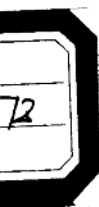


高爐基礎計算及設計規範

($\frac{\text{И201—55}}{\text{МСПМХП}}$)

王 林 生 譯



冶金工業出版社

苏联冶金及化学工業企業建筑部

苏联黑色冶金工業部

高爐基础計算及設計規範

(И 201-55)
(МСПМХП)

苏联冶金及化学工業企業建筑部中央工業建筑科学
研究院 (ЦНИПС) 和苏联黑色冶金工業部国立苏联
冶金工厂設計院 (ГИПРОМЕЗ) 共同編制
一九五五年四月十一日經苏联冶金及化学工業企業
建筑部技术司同意

冶金工業出版社

目 录

前言	3
一、設計原則	4
二、計算原則	8
三、材料	23
四、施工要求	24
附录:	
1. 容积为 1300 立方公尺的高爐基础圖	26
2. 容积为 1300 立方公尺的高爐基础耐热塊体 沿半徑溫度降的热工計算示例	29
3. 高爐基础鋼筋混凝土承重平板的土壤反压力計算	31
I、緒 言	31
II、容积为 1300 立方公尺高爐的基础鋼筋 混凝土承重平板的計算	31
A、强度計算	31
B、裂縫开展的計算	46
III、容积为 1385 立方公尺的高爐基础 鋼筋混凝土承重平板的計算	50
A、强度計算	50
B、裂縫开展的計算	54
IV、反压力圖形端部縱座标和中間縱座标的比 不同时子午線力矩变化的分析	52
4. 以沿半徑的溫度降計算容积为 1300 立方公尺 的高爐基础鋼筋混凝土承重平板的示例	53
5. 高爐基础溫度观察指示 (У 116-52/МОПТИ-МЧМ)	62
参考文献	54

前 言

本規範的編制目的，為闡述在爐底耐火砌體和鋼筋混凝土承重平板之間具有耐熱鋼筋混凝土裝置的高爐基礎計算和設計的基本問題。

本規範以國立冶金工廠設計院設計高爐基礎的經驗和中央工業建築科學研究院的實驗-理論研究為基礎編制而成。一九五〇年的「高爐基礎設計暫行指示」由於本規範的出版而被代替。

規範關於承重板的基本計算原則，也適用於煙囪基礎和其他在平面上為圓形或多角形的基礎。

本規範在技術科學博士 В. И. 穆拉舍夫教授的領導下，由中央工業建築科學研究院一級科學工作人員技術科學副博士 Я. М. 聶米羅夫斯基和國立冶金工廠設計院土建科總結構師 Г. Л. 斯卡熱尼克編制而成。

編制本規範時，曾考慮了國立冶金工廠設計院副總工程師 А. И. 魯布寧和國立冶金工廠設計院土建科科长、技術科學副博士 Н. А. 烏薩可夫的意見。

本規範的編輯和出版前的準備工作是由冶金化學工業企業建築部技術司（工程師 Л. Е. 捷姆金）進行的。

苏联冶金及化学工業企業建筑部 苏联黑色冶金工業部	高爐基础計算 及設計規範	И 201-55 МСИМХП
-----------------------------	-----------------	--------------------

一、設 計 原 則

1. 当設計帶耐热混凝土隔热裝置的高爐基础时，应当選擇基础的結構形式和材料，以及确定各个構件的受热極限，使之消除混凝土的破損，並且裂縫不超过允許值（以公厘分数計）。

为此目的，將基础建成由兩部分組成的：

а) 下面承重部分——为一巨大整体鋼筋混凝土平板，其地基面积尺寸由土壤条件确定；

б) 上部非承重部分——为一实体耐热混凝土塊，其側边設有承受溫度应力的环形鋼筋①（附录 1，圖 8）。

2. 用耐热混凝土制成的基础塊体的高度，由热工計算确

- ① 基础結構由国立冶金工厂設計院和中央工業建筑科学研究院（建議人 А. И. 魯布宁、Г. Д. 斯卡热尼克、П. С. 加勒洛夫、В. И. 穆拉舍夫、К. Д. 聶克拉索夫、Н. И. 魯卡日金）制成，於一九五一年由国立冶金工厂設計院科学技术委员会和全苏高爐工代表會議审查和同意，以及由苏联黑色冶金工業部幹事會於一九五二年七月四日批准。

