

디젤엔진용 클래드강의 소재개발에 관한 연구

하만경*, 황영모**, 박후명**, 전재억#, 김수광***

A Study on the Development of Clad Steel for Diesel Engine

Man-Kyung Ha*, Young-Mo Hwang**, Hoo-Myung Park**, Jae-Uhk Jun#, Soo-Kwang Kim***

ABSTRACT

Metal Bearing's research that use the clad steel had led in advanced country. Metal Bearing that is produced by domestic companies is ship, vehicles, development equipment and plant equipment. This is Cast White Metal Lining Bearing that is Bimetal Bearing standing 2 generation. Cast White Metal Lining Bearing is foreseen to be used widely on industry whole in the future. Cast White Metal Bearing is product that need precision processing. But the technique is generalized widely. So an advanced country is depending on import from a developing country that price is cheaper than itself manufacture. it is judged that high added value creation by deepening of price competition is difficult. Therefore need product development of new form and is changing to Trimetal Bearing parts. Trimetal Bearing is high quality technique that do compression junction to thin plates of special object on the Back Metal. Therefore, this research developed Trimetal bearing's materials.

Key Words : Metal Bearing (메탈베어링), Clad Steel (클래드 강), Bimetal Bearing(바이메탈 베어링), Trimetal Bearing (트라이메탈 베어링)

1. 서 론

연속적인 하중과 운동의 전달이라는 목적에 국한된 초기 엔진 메탈베어링의 역할은 산업 전반의 발전과 더불어 내연기관을 위시한 구동 장비의 고기능, 정밀화 추세에 일조하여 베어링 자체의 안전성뿐만 아니라 엔진의 효율 및 안정적 운행에 대한 신뢰성 확보와 환경 친화적 요소까지 감안하여 그 요구사항이 증

가하고 있다. 일반적으로 단일 재료로 제작되어진 단층의 메탈베어링의 기술은 각 나라별로 보편화 되어 있는 실정이며, 제 2세대 메탈베어링적인 이중금속의 접합에 의한 메탈베어링 제작 기술은 개발도상국에까지 그 기술이 보편화 되어가는 추세이다. 그러나 현재 산업전반에서 광범위하게 필요로 하고 있는 다층 메탈베어링인 트라이메탈 베어링(Trimetal bearing)의 제작기술은 베어링 소재의 물성치를 정확하게 획득하기 어렵고 또한, 박판 알루미늄 합금(Aluminium Alloy)과 같은 얇은 판의 압접(Pressure Welding/Cladding)기술을 상용화하지 못하여 일부 선진국을 제외한 각 나라에서도 전량 수입에 의존하는 형편이다. 이에 알루미늄 합금의 압접기술을 이용한 메탈 베어링의 생산 및 공급은 서구 유럽 등 해외에서도 우수

* 부경대학교 기계공학부

** 부경대학교 대학원 기계공학부

교신저자 : 부산정보대학 기계자동차계열

E-mail : junju66@hanmail.net

*** 부산정보대학 기계자동차계열

업체에서만 그 기술력을 보유하여 향후 급팽창할 수 있는 시장을 독점하고 있는 실정이다. 또한 해외 선 발업체들이 새로운 베어링 소재를 지속적으로 개발하고 이를 바탕으로 하여 고도의 가공기술을 접목하여 상용화함으로써 관련기술의 독점체제를 지속하고 있다. 이에 국내외 관련 기술의 현황도 현재 국내 업체들에 의해 양산되는 선박, 차량, 발전설비 및 플랜트 설비용 메탈 베어링은 2세대 바이메탈 베어링격인 Cast White Metal Lining Bearing이 주종을 이루고 있으며^{1~4)}, 이는 향후에도 산업 전반에 널리 이용될 것으로 예견되지만 Cast White Metal Bearing이 정밀 가공을 요하는 제품임에도 불구하고, 그 기술력이 널리 보편화된 실정으로 선진국에선 이미 자체 제작보다 가격 경쟁력이 우수한 타 지역으로부터 수입에 의존하고 있으므로 국내에서도 고 부가가치를 창출할 수 있는 트라이메탈 베어링의 개발에 힘써야 할 때이다. 이에 본 연구에서는 트라이메탈 베어링의 개발을 위하여 먼저 소재개발을 하였다. 메탈 베어링의 소재로는 탄소강계, 스테인레스계, 비철금속계 등등 여러 종류가 있으나 본 연구에서는 비철금속계 중 일반강계에 알루미늄을 압접하여 그 소재를 개발하였다. 그리고 개발된 소재를 평가하기 위하여 고회전엔진에서 중부하를 받는 대형엔진에 장착되는 특수 목적용 메탈베어링의 소재를 원품으로 하여 그 물성치를 개발된 소재의 물성치와 비교평가 하였다.

