

디젤엔진용 소결(W/C-35%Ni) 태핏의 마멸거동에 관한 연구

류병진 · 오세일 · 박맹로 · 양승호*

· 불보 건설기계 코리아 연구개발팀 선행연구그룹

*한국과학기술연구원 트라이볼로지연구센터

A Study on Friction and Wear Characteristics of Sintered W/C-35%Ni Tappets for Diesel Engine Application

Byung-Jin Ryu, Se-Il Oh, Meng-Roh Park and Seung Ho Yang*

Advanced Engineering & Test Group, R&D Team, VOLVO Korea

*Tribology Research Center, Korea Institute of Science and Technology

Abstract—In this paper tribological characteristics of solid and liquid phase sintered W/C-35%Ni tappets were investigated. Three test methods were performed to investigate the wear and surface damage mechanism of sintered tappets. First, block-on-ring wear test was performed to investigate the wear characteristics under pure sliding condition. Second, simplified cam and tappet tests (called component wear test hereafter) were carried out to simulate the real contact history of cam and tappet. Also, after the test, contact surfaces were analyzed with scanning electron microscope to study the wear mechanism. As a final screening, engine dynamo tests were performed. Results showed that in the block on ring sliding wear test, solid phase sintered specimens showed superior wear resistance to liquid phase sintered specimens. The component wear tests and engine dynamo tests also showed the same results. Therefore, in these tests, solid phase sintered tappet material revealed superior wear resistant properties to liquid phase sintered one.

Key words—solid and liquid phase sintered tappet, block-on-ring wear test, component wear test, engine dynamo test.

1. 서 론

최근, 상용차용 디젤엔진의 경우 배기가스, 소음에 대한 법적 규제가 점점 엄격해지고, 출력, 연비 및 그 신뢰성의 향상에 관한 사용자의 요구가 증가하고 있다. 이러한 요구에 대응하기 위하여 엔진 내부의 구조를 최적화 함으로서 상기한 목표들을 달성하려는 시도가 각 생산 업체별로 이루어지고 있다. 특히, 엔진동작 시의 에너지 손실을 저감시키고 승차감을 향상시키기 위하여 밸브 트레인계의 설계, 재료, 윤활 및 동적 특성들을 개선하려는 연구가 활발히 이루어지고 있다. 흡·배기밸브의 대형화, 밸브스프링 하중의 증대, 밸브리프트의 증대 등으로 대표되는 이러한 노력들은 향후 차량의 연비향상 및 승차감 향상을 통한 기술적 자산으로서의 역할을 할 것으로 기

대된다[1].

그러나 기존의 재료를 사용할 경우 상기한 밸브트레인 계의 구조적 변경은 캠과 태핏(tappet)간의 부하 증대 및 이로 인한 마멸을 발생시켜 그 수명이 감소될 수 있으며 나아가 엔진전체의 신뢰성에도 큰 영향을 미치게 된다.

일반적으로 태핏에서 발생하는 마멸의 종류로는 주기적인 마찰하중 및 전단하중으로 인하여 발생하는 표면크랙(surface crack) 및 피팅(pitting)과 캠과 태핏의 마찰 접촉부에서의 부적절한 윤활이나 윤활막의 파괴로 발생하는 스커핑(scuffing), 그리고 마찰 접촉부의 표면은 매끈하게 유지되지만 마멸량이 과도하게 발생하는 폴리싱(polishing) 마멸의 세가지로 크게 분류될 수 있다[2-4]. 이상과 같은 다양한 종류의 마멸 현상이 나타나는 원인은 캠의 형태 및 장착시의 윤

셋으로 인한 회전으로 캠과 태핏의 마찰 접촉점이 롤링(rolling)과 슬라이딩(sliding)의 복합적인 접촉거동을 보이기 때문이다[5-7]. 특히, 고부하 태핏의 개발을 위해서는 적용재료의 마멸특성을 규명하는 것이 실제 기계장치에의 적용가능성을 판단하는 중요한 선결 조건이 된다.

