

## 精铟的化学清洗提纯

于丽敏, 蒋文全, 孙海峰, 傅钟臻, 夏雯, 刘红, 孙泽明

(北京有色金属研究总院 分析测试中心, 北京 100088)

**摘要:** 研究精铟的化学清洗提纯过程, 提出甘油碘化钾熔炼及甘油氯化铵熔炼相联合进行化学提纯的方法。研究表明: 该方法可将镉、铊等杂质含量降低到  $10^{-6}$  以下, 并可直接得到表面光亮平整无杂色的铟电极, 化学清洗提纯工艺简单易操作; 甘油碘化钾熔炼提纯的最佳实验条件是质量比控制在  $m(\text{KI}):m(\text{In}) \geq 0.01$ ,  $m(\text{glycerin}):m(\text{In}) \geq 0.3$ , 搅拌时间控制在 1 h; 甘油氯化铵处理时氯化铵的用量应控制在  $m(\text{NH}_4\text{Cl}):m(\text{glycerin})=0.15$ 。

**关键词:** 精铟; 化学清洗; 甘油; 碘化钾; 氯化铵

中图分类号: TF 114.1

文献标识码: A

## Chemical purifying process of refined indium

YU Li-min, JIANG Wen-quan, SUN Hai-feng, FU Zhong-zhen, XIA Wen, LIU Hong, SUN Ze-ming

(Analysis and Measurements Research Center, General Research Institute for Non-ferrous Metals, Beijing 100088, China)

**Abstract:** The chemical purifying process of refined indium was studied. In order to remove impurities Cd and Tl effectively, glycerin-KI and glycerin-NH<sub>4</sub>Cl were used simultaneously to purify indium. The results show that through this method the contents of impurities Cd and Tl in indium can be reduced to less than  $10^{-6}$ , thus refined indium anode with smooth and bright surface can be gained directly and easily. The best experimental conditions of glycerin-KI are  $m(\text{KI}):m(\text{In}) \geq 0.01$ ,  $m(\text{glycerin}):m(\text{In}) \geq 0.3$ , and the stirring time should be controlled within 1 h. The ammonium chloride concentration should be controlled within  $m(\text{NH}_4\text{Cl}):m(\text{glycerin})=0.15$ .

**Key words:** refined indium; chemical purifying process; glycerin; potassium iodide; ammonium chloride

半导体及薄膜太阳能电池等材料对金属铟的纯度要求很高, 一般须达到 99.999% 以上, 甚至达到 99.999 9%<sup>[1-3]</sup>。目前我国生产的精铟纯度大部分为 99.99%, 因此, 高纯铟的研制和开发是一个急需解决的问题。高纯铟的制备方法主要有氯化物法、电解精炼法、真空蒸馏法和区域熔炼法等<sup>[4-7]</sup>。电解法是将 99.99% 精铟制备成 99.999% 以上高纯铟最常用的主要方法<sup>[8-9]</sup>, 该方法对去除标准电位与铟标准电位差别大的杂质元素非常有效, 但不能去除镉(-0.403 V)及铊(-0.335 V)等与铟(-0.343 V)标准电位非常接近的杂质

元素。因此, 在电解除杂之前必须首先去除镉和铊等杂质, 这就需要化学清洗提纯。

化学清洗除去铟中的镉和铊等杂质, 一般采用直接碱熔法、氯化法、氯化锌与氯化铵法、甘油碘化钾法等<sup>[10-13]</sup>。直接碱熔法是在强碱覆盖下进行铟熔炼, 并添加氰化钠, 该法主要去除锌、铝等能够溶于强碱的各杂质, 镉和铊等的除杂效果不理想, 且需使用大量剧毒物质; 氯化法是以氯气通入熔融的铟甘油溶液中, 主要用于除铊, 由于氯气有毒, 且需要控制氯化压力及氯气流量等条件, 现已很少使用; 氯化锌与氯

基金项目: 国家科技支撑计划资助项目(2006BAF07B02)

