

有色金属电热熔炼

[德意志民主共和国]格奥尔格·叶格尔 主編

刘 富 如 譯

中国工业出版社

本书对电热法制取铜、镍、钴、锡、铅、锌、镁、铝和铝合金的冶炼过程及设备作了详细叙述。

在铜、镍、钴、铅及锡各篇中介绍了各金属电热熔炼的历史发展概况，生产过程的特点及采用的炉子结构特点等。详细叙述了阴极锌板在感应电炉内重熔和制取锌粉的过程，以及电热法炼锌现状。此外还介绍了关于电热法制取镍、铝及其合金的理论和实践的資料。

本书可供有色冶金工厂、科研和设计部门的技术人员使用，并可供给有关院校的师生参考。

原书德文版是1956年在莱比锡出版的，为格奥尔格·叶格尔主编的多卷著作《工程电化学手册》的第三部分 (Georg Eger, «Handbuch der technischen Elektrochemie» 3 Teil, Leipzig 1956)。苏联И.Т.古里金与Б.И.斯罗姆斯基将该书译成了俄文，并于1958年由苏联冶金出版社出版 (И.Т.Гулькин и Б.И.Слонимский «Электроплавка в цветной металлургии» Металлургиздат, 1958)。本书是由俄文译本转译的，并参照德文原书作了校阅。

全书由刘富如同志翻译，由未名同志参照德文原书作了校阅。

有色金属电热熔炼

刘富如 译

*

冶金工业部科学技术情报产品标准研究所书刊编辑室编辑

(北京灯市口71号)

中国工业出版社出版 (北京各胡同路西10号)

北京市书刊出版业营业登记证出字第110号

中国工业出版社第三印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

开本850×1168 $\frac{1}{32}$ ·印张9 $\frac{1}{8}$ ·插页1·字数214,000

1964年11月北京第一版·1964年11月北京第一次印刷

印数0001—3,810·定价(科六) 1.40元

*

统一书号: 15165·3269 (冶金-539)

目 录

铜、镍、钴与铅

教授、博士、工程师 奥托·巴尔特 斯德哥尔摩城

I	铜、镍与铅的冶金基础	1
1.	铜	1
2.	镍	4
3.	铅	4
II	铜、镍与铅矿的熔炼	5
1.	铜矿反射炉熔炼与电炉熔炼的比较	5
2.	反射炉熔炼与电炉冶炼过程的比较	8
3.	炉渣及其电导率	9
4.	铜精矿及镍精矿熔炼电炉的历史发展	15
5.	电炉形状与电极布置	26
6.	电炉变压器	28
7.	导电母线、电缆及接触颊板	29
8.	自烧结电极	31
9.	测量仪表	37
10.	电气装置的效率	38
III	电炉结构部件	39
1.	炉基	39
2.	炉壳	40
3.	电炉支架	41
4.	炉衬	41
5.	炉顶	43
6.	排气道	43
7.	加料装置	44
8.	熔体放出装置(放出口)	45
9.	电炉结构的其他部件	46

IV	电炉的开炉运转	47
1.	一般規則	47
2.	电炉的运转	50
V	电炉熔炼产品	54
1.	銅銑及銅鎳銑	54
2.	炉渣	55
3.	炉气	57
VI	补充的生产数据	57
1.	熔炼量与能量消耗	57
2.	电炉的热平衡	59
3.	生产故障	61
4.	在史干底那維亞半島上已建成的电炉一覽表	64
5.	电炉熔炼費用	64
VII	鎳矿的熔炼	65
1.	硫化矿的熔炼	65
2.	硅鎂鎳矿的熔炼	68
3.	氧化亚鎳的还原	69
VIII	含鈷矿石及炉渣的熔炼	69
1.	一般状况	69
2.	氧化鈷还原成金屬鈷	73
IX	死燒后銅精矿还原熔炼成粗銅	74
X	鉛精矿的熔炼	75
XI	粗銅及廢杂銅的精炼。电炉重熔銅阴极板	78
1.	銅的精炼。基本原則	78
2.	电炉精炼	80
3.	阴极銅的重熔	83
XII	应用前景	92
	参考文献	93

锡

博士、工程师 柯拉多·費兰德·根特(比利时)

