

# Taljenje vložka s plinom v jaškasti kupolni peči

## Melting of Burden by Gas in a Shaft Furnace (Cupola Furnace)

J. Lamut, F. Pavlin, *Oddelek za montanistiko, FNT, Univerza v Ljubljani, Aškerčeva 20 in*

A. Poklukar, *Termo Škofja Loka*

*V jaškasti peči kurjeni s plinom, smo na vodnohlajeni rešetki talili diabaz in dolomit za izdelavo kamene volne. To peč smo uporabili tudi za taljenje grodlja in starega železa.*

*In a shaft furnace fired by gas, diabase and dolomite used for manufacturing mineral wool were melted on a water-cooled grate. This furnace was used also for melting pig and scrap iron.*

### 1 Uvod

V proizvodnji in pridobivanju kovin ali drugih nekovinskih materialov praktično vedno uporabljamo taljenje ali vsaj nataljevanje kot pri nekaterih procesih aglomeriranja. Pri taljenju govorimo o pojavih:

- prenos toplote neposredno od izvora na predmet, ki ga talimo ali nataljujemo;
- ogrevanje, oziroma prenos toplote na talino in nato taljenje ali raztapljanje npr. železa v tej talini, ali pa oksidnih materialov v lastni talini;
- induktivno taljenje.

Da lahko nek predmet stalimo, mora biti temperatura okolice nad temperaturo tališča. Ko predmet pride v področje višje temperature, se prične ogrevati in doseže temperaturo taljenja. Takrat se prične proces taljenja. Talina odteka ali pa se nabira okrog predmeta, ki ga talimo.

Taljenje je sestavljeno iz procesa ogrevanja s časom  $t_v$  in s časom taljenja  $t_s$ . Skupni čas taljenja  $t_{sk}$  je enak

$$t_{sk} = t_v + t_s.$$

Za primer taljenja v jaškastih, oz. kupolnih pečeh, če privzamemo, da so delci v kupolki krogle, lahko zapišemo spremembo temperature s časom s splošno Fourierjevo diferencialno enačbo za temperaturno polje v krogli:

$$\frac{\partial \vartheta}{\partial t} = a \left( \frac{\partial^2 \vartheta}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial \vartheta}{\partial r} \right).$$

$\vartheta$	temperatura
$t$	čas
$a$	temperaturna prevodnost
$r$	polmer krogle.

Sprememba temperature je odvisna od polmera krogle, ki se s časom zmanjšuje zaradi taljenja snovi na površju krogle in snovnih lastnosti, ki so zajete v temperaturni prevodnosti snovi  $a = \frac{\lambda}{c\rho}$ . Izvor toplote za predgrevanje in taljenje je lahko ob električnem obloku še iz trdnih, tekočih in plinastih goriv.

### 2 Priprava oksidne taline za izdelavo kamene volne

Izdelava kamene volne v Termo Škofja Loka poteka tako, da oksidna talina teče na hitro vrteča kolesa, kjer se s pomočjo močnega podpiha razvlakni. Na kakovost vlaken (tanka, dolga, nedrobljiva) učinkujejo predvsem fizikalne in kemične lastnosti oksidne taline, kot so kemična sestava, temperatura in viskoznost. Oksidno talino proizvajajo v kupolni peči, ki deluje kot protitočni reaktor. Na vrhu vsipamo diabaz, dolomit in koks. Protitočno se gibljejo plini, ki predgrevajo vsip. Plin nastane v zgorevni coni z zgorevanjem koksa z vpihanim zrakom, ki je lahko hladeh ali predgret. Zrak je tudi lahko obogaten s kisikom.

V kupolni peči v protitočnem sistemu potekajo različne reakcije, da nastane oksidna talina, primerna za razvlaknjenje.

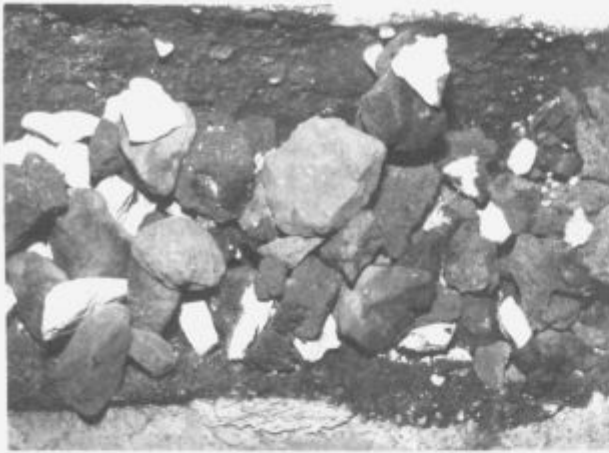
Vsip, ki se pomika navzdol, predgrevamo z vročimi dimnimi plini, ki se dvigajo iz zgorevnega prostora. Najprej pride do razkroja dolomita, in to pri temperaturi okrog 700°C.