收稿日期: 2008-09-09; 修订日期: 2008-12-18

通讯作者: 蒋文全, 教授; 电话: 010-82241235; E-mail: jiangwenquan@grinm.com

化铵法是在钢熔融体中加入氯化锌和氯化铵, 钢逐渐溶解生成低价氯化物, 再通过歧化反应回收钢, 该方法工艺流程长, 收率低, 钢损失量大; 甘油碘化钾法是将钢熔融在含碘化钾的甘油溶液中, 并在熔融过程中加碘, 该法是目前提纯工艺中常用方法, 能除掉大量的镉, 但只能除掉部分铊, 且处理完后, 由于钢表面有紫色渣滓及斑痕, 还需再次用甘油熔炼清洗钢表面。本文作者对钢的化学清洗提纯进行深入研究, 采用甘油碘化钾及甘油氯化铵联合方法, 该方法可将铊等杂质含量降低到  $10^{-6}$  以下, 已达到 6N 高纯钢的要求, 并直接得到表面光亮无杂色的钢电极。

## 1 实验

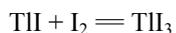
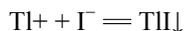
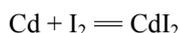
### 1.1 实验试剂

主要实验试剂如下: 甘油丙三醇(分析纯)、碘化钾(分析纯)、碘(分析纯)、氯化铵(优级纯)、盐酸(MOS级)和硝酸(优级纯)。

### 1.2 实验原理

#### 1.2.1 甘油碘化钾除镉和铊的原理

甘油碘化钾除镉、铊的原理如下: 在碘化钾的甘油溶液中碘化钾与镉生成  $K_2CdI_4$  络合物, 与铊生成难溶的化合物, 达到完全除 Cd 和部分除 Tl 的目的。其主要反应式如下:



#### 1.2.2 甘油氯化铵除杂原理

甘油氯化铵除杂的原理如下: 利用熔炼时各元素与氯的亲合力不同, 对氯的亲合力比钢大的一些元素杂质, 都将转移到甘油溶液里。InCl 和 TlCl 的性质如表 1 所列。

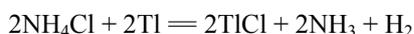
表 1 InCl 与 TlCl 的性质比较

Table 1 Comparison of properties between InCl and TlCl

Compound	$E/$ (kJ·mol <sup>-1</sup> )	$\Delta H^{1)}/$ (kJ·mol <sup>-1</sup> )	$\Delta G/$ (kJ·mol <sup>-1</sup> )
InCl	428.4	-186.2	-170.5
TlCl	711.7	-204.1	-184.9

1)  $t=25\text{ }^\circ\text{C}$ , solid.

从表 1 可以看出, In-Cl 的离解能低于 Tl-Cl 的离解能, 而生成焓和生成自由能比 TlCl 要大, 因而在氯化熔炼过程中, 铊等会优先氯化而被除去。其反应式如下:



### 1.3 实验方法

#### 1.3.1 甘油碘化钾的实验操作方法

将金属钢置于盛有甘油和碘化钾的石墨容器中加热, 钢熔化后在搅拌状态下分批加入碘, 直到熔液变成玫瑰红色且保持不变为止。加热温度控制在  $200\text{ }^\circ\text{C}$  以内。反应结束后, 冷凝, 进行热去离子水洗涤—稀盐酸浸洗—去离子水清洗—真空干燥—称量—测试。

#### 1.3.2 甘油氯化铵法的实验操作方法

将金属钢置于盛有甘油和氯化铵的石墨容器中加热, 钢熔化后搅拌 0.5 h。加热温度控制在  $200\text{ }^\circ\text{C}$  以内。反应结束等钢冷凝后, 进行热去离子水洗涤—稀盐酸浸洗—去离子水清洗—真空干燥—称量—测试。

### 1.4 分析方法

称取 0.100 0 g 试样, 置于 20 mL 烧杯中, 加入 2 mL 硝酸(优级纯)盖上表面皿, 于电炉上加热,  $80\text{ }^\circ\text{C}$  左右进行溶解, 样品完全溶解后继续挥发溶液至小体积, 用去离子水转移至 100 mL 容量瓶中, 加入 0.1 mL  $10\text{ }\mu\text{g/mL}$  铊作为内标, 用水定容, 摇匀, 用电感耦合等离子体质谱(ICP-MS)测试。

