



ÚŘAD PRO VYNÁLEZY
A OBJEVY

POPIS VYNÁLEZU 206 699

K AUTORSKÉMU OSVĚDČENÍ

(61)

(23) Výstavní priorita
(22) Přihlášeno 30 11 78
(21) PV 7893-78

(11)(B 1)

(51) Int. Cl.³ C 22 B 1/16

(40) Zveřejněno 15 09 80
(45) Vydáno 15 01 84

(75)
Autor vynálezu STANĚK VLADIMÍR ing. CSc., PRAHA

(54) Způsob řízení průběhu spékání rud

1

Vynález se týká způsobu řízení průběhu procesu spékání rud.

Při tomto procesu se železná ruda o drobném až prachovém zrnění, které ji činí nezpůsobilou pro přímé zavážení do vysoké pece, předběžně podrobí spékání - aglomeraci. Výsledný spečený materiál lze potom upravit na rozměr zrna vhodný k zavezení do vysoké pece.

Při dosavadním způsobu spékání je prachová ruda smíšena s drobným koksem podobného zrnění v množství okolo 5 hmotových procent ve výsledné směsi. Směs je zapálena a prosáváním vzduchu pásmo hoření postupuje vrstvou materiálu a spéká jej v aglomerát.

Spékání se provádí obvykle kontinuálně tak, že materiál je sypán na pohyblivý rošt, na kterém postupuje pod zapalovací hlavu. Zapálení se provádí obvykle jednou nebo více zapalovacími chlavy.

Současný stav techniky spékání však nezaručuje požadovanou kvalitu aglomerátu a vývoj ve světě směřuje k uplatnění kontroly a řízení spékání. Jako informací je využíváno teplot odsávaných plynů podle autorského osvědčení SSSR č. 546 287 a patentů NSR č. 1 758 242, 1 758 243 a 22 167 121 nebo jiných veličin jako obsahu prachu v odsávaných plynech podle autorského osvědčení SSSR č. 534 504. Hledají se vztahy mezi indikovaným stavem procesu, zejména okamžitou maximální teplotou pevné fáze v pásmu hoření a akční veličinou. Hlavními cíli řízení procesu spékání je produkce aglomerátu požadované kvality, homogenita vlastností aglomerátu, úspora paliva a intenzifikace aglomeračního procesu.

Nevýhodou dosavadního stavu je, že přidávané množství koksu značně převyšuje množství nutné z hlediska probíhajících endotermických pochodů. Maximální teplota tuhé fáze v pásmu hoření s postupem pásma narůstá následkem rekuperace tepla a dosahuje posléze značných hodnot. Výsledný spečený materiál je proto po výšce vrstvy výrazně nehomogenní a proměnlivé kvality. Určité množství aglomerátu je potom třeba, jakožto nevyhovujícího, vracet ke spékání, podsítný aglomerát.

Nevýhodou způsobů řízení aglomeračního procesu podle teploty vystupujících plynů je značné časové zpoždění požadované informace. Tuto lze obdržet teprve v okamžiku, kdy se pásmo hoření přiblížilo ke konci vrstvy. V samém principu tyto metody nemohou poskytnout informaci o okamžitém stavu pásma hoření a nemohou tedy sloužit k řízení vlastního průběhu aglomerace vrstvy. Nemohou poskytnout ani informaci potřebnou ke korekci vlivů časových fluktuací různých procesních veličin.

Uvedené nedostatky odstraňuje způsob řízení průběhu spékání rud podle vynálezu, při němž se plynule měří okamžitá spotřeba kyslíku ve spékané vrstvě, kde podstata vynálezu spočívá v tom, že se okamžitě dosahované maximální teploty v pásmu spékání udržují na předem stanovené časově ustálené hodnotě tak, že podle naměřeného překročení nebo poklesu stanovené okamžité spotřeby kyslíku ve spékané vrstvě se snižuje nebo zvyšuje obsah kyslíku ve vstupním plynu, až do dosažení předem stanovené okamžité spotřeby kyslíku.

Výhody dosažené navrhovaným způsobem řízení podle vynálezu plynou z toho, že ve spékaném materiálu se vytvoří pásmo hoření s časově ustáleným teplotním režimem, produkující homogenní aglomerát požadovaných vlastností. Požadované vlastnosti jsou dosahovány řízeným omezením spotřeby kyslíku, která zaručuje potřebnou konstantní teplotní úroveň pásma spékání.

