

## 핀부시 베어링 소재의 계면접합특성에 관한 실험적 연구

김청균\* · 김도현

홍익대학교 트리보·메카·에너지기술 연구센터

### Experimental Study on the Interface Bonding Characteristics of a Pin-bushing Bearing

Chung Kyun Kim\* and Dohyun Kim

Research Center for Tribology, Mechatronics and Energy Technology, Hongik University  
(Received October 2, 2008; Revised November 13, 2008, Accepted December 10, 2008)

**Abstract** – This paper presents the interface bonding characteristics between a phosphor bronze and a steel plate for pin-bush bearings. The pin-bush bearing is an important component in which is used to reduce a friction loss and a wear against the piston pin. The pin-bush bearing is manufactured by hot-pressing a phosphor bronze and a back metal of a steel plate. This paper investigated the bonding interface characteristics in which is manufactured by melting a copper based bronze and a steel plate. The hardness from the inner surface of a bronze to the outer one of steel has been measured using a Vickers hardness tester. The experimental results show that the hardness of a bronze is superior to that of the conventional bronze and the transient hardness of pin-bush bearings is gradually increasing to the hardness of the steel back metal. This means that the bonding interface zone of pin-bush bearings may be fabricated by defusing a bronze to the steel plate due to a density difference between two materials.

Key words – pin-bush bearing(핀부시 베어링), phosphor bronze(인 청 동), back metal(백 메탈), vickers hardness(비커스 경도)

### 1. 서 론

베어링(bearing)은 회전하는 축에 의해 하중을 안정적으로 지지하고 전달하는 모든 기계장치의 핵심부품으로 사용되고 있다. 베어링은 기계적 강도와 강성도를 충분히 확보하는 것은 물론, 트라이볼로지 특성이 우수해야 회전부의 작동성을 보장한다[1]. 더욱이 자동차의 엔진 베어링이나 핀부시 베어링(pin-bush bearing)으로 사용하는 경우는 윤활유에 의한 유막(oil film)이 충분히 형성되어 있어야 엔진의 연소과정에서 발생하는 폭발압력을 감당할 수 있고, 또한 내구성을 확보하게 된다.

그러나 엔진용 베어링의 원활한 회전운동을 보장하

고, 하중지지를 담당할 윤활유가 원활하게 공급된다 해도 미끄럼마찰 접촉표면에는 유막이 충분히 형성되지 못하는 경우도 종종 발생한다. 따라서 평면베어링의 마찰운동 표면에서는 현실적으로 심한 마찰력 발생과 마멸(wear)이 지속적으로 진행되어 내구성이 떨어진다[2,3].

베어링은 회전축과 마찰운동 접촉을 하는 미끄럼 마찰평면에 저마찰성, 내마멸성, 윤활성, 내부식성을 갖춘 고강도의 베어링 소재를 사용하는 것이 일반적이다. 특히 엔진의 커넥팅 로드(connecting rod)에 사용하는 핀부시 베어링의 내경측에는 인청동 소재와 유막에 의해 트라이볼로지 특성을 확보하고, 커넥팅 로드의 소단부(small end)에 강제로 압입하기 위한 베어링의 외경측에는 기계적 강도를 확보할 수 있는 연강을 사용한다. 결국 베어링의 기계적 강도와 트라이볼로지 마찰특성이

\*주저자 · 책임저자 : chungkyunkim@empal.com

우수한 소재를 복합소재로 선정하여 베어링을 제조할 경우 엔진의 폭발하중에도 견디면서 원활한 윤활특성을 확보하는 베어링 소재는 개발된다. 특히 경계윤활 마찰구간에서 작동하는 베어링의 경우는 소재특성이 우수한 설계기술을 필요로 한다[4].

인청동 계열의 연한소재를 사용하여 제작한 핀부시 베어링은 고강성을 갖는 피스톤 핀과 회전마찰 접촉운동을 안전하게 작동할 수 있도록 하기 위해서는 강재의 백 메탈(back metal)과 확실하게 접합되어 외부의 어떠한 동적하중에도 견디고, 일정기간 내구성을 보장해야 핀부시 베어링으로 사용할 수 있다. 또한 베어링의 마찰표면에 윤활유가 충분하게 공급되지 못하는 경우가 발생해도 어느 정도는 원활한 작동성을 유지해야 베어링의 표면손상을 줄일 수 있다.