2. 고 내하중 다층 메탈 베어링

2.1 메탈베어링 소재

2.1.1 클래드강

메탈베어링의 소재는 여러 가지가 사용되고 있으며 그 중에서 KS D 0234-1992에 의하면 클래드는 “어떤 금속을 다른 금속의 전체 면에 걸쳐 피복하고, 또한 그 경계 면이 금속 조직적으로 접합되어 있는 것”으로 정의하고 있으며, 클래드 강은 “강재를 모재로 한 클래드”로 정의되어있다. 이와같이 클래딩은 기존에 이용되던 소재의 성능을 극대화하기 위하여 이중의 소재를 부가하여 기존 소재의 성능을 향상시켜 사용자가 필요로 하는 물성 및 성능을 가지게 하

는 기술로써, 클래딩 기술은 역사적으로 상당히 오래 전부터 적용되어 왔다. 기술의 원형은 기원 전 7세기 경에 확립되었다고 하며, 고대의 부엌칼과 같은 칼 종류에서 그 흔적을 찾아 볼 수 있다. 최근 소재의 사용환경이 가혹화, 다양화됨에 따라 클래드재의 소재조합이 다양해지고 그 용도가 확대됨으로써 사용량도 증가하는 등, 클래드재에 관한 연구와 관심이 점차 증대되고 있다^{5~8)}.

2.1.2 클래드강의 종류 및 용도

클래드강은 사용 목적에 따라 탄소강에 스테인리스강 또는 비철합금 등을 클래드한 여러 종류의 조합이 존재하며, 그 용도도 매우 다양하다. 현재 공업용 클래드 소재 중 사용량의 절반 이상을 차지하고 있는 것은 스테인리스 클래드강으로, 용도에 따라 여러 목적으로 사용되고 있다. 이는 내식성 측면은 스테인리스강으로 확보하고, 강성, 강도 측면에서는 탄소강이 스테인리스강보다 유리하다. 따라서 이러한 특성이 동시에 요구되는 부위에는 스테인리스 클래드강이 사용된다. 그리고 대표적인 클래드강의 종류와 특징은 아래와 같다.

(1) 탄소강계 클래드강

경도가 높은 합금강, 고 강도강 등을 사용하면 응력 부식균열(Stress Corrosion Cracking : SCC)이 발생할 위험이 있는 경우에는 연강을 클래드재로 사용하며, 이 조합의 클래드강은 주로 액체 암모니아 탱크, LPG 저장탱크 등에 사용된다. 고 탄소강은 내마모성이 요구되는 건축, 토건용 자재, 농기구 등에 주로 사용된다.

(2) 스테인리스계 클래드강

스테인리스계 클래드강은 대부분의 경우 내식성을 확보하기 위하여 사용된다. 예를 들면, 전면부식에 대한 내식성이 요구되는 경우에는 오스테나이트계가 적합하며, SCC가 문제로 되는 경우에는 이상계 또는 페라이트계가 바람직하다. 스테인리스계 클래드강은 주로 석유화학공업, 화학 플랜트, 담수화 설비 등에 사용되고 있다.

(3) 비철금속계 클래드강

비철금속으로서 강재와 결합시켜 사용하는 재료로는 Ni합금, Cu합금, Al합금, Ti합금 등을 들 수 있다.

비철금속 클래드강도 주로 내식성 향상을 목적으로 사용된다. 비철금속 클래드강도 주로 내식성 향상을 목적으로 사용된다. 비철금속은 일반적으로 내식성이 스테인리스강보다 우수하기 때문에 스테인리스강으로 충분한 내식 맞대기 이음부 이외의 중첩 이음부, T형 이음부 등에서도 기본적인 용접요령은 동일하다.

2.2 고 내하중 다층 메탈 베어링

메탈 베어링은 단층 구조(Monolayer) 베어링과 복층 구조(Bimetal) 그리고 3층 구조(Trimetal)로 구분된다. 단층구조는 보통 Bronze나 알루미늄으로 만들어진다. 바이메탈 베어링은 라이닝으로 Babbitt 메탈이나 알루미늄 합금 등을 사용하고 베이스 금속으로 일반 강재를 사용한다. 강도를 위해 트라이메탈은 지지대로서의 일반강재와 중간층으로 알루미늄 합금층 등을 사용하고 표면 특성을 향상하기 위하여 Overlay를 사용한다. 트라이메탈 베어링이 가장 우수한 성능을 나타낸다. 본 연구에서 개발될 메탈 베어링 소재는 1200마력의 내연 기관의 동력을 전달하는 부품으로 사용되는 베어링이다. 적용될 장비의 제원은 Table 1에 나타내었다.