Protože vlastnosti vzniklého aglomerátu jsou nejvýrazněji ovlivněny teplotou pásma hoření, postupujícího spékaným materiálem, je zřejmé, že uspokojivé vyřešení problému dosažení zvolené optimální teploty pásma hoření a její udržení v průběhu celého postupu pásma hoření spékanou rudou významně přispěje k dosažení požadované kvality aglomerátu a jeho homogenity. Tyto výhody se projeví ve sníženém množství vratného aglomerátu, a tedy ve snížených nákladech na jednotku produkce. Výhodou navrhovaného způsobu řízení je, že poskytuje informaci o okamžitém stavu pásma hoření a v případě spékání na pohyblivých roštech i informaci o stavu pásma v daném místě podél roštu. V důsledku toho lze provádět řízené spékání se stabilním průběhem i při značně sníženém obsahu paliva ve spékaném materiálu, což umožňuje úspory paliva na jednotku produkce. Snížený obsah paliva kromě toho znamená, že i při omezené spotřebě kyslíku v pásmu hoření lze spékání provádět s dostatečnou rychlostí.

Při řízení omezené spotřeby kyslíku v pásmu hoření je dosaženo podmínek, kdy rychlost konvektivního přenosu tepla ve směru postupující fronty spékání je právě rovna rychlosti uvolňování tepla hořením paliva. Spékání v reakčním pásmu potom probíhá za teplotně ustálených podmínek.

Matematicky lze podstatu vynálezu ve zjednodušené formě ukázat následovně na příkladu zobrazeném schematicky na obrázku 1. V tomto obrázku číslice označují následující:
21 - vstupující plyn, 22 - spečený materiál, 23-pásmo hoření, 24 - dosud nespečenou vsázku, 25 - vystupující plyn, 26 - počátek a směr souřadnicové osy z.

Při vysoké intenzitě přestupu tepla mezi plynem a pevnou fází jsou teploty obou fází v daném místě blízké. Předpokládáme-li ve zjednodušení rovnost obou teplot, lze tepelnou bilanci v tenkém řezu o tloušťce dx vyznačeném na obrázku 1 zapsat následující rovnicí

$$-Gc_g \frac{\partial T}{\partial z} + (-\Delta H_C)R_C^+ + (-\Delta H_1)R_1^+ = (\epsilon \rho_g c_g + (1 - \epsilon) \rho_s c_s) \frac{\partial T}{\partial \theta} \quad (1)$$

kde symboly mají následující význam

- G - hmotová rychlost plynu $[\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}]$
- c_g - specifické teplo plynu $[\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]$
- c_s - specifické teplo tuhé fáze $[\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]$
- ρ_g - hustota plynu $[\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}]$
- ρ_s - hustota tuhé fáze $[\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}]$
- ϵ - porozita vsázky
- $(-\Delta H_C)$ - enthalpie hoření koksu $[\text{J} \cdot \text{kgatom}^{-1} \text{uhlíku}]$
- $(-\Delta H_1)$ - enthalpie rozkladu vápence $[\text{J} \cdot \text{kgmol}^{-1} \text{vápence}]$
- T - teplota $[\text{K}]$
- R_C^+ - lokální rychlost hoření koksu $[\text{kgatom uhlíku} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{s}^{-1}]$
- R_1^+ - lokální rychlost rozkladu vápence $[\text{kgmol vápence} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{s}^{-1}]$
- z - souřadnice ve směru postupu fronty spékání $[\text{m}]$
- θ - čas $[\text{s}]$

Rychlost spékání, to jest rychlost postupu fronty spékání, za předpokladu úplného vyhořívání paliva, lze vyjádřit vztahem

$$w = \frac{Gc_o M_C (\Delta c)}{(1 - \epsilon) \rho_s X_C} \quad (2)$$

kde značí

- c_o - referenční koncentrace kyslíku v plyné směsi $[\text{kgmol kyslíku} \cdot \text{kg}^{-1} \text{plynné směsi}]$
- M_C - molekulová hmotnost uhlíku $[\text{kg} \cdot \text{kgmol}^{-1}]$
- (Δc) - pokles koncentrace kyslíku v plynu po průchodu reakčním pásmem vyjádřený jako zlomek koncentrace c_o
- X_C - hmotový zlomek koksu ve spékaném materiálu
- w - rychlost spékání $[\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$

Rychlost konvektivního transportu tepla, to jest rychlost postupu teplotní vlny ve směru postupu fronty spékání, lze vyjádřit vztahem

$$v = \frac{Gc_g}{(1 - \epsilon) \rho_s c_s} \quad (3)$$

kde značí

- v - rychlost konvektivního transportu tepla $[\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$.