I	緒言	95
---	----	----

II	基本原理	96
1.	电流的热作用	96
2.	锡的物理性质与化学性质	97
3.	火法炼锡方法概述	98
III	发展簡史	100
IV	技术现状	103
1.	还原炉	103
2.	收尘	109
3.	炉渣的处理	109
4.	在斜底炉(熔析炉)内精炼锡	111
5.	锡最后精炼用的鍋	113
V	生产评价及結論	117
	参考文献	119

电炉重熔锌阴极板

博士、工程师 鮑烏尔·皮別尔 博胡姆城

I	电解鋅厂的重熔电炉	120
1.	在馬格德堡鋅厂之前的阴极鋅重熔炉	120
2.	設計馬格德堡鋅厂时对重熔炉的选择	120
3.	重熔車間概述	123
II	低頻感应炉的构造	129
1.	工作原理, 所装設的炉子构造与性能	129
2.	电炉变压器的构造、砌衬及冷却	133
3.	炉子的装料	137
4.	炉子的操纵, 电盘, 測量仪表	138
III	低頻感应炉的运转及其技术指标	140
1.	开炉、冻结后炉子的加热、保持热状态、停炉及炉子的照应	140
2.	工作經驗及对炉子的改进	142
3.	生产数据、烧損	145
IV	重熔炉的輔助設備	148
1.	浇鑄裝置	148
2.	气体与烟尘的排出	149

3. 重熔鋅車間的變電站	150
V 陰極鋅重熔車間的附屬裝置	150
1. 鋅浮渣的處理	150
2. 霧化鋅裝置	152
VI 結論	155

电热法炼鋅

博士 G. 标林格 斯德哥尔摩城

I 概論	157
1. 緒言	157
2. 反应物的物理性质	157
3. 碳还原氧化鋅反应的机理	160
4. 热力学前提	161
5. 反应速度	167
6. 鋅蒸气的冷凝	168
7. 鋅粉的生成	170
8. 各种冷凝法	171
9. 还原氧化鋅的能量消耗的計算	171
II 发展簡史	172
1. 电热炼鋅的优越性	172
2. 科烏尔斯兄弟的試驗	173
3. 各种旧的生产方法	175
4. 馬克-約翰遜法	177
5. 依姆别尔特-湯姆逊-非茨热拉尔的工作	179
6. 科特与别伦法	180
7. 斯乃德尔的試驗	180
8. 在加拿大做的試驗	184
9. P. 别哲尔逊的試驗	184
10. 富尔頓的工作	184
11. 其他更晚的方法	185
III 拉瓦尔及其追隨者的方法	186
1. 发展簡史	186

2. 后来的改进	189
IV 圣-约瑟夫铅公司法	197
1. 緒言	197
2. 原料	200
3. 焙烧車間	201
4. 燒結車間	201
5. 浸出車間	202
6. 蒸餾車間	203
7. 氧化鋅制取車間	208
8. 現有的工厂	209
V 新澤西鋅公司的斯捷鈴法	210
VI 鋅蒸气的冷凝	214
1. 基本原則	214
2. 鼓泡冷凝器	214
3. 飞溅冷凝器或噴霧冷凝器	216
VII 冶金中間产品的电热处理	219
1. 鉛渣的电热法脫鋅	219
2. 用电热法从浮渣提炼鋅粉	221
参考文献	222

电热法炼铝及其合金

教授、博士、工程师 G. 格因茲別尔格与

博士、工程师 P. 外斯 波恩城

I 历史概述	223
II 理論部分	225
III 鋁合金的生产	235
1. 技术状况	235
2. 鋁硅合金的制取	237
3. 經濟	241
IV 从电热法炼出的鋁合金提取鋁	245
1. 用蒸餾法从鋁合金提取鋁	245
2. 用其他金属从鋁合金提取鋁	247

3. 通过低价化合物从铝合金提取铝	256
V 用低价铝化合物法从氧化铝直接炼铝	260
参考文献	263

鎂

博士、工程师 E.包埃尔 美因河，法兰克福城

I 緒言	265
II 热还原氧化鎂	266
1. 碳还原法	266
2. 硅或硅铁还原法	270
3. 碳化鈣还原法	276
4. 鋁还原法	278
III 各种方法的比較	280
参考文献	284

