



**TEMPO VAN DIREKTE
REDUKSIE VAN KOMPOSIET
KORRELS**

deur

Emil E de Villiers

Voorgelê ter vervulling van 'n deel
van die vereistes vir die graad

**Magistergraad in Metallurgiese
Ingenieurswese**

in die

**Departement Metallurgiese
Ingenieurswese**

Fakulteit Ingenieurswese

Universiteit van Pretoria

1998

SAMEVATTING

Titel : Tempo van direkte reduksie van komposiet korrels
Leier: Prof P C Pistorius
Departement: Metallurgiese Ingenieurswese, Fakulteit Ingenieurswese
Universiteit: Pretoria, RSA
Graad: Magister in Metallurgiese Ingenieurswese

In hedendaagse ysterertsmyne is stukerts die hoofproduk met fyn hematiet as afvalproduk. Fyn magnetiet is ook 'n afvalproduk van kopermynbou in Phalaborwa. Hierdie fyn erts verteenwoordig groot onbenutte ysterbronne. Ystervervaardiging deur middel van die konvensionele hoogoondroete vereis die gebruik van kooks (wat in Suid-Afrika ook 'n kwynende grondstof is) en die sintering of agglomerasie van fyn ystererts. Vanweë die vereistes is die ontwikkeling van alternatiewe ystervervaardigingsprosesse 'n dringendheid. Een so 'n proses bestaan daaruit dat 'n mengsel van fyn ystererts en steenkool gemeng, verkorrel en verhit word. Tydens die verhitting vind reduksie van die ystererts plaas. Daarna word die produk warm gebrikketeer vir gebruik in staalvervaardiging. Tot op datum was daar min studie wat gefokus het op die kinetika van reduksie van fyn ystererts deur fyn steenkool binne-in die korrels self.

In hierdie studie word die reduksie kinetika van sferiese komposiet korrels van magnetiet en verskillende reduceermiddels beskou. Die korrels het 'n diameter van ongeveer 15 mm. Bykans volledige metallisasie word verkry na ongeveer 12 minute by 1300°C. Dwarssnitte van gedeeltelik gereageerde sferiese korrels toon aan dat reaksieverloop in die korrel nie homogeen is nie.

Om temperature te kan meet in so 'n komposiet soos die korrels is groter silindriese korrels is ook beskou. (Diameter ongeveer 60mm) Die temperatuurprofiel wat in die groot silindriese korrels ontwikkel is aanvanklik ongeveer parabolies, met 'n minimum in die senter van die korrel. Met verloop van tyd plat die profiel dan meer af. Hierdie profiel is tipies in 'n proses waar geleidingshitte-oordrag die algehele tempo beheer.

Hierdie eksperimentele resultate gee belangrike riglyne vir die ontwikkeling van 'n wiskundige model om die reaksies in 'n komposiet korrel te beskryf. Hierdie model dien as hulpmiddel om hierdie verskillende eksperimentele resultate met mekaar in verband te bring en die kinetika van die reaksiesistiem numeries te beskryf.

Die model is gebou op die basis van 'n hittebalans oor die korrel en molbalanse van al die betrokke spesies in die korrel. Die model bevat tempovergelykings vir die verskillende reduksie reaksies en die Boudouard reaksie. Hitteoordrag deur middel van geleiding binne in die korrel en straling na die korrel toe is van primêre belang.



Die ontwikkeling van drukgradiënte en gasvloei in die korrel word ook bereken. Die gas wat uit die korrel uitvloei het ook 'n belangrike bydrae tot die oorhoofse hittebalans.

Die vergelykings waaruit die model saamgestel is word opgelos deur die korrel op te deel in 'n aantal konsentriese doppe of silinders (soos 'n ui). Elk van die doppe word dan beskou as 'n ideale terugmengreaktor. 'n Hittebalans oor elke dop saam met 'n molbalans van elke spesie en elke dop word dan saam met die gasvloei en druk vergelykings gelyktydig opgelos vir elke tydsinterval. Die verloop van die reaksies en die ontwikkeling van temperatuur en drukgradiënte word sodoende met verloop van tyd bepaal. Die resultaat van die berekening is 'n beskrywing van die graad van metallisasie of die koolstofinhoud van die korrel as 'n funksie van aanvanklike samestelling, materiaaleienskappe, oondtemperatuur en die tyd wat die korrel in die oond is. Hierdie funksie kan gebruik word om enige proses wat van komposiet korrels gebruik maak te beheer.