Zaveďme veličinu "adiabatický teplotní vzestup" vztahem

$$Q = \frac{c_o (\Delta c) (-\Delta H_C)}{c_g} \left(1 + \frac{(-\Delta H_1) X_1 M_C}{(-\Delta H_C) X_C M_1} \right) \quad (4)$$

kde značí

- X_1 - hmotový zlomek vápence ve spékaném materiálu
- M_1 - molekulová hmotnost vápence $[\text{kg} \cdot \text{kgmol}^{-1} \text{vápence}]$

Q - adiabatický teplotní vzestup $|K|$

a provedme následující transformaci souřadnic

$$y = z - w\theta \quad (5)$$

$$\theta = t \quad (6)$$

Po transformaci, při které považujeme rychlost w za konstantní, obdržíme:

$$\left(-\frac{w}{v} - 1 + \frac{w\epsilon\theta}{G}\right) \frac{\partial T}{\partial y} + Q/\delta = \frac{1}{v} \frac{\partial \bar{T}}{\partial t} \quad (7)$$

kde značí

$\bar{T}$ - střední teplota reakčního pásma.

Integrací rovnice (7) v mezích y_1 až y_2 vymezujících reakční pásmo, to jest

$$y_2 - y_1 = \delta, \quad (8)$$

kde δ = šířka reakčního pásma $|m|$,

po zjednodušení, ve kterém bereme v úvahu, že postupná rychlost plynu vsázkou je značně vyšší než w nebo v , obdržíme:

$$\left(-\frac{w}{v} - 1\right) (T_2 - T_1) + Q = \frac{\delta}{v} \frac{\partial \bar{T}}{\partial t} \quad (9)$$

kde značí

$(T_2 - T_1)$ - teplotní vzestup v reakčním pásmu.

Požadavek, aby teplota reakčního pásma se neměnila lze zapsat takto

$$\frac{\partial \bar{T}}{\partial t} = 0 \quad (10)$$

$$(T_2 - T_1) = \text{konstanta} \quad (11)$$

Při regulaci na konstantní relativní spotřebu kyslíku (Δc) , bude dále platit, že

$$Q = \text{konstanta} \quad (12)$$

a tedy platí

$$\left(1 - \frac{w}{v}\right) (T_2 - T_1) = Q \quad (13)$$

Po dosazení do poslední rovnice lze vyjádřit relativní spotřebu kyslíku takto:

$$(\Delta c) = \frac{X_c}{\frac{c_o M_c c_s}{c_g} + \frac{X_c c_o (-\Delta H_c)}{(T_2 - T_1) c_g} \left(1 + \frac{(-\Delta H_1) X_1 M_c}{(-\Delta H_c) X_c M_1}\right)} \quad (14)$$

nebo naopak vyjádřit teplotní vzestup $(T_2 - T_1)$ pro dané podmínky:

$$(T_2 - T_1) = \frac{(\Delta c) X_c c_o (-\Delta H_c) \left(1 + \frac{(-\Delta H_1) X_1 M_c}{(-\Delta H_c) X_c M_1}\right)}{X_c c_g - c_o M_c c_s (\Delta c)} \quad (15)$$

V praxi ovšem není přestup tepla mezi plynem a tuhou fází nekonečně rychlý a proto se místní teplota plynu a tuhé fáze liší. Teplotní vzestup $(T_2 - T_1)$ pro praktické přibližné výpočty lze zhruba identifikovat s rozdílem $(T_{gs} - T_{so})$, kde je označena

T_{gs} - okamžitá teplota v místě, kde se teplota plynu rovná teplotě vsázky $|K|$

T_{so} - teplota vsázky v místě vstupu plynu ($z = 0$) $|K|$

Numerické hodnoty teplotního vzestupu ($T_2 - T_1$), vypočtené z rovnice (15) pro

