

## Nekaj misli ob sedanjem načinu ocenjevanja reaktivnosti trdnih reducentov

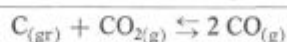
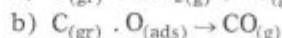
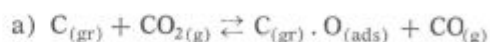
*Reaktivnost je ena od pomembnejših lastnosti trdnih reducentov. Od nje je v veliki meri odvisen potek redukcije železovih rud. Osnovna kemična reakcija za njeno določanje je redukcija CO<sub>2</sub> ob segretem gorivu (CO<sub>2</sub> + C = 2 CO). Reaktivnost merimo tako, da prevedemo v določenih pogojih skozi nasuto plast reducenta CO<sub>2</sub> in merimo količino nastalega CO. Hitrost redukcije CO<sub>2</sub> je odvisna od vrste faktorjev. Nekateri od njih vplivajo v toliki meri, da onemogočijo pravilno merjenje. Delo obravnava vpliv temperature razplinjanja premoga, vpliv sestave trdnega goriva in temperature na hitrost vplivanja trdnih reducentov s CO<sub>2</sub>.*

Koks ima v plavžu predvsem dve nalogi. Pri zgorevanju pred pihalicami mora dati dovolj toplote, da lahko nemoteno poteka celotni proces proizvodnje grodlja ter aktivno sodelovati pri redukciji železovih oksidov. Iz toplotno tehničnega stališča želimo na eni strani, da bi koks zgorel čim bolj popolno, t. j. po reakciji  $C + O_2 = CO_2$ , na drugi strani pa naj bi bil v plinih, ki strujajo od pihalic proti žrelu čim večji delež CO. Ta je potreben za indirektno redukcijo železovih oksidov. Stopnja, do katere je koks v tem smislu izkoriščen, je odvisna od več njegovih lastnosti, ki skupaj dajejo eno od karakterističnih značilnosti trdnih reducentov, njihovo reaktivnost. Reaktivnost je kemična lastnost koksa, ki kaže, kako hitro in do kolike mere reagira s kisikom oziroma ogljikovim dioksidom ali vodno paro. Odločilni za redukcijo v plavžu sta predvsem reakciji:  $Fe_x O_y + CO = Fe_x O_{y-1} + CO_2$  in  $CO_2 + C = 2 CO$ . Ta druga dobiva z naraščanjem temperature vse večji pomen, dokler v končni fazi ne prevlada v toliki meri, da sproti regenerira ves pri indirektni redukciji nastali CO<sub>2</sub>. Reakcija je močno endotermna in je toplotno tehnično neugodna. Brez nje pa si ne moremo zamisliti delovanje plavža. Zato je za najugodnejši potek redukcije, oziroma za optimalno delovanje plavža odločilen prav odnos med CO in CO<sub>2</sub> v plinski zmesi po vsej višini plavža. Na ta odnos lahko vplivamo s pravilno pripravo rude in koksa, z optimalno temperaturo, količino vpihanega zraka itd.

Pri relativno nizkih temperaturah poteka redukcija CO<sub>2</sub> s trdnimi reducenti po vsej njihovi »notranji« površini. Zato v tej fazi njena hitrost tudi skoraj ni odvisna od hitrosti strujanja plina skozi nasutje. Pri višjih temperaturah pa postaja

kemična reakcija med ogljikom in CO<sub>2</sub> vse hitrejša in jo začne zavirati prepočasno dovajanje CO<sub>2</sub> v reakcijski prostor. Proces vse bolj prehaja k difuzijskemu področju. Hitrost same kemične reakcije je eksponentialno odvisna od temperature:  $k \cdot e^{-\frac{E}{RT}}$  kjer je E aktivacijska energija in k konstanta. Takšna odvisnost velja pod enakimi pogoji tudi za količino toplote, ki se porabi za potek redukcije v enoti časa. Za difuzijsko področje je ta odnos nekoliko drugačen predvsem pa ni tako močno odvisen od temperature.

