

De invloed van enkele toeslagstoffen op deformatie van klei tijdens het bakken

13

RAPPORT I — KLEI VOOR STRAATSTEENFABRICAGE

Publicatie van het Keramisch Instituut T.N.O.

Onderzoek naar de invloed van toevoeging van Bauxiet, CaCO_3 , Mulliet en SiO_2 aan straatsteenklei, met betrekking tot de deformatie tijdens het bakken.

Als vervolg op een vooronderzoek, ingesteld ter bepaling van de deformatie die optreedt bij het bakken van straatsteenlinkers, zijn enige proeven verricht, ten einde stoffen te vinden, die toegevoegd aan de klei, de deformatie hiervan tijdens het bakken tegengaan, zonder al te veel beïnvloeding van een der eigenschappen van het gebakken produkt, namelijk de wateropneming.

Uitvoering van het onderzoek.

Bij het vooronderzoek werd steeds uitgegaan van gedroogde fabriekmatig vervaardigde vormbakvormlingen (straatsteenklei), waaruit cylinders van 50 x 50 mm \varnothing werden geboord. De poreusiteit van de uitgeboorde droge cylinders was nagenoeg gelijk.

Aangezien bij het nu uit te voeren onderzoek een vergelijking van de klei puur met dezelfde klei voorzien van diverse toevoegingen van belang was, kon niet worden uitgegaan van fabriekmatig gevormde vormlingen van bepaalde mengsels om daaruit weer cylinders te boren, maar moest een bepaalde gelijkblijvende fabricagemethode voor het vervaardigen van proefcylinders worden gekozen, zodat een verantwoord onderzoek mogelijk was.

Het maken van proefcylinders.

15 kg van een straatsteenklei „Y” werd in gedroogde en gepoederde toestand, gedurende 10 minuten gemengd met één der toe te voegen stoffen in een Eirichmenger. Vervolgens werd water toegevoegd tot de consistentie van circa 20 mm Pfefferkornstuikehoogte was bereikt. Van dit mengsel werden op de laboratoriumstrengers met behulp van vacuüm cylinders vervaardigd met een diameter van 60 mm en een lengte van 120 mm.

Na een droging gedurende circa 10 dagen bij kamertemperatuur, gevolgd door een periode waarin de cylinders op 100° C werden gedroogd, werden ze voor-gebakken bij 1000° C. Bij dit bakken werd opgewarmd met 40° C/h, waarna bij het bereiken van een temperatuur van 1000° C de oven werd uitgeschakeld.

Na afkoeling werden uit de gebakken cylinders de uiteindelijke proefcylinders geboord, met een diameter van 50 mm en een lengte van 50 mm.

Als laatste bewerking werden de platte vlakken van de cylinders nauwkeurig parallel geslepen.

Metingen aan de proefcylinders voor en na de warmtebehandeling en de opstelling van de proefcylinders in de elektrische oven.

De hoogte van de proefcylinder voor en na de proef werd gemeten op 8 gemerkte punten op de omtrek van de cylinder.

De diameter werd gemeten op 4 verschillende hoogten en op elke hoogte op vier verschillende punten.

De cylinder werd na meting tussen twee stempels in de oven geplaatst, een belasting van 0,2 kg/cm² werd op de cylinder aangebracht. Om de cylinder werd een uit drie lagen bestaand kapsel gebouwd, teneinde een zo gelijkmatig moge-

lijke temperatuur te krijgen. In het kapsel werden 4 thermokoppels geplaatst, waarvan de gemiddelde temperatuur als temperatuur van de proefcilinder werd genomen. De spreiding van de temperatuur in het kapsel bedroeg maximaal 2 à 3° C.

De verandering van de hoogte van de vertikaal geplaatste cilinder werd tijdens de warmtebehandeling registrerend opgenomen. Na de warmtebehandeling en het afkoelen werd van de cilinder de wateropneming bepaald.

