

62.1976/003

GS
73/

Mei 1976

Onderzoek naar de mogelijke invloed van het
percentage ferriet in een austenitische las
op de gevoeligheid voor waterstofscheuren in
de warmteïnvloedszone van koolstofstaalsoorten

door: P.J.M. Janssen

onder leiding van: Prof. Dr. Ir. H.G. Geerlings
Ir. W.P. van den Blink
Ir. J. Kapteijn

deel B: tabellen, figuren en foto's

TECHNISCHE HOGESCHOOL DELFT
BIBLIOTHEEK METAALKUNDE

gs
73/II

tabellen

TECHNISCHE HOGESCHOOL DELFT
BIBLIOTHEEK METAALKUNDF

Tabel 1. Analyse van de basismaterialen.

code	gewichtsperscentage											Ni _{eq}	Cr _{eq}
	C	Si	Mn	P	Cr	Ni	Mo	Cu	Ti	V	Nb		
armco	0,049	0,01	0,03	0,002	<0,01	0,08	-	0,08	<0,01	-	<0,01	1,57	0,02
0301	0,105	0,29	0,33	0,023	0,10	0,09	0,02	0,22		0,02		3,41	0,56
0402	0,21	0,42	0,59	0,013	0,21	0,11	0,03	0,12		0,01		6,71	0,87
1720	0,34	0,40	0,59	0,015	0,21	0,20	0,02	0,23		0,01		10,70	0,83
RM4	0,37	0,52	0,45	0,013	0,19	0,21	0,02	0,36		0,01		11,54	0,99
1740	0,59	0,22	0,77	0,024	0,22	0,06	0,02	0,10		0,01		18,15	0,57
1750	0,77	0,39	0,81	0,038	0,23	0,10	0,02	0,23		0,06		23,61	0,84
1830	0,83	0,13	0,70	0,005	0,03	0,03	0,02	0,05		0,01		22,28	0,25
1650	1,04	0,46	0,17	0,011	0,10	0,08	0,01	0,15		0,02		31,37	0,80
WIZ12	1,15	0,35	0,24	0,003	0,08	0,07	0,02	0,14		0,01		34,69	0,63
elektrode	0,12	0,9	1		29	9						13,1	30,35

Tabel 2. Analyse van het lasmetaal.

las gelegd op code	gewichtsperscentage in											
	las 1			las 2			las 3			las 4		
	C	Cr	Ni	C	Cr	Ni	C	Cr	Ni	C	Cr	Ni
armco	0,09	22,09	6,61	0,10	22,45	7,48	0,08	21,47	6,31	0,09	19,28	5,73
0301	0,10	21,44	6,17	0,11	22,75	6,98	0,10	19,36	6,03	0,11	18,96	5,79
0402	0,13	21,08	6,26	0,14	22,80	6,79	0,14	18,22	5,50	0,15	19,29	5,64
1720	0,19	20,65	6,33	0,18	21,70	6,46	0,19	21,33	5,62	0,19	18,03	5,52
RM4	0,21	20,20	6,11	0,24	21,07	6,35	0,19	18,78	5,47	0,20	20,32	6,02
1740	0,26	20,23	6,09	0,25	20,98	6,20	0,30	17,35	5,26	0,27	20,10	6,38
1750	0,34	19,35	6,24	0,31	21,25	5,60	0,39	18,01	5,33	0,35	18,68	5,41
1830	0,38	19,96	5,90	0,32	21,71	6,12	0,39	18,19	5,45	0,37	19,17	5,24
1650	0,37	21,63	6,67	0,35	23,11	6,89	0,44	19,26	5,40	0,52	18,04	4,93
WIZ12	0,48	19,46	6,07	0,43	20,39	6,20	0,54	21,02	5,25	0,52	17,02	5,34

Tabel 3. Gemeten en berekende grootheden.

s = voortloopsnelheid tijdens het lassen in mm/s

G = neergelegde hoeveelheid lasmetaal in g/mm

opm. = opmengverhouding, waarbij in de tabel vermeld is het deel in het lasmetaal dat van het basis-
materiaal afkomstig is

"S"ferr. = percentage ferriet in het austenitische lasmetaal zoals dat m.b.v. de chemische analyse
uit het Schaefflerdiagram bepaald is, met als $Cr_{eq} = \%Cr$ en $Ni_{eq} = \%Ni + 30 \cdot \%C$

"Q"ferr. = percentage ferriet in het austenitische lasmetaal, bepaald m.b.v. de Quantimet

basis materiaal code	las 1					las 2					las 3					las 4				
	1/s	G g/mm	opm.	"S" ferr.	"Q" ferr.	1/s	G g/mm	opm.	"S" ferr.	"Q" ferr.	1/s	G g/mm	opm.	"S" ferr.	"Q" ferr.	1/s	G g/mm	opm.	"S" ferr.	"Q" ferr.
armco	0,28	0,0859	0,25	26,5	24,8	0,39	0,1028	0,22	18,9	20,5	0,32	0,0924	0,29	29,0	20,8	0,20	0,0587	0,35	16,6	17,8
0301	0,36	0,1035	0,28	23,5	19,2	0,36	0,1111	0,24	21,4	23,5	0,27	0,0853	0,34	14,4	12,7	0,18	0,0554	0,37	12,5	15,4
0402	0,33	0,0908	0,31	15,7	14,4	0,35	0,1081	0,25	17,7	16,8	0,18	0,0509	0,41	7,8	9,1	0,20	0,0615	0,35	9,7	10,6
1720	0,28	0,0915	0,31	7,6	10,0	0,37	0,1138	0,27	11,3	16,1	0,21	0,0630	0,34	12,8	7,8	0,19	0,0536	0,35	2,4	7,8
RM4	0,25	0,0846	0,35	5,5	10,4	0,37	0,1004	0,33	4,9	15,3	0,25	0,0714	0,35	5,1	7,0	0,23	0,0728	0,32	6,7	11,4
1740	0,32	0,1070	0,31	1,1	6,3	0,33	0,0932	0,31	4,0	6,2	0,19	0,0616	0,40	0,0	0,0	0,24	0,0773	0,31	2,2	4,8
1750	0,27	0,0789	0,32	0,0	0,0	0,32	0,1104	0,31	1,5	6,3	0,21	0,0652	0,40	0,0	0,0	0,22	0,0669	0,39	0,0	3,1
1830	0,38	0,0979	0,35	0,0	0,0	0,33	0,1145	0,28	0,2	10,1	0,20	0,0605	0,39	0,0	0,0	0,22	0,0731	0,36	0,0	0,0
1650	0,37	0,1125	0,28	0,0	0,0	0,31	0,1020	3,24	0,0	0,0	0,17	0,0570	0,38	0,0	0,0	0,20	0,0570	0,42	0,0	0,0
WIZ12	0,37	0,0997	0,34	0,0	0,0	0,33	0,1075	0,29	0,0	0,0	0,18	0,0571	0,38	0,0	4,8	0,20	0,0647	0,42	0,0	0,0

Tabel 4a. Gegevens betreffende de diffundeerbare waterstof en de gevonden waterstofscheuren.

H₂ patroon = door het proefstuk in een paraffinebad te dompelen, ontstond onder een plastic plaatje een belletjes-patroon van uit het proefstuk gediffundeerde waterstof.

De plaats is als volgt aangegeven: s = lasstart

k = laskrater

V_H = de uit een parallelproefstuk gediffundeerde hoeveelheid waterstof per 100g neergelegd lasmetaal bij standaardomstandigheden in mlH₂/100g (0°C, 1 atm).

H₂ sch. = totale lengte van de waterstofscheuren/totale laslengte.

Las 1 en 3 zijn gelegd met elektroden uit de droogkast, las 2 en 4 met bevochtigde elektroden.

basism. code	las 1			las 2			las 3			las 4		
	H ₂ patroon	V _H	H ₂ sch.	H ₂ patroon	V _H	H ₂ sch.	H ₂ patroon	V _H	H ₂ sch.	H ₂ patroon	V _H	H ₂ sch.
armco	geen	0,9	—	geen	0,3	—	geen	0,3	—	geen	0,9	—
0301	"	1,0	—	"	1,0	—	"	0,8	—	"	1,1	—
0402	"	2,6	—	"	2,9	—	"	0,9	—	"	0,4	—
1720	"	0,7	—	"	1,3	—	"	0,5	—	"	0,3	—
RM4	"	1,5	—	"	0,5	—	"	0,4	—	"	0,3	—
1740	s k	2,1	0,034	s k	0,5	0,283	s	0,4	0,221	s	0,3	0,400
1750	s	2,5	0,003	s k	1,0	0,078	s	0,6	0,000	geen	0,5	0,436
1830	s	?	0,004	s	0,8	0,120	s	0,4	0,001	geen	0,3	0,069
1650	s k	0,6	0,242	s	3,6	0,089	geen	1,5	0,000	s	0,3	0,124
WIZ12	s	?	0,003	geen	3,2	0,005	s	0,6	0,000	s	0,2	0,000

Tabel 4b. Gegevens betreffende de gevonden hardingsscheuren.

s. sch. = lengte van de hardingsscheur onder de lasstart/totale laslengte

k. sch. = lengte van de hardingsscheur onder de laskrater/totale laslengte

basism. ccde	las 1		las 2		las 3		las 4	
	s. sch.	k. sch.	s. sch.	k. sch.	s. sch.	k. sch.	s. sch.	k. sch.
armco	—	—	—	—	—	—	—	—
0301	—	—	—	—	—	—	—	—
0402	—	—	—	—	—	—	—	—
1720	—	—	—	—	—	—	—	—
RM4	—	—	—	—	—	—	—	—
1740	0,095	0,009	0,222	0,033	0,067	0,025	0,218	0,013
1750	0,073	0,031	0,130	0,022	0,071	0,024	0,028	0,043
1830	0,052	0,000	0,077	0,007	0,049	0,023	0,122	0,018
1650	0,097	0,017	0,032	0,024	0,021	0,009	0,062	0,000
WIZ12	0,021	0,000	0,011	0,012	0,018	0,011	0,039	0,000

Tabel 5. Rekenkundige gemiddelden van de gemeten hardheden.

De vermelde hardheden zijn volgens Vickers; de belasting was 100g.

