

重有色金属材料加工手册

第 二 分 册

《重有色金属材料加工手册》编写组 编

重有色金属材料加工手册

第 二 分 册

《重有色金属材料加工手册》编写组 编

(限国内发行)

*

冶金工业出版社出版

新华书店北京发行所发行

冶金工业出版社印刷厂印刷

*

787×1092 1/16 印张 12 3/4 字数 301 千字

1979年4月第一版 1979年4月第一次印刷

印数00,001~25,700册

统一书号: 15062·3403 定价(科四) 1.40元

目 录

第二篇 熔 炼 与 铸 锭

第一章 炉料和配料

第一节 金属熔炼损耗	1
一、挥发	1
二、氧化烧损	2
三、其它熔炼损耗	3
四、降低熔炼损耗的途径	3
第二节 杂质的控制	4
一、杂质的来源	4
二、控制杂质的途径	4
第三节 炉料	4
一、新金属	4
二、厂内旧料	9
三、外来废料	9
四、二次重熔料	10
第四节 中间合金	10
一、使用中间合金的目的与要求	10
二、中间合金配制方法	10
第五节 配料	12
一、配料原则	12
二、配料计算	13

第二章 熔炼

第一节 除气和脱氧	16
一、气体的来源	16
二、气体的溶解过程及溶解度	16
三、除气方法	17
四、脱氧过程	20
五、脱氧剂	23
第二节 精炼	24
一、氧化精炼	24
二、除渣精炼	25
三、熔剂	26
第三节 变质处理	28
第四节 熔炼工艺参数	30
一、熔炼工艺参数的选择	30
二、紫铜熔炼工艺	30
三、黄铜熔炼工艺	35
四、青铜熔炼工艺	39
五、白铜熔炼工艺	44
六、镍和镍合金熔炼工艺	45

七、锌、锡、铅、镉及其合金熔炼

工艺	48
----	----

八、熔炼的安全技术

第五节 铜渣回收

一、水法处理	53
--------	----

二、火法处理	54
--------	----

第六节 收尘

一、湿法收尘	55
--------	----

二、布袋收尘	56
--------	----

三、静电收尘	56
--------	----

第三章 熔炼设备

第一节 工频有铁芯感应电炉

一、工作原理	59
--------	----

二、构造和技术性能	60
-----------	----

三、炉衬与筑炉	62
---------	----

四、烤炉与停炉	72
---------	----

第二节 无铁芯感应电炉

一、工作原理	74
--------	----

二、构造和技术性能	75
-----------	----

三、炉衬与筑炉	82
---------	----

四、烤炉与停炉	84
---------	----

第三节 电阻炉

第四节 反射炉

第五节 坩埚炉

第六节 锅式炉

第四章 真空熔铸和电渣重熔

第一节 真空熔铸

一、真空熔炼	96
--------	----

二、真空铸锭	99
--------	----

三、真空感应电炉	100
----------	-----

第二节 真空吸铸

第三节 电渣重熔

一、工作原理	105
--------	-----

二、电渣炉的构造和技术性能	106
---------------	-----

三、主要工艺参数的选择	108
-------------	-----

四、电渣重熔工艺	110
----------	-----

第五章 铁模、水冷模铸锭

第一节 概述

第二节 工艺参数选择

一、铸造温度	112	第二节 裂纹	175
二、铸造速度	113	一、铸造应力	175
三、锭模温度	114	二、应力与裂纹的关系	176
四、涂料	114	三、影响热裂纹的因素	176
第三节 铸锭工艺	115	四、防止产生热裂纹的基本方法	176
一、铜、镍及其合金铁模铸锭工艺	115	五、常见热裂纹的类别及产生原因	176
二、铜合金水冷模铸锭工艺	115	第三节 夹渣和夹杂	178
三、锌、锡、铅、镉及其合金铸锭工艺	115	第四节 气孔	178
第四节 锭模	118	一、内部气孔产生原因	179
一、锭模分类	118	二、表面气孔(包括底部气孔)产生原因	179
二、锭模材料	120	三、皮下气孔产生原因	179
三、锭模设计	121	第五节 偏析	179
四、锭模主要尺寸举例	123	一、概述	179
第五节 无流铸锭	123	二、偏析对铸锭质量的影响	179
第六章 连续铸锭		三、各种偏析的形成概况及防止方法	179
第一节 半连续铸锭	125	第六节 缩孔与疏松	183
一、铸锭的结晶组织及影响结晶组织的因素	125	一、影响缩孔与疏松产生的因素	183
二、铸锭凝固过程的热交换	127	二、防止缩孔和疏松的方法	184
三、液穴深度	127	第七节 冷隔	184
四、液穴形状及过渡带大小	130	第八节 其它缺陷	185
五、平均结晶速度	131	一、麻面(麻坑)	185
六、保护剂和润滑剂	131	二、空心锭内孔扩大或缩小	185
七、工艺参数选择	134	三、空心锭内孔表面隆起或出现毛刺	185
八、铸锭工艺	135	四、表面纵向条痕	185
九、半连续铸造机	141	第九节 锭坯质量检查与验收	186
第二节 卧式连续铸锭	147	一、锭坯质量检查	186
一、概述	147	二、锭坯的验收	188
二、工艺参数选择	148	第八章 铸锭的机械加工及吊钳	
三、铸锭工艺	152	第一节 铸锭锯切设备	189
四、卧式连续铸锭机	152	一、半自动圆锯床	189
第三节 立式连续铸锭	154	二、快速锯床	189
一、铸锭工艺	154	三、锯切机列	191
二、立式连续铸锭机	154	四、G72型弓形锯床	191
第四节 电磁场无模铸锭	155	五、锯片	191
第五节 结晶器	157	第二节 扁锭表面加工设备	192
一、半连续铸锭结晶器	157	一、立式升降台铣床	192
二、连续铸锭结晶器	168	二、龙门铣	192
三、其它辅助工具	172	三、连续铣面机	192
第六节 铸锭安全技术	173	四、单柱立式车床	194
第七章 铸锭缺陷分析及质量检查		第三节 吊钳	195
第一节 化学成分废品	175	一、结构及材料	195
		二、力学原理	196
		三、安全系数、夹合系数的选取	196