$c_o = 0,666 \cdot 10^{-2}$ kgmol kyslíku.kg⁻¹ plynné směsi (vzduch)

$(-\Delta H_C) = 3,93 \cdot 10^8$ |J.kgatom⁻¹ uhlíku|

$(-\Delta H_1) = -1,67 \cdot 10^8$ |J.kgmol⁻¹ vápence|

$X_1 = 0,2$

$c_g = 1121$ |J.kg⁻¹.K⁻¹| (vzduch pro 1000 K)

$c_s = 1054$ |J.kg⁻¹.K⁻¹| (ruda pro 1000 K)

a pro několik hodnot relativní spotřeby kyslíku a hmotového zlomku koksu ve vsázce, udává tato tabulka ve stupních Kelvina:

X_c	(Δc)	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40
0.03		618	1030	1858	4358	∞
0.04		557	820	1195	1776	2796
0.05		532	744	1015	1372	1863

Položením jmenovatele na pravé straně rovnice (15) rovného nule získáme výraz pro limitní relativní spotřebu kyslíku $(\Delta c)_{\max}$, nad kterou již nelze teplotu reakčního pásma regulovat:

$$(\Delta c)_{\max} = \frac{X_c c_g}{c_o M_c c_s} \quad (16)$$

Teplotu pásma spékání lze tedy regulovat snížením relativní spotřeby kyslíku v pásmu spékání pod hranici určenou rovnicí (16) na úroveň, kterou lze pro požadovaný teplotní rozdíl přibližně určit z rovnice (14). Samovolné zvyšování rychlosti hoření a postupný nárůst relativní spotřeby kyslíku v reakčním pásmu lze podle vynálezu eliminovat snižováním obsahu kyslíku ve vstupním plynu, například regulováním recirkulovaného množství spalín.

V dalším je uveden konkrétní příklad popsaného postupu.

Příklad

Na číslicovém počítači bylo simulováno řízení teploty pásma spékání ve vsázce, v uspořádání jako na obrázku 1 pro tyto podmínky

$X_c = 0,03$

$X_1 = 0,20$

$G = 1$ kg.m⁻².s⁻¹

poloměr zrna koksu = $7,5 \cdot 10^{-4}$ m

Zapálení vsázky bylo provedeno podle vynálezu proporcionální regulací teploty vstupního plynu $T(1)$ podle následujícího schématu, ve kterém teploty jsou udány ve stupních Kelvina:

$$T(1) = 2800 (0,25 - (\Delta c)) + 900 \quad \text{pro } 0 \leq (\Delta c) \leq 0,25$$

$$T(1) = 300 \text{ K} \quad \text{pro } (\Delta c) > 0,25$$

Omezování spotřeby kyslíku v pásmu hoření na hodnotu 0,25, vztaženou ke koncentraci kyslíku ve vzduchu, bylo prováděno regulací objemového zlomku recirkulovaných spalín přimíchávaných do vstupního vzduchu. Objemový zlomek recirkulovaných spalín ve vstupním plynu, X , definova-

ný jako: (objem spalín)/(objem spalín + objem vzduchu), byl regulován podle schematu:

$$X = \frac{1}{t_r} \int_{t_1}^t ((\Delta c) - 0,25) dt \quad \text{pro } t_r = 1 \text{ sekunda}$$

kde značí

t_1 - čas, kdy teplota vstupního plynu poklesla na 300 K (doba zapalování)

t - běžný čas

t^* - integrační proměnná času

Výsledky průběhu spékání simulované na počítači jsou znázorněny na obrázku 2, kde křivka T1 znázorňuje časový průběh řízené teploty vstupního plynu $T(1)$, křivka T2 časový průběh okamžité maximální teploty tuhé fáze, křivka T3 časový průběh řízeného zlomku recirkulovaných spalín, X .

Doba zapalování t_1 ve shora uvedeném schematu činila v tomto případě 108 vteřin. Regulace teploty maxima tuhé fáze proběhla velmi úspěšně s maximem udržovaným na hodnotě asi 1602 K.

