

煉鋼平爐砌磚

鞍山鋼鐵建設公司

煉鋼平爐砌磚

鞍山鋼鐵建設公司工業築爐工程公司編譯

江苏工业学院图书馆
藏书章

鞍山鋼鐵建設公司工程技術編委會

幾年來，我們在改建鞍鋼的工業築爐工程中，獲得了蘇聯築爐專家布丹涅克同志巨大的、熱情的幫助，不僅使我們保證了優等的工程質量，如期或提前完成了工程任務，而且也壯大了我們的施工力量，提高了施工的技術水平。

本書的大部份是由布丹涅克專家親自編寫，其他是依照專家講課資料，選擇蘇聯出版的有關技術書籍並經專家同意編譯而成。因此，本書內容多偏重於實際應用，供參加工業築爐實際施工的工程技術人員學習和參考。

本書的翻譯工作是由李明善同志和鞠貴廉同志負責，並經夏啓明同志協助校對。由於時間倉促和我們的理論知識及實際經驗都很貧乏，如有錯誤之處，望讀者給予批評與指正。

煉鋼平爐砌磚

鞍山鋼鐵建設公司工業築爐工程公司編譯
鞍山鋼鐵建設公司工程技術編委會編印
鞍山鋼鐵建設公司技術處出版

1955年4月 鞍鋼印刷廠印

目 錄

第一章 耐火、絕熱和補爐材料	1
第一節 耐火材料的性質.....	1
第二節 耐火材料的種類.....	14
第三節 絕熱材料.....	23
第二章 平爐的構造和各部分所採用的耐火材料及其作業條件	27
第一節 平爐的構造.....	27
第二節 平爐各部分所採用的耐火材料及其作業條件.....	29
第三章 鹼性平爐砌磚	51
第一節 爐底砌磚.....	51
第二節 後牆砌磚.....	53
第三節 前牆砌磚.....	54
第四節 堤坡及下坡砌磚.....	57
第五節 平爐主爐頂.....	58
第六節 平爐爐頭.....	64
第七節 蓄熱室及沉渣室的砌造.....	68
第四章 平爐的烘烤與加熱	74
第五章 施工組織設計	78
参考文献	87

第一章

耐火、絕熱和補爐材料

第一節 耐火材料的性質

工業爐爐底、爐牆、爐頂及在裡面流動着熔融金屬和燃燒煤氣之通道的耐火砌體，是受着很多因素的作用：高溫，熔融物質的化學作用，塊狀固體礦石的衝擊和震動及摩擦作用，以及溫度的急劇變化等等。爲此，對直接承受這些作用的耐火材料要求很高。所以工業爐各個部份砌體所採用的每一種耐火材料都應根據它的性能及對該部份耐火砌體作用的因素而確定。

耐火度及變形開始的溫度

耐火度就是指材料或製品抵抗高溫作用而不發生熔化的性能。耐火度以標準試樣（錐狀體）在本身重量作用下變形的溫度測定。通常，耐火材料是在比標誌其耐火度的溫度還低的溫度下就發現軟化。荷重軟化開始溫度也是耐火材料極其重要的質量指標。耐火材料的國家標準規定，耐火材料的試驗是在一定的溫度下（對每類耐火材料和產品皆不同），用2公斤/平方公分的荷重進行。

關於幾種化學元素的純氧化物熔化溫度及其化學性質的資料見表1。

表 1

元 素 名 稱	氧化物的化學符號	氧化物的熔化溫度	化 學 性 質
鎂	MgO	2800	鹼性
鈣	Ca	2570	鹼性
鋁	Al ₂ O ₃	2050	中性
矽	SiO ₂	1713	酸性
鈦	TiO ₂	1820	酸性
鉻	Cr ₂ O ₃	1990	中性
鋯	ZrO ₂	2700	—

在自然界中這些物質多摻雜有一些雜質，故實際上普通耐火材料的熔化溫度比表內所載氧化物的略低。

這兩個物理性質即熔化溫度（耐火度）和變形開始溫度（軟化）對任何耐火

材料都是非常重要的。在逐漸加熱時，耐火材料的軟化早於它的熔化，也就是說改變其最初的形狀較快。在軟化溫度和熔化溫度間的這個間隔，對於各種耐火材料皆不相同。粘土磚為 $150—250^{\circ}$ ，矽磚為 $25—100^{\circ}$ 。