苏联冶金及化学工業企業建筑部中央工業建筑科学
研究院(ЦНИПС)和苏联黑色冶金工業部国立
苏联冶金工厂設計院(ГИПРОМЕЗ)共同編制

一九五五年四月
一日經苏联冶金及
化学工業企業建筑
部技术司同意

定，同时，当爐底耐火砌体保持为 2—3 皮时，必須保證基础的承重混凝土板上面的溫度不超过 250°C 。

計算确定，高度不低於其直徑 0.25 之耐热塊体即能滿足此种要求（附录 1，圖 8）。

註：如果在高爐操作时，查明基础承重板上部溫度不断增高，並达到其極限数值，則高爐应停止工作。当溫度穩定在 $250—350^{\circ}\text{C}$ 时，不必要停止高爐的工作。

3. 將耐热塊体作成圓形，其直徑与爐缸尺寸相符，並包以鋼套。利用延長至承重板的爐子外壳作为鋼套。

4. 高爐外壳延長部分所形成的鋼套，在各側都应当是敞露的，以便有可能定期檢查和及时修理，以及有可能进行塊体側面的空气冷却。

5. 为了避免从爐子外壳底下往大气中漏出煙气，在耐热塊体鋼套的外面圍繞外壳底部安裝鋼环，並留出 100—150 公厘的空隙；鋼环用混凝土澆在下部鋼筋混凝土板中，並且伸出此板 300—400 公厘。空隙用耐火的碳質泥料（填爐泥料）填充，其成分示於第 22 条中。

为了保护此填料避免被冷却爐子外壳所用的水浸湿，在外壳的周圍安裝擋板；可利用集水槽作为此擋板。

6. 採用直接支持在基础下部鋼筋混凝土板上的長的爐子鋼柱。

由爐子的柱傳到基础上的水平作用力，由安裝在平板上部台阶範圍內的环形鋼筋承受。

此鋼筋与承受沿平板半徑的溫度降的环形鋼筋組合一起。

为了增大混凝土承受局部压力的强度，在柱基下面配置柱子的地方設置兩排水平構造鋼筋網。

由柱基起到受力面止的柱子下面部分，在厚 4 公厘的鋼板外壳內用耐热混凝土复襯。

位於工作平台上方距地面 2 公尺高的柱子部分，用在水平縫中配筋的耐火磚砌体飾面。

7. 基础耐热塊体及其承重鋼筋混凝土平板皆處於不同溫度制度的条件中。

为了避免基础承重平板在耐热塊体变形时损坏，在承重平板和耐热塊体之間留溫度縫，並用特殊耐火材料填充此溫度縫。

为此目的，採用以純石英砂和白色耐火粘土（高嶺土）調制的硬質塑性砂漿，或採用以 10 公厘厚層撒在基础承重平板的仔細抹平的鋼筋混凝土表面上的石墨粉。關於砂漿成份的資料，見第 23 条。

8. 在外壳和位於基础耐热塊体周围的壁之間留一空隙，並用耐火破質泥料（填爐泥料）填充。耐火破質泥料的成分見第 22 条。

此空隙由於填爐泥料有收縮性，可保証塊体的溫度变形自由發展，而消除溫度作用力直接傳到爐子外壳上。

塊体加热时，其溫度变形的数值，与塊体内环形鋼筋含量成正比关系。

加热时足够补偿塊体半徑增大的空隙寬（即填爐泥料的厚度），由鋼筋中的計算应力确定（第 12 条）。当鋼筋中受有計算应力时，半徑的增量 R 等於：

$$\Delta R = \frac{R_a^H R}{E_a 1.4};$$

对光面鋼筋：

$$\Delta R = \frac{2400 \times 550}{2100000 \times 1.4} = 0.45 \text{ 公分};$$

对週期断面鋼筋:

$$\Delta R = \frac{2800 \times 550}{2100000 \times 1.4} = 0.52 \text{ 公分。}$$

在压力下填爐泥料的收縮量約等於6—8%，因此空隙值应当不小於75—90公厘。

考虑某些儲备量，則取空隙值为100公厘。

随着作为基础耐热塊体模板的厚为350公厘的环形壁的建造，逐漸用礫質泥料（填爐泥料）填充空隙。壁用耐火磚和掺有磨細掺料的水泥砂漿砌成。

9. 为了檢查基础承重板上邊緣的溫度，直接在耐热混凝土塊体下設置热电偶用管。

热电偶的位置和溫度的观察，应根据「高爐基础溫度观察指示」(У 116-52/МСПТИ—МЧМ) (附录5) 进行。

10. 爐子工作平台的結構構件可以全部支持在基础承重鋼筋混凝土平板上（当地基面积很寬大时），或者部分支持在其上（当基础平板尺寸不大，並为非下沉性密实土壤时）。

平台結構方案应当保証能自由通向爐子外壳，不应与外壳有任何連結。为此目的，於爐子周圍在工作平台的平板上做相应的洞口（寬不小於1公尺），並用裝配式鋼筋混凝土平板复盖。

