

구조용 세라믹스의 자동차와 제조업에의 응용

Structural Ceramics for Automobiles and Industrial Application in Japan

岡田 明 || 日産自動車株式会社 総合研究所

Akira Okada || Nisan Research Center, Nissan Motor Co. Ltd.

okada-a@mail.nissan.co.jp

Abstract

The status of structural ceramics in Japan is presented. Use of ceramics for structural components had been limited due to their brittleness, and the successful application was wear resistant parts such as thread guides and ceramic cutting tools up to around 1980. Since then, considerable work has been done for applying ceramics to mechanical parts, and automotive components made of silicon nitride were developed and commercialized in 1980s. Unfortunately, the application of silicon nitride to automotive engines is not so popular in these days. Instead, a variety of structural ceramics such as alumina, silicon carbide and zirconia have recently extended the market, and the expanded application includes vacuum process parts for manufacturing semiconductor and liquid crystal devices, refractory tubes for casting aluminum alloy, and dies for optical lens forming. In addition, cordierite honeycombs and diesel particulate filters are widely used in automobiles. In the present review, the recent application of structural ceramics to automobiles and industries in Japan is summarized.

1. 서론

세라믹스는 철에 비해 경량이고 내열성과 내마모성이 우수하다. 그러나 소성변형이 일어나기 어렵기 때문에 고정밀도의 기계가공이 가능하여 장기간 그 형상을 유지하는 특징도 있다. 이러한 특성은 화학결합이 강하기 때문이며 취성파괴를 일으키는 결점도 이러한 강한 결합에 기인한다. 그래서 구조용세라믹스의 종래의 응용은 사도나 메카니칼실 등 내마모부품이나 절삭공구 등으로 한정되었다.

1980년부터 질화규소의 자동차 엔진 부품에의 응용이 진행되었다²⁾ 이것은 (1)재료의 파괴인성을 높이고, (2) 파괴의 원인인 제조 결함의 발생을 제어하는 제조기술을 개발하고, (3)비정상적으로 높은 응력이 발생을 억제하는 부품 형상을 연구하고, (4)제조결함의 검사와 강도보증 기술 진보에 의한 것이다. 이러한 진보는 세라믹 가스터빈 연구에 따른 파괴역학으로까지 진행된 것과는 관계있다. 1990년대의 질화규소의 자동차 엔진에의 응용은 점차 진정되고 있으나 반도체나 액정패널의 제조부재에 고순도 알루미늄이나 탄화규소의 응용이 확대되고 있다. 본고에서는 일본의 구조용세라믹스의 응용에 대해 최근 동향을 중심으로 해설한다.

Table 1. Japanese Market for Structural Ceramics³⁾

Fiscal Year	1985	1990	1995	2003
Alumina	17,100	28,000	33,100	60,700
Zirconia	1,900	8,700	13,400	11,900
Silicon Nitride	2,200	7,400	7,000	7,400
Silicon Carbide	1,600	4,500	3,800	8,000
Aluminum Nitride	-	-	-	6,500
Other	3,200	14,400	19,000	22,000
Total	26,000	63,000	76,300	116,500

(Unit: million yen)

2. 구조용 세라믹스의 시장

일본의 구조용 세라믹스 시장은 1980년 경 상승하다가, 1990년부터 수년간 정체되었으나 규모는 확대를 계속하고 있다³⁾. Table 1에 재료별 시장추이를 나타냈으며 고순도알루미나의 반도체제조장치에의 채용이 최근의 특징이다. 지르코니아에 대해서는 이트리아를 첨가한 고강도 지르코니아의 내마모부재 칼중류 광통신 컨넥터(패들) 용도가 중심이다. 질화규소는 1980년대 자동차엔진에의 응용으로 시장이 확대되다가 그 시장규모가 당초의 기대를 크게 하회하고 있다. 탄화규소는 디젤엔진 배가스 정화 필터에의 응용이 최근 추진되고 있다. 질화알루미늄은 기능용으로 반도체의 히트싱크용으로 사용되었으나 1996년 경우 구조용으로 반도체의 제조장치로 사용하기 시작했다. 그외 범주의 대부분은 가솔린엔진의 배기가스 촉매담체로 코디에라이트 허니컴이 있고 연간 200억엔 규모로 예측되고 있다.