銅、鎳、鈷与鉛

教授、博士、工程師 奧托·巴尔特 斯德哥尔摩城

I 銅、鎳与鉛的冶金基础

1. 銅

世界上所产的銅絕大部分是从硫化矿制得的，主要是从黃銅矿 CuFeS_2 制得的。伴生的矿物通常为硫化鉄矿、即黃鉄矿 FeS_2 ，以及近似地符合于 FeS 成分的磁黃鉄矿。在大多数情况下，除了硅酸脉石之外，还具有不定含量的閃鋅矿及方鉛矿，貴重金屬，以及鎳、鈷、砷、銻、鉍、硒、碲的化合物。

块状矿石直接入鼓风炉熔炼，例如在塔姆斯哈夫恩（挪威）含 2.2%Cu 的奥尔克尔黃鉄矿或来自艾尔于尼·馬頓（土耳其）的含 8~10%Cu 的硫化鉄矿便是如此处理的。而絕大部分硫化矿則經浮选富集，然后将含 15~28%Cu 的精矿送入反射炉熔炼。無論在反射炉內或鼓风炉內的熔炼产物均为銅銻（冰銅），即 FeS 及 Cu_2S 与不定含量的磁性氧化鉄的混合物；磁性氧化鉄 Fe_3O_4 的含量随銅銻含銅量的增加而減少。从鼓风炉炼出的銅銻还可能含有金屬鉄。

在鼓风炉內熔炼块状矿石有时还与制取硫黃相联系。此熔炼法（奥尔克拉法）已在塔姆斯哈夫恩（挪威）、里奧-梯因托（西班牙）及圣-多民果（葡萄牙）实现。銅銻含銅量波动在 10~50% 的范围内，大部分为 35~40%，也有达到 80% 的（罗恩-安帖洛普，北罗德西亚）。

由于电炉在某些方面按反射炉的原則工作，故以下将主要叙述反射炉熔炼。浮选精矿的反射炉熔炼按两种方法实行。

預焙燒的熟精礦的熔煉

為了從約含 20%Cu 的精礦煉出含 35~40%Cu 的銅銕，精礦中一部分硫應預先用焙燒法除去。在焙砂中剩余的硫要足以形成預期成分的銅銕。由 FeS 在焙燒時生成的 Fe_2O_3 或 Fe_3O_4 必須在熔煉時變為 FeO，後者與 SiO_2 形成鐵橄欖石爐渣。焙燒在多层焙燒爐內進行，大部分為威基式爐。焙砂在 500~600°C 時從焙燒爐卸出，並在熱狀態下加入反射爐，同時加入熔劑（石英、石灰）、液態轉爐渣以及在工廠生產中總會生成的返料，煉成預期成分的銅銕。所必需的設備是焙燒爐與其附屬的電收塵裝置以及反射爐。

未焙燒的濕精礦的熔煉

由於浮選技術的提高，使目前已經可以獲得含 28%Cu 的精礦（純的黃銅礦含 36.4%Cu），因而用這種精礦可以不經焙燒而煉出含 30~35%Cu 的銅銕。此法的優點在於不需要焙燒爐及收塵設備，亦即減少了一道工序。含水分約 10% 的冷精礦沿側牆直接加入反射爐內，並加入熔劑、液態轉爐渣及返料煉出銅銕。

銅銕的處理

銅銕在鎂磚襯里的轉爐內吹煉成粗銅。

在吹煉的第一周期加石英使鐵造渣。此時銅銕中的 FeS 轉變為鐵橄欖石爐渣 $2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$ ；將這種渣小心地從爐內傾出，由於它含銅達 3~4%，在將它在液態時便返回到反射爐內。

留在轉爐內的 Cu_2S ，即所謂白冰銅，於第二周期吹煉成粗銅（也稱為轉爐銅）。若精礦及銅銕含有相當多量的伴生金屬，如錫（在加入再生銅料時）、鉍、碲、銻等，則在反射爐內煉成低品位銅銕，以便靠延長吹煉時間來保證上列金屬在轉爐內能大部分揮發。