为使建筑施工工業化，建議用裝配式鋼筋混凝土結構建造工作平台。

11. 直接位於运送爐渣和生鉄的綫路处的工作平台的結構構件，应当防止輻射热的作用；盖板的平板和肋的下緣用特殊悬挂式鋼防护板或配筋耐热混凝土防护板加以保护。防护板和平台結構構件之間留出空隙，以便空气自由循环。

盖板及工作平台的側部肋緣，用耐火砌体加以保护。

二、計算原則

12. 由於徑向溫度的不均勻分佈，在耐熱塊體中產生的溫度應力可根據下列情況按照 В. И. 穆拉舍夫教授的方法 [1, 2] 進行計算。

在計算時，將塊體沿高度分成按半徑計算溫度降的單個圓盤體。

在半徑各不同點上的塊體自由溫度變形的變化 ($\alpha_{\phi} t$) 按直綫定律 (圖 1) 採取。

此處， $\alpha_{\phi p}$ ——考慮溫度收縮的計算混凝土線膨脹係數 (溫度膨脹係數) ($\alpha_{\phi p} = \alpha_{\phi, t} = \alpha_{\phi, y}$) 取自表 2;

t ——在塊體任意點上的溫度。

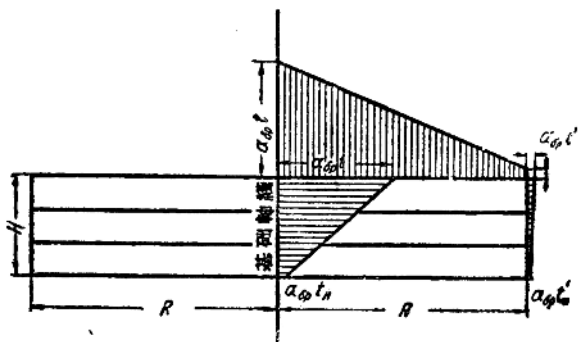


圖 1 基礎耐熱塊體沿半徑和高度的自由溫度變形分佈計算簡圖

環形鋼筋中的應力大小以與耐熱塊體剛性的直接關係求出，並考慮塊體受壓區混凝土的塑性變形以及位於裂縫間的受拉混凝土的工作來確定。

耐热塊體在不均勻受熱下工作時為超靜定結構。

因此，環形鋼筋的含量 μ 以及鋼筋中的應力 σ_a ，是用公式 (1) 和 (5) 以及圖 2 中的關係曲線表以漸近法來確定的。

得出 1 公尺高圓盤體周圍的環形鋼筋含量為：

$$\mu = \frac{F_a}{100 \times R_0}, \quad (1)$$

則接下式求得截面特性 α

$$\alpha = \mu \eta'_t = \mu \frac{E_a \cdot e}{E'_0 \eta'_t} = \mu \frac{E_a}{E_0 \beta_0 \phi_t \cdot (1 - \lambda_t)} = \frac{3 \mu m}{\beta_0}, \quad (2)$$

式中： F_a ——環形鋼筋的面积；

R_0 ——从塊體中心到環形鋼筋重心的距离；

$$R_0 = R - a,$$

R ——塊體半徑；

a ——从塊体外緣到環形鋼筋重心間的距离； $a = 0.05 R$ ；

E_a ——鋼筋用鋼彈性模數，等於 2100000 公斤/平方公分；

E_0 ——溫度為 100°C 時的混凝土的彈性模數；對於用耐火骨料制成的混凝土，則按表 1 採取。

表 1

耐热混凝土的彈性模數 E_0 和 $n = \frac{E_a}{E_0}$

指 标 名 称	耐热混凝土为下列标号时的彈性模數 E_0 (公斤/平方公分) 和 $n = \frac{E_a}{E_0}$		
	150	200	300
彈性模數 E_0 (公斤/平方公分)	130000	150000	180000
$n = \frac{E_a}{E_0}$	16.1	14.0	11.7

