

Soda-borosilicate Glass 를 結合材로 한 研削 숫들에 關한 研究

李喜洙, 朴正鈺, 權五燾
延世大 工大 窯業工學科
(1979년 8월 30일 접수)

A Study on the Abrasive Wheels Bonded with Soda-borosilicate Glass

Hee-Soo Lee, Jeong-Hyun Park, Oh-Hun Kwon
Dept. of Ceramic Engin. Yonsei Univ.
(Received August 30, 1979)

ABSTRACT

The carborundum abrasive specimens bonded with a soda-borosilicate glass were prepared.

Samples fired at specified temperatures with various mixing ratio and forming pressure were examined in terms of the structure, bonding strength, and microscopic observations.

Increasing the forming pressure up to 400kg/cm², the structure became denser in proportion to the forming pressure. The bonding strength was generally increased with increasing the mixing ratio (Vb/Vg), but the bloating phenomena were observed when samples were fired above 950°C with mixing ratio above 20%, consequently, the bonding strength was decreased. Samples fired at the temperature range 900~950°C with mixing ratio 15~30% had the dense structure with various grades.

1. 序 論

vitrified 研削숫들은 一般적으로 砥粒과 磁器質 結合材로 構成되어 있다. 이러한 vitrified 研削숫들은 그 結合材 構成 原料가 産地에 따라서 甚한 成分組成의 變化를 보이므로, 製品의 均質한 再現성을 기하기가 어렵고, 1,300°C 前後의 高溫燒成을 要하기 때문에 熱經濟性이 低下된다. 이들 缺陷을 輕減시키기 爲한 研究은 오래 전부터 여러 나라에서 이루어지고 있으나, 그 大部分은 特許로 報告되고 있다.

低溫 燒成에 容易한 유리質을 結合材로 한 研削숫들에 關한 研究은 white alundum(WA) 砥粒에 soda-lime-silica系 유리를 使用한 것¹⁾과 結合材의 一部를 frit로 使用한 報文²⁾等도 發表되고 있으나, green carborundum(GC) 砥粒의 結合材로는 유리質이 磁器質보다 適

應性이 좋지 않다³⁾고 알려져 있다.

本 研究에서는 GC를 砥粒으로 하여 結合材로는 熱膨脹度 面에서 適應性이 좋다고 認定되는 一定 成分의 soda-boro silicate系 유리⁴⁾를 選定하였으며, 豫備實驗을 通하여 變化項目으로 成形壓力, 結合材의 配合比, 및 燒成溫度의 變化를 擇하여 組織 및 結合度의 測定에 重點을 두어 研削숫들로서의 物性 變化와, 反射顯微鏡觀察을 通하여 微構造가 物性に 미치는 影響을 探究하였다.

2. 實 驗

2-1) 使用 原料

砥粒은 日本 昭和電工 Co. 製品 GC #60을 使用하였으며, 比重은 3.22g/cm³, 熱膨脹係數는 $4.4 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ (0~500°C)이었다.

結合材로는 使用한 砥粒과 熱膨脹係數가 거의 비슷한 soda-borosilicate系 유리를 製造하여 使用하였으며, 化學組成 및 物理的 性質은 Table 1과 같다. 製造된 유리는 急冷시켜 磁製 pot mill로 濕式 粉碎한 後 篩分하여 43 μ m 以上, 89 μ m 以下의 粒子를 取하여 使用하였다.

Table 1. Chemical Compositions and Some Physical Properties of the Soda-Borosilicate Glass.

SiO ₂ wt. %	B ₂ O ₃ wt. %	Al ₂ O ₃ wt. %	Na ₂ O wt. %	Sp. gr. (g/cm ³)	Thermal exp. (1°C)
68	24	1	7	2.26	4.6 × 10 ⁻⁶ (0~400°C)

成形用 粘結劑로는 日本 關東化學社製 試藥用 dextrine 을 使用하였다.

2-2) 試片의 調製

形成壓 變化用 試片은 砥粒 重量의 5%에 相當하는 15% dextrine 水溶液을 砥粒에 加하여, 溶液이 砥粒의 表面에 均一하게 coating될 때 까지 充分히 混合한 後, 砥粒의 부피 (Vg)에 對하여 結合材의 부피 (Vb)의 比率 (Vb/Vg)을 20%가 되게 結合材를 加하여 다시 均一하게 될 때 까지 混合한 다음, 지름 2.5cm의 圓筒形 金型⁹⁾을 使用하여 50, 100, 200, 300, 400, 800 및 1,600kg/cm²의 壓力으로 두께 約 2.5cm의 成形體를 作成하였다. 成形된 試片은 dry oven을 使用하여 110°C에서 恒量이 될 때까지 乾燥하였으며, 燒成은 Ni-Cr 電氣爐를 使用하여 800°C까지는 200°C/hr의 昇壓速度로, 800°C 以上은 120°C/hr의 昇溫速度로 950°C까지 昇溫시켜 30分 동안 維持시킨 後 自然冷却하여 各各 3個의 供試體를 準備하였다.