Z razkrojem dolomita se povečuje delež  $\text{CO}_2$  v dimnih plinih. Nataljevanje in zmečanje diabaza se prične v spodnjih plasteh v bližini zgorevanja koksa. Njegovo taljenje poteka v temperaturnem intervalu 1200 do 1300°C. Tekoči ali nataljeni diabaz prične oblivati kose v celoti ali delno razkrojenega dolomita. V prvi fazi nastajajo tekoče žindre, če uporabimo izraz iz metalurgije, kjer taki protitočni sistemi delujejo. Poteka torej reakcija tekoče/trdno v smislu nastajanja tekoče faze. Ko poteče reakcija med tekočim diabazom in razkrojenim dolomitom, imamo v protitočnem reaktorju trden koks in tekočo fazo, ki se oba pomikata navzdol, nasproti pa tečejo plini.

Koks med zgorevanjem daje toploto za potek reakcij in deloma tudi reducira predvsem prisotne železove okside, silicij iz  $\text{SiO}_2$  in fosfor iz fosfatov. Njegova zmatost mora biti takšna, da skozi praznine teče talina proti dnu, v nasprotni smeri pa se dvigajo plini. Koks ima torej vlogo nekakšne rešetke, ki daje vsipu propustnost. Na sliki 1 je prikaz porazdelitve koksa in mineralnega vsipa v jašku. Ko je mineralni vsip staljen, ostane še kosoven koks.

Toploto, potrebno za taljenje diabaza in za razkroj dolomita ter potek ostalih reakcij, dobimo z zgorevanjem



Slika 1. Koks, dolomit in diabaz v jašku.

Figure 1. Coke, dolomite, and diabase in the shaft.

koksa ali plina. Pri tem se razvije toplota pri popolnem zgorevanju



pri nepopolnem zgorevanju pa se razvije



Pri razkroju  $CO_2$  ob žarečem koksu pa se porablja toplota



Pri zgorevanju  $CO$  se razvije toplota



Pri nepopolnem zgorevanju  $CH_4$  pa



Pri popolnem zgorevanju pa



### 3 Zmanjšanje porabe koksa v jaškasti peči

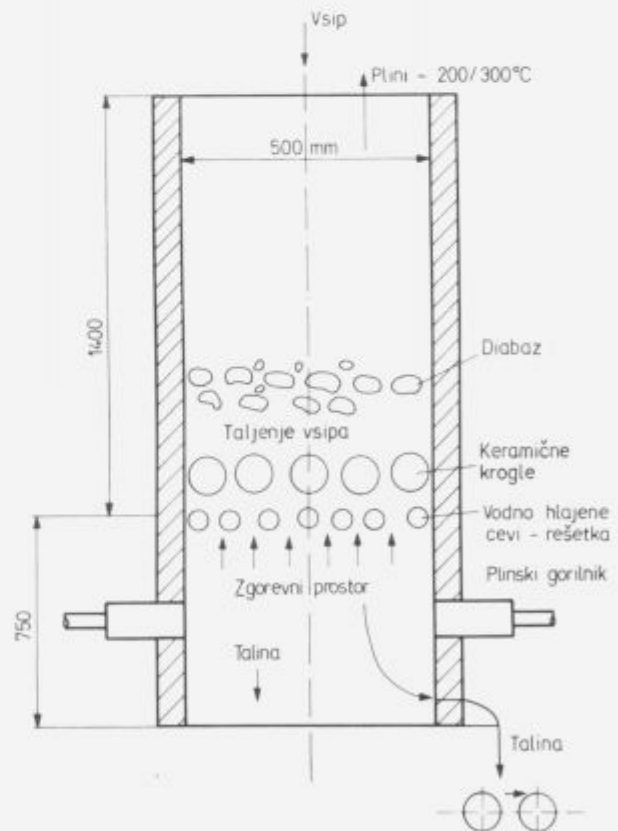
Poraba koksa v kupolni peči je odvisna od njegove kakovosti in vodenja tehnološkega procesa in znaša v povprečju od 180 do 220 kg na tono vsipa. Da bi ugotovili za koliko lahko zmanjšamo porabo koksa v kupolni peči in ga kot gorivo nadomestili z zemeljskim plinom, smo zgradili jaškasto peč z notranjim premerom 300 mm in višino 1800 mm. Ta reaktor nam je služil za preiskave taljenja vsipa, sestavljenega iz diabaza in dolomita.