Stookschema

In circa 1 uur werd de oven op 450° C gebracht waarna de opwarmingsnelheid teruggebracht werd op 40° C per uur. Met deze snelheid werd tot 1000° C opgestookt, waarna gedurende 1 uur deze temperatuur werd aangehouden om de temperatuur in het kapsel en in de proefcilinder zo gelijkmatig mogelijk te krijgen.

Na deze periode werd begonnen met het registreren van de hoogtekrimping gedurende het verdere verloop van de proef.

De temperatuur werd met 40° C per uur verhoogd tot 1110° C. Gedurende 5 uur werd deze temperatuur aangehouden, waarna de proef werd beëindigd.

Gebruikte materialen.

Voor de fabricage van proefcilinders werd uitgegaan van de klei „Y”, die gebruikt werd voor de productie van straatstenen.

De chemische analyse van de klei „Y” was als volgt:

Gloeiverlies	8,4 %
Kiezelzuur	66,0 %
Aluminiumoxide	11,5 %
IJzeroxide	3,6 %
Totaal kalk (CaO)	4,6 %
Magnesiumoxide	0,5 %
Rest (alkaliën)	5,4 %
IJzeroxide/kalk	0,78

De invloed op de deformatie van de cilindres gedurende het bakken, werd nagegaan bij het gebruik van de navolgende toeslagstoffen:

a) CaCO₃ in de vorm van kalkmergel.

De toegevoegde percentages waren 5 en 10 gew. %. De fijnheid van de toegevoegde mergel was als volgt:

> 200 μ	nihil
200 — 60 μ	24,2%
< 60 μ	75,8%

b) Ongebrand bauxiet in poedervorm.

De toegevoegde percentages waren 2 en 5 gew. %.

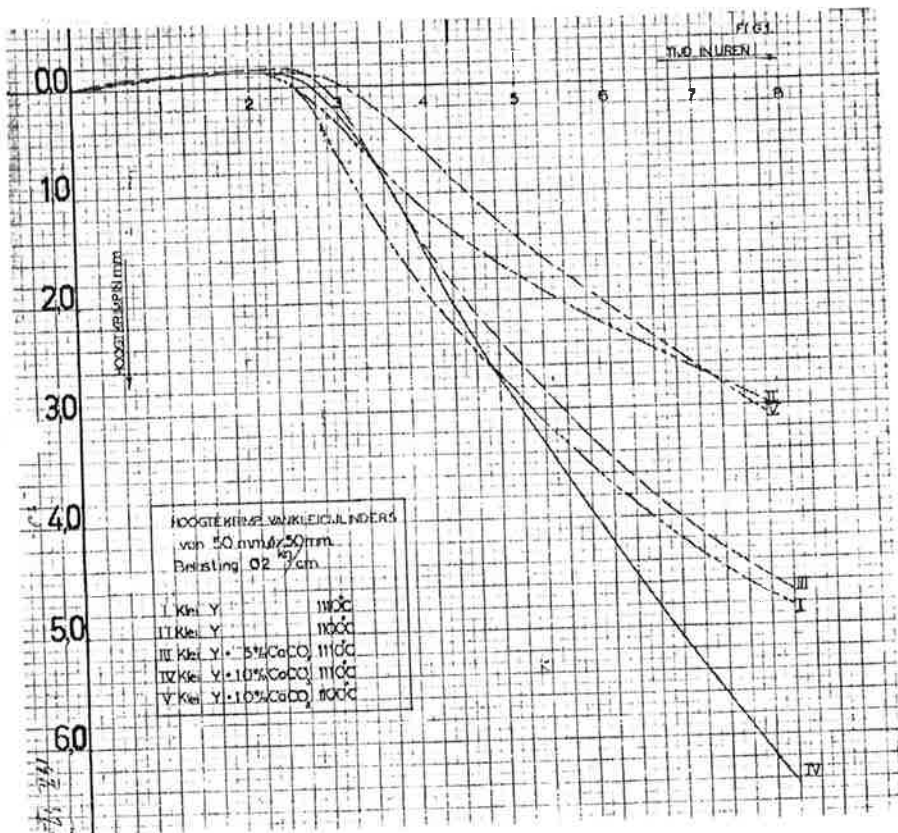
Het bauxiet bevat in ongebrande toestand circa 58,5% Al₂O₃.