본 연구에서는 W/C 35%Ni 분말재의 고상 및 액상 소결 태핏을 대상으로, 1차적으로 슬라이딩 마멸특성 시험을 통하여 마멸특성을 평가하고, 2차로 실제엔진의 해당 기능부만 유사하게 모사된 캠/태핏 단품 내구시험기(cam/tappet component wear tester)를 제작하여 슬라이딩과 롤링의 복합운동 모드 하에서의 마멸특성을 평가하였다. 또한, 최종적으로, 엔진 디아나모 시험기를 사용하여 W/C-35%Ni 분말재의 액상 및 고상 소결 태핏의 마멸특성을 평가하여 이를 소결 태핏 개발의 기초 자료로 삼고자 본 연구를 추진하였다.

2. 시험방법

2-1. 시험시편

본 연구에서는 블록 온 링 시험(block-on-ring test), 단품 내구시험(cam/tappet component wear test) 및 엔진디아나모시험(engine dynamo test)의 세가지 마멸 실험을 실시하였다. 블록 온 링 실험 시 블록은 태핏의 재료를 사용하여 제작하였으며 그 접촉 표면에 소결층을 접합하여 사용하였고, 시편 링은 캠의 재료를 사용하여 제작하였다. 단품내구시험과 엔진 디아나모 시험에서는 실제 캠과 태핏을 사용하였으며 이때 태핏의 표면에는 소결층을 접합하여 사용하였다.

본 연구에 사용된 태핏의 모재는 중탄소강인 SM48C 소재를 고주파 표면 경화 처리하여 사용하였으며 경화 처리 후의 표면경도는 H_{RC} 55-59이었다. 캠과의 접촉면인 태핏 표면은 2-5 μm 의 입도를 지닌 W/C 35%Ni 분말을 각각 액상 및 고상 소결 타입으로 제작하여 고주파 경화처리된 모재의 표면에 브레이징(brazing) 접합하여 사용하였다. 시험결과에 민감한 영향을 미치는 표면조도의 영향을 없애기 위해 표면을 연마한 후 폴리싱 처리하여 표면 조도를 Ra 0.05로 맞추었다. 접합된 소결재의 크라우닝(crowning) 곡률반경은 5m로 정하여 접촉 특성과 윤활 특성의 개선을 꾀하였다. 소결층의 미세구조는 광학 및 전자현미경을 이용하여 관찰하였다. Table 1에 각 소결태핏의 물성을 나타내었다.

접촉 상대 부분인 캠은 중탄소강인 SM48C 소재를 고주파 표면 경화 처리하여 사용하였으며 경화 처리 후의 표면경도는 H_{RC} 55-59이었다. 표면 조도는 Ra 0.05로 맞추어 사용하였다.

Fig. 1에는 시험편의 형상 및 크기를 나타내었으며 Fig. 2에는 시험전 두 소결시편의 표면조직상태를 나타내었다.

2-2. 슬라이딩 마멸시험

슬라이딩 마멸거동을 파악하기 위하여 블록 온 링

Table 1. Properties of W/C 35%Ni sintered specimens

Material property	Liquid phase	Solid phase
Powder size(μm)	2-5	2-5
Surface hardness(H_{RA})	76-78	86-88
Surface roughness(Ra)	0.04-0.06	0.04-0.06
Surface porosity (% area)	0.5 max	0.1 max

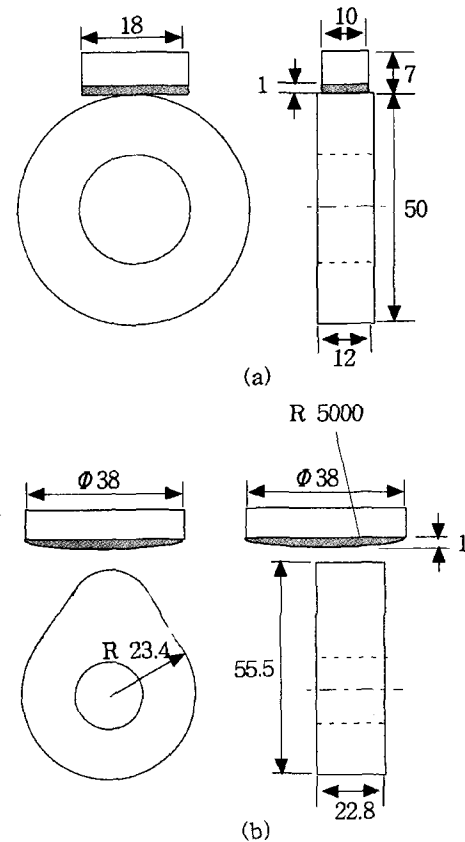


Fig. 1. Schematic diagram of specimens (a) ring and block, (b) cam and tappet.