## 2 结果与讨论

### 2.1 甘油碘化钾处理效果的影响因素

碘化物法是在熔融过程中, 对碘的亲合力比钢更强的金属杂质, 如镉和铊等将会转移到甘油溶液中去。该部分主要考虑了碘化钾量、甘油量及搅拌时间的影响。

#### 2.1.1 碘化钾量的影响

往等量的甘油中加入不同量的碘化钾, 并将金属钢同时加入石墨容器中加热, 搅拌过程中加入碘, 碘的加入量以甘油颜色变化来确定, 与碘化钾量基本相近。实验结果如表 2 所列。

由上述实验结果可以看出, 甘油碘化钾法对杂质元素 Zn、Fe、Ag、Al、Cu、Cd、Tl 等清除效果最明

表 2 KI 用量对 In 提纯的影响

Table 2 Effect of mass fraction of KI on purification of indium

$m(\text{KI}):m(\text{In})$	Mass fraction of impurity in indium/ $10^{-6}$							
	Cd	Tl	Fe	Cr	Zn	Mn	Ag	Mg
0	5	8	5	<1	10	<1	11	<1
0.001	2	4	1	<1	<1	<1	<1	<1
0.005	1	3	1	<1	<1	<1	<1	<1
0.010	<1	2	1	<1	<1	<1	<1	<1
0.060	<1	2	1	<1	<1	<1	<1	<1

$m(\text{KI}):m(\text{In})$	Mass fraction of impurity in indium/ $10^{-6}$							
	Al	Sn	Pb	Ni	Co	Hg	Cu	Bi
0	5	37	37	<1	<1	1	2	<1
0.001	<1	15	6	<1	<1	1	<1	<1
0.005	<1	15	6	<1	<1	<1	<1	<1
0.010	<1	15	6	<1	<1	<1	<1	<1
0.060	<1	9	6	<1	<1	<1	<1	<1

显, 而 Zn、Fe、Ag、Al 和 Cu 杂质的清除效果与碘化钾的量基本没有关系, 在  $m(\text{KI}):m(\text{In})=0.001$  时效果已非常明显, 这是因为 Zn、Fe、Ag、Al 和 Cu 杂质的清除原理主要是甘油重新熔炼时这些杂质以物理方式溶解在甘油层中, 与碘化钾的加入量无关, 这与文献[10]报道的将熔融态的金属钢置于甘油层的覆盖之下令其结晶的方法即可有效清除 Zn、Fe 和 Al 等杂质相一致。而 Cd 和 Tl 等杂质的清除原理主要是镉、铊等与碘化钾及碘的化学反应所致, 镉主要是与碘化钾和碘生成可溶于甘油的  $\text{K}_2\text{CdI}_4$  配合物, 铊是先与碘化钾生成难熔的  $\text{TlI}$ , 在甘油中  $\text{TlI}$  和碘受热形成可溶于甘油的  $\text{TlI}_3$ , 因而其清除效果与碘化钾和碘的量密切相关。实验结果表明, 随着碘化钾量的增加, 镉和铊等杂质的清除效果变好, 当  $m(\text{KI}):m(\text{In}) \geq 0.01$  时, 镉和铊的清除效果基本稳定, 因此, 碘化钾的用量应控制在  $m(\text{KI}):m(\text{In}) \geq 0.01$ 。

此外, 实验还发现, 精钢经甘油碘化钾处理后, 钢表面常伴有紫色渣滓及斑痕, 这可能是因为随着钢逐渐溶解, 钢中杂质及少量钢与碘反应, 生成低价的碘化物, 将熔渣染成紫色。甘油碘化钾处理后的钢一般不能直接熔铸成电极, 而是需要重新用甘油清洗熔铸, 以保证钢表面光亮平整无杂色。