組織 測定用 試片의 作成은 形成壓 變化用 試片의 調製法과 類似하며, 다른 點은 形成壓을 300kg/cm²으로 固定시키고, 配合比 (Vb/Vg)를 10~30% 範圍에서 5% 間隔으로 變化시켰다.

結合 測定用 試片의 作成은 組織測定用 試片의 調製法과 類似하며 다른 點은 지름 6cm의 圓筒形 金型을 使用하여 두께 2cm의 成形體를 作成하였다는 點이다.

2-3) 試驗 方法

組織의 測定은 S. Terada et al⁹⁾의 方法에 準하여 測定하였으며, 試片에 蒸溜水를 浸透시키기 위해 vacuum chamber를 使用하여 10mmHg까지 脫氣시켜 1時間 동안 維持시켰으며 各各 3個의 試片을 測定하여 平均値를 取했다.

結合度 測定은 KSL 6501⁷⁾에 準하여 大越式 結合度 測定器를 使用하여 測定하였다.

또 反射顯微鏡 寫眞을 찍기 위하여 試片에 resin을 침투시켜⁸⁾ 90°C에서 硬化⁹⁾시킨 後 研磨 및 polishing을 한 뒤, 묽은 鹽酸으로 硬化된 resin을 溶出시켜내어 水洗, 乾燥한 後 反射顯微鏡으로 150倍의 倍率로 寫眞을 찍었다.

3. 結果 및 考察

3-1) 形成壓力의 變化에 의한 影響

配合比를 20%, 形成壓을 50~1,600kg/cm² 사이에서 變化시켜 만들어진 成形體를 950°C에서 燒成하여 만든 試片의 組織 및 結合度 測定 結果는 Table 2와 같다.

여기서 組織은 形成壓을 높임에 따라서 砥粒率과 bond率이 增加되며, 氣孔率은 減少되는 傾向을 보이는 데 形成壓 400kg/cm² 以下에서는 S. Terada et al의 結果⁹⁾와 같은 傾向을 나타내지만 그 以上의 形成壓에서는 큰 變化가 나타나지 않고 있다.

Fig. 1은 形成壓에 對하여 砥粒率을 plot한 것으로 400kg/cm² 以上의 形成壓에서는 砥粒率이 더 이상 增

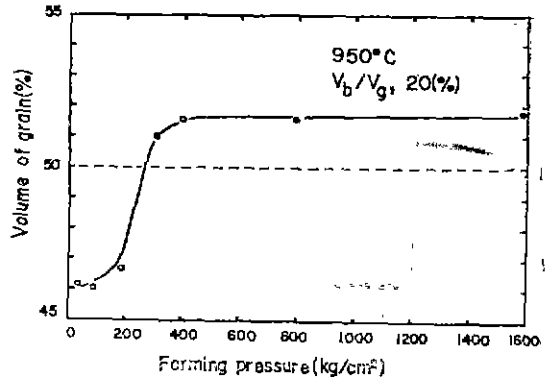


Fig. 1 Volume percentage of grain vs. forming pressure.

가하지 않음을 보여주고 있다. 이와 같은 事實은 400 kg/cm²의 形成壓에서 砥粒의 最密充填이 이루어진다는 것을 나타내며, Etsuo et al¹⁰⁾에 의하면 以上의 形成壓에서는 더 以上의 充填이 이루어지지 않고 GC 砥粒의 破壞現象이 나타난다고 報告되고 있다.

Fig. 2는 形成壓에 對하여 結合度를 bit의 깊이로 plot한 것으로, 여기서도 400kg/cm² 以上의 形成壓力은 結合度를 크게 增加시키지 못한다는 것을 보여주고 있다.

3-2) 配合比 및 燒成溫度의 變化에 의한 影響

Table 2. The Structure and the Bonding Strength of the Abrasives according to the Forming Pressure Change.

