

81.5562
270
02

鋁熱耐火材料的性質和用途

Р.Л. 別夫茲涅爾 著

王世政 侯世德 譯

重工業出版社

45102

本書係根据苏联國立建築材料書籍出版社 (Промстройиздат) 1954 年出版的苏联技術科學博士別夫茲涅尔 (Р.Л.Певзнер) 教授著的“鋁熱耐火材料的性質和用途” (ТЕРМИТО-КОРУНД, ЕГО СВОЙСТВА И ПРИМЕНЕНИЕ) 一書譯出。

書中論述了鋁熱耐火材料的製造原理，物料平衡与熱平衡計算，生產設備和生產方法，鋁熱耐火材料的分類、性質和应用以及檢定其質量的技術指标。

鋁熱耐火材料是苏联新研究出的耐火材料。这种材料的製造簡單，成本低，而且其某些性質比电熔耐火材料还好。这种材料用于玻璃工業中能延長熔窑的寿命，提高玻璃的質量，並能大大地改善玻璃的質量。

利用鋁熱生產耐火材料是一种新的方法，它也是耐火材料生產一个極有前途的發展方向。

本書可作玻璃工廠，耐火材料工廠及研究機關的工程技術人員的參考書。

序 言

第十九次党代表大会的指示对增加玻璃的產量以及改善其質量做了規定。有效地完成这些任务有許多因素，在这些因素中用於玻璃生產中砌築玻璃熔窯窖池的耐火材料的質量具有很大的意义。为此不久以前曾应用了电爐熔製的莫來石耐火材料。但这种耐火材料的質量並不能經常的滿足工業上的要求。

因为莫來石在使用的过程中如遇有鹼性物質即分解为鋼玉与矽酸質玻璃。这样就会激烈地腐蝕窖內襯磚，从而也弄污了玻璃熔液；致使製得的玻璃帶有小气泡。

为此某些玻璃工業的工作者，曾不止一次地用电爐法或陶瓷法試製較穩定的耐火材料——鋼玉質耐火材料。但結果都未成功。

所以後來就產生了用鋁熱法（窖外法）製取鋼玉耐火材料的想法。

鋁熱法原則上並不是新法，因为很早以前这种方法就已極其成功的用於冶金業及其他技術部門中，但不久以前並沒有用它製造耐火材料。

1945年P.Л. 別夫茲涅尔教授，A.T. 札克及A.Г. 洛馬金兩位工程師首次在苏联提出用鋁熱法製造耐火材料，當時用該法製取了氧氣迴轉爐用的耐火材料。

將製出的鋁熱耐火材料於極其艱苛的条件下試驗，發現这种耐火材料的穩定性很好。上述第一批鋁熱鋼玉耐火材料在有獎競賽中獲得了獎金*。

由1946年起苏联建築材料工業部系統，为了瞭解用於玻璃工業中的鋁熱耐火材料的性質，为了擬製技術規程及試生產便開始了研究工作。

以後幾年用已擬製的和已掌握的鋁熱莫來石及鋁熱鋼玉耐火

* 競賽結果於1946年公布〔1〕。〔 〕內的號碼係參考文獻的號——譯者

材料製品的鋁熱（密外）法，即可製出高級耐火材料。這種耐火材料不但有 ГОСТ 4385—48* 所規定的熔鑄耐火材料的性質，而其穩定性還優越於電熔法製得的某些耐火材料。

此外，工業上也在擬製和試驗研磨用鋁熱尖晶石及鋼玉的鋁熱（密外）生產法。

1947 年將在 1945 年 12 月 30 日首先創作的發明證書授予了製定新的鋁熱耐火材料製造法的全體作者——P. Л. 別夫茲涅爾教授，A. T. 札克工程師A. H. 邁索也多夫工程師和 A. Г. 洛馬金工程師。

1950 年 P. Л. 別夫茲涅爾教授提出了製造輕質鋁熱鋼玉耐火材料的方法，這一方法擴大了鋁熱耐火材料的应用範圍。在製定工藝過程以及選擇和試驗全部設備時，A. И. 蓬達列夫作了很多工作。正是他製造了所有試驗用的和工業用的耐火材料，這些材料都經過了試驗並正在蘇聯各玻璃工廠的生產條件下使用着。