De fijnheid van het toegevoegde bauxiet was als volgt:

> 200 μ	0,3%
200 — 60 μ	7,4%
< 60 μ	92,3%

c) SiO₂ in de vorm van gegloeide en daarna gemalen silicagel.

Toegevoegd werd 10 gew. %.



d) Mulliet in poedervorm ($3 \text{ Al}_2\text{O}_3 \cdot 2 \text{ SiO}_2$).

Mulliet bevat circa 70% Al_2O_3 .

Toegevoegd werd 15 gew.% mulliet. De fijnheid van het mulliet was als volgt:

> 300 μ	0,8%
300 — 200 μ	2,3%
200 — 60 μ	32,5%
< 60 μ	64,4%

Bespreking van de proeven.

Allereerst werd een proef verricht met de klei „Y” zonder toevoeging van een der bovenstaande stoffen.

Bij stoken tot 1110°C en een aanhoudtijd van 5 uur werd een hoogtekrimp gemeten van 10,59%. De diameterkrimp bedroeg 6,21%.

Als maat voor de deformatie werd de verandering van de hoek tussen diagonaal en horizontaal van de cylinder genomen. Deze bedroeg $83'$. De vrijwillige wateropneming was 4,1 vol.% (zie fig. 1, lijn I).

Een tweede proef met de klei „Y” zonder toevoeging, maar nu gestookt tot 1100°C gaf een hoogtekrimp te zien van 6,57% en een diameterkrimp van 4,74%. De deformatie bedroeg $30'$, de vrijwillige wateropneming bedroeg 12,8% (zie fig. 1, lijn II).

Een verlaging van de baktemperatuur om de verweking legen te gaan, resulteerde weliswaar in een afname van de deformatie, maar tevens in een sterkte toename van de wateropneming. In de praktijk wordt voor een goede straatsteen een wateropneming van 5—6 vol.% gewenst.

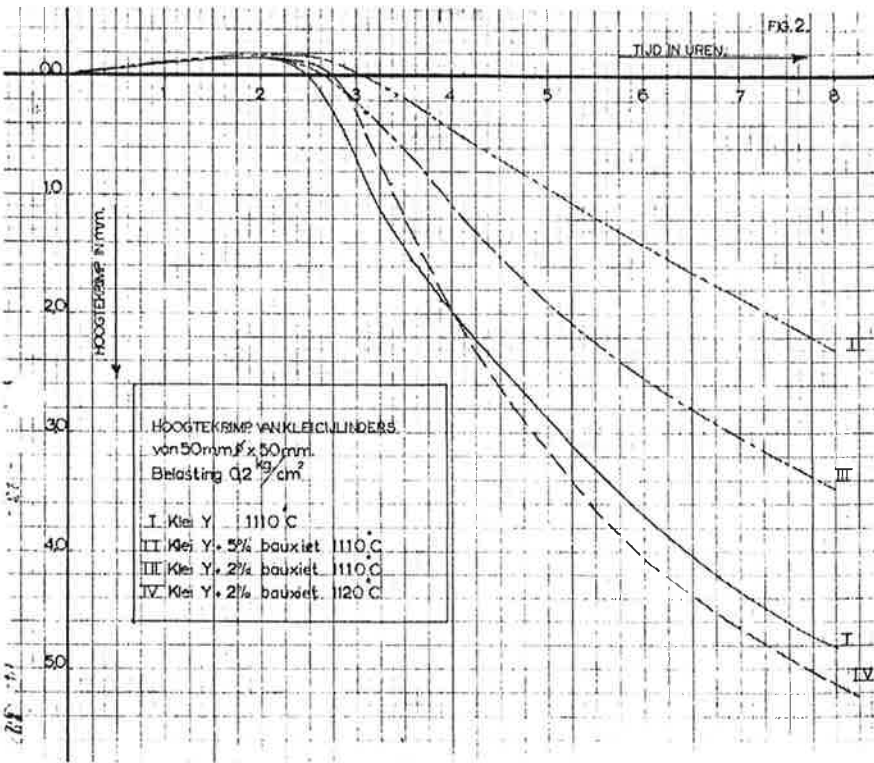
In het nu volgende worden de resultaten van de proefnemingen met de diverse toevoegingen besproken in de hierboven reeds aangegeven methode.

a) Klei „Y” + 10% CaCO₃ (kalkmergel).