Sample notation	Variable condition	Structure				Bonding strength	
	Forming press. (kg/cm ²)	Apparent sp. gr. (g/cm ³)	Vol. % of grain	Vol. % of bond	Vol. % of pores	Depth in bit (mm)	Grade ²⁾
P- 50	50	2.98	46.3	15.1	38.6	0.82	I
P- 100	100	2.98	46.0	15.2	38.8	0.61	L
P- 200	200	2.98	46.7	15.7	37.6	0.54	M
P- 300	300	3.01	51.0	15.1	34.0	0.46	N
P- 400	400	3.03	51.6	13.0	35.3	0.48	N/O
P- 800	800	2.99	51.5	16.8	32.2	0.30	Q
P-1, 600	1,600	2.97	51.7	17.8	30.0	0.36	P

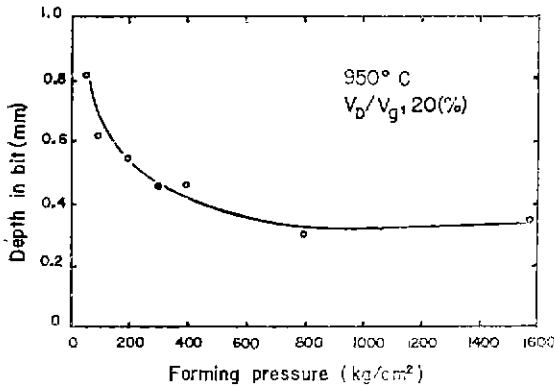


Fig. 2 Bonding strength vs. formingspressure.

成形壁을 300kg/cm²으로 固定시키고, 配合比를 10~30% 範圍에서, 또 燒成溫度를 800~1,000°C의 範圍에서 變化시켜 만들어진 試片의 組織 및 結合度 測定結果는 Table 3과 같다.

가. 組織의 變化

A, B, C, D 및 E-series 모두가 燒成溫度가 높아짐에 따라 겉보기 比重, 砥粒率 및 氣孔率이 減少하는 傾向을 보이며, bond率은 增加하는 傾向을 보이는데, 이것은 bond 유리 內의 closed pores가 溫度가 上昇함에 따라 점점 더 커져서, bond 유리及 bond 유리 內의 closed pores로 構成되는 bond 率이 增加되기 때문이라고 생각된다. 또 C, D 및 E-series 중에서 950°C 以上の 溫度로 燒成된 試片은 部分的 또는 全體의 bloating

Table 3. The Structure and the Bonding Strength of the Abrasives according to the Mixing Ratio and Firing Temperature Change.

Sample notation	Variable condition		Structure				Bonding strength	
	Vb/Vg (%)	Firing temp. (°C)	Apparent sp. gr. (g/cm ³)	Vol. % of grain	Vol. % of bond	Vol. % of pores	Depth in bit (mm)	Grade
A-1	10	800	3.10	53.0	7.4	39.6	—	—
2	"	850	3.12	53.9	6.2	39.9	—	—
3	"	900	3.11	53.6	2.3	39.1	—	—
4	"	950	3.10	53.1	8.0	38.9	—	—
5	"	1,000	3.05	51.5	10.7	37.8	—	—
B-1	15	800	3.08	52.8	9.4	37.8	—	—
2	"	850	3.07	52.5	10.0	37.5	—	—
3	"	900	3.07	52.1	9.9	38.1	0.72	J
4	"	950	3.05	52.2	11.1	36.7	0.63	K/L
5*	"	1,000	2.87	42.9	24.7	32.3	0.48	M
C-1	20	800	3.05	52.5	11.4	36.2	—	—
2	"	850	3.04	52.1	12.3	35.6	—	—
3	"	900	3.03	51.6	13.0	35.3	0.61	K
4	"	950	3.01	51.0	15.1	34.0	0.48	N
5*	"	1,000	—	—	—	—	0.46	N

(Table 3. continued)

Sample notation	Variable condition		Structure				Bonding strength	
	Vb/Vg (%)	Firing temp. (°C)	Apparent sp. gr. (g/cm ³)	Vol. % of grain	Vol. % of bond	Vol. % of pores	Depth in hit (mm)	Grade
D-1	25	800	3.02	52.0	13.5	34.5	—	—
2	"	850	3.01	51.8	14.7	33.5	—	—
3	"	900	3.00	51.5	15.4	33.1	0.35	P
925	"	925	2.98	51.0	15.9	33.1	0.30	Q
4*	"	950	2.93	43.9	18.9	37.2	0.40	O
5*	"	1.000	—	—	—	—	—	—
E-1	30	800	2.99	51.4	15.8	32.8	—	—
2	"	850	2.99	51.9	16.6	31.4	—	—
3	"	900	2.98	51.1	17.4	31.5	0.38	P
4*	"	950	—	—	—	—	0.61	K
5*	"	1,000	—	—	—	—	—	—

(* , inaccurate data, resulted from partial bloating phenomena.)