第二篇 熔炼与铸锭

第一章 炉料和配料

第一节 金属熔炼损耗

金属熔炼损耗通常是指熔炼过程中，金属的挥发、氧化烧损、与炉衬作用的消耗等全部损耗的总和。

一、挥发

在熔炼过程中，金属的挥发是难以避免的，特别是一些易挥发元素有时会因挥发损失过大致使控制成分发生困难；故在熔炼工艺上应视其情况采取相应措施。

挥发损失主要取决于金属的蒸汽压；此外，与其浓度和氧化膜性质、熔炼温度和时间、炉气性质和压力、熔炼设备和炉膛面积等因素也有关。

金属的蒸汽压随温度的升高而增加（见图2-1-1）。

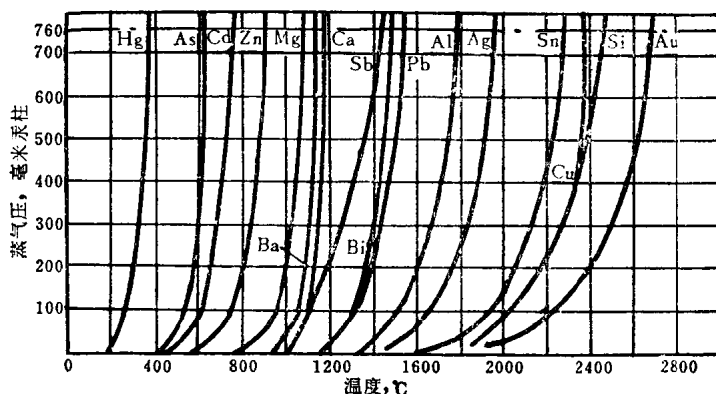


图 2-1-1 金属的蒸汽压—温度曲线

蒸汽压一般按下列实验公式近似计算：

$$\lg P = AT^{-1} + B \lg T + CT + D \quad (2-1-1)$$

式中 P ——蒸汽压，毫米汞柱；

T ——绝对温度，°K；

A, B, C, D ——实验测定的系数（见表2-1-1）。

金属的蒸汽压愈大或沸点愈低，挥发损失愈大。提高金属的熔炼温度，其蒸汽压和挥发损失也相应增加。在实际生产中，一般熔炼温度愈高、时间愈长、易挥发的元素含量愈多、炉膛内气压愈低、熔池表面积愈大、覆盖条件愈差，挥发损失就愈大。

铝、铍等在熔池表面形成保护性氧化膜，能显著减少合金中易挥发成分的损失。

熔炼设备对金属挥发影响较大，一般感应电炉的挥发损失较少，而反射炉的损耗较大。

金属在蒸汽压公式中的 A、B、C、D 值

表 2-1-1

金 属	A	B	$C \times 10^3$	D	温度范围, °K
银 Ag	-14550	-0.27	-0.17	10.13	熔点~2500
铝 Al	-16450	-1.023	—	12.36	1200~2800
金 Au	-19280	-1.01	—	12.38	熔点~沸点
钡 Ba	-9340	—	—	7.42	熔点
铍 Be	-17000	-0.775	—	11.90	1557~2670
铋 Bi	-10060	-1.325	—	12.70	1000~1900
钙 Ca	-9500	-1.275	—	11.91	1100~2000
镉 Cd	-5819	-1.257	—	12.287	594~1050
钴 Co	—	-5.03	—	1.48	2375
铬 Cr	-15700	—	—	8.68	熔点~沸点
铯 Cs	-4075	-1.45	—	11.38	280~1000
铜 Cu	-17650	-1.273	—	13.39	熔点~沸点
铁 Fe	-20150	-1.27	—	13.98	熔点~沸点
镓 Ga	-16280	-1.27	—	14.12	1200~1400
汞 Hg	-3328	-0.848	—	10.53	200~650
铟 In	-12860	-0.7	—	10.71	熔点~沸点
钾 K	-4770	-1.37	—	11.58	350~1050
锂 Li	-8860	-1.275	—	12.50	700~1600
镁 Mg	-7610	-1.02	—	11.61	熔点~沸点
锰 Mn	-15240	-3.04	—	19.44	熔点~沸点
钼 Mo	-32150	-0.045	-0.27	10.24	2900~3500
钠 Na	-5700	-1.178	—	11.33	400~1200
镍 Ni	-18000	—	—	8.17	熔点~3400
铅 Pb	-10130	-0.985	—	11.16	熔点~沸点
铂 Pt	-25000	—	—	8.44	熔点~沸点
铷 Rb	-4560	-1.45	—	12.00	熔点~沸点
铊 Sb	-11000	-1.10	—	12.86	熔点~沸点
硅 Si	-17100	-1.022	—	12.31	熔点~3000
锡 Sn	-14850	—	—	7.32	2240~2550
锶 Sr	-8270	-1.27	—	11.97	熔点~沸点
钛 Ti	-22100	—	—	9.135	熔点~沸点
铊 Tl	-9300	-0.892	—	11.10	700~1800
钨 W	-42000	-0.146	-0.164	9.84	2000~3500
锌 Zn	-6670	-1.126	—	12.00	熔点~沸点