따라서 본 실험적 연구에서는 자동차 엔진용 베어링 소재로 인청동 소재를 강재의 백 메탈에 융착시켜 제조한 복합소재의 접합계면에 대한 기계적 특성을 실험적으로 분석하고자 한다.

## 2. 시편 및 실험방법

### 2-1. 베어링 시편

본 실험에 사용된 핀부시 베어링 소재는 인청동을 기반으로 제조한 가솔린 엔진용 시편으로 Fig. 1에서 베어링 제품을 보여주고 있다. 베어링의 내경측에 트라이볼로지 특성을 확보하기 위해 구리를 82~92%, 주석을 7~13%, 비스무트를 1~5% 정도 혼합하여 야금학적으로 베어링 소재를 제조하였다. 베어링에 작용하는 하중을 지지하기 위해 사용한 백 메탈 소재는 강재로 인청동 소재와 함께 접합하여 새로운 복합소재를 제작하였다.

Fig. 1은 기존에 널리 사용하고 있는 가솔린 엔진용 핀부시 베어링 소재로 내경측에는 엔진오일의 원활한 유동과 유막에 의한 하중지지를 보장하기 위해 오일구멍과 오일홈(oil groove)이 원주방향을 따라서 제작되어 있다. 그러나 설계자의 의도와는 달리 베어링의 내경측에는 윤활유막이 충분하게 형성되지 못하므로 마찰손실과 마멸작용에 의한 표면손상을 항상 경험하기 때문에 엔진의 내구성 향상에 걸림돌이 되고 있다.

Fig. 2는 내경측의 인청동 소재와 외경측의 강재가 접합하는 과정에 융착한 표면계면을 관찰하기 위한 금속현미경이다. 베어링의 접합계면에서 금속간의 완벽한 계면융착은 베어링 소재의 기계적 강도와 강성도를

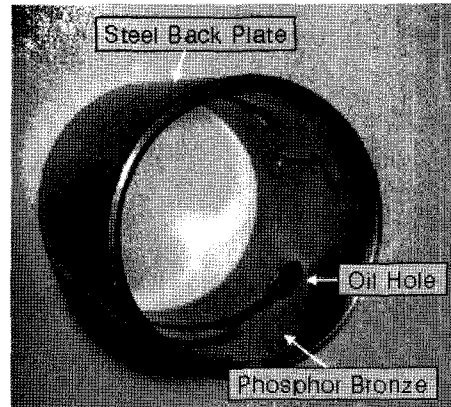


Fig. 1. Pin-bush bearing.

높이고, 내구성을 확보하는 지름길이고, 베어링 개발의 핵심기술이다. 그러나 접합계면에서 두 소재가 단지 접촉하는 형태의 접합모델은 베어링과 회전축에 의해 형성된 강한 회전 마찰력이 작용하면서 황동소재와 강재가 서로 분리되는 심각한 경우가 발생하기도 한다. 따라서 핀부시 베어링의 접합계면은 베어링의 전체적인 내구성에 중대한 영향을 미치게 된다.

### 2-2. 실험방법

베어링 복합소재의 접합계면에 대한 기계적 특성을 분석하기 위해 본 실험적 연구에서는 계면에 대한 표면층을 Fig. 2의 금속현미경으로 촬영하고, 또한 Fig. 3의 비커스 경도계로 접합계면의 경도를 측정하여 이들 접합계면의 결합특성에 대해 고찰하였다.

Fig. 4에서 베어링 시편의 접합계면에 대한 경도를 측정하기 위해 1개의 시편에는 4가지 방향으로 경도를 측정하는 모델을 보여주고 있다. 베어링 복합소재의 경도는 인청동 계열의 내측소재 A로부터 강재의 외측소

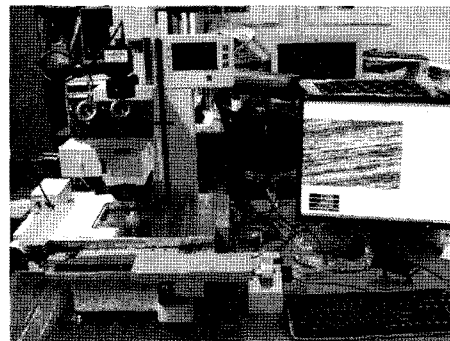


Fig. 2. Measuring microscope.