De afstanden zijn gemeten t.o.v. de smeltlijn, de negatieve getallen geven de afstanden in het lasmetaal, de positieve in het basismateriaal.

basism. code	HV gemeten op een afstand (in mm) t.o.v. de smeltlijn.													
	-1,2	-0,9	-0,6	-0,3	-0,0	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0
armco	269	291	262	258	345	180	179	183	176	164	149	142	142	137
0301	255	259	272	263	385	264	230	198	189	180	171	165	153	155
0402	267	297	265	301	446	395	441	350	266	213	186	177	166	162
1720	254	262	263	268	423	494	578	493	332	236	209	198	197	187
RW4	259	278	279	291	411	502	623	516	385	283	244	230	210	206
1740	272	282	269	272	355	738	920	796	551	337	247	238	232	228
1750	279	281	281	285	449	891	969	816	401	249	236	230	229	232
1830	268	277	282	293	342	819	965	790	435	263	245	231	225	230
1650	288	297	300	291	422	867	900	602	329	233	211	204	209	198
WIZ12	278	293	294	296	408	806	820	619	375	250	216	215	206	206

Tabel 6. Percentages "Quantimet"-ferriet en hun standaarddeviatie.

code	las 1		las 2		las 3		las 4	
	% "Q"ferr.	St. dev. σ	% "Q"ferr.	St. dev. σ	% "Q"ferr.	St. dev. σ	% "Q"ferr.	St. dev. σ
armco	24,8	3,2	20,5	2,6	20,8	4,9	17,8	2,9
0301	19,2	2,8	23,5	2,5	12,7	2,7	15,4	6,2
0402	14,4	2,6	16,8	4,2	9,1	4,3	10,6	4,9
1720	10,0	4,4	16,1	3,2	7,8	3,9	7,8	4,7
RM4	10,4	3,8	15,3	4,3	7,0	3,9	4,4	4,1
1740	6,3	4,0	6,2	3,8	0	—	4,8	3,0
1750	0	—	6,3	3,7	0	—	3,1	1,6
1830	0	—	10,1	3,5	0	—	0	—
1650	0	—	0	—	0	—	0	—
WIZ12	0	—	0	—	4,8	1,1	0	—

Tabel 7. Gegevens gebruikt voor figuur 23 en 25.

% C = het gewichtspercentage koolstof in het basismateriaal.

"S"% = het rekenkundige gemiddelde percentage "Schaeffler"ferriet van vier lassen.

HV = de maximale gemeten hardheid in de warmteïnvloedszone op 0,5 mm van de smeltlijn.

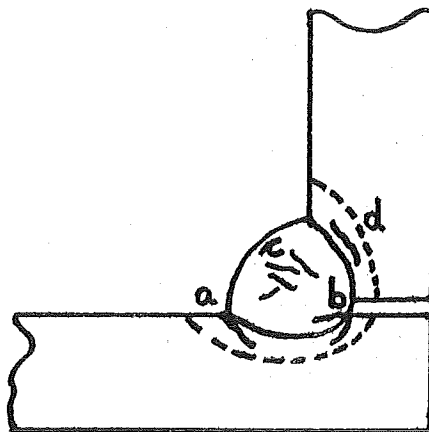
H₂ scheuren = het rekenkundige gemiddelde over vier lassen van de gescheurde fractie te wijten aan waterstof.

code	% C	"S" %	HV op 0,5 mm	H ₂ scheuren
armco	0,049	22,8	179	0
0301	0,105	18,0	230	0
0402	0,21	12,7	441	0
1720	0,34	8,5	578	0
RM4	0,37	5,6	623	0
1740	0,59	1,8	920	0,235
1750	0,77	0,4	969	0,129
1830	0,83	0,1	965	0,049
1650	1,04	0,0	900	0,114
WIZ12	1,15	0,0	820	0,002

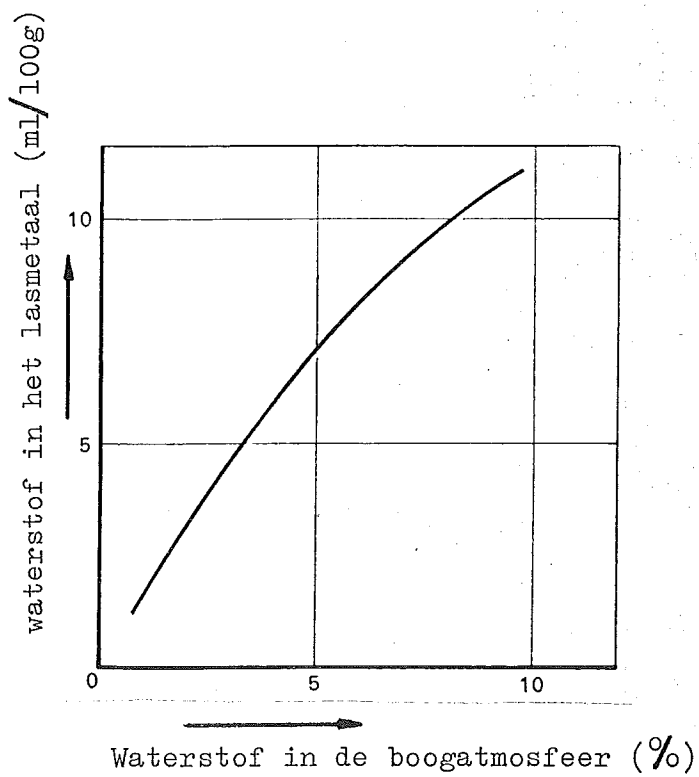
figuren

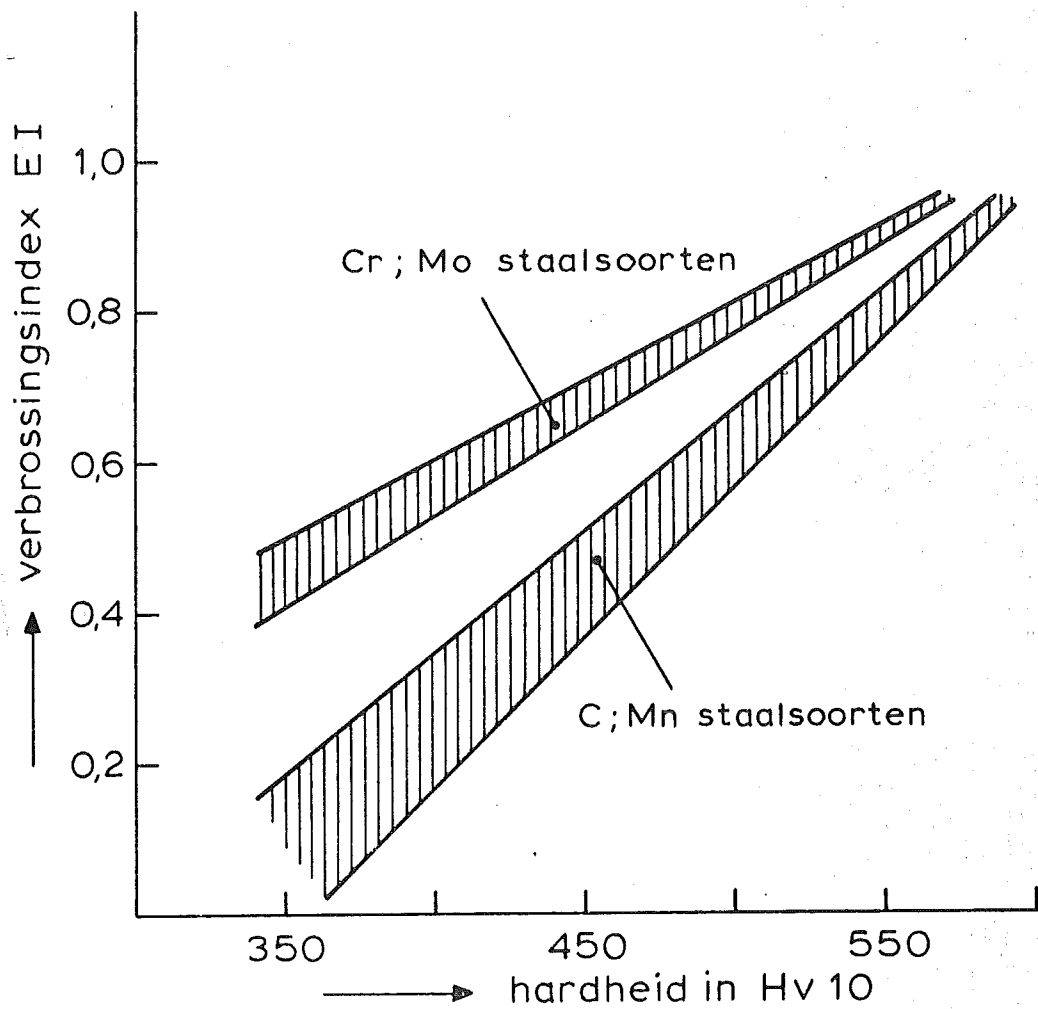
Figuur 1. Enkele typen scheuren.

- a. randscheuren
- b. scheuren in de wortel van de las
- c. microscheuren
- d. scheuren onder de las.



Figuur 2. Verband tussen waterstof in de boogatmosferaer en in het lasmetaal.

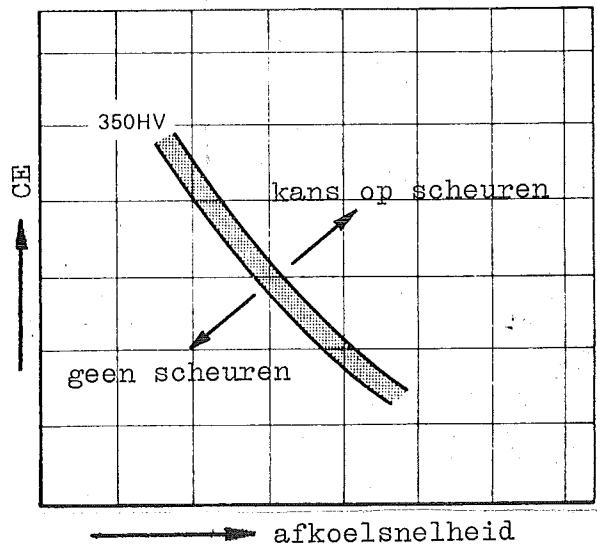




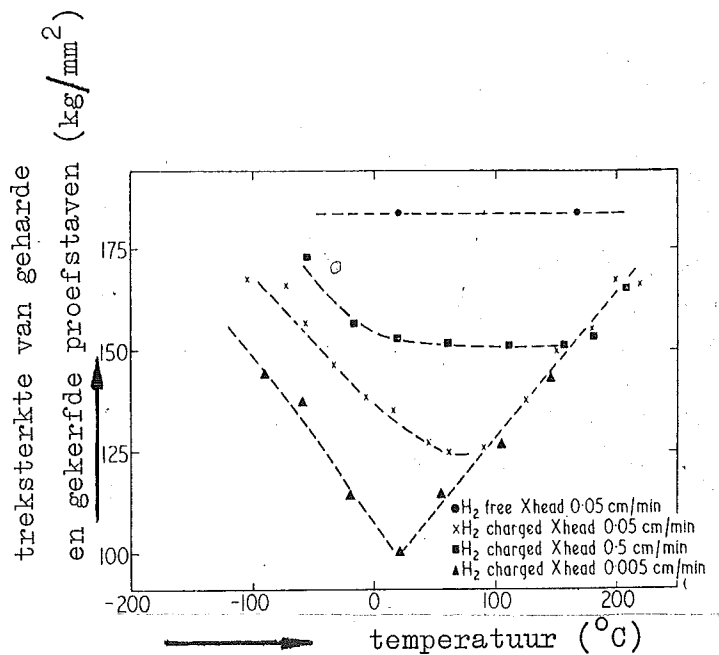
Figuur 3 De invloed van de hardheid op de gevoeligheid voor waterstofscheuren uitgedrukt in de verbrossingsindex EI voor verschillende typen staalsoorten.

$EI = \frac{\sigma_B - \sigma_H}{\sigma_B}$, waarin σ_B de breuksterkte voorstelt en σ_H de minimale breuksterkte bij "constant load" proeven met proefstaven die beladen zijn met waterstof.