V tem reaktorju smo preizkušali za koliko lahko zmanjšamo količino koksa v vsipu in ga kot gorivo nadomestimo z zemeljskim plinom, ne da bi prišlo do aglomeriranja mineralnega vsipa in zmanjšanja propustnosti za pline, preden pride do popolnega taljenja. Poskusi so pokazali, da lahko prihranimo oziroma zamenjamo s plinastim gorivom do 50% potrebnega koksa. Poskusi so bili vodeni tako, da

je bilo razmerje posameznih komponent vsipa enako kot je na kupolnih pečeh v Termo. V sklepih te raziskovalne naloge je bil podan predlog, da bi z uvajanjem plina v kupolne peči za pripravo oksidne taline lahko prihranili del koksa, namesto njega pa uporabljali zemeljski plin, ki bi ga v zgorevni prostor uvajali skozi pihalice za zrak. Druga smer razvoja pa je gradnja talilne naprave, ki bo kurjena samo z zemeljskim plinom. Toda za prehod vsipa iz trdnega v tekoče stanje potrebujemo vodno hlajeno jekleno rešetko. Plin in zrak dovajamo pod vodno hlajeno rešetko kjer prične zgorevati. Vroči dimni plini se dvigajo skozi rešetko v vsip, ki ga segrevajo do tališča. Za povečanje propustnosti in zaščito rešetke so na njej krogle iz ognje-vzdržnega materiala obstojnega proti talinam za izdelavo kamene volne.

### 4 Jaškasta peč kurjena s plinom

Na osnovi raziskav in izkušenj, pridobljenih s taljenjem vsipa za pripravo oksidne taline, smo v Termo zgradili jaškasti reaktor s štirimi plinskimi gorilniki in vodno hlajeno rešetko. Shematski načrt te pilotne naprave za taljenje vsipa s plinom, je na sliki 2. Jašek je sestavljen iz dveh delov. V coni zgorevanja in do 20 cm nad vodno hlajeno rešetko je jašek naphan z ognjevzdržnim gradivom na osnovi  $SiC$ , nad to cono pa je uporabljen šamotni cement.



Slika 2. Shematski prikaz jaškaste peči z vodnohlajenimi rešetkami.

Figure 2. Schematic presentation of shaft furnace with water-cooled grate.

Raziskave so obsegale potek taljenja diabaza in razkroj dolomita ter tvorbo in prehod taline skozi vodno hlajeno

rešetko, vzdržnost krogel iz SiC ali korunda v silikatni talini, sestavo plinov, temperature vsipa, plinov in hladilne vode.

Storilnost peči premera 0.5 m in višine 2 m je bila 300 do 400 kg taline na uro pri porabi okrog 70 m<sup>3</sup> plina na uro. Posamezni vsip je sestavljen iz 30 kg diabaza in 10 kg dolomita. V dimnih plinih je v glavnem CO<sub>2</sub> od 18 do 20% in O<sub>2</sub> od 1 do 2%. V plinih smo redko določili ogljikov monoksid.

Na vodno hlajeno rešetko smo namesto keramičnih krogel dodajali kose koksa zaradi povečane propustnosti za talino in pline. Koks je potrebno občasno dodajati, ker med procesom taljenja zgoreva. S takim poskusom smo preizkusili kombinacijo kurjenja s plinom in koksom na vodno hlajeni rešetki.

V tabeli 1 je prikazana sestava surovin za pripravo taline za izdelavo kamene volne in sestava kamene volne.

**Tabela 1.** Analiza vsipnih komponent za pripravo taline za kameno volno.

	diabaz	dolomit	kamena volna
CaO	8–16	30.3	16.8
MgO	8–12	25.4	14.2
SiO <sub>2</sub>	35–44		41.6
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14–17		15.3
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8–14		6.2
TiO <sub>2</sub>	1.2– 1.4		1.1
MnO	0.1		0.1
ž. izg.	3.2–7	43.9	-

V reaktorju, v katerem talimo diabaz z zemeljskim plinom, prihaja do zmanjšanja propustnosti že v vsipu. Reakcija nastajanja taline ne prične v ozki coni nad vodno hlajeno rešetko, temveč tudi v plasti vsipa nad njo. Diabaz pri ogrevanju izgublja termostabilnost, saj zaradi razpok nastajajo tudi manjši kosi, ki zmanjšujejo prosti presek. Diabaz se prične nataljevati pri temperaturi okrog 1250°C in obliva delno razkrojeni dolomit. Zaradi propustnosti vsipa je potrebno uporabljati zmatost dolomita okrog 30 mm. Za razkroj te velikosti zm je potreben določen čas. Površina kosa delno razkrojenega dolomita, ki je oblit s testastim diabazom, prične reagirati in tvori tekočo fazo s sestavo, kot navajamo v tabeli 1. Pri klasičnih vsipih, kjer uporabljamo kot gorivo koks, ta povzroča, da imamo tudi v fazi nataljevanja in taljenja še vedno vsip, propusten za pline. Pri uporabi plinastega goriva za segrevanje in taljenje mineralnega vsipa v jaškastih reaktorjih pa v procesu taljenja prihaja do zmanjšanja prostega preseka in s tem zmanjšanje propustnosti za pline.

