

Ceramic 재질을 이용한 자동차용 대형 디젤 엔진 Valve Lifter 연구 I. Brazing Process에 의한 Ceramic-Metal 접합체 개발

윤호욱 · 한인섭* · 임연수** · 정윤중**

KIA-ASIA MOTORS 기술연구소

*한국에너지기술연구소

**명지대학교 공과대학 무기재료공학과

(1997년 7월 11일 접수)

Studies of Valve Lifter for Automotive Heavy Duty Diesel Engine by Ceramic Materials

I. Development of Ceramic-Metal Joint by Brazing 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 July 11, 1997)

요 약

Camshaft와 계속되는 접촉을 갖는 valve lifter는 주철제로 엔진이 고출력화되면서 증가되는 valve train system에서의 가혹한 면압(load) 때문에 face면은 편마모 및 조기마모 되어지고 이러한 비정상적 마모현상은 valve lifting시 over clearance라는 결함이 되어 연소실내 engine valve의 여닫음을 불일치 시켜 연료를 불완전 연소시킨다. 불완전연소는 결국 엔진 출력저하 및 환경오염의 주요 원인이 되기 때문에 비정상적 마모현상을 방지하기 위하여 face면을 내마모 특성이 높은 세라믹계의 초경합금으로 제조하여 SCM435H 합금강 몸체와 브레이징 접합하는 valve lifter를 개발하고자 하였다. Valve train system에서의 가혹한 면압을 견딜 수 있는 Vickers hardness 1100-1200 정도의 우수한 표면경도 값을 갖는 초경합금(텅스텐 카바이드) 소결체(face면)를 제조하였으며, 여러 조성의 브레이징 합금으로 실험한 결과 150MPa 정도의 우수한 인장전단강도 값을 갖는 접합체를 얻을 수 있었다. SEM & EDS, Optical microscope를 이용하여 초경합금의 미세조직과 접합체에서의 계면을 분석을 하였다. 또한 주철제인 valve lifter와 개발된 세라믹/금속 접합체 valve lifter에 대하여 2500시간 고속(3000-4000 rpm)연속(1step 12hr) 엔진 동력 내구시험을 동시에 실시하여 편마모 및 조기마모와 같은 마모현상과 마모량 등에 대하여 비교 평가하였다.

ABSTRACT

Continuously contacting with camshaft, the face of Valve Lifter, made of cast iron, brings about abnormal wear such as unfairwear or earlywear because it is heavily loaded in the valve train system as the engine gets more powered. This abnormal wear becomes a defect namely over-clearance when the valve is lifting so that the fuel gas imperfectly combusted by unsuitable open or close action of the engine valve in the combustion chamber. The imperfect combustion, in the end, results in the major causes of air pollution and decrease of the engine output. Consequently, to prevent this wear, this study was to develop the valve lifter which is joined by brazing process with SCM435H and a tip by manufacturing the face as a superhardened ceramics alloy which has high wear resistance. Having the excellent surface hardness with Hv1100-1200, the sintered body developed with superhardened alloy(WC) can endure the severe face loading in the valve train system. We experienced with various brazing alloys and obtained the excellent joining strength to the joint had 150MPa shear strength. Interface analysis and microstructure in a joint were examined through SEM & EDS, Optical microscope. Also, 2,500 hours, high speed(3,000-4,000 rpm) and continuous (1step 12hr) engine dynamo testing was carried out to the casting valve lifter and ceramics-metal joint valve lifter

so that the abnormal wears were compared and evaluated.

Key words : Valve train system, Ceramic valve lifter, Ceramic/metal joint by brazing

1. 서 론

최근 기술 선진국에서는 세라믹스의 우수한 내마모성, 경량성, 내열성, 내부식성 등 고유 특성을 유지하면서 금속재료로 구성된 구조물의 주요 부품을 대체 사용하는데 가장 효과적인 방법 중 하나로 세라믹스/금속 접합기술을 널리 응용하고 있으며 많은 연구가 이루어져 왔다.¹⁻³⁾

우수한 기계적 특성 및 신뢰도를 갖는 세라믹스/금속 접합체의 개발은 세라믹스와 금속재료의 특성을 최대한 이용할 수 있는 기술이기 때문에 항공기의 터빈엔진 및 자동차용 디젤엔진 부품 등과 같은 가혹한 분위기 하에서도 사용 가능한 부품으로 인식되어 점차 확대, 적용하고 있는 실정이며, 접합체 설계기술의 개발이 활발히 이루어지고 있다.⁴⁾ 특히, 자동차용 대형 디젤엔진의 경우 우수한 내마모성이 요구되는 valve train system을 구성하는 부품의 각 연결 부위나 turbocharger rotor에서와 같이 경량성 및 내열성이 필요한 주요 기능부품에 대해 실제 이러한 세라믹스/금속 접합기술을 적용하여 열효율 증대 및 대기오염을 현격히 감소시키고 있다.

Camshaft, valve lifter, push rod, rocker arm, valve 등으로 구성되는 자동차 디젤엔진에서의 valve train system은 각 부품마다 그 연결 상태가 기계적인 맞물림 형식으로 되어 있어 항상 심한 마찰상태에 놓이게 되며 쉽게 마모되어 진다. 더욱이 엔진의 성능이 갈수록 고마력, 고출력화 되면서 각 연결 부위에 걸리는 load(면압)의 크기는 더욱 증가^{5,6)}되기 때문에 이 부위의 마모량은 과다해지고 급기야 편마모라는 치명적인 손상을 일으키게 된다. 이러한 비정상적인 마모 현상은 over clearance와 부품간의 불구합(unmatching)이라는 결합이 되어 valve lifting시 연소 밸브의 개·폐 시기를 어긋나게 할 뿐만 아니라 연료의 불완전연소를 발생시켜 결국 대기오염 및 엔진의 열효율을 현저히 감소시키는 원인이 되기 때문에 valve train system을 구성하는 각 부품의 연결 부위인 마찰면을 내마모 특성이 우수한 세라믹스로 대체하는 방안이 시급히 요구되었으며, 그의 일환으로 고내구성 및 신뢰도를 갖출 수 있는 세라믹스/금속 접합체로의 개발 방안이 강구되었다.

