

Ceramic 재질을 이용한 자동차용 대형 디젤엔진 Valve Lifter 연구 II. 사출성형에 의한 탄화규소질 Valve Lifter 개발

윤호욱 · 한인섭* · 임연수** · 정윤중**

KIA-ASIA MOTORS 기술연구소

*한국에너지 기술연구소

**명지대학교 공과대학 무기재료공학과

(1997년 9월 3일 접수)

Studies of Valve Lifter for Automotive Heavy Duty Diesel Engine by Ceramic Materials II. Development of SiC Valve Lifter by Injection Molding Method

Ho Wook Yun, In Sup Han*, Yun Soo Lim** and Yun Joong Chung**

Technical Centre of KIA-ASIA MOTORS

*Korea Institute of Energy Research

**Dept. of Inorg. Mater. Eng. Myong Ji Univ.

(Received September 3, 1997)

요 약

Valve lifter는 tappet라고도하며, camshaft 위쪽의 cylinder block에 마련된 lifter hole에 지지되어 camshaft의 회전운동을 push rod의 직선운동으로 변환시켜 valve를 개·폐시키는 엔진 부품이다. Camshaft와 계속되는 접촉으로 face면은 엔진이 고출력화되면서 편마모 및 조기마모 되어지고 이러한 이상마모의 영향은 valve lifting시 over clearance라는 결함이 되어 연소실에서 연료를 불완전연소시켜 결국 엔진출력 저하와 함께 환경오염의 원인이 되었다. 따라서 이러한 편마모 및 조기마모를 방지하기 위해 금속제 valve lifter를 내마모성 및 내충격성이 우수한 탄화규소질 세라믹스로 개발하고자 연구한 결과, 양호한 사출성형체를 얻을 수 있는 최적의 사출조건과 원료배합조건 및 탈지공정조건을 얻을 수 있었으며, 소결후 모입자 탄화규소(α -SiC)가 탄소 및 실리콘과 반응하여 생성된 새로운 탄화규소(β -SiC)와 서로 좋은 결합을 이루고 있는 미세한 이중 소결조직을 얻을 수 있었다. 탄화규소질 valve lifter의 기계적 특성은 Vickers hardness 1100-1200, 꺾임강도 300-350 MPa, 파괴인성 1.5-1.7 MPa · m^{1/2} 범위로 우수하게 나타났다. 향후 금속제 valve lifter와 함께 엔진동력 연속대구시험을 통하여 조기파손이나 편마모 및 조기마모와 같은 이상현상에 대한 원인을 분석하고, 이를 토대로 자동차용 대형 디젤엔진에서 금속제인 엔진부품을 내마모성, 경량성이 우수한 세라믹스로 개발, 연구하고자 한다.

ABSTRACT

Valve lifter, namely tappet, is supported by lifter hole which is located upper side of camshaft in cylinder block. transforms rotatic movement of camshaft into linear movement and helps to open and shut the engine valve as an engine parts. The face of valve lifter, which is continuously contacting with camshaft, brings about abnormal wears, such as unfair wear and early wear, because it is severely loaded in the valve train system. These wears act as a defect like over-clearance and cause imperfect combustion of fuel during the valve lifting in the combustion chamber. Consequently, this imperfect combustion makes the engine output decrease and has cause on air pollution To prevent these wears, therefore, The valve lifter cast in metal developed into SiC ceramics valve lifter which has an excellence in wear and impact resistance. As a result, the optimum process conditions like injection condition, mixture ratio and debonding process could be established. After sintering, fine-smered dual microstructure in which prior α -SiC matches well with new SiC(β -SiC) produced by reaction among the α -SiC, carbon and silicon was obtained. Based on the study, it is verified that mechanical properties of SiC valve lifter are excellent in Vickers hardness 1100~1200 bending strength(300~350 Pa), fracture toughness(1.5~1.7 MPa · m^{1/2}). Through engine dynamo test-

ing, SiC valve lifter and metal valve lifter are examined and compared into abnormal phenomena such as early fracture, unfair and early wear. It is hoped that this research will serve as an important springboard for the future study of heavy duty diesel engine parts developed by ceramics which has a good wear resistance, reliability, and lightability.

Key words : Valve train system, Ceramic valve lifter, SiC valve lifter, Injection molding valve lifter

1. 서 론

자동차용 대형 디젤엔진에서 camshaft, valve lifter, push rod, rocker arm, valve 등으로 구성되어 연소공정에 직접적으로 관여하는 valve train system은 각 부품마다 그 연결상태가 기계적인 맞물림 형식으로 되어 있어 항상 심한 마찰상태에 노출되어 쉽게 마모되어진다. 더욱이 엔진성능이 갈수록 고마력, 고효율화되면서 각 연결 부위에 걸리는 load(면압)의 크기는 더욱 증가^{1,2)} 되기 때문에 이 부위의 마모량은 과다해지고 급기야 편마모라는 치명적인 손상을 일으키게 된다. 이러한 비정상적인 마모현상은 부품간 over clearance와 불구합(unmatching)이라는 결합이 되어 valve lifting시 연소밸브의 개·폐 시기를 어긋나게 하고 연료의 불완전연소를 발생시켜 결국 대기오염 및 엔진의 열효율을 현저히 감소시키는 원인이 되기 때문에 valve train system을 구성하는 각 부품의 연결 부위인 마찰면을 내마모성과 내충격성이 우수한 세라믹스로 대체하는 방안이 시급히 요구되어 수 많은 연구를 시도해 왔으나 세라믹스가 갖는 취성의 결합 때문에 큰 제한을 받아왔던 것도 사실이다.