2.3 고 내하중 다층 메탈 베어링의 재질 구조

고 내하중 다층 메탈 베어링은 강재 기층으로 사용되는 Mild-Steel과 특수 목적용 알루미늄 합금을 압연 접합한 클래드 강에 확산방지층과 미끄럼 층을 각각 도금 처리하여 내하중성과 내마모성을 증대시킨다. 아래 Fig. 1에 다층 메탈 베어링 재질의 구조를 도식화 하였으며, Table 2에 층간 재질의 제원 및 기능을 설명하였다.

Table 1 Specification of the test engine

Item	Value	
Fuel	diesel	
Max load velocity	2600 rpm	
Max non-load velocity	2756 ~ 2912 rpm	
Rotation velocity	850 ~ 890 rpm	
Out put	1200 Hp (2600 rpm)	
Fuel rate	stop	12.1 l /hour(3.6 G/L)
	run	17 l /hour(4.5 G/L)

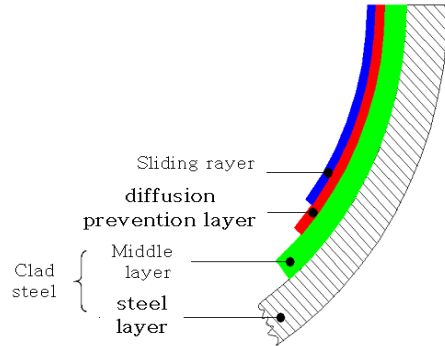


Fig. 1 Structure of materials in metal bearing

Table 2 Composition of bearing material

Bearing structure	Material	t	Technical ability
Steel layer (Back steel)	St4	5.4 mm	Bearing shape maintenance, adhere to Housing at assembling, transmission of frictional heat
Middle layer	AlZn4, 5SiPb	0.57 mm	support of shaft load, impact and impurities absorption
Diffusion prevention layer	Ni	3~5 μm	diffusion prevention of principal chemical element at sliding layer, facility of sliding layer coating
Sliding layer	PbSn18 Cu2	5 μm	wear decrease, support of shaft load, impact and impurities absorption and conservation of shaft

2.4 고 내하중 다층 메탈 베어링의 물성치

앞에서 설명한 장비에 사용되고 있는 고 내하중 다층 메탈 베어링 원품(MIBA AG사/BHW사)에 대한 소재 성분과 개발품의 소재 성분을 분석하기 위하여 먼저 원품의 내용을 Table 3과 Table 4에 분석하여 나타내었다.

Table 3 Natural disposition of clad(Back steel)

Device		Prototype	
CO.		MIBA AG	BHW
Material		St4(DIN 1623)	St3(DIN 1624)
Chemical element	C	0 ~ 0.08	0.07~0.13
	Si	a small quantity	a small quantity
	Mn	0.20~0.40	0.30~0.45
	P	0~0.025	0~0.025
	S	0~0.025	0~0.025
	Al	0.025 0.080	0.025 0.080

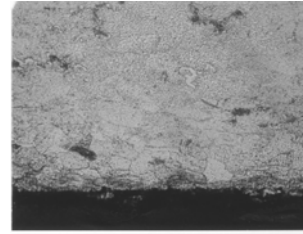
Table 4 Natural disposition of clad (Lining steel)

Section	Prototypes	
Company	MIBA AG	BHW
Zn	4.2 ~ 4.8	-
Si	1.0 ~ 2.0	0 ~ 0.7
Sn	-	5.5 ~ 7.0
Ni	-	0 ~ 1.3
Pb	0.7 ~ 1.3	-
Fe	-	0 ~ 0.7
Mn	-	0 ~ 0.7
Mg	0.4 ~ 0.6	-
Ti	0 ~ 1.2	0 ~ 0.2
Cu	0.9 ~ 1.2	0.7 ~ 1.3
etc.	≤1.0	≤0.5
Al	Remainder	Remainder

3. 클래드강의 소재 분석

기제작된 원품과의 성분비교를 통하여 측정된 금속의 성분비를 Table 5에 나타내었으며, 원품과 개발품의 현미경사진을 Fig. 2에 나타내었다.