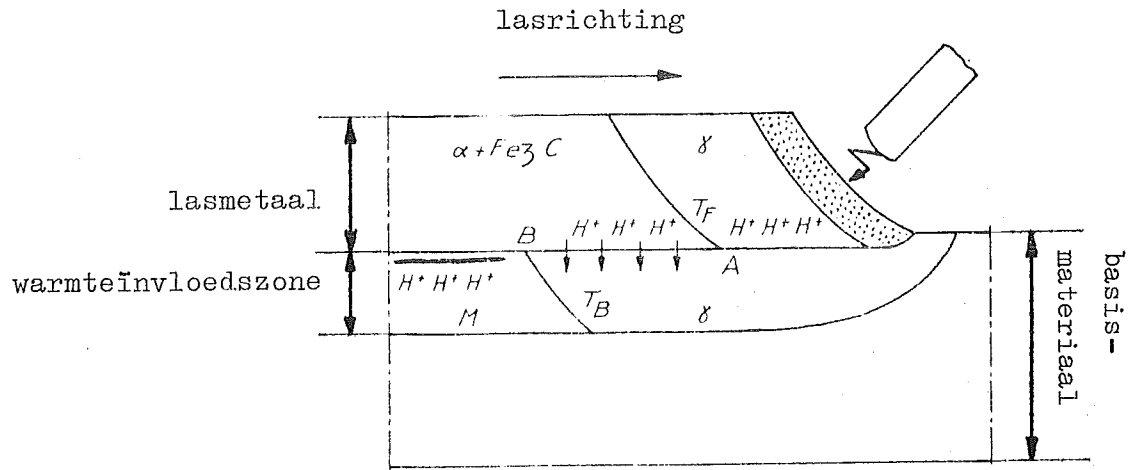
Figuur 4. De hardheid van C-Mn staalsoorten is afhankelijk van de chemische samenstelling (weergegeven door het koolstofeq. CE) en de afkoelsnelheid. Bij een grotere hardheid dan een kritische (hier 350 HV) heeft men kans op scheuren, bij een kleinere niet.



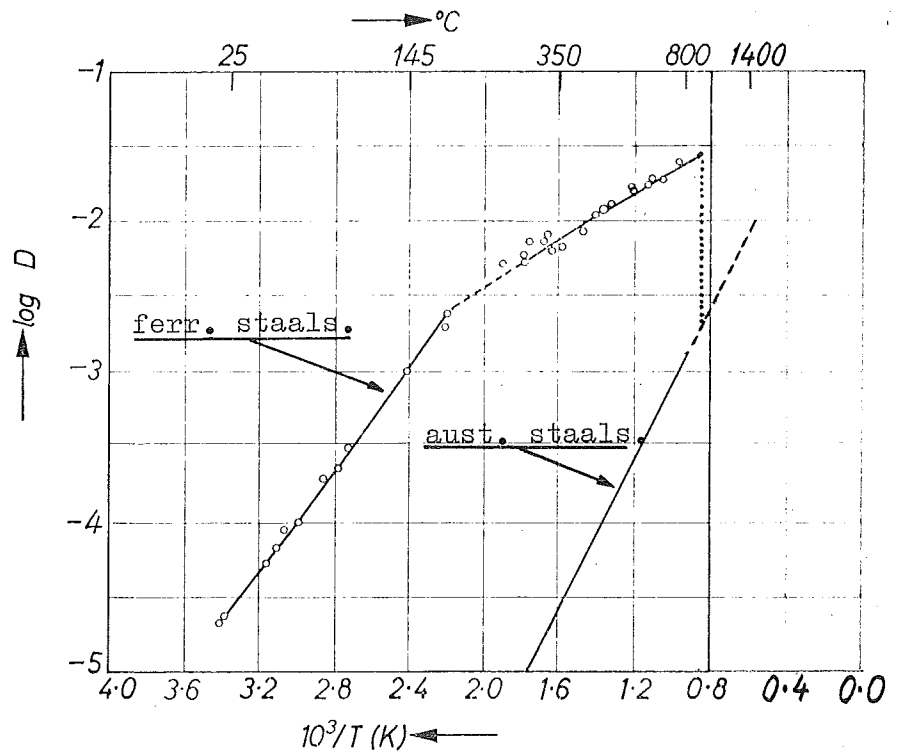
Figuur 5. Voor verschillende constante reksnelheden en al dan niet met waterstof beladen is de treksterkte van geharde proefstaven met een kerf bepaald, afhankelijk van de temperatuur.



(Xhead = crosshead speed = reksnelheid)



Figuur 6. Verklaring van het mechanisme van waterstofscheuren in de warmteïnvloedszone.



Figuur 7. De diffusiecoëfficiënt van waterstof D (mm^2/s) afhankelijk van de temperatuur in ferritische en austenitische staalsoorten.

Figuur 8. De oplosbaarheid van waterstof in ijzer bij een waterstofdruk van 1 atm. in gewichtspercentages versus de temperatuur in °C.

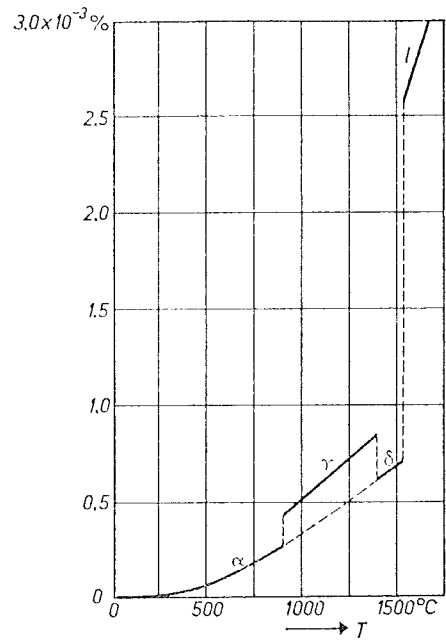


Fig. 9. De in staal atomair opgeloste waterstof is in evenwicht met moleculaire waterstof. Rekening houdend met afwijkingen van het ideale gedrag is de evenwichtsdruck p van de moleculaire waterstof berekend en weergegeven als functie van de concentratie c van de atomaire waterstof voor een temperatuur van 20 °C. (Ontleend aan G. Vibraus, Arch. Eisenhüttenw., 32, 667, 1961.)

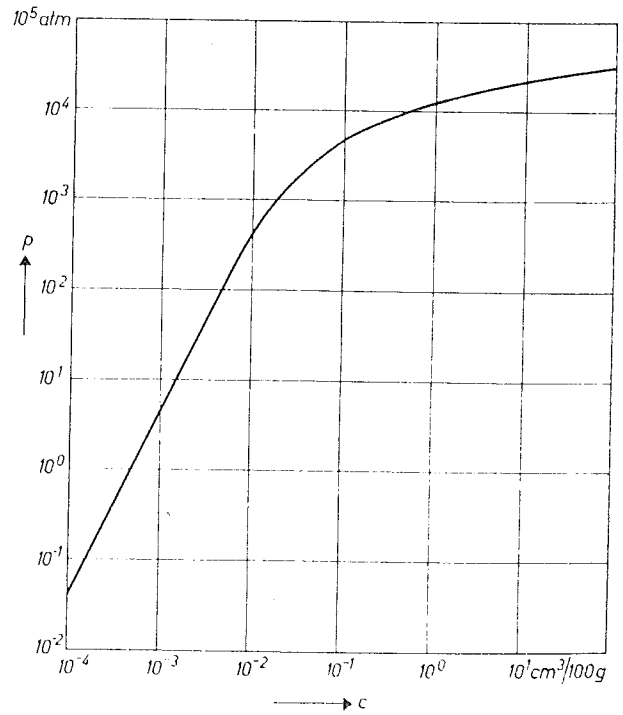


Fig. 10. Ter illustratie van het mechanisme van de vorming van een scheurkiem, voorgesteld door Zener en Stroh. De dislocaties bewegen zich in de pijlrichting langs een glijvlak (links), en de voorste ervan zijn tot staan gebracht tegen een obstakel (insluitseel of kristalgrens). Onder de druk van de nakomende dislocaties zijn er drie saamsmoltlen, waardoor een wigvormige holte (de scheurkiem) is ontstaan (rechts).

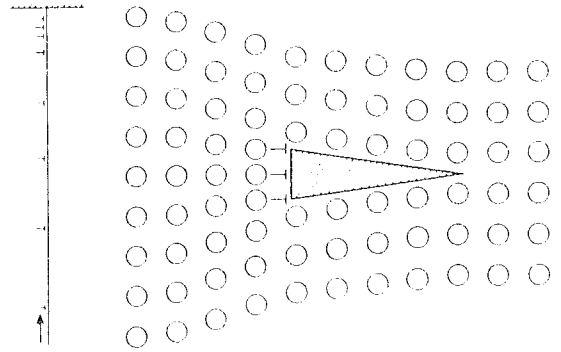
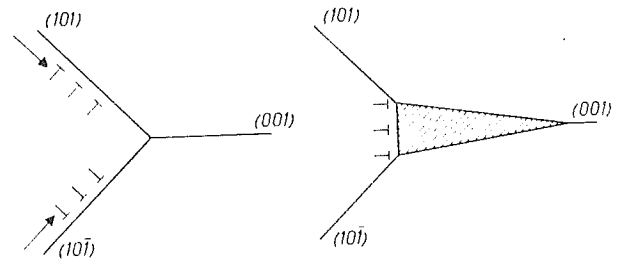


Fig. 11. Volgens Cottrell ontstaan in ijzer scheurkiemen in {100}-vlakken (de splitsvlakken) door saamsmeltling van dislocaties die zich langs twee snijdende {110}-vlakken (de glijvlakken) naar elkaar toe bewegen.

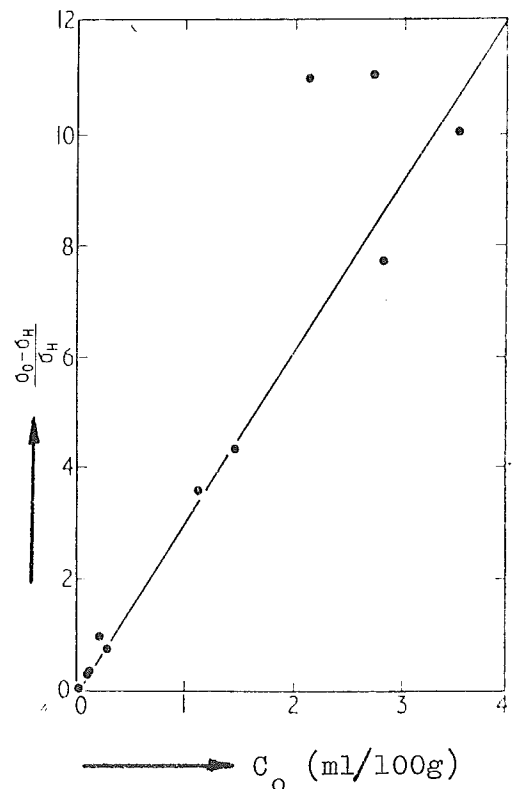


Figuur 12. Het verband tussen C_O en $(\sigma_o - \sigma_H)/\sigma_H$ is een rechte lijn.

