実用ガラスのベルト研削硬さ、毀傷硬さならびに ダイヤモンド微小押込硬さ

遠 藤 幸 雄・長谷川 泰・川久保 正一郎

(光陽研磨材株式会社)

(東京工業大学)

Abrasive Belt Grinding Hardness, Marring Hardness, and Diamond Pyramid Indentation Hardness of Glasses for Practical Use.

By

Yukio ENDO^{*)}, Yasushi HASEGAWA^{**)}, and Syoitiro KAWAKUBO^{**)}

(^{*)}Koyo Kemmzai Co., Tokyo, ^{**)} Tokyo Institute of Technology)

Abstract

Abrasive belt grinding hardness, marring hardness and diamond pyramid indentation hardness (Micro-vickers hardness and Knoop hardness) of glasses for practical use have been measured (Table 1 and 2). Among these values good correlations are found between abrasive belt grinding hardness and marring hardness and between Micro-vickers hardness and Knoop hardness. Both micro-indentation hardnesses do not show notable relation with the other two (Fig. 7/10 and Table 4). None of these values have distinct bearing on transformation point of glasses tested.

[Received Dec. 22, 1962]

I. ま え が き

ガラスの研磨加工のうちで荒取工程はみがき工程の予備段階とみなされ、主としてその加工能率が問題とされてきた。硬脆材料であるガラスのこの分野の基礎的研究は金属材料の場合に比べてきわめて遅れている。そしてこれまでに発表されているこの方面の研究結果は実用的な加工能率に関するものが多く、実用に供されている加工法によるもの、ないしは他の方法との併用による比較研究である。これら諸研究の詳細については関連ある著書、論文^{1)~4)}のみを末尾に示し、それらの中で本研究に直接関係あるものについては結果の考察に際して引用することとした。

本研究では表題に示すように本邦で製造、使用されている代表的な実用ガラスの比較的多数についてベルト研削硬さ、毀傷硬さ、ダイヤモンド微小押込硬さを測定し、これらの硬さ測定値を提示するとともに、ガラスの加工性、耐毀傷性を考察する場合の基礎的事項としてこれら硬さ測定値の相関関係を検討し、今後の研究の指針とすることを目的とした。

II. 実 験 方 法

表一に示すようにベルト研削硬さと毀傷硬さの試験方法はダイヤモンド角錐による押込硬さ試験方法が静的であるのに比べて、動的とみなしうるものである。

1) 試 料

試料ガラスとしては、市販の光学ガラス 33 種類と厚板ガラスを選んだ。使用した試料ガラスの名称ならびに主なる物理的特性値は一括して表一に示す。

周知のように光学ガラスは特に厳選された原料を使用し、充分慎重なる熔融を行なった後で、気泡、脈理などの不均質部分を除いた均質体である。他方各種の光学的使用目的、主に各種の屈折率、アッベ数をもつ材料として使用する目的に應ずるためその化学組成は多種多様である。本研究で光学ガラスを選んだ眼目は各ガラスが均質体であるほかに、その化学組成が広範な範囲に分布する点にある。研究の目的がこれら多種多様な実用ガラスに関する加工特性値が如何なる大きさにあるかを求める点にあるため、詳細な化学組成には触れないことにする。各ガラスの名称中品種を示す記号は慣習によるもので、次のような別称をもっている。

FK: 弗珪クラウン	LLF: 特軽フリント
BK: 硼珪クラウン	BaF: バリウムフリント
BaLK: 軽バリウムクラウン	LF: 軽フリント
K: クラウン	F: フリント
BaK: バリウムクラウン	BaSFS: 重バリウムフリント
SK: 重バリウムクラウン	SF: 重フリント
KF: クラウンフリント	KzF: クルツフリント
BaLF: 軽バリウムフリント	LaK: ランタンクラウン
SSK: 特重クラウン	LaF: ランタンフリント

試料ガラスは一側面 (10×70 mm) を砂掛面として残り、上下両面ならびに三側面を光学研磨した寸法 30×10×70 mm (寸法誤差 0.05 mm 以内) のものを使用し

Table 1. Comparison of three methods.