Bij het stoken van een cylinder met 10% CaCO₃ op 1110° C bij een aanhoudtijd van 5 uur, bleek een sterke deformatie op te treden. De hoogtekrimp bedroeg 13,62%, de diameterkrimp 6,37%. De deformatie was groot, namelijk 134'. Als gevolg van de sterke sintering was de wateropneming gering: 2,9 vol.% (zie fig. 1, lijn IV). Aangezien de sintering bij 1110° C te groot was, werd deze proef herhaald bij 1100° C.

et verschil was opmerkelijk. De deformatie bedroeg nu 42', terwijl de wateropneming was gestegen tot 12,2%. De hoogtekrimp was 7,03%, de diameterkrimp 4,6% (zie figuur 1, lijn V).

De toevoeging van 10% kalkmergel leverde bij 1100° C gestookt geen voordelen op, aangezien de wateropneming en de deformatie ongeveer gelijk waren aan die van de pure klei „Y” gestookt op 1100° C. Het zeer grote verschil in deformatie bij het stoken op twee temperaturen, die slechts 10° C verschillen, duidt er op,



dat het bakken van deze klei, waaraan kalk is toegevoegd een nauwkeurig stoken vereist.

Volledigheidshalve werd ook een proef verricht met klei „Y” + 5% CaCO_3 . Gestookt werd op 1110°C .

De hoogtekrimp bedroeg 10,10% en de diameterkrimp 6,37% (zie fig. 1, lijn III).

De wateropneming bleek 5,93% te zijn en de deformatie 67'.

Vergeleken met de pure klei „Y”, gestookt bij 1110°C bleek er een geringe verbetering te zijn opgetreden.

De wateropneming was goed, terwijl de deformatie iets was verminderd. Aan het verloop van de lijnen (fig. 1), die de hoogtekrimpen weergeven, is te zien, dat de hoogtekrimp van de klei met CaCO_3 iets later inzet, maar daarna, als de temperatuur stijgt, in versneld tempo plaats vindt.

b) Klei „Y” + bauxiet.

Een cylinder van de klei „Y” + 5% bauxiet werd gestookt op 1110°C bij een aanhoudtijd van 5 uur (fig. 2; lijn II). De deformatie daalde tot 25', maar de wateropneming nam toe tot 13,4%. Gemeten werd een hoogtekrimp van 5,89% en een diameterkrimp van 4,55%.

Aangezien de wateropneming veel te hoog was, werd een proef verricht met een cylinder, die 2% bauxiet bevatte. Wederom werd gestookt op 1110°C (fig. 2, lijn III). De deformatie bedroeg nu 36' bij een wateropneming van 8,8%. De hoogtekrimp bedroeg 7,93%. De diameterkrimp was 5,78%.

Aangezien de wateropneming iets aan de hoge kant was, werd de proef met 2% bauxiet herhaald bij 1120°C (fig. 2, lijn IV). De deformatie liep op tot 90' bij een wateropneming van 3,5%. De hoogtekrimp bedroeg 11,51% tegen een diameterkrimp van 6,55%. Bij verhoging van de temperatuur neemt de wateropneming sterk af, maar dit gaat gepaard met een sterke toename van de deformatie.

c) Klei „Y” + 10% SiO_2

Gestookt bij 1110°C bleek hierbij een deformatie op te treden van 86' en een wateropneming van 7,7%.