본 연구에서는 상기 방안의 일환으로 valve train system을 구성하는 부품 중 하나인 valve lifter를 선정하여 기존의 주철체 대신에 세라믹스/금속 접합체 형태로 개발하고자 하였다. Camshaft의 회전운동을 push rod의

직선운동으로 바꿔 주는 역할을 하는 valve lifter의 face면은 camshaft와의 계속되는 마찰 때문에 높은 내마모성이 요구되어지며, 이에 따라 우수한 표면경도 값이 필요하다. 따라서 이 부위를 Vickers hardness 1100-1200정도 얻을 수 있는 텅스텐 카바이드 소결체를 tip 형태로 제조(t:2 mm, φ:34 mm, 이하 WC tip시편)하여 몸체인 크롬·몰리브덴 합금강(이하 SCM435H시편)과 접합하고자 하였으며, 접합방법은 활성금속을 이용한 브레이징 방법⁸⁻¹²⁾을 이용하였다. 가혹한 엔진 구동 조건에서도 서로 박리 되지 않을 최적의 접합강도 값¹³⁾(인장전단강도값 150-160 MPa)을 갖는 접합체를 얻기 위하여 브레이징 접합 조건은 동일하게 setting하고 브레이징 합금의 조성만을 변화시켜 그에 따른 강도 값의 차이를 조사하였으며, 계면에서의 잔류응력의 크기 및 미세조직 등을 관찰하였다. 또한 가장 높은 접합강도를 보인 접합체와 기존의 주철체 valve lifter를 8개씩 선택하여 동일한 cylinder내의 흡기와 배기 측에 각각 조립하여 2500시간 고속(3000-4000 rpm)연속 엔진동력 내구시험(engine dynamo testing)을 실시하여 valve lifter face면에서 형성되는 마모의 형상과 마모량 및 내구성 등을 상호 비교 평가하고자 하였다.

2. 실험방법

2.1. 출발원료

Tip시편의 출발 원료로는 12 μm 이하의 입도를 갖는 순도 99.90%의 WC, Ni, Co 금속분말을 사용하였으며, tip시편과 접합될 몸체는 SCM435H 시편을 사용하였다.

Table 1과 2에 tip시편용 금속분말과 SCM435H 시편의 화학조성을 나타내었다.

Table 1. Chemical Composition of Ceramic Tip

COMP. \ DIV.	Atomic %	Weight %
WC	32.58	60.3
Ni	63.0	37.22
Co	4.42	2.48

Table 2. Chemical Composition of SCM435H (Wt.%)

COMP.	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
Content	0.35-0.39	0.15-0.35	0.55-0.9	0.03 이하	0.03 이하	0.85-1.25	0.15-0.35

사용된 tip시편의 분말원료들을 10^4 g까지 평량하여 폴리에틸렌 용기에 넣고 에틸알코올을 용매로 하여 알루미나 볼을 사용하여 5시간 동안 습식 혼합한 후 hot plate에서 충분히 건조시켰다. 건조된 분말은 과립화 과정을 거쳐서 $10 \times 12 \times 5.0$ mm의 사각플드에 넣어 200 MPa의 압력으로 일축가압 성형하였다.

WC tip시편의 소결은 Ar 분위기에서 유도가열로를 사용하여 $15^\circ\text{C}/\text{mm}$ 의 승온속도로 가열 후 $1480\text{-}1560^\circ\text{C}$ 범위에서 1시간 동안 행하였으며 로냉 하였다. 소결 후 다이아몬드 절단기를 이용하여 7×10 mm 크기로 절단하였으며 미세한 cutting crack이 발생되지 않도록 저속회전에서 실시하였다. 접합할 부위의 표면은 120-240-400- 600-800-1000-1200 mesh의 순서를 갖는 SiC paper로 연마하면서 4.5 mm로 두께를 맞추었다. SCM435H시편은 두께 6 mm의 판을 16×13 mm로 절단하고 tip시편 준비과정과 동일한 방법으로 접합할 표면을 연마하였으며, SCM 435H시편의 최종 크기는 $16 \times 13 \times 4.0$ mm로 하였다.

$7 \times 10 \times 4.5$ mm 크기의 tip시편과 $16 \times 13 \times 4.0$ mm 크기의 SCM435H시편은 접합강도 시험(인장전단강도시험) 및 계면분석을 보다 용이하게 하기 위하여 제조한 것으로서 시험 후 가장 높은 접합강도를 보인 접합체의 제조 공정을 선택하여 동일한 방법으로 실제 부품의 크기에 맞는 엔진동력 내구시험용 valve lifter를 제조하였다.

2.2 접합실험

본 연구에서 사용한 브레이징 합금의 종류를 살펴보면 먼저 Ni이 주성분인 Ni-7.3Si-2.2B 조성과 세라믹스/금속 접합에 가장 많이 이용되고 있는 Ag-33.5Cu-1.5Ti조성,¹¹⁾ 여기에 Ni를 각각 10, 30, 50 Wt.% 첨가한 조성 등 모두 5가지의 브레이징 합금을 이용하여 접합하였다. 브레이징 합금은 foil 형태로 두께는 50 μm 였으며, SCM435H, tip시편, 브레이징 합금 등은 Trichloroethylene, Acetone, Iso-Propanol 용액 속에서 각각 5분간씩 초음파 세척기로 표면을 세척 후 건조하여 접합에 사용하였다.