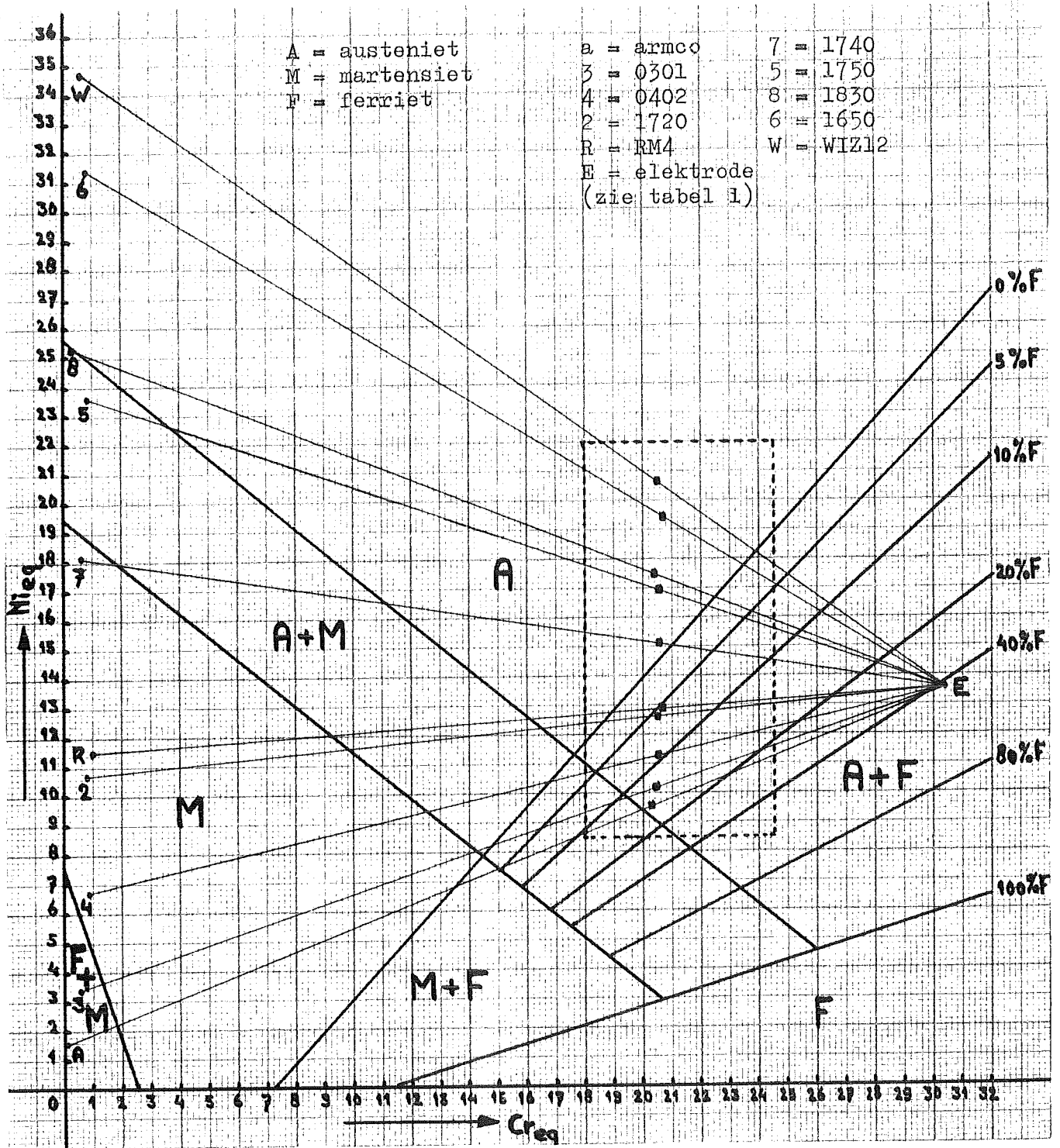
C_O = totale waterstofconcentratie (H) (in ml/100g)

σ_o = treksterkte van geharde en gekerfde proefstaven zonder waterstof

σ_H = treksterkte van geharde en gekerfde proefstaven met waterstof beladen



De reksnelheid was steeds constant: 0,04 cm/min., getrokken werd bij kamertemperatuur.



Figuur 13. Het Schaefflerdiagram.

horizontaal is uitgezet:

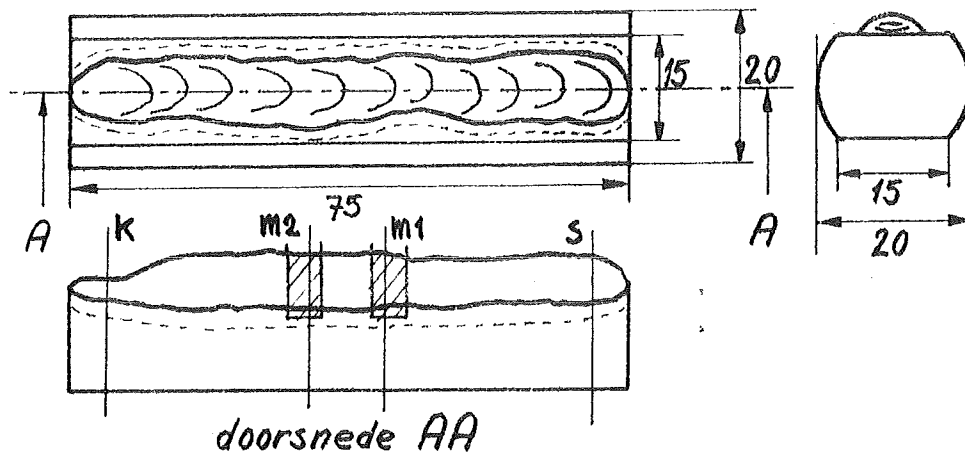
$$Cr_{eq} = \%Cr + 1,5 \cdot \%Si + 0,5 \cdot \%Nb + \%Mo$$

verticaal is uitgezet:

$$Ni_{eq} = \%Ni + 30 \cdot \%C + 0,5 \cdot \%Mn$$

De dunne lijnen verbinden de punten die de samenstelling van de basismaterialen en de elektrode weergeven.

■ = de punten welke de lasmetaalsamenstellingen weergeven bij een opmengverhouding basismateriaal : elektrode = 1 : 2.




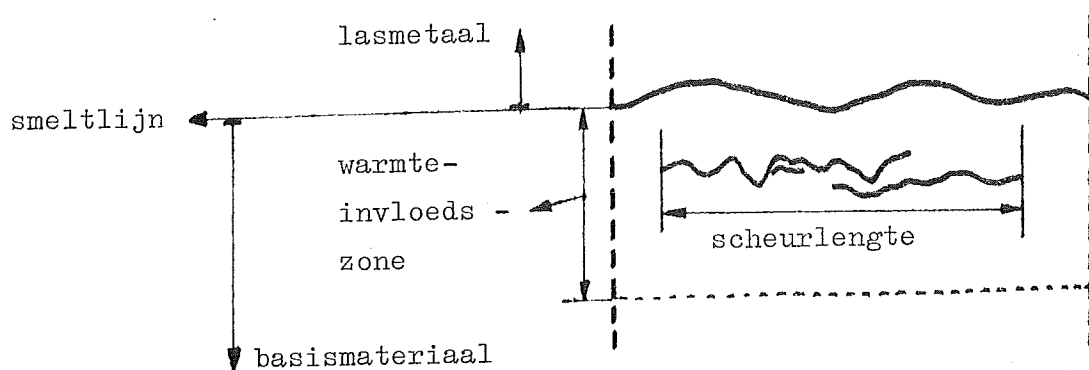
Figuur 14. De vorm van het proefstuk.

s = start van de las

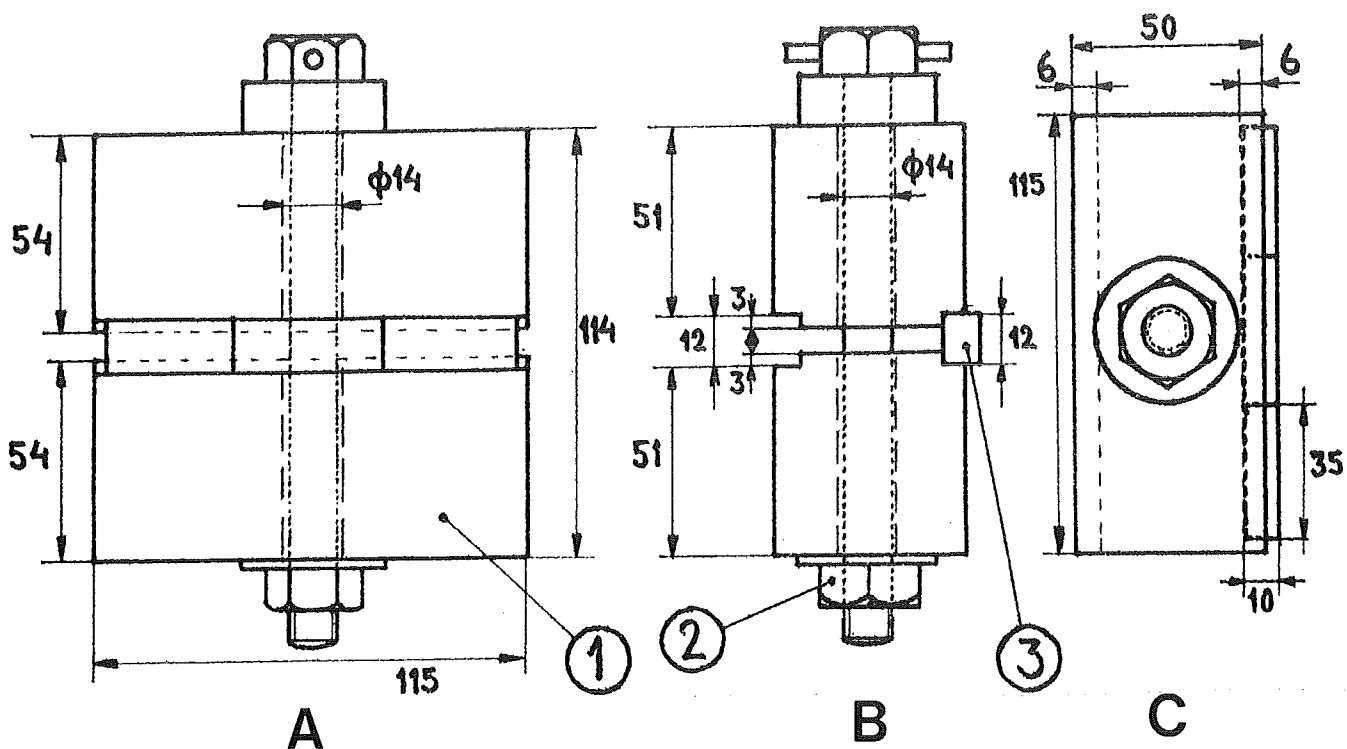
k = krater van de las

s, m1, m2 en k zijn de plaatsen waar de hardheid gemeten is.