Testing method	Abrasive belt grinding hardness method	Marring hardness method	Diamond pyramid indentation hardness method
Testing character	Dynamic	Dynamic	Static
Testing equipment	Wet abrasive belt grinder, Model WABM-4088-ST, Koyo Kemmzai Co., Tokyo	See Fig. 3	Kleinhärteprüfer DURIMET, Ernst Leitz GMBH, Wetzlar
Final measurement	Mechanical, vernier calipers (length) or chemical balance (weight)*	Optical, goniophotometer	Optical, microscope
Representation of hardness	<p>Volumes of glass removed in 5 min : A $A = S \cdot (l' - l) \text{ cm}^3$, where S : contact area l' : initial length l : final length</p> <p>Abrasive belt grinding hardness : Reciprocals of A $H_G = (1/A) \cdot 100$</p>	<p>Marring hardness : $H_M = R' / (R' - R) \cdot 100$, where R' : reflectivity of polished surface of glass R : reflectivity of marred surface of glass</p> <p>Reflectivities were measured as the 45° specular reflectance against incident light with the rectangular source and receptor apertures showed in Table 2.</p>	<p>Micro-vickers hardness : $H_V = 1854 \cdot P / d^2 \text{ kg/mm}^2$ Knoop hardness : $H_K = 14230 \cdot P / l^2 \text{ kg/mm}^2$ where P : load in g, g : length of diagonal of impression in μ, l : length of long diagonal of impression in μ.</p>
Testing condition	<p>Dimension of specimen : 10·30·70 mm, Contact area : 10·30 mm</p> <p>Abrasive belt** : Cloth, water-proof grit No. 120, black silicon carbide (JIS 2 C)*** size : 100·2235 mm.</p> <p>Contact wheel : Plane-faced rubber, 75 durometer (hardness), dia 200 mm, width 100 mm.</p> <p>Belt speed : 1050 m/min, Coolant : Plain water, 3 l/min, Grinding pressure : 0.5 kg/cm². Grinding time : 5 min.</p>	<p>Falling abrasive : 400 g of black silicon carbide of grit No. 60 (JIS 2 C)***</p> <p>Falling height : 100 cm</p> <p>Flow out speed from nozzle : 0.89 g/sec.</p>	<p>Tested surface of glass : Optical polished</p> <p>Descent and contact time of indenter : 15 sec</p> <p>Speed of contact (max. value) : For H_V : 0.10 μ/sec (load 50 g), 0.14 μ/sec (100 g) For H_K : 0.15 μ/sec (load 100 g), 0.20 μ/sec (500 g)</p> <p>Speed of contact of indenter was calculated from descent time and deepness of descent indenter.</p> <p>Deepness of descent indenter : For H_V : $d/7$, for H_K : $l/30$.</p>

* Grams of glass removed was measured in parallel with the length difference. See Table 2.

** A new abrasive belt was used for each specimen.

*** From the definition of abrasive (JIS R 6111-1960) and the standards of abrasive grain sizes (JIS R 6001-1956).

た.

2) ベルト研削硬さ

ベルト研削法^{5)~8)}は研削研磨工具として研磨ベルトを用いて行なう研削加工法であって、第二次大戦中アメリカにおいて金属材料などの大量生産加工にこの方法を適用して著しい成果を達成し得たことなどによってその後急速に進歩発達したものである。ガラスの常温加工法としてこの方法が行なわれるようになったのは比較的最近のことに属し、その進歩発達には湿式ベルト研削を可能とする耐水研磨ベルトの出現による点が多い。ベルト研削においては乾湿いずれの加工方式においても在来の剛性的ないしはわずかに弾性的に作用する結合研磨材による回転研削工具とは異なり、研磨ベルトが可撓弾性的に加工物に作用し、その工具形状に由来する運動附与方法の相違と空冷効果および寸法効果などによって多様の加工方式と高い加工能率が得られることを、最も大きな特徴とし、従来の精密研削加工法による場合と同等あるいは、それ以上の加工精度が経済的に得られる特色がある。さらに、湿式ベルト研削法は熱的および機械的衝撃に対して弱い、いわゆる硬脆材料に属するガラスの常温加工法としていろいろ勝れた点のあることが知られている。