Table 2에 구조용 세라믹스의 최근 시장동향을 용도별로 나타냈다^{4,5)}. 반도체 및 액정제조장치에는 PVD나CVD, 에칭장치, 스테퍼 등의 중요부품으로써 대량의 세라믹스가 사용된다. 고순도 알루미나가 중심적 재료로 절연부품이나 정전적으로 사용되며 탄화규소나 질화알루미늄의 응용도 진행하고 있다. 전자디바이스와 통신관련에도 자기해드 슬라이드나 광콘넥트 부품 등이 포함된다. 세라믹스 선반이나 공작기계 부품은 이러한 것으로 제조되는 정밀기계 부품에 포함되고 사도나 메케니칼 쉘등 내마모 부품은 일반 기계부품의 범주이다. 비철금속제조에는 열전대보호관 등이 사용되고 자동차용세라믹스는 코디에라이트 촉매담체와 질화규소 엔진부품이 중심이다.

Table 2. Recent Production of Structural Ceramics in Japan^{4,5)}

Product	FY2004	FY2005
Transmission and Electric Products	11,000	13,800
Semiconductor Production	29,600	33,700
Liquid Crystal Production	11,900	12,100
Precious Mechanical Parts	1,800	1,900
General Mechanical Parts	16,500	16,950
Non-Ferrous Alloy Making	2,000	2,300
Automobiles	27,400	30,000
Others	13,700	13,320
Total	113,900	124,070

(Unit: million yen)

3. 제조장치에의 응용

3.1 반도체 제조

반도체 제조공정에서는 불순물의 혼입을 꺼려서 실리콘웨이퍼의 열처리 확산로 부품으로 고순도 탄화규소가 사용되고 있다^{6,7)}. 특히 균열성 향상이나 불순물 진입을 차단하기 위한 라이너 튜브 실리콘웨이퍼를 지지하는 보드 등에 사용되는 탄화규소는 고순도가 요구된다. 이러한 것은 순수화된 탄화규소 분말을 이용해 반응소결체를 얻고 거기에 고순도 실리콘을 용융함침시켜 제조한다. 그래서 표면을 CVD에 의해 SiC코팅하는 것이 일반적이다.

내식성, 내플라즈마성이 우수한 고순도 알루미늄은 반도체 에칭장치의 진공챔버내에 웨이퍼를 고정하는 부품으로 사용되고 있다⁸⁾. 이 재료는 (1)할로젠가스 환경하에서 플라즈마에 견디고, (2)반도체에 악영향을 주는 금속 원소 등을 함유하지 않고, (3)진공을 방해하는 가스를 발생시키지 않을 것 등의 특성이 요구된다.

반도체제조공정의 CVD, PVD 및 에칭공정에서 실리콘웨이퍼를 지지하는 서셉트(플라즈마 CVD에서 기관가열 히터나 정전척 등을 포함)에 질화알루미늄의 응용이 진행되고있다⁹⁾. 또 질화알루미늄의 이점은, (1)열전도율이 높기 때문에 실리콘웨이퍼를 지지 할 때 균열성이 높고, (2)실리콘과 열팽창계수가 비슷하여 가열과 냉각시 두 재료의 마찰이 작고에 결합의 원인이되는 파티클의 발생이 적다.

노광장치 부품이나 실리콘웨이퍼 반송용 지그는 (1)높

Table 3. Development in Processing Cordierite Honeycomb at NGK Co.²⁾

Cell Structure*	12 / 300	6 / 400	4 / 400	4 / 600	3 / 400	3 / 600	2 / 900
Wall Thickness (μm)	300	150	100	100	75	75	50
Number of Cells Per Unit Cross-Section Area (Cell number / cm^2)	47	62	62	93	62	93	140
Apparent Density (g/cm^3)	0.6	0.4	0.25	0.3	0.2	0.25	0.2
Surface Area Per Unit Volume ($\text{cm}^2 / \text{cm}^3$)	20	30	30	35	30	35	45
Year of Production Start	1976	1979	1995	1996	1999	1999	1999

*The wall thickness in unit of mil (1/1000 inch) and the number of cells per square inch

은 칫수정도를 유지하고, (2)경량이면서 고강성, (3)저열 팽창성, (4)정전기 제거를 위한 도전성 등을 만족하는 재료가 요구되고 거기에 제로열팽창 타입의 세라믹스가 사용되고 있다⁹⁾. 또 석영유리는 인상법에 의한 실리콘 단결정 제조용 도가나나 반도체 열처리나 드라이에칭공정에 사용되며 가열용 히터나 이온임플란테이션장치의 부재로 탄소이 사용된다⁷⁾.