Med prodiranjem CO<sub>2</sub> skozi nasuto plast reducenta, ki smo ga ogreli na neko temperaturo, ki je npr. višja od temperature reducenta, začne pri določenih temperaturi njegova površina reagirati s CO<sub>2</sub>. Za to reakcijo se na površini porablja toplota in to toliko več, čim hitreje poteka reakcija. Tako se poleg toplote za ogrevanje reducenta porablja še toplota za potek kemičnega procesa in postaja tako hitrost poteka reakcije odvisna od hitrosti dovajanja toplote, ki je potrebna za kritje toplote za potek endotermne reakcije. Vsaki temperaturi CO<sub>2</sub> odgovarja tako določena temperatura površine, ki je odvisna od razlike med v časovni enoti dovedeno in porabljeno toploto. Pri višjih temperaturah npr. poteka reakcija  $CO_2 + C = 2 CO$  vse bolj hitro in porablja vse več toplote. Zato se površina reducenta hladi, prav tako pa ostaja sredina koščkov reducenta bolj hladna kot je površina. Iz tega sledi, da se bo hitrost reakcije redukcije CO<sub>2</sub> regularila sama in potekala pri bolj ali manj konstantni temperaturi reakcijske površine. Ta pa je odvisna od pogojev, v katerih poteka reakcija in od vrste reducentov, oziroma od njihove reaktivnosti. Redukcija CO<sub>2</sub> s trdnimi reducenti poteka na sledeč način:



Reakcija a) je reverzibilna, reakcija b) pa je ireverzibilna<sup>1</sup> in odločilna za hitrost poteka redukcije CO<sub>2</sub>. Po literarnih podatkih poteka ta nekajkrat bolj počasi kot reakcija a)<sup>2</sup>.

Pri temperaturah nad 600°C praktično ne moremo govoriti o procesih fizikalne adsorpcije (desorpcije) na površini trdnih reducentov. Pri teh temperaturah jo zamenja kemična adsorpcija (kemisorpcija).

Za reakcijo b) je poleg temperature odločujoča tudi velikost površine, ki jo pokriva kompleks  $C_{(gr)} \cdot O_{(ads)}$ , oziroma od razmerja med pokritim in nepokritim delom površine reducenta. Označimo pokriti del površine s  $S$  in nepokritega z  $(1-S)$ . Hitrost nastajanja kompleksa  $C_{(gr)} \cdot O_{(ads)}$  je enaka:

$$v_{(ads)} = k_a (1-S) p_{CO_2}$$

$k_a$  ... reakcijska konstanta hitrosti nastajanja kompleksa na površini reducenta.

Hitrost razpadanja adsorbiranih kompleksov pa je enaka:

$$v_{dej} = k_b S$$

$k_b$  ... reakcijska konstanta hitrosti desorpcije oziroma razpada kompleksa  $C_{(gr)} \cdot O_{(ads)}$

Ko se po določenem času, pri določeni temperaturi vzpostavi navidezno stacionarno stanje, sta hitrosti obeh procesov enaki:

$$k_a (1-S) p_{CO_2} = k_b S$$

in iz tega sledi dejanska hitrost:

$$v_{dej} = \frac{k_a p_{CO_2}}{1 + \frac{k_a}{k_b} p_{CO_2}}$$

oziroma splošno:

$$v_{dej} = k_{dej} p^n_{CO_2}$$

kjer pomeni  $n$  red reakcije. Pri relativno nizkih tlakih  $CO_2$  lahko privzamemo, da je  $n = 1$  in je redukcija  $CO_2$  s trdnimi reducenti v prebitku teh odvisna le od koncentracije  $CO_2$  v plinu. Pri višjih koncentracijah  $CO_2$  pa je dejanska hitrost reakcije odvisna od hitrosti poteka kemične adsorpcije  $CO_2$  na površini trdnih goriv in ni odvisna od njegove koncentracije.

Ugotovili smo, da je za hitrost reakcije  $CO_2 + C = 2CO$  odločilen proces kemične adsorpcije, ki je vezan na velikost specifične površine trdnih reducentov. Naš namen je, da prikažemo, kako ne-

kateri faktorji vplivajo na potek gornje reakcije, ki je po sedaj veljavnih normah odločilna za ocenjevanje reaktivnosti trdnih reducentov. Pri tem bomo poročali le o nekaterih lastnih izkušnjah.