Uvedený příklad simuloval podmínky modelového spékání na pánvičce. Přechod na simulaci podmínek spékání na pohyblivém roštu představuje z matematického hlediska transformaci souřadného systému, kde souřadnice času v případě pánvičky je nahrazena souřadnicí polohy na roštu. Recirkulace spalín podle vynálezu v podmínkách pásové aglomerace představuje míchání výstupních plynů, spalín, s čerstvým vzduchem v poměru řízeném podle úbytku koncentrace kyslíku v poloze na roštu blíže k násypce, to jest proti směru pohybu roštu. Příklad uspořádání zařízení pro spékání na roštu při řízení teploty pásma hoření podle vynálezu recirkulací spalín je schematicky znázorněn na obrázku 3. V tomto obrázku označují číslice následující:

1 - pohyblivý rošt se spékáním materiálem

2 - motor pohánějící rošt

3 - exhaustor

4 - násypník materiálu ke spékání

5 - vakuová komora

6,7,8 - zapalovací hořáky

9,10,11,12 - čidla pro kontinuální detekci koncentrace kyslíku ve vakuolním plynu

13 - nastavitelná směšovací klapka

14 - vstupní vzduch

15 - recirkulovaný plyn, například plynné produkty spékání, spaliny

Omezená spotřeba kyslíku podle požadované teploty v pásmu hoření, například v úseku roštu nad vakuovou komorou 5, je řízena nastavením směšovací klapky 13 podle údaje o úbytku koncentrace kyslíku mezi čidly 11 a 12. Poloha nastavení této klapky určuje poměr míšení čerstvého vstupního vzduchu 14 s recirkulovaným plynem 15. Analogicky pro ostatní klapky je používán koncentrační rozdíl v místech blíže k násypce materiálu ke spékání. V zapalovací části pohyblivého roštu 1 slouží například koncentrační rozdíl v obsahu kyslíku mezi čidly 9 a 10 k nastavení teploty zapalovacího hořáku 8. Analogicky pro ostatní hořáky 6, 7.

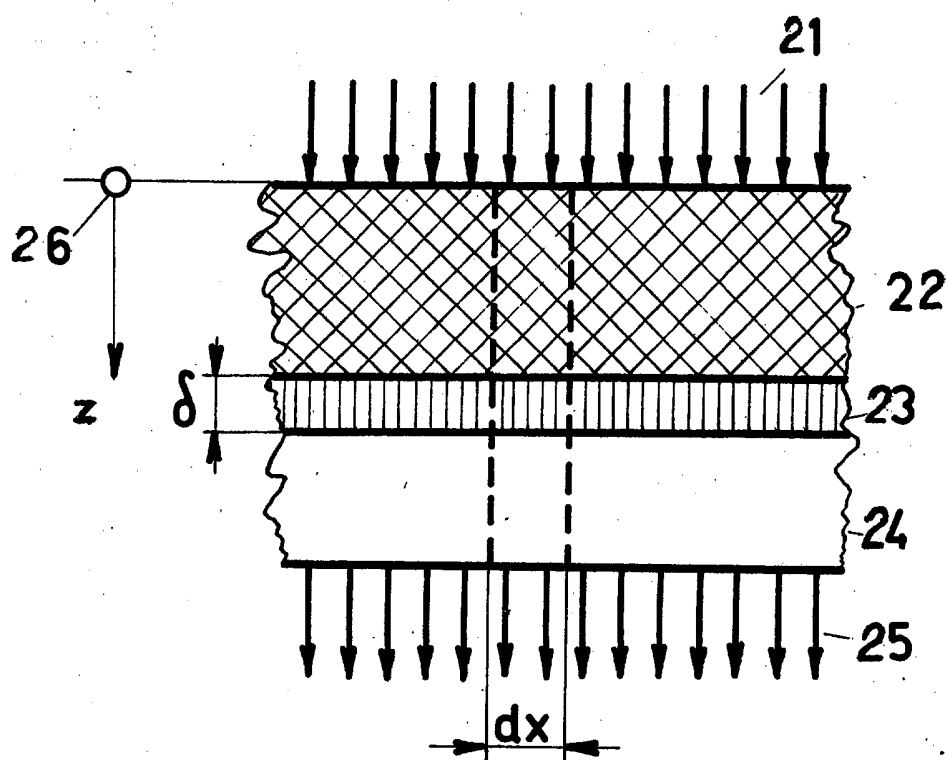
Možnosti využití způsobu řízení průběhu spékání rud podle vynálezu jsou především v provozech upravujících železnou rudu pro vysoké pece - aglomeračních provozech. Využití však ne-

ní omezeno jen na spékání železných rud. Vynález lze rovněž obecněji využít k řízení teploty procesu spalování za podmínek přebytku kyslíku vůči palivu jako je incinerace odpadu a podobně.