S kontrolo procesnih in tehnoloških kazalcev in študijem procesov na fazni meji trdno-tekoče bo možno pripravljati oksidno talino tudi na vodno hlajenih rešetkah, kakor kažejo dosednji poskusi. Z zmanjšanjem porabe koksa oziroma pri popolnem prehodu na taljenje z zemeljskim plinom rešimo emisije in imisije v okolje pri proizvodnji izolacijskega materiala, ki nam služi za zmanjšanje porabe energije.

## 5 Taljenje kovinskega vložka

Reaktor z vodno hlajeno rešetko smo uporabili tudi za taljenje kovinskega vložka. Rešetke smo zaščitili s

keramičnimi krogami predvsem zato, da zmanjšamo njihov hladilni učinek na kovinski vložek, ki se tali. Taljenje kovinskega vložka je v teh reaktorjih zaradi propustnosti manj komplicirano kot pa taljenje mineralnega vsipa. Na proces taljenja in tvorbo žindre učinkuje proces zgorevanja. V primerih, da je naraščal prebitok zraka nad 10%, smo v žindri dobili nad 50% železovih oksidov zaradi močne oksidacije taline in velik odgor ogljika. Pretaljevali smo grodelj, ki ostaja kot stranski produkt v kupolkah za pripravo oksidne taline v Termo in staro železo različne sestave (pločevina, profilno železo, cevi).

V tabeli 2 je sestava kovinske taline po raztalitvi kovinskega vložka.

**Tabela 2.** Kemična sestava kovinske taline v % mase.

C	3.4–3.70
Si	0.4–1.2
Mn	0.02–0.05
P	0.02–0.5
S	0.04–0.05

Sestava taline je močno odvisna od sestave vložka, procesa taljenja, posebej pa še od prebitka zraka. Za popolno zgorevanje plina naj bo prebitok 2 do 5%. Pri sedanjih poskusih je bila povprečna poraba plina 40 do 50 m<sup>3</sup> na tono pretaljenega vložka. V primeru, da uporabimo za zaščito vodno hlajene rešetke kose koksa namesto keramičnih krogel, zmanjšamo oksidacijo elementov.

## 6 Diskusija rezultatov in sklepi

V kupolni peči za taljenje kovinskega ali nekovinskega vložka oziroma vsipa uporabljajo kot gorivo koks. Koks zaradi svojih fizikalno kemičnih lastnosti povzroča, da je zlasti pri taljenju nekovinskega vsipa ta propusten za pline tudi v coni nataljevanja in taljenja. Delež koksa kot goriva lahko pri taljenju diabaza za pripravo taline za kameno volno zamenjamo do 50% z zemeljskim plinom kot gorivom. Koks mora ostati v vsipu, da v fazi nataljevanja prepreči aglomeriranje in zmanjšanje propustnosti za pline. Toda zaradi želje po povečani porabi plinastega goriva za taljenje je to možno izvesti na rešetki, ki loči, oziroma odvaja pri taljenju nastajajočo talino kosovnega vsipa. Tako preprečujemo zmanjšanje prostega preseka zlasti v fazi mehčanja in taljenja.

Z opisanimi poskusi smo dali svoj prispevek k razvoju procesa taljenja vsipa v jaškasti peči s plinastim gorivom. Za popolno uveljavitev tega procesa v tehnološko prakso je potreben še razvoj zlasti pri študiju prehoda večkomponentnega vsipa na fazni meji trdno-tekoče ob prisotnosti plinske faze.

Vodstvu Termo se zahvaljujemo za materialno in strokovno pomoč pri izvajanju poskusov.

## 7 Literatura

- J. Lamut, B. Mihevc, F. Pavlin, A. Poklukar: Možnost zamenjave deleža koksa z zemeljskim plinom pri proizvodnji kamene volne v kupolni peči. Poročilo FNT—Odsek za metalurgijo 1988, s. 61.
- R. Graf: Koksloses Schmelzen im Schachtofen unter Verwendung von Erdgas. Gas-Wärme International 37 (1988) 5, s. 258–263.
- J. Lamut, F. Pavlin, M. Tonkovič: Primerjava in ocena različnih vrst koksov. Livarski vestnik 33 (1988) 1, s. 8–17.