研削砥石、研磨ベルトなどのような固定研磨材による方がラッピング法などにおける遊離研磨材による場合よ

りも、精度よく研削硬さの測定ができることは、その加工機構よりして明らかであり、既述のごときベルト研削法の機構上の特徴を研削硬さの測定に応用することは、きわめて適切な方法と考えられるが、まだ内外においてかかる試みに関して発表されたものはない。

本研究では図—1に示す定荷重プランジ研削方式の堅型湿式ベルト研削試験機を用いて実験を行なった。この試験機は、図—1には図示されていないが、電気回転計、自記電力記録計、研削液定常供給装置などを具備し、研磨ベルト速度は160~3,140 m/minの範囲に無段変速できるものであって、重錘を変えることによって研磨ベルトとの接触面積 3 cm² のガラス試料に対して、0.125~5 kg/cm²、同様 1 cm² のものに対しては 0.375~15 kg/cm² の任意の押付圧力を加えうるとともにコンタクトホイール、メタルクッションプラッテン、ダブルローラのいずれを介しても研磨ベルトとガラス試料が接触できるようになっている。実験において使用した研磨ベルトは、表—1に示した耐水研磨布ベルト (Federal Specification P-B-172, Class 4 相当品) で、別の実験によって合理的に採取した同一ロットの研磨ベルトを用い、同一のガラスを一定研削条件で湿式ベルト研削すれば累積研削量および単位時間研削量は実験誤差の範囲内で一定とみなしうることが確かめられているので、単位時間研削量の経時変化を全く無視して実験を行なうこと

(A)

(B)

- (A) Abrasive belt grinder, Model WABM-4088-ST,
(Koyo Kemmzai Co., Tokyo).
(B) Close-up of wet-belt grinding of glass test piece.

Fig. 1. Testing machine for abrasive belt grinding tests.

Fig. 2. Effect of abrasive belt speed on wet-belt grinding.

ができ、しかも、高精度の測定値をうるために各ガラス試料1個ごとに同一ロットの新しい耐水研磨布ベルトを使用して実験を行なった。一方、研磨ベルトの粒度および研削条件の決定に当っては、本研究の当面の目的がベルト研削硬さの測定にあり、各ガラス試料の被研削性については未知であるため、既に筆者らの1人によって行なわれた少なからざるガラスのベルト研削に関する実験結果を参考とするとともに、実用研削条件をも考慮して表-1に示した研削条件で行なうことをほぼ適当と判断した。それらの根拠の一端として、研磨ベルト速度の研削量に与える影響を示す実験結果の一例を図-2に示す。

ベルト研削硬さは各ガラス試料に対し5分間連続ベルト研削を行ない試料の長さの減りを測定して、体積減少を算出しその逆数をもって表わすこととした。

累積研削量または単位時間研削量を重量単位で示す例が多いが、ここでは各試料ガラスの密度に相当広範な差違のあること、および実際の研削作業においては仕上面あらさとともに取代が問題となることが一般であることを考えて長さを測定することとした。一方、より正確を期するため同時に重量減少をも化学天秤で秤量して、この値と密度より算出した体積減少値を上記の長さよりの値と比較したところ両者の差違は最大1%以内であって、長さまたは重量を測定して体積減少値を求めてもコンタクトホイールの曲率の影響などは無視しうることをも知り得た。参考のために表-2のV.欄に各種ガラス試料の重量減の測定値と密度を附記して示した。

3) 毀傷硬さ

研磨材粒子を一定条件で落下させ、ガラス面または釉薬面などを傷つけることによる試料の重量減少または試料面の光学的な反射率減少の度合から、その物体の機械的外力に対する抵抗性を表わす試みは古くから行なわれてきた^{9)~11)}。

Fig. 3 Marring apparatus.