De wateropneming werd ongunstiger evenals de deformatie. De hoogtekrimp bedroeg 10,58% en de diameterkrimp 5,68%. Ook het verloop van de hoogtecurve (fig. 3, lijn II) kwam praktisch overeen met dat van de pure klei „Y” (fig. 3, lijn I). Met SiO_2 werd dus geen gunstig resultaat bereikt.

d) Klei „Y” + 15% mulliet

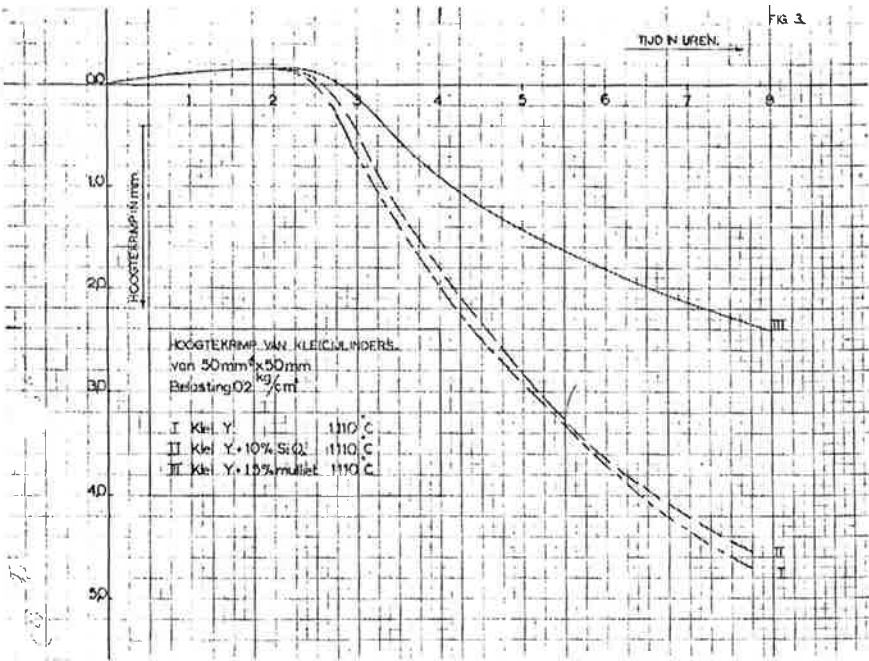
Deze cylinder werd gestookt bij 1110°C gedurende 5 uur. De deformatie was gering: 26', waartegenover weer een wateropneming, die 15,2% bedroeg. De hoogtekrimp bedroeg 5,79% tegen een diameterkrimp van 4,23%.

Het verloop van de hoogtekrimpcurve (fig. 3, lijn III) was zodanig, dat misschien van een verlenging van de aanhoudtijd enig resultaat verwacht mocht worden. De snelheid waarmee de verweking plaats vond, nam nl. tegen het einde van de proef sterker af dan bij de andere cylinders het geval was.

Daarom werd deze proef herhaald bij een aanhoudtijd van 10 uur op 1110°C . De wateropneming bleek nu 9,8% te bedragen, tegen een deformatie van 50'. De hoogtekrimp was 8,18%. De diameterkrimp 5,24%.

Samenvatting van de resultaten.

Gezien het feit, dat bij iedere proef, waarbij de deformatie werd verminderd door temperatuurverlaging of door toevoeging van diverse stoffen, die de deformatie tegengaan, dit steeds gepaard ging, met een verhoging van de wateropneming, lijkt het moeilijk om in deze richting een oplossing te vinden. Ver-



minderung van de deformatie lijkt alleen mogelijk, indien toename van de wateropneming acceptabel is.

In figuur 4 is uitgezet de deformatie van de cylindrs (d.i. de hoekverandering tussen diagonaal en vertikaal) tegen de wateropneming.

In fig. 5 is uitgezet de deformatie als verschil tussen hoogteafname in procenten en diameterafname in procenten, tegen de wateropneming.

