

## Poskusi izdelave močno bazičnega sintra

Z običajno mešanico za sintranje v Željezari Sisak, ki je značilna po velikem deležu ljubijskega limonita, smo napravili polindustrijske poskuse sintranja v mejah bazičnosti ( $\text{CaO}/\text{SiO}_2$ ) od 0,5 do 3,8.

Posebna pozornost je veljala bazičnosti sintra, pri kateri bi lahko popolnoma odstranili apnenec iz plavžnega vsipa. Navedene so kemične, fizikalno kemične, fizikalne, mehanske in tehnološke lastnosti uporabljenih surovin in izdelanih sintrov.

Sinter velike bazičnosti — mišljena je večja bazičnost od 1,3 za  $\text{CaO}/\text{SiO}_2$  — je tehnološko in ekonomsko zanimiv predvsem pod pogoji, ko je del plavžnega vsipa kisel, najsi bo ruda v kosih, sinter ali peleti.

Najočitnejše tehnološke in ekonomske prednosti naj bodo na kratko omenjene.

Mešanici za sintranje dodani apnenec disociira v oksidacijski atmosferi v teku sintranja, kar zahteva manj energije kot če bi disociacija potekala v plavževi redukcijski atmosferi. Pristaviti je še, da se pri sintranju uporablja za disociacijo ceneno gorivo, lahko pa tudi apnenec manjše trdnosti (litotamnjski).

Disociirani apnenec reagira pri sintranju s komponentami mešanice za sintranje ter pri tem nastane homogena, bazična žlindra, ki blagodejno vpliva na nastanek plavžne žlindre.

Apnenec, ki se dodaja plavžu, marsikdaj pri zapijanju segregira, kar odpravimo z uporabo močno bazičnega sintra.

Poglavitna ekonomska prednost je zmanjšana specifična poraba koksa — do 20 % — in povečana proizvodnost plavža — do 20 % — pri popolni odstranitvi apnenca iz vsipa<sup>1,2,3</sup>. Po podatkih iz prakse in proračunov<sup>4,5</sup> je mogoče pričakovati za vsak kilogram iz plavžnega vsipa odstranjenega apnenca prihranek 0,30 do 0,45 kg koksa. V jugoslovanskih razmerah bi to pomenilo letni prihranek najmanj 135.000 t koksa.

Močno bazičen sinter pa tehnološko in ekonomsko ni zanimiv samo tedaj, ko zamenja surovi apnenec v plavžnem vsipu, ampak tudi v primeru, ko je v plavžnem vsipu 100 % samohodnega sintra.

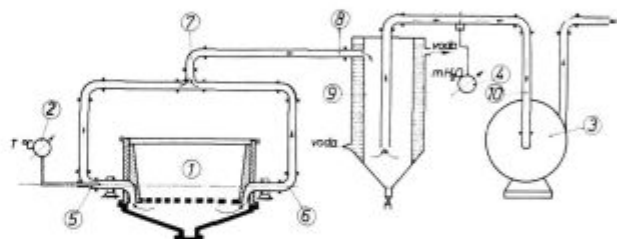
Industrijski poskusi v SZ so dokazali<sup>6</sup>, da se pri vsipu iz 78 % sintra bazičnosti 0,9 in 22 % sintra bazičnosti 2,0 (namesto 100 % samohodnega sintra) proizvodnost poveča za 2,8 % in zmanjša poraba koksa za 1,5 % (7,4 kg koksa/t grodlja).

Navedene prednosti so sprožile polindustrijske poskuse sintranja z mešanico, ki je v železarni v

Sisku običajna. Namen poskusov je bil izdelava vrste sintrov z naraščajočo bazičnostjo zaradi ugotovitve njihovih najpomembnejših kemičnih, fizikalno kemičnih, mehanskih in tehnoloških lastnosti. Posebna pozornost je bila posvečena možnosti izdelave močno bazičnega sintra, ki naj bi vseboval kar največjo možno količino potrebnega  $\text{CaO}$  za razmere v plavžih železarne v Sisku.

