂絮凝的优点是絮凝时间短、絮凝体尺寸大。但对转炉废水中极细微粒絮凝效果差(视pH值而异)。而预磁器的使用则可补其偏弊。因而我们又进行了加药—预磁的联合处理试验。预磁场强为800奥斯特,投药量为4ppm,试验结果见图5,试验情况见图6照片。

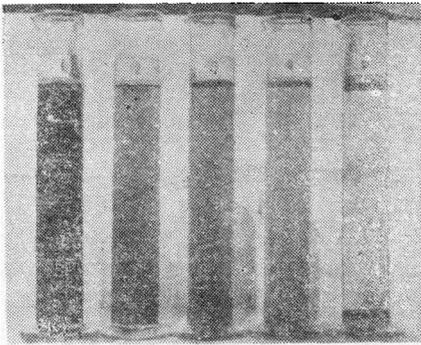


图6 四种方法处理转炉废水的静沉效果比较

量筒 1*——原水; 2*——预磁; 3*——加药;
4*——先预磁后加药; 5*——先加药后预磁。

试验指出,先加药后预磁效果最好,先预磁后加药稍次,预磁和加药较差,原水最差。所以在磁盘前级处理中,最后确定了先加药后预磁的工艺,使磁盘法的净化效率大为提

高。

此外,废水温度和pH值对磁盘法净化效果也有明显的影响。水温升高,粘度降低,粒子运动阻力减小,有利于磁聚、磁吸。这已被我们实验室的研究工作和桂钢磁盘法净化转炉炼钢废水试验的实践所证明。

pH值的调整,可使粒子表面电位降低,粒子间斥力减小,有利于凝聚和絮凝^[3]。根据我们将pH值从3调至14的试验来看,pH值要在9以上才有明显的助凝效果。

实验还发现,加药絮凝体经不起稍强的搅动,搅动使絮凝体产生明显的解聚现象。聚丙烯酰胺的线型分子一经断链,就不再重聚。但预磁后的磁聚体则不然,解聚之后它仍能在剩磁作用之下重新磁聚。我们曾以300转/分的转速在500毫升的量筒中连续搅拌预磁后的转炉废水达6小时之久,再次静沉时并未发现沉速降低。

二、磁盘机的磁系设计

磁盘机是利用粒子的磁性,借助于磁盘的磁力最大限度地吸引废水中的絮凝粒子。因此,它的磁系设计的中心思想是以追求较大的磁场强度、较高的磁场梯度和较远的磁力作用深度为目标,以期获得较强的捕捉粒子的能力。

在磁块排列问题上,我们采用极性交错的多极磁系,以保证较高的磁场梯度。

在极距(或极隙)问题上,我们不主张采用大极距磁系。虽然极距的调整可以改变磁场磁力的有效作用深度^[4],但从磁盘比磁通量的观点和加工角度来看,级隙不宜太大。而且极隙的增大对极面中心上方的场强影响不大,只对极隙上方的场强有显著的影响。因此我们认为对于直径大于1.5米的磁盘,

可采用极宽或极隙之比为3—4的磁系。对于小直径磁盘采用密排磁极是可以的。

在磁盘极表场强的确定上,可根据图1的 $\chi H = f(H)$ 曲线,在可供选择的场强范围内,应使 χH 有较大的值。增加磁擦高度,故然可使磁能积增大,但当磁擦高度超过50毫米(约为三个磁块的厚度)以后,场强所增无几,这是因为沿擦高磁阻增大的缘故。因此,我们认为磁擦磁块数以1—2层为好,最多也不要过3。

在磁盘盘间距 S 的计算上,我们首先对磁擦的有效作用深度进行了研究。研究指出,单层磁块的作用深度为25毫米左右,双层为35—40毫米,三层四层也不过45—50毫米。在模拟试验和桂钢磁盘机长期运转的基础上,我们从磁力作用的有效深度的理论分析中,推导出下列公式,仅供密排磁极的磁系计算磁盘盘间距之用。

$$S = 5 \ln H_{\Phi_0} - 26.9$$

式中 S ——盘间距(厘米)

H_{Φ_0} ——磁擦极面中心场强(奥斯特)

计算指出,单层磁块(中心场强约为660奥)时, S 为50毫米;二层(950奥), S 为72毫米;三层(1050奥), S 为78毫米;四层(1150奥), S 为83毫米;五层(1250奥), S 为89毫米。由此可见,采用大间距是不合理的。所以不合理,是因为不能最经济有效地利用磁块来提高磁盘机的单盘处理能力,又使得整机重量增加,还给刮泥带来困难。所以我们认为直径小于1.5米的磁盘宜用小间距,而

直径在1.5米以上的磁盘可采用较大的盘间距。

在盘径问题上,增大盘径是提高单盘处理能力的最有效的措施。磁盘机和选矿磁选机相比,如外形尺寸相当,前者比后者的选分面积大6—12倍。盘径越大,此值越高。下面我们从铁磁性粒子在磁盘磁场中运动的动力学角度来分析单盘处理污水量 q 、磁盘半径 R 、盘间距 S 之间的关系:

1. 粒子通过磁盘所需要的时间 t_1

$$t_1 = \frac{1.68R^2 \times S}{q}$$

2. 粒子从 $0.5S$ 处,在磁力作用下达到磁盘盘面所需要的时间 t_2

$$t_2 = \sqrt{\frac{Sm}{F_{\Phi} - F_{\text{阻}}}}$$

式中 m ——粒子质量。

3. 设 $t_1 = t_2$,则

$$\frac{q}{R^2 \sqrt{S}} = \sqrt{\frac{2.82(F_{\Phi} - F_{\text{阻}})}{m}}$$

令

$$K = \sqrt{\frac{2.82(F_{\Phi} - F_{\text{阻}})}{m}}$$

当磁场特性、粒子性状及大小一定、废水对粒子的阻力不变时, K 为常数。故

$$\frac{q}{R^2 \sqrt{S}} = K = \text{Const.}$$

根据长期试验的结果,确定保守 K 值为170(K 值和泥渣磁性、废水温度、pH值有关)。

表3中列出 q , R , S 和 K 的计算结果:

表3 q , R , S 和 K 的计算

盘间距 S (米)	0.05					0.08				
	保守比例常数 K									
保守比例常数 K	170									
单盘处理能力 q (吨/时)	10	20	30	40	50	10	20	30	40	50
盘径 D (米)	1.26	1.50	1.80	2.05	2.30	0.92	1.30	1.60	1.85	2.06
一机10盘处理能力(吨/时)	100	200	300	400	500	100	200	300	400	500

磁盘机的转速问题,因其盘面磁场强度较低,如磁盘转速过高,线速度过大,势必使吸在盘面上的泥渣在离心力、水的界面张力和相对运动中水的冲刷力的作用下脱吸,结果不仅降低了磁盘的净化效率,而且也提高了泥浆的含水率。盘径越大,这种情形就越加重。在试验过程中,我们曾多次调整了磁盘转速。从每分钟 22 转降至每分钟 2 转以下,使净化效率从最初的 90% 左右提高到 99% 以上,泥浆含水率从 90% 降至 75% 左右。

三、磁盘法的工艺流程及其净化效果

磁盘法是以磁盘机为其主体设备,包括加药、预磁二个前级处理工序而建立起来的。其流程如图 7 所示。

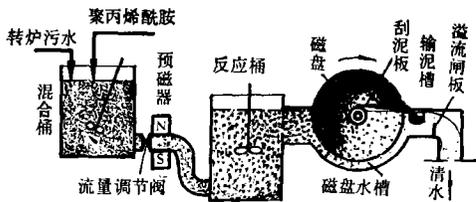


图 7 磁盘法流程示意图

转炉废水首先进入加药混合桶,在此加入千分之一浓度水解后的聚丙烯酰胺 2—5ppm (视废水悬浮含量而定)。经搅拌或强烈紊流混合后,通过废水流量控制阀进入预磁器,在此以 1.5 米/秒的速度穿过场强为 1750 奥(可更低)的磁场,预磁时间 0.06 秒。预磁后的废水流入反应桶,在此充分絮凝和磁聚。为防止在桶底积泥,桶上设有低速搅拌装置。反应桶内的废水经搅拌后徐徐流往一机四盘、盘径 800 毫米的磁盘机。至此,废水历时 1.34 分。在磁盘水槽中,形如蝌蚪的药磁絮凝体竞相为磁盘所吸引。废水在磁盘机中的平均流速 W_{π}

$$W_{\pi} = \frac{\pi \cdot q}{3 \times 3600RS \int_{\frac{1}{6}\pi}^{\frac{1}{2}\pi} \sin \theta d\theta} = 0.167 \text{ 米/秒}$$

式中 θ ——对应于弦高(2倍水深)的半圆心角

$$\text{废水在槽中的停留时间 } t_{1\pi} = \frac{D}{W_{\pi}} = 5 \text{ 秒。}$$

吸在盘面的泥渣随逆流缓转的磁盘转出水面,在重新进入水中之前,盘上的泥渣为感应刮泥板刮至输泥槽而排走。为磁盘净化后的清水则沿磁盘水槽经溢流闸板、清水槽排至清水池可供转炉除尘循环使用。

磁盘法处理转炉废水的流程实照见图 8。

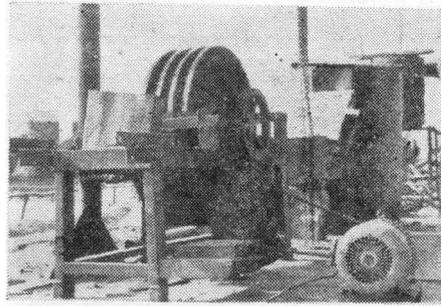


图 8 磁盘法处理流程实照

磁盘法处理转炉废水在首钢试验成功之后,又在桂钢进行了长期的工业性试验。从将近四百炉的运转情况来看,磁盘法性能稳定,效果良好。当进水悬浮物含量波动在 4000—20000 ppm 的情况下,磁盘机出水悬浮物含量均在 150 ppm 以下,平均不超过 80 ppm,净化效率波动在 97.8—99.5% 之间。