本研究で実施した方法¹²⁾ではガラス研磨面を一定の流出速度で落下する研磨材により毀傷させ、未毀傷面との表面反射率の変化を光度計で求め、その反射率減少度から毀傷硬さを求めた(表-1, 2, 図-3)。

研磨材の落下方向に対し、ガラス試料面は約30°傾斜させてあるため、毀傷面は図-4に示すように長軸: 約20 mm, 短軸: 約10 mmの楕円形となり、その上半部の中央部(図-4の点線で示される範囲)における正反射率測定値はほとんど平均した値を示す。この方法による場

Table 2 Apertures of source and receptor for goniophotometer.

	In plane of incidence	Perpendicular to plane of incidence
Source	10'	1°38'
Receptor	58'	2°52'

合、粒度一定の研磨材の流出速度は一定となり、無数の研磨材落下による衝撃でガラス面に方向性のない微小な破碎素面の集団を生じ、ミクロ的に見た場合には、その過程はガラスを鋳鉄板と遊離研磨材によってラップ加工する荒摺(砂摺)などにおけるガラス面に生ずる衝撃破碎による現象と本質的に異なるものとはみなされる。

また、毀傷面は無数の素面の集団であるから、その一定面積についての反射率測定結果は確率的表示の性格を帯びたものになる。別に行なった予備実験によって研磨材の反復使用は 50 回程度まではほとんど影響のないことが確かめられたが、ここでは 1 回の毀傷実験ごとに一定量の新しい正確に整粒調製された所定粒度の研磨材を使用した。

図-5 に二、三の実際の加工面と本研究で得られた研磨材落下による毀傷面の位相差顕微鏡写真を示す。いずれの加工面においても研磨材粒子による衝撃破碎現象と見られる無数の破碎素面が観察され、それらには、一定

Fig. 4 Marred surface of glass.

の方向性は見られない。毀傷面についても破碎素面は小さいにしろ、同様の現象が見られる。ただし、ベルト研削を行なったガラス表面にはこのような無数の破碎素面とともに相当顕著に方向性をもった研削条痕が見られる。

4) ダイヤモンド微小押込硬さ

ダイヤモンド微小押込硬さの測定は Leitz 社の Klein-härteprüfer DURIMETTMを用い、圧子としてはマイクロビッカース圧子(対面角 136° の正四角錐)とヌープ圧子(対稜角 172° 30' と 130° 0' の圧痕が菱形となる四角錐)とを用いた。マイクロビッカース硬さは荷重 50 g と 100 g、ヌープ硬さは荷重 100 g と 500 g について各荷重ごとに測定点を 5 個所定め、圧痕の長さを顕微鏡で実測しそれらの平均値から荷重別に表-1 に示す公式によりそれぞれの硬さを求めた。すべての試料について、押込時間および静止時間はそれぞれ 15 sec としたので、押込速度(単位時間内の圧子侵入深さ)は荷重ならびに各ガラス試料ごとに異なっている。表-1 に示す押込速度の値は最大値の一例である。

Fig. 6. Length difference of glasses by belt grinding

III. 測定結果とその考察

3 方法による測定値は一括して表-3 に表示し、また図-6 にはベルト研削による各種ガラス試料の研削量の差違を端的に示す写真を掲げた。図-7~9 には、各種実用ガラス試料についての毀傷硬さ (H_M) に対するベルト研削硬さ (H_G)、マイクロビッカース硬さ (H_V) およびヌープ硬さ (H_K) の関係を示し、図-10 にはマイクロビッカース硬さ (H_V) とヌープ硬さ (H_K) との関係を示した。

さらに、図-11, 12 には光学ガラスメーカーの資料によって各種ガラスの転移点 (T_g) と本研究によって得られた各種硬さとの関係を示した。

図-7~10 において明らかなように H_M-H_G , H_V-H_K の相関関係はかなりよく、 H_M-H_V ならびに H_M-H_K の相関性はよくないことが認められる。