Die studie toon aan dat 'n wiskundige model suksesvol aangewend kan word om die kinetika in 'n reagerende komposiet korrel te beskryf. Die studie toon ook dat die tempo van hitteoordrag na en in die komposiet materiaal belangrike faktore is in die ontwerp en optimalisering van prosesse wat van komposiet materiaal gebruik maak. Daar is gevind dat by korrels van die grootte wat getoets is hitteoordrag in die korrels nie beperkend is op die algehele reaksietempo nie. Volgens die modelvoorspellings is die temperatuurgradiënte in die korrel klein. Die studie toon ook aan dat die ontwikkeling van gasdruk binne die komposiet materiaal 'n belangrike invloed het op die chemiese samestelling daarvan. Daarvolgens kan die nie-homogene chemiese samestelling in die sferiese korrel verklaar word. Die bestaan van groot temperatuurgradiënte in die groot silindriese korrels toon aan dat in die groot korrels hitteoordrag in die korrels die algehele reaksietempo beperk.

Verdere studie in verband met komposiet korrels lê in die probleem van die hoë swaelinhoud van die produk. Daar is gevind dat die meeste swael in die steenkool wat as reduseermiddel gebruik word in die finale produk beland. In die toetse wat in die studie gedoen is, was die swaelinhoud te hoog vir gebruik in staalvervaardiging. Metodes om van die swael ontslae te raak kan 'n studie op sy eie regverdig.



SYNOPSIS

Title : Tempo van direkte reduksie van komposiet korrels
Leader: Prof P C Pistorius
Department: Metallurgiese Ingenieurswese, Fakulteit Ingenieurswese
University: Pretoria, RSA
Degree: Magister in Metallurgiese Ingenieurswese

Mining operations produce mainly lumpy iron ore of while most fine hematite is a waste product. Fine magnetite is a waste product of copper mining at Phalaborwa. These materials represent resources for ironmaking. Ironmaking by the conventional blast furnace route requires the use of coking coal (which is a rapidly depleting resource in South Africa) and the agglomeration/sintering of the fine iron ore. These requirements make the development of alternative ironmaking processes a matter of urgency. One such process consists of pelletizing a mixture of fine iron ore and coal, heating the pellets during which reduction takes place, followed by hot briquetting. To date few studies focused on the kinetics of reduction of fine iron ore by fine coal in the confines of the pellet.

In this study the reduction kinetics of single spherical composite pellets of magnetite and different carbonaceous reagents (with diameters around 15 mm) and large cylindrical composite pellets of hematite and coal (with diameter around 60 mm) were investigated. Cross sections of the semi-reacted spherical magnetite-coke pellets showed that compositional gradients developed during the process. Complete metallization was approached in about 12 minutes at 1300°C.

With the cylindrical pellet the radial temperature profile inside the pellet was measured. The temperature profiles that developed inside the large cylindrical pellets were approximately parabolic, with a minimum at the centre. With increasing time the profile flattened out. These profiles are typical of processes of which the rate is controlled by heat transfer.

These experimental results provide important clues for the development of a mathematical model for the reacting of composite pellets. By taking this into account a mathematical model was developed to describe the changes that occur with time. The model was developed on the basis of a mole balance for each species and a energy balance over the pellet. The model takes into account the rates of the various reduction reactions and the Boudouard reaction. The heat transfer by means of conduction inside the pellet and radiation towards the pellet is of primary importance. The development of pressure gradients and gas flow inside the pellet is also calculated. The flow of gas from the pellet contributes a large part of the heat balance.

The model is solved by dividing the pellet in concentric spheres or cylinders (Like an onion). Each of this is considered as an ideally mixed reactor. A heat balance and species balances are then solved simultaneously to calculate at each time interval the proceeding of the different reaction and the development of the temperature profile in the pellet. The result of the calculation is the description of the degree of metallization and carbon content of the pellet as a function of initial mixture composition, materials



properties, temperature of the furnace and the time which the pellet spent in the furnace. This function can be used to control any process that make use of composite pellets.

This study demonstrates that a mathematical model can successfully describe the kinetics of a roasting a composite pellet. The study eventually shows that the rate of heat transfer to the pellet is the most important factor in the designing and optimising of processes in which composite pellets is used. The development of pressure gradients in the pellets is the main cause of the composition gradient in the pellet.