2.1.2 甘油用量的影响

实验中考察了甘油用量对镉去除率的影响, 结果如图 1 和 2 所示。

由图 1 和 2 可知, 除镉率与除铊率均随着甘油量的增加而增加, 因为甘油主要用作熔剂, 甘油用量越

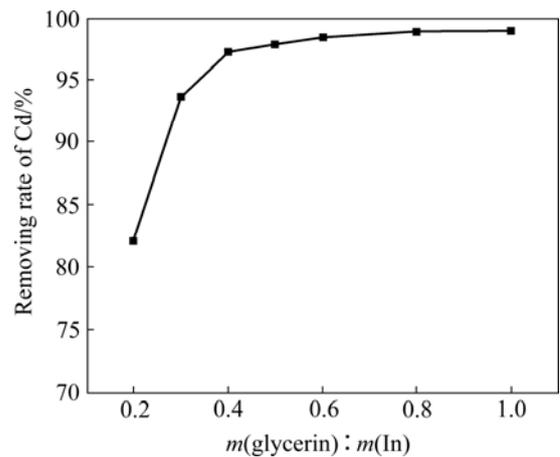


图 1 甘油用量对镉处理效果的影响

Fig.1 Effect of mass fraction of glycerin on removing rate of Cd

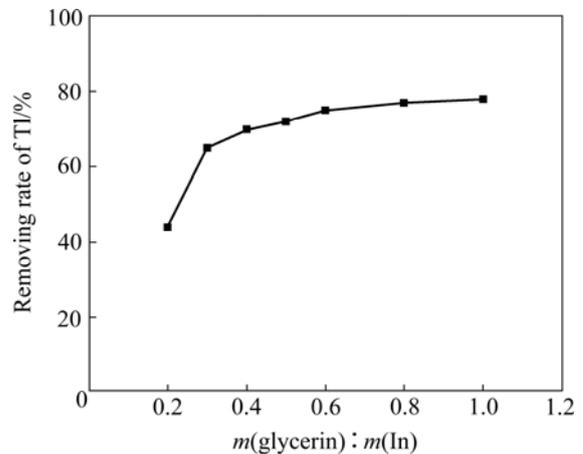


图 2 甘油用量对铊处理效果的影响

Fig.2 Effect of mass fraction of glycerin on removing rate of Tl

大,其溶解能力越强。分析实验结果可知,当甘油用量在质量比  $m(\text{glycerin}):m(\text{In}) \geq 0.3$  时除镉率与除铊率基本达到稳态,因而甘油的合理用量应控制在  $m(\text{glycerin}):m(\text{In}) \geq 0.3$ ,该实验结果与文献[13-14]报道的结果一致。

### 2.1.3 熔炼时间的影响

文献[15]研究表明,甘油碘化钾处理时,边熔炼边搅拌,时间控制在2 h左右。熔炼时间对钢中除镉和铊的影响( $m(\text{glycerin}):m(\text{In}) \geq 0.3$ ,  $m(\text{KI}):m(\text{In})=0.06$ )结果如表3所列。

表3 熔炼时间对清除钢中镉和铊的影响

Table 3 Effect of smelting time on removing Cd and Tl from In

Smelting time/h	$w(\text{Cd})/10^{-6}$	$w(\text{Tl})/10^{-6}$
0	5	8
0.5	1	3
1.0	<1	2
1.5	<1	2
2.0	<1	2

在甘油碘化钾熔炼提纯处理过程中,加热熔炼搅拌会引起甘油挥发、碘蒸汽升华挥发等,所以反应时间控制得越短越好。实验结果显示,随着搅拌时间的增加,甘油碘化钾的除镉、铊效果变好,但当搅拌时间 $\geq 1$  h时,其影响已不再明显,说明在1 h时反应已基本完全,熔炼时间控制在1 h左右即可。

## 2.2 甘油氯化铵处理结果

实验发现,甘油碘化钾化学提纯后,镉的清除效果很好,但铊的清除效果还有待提高,而且处理后钢表面的紫色渣滓及斑痕尚须进一步甘油熔炼清洗。为了更好地清除铊,同时在不增加化学清洗提纯操作步骤的基础上,在进一步甘油熔炼清洗钢表面时,在甘油中加入适量氯化铵,既可提高铊的清除率又可同时清洗钢表面的紫色渣滓及斑痕,并直接熔铸成钢电极。在此首先对氯化铵的用量进行探索,再验证甘油碘化钾熔炼与甘油氯化铵熔炼联合方法进行化学提纯的效果。