본 연구에서는 valve train system을 구성하는 부품 중 비교적 충격적인 영향을 받지 않으면서 내마모성, 경량성, 내식성과 같은 세라믹재료의 특성이 요구되는 valve lifter를 선정해 기존 주철체 대신 사출성형에 의한 성형체를 제조하여³⁾ 이를 반응소결하여 대형 디젤엔진의 가혹한 조건에서도 견딜 수 있는 고내구성과 신뢰성을 갖는 탄화규소질(Silicon Carbide)^{4,7)} valve lifter를 개발하고자 하였으며, 이를 위하여 최적의 사출성형 조건과 탈지 조건 그리고 소결 조건에 대하여 실험하였다. 특히, camshaft의 회전운동을 push rod의 직선운동으로 바꿔 주는 valve lifter의 face면은 camshaft와 계속되는 마찰 때문에 높은 내마모성이 요구되어지나 상대 부품과의 경도 값을 고려한 Vickers hardness 1100-1200 정도의 표면경도 값을 갖는 소결체로 제조하고자 하였다. 최종 반응소결에 의해 제조된 탄화규소질 valve lifter에 대하여 XRD를 이용하여 상분석을 실시하였으며 Optical microscope로 미세조직을 관찰하였고 꺾임강도 및 파괴인성과 같은 기계적 특성을 조사하였다.

2. 실험 방법

본 연구에서 개발하고자 하는 탄화규소질(SiC) valve lifter는 형상이 매우 복잡하여 통상의 성형 방법인 일축가압성형(uniaxial pressing), 정수가압성형(cold isostatic pressing), 주입성형(casting pressing) 방법으로는 성형하기 어려울 것으로 예상되기 때문에 사출성형 방법을 기본으로 하여 실험하였으며 상기 성형법들은 추가적으로 병행하고자 하였다. 일축가압성형, 정수가압성형, 사출성형 등으로 예비 실험한 결과, 일축가압성형은 성형몰드의 설계가 어려울 뿐만 아니라 성형시에도 성형 압력 전달의 불균일로 인하여 성형체의 각 부(valve lifter의 외주면과 바닥면)에서 성형 밀도 차이가 심하게 발생하여 양호한 성형체를 얻지 못하는 결과를 나타내었다. 또한 정수가압성형에 있어서는 균일한 성형 압력이 가해짐으로써 성형체에는 문제가 없었으나 정수가압성형의 특성상 가해지는 수압이 고무주머니에 의해 전달되어지기 때문에 성형후 valve lifter의 표면이 거칠어지게 되었고 제조된 성형체는 반드시 표면가공을 필수적으로 동반해야 하는 문제점이 대두되었다. 따라서 본 연구에서 개발하고자 하는 valve lifter는 상기한 이유와 더불어 제원상의 외주면 두께 및 표면 convex 형상 처리가 매우 정밀하게 규제되어 있어 성형체의 치수허용 오차 범위 내에서 가공하기가 불가능하기 때문에 사출성형 방법을 채택하였으며 사출형식은 저압사출에 의한 형식을 따랐다.⁸⁾ 저압사출 성형법에는 보통의 고압사출성형법⁹⁾에서 사용되는 고분자계 결합제보다 저압, 저온에서 유동하기가 쉽고 저온에서도 쉽게 결합제를 제거할 수 있어야 되기 때문에 파라핀계 왁스를 주성분으로 하는 유기결합제¹⁰⁾를 사용하였다.

Fig. 1은 본 실험에서 사출성형법으로 성형체를 만들어 반응소결하여 valve lifter를 제조하기까지의 개략적인 공정 흐름도를 보여준다..

2.1. 사출성형기

본 실험에서 사용한 사출성형법은 3-5 기압하의 저압에서 슬러리를 금형으로 사출하여 성형한 후 냉각, 고화함으로써 성형체를 제조하는 필츠만법¹¹⁾을 이용하였다. Fig. 2는 본 실험에서 사용된 필츠만형 저압사출 성형기의 내부

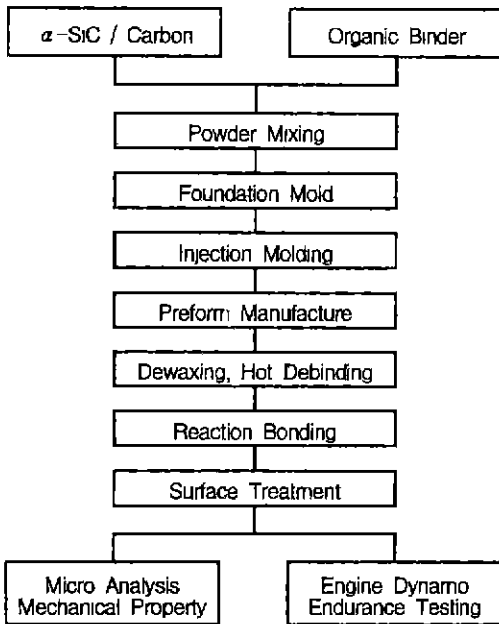


Fig. 1. Overall experimental flow chart for SiC valve lifter.

