

“电鋅”廠鋅精礦沸騰焙燒的 研究和在工業上的應用

Г.М.施太因加爾特著

有色金屬工業綜合研究所

“电鋅”廠鋅精礦沸騰焙燒的 研究和在工業上的應用

Г. М. 施太因加爾特著



目 錄

原序.....	(1)
緒言.....	(3)
工艺流程和設備連接系統.....	(8)
「电鋅」厂沸騰焙燒爐主要結構特点.....	(12)
沸騰焙燒的某些特点.....	(35)
沸騰层冷却条件与沸騰焙燒爐生产能力的关系及 利用余热的問題.....	(52)
沸騰焙燒爐的操作質量.....	(89)
停爐及开爐.....	(95)
主要結論以及进一步改善过程的問題.....	(99)

原 序

近十五年来，有色冶金技术发展史上还没有其它比沸腾层方法更具有先进性的技术工艺过程。沸腾层方法广泛采用于苏联炼锌工业，它显示了很高的效率，并从根本上改进了锌的湿法冶金的全部技术。然而，我们不仅还没有研究这种方法的全部可能性和潜力，甚至在某些方面还没有完全理解。

锌精矿、黄铁矿精矿、铜精矿、镍精矿、铅精矿、钨精矿及其它很多硫化精矿及硫化矿的焙烧；各种氯化物料的还原过程；锑、汞及稀有金属化合物的挥发过程；硫酸化焙烧；干燥过程；煅烧等——这些过程还远不能说是采用沸腾层方法处理未加工的或事先粒化了的粉末状或烟尘状物料方面的一个完整的目录。

这种方法所具有的可能性是很难估计的，勿容置疑，不久我们将成为有色冶金工业各部门广泛采用上述方法的见证人。

国立有色金属科学研究所制定的锌精矿沸腾焙烧方法在「电锌」厂内受到了一次「工业洗礼」。该厂全体职工在发展这个方法的工作上作出了卓越的，创造性的贡献，他们在沸腾层爐子的个别試驗結構的安裝及試車上付出了很多劳动，结果就建成了工业上耐用的爐子結構，在这个結構的基础上现在就有可能广泛采用各种不同形态的沸腾层设备。

「电锌」厂全体职工在这项工作中所显示出的创造力量的一个例子就是KC-3大型工业沸腾焙烧爐的建造。「电锌」厂于三个月之内就完成了該爐的設計，施工，开爐及应用。这个采用新技术的例子值得我国各企业机构学习。

Г. М. 施太因加尔特是創造沸腾焙燒法的积极参加者之一，

1468127

他在本書中闡述了「电鋅」厂鋅精矿沸騰焙燒的工业应用的全部丰富的实际經驗。然而，作者在本書中并不限于实际經驗，同时还論述了很多理論研究，丰富了我们对于这个先进方法的知識。

本書中所包括的大部分材料是首次发表的，这就使施太因加尔特同志的著作对于范围极其廣大的有色冶金工作人員來說，將更为有兴趣，更为有意义。

B. H. 科斯金

緒 言

近二、三十年来氧化焙燒的发展是想要在最大限度上利用浮选精矿的巨大反应面积以强化过程。

只要提醒一下就够了：10—15公斤浮选精矿的顆粒表面就差不多等于一个多膛爐全部爐床的表面。

如所週知，多膛爐的改进（在这种爐内，在极小的程度上利用了精矿的反应表面），主要是增加工作爐床数量以及当精矿从一层落到另一层时延長精矿在气流中停留的时间，以及使冷却耙动裝置的空气发热以返回爐膛。此外，还加大了在各层爐床上耙动焙燒精矿的速度，这也同样地促进了过程的强化。

因此，多膛爐的生产能力是依靠复杂的爐子結構才得到了某些提高。然而，多膛爐的單位生产能力尚停留在极低的水平上，每晝夜1平方米爐床面积上才勉强达到70公斤硫。

多膛爐沒有解决提高廢气中 SO_2 濃度的問題，这就需要大量补充投資来建設新的硫酸車間。未能充分利用反应所放出来的热，照例要額外消耗燃料来完成脫矿过程。

很明显，只有創造一种在含氧的气流中能个别焙燒每个顆粒的条件才能保証有效地处理浮选精矿。

这个問題，首先在加拿大特列尔电解鋅厂从工业規模上得到了解决。該厂远在1928年就进行过提高廢气中 SO_2 濃度的試驗。

1931年出現了第一批懸浮焙燒鋅精矿的工业爐。以后，这种焙燒方法在国外得到了廣泛采用。1957年用这种方法焙燒的硫化矿精矿的数量达到每晝夜3000吨。采用这种方法的整个工业应用

