

К. Э. 高尔雅诺夫 著

矿棉及其制品工艺学

张远仪 李铁良 译
叶维永 林迪馨

中国工业出版社



数据加载失败，请稍后重试！

K.Э. 高尔雅诺夫 著

矿棉及其制品工艺学

张远仪 李鉄良 译
叶維永 林建榮

中国工业出版社

本书主要阐述矿棉原料在熔炉中的熔化原理，同时亦述及矿棉的制造工艺，矿棉制品的品种、组成及其制造工艺。

本书可供矿棉研究、生产人员阅读，也可供从事热绝缘工作人员参考。

К.Э.ГОРЯПНОВ
ТЕХНОЛОГИЯ МИНЕРАЛЬНОЙ ВАТЫ И ИЗДЕЛИЙ ИЗ НЕЁ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
ЛИТЕРАТУРЫ ПО СТРОИТЕЛЬСТВУ,
АРХИТЕКТУРЕ И СТРОИТЕЛЬНЫМ
МАТЕРИАЛАМ

Москва 1958

* * *

矿棉及其制品工艺学

张远仪 李铁良 譚
叶维永 林迪馨
叶 昶 校

*

建筑工程部编辑部编辑（北京西便门大街）

中国工业出版社出版（北京佟麟阁路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 $850 \times 1168 \frac{1}{32}$ ·印张 $6\frac{1}{2}$ ·插页2·字数166,000

1963年8月北京第一版·1963年8月北京第一次印刷

印数001—870·定价（10—6）1.05元

*

统一书号：15165·2216（建工-314）

序 言

本书是技术科学博士K.Э.高尔雅諾夫十五年来研究矿棉及其制品生产工艺的工作总结。

K.Э.高尔雅諾夫这本书，在研究矿棉及其制品生产工艺方面，有别于国内外以前出版的著作。书中蒐集了许多新资料，它们是著者在矿物原料熔化过程中对熔炉操作进行探讨和对不同的粘合剂所制成的矿棉及矿棉制品进行研究之后获得的。

本书分析了矿物原料在熔化过程中所发生的变化，探讨了熔炉的热交换，并且提出了强化配料熔化过程相应的建议。此外，还谈到了熔炉的结构构件，如风口带、熔炉的直径和高度等，讨论了原料的块度、风压和增氧等问题。

本书叙述了矿棉纤维在硬化的水泥石介质中经受碱性侵蚀时水解深度的测定方法，同时介绍了许多种矿棉制品的生产工艺。

K.Э.高尔雅諾夫著的“矿棉及其制品工艺学”一书，以及在该书中所列举的一些研究资料，对矿棉生产工艺师、建筑工程师，尤其对从事热绝缘工作的技术人员都是十分有益的。

乌克兰科学院院士
苏联科学院通讯院士 П.П.布德尼柯夫

目 录

序言

第一篇 矿渣和岩石在熔炉中的熔化原理.....	1
第一章 熔炉中的燃烧带及燃烧温度.....	1
第二章 配料的分解和挥发物的排除.....	10
第三章 熔化矿物原料时熔炉中的热交换.....	15
第一节 物料衡算与热量衡算.....	15
第二节 预热带内的热交换.....	26
第三节 底炭层内的热交换.....	43
第四节 熔化带内的热交换.....	46
第五节 熔炉必要高度的确定.....	51
第六节 在熔炉中配料加热温度的确定.....	52
第四章 矿物原料在熔炉中的熔炼.....	54
第一节 概 论.....	54
第二节 单组份原料的配料（第一类配料）的熔化.....	61
第三节 由各种矿岩混合物（熔度属于第二类和第三类的配料） 所制得的熔融物的形成.....	65
第五章 酸性熔融物对白云化的岩石和石灰岩的溶 解与同化.....	81
第六章 影响熔炉生产能力的原因和矿物原料在熔炉中熔 化的强化方法.....	90
第一节 熔融物的粘度对熔炉生产能力的影响.....	90
第二节 原料的矿物组成和化学组成对熔炉生产能力的影响.....	99
第三节 配料的物理状态对熔炉生产能力的影响.....	100
第四节 鼓风量、鼓风压强、鼓风加热程度、富氧鼓风以及焦炭 燃烧强度对熔炉生产能力的影响.....	103
第二篇 由熔融物制取矿棉	115
第一章 由熔融物制取矿棉 工艺的基本原理.....	115
第二章 各种因素对于用吹风（平向喷吹）方法制取矿 棉的影响.....	133