3.2 철강제조와 알루미늄주조

철강의 기본적 제조공정은 다음과 같다. (1)분말상의 철광석과 석회석을 배합, 소결하여 일정한 크기로 한다 (소결로), (2)석탄을 건류한 코크스를 제조한다(코크스토), (3)소결된 철광석을 코크스로 환원하여 선철로 변화시킨다(고로), (4)선철에 산소를 불어넣어 과잉 탄소분을 제거하여 철로 만든다(전로). 철관은 이것을 주조하여 열간압연이나 냉간압연하여 제조한다. 방청을 위해 표면에 아연도금을 한다.

이러한 과정에서 철광석이나 분탄 등의 분립체를 수송할 때 배관의 마모를 억제하기 위해 세라믹스 라이닝을 배관 내부에 한다. 또 미분체의 수송 집진 가스의 배출 등에 블로우어가 사용되는데 이 블로우어 날개부분의 마모를 방지하기 위해 세라믹스 라이너를 사용한다. 이러한 세라믹스의 재질은 알루미늄이 대부분이고 마모가 심한 부분은 질화규소를 사용한다¹⁰⁾.

제철압연라인의 수송용으로는 질화규소 롤러가 일부 사용되고있다¹¹⁾. 냉간압연코일을 약 500°C의 아연욕중에서 침적하여 아연도금하여 아연도금강판을 제조하는 공정에서 롤러 베어링을 아연 용탕 안에서 사용하는데 종래에는 초경합금을 표면에 용사한 스테인리스 베어링을 사용했으나 사이알론으로 바꾸고나서 도금라인의 생산

성이 대폭 향상되었다¹²⁾.

알루미늄 저압주조나 다이캐스트에서 알루미늄용탕을 형에 옮기는 부재(스택이나 슬리브)에 사이알론을 사용한다¹³⁾. 저압주조의 스택에 이전에는 주철이 사용되었으나 용탕내에 철이 혼입되어 수명을 단축하는 것이 문제가 되었으나 이것을 사이알론 슬리브로 바꾸어서 개선되었다. 알루미늄 다이캐스트에 사용되는 열간 다이스 강제 슬리브에는 용탕 사출시에 슬리브와 용탕을 밀어내는 플랜지 사이에 대량의 윤활제를 사용했으나 그것의 금속관 내부에 세라믹스 슬리브를 사용하면 윤활제의 양을 대폭 저감하여 주조결함을 낮추는 효과가 있다.

3.3 세라믹 금형

광학렌즈는 일반적으로 유리의 절삭과 연마에 의해 제조되며, 정보기전에 사용되는 비구면렌즈는 금형으로 성형에 의해 300°C 이상 고온에서 프레스로 제조된다. 이러한 금형재료는 철계재료, 초경합금과 세라믹스가 있으며 세라믹으로는 탄화규소의 표면을 CVD로 SiC 피복한 재료가 사용된다¹³⁾.

동합금의 타발프레스는 휴대전화나 자동차의 컨넥터에 사용된다. 여기에 철계재료나 초경합금이 사용되었으나, 2000년대에 파괴인성이 큰 지르코니아 세라믹스가 사용되고 있다. 또 여기에 탄화티탄을 분산시켜 도전성을 부여하여 ZrO₂-WC 분산강화세라믹스도 사용되고 있다¹³⁾.

3.4 절삭공구¹⁾

절삭공구재료는, (1)피연삭물보다 단단하며, (2)피연삭물과 화학반응이 일어나지 않고, (3)고속절삭에 의한 고온에 견디고, (4)절삭중에 결합이 없어야 하는 것이 중요

Table 4. Ceramic Parts Used for Commercial Vehicles in Japan¹⁾

Ceramic Parts	Materials	Advantages of Using Ceramics	First Application
Glow Plugs for Diesel Engines	Silicon Nitride	Quick start of diesel engines	1981
Hot Plugs for Swirl Chambers of Diesel Engines	Silicon Nitride	Reduction of noise emission level and the exhaust unburned fuel gas	1983
Locker Arm Pads (Cam Followers)	Silicon Nitride	Improvement in the wear resistance	1984
Turbocharger Rotors	Silicon Nitride	Improvement in acceleration response	1985
Tappets for Diesel Engines (Cam Followers)	Silicon Nitride	Improvement in the wear resistance	1993
Exhaust Controller Valves for Twin Turbocharger	Silicon Nitride	Improvement in transition characteristics by minimizing leak gas	1993