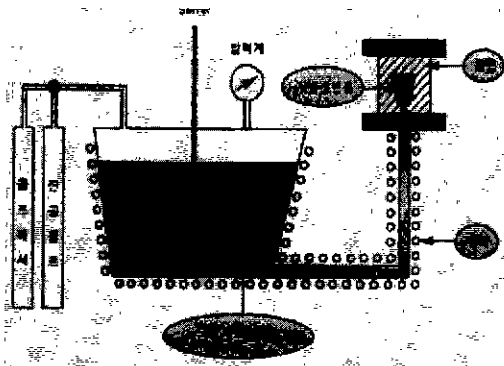


Fig. 2. Schematic diagram of low pressure injector.

구성도를 보여주는 것이며 Fig. 3은 valve lifter의 사출성형체를 제조하기 위한 금형의 내부구조를 나타내고 있다.

금형의 구조는 크게 상·하 몸체판과 원통형의 형상을 만들기 위한 코어축(core, mandrell) 등 세 가지 기능으로 분리하여 설계·제작하였으며 valve lifter의 측면(외주면)에 엔진오일의 원활한 흐름을 위해 제작된 hole을 만들기 위해 세 개의 작은 핀 및 핀 홀을 설계하여 제작하였다. Valve lifter 성형체 제조를 위한 원료 슬러리의 주입구는 성형 후 주입 흔적에 대한 가공 여유를 고려하여 살 두께가 가장 두꺼우면서 캄샤프트와 접촉을 이루는 valve lifter의 밑면쪽(face면)에 설치하였다.



Fig. 3. Schematic diagram of internal configuration of injection mold used for valve lifter forming.

2.2. 성형체 제조

출발원료로 탄화규소(Silicon Carbide, SiC), 탄소, 유기결합제 등을 사용하였으며, 이들 원료에 대한 특성은 Table 1에 나타내었다.

본 연구에서는 결합제 및 가스제로 파라핀왁스와 폴리에틸렌을 사용하였으며, 계면활성제(윤활제)로는 스테아린산을 사용하였다. Table 1에 나타난 바와 같이 탄화규소와 탄소가 일정한 비율로 혼합된 원료를 전술한 유기물 첨가제와 함께 정량하여 첨가한 후 130-150°C의 온도에서 유기물을 용융시키면서 출발원료와 함께 고르게 교반, 혼합하여 사출성형을 위한 슬러리(slurry)를 만들어 성형체 제조에 사용하였다.

사출성형에서 성형성에 미치는 변수들은 출발원료와 함께 슬러리의 배합량에 따라 크게 좌·우되며 이외에도 슬러리의 제조온도, 금형의 형태 및 온도, 사출압력 및 사출온도 등에도 매우 민감한 영향을 받기 때문에 이러한 조건들을 충족시킬 수 있는 성형체 제조를 위하여 원료 배합비를 50.0, 52.5, 55.0 60.0 Vol.%의 4가지 조건으로 하는 슬러리를 제조하여 성형체 제조 실험을 반복하였다.

Table 2에 powder와 binder의 배합비 중 52.5 Vol.%와 55.0 Vol.%의 원료배합 조성을 나타내었다.

Table 1. Properties of Raw Materials

Raw materials	Properties
α-SiC	3 μm+13 μm(70-80 Wt.%)
Carbon Black	Colloidal graphite (20-30 Wt.%)
Paraffin Wax	Melting Point : 44-46°C
Polyethylene	LDPE 724
Stearic Acid	Melting Poin

Table 2. Composition of Slurry for Injection Molding

Batch No.2		Material	Weight %	Volume %
Powder		α -SiC+ Carbon	78.0	52.5
Binder	Major	Paraffin wax	15.5	47.5
	Minor	Polyethylene	3.25	
	Surfactant	Stearic acid	3.25	
Pressure(psi)		60-70		
Time(sec)		60-90		
Temperature(°C)		Tank : 140-150	Pipe : 140-150	Orifice : 140-150
Batch No.1		Material	Weight %	Volume %
Powder		α -SiC+ Carbon	79.7	55.0
Binder	Major	Paraffin wax	14.3	45.0
	Minor	Polyethylene	3.0	
	Surfactant	Stearic acid	3.0	
Pressure(psi)		60-70		
Time(sec)		60-90		
Temperature(°C)		Tank : 140-150	Pipe : 140-150	Orifice : 140-150