Uit deze grafieken kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

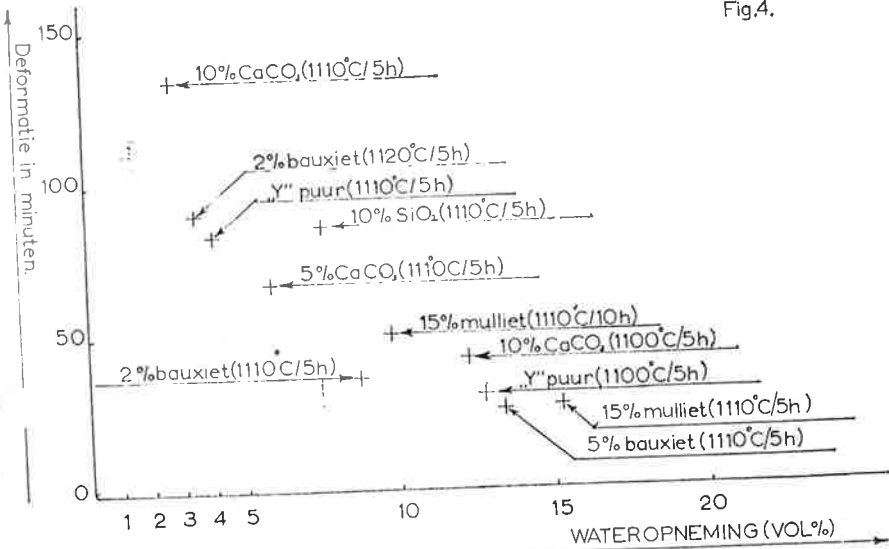
- a) Toevoeging van 10% $CaCO_3$ geeft een negatief resultaat. Gestookt tot bijna eenzelfde wateropneming als de pure klei „Y”, vertoont het mengsel een grotere deformatie.
- b) Toevoeging van 5% $CaCO_3$ geeft slechts een geringe verbetering. Gestookt bij eenzelfde temperatuur als de klei „Y” (1110° C) vindt een geringe afname van de deformatie plaats. Indien men de hiermede gepaard gaande kleine vergroting van de wateropneming accepteert, kan een geringe toevoeging van $CaCO_3$ gunstig zijn.

Uit de proeven blijkt, dat een te grote toevoeging van $CaCO_3$ een negatief resultaat geeft.

Het feit, dat het toegevoegde percentage $CaCO_3$ kritisch is voor de bereikte deformatie en wateropneming, kan duiden op het optreden van een eutektikum.

- c. De toevoeging van bauxiet biedt ook mogelijkheden tot verlagng van de deformatie, evenwel ook weer gepaard gaande met vermeerdering van de wateropneming.
- d) De toevoeging van mulliet geeft niet het gewenste resultaat. Vergelijkt men de mengsels met 15% mulliet en 5% bauxiet, beide gestookt op 1110° C gedurende 5 uur, dan blijkt 5% bauxiet gunstiger uit te vallen. Beide cylindrs vertonen dezelfde deformatie, maar de wateropneming van de cylinder met 15% mulliet ligt hoger dan die van de cylinder met 5% bauxiet.

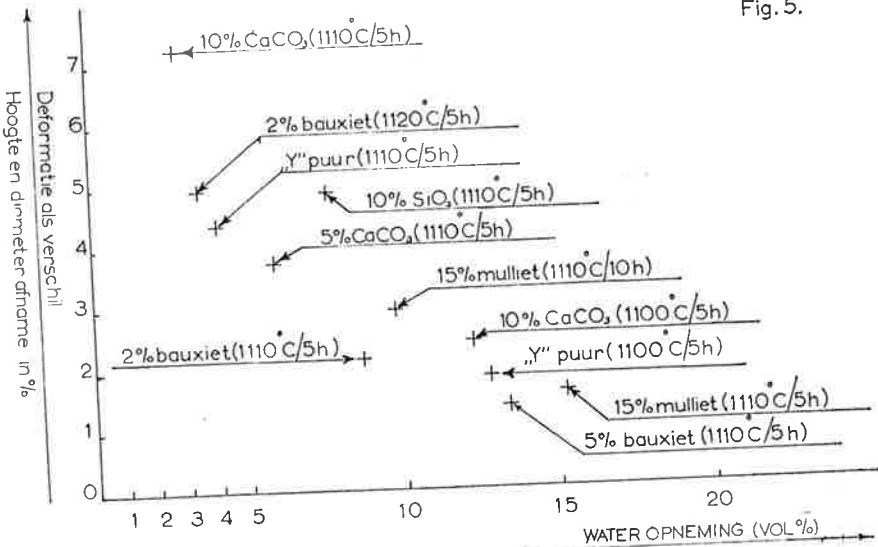
Fig.4.



