

디젤기관용 주철부품의 보수용접에 관한 연구

변재선* · 김중호**

A Study on the repair welds of cast iron for diesel engines

B. J. S · K. J. H

Abstract

Cracks on marine diesel engines will often happen due to cyclic load and heat stress, and their cylinder blocks made of cast iron may crack under the low fatigue strength. According to the Classification Societies' rules, welding repairs of cast iron products are generally not permitted. However, such welding repairs became inevitable taking enormous cost and time for their renewal into consideration.

Because, in particular, ocean going fishing vessels are very old and their diesel engines were manufactured in foreign countries, it is difficult to obtain new engine parts for renewal in view of costs and time. Therefore it is an important matter for ship's safe operation and reducing repair costs to develop and apply welding repairs of cast iron products in view of loading and using conditions.

The purposes of this study are to review welding repairs of cast irons and to apply them to the practice.

1. 서론

선박용 디젤기관을 장시간 사용하는 경우 반복적인 하중과 열응력으로 인하여 여러 곳에서 균열이 발생하는 사고가 발생할 수 있고 특히 주철로 제작되는 실린더 블록, 실린더헤드는 낮은 피로강도로 인하여 피로균열이 발생하는 경우가 적지 않다. 이러한 균열에 대한 용접보수는 주철용접의 특성을 고려하여 대부분의 선급에서 일반적으로

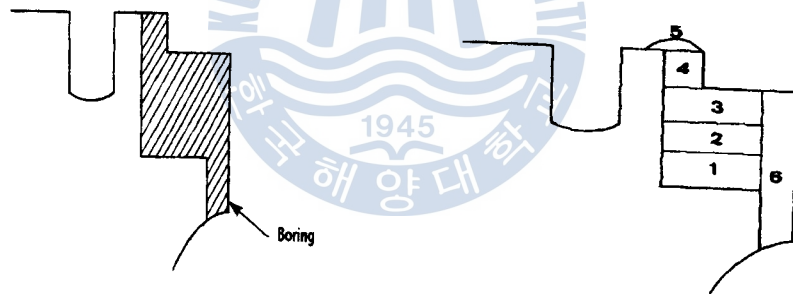
* 한국해양대학교 기관공학과 석사과정 재료 전공

** 한국해양대학교 기관 시스템공학부 교수

(Generally) 인정하지 않고*¹ 있지만 이러한 부품을 신환할 때 소요되는 막대한 경비와 시간을 고려하면 용접보수의 필요성은 절실하다. 특히 국내 원양어선은 노령선이 많고 또 디젤기관은 대부분 외국에서 제작된 것이 많기 때문에 실린더블록을 신환하기 위해서는 외국제품을 수입하지 않을 수 없는 형편이고 이 또한 경비와 시간적인 측면에서 쉽지않은 현실이다. 따라서 주철재 부품에 부가되는 하중조건과 사용조건을 고려한 용접법을 개발하고 이를 실용화하는 것은 선박의 안전운항과 수리경비 절감 측면에서 매우 중요한 과제이다. 본 연구에서는 디젤기관의 실린더 블록을 대상으로 실용적으로 적용 가능한 용접법에 대한 검토와 용접부에 대한 시험을 수행하였고 특히 최종검사 단계에서 행하는 용접부의 자분탐상결과를 판정하는 기준을 제시하였다.

2. 보수용접법의 개발

2.1 실린더 블록 패킹시트의 보수용접법



(a) Machining of packing seat

(b) Welding pass sequence

Fig. 1 A typical repair welding method for the cylinder block of diesel engines

회주철로 된 선박용 디젤기관의 실린더 블록에 있어서 패킹시트 모서리에서 자주 생기는 피로균열은 주로 원주방향으로 전파하면서 성장한다. 이러한 균열은 아래 Fig.1(a)과 같이 우선 보링 머신으로 절삭 가공하여 완전히 균열을 제거한다. 그리고 칼라 체크를 실시하여 균열이 없음을 확인한 후 약 200℃로 예열을 행하고 나서 수동 피복 아크용접(니켈 계 용접봉 사용)에 의하여 냉간 용접(cold welding)을 실시한다.