在圖 1 中，水平線表示溫度，而垂直線表示在經常荷重 2 公斤/平方公分下的收縮。由圖中可以看出，粘土磚在加熱時的變形比矽磚早得多。鎂磚是在中間的位置。

例舉幾種耐火材料在 2 公斤/平方公分荷重下的變形開始溫度：

矽石製品.....	1630—1690°
粘土製品.....	1150—1400°
半矽製品.....	1350—1450°
多粘土製品.....	1400—1450°
莫來石製品.....	1700°
鉻質製品.....	1300—1450°
鉻鎂製品.....	1375—1490°
鎂質製品.....	1425—1600°
碳質製品.....	1700°
碳化矽製品.....	1650—1800°

現代的生產過程，尤其是冶煉過程，必須在高溫條件下進行，因此對耐火製品的要求也在逐年地提高。在最近十幾年已擴大了所謂高耐火製品的生產，如：鎂石、鉻礦石、鉻鎂礦以及高鉻耐火材料。

提高高耐火材料的荷重變形溫度及熔化溫度，主要是通過增加符合於耐火材料內化學元素的純氧化物的含量來達到。用相適應的（較稀有的）礦物配製磚料或通過選料即往料內加入純氧化物的方法來增加純氧化物的含量。

殘餘收縮或膨脹（增長）

耐火磚和大多數的物體一樣，在加熱時產生膨脹，但各種耐火材料的膨脹均不相同，譬如，矽磚在加熱時膨脹得就不均勻，是躍進式的膨脹。

進行砌磚時必須考慮到，耐火磚在加熱與冷卻時不可避免的體積改變。磚的過度膨脹可能引起磚的破壞（擠裂），而顯著的收縮可能引起灰縫脹裂，即失去砌體的強度和完整性。

耐火磚的導熱性很小。當溫度升高得很快時，磚的內外層溫度總有很大的差別。由於這個溫度差，外層的膨脹比內層要多，所以在磚內出現拉應力和剪斷應力。

當磚急劇冷卻時，外部壓縮得很快，而內部內核本身是一個堅固的物體，抵

抗着外層的壓縮，結果在外層出現拉力而磚開始破裂。磚的膨脹係數愈大，破壞就愈利害。因此說，使耐火磚的膨脹愈小而且進行得均勻、不躍進，是非常重要的。

主要耐火材料的熱線膨脹曲線見圖2。水平線表示耐火材料加熱的溫度，而垂直線表示耐火材料熱膨脹與最初體積的百分比。

由圖中看出，粘土磚的膨脹並不大，而且幾乎很均勻。鎂磚在加熱時，膨脹得非常顯著。矽磚的膨脹既大又極不均勻。當溫度在 200°C 以下時，矽磚膨脹得很平穩。由 200° 至 400° ，膨脹進行非常快（呈躍進式的），然後轉慢，而在 600 至 700° 的範圍內又重新急劇的增長，當溫度將近 1300° 時再次開始膨脹。

當溫度在 1400° 時，一級磚的殘餘收縮是2.2%，二級磚是0.3%，體積氣孔率為19%，這個數值是高爐磚的。化鐵爐粘土磚的殘餘收縮在 1400° 時不超過0.5%，氣孔率不超過22%。含 Al_2O_3 少於30%的耐火粘土製品的殘餘收縮，在溫度 1250 — 1400° 時為0.7—1.0%。

溫度急變抵抗性

溫度急變抵抗性，就是耐火材料抵抗溫度的急劇變化，而不使爐子破壞或產生裂紋或破裂的可能。

在爐子的生產過程中，耐火砌體的溫度發生顯著的波動。在補爐和裝料的時候，砌體急劇地冷卻，而此時正是在精煉過程中，砌體已加熱至軟溶的程度。因此必須使耐火材料具有高的溫度急變抵抗性，就是說，在溫度反覆變動的情況下保留自己的強度。