2.3. 탈지공정

본 연구에서 사출성형체에 대한 탈지공정은 두 단계로 나누어 실시하였다. 첫 번째 단계는 성형체내에 주결합제로 첨가된 파라핀왁스를 제거시키는 용제탈지 공정이며 두 번째 단계는 용제탈지 작업이 끝난 성형체에 아직 남아 있는 폴리에틸렌과 스테아린산을 추출해 내기 위한 열풍탈지 공정이다. 용제탈지 공정은 60°C의 n-butyl alcohol 용액에 성형체를 침지시켜 파라핀왁스를 추출하였다. 용제탈지 작업 후 열풍탈지 공정에서는 부적절한 온도변화로 인하여 성형체가 부스러지는 현상이 매우 빈번하게 발생되므로 최적의 승온속도를 선정하여 오븐의 온도를 승온시켜 탈지공정으로 인한 성형체의 결함(부스러짐)을 최소화 시키는 것이 가장 중요한 요소¹²⁾로 작용된다. 따라서 TGA(thermal gravimetric analysis)를 사용하여 승온속도에 따른 성형체의 무게감소량을 분석하여 최적의 열풍탈지조건을 선정하였다.

Fig. 4는 TGA에 의해 조사된 온도변화에 의한 성형체의 무게변화를 나타낸 그래프이다. 그래프에서 알 수 있듯이 성형체는 100°C 부근에서부터 급격한 무게감소 현상이 진행되었으며, 300-400°C 부근에서는 2차적인 무게감소 현상을 보이고 있었다. 이러한 TGA 결과를 근거로 100-270°C까지는 1°C/hr의 매우 느린 속도로,

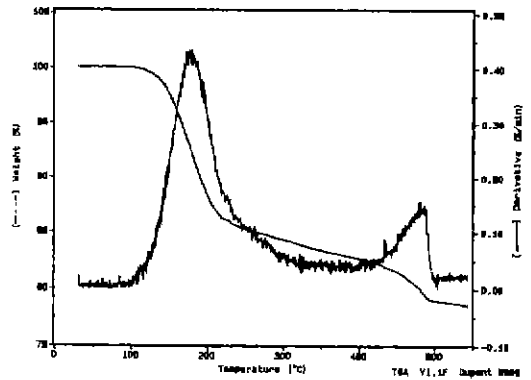


Fig. 4. Curve of TGA for preform with 52.5 Vol.% slurry.

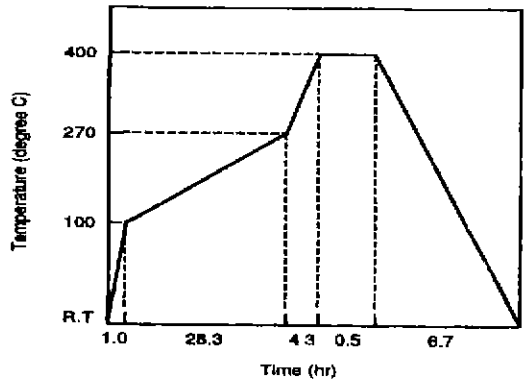


Fig. 5. Temperature schematic for binder burn-out.

270-400°C까지는 10°C/hr의 승온속도로 열풍탈지 공정을 실시하였다. Fig. 7에 TGA 분석 결과에서 얻어진 성형체의 열풍탈지 승온 패턴을 나타내었다.

2.4. 소결체 제조

반응소결에 사용된 소결로는 흑연저항가열로(graphite resistance furnace)였으며, PID 온도제어 방식을 채택하여 상온에서 최고온도까지 로내의 온도를 정확하게 제어하였다. 성형체의 소결조건은 성형체를 흑연도가니에 넣고 소결시 성형체 내부로 금속실리콘이 충분히 침투될 수 있도록 성형체 주위에 약 60-80 g 정도의 금속실리콘 분말을 충분히 뿌려 놓은 후 1560°C 온도에서 금속실리콘을 용융시킴과 동시에 성형체 내부의 탈지에 의해 생성된 빈 공간으로 침투^{13,19)} 및 반응시킴으로써 소결체를 제조하였다. Fig. 6은 반응소결에 사용된 성형체와 crucible 그리고 금속실리콘 분말의 배치상태를 보여준다. 반응소결시 로의 진공도는 10⁻⁵ torr였으며, 최고온도에서의 소결유지 시간은 약 5분간으로 하였다.

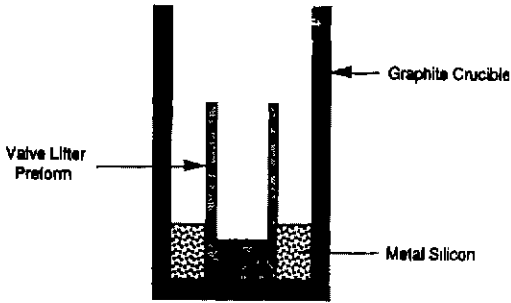


Fig. 6. Schematic diagram of reaction sintering for SiC valve lifter.

이와 같이 제조된 소결체를 수직으로 절단하여 내부에 존재하는 폐기공의 유무를 확인하였으며, 표면을 SiC paper #120-200-400-600-800-1100 순으로 1차 연마한 후 0.5-0.1 μm 의 입도를 갖는 다이아몬드 paste를 사용하여 최종 연마하여 광학현미경(ZEISS, Model 405C, SWISS)으로 미세조직을 관찰하였으며 X선회절분석기(Rigaku, 3 X-ray Diffractometer)로 2 θ 가 20-80° 범위에서 4°/min의 주사 속도로 상분석을 실시하였다.