Fig.1(b)은 실린더 블록의 동패킹 시트에 대한 보수용접을 위하여 적용하는 대표적인 적층방법을 보이고 있다.

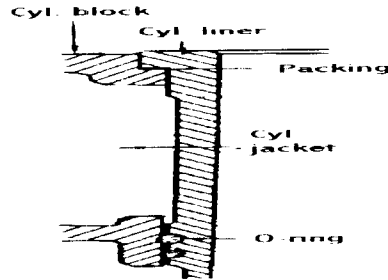


Fig.2 A structure of cylinder block of diesel engines

2.2 실린더 블록 오링 시트의 보수용접법

선박용 디젤기관의 실린더 블록에 있어서 오링 시트(o-ring seat) 부위는 Fig.2와 같이 부식환경에서 장기간 사용되기 때문에 두께의 감소와 부식의 발생 등에 의하여 오링 시트의 기밀이 유지되지 못함에 따라 누설되는 냉각수가 시스템오일에 함유됨으로써 각 윤활부에 치명적인 손상을 초래하는 경우가 적지 않다. 이 경우도 동패킹 시트의 보수용접과 같이 오링 시트를 보링 머신으로 절삭 가공하여 부식된 부위를 완전히 제거하고 육성 보수용접을 실시할 수 있다. 우선 보링 머신을 이용하여 실린더 블록 내부의 부식된 부위를 절삭가공하여 완전히 제거하고 칼라체크를 실시하여 균열 등이 없음을 확인한다. 이어서 토오치를 이용하여 200℃ 정도로 예열하면서 용접할 면에 부식생성물, 불순물 또는 산화물 등이 제거되었음을 확인하고 나서 수동 피복 아크용접으로 육성용접을 실시한다. Fig.3은 오링 시트에 대한 전형적인 보수용접법을 보이고 있다.



Fig.3 A typical repair welding method for the o-ring seat of diesel engines

3 용접부에 대한 시험 및 방법

3.1 시험재의 제작

실린더 블록의 재료로 널리 사용되는 회주철은 잘 알려진 바와 같이 매우 연성이 부족하고 취성이 강하기 때문에 용접시의 열응력으로 인하여 용접 도중 또는 용접 후에 저온 균열이 생기는 수가 많고 저온 균열의 발생 경향은 두께가 커질수록 모재의 치수가 클수록 두드러진다. 문헌^{*2}에 의하면 후판으로서 비교적 치수가 큰 맞대기 용접을 실시하는 경우는 양쪽 모재 홈의 면에 스테드(stud)를 여러 개 적절한 간격으로 박아서 용접 시에 서로 구속할 수 있도록 조치하면, 저온 균열을 방지할 수 있는 것으로 보고되고 있다. 따라서 본 시험 재에서도 이와 같은 조치를 취하여 용접하였고, 그 후에 인장 시험 편을 채취할 때는 이 스테드가 박힌 부분을 제외하였다.

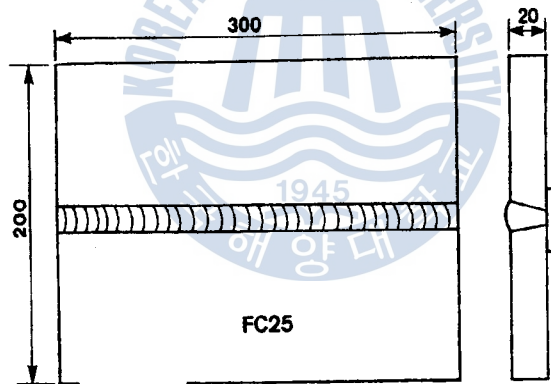


Fig. 4 Test specimen of welds

시험재는 부산광역시 소재 부산특수용접에서 다음과 같이 제작하였다.