第三章 制取矿棉用的 配料組成 的选择.....	146
第四章 矿棉纖維的結構及在各种 因素 作用下 矿棉纖維的水解.....	153
第三篇 矿棉 制品.....	174
有关矿棉制品的种类、組成和制造 工艺方面的資料.....	174
参考文献.....	198

第一篇 矿渣和岩石在熔炉中的 熔化原理

第一章 熔炉中的燃烧带及燃烧温度

将岩石和矿渣在熔炉①中熔化后所获得的熔融物加以精炼，是制造矿棉最普遍采用的一种方法。

熔炉（图1）是由内径为750~1250毫米的圆筒形炉膛1所组成。为了防止熔炉加热时金属发生不均匀的膨胀所引起的事故，用凸面式膨胀圈3使炉膛上面部分与下面的水套2联结起来。在距离炉底4上部平面450~600毫米处，装有主要风口带5。炉膛的上端接有烟囱6与火花熄灭器7。

矿物原料在熔炉中的熔化过程，有许多特征是与金属的熔化过程相同，但熔炉毕竟还有本身很重要的特点。

第一，由于矿渣和岩石的矿物组成和化学组成极其复杂，必须更精确地控制所获得的熔融物的粘度。

第二，熔化前的物理化学变化和物理变化是沿熔炉高度在一定的带内发生的。

第三，通常由不同料块组成的混合物，是在熔化带有限体积范围内进行熔化的。

对熔炉中的矿物原料熔化过程的研究

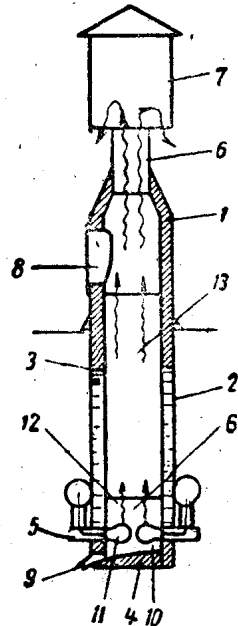


图1 熔化矿物原料用的熔炉装置示意图

① 可以从火热液态冶金矿渣中和热电站的液态去灰的矿渣中炼取矿棉〔25〕、〔26〕、〔116〕、〔118〕，也可以在电炉中使配料熔化的方法来炼制矿棉。

表明：只有在正确选择配料組成和正确进行工艺过程的情况下，才能使矿棉的质量良好，并使熔炉的生产能力极高。

矿物原料在熔炉（图1）中的熔化过程如下：打开风口，使熔炉开始升火。为此，根据熔炉不同的直径（750~1250毫米），在炉底4相应地放上0.25~0.70米³的木柴。大約经过10分钟，当木柴已充分燃烧起来时，就可关闭风口，并将第一批200公斤（当熔炉直径为750毫米时）或500公斤（当熔炉直径为1250毫米时）焦炭作为底炭6放入炉内。在焦炭均匀地燃烧起来和所有的木柴都烧完之后，经过30~40分钟，再添加50~150公斤焦炭，并使焦炭料的面比风口中心綫高出500~700毫米（这可通过装料口8插入鉄钎的办法来进行检查）。装入最后一批焦炭以后，再经过20~30分钟，就可装入第一批物料，接着过了20~30分钟，熔融物就开始从出液孔9流出。在带有水套的現代化熔炉中，矿物原料的熔化过程是連續不断地进行的；熔炉的停炉每月至多不过一次，而且都是由于检修才进行的。