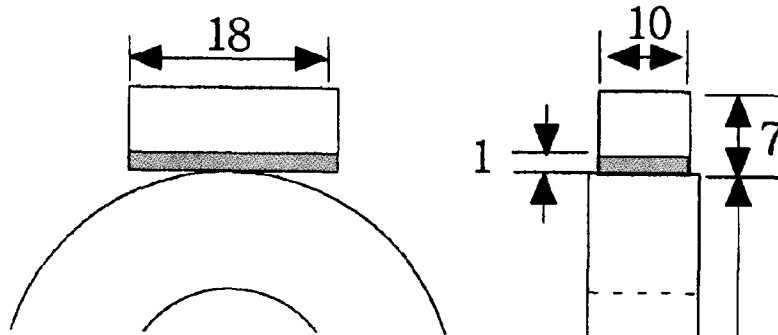


Fig. 2. SEM images of the sintered tip surfaces before test (a) liquid phase sintered specimen, (b) solid phase sintered specimen.

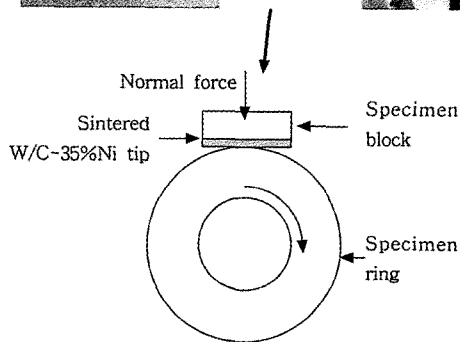
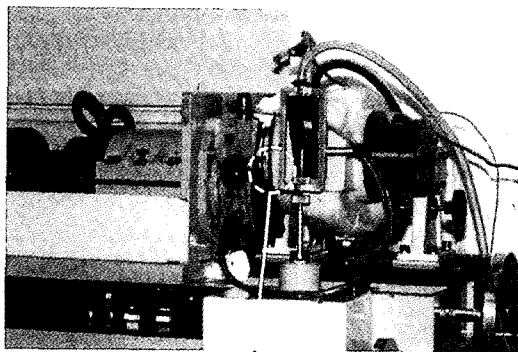


Fig. 3. Experimental set-up view and schematic figure of the block-on-ring wear tester.

슬라이딩 마멸시험기(Fig. 3)를 사용하였다. 슬라이딩 속도는 DC모터를 이용하여 2.6 m/sec로 유지하였고, 수직하중은 1000 N, 슬라이딩 속도는 2.6 m/sec로 설정하여 1×10^6 cycles 동안 시험하였다. 실험에 사용된 윤활유는 SAE 10W30 디젤엔진 오일을 사용하였다. 시험중의 윤활유의 온도는 90-100°C로 유지하였다. 시험 후의 각 시편의 마멸트랙의 깊이와 폭은 3차원 측정기 및 Contour Graph, 광투영기를 이용하여 측

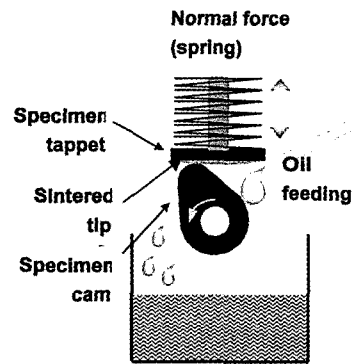
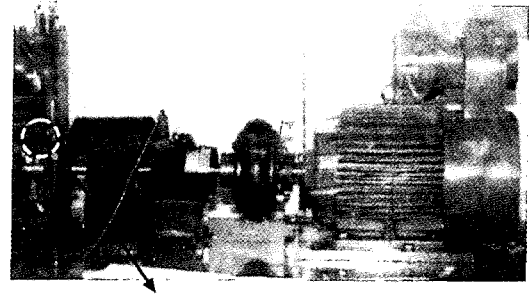


Fig. 4. Experimental set-up view and schematic figure of the cam/tappet component wear tester.