* 1948 年頒佈的 ГОСТ 4385—48 “耐火材料製品及其分類”中指出用電熔，鋁熱熔融物等可以製造熔鑄耐火材料。製出的耐火材料應具有下列技術規格：

“耐火度（決定於礬土的含量）由 1820°（ПК182）到 1980°（ПК196）。磚體要緻密完整（氣孔率由 0 到 2~3%）。溫度急變抵抗性不好。抗渣性及抗玻璃性極好。耐壓強度很高（3000 公斤/平方公分或更高）。高溫機械強度很高——1600—1700°（或更高一些）開始軟化。線膨脹係數較小（ $6-7 \cdot 10^{-6}$ ）”。

目 錄

序言	(5)
I. 鋁熱法的理論根據	(7)
II. 鋁熱作用过程的物料平衡与熱平衡	(8)
物料平衡	(8)
熱平衡 (粗略的平衡)	(10)
III. 生產鋁熱耐火材料的原料及其製备	(11)
鋁	(11)
氧化鉄 (鉄皮)	(15)
配合料的製备	(18)
IV. 熔融和澆鑄的主要設備	(18)
熔融設備	(18)
鑄造耐火材料的模型	(21)
澆鑄漏斗	(22)
V. 鋁熱耐火材料生產的工藝过程	
(主要理論及实际資料)	(23)
高礬土矽酸鋁的性質及組成对耐火	
材料生產过程的影响	(23)
熔融物的除气作用	(26)
熱处理	(23)
在箱內進行熱处理	(30)
隔熱材料	(32)
使用二氧化鋁改進鋁熱耐火材料質量	(35)
成品質量檢查	(36)
鋁熱耐火材料回收廢品的利用	(36)
鋁熱耐火材料的副產品	(37)
VI. 鋁熱耐火材料生產的安全技術	(37)
VII. 鋁熱耐火材料的分類、性質及其应用	(39)

1469023

鋁熱鋼玉耐火材料	(39)
主要性質	(41)
應用	(41)
鋁熱莫來石耐火材料	(47)
主要性質	(51)
鋁熱尖晶石耐火材料	(55)
主要性質	(57)
鋁熱鋼玉磨料	(59)
Ⅳ. 鋁熱鋼玉耐火材料在使用過程中的冷卻	(62)
Ⅸ. 鋁熱耐火材料在玻璃工業中的應用效果	(64)
附錄：檢定用於玻璃熔窖中的鋁熱耐火磚質量 的技術規格	(67)
參考文獻	(71)

81.5562
270
02

鋁熱耐火材料的性質和用途

Р.Л. 別夫茲涅尔 著

王世政 侯世德 譯

重工業出版社

45102

本書係根据苏联國立建築材料書籍出版社 (Промстройиздат) 1954 年出版的苏联技術科學博士別夫茲涅尔 (Р.Л.Певзнер) 教授著的“鋁熱耐火材料的性質和用途” (ТЕРМИТО-КОРУНД, ЕГО СВОЙСТВА И ПРИМЕНЕНИЕ) 一書譯出。

書中論述了鋁熱耐火材料的製造原理，物料平衡与熱平衡計算，生產設備和生產方法，鋁熱耐火材料的分類、性質和应用以及檢定其質量的技術指标。

鋁熱耐火材料是苏联新研究出的耐火材料。这种材料的製造簡單，成本低，而且其某些性質比电熔耐火材料还好。这种材料用于玻璃工業中能延長熔窑的寿命，提高玻璃的質量，並能大大地改善玻璃的質量。

利用鋁熱生產耐火材料是一种新的方法，它也是耐火材料生產一个極有前途的發展方向。

本書可作玻璃工廠，耐火材料工廠及研究機關的工程技術人員的參考書。

目 錄

序言.....	(5)
I. 鋁熱法的理論根據.....	(7)
II. 鋁熱作用过程的物料平衡与熱平衡.....	(8)
物料平衡.....	(8)
熱平衡 (粗略的平衡)	(10)
III. 生產鋁熱耐火材料的原料及其製备.....	(11)
鋁.....	(11)
氧化鉄 (鉄皮)	(15)
配合料的製备.....	(18)
IV. 熔融和澆鑄的主要設備.....	(18)
熔融設備.....	(18)
鑄造耐火材料的模型.....	(21)
澆鑄漏斗.....	(22)
V. 鋁熱耐火材料生產的工藝过程	
(主要理論及实际資料)	(23)
高礬土矽酸鋁的性質及組成对耐火	
材料生產过程的影响.....	(23)
熔融物的除气作用.....	(26)
熱处理.....	(23)
在箱內進行熱处理.....	(30)
隔熱材料	(32)
使用二氧化鋁改進鋁熱耐火材料質量.....	(35)
成品質量檢查.....	(36)
鋁熱耐火材料回收廢品的利用.....	(36)
鋁熱耐火材料的副產品.....	(37)
VI. 鋁熱耐火材料生產的安全技術.....	(37)
VII. 鋁熱耐火材料的分類、性質及其应用.....	(39)