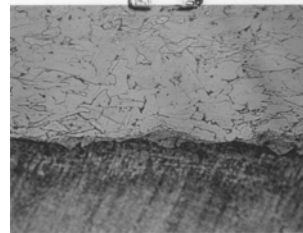
또한, 인장시험결과와 관계표를 Fig. 3과 Table 6에 나타내었다.



(a) Prototype construction (optical microscope 400magnifications)



(b) Development product construction (optical microscope 400magnifications)



(c) Similar product construction (optical microscope 400magnifications)

Fig. 2 Results of microscope

3.1 클래드 강 의 성분 분석 결과 및 고찰

메탈베어링을 구성하는 금속의 성분비를 원품과 비교한 결과 일반적으로 메탈 베어링용 Back Steel 소재는 연강(Mild Steel)이 널리 사용되며, DIN 규격의 St4(원품)와 KS 규격의 SS 400(개발품)은 구조용 저탄소강으로 Table 3에서와 같이 거의 유사한 성분 분석 결과를 가지는 것을 나타냈다. 또한 메탈 베어링의 라이닝 소재는 특수 목적용 알루미늄 합금으로써 상용품 중 유사한 재질은 Al 7075이며, 최종 개발 시제품은 원품(AlZn4, 5SiPb)와 동일한 조성으로 주조 제작하였을 경우 그 성분비는 거의 같은 형태를 나타내었다.



Fig. 3 Photo of after tensile test

Table 6 Results of tensile test

Test items	Prototype	Development product
Material	AlZn4.5SiPb	
Tensile strength	Max 210 N/mm ²	226 N/mm ²
Elongation	Min 18 %	15 %
Yield strength	176 N/mm ²	184 N/mm ²

그리고 클래드강 조직의 현미경 구조 분석의 결과도 Fig. 2와 같이 원품과 개발품을 비교했을 때, 모두 Back Steel 부분의 조직이 조대하고 균질하여, 가공성 및 사용성이 저하되지 않는다. 접합면이 거칠고 치밀할수록 이종 재료의 접합 상태가 양호하게 나타나며, 이에 따라 개발품의 접합강도도 양호하게 나타난 것으로 판단된다.

3.2 클래드 강재의 물성 시험

3.2.1 인장시험 및 고찰

소재의 기계적 물성 비교 분석을 위하여 인장하중 시험기(진성하이텍, JSD-1300)를 이용하여 (KS B 0802)인장시험을 하였으며 이에 따라 Table 6과 Fig. 3의 결과를 얻었다. 결과와 같이 항복점은 원품과 동등 또는 우수하며, 최초 개발 시제품의 경우 원품에 비해 연신율이 낮았으나 (원품 18%, 시제품9%) 열처리를 하여 연신율을 개선(15%) 시켰다. 이에 베어링 재료로서의 강성 및 성형을 위한 연신율의 향상을 통해 재료의 기계적 성질을 최적화하였다.

Table 5 Results of bearing material

(a) Lining

Chemical element	Lining	
	Prototype	Development
Zn	4.293	5.60
Si	1.422	0.04
Sn	0.024	-
Ni	-	-
Pb	1.323	-
Fe	0.117	0.20
Mn	-	0.03
Mg	0.453	2.8
Ti	0.010	0.07
Cu	1.162	1.4
etc.	-	-
Al	Remainder	Remainder

(b) Back steel

Prototype	Development
Chemical element	Back Steel (SS400)
C	0.07
Si	0.001
Mn	0.41
P	0.020
S	0.009
Al	-

3.2.2 경도시험 및 고찰

개발제품의 경도시험은 KS B 0811에 따라 비커스 경도시험기(대영CNT, G2-205A)를 이용하여 시험하였으며, 측정결과는 Table 7과 Fig. 4에 나타내었다.

개발품이 유사원품의 경도 측정치 보다 다소 높은 결과를 보이는데, 이는 롤링(Rolling)방식에 의한 클래딩 공정의 가공 경화에서 기인하는 것으로 판단되며, 주축의 표면 경도를 상회하지 않는 조건에서 라이닝의 내마모성을 증대하는 효과가 있을 것으로 판단된다.

Table 7 Results of hardness test

Section	Prototype	Development
Back Steel	216 Hv	213 HV
Lining	58.5 Hv	67.6 HV



Fig. 4 Shape after hardness test

3.2.3 굽힘시험 및 고찰

개발제품의 굽힘시험 측정을 KS B 0804에 따라 굽힘시험기(진성하이텍, JSD-1300)를 이용하여 시험하였으며, 이 결과를 Fig. 5에 나타내었다.