二、氧化烧损

金属的氧化烧损，在很大程度上取决于金属与氧的亲合力大小和所形成的氧化膜性质。这个性质又主要取决于氧化物的体积与被氧化的金属体积之比 α (表2-1-2)，即：

$$\alpha = \frac{V_{\text{MeO}}}{V_{\text{Me}}} \quad (2-1-2)$$

式中 α ——体积比例系数； V_{MeO} ——金属表面氧化膜的分子体积； V_{Me} ——金属原子体积。

α 大于 1 时，金属表面被致密和连续的氧化膜所覆盖，能够阻止氧原子向内或金属离子向外扩散，氧化烧损就少。反之， α 小于 1 时，氧化膜呈疏松多孔状，不足以覆盖住金属表面，氧原子和金属离子通过氧化膜的裂缝或空隙的机会就多，氧化烧损就大。以上情况是对固态金属而言的。若对高温液态金属（能形成保护性氧化膜的金属如铝、铍等除

一些金属的 α 值 (近似值)

表 2-1-2

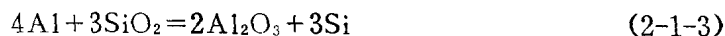
金 属	钾	钠	锂	钙	钡	镁	铝	铅
氧化物	K ₂ O	Na ₂ O	Li ₂ O	CaO	BaO	MgO	Al ₂ O ₃	PbO
体积比例系数 α	0.45	0.58	0.6	0.65	0.74	0.78	1.27	1.27
金 属	锡	镍	锌	铍	铜	硅	铁	钨
氧化物	SnO	NiO	ZnO	BeO	Cu ₂ O	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	WO ₃
体积比例系数 α	1.33	1.50	1.64	1.68	1.74	1.88	2.18	3.18

外) 因与氧化膜的结合较固态时为弱, 且有可能由于溶解而遭到破坏; 加之铜、铁、镍等金属的氧化物能部分溶解于金属液中, 所以不显氧化膜的保护作用。

熔融金属中合金元素的氧化烧损, 与合金元素对氧的亲力和含量有关, 凡与氧的亲力和比基体金属大、表面活性强的元素, 必然易于烧损; 如铜合金中的铝、铅、钛、硅、锰、铬、锌、磷、铅等, 均比铜更易氧化烧损。所以, 从各种合金元素对氧的亲力和氧化膜的性质, 便可估计出合金元素氧化烧损的趋势。

三、其它熔炼损耗

1. 熔融金属或金属氧化物与炉衬材料之间的化学作用, 造成金属损耗。例如高温下铝与SiO₂有如下反应:



2. 金属在熔炼时, 熔融金属因静压力作用可能渗入炉衬缝隙, 而导致高温区局部熔化, 使渣量及渣中金属损耗增加, 这种情况在新炉开始生产和炉子快损坏时较易出现。

此外, 机械混入渣中的金属, 以及扒渣、飞溅等也造成金属损失。

四、降低熔炼损耗的途径

1. 选用熔池面积小的炉子熔炼。如用工频感应电炉熔炼紫铜时, 熔炼损耗约为0.4~0.6%; 用反射炉熔炼时, 熔炼损耗增至0.7~0.9%; 因此, 目前广泛选用工频或中频感应电炉熔炼铜、镍及其合金。

2. 制定合理的操作规程。易氧化、挥发的合金元素应制成中间合金在最后加入, 或在熔剂覆盖下熔化。装料时要做到炉料合理分布, 尽量采用高温快速熔化, 缩短熔炼时间。熔炼黄铜时采用低温加锌;

3. 碎屑散料应制成捆或团使用;

4. 正确控制炉温。在保证熔融金属的流动性及其它工艺要求的条件下, 选择适当的熔炼温度;

5. 炉气一般以控制微氧化性气氛较好;

6. 选用覆盖剂可防止金属氧化和减少挥发损失。

含有铝、铍等元素的合金, 由于能在熔融金属表面形成致密的氧化膜, 一般不再加覆盖剂; 但操作中应注意勿使氧化膜遭到破坏;

7. 利用脱氧剂使基体金属的氧化物还原;

8. 正确选择覆盖剂或熔剂, 使具有足够的流动性和覆盖能力, 同时采取高温扒渣或捞渣等措施, 降低渣中金属损耗;

9. 采用真空熔炼或保护性气体熔炼。

第二节 杂 质 的 控 制

一、杂质的来源

在熔炼过程中，大多数杂质是金属从炉衬、炉气、熔剂、炉渣、操作工具等方面吸收的。因此若控制不严或管理不善，就有可能造成化学成分废品。

炉衬材料选用不当时，在熔炼温度下，金属就会与炉衬相互作用，不仅降低炉衬寿命，而且会使某些杂质进入金属。例如在酸性炉衬的工频有芯感应电炉中熔炼铝青铜时，会产生如式(2-1-3)的反应而使合金增硅。