当熔炉内的操作状态稳定时，在炉中形成許多带：炉缸带10、氧化带11、还原带12〔1、2、3〕和預热带13。

在氧化带中，焦炭燃烧得最强烈、最有效。由于鼓风中的大气氧进入熔炉中与焦炭发生放热反应，所以在氧化带内生成CO₂和CO。关于元素碳的燃烧問題，到現在还没有一致的看法。例如：根据第一步生成CO的理論，碳和氧按照反应 $C + \frac{1}{2}O_2 \rightleftharpoons CO + 29420$ 克分子卡而发生化合作用（相当于每1公斤碳放出2497仟卡）。已形成的一氧化碳按照反应 $CO + \frac{1}{2}O_2 \rightleftharpoons CO_2 + 68220$ 克分子卡，重新和氧結合起来。

根据还原理論，当焦炭燃烧时，所发生的反应为： $C + O_2 \rightleftharpoons CO_2 + 95407$ （或97500）克分子卡，也就是說从1公斤碳中可以放出8137仟卡的热。此外，当燃烧产物CO₂通过很厚的赤热焦炭层时，二氧化碳就按照反应式 $CO_2 + C = 2CO$ 而同碳发生还原作用，結果在气体中可同时发现CO和CO₂。

根据中間生成复杂的碳氧絡化物的理論，碳与氧进行化学作

用时是按照反应 $x \times C + \frac{y}{2} \times O_2 = C_x O_y$ 进行而形成固态氧化

物，接着这种氧化物发生分解，放出CO和CO₂混合物形式的气态燃烧产物。混合物中CO和CO₂的比例，与燃烧条件有关〔4〕。

根据碳燃烧时的双重反应理论〔5、6〕，我们可以想像碳与氧之间可能发生不同的反应：当温度低于800℃或高于800℃，而氧的浓度较低时，按照 $4C + 3O_2 = 2CO_2 + 2CO$ 反应式发生反应；在温度较高，而气流速度较快的情况下，是按照《燃烧》反应： $2C + O_2 = 2CO$ 而进行碳与氧之间的反应的。但是，如果在氧化带内由于 $2CO + O_2 = 2CO_2$ 而使一氧化碳燃尽，那末上述这种《燃烧》反应就可能不很强烈。

已经确定〔5及其它〕：氧化燃烧带系处于温度1100℃或1100℃以上的范围内，其厚度约相当于4~5个焦炭块直径之和（即从风口到火焰焦点，有400~600毫米之长），并且这个界限不随着鼓风速度的增加而有所改变。因此，焦炭的耗用量看来是在所用焦炭块度不小于熔炉直径 $\frac{1}{8} \sim \frac{1}{10}$ 时为最小。炼铁工人的

经验〔（7）第281页〕表明，随着风压的增加，氧化带长度（即厚度）也将增加（风压每增加1毫米水柱，则氧化带的长度约增加0.02到0.1毫米），同时氧化带还向与风口轴线相垂直的方向作了一些扩展。这时还原带也有若干扩大。

在还原带内，已形成的二氧化碳按照 $CO_2 + C = 2CO - 38790$ （或42267）克分子卡反应重新与碳化合。

由于在二氧化碳还原反应进行时有热量消耗，所以为了减低焦炭无益的消耗，最好尽一切可能缩小还原带。要做到这一点，首先，必须正确地设置和选择风口的截面；其次，必须将熔料和熔炉结构所允许的最大限度容量的空气吹入风口内，因为在1米²熔炉炉底面积上，CO的数量是随着鼓风量的增加而减低的〔8〕；再次，必须采用较大的块焦（80~100毫米），因为在熔炉环形截面上的气流分布情况首先是与焦炭块的粒度组成有关〔10〕；

最后,必须采用反应能力弱的焦炭(根据馬秋雪科(Матюшенко)每小时达60公斤/米²,或根据Л.М.馬利揚巴赫(Мариенбах)为

50%,他的計算式是: $R_* = \frac{0.5\text{CO}}{0.5\text{CO} + \text{CO}_2} - 100$ [4,11和12])。