3. 결과 및 고찰

Powder와 binder의 배합조건을 50.0, 52.5, 55.0, 60.0 Vol.%로 변화시켜 슬러리를 제조한 후 사출성형한 결과 50.0과 60.0Vol.%의 고형분을 갖는 슬러리로 제조한 성형체의 경우 초기에 유입된 슬러리와 최종적으로 유입된 슬러리가 서로 만나면서 생기는 접촉선(welding line)이 발생되기도 하였으며 높은 성형온도로 인하여 성형체의 최초 주입부(박육부)가 성형 후 오목하게 가라앉는 싱크(sink)현상도 나타났다. 또한 성형체 내·외부에 큰 기공이 존재하는 결함 현상도 발생하였다. 이와 같이 성형체에 나타난 불량 현상을 유형별로 원인분석한 결과 출발원료와 첨가제의 부적절한 배합비의 원인뿐만 아니라 낮은 성형온도 및 압력에 따른 슬러리의 충전도 저하와 사출성형기의 슬러리 탱크 및 사출시 원료가 이동되는 orifice간의 온도불일치²⁰⁾에 따라 발생되었던 것으로 알 수 있었으며 또한 슬러리 내의 높은 고형분(solid content)에 기인된 슬러리의 유동성 저하²¹⁾와 성형몰드에서 원료공급을 위한 주입구의 위치나 크기가 부적절할 때에도 상기한 불량 성형체의 발생 원인이 되는 것으로 확인할 수 있었다. 따라서 이같은 불량 요인들을 최소화하여 슬러리의 혼합성, 슬러리의 유동성, 성형 후 성형체의 외형상 valve lifter의 형태를 양호하게 유지할 수 있었던 두 가지 원료배합 조건인 52.5 Vol.%와 55.0 Vol.%의 조성과 사출조건을 얻을 수 있었다.

요약하자면



Fig. 7. Shape of failed preform with 50.0 and 60.0 Vol.% slurry.

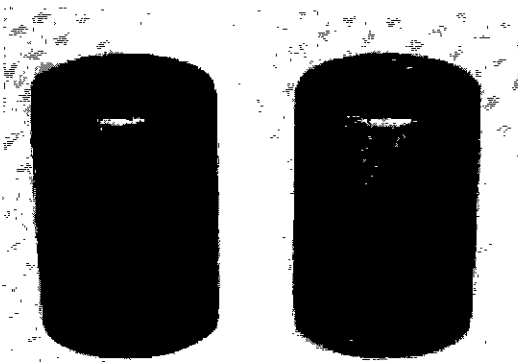


Fig. 8. Shape of succeeded preform with 52.5 and 55.0 Vol.% slurry.

Fig. 7은 powder와 binder의 배합조건을 50.0 Vol.%와 60.0 Vol.%로 하는 슬러리로 성형했을 때 나타난 불량한 성형체의 형상을 보여주고 있으며 Fig. 8은 52.5 Vol.%와 55.0 Vol.%의 슬러리로 성형했을 때 나타난 양호한 성형체의 실체를 보여주고 있다.

55.0 Vol.%의 고형분을 갖는 슬러리로 사출성형한 성형체를 반응소결한 결과 소결체의 외형적으로 변형 같은 아무런 결함이 관찰되지 않았으나 소결체 중심부를 수직으로 절단하여 내부를 관찰해 본 결과 소결체 바닥면 내부에 상당히 큰 폐기공과 접촉선이 존재하고 있음을 알 수 있었다. 이와 같은 내부의 결함 현상은 그 결함 크기에 차이는 있었으나 55.0 Vol.%의 원료 배합비를 갖는 슬러리로 성형한 모든 성형체에서만 나타나고, 폐기공의 표면을 SEM으로 관찰했을 때 소결 후 성형체 외부 형태와 동일한 형태를 보이며 반응소결시 수축률이 대단히 적다는 점을 고려할 때 이러한 내부에 생성된 결함은 슬러리 내에 고형분의 함량이 상대적으로 높아



Fig. 9. Cross sectional diagram of preform with 55.0 Vol.% slurry.

유동성이 저하되거나 낮은 성형온도와 압력으로 인하여 충전도의 저하 또는 tank, pipe, orifice 등의 온도 불일치로 인하여 금형 내에 슬러리가 충분하지 않게 충전되었기 때문으로 판단되었다.