註：耐热混凝土的标号表示在温度为100—110°C〔3〕时制成的10×10×10公分試样的强度。在冷状态下确定28天龄期的20×20×20公分試样的强度时，把在冷状态下得到的强度值乘以系数1.20即得出混凝土标号

$$n'_t = \frac{E_{a.o.}}{E_{\phi,t}(1-\lambda_t)};$$

$E_{\phi,t}$ ——加热到 $t^\circ\text{C}$ 时的混凝土弹性模数 ($E_{\phi,t} = \beta_\phi E_\phi$) ;

β_ϕ ——考虑温度对混凝土弹性模数影响的系数; β_ϕ 按表 2 采取;

ψ_t ——考虑在温度作用下裂缝間受拉混凝土工作的系数;

λ_t ——加热到 $t^\circ\text{C}$ 的混凝土塑性系数，此系数等於混凝土变形的塑性部分与全部变形之比。

註：根据中央工業建筑科学研究所研究的材料，公式 (2) 中的 $\psi_t(1-\lambda_t)$ 之乘积取为 $\frac{1}{2}$ 。

ψ_t 值由圖 2 的关系曲线表按 α_n 及 $\sigma_{a.o.}$ 值求得;

$$\alpha_n = 3 \mu n_0. \quad (2a)$$

为了求得帶裂缝的截面中的鋼筋应力 σ_a ，要求出裂缝之間部分的鋼筋中的平均应力 $\sigma_{a.o.}$; $\sigma_{a.o.}$ 值按下式求得:

$$\sigma_{a.o.} = E_a \alpha_{\phi,p} \frac{\Delta t}{2} (1-\xi), \quad (3)$$

Δt ——沿圓盤体半径的計算温度降;

ξ ——截面受压区的相对高度; $\xi = \frac{x}{R_0}$ 之值按下式求得:

得:

$$\xi = -\frac{\alpha}{2} + \sqrt{\frac{\alpha^2}{4} + \alpha}; \quad (4)$$

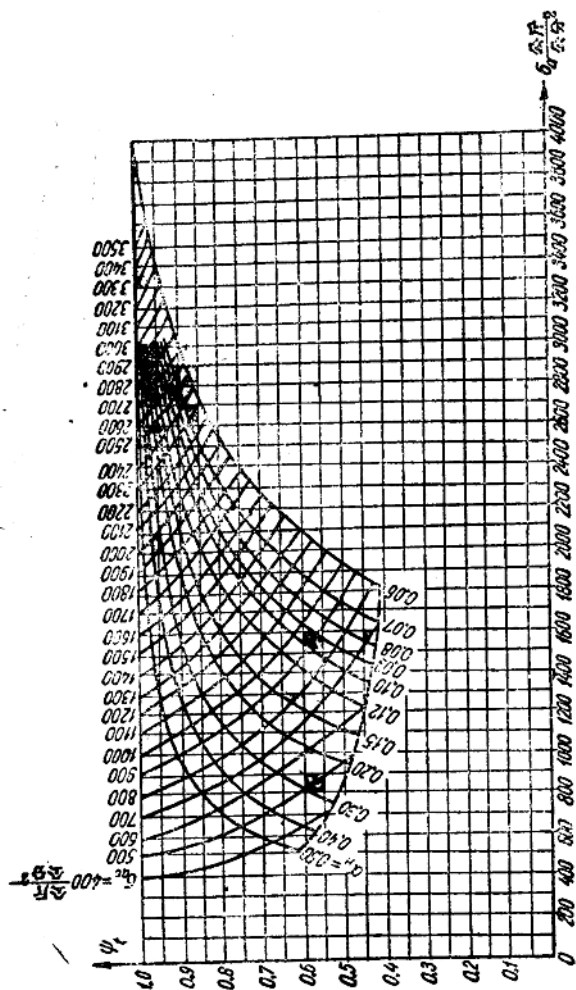


图 2 当有温度降作用时，实体圆盘的 ϕ_c 值与 $\alpha_{H,0}$ 及 $\alpha_H = 3 \mu^m$ 值的关系曲线表

x ——由塊體中心到塊體中性軸的距离(受压区之半徑);

$$x = \xi R_0.$$

取決於圓盤體中心溫度的耐熱混凝土的係數 $\alpha_{s,p}$ 及 β_s 的值載於表 2 中。

表 2

係數 $\alpha_{s,p}$ 及 β_s 的值

系 數	在下列溫度下 $\alpha_{s,p}$ 及 β_s 係數的值				
	100°C	300°C	500°C	700°C	900°C
$\alpha_{s,p} \cdot 10^{-6} \dots\dots\dots$	9.0	7.3	5.3	4.5	4.1
$\beta_s \dots\dots\dots$	1.0	0.8	0.6	0.4	0.2