CO₂和焦炭中碳的反应速度是随着温度的升高而增加的,而且配料中矿物盐(Fe₂O₃、Al₂O₃、CaCO₃等等)的存在,能加速这种反应[9]的进行。实际上,当温度为1300°C时,約有85%的CO₂在2~3秒內与碳起反应;当温度为1100°C时,需在30秒內起反应;而当温度为900°C时,甚至經過80秒,反应还是远沒有完成。

預热带位于底炭之上,它扩展到熔炉高度的剩余部分。全部熔化过程:即从原料的干燥过程起,直至获得熔融物和它的局部过热为止,都是在这一帶內发生的(图2)。

根据原料的物理状态和它的化学組成及矿物組成的不同,可以把吸附水、結晶水和化合水从原料中除去,并使白云石、碳酸鈣和碳酸鎂,有时甚至碳酸鉄等分子发生分解。这些过程在很大范围内是在对碳酸盐岩石进行加热时发生的,而在熔化矿渣、火成岩和变质岩时,就沒有这些过程(除了可能析出吸附水以外)。此外,在熔化过程中的一定温度条件下,配料組份之間会发生固相反应,并伴随着粉状岩的粘結現象以及新化合物的生成。在以后形成液相,以及液相作用于固相之后,仍繼續生成这些化合物,而由于配料物质从一种形态成为另一种形态的多态转变,以及較难熔化的微粒在已获得的熔融物中发生溶解的結果,这些化合物也会繼續产生的。

如果熔融物中含有氧化鉄、氧化錳和其他金属氧化物时,那末在氧化帶上如有还原介质存在的话,就可从这些氧化物中使金属还原,而且这种还原金属,大部份将和其他熔融物一道通过出液孔而流出。当噴吹含鉄量很高的熔融物时,通常可看到像蓝靛烟火似的奇異火花。如在鼓风中引入水蒸汽,則金属的还原就会增加,有时金属将通过炉底的孔隙向外流出。

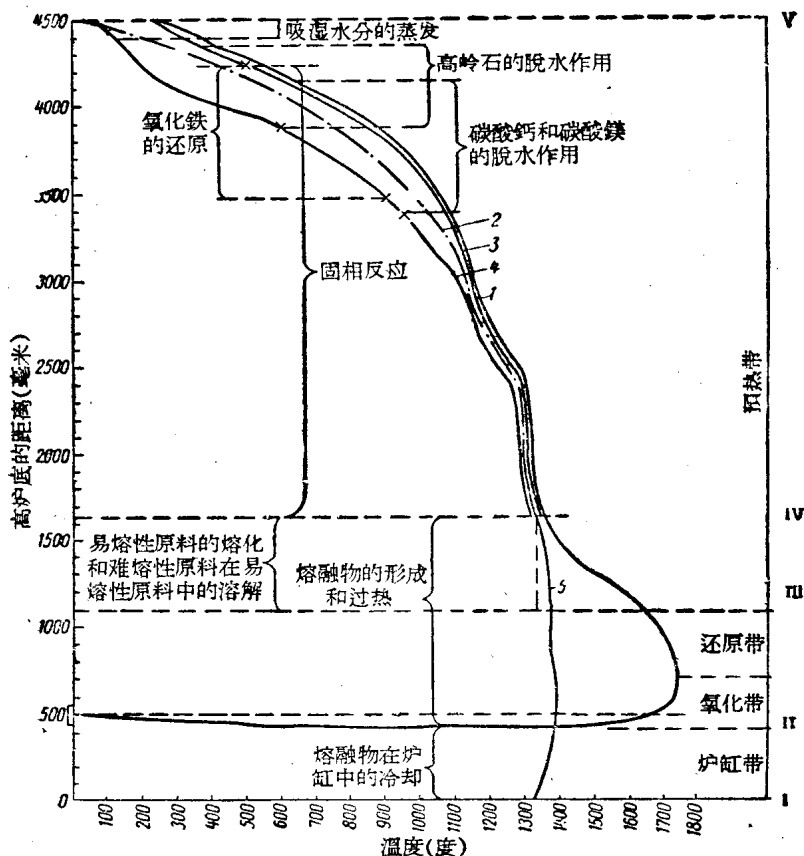


图 2 碳酸盐岩石在熔炉中熔化时配料发生物理变化和化学变化的各个带，以及气体温度，配料温度和熔融物温度的分布示意图：

I—炉底面的位置；II—风口轴线；III—底炭上部的平均水平线；IV—易溶性原料开始熔化和难溶性原料开始溶解的位线；V—装料孔的水平面或料柱的顶点；1—气体温度；2—料块按体积计算的平均温度；3—料块的表面温度；4—料块的中心温度；5—已熔配料的温度