따라서 슬러리의 유동성을 증가시키고자 슬러리 내 고형분의 함량을 52.5 Vol.%로 낮추어 동일한 방법으로 사출성형과 탈지 후 반응소결한 결과 소결체는 외형상은 물론 내부에서도 큰 폐기공이나 미세기공 같은 결함 없이 양호하게 소결되어 있음을 알 수 있었다. Fig. 9는 55.0 Vol.%의 고형분을 갖는 슬러리로 사출성형한 성형체를 수직으로 절단하여 바닥면에 존재하는 접촉선과 폐기공을 관찰한 사진이며 Fig. 10은 슬러리의 유동성을 증가시키기 위하여 슬러리 고형분을 52.5 Vol.%로 낮추어 성형한 성형체를 탈지하여 반응소결한 소결체를 수직 단면으로 절단한 사진이다. 사진에서 보여주듯 슬러리의 고형분을 낮춤으로서 양호한 성형체와 소결체가 제조되었음을 알 수 있었다. 이러한 결과를 토대로 55.0 Vol.% 고형분을 갖는 소결체와 비교해 보면 사출성형에 있어서 슬러리내의 고형분의 양이 성형성 및 소결 후의 소결체 상태에 미치는 영향은 매우 크다는 것을 알 수 있었다. 따라서 본 연구에서는 탄화규소질(SiC) valve lifter 제조를 위한 최적의 원료 배합비로 52.5 Vol.%의 고형분을 최종 선정하였다.

탈지공정 중 TGA에 의해 조사된 성형체의 무게변화를 나타낸 그래프에서 알 수 있듯이 100°C부근에서 파라핀왁스의 연소로 인한 급격한 무게감소가 진행되었던 것을 알 수 있었으며, 300°C 부근에서는 폴리에틸렌 및 스테아린산의 연소에 의한 2차 무게감소가 이루어지고 있는 것을 확인 할 수 있었다. 따라서 열풍탈지공정에서는 TGA 결과를 근거로 주 결합제인 파라핀왁스의 연소가 진행되는 100-270°C까지는 1°C/hr의 매우 느린 속도로



Fig. 10. Shape and cross sectional diagram of preform with 52.5 Vol.% slurry.

승온시켜 급격한 파라핀왁스의 연소로 인한 성형체내의 결합 생성을 방지하였으며, 폴리에틸렌 및 스테아린산이 연소되는 270-400°C 영역에서는 약 10°C/hr의 속도로 승온시켜 탈지로 인한 성형체의 결합요인을 최소화 시킬 수 있는 열풍탈지의 승온 패턴을 얻을 수 있었다.

또한, 탈지공정 후에도 성형체는 취급할 수 있을 정도의 성형밀도를 가지고 있어야 하는데 이는, 탈지공정 중 유기첨가제를 완전히 탈지하는 것이 아니라 약 5% 정도의 유기첨가제를 남겨 두어야만 가능하게 됨을 알 수 있어 이 또한 매우 중요한 탈지공정 중의 하나로 판단되었다.

Fig. 11은 사출성형시 55.0 Vol.% 고형분 조건으로 성형한 성형체에 대하여 반응소결 후 광학현미경으로 내부의 미세조직을 관찰한 사진이다. 본 소결체는 전술한 바와 같이 내부에 큰 폐기공이 존재하는 결함은 있었으나 금속실리콘의 용융, 침투된 상태는 매우 균일하였으며, 소결중에 발생하는 미세기공은 발견되지 않았다. Fig. 12에 소결 시편에 대한 XRD 분석 결과를 나타내었다. 본 연구에서 제조된 탄화규소질 사출성형체에 대한 반응소결성은 양호했던 것으로 판단된다.

따라서 사출성형시 55.0 Vol.% 고형분을 갖는 성형체에서도 슬러리의 온도, 사출압력, 금형온도 등의 사출성형 변수들을 적절히 변화시켜 최적의 조건으로 전술한 큰 폐기공의 결함을 제어할 수 있다면 비중이 더 높은 우수한 특성을 갖는 성형체 및 소결체를 제조할 수 있을 것으로 예상된다.

Fig. 13은 사출성형시 52.5 Vol.% 고형분 조건으로 성형한 성형체에 대하여 반응소결 후 광학현미경을 사용하여 내부의 미세조직을 관찰한 사진이다. 출발 모입자인 탄화규소가 균일하게 분포되어 있고, 탄소와 실리콘의 반응으로 새로 생성된 작은 입자의 탄화규소가 모입자들과 함께 균일하게 결합되어져 있으며, 나머지 부분

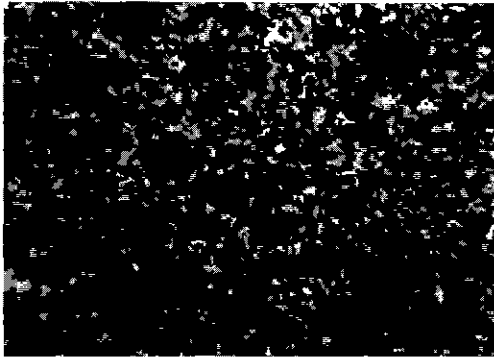


Fig. 11. Optical microstructure of reaction bonded SiC valve lifter with 55 Vol.% slurry. $\times 500$.

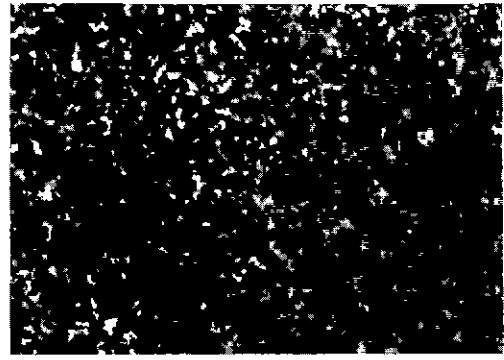


Fig. 13. Optical microstructure of reaction bonded SiC valve lifter with 52.5 Vol.% slurry. $\times 500$.