現象이 나타나면서 closed pores의 부피를 急激히 增加시키는 것으로 미루어 보아 이러한 說明이 뒷받침된다고 생각된다. 그러나 이러한 傾向은 WA에 對한 S. Terada et al의 報告¹⁾와는 一致하지 않고 있다.

Fig. 3은 C-series에서 燒成溫度에 對하여 砥粒率, bond率 및 氣孔率을 plot한 것으로 950°C까지 bond率이 線型的으로 增加하는 傾向을 잘 나타내고 있으며

Fig. 4는 900°C에서 燒成한 試片에 對해 配合比를 10~30% 範圍에서 變化시켰을 때 組織의 變化를 나타낸 것으로 配合比가 增加함에 따라 bond率이 線型的으로 增加되고, 砥粒率 및 氣孔率은 線型的으로 減少됨을 잘 나타내고 있다.

나. 結合度의 變化

配合比를 30%까지 높임에 따라 結合度는 增加하는

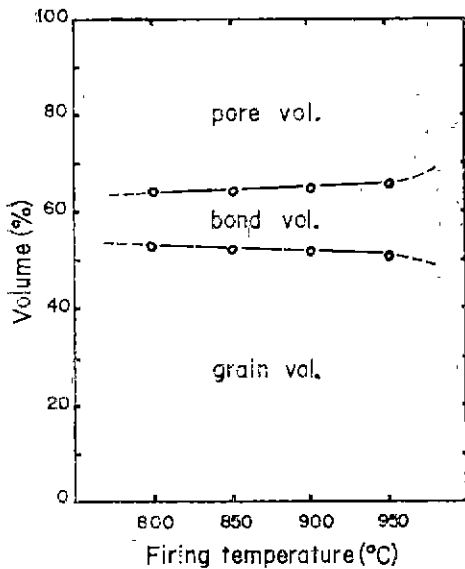


Fig. 3 The structure (volume percentage of grain, bond & pores) vs. firing temperature for C-series.

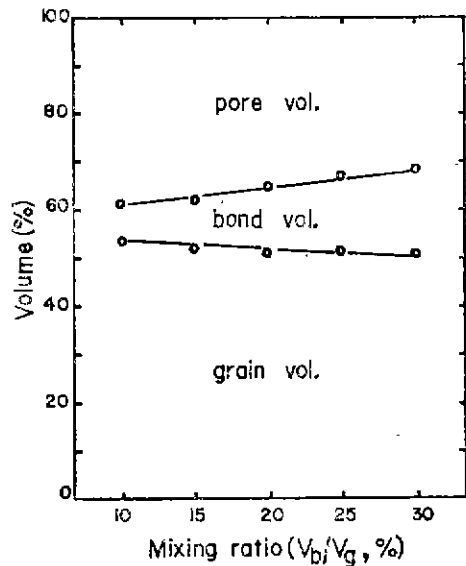
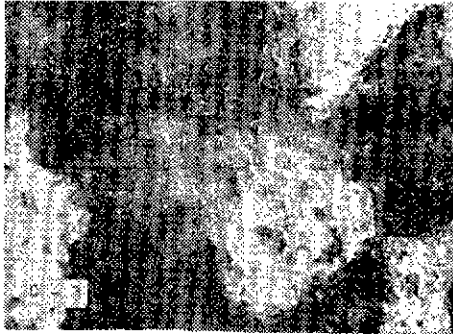


Fig. 4 The structure (volume percentage of grain, bond & pores) vs. mixing ratio for the abrasives fired at 900°C.

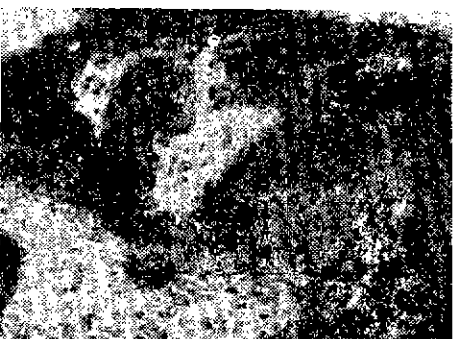
傾向을 보이지만, 配合比가 20% 以上인 것을 950°C 以上の 溫度에서 燒成한 試片은 逆으로 結合度가 減少하는 傾向을 나타낸다. 이것은 主로 bloating 現象이나 나타나면서, bond 유리及 砥粒 間의 有效接觸面積이 減少되기 때문이라고 생각되는데, S. Terada et al¹⁾과 박용완, 양중식²⁾에 의해 指摘된 바와 같이 bond 유리가 高溫에서 流動함에 따라 bridge 部分이 가늘어 진다는 것과 一致된다. 結合度는 bit의 길이로 0.72~0.30 mm의 範圍에서 나타나고 있으며, grade로는 J~Q에 걸쳐 나타나고 있다.