根據上面求出的 $\sigma_{a,0}$ 的值和 $\alpha_n = 3 \mu n$ 的值，按圖 2 中的曲線表求出 ψ_t 值。然後按下式求出鋼筋中的應力 σ_a ：

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{a,0}}{\psi_t} = \frac{E_a \alpha_{s,p} \Delta t}{2 \phi_t} (1 - \xi). \quad (5)$$

按公式 (5) 由計算求出的 σ_a 的值應當等於 $\frac{R_a^n}{m}$ 的值，

此處 R_a^n ——鋼筋標準強度；由於鋼筋受熱不大， R_a^n 值則按建築法規 (СНиП) 第二卷第二篇第三章第四節採取一般溫度下的標準強度；

m ——工作條件係數；此係數考慮到爐子正常工作條件被破壞（爐底一側燒毀、不均勻冷卻）而在基礎塊體中溫度的實際分佈和溫度的計算分佈有偏差時，以及當再次加熱時鋼筋中工作應力增高的可能性； m

值取为 1.4。

当所得到的 σ_n 值与 $\frac{R_n}{m}$ 值有很大偏差时，则要重复进行计算。

圖 3 上的曲線表的說明：

按公式 (2a) $\alpha_n = 3 \mu n$ ，即按公式 (2) $\alpha = \frac{\alpha_n}{\beta_0}$ (式中 $\beta_0 = 0.40$) 得到各种不同的值，則按公式 (4) 求出 ξ 的值及按公式 (3) 求出 $\sigma_{a.o} = \psi \sigma_n$ 的值 (由表 2 查出 式中 $\alpha_{o.p} = 4.5 \times 10^{-6}$)。

然后利用圖 2 上的曲線表，根据相应於 $\sigma_{a.o}$ 及 α_n 各种不同值的曲線的交点找出 σ_n 的值。

根据受压区和受拉区極限阶段中等程度截面的条件 (即当塊体受压区中混凝土的破坏和环形鋼筋屈服点同时开始时) 来确定配筋的最大限度。

對於計算溫度降 (見第 13 条) 的受压区半徑極限值 x 等於 $0.5 R_0$ ($\xi_{\max} = 0.5$)。

最小配筋比取为 0.2%。

對於計算溫度降 $\Delta t = 700^\circ\text{C}$ ，固定值 α_n 相当於極限值 ξ (圖 3)。

13. 为塊体上部三分之一計算环形鋼筋，取計算溫度降 $\Delta t = 700^\circ\text{C}$ 。

溫度降的計算数值，是根据對於在各种溫度降数值下由此溫度降影响而产生塊体中应力和变形的变化分析加以选择的。同时，利用反映一些冶金工厂高爐基础中溫度实际分佈性質的实际資料。已确定，在高溫情况下由於用矽酸鹽水泥制成的耐热混凝土