브레이징 접합은 10^{-5} torr의 진공분위기 하에서 Astro vacuum furnace를 사용하여 실시였으며, 접합온도는 $870\text{-}890^\circ\text{C}$ 범위에서 약 15분간 접합하였다. 또한 접합시 tip시편 위에 250 Pa 정도의 무게를 갖는 내열금속을 올려놓아(dead weight) 계면에서의 접합성을 보다 양호하게 하고자 하였다. 활성금속 브레이징 접합은 비교적 고온에서 이루어지기 때문에 로냉의 심한 온도변화로 인하여 세라믹스/금속간의 서로 다른 열팽창계수 차이에 의해 계면에서 발생하는 잔류응력 자체는 피할 수 없으나 가열온도 및 냉각온도의 제어로 이를 최소화

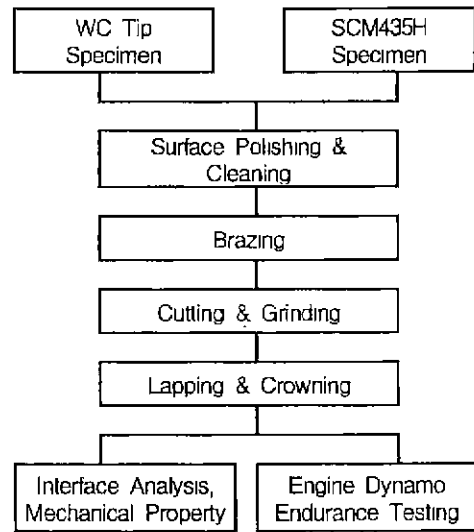


Fig. 1. Schematic diagram of experimental procedure.

할 수 있기 때문에 승온속도와 냉각속도는 $6^\circ\text{C}/\text{min}$ 으로 엄격히 제어하였다. 또한 시편의 안정화를 위해 승온시 730°C 영역에서 1시간 유지시켰고, 냉각시에도 열팽창 계수 차이에 의한 잔류 열응력을 완화시키기 위하여 520°C 와 200°C 영역에서 각각 1시간씩 유지시킨 후 로냉 하였다.

Fig. 1에 시편 준비 과정에서 엔진 평가까지의 전체적인 실험 공정 흐름도를 나타내었다.

2.3. 접합강도 및 엔진내구시험

접합체의 접합강도 평가는 결합강도(bonding strength)나 이음강도(joint strength)로 구분되어 실시하는 것이 일반적이지만 본 실험에서는 엔진 내에서 valve lifter가 받게 되는 응력의 형태를 고려하여 인장전단강도 시험방법을 선택하여 접합체의 접합강도를 측정하였다.

Fig. 2와 3에 인장전단강도시험에 사용된 시편의 형상과 크기 그리고 사용된 치구의 개략도를 나타내었다. 인장전단강도 시험은 만능재료시험기(Instron 30 Ton)를 사용하여 상온에서 실시하였으며, 강도측정시 cross head의 speed는 0.5 mm/min로 하였다. 접합계면에서의 미세조직과 원소변화를 관찰하기 위해 Optical microscope(ZEISS450), SEM & EDS(Scanning Electron Microscope & Energy Dispersive Spectrometer, JEOL 5400 & NORAN Series II), EPMA(Electron Probe Micro Analyzer, JEOL JXA8600)를 사용하였다.

Valve lifter face면에서 형성되는 마모의 형상과 마모량 그리고 내구성 등에 대한 상호 비교 평가를 위한 엔진동력 내구시험은 380마력급 디젤엔진(엔진명: F

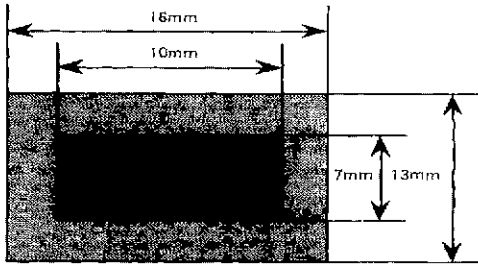


Fig. 2. Dimension of specimen for shearing strength.

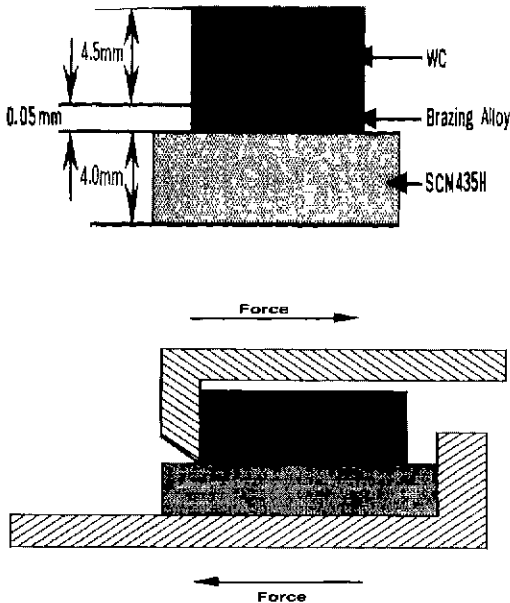


Fig. 3. Schematic picture of jig and specimen for shearing strength test.

17E, 연소방식 : 직접분사 및 turbocharger과급)을 사용하여 총 2500시간 full course를 목표로 하였다. 엔진에서 최고 torque 범위인 3000-4000 rpm에서 연속적(1step : 12시간, 1step → engine, dynamo점검 → 1step...)으로 실시하였으며, 냉각수의 온도를 80-85°C로 일정하게 맞추고 동시에 엔진오일의 온도와 점도를 적정 상태로 유지하여 엔진의 부하를 최소화 시킴으로서 윤활계에 원활함을 주었다.