爲了測定溫度急變抵抗性，將磚加熱至 850° 並在流動的水中冷卻，然後再重新加熱和冷卻。驟冷驟熱次數是溫度急變抵抗性的指標。這個次數是在試樣重量失去20%的時候確定。

各種耐火製品的大致溫度急變抵抗性如下：

矽石製品.....	1—4	水冷次數
半矽製品.....	4—15	水冷次數
粘土製品.....	5—25	水冷次數
多粘土製品.....	50—100	水冷次數
鎂質製品.....	3—5	水冷次數
鎂鎂製品.....	5—20	水冷次數
抗裂鎂鎂製品.....	25—50	水冷次數
鎂質製品.....	1—2	水冷次數
碳化矽製品.....	50—60	水冷次數

輕粘土製品…………… 7—12 風冷次數

多粘土和碳化矽製品的溫度急變抵抗性最大，鎂質和矽石製品最小。

化 學 穩 定 性

化學穩定性或抗渣性就是耐火材料抵抗與其相接觸的一些材料之化學作用的性能。

與氧化鐵和熔渣的相互作用，是破壞耐火材料的主要原因。氧化鐵不僅包含在熔渣的成份內，而且也包含在煤氣內。在平爐高溫的條件下，金屬鐵及其氧化物蒸發，並與其他的氧化物生成平爐爐灰。液體氧化鐵滲入磚內，和耐火材料相互作用並生成易熔化合物。當耐火材料在高溫條件下與液體爐渣接觸時，其中間的相互化學作用，同樣引起易熔化合物的生成。

關於提高耐火材料抗渣性問題的正確決定，不僅要求知道材料，而且要知道破壞材料的爐渣的化學成份。

為了具有較好的抗渣性，必須使耐火材料的化學成份符合於爐渣（鹼性或酸性）。

耐 壓 強 度

耐壓強度就是材料承受某種壓縮時的荷重而不破裂的性能。試驗應按照國家標準在正常溫度下進行。

耐壓強度是耐火磚的重要性能之一。它首先取決於磚塊成型料的正確成份，成型方法及焙燒過程的正確性。用機械擠壓和乾燥成型的方法，製作出的磚比較堅固。

隨着溫度的升高，耐火材料的耐壓強度不同地改變。所以，在正常溫度下鎂磚比矽磚堅固2—3倍，而在溫度1600°時，矽磚比鎂磚堅固許多倍。

主要耐火材料的瞬時抗壓力如下（以公斤/平方公分計）：

矽石製品……………	100—350
粘土製品……………	100—500
輕粘土製品……………	8—120
多粘土製品……………	300—1000
莫來石耐熔製品……………	3000—4750
鉻質製品……………	300—800
鉻鎂製品……………	250—600
鎂質製品……………	300—650
碳化矽製品……………	250—550

熱 膨 脹 (註)

耐火材料與所有物理物體相同，由於加熱發生膨脹。在冷卻後回復到最初的體積，此種熱膨脹叫做可逆的膨脹，它與殘存的「殘餘」膨脹不同。在後面這種情況下，磚塊主要發生相成份和組織的變化。熱膨脹與耐火材料在驟冷驟熱時所產生的應力的大小有關，因此，它對製品的溫度急變抵抗性，產生最大的影響。

熱膨脹只取決於該材料的化學—礦物成份。磚塊組織的性質，其密度和強度對此值不起影響。

耐火材料的熱膨脹，可用下式表明：

1. 熱膨脹的平均係數

$$\alpha_{cp} = \frac{L_t - L_{t_0}}{L_{t_0}(t_0 - t_0)};$$

2. 真熱膨脹係數

$$\alpha_{net} = \frac{1}{L} \cdot \frac{dL}{dt};$$

3. 熱膨脹百分率

$$\frac{L_t - L_{t_0}}{L_{t_0}} \cdot 100\%,$$

L_{t_0} ——試樣在 0° 或在室溫時的最初長度；

L_t ——試樣在測定溫度下的長度；

$\frac{dL}{dt}$ ——按照溫度的微分長度。

為了計算的便利，小的熱膨脹平均係數的數值，一般是以 $\alpha_{cp} = 10^{-6}$ 表示之。例如，以粘土磚為例， $\alpha_{20-1000^\circ} = 4.5 \times 10^{-6} = 0.0000045$ 。