- 1) 용접 방법: 수동 피복 아크용접
- 2) 모재의 준비: 두께 20mm의 회주철 FC25
- 3) 용접 홈의 가공: 밀링에 의해 절삭 가공하여 홈의 각 30°, 루트 간격 4mm
- 4) 백킹 바의 사용: 모재와 동일한 FC25를 사용
- 5) 용접봉: 3.25mm 니켈 계 용접봉:GRICAST31 (KS EGCNiFe, AWS ENiFe-CI)

- 6) 용접봉의 건조: 드라이 오븐(Dry oven)에서 300 - 350 °C로 1.5 - 2시간 건조
- 7) 스티드의 사용: 직경 약 6mm의 스티드를 양쪽 모재 홈의 면에 끼워 박아서 용접
- 8) 모재의 예열 및 패스간 온도: 200°C로 예열, 100°C 이상의 패스간 온도 유지
- 9) 용접 홈의 청결도: 용접 직전에 청소하여 수분, 기름기, 먼지, 산화물, 철분 등이 부착되지 않도록 주의
- 10) 각변형 구속: 다층용접 실시로 인한 심한 각변형을 방지하기 위하여 모재 양쪽에서 지그를 사용하여 완전히 구속처리
- 11) 작업시의 유의점 : 방풍 대책을 철저히 하였으며, 아크 길이를 가능한 한 짧게 유지하여 기공이 생기지 않도록 하였다.
- 12) 비드폭의 유지 : 용접 시 용착 금속의 오염방지와 화학 조성 유지 및 입열량 과대를 방지하기 위하여 비드폭은 좁게 유지하면서 용접실시
- 13) 피닝 실시 : 각 패스의 용접 직후에는 피닝함을 써서 용접 비드에 대하여 항상 적절한 피닝(Pecning)을 실시
- 14) 슬래그 제거 : 각 패스의 용접 후 냉각 중에 슬래그는 완전히 제거

4. 시험결과 및 고찰

4.1 인장시험

시험재에서 채취한 2개의 인장시험편에서 얻은 결과는 Table 1과 같다.

Table 1 The results of tensile test for welds

| No. | Thickness x Width(mm) | Tensile Strength(Kg/mm ²) | Location of failure |
|-----|-----------------------|---------------------------------------|---------------------|
| 1. | 20 x 30 | 28 | Bond part |
| 2. | 20 x 30 | 27 | Bond part |

일반적으로 주철 용접부는 모재 이상의 인장강도를 얻기 어려운 것으로 알려져 있으나 상기 값은 모재인 FC25의 인장강도를 상회하는 것이다. 이와 같은 결과는 시험재의 제작에 채택된 예열과 층간 온도 유지를 통한 슬래그 혼입 방지, 피닝, 스티드에 의한 시험재의 구속 등을 통하여 얻어진 것으로 사료된다.

4.2 단면마크로 시험

Photo 1은 회주철을 니켈 계 용접봉으로 용접한 후 단면을 절단하여 경면 연마한 후 마크로 부식을 실시하여 접사 사진을 촬영한 것이다. 전체적으로 융합 불량이나, 균열과 같은 결함이 없음을 확인할 수 있고, 용접 홈의 베벨 각도도 거의 15° 로 나타나 있음을 볼 수 있다. 니켈 계 용착금속의 부식액이 일반적으로 잘 알려져 있지 않았기 때문에 많은 시행착오를 거쳤으나 사진에서 보이듯이 용접 패스를 구분할 수 있을 정도이다.

4.3 단면 마이크로 조직시험

니켈 계 용접봉에 의한 회주철의 용접부 단면중에서 인장시험 시 주로 파단되는 곳은 본드부의 모재쪽 백선화된 부분이라고 할 수 있음은 Photo 2에서 관찰할 수 있다. Photo 3은 본드부에 대한 200배 사진으로 사진에서 볼 수 있듯이 가늘고 긴 흑연이 본드부 근방에서는 유리된 상태로 존재하지 않고, 고용된 형태로 존재하여 시멘타이트 즉 백선화 되어 있음을 알 수 있다.