3. 결과 및 고찰

3.1. Tip시편 제조

Fig. 4는 WC-37Ni-2.4Co 조성의 금속분말을 전술한 조건으로 소결된 tip시편을 다시 분말로 분쇄하여 X-ray 회절분석한 결과이며 Fig. 5는 tip시편의 미세조직

요업학회지

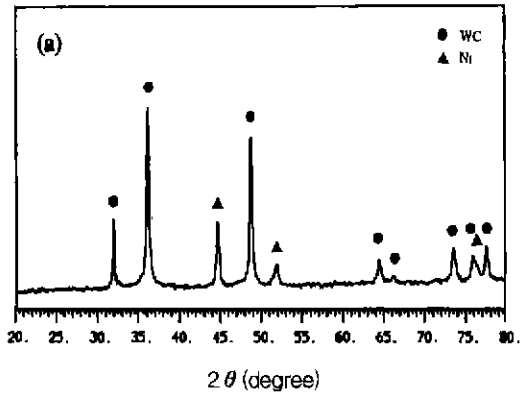


Fig. 4. X-ray diffraction patterns for the WC tip.

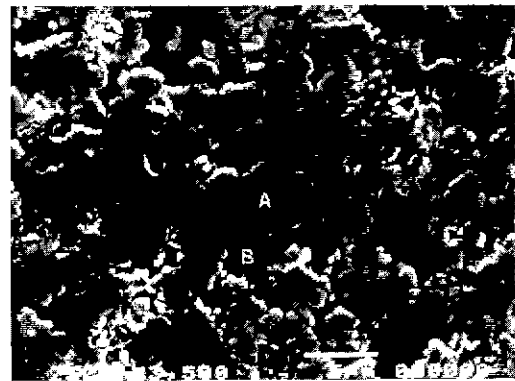


Fig. 5. SEM micrograph of the WC tip.

을 SEM으로 관찰한 사진이다.

그래프와 사진에서 알 수 있듯이 출발원료인 텅스텐 카바이드(A) 입자주위에 binder로 사용된 Ni(B) 결정상이 균일하게 분포되어 있는 것을 확인할 수 있으며, 전면에 걸쳐 Vickers 경도시험기로 표면경도 값을 측정한 결과 Hv 1100-1200 정도의 고른 경도 분포를 보임에 따라 양호한 소결상태의 tip시편을 얻을 수 있었다.

3.2. 접합강도 및 잔류응력

본 실험에 사용된 브레이징 합금 중 4 종류의 브레이징 합금에 Ni이 첨가된 합금을 사용한 이유는 tip시편 제조시 Ni를 binder로 사용했기 때문에 tip시편내 금속상 구성 성분인 Ni과 브레이징 합금이 보다 쉽게 wetting되어 서로의 접합성을 더욱 우수하게 할 것으로 기대 되었기 때문이었다.

Table 3에 5 종류의 브레이징 합금을 사용하여 제조한 접합체에 대한 인장전단강도 값을 나타냈다.

Table 3에서 알 수 있듯이 세라믹스/고속 접합체에서

Table 3. Shearing Strength for Braising Alloys on Chemical Composition

Composition of brazing alloy (wt.%)	(MPa)
Ni-7.3Si-2.2B	130
Ag-33.5Cu-1.5Ti	117
10Ni-58.5Ag-30.0Cu-1.5Ti	150
30Ni-45.5Ag-23.5Cu-1.0Ti	150
50Ni-32.5Ag-16.8Cu-0.7Ti	111

가장 많이 사용되고 있는 Ag-33.5Cu-1.5Ti 브레이징 합금을 사용한 접합체 보다 Ni가 함유된 브레이징 합금을 사용한 접합체에서 더 높은 접합강도 값을 보임에 따라 실험 초기에 기대 되었던 브레이징 합금의 Ni 첨가에 따른 tip시편과의 우수한 접합성 효과가 있었던 것으로 판단되며 Ni원소를 가장 많이 함유하는 50Ni-32.5Ag-16.8Cu-0.7Ti 조성의 브레이징 합금을 사용한 접합체에서 오히려 가장 낮은 접합강도 값을 보이고 있어 Ni의 첨가량이 많아질수록 강도 값이 증가하는 경향은 나타나지 않았다. 가장 높은 접합강도 값을 보인 접합체는 10Ni-58.5Ag-30.0Cu-1.5Ti 조성과 30Ni-45.5Ag-23.5Cu-1.0Ti 조성의 브레이징 합금을 사용한 경우로서 엔진 구동시 상대품에 의해 받게 되는 전단응력을 견딜 수 있는 인장전단강도 값인 150 MPa 정도를 나타냈다.

Ti 원소 대신 B 원소가 함유된 브레이징 합금을 사용한 접합체에서 중간 정도의 강도 값을 보이고 있어 향후 Ti와 B 첨가에 따른 원소의 영향 및 이들 접합체에 대한 신뢰도 분석 등의 연구가 요구되었다. 5 종류의 서로 다른 브레이징 합금으로 접합한 접합체의 인장전단강도 값의 차이가 그리 크게 나타나지 않고 있어 접합체의 인장전단강도 값에 미치는 영향은 브레이징 합금의 조성 변화보다는 접합재료의 특성, 특히 브레이징 온도에서 부터 실온으로 냉각되어 가는 과정 중 열팽창계수 차이에 의해 발생하는 접합체 내부의 잔류응력에 의한 영향이 크다는 것을 알 수 있었다.