(a) 300kg/cm², 20%, 900°C



(b) 300kg/cm², 20%, 950°C



(c) 300kg/cm², 20%, 1,000°C

Fig. 5 Reflective micrographs of specimens for C-series (×150).

3-3) 微構造의 變化

Fig. 5는 試片의 反射顯微鏡 寫眞인데, 寫眞에서 밝은 部分은 砥粒, 어두운 部分은 氣孔. 또 砥粒과 砥粒 사이 또는 砥粒 周圍의 灰色 部分은 bond를 나타내고 있다.

寫眞 (a), (b) 및 (c)는 C-series에서 燒成溫度를 높임에 따른 微構造의 變化를 比較할 수 있는 것으로서, 砥粒 사이에서 bridge로 存在하던 bond 유리가 점점 砥粒의 表面으로 流動하는 過程을 볼 수 있으며, 寫眞 (c)인 境遇 部分的으로는 bond가 砥粒 表面에 잘 熔着되어 있으나, 部分的으로는 bloating 現象으로 인하여, bond의 有效接觸面積이 줄어들어 結合度를 減少시킨 것이 라고 생각된다.

4. 結 論

soda-borosilicate系 유리를 結合材로 한 炭化珪素 質 研削숫돌에 對한 實驗 結果를 綜合하면 다음과 같다.

1) 成形壓力를 400kg/cm²까지 높임에 따라 組織은 急激하게 密하게 되며 結合度도 增加되나, 그 以上の 成形壓力에서는 組織과 結合度에 큰 變化가 없었다.

2) 結合材의 配合比를 높임에 따라 結合度가 增加하는 傾向을 보이나, 配合比가 20% 以上인 것을 950°C 以上으로 燒成하던 유리質에 bloating 現象이 나타나서 結合度가 減少된다.

3) 結合材 配合比 範圍가 15~30%인 것을 溫度 900~950°C 範圍에서 燒成한 試片은 모두 密組織이며, grade는 J~Q 範圍에 걸쳐서 나타났다.

4) 900~950°C 사이에서 低溫燒成된 sodaborosilicate-유리를 結合材로 한 研削숫돌들은 從來의 磁器質 結合材를 갖는 vitrified 研削숫돌에 比하여 組織과 結合度面에서 對等한 物性值를 나타내었으며, 結合材로 單一유리 成分을 使用함으로써 再現性이 좋은 均一한 品位의 製品 生産이 容易하며 生産工程 面에서도 單純化될 수 있다고 생각된다.

參考文獻

- 1) 寺田 昭 = 外 : "低溫燒成ビトリファイド研削トイソ(第1報), ジラス結合材を使用するための基礎的考察", 名古屋工業技術試驗所報告, 7(9), 696-702 (1953).
- 2) 박용완, 양중식 : "vitrified 연삭지석의 결합제에 관한 연구", 窯業協會誌, 7(1) 47-54 (1970).
- 3) 이증근 外 : "자극질 연삭숫돌에 있어서의 結合材와 結合度에 관한 研究", 窯業學會誌, 13(4), 20-24 (1976).

- 4) Robert H. Doremus: "Glass science", John Wiley & Sons Inc., p.102 (1973).
- 5) 이종근, 김철영: "磁器質 結合劑의 組成이 研削砥石의 結合特性 미치는 影響", 窯業協會誌, 8(1), 64-76 (1971).
- 6) 寺田沼三 外: "研削砥石の組織の測定について", 名古屋工業技術試験所報告 15 (4), 126-30(1966).
- 7) KS L 6501: "비트리파이드 연삭 숫돌", (1976)
- 8) W.D. Kingery et al: "Structure and properties of vitrified bonded abrasives," *Am. Ceram. Soc. Bull.*, 42(5) 297-303 (1963)
- 9) 김창은 外: "석고·합성수지 복합체 물성에 관한 연구", 연세대학교 산업기술연구소 논문집, Vol. 7 pp. 85-90 (1977)
- 10) 林 悅雄 外: "粉末冶金の研究 (第1報), メタリックボンド砥石の試作", 名古屋工業技術試験所報告, (3) 11-15 (1952)