燃料不纯亦可增加杂质，如用含硫高的煤气或重油作燃料时，在加热和熔炼铜、镍的过程中，因下列反应而增硫：



当铜和铜合金用米糠作覆盖剂，镍和镍合金用稻草灰作覆盖剂时，都会使金属增磷。

从炉衬、炉气、覆盖剂或熔剂中吸收的杂质，虽然每次熔炼所吸收的量很小，但由于部分炉料经反复使用，杂质含量也有可能逐步积累增多，甚至造成废品。

许多杂质在熔炼中的烧损比合金的组成元素少，反复回炉熔炼会使杂质相对含量增加。因此，长期反复使用旧料也将造成杂质积累。生产中新金属与旧料的使用量一般保持一定比例，使杂质不超过一定含量。

此外，变料时洗炉不彻底，炉料管理不善，原料的混料等都会使金属中杂质增多。

二、控制杂质的途径

1. 加强炉料管理，杜绝混料；
2. 在可能条件下，新金属和旧料搭配使用，旧料的使用量不超过炉料的50%；
3. 变料时，必须按金属的杂质要求，准确计算洗炉次数；
4. 选用化学稳定性高的耐火材料。如镍合金用镁砂炉衬，铝青铜用中性炉衬等；
5. 与熔融金属接触的工具，尽可能采用不易带入杂质的材料，或用涂层保护。

第三节 炉 料

炉料包括新金属、厂内旧料、外来废料、二次重熔料、中间合金等。

一、新金属

新金属的化学成分标准，由国家标准(GB)或部标准(YB)统一规定。

常用新金属的化学成分见表2-1-3~表2-1-19。

铜分类及化学成分

表 2-1-3

铜品号	代号	化 学 成 分, %												
		铜 不小于	杂 质, 不 大 于											
			铋	锑	砷	铁	镍	铅	锡	硫	氧	锌	磷	总和
一号铜	Cu-1	99.95	0.002	0.002	0.002	0.005	0.002	0.005	0.002	0.005	0.02	0.005	0.001	0.05
二号铜	Cu-2	99.90	0.002	0.002	0.002	0.005	0.002	0.005	0.002	0.005	0.06	0.005	0.001	0.10
三号铜	Cu-3	99.70	0.002	0.005	0.01	0.05	0.20	0.01	0.05	0.01	0.10	—	—	0.30
四号铜	Cu-4	99.50	0.003	0.05	0.05	0.05	0.20	0.05	0.05	0.01	0.10	—	—	0.50

铅分类及化学成分

表 2-1-4

铅品号	代 号	化 学 成 分, %									
		铅	杂 质, 不 大 于								
			银	铜	镉	锡	砷	铋	铁	锌	镁+钙+钠
一 号 铅	Pb-1	99.994	0.0003	0.0005	0.0005	0.001	0.0005	0.003	0.0005	0.0005	0.003
二 号 铅	Pb-2	99.99	0.0005	0.001	0.001	0.001	0.001	0.005	0.001	0.001	0.003
三 号 铅	Pb-3	99.98	0.001	0.001	0.004	0.002	0.002	0.006	0.002	0.001	0.003
四 号 铅	Pb-4	99.95	0.0015	0.001	0.005	0.002	0.002	0.03	0.003	0.002	0.005
五 号 铅	Pb-5	99.9	0.002	0.002	镉+锡 0.01		0.005	0.06	0.005	0.005	0.01
六 号 铅	Pb-6	99.5	0.002	0.09	镉+锡+砷 0.25			0.10	0.01	0.01	0.02

锌分类及化学成分

表 2-1-5

锌品号	代 号	化 学 成 分, %								
		锌	杂 质, 不 大 于							
			铅	铁	镉	铜	砷	铋	锡	总 和
特一号锌	Zn-01	99.995	0.003	0.001	0.001	0.0001	—	—	—	0.0050
一 号 锌	Zn-1	99.99	0.005	0.003	0.002	0.001	—	—	—	0.010
二 号 锌	Zn-2	99.96	0.015	0.010	0.010	0.001	—	—	—	0.040
三 号 锌	Zn-3	99.90	0.05	0.02	0.02	0.002	—	—	—	0.10
四 号 锌	Zn-4	99.50	0.3	0.03	0.07	0.002	0.005	0.01	0.002	0.5
五 号 锌	Zn-5	98.70	1.0	0.07	0.2	0.005	0.01	0.02	0.002	1.3

锡分类及化学成分

表 2-1-6

锡品号	代 号	化 学 成 分, %								
		锡	杂 质, 不 大 于							
			砷	铁	铜	铅	铋	镉	硫	总 和
特一号锡	Sn-01	99.95	0.003	0.004	0.004	0.03	0.003	0.005	0.001	0.05
一 号 锡	Sn-1	99.90	0.015	0.007	0.01	0.05	0.015	0.015	0.001	0.10
二 号 锡	Sn-2	99.75	0.02	0.01	0.03	0.08	0.05	0.05	0.01	0.25
三 号 锡	Sn-3	99.56	0.02	0.02	0.03	0.30	0.05	0.05	0.01	0.44
四 号 锡	Sn-4	99.00	0.10	0.05	0.10	0.66	0.06	0.15	0.02	1.00