吹炼低品位銅銻时还能在轉炉內处理大量冷料，利用轉炉作为一熔炼設備。轉炉銅通常在液态下加入阳极炉精炼并鑄成阳极。阳极板送去电解，而所得到的阴极銅則在反射炉或电炉內熔化，然后浇鑄成块錠、綫錠等等。阳极銅中的杂质在电解时部分进入电解液（Ni、As），部分进入阳极泥（Au、Ag、Te、Se、Bi）。非常純淨的、不含貴金属及鉍的轉炉銅經火法精炼之后可作商品銅使用。

上述两种熔炼方法的比較

熔炼预先焙烧过的热精矿具有下列优点 煤耗較小，每吨炉料約 150 公斤，当預热空气时为 120 公斤，相当于每吨炉料 $0.8 \sim 1.1 \times 10^6$ 千卡，或在减去从废热利用鍋炉中所得蒸气的热量后約为 0.6×10^6 千卡；单位处理量較大：每昼夜每平方米炉膛面积 3~5 吨；銅銻含銅量可在很大的范围内变动；反射炉炉气含硫少：0.1~0.3%（体积百分数）；冶炼过程平稳；焙烧炉的 SO_2 气浓，并易于被利用。

这种熔炼法的缺点是：分有焙烧及熔炼两道生产过程；收尘設備容积大；磁性氧化鉄在反射炉炉底沉积。

熔炼未焙烧的生精矿具有下列优点 只有一道生产过程（无焙烧过程）；設備較简单；在反射炉中鉄酸盐生成作用較弱。

这种熔炼法的缺点是：燃料消耗較大，每吨炉料約 200~240 公斤，相当于每吨炉料 $1.5 \sim 1.8 \times 10^6$ 千卡，或在减去从废热利用鍋炉中所得蒸气的热量后約为 0.8×10^6 千卡；单位处理量較小，每昼夜每平方米炉膛面积 2.0~2.5 吨；銅銻含銅量取决于精矿含銅量，約等于 $1.3 \times \text{Cu}$ （精矿中的 Cu 含量）；反射炉炉气含硫高，为 2~4%（体积百分数）；炉气难于消毒，其中所含的硫难于利用；由于炼生料，熔炼过程不平稳。

从上述的比較可看出，在选择熔炼方法时，下列两因素具有决定意义：煤耗量及反射炉含硫炉气消毒处理是否有必要。

采用这两种熔炼法时，在反射炉之后都装設废热利用鍋炉，

全过程所消耗的热量的 35~45% 在其中呈蒸气状态得到回收。

2. 镍

世界上約 90% 的镍是由硫化矿炼出的。主要的硫化镍矿物为镍黄铁矿 $(\text{Fe}, \text{Ni})\text{S}$ ，即含镍磁黄铁矿，但它总与黄铜矿一起被发现。这种硫化镍铜矿的处理在第一阶段与硫化铜矿的处理无甚区别。矿石（而更多的是浮选精矿）经过焙烧后入反射炉熔炼。有时将矿石烧结后送入鼓风炉熔炼。在这两种情况下熔炼出的第一次产品都是一般含 15~30% $\text{Ni} + \text{Cu}$ 的铜镍锍。它在轉炉内吹炼成不含铁的铜镍高锍，其中約含 50~60% Ni ，30~40% Cu ，0.2~1.0% Fe ，余者为硫。此铜镍高锍即为炼镍原料。后面的炼镍工艺过程首先是使铜与镍分离。铜镍分离的方法可举出下列几种：带隔膜电解法，用一氧化碳使镍呈羰基 $\text{Ni}(\text{CO})_4$ 挥发分离的蒙德法，或按染料工业（现在路易港的巴敦苯胺-苏打厂）的高压法使铜镍分离。

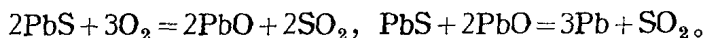
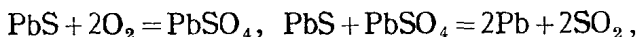
与硫化镍矿相反，氧化镍矿不含铜。氧化镍矿中最重要的硅镍矿为一镍镁硅酸盐。它經細磨后与石膏混合压成团，然后在鼓风炉内熔炼成镍锍。后者在不大的轉炉内加石英吹炼使铁造渣。吹炼得到镍高锍，含 77~78% Ni ，0.2% Fe ，余者为硫。镍高锍經細磨后在反射炉内死烧。所得的焙砂 NiO 压成小块立方体或制成丸状，并与木炭一起在蒸罐中加热到 1300°C，氧化亚镍即被还原成金属镍（结块镍）。氧化亚镍也在电炉内还原成金属，且在氧化亚镍中可能含有的硫用造高钙渣法去除。熔融的镍浇鑄成块或水碎成镍粒。