根据碳与氧之间反应的完成程度，氧化带内的温度往往是不一样的。

按照有关研究人員〔1、10、14〕的資料，熔炉中气体的最高温度可达到 1700°C ，而且有时能超过 1700°C （图3）。

焦炭燃烧得愈强烈，氧化带內的燃烧温度就愈高〔15〕。例如，在 1米^2 炉底上，焦炭每小时的燃烧强度等于50、100、150、200、250和300公斤时，則氧化带內的燃烧温度分别为1550、1580、1640、1700、1730和 1760°C 左右。

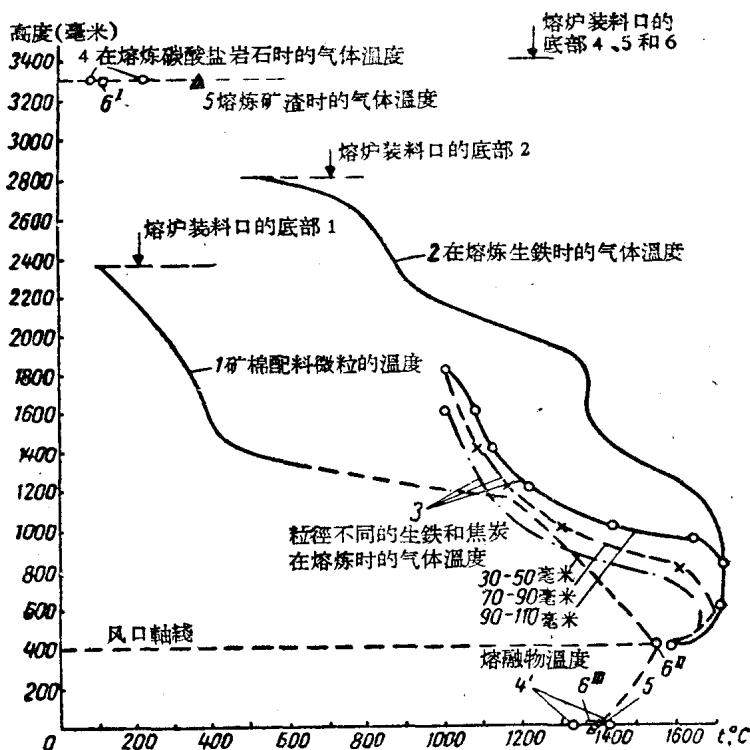


图3 根据下列作者的数据，在熔炉不同水平线上的温度：

1—В.И.阿兹比 (Азбь); 2—Д.拉里 (Ларь); 3—Н.Г.吉
尔晓维奇 (Гиршович); 4—В.阿齐罗夫 (Озеров); 5—А.С.埃
勃什津 (Эпштейн); 6—К.Э.高尔雅诺夫 (Горайнов)

焦炭中所含的碳的燃烧强度是与鼓风量和单位空气消耗量有关（图4）〔16〕；在单位空气消耗量相同的情况下，碳的燃烧

强度随鼓风量的增加而增长。有些研究人員〔17〕介紹用下列公式（1）來計算燃燒溫度：

$$t_{\text{燃燒}} = Q : V_t c_g, \quad (1)$$

式中 $t_{\text{燃燒}}$ ——燃燒溫度（度）（圖5）；

Q ——燃燒1公斤燃料所產生的熱量（千卡）；

V_t ——燃燒1公斤燃料時所形成的氣體體積（標準米³）；

c_g ——這些氣體的热容量（千卡/公斤）。

在理論上所需用的空氣量，可根據下列公式（2）〔15〕進行計算：

$$n = \left(\frac{0.89}{1000} Q_n^P + 1.65 \right) \left(\frac{273 + t}{273} \right) \times \frac{760}{P_g} \text{ (米}^3\text{/公斤焦炭), } (2)$$