これらの関係は別に行なった表-4 に示す相関係数の計算結果によって H_G-H_M , H_V-H_K が高度に有意で、他の関係、すなわち H_G-H_V , H_G-H_K , H_M-H_V , H_M-H_K は有意でないという結果

A : Fint glass (F 2), lapping

C : Borosilicate glass (BK 7), belt grinding

B : Borosilicate glass (BK 7), sawing (diamond saw)

D : Borosilicate glass (BK 7), marring

Fig. 5. Observation of glass surface by phasecontrast microscopy.

Table 3. Physical properties, abrasive belt grinding hardness, marring hardness, and diamond pyramid indentation hardness of glasses for practical use.

I. n_d : Mean refractive index, II. ν_d : Mean Abbe's number, III. $\alpha \cdot 10^{-7}$: Coefficient of thermal expansion, IV. T_g : Transformation point ($^{\circ}\text{C}$), V. A' : Grams of glass removed in 5 minutes and d : Density (g/cm^3), VI. H_G : Abrasive belt grinding hardness, VII. H_M : Marring hardness, VIII. H_{V-50} : Micro-vickers hardness, load 50 g, IX. H_{V-100} : Micro-vickers hardness, load 100 g, X. H_{K-100} : Knoop hardness, load 100 g, XI. H_{K-500} : Knoop hardness, load 500 g.

Samples	I. n_d	II. ν_d	III. $\alpha \cdot 10^{-7}$	IV. T_g	V. A'/d	VI. H_G	VII. H_M	VIII. H_{V-50} *	IX. H_{V-100} *	X. H_{K-100} *	XI. H_{K-500} *
FK 3	1.4647	65.8	91	450	15.841/2.27	143	107	468	517	508	412
BK 7-1	1.5162	64.2	78	490	6.513/2.54	461	141	692	605	464	484
BK 7-2	1.5163	64.0	88	539	6.813/2.53	372	144	548	556	521	511
BaLK 3-1	1.5183	60.5	105	525	11.824/2.62	220	132	535	564	434	459
BaLK 3-2	1.5184	60.3	89	490	12.078/2.63	218	140	566	493	501	428
K 3-1	1.5180	58.8	112	547	12.252/2.54	207	119	577	579	457	441
K 3-2	1.5182	59.0	68	520	10.014/2.55	252	122	504	501	459	452
BaK 4-1	1.5686	56.2	73	588	10.772/3.11	307	119	531	572	516	476
BaK 4-2	1.5688	56.0	75	555	10.542/3.11	295	136	589	546	477	472
SK 5-1	1.5891	61.2	68	695	8.927/3.31	370	122	577	577	479	493
SK 5-2	1.5891	61.2	70	637	8.706/3.32	382	133	592	563	554	497
SK 16-1	1.6201	60.4	83	655	15.459/3.61	234	126	629	614	476	472
SK 16-2	1.6204	60.3	71	649	12.021/3.60	299	121	498	498	453	465
KF 2	1.5264	51.2	94	488	10.700/2.72	211	122	519	478	435	399
BaLF 4	1.5795	54.0	80	625	10.746/3.25	302	132	527	536	365	477
SSK 5	1.6583	50.8	87	665	18.656/3.78	204	121	401	556	492	449
LLF 2	1.5407	47.2	84	442	11.704/2.86	244	129	481	478	402	383
LLF 6	1.5317	48.9	103	482	12.912/2.78	215	122	529	534	481	408
BaF 10-1	1.6698	47.4	89	652	16.543/3.79	229	122	570	612	479	440
BaF 10-2	1.6700	47.2	83	595	17.790/3.84	216	121	489	469	481	452
LF 4	1.5783	41.6	98	465	14.374/3.22	224	126	475	437	394	377
LF 5	1.5814	40.8	96	412	17.043/3.25	190	128	495	538	405	382
F 2-1	1.6199	36.3	90	465	21.040/3.61	177	117	499	464	416	367
F 2-2	1.6200	36.3	101	438	18.274/3.60	197	120	438	443	390	367
F 16	1.5929	35.4	93	540	17.579/2.65	151	139	594	548	478	412
BaSFS 2	1.7232	38.1	82	627	22.746/3.97	175	121	601	653	514	448
SF 2-1	1.6478	33.9	93	468	23.893/3.84	161	123	465	467	335	352
SF 2-2	1.6477	33.9	93	417	20.729/3.86	186	118	432	407	372	343
SF 13-1	1.7411	27.7	82	496	29.318/4.46	152	117	500	456	365	356
SF 13-2	1.7408	27.7	74	466	27.577/4.36	159	115	392	441	372	363
KzF 2	1.5296	52.0	62	522	7.212/2.60	360	157	563	508	372	407
LaK 12	1.6779	55.3	92	647	26.979/4.24	157	120	538	548	424	471
LaF 3	1.7170	48.2	96	650	23.672/4.26	180	116	554	532	458	463
Plate glass	1.519	—	—	—	7.030/2.50	354	134	594	562	464	485