사용된 WC tip시편과 SCM435H시편 및 브레이징 합금의 열팽창계수를 알아보면 Ag-Cu-Ti는 $18.5 \times 10^{-6}/K$, tip 시편은 $7.0 \times 10^{-6}/K$, SCM435H는 $12.0 \times 10^{-6}/K$ 정도의 값^{15,16)}을 지니고 있어 세라믹스 측이 금속보다 열팽창계수가 작게 나타나기 때문에 세라믹스/금속 접합시 대부분의 잔류응력은 세라믹스 부분에 걸리게 될 뿐 아니라 세라믹스 측에 국부적인 인장방향의 잔류응력이 집중되게 된다.¹⁷⁾ 세라믹스/금속 접합체에서 형성되는 접합체면의 강도는 충분히 높기 때문에 대부분의 접합체에서는 세라믹스에 발생하는 인장방향의 잔류응력으로 인하여 접합체의 파괴는 세라믹재료에서 일어나

게 되며, 본 실험에서 제조된 접합체의 접합강도 시험시 파괴도 거의 브레이징 합금 계면을 포함한 세라믹스에서 일어나는 것으로 확인되었다. 잔류응력은 금속재료 (SCM435H, 브레이징 합금)와 세라믹재료의 $\Delta T \times \Delta \alpha$ (ΔT : 탄성한계온도와 실온과의 차이, $\Delta \alpha$: 접합에 사용되는 세라믹스와 금속간 열팽창계수 차이)에 비례하여 증가하게 되기 때문에¹⁸⁾ 결과적으로 잔류응력이 접합강도를 좌우하게 되므로 실제 WC tip시편과 SCM435H시편의 접합시 발생하는 잔류응력의 크기를 알아보았다.

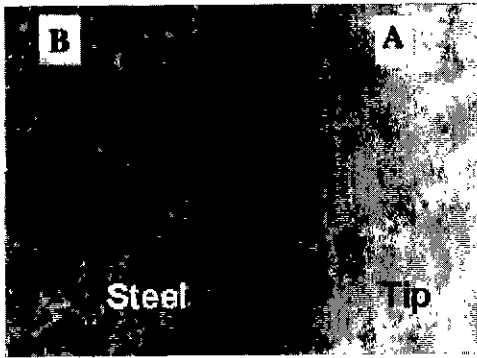
먼저 WC tip시편(인장강도 약 40 Kgf/mm²)과 SCM435H시편을 인장시험을 할 수 있도록 환봉($\phi 10$ mm)으로 가공하여 10Ni-58.5Ag-30.0Cu-1.5Ti 조성의 브레이징 합금을 사용하여 동일 조건의 브레이징 접합방법으로 단면 맞대기 접합을 하였다. 이들 재료 사이에는 열팽창계수의 차이가 크기 때문에 접합 후 커다란 잔류응력이 발생함을 알 수 있다. 그 값을 예측하기 위하여 널리 사용되고 있는 MARC 프로그램을 이용하였으며, 유한요소법에 의한 탄소성 모델로 해석하였다. 그 결과 상온에서 WC tip 접합계면 근처에서 30-32 Kgf/mm² 정도의 최대 잔류인장응력이 발생된다는 것을 알 수 있었다. 이러한 잔류인장응력 크기의 정확도를 확인하기 위하여 접합된 환봉시편에 대한 인장강도를 실시하였다. 접합된 환봉시편에서 예상되는 인장강도는 WC tip 모재의 인장강도 값에서 잔류인장응력을 제외한 8-10 Kgf/mm² 정도가 예측되었으며, 실제로 인장시험 결과, 6-9 Kgf/mm² 정도로 나타남에 따라 프로그램의 이용 오차와 해석 정도 그리고 인장시험시 측정 오차 등을 감안할 때 WC tip시편에서 측정된 잔류응력의 크기는 비교적 정확한 값으로 판단되었다.

3.3. 접합계면

Fig. 6은 접합강도 시험에서 가장 낮은 강도 값을 나타낸 접합체의 계면(50Ni-32.5Ag-16.8Cu-0.7Ti 브레이징 합금 접합체)을 선택적으로 부식시켜 광학현미경을 이용하여 거시적으로 접합상태를 관찰한 사진이며, Fig. 7은 동일 부위를 SEM으로 보다 확대하여 접합계면에서의 결합 유무를 관찰한 사진이다. 관찰 결과 계면에서는 접합시 흔히 발생하는 미세한 pore나 debonding과 같은 결합은 발견되지 않았으며, 이러한 현상은 본 실험에서 제조된 모든 접합체에서 동일하게 나타났다.

Fig. 7의 A 표시부는 WC, B 표시부는 Ni, C 표시부는 SCM435H의 원소재의 제조과정 중 열처리공정에서 생성된 층상의 fine pearlite를 나타내고 있다.

Fig. 8과 9는 접합체 중 가장 높은 접합강도 값을 보인 WC/10Ni-58.5Ag-30.0Cu-1.5Ti 브레이징 합금 계면과 가장 낮은 접합강도를 나타낸 WC/50Ni-32.5Ag-16.



Using 3% Nital Etchant × 500

Fig. 6. Optical microstructure of interface in WC/50Ni-32.5Ag-16.8Cu-0.7Ti joint.

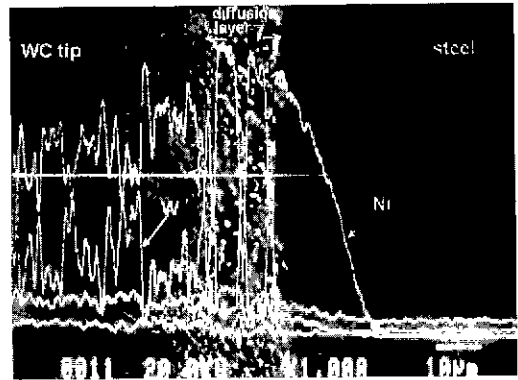
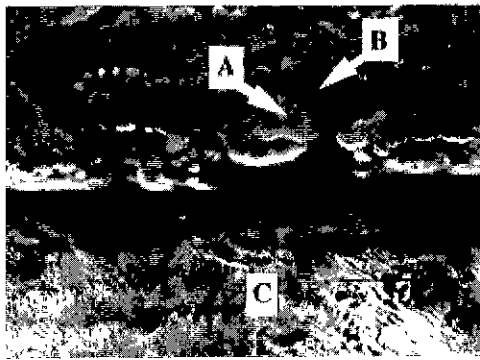


Fig. 8. EPMA micrograph of interface in WC/10Ni-58.5Ag-30.0Cu-1.5Ti joint.