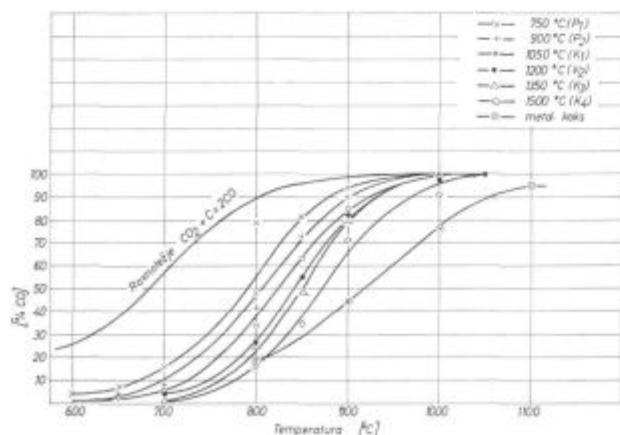
Kako vpliva temperatura, pri kateri razplinjamo trdni reducent, na hitrost gornje reakcije, kaže slika 1<sup>3</sup>.

Slika 1 kaže, kako se spreminja sestava plinske zmesi pri pretoku 10,4 l  $CO_2$  na uro skozi 34 cm<sup>3</sup>, 16,4 mm visoko nasuto plast trdnega reducenta, zdrobljenega na 1...2 mm, pri različnih temperaturah. Posamezne krivulje veljajo za lignitni premog, ki smo ga razplinjevali pri na sliki navedenih temperaturah. V sliko smo za primerjavo vrisali še podatke za običajen metalurški koks. Slika kaže da se sestava plinov pri sicer enakih pogojih izvajanja poskusov za različno pripravljena goriva močno med seboj razlikuje.

Z naraščajočo temperaturo razplinjanja trdnih goriv pada vsebnost CO v izhajajočih plinih. To pomeni z drugo besedo, da postaja koksov ostanek z naraščajočo temperaturo koksanja vse manj reaktiven. Tako lahko praktično z ustreznim režimom razplinjevanja trdnih goriv (premogov) vplivamo na reaktivnost trdnih reducentov, ki nastajajo iz njih in izdelamo z ozirom na to lastnost reducente z optimalno reaktivnostjo, npr. za proizvodnjo železove gobe z določeno vsebnostjo ogljika.

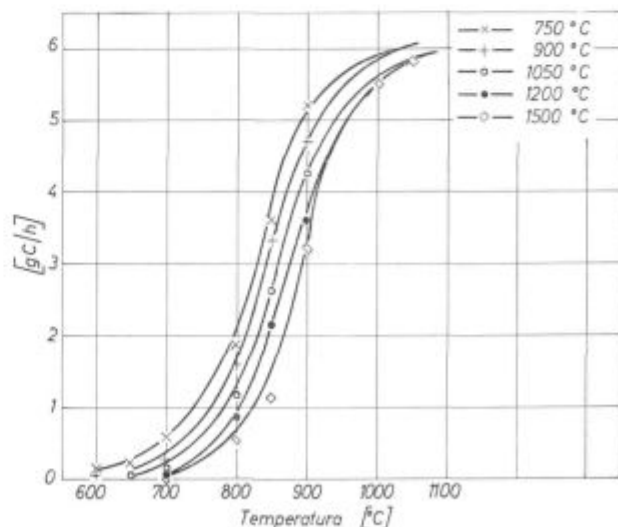
Reaktivnost trdnih goriv lahko prikažemo še na drug način. Namesto sestave plina po reakciji nanesemo za iste reducente količino ogljika, ki v enakih pogojih kot na sliki 1 zgori s  $CO_2$  v časovni enoti pri različnih temperaturah (slika 2).

Tudi v tem primeru dobimo zanimiv snop krivulj, ki kažejo, da količina zgorelega ogljika eksponentialno narašča s temperaturo pri temperaturah vse do okrog 800<sup>0</sup> C, nato pa radi pomanjkanja  $CO_2$  v višjih plasteh nasutja (zaradi prepočasnega dovajanja  $CO_2$  v reakcijsko cono) hitrost sicer še na-



Slika 1

Sestava plinske zmesi  $CO_2$  po prehodu 10,4 litrov na uro čistega  $CO_2$  skozi nasuto plast goriva v odvisnosti od temperature in vrste goriva.



Slika 2

Količina, v atmosferi  $CO_2$ , zgorelega ogljika (vg/h) v odvisnosti od temperature.

rašča, vendar relativno počasneje, kot pri nižjih temperaturah. Tak potek procesa je tem bolj izrazit, čim bolj reaktivno je gorivo.

Kako se spreminja hitrost reakcije  $\text{CO}_2 + \text{C} = 2 \text{CO}$  od temperature koksiranja, kaže tudi slika 3.