It is recognised that the sulphur content of DRY produced with this process is too high to be useful in any steelmaking today. A separate study should be committed to find a way to get rid of it.



TREFWOORDE

Afrikaans

Wiskundige modellering, Direkte reduksie, Kinetika, Korrels, Ystererts, Steenkool, Reaktiwiteit, Reduseerbaarheid, Hitteoordrag, Direk gereduseerde yster

Engels

Mathematical Modelling, Direct Reduction, Kinetics, Pellets, Iron Ore Fines, Coal, Reactivity, Reducibility, Heat Transfer, Direct Reduced Iron (DRI), Simulation



DANKBETUIGINGS

Prof R.J. Dippenaar wil ek bedank vir die rigting wat hy my gegee het in die begin van die navorsing. Ook mnr NM Vegter bedank ek vir sy hulp.

Ek wil 'n woord van dank rig aan Prof. Pistorius wat deurgaans in die finale stadium van die navorsing my bygestaan het met raad.

Ek is ook baie dank verskuldig aan die twee voorgraadse studente wat my behulpsaam was met die uitvoer van sommige van die eksperimentele werk. Dit is MJ Pretorius en PJ Beukes

Aan ISCOR is ek baie dank verskuldig vir die befondsing van die studie.

Verder my dank aan almal wat behulpsaam was met die verskaffing en analises van grondstowwe



INHOUDSOPGAWE

1. Inleiding	8
1.1 Titel van verhandeling	9
1.2 Oorsprong van die studie	10
1.3 Direkte reduksie	10
1.4 Ander modelle	12
1.5 Agtergrond oor die FASTMET Proses	13
1.5.1 Proses beskrywing	13
1.5.2 Voordele van FASTMET Proses	14
1.5.3 Nadele van die proses	14
1.5.4 Voorgangers van die FASTMET proses	14
1.5.5 Opskaling	15
1.5.6 Bedryf	16
1.5.7 Nuutste oor Midrex se Fastmet proses	16
1.5.8 FASTMET Demonstrasieaanleg by Kakogawa	17
1.5.9 Voorgestelde Vooraf toetswerk	18
1.6 Ten slotte	19
2. Wiskundige Modelling	20
2.1 Ontwikkelingsproses	20
2.2 Die Beginsels van Simulasie wat van toepassing is:	21
2.2.1 Dinamiese balanse	21
2.2.2 Statistiese balanse “Black Box” en rekonsiliasie van data	21
2.2.3 Meganismes en parameters	21
2.3 Voordele van modellering:	22
2.4 Beperkings van modellering:	22
3. Beginsels en Vergelykings vir Berekening van Chemiese en Temperatuurveranderinge in 'n Komposiet Korrel	23
3.1 Inleiding	23
3.2 Balanse	23
3.3 Molbalans	23
3.3.1 Reaksies:	24
3.3.2 Reaksietempo's:	25
3.3.3 Die orde van die reaksies	27
3.4 Energiebalans	28
3.4.1 Inleiding	28
3.4.2 Geleiding	28
3.4.3 Konveksie	28
3.4.4 Industriële situasie	29
3.4.5 Eksperimentele werk in die studie	30



3.4.6	Vergelykings vir tempo waarteen hitte by rand oorgedra word	30
3.4.7	Stralingshitteoordrag	30
3.4.8	Konveksiehitteoordrag	31
3.4.9	Stralingshitteoordrag in 'n buisoond	33
3.4.10	Algemene hittebalans vergelyking	37
3.4.11	Ten laaste	39
3.5	Geleiding	40
3.5.1	Geleidingsvermoë van suiwer komponente	40
3.5.2	Weglaat van straling binne die korrel	41
3.5.3	Bepaling van effektiewe geleidingsvermoë binne die korrel	42
3.5.3.1	Beste model	43
3.5.3.2	Model wat gebruik is	44
3.6	Vergassing van steenkool of kooks	45
3.6.1	Inleiding	45
3.6.2	Reaksies	45
3.6.3	Kinetika	46
3.6.4	Kooksreaktiwiteit	47
3.6.5	Modelle wat die chemiese reaksietempo beskryf	48
3.6.6	Poordiffusie	51
3.6.7	Film laagdiffusie	52
3.6.8	Bron van kooks of steenkool	53
3.6.9	Temperatuur	54
3.6.10	Hitteoordragtempo	54
3.6.11	Katalitiese effekte	55
3.6.12	Samevatting	57
3.6.13	Ten laaste:	58
3.7	Reduksie van Ystererts	59
3.8	Ander reaksies	59
3.8.1	Steenkoolreaksies	59
3.8.2	Oplossing van koolstof in yster	59
3.8.3	Waterstof	60
3.8.4	Onsuiwerhede en Inerte materiaal	60
3.8.5	Swael	60
3.9	Beginsels van gasvloei en massaoordrag effekte binne die korrel	61
3.9.1	Geen drukval	62
3.9.2	Empiries berekende drukval	64
3.10	Struktuurveranderinge	66
3.10.1	Krimping van korrel	66
3.10.2	Sintering van ertspartikels	66
3.11	Termodinamiese aspekte in die studie	68
4.	Numeriese oplossing van massabalans en energiebalans	69
4.1	Eendimensionele diskretisering: Indeling van korrel in konsentriese doppe	69
4.1.1	Omgewing:	69