另一熔炼方法是在电炉内直接还原硅镍矿而得到铁镍合金。铁镍合金即可如此直接使用，或者将它在不大的轉炉内吹炼使铁轉入渣中。吹炼所得的镍鑄成阳极，然后进行电解精炼。

3. 铅

与镍、铜相类似，全世界所产出的大部分铅是自硫化矿制得

的。最重要的硫化鉛矿物为方鉛矿 PbS 。很富的鉛精矿，特别是当其滿足一定的物理条件要求时，可用膛式炉反应熔炼法处理，这是利用 PbS 、 PbSO_4 及 PbO 之間的相互反应直接获得鉛。



由于所有上述反应都在低于 1000°C 下进行，因而得到很純的鉛。这种鉛若不含銀或含銀少时即为商品鉛。精矿中的脉石不熔化，而形成含达 $30\%\text{Pb}$ 的粘稠状物（灰渣）。相当大的一部分鉛呈 PbS 状挥发并进入烟尘。因此，用該法生产时鉛的直接回收率仅为 $60\sim 70\%$ ，而 $30\sim 40\%$ 的鉛則在炉渣及烟尘內循环。

除了这一仅有狭小应用范围的方法之外，广泛采用着还原熔炼法，它分两阶段进行：首先尽可能完全地将 PbS 焙烧成 PbO 。目前仅采用燒結焙烧法，通常在带式燒結机上进行，且将鼓风炉冶炼时所必需的熔剂也加入燒結料中。

含鉛不超过 50% （一般低于 40% ）的鉛燒結块和加入量为 $8\sim 12\%$ 的焦炭在鼓风炉內炼出粗鉛。与在膛式炉內不同，在鼓风炉內由于高溫而使部分含于精矿中的杂质还原并使粗鉛污染。

鑑于在鼓风炉熔炼的溫度下 PbS 及 PbO 的蒸气压力高，因而尽可能造低熔点炉渣。众所周知，炉渣熔化溫度是决定着鼓风炉工作溫度的。鈣-鉄橄欖石渣（請看图 2）即为这种低熔点炉渣，但由于其中含 FeO 高而对 PbS 及 Pb 有較高熔解能力。粗鉛然后在反射炉內精炼或用碱法精炼。用鋅脫銀，而最后再脫鋅。

I 銅、鎳与鉛矿的熔炼

1. 銅矿反射炉熔炼与电炉熔炼的比较

由于熔炼銅精矿或鎳精矿的电炉在替代着反射炉，所以有必要将两者作一相互比較。反射炉是长方形的炉子，长达 50 米及

寬达 9 米（图 1）。在其一端装有燃烧設備，大多数烧粉煤，有的烧重油或气体燃料。在燃烧設備內裝有三个粉煤燃烧器 1。热炉气 4 通过与废热鍋炉直接相連的豎烟道排出炉外，然后进入烟囱。炉料 3 經加料斗进入炉內。炉料覆盖的炉底长度地段，占炉底长度的 50~65%，这一段区域即为《熔炼帶》，而炉子的剩余部分，即尾部，作聚集及分离炉渣与銅銻之用，以及作放渣之用。

热量的传导：1）借助于热炉气的对流；2）一部分借助热炉頂的輻射，一部分借助火焰的輻射。因而热流从上向下运动：炉气—精矿—炉渣+銻。每燃烧 1 公斤煤有 10~15 标米³的燃烧气体及反应气体通过反射炉。在 1100~1300°C 下从炉內排出的炉气热量，約 30~45% 可在废热鍋炉內呈蒸气状回收。因此平均可按每公斤煤得到 4 公斤蒸气計算。显然，反射炉与蒸气鍋炉的联合大大提高了反射炉熔炼的經濟性。