鋁熱鋼玉耐火材料.....	(39)
主要性質	(41)
應用	(41)
鋁熱莫來石耐火材料.....	(47)
主要性質	(51)
鋁熱尖晶石耐火材料.....	(55)
主要性質	(57)
鋁熱鋼玉磨料.....	(59)
Ⅳ. 鋁熱鋼玉耐火材料在使用過程中的冷卻.....	(62)
Ⅸ. 鋁熱耐火材料在玻璃工業中的應用效果.....	(64)
附錄：檢定用於玻璃熔窖中的鋁熱耐火磚質量 的技術規格.....	(67)
參考文獻.....	(71)

序 言

第十九次党代表大会的指示对增加玻璃的產量以及改善其質量做了規定。有效地完成这些任务有許多因素，在这些因素中用於玻璃生產中砌築玻璃熔窯窖池的耐火材料的質量具有很大的意义。为此不久以前曾应用了电爐熔製的莫來石耐火材料。但这种耐火材料的質量並不能經常的滿足工業上的要求。

因为莫來石在使用的过程中如遇有鹼性物質即分解为鋼玉与矽酸質玻璃。这样就会激烈地腐蝕窖內襯磚，从而也弄污了玻璃熔液；致使製得的玻璃帶有小气泡。

为此某些玻璃工業的工作者，曾不止一次地用电爐法或陶瓷法試製較穩定的耐火材料——鋼玉質耐火材料。但結果都未成功。

所以後來就產生了用鋁熱法（窖外法）製取鋼玉耐火材料的想法。

鋁熱法原則上並不是新法，因为很早以前这种方法就已極其成功的用於冶金業及其他技術部門中，但不久以前並沒有用它製造耐火材料。

1945年P.Л. 別夫茲涅尔教授，A.T. 札克及A.Г. 洛馬金兩位工程師首次在苏联提出用鋁熱法製造耐火材料，當時用該法製取了氧氣迴轉爐用的耐火材料。

將製出的鋁熱耐火材料於極其艱苛的条件下試驗，發現这种耐火材料的穩定性很好。上述第一批鋁熱鋼玉耐火材料在有獎競賽中獲得了獎金*。

由1946年起苏联建築材料工業部系統，为了瞭解用於玻璃工業中的鋁熱耐火材料的性質，为了擬製技術規程及試生產便開始了研究工作。

以後幾年用已擬製的和已掌握的鋁熱莫來石及鋁熱鋼玉耐火

* 競賽結果於1946年公布〔1〕。〔 〕內的號碼係參考文獻的號——譯者

材料製品的鋁熱（密外）法，即可製出高級耐火材料。這種耐火材料不但有 ГОСТ 4385—48* 所規定的熔鑄耐火材料的性質，而其穩定性還優越於電熔法製得的某些耐火材料。

此外，工業上也在擬製和試驗研磨用鋁熱尖晶石及鋼玉的鋁熱（密外）生產法。

1947 年將在 1945 年 12 月 30 日首先創作的發明證書授予了製定新的鋁熱耐火材料製造法的全體作者——P. Л. 別夫茲涅爾教授，A. T. 札克工程師A. H. 邁索也多夫工程師和 A. Г. 洛馬金工程師。

1950 年 P. Л. 別夫茲涅爾教授提出了製造輕質鋁熱鋼玉耐火材料的方法，這一方法擴大了鋁熱耐火材料的应用範圍。在製定工藝過程以及選擇和試驗全部設備時，A. H. 蓬達列夫作了很多工作。正是他製造了所有試驗用的和工業用的耐火材料，這些材料都經過了試驗並正在蘇聯各玻璃工廠的生產條件下使用着。

* 1948 年頒佈的 ГОСТ 4385—48 “耐火材料製品及其分類”中指出用電熔，鋁熱熔融物等可以製造熔鑄耐火材料。製出的耐火材料應具有下列技術規格：

“耐火度（決定於礬土的含量）由 1820°（ПК182）到 1980°（ПК196）。磚體要緻密完整（氣孔率由 0 到 2~3%）。溫度急變抵抗性不好。抗渣性及抗玻璃性極好。耐壓強度很高（3000 公斤/平方公分或更高）。高溫機械強度很高——1600—1700°（或更高一些）開始軟化。線膨脹係數較小（6—7·10⁻⁶）”。