### NACIN OPRAVLJANJA POSKUSOV

Polindustrijske raziskave smo opravili po uveljavljenem načinu v ponvici tipa Greenawalt, ki ima delovno površino 0,366 m<sup>2</sup> in višino 300 mm. Uporabljeni ekshaustor ima maksimalni podpritisk 1500 mm vs. Naprava je shematsko ponazorjena na sliki 1.



Slika 1  
Polindustrijska naprava za poskuse sintranja

- 1 — Ponvica tipa Greenawalt
- 2 — Merjenje temperature odhajajočih plinov in podpritisov
- 3 — Ekshaustor
- 4 — Merjenje količine odhajajočih plinov

Homogenizirana in na optimalno vlago navlažena mešanica se pazljivo vloži v ponvico in zažge z mešanico butana in propana. Zažiganje traja 1 minuto. Med sintranjem se zapisujejo vsi potrebni podatki o temperaturi, podpritisu in količini odhajajočih plinov.

Po opravljenem sintranju zdrobimo dobljeni kolač na manjše kose od 150 mm, presejemo na frakcijo 0—5, 5—10, 10—20 in 20—150 mm. Delež frakcije pod 10 mm je povratek, nad 10 mm pa je dober sinter, če del frakcije od 10—20 mm uporabimo za posteljico.

Trdnost sintra določamo trikrat po 20 kg frakcije nad 20 mm v bobnu, ki se v štirih minutah obrne stokrat. Po mehanskem obremenjevanju v bobnu presejemo sinter na sitih 5, 10, 20 in 40 mm.

Frakcija nad 20 mm predstavlja trdnost sintra, frakcija pod 10 mm pa trdnost proti obrabi oziroma otiranju.

Vsak poskus smo izvedli z najmanj tremi sintranji, povratek smo posebej pripravili za vsak poskus.

Sestava mešanice, s katero smo napravili poskuse sintranja, je navedena na tabeli 1. Delež apnenca se menjuje v mejah od 8 % do 47 % tako, da bi imeli dobljeni sintri bazičnost  $\text{CaO/SiO}_2$ , 0,5 — 1,2 — 1,5 — 1,8 — 2,1 — 3,0 — 4,0.

Tabela 1: Sestava mešanice za poskuse sintranja

| Komponenta      | Delež v %  | Zrnatost, mm |
|-----------------|------------|--------------|
| Limonit Ljubija | 85 — X     | pod 8        |
| Okujina         | 5          | pod 5        |
| Plavžni prah    | 10         | pod 3        |
| Apnenec Gradusa | X (8 — 47) | pod 3        |
| Skupaj          | 100        | pod 8        |
| Povratek        | 25         | pod 10       |
| Koks            | 5,2        | pod 3        |
| Skupaj          | 130,2      | pod 10       |

Kemična in sejalna analiza uporabljenih surovin sta zbrani na tabeli 2.

Tabela 2: Kemična sestava in sejalna analiza surovin za poskuse

|                         | Limonit Ljubija | Plavžni prah | Okujina | Apnenec Gradusa | Koks  |
|-------------------------|-----------------|--------------|---------|-----------------|-------|
| Fe                      | % 43,89         | 40,91        | 67,69   | n.a.            | 2,62  |
| Mn                      | % 2,62          | n.a.         | 0,91    | n.a.            | n.a.  |
| $\text{SiO}_2$          | % 12,97         | 13,39        | 1,56    | 1,08            | 4,80  |
| $\text{Al}_2\text{O}_3$ | % 7,30          | n.a.         | 3,07    | 0,38            | 2,60  |
| CaO                     | % 1,82          | 2,17         | 0,67    | 53,83           | 1,62  |
| MgO                     | % 0,20          | n.a.         | 2,78    | 1,61            | 0,33  |
| P                       | % 0,17          | n.a.         | 0,13    | n.a.            | 0,024 |
| S                       | % 0,036         | 0,32         | n.a.    | n.a.            | 0,85  |
| ZI                      | % 11,04         | 13,58        | n.a.    | 40,98           | 85,68 |
| C                       | % n.a.          | 8,94         | n.a.    | n.a.            | 75,91 |
| nad 3,0 mm              | 34,32           | 3,10         | 20,80   | 1,03            | 0,84  |
| 2,0—3,0 mm              | 18,30           | 0,70         | 11,30   | 13,50           | 8,64  |
| 1,0—2,0 mm              | 15,46           | 1,60         | 12,20   | 27,90           | 13,74 |
| 0,5—1,0 mm              | 13,40           | 11,00        | 15,70   | 33,10           | 21,39 |
| 0,2—0,5 mm              | 10,40           | 42,10        | 19,80   | 18,00           | 25,44 |
| pod 0,2 mm              | 8,10            | 41,50        | 20,20   | 6,40            | 29,94 |