그러나 용착 금속과 모재는 확실한 금속접합이 이루어져 있고 또 앞에서 밝힌 바와 같이 용접 중 실시한 예열과 층간 온도 유지를 통한 슬래그 혼입 방지, 피닝, 스테르드에 의한 시험재의 구속 등의 효과에 의해서 용접부는 충분한 강도와 이음의 신뢰성을 확보할 수 있었던 것으로 판단된다.

4.4 자분 탐상 시험

용접부의 강도 저하와 피로 수명의 저하는 주로 표면 근방의 결함으로 인하여 생기기 때문에 용접 후 표면결함과 그 근방의 결함을 검출하는 것은 매우 중요한 사항이다. 따라서 철강 재료의 용접부에 대해서는 자분 탐상 시험을 자주 적용하고 있다. 본 주철 용접 시험재에 대하여 요크형 자분 탐상 시험 장치를 써서 시험한 결과 용접 본드부를 따라가면서 자분이 끊어지는 현상 즉 자분이 검출되어서 균열이 내재한 것처럼 보이는 현상이 관찰되었다.

용접 본드부(Bond)를 따라가면서 자분이 끊어지는 현상 즉 자분이 검출되어서 균열이 내재한 것처럼 보이는 것은 단면 마크로 사진에서 알 수 있는 바와 같이 균열은 연속적으로 생겨 있지 않았다. 이러한 결함 현상은 용접부 토우(Toe)나 열 영향부 등에서 투자율이 서로 다른 금속이 접합되어 있기 때문에 생기는 현상이라고 알려져 있다.³⁾⁵⁾

따라서 본 연구의 시험편과 같이 회주철을 니켈 계 용접봉으로 용접한 경우는 용착 금

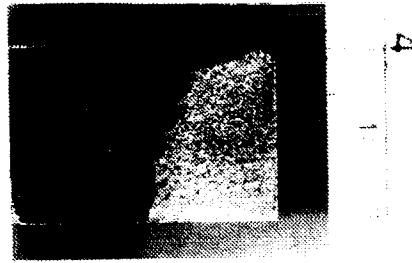


Photo 1 The Macro structure of the weld(5% nital etch)

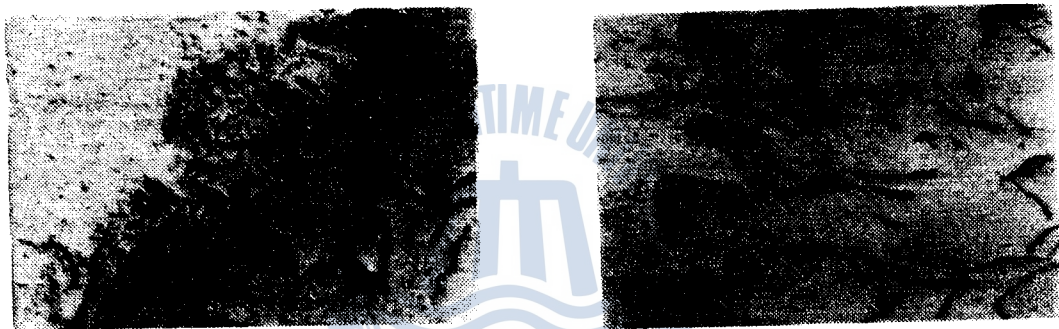


Photo 2 The micro structure of the weld(5% nital etch,x100)

Photo 3 The micro structure of the weld,(5% nital etch,x200)

속은 니켈-철의 합금(대략 55%Ni-45%Fe)으로 되어 있고, 회주철의 열 영향부로서 본드부 근방은 거의 백선 즉 시멘타이트로 조직 변화를 일으켜 있으며, 다소 떨어진 부분은 원래의 회주철 조직은 그대로 유지되는 것을 Photo 3에서도 알 수 있었다. 용착 금속의 니켈-철 합금 부분에 비하여 모재의 열영향부로서 백선화된 부분은 상대적으로 비투자율이 현저하게 낮기 때문에 누설 자속이 생기게 되고 이 누설 자속에 자분이 상대적으로 부착하게 된다. 이는 일반 철강재료의 용접부로서 표면 균열이 있는 곳에는 공기가 있고 이의 비투자율은 철강 재료의 수백분의 1 정도로서 매우 낮기 때문에 누설 자속이 생겨 여기에 자분이 부착하는 이유와 같은 원리라고 할 수 있다.