 = preparaten voor de ferrietbepaling



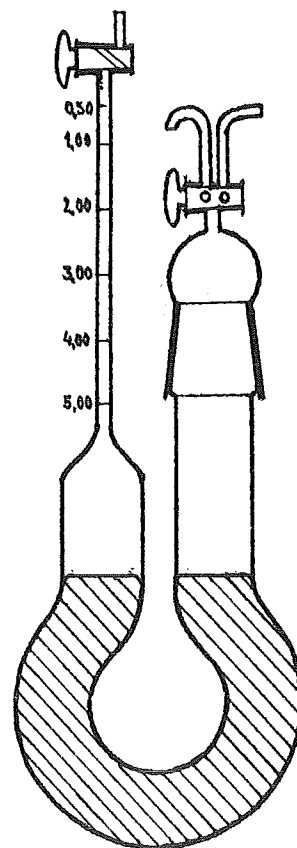
Figuur 15. Het bepalen van de lengte van de waterstofscheuren.

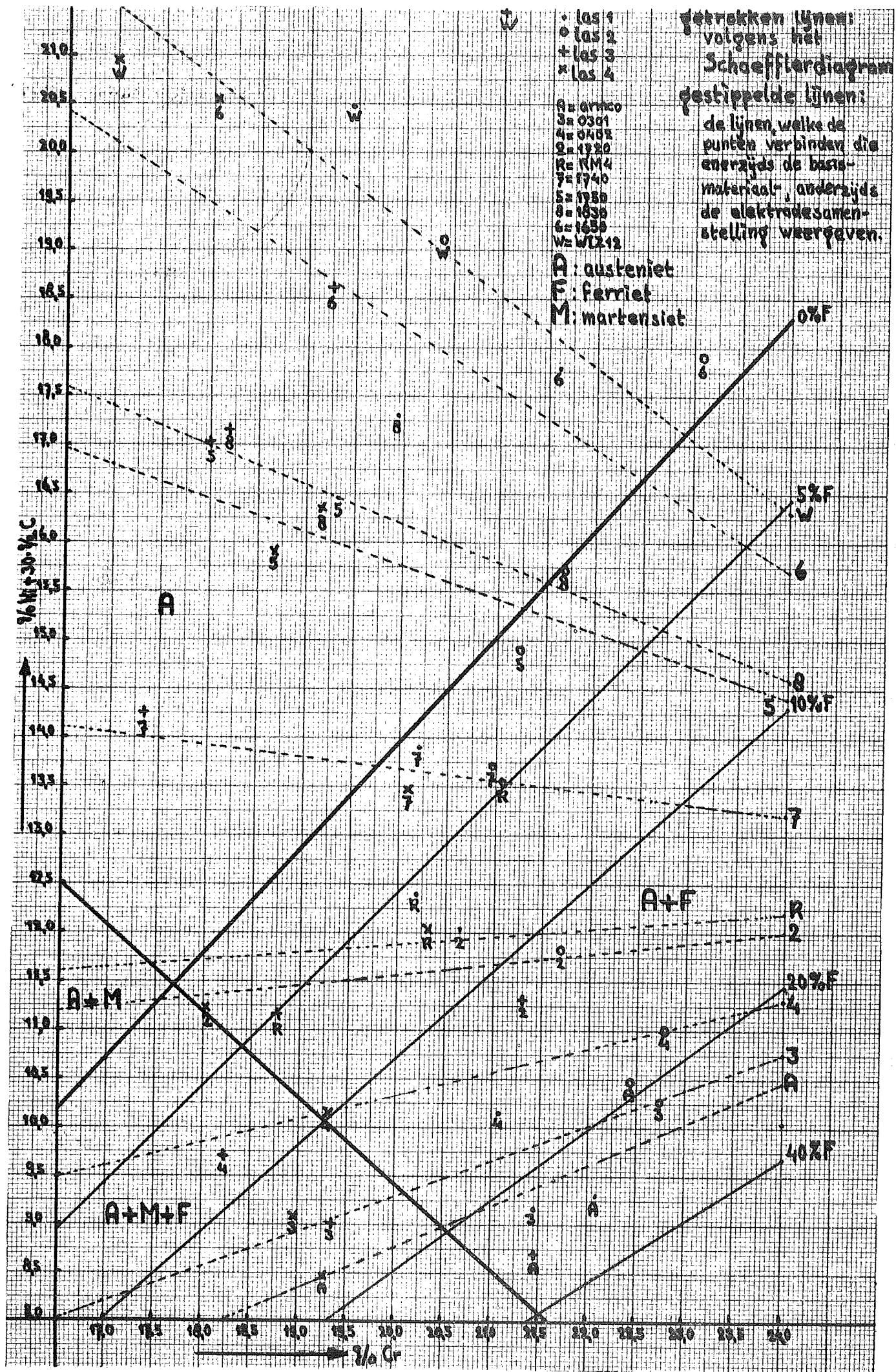


Figuur 16. De koperen mal met proefblokjes voor het leggen van de las, waaruit de hoeveelheid diffundeerbare waterstof per 100g lasmetaal (0°C , 1 atm.) bepaald wordt.

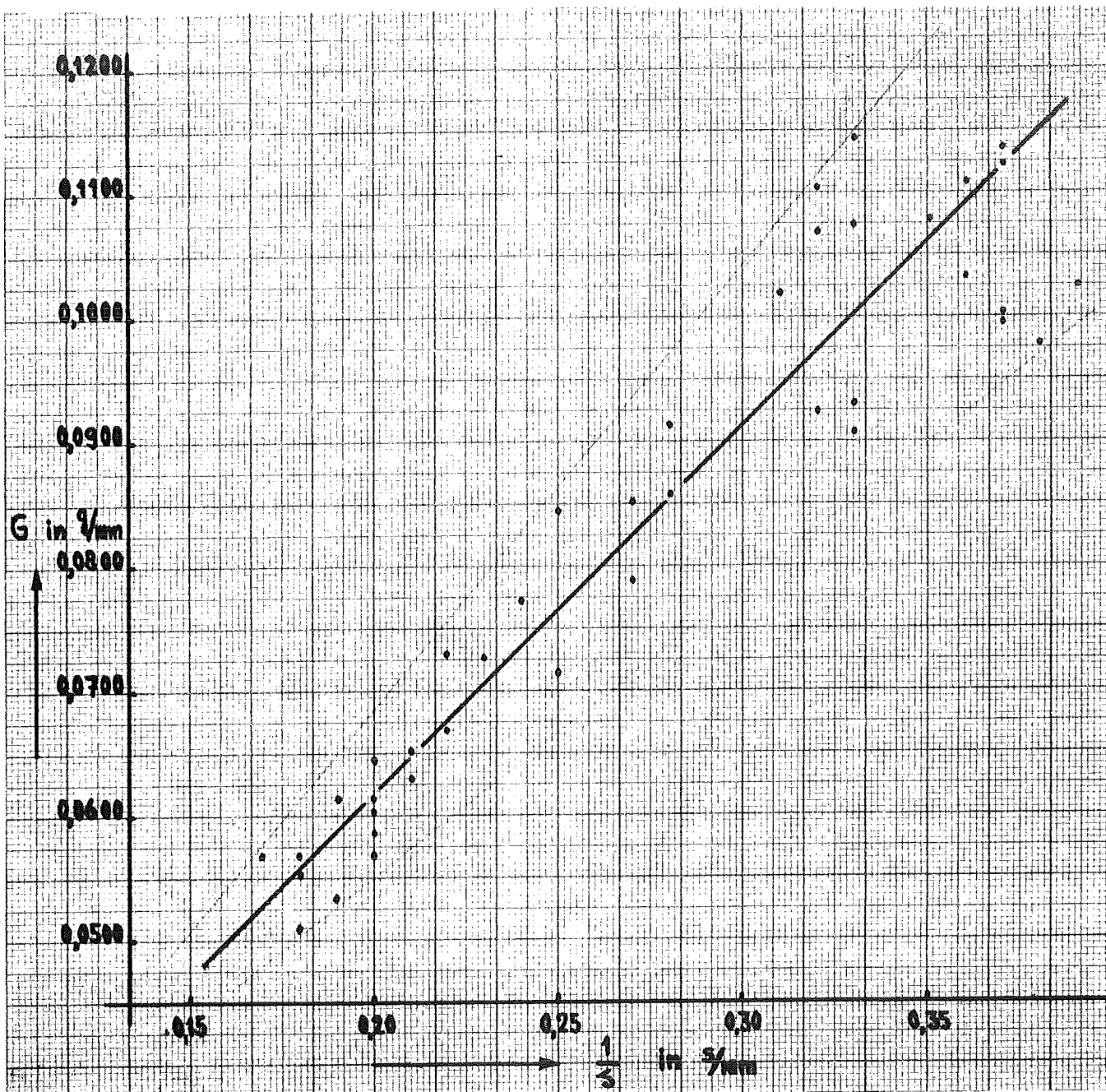
- A** = bovenaanzicht
- B** = zijaanzicht
- C** = vooraanzicht
- 1** = koperen blok
- 2** = bout + moer + ringen
- 3** = proefblokjes

Figuur 17. Het kwikvacuümapparaat, voor de bepaling van de hoeveelheid diffundeerbare waterstof per 100g lasmetaal (0°C , 1 atm.). De buret heeft een maximale capaciteit van 5 ml, verdeeld in 0,05 ml over de gehele lengte. (bij de kraan is 0 ml). De arcering in de tekening geeft het kwikpeil aan.





Figuur 18. M.b.v. de chemische analyse zijn uit dit deel van het Schaeffler-diagram de ferrietpercentages bepaald.

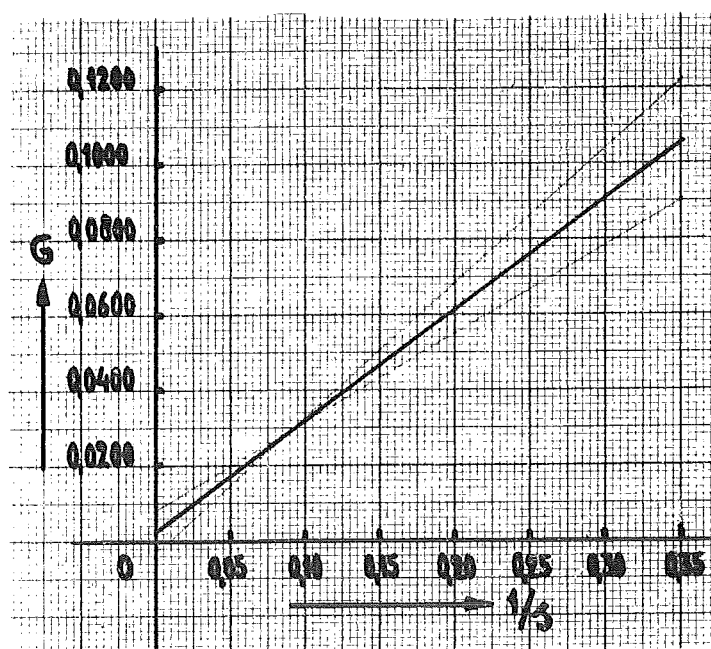


Figuur 19a.