Using 3% Nital Etchant × 5000

Fig. 7. Backscattered image of interface in WC/50Ni-32.5Ag-16.8Cu-0.7Ti joint.

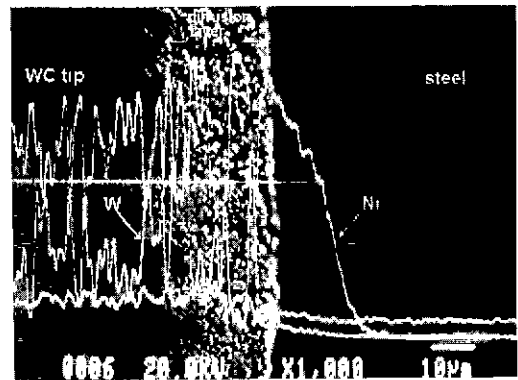


Fig. 9. EPMA micrograph of interface in WC/50Ni-32.5Ag-16.8Cu-0.7Ti joint.

8Cu-0.7Ti 브레이징 합금 계면에서의 미세조직 변화와 Ni의 거동 등을 비교 관찰하기 위한 저 배율 EPMA 사진이다.

두 접합체의 tip시편 계면 모두에서 서로 비슷한 형상의 확산층을 이루고 있는 것을 관찰할 수 있는데 접합강도 값이 낮게 나타난 접합계면에서 확산층 두께가 6-8 μm 정도 더 두껍게 형성되어 있는 것을 알 수 있다. 이는 접합체의 인장전단강도 시험시 나타난 모든 접합체의 파괴는 브레이징 합금과 tip시편 사이에서 일어난다는 점을 연계하여 생각해 볼 때 WC tip 계면에 형성된 Ni 확산층의 두께 차이는 브레이징 합금의 두께, 기계적 성질 및 세라믹스에 걸리는 잔류응력과 함께 인장전단강도 값에 매우 큰 영향을 미칠 수 있는 요인으로 해석할 수 있다. Ni 확산층의 형성은 동일한 시편과 접합조건에 의한 접합체임을 감안할 때 WC tip시편 내부의 Ni가 확산이동된 것 보다는 브레이징 합금내 Ni의 확산이동으로 사료된다. WC tip시편 계면 부근에서 높게 나

타나는 Ni의 peak 역시 접합시 브레이징 합금내 Ni이 계면 쪽으로 확산이동되어 형성된 Ni-rich phase에 의한 것으로 판단된다.

Ni이 첨가된 브레이징 합금 접합체에서 Ni이 첨가되지 않은 브레이징 합금을 사용한 접합체 보다 높은 접합강도를 보인 원인은 Ni계 브레이징 합금이 표면에서 우수한 젖음(wetting)특성을 갖는다는 보고¹⁹⁾를 고려해 볼 때 WC tip시편내 Ni와 브레이징 합금내 Ni가 서로 잘 wetting 되어 브레이징 접합시 서로 강한 결합을 이루어 접합성을 증진시켰기²⁰⁾ 때문으로 사료된다.

Fig. 10은 10Ni-58.5Ag-30.0Cu-1.5Ti 조성의 브레이징 합금을 사용한 접합체 계면을 보다 자세히 분석하기 위하여 고 배율로 촬영한 EPMA 결과이다. 사진에서와 같이 Ni peak는 WC tip 계면과 SCM435H 계면에서 강하게 검출 되어지는데 이는 전술한 브레이징 합금내의 Ni이 접합시 계면으로 확산이동 되었기 때문으로 판단되며, 특히 SCM435H 계면에서는 Fe-Ni 형태의 금속간 화합

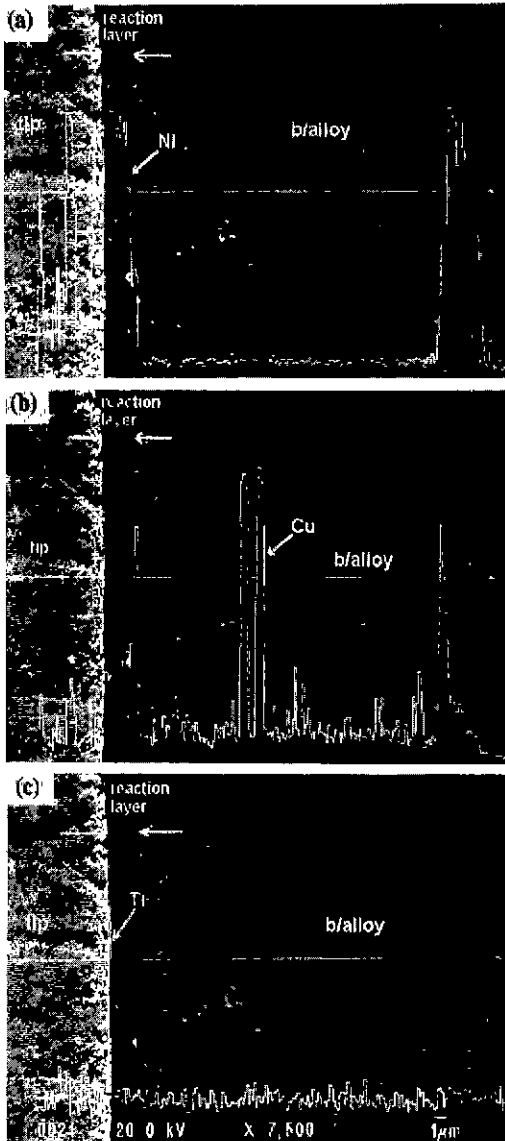


Fig. 10. EPMA micrograph of interface in WC/10Ni-58.5Ag-30.0Cu-1.5Ti joint.

물로 반응하여 계면생성물을 생성시키는 것으로 생각된다. 또한 WC tip 계면과 SCM435H 계면에서 검출됨에 따라 Ti는 계면 부위에서 집중적으로 편석(segregation) 되어 진다는 것을 알 수 있다.