4.1.2 Opdeling	69
4.2 Uiteensetting van berekeninge	70
4.2.1 Voorafberekeninge	70
4.2.1.1 Tempokonstantes:	73
4.2.2 Iteratiewe berekeninge	74
4.2.2.1 Al die veranderlikes in elke reaktor:	74
4.2.2.2 Voltooiing van die materiaalbalans.....	75
4.2.2.3 Voltooiing van energiebalans.....	76
4.2.3 Finale berekeninge	76
4.3 Oplos van die tempovergelykings saam met die materiaalbalans.....	77
4.3.1 FeO-reduksie met Boudouardtempovergelyking	77
4.3.2 Verdere uitbreiding van oplossing	80
4.3.2.1 Meer reduksie reaksies wat deelneem	80
4.3.2.2 Verdere uitbreiding na Langmuir model vir koolstof vergassing	83
4.3.2.3 Uitbreiding na aaneengeskakelde reaktore.....	84
4.3.3 Volledige benadering	85
4.4 Bepaling van gasvloei tempo's en druk	86
4.5 Energiebalans	88
5. Eksperimentele Resultate	90
5.1 Inleiding	91
5.2 Effek van samestelling en tyd	92
5.2.1 Inleiding	92
5.2.2 Grondstowwe	92
5.2.3 Chemiese resultate.....	93
5.2.3.1 Swaelinhoud.....	93
5.2.3.2 Koolstofinhoud van produk.....	95
5.2.3.3 Metallisasie	96
5.2.3.4 Asinhoud	97
5.2.3.5 Akkuraatheid van resultate.....	98
5.2.3.6 Aanbevelings.....	99
5.2.4 Verder verwerking van resultate van eerste toetse	99
5.3 Effek van Temperatuur.....	100
5.3.1 Bepaling van kinetiese konstantes.....	101
5.4 Effek van korrelgrootte	102
5.5 Meting van konsentrasieprofiel in 'n gereageerde korrel	103
5.6 Meting van temperatuurgradiënte	104
6. Resultate van modellering	105
6.1 Toetsing van model aan eksperimentele resultate.....	106
6.1.1 Globale chemiese resultate.....	106
6.1.2 Samestellingsprofiel in korrels.....	107
6.1.3 Temperatuurprofiel in silindriese korrels	108
6.1.4 Grootte van korrels.....	109
6.2 Faktore wat algehele reaksietempo bepaal.....	110



6.2.1 Inleiding	110
6.2.2 Reaksietempo's van chemiese reaksies	110
6.2.2.1 Tempo van vergassing (Boudouard reaksie)	111
6.2.2.2 Tempo van reduksiereaksies	111
6.2.2.3 Afleiding	112
6.2.3 Tempo van hitteoordrag na en in die korrel	113
6.2.3.1 Inleiding	113
6.2.3.2 Normale situasie	114
6.2.3.3 Homogene temperatuur in korrel	116
6.2.3.4 Konstante temperatuur in korrel	118
6.2.3.5 Oondtemperatuur	119
6.2.3.6 Emisiwiteit	121
6.2.3.7 Geometriese vorm (Of effektiewe blootgestelde area)	122
6.2.3.8 Geleidingsvermoë	125
6.2.3.9 Grootte van korrels	126
6.2.3.10 Aanvanklike porositeit	127
6.2.4 Gasdruk in die korrel	127
6.3 Ander Effekte	130
6.3.1 Effek van vlugstowwe	130
6.3.2 Aanvanklike samestelling	130
7. Gevolgtrekkings	131
A. Literatuurlys:	132
9. Bylae	135
9.1 Eksperimentele metodes	135
9.1.1 Ondersoek na effek van tipe reduseermiddel	135
9.1.2 Eksperimentele metode vir bepaling van beeldanalises (volume fraksie metaal)	136
9.1.3 Eksperimentele opstelling vir enkelkorreltoetsing	138
9.2 Verder verwerkte resultate van eerste reeks toetse	140
9.3 Eksperimentele data in onwerkte vorm	141
9.3.1 Eerste reeks toets	141
9.3.2 Tweede reeks toetse onverwerkte data	144
9.3.3 Resultate van eerste reeks toetse verwerkte waardes	145
9.3.4 Mikroskopiese foto's van snitte deur korrels	146
9.4 Rekenaarprogram	153