时期內处理量为一千万吨。

悬浮焙燒至少將爐子生产能力提高了一倍，并增大了廢气中 SO_2 的濃度。过程进行时不需补充热量。吹送富氧空气就达到了过程进一步的强化。

然而，悬浮焙燒既指望在精矿顆粒停留于气流中的短時間內使精矿顆粒脫硫，它就須对精矿中含水量及粒度要求比較严格。此外，为了完成焙燒过程，还必须留出几层帶有耙动裝置的下层爐床作为再焙燒精矿和自爐內卸出精矿之用。

战前在国立中央有色金属研究院，「电鋸」厂以及別洛夫斯克煉鋅厂內所作的悬浮焙燒精矿的工业試驗还不能在工业上代替多量爐。这种焙燒方法在苏联化学工业方面黃鉄矿的焙燒中得到应用。

应用沸騰层焙燒硫化物，不仅对于进一步加强冶金过程來說，而且对于創制更完善的自动化設備而言，也是又一很重要的步驟。

沸騰层法的原理是利用技术上所熟知的并在利用着的当气流穿过顆粒物料时物料便具有液体性質的特点，这种方法立即解决了焙燒鋅精矿的兩個非常严重的問題。第一、因为沸騰层是服从于流体力学定律的，所以就没有必要在爐內設置复杂的，不便于操作的攪拌焙燒精矿的耙动裝置。第二、在假液化时，对于精矿顆粒个别焙燒形成了最有利的条件。同时，完成脫硫过程所必需的空气量也足够保証沸騰层的正常工作。

上述优点以及其它优点保証了快速而廣泛地采用新过程焙燒各种細磨硫化矿物料和某些其他物料。

工程与矿业杂志 (Engineering and mining journal 1955 年第 3 卷，第 156 頁，3 a 号) 报道，在 1955 年 1 月 1 日運轉的沸騰焙燒爐保証了年产 1 百万吨硫酸，并从而用这种方法焙燒出来的鋅精矿中回收了 80000 吨鋅。

鋅精礦的沸騰焙燒長時間以來（自1946年起）就在國立有色金屬研究院進行研究。在院內，由技術科學副博士Г. Я. 列依格羅維奇領導一個工作組（包括И. В. 巴賓，Я. Э. 謝列勃列尼科夫，И. А. 布羅娃等人）進行了廣泛的試驗室的和擴大試驗的研究^①。所得資料使有可能轉為工業試驗，這種工業試驗是在1951年于「電鋅」廠內在特制的試驗爐上（爐底面積3.5平方米）開始的^②。

與國立有色金屬研究院工作組一起在這個爐子上所進行的長期試驗使有可能確定過程的高度效率及其工業應用的原則上的可能性。

然而，這些研究工作並沒有解決一些根本問題，如如何獲得優質的旋渦收塵器煙塵；此外，也還未設計出耐熱的爐底，自沸騰層排出余熱的系統以及精礦入爐的方法等均不能令人滿意。爐室大小的問題還是懸案。

所有這些以及其它一些決定過程之工業應用可能性的問題以後都在我廠所設計的和建造的爐子上（KC—1工業試驗爐及KC—3工業爐）進行了研究。KC—3爐是蘇聯第一座鋅精礦沸騰焙燒的工業爐^③。目前，「電鋅」廠擁有各種不同的結構和生產能力的工業爐的操作經驗。

採用各種不同的精礦，其成份與蘇聯國內各廠所處理的大部分鋅精礦成份相似（表1）來應用這種新過程已經實現了。為

- ① 過程之動力學研究工作係由技術科學副博士 В. И. 斯卡奇柯夫完成的。
- ② 根據國立有色金屬研究院的原始資料所進行的該爐之設計係由高加國索立有色金屬設計院完成的。
- ③ 該爐結構之設計工作係由作者與 А. И. 阿拉維爾多夫，А. В. 古索夫等人共同完成的。