4.5 경도시험

회주철의 용접부에 대하여 본드부를 가로 질러서 다음과 같은 조건으로 마이크로 비커스 경도(Micro-vickers hardness)를 측정하였다.

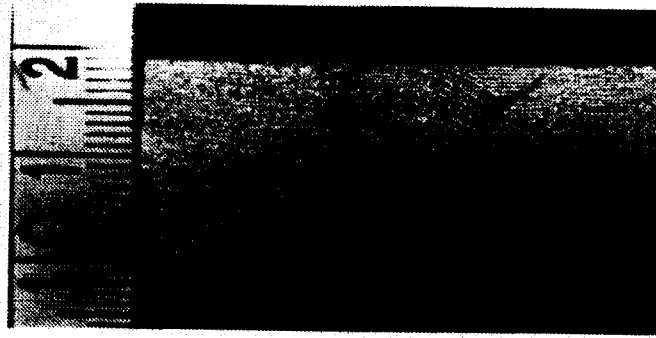


Photo 4 The distribution of magnetic particles on the weld

- 경도의 종류 : 마이크로 비커스 경도(Hv) ;
- 하중 : 100g
- 부하시간 : 15초
- 경도측정 간격 : 0.1mm

측정결과 용착금속의 경도는 Hv230 정도 되었으나, 열영향부의 본드부쪽 일부 즉 백선화된 좁은 영역에서는 Hv470 정도로 상당히 높은 경도를 나타내고 있다. 그러나 고경도를 나타내는 폭은 니켈계의 저융점 용접봉을 써서 용접하였기 때문에 비교적 좁게 되어 있다. 이러한 고경도 현상은 주철 용접시에는 항상 발생할 수 있는 것으로 탄소 함유량이 2~3%정도로 상당히 높은 철강을 용접하게 되면 국부적으로 오스테나이트 조직으로 되었다가 급랭하게 됨으로서 흑연이 형성하게 될 충분한 시간적 여유가 없고 탄소가 그대로 철 내부에 고용된 상태로 냉각되므로 시멘타이트가 생기고 이것의 경도가 매우 높기 때문에 생기는 것으로 알려지고 있다.

5. 결 론

본 연구에서는 디젤기관의 실린더 블록을 대상으로 실용적으로 적용 가능한 용접법에 대한 검토와 용접부에 대한 시험 등을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 일반적으로 주철 용접부는 모재 이상의 인장강도를 얻기 어려운 것으로 알려져 있으나 예열과 충전 온도 유지를 통한 슬래그 혼입 방지, 피닝, 스테르드에 의한 시험재의 구속 등을 용접작업 시 적용하면 모재와 동등하거나 그 이상의 강도를 얻을 수 있다.

2. 주철재 부품에 대한 자분탐상검사 결과를 판정할 때 유사 균열과 균열을 구분하는 검사기법을 개발하였다.
3. 본 연구를 통하여 검토·개발된 용접공법을 주철재 실린더 블록의 보수용접에 적용할 수 있다.

참 고 문 헌

1. 선급 및 강선규칙 제2편1장 505절 6(4)항, 한국선급발행(1998년)
2. 鑄鋼・鑄鐵溶接のかんどころ, pp.162-163, 仁慇, 副島 共著, 産報出版(1980년)
3. 溶接部の非破壊 試験・検査, pp.196, 仙田富男, 三好 徳共 共著, 産報出版社(1979년)
4. 電氣・電子材料, pp 233, 金鳳洽 編著, 文運堂 (1994년)
5. 전자기학, pp 445, Hayt 저서, 박한규·윤원상 공역, 희중당(1993년)