註：熱膨脹、熱傳導性、熱容量、溫度傳導性、電傳導性、彈性變形和可塑變形、透氣性、抗張、彎曲和扭轉強度、摩擦抵抗性、衝擊抵抗性及化學—礦物性質幾節，係節錄自「耐火材料」一書（馬守增等譯）

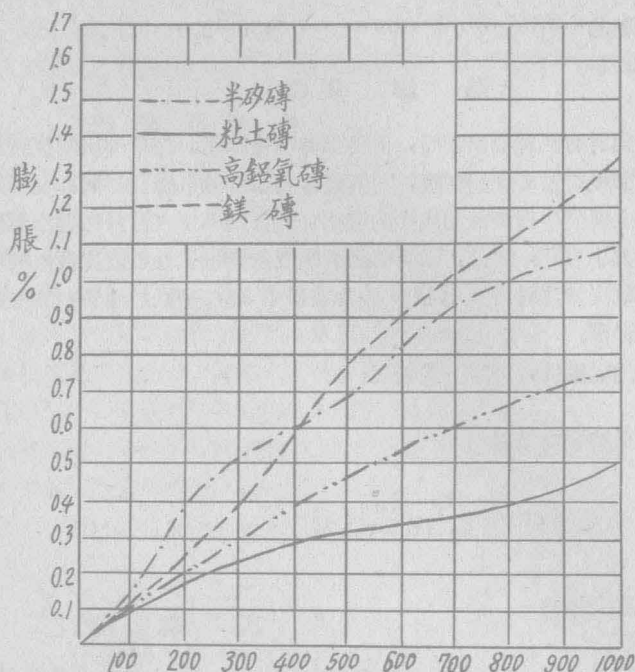


圖 1 耐火製品的热膨脹

從 0° 到該溫度的熱膨脹百分率數值，是按 $\alpha_{\text{cr.t}} \cdot 100\%$ 的計算得出。例如：粘土磚在 800° 時的熱膨脹值 $= 4.5 \cdot 10^{-6} \cdot 800^{\circ} \cdot 100\% = 0.36\%$ 。

但是為了評定耐火製品的性質，不僅熱膨脹平均係數或在該溫度下的熱膨脹數值重要，而且在各個溫度階段內，此膨脹進程的均衡性也重要。熱膨脹的均衡性，是利用在各個溫度階段中的真熱膨脹係數來評定。

如從圖 1 中可以看出：粘土磚、高鋁氧磚和鎂磚，都有均衡的熱膨脹進程，而半矽磚則是不均衡的。熱膨脹進程的不均衡，是由於在該耐火製品的成份中，有個別結晶的變形體產生同質異形的轉化作用所致。這些熱膨脹的不均衡性，在矽磚的熱膨脹值中表現得很明顯（圖 2）。