(a) First banding test



(b) Second banding test

Fig. 5 Shape after banding test

최초 개발 시제품의 경우 Fig. 5(a)에서 보는 바와 같이 라이팅부분이 굽힘시험 중 파괴되었는데, 이는 앞의 인장하중시험 결과에서 언급하였듯이 최초 개발 시제품의 연신율이 낮은데서 기인한 것으로 판단된다. 클래딩 전 단계에서 알루미늄 합금을 열처리(250°C 4hr Holding)하여 연신율을 개선한 후 양호한 굽힘시험 결과를 확보하였으며 이는 Fig. 5(b)에서 볼 수 있다.

3.2.4 전단시험 및 고찰

Fig. 6에서와 같이 JIG와 시편을 설치하고 하중을 가하였을 때, 이중 접합 재질이 탈락하는 순간의 하중 P가 전단강도(KS D 0234)가되어 이를 만능시험기(진성하이텍, JSD-1300)를 이용하여 이를 측정하였다.

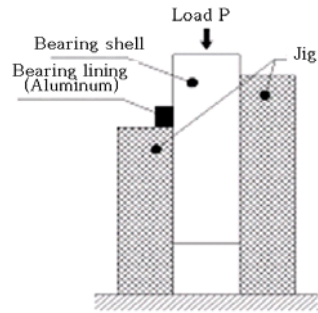


Fig. 6 Equipment of shearing strength test

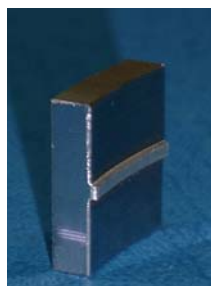
Table 8 Results of shearing strength test

(unit : kgf/mm²)

Section	Prototype	Development			
		1	2	3	Average
Shearing strength	26.56	30.16	23.56	38.53	30.75



(a) Test instrument



(b) Experiment parts



(c) Setting experiment

Fig. 7 The test instrument and experiment parts

이종 재질의 전단강도시험은 이종 재질의 접합력을 나타내는 중요한 물성치로서, 시험 결과 개발 시 제품의 전단강도는 원품과 동등하거나 우수하며, 이는 Back Steel층인 Mild Steel과 라이닝 층인 알루미늄 합금간의 접합력이 원품의 성능과 동일할 정도로 우수함을 나타내었다.

5. 결 론

본 연구에서는 고 출력의 디젤엔진 용 메탈베어링을 개발하기 위하여 그 소재가 되는 클래드강 소재를 개발하였으며, 이를 위하여 원품 St4(DIN 1623)과 비교 분석을 하였다. 비교분석을 위하여 조직검사, 인장강도시험, 경도시험, 굽힘시험, 전단시험을 하였으며, 이를 통하여 개발품의 소재를 최종 평가하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 인장강도와 굽힘강도는 원품에 비교하여 거의 비슷하거나 더 우수한 결과가 나타났다.
2. 경도와 전단강도의 시험에서는 원품보다 더 우수한 결과가 나타났다.

이에 따라 개발된 클래드강 소재에서 비교된 물성치는 전체적으로 원품에 비하여 더 우수한 결과를 나타냈다.

후 기

본 논문은 산업자원부 지정 부경대학교 친환경첨단 에너지기계 연구센터(과제번호 : R12-2003-001-03007-0)의 지원에 의하여 연구되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Shiilke N. A., et. al., "The Design of an Engine-Flywheel Hybrid Drive System for a Passenger Car," ImechE 200-D4, pp. 231-248, 1986.
2. Fitch. E. C., "Encyclopedia of Fluid Contamination," FES inc., 1980.

3. Fitch. E. C., "Proactive Maintenance for Mechanical Systems," FES Inc., 1992.
4. Fitch, E. C. and Hong, I. C., "Hydraulic System Design for Service Assurance," BarDyne inc., pp. 182-195. 1999.
5. Kim. S. T. and Kwun. S. I., "Fabrication of Stainless Clad Steel by Hot Rolling," KWS, Vol. 8, No. 2, pp. 70-76, 1990.
6. Chio. Y. K., "The manufacturing of clad steel and its utilization," KWS, Vol. 7, No. 3, pp. 7-12, 1989.
7. Kim. Y. J. and Cho. M. J., "A Study on the Development of Thin-walled Metal Bearing for the Large-sized Slow Speed Diesel Engines," KOSME, Vol. 19, No. 4, pp. 61-71, 1995.
8. Kim. Y. S., "Recent and Future Development of Stamping Technology for Aluminum," KSME, Vol. 32, No. 7, pp. 620-631, 1992.