数几万吨的全部焙燒产品已在电解鋅生产部門中进行处理，这就有可能查明一系列与焙燒产品在鋅的湿法冶金中有关的未弄清楚的問題。

含硫的廢气已在我厂接触法生产硫酸部門用来提取硫酸。

所有这些使有可能在我厂积累本国第一个应用沸騰焙燒的工业实际經驗。这个經驗已經成为我国全部有色冶金工业以及其它关心采用新的先进方法的工业部門的財富。

「电鋅」厂和国立有色金属研究院的工作人員的友好合作有助于这一新过程之順利掌握。

我厂与国立有色金属設計院及高加索国立有色金属設計院共同解决了一系列有关結構的問題。

「电鋅」厂有很多工作人員积极参加鋅精矿沸騰焙燒之研究与应用的工作，其中作者認為必須首先提出的有：焙燒車間主任 A. B. 古索夫，总机械师 A. И. 阿拉維尔多夫，接觸法車間主任 Б. Д. 阿列克謝也夫，主任設計师 Ф. Г. 捷尔-巴尔謝戈夫，研究科主任工程师 A. M. 卡依达克，接觸法車間电工組長 A. И. 布留德涅夫，接觸法車間机械师 Ф. Г. 扎依采夫，焙燒車間机械师 Т. 胡季也夫以及基建科建筑車間主任 K. B. 布拉也夫等人。

新过程的实际应用并不須要改变在这以前所形成的氧化焙燒的基本原理，这个理論的創造在很大程度上都应归功于以下研究者的多年創造性的巨大的劳动：我国学者 B. Я. 莫斯托維奇，Г. Г. 烏拉佐夫，Д. М. 契瑞柯夫，B. A. 凡紐可夫，B. И. 斯米尔諾夫，Ф. М. 洛斯基托夫，A. H. 沃里斯基等以及很多从事硫化物金属焙燒技术之改进工作的各研究單位的生产者和工作者们。

表 1

「电鍍」厂处理的鋅精矿平均成份(%)

精矿名称	Zn	Cd	Pb	Cu	Co	As	Sb	Fe	SiO ₂	S 全	Ce	CaO	Al ₂ O ₃	MgO
薩頓 . . .	48.52	0.157	2.240	1.410	0.0097	0.030	0.011	10.29	2.3	31.53	0.017	1.35	0.5	0.56
克艾辛斯克	48.15	0.151	1.560	0.160	0.0037	0.0081	0.0175	5.82	9.26	29.1	0.022	3.02	0.81	0.49
捷特尤斯克	49.30	0.198	1.490	0.730	0.0094	0.49	0.019	9.46	2.07	30.86	0.016	2.91	0.24	0.39
厄尔布鲁士	49.64	0.567	0.420	0.150	0.0015	0.073	0.021	5.48	11.66	27.92	0.016	1.91	0.83	0.59
保加利亚 .	47.90	0.272	1.400	0.660	0.015	0.092	0.024	9.63	3.24	31.69	0.016	1.44	0.75	0.28
阿赫塔林 .	39.96	0.286	3.23	1.92	0.0009	0.04	0.019	11.64	5.74	31.26	0.017	1.0	0.84	0.42
朝鲜 . . .	57.71	0.238	0.77	0.09	0.0008	0.06	0.018	5.82	7.04	30.07	0.021	2.89	0.75	0.58
别洛烏索夫	46.87	0.181	0.154	2.74	0.0039	0.026	0.016	8.78	3.9	31.6	0.0001	2.0	1.23	1.73
佐洛图辛 .	48.7	0.19	1.52	2.1	0.0008	0.036	0.02	7.46	5.0	32.95	0.013	0.66	0.58	0.72

工艺流程和设备连接系统

图1是「电鋅」厂所设计的设备连接系统，除小部份情况外，它对我们各炼鋅厂是通用的。

长时期的研究结果确定了沸腾焙烧并不需要什么复杂的精矿准备工作。事先用10—15毫米的筛子过筛精矿就可以了。矿块的极限大小受沸腾层的「浮力」所限制，这种力量可以决定不用外部力量就能从炉内除去的颗粒的最大粒度。同时，应该注意炉内有堆积大量矿块的危险，而由于这个原故就会破坏过程。

在KC-1炉上试验过用20毫米筛子筛选过的精矿給料操作。经过10天操作后，发现大块物料不断积聚，因而被迫停车。同时在KC-2炉KC-3炉内所进行的连续6个多月的—10毫米的精矿給料操作（未换床层）没有发现大块物料积聚的任何倾向，否则

KC-3炉停炉后各床层高度的焙砂筛分结果(%) 表2

筛目	床层上部		床层中部		下部(炉底处)	
	筛上产物	总计	筛上产物	总计	筛上产物	总计
+6	0.55	0.55	0.5	0.5	1.5	1.5
+12	2.9	3.45	2.7	3.2	3.15	4.65
+20	4.25	7.7	4.42	7.62	4.43	9.08
+30	3.7	11.4	3.9	11.52	3.32	12.4
+40	5.5	16.9	4.35	15.87	5.62	18.02
+80	21.6	38.5	22.35	38.22	20.5	38.52
+100	11.5	50.0	10.85	49.07	11.51	50.08
+140	14.0	64.0	21.9	70.97	13.2	65.23
+200	27.5	91.5	22.7	93.67	28.05	93.28
-200	8.5	100.0	6.33	100	6.72	100.0
合 计	100.0	—	100.0	—	100.0	—