Fig. 3. Vickers hardness tester.

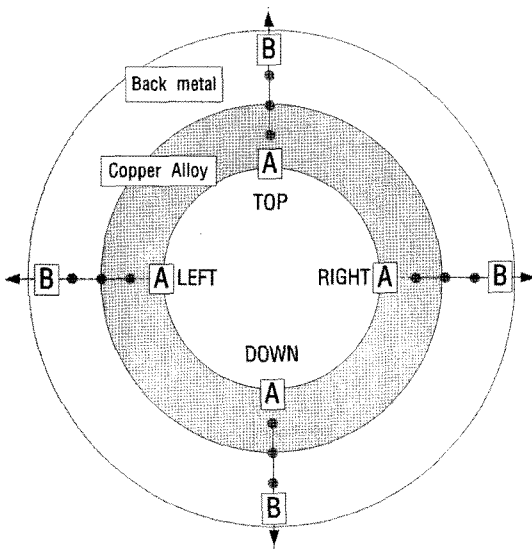


Fig. 4. Hardness measuring points of a pin-bush bearing.



Fig. 5. Indentation diamond marks at the bonding interface between a bronze and a steel plate.

Fig. 5는 접합계면에서 측정된 비커스 경도값을 확보하기 위해 사용한 다이아몬드 축침(diamond stylus)의 압입자국과 측정위치를 보여주고 있다. 본 연구에서 사용한 인청동 소재와 강재를 접합한 시편의 접합계면 폭은 76.98  $\mu\text{m}$  정도로 대단히 얇기 때문에 접합계면에 대한 양질의 경도 데이터를 얻기 위해 반경방향과 원주방향을 따라서 수많은 측정을 시도하여 안정된 데이터를 확보하도록 노력하였다.

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3-1. 접합계면 분석

본 실험을 위해 Fig. 6에서 보여준 시험편의 상단부와 하단부를 매끄럽게 절단한 다음, 연마가공하여 접합계면에 대해 현미경으로 사진촬영을 하였다. Fig. 7에서 제시한 베어링 복합소재 시편에서 내경측의 인청동과 외경측의 강재가 잘 확산되어 융착된 복합소재의 접합계면을 관찰할 수 있었다. 이것은 소재 상호간의 확산접합에 의해 두 소재가 잘 접합되었다는 것을 의미한다. 그 결과 Fig. 7과 같은 베어링 복합소재는 트라이볼로지 특성과 강성도가 대단히 우수할 것이라 예측할 수 있다.

결국 Fig. 7에서 보여준 접합계면과 같은 복합소재의 확산접합 패턴은 편부시 베어링에서 늘 경험하는 엔진의 폭발압력과 압력차로 인해 발생하는 진동력, 베어링에 윤활유 공급이 원활하지 못함으로 인해 발생하는 심한 마찰력에 의한 박리현상 등, 다양한 하중조건을 견딜 수 있다는 측면에서 중요하다.

#### 3-2. 경도분석

본 실험에 사용된 비커스 경도계의 시험하중은 500 g이고, 시편은 모두 11개이다. Fig. 4에서 보여준 경도 측정위치는 1개의 시편에 대해 4곳으로 나누어

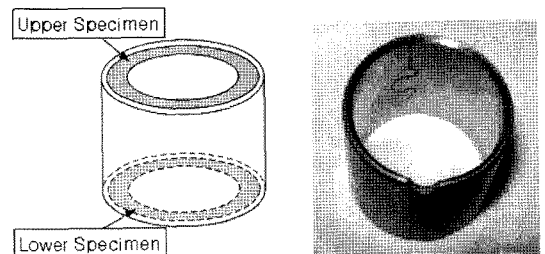
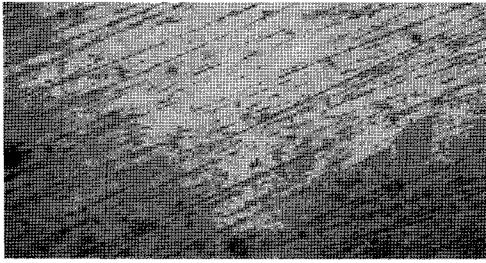
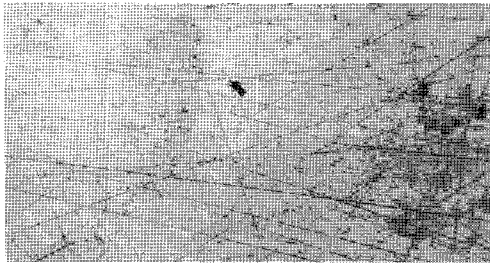


Fig. 6. Sampling area of a pin-bush bearing.