n.a. = ni analizirano

Tabela 3: Pokazovalci sintranja in kvalitete sintra

| $\text{CaO/SiO}_2$ | Fe %  | Proizvodnost       |                           |                              |                              |           |           |            | Trdnost v bobnu |  |
|--------------------|-------|--------------------|---------------------------|------------------------------|------------------------------|-----------|-----------|------------|-----------------|--|
|                    |       | Povratek — 10 mm % | Hitrost sintranja mm/min. | sintra $\text{t/m}^2$ , 24 h | železa $\text{t/m}^2$ , 24 h | + 20 mm % | — 10 mm % | 10—20 mm % |                 |  |
| 0,52               | 51,27 | 17,0               | 18,2                      | 28,8                         | 14,8                         | 24,8      | 47,8      | 27,4       |                 |  |
| 1,35               | 45,79 | 20,3               | 20,0                      | 29,2                         | 13,3                         | 5,5       | 63,5      | 31,0       |                 |  |
| 1,55               | n.d.* | 15,1               | 20,3                      | 30,4                         | n.d.*                        | 9,7       | 48,5      | 41,8       |                 |  |
| 1,80               | 43,37 | 13,6               | 19,9                      | 29,3                         | 13,1                         | 10,3      | 43,3      | 46,4       |                 |  |
| 2,15               | n.d.* | 18,1               | 20,7                      | 28,8                         | n.d.*                        | 14,5      | 30,7      | 54,8       |                 |  |
| 2,42               | 40,00 | 21,2               | 20,6                      | 26,4                         | 10,5                         | 15,2      | 30,7      | 54,1       |                 |  |
| 3,05               | 37,58 | 27,8               | 23,2                      | 24,5                         | 9,2                          | 19,3      | 27,6      | 53,1       |                 |  |
| 3,85               | 35,34 | 37,1               | 23,2                      | 20,1                         | 7,1                          | 25,6      | 30,6      | 43,7       |                 |  |

n.d.\* = ni določeno

## REZULTATI PRVE SERIJE POSKUSOV

Tabela 3 kaže rezultate, dobljene v prvi seriji poskusov z mešanico navedeno na tabeli 2.

Bazičnost izdelanih sintrov (kolona 1) se nekoliko razlikuje od predvidene, kljub pazljivosti pri izdelavi mešanice.

Vsebnost železa v gotoven sintru močno pada, kar je posledica dodane količine apnenca, ta pa je velika, ker je velika vsebnost  $\text{SiO}_2$  v rudi.

Količina povratka, oziroma frakcije — 10 mm, je pri majhni bazičnosti (5,2) majhna in znaša 17 %. S povečanjem bazičnosti na 1,35 se količina povratka poveča na 20 %, kar predstavlja najvišjo vrednost na področju bazičnosti od 0,52 do 2,15. Pri večjih bazičnostih od 2,15 nenehno raste količina povratka. Največjo vrednost doseže pri bazičnosti 3,85, ko je količina dobljenega povratka več kot še enkrat večja od povratka pri kislem sintru.