1. 鋁熱法的理論根據

鋁熱法所依据的原理“由金屬氧化物中製取不易被还原的金屬”係於 1865 年 3 月 28 日於哈尔科夫大学被俄罗斯著名的化学家、哈尔科夫大学教授、後來的科学院院士 H. H. 別凱托夫在其博士学位的學術論文“元素置換現象的研究”的答辯時提出。

H. H. 別凱托夫院士確定：

鋁同氧的親合力較其他金屬強。
因此鋁可以作为与氧親合力較弱的許多金屬的氧化物的还原剂。
但當時由於鋁價昂貴，H. H. 別凱托夫院士的珍貴著作未被採用。直到十九世紀末有了电解製鋁法，H. H. 別凱托夫的論點才得到了廣泛的实际应用。



H. H. Beketov

H. H. 別凱托夫

1894 年德國化学家戈耳德什米特曾廣泛地將 H. H. 別凱托夫院士的原理用於实际中，但他並沒有說明这是 H. H. 別凱托夫院士的原理，因而 H. H. 別凱托夫院士在鋁熱方面的卓越發明便長期錯誤地被認為是戈耳德什米特在科学方面的成就。

鋁熱法〔2〕是以氧化鋁 (Al_2O_3) 形成時放出較其他許多氧化物为多的熱量做为根据 (表 1)。

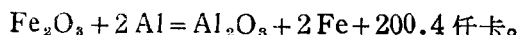
含一克原子氧的氧化物的生成熱 (仟卡)
(当溫度为 $+18^\circ$ ，压力为一大气压時)

表 1

氧化物	熱 量	氧化物	熱 量	氧化物	熱 量
MgO	144.6	SiO_2	100.5	Fe_2O_3	66.2
Al_2O_3	133.0	B_2O_3	94.0	MnO_2	61.5
TiO_2	108.6	Cr_2O_3	91.0	CuO	38.5

因此鋁與氧化物間的反应（这些氧化物的生成熱是每克原子氧小於 133 仟卡），若被还原的氧化物的生成熱愈小，則放出的熱就愈多。为了使还原反应進行得很完全，必須使反应進行得快，而且在反应時還要放出大量的熱，此熱量不僅能熔融生成的新物質，還要能加熱熔融物。如果熱量不足，則高礬土熔融物便來不及与还原了的金屬分開。因此每克配合料的單位熱效应不应低於 0.55 仟卡，否則反应就進行的很慢，熔融物也不能完全同金屬分開。

用鋁熱还原氧化鐵時，每克配合料可放出 0.94 仟卡熱：



反应進行得很快，同時放出大量的熱，因此金屬与熔融物完全分開。

为了激起反应通常使用點火混合物點燃配合料。開始時僅有一小部分参与反应，但很快地便蔓延至整个配合料，且不需要額外加熱亦可進行。

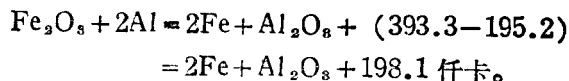
这便是鋁熱法不同於电爐熔煉法最主要的優點之一。

在电爐中由鉄礬土製取一次鋁，所消耗的大量电能（18000—20000 仟瓦小時/噸），在鋁熱法中可以加以利用。所以用鋁熱法生產耐火材料是很經濟的。

II. 鋁熱作用過程的物料平衡與熱平衡

物 料 平 衡

按下列反应進行計算：



应用純成分理論上的反应，進行初步的計算。

一公斤鋁需要氧化鐵

$$\frac{159.68}{53.94} = 2.96 \text{ 公斤。}$$

配合料的理論成分：

鋁…………… 1.0 公斤 25.25%
 氧化鐵…………… 2.96 公斤 74.75%

一公斤鋁產出：

$$\text{氧化鋁：} \quad \frac{101.94}{53.94} = 1.885 \text{ 公斤；}$$

$$\text{金屬鐵：} \quad \frac{111.68}{53.94} = 2.075 \text{ 公斤。}$$

可見產生一公斤氧化鋁時獲得的鐵為：

$$\frac{2.075}{1.885} = 1.10 \text{ 公斤。}$$

材料消耗：

$$\text{鋁：} \quad \frac{1}{1.885} = 0.530 \text{ 公斤。}$$

$$\text{氧化鐵：} \quad \frac{2.96}{1.885} = 1.570 \text{ 公斤。}$$

如果所採用的原料很純，則上述計算是完全正確的。但是在鋁熱耐火材料的生產過程中，却很難避免在原料中夾雜雜質。因此每個不同的情況下，為使反應正常進行，必須校正所需原料（鋁與氧化鐵）的比例。