(a) Bonded interface sample I



(b) Bonded interface sample II

Fig. 7. Bonded interface zone between a bronze and steel back metal.

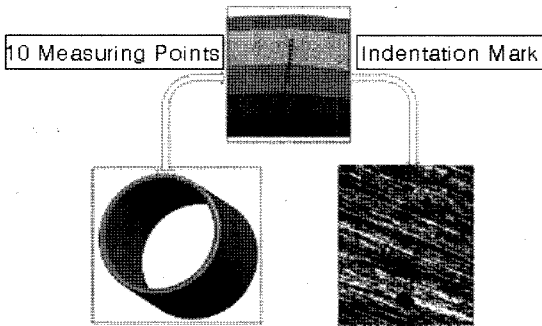
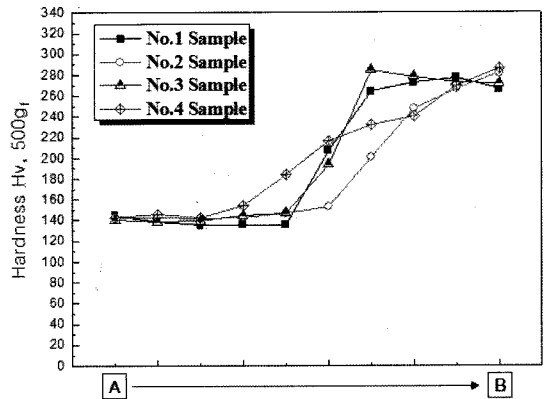


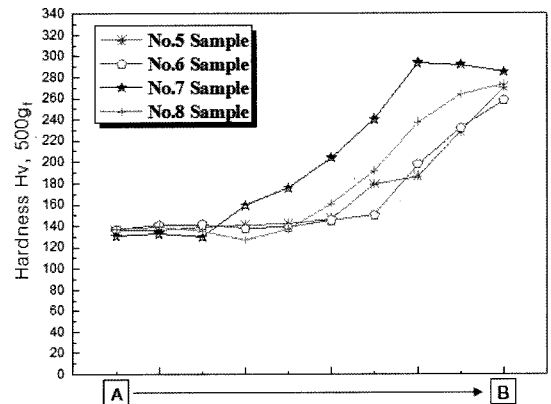
Fig. 8. Measuring points of bonded interface between a bronze and a steel plate.

내측소재 A에서 외측소재 B를 향해 균등 간격으로 10 곳을 측정하였다. Fig. 8에서 보여준 것처럼, 1개의 시편에서 측정된 경도값은 1개의 접합계면당 40개이고, 상부와 하부소재에서 측정된 경도값을 합치면 모두 80개의 경도 데이터로 소재에 대한 대표성을 확보한 것으로 간주해도 된다.

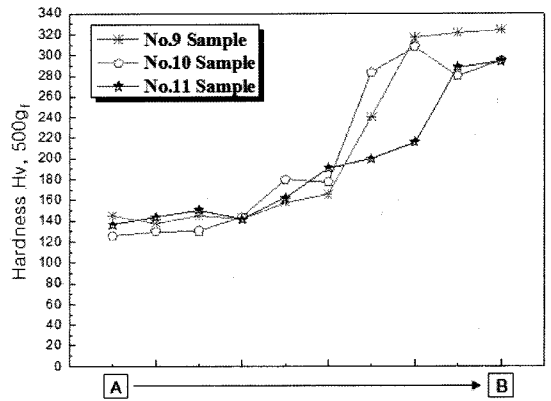
Fig. 9는 베어링용 복합소재로 개발된 11개의 시편에 대한 접합계면의 경도를 측정된 결과이다. Fig. 9(a)에서 제시한 샘플그룹 I의 경우, 인동용 소재로 제조된 내경측 소재의 경도값은 140 Hv 정도로 대단히 우수한 소재특성을 나타내고, 강재로 제조된 외경측 소



(a) Sample group I



(b) Sample group II



(c) Sample group III

Fig. 9. Vickers hardness at the bonding interfaces of pin-bush bearings.