計算體積熱膨脹係數時，可採用等於 3α 之值，不致發生大的差誤。

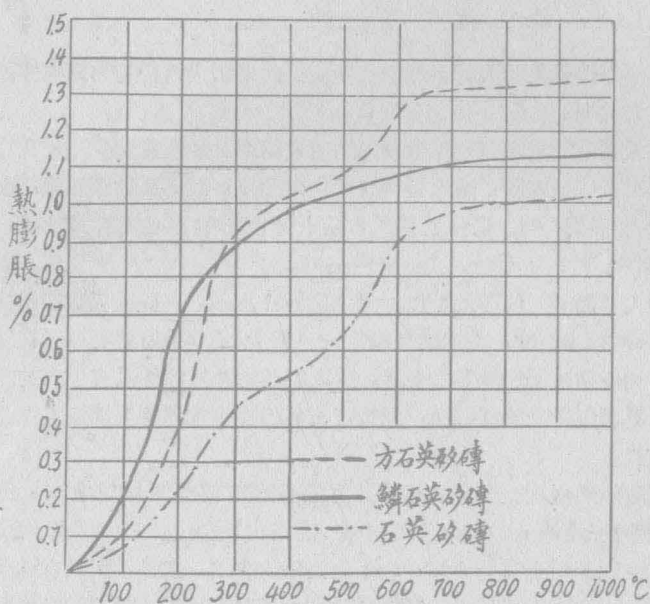


圖 2 矽磚的熱膨脹

表 2 所載的是一般耐火製品的熱膨脹數值。

熱膨脹平均係數

表 2

耐火材料名稱	20—1000°	作者
粘土磚.....	$4.5-5.0 \times 10^{-6}$	—
粘土磚(40% Al_2O_3)	5.0×10^{-6}	Э.К.克耶列樂
高嶺土磚.....	$4.5-5.5 \times 10^{-6}$	—
鋼玉磚(99% Al_2O_3)	7.5×10^{-6}	—
粗顆粒鎂磚(94% MgO).....	17.1×10^{-6}	Л.В.克留恰諾夫
鉻磚(50% Cr_2O_3)	9.0×10^{-6}	”
鉻磚(40% Cr_2O_3)	11.2×10^{-6}	”
細顆粒鉻鎂磚.....	10×10^{-6}	”
半矽磚.....	$7-9 \times 10^{-6}$	—
鎂磚.....	$14-15 \times 10^{-6}$	—
細顆粒鎂磚(90% MgO).....	14.7×10^{-6}	—
矽磚.....	$11.5-13.0 \times 10^{-6}$	—

熱 傳 導 性

熱傳導性就是耐火材料導熱的性能。如果耐火材料的熱傳導性低，那麼爐子的熱損失就小。

在大多數的情況下，工業爐內的耐火砌磚，是起着減少熱量在空氣中損失的保護作用。一般來講，耐火材料（炭化矽除外）是不良的導熱體，隨着溫度的升高，它們的熱傳導性也發生變化，粘土磚和矽的熱傳導性是增大，而鎂磚是減小。

耐火製品的傳導性是以熱傳導係數 λ 表示之，此種係數或用技術單位——大卡/公尺·小時·度，或用物理單位——毫卡/公分·秒·度計算。在測定經過窯爐和火箱的牆和爐頂的熱量損失時，耐火製品的熱傳導性具有很大的意義。熱傳導性並能影響溫度急變抵抗性，因為它與熱膨脹係數同時促進耐火製品內的相對剪力的數值。

隨着加熱溫度提高，大部份耐火製品的熱傳導係數也增大。例如，在室溫下，矽磚的 λ 值等於 1 大卡/公尺·小時·度左右，在 1000—1200° 時，增至 1.5 大卡/公尺·小時·度。粘土磚的 λ 值，也產生相似的變化。但是，對具有結晶組織的某些耐火製品，在溫度提高時， λ 值反而減小。例如，鎂磚在室溫下 λ 值等於 4—5，而在 1000° 時降低至 2—3。碳化矽 (SiC) 磚的熱傳導性，在高溫時下降尤為激烈。

當氣孔率提高時，磚的熱傳導性就會降低。例如，體積比重為 1.95 的緻密粘土磚 λ 值為 0.90，但當體積比重為 2.2 時，其 λ 值增加至 1.10。包道利斯基工廠用耐火粘土所製輕粘土磚的體積重量為 0.80， $\lambda = 0.50$ 。這些乃是不同作者所提供的 λ 值波動很大的部份原因。熱傳導性的測定方法的差別也起着很大的作用。

耐火和高耐火製品的熱傳導係數，大卡/公尺·小時·度

表 3

製 品	溫 度 °							
	200	400	600	800	1000	1200	1400	1600
半酸性製品.....	0.75	—	0.98	—	—	—	—	—
鋼玉製品.....	2.73	2.66	2.95	3.20	3.42	3.78	3.78	—
緻密土製品.....	—	—	—	—	—	1.12	—	—
矽線石製品.....	1.40	1.35	1.30	1.30	1.25	—	—	—
白雲石製品.....	1.26	—	—	—	—	—	—	—