* A mean value for five depressions.

Fig. 7. Abrasive belt grinding hardness versus marring hardness.

Fig. 8. Micro-vickers hardness versus marring hardness. (Load: 100 g)

Fig. 9 Knoop hardness versus marring hardness. (Load : 100 g)

Fig. 10 Knoop hardness versus micro-vickers hardness. (Load : each 100 g)

Fig. 11. Abrasive belt grinding hardness and marring hardness versus transformation point.

Fig. 12. Micro-vickers hardness and Knoop hardness versus transformation point.

が得られたところと一致する。

図-11, 12 によつては光学ガラスの転移点と各種硬さの測定値が関連をもつとは認め難い。しかし各試料ガラスを関係ある群に分けることによってこの点に関する

Table 4 Coefficients of correlation between the four hardnesses.

n : number of samples, $n=34$		
ϕ : number of degrees of freedom, $\phi=n-2=32$		
α : level of significance, $\alpha=0.01$ (1%)		
r : sample correlation coefficient		
$r(\phi, \alpha)$: value of r -distribution for ϕ and α		
H_G-H_M	0.6144	$r(32, 0.01)=0.4365$
H_G-H_V	0.3679	"
H_G-H_K	0.3129	"
H_M-H_V	0.2221	"
H_M-H_K	0.0606	"
H_V-H_K	0.6351	significant

解釈も異なってくるものと思われるが、それには試料数も少ないことなどからして今後の研究に待たねばならない。

ガラスの被研削性または研削硬さと微小硬さとの関係についての報文¹⁶⁾において、両者に関係なしとする者に W.H. Willot, J.A. Brodski, N.K. Destev らがあり、関係があると認める者に F.K. Alejnikov, さらに微小硬さと被研削性が比例すると見る者に F.G. Wihsmann と A. Petzold らがある。また、ガラスの機械的加工に際して、加工物であるガラスが局部的に加熱されることから、ガラスの高温特性（一般に軟化温度または転移点）* と加工性との関係についても古くから論じられてきたところで、砥石によるガラスの被研削性に関する研

* 本研究で使用了各光学ガラスの軟化温度は転移点より 30°~60°C 高い程度である。

究の中で J. Gypser¹⁸⁾は両者の間に明確な関係はないと述べている。他方、ダイヤモンド微小押込硬さと軟化温度との関係については B.W. Mott の著書¹⁵⁾(p. 210, Fig. 143) に Bernhardt, Schulz, Onitsch らの結果が記載されており、これを見ると比例関係が認められる。

ここでは、これら従来の研究結果と本研究の結果については、試料として用いたガラスが必ずしも同一系統のものではなく、同時に研削工具、研削条件およびその他の実験条件が相違することから、結果について一義的に論ずることが不可能であるので、その比較検討は避けることにする。