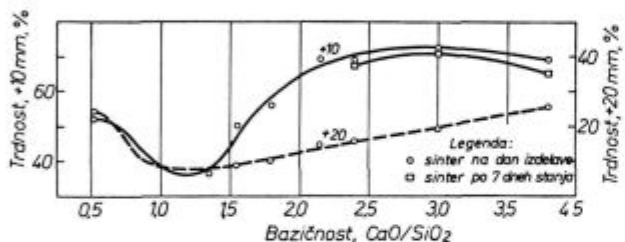
Hitrost sintranja praktično stalno narašča. Kljub temu narašča proizvodnost samo do bazičnosti 1,55 nato pa stalno pada od 30,4 do 20,1 t sintra/ $\text{m}^2$ , 24 h pri bazičnosti 3,82. To je predvsem posledica velike količine  $\text{SiO}_2$  v ljubijski rudi, zaradi tega velikega dodatka apnenca mešanici za sintranje. V šesti koloni je navedena proizvodnost glede na železo v sintru, v t železa/ $\text{m}^2$ , 24 h. Proizvodnost železa je še bolj odvisna od bazičnosti, saj pade pri bazičnosti 3,85 na polovico proizvodnosti, dosežene pri bazičnosti 0,52.

Trdnost sintra, ki je prikazana s količino frakcije + 20 mm po vrtnanju v bobnu, je za kisl sinter velika in znaša okoli 25 %. Z naraščanjem bazičnosti močno pade količina frakcije + 20 mm, posebej še na področju bazičnosti od 1,35 do 2,42, ko se giblje od 5—15 %. Trdnost oziroma frakcija + 20 mm doseže prvotno vrednost šele pri bazičnosti 3,85. Pravkar prikazana trdnost ni najboljše merilo mehanskih lastnosti pri visoko bazičnem sintru. V osmi koloni namreč vidimo, da je obrabna trdnost najmanjša pri bazičnosti 1,35, ko znaša

delež frakcije — 10 mm 63,5 %. Že pri bazičnosti 1,55 doseže obrabna trdnost vrednost, ki jo je imela pri kislem sintru, kar pomeni, da so se mehanske lastnosti močno popravile. Tega po podatku za trdnost sintra (frakcija + 20 mm) ne bi mogli trditi. Pri bazičnosti nad 1,55 se obrabna trdnost še popravlja.

Posledica narastka obrabne trdnosti je povečanje količine frakcije od 10—20 mm, ki se s pridom uporablja v plavžu. Količina te frakcije naraste pri bazičnosti 2,15 za 100 % v primerjavi s količino iste frakcije pri kislem sintru oziroma pri bazičnosti 0,52. Spričo tega smemo sklepati, da dobimo pri izdelavi sintra z bazičnostjo nad 1,55 trden sinter z dokaj enakomerno zrnatostjo, s čimer se samodejno poboljša fizikalna pripravnost vsipa za plavž.

Da je bolje oceniti mehanske lastnosti sintra s količino frakcije + 10 mm, vidimo iz diagrama na sliki 2, iz katerega razberemo, da je količina frakcije + 10 mm pri večji bazičnosti večja od količine frakcije + 20 mm. Za nekatere sintre je v diagramu navedena obstojnost v staranju. Obstojnost je velika, ker je količina frakcije + 10 mm po sedmih dneh padla samo za 1 do 4 %.



Slika 2  
Mehanska trdnost sintra v odvisnosti od bazičnosti

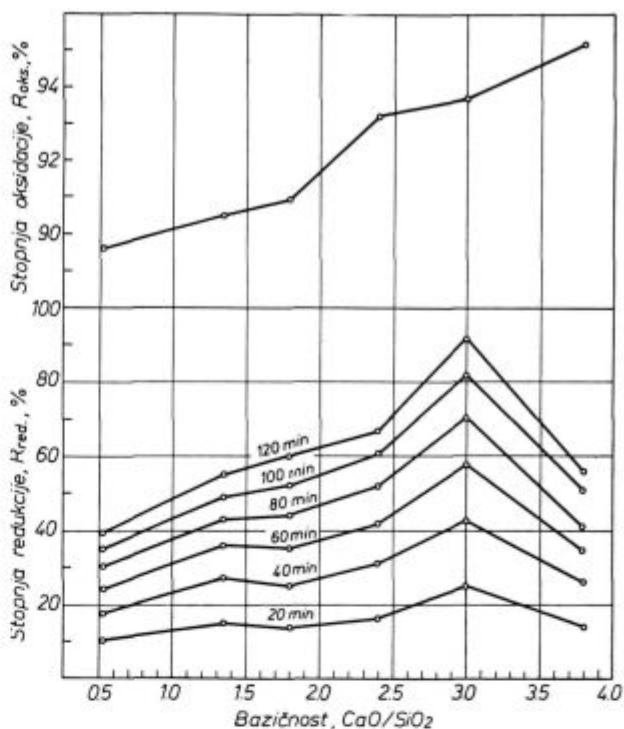
Oksidacijska stopnja stalno raste (glej sliko 3), reduktivnost (določena s frakcijo 1—10 mm,  $H_2$ , 900°C) pa raste ves čas redukcije samo do bazičnosti 3,0, ko je reduktivnost za 100 % boljša od reduktivnosti kislega sintra. Pri bazičnosti 3,8 reduktivnost zopet močno pade.