하며, 세라믹스는 본질적으로 (1)~(3)의 특성은 우수하며, (4)를 만족하겠끔 개량에 의하면 유망한 공구재료로 된다. 그러나 절삭공구의 세라믹스공구 시장점유율은 수%에 머무르고 초경합금 점유비중이 크고 서메트가 그 다음이고 세라믹스가 깨어지기 쉽기 때문이다. 초경합금의 표면을 TiC나 Al₂O₃ 등의 세라믹계 피막을 입힌 코팅공구의 점유율이 착실히 늘고 있으며, 이것은 (1)~(3)의 특성이 우수한 세라믹스를 표면에 사용하여 내부에는 깨어지기 어려운 초경합금을 이용하여 개량한 것이다.

현재 세라믹공구의 주된 용도는 내열성을 필요로 하는 주철의 고속절삭분야이다. 이 곳에는 (1)고순도 알루미늄 나계, (2)알루미늄에 TiC, ZrO₂, SiC 휘스커 등을 첨가한 것, (3)질화규소계가 있다. 그중에서 질화규소계는 주철의 조가공이나 습식절삭에 널리 사용되고 질화규소는 세라믹스중에서 깨지기 어려운 재료이기 때문이며 절삭량도 비교적 많다.

4. 자동차의 응용

4.1 촉매담체²⁾

가솔린엔진에서 배가스정화는 산소센서로 공연비를 적절한 범위에서 제어하기 위해 귀금속을 주체로한 삼원 촉매로 배가스를 정화하는 시스템을 사용한다. 산소센서에서는 고체전해질의 지르코니아 세라믹스를 사용하며 촉매의 담체에는 압축성형으로 제조한 코디에라이트제 허니컴세라믹스 담체가 사용된다. 이 허니컴 표면은 귀금속 촉매의 미립자를 함유한 γ알루미늄나로 피복하여 사용한다.

이 시스템의 개선은 촉매로 사용되는 성분의 개량과 허니컴의 박벽화이다. 배가스 정화 촉매가 기능을 발휘

하기 위하여 엔진을 시동할 때 배가스의 온도가 높아지고 그것에 의해 촉매의 온도도 높아질 필요가 있다. 허니컴의 박벽화는 촉매의 조기활성화에 유효하며, Table 3에 나타낸 것 같이 일본 가인제품으로, 1976년에는 300μm인것이 1999년에는 50μm로 얇아졌다.

4.2 파티큘레이트 필터³⁾

디젤엔진은 가솔린엔진에 비해, (1)높은 압력을 동반한 폭발연소가 가능하고, (2)본질적으로 희박연소이고, (3)펌프손실(슬로톨로스)이 없는 등의 이점이 있어서 연료소비율이 낮고 지구온난화를 가져오는 탄산가스의 배출량도 적은 특징이 있다. 그러나 압축한 공기에 연료를 분사시켜 폭발연소시키는 방식이기 때문에, 연료의 기화가 충분히 되지 않은 그대로 폭발연소가 일어나면 흑연 등의 미립자상물질이(Particulate Matter: PM) 발생하는 무체가 있다. PM에는 발암성이나 기관지천식과의 연관성이 지적되어 배출규제는 엄격하다. PM을 제거하는 데는 필터로 거를 필요가 있고 월블로우형의 디젤파티큘레이트 필터를 (Diesel Particulate Filter: DPF) 장착하는 것이 일반적이다. 월블로우형 DPF는 사각형 구멍이 있는 셀로 다공질 세라믹 허니컴의 입구측과 출구측을 상호 막은 구조로 되어있다. 유입된 가스는 다공질 셀 벽을 통과하고, PM은 유입측 셀 벽 및 표면, 벽내부에 퇴적된다. DPF의 재료는 코디에라이트와 탄화규소가 사용된다.