在工廠的條件下大量生產鋁熱耐火材料時，校正他們的比例關係並不困難，因理論數據基本上符合實際情況。

經驗證明，為了實用起見，配合料中鋁粉的百分含量可按 M.A. 卡拉謝夫的簡易經驗式計算〔6〕：

高級鋁（一次鋁）：

$$A_{\text{ал}} = \frac{10^2 \cdot k_z}{A_{\text{ж}} + k + z} [\%],$$

各種標號的二次鋁（ABД—1，ABД1—1，ABД—2）及其他：

$$A_w = \frac{100^2 \cdot k_z}{A_n m (k_z + g + k)} [\%],$$

式中： k —— 氧化鐵中氧的百分含量；

z —— 其他金屬（銅、錳等）摻雜於鋁及氧化鐵中之摻雜度係數（0.95~1.24）；

A_n —— 活性鋁粉的百分含量；

g —— 氧化鐵中鐵的百分含量；

m —— 隨鋁粉的質量而變的係數（1~0.97）。

熱平衡（粗略的平衡）

一公斤鋁放出的熱：

$$\frac{198.1 \times 1000}{53.94} = 3670 \text{ 仟卡。}$$

由加熱到鑒土熔融溫度（2050°）所需之熱及根據手冊中查出之熱容量和潛熱，可以約略計算出理論上必需的熱消耗：

平 衡 項 目	熱 消 耗 （仟 卡）
加熱鑒土至熔融溫度所需之熱...	$2050 \times 1.885 \times 0.30 = 1162$
鑒土之熔融潛熱.....	$1.885 \times 51 = 93$
加熱金屬鐵所需之熱.....	$2050 \times 2.075 \times 0.20 = 850$
熔融金屬之潛熱.....	$2.075 \times 49.2 = 102$
總計.....	2210

由此可知剩餘熱為：

$$3670 - 2210 = 1460 \text{ 仟卡（或近於 40%）。}$$

這個熱平衡不是十分精確的，因為在平衡中不僅沒有考慮散於四周的熱，同時也沒有考慮與溫度等有關的熱容量的變化。但實際上大量的剩餘熱能夠使配合料很快的並很完全的熔融，同時也能使鑒土與鐵很好的分開。

III. 生產鋁熱耐火材料的原料及其製備

鋁和氧化鐵是生產各種鋁熱耐火材料的主要原料。此外根據鋁熱耐火材料的種類，用途以及為了控制鋁熱耐火材料的性質和改善其質量，可以在規定的範圍內添加不同的添加料。

氧化鋇 (ZrO_2) 就是這樣添加料中的一種，它可以促使形成小顆粒，以改進鑄造物的結晶結構，也可以降低玻璃質的含量。此添加料是以含有 60 % 左右 ZrO_2 的鋇英石精選礦加入配合料中。

製備鋁熱莫來石耐火材料時，一般都把在性質上適合製備窗用平板玻璃的砂子加入配合料中。

鋁

鋁是銀白色金屬，為 Д.И. 門傑列夫週期表的第三族化學元素，原子量為 26.97，其結晶結構係面心立方體。工業純鋁 (99.5% Al) 的熔點為 659.8° ，沸點約 2500° 。在 20° 時固態鋁的熱容量為 0.220 仟卡/度，熱傳導係數為 0.52 卡·公分·秒·度，比重為 2.70。而在 1000° 時液態（熔融狀態）鋁的比重為 2.35。

鋁是良好的導電體 [2]。苛性鹼，鹽酸及硫酸都能腐蝕它，但濃硝酸及有機酸對它却不起作用。在空氣中加熱鋁粉時，氧化作用很迅速，氧化時放出大量的熱，並生成一種很穩定的化合物——氧化鋁 (Al_2O_3)。氧化鋁的生成熱約為 400 卡/克分子，熔點約為 2050° 。

1825 年第一次製成了游離狀態的鋁，但為量極少，直到 1845 年才能大量製取，以供用來研究其主要性質。用化學法製鋁的工業生產是於 1854 年開始的，並一直繼續了三十多年，但用該法製取的鋁，成本很高（一公斤約為 45 盧布），所以其應用範圍並不廣泛。

直到十九世紀八十年代末化學製鋁法才被更有效的更便宜的