## REZULTATI DRUGE SERIJE POSKUSOV

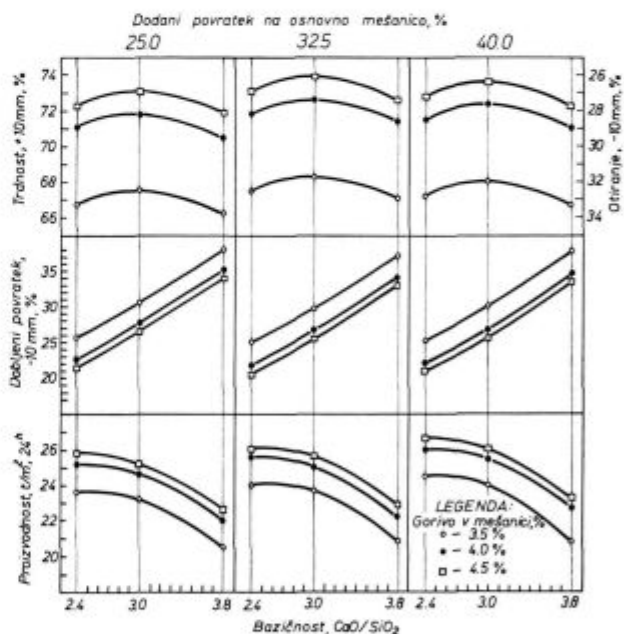
Na področju bazičnosti 2,4 do 3,8, ki je najbolj zanimivo za Željazaro Sisak, je sinter zadosti trden, vendar je proizvodnost manjša. V novi seriji poskusov smo želeli vplivati na proizvodnost z menjanjem količine goriva in z menjanjem količine povratka. Količina goriva v mešanici, ki je analogna mešanici na tabeli 1, je bila 3,5—4,0—4,5 %, povratka pa 25—32,5—40 %.

Rezultati druge serije poskusov so zbrani v diagramih na sliki 4.

Proizvodnost je najbolj odvisna od bazičnosti, ker z naraščajočo bazičnostjo raste delež apnenca v mešanici za sintranje. Povečana količina goriva od 3,5 na 4,0 % poveča proizvodnost za 5 do 7 %, od 4,0 na 4,5 % pa samo za 2 %. Delež povratka



Slika 3  
Vpliv bazičnosti sintra na oksidacijsko stopnjo in reduktivnost



Slika 4  
Odvisnost proizvodnosti, dobljenega povratka in trdnosti od bazičnosti, količine goriva in količine dodanega povratka

in bazičnost ne vplivata bistveno na povečanje proizvodnosti zaradi goriva.

Pri povečanju dodatnega povratka od 25 na 32,5 % naraste proizvodnost za 2 %, pri povečanju od 32,5 na 40 % pa za 4 %. Dobljeni povratek je močno odvisen od bazičnosti. Če zraste bazičnost od 2,4 na 3,8, zraste količina povratka za okoli

13 % (absolutnih). Povratek je manjši, če se poveča količina goriva v mešanici, vendar je to povečanje znatnejše samo pri povečanju goriva od 3,5 na 4,0 %. Količina vložene povratka ne vpliva bistveno na količino dobljenega povratka.