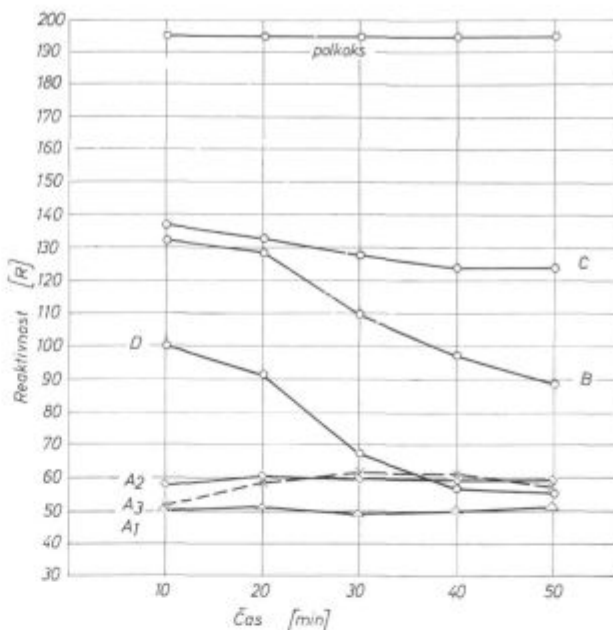
Ugotovili smo, da je reaktivnost trdnih reducentov lastnost, ki pove, kako hitro ti gore v atmosferi  $\text{CO}_2$  (oz.  $\text{H}_2\text{O}$ ). Zato na sliki 3 pravzaprav primerjamo trdne reducente po reaktivnosti pri temperaturah med  $700 \dots 1000^\circ \text{C}$ . Klasičen način določanja te lastnosti pa poteka pri  $950^\circ \text{C}$ , kot sledi iz sledeče serije poskusov.

Reaktivnost trdnih reducentov smo določali tako, da smo prevajali pri  $950^\circ \text{C}$  skozi kvarčno cev s premerom 16 mm, v katero smo nasuli  $34 \text{ cm}^3$  trdnega reducenta, zdrobljenega na 1 do 2 mm, 10,4 litra  $\text{CO}_2$ . To pomeni, da smo določali reaktivnost pri določeni temperaturi in v natančno določenih pogojih. Reaktivnost smo izračunali po enačbi:

$$R = \frac{\% \text{CO}}{\% \text{CO}_2 + 1/2 \% \text{CO}} \cdot 100$$

Tako po Koppersu izračunane reaktivnosti imajo lahko pri popolni pretvorbi  $\text{CO}_2$  v  $\text{CO}$  najvišjo vrednost 200. Vrednost za reaktivnost smo določili iz petih zaporednih meritev, ki si sledijo vsakih 10 minut, in izračunali srednjo vrednost. Ta srednja vrednost je številčna vrednost za reaktivnost trdnega reducenta. Na sliki 4 smo izbrali nekaj rezultatov merjenj reaktivnosti za reducente, ki se med seboj močno razlikujejo.

»Polkoks«, izdelan iz velenjskega lignita je močno reaktiven in se približuje vrednosti 200. Na drugi strani pa so v spodnjem delu diagrama običajni metalurški koksi z reaktivnostjo med 50 in 60. Med temi vrednostmi so koksi, ki so izdelani iz mešanic premogov, ki se razlikujejo po starosti



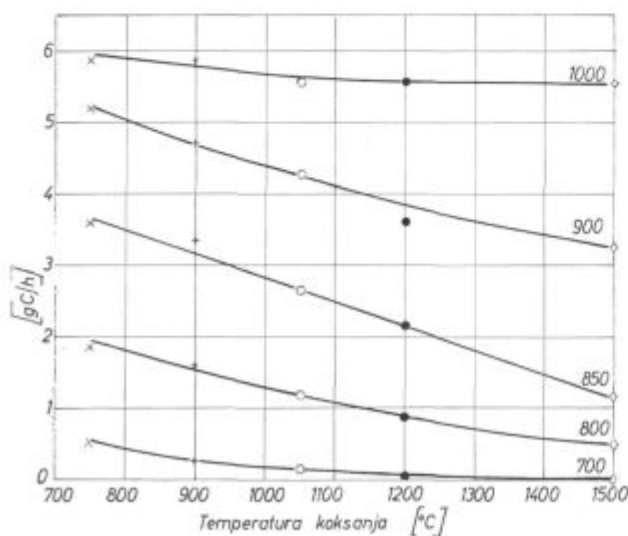
Slika 4  
Reaktivnost nekaterih trdnih reducentov po Koppersu.