电炉可以具有圓形、橢圓形或长方形的形状。为了与反射炉作比較，我們选述最后的一种。电极 5（此处为 6 根）自炉頂通入（見图 1），于是电炉成为三个具有共同熔炼空間的单相电炉的联合体。电极插入渣层中，其下沉深度决定于炉子的电压及功率，同时也决定于炉渣的电导率，而炉渣电导率又决定于炉渣成分及其溫度。

与反射炉相仿，精矿 3 通过加料斗 2 加入电炉內并浮于渣面上。通过电极輸入电炉的电能，在渣层內按下列公式变为热能：

$$Q = I^2 \times R \times t \times 0.239,$$

式中 Q ——热量（卡）， I ——电流强度（安培）， R ——总电阻（欧姆）， t ——時間（秒）。

在炉渣中产生的热量只借热传导及对流作用传给浮在渣面上的精矿。由于热量的放出及由此而产生的溫度上升值在直接与电极相近处最大，因而炉渣从电极向炉牆的方向循环运动，热量靠对流作用由流动着的炉渣传给炉料。反应生成的气体与吸入的空气以及炉料水分蒸发出来的水蒸汽一起經烟道 4 排出。在电炉內

热流的传导则从下向上（炉渣—精矿—气体）进行。炉气量比在相同尺寸的反射炉内少。气体温度为 $400\sim 600^{\circ}\text{C}$ ，因而在这种情况下利用气体的热量无实际意义。由于电炉炉气量较少，气体较易在电收尘器内净化除尘。如此可回收含于烟尘中的有用组分，其价值在一定条件下将不低于反射炉废热锅炉所产蒸气的价值。

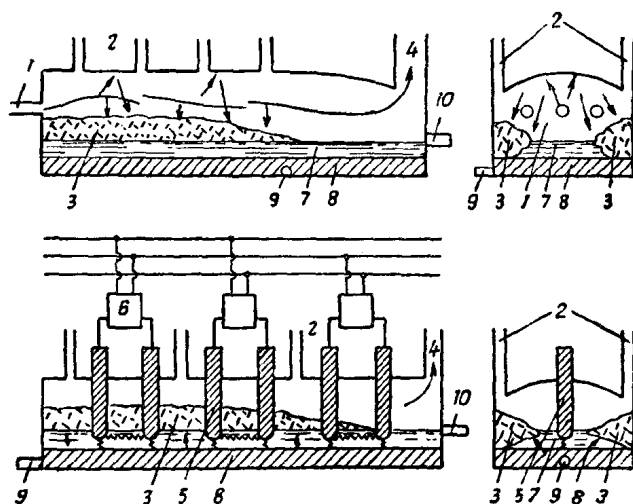


图 1 精矿熔炼反射炉及电炉原则示意图

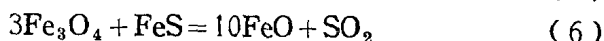
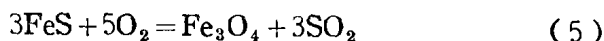
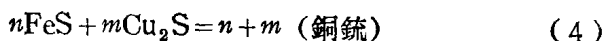
- 1—燃烧器；2—加料斗；3—炉料；4—排出之气体；5—电极；
6—变压器；7—炉渣；8—铜锍；9—放铜锍口；10—放渣口

由于与反射炉相仿，电炉靠近出渣口部分应起前床作用，但该部分与在反射炉内不同，无燃烧气体加热，因而必须靠电加热。与最末尾的一个变压器相连接的一对电极即作此用。在该处炉渣内的湍流现象应减到最小。电加热法使在炉子末端加入促使渣含铜降低的各种添加剂成为可能。

由于大部分电能从电极末端通过渣层导向导电性高的铜锍，所以在该处产生最大的热量，因此电炉铜锍的温度比反射炉铜锍的温度高 $50\sim 100^{\circ}\text{C}$ 。由于同样的原因，电炉不同于反射炉，电炉不是安在整块的基础上，而安在基柱上，使炉底由空气冷却。