LYS VAN FIGURE

<i>Nommer</i>	<i>Bladsy</i>
Figuur 1-1 Gedeeltelik gereduseerde ertspartikel	11
Figuur 3-1 Hitteoordrag na sfeer	33
Figuur 3-2 Skematiese voorstelling van 'n snit deur die helfte van die boonste helfte van die buisoond	35
Figuur 3-3 Temperature soos gesien deur korrel in buisoond.....	36
Figuur 3-4 Relatiewe hoeveel van wat korrel sien van oondoppervlak	36
Figuur 3-5 Hittevloed na korreloppervlak.....	37
Figuur 3-6 Effek van koue ente.....	37
Figuur 3-7 Voorstelling van model vir berekening van effektiewe geleidingsvermoë	43
Figuur 3-8 Mikroskopiese beeld van korrel met 90% metallisasie by ongeveer 100x vergroting	67
Figuur 3-9 Grootteverspreiding van grondstowwe	67
Figuur 3-10 Termodinamiese ewewigte (Stephenson R L, 1980 p 33)	68
Figuur 4-1 Opdeling in doppe	69
Figuur 4-2 Oplos van tempovergelykings met grafiese metode	82
Figuur 4-3 Verband tussen fraksie CO en 'n tempoparameter	85
Figuur 4-4 Voorstelling van energiebalans in diskrete vorm.....	89
Figuur 5-1 Swaelinhoud.....	94
Figuur 5-2 Totale koolstofinhoud	95
Figuur 5-3 Metallisasie	96
Figuur 5-4 Asinhoud	97
Figuur 5-5 Assamestelling	98
Figuur 5-6 Akkuraatheid van resultate.....	98
Figuur 5-7 Effek van oondtemperatuur op die reaksietempo (Kooks as reduktant).....	101
Figuur 5-8 Effek van korrelgrootte	102
Figuur 5-9 Temperatuurgradiënte in silindriese korrel	104
Figuur 6-1 Temperatuurdata passing.....	106
Figuur 6-2 Samestellingsprofiel deur korrel (antrasiet)	107
Figuur 6-3 Samestellingsprofiel deur korrel (grafiet)	107
Figuur 6-4 Temperature in silinderkoek.....	108
Figuur 6-5 Temperatuurprofiel in silinderkoek	108
Figuur 6-6 Effek van korrelgrootte	109
Figuur 6-7 Effek van variasie van tempokonstante van Boudouardreaksie op algehele reaksietempo	111
Figuur 6-8 Effek van variasie van tempokonstante van wustiet reduksie op algehele reaksietempo	112