(nastanka), to je iz premogov z različno formirano stopnjo grafitizacije osnovne strukture. Koks, označen z B, je izdelan npr. iz 65 % koksarniškega premoga in 35 % rjavega oziroma lignitnega premoga. Koks C je prav tako sestavljen in sicer iz 60 % črnega in 40 % lignitnega premoga, v koku D pa je 90 % koksarniškega in 10 % lignitnega premoga.

Ceprav je bila tehnologija izdelovanja koksa pri vseh koksih približno enaka, (razen pri polkoku) vidimo, da so bolj reaktivne komponente (mlajši premogi) obdržale svojo večjo reaktivnost tudi v mešanicah. Zato je v prvi meritvi reaktivnost teh koksov relativno visoka, nato pa pri vsaki naslednji pade, dokler na primer pri koku D ne dobimo reaktivnost običajnih metalurških koksov. S  $\text{CO}_2$  torej najprej reagirajo najbolj reaktivne sestavine koksa. Šele, ko te zgore začno reagirati manj reaktivne sestavine. V takih primerih srednja vrednost petih meritev, kot to običajno delamo, ne more dati pravih rezultatov. Vendar pa da ta način merjenja dobro reproducirane vrednosti za kokse, izdelane iz približno enakih premogov.

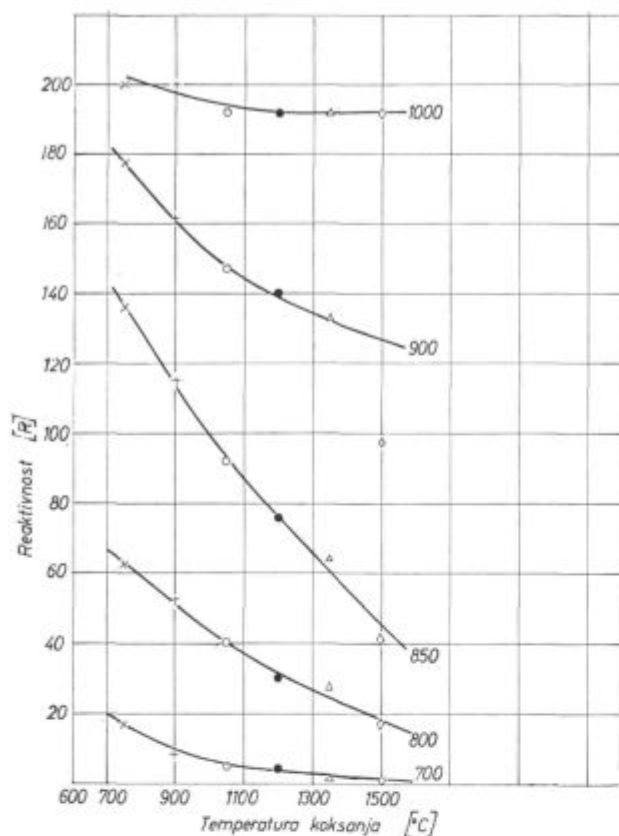
Metalurge zanima tudi obnašanje (reaktivnost) reducentov pri temperaturah, nižjih od  $950^\circ \text{C}$ . Od tega je namreč odvisen potek redukcije v zgornjem delu plavžnega jaška. Kako se spreminja vrednost za reaktivnost s temperaturo kaže naslednja slika 5.

Pri  $1000^\circ \text{C}$  je ta vrednost skoraj 200, za vse pri poskusih uporabljene kokse. Reducenti se tudi med seboj bistveno ne razlikujejo. Pri  $900^\circ \text{C}$  pa je razlika med reducenti že večja. Močno pade reaktivnost trdnih goriv, razplinjenih pri višjih temperaturah. To more odločujoče vplivati na potek direktne redukcije v plavžnem jašku. Če izločimo vpliv reaktivnosti rude na sestavo plinske zmesi