镉分类及化学成分

表 2-1-7

镉品号	代 号	化 学 成 分, %								
		镉	杂 质, 不 大 于							
			铅	锌	铜	铁	砷	铋	锡	总 和
精制二号镉	Cd-02	99.998	0.001	0.0003	0.0001	0.0006	0.001	0.0002	0.0002	0.0020
精制一号镉	Cd-01	99.995	0.002	0.001	0.0005	0.001	0.002	0.0002	0.0002	0.0050
一 号 镉	Cd-1	99.99	0.004	0.002	0.001	0.002	0.002	0.002	0.002	0.010
二 号 镉	Cd-2	99.95	0.02	0.01	0.01	0.003	0.002	0.002	0.002	0.050
三 号 镉	Cd-3	99.9	0.05	0.02	0.02	0.005	0.002	0.002	0.002	0.100

镍分类及化学成分

表 2-1-8

镍 品 号		特 号 镍	一 号 镍	二 号 镍	三 号 镍	
代 号		Ni-01	Ni-1	Ni-2	Ni-3	
化 学 成 分, %	镍和钴总量不小于		99.99	99.9	99.5	99.2
	其中钴不大于		0.005	0.10	0.15	0.50
	杂 质, 不 大 于	碳	0.005	0.01	0.02	0.10
		硅	0.001	0.002	—	—
		磷	0.001	0.001	0.003	0.02
		硫	0.001	0.001	0.003	0.02
		铁	0.002	0.03	0.20	0.50
		铜	0.001	0.02	0.04	0.15
		锌	0.001	0.0015	0.005	—
		砷	0.0008	0.001	—	—
		镉	0.0003	0.001	—	—
		锡	0.0003	0.001	—	—
		铋	0.0003	0.001	—	—
		铅	0.0003	0.001	0.002	0.005
		铊	0.0003	0.001	—	—
		锰	0.001	—	—	—
		铝	0.001	—	—	—
镁	0.001	—	—	—		

钴分类及化学成分

表 2-1-9

钴 品 号			一 号 钴	二 号 钴	三 号 钴	四 号 钴
代 号			Co-1	Co-2	Co-3	Co-4
化 学 成 分, %	钴 不 小 于		99.98	99.25	98.0	97.0
	杂 质, 不 大 于	碳	0.005	0.03	0.1	0.2
		硫	0.001	0.004	0.01	0.05
		锰	0.001	0.07	0.15	0.2
		铁	0.003	0.2	0.5	0.7
		镍	0.005	0.3	0.5	1.5
		铜	0.001	0.04	0.1	0.15
		砷	0.0005	0.002	0.005	0.01
		铅	0.0003	0.002	—	—
		锌	0.001	0.005	—	—
		硅	0.001	0.002	—	—

续表 2-1-9

钴 品 号			一 号 钴	二 号 钴	三 号 钴	四 号 钴
代 号			Co-1	Co-2	Co-3	Co-4
化 学 成 分 ， %	杂 质 ， 不 大 于	镉	0.0003	0.001	—	—
		镁	0.001	—	—	—
		磷	0.001	—	—	—
		铝	0.001	—	—	—
		锡	0.0003	—	—	—
		锑	0.0003	—	—	—
		铋	0.0003	—	—	—
		总 和	0.02	—	—	—

铝分类及化学成分

表 2-1-10

铝 品 号	代 号	化 学 成 分， %					
		铝 不小于	杂 质， 不 大 于				
			铁	硅	铁+硅	铜	总 和
高一号铝	Al-01	99.9	0.060	0.060	0.095	0.005	0.1
高二号铝	Al-02	99.85	0.100	0.080	0.142	0.008	0.15
特一号铝	Al-0	99.7	0.16	0.16	0.26	0.01	0.30
特二号铝	Al-00	99.6	0.25	0.20	0.36	0.01	0.40
一 号 铝	Al-1	99.5	0.30	0.30	0.45	0.015	0.50
二 号 铝	Al-2	99.0	0.5	0.5	0.90	0.02	1.0
三 号 铝	Al-3	98.0	1.1	1.0	1.80	0.05	2.0

镁分类及化学成分

表 2-1-11

镁 品 号	代 号	化 学 成 分， %							
		镁 不小于	杂 质， 不 大 于						
			铁	硅	钠	砷	铝	氯	总 和
一 号 镁	Mg-1	99.95	0.02	0.01	—	0.005	0.01	0.003	0.05
二 号 镁	Mg-2	99.92	0.04	0.01	0.001	0.01	0.02	0.005	0.08
三 号 镁	Mg-3	99.85	0.05	0.03	0.002	0.02	0.05	0.005	0.15

砷分类及化学成分

表 2-1-12

品 号	代 号	化 学 成 分， % 砷， 不 小 于
一 号	As-1	99.5
二 号	As-2	99.0

锑分类及化学成分

表 2-1-13

锑品号	代 号	化 学 成 分, %					
		锑 不小于	杂 质, 不 大 于				
			砷	铁	硫	铜	总 和
一 号 锑	Sb-1	99.85	0.05	0.02	0.04	0.01	0.15
二 号 锑	Sb-2	99.65	0.10	0.03	0.06	0.05	0.35
三 号 锑	Sb-3	99.50	0.15	0.05	0.08	0.08	0.50
四 号 锑	Sb-4	99.00	0.25	0.25	0.20	0.20	1.00