2. 反射炉熔炼与电炉冶炼过程的比较

如果在燃煤反射炉内熔炼未经焙烧的湿铜精矿，则在炉内发生下列反应：

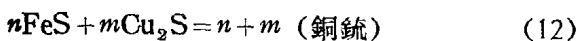
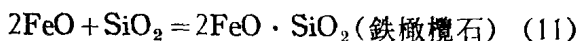
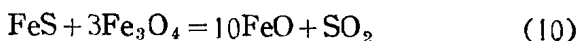
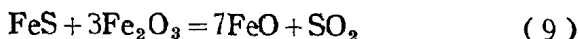
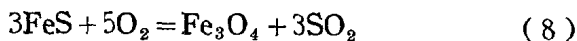


反应 (5) 为次要反应，而且这个反应的进行程度与在炉气中氧的含量有关。

含 25%Cu 的铜精矿含有 72.2%CuFeS₂，22.8%FeS₂，5%SiO₂，或者是 25%Cu，32.6%Fe，37.4%S，并在理论上能产出含 30.3%Cu 的铜铈。借助于反应 (6)，同时也借助于随转炉渣进入反射炉的磁性氧化铁的作用，铜铈含铜约增至 33%。

在电炉内熔炼未经焙烧的湿精矿时，反应 (5) 实际上不发生。反应 (6) 则相反，由于转炉渣中磁性氧化铁的存在而进行。用上述成分的精矿在电炉内炼出的铜铈在理论上可含 30.3%Cu，而在实际上约含 32%Cu。

如果在反射炉内熔炼经过焙烧并由 Cu₂S、FeS、Fe₂O₃、Fe₃O₄ 及 SiO₂ 组成的热精矿或冷精矿，则发生下列反应：



反应 (8) 为物料在炉内的补充焙烧反应，它与炉气中氧的浓度有关。反应 (9) 与 (10) 极其重要，因为它们使在焙烧时

生成的 Fe_2O_3 及 Fe_3O_4 分解成 FeO ，即变为唯一能与 SiO_2 形成鉄橄欖石渣的鉄氧化物。

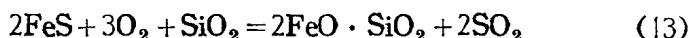
如果上面提及的含 25% Cu 的精矿如此焙烧，使全部銅及一半鉄与硫結合，而各四分之一的鉄处于 Fe_2O_3 及 Fe_3O_4 状态，則从 100 公斤精矿可以得到 84.8 公斤含 29.5% Cu, 38.4% Fe, 18.4% S, 7.8% O_2 , 5.9% SiO_2 的焙砂。从这种焙砂将得到含 46.9% Cu 的銕。由于反应 (8)，同时也借助于轉炉渣中磁性氧化鉄的作用，銅銕含銅量約增至 50%。在电炉內熔炼焙砂时，除反应 (8) 不发生之外，也发生与在反射炉內熔炼时相同的反应，因而所得銅銕稍貧，約比在反射炉內熔炼同样物料时低 1%。

必須注意到，在燃煤反射炉內熔炼时炉气中之硫不可能得到回收，且炉气对周围地区的有害影响无合理的方法消除。在电炉內則由于沒有燃烧气体而得到含 SO_2 这样富的炉气，以致从它們可以容易地制出硫酸、二氧化硫或元素硫。

3. 炉渣及其电导率

所有銅精矿都含有相当数量呈 FeS 或 FeS_2 状存在的鉄， FeS 及 FeS_2 在处理过程中发生氧化，最后应呈 FeO 状轉入鉄橄欖石渣 $2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$ 。

在熔炼生料时实际上全部鉄都先呈 FeS 状轉入銅銕。銅銕在轉炉內进一步受处理时， FeS 再同加入的石英造成轉炉渣：



当熔炼經過焙烧的物料时，根据所生产的銅銕品位高低的不同要求，使相应部分的鉄先在焙烧炉內氧化成 Fe_2O_3 或 Fe_3O_4 ，而后在熔炼炉內氧化成 FeO 轉入鉄橄欖石渣。只有极少量的鉄呈 FeS 状态轉入銅銕，然后按反应 (13) 轉变成鉄橄欖石渣。含 3~4% Cu 的轉炉渣呈液态加入反射炉或电炉，在炉內借助与 FeS 起的反应及澄清作用，其含銅量下降，因而即可視作废渣。因此反射炉炉渣首先應該滿足下述要求：具有低的熔点；小的粘