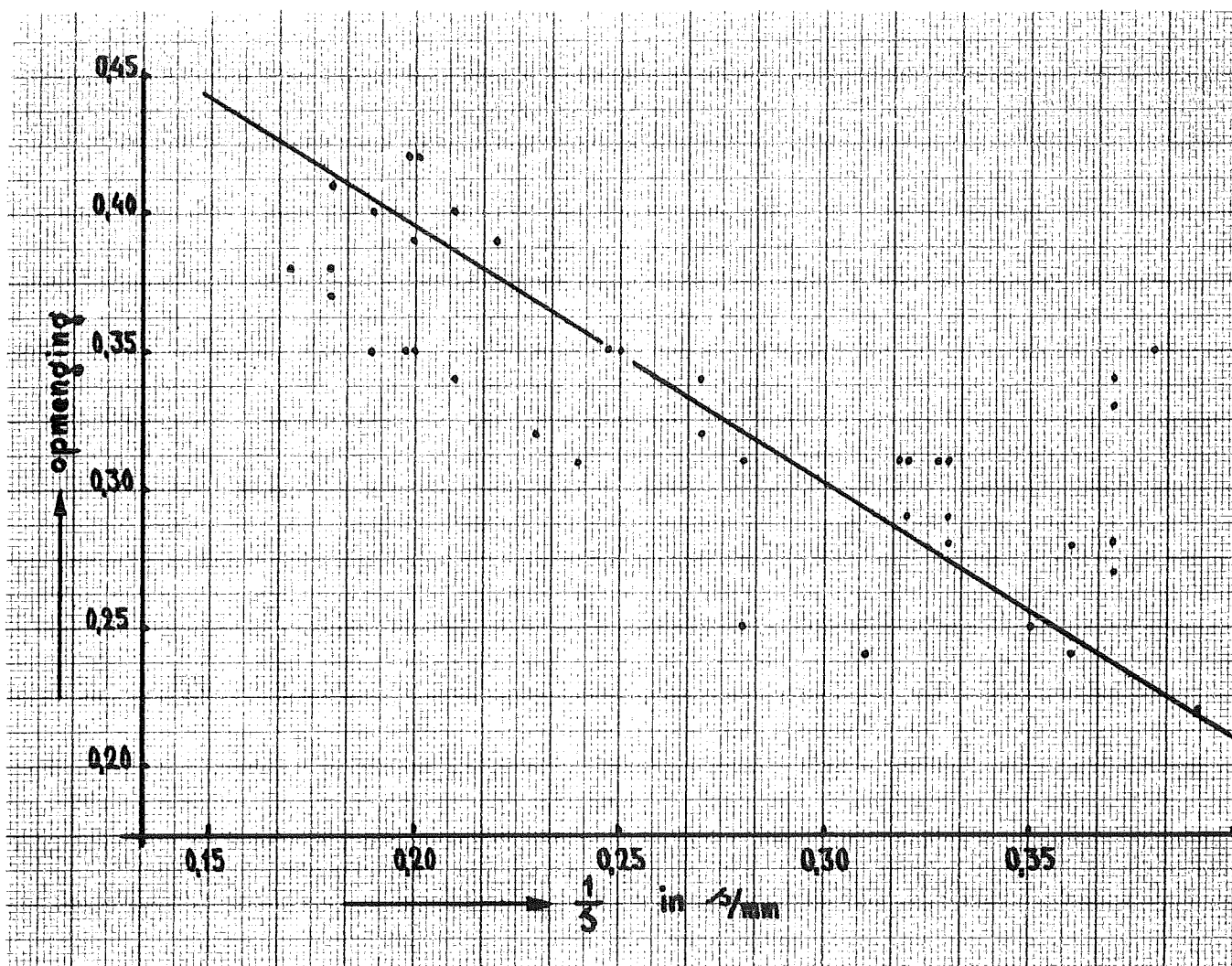
De hoeveelheid neergelegd lasmetaal per lengteëenheid G is recht evenredig met de reciproke waarde van de voortloopsnelheid s .

Figuur 19a: de gevonden resultaten.

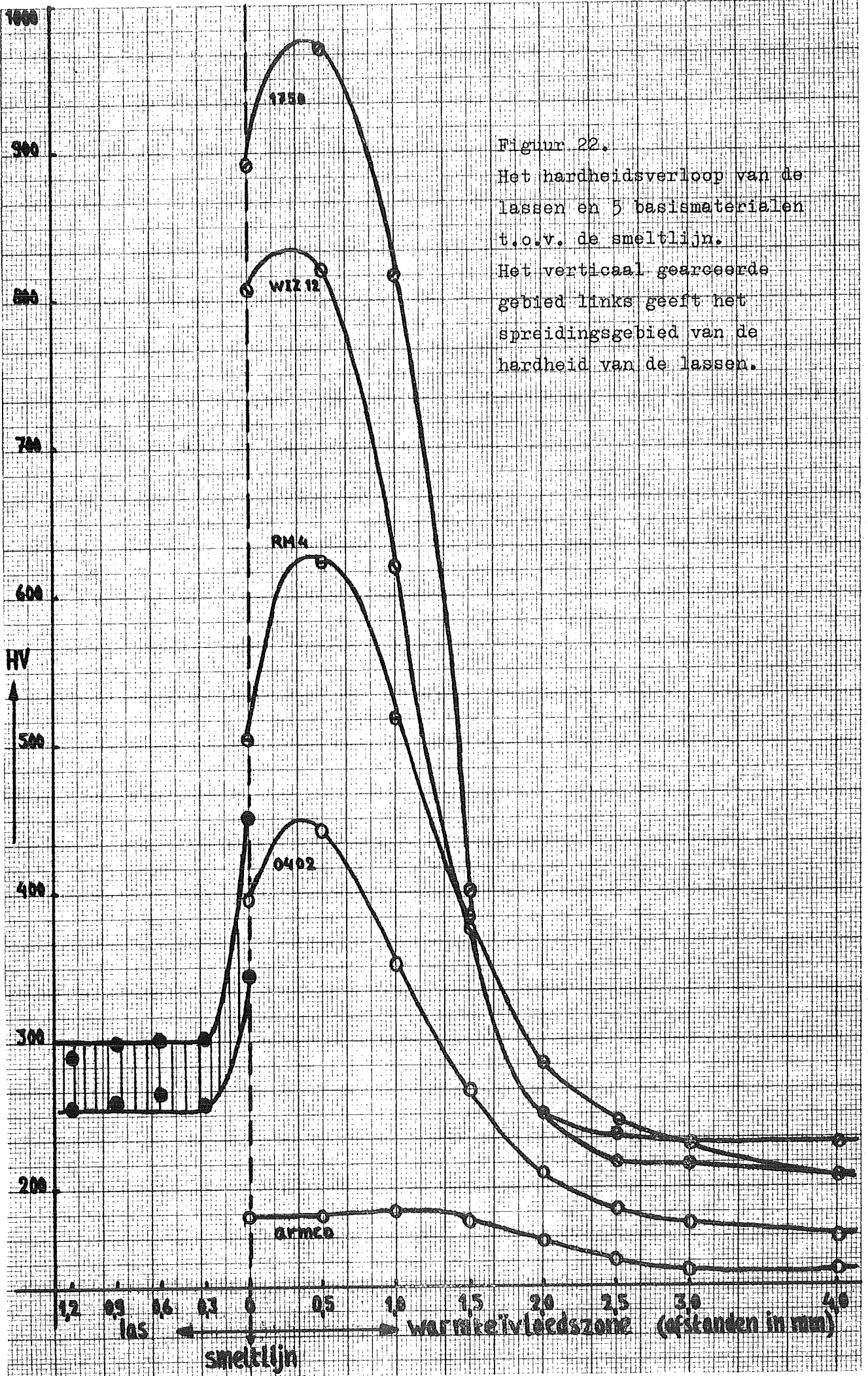
Figuur 19b: extrapolatie naar de oorsprong.



Figuur 19b.



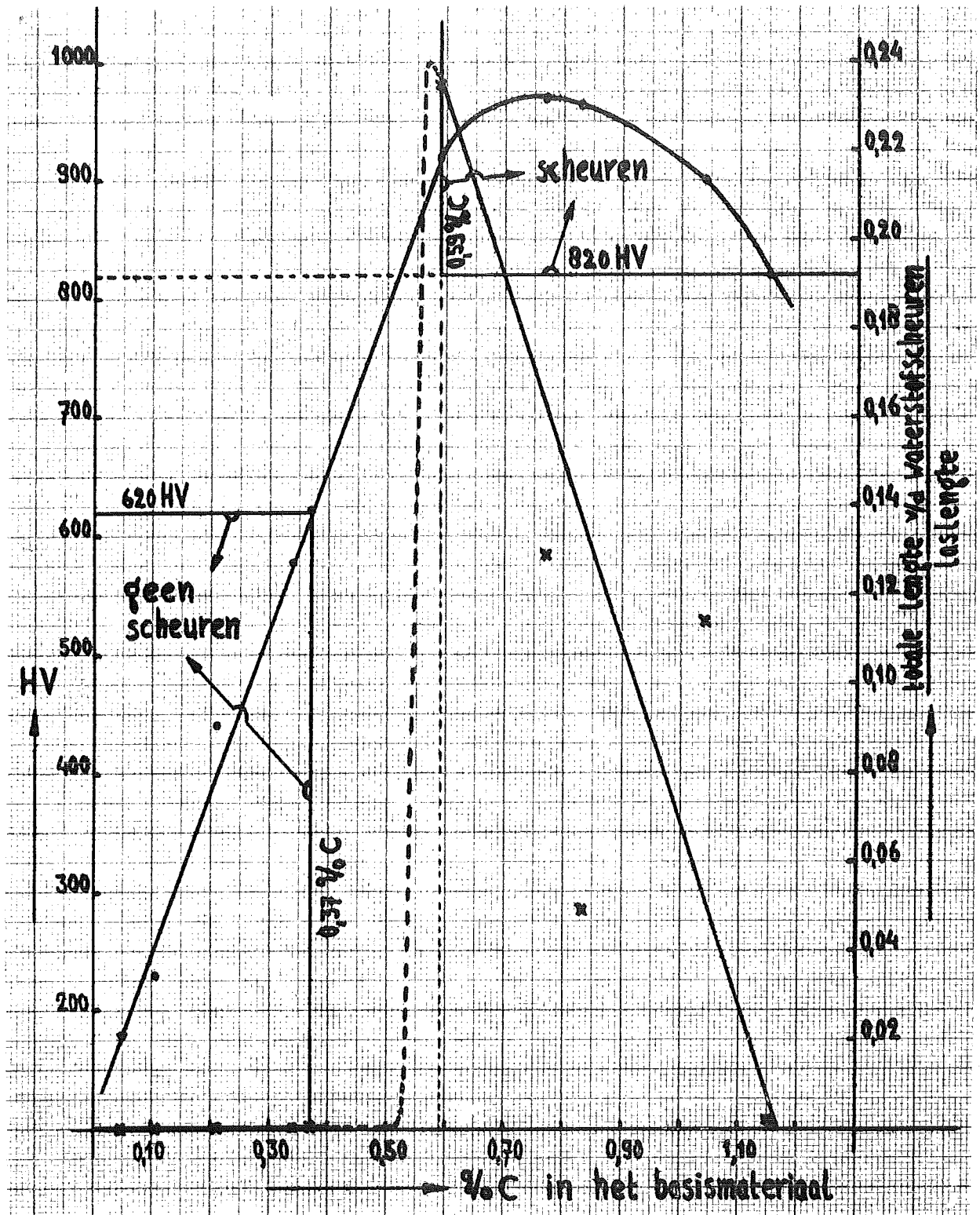
Figuur 21. Hoewel de inbranding afneemt met toenemende voortloop-
 snelheid s , wordt de opmenging groter.
 Opmenging = het deel in het lasmetaal dat van het
 basismateriaal afkomstig is.