정하였으며, 마멸트랙의 면적은 상분석기(Image Analyser)를 이용하여 측정하였다. 접촉표면의 마멸 특성을 파악하기 위하여 주사전자현미경(JEOL Model-5410)을 사용하였다.

2-3. 캠/태핏 단품내구시험

슬라이딩과 롤링에 대한 복합적인 마찰마멸특성을 실제 단품상태에서 평가하기 위하여, 캠/태핏 단품

내구시험기를 구성하였다(Fig. 4). 본 시험기는 실제 엔진에 사용되는 밸브트레인계의 기구학적 구동조건(수직하중, 캠샤프트 회전속도)과 윤활조건 등을 실제 엔진의 동작조건에 모사할 수 있도록 설계되었으며, 실제로 본 시험기의 개발 시 실제 장착 결과와 비교하여 본 장비의 활용 타당성을 검증한 후 실험에 사용하였다.

시험조건은 회전속도를 1000 rpm으로 고정하여 실험하였다. 수직하중은 최대 174.5 kgf, 시험시간은 1×10^7 cycles로 시행하였다. 시험후의 캠과 태핏 표면의 마멸트랙을 SEM으로 관찰하였다.

2.4. 엔진다이내모 시험

실제 연소상태에서의 엔진성능과 비교하면서 밸브트레인 계의 성능을 비교시험하기 위하여 소결시편

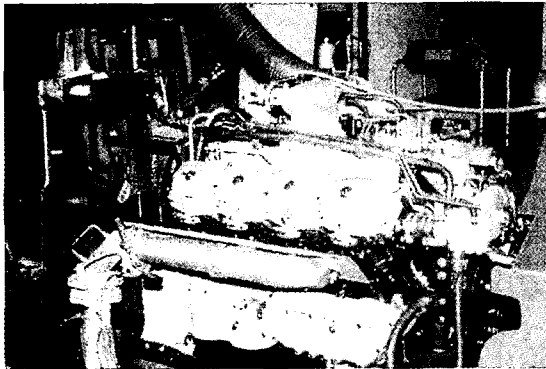


Fig. 5. Experimental set-up view of the engine dynamo tester.

을 360 마력의 엔진다이내모 시험에 투입하여 그 결과를 비교 평가하고자 하였다. Fig. 5에 엔진다이내모 시험기를 나타내었다. 엔진 다이내모시험 시험시간은 500시간으로 하였으며, 시험초기에는 엔진 속도 2000 rpm의 정격속도에서 300시간, 500 rpm(idle 상태), 1300 rpm(최대토크), 2200 rpm(가속) 사이클링 모드로 180시간, 끝으로 성능 재확인을 위해 정격속도로 20시간 운전하여 엔진성능 상태를 모니터링 하였다. 또한, 시험후의 캠과 태핏의 접촉부 마멸 정도와 표면파손 기구를 규명하기 위하여 표면의 마찰마멸트랙을 전자현미경을 사용하여 분석을 행하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3-1. 슬라이딩 마멸실험결과