Bazičnost ne vpliva bistveno na mehansko trdnost sintra, ki je predstavljena s količino frakcije + 10 mm, toda pri poskusih smo ponovno ugotovili, da bazičnost močno vpliva na enakomernost zrnatosti. Skoraj ves sinter je imel velikost zrna v mejah od 10 do 40 mm, pri tem pa sega delež zrna od 10 do 20 mm nad polovico. Količina goriva bistveno vpliva na trdnost sintra, in sicer predvsem pri povečanju količine goriva od 3,5 na 4,0 %, ko se količina frakcije + 10 mm poveča za 6 % (absolutnih). Vpliv se zmanjša pri povečanju goriva od 4,0 na 4,5 %, ko znaša povečanje trdnosti samo 2 %. Dodani povratek ne vpliva bistveno na trdnost. Največjo trdnost sintra dobimo pri sintru bazičnosti 3,0, s povratkom 32,5 % in 4,5 % goriva.

## SKLEP

Rezultati poskusov za izdelavo močno bazičnega sintra dokazujejo, da je mogoče izdelati trden sinter iz ljubijskega limonita, ki ima veliko vsebnost  $\text{SiO}_2$  — okoli 13 %, če je bazičnost sintra v mejah od 1,55 do 3,8. Trdnost sintra v navedenih mejah je večja od trdnosti kislega sintra bazičnosti 0,52 spremlja jo tudi pojav izrazite enakomernosti velikosti zrna sintra v mejah od 10—20 oziroma 10—40 mm.

## ZUSAMMENFASSUNG

Es wurden Sinterversuche im Basizitätsbereich  $\text{CaO/SiO}_2 = 0,5-3,8$  mit einer Sintermischung, die einen hohen Anteil von dem feinkörnigen Limonit Ljubija, mit 13 %  $\text{SiO}_2$  enthält, durchgeführt. Der Grund dieser Versuche war die Möglichkeit für die Produktion von festem Sinter festzustellen, welcher für Hochofenmöller geeignet wäre.

Die Versuche wurden in einer Greenawalt-Pfanne mit einer Fläche von  $0,366 \text{ m}^2$  durchgeführt. Der Rücklaufsinter wurde durch das Sieben am Sieb 10 mm, die Festigkeit des Sintra durch das Drehen in der Trommel ( $4 \times 25$  Umdreh./min.) und Sieben am Sieb 5, 10, 20 und 40 mm bestimmt.

Bei der Basizität über 1,55 ist die Festigkeit des Sintra grösser als beim sauren Sinter mit einer Basizität

Na zraku se trdnost sintra v sedmih dneh poslabša največ za 4 %. Sinter najmanjše trdnosti dobimo pri bazičnosti 1,35 in 1,55. S povečanjem bazičnosti raste reduktivnost sintra do bazičnosti 3,0, pri kateri je reduktivnost še enkrat večja kot pri kislem sintru. Potem reduktivnost pada.

Pri dosedanjih poskusih ni bil izdelan sinter z isto proizvodnostjo kot pri kislem sintru, če je bila bazičnost večja od 2,15. Pri bazičnosti 2,4, pri kateri za razmere v Sisku, ne bi bilo potrebno dodajati plavžnemu vsipu apnenca, je proizvodnost pri sintranju za okoli 8 % manjša.

## Literatura

1. Savrin S. V. in drugi, »Domennaja plavka aglomeratov vysokoj osnovnosti«, Stal' (Moskva) (1964), št. 8, stran 680—684.
2. Mindeli M. S. in drugi, »Vlijanje vysokoofljusovannogo aglomerata na pokazateli domenoj plavki«, Metallurg (Moskva) (1965), št. 11, stran 28/32.
3. Meyer G. »Neuere Entwicklungen beim Betrieb vom Hochofenanlagen«, Technische Mitteilungen Krupp, Werksberichte, (Essen), 24 (1966), št. 1, stran 39/44.
4. Maślanka A., Gutkowska E., Krasowski J., »Badania i produkcja spieku wysokozasadowego«, Wiadomości Hutnicze (Katowice) 25 (1969), št. 3, stran 70—75.
5. Geras A., »Wpływ zmiany wskaźnika jednostkowego zużycia topnika surowego na jednostkowe zużycie koksu w modelowym procesie wielkopieczowym«, Hutnik (Katowice) 34 (1967), št. 2, stran 41—51.
6. Makaev S. V., »Proizvodstvo vysokoosnovnogo domennogo aglomerata na Nižne Tagil'skom metallurgičeskom kombinacie«, Stal' (Moskva) (1969), št. 8, stran 673—678.

von 0,52. Sie ist aber durch eine ausgesprochene Gleichmässigkeit der Sinterkörnergrösse im Bereich von 10 bis 20 bzw. von 10 bis 40 mm gekennzeichnet. Die Festigkeit des Sintra fällt in sieben Tagen höchstens um 4 %.