Figuur 22.

Het hardheidsverloop van de lassen en 5 basismaterialen t.o.v. de smeltlijn.

Het verticaal gearceerde gebied links geeft het spreidingsgebied van de hardheid van de lassen.

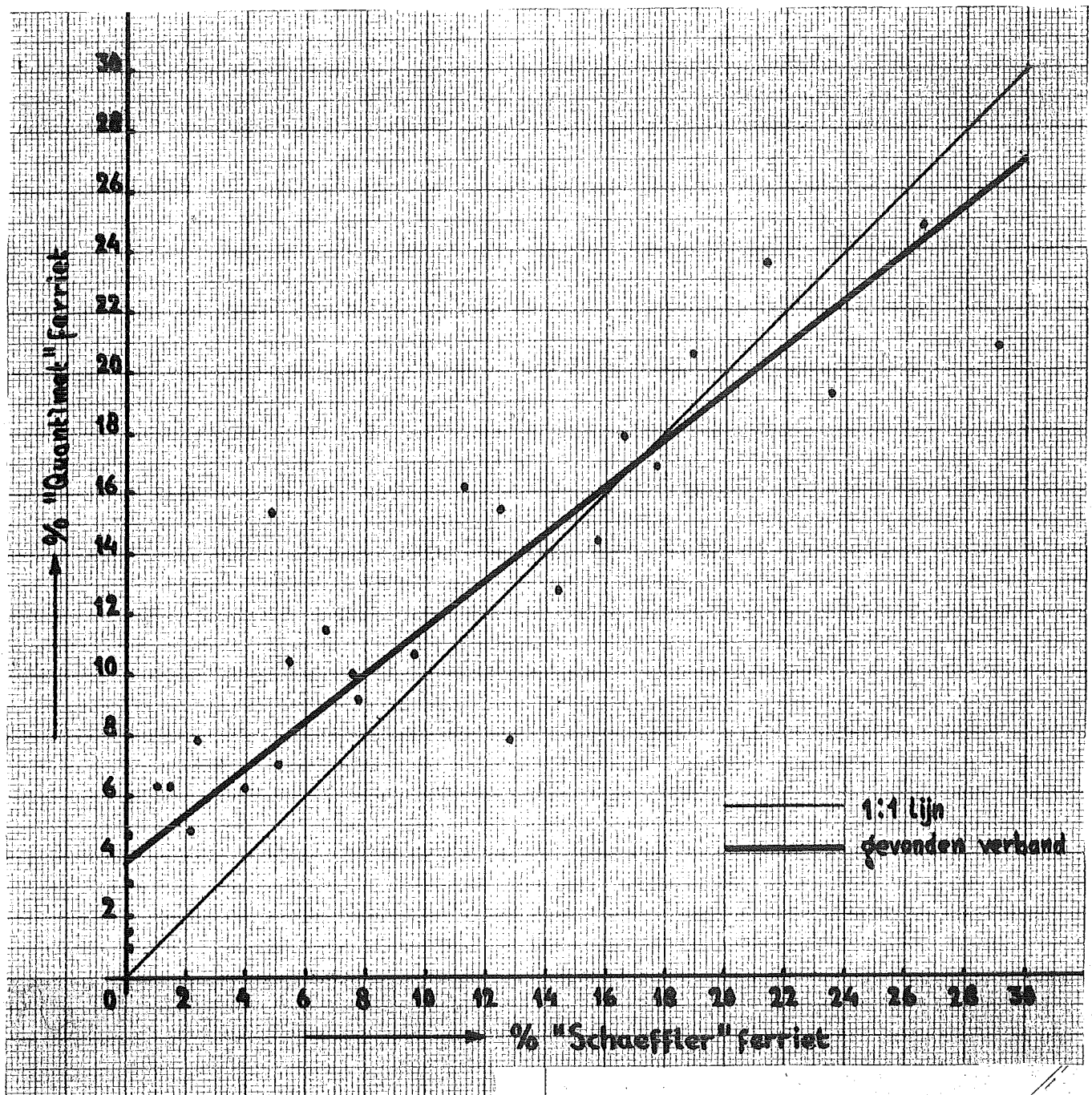


Figuur 23. Tegen het koolstofgehalte van het basismateriaal zijn uitgezet: de hardheid van de warmteïnvloedszone op 0,5 mm van de smeltlijn en het lengtedeel van de las waaronder waterstofscheuren werden gevonden (gevoeligheid voor waterstofscheuren).

In staalsoorten met een gehalte lager dan 0,37 %C is de hardheid kleiner dan ca 620 HV en zijn er geen scheuren ontstaan.

In staalsoorten met een gehalte hoger dan 0,59 %C is de hardheid groter dan ca 820 HV en zijn er wel scheuren ontstaan.

Tussen 0,37 en 0,59 %C is d.m.v. een streepjeslijn de mogelijke scheurgevoeligheid aangegeven.



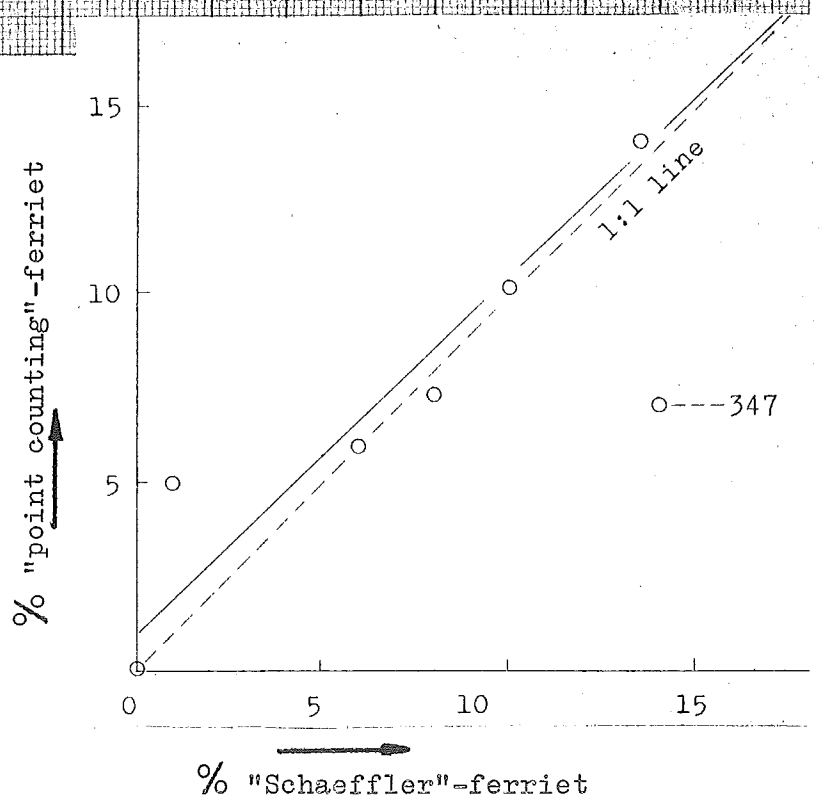
Figuur 24a.

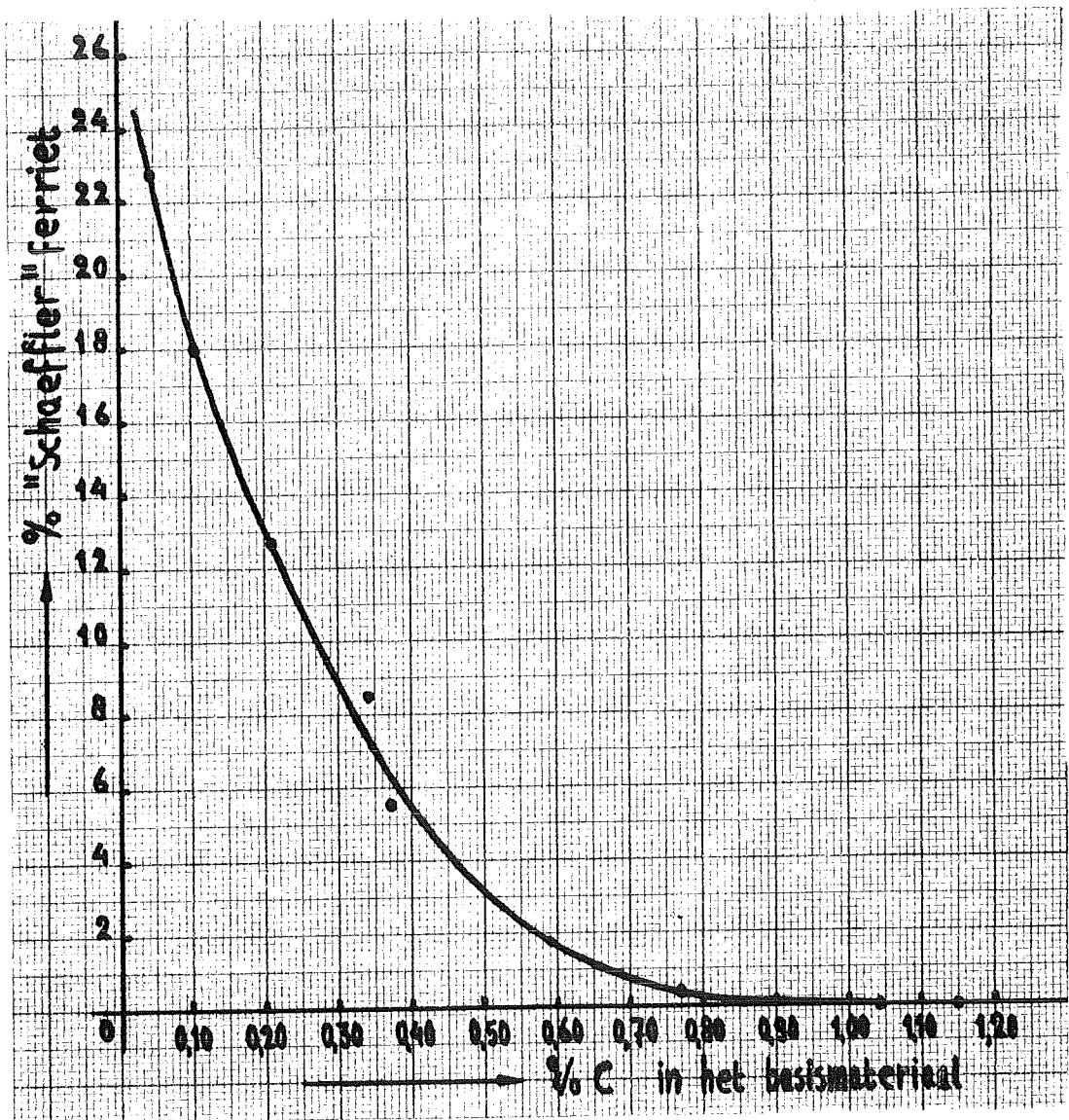
Het verband tussen het gemeten "Quantimet"-percentage ferriet en het "Schaeffler"-percentage ferriet benadert de theoretische 1:1 lijn.