Slika 3

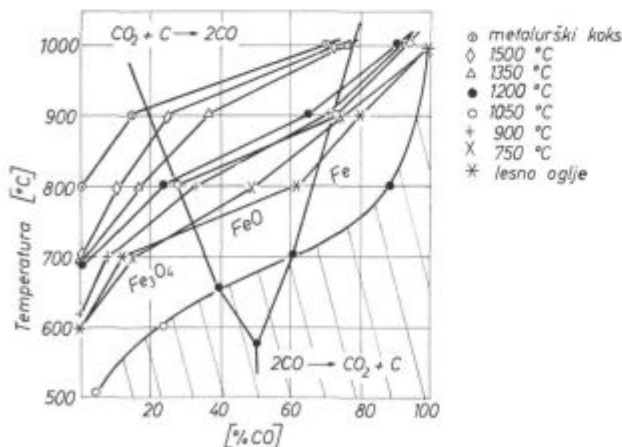
Odvisnost hitrosti poteka reakcije  $\text{CO}_2 + \text{C} = 2 \text{CO}$  (v g Ch) od temperature razplinjenja lignita in temperature redukcije.



Slika 5

Vpliv temperature koksanja in temperature, pri kateri poteka redukcija  $\text{CO}_2$  na reaktivnost.

$\text{CO}/\text{CO}_2$ , ki je potrebna za njeno redukcijo, lahko vzamemo kot kriterij za oceno reaktivnosti trdnega reducenta razmerje med  $\text{CO}$  in  $\text{CO}_2$  v reakcijskih plinih oziroma njih sestavo po reakciji  $\text{CO}_2 + \text{C} = 2\text{CO}$ , pri kateri seka ravnotežne krivulje sistema  $\text{Fe}-\text{O}-\text{C}^4$ . Tako je npr. redukcija hematitne rude pokazala podoben vrstni red v sestavi plinske zmesi  $\text{CO}/\text{CO}_2$  za v prejšnjih serijah uporabljena goriva, kot jih kaže slika 1 (slika 6).



Slika 6

Redukcija hematitne rude — sestava plinske zmesi  $\text{CO}/\text{CO}_2$  pri direktni redukciji s posrednimi trdnimi reducenti.

Medtem ko se začne pojavljati v plinski zmesi  $\text{CO}$  pri redukciji z metalurškim koksom pri okrog  $800^\circ\text{C}$ , kar pomeni, da se je začela v pogojih poskusov pri tej temperaturi direktna redukcija, so se temperature začetka redukcije pri bolj reaktivnih gorivih pomaknile k nižjim temperaturam, v našem primeru vse do  $600^\circ\text{C}$ . Najbližja ravnotežni krivulji  $\text{CO}/\text{CO}_2$  je pilnska zmes, ki nastaja pri redukciji z lesnim ogljem.

Tak način prikazovanja reaktivnosti trdnih goriv je vsekakor bolj realen od klasičnega, ker kaže njihovo reaktivnost v neposrednem stiku z rudo, posebno še, ker imamo danes na razpolago naprave za avtomatično regulacijo režima ogrevanja reakcijskega prostora in neposredno določanje spreminjanja mase vzorca med redukcijo. Na drugi strani pa lahko avtomatično zapisujemo analize reakcijskih plinov oziroma kisikov potencial v reaktorju s pomočjo kisikove sonde<sup>3</sup>.

## SKLEPI

Reaktivnost je ena od karakterističnih lastnosti trdnih reducentov. Osnovna kemična reakcija, na kateri slone skoraj vse metode za njeno določanje, je  $\text{CO}_2 + \text{C} = 2\text{CO}$ . Pri popolni pretvorbi  $\text{CO}_2$  v  $\text{CO}$  je vrednost za reaktivnost 200 in ima v tem primeru reducent največjo možno reaktivnost. Na sestavo plinske zmesi po prehodu skozi nasuto plast reducenta in s tem na reaktivnost vpliva med drugimi faktorji tudi temperatura, pri kateri razplinjamo premoge. Višja ko je temperatura razplinjanja nekega premoga, manj reaktiven je njegov koksov ostanek. Poleg te temperature vpliva na reaktivnost tudi stopnja »formiranja« grafitne strukture premogov, ki jih uporabljamo za »koksanje« (geološka starost premogov). To lepo kažejo poskusi določanja reaktivnosti pri  $950^\circ\text{C}$ , v katerih smo ugotovili, da ostanejo komponente mlajših premogov tudi po koksanju bolj reaktivne kot komponente iz koksarniških premogov. Zato tudi odpove za tako sestavljene reducente klasičen način določanja reaktivnosti v atmosferi  $\text{CO}_2$  pri  $950^\circ\text{C}$ , ki je izračunana iz povprečja petih zaporednih meritev. Metalurga predvsem zanima reaktivnost teh reducentov pri različnih temperaturah, ne samo pri  $950^\circ\text{C}$ . »Reaktivnost«, tako kot jo izražamo sedaj, se namreč s temperaturo za različne trdne reducente močno in različno spreminja, kar pa lahko močno vpliva na energetski in kemični režim procesov v peči.