Die kleinste Festigkeit ergab der Sinter der Basizität von 1,35 und 1,55. Durch die Zunahme der Basizität bis 3,0 wuchs die Reduzierbarkeit, wo sie doppelt so gross ist, wie bei sauren Sinter. Weiter wird die Reduzierbarkeit kleiner.

Bei den bisherigen Versuchen hat sich gezeigt, dass die Sinterleistung beim Basizitätsgrad über 2,15 kleiner ist als bei sauren Sinter. Bei einer Basizität von 2,4 wo der Zusatz von Kalkstein für den Hochofenmöller bei den Verhältnissen in Sisk überflüssig wäre, war die Sinterleistung um rund 8 % kleiner.

## SUMMARY

Sintering tests were made with a sintering mixture which has a high amount of fine Ljubija limonit in the basicity region —  $\text{CaO/SiO}_2$  — between 0.5 to 3.8. Our intention was to find whether a strong sinter suitable for blast furnace charge can be performed.

Tests were made in a Greenawalt ladle with a cross-section  $0,366 \text{ m}^2$ . The return sinter was determined by sieving on the 10 mm sieve and the sinter strength in the

rotary drum ( $4 \times 25 \text{ rpm}$ ) and by subsequent sieving on sieves 5, 10, 20 and 40 mm.

When basicity is over 1.55 the sinter strength is higher than that of acid sinter with basicity 0.52. Besides the grain uniformity of sinter in the limits 10 to 20, and 10 to 40 mm respectively was achieved. In the air the sinter strength decreased for less than 4 % in seven days.

The lowest sinter strength was obtained at basicities 1.35 and 1.55. By increasing the basicity the reductivity increases up to basicity 3.0 when reductivity of sinter is twice as high as that of acid sinter. At higher basicities the reductivity decreases.

In our test the rate of sinter making was lower than that of acid sinter when basicity was higher than 2.15. When basicity was 2.4, i.e. no limestone needs to be added to the blast furnace charge in Sisak, the production rate of the sinter is for about 8 % lower.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Целью опытного агломерационной смеси с большим уделом мелког лимонита из Любии (Ljubija) с содержанием прибл. 13 % кремнезема в пределах основности  $\text{Ca}/\text{SiO}_2$  степени 0.5—3.8 была доказать, возможно ли получить агломерат достаточно высокой механической прочности для употребления в доменной шихте. Опыты выполнены в ванне конструкции Greenawalt с поверхностью 0,366 м<sup>2</sup>. Количество возврата определено на сите 10 мм а прочность вращением в барабане (4 × 25 в/мин.) и определением гранулометрического состава зёрен на ситах 5, 10, 20 и 40 мм. При основности стпени свыше 1.55 прочность агломерата превышает прочность кислото агломерата основности 0.52, при чём особенно выражена равномерность зёрен величины 10—20 и

10—40 мм. На воздухе прочность агломерата ослабевает в течении 7 дней не свыше 4 %. Агломерат самой плохой прочности оказался при основности 1.35 и 1.55. С повышением основности до 3.0 повышается восстанавливаемость, которая при этой точки в два раза выше чем при кислото агломерате. Выше этой степени прочность агломерата ослабевает.

При опытах в случае основности агломерата свыше 2.15 не произведен агломерат производительности которая отвечает той же самой производительности при кислото агломерате. При основности 2.4 т. е. услови при котором на Металлургическом заводе в Сиске (Sisak) не надо к доменной шихте добавлять известняк, производительность агломерата прибл. на 8 % ниже.