실험결과는 3회의 재현시험을 거쳐 평균한 값을

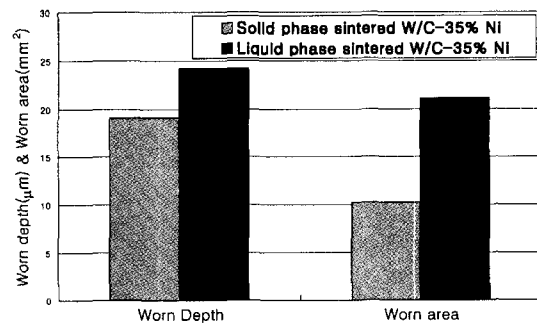
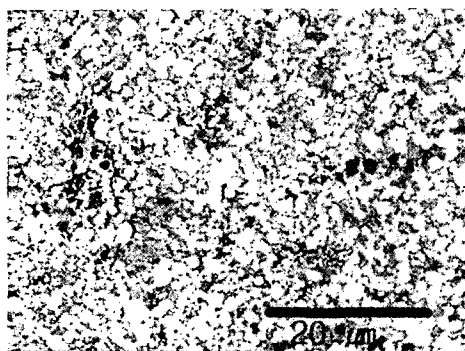
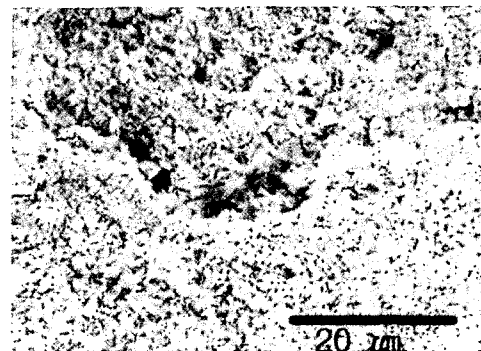


Fig. 6. Results of the block-on-ring sliding wear tests.



(a)



(b)

Fig. 7. SEM images of worn surfaces of tested specimens after the cam/tappet component test (a) solid phase sintered surface (b) liquid phase sintered surface.

사용하였다. 마멸트랙의 깊이와 마멸면적을 Fig. 6에 나타내었다. 전체적으로 고상 소결시편의 슬라이딩 내마멸특성이 액상 소결시편보다 우수하였다. Fig. 2에 나타내었듯이 고상소결시편의 경우 표면경도값이 높으면서도, W/C 입자가 등골게 존재하기 때문에 상대면과의 접촉에서도 유리한 것으로 추정된다. 액상 소결시편의 경우 제조공정상의 온도증가에 따른 소결입자의 성장으로 인하여 각진 형상으로 존재하기 때문에 마멸량이 상대적으로 증가한 것으로 판단된다.

3.2. 캠/태핏 단품내구 시험결과

Fig. 7(a)의 경우 1×10^7 cycle의 단품내구 시험후

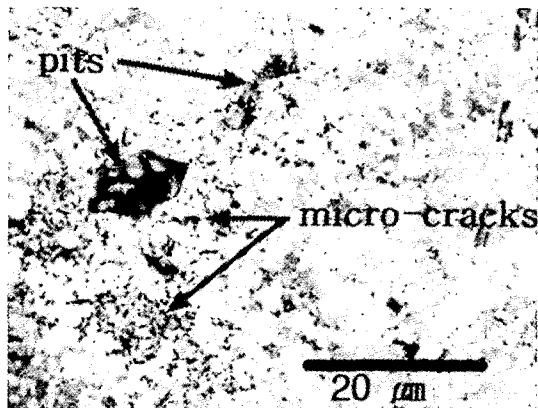


Fig. 8. An SEM image showing pits and micro-cracks of tested liquid sintered specimens after the cam/tappet component test.

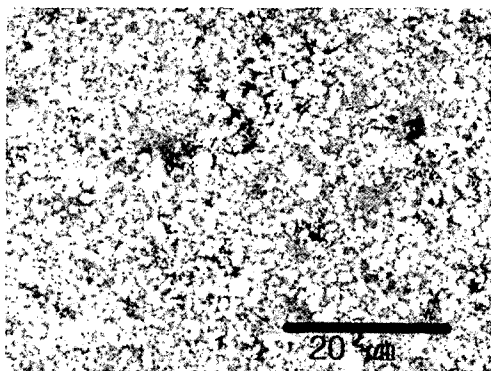
의 고상소결 태핏의 마찰표면상태를 전자현미경으로 관찰한 사진이다. 작은 피트(pit)들이 발생하고 있음을 알 수 있다. 이런 미세 피트들의 발생이 계속되어 전파되면 스폐링(spalling) 등의 손상으로 발전할 것으로 판단된다. Fig. 7(b)의 경우 1×10^7 cycle 시험후의 액상 소결태핏을 나타낸 것이다. 스폐링 등의 거대표면손상이 발생했음을 보여주고 있다. Fig. 8은 액상 소결시편의 슬라이딩과 롤링 반복응력으로 인하여 생성된 피트의 형상을 보여주고 있다. 크랙이 발생하여 Ni기지를 따라 전파되고 있는 형태도 보이고 있다.