铋分类及化学成分

表 2-1-14

铋品号	代 号	化 学 成 分, %										
		铋 不小于	杂 质, 不 大 于									
			铜	铅	铁	锌	银	锑	砷+碲	碲	氯	总 和
一 号 铋	Bi-1	99.99	0.001	0.001	0.001	0.0005	0.005	0.0005	0.0005	0.0005	0.003	0.01
二 号 铋	Bi-2	99.95	0.003	0.01	0.001	0.005	0.03	0.002	0.001	0.001	0.005	0.05
三 号 铋	Bi-3	99.9	0.02	0.02	0.002	0.01	0.05	0.004	0.003	0.003	—	0.10

结晶硅分类及化学成分

表 2-1-15

硅品号	代 号	化 学 成 分, %					
		硅 不小于	杂 质, 不 大 于				总 和
			铁	铝	钙		
一 号 硅	Si-1	99	0.5	0.5	0.5		1.0
二 号 硅	Si-2	98	0.7	0.8	0.5		2.0
三 号 硅	Si-3	97	1.0	1.2	0.8		3.0
四 号 硅	Si-4	95	1.5	1.5	1.5		4.5

金属锰分类及化学成分

表 2-1-16

牌 号		化 学 成 分, %							备 注
		锰 不小于	杂 质, 不 大 于					硫	
汉字名称	代 号		硅	铁	碳	磷			
		I 组				II 组			
金属锰00	JMn00	99.95	—	—	0.02	0.005		0.01	YB 68—60 适用电解法生产
金属锰 0	JMn0	99.7	—	—	0.10	0.10		0.01	
金属锰 1	JMn1	96	0.5	2.5	0.10	0.05	0.06	0.05	YB 68—70
金属锰 2	JMn2	95	0.8	3.0	0.15	0.055	0.08	0.055	
金属锰 3	JMn3	93	1.8	4.5	0.20	0.06	0.10	0.06	

金属铬分类及化学成分 表 2-1-17

牌 号		化 学 成 分, %								
汉 字 名 称	代 号	铬 不小于	杂 质, 不 大 于							
			碳	硅	硫	磷	铝	铁	铜	铅
金 属 铬 1	JCr1	98.5	0.03	0.4	0.02	0.01	0.5	0.5	0.06	0.0005
金 属 铬 2	JCr2	98	0.05	0.4	0.03	0.01	0.8	0.8	0.06	0.0010

注：其余砷、锑、铋、锡等元素含量应各不大于 0.001%。

海绵钛分类及化学成分 表 2-1-18

级 别	牌 号	化 学 成 分, %						
		钛 不小于	杂 质, 不 大 于					
			铁	硅	氯	碳	氮	氧
一 级 品	HTi-1	99.67	0.10	0.03	0.06	0.03	0.03	0.08
二 级 品	HTi-2	99.55	0.15	0.04	0.08	0.04	0.04	0.10
三 级 品	HTi-3	99.32	0.28	0.05	0.10	0.05	0.05	0.15
四 级 品	HTi-4	99.08	0.40	0.05	0.15	0.06	0.06	0.20

稀土金属及混合物技术条件 表 2-1-19

产 品 名 称	牌 号	规 格	技 术 条 件
富铈混合稀土金属	XtCe45-1	99%	Ce≥45%，非稀土杂质<1%
	XtCe45-2	98%	Ce≥45%，Fe<1%，S<0.02%，P<0.01%，Si<0.07%
	XtCe45-3	95%	Ce≥45%，Fe<1%，S<0.02%，P<0.01%，Si<0.07%
富镧混合稀土金属	XtLa 40	98%	La≥40%，Fe<1%，S<0.02%，P<0.01%，Si<0.07%
金属镧	La-1	>99.5%	Ce、Pr、Nd、Fe、Si、Ca 总量≤0.5%
	La-2	>99%	Fe<0.5%，S<0.02%，P<0.01%，Si<0.07%
	La-3	>98%	Fe<0.5%，S<0.02%，P<0.01%，Si<0.07%
	La-4	>95%	Fe<1%，S<0.02%，P<0.01%，Si<0.07%
金属铈	Ce-1	>99.5%	La、Pr、Nd、Fe、Si、Ca 总量≤0.5%
	Ce-2	>99%	Fe<0.5%，S<0.02%，P<0.01%，Si<0.07%
	Ce-3	>98%	Fe<0.5%，S<0.02%，P<0.01%，Si<0.07%
	Ce-4	>95%	Fe<1%，S<0.02%，P<0.01%，Si<0.07%