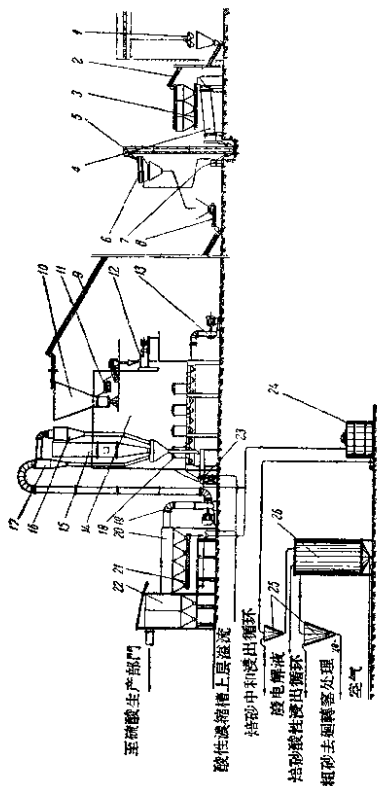


图 1 锌精矿沸腾焙烧设备连接系统

- 1—抓斗起重机；2—倾斜运输机；3—皮带运输机；4—干燥筒；5—提升机；6—振动筛；7—圆盘破碎机；8—给矿机；9—倾斜运输机；10—矿仓；11—自动秤；12—圆锥破碎机；13—鼓风机；14—沸腾焙烧炉；15—水套立炉；16—直径1200毫米的旋流除尘器；17—直径850毫米的旋流除尘器；18—水套；19—排风机；20—烟道；21—螺旋式碎渣机；22—电收尘器；23—焙砂冲洗管；24—机械搅拌槽；25—锥形分粒机；26—空气搅拌机

就会形成一种具有在爐底下部沉积的傾向的流动性的床层。

实际上，在 KC—3 爐停爐后从各个不同高度取出的焙砂样品的同样的篩分結果（图 2）就很明显地証实了上述情况。

應該注意到沸騰层的某些研磨作用不仅保证了精矿顆粒个别焙燒，同时也避免了爐內矿块的产生，而在多臺爐焙燒时則会产生矿块。

精矿的湿度对于沸騰焙燒的影响并不大。如所周知，在国外的实际操作中是把含 20% 水的漿狀精矿送入爐內的。精矿湿度只能影响爐子进料的条件。矿仓中經常性的沉积，流阻处成块，粘附的傾向很大等都是湿度在 6—8% 以上的精矿的特点。这种精矿的篩分也是有困难的。因此，精矿的最大湿度最好不超过 6—7%。

很明显，如果能研究出一种极其令人满意的方法使能自矿仓內運輸及卸出湿度增大了的精矿，則可运用全部精矿的控制研磨，不用篩分了。

运送精矿入爐的最簡便的裝置是圓盤式給矿机。以前曾經大量試驗过其它的設備，如各种槽式的和螺旋式的給矿机等，但它們对于原精矿都不合适。这些結構的共同缺点就是物料堵塞，而这就会引起給矿机停車或损坏。

用圓盤式給矿机將精矿垂直地送入爐內就决定必須在矩形爐的結構內設置特制前室，而圓截面爐也应有同样的裝置。

不須要把动裝置来將成品焙砂从爐內卸出，經過溢流口沿着耐熱銅制成的流槽焙砂就会自动流出。热焙砂流入用酸性耐火磚砌襯的槽內，由浸出車間酸性濃縮机的上层溢流冲出。以后，矿漿就送到錐形分級机內进行水力分級。旋风收尘器烟尘之運輸組織与上述組織相同。

捕集烟尘分下述两个阶段：粗烟尘在旋风收尘器內捕集，（在这种收尘器內沉积有随气流从爐內逸出的全部烟尘的 90—95%），

細烟尘在乾式电收尘器內捕集，(电收尘器收尘率为98—99%)。以后，含0.12克/立方米烟尘的气体送到硫酸生产部門，在那里气体在湿式电收尘器上受到最后一次淨化。

任何一个能保証压力不低于2000毫米水柱，能穩定地供給每吨焙燒精矿2000—2500标准立方米空气的鼓风机可以完全滿足沸騰焙燒的要求。送风设备应具备压力和空气量的一定儲备能力，以便根据爐子的生产能力，沸騰层高度，全部給风系統与空气分配系統的阻力(包括爐底阻力在內)来調节过程。