Drug način določevanja reaktivnosti, o katerem prav tako poročamo in se nam zdi bolj logičen, je zasledovanje spreminjanja sestave reakcijskih plinov ob neposrednem stiku trdnih reducentov z rudo. Raziskave so dale zadovoljive rezultate. Vsa-kokratna vsebnost  $\text{CO}$  v reakcijskih plinih pa pokaže do kolike mere je pred poskusi napredovala direktna redukcija železovih oksidov pri določeni temperaturi. Meritve so zelo enostavne, saj lahko

sestavo plinske zmesi zasledujemo kontinuirno z ustreznimi analizatorji ali pa kontinuirno določamo s kisikovo sondo kisikov potencial v reakcijskih plinih.

#### Literatura:

1. Ergun S.: »Kinetics of the Reactions of Carbon Dioxide and Steam with Cokes«, Bureau of Mines, Bulletin 598, 1962.

»Kinetics of the Reactions of Carbon Dioxide with Carbon«, Jour. Phys., Chem. 60, 1956

2. O. A. Esin, P. V. Geld: »Fizčeskaia himija pirometallurģičeskikh processov«, čast I, Metallurgizdat, Moskva 1962.
3. Dobovišek B., B. Koroušič, N. Smajić: »Studij prenosa mase med plinskim medijem in kondenziranimi fazami ter raznih premen v njih«, Poročilo MI, Ljubljana, julij 1972.
4. Dobovišek B.: »Direktna redukcija železovih oksidov in reaktivnost trdnih goriv«, Rudarsko-metalurški zbornik, št. 1, 1971, 88 do 100.

### ZUSAMMENFASSUNG

Die Reaktionsfähigkeit ist eine von den charakteristischen Eigenschaften der festen Reduktionsmittel. Die chemische Grundreaktion, an welcher fast alle Verfahren für die Bestimmung der Reaktionsfähigkeit beruhen, ist  $\text{CO}_2 + \text{C} = 2 \text{CO}$ . Bei der vollkommenen Umwandlung von  $\text{CO}_2$  in  $\text{CO}$  ist der Wert der Reaktionsfähigkeit 200 und hat in diesem Fall das Reduktionsmittel die grösstmögliche Reaktionsfähigkeit. Die Zusammensetzung der Gas Mischung und damit die Reaktionsfähigkeit beim Durchgang durch die Schüttchicht des Reduktionsmittels wird unter anderen Faktoren auch von der Temperatur der Kohlenentgasung beeinflusst. Je höher die Temperatur der Kohlenentgasung (Verkokung), desto kleiner ist die Reaktionsfähigkeit des Koksrückstandes. Neben dieser Temperatur beeinflusst die Reaktionsfähigkeit auch der »Graphitisierungsgrad« der Koks Kohlen welche verkokt werden. Das Zeigen die Versuche der Reaktionsfähigkeitsbestimmung bei  $950^\circ \text{C}$ , wo wir festgestellt haben, dass die Komponenten der jüngeren Kohlen auch nach dem Verkokten reaktionsfähiger bleiben als die Komponenten der Koks Kohlen. Deshalb versagt für so zusammengestellte Reduktionsmittel das klassische Verfahren der Reaktions-

fähigkeitsbestimmung in der  $\text{CO}_2$  Atmosphäre bei  $950^\circ \text{C}$ , welches ein Durchschnitt aus fünf hintereinander folgenden Messungen darstellt. Den Hüttenmann interessiert vor allem die Reaktionsfähigkeit dieser Reduktionsmittel bei verschiedenen Temperaturen und nicht nur bei  $950^\circ \text{C}$ . Die Reaktionsfähigkeit wie sie jetzt ausgedrückt wird, ändert sich mit der Temperatur für verschiedene feste Reduktionsmittel sehr stark, was die Energiewirtschaft und chemische Prozesse im Ofen stark beeinflussen kann.

Eine andere Art der Reaktionsfähigkeitsbestimmung ist die Verfolgung der Zusammensetzung der Reaktionsgase bei dem unmittelbaren Kontakt der festen Reduktionsmittel mit dem Erz.