二、厂内旧料

厂内旧料包括熔铸车间的残料、洗炉料和废品，铸锭加工的锯屑和切削屑，加工车间返回的残屑、残料及边角料等。

所有成分合格的旧料，必须按合金品种分类保管，堆放处应有明显标志，不得混有泥土、爆炸物及其它金属或非金属夹杂物。

洗炉料、化学成分废品应根据其实际成分，通过配料计算后使用。

三、外来废料

外来废料如废导线、冲剪边角料等，只要不混有其它合金，一般可按本厂旧料使

用。

杂料如弹壳、钱币、机械零件、日用器皿等；若批量大，品种单一，可通过取样分析确定其化学成分后，通过配料计算使用。若批量小，品种杂乱，一般应经过重熔处理。

四、二次重熔料

有些合金的残料，如铝青铜、硅锰青铜、铍青铜及部分镍合金等的机床切削屑，因含油量大，直接投料易使铸锭产生气孔，一般均应进行二次重熔处理，再根据其实际成分进行配料。

第四节 中间合金

一、使用中间合金的目的与要求

1. 目的

- (1) 便于加入某些熔点较高、易氧化燃烧或挥发的元素到合金中去；
- (2) 有利准确控制合金的化学成分；
- (3) 避免金属液过热，减少熔炼损耗；
- (4) 缩短熔化时间。

2. 要求

- (1) 含有适量的合金元素；
- (2) 熔点应低于或接近合金的熔炼温度；
- (3) 化学成分均匀；
- (4) 有足够脆性，易破碎；
- (5) 成分能长期保持不变，不易在大气作用下碎散或粉化。

在重有色金属合金生产中，使用的中间合金通常是二元的。若二元中间合金的熔点比熔制合金本身的最高熔炼温度还高、且其溶解速度较慢时，应考虑选用三元中间合金才合适。

二、中间合金配制方法

1. 熔合法

熔合法是将一种金属溶于另一种金属中或将二种金属同时熔化的一种直接配制法。

熔合时一般采用坩埚炉或中频炉。

2. 热还原法

此法是在熔融金属 (Me) 中加入金属氧化物 (Me'O) 或金属盐类 (氯盐或氟盐)，并加入在该温度下与氧、氯、氟的亲合力较大的活性元素 (R) 作还原剂，使氧化物或盐类中的金属被还原或置换出来，溶入基体金属而成中间合金。其反应式可表示为：



常用的还原剂有铝、镁、硅、碳等。

除上述二种配制中间合金的方法外，还有熔盐电解法，粉末法等。由于在重有色金属合金生产中很少使用，这里未作介绍。

常用中间合金的成分和配制方法见表2-1-20。

中间合金的成分和配制方法

表 2-1-20

中间合金	成分, %	熔点, °C	物理性质	熔炼炉	熔 剂	配 制 操 作
铜-磷	P: 8~15 Cu: 余量	780~840	脆	坩埚炉	木炭	铜-磷中间合金生产方法较多, 现介绍两种于下: 1. 浇铜水法 1) 预热坩埚 1 → 铜 + 木炭 → 熔化升温至 1250~1300°C 2) 预热坩埚 2 至 60~80°C → 加磷用木锤捣实 → 盖干燥的木炭粉 (或焦炭粉) 捣实至 50 毫米厚 → 将坩埚 1 的铜水浇入 → 回炉 15~20 分钟使成分均匀 → 提坩 → 搅拌 → 浇铸 2. 渗入法 将紫铜屑与赤磷分层置于坩埚中, 放入稻草灰和废坩埚碎片, 用黄泥密封。在熔化过程中磷逐渐渗入铜内而得中间合金
铜-砷	As: 30 Cu: 余量	770	脆	坩埚炉	木炭	1. 预热坩埚 1 → 铜 + 木炭 → 熔化 → 升温至 1250°C 2. 预热坩埚 2 至 100°C (Cu-As) 或 120~180°C (Cu-Cd) → 砷、镉 + 木炭 → 将坩埚 1 铜水浇入 → 搅拌 → 浇铸
铜-镉	Cd: 50 Cu: 余量	780	脆	坩埚炉	木炭	
	Cd: 28 Cu: 余量	900				
铜-钛	Ti: 30 Cu: 余量	920	韧	真空炉	—	铜 + 钛 → 熔化 → 浇铸
铜-铍	Be: 4~4.5 Cu: 余量	900~1050	韧	电弧炉	炭粉	炭热还原法: 10~13% BeO + 3~7% 炭粉于球磨机中混匀并磨碎, 一层铜一层 BeO + 炭粉混合料分批装入电弧炉 → 通电熔化 → 化完后停电搅拌 → 扒渣 → 冷却到 950°C → 浇铸
铜-铬	Cr: 3~5 Cu: 余量	1150~1180	韧	中频炉 真空炉	木炭	铜 + 木炭 → 熔化 → 铬、钴、钨、硅 → 搅拌 → 浇铸 (真空炉生产时不加木炭)
铜-钴	Co: 10 Cu: 余量	1110~1240	韧			
铜-钨	Zr: 15 Cu: 余量	965~1020	韧			
铜-硅	Si: 15~25 Cu: 余量	800~1000	脆	坩埚炉 中频炉		
铜-铁	Fe: 5~10 Cu: 余量	1160~1300	韧	坩埚炉 中频炉	木炭 冰晶石	铜 + 锰、铁 + 木炭 → 熔化 → 搅拌 → 冰晶石清渣 → 搅拌 → 浇铸
铜-锰	Mn: 27 Cu: 余量	860				
铜-铈	Ce: 15 Cu: 余量	875~880	脆	坩埚炉	木炭	铜 + 木炭 → 熔化 → 升温至 1200~1250°C → 铈 (或混合稀土) → 搅拌 → 浇铸 (也可采用铜-镁中间合金的配制方法)
铜-锑	Sb: 50 Cu: 余量	680	脆	坩埚炉	木炭	铜 + 木炭 → 熔化 → 升温至 1250°C 以上 → 提坩 → 锑 → 搅拌 → 浇铸