續表 3

製 品	溫 度 °C							
	200	400	600	800	1000	1200	1400	1600
鎂橄欖石製品.....	1.30	1.20	1.10	1.00	0.90	0.80	0.70	0.60
鉻質製品.....	1.22	1.33	1.40	1.44	1.44	1.48	1.48	—
鉻鎂製品.....	2.90	2.80	2.70	2.60	2.50	2.40	2.30	2.20
炭化矽製品 (K型)	—	14.2	12.2	10.3	9.2	8.0	—	—
炭化矽製品 (P型)	23.8	21.8	17.7	—	—	—	—	—
石墨 (天然石墨)	—	121	118	105	—	—	100	—
石墨製品 (人造石墨)	26.7 (250°)	54.0	98.0 (550°)	—	—	—	—	—
焦炭(89%)	—	—	1.05	—	1.36	—	—	—
銻質製品.....	1.26	1.40	1.52	1.58	1.66	1.73	1.77	—

金屬的熱膨脹係數，仟卡/公尺·小時·度

表 4

金 屬	溫 度 °C						
	0	100	200	300	400	500	600
鋁.....	174	177	197	234	274	319	364
黃銅.....							
90—10.....	88	101	115	128	143	155	168
70—30.....	91	94	95	98	100	103	104
67—33.....	86	92	97	104	110	116	130
60—40.....	91	103	118	131	145	160	172
銅 (純)	337	331	327	322	315	311	307
鎳.....	50.6	50.3	49.2	48.9	47.8	47.5	46.2
錫.....	54	51	46	—	—	—	—
鉛.....	29.8	20.5	28.3	27.4	—	—	—
銀.....	364	358	353	348	344	339	334
鋼 (軟)	54	49	45	40	36	31	27
銻.....	97	92	88	84.5	80	—	—
生鐵.....	43	42	30	34	48	67	82

熱 容 量

耐火材料的熱容量以大卡/公斤·度表示之。此數值在計算爐牆和蓄熱室格子磚的蓄熱時有其意義，並在評定溫度傳導性 α 時，也包括此值在內。

溫 度 傳 導 性

溫度傳導性是表示在物體加熱時的溫度傳導速度，它與耐火製品的熱傳導性 λ 、熱容量 C 和體積密度 γ 存在以下的關係：

$$\text{溫度傳導係數 } \alpha = \frac{\lambda}{C\gamma} \text{—公尺}^2/\text{小時}$$

溫度傳導性決定激烈加熱或冷卻時，在耐火材料內溫度梯度的數值。

下表內依次載明典型耐火材料的熱傳導性、熱容量和相關的溫度傳導性的平均值。

表 5

磚 的 種 類	熱傳導性 λ			熱容量 C			溫度傳導性 α			體積 密度 γ
	20°	500°	1000°	20°	500°	1000°	20°	500°	1000°	
粘 土 磚	1.00	1.15	1.30	0.21	0.24	0.26	2.38	2.40	2.50	2.0
矽 磚	1.00	1.20	1.40	0.19	0.23	0.24	2.78	2.80	3.08	1.9
鎂 磚	5.00	4.00	3.00	0.22	0.26	0.26	8.78	5.93	4.45	2.6

電 傳 導 性

耐火材料在低溫下是不良的傳導體，即可用於電的絕緣。當溫度提高時耐火材料的電傳導性具有很大的數值。在1000°以上時，此值的提高特別顯著。在磚塊內的液相的生成，由於電離的關係，能促進其電傳導性。當耐火材料廣泛地用作電爐的襯磚和電的絕緣材料時，此種性質具有很大意義。但是一般耐火製品的電傳導性的試驗資料還積累得很少。在文獻上所載的個別試驗資料極矛盾，並且不能認為是很正確的。試驗指出：在1000℃的電阻測定數值為 10^4 — 10^5 歐姆·公分²左右，在1500℃時此值降至 10^3 歐姆。鉻磚和增大結晶的矽碳磚例外，其電阻在1000—1500℃時波動於1至100歐姆的範圍內。