Die Untersuchungen haben zufriedenstellende Ergebnisse ergeben. Der jederzeitige  $\text{CO}$  Gehalt in den Reaktionsgasen zeigt in wie weit während der Versuche die direkte Reduktion der Eisenoxide bei einer bestimmten Temperatur fortgeschritten ist. Die Messungen sind einfach, den die Gaszusammensetzung kann mit entsprechenden Analytoren kontinuierlich verfolgt werden, oder es wird kontinuierlich der Sauerstoffpotenzial mit einer Sauerstoffsonde in den Reaktionsgasen bestimmt.

### SUMMARY

Reactivity is one of the characteristic properties of solid reducing agents. Basic chemical reaction used by nearly all the methods is  $\text{CO}_2 + \text{C} = 2 \text{CO}$ . In complete transformation of  $\text{CO}_2$  into  $\text{CO}$  the reactivity number is 200 and the reducing agent has the greatest possible reactivity in such a case. Gas composition after the gas flow through the packed bed of the reducing agent, and thus the reactivity, are also influenced by the temperature at which coals are distilled. The higher is the distillation temperature the less reactive is the coke. Besides, also degree of formation of graphite structure in coals used for coking influences the reactivity. This is clearly indicated by the determination of reactivity at  $950^\circ \text{C}$  which shows that components of younger coals remain more reactive also after coking than there are the components of the coking coals.

Therefore the standard way of determination of reactivity in  $\text{CO}_2$  atmosphere at  $950^\circ \text{C}$  evaluated from the average of five consecutive measurements is not applicable for such composed reducing agents. The metallurgists are

mainly interested in the reactivity of these reducing agents at various temperatures and not only at  $950^\circ \text{C}$ . The reactivity of various solid reducing agents determined in the present way is highly and changingly dependant on the temperature, and thus also energetic and chemical conditions of processes in the furnaces are highly influenced by the changing reactivity.

The second way of determining the reactivity is study of changing the composition of reaction gases after direct contact of solid reducing agents and the ore. The investigations gave satisfactory results. Everytime  $\text{CO}$  content in the reaction gases shows to which extent the direct reduction of iron oxides at a certain temperature progressed during the experiment. The measurements are very simple as the gas composition can be continuously analyzed by corresponding analyzers or oxygen potential in the reaction gases can be continuously determined by an oxygen probe.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Характерное свойство твердых восстановителей это их реактивность. Почти все методы определения реактивности основываются на химической реакции т. е.  $\text{CO}_2 + \text{C} = 2 \text{CO}$ . При полном преобразовании  $\text{CO}_2$  в  $\text{CO}$  величина реактивности означена с цифрой 200. В этом случае восстановитель имеет самую лучшую реактивность. На состав газовой смеси при переходе через насыпанный слой восстановителя, а с этим и на реактивность, между остальными

факторами имеет влияние также и температура при которой уголь газифицируем. Чем выше темп-ра газификации какого либо угля, тем ниже реактивность его остатка, т. е. кокса. Кроме темп-ры на реактивность влияет также степень »формирования« графитной структуры угля которого употребляем для »коксования«. Это хорошо показывают опыты определения реактивности при  $950^\circ \text{C}$ . на углях при которых установили, что они содержат

компоненты углей более молодых происхождений; по коксованию их реактивность лучше чем реактивность коксовальных углей. Поэтому при таких раскислителях при определении реактивности получаем, когда применяем «классический» способ определения, т. е., в атмосфере  $\text{CO}_2$  при темп-ре  $950^\circ\text{C}$ , неправильные результаты. Как средняя величина берется результат пяти последовательных измерений.

Металлурга главным образом интересует реактивность таких раскислителей не только при темп-ре  $950^\circ\text{C}$  но также и при других темп-рах. Реактивность, в смысле как её выражаем теперь, при различных твёрдых раскислителях интенсивно и различно измен-

яется, что конечно может влиять на энергетический и химический режим процессов в печи.

Другой способ определения реактивности состоит в преследовании изменения состава реактивных газов при непосредственном контакте твёрдых раскислителей с рудой. Исследования дали положительные результаты. Кажмый, отдельно полученный результат содержания  $\text{CO}$  в реактивных газах в свою очередь показывает до какой мере подвинулась прямая редукция оксидов железа при определённой температуре. Измерения очень несложны. Состав газа определяем непрерывно с соответствующими анализаторами, или же при помощи зонда кислорода в реактивных газах непрерывно определяем кислородный потенциал.