Figuur 24b.

Japanse onderzoekers vonden voor een 347-staal een analoog resultaat.

Figuur 24b.





Figuur 25. Last men koolstofstaalsoorten met een 29Cr, 9Ni elektrode, dan daalt het percentage ferriet in het austenitische lasmetaal met het toenemen van het koolstofgehalte in het basismateriaal.

foto's

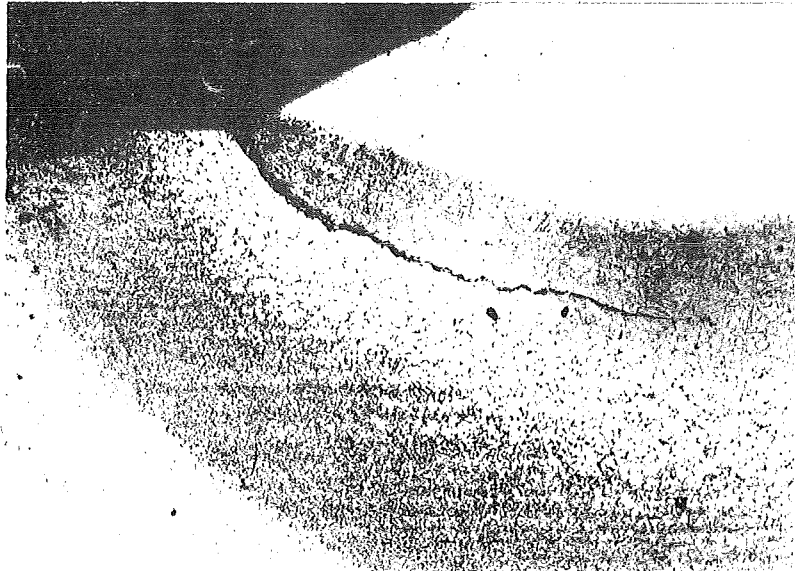


Foto 1. Hardingsscheur onder de start van de las. .
Basismateriaal WIZ12.
Boven de scheur is kubische martensiet ontstaan,
eronder tetragonale.
V = 50x, etsing met 3% nital + pikrinezuur.

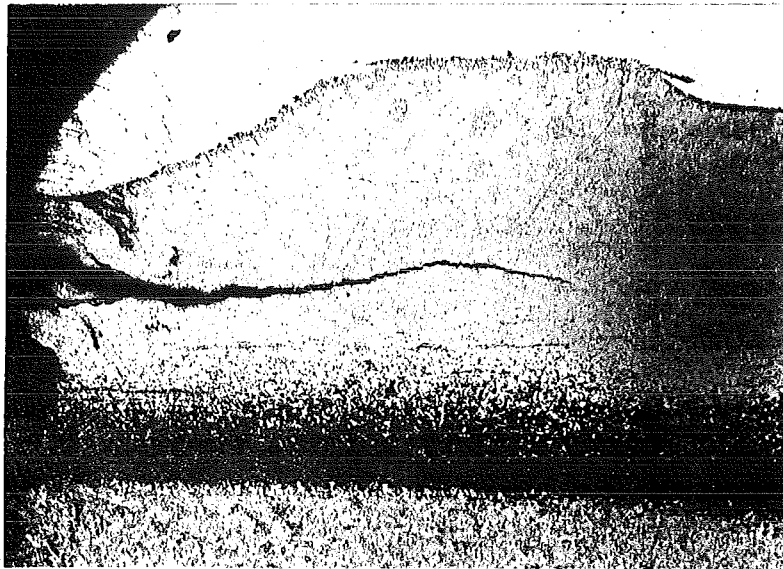


Foto 2. Hardingsscheur onder de krater van de las.
Basismateriaal 1650.
Structuur boven en onder de scheur: tetragonale martensiet.
V = 50x, etsing met 3% nital + pikrinezuur.

Structuren van de basismaterialen vanaf de smeltlijn.
 Vergroting: 100x, etsmiddel: 3% nital + pikrinezuur.

smeltlijn ↓

ferriet + perliet (normaalgegloeid) | troostiet | martensiet + troostiet

tetragonale martensiet

Foto 8. 1740 (0,59 C)

ferriet? + perliet (normaalgegloeid) | troostiet | martensiet + troostiet

tetragonale martensiet

Foto 9. 1750 (0,77 C)

troostiet | perliet (normaalgegloeid)

← troostiet
 → martensiet

tetragonale martensiet

Foto 10. 1830 (0,83 C)

perliet + Fe_3C | troostiet

ferriet + Fe_3C (zachtgegloeid) | Foto 11. 1650 (1,04 C)

kubische martensiet |
 tetragonale martensiet

ferriet + Fe_3C (zachtgegloeid) | perliet + Fe_3C | troostiet + perliet | martensiet + troostiet

kubische martensiet + restausteniet

Foto 12. WIZ12 (1,15 C)

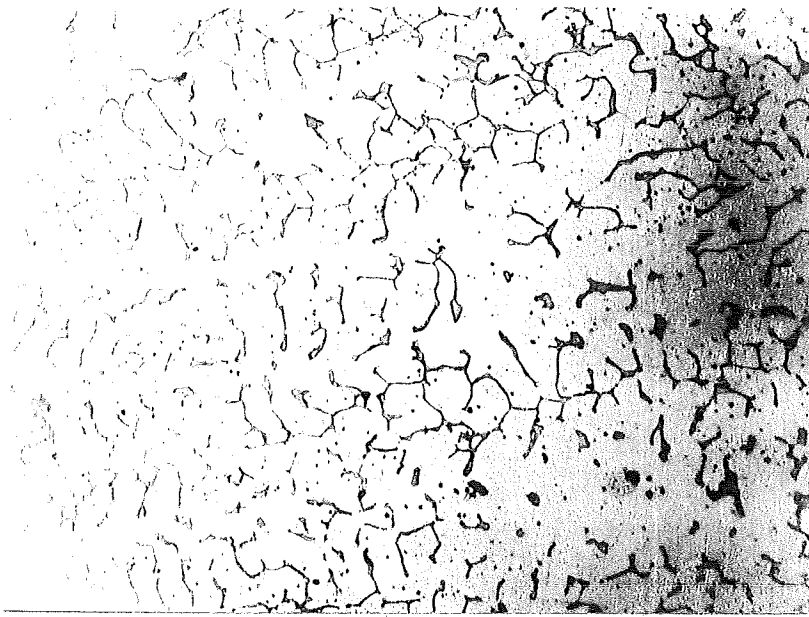


Foto 23. Austenitisch lasmetaal met 10,4 % ferriet, $\sigma = 3,8$.
Las 1 gelegd op RM4 (0,37 %C).
Vergroting: 500x; etsmiddel: 25% HNO_3 , 25% HCl ,
50% ethylalcohol.



Foto 24. Austenitisch lasmetaal met 6,2 % ferriet, $\sigma = 3,8$.
Las 2 gelegd op 1740 (0,59 %C).
Vergroting: 500x; etsmiddel: 25% HNO_3 , 25% HCl ,
50% ethylalcohol.

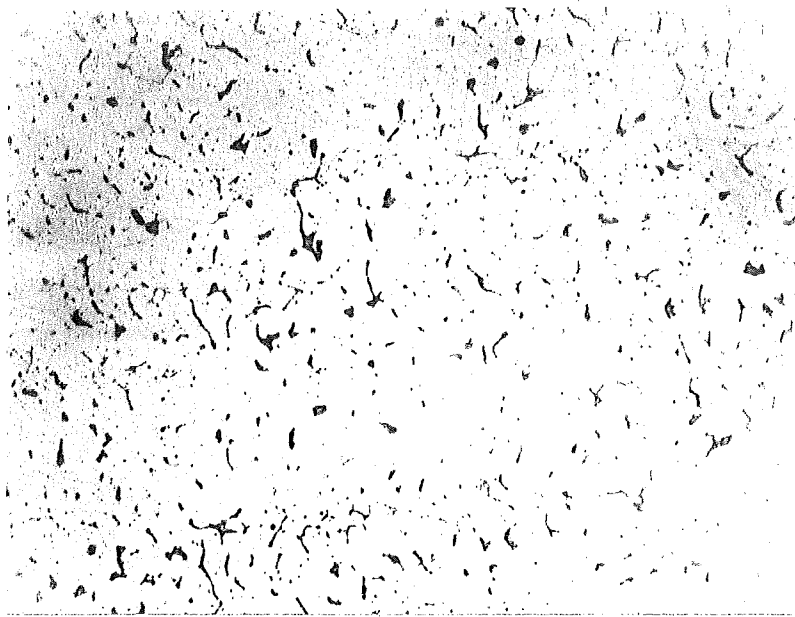


Foto 25. Austenitisch lasmetaal met 6,3 % ferriet, $\sigma = 3,7$.
Las 2 gelegd op 1750 (0,77 %C).
Vergroting: 500x; etsmiddel: 25% HNO_3 , 25% HCl ,
50% ethylalcohol.

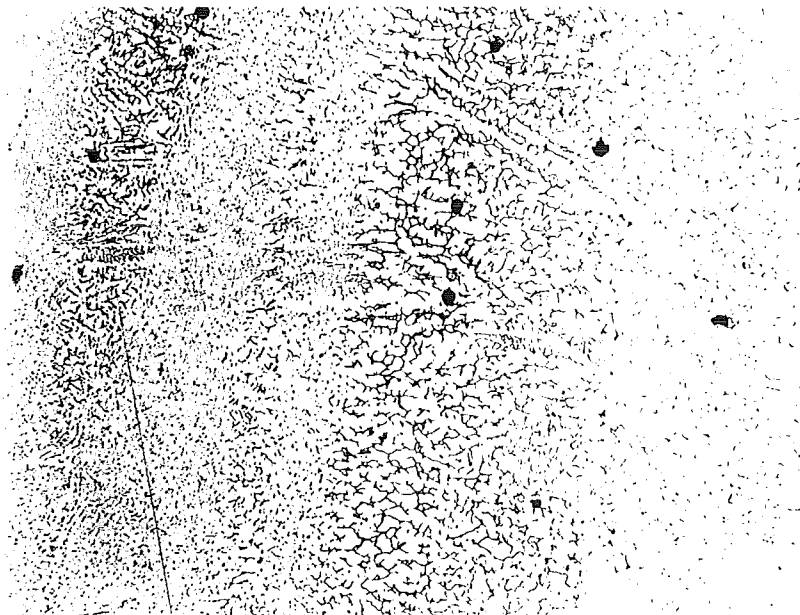


Foto 26. Het ferrietpercentage in de austenitische las is niet constant: er treden "ferrietbanden" op.
Las 1 gelegd op 1720 (0,34 %C).
Vergroting: 200x; etsmiddel: 25% HNO_3 , 25% HCl ,
50% ethylalcohol.