彈性變形與可塑變形

耐火製品與所有固體物質相同，具有一定的彈性性質。耐火材料的彈性變形

不大，使其很難直接測定。耐火材料的彈性變形，在高溫下消失，而材料獲得可塑變形的性能。耐火材料的此種性質，對其溫度急變抵抗性具有很大的意義。與耐火材料有關的，不僅有延伸係數，並且還有剪力係數。

延伸係數 $E = \frac{f}{m}$ 公斤/公分²， f —延伸作用的應力， m —延伸率。剪力係數

$G = \frac{M}{\varphi}$ ， M —轉動力矩，而 φ —相對移動的角，以弧度為單位。此兩數值之

間，具有一定的關係。

彈性變形是以相對延伸 m 或相對剪力 φ 所表明的，它隨着加熱溫度的提高而減小，而係數增加。在 800—900℃ 時，粘土耐火材料獲有可塑變形的性質。因此，在磚內產生的應力可能由於可塑變形的關係而被抵消。此點可以部份地說明耐火材料在 1000℃ 以上對於在使用時和當燒成後的冷卻中所產生的溫度急變不發生敏感的原因。

耐火材料獲有可塑性質，是由於在磚塊內所組成的無晶形相或玻璃相軟化的結果。

減少耐火材料的延伸係數 E 或剪力係數 G ，應隨同着增加它的溫度急變抵抗性，因為這是由於最大延伸 m 或剪力 φ 的提高了的結果，也就是由於增加了不能引起磚塊損壞的彈性移動的緣故。

直接測量彈性變形的數值來確定彈性係數，尤其在高溫下測定，需要準備複雜的試樣和準確地來測量小的變形（表6），現在採用極短的音波來測定窯業材料的彈性性質。此類測定方法的本身並不複雜，但需要專門的儀器。

表 6

耐火材料的名稱	G 公斤/公分 ²		作 者
	20°	700°	
細顆粒粘土磚.....	45000	72000	Э.К.克耶列樂
粗顆粒粘土磚.....	19000	29000	”
細顆粒半砂磚 (17% Al_2O_3) ...	32000	105000	”
細顆粒鎂磚.....	14000	105000	Э.Б.克留恰諾夫
粗顆粒鎂磚.....	14000	18000	”
細顆粒鉻鎂磚.....	40000	68000	”
粗顆粒鉻鎂磚.....	7000	9000	”
細顆粒鉻磚 (49% Cr_2O_3)	84000	106000	”
粗顆粒鉻磚 (40% Cr_2O_3)	14000	15000	”
抗裂性鉻鎂磚 (10% Cr_2O_3) ...	4000	6000	”

透 氣 性

透氣性補充氣孔率，也用於評定磚塊組織的密度。但是，顯氣孔率和真氣孔率決定孔隙體積的總和，而透氣性取決於孔隙的大小和其相互間的聯系。根據透氣孔並可計算孔隙的平均尺寸。如果耐火材料應保證襯磚的最低透氣性時，則磚塊的此性質也具有純實際的意義。透氣性是用一定體積的空氣，在確定壓力下透過試樣的方法來測定。在個別情況下，透氣性是在較高溫度下測定。磚塊的透氣性在提高溫度時變動於不大的範圍內。例如，矽磚的透氣性在1000℃時減小一倍。耐火材料的透氣性與氣孔率存在一定的聯系，因為氣孔率低的磚塊，也具有不大的透氣性。但是，透氣性與氣孔率的差別，正如以上所述，還能表明磚塊的某些性質——孔隙的尺寸和其相互聯系。某些耐火材料的透氣性載明於表7。

表 7

耐 火 製 品 的 名 稱	透 氣 性
	公升/分 平方公尺/小時·公厘水柱
粗顆粒粘土磚.....	2.0 —5.0
細顆粒粘土磚.....	0.1 —0.5
特緻密粘土磚.....	0.01—0.05
矽 磚.....	0.5 —2.0