Figuur 6-9 Effek van variasie van tempokonstante van magnetiet reduksie op algehele reaksietempo	112
Figuur 6-10 Verskillende hipotetiese gevalle.....	113
Figuur 6-11 Temperatuurverloop vir verskillende hipotetiese gevalle	114
Figuur 6-12 Normale Model	115
Figuur 6-13 Normale Model	115
Figuur 6-14 Homogene temperatuur model.....	117
Figuur 6-15 Homogene temperatuur model.....	117
Figuur 6-16 Konstante temperatuur model	118
Figuur 6-17 Konstante temperatuur model	119
Figuur 6-18 Effek van oondtemperatuur op algehele reaksietempo	120
Figuur 6-19 Effek van Oondtemperatuur op algehele reaksietempo	120
Figuur 6-20 Effek van verandering van emisiwiteit op algehele reaksietempo .	121
Figuur 6-21 Verandering in temperatuurprofiel met tyd in sferiese korrel.....	122
Figuur 6-22 Verandering van temperatuurgradiënt in komposiet plaat met tyd	122
Figuur 6-23 Chemiese toestande in sferiese komposiet met verloop van tyd....	123
Figuur 6-24 Chemiese toestande in plaatvormige komposiet met verloop van tyd	123
Figuur 6-25 Chemiese toestande in sferiese komposiet met verloop van tyd....	124
Figuur 6-26 Chemiese toestande in sferiese komposiet met verloop van tyd....	124
Figuur 6-27 Veranderinge in geleidingsvermoë met tyd	126
Figuur 6-28 Verandering in gasdruk in senter van korrel met verloop van tyd .	128
Figuur 6-29 Verandering van gasdruk in korrel met tyd as 'n funksie van posisie	129
Figuur 6-30 Byvoeging van ekstra koolstof.....	130
Figuur 9-1 Oond en aflussisteem	138
Figuur 9-2 Korrel in mandjie	139
Figuur 9-3 Kinetika met kooks as reduseermiddel.....	140
Figuur 9-4 Kinetika met antrasiet as reduseermiddel.....	140
Figuur 9-5 Kinetika met Leeupan steenkool as reduseermiddel	140
Figuur 9-6 Kinetika met grafiet as reduseermiddel.....	141
Figuur 9-7 Mikroskopiese beelde van 'n snit deur 'n gereageerde korrel (Antrasiet as reduseermiddel).....	146
Figuur 9-8 Mikroskopiese beelde van snit deur gereageerde korrel na 12 minute, Grafiet as reduseermiddel.....	149

LYS VAN TABELLE

<i>Nommer</i>	<i>Bladsy</i>
Tabel 1-1 Bedryfsparameters vir RHO (per ton DRY geproduseer) (Lepinsky, 1991).....	16
Tabel 1-2 Tipiese chemiese samestelling van ertse gebruik in Midrex se Fastmet toets (persentasie) (Hoffman en Harada, 1997).....	17
Tabel 1-3 Tipiese chemiese samestelling van steenkool gebruik in Fastmet toets	17
Tabel 3-1 Tipiese waardes wat in eksperimentele opstelling en model gebruik is	32
Tabel 3-2 Gasvloei in oondbuis se eienskappe	32
Tabel 3-3 Tipiese waardes verkry vir tempo van hitteoordrag na 'n sferiese korrel by verskillende temperature van die korrel se oppervlak (Oondtemperatuur 1300°C)	32
Tabel 3-4 Reaksies van koolstof met oksiderende gasse	45
Tabel 4-1 Digtheid van verskillende komponente gebruik in model	71
Tabel 4-2 Massagetalle van komponente	71
Tabel 4-3 Liniere benaderings van entalpiefunksie van komponente (Melacon, 1998)	71
Tabel 4-4 Samestelling van komponente: Erts.....	72
Tabel 4-5 Samestelling van komponente : Steenkool	72
Tabel 4-6 Begintoestande van model	72
Tabel 4-7 Berekende hoeveelhede vir model	72
Tabel 4-8 Begin molhoeveelhede vir model	73
Tabel 4-9 Tempokonstantes van chemiese vergelykings.....	73
Tabel 5-1 Verwerkte chemiese analyses van voorlopige toetse	93
Tabel 5-2 Tempokonstantes van Boudouardreaksie bepaal uit eerste reeks toetse	99
Tabel 5-3 Fraksie metallisasie van korrels na verskillende tye by verskillende oondtemperature.....	100
Tabel 9-1 Samestellings wat getoets is (massa persent reduseermiddel)	135
Tabel 9-2 Chemiese analyses van grondstowe wat gebruik is in die toetswerk .	141
Tabel 9-3 Rou chemiese data eerste toetsreeks	142
Tabel 9-4 Grootteverspreiding van grondstowwe gebruik.....	143
Tabel 9-5 Partikelgrootte.....	143
Tabel 9-6 Partikel deurlaatgrootte.....	143
Tabel 9-7 Massadata in gram na verskikkelende tye van behandeling van met 15% kooks as reduseermiddel	144
Tabel 9-8 Massa in gram van toets waar korrel van verskillende diameters almal 10 minute by 1300°C behandel is (samestelling selfde as vorige).....	144
Tabel 9-9 Massadata van korrels getoets by verskillende temperature, materiaal selfde as in vorige tabel	145