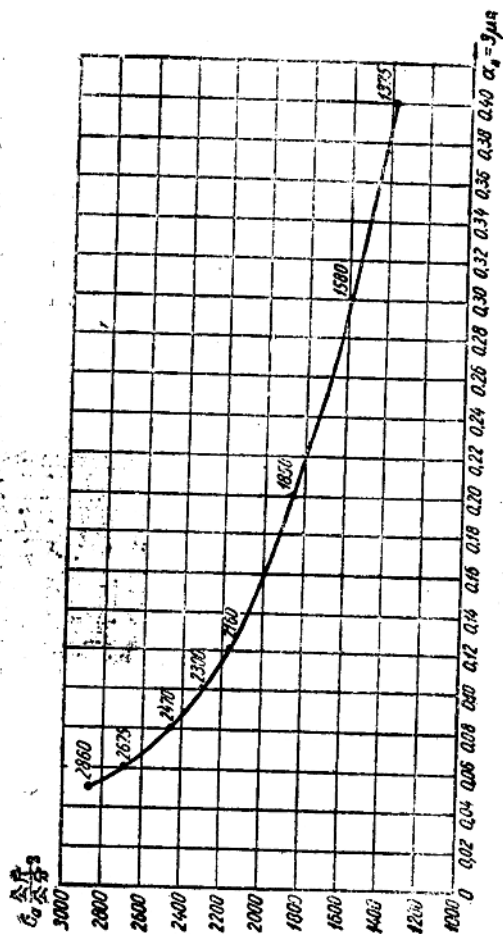


圖 3 對於計算溫度差 $\Delta t = 700^\circ\text{C}$ 之鋼筋中應力 σ_n 和 α_n 值之間的互相關係曲線表

土塊體受壓核心的顯著的收縮變形和塑性變形的發展，在塊體中不是有最高溫度（1000°C以上）作用時，而是在比較低的溫度 $\sim 700^\circ\text{C}$ 之下〔2〕，環形鋼筋中的應力達到最大數值。

隨着所觀查的圓盤體遠離於爐底，耐熱混凝土中的溫度降急劇變小（圖1），因此，將塊體中部及下部三分之一中的環形鋼筋截面面積取為塊體上部三分之一中鋼筋截面面積的0.8和0.5。

在周圍鋼筋網中的垂直鋼筋截面面積約取為環形鋼筋截面面積的25%。

14. 圓形塊體外表面上的垂直裂縫展開寬度按圖4中的曲線表求出。

當由公式（5）或圖2、3中的曲線表所確定的鋼筋中應力 σ_s 為已知時，利用此曲線表根據 $\alpha_s = 3\mu n$ 的值求出 S_r 的值。

編制圖4中的曲線表時，考慮了裂縫間受拉混凝土的工作，即當 $\phi_s < 1$ 時的情況。

已知 S_r ，由下式求出裂縫的展開寬度 α_r ：

$$\alpha_r = \frac{S_r \mu n'_p}{100},$$

式中： μ ——鋼筋截面面積與其周長之比；圓鋼筋時為 $\frac{\pi d}{4}$ ；

n'_p ——受拉時鋼的彈性模數與混凝土彈性-塑性模數之比，

$$\text{即 } n'_p = \frac{E_s}{E_c(1-\lambda_p)};$$

λ_p ——受拉時混凝土塑性系數；根據中央工業建築科學研究院的考查資料，取 $\lambda_p = 0.5$ ，則 $n'_p = 2n$ ；此時 α_r 的值按公式（6）將為：

$$\alpha_r = \frac{S_{run}}{50} \quad (6a)$$

註：對於週期断面鋼筋，由公式（6）或（6a）所求得的 α_r 的值要乘以0.5。

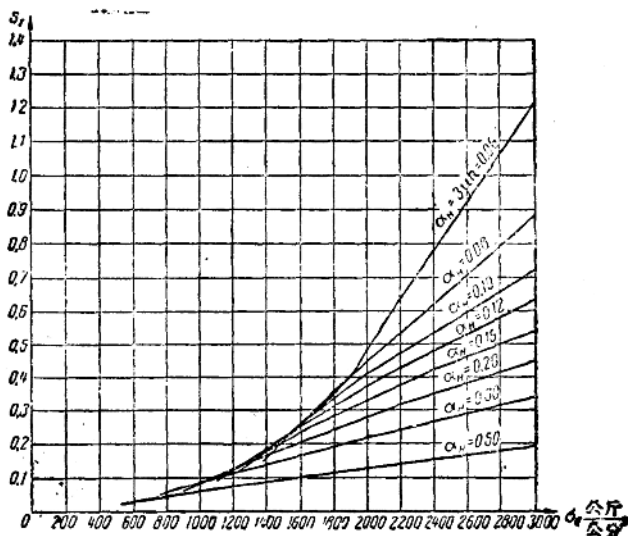


圖 4 在溫度降作用時實體圓盤體的裂縫展開曲線表

規定裂縫展開的最大允許寬度 $\alpha_r = 0.5$ 公厘。

確定裂縫展開寬度的示例載於附錄 2 中。

15. 為了減少裂縫展開，沿耐熱混凝土塊體周圍放置的環形鋼筋設計為由數排沿塊體周圍集中佈置的鋼筋網組成（圖 9）。

採用直徑為 24—32 公厘的熱軋週期断面鋼筋作為環形鋼筋，