4.3 자동차 엔진 부품¹⁾

질화규소를 중심으로 구조용 세라믹스의 자동차 엔진에의 응용이(Table 4) 급속하게 진행된 것은 1980년대경이다. 디젤엔진의 시동성을 개선하기 위해 글로우 프리그를 시작으로 경량 세라믹스의 응용에 의한 응답성을

높이기 위한 티보차저로부터 또 로커암칩이나 태피트 또 캠폴로우어게 내마모부품에의 응용이 진행되었다. 그러나 실용화 당시의 세라믹스 파이버에 후삼시킨 부품도 부정할 수 없고 코스트 상승에 어울리는 효과도 인정되지 않았고, 자동차의 모델 변화에 따른 차기형 사양에서 제외되는 부품도 적지 않았던 것 같다.

배기 밸브의 경량화는 동부품의 관성력을 크게하여 엔진의 고회전영역에서 이점이 많으며 세라믹스의 응용이 강하게 기대되는 분야이다. 시판차에는 아직 실용화는 이르지 않았으나 왕성한 연구개발이 이루어지고 있다. 1980년대의 끝 무렵 레즈차에 세라믹밸브가 사용되어 경량화 효과를 실제로 확인했으며, 1990 년대는 질화규소밸브를 사용하여 도로상시험을 다임러 벤츠사에서 행했다.

5. 결론

구조용 세라믹스의 연구개발은 1980년대 열광적 붐에 비하면 근래는 미온적이다. 그 사이 일본에서 상품화된 부품은 질화규소가 많고, 선반 등 공작기계의 주축용 베어링으로 핫프레스한 질화규소 베어링이 실용화되어 공작기계의 정도 향상에 공헌했다¹⁾. 또 질화규소 스프링은 1000°C까지 사용 가능한 고온용 스프링이 개발되었고, 납땜용 지그로 응용되고 생산성 향상에 기여했다²⁾. 알루미늄이나 싱글레버 혼합 수도밸브 에어슬라이드 등 정밀 가이드 선반 등에 응용이 진행되고 탄화규소는 낚시용 가이드 등에 응용되고 있다. 지르코니아는 부엌칼이나 가위외의 응용에 이어 광컨택트 페를이나 케이싱블록에의 응용이 진행되고 있다³⁾. TiC를 복합한 알루미늄이나 자기헤드 슬라이드로 응용이 진행되고있다.

1988년부터 11년 실시된 코제네레이션용 세라믹 가스

터빈연구(300kW급 CGT)에서 터빈 입구온도를 1350°C에서 열효율 42.1%로 고효율 운전이 실증 되었다. 그것은 고온특성이 우수한 질화규소재료의 개발, 고온 세라믹스부재의 탄성적 지지기술, 세라믹스섬유를 이용한 복합결합부재의 개발 등에 의한 기여가 크다⁴⁾.

참고문헌

1. A. Okada, *Bull. Ceram. Soc. Jpn.*, **40** [4] 259 (2005).
2. A. Okada, *Engineering Materials (Kogyo Zairyo)*, **53** [8] 23 (2005).
3. T. Sugimoto, *Bull. Ceram. Soc. Jpn.*, **39** [9] 700 (2004).
4. T. Sugimoto, *Bull. Ceram. Soc. Jpn.*, **40** [9] 703 (2005).
5. T. Sugimoto, *Bull. Ceram. Soc. Jpn.*, **41** [9] 703 (2006).
6. *Handbook of Ceramics (2nd Ed.)* Ed. Ceramic Society of Japan, Gihodo, pp.1250-56 (2002).
7. E. Sotoya, *Bull. Ceram. Soc. Jpn.*, **40** [6] 438 (2005).
8. M. Sakamaki et. al, *Bull. Ceram. Soc. Jpn.*, **38** [4] 287 (2003).
9. K. Kawasaki, *Bull. Ceram. Soc. Jpn.*, **39** [9] 688 (2004).
10. T. Takahashi, *Bull. Ceram. Soc. Jpn.*, **40** [6] 423 (2005).
11. K. Kato, *FC Report*, **17** [8] 194 (1999).
12. S. Hamayoshi, *Bull. Ceram. Soc. Jpn.*, **40** [6] 430 (2005).
13. M. Nagano, *Bull. Ceram. Soc. Jpn.*, **40** [6] 443 (2005).

●● 岡田 明 (오카다 아키라)



- 1949年生
- 1975年 東京工業大學大學院修士課程修了, 工學博士. 日産自動車株式會社 總合研究所에서構造用세라믹스를 중심으로 材料研究理事. 런던임페리얼 칼리지 客員研究員, ISO TC206(세라믹스)의 컨비네이트 등 歷任, 現在は社團法人日本세라믹스協會理事(세라믹스誌編集委員長).