排风机的能力不仅应按全部廢气并考虑到某些程度的冲淡来計算，并且首先要將全部收尘及烟道系統的阻力計算进去，在这种情况下，基本数字就是在串联时达80—100毫米水柱的旋渦收尘器阻力。應該注意到烟尘的研磨性及气体的溫度(通常不超过300—320°)。「电鋅」厂內安裝了哈巴洛夫斯基工厂出品的Д-12型，能率为51000立方米/小时的排风机。这台排风机工作得令人滿意。

为了防止硫酸凝結，全部烟道系統均应仔細絕緣。必須保証电收尘器入口处溫度不低于220—250°，这就較多膛爐出口气体的最低溫度低了80—100°。

「电鋅」廠沸騰焙燒爐主要結構特点

鋅精矿沸騰焙燒結構方面的特点取决于以下各点：精矿进料方法，空气分佈盤之結構，爐室之形狀大小，排除余热之方法及收尘系統等。

「电鋅」廠沸騰焙燒爐之主要生产技术指标列示于表 3，而其結構特点則載于图 2, 3, 4, 5, 6, 7 上。在应用过程中，根据积累經驗的程度系統地改进了爐子的結構。KC-2 爐曾經重建过，同时在 KC-4 爐上也曾全部改建了所有的收尘与烟道系統。

厂內全部矩形爐是新建的。KC-4 圓形爐是用九层爐改建的，在这个九层爐上將爐膛各层拆除并去掉了所有帶中心軸及轉动裝置的耙动裝置。安裝了耐热爐底以代替旧有的底层。爐頂用标准的優質粘土磚重新砌盖。在未經改变的用块磚砌的爐襯处做了埋置水套的壁洞。水套部分的横断面見图 8。

「电 锌」厂各沸腾焙烧爐主要生产—技术指标

表 3

指 标	KC-1	KC-2		KC-3	KC-4	
		改建前	改建后		改建前	改建后
爐床:						
長 (米)	5.3	9.6	9.6	6.0	—	—
寬 (米)	1.4	3.65	3.25	2.5	d=6.5	d=6.5
爐床面积 (平方米)	7.42	35.0	31.2	15.0	33.0	33.0
爐膛高度 (米)	3.6	2.7	8.3	7.8	7.4	7.4
爐子进料部份高度 (米) . . .	1.2	2.7	3.1	3.0	2.0	2.0
爐膛上部寬 (米)	1.4	3.65	3.8	3.5	d=6.5	d=6.5
溢流口高度 (米)	0.7	0.7	0.96	1.0	0.8	1.0
爐膛总体积 (立方米)	22.0	90.0	258.0	142.0	236.0	236.0
爐膛自由体积 (立方米) . . .	17.3	65.0	228.0	127.0	208.0	200.8
比率:						
$\frac{V_{总}}{S_{爐床}}$	2.98	2.57	8.3	9.45	7.12	7.12
$\frac{V_{自由}}{S_{爐床}}$	2.34	1.85	7.5	8.5	6.3	6.05
生 产 量:						
鋅皮产量 (吨)	33.0	83.0	125.0	65.0	120.0	150

續

指 标	KC-1	KC-2		KC-3	KC-4	
		改建前	改建后		改建前	改建后
小时产量 (吨)	1.1	3.45	5.2	2.7	5.2	6.25
昼夜单位产量 (吨/平方米) .	4.4	2.35	4.0	1.35	3.8	4.5
鼓入爐内之风量, 标准立方米						
/小时	2700	12000	11000	5000	10000	11000
气体量, 标准立方米/小时 . .	2650	11780	10800	4910	9800	10800
900°时之气体量, (立方米/小时)	11400	50600	46400	21100	42200	46400
同上 (立方米/秒)	3.16	14.05	12.9	5.83	11.7	12.90
爐内空气停留时间, (秒) . .	5.5	4.6	17.7	21.7	17.2	15.5
爐底风帽数量, (个)	322	1680	1565	720	1788	1788
1 平方米爐床面积上之风帽数量						
(个)	44	48	48	48	51	51
給风孔有效截面, (%)	0.7	0.78	0.78	0.78	0.82	0.82
各給风孔内之空气速度, (米/秒)	14.4	12.2	12.5	11.9	9.63	10.7
剛剛水委處格:						
件数	4	6	8	4	8	11
尺寸 (米)	0.6×1.0	1.0×1.0	1.0×1.0	1.0×1.5	1.0×0.9	1.15×0.85
总面积 (平方米)	2.4	6.0	8.0	8.0	7.2	12.75