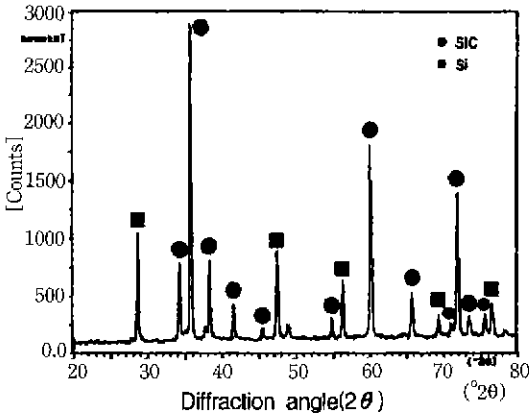


Fig. 12. XRD patterns of reaction bonded SiC valve lifter with 55 Vol.% slurry.

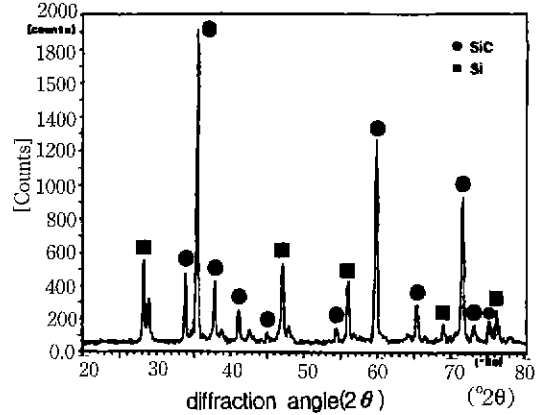


Fig. 14. XRD patterns of reaction bonded SiC valve lifter with 52.5 Vol.% slurry.

에는 금속실리콘이 채워짐으로써 미세한 기공 없이 치밀하게 반응소결 되었음을 알 수 있다.

Fig. 14는 52.5 Vol.% 고풍분 조건으로 사출성형한 소결체의 XRD 분석 결과로서 55.0 Vol.%의 고풍분을 갖는 소결체와 거의 동일한 구조를 갖는 것으로 나타났다.

따라서 본 연구에서 최적의 사출성형 조건으로 선정된 powder와 binder의 원료배합비는 52.5 Vol.%였으며 성형온도는 140-150°C, 사출압력은 60-70 psi 였음을 알 수 있었다.

Table 4는 개발된 탄화규소질 valve lifter를 시판크기로 절단 및 가공하여 측정한 기계적 특성 값이다. 탄화규소질 valve lifter의 특성 중에서 주목해야 할 사항은 밀도가 기존의 제품보다 현저히 낮기 때문에 중량이 약 50% 정도 감소되어(1개당 100g 이상) 결과적으로 자동차의 경량화 및 엔진출력의 상승효과를 크게 기대할 수 있을 뿐만 아니라 연비 역시 절감할 수 있으리라 예상된다.

Table 3. Mechanical Properties of SiC Valve Lifter

	Metal valve lifter	SiC valve lifter
Density(g/cm ³)	7-8	2.91-2.96
Hardness(Vickers)	950-1100	1100-1200
Surface treatment	Lapping & crowning	Lapping & crowning
Weight(g)	180-183	80-83
Bending strength(MPa)	-	300-350
Fracture toughness (MPa · m ^{1/2})	-	1.5-1.7

4. 결 론

내마모 특성이 우수한 세라믹재료의 장점을 최대한 활용할 수 있는 부품으로 valve lifter를 선정하여 이를

탄화규소질 소결체로 개발하기 위한 연구 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

성형체 제조를 위한 출발원료는 탄화규소와 탄소가 80:20 Wt.%로 혼합하여 powder(α -SiC, carbon):binder의 배합비가 52.5:47.5 Vol.%, 60-70 psi의 사출압력으로 성형한 경우 가장 안정되고 재현성이 좋은 성형체를 얻을 수 있었다. 용제탈지공정은 60°C의 n-butyl alcohol 용매에서 처리할 때 파라핀왁스의 추출이 가장 활발하였으며, 열풍탈지의 경우 TGA 분석 결과 100-270°C 영역에서는 1°C/hr의 승온속도로, 270-400°C 영역에서는 약 10°C/hr의 승온속도로 가열했을 때 성형체에서 발생하는 결합요인을 최소화시킬 수 있었다. 성형체에 대한 반응소결의 조건으로 소결온도 1560°C, 소결분위기 10^{-5} torr, 소결 유지시간은 약 5분간 실시했을 때 소결시 발생하는 형상적 변형이나 미세한 기공들과 같은 내부결합이 발생되지 않았으며, 미세구조 역시 출발 모입자인 탄화규소가 균일하게 분포되어 있고 탄소와 금속실리콘의 반응으로 새로 생성된 작은 입자의 탄화규소가 모입자들과 함께 치밀한 결합을 이루고 있어 상기의 고형분으로 사출성형된 성형체의 반응소결성은 매우 양호했던 것으로 생각된다.