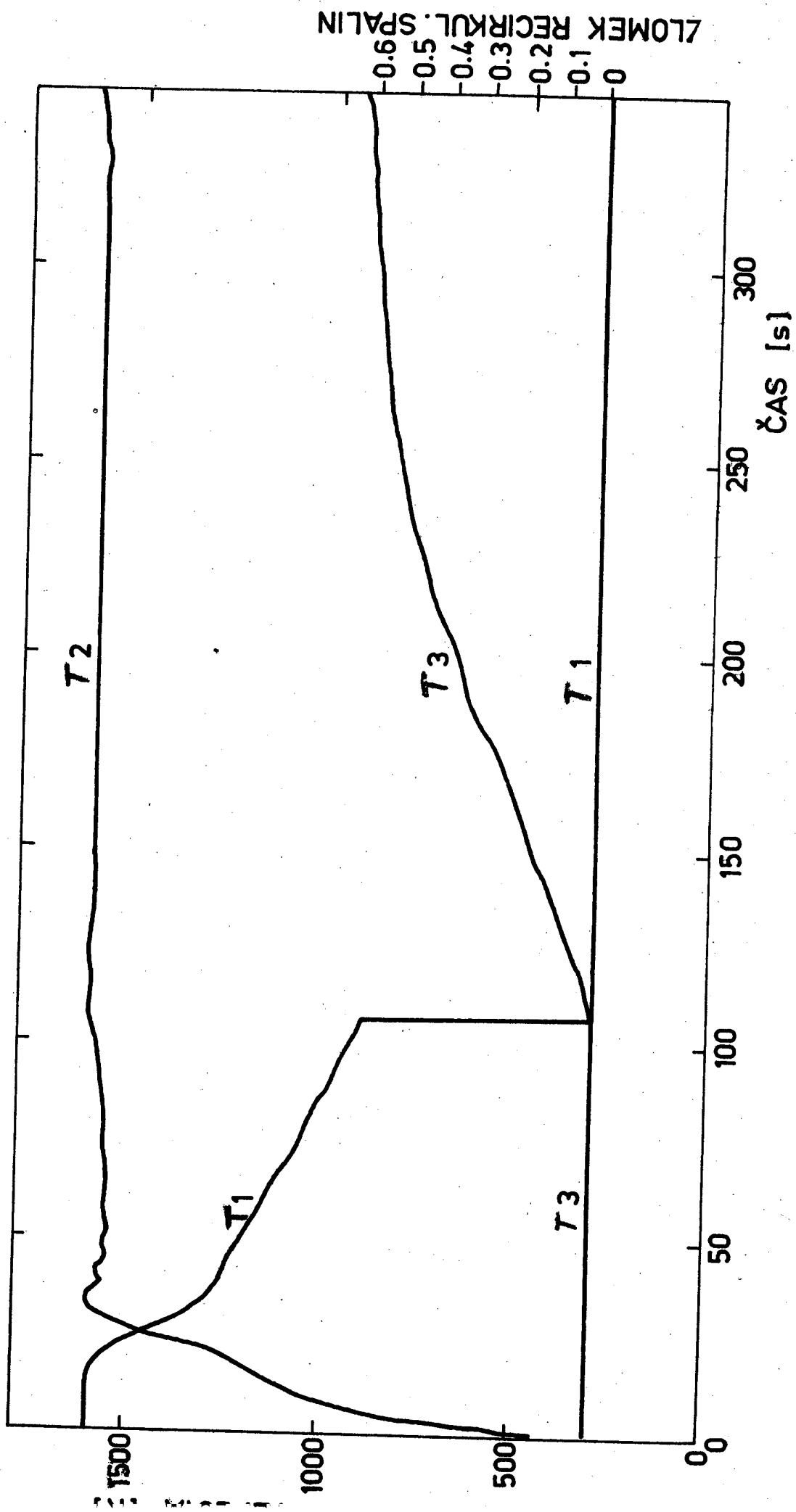
PŘEDMĚT VYNÁLEZU

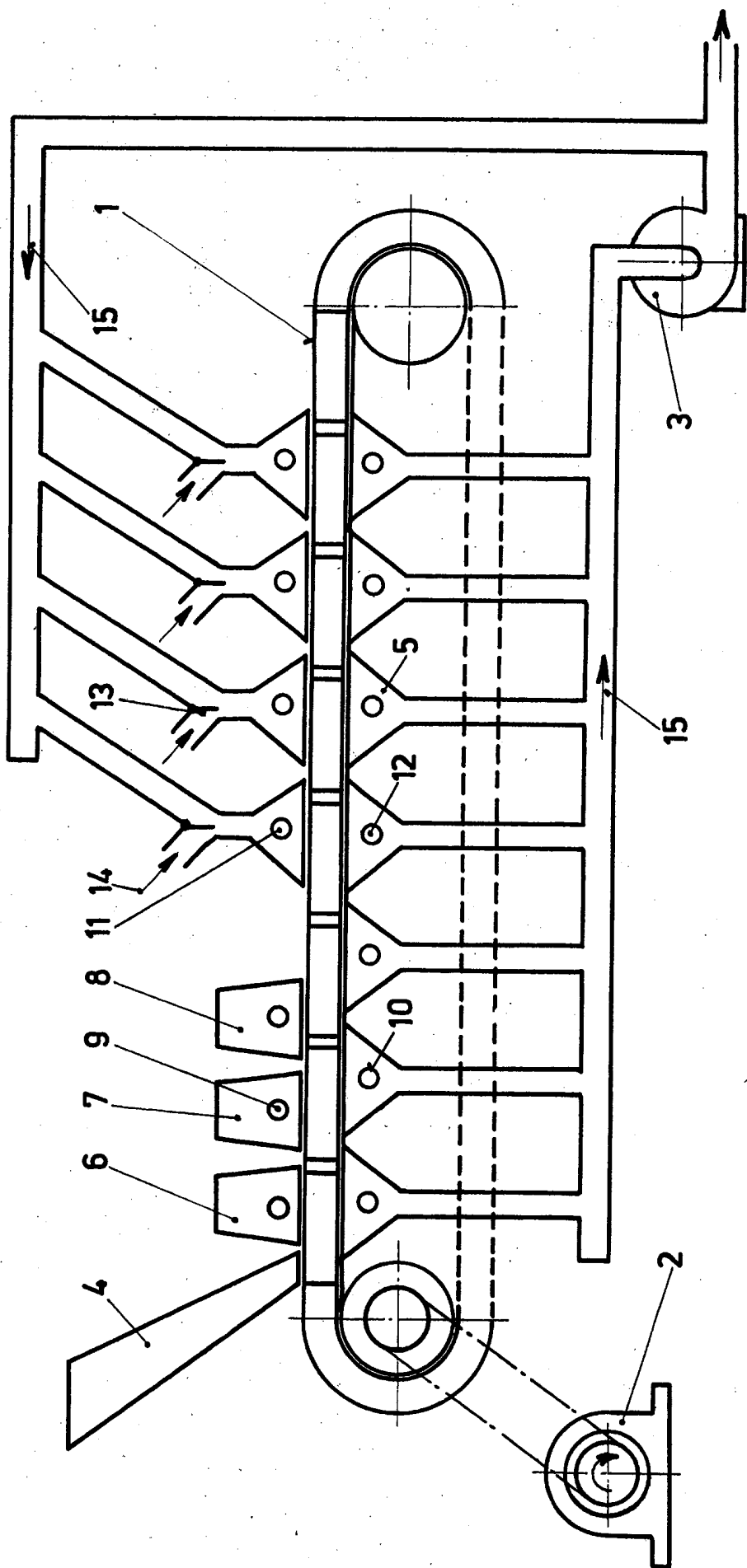
Způsob řízení průběhu spékání rud ve vrstvě, při němž se plynule měří okamžitá spotřeba kyslíku ve spékané vrstvě, vyznačený tím, že se okamžité dosahované maximální teploty v pás-
mu spékání udržují na předem stanovené časově ustálené hodnotě a podle naměřeného překročení
nebo poklesu stanovené okamžité spotřeby kyslíku ve spékané vrstvě se snižuje nebo zvyšuje
obsah kyslíku ve vstupním plynu, až do dosažení předem stanovené okamžité spotřeby kyslíku.

3 výkresy



Obr. 1





Обр. 3