式中 Q_n^P ——焦炭的热值（千卡/公斤）；

t ——空氣溫度（度）；

P_g ——氣壓計所示的空氣壓力（毫米水銀柱）。

如有必要計算鼓風機的空氣流量時，應該將由公式（2）求出的數值乘上空氣在管道中的損耗係數（約1.2~1.3）。

在正確進行熔煉時，氧化帶的溫度向上升，超過1700°C，甚至超過1760°C。

但是，如果空氣耗用量大大地超過理論上的耗用量時（參閱表1最後一欄），那末甚至在焦炭的燃燒強度很高時，氧化帶的溫度也會有顯著降低的現象。根據圖6〔13〕也就可以判斷碳的完全燃燒對焦炭燃燒溫度的影響。

熔爐內熔化礦物原料時，在一個單位時間內，在爐壁附近的气体流通量較大，因為爐壁處的配料阻力較爐子中央為小〔13〕；此外，每一料塊或每一压制成的塊料的內部溫度常比表面溫度為低。這種溫度差可達到50~360°C。由於不論在熔爐的截面上或者在熔爐的高度上，溫度的分布是不均勻的，而配料的化學組成和料塊外形又不一樣，以及由於配料在熔爐的截面上的下降也不均勻，所以配料塊在不同的料柱高度上開始熔化。