### 2.2.1 氯化铵用量的影响

设计  $\text{NH}_4\text{Cl}$  与甘油质量比  $m(\text{NH}_4\text{Cl}):m(\text{glycerin})$  分别为0、0.05、0.10、0.15、0.20、0.25和0.35进行实验。结果发现:当  $m(\text{NH}_4\text{Cl}):m(\text{glycerin}) \geq 0.20$  时,

氯化铵的量过多,甘油中开始有不能溶解的氯化铵出现,尤其是当  $m(\text{NH}_4\text{Cl}):m(\text{glycerin})=0.25$  和  $0.35$  时甘油中不能溶解的氯化铵非常多,搅拌很困难,而且冷却后钢表面因为有氯化铵颗粒,水洗后钢表面不平整,这表明质量比应设定在  $m(\text{NH}_4\text{Cl}):m(\text{glycerin}) \leq 0.20$  比较合理。 $\text{NH}_4\text{Cl}$  与甘油质量比为0%~20%时铊的去除率结果如图3和4所示。

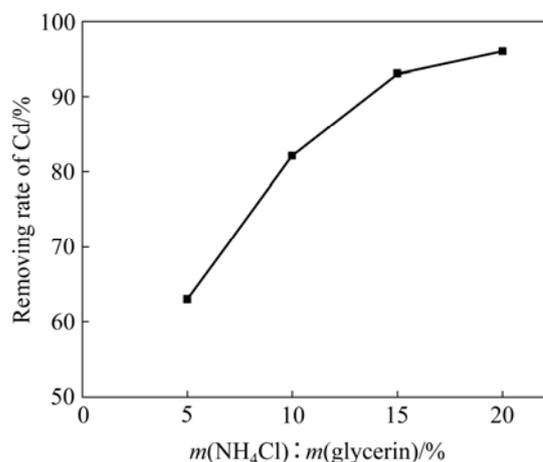


图3 氯化铵量对镉处理效果的影响

Fig.3 Effect of ammonium chloride concentration on removing rate of Cd

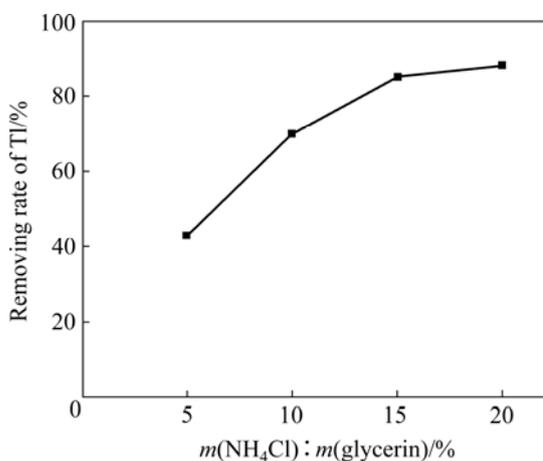


图4 氯化铵量对铊处理效果的影响

Fig.4 Effect of ammonium chloride concentration on removing rate of Tl

由图3和4可知,甘油氯化铵对镉、铊的清除效果很明显,原因在于  $\text{CdCl}_2$  ( $-391.62 \text{ kJ/mol}$ ) 与  $\text{TlCl}$  ( $-204.14 \text{ kJ/mol}$ ) 的生成热小于  $\text{InCl}$  ( $-186.2 \text{ kJ/mol}$ ) 的生成热,因而镉、铊对氯的亲合力比铟要大得多,熔炼过程中生成的  $\text{CdCl}_2$  与  $\text{TlCl}$  转移到甘油溶液中从而有效去除镉、铊杂质。分析实验结果可知,在  $m(\text{NH}_4\text{Cl}):m(\text{glycerin}) \leq 0.20$  范围内,镉和铊的去除率

表4 采用甘油碘化钾以及采用甘油氯化铵联合清洗钢中杂质的结果比较

Table 4 Comparison between results of purifying impurity from indium by glycerin-KI process only and by combining use of glycerin-KI and glycerin-NH<sub>4</sub>Cl

Sample	Mass fraction of impurity in indium/10 <sup>-6</sup>							
	Cd	Tl	Fe	Cr	Zn	Mn	Ag	Mg
Material <sup>1)</sup>	5	8	5	<1	10	<1	11	<1
Sample A	2	3	1	<1	<1	<1	<1	<1
Sample B	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1

Sample	Mass fraction of impurity in indium/10 <sup>-6</sup>							
	Al	Sn	Pb	Ni	Co	Hg	Cu	Bi
Material <sup>1)</sup>	5	37	37	<1	<1	1	2	<1
Sample A	<1	15	6	<1	<1	1	<1	<1
Sample B	<1	15	6	<1	<1	<1	<1	<1

1) Indium not purified chemically.