续表 2-1-20

中间合金	成分, %	熔点, °C	物理性质	熔炼炉	熔 剂	配 制 操 作
铜-镁	Mg: 15 Cu: 余量	600	脆	坩埚炉	KCl 32~40% MgCl ₂ 38~46% BaCl ₂ 5~8% CaF ₂ 3~6%	预热坩埚→镁+熔剂→熔化→加预热的铜、镍→彻底熔化后搅拌→浇铸
镍-镁	Mg: 20 Ni: 余量	520				
镍-铌	Nb: 15 Ni: 余量	—	韧	中频炉	玻璃	镍+玻璃→熔化→捞玻璃→逐根加铌→熔化后搅拌→浇铸
铝-铁	Fe: 50 Al: 余量	1165~1175	脆	坩埚炉 中频炉	冰晶石	铝+铁→熔化→冰晶石清渣→搅拌→浇铸
锌-钛	Ti: 5 Zn: 余量	—	韧	坩埚炉 中频炉	—	锌→熔化→钛→全部熔化后搅拌→浇铸
锌-铁	Fe: 1~4 Zn: 余量	420~530	韧	坩埚炉	氯化铵	预热坩埚→锌+铁→熔化→氯化铵→搅拌捞渣→浇铸
锌-铜	Cu: 20 Zn: 余量	1000	韧	坩埚炉 工频炉	木炭	铜+木炭→熔化→锌→搅拌捞渣→浇铸
铅-铋	Sb: 40~52 Pb: 余量	500~600	软	坩埚炉	木炭	预热坩埚→铅→熔化→铋、银+木炭→搅拌→浇铸
铅-银	Ag: 46~54 Pb: 余量	630	软			
锡-铋	Sb: 20~40 Sn: 余量	480~570	韧	电阻炉 锅式炉	—	锡→熔化→铋→搅拌→浇铸
锡-钛	Ti: 35 Sn: 余量	1480~1490	韧	真空炉	—	锡+钛→熔化→浇铸

工艺特性及操作要点:

1. 铋等易烧损的元素加入基体金属时, 应采用压入法。就是将加入元素放于小坩埚中, 迅速将小坩埚压入基体金属, 直到全部熔化;
2. 中间合金的浇铸温度, 要求不太严格, 一般高于熔点100~200°C均可;
3. 铝铁中间合金在大气中易碎成粉状, 通常在配制铝铁中间合金时, 外加3%铜以利长期保存而不粉化;
4. 铍、镉、砷的氧化物有剧毒, 生产铜铍、铜镉、铜砷中间合金时务必采取防护措施。

第五节 配 料

一、配料原则

1. 确定合金各组元的配料比及易耗组元的补偿量;
2. 在保证合金的主成分及杂质含量合乎国家标准的前提下, 尽可能少用新料, 或选用低品位的新料, 以扩大旧料的使用量;
3. 在保证合金质量的前提下, 对合金中的贵重金属尽可能按标准中的下限含量配料;

4. 为保证某些制品的特殊要求, 在国家标准范围内可适当调整某些元素的含量, 即制定生产中实际控制的内部标准。

二、配料计算

1. 配料计算的程序

- (1) 了解合金的技术条件、主成分范围及杂质允许极限;
- (2) 了解各种炉料的实际成分;
- (3) 确定使用新金属的品位;
- (4) 根据实际生产情况, 确定各成分的配料比和易耗成分补偿量;
- (5) 确定是否采用中间合金;
- (6) 计算包括熔损在内的各种金属与中间合金量。

2. 配料计算实例

配料计算的方法有不计算杂质和计算杂质两种。当炉料为新金属、中间合金和厂内合格旧料, 或对合金中杂质要求不严时, 可不用计算杂质。若对杂质控制较严的合金, 或使用炉料级别低及杂质较多的废料, 就应计算杂质。前法较简便, 生产中大多用此法配料。后者计算繁琐, 仅在处理废品及变料时使用。

(1) 新料加旧料

合格旧料的成分, 可按标准成分的中限近似计算。

例: 计算 HSn70-1 配料单, 每炉配入 H96 100 公斤, 每炉投料量 300 公斤。

H96 旧料含铜量按 96% 计算, 则 100 公斤 H96 中各成分重量为:

$$\text{铜} = \frac{96 \times 100}{100} = 96 \text{ 公斤}$$

$$\text{锌} = 100 - 96 = 4 \text{ 公斤}$$

确定 H Sn70-1 的配料比, 铜为 69.5%; 锡为 1.3%, 则 300 公斤投料中各成分的重量为:

$$\text{铜} = \frac{69.5 \times 300}{100} = 208.5 \text{ 公斤}$$

$$\text{锡} = \frac{1.3 \times 300}{100} = 3.9 \text{ 公斤}$$

$$\text{锌} = 300 - 208.5 - 3.9 = 87.6 \text{ 公斤}$$

根据以上计算, 得配料单为:

H96旧料	100公斤
铜	$208.5 - 96 = 112.5$ 公斤
锡	3.9公斤
锌	$87.6 - 4 = 83.6$ 公斤
合计	300公斤

(2) 补偿

$$x = \frac{a-b}{100-a} m \quad (2-1-8)$$