재의 경도는 265~285 Hv로 양호한 값을 보여준다. 또한 복합소재의 접합계면 특성치를 나타내는 경도값은 원만한 상승곡선을 나타내고 있다. 즉, 경도가 낮은 인

청동 소재와 경도가 높은 강재 사이의 계면접합은 Fig. 7에서 보여준 것처럼 접합계면에서 용착에 의한 확산 접합이 진행되었기 때문에 경도의 상승곡선이 우수하게 나타난 것으로 판단된다.

또 다른 접합패턴을 보여준 Fig. 9(b)의 샘플그룹 II에서 인청동 소재의 경도값은 130~140 Hv, 강재의 경도값은 260~290 Hv로 샘플그룹 I과 유사하지만, 경도가 낮은 인청동에 의한 확산보다는 강재에 의한 강도 영향을 더 많이 받아 접합계면에서의 경도값은 상대적으로 높아지고, 접합계면의 폭이 넓어진 것으로 나타났다.

Fig. 9(c)는 또 다른 접합결합 패턴을 보여준 것으로, 샘플그룹 III에서 인청동 소재의 경도값은 120~140 Hv, 강재의 경도값은 290~320 Hv로 샘플그룹 I보다는 인청동의 경도는 약간 낮아졌지만, 강재의 경도는 약간 높아진 것으로 나타났다. 특히 접합계면에서 인청동 소재에 의한 확산 영향이 크게 나타나면서 접합계면에서 관찰된 인청동 소재에 의한 경도의 폭은 넓게 나타났고, 그 결과로 접합계면에서의 경도는 상대적으로 낮아진 것으로 관찰되었다.

인청동 소재의 경도는 보통 120 Hv 전후인 것으로 알려져 있으나[2], Fig. 9에서 측정된 인청동 소재의 경도는 최소 130 Hv 이상으로 대단히 우수하였고, 특히 접합계면에서 경도의 원활한 상승곡선을 보여주는 것은 두 소재의 접합면에서 확산접합에 의한 용착계면이 형성되었다는 것을 예상할 수 있다.

#### 4. 결 론

자동차의 기술린 엔진용 핀부싱 베어링 소재는 피스

톤 핀과 미끄럼 마찰운동을 하는 내경측에 인청동을 사용하여 트라이볼로지 특성을 확보하고, 외경측에는 강재를 사용하여 강도를 보장하도록 설계되어 있다. 베어링 소재에서 윤활성과 강도를 함께 확보하기 위한 복합소재의 개발은 소재 상호간의 접합결합에 의해 베어링의 마찰특성과 강도를 확보하는데, 본 실험적 연구에서 사용한 복합소재는 접합계면에서 용착에 의한 확산접합을 한 복합소재로 확인되었다. 접합계면에서 관찰한 접합성은 인청동 소재와 강재 상호간의 확산접합을 관찰하는데서 그 우수성을 확인할 수 있었고, 또한 접합계면에서의 경도변화가 우수하게 천이되는 경도상승 패턴을 관찰하였다.

따라서 본 연구에서 제시한 베어링용 복합소재는 확산에 의해 용접이 진행되었다는 실험적 데이터를 확보하였기 때문에 미끄럼마찰 접촉운동에 따른 접합소재의 분리현상을 차단할 수 있다. 또한 인청동 소재의 경도값이 120 Hv인 기조소재에 비해 본 실험에 사용한 소재는 130~145 Hv로 높게 나타났기 때문에 베어링의 내구성 또는 높게 유지될 것으로 예상된다.

#### 참고 문헌

1. 김청균, “자동차엔진공학”, 북두출판사, 2002.
2. 김청균, “트라이볼로지”, 형설출판사, 2006.
3. 김청균, 오경석, “내연기관용 무연 핀부시의 마찰특성에 관한 실험적 연구”, 한국윤활학회지, Vol. 23, No. 6, pp. 306-311, 2007.
4. 김청균, 김도현, “마찰조건에 따른 핀부싱 베어링의 접촉면압분포에 관한 연구”, 한국윤활학회지, Vol. 23, No. 6, pp. 255-260, 2007.