IV. ま と め

光学ガラスを主とする実用ガラスについてベルト研削硬さ、毀傷硬さ、ダイヤモンド微小押込硬さを求め、これらの測定値を提示するとともに各種ガラスの加工性を考察する場合の基礎的事項として各種硬さの相関関係を明らかにした。ベルト研削硬さと毀傷硬さとの相関性は非常によく、ダイヤモンド微小押込硬さは同種のマイクロピッカース硬さとヌープ硬さの間においては当然ながら相関性がよいが、ベルト研削硬さと毀傷硬さに対しては相関性がよくない。光学ガラス試料の転移点とそれらの各種硬さ測定値との間には全体として明確な規則性を認め難い。

本研究を実施するに当り尾田弘文氏、小林甲一氏、高橋伸和氏(光陽研磨材株式会社)、神谷正彦氏(いすゞ自動車株式会社)に実験上種磨御協力を頂き、ガラス試料に関しては株式会社小原光学硝子製造所および株式会社保谷硝子の御厚意によるところが大きい。ここに記して深甚なる謝意を表する。

文 献

- 1) 久本 方. ガラスの精密加工, 誠文堂新光社, 東京, (1955) 156
- 2) 谷口紀男. 硬脆材料の衝撃破砕加工法, 誠文堂新光社, 東京, (1959) 360
- 3) 山内俊吉. 窯業の研究 II, 技報堂, 東京, (1961) 486, 長谷川 泰 (分担執筆). 363-407
- 4) 石田泰弘. 機械工業, 1 [2] 150-60, [3] 259-72, [4] 412-20 (1961)
- 5) 研削加工専門委員会. 精密機械, 24 [11] 628-30, 649 (1958)
- 6) 遠藤幸雄. 機械と工具, 4 [6] 28-36 (1960)
- 7) 文献 3), 380-381
- 8) 切削加工技術便覧編集委員会. 切削加工技術便覧, 日刊工業新聞社, 東京, (1962) 1550, 遠藤幸雄 (分担執筆). 632-44, 784-813
- 9) W.J. Scoft. J. Am. Ceram. Soc., 7, 342-46 (1924)
- 10) D. Starkie. J. Soc. Glass Technol., 26, 130-44 (1942)
- 11) W. Harjes. Silikattechnik, 6, 284-87 (1955)
- 12) 長谷川 泰, 川久保正一郎. 窯協, 63 [3] 105-109 (1955)
- 13) 長谷川 泰, 川久保正一郎. 分光研究, 7 [3] 16-25 (1959)
- 14) Ernst Leitz GMBH, Wetzlar. Anleitung und Regeln für das Arbeiten mit dem Kleinhärteprüfer DURIMET
- 15) B.W. Mott. Micro-Indentation Hardness Testing, Butterworths Scientific Publication, London (1956) p. 272
- 16) A. Petzold, F.G. Wihsmann & H. v. Kamptz. Glastechn. Ber., 34, 56-71 (1961)
- 17) F.C. Eversteijn, J.M. Stevels & H.I. Waterman. Physics & Chemistry of Glasses, 1, 123-33 (1960)
- 18) J. Gypser. Silikattechnik, 6, 372-77 (1955); 8, 264-66 (1957)

(12/22/62 受付)

クロム鉄鉱中に析出する 三二 酸化物の 挙動に関する X 線的研究

安 保 英 司

(群馬大学工学部)

X-Ray Study of Behaviors of Sesquioxides Depositing in a Chromite Grain

By

Eiji ANBO

(Faculty of Technology Gunma University)

Abstract

It is well known that sesquioxides, Cr_2O_3 , Al_2O_3 and Fe_2O_3 , are liberated from chromite ore by heat treatment in air. But behaviors of the sesquioxides in ores fired at temperatures below 1000°C have not been studied systematically.

In this report, influences of behaviors of the sesquioxides on lattice spacing of the chromite fired below 1300°C and diffusion phenomena of the sesquioxides in the fired