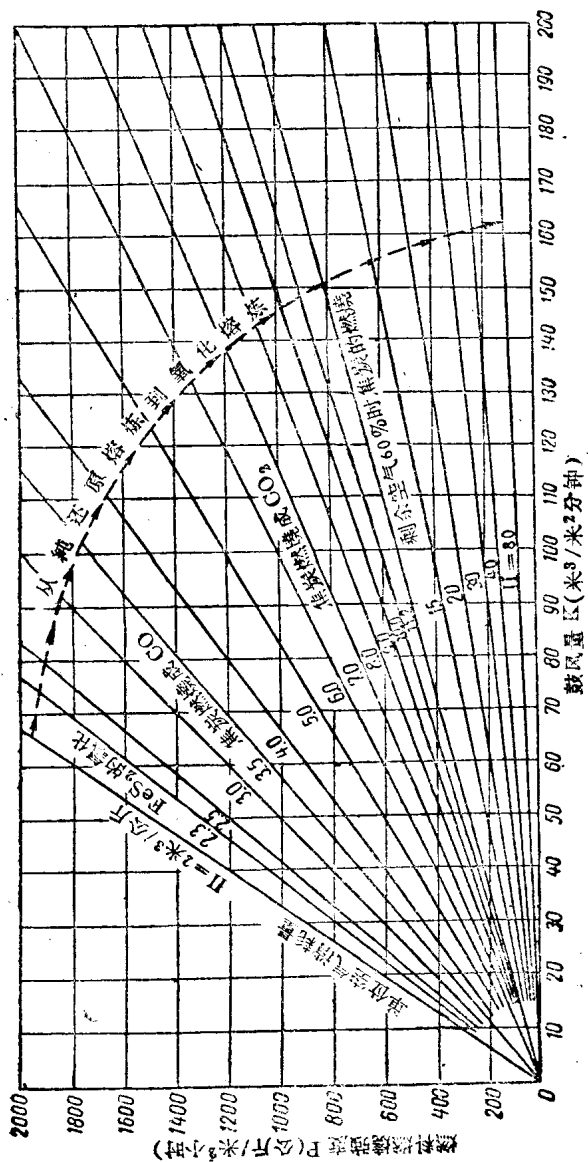


图 4 燃料燃烧强度与鼓风量及单位空气消耗量的关系

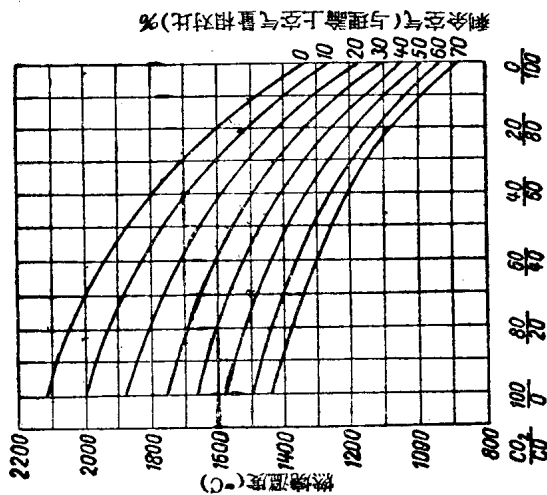


图 5 根据 И. С. 科索夫斯基 (Косовский) 的资料, 当 $\text{CO}_2 : \text{CO}$ 为各种不同比值时的可能的最高温度

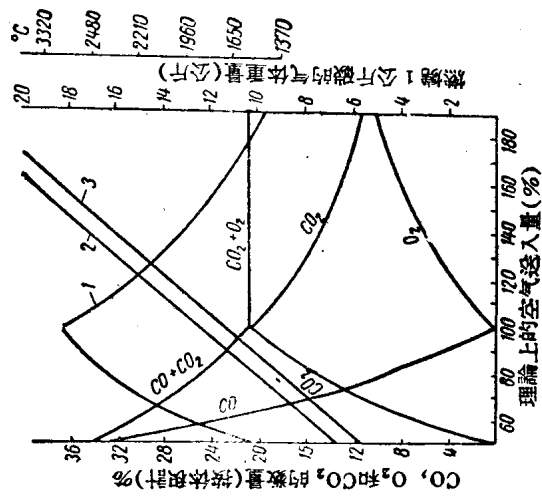


图 6 焦炭的燃烧温度与碳的完全燃烧的关系
1—焦炭的燃烧温度; 2—碳与空气的重量; 3—空气重量

熔矿物原料时熔炉中氧化带温度

表 1

(直径为750~1000毫米)

焦炭燃烧 强度 P, K , (标 (公斤/ 米 ² 小时) 米 ² 分钟)	鼓 风 量 (标 米 ³ / 米 ² 分钟)	$CO_2 : CO$	理論上所 需用的空 气量 (标 准米 ³ /每 公 斤 焦 炭)	1 公斤焦 炭所需空 气实际消 耗 (标 准米 ³ /每 公 斤 焦 炭)	剩余空气 与理論上 所需空气 之比(%) (以整数 計)	氧化带可能温度 (度)	
						根据焦炭燃 烧强度而确 定的温度	根据气体中 $CO_2 : CO$ 的 含量以及剩 余空气而确 定的温度 (参阅图6)
229	38	—	8.7	10	15	1715	—
239	37.9	—	8.7	9.5	10	1720	—
268	55	75 : 25	10.2	12.9	27	1740	1700
325	47.7	53 : 47	8.1	9.9	22	>1760	1680
348	46.6	58 : 42	7.7	8.04	5	>1760	1840
383	63.5	74 : 26	8.7	10	16	>1760	1830
392	100	—	8.7	18	110	>1760	<1430
205	28.6	63 : 37	8.7	8.5	—	1700	1820
270	47	—	8.2	10.7	32	1760	—
227①	45	97 : 3	8.2	12.4	51	1745	1560

① 在直径1250毫米的熔炉中。

在理論上确定温度带时，就不必注重其中某些现象，因为这对比較計算結果說来，沒有多大的影响。

第二章 配料的分解和挥发物的排除

在熔化某几种岩石（主要是沉积岩）时，它們在加热过程中，一般分解为固态物质和气态物质。这类岩石中比較突出的要算由碳酸鈣和碳酸鎂，还有高岭石所組成的泥灰岩。它們在加热时，会放出水蒸汽和二氧化碳。在对白云石、石灰岩和菱鎂矿进行加热时，它們即行分解，而且所放出的气体主要是二氧化碳。