Verlenging van de aanhoudtijd vermindert de wateropneming, maar verhoogt de deformatie.

- e) Het toevoegen van 10% SiO₂ doet de wateropneming toenemen, terwijl de deformatie nagenoeg dezelfde blijft. Het toevoegen van dit percentage SiO₂ brengt alleen nadeel met zich mee.

Fig. 5.



Conclusie.

Vermindering van de deformatie tengevolge van het bakken van de klei zonder of met de gebruikte toeslagstoffen gaat gepaard met een verhoging van de wateropneming.

Afhankelijk van de aan de wateropneming te stellen eisen, bieden gewijzigde stookomstandigheden of toevoeging van de onderzochte toeslagstoffen een mogelijkheid ongewenste deformatie tegen te gaan.

GEGEVENS BETREFFENDE DE PROEFCYLINDERS VOOR EN NA HET BAKKEN

Id van toevoeging	Toevoeging in gew. %	P _s vrijw. orgebakken in %	P _s vrijw. gebakken in %	Vol. gew. gebakken	% aanmaakwater	Consistentie in mm Pfefferkorn	Hoogtekrimp in %	Diameterkrimp in %	Hoekverandering Diag./horiz. in minuten
geen	1	26,0	4,08	2,287	25,7	20,0	10,59	6,21	33
CaCO ₃	10	26,3	2,88	2,272	23,9	20,0	13,62	6,37	134
CaCO ₃	10	26,3	12,27	1,994	23,9	20,0	7,03	4,63	42
CaCO ₃	5	26,4	5,93	2,178	25,0	20,0	10,10	6,37	67
SiO ₂	10	26,7	7,69	2,127	24,5	19,5	10,58	5,68	86
Bauxiet	5	25,5	13,40	2,017	25,5	18,5	5,89	4,55	25
Bauxiet	2	25,8	8,75	2,139	25,1	19,5	7,93	5,78	36
Bauxiet	2	25,8	3,53	2,280	25,1	19,5	11,51	6,55	90
geen	-	26,0	12,78	2,062	25,7	20,0	6,57	4,74	30
Mulliet	15	-	9,80	2,185	24,1	18,6	8,18	5,24	50
Mulliet	15	-	15,23	2,075	24,1	18,6	5,79	4,23	26

De kleinste toename van de wateropneming met een weliswaar kleine afname van de deformatie werd gevonden bij de toeslagstof CaCO₃ (5%). Is alleen een afname van de deformatie van belang, dan geeft bauxiet een goed resultaat. Men vergelijkte hiertoe de in bovenstaande tabel weergegeven getallen betreffende deformatie (kolom 10) en wateropneming (kolom 4) van de cilindres, die bij 1110° C werden gebakken.

Vakvaria

Dolomiet en teer voor staalsmeltovens

Volgens een artikel van McElroy, Stark en Weber in het laatst verschenen augustusnummer van „Brick & Clay” verwacht men dat in de V.S. in 1970 ongeveer 80% van het staal in converters en basische ovens onder inblazen van zuurstof zal worden geproduceerd en dat de voering van ovens en converters dan in de regel uit ongebrande, met teer gebonden dolomietstenen zal bestaan. Per ton staal verbruiken moderne ovens ongeveer 9 kg van dit bekledingsmateriaal en als men dan weet dat de staalproductie in de V.S. nu al naar de 100 miljoen ton per jaar loopt, dan is het duidelijk dat er over een jaar of tien heel wat van dit ongebakken vuurvaste produkt nodig zal zijn. Als tenminste de ontwikkeling zich inmiddels niet al weer van de dolomietsteen met teerbinding zal hebben afgewend.

Voor wie er wat in ziet zij vermeld dat genoemd artikel ook de fabricagemethode van het uit dolomietsteensinter en teer te persen materiaal beschrijft.