随氯化铵用量的增加而增大, 其用量应控制在  $m(\text{NH}_4\text{Cl}):m(\text{glycerin})=0.15$  比较合适。

### 2.2.2 甘油碘化钾与甘油氯化铵联合处理效果

为验证甘油碘化钾与甘油氯化铵联合提纯效果, 取 300 g 钢首先进行甘油碘化钾熔炼, 钢冷凝后, 取出用去离子水清洗。将得到的钢取两份各 100 g 进行实验: 一份直接用甘油熔炼以清洗钢表面的紫色斑痕, 冷凝后清洗得样品 A; 另一份在用甘油重熔时加入 15% 的氯化铵, 搅拌 0.5 h 后冷却清洗得样品 B。实验发现, 样品 A、B 表面均光亮平整无杂色, 样品 B 的光亮程度优于样品 A 的。但样品 B 的质量(99.1 g)略小于样品 A 的质量(99.3 g), 说明在甘油熔炼时加入氯化铵造成的钢损失略高于不加氯化铵的钢损失。该多出部分的钢损失可能是因为在甘油氯化铵处理时, 钢有极小部分氯化, 可能的产物为  $\text{InCl}$  及  $\text{InCl}_3$ , 但通过现象分析, 应该主要是生成  $\text{InCl}_3$ , 因为在甘油氯化铵熔炼过程中, 甘油层始终是无色透明的, 如果有  $\text{InCl}$  生成的话, 该层应被染成棕红色。生成的  $\text{InCl}_3$  则随着甘油的挥发而挥发了, 因而造成钢损失。但该损失率很低, 考虑到甘油氯化铵熔炼可明显提高镉、铊、铁等的脱除效果, 可不予计较该损失率。实验结果见表 4。

由表 4 中可看出, 甘油碘化钾联合甘油氯化铵方法, 不仅清除钢中镉、铊效果非常好, 而且对铁、铝等的清除也非常有效, 原因在于用甘油氯化铵处理时由于氯化铵分解产生  $\text{HCl}$ , 会将甘油酸化, 有利于铁、铝等杂质的清除。同时, 联合法处理完后的钢表面非

常光亮平整无杂色, 可直接熔铸成电极以备电解提纯使用。

## 3 结论

1) 采用甘油碘化钾熔炼与甘油氯化铵熔炼相联合的方法对钢中的镉、铊等杂质的去除非常有效, 可将杂质含量降至  $1 \times 10^{-6}$  以下, 达到 6 N 高纯钢的要求。

2) 所得到的钢表面光亮平整无杂色, 可直接熔铸成电极以备电解提纯使用。

3) 甘油碘化钾熔炼提纯的最佳实验条件为:  $m(\text{KI}):m(\text{In}) \geq 0.01$ ,  $m(\text{glycerin}):m(\text{In}) \geq 0.3$ , 搅拌时间控制在 1 h 左右即可。

4) 甘油氯化铵处理时氯化铵的量应控制在  $m(\text{NH}_4\text{Cl}):m(\text{glycerin})=0.15$ 。

## REFERENCES

- [1] 刘世友. 钢工业资源、应用现状与展望[J]. 有色金属(冶炼部分), 1999, 2: 30-32.  
LIU Shi-you. The resource, actual state and prospect of indium industry[J]. Non-ferrous Metallurgy (Part of Metallurgy), 1999, 2: 30-32.
- [2] 王顺昌, 齐守智. 钢的资源、应用和市场[J]. 世界有色金属, 2000, 12: 22-24.  
WANG Shun-chang, QI Shou-zhi. The resource, application and market of indium[J]. World Non-ferrous Metals, 2000, 12:

- 22-24.
- [3] 李建敏, 刘晓红, 王贺云, 李安. 钢的市场、应用及其提取技术[J]. 江西冶金, 2006, 26(1): 41-43.  
LI Jian-min, LIU Xiao-hong, WANG He-yun, LI An. Market, application and extraction technology of indium[J]. Jiangxi Metallurgy, 2006, 26(1): 41-43.
- [4] 韩汉民. 高纯钢的制备[J]. 化学世界, 1995(4): 174-177.  
HAN Han-min. Preparation of high-purity indium[J]. Chemistry Society, 1995(4): 174-177.
- [5] 周智华, 莫红兵, 曾冬铭. 高纯钢的制备方法[J]. 矿冶工程, 2003, 23(3): 40-43.  
ZHOU Zhi-hua, MO Hong-bing, ZENG Dong-ming. Preparation of high purity indium[J]. Mining and Metallurgical Engineering, 2003, 23(3): 40-43.
- [6] 赵秦生. 俄罗斯制取高纯钢和金属钢粉的新进展[J]. 稀有金属与硬质合金, 2004, 32(2): 24-28.  
ZHAO Qin-sheng. New development of producing high-purity indium and metallic indium powder in Russia[J]. Rare Metals and Cemented Carbides, 2004, 32(2): 24-28.
- [7] 魏昶, 罗天骄. 真空法从粗钢中脱除镉锌铋铊铅的研究[J]. 稀有金属, 2003, 27(6): 852-856.  
WEI Chang, LUO Tian-jiao. Removing Cd, Zn, Tl, Pb, Bi from crude indium by vacuum process[J]. Chinese Journal of Rare Metals, 2003, 27(6): 852-856.
- [8] ZHOU Zhi-hua, MO Hong-bing, ZENG Dong-ming. Preparation of high-purity indium by electrorefining[J]. Trans Nonferrous Met Soc China, 2004, 14(3): 637-640.
- [9] 石玲斌. 粗钢提纯的研究[J]. 昆明理工大学学报, 2002, 27(6): 41-44.  
SHI Ling-bin. Research on purifying crude indium[J]. Journal of Kunming University of Science and Technology, 2002, 27(6): 41-44.
- [10] FEDOLOFOR B E, AKECULING L H. 钢化学手册[M]. 张启运, 徐克敏, 译. 北京: 北京大学出版社, 2005.  
FEDOLOFOR B E, AKECULING L H. Indium chemistry handbook[M]. ZHANG Qi-yun, XU Ke-min, transl. Beijing: Beijing University Press, 2005.
- [11] 王树楷. 钢冶金[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2006.  
WANG Shu-kai. Indium metallurgy[M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 2006.
- [12] 周智华, 曾冬铭, 游红阳, 莫红兵. 精钢中铊的氯化脱除[J]. 稀有金属, 2002, 26(3): 191-193.  
ZHOU Zhi-hua, ZENG Dong-ming, YOU Hong-yang, MO Hong-bing. Removal of thallium by chlorization from refined indium[J]. Chinese Journal of Rare Metals, 2002, 26(3): 191-193.
- [13] ZENG Dong-ming, ZHOU Zhi-hua, SHU Wan-gen, LIU You-nian, HU Ai-ping. Preparation of 5 N high purified indium by the method of chemical purification-electrolysis[J]. Rare Metals, 2002, 21(2): 137-141.
- [14] 韩翌, 李琛, 黄凯, 郭学益. 甘油碘化钾-电解联合法粗钢提纯研究[J]. 矿冶工程, 2003, 23(6): 59-61.  
HAN Yi, LI Chen, HUANG Kai, GUO Xue-yi. Purification of crude indium by combined use of glycerin-KI process and electrolysis[J]. Mining and Metallurgical Engineering, 2003, 23(6): 59-61.
- [15] 袁铁锤, 周科朝, 陈志飞, 宁顺明. 熔盐净化-电解法制备高纯钢[J]. 粉末冶金材料科学与工程, 2007, 12(1): 59-62.  
YUAN Tie-chui, ZHOU Ke-chao, CHEN Zhi-fei, NING Shun-ming. Preparation of high-purity indium by molten-purification and electrolysis process[J]. Materials Science and Engineering of Powder Metallurgy, 2007, 12(1): 59-62.

(编辑 龙怀中)