四、磁盘法净化钢铁废水的意义

1. 磁盘法的适用范围:

对于冶金工业的钢铁废水,如各种炼钢废水(包括平炉、电炉、转炉的除尘废水)、轧钢废水、烧结和炼铁废水的处理,采用磁盘法是有前途的。如在某些废水中投加第一或第二介质(如铁粉之类的磁性物质),本法的适应范围将扩大,不仅可用于不含铁磁质的某些无机废水的处理,甚至可用于某些活性污泥的处理^[5,6,7]。

(下转第 31 页)

表 1 理论浓度与实验平均浓度比较

进水量 (斤/ 缸体)	第一槽		第二槽		第三槽	
	理论浓度*(克/升)	平均浓度(克/升)	理论浓度*(毫克/升)	平均浓度(毫克/升)	理论浓度*(毫克/升)	平均浓度(毫克/升)
1.2	1.12	0.98	9.36	20	0.0787	3.9
0.4	3.32	3.45	82.9	157	2.08	8.6
0.2	6.48	6.09	324	402	16.2	33.5

* 计算理论浓度时, θ 值以 10 毫升/缸体计。

按照我们测得的蒸发量,在保守的情况下,用两槽连续式逆流漂洗,可以达到工厂认为“洗净”的程度。第 2 槽浓度在 13.8 毫克/升到 22.1 毫克/升之间波动。若再减少一些水量,只要增加一级或两级漂洗槽,也能“洗净”。这样,将来车间日常生产,设计三级逆流漂洗应能形成自然封闭系统。

三、结 论

(上接第 18 页)

2. 磁盘法的处理能力大

上述这台小型磁盘机,在首钢试验时,处理能力为 40 吨/时,处理效果同桂钢。而桂钢由于采用半干半湿的转炉除尘系统,最大废水量仅为 20 吨/时左右。如以处理能力 40 吨/时计,单盘负荷已达 10 吨/时。如果采用直径为 2 米的 10 盘机组,每小时处理废水量可达 400—500 吨。

3. 磁盘法处理效果好

磁盘法不用沉淀池而能获得沉淀池难以达到的处理效果(150 ppm 以下)。小型磁盘机每小时处理 40 吨废水时,废水通过整个流程不足 2 分钟,废水在磁盘机内的停留时间仅数秒。然而在这短促的几秒钟内,可将含悬浮物数千 ppm 的废水净化到 150 ppm 以下。

4. 磁盘法占地面积小

桂钢磁盘法整个处理流程净占地面积不足 5 平方米。磁盘机处理能力越大,相对占地面积更小。如处理水量为 500 吨/时的磁盘机,其宽度不足 2 米,长度不超过 3 米,加

采用逆流漂洗法治理电镀废水,除补充纯水外,不需任何化学药品,也不需要专人管理。对长时间镀硬铬的车间,是行之有效的办法。若用于装饰性镀铬,也可减少废水量,从而减轻后面的处理工作。

此法用于北京市小型动力机械厂,由于汽缸几何形状复杂,漂洗理论值和实验值相差较大。因此,设计漂洗工艺时,重点应放在如何使汽缸镀件在每一槽中洗净。

由于镀汽缸温度高,时间长,因而蒸发量大,所以可用三级逆流漂洗形成自然封闭系统,成为无排放系统。

参 考 资 料

- [1] Kushner, J. B., Metal Finishing 69 (7) 36, (8) 54, (1971).
- [2] 加藤进金属表面技术(日), 27 (2), 70 (1976).
- [3] 斎藤圈,中村实,金属表面技术(日) 27, 403(1976).

上加药、预磁、反应桶的占地面积,也不过 20 平方米左右。磁盘法的优点,对于我国大力发展钢铁工业,对于老企业的挖潜、革新、改造以及新的钢铁基地的建设都有参考价值。

5. 磁盘法设备简单、运行可靠、维护方便
磁盘法除了一个缓慢转动(0.5—2 转/分)的磁盘传动装置和反应桶上的搅拌器之外,没有其它传动设备。排泥也是通过转动盘面和感应刮泥板之间的相对运动自动地连续进行的。只有刮泥板需要定期地更换。其他不需要专门的维护。

主要参考资料

- [1] Хабаров О. С, Очистка стоиных вод в металлургии, 26 (1976).
- [2] 钢铁工业中大气和水质污染(冶金工业出版社), 85 (1977).
- [3] Peck D. F., Iron and Steel Engineer, 46, 83 (1969).
- [4] 东北工学院选矿教研室编,《电磁选矿》冶金工业出版社, 91 页(1977).
- [5] Iron and Steel Engineer, 51 (8), 80 (1974).
- [6] Water Services, 80 637 (1976).
- [7] 濱野 治等,公害对策と技术开发, 7, 51 (1976).