기계적 특성 평가에서도 Vickers hardness 1100-1200, 꺾임강도 300-350 MPa, 1.5-1.7 MPa·m^{1/2}의 양호한 범위의 파괴인성을 나타냄에 따라 실제 엔진에서 요구되는 성질을 만족하는 특성을 지닌 것으로 판단될 뿐 아니라 내구성의 향상에도 기대가 된다.

감사의 글

본 연구는 통상산업부의 기업 공동 연구 개발 사업 중 "고온용 세라믹 노즐, 밸브 및 열전대 보호관의 개발 및 응용 연구(III)" 사업의 하나로 수행된 것으로서 이에 감사 드립니다.

REFERENCES

1. Y. Nizue, H. Satoh and S. Umetani, "Stress and Strength Prediction of Diesel Engine Cylinder Head," SAE. 831048 (1983).
2. T. Morel, R. Keribar, P.N. Blumberg, "Cylinder Stress Phenomena in Engine Combustion Chamber," SAE. 850360 (1985).
3. D.R. Johnson, A.C. Schafahauser, V.J. Tennery, E.L. Long, Jr. and R.B. Schulz, "Ceramic Technology for Advanced Heat Engines Project," *Am. Ceram. Soc. Bull.*, **64**, 276 (1985).
4. J.V. Shennan, "Dispersed Ceramic Fuels for the Advanced Gas-Cooled Reactor," *Chem. Eng. Prog. Symp. Series 80, Nucl. Eng. Part XVIII*, 63 (1967).
5. P. Kennedy, J.V. Shennan, P. Braiden, J. McLaren, R. Davidge, "An Assisment of the Performance of REFFL Silicon Crabide under conditions of Thermal Stress," *Proc. Brit. Ceram. Soc.*, **22** (1973).
6. C.R. Gostelow, J.E. Restal, "Ceramics with Potential for Gas Turbine Application," *Proc. Brit. Ceram. Soc.*, **22** (1973).
7. E.G. Acheson, "Production of Artificial Crytaline Carbonaceous Materials," U.S. Pat 492 767 (1893).
8. I. Peltsman, M. Peltsman, "Low Pressure Molding of Ceramic Materials," *Interceram* 4, 56 (1984).
9. C.I. Chung, B.O. Rhee, M.Y. Cao, C.X. Liu, "Requirements of Binders for Powder InjectionMolding," pp 67-68 in *Advances in Powder Technology*, Vol.3, MPIF, Prinjection, NJ, 1989.
10. M.J. Edirisinghe, F.R.G. Evans, "Review: Fabrication of Engineering Ceramics by Injection Molding. I. Materials Selection," *Int. J. High Technology Ceramics* 2, 1 (1986).
11. R.M. German, "Powder Injection Molding," *Metal powder Industries Fabrication*, 1990.
12. A. Johnson, E. Calstrom, L. Hermansson and R. Calls-son. "Rate-Controlled Extraction Unit for Removal of Organic Binders from Injection-Molded Ceramics," ; pp.767-772 *Ceramic Powders*, Edited by P. Vincenzini, Elsevier, Amsterdam, 1983.
13. Y.M. Chiang, J.S. Haggerty, R.P. Messner and C. Dene-ty, "Reaction-Based Processing Methods for Ceramic-Matrix," *Am. Ceram. Soc. Bull.*, **68** 2 420-428 (1989).
14. Y.M. Chiang, J.S. Haggerty, "Reaction-Based Processing Methods for Ceramics and composites," *Ceram. Eng. Sci. Proc.* **11** 7-8 757-781 (1990).
15. M.Z. Washburnm and W.S. Cobleaz. "Reaction-Form- ed Ceramics," *Am Ceram. Soc. Bull.* **67** 2 356-363 (1988).
16. M.S. Newkirk, H.D. Leshner, D.R. White, C.R. Ken- nedy, A.W. Urganhart and R. D Claar, "Preperation of Lanxide Ceramics Matrix Composites Matrix For- mation by the Directed Oxidation of Molten Method," *Ceram. Eng. Sci. Proc.* **87-8**, 879-885 (1987).
17. Z.A. Munir, "Synthesis of High Temperature Material by Self-Propagating Combustion Method," *Am. Ceram Eng. Soc. Bull.*, **67** 2 342-349 (1988).
18. K.A. Golubjatnikov, G.C. Stangle and R. M.Spriggs, "The Economics of Advanced Self-Propagation, High- Temperature Syntthesis Materials Fabrication," *Am. Soc. Bull.*, **72** 12 86-102 (1993)
19. P Popper. "The Preparation of Dense Self-Bonded Sil- icon Carbide," in "Special Ceramics" (edit by P. Popp- er, Heywood. London) pp.209-219 (1960).
20. J.A. Mangels, "Injection Molding Ceramics," *Ceram. Eng. Sci. Proc.*, **3**, 529 (1982).
21. J.S. Chung. E.B. Christiansen, A.D. Baer, "Flow of Viscous Fluid through a Circular Pipe," *J. Appl. Poly Sci.*, **15**, 360 (1971).