抗張、彎曲和扭轉強度

耐火材料在某些使用條件下，受到與受壓不同的各種性質的應力。例如：在玻璃熔爐爐池的牆上受到由於熔化玻璃的液體靜止壓力所產生的抗張應力；馬福爐爐底磚、燒鉢的底、蓄熱室磚格子的支柱磚受到折斷應力。在耐火材料內發生的扭轉應力或切斷應力，經常是在其迅速加熱時，當膨脹部份力求從其較冷部份脫離而產生。切斷應力和耐壓過程同時進行。但是為了評定耐火材料的抗張、彎曲和扭轉強度的實際數值，必須在符合於「工作」溫度下來測定。在室溫下測定它，實際意義不大。因此，耐火磚的折斷、抗張和扭轉強度很少測定。測定這些數值，沒有擬定的與測定耐壓強度相似的標準方法，也沒有適當的有系統的實驗資料。只能說：彎曲強度比耐壓強度約小到2—3倍，而抗張強度小到5—10倍。沒有在高溫下測定彎曲、抗張和扭轉強度的實驗資料。

摩 擦 抵 抗 性

耐火材料抵抗固體物摩擦作用的性能，在很多情況下，可以預定襯磚的使用

壽命。高爐上部襯磚由於沿爐身下降的爐料而受到此種摩擦作用。在煤氣流內以很大速度移動的細粉狀灰或煤，是摩擦作用的另外例子，耐火製品當在大速度氣流的摩擦作用下抵抗性不足時，可能使襯磚在數晝夜的過程中損壞。

摩擦作用的抵抗性，不僅取決於磚塊的密度和強度，磚塊的組織也具有很大意義。摩擦抵抗的必須條件，不僅是熟料顆粒的密度和硬度，而且還有顆粒間的堅強結合，由於耐火襯磚僅在高溫下受到摩擦作用，因此耐火材料的此種性質也會在高溫下進行過研究。這些試驗的結果指出，在彈性變形的溫度範圍（700—1000℃）內，摩擦抵抗性隨着溫度的提高而逐漸降低。當繼續提高試驗溫度到1200—1350℃時，摩擦抵抗性顯著增加，並較常溫下的抵抗性為大。耐火材料的此種表現，無疑的是與在800—1000℃以上由於產生使磚塊得到一定粘土的液相而使其呈現可塑變形的性質有關。當繼續提高試驗溫度（高於1400℃）時，磚塊的粘性顯著減小，使摩擦作用的最大抵抗也發生變化。如此，觀察在高溫下產生的相似的摩擦抵抗和耐壓抵抗的變化。

衝 擊 抵 抗 性

高爐裝料對於爐體上部的衝擊、石灰石對於石灰窯的衝擊或煤在煤氣發生爐內的衝擊，以及鐵棒在透窯時對襯磚的衝擊，都是襯磚損壞的部份原因。在這些情況下，選擇具有高衝擊抵抗性的襯磚材料，可能增加襯磚的使用壽命。如此，耐火材料必須具有高的粘性。此種粘性與原料的性質和操作過程的關係，尤其在耐火材料的使用溫度下，研究得還很少。

化 學—礦 物 性 質

從觀察耐火材料的各種性質中，可以明顯地看出，磚塊的化學與相成份以及結晶相的組織特徵，決定這些性質。磚塊的化學—礦物成份，對高溫下的結構強度，對燒成時的體積固定性和抗渣穩固性影響極大。耐火製品的物理性質，在一定程度上，也受到化學—礦物成份的限制。今後操作方法的發展和耐火材料性質的改善，主要是有關於磚塊相成份和其往希望方向調整的可能性的研究。

氣孔率、體積重量和比重

所有的耐火製品皆是非實心物體，而具有大量細小的氣孔。大部份耐火材料的氣孔率波動於15—30%的範圍之內，氣孔體積達80%的輕質耐火製品除外。部份氣孔是封閉的空間，彼此之間和與大氣皆不相通。

所謂顯氣孔率是彼此之間和與外部大氣相通的氣孔體積。顯氣孔率是以與製品總體積的百分比表示之。

所謂真氣孔率或總氣孔率是封閉的和敞口的所有氣孔的總和，同樣是以與製