따라서 Ti는 WC tip 계면에서 WC와의 반응으로 인한 탄화물을 형성하거나 SCM435H 합금강의 Si와도 서로 반응하여 Ti_5Si_3 나 $TiSi_2$ 등과 같은 화합물(compound)을 형성하는 것으로 생각된다.²¹⁾

Cu peak는 Ag-Cu의 평형상태도를 고려할 때 상온에

서 Cu-rich의 고용체에 의한 peak로 예상되며, Cu의 미세조직은 열 영향에 의해 변태된 쌍정(twin)조직의 형태로 Ag matrix에 균일하게 고용되어 있다.

WC tip 계면에서 형성된 브레이징 합금과의 반응층 두께는 약 $1.2\mu m$ - $1.4\mu m$ 정도로 50Ni-32.5Ag-16.8Cu-0.7Ti 브레이징 합금을 사용한 접합체에서의 반응층(0.8 - $1.0\mu m$) 보다 오히려 두껍게 형성되어 있어 확산층과는 서로 상반되는 양상을 보이고 있었다.

브레이징 합금과 WC tip시편 사이에서 형성되는 반응층과 확산층 두께 차이가 접합강도 값의 변화에 미치는 영향에 대한 연구 보고는 아직 없었으나 이에 대한 연구가 필요한 것으로 생각된다.

3.4. Valve lifter 제조

이상의 연구 결과를 토대로 본 연구의 최종 목표인 대형 디젤엔진용 valve lifter는 가장 높은 접합강도 값을 보인 10Ni-58.5Ag-30.2Cu-1.4Ti 조성의 브레이징 합금을 사용하여 face면인 WC tip과 SCM435H 합금강을 접합 제조하였다.

Fig. 11는 valve lifter의 구조와 형상을 보여주며, Table 4는 valve lifter의 기계적 특성을 보여준다.

Fig. 12는 엔진동력 내구시험 후 face면(Fig. 14 ①)의 profile(wear pattern)을 3차원 형상측정기로 측정한 결과를 보여준다. 그림에서와 같이 주철제 valve lifter의 face면은 가공에 의해 생성된 $10\mu m$ 의 convex 형상이 엔진내구시험 후 마모되어 거의 평면 상태로 나타나는 반면(Fig. 12a) 접합체의 경우 face면의 convex 형상은 가공상태를 그대로 유지하고 있으며(Fig. 12b), 마모량도 선단에서만 약 $1.5\mu m$ 정도 발생되었다. 또한, WC tip 시편 내부에 미세한 hair crack과 같은 결함과

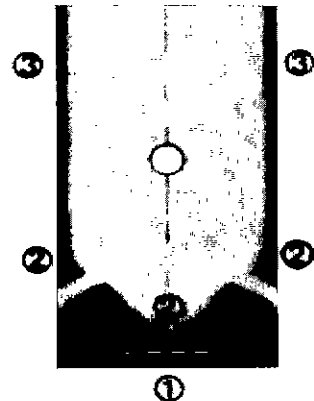
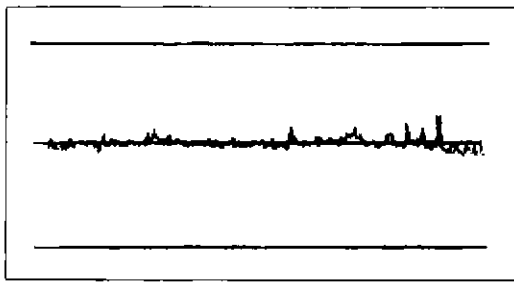


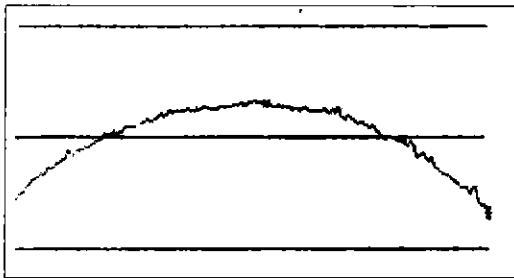
Fig. 11. Schematic diagram of valve lifter.----:joining line. ① WC tip, ②③ SCM435H(Induction hardening area)

Table 4. Mechanical Properties of Valve Lifter

Valve Lifter		Aim quality	Joint quality
Surface hardness (Vickers hardness)	WC Tip (Fig. 14①)	1200	1100-1200
	Contact to push rod (Fig. 14②)	700	650-700
	Contact to engine block (Fig.14③)	700	670-710
Surface treatment	WC Tip (Fig. 14①)	Crowning : 10 μm	Crowning : 7-10 μm
	Contact to push rod (Fig. 14②)	Induction hardening	Induction hardening
	Contact to engine block (Fig.14③)	Induction hardening	Induction hardening



(a)



(b)

Fig. 12. Profiles of surface for the valve lifter. (a) cast iron and (b) joint.

내구시험 중 접합 계면이 박리 되거나 WC tip시편과 SCM435H시편이 미끌리어 변형되는 현상은 발견할 수 없었다.

따라서 WC 소결체를 tip으로하는 접합체 valve lifter는 2500시간 고속연속 엔진동력 내구시험의 가혹한 조건에서도 견딜 수 있는 높은 내구성을 유지하고 있었으며, 기존의 주철체 보다 월등한 내마모성을 보임에 따

라 실제 차량에 장착하여 사용할 때 약 40-45만km 이상의 주행 내구성을 확보할 수 있는 부품으로 평가되었다.