3.3. 엔진 다이내모 시험결과

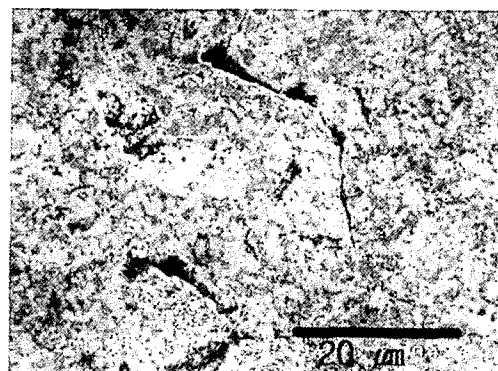
Fig. 9(a)는 엔진 다이내모 500시간 시험후의 W/C-35%Ni 고상 소결태핏의 표면상태를 나타내고 있다. 표면에서의 스폐링 등의 손상이 발생했음을 보여주고 있다. Fig. 9(b)는 엔진 다이내모 500시간 시험후의 W/C 35%Ni 액상 소결태핏의 표면상태를 나타내고 있다. 마찰표면상태에서 피팅(pitting)이 발생하였다. 엔진 다이내모 시험결과 소결 태핏 표면의 마모 현상은 캠/태핏 단품 내구시험의 결과와 유사한 결과를 나타내었다.

3.4. 고찰

W/C-35%Ni 분말재의 소결태핏의 조직은 W/C입자와 Ni기지로 이루어져 있는데 여기에 반복 접촉에 의한 접촉피로 현상이 표면 및 표면하의 W/C입자와 Ni기지 경계부 및 취약부에 크랙을 유발하여 W/C입



(a)



(b)

Fig. 9. SEM images of worn surfaces of tested specimens after the engine dynamo test (a) solid phase sintered surface (b) liquid phase sintered surface.

자의 탈락이 피팅으로 이어지고, 이들 피트들이 WC 입자 형상에 의한 미세노치(micro-notch)에 의한 응력 집중과 같은 현상에 의하여 수많은 피트들이 형성, 합체되어 크랙전파로 이어지면서 거대 피트를 형성하여 표면탈락 등의 손상이 발생하는 것으로 사료되며, 이런 손상이 결국 스펙링 등의 마멸손상으로 이어지는 것으로 판단된다.

4. 결 론

이상과 같은 실험을 통하여 다음의 결론을 도출하였다.

1. W/C 35%Ni 소결재의 태핏적용 평가결과 고상 소결시편의 경우가 액상 소결시편보다 슬라이딩 및 슬라이딩과 롤링의 복합 모드에서 내 마멸성이 우수하였다.
2. W/C 35%Ni 소결태핏의 적용에 있어서 W/C입자와 Ni기지와의 결합력과 W/C입자의 형상이 중요한 변수이며, 이는 공정의 특성상 둥근 형태의 W/C입자의 형태를 지니는 고상 소결이 액상 소결보다

유리하다고 판단된다.

참 고 문 헌

1. M. E. Crane and R. C. Meyer, "A Process to predict friction in an automotive valve train," SAE 901728.
2. Y. Yamamoto and M. Yoritaka, "Research on pitting of cast iron tappets for diesel engines," JASE review Vol.7, No.1, pp.34-40, 1986.
3. R. F. Abell, "I.C. engine cam and tappet wear experience," SAE 770019, pp.49-57, 1978.
4. M. J. Neals, "TRIBOLOGY HANDBOOK", A23.
5. P. A. Willermet, J. M. Pieprzak and D. P. Dailey, "Tappet rotation and friction reduction in a center pivot rocker arm contact," Journal of Tribology, Vol.112, pp.655-661, 1990.
6. M. Soejima and Y. Wakuri, "Experimental studies on scuffing cam and tappet," 自動車技術論文集, Vol.26, No.2, April, pp.82-87, 1995.
7. C. F. Bona, and F. G. Ghilardi, "Influence of tappet rotation on cam and tappet surface deterioration," Proc. Instn. Mech. Engrs., Vol. 180 pt. 2A, No.11, pp.269-278, 1965-1966.