4. 결 론

자동차의 성능이 소비자의 다양한 요구에 의하여 갈수록 고출력, 고마력화 되면서 고내구성의 엔진을 요구하게 되었다. 특히, 대형 디젤엔진의 경우 turbocharger화 되면서 valve train system을 연결하는 금속 부품의 재질적 한계로 인하여 환경오염 및 엔진출력 저하의 원인이 되었다. 따라서 금속부품 중 마찰·마모면을 세라믹산화 하기에 형상적, 경제적으로 적합한 valve lifter를 선정하여 세라믹스/금속 접합체로의 연구 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

Vickers hardness 1100-1200 정도의 우수한 표면경도 값과 2500시간 엔진 동력 내구시험 후에도 crowning 가공에 의한 convex 형상을 그대로 유지할 수 있는 고내마모성의 WC tip시편을 제조할 수 있었으며, 비교적 낮은 온도에서 접합할 수 있고 세라믹스와 금속간에 젖음 특성이 좋은 브레이징 접합방법을 선정하여 브레이징 합금을 변화시키면서 시험한 결과, 150 MPa 정도의 인장전단강도 값을 나타내는 접합체를 얻을 수 있었다.

WC tip시편과 브레이징 합금 접합에 있어서 Ag-33.5Cu -1.5Ti 조성에 10, 30wt.%의 Ni을 첨가한 브레이징 합금이 Ni을 첨가하지 않은 브레이징 합금보다 우수한 접합강도 값을 나타낸다는 것을 알 수 있었으며, WC tip시편에 형성된 확산층의 두께 변화가 작은 것이 접합체의 강도 유지에 좋은 영향을 미치는 것을 알 수 있었다. 또한 브레이징 접합시 계면에서 발생하는 결함을 최대한 줄일 수 있는 브레이징 온도, 시간, 분위기, 승온 및 냉각속도, 시편의 장착방법 등에 대한 최적의 공정 조건을 얻을 수 있었다.

이와 같이 브레이징 접합 공정에 의해 개발된 valve lifter로 인해 face면의 편마모 및 파다마모 현상을 방지할 수 있으리라 판단되며, 불완전연소에 의해 발생하는 대기오염과 엔진출력 저하 현상을 저감시킬 수 있어 차량의 고품질화가 예상된다.

향후 엔진 부품 중 특히, valve train system에서의 세라믹스/금속 접합체 개발시 기존의 실험적 결과를 활용하게 되면 보다 경제적이고 현실적인 개발을 할 수 있으리라 기대된다.

감사의 글

본 연구는 통상산업부의 기업공동연구개발사업 중 "고온용 세라믹 노즐, 밸브 및 열전대 보호관의 개발 및 용

용 연구(III) 사업의 하나로 수행된 것으로서 이에 감사드립니다.

REFERENCES

1. C. Y. Byun, "Experiments on Welding Ceramics by use of High Power Laser," *Journal of KWS.*, **12** (1987).
2. K. Saganuma "Joining of Ceramics and Metals," *Ann. Rev. Mater. Sci.*, **18**, 47-73 (1988).
3. M. G. Nicholas and D. A. Mortimer, "Ceramic/Metal Joining for Structural Application," *Mater. Sci. and Tech.*, **2**(9), 657-665 (1986).
4. I. Matsuo, "Direct Brazing of Ceramics for Advance heavy duty Diesels," *Sci. Auto. Eng., Inc.* 1989.
5. K. Katauama and T. Watanabe, "Development of Ceramic Blade Turbocharger Rotor in heavy duty Diesel," *Sci. Auto. Eng., Inc.* 1987.
6. Y. Nizue, H. Satoh and S. Umetani, "Stress and Strength Prediction of Diesel Engine Cylinder Head," SAE. 831048 (1983).
7. T. Morel, R. Keribar and P.N. Blumberg, "Cylinder Stress Phenomena in Engine Combustion Chamber," SAE. 850360, (1985).
8. J. T. Klomp and P.J. Vragt, "Interface between Metals and Ceramics," 97-105 in *Surface and Interface in Ceramics and Ceramics-Metal System*, Ed. by J. Pask and A. Evans, MRS. **14** (1980).
9. R. F. Pabst and G. Elssner, "Adherence Properties of Metal to Ceramic Joint," *Mater. Sci.*, **14**, 188-196 (1980).
10. K. Saganuma et al., "Solid State Bonding of Partially Stabilized Zirconia to Steel with Titanium Interlayer," *J. Mater. Sci.* **5**, 1099-1101 (1986).
11. H. E. Pattee, "High-Temperature," *WRC. Bull.*, **187** (1973).
12. D. O. Pattern and M. L. Totti, "Modeling of Ceramic to Metal Brazed Joints," *Ceramic Engineering Soc. Proc.*, **10** (1989).
13. KIA-ASIA Auto. Co. Inc., "Heavy Duty Design No. 13739-1140A."
14. "Refractory Carbide." Ed. by E. K. Storm, Academic Press, New York, U.S.A. (1967).
15. N. Iwamoto, "Review of the State of Art in Japan for Joining Ceramic Materials," *Structure Ceramic Joining II*, Ed. by J. Moorhead, R. E. Loehman and S. M. Johnson, The American Ceramic Society, Westerville, Ohio, U.S.A. (1992).
16. Smithells, *Metals References Book* Ed. by E. A. Brandles. 14-24, 23-30 (1983).
17. Iseki, "セラミックスの接合," *複合化の科學と技術* **3**, 21-51 (1994).
18. T. B. Shaffer, "Engineering Properties of Carbides," *Ceramics and Glasses*, Ed. by ASM International Handbook Committee, 804-811 (1991).
19. H. Y. Yu, S. C. Sanday and B. Rath, "Residual Stress in Ceramic-Interlayer-Metal Joints." *J. Am. Ceram. Soc.*, **76**(7), 1661-1664 (1993).
20. M. G. Nicholas, "Active Metal Brazing," *Joining of Ceramics*, Ed. by M. G. Nicholas, 73-93, Chapman and Hall, Cambridge, U. K. (1990).
21. R. Loehman, A. P. Tomsia, J. A. Pask and S. M. Johnson, "Bonding Mechanisms in Silicon Nitride Brazing," *J. Am. Ceram. Soc.*, **73**(3), 552-558 (1990).