

# Monel Overlay 용접부 균열원인 및 그 대책

A counterplan and cracking analysis of weld metal as overlaid monel on carbon steel

김양수, 권택규, 한종만, 오상창  
대우중공업(주) 선박해양기술연구소

## 1. 서론

일반적으로 널리 사용하고 있는 Monel 합금은 약 67% Ni과 약 33% Cu를 함유하는 완전 고용체형 합금을 말한다. 이 합금의 특징은 강도와 용접성이 우수하고, 추진기 프로펠러 뒤에 생기는 진공부와 같은 Cavitation과 Pitting 부식이 중시되는 고속 해수조건하에서 뛰어난 성능을 발휘한다. 또한 염산, 황산 및 모든 알카리에서도 내식성이 우수하고, 약 538℃까지의 산화성 분위기와 환원성 분위기에서도 사용이 가능하다. 이러한 장점 때문에 Monel 합금은 선박용 밸브 및 펌프, 화학공업용 장치, 담수탱크, 보일러 급수가열기 및 열교환기 등에 널리 사용하고 있다.

특히 최근 화학공업용 장치의 압력용기는 고온 고압하에서 충분한 강도와 내식성을 요구하고 있으며, 이 성능을 만족하기 위해서 탄소강 또는 저합금내열강에 내식성을 감안한 Clad 강을 사용하던가 또는 육성(overlaying)용접을 하여 고온 강도와 내식성을 동시에 만족시키고 있다.

마찬가지로 본고에서 다룰 Monel Clad강은 강도를 고려한 탄소강 위에 Monel를 Clad하여 내식성을 가지는 압력용기로 사용되고 있다. 이 압력용기를 제작하는데는 용접이음부가 발생하고, 용접이음부는 AWS에서 탄소강과 Monel(ENiCu-7)끼리의 이종금속 용접이 가능하다고 언급되어 있다. 그러나 압력용기를 설계한 국외 엔지니어링사는 탄소강과 Monel끼리의 이종금속 용접시 Barrier layer로서 309L(Stainless steel)을 용접해야만 한다고 추천한 바 있다. 그리고 이 추천에 따라 용접한 시험편은 Bending 시험시 Barrier layer로서 사용한 309L 용접부에서 다량의 균열이 발생하였다.

따라서 본고에서는 Barrier layer 309L에서 발생되었던 균열원인과 그 대책을 제시하는데 그 목적이 있다.

## 2. 실험 및 고찰

Fig. 1에 보여주고 있는 Monel Clad강의 용접이음부는 탄소강과 Monel끼리의 이종금속 용접부가 발생하고, 이종금속 용접부에 Barrier layer로서 309L을 사용하였다. 그리고 이 때 Barrier layer 용접재료는 FCAW A5.22 E309LT-1과 Monel 용접재료는 SMAW ENiCu-7을 사용하였다.

이들 이종금속 용접부를 Bending 시험한 결과는 Fig. 2에 나타내고 있으며, A의 경우와 같이 대부분 309L 용접부에서의 균열이 발견되었고, 일부 B의 경우처럼 Monel 용접부에서도 미소 균열이 발생되었다.

A의 경우, 대부분 Barrier layer 309L과 Monel 용접부의 경계면으로부터 균열이 시작하여

309L 용접부로 균열이 전파되었다. 이들 균열이 발생된 파면은 SEM과 EDX에서 Cu가 다량 검출되었고, Fig. 3에 나타내고 있다. 이것은 Monel 용접시 용융된 Monel 합금속의 저융점 Cu 화합물이 309L의 결정입계 사이로 침투 또는 확산하여 응력집중시 연성 감소로 인하여 취성파괴가 발생된 것으로 사료된다. 일반적으로 이러한 현상을 고온균열의 형태인 액화균열(Liquation crack)이라고 보고 되고 있지만, 부가적으로 액상금속취화(Liquid Metal Embrittlement)의 현상으로써 설명이 가능하다고 보여진다. 또한 Fig. 4는 309L과 Monel 용접부의 경도 분포를 나타내고 있고, 이 경계면에서 탄화물과 같은 경화층은 발견되지 않았다.

B의 경우, Monel 용접부에서 발생된 미소 균열은 전형적으로 가장 잘 나타나는 응고균열(Solidification crack)의 형태를 보여주고 있으며, Fig. 5에 나타내고 있다. 이 균열은 Monel과 같이 응고영역이 넓은 합금에서는 용접시 조성적 과냉 또는 저융점화합물에 기인하여 균열이 쉽게 발생될 수 있고, 이 균열을 방지하기 위해서는 저입열 용접, 중간 온도, 용접 운봉법 등을 준수하여 용접시공을 해야만 한다.

따라서 탄소강과 Monel끼리의 이중금속 용접시 Barrier layer로서 309L은 Cu 액화균열 또는 액상금속취화를 야기시키는 결과를 초래하였고, AWS에 언급되어 있는 탄소강과 Monel끼리의 이중금속 용접만으로도 만족한다.

### 3. 결론

탄소강과 Monel끼리의 이중금속 용접시 국외 엔지니어링사에서 추천한 Barrier layer로서 사용한 309L 용접부의 균열원인은 Monel 용융풀로부터 저융점 Cu 화합물이 309L의 결정입계를 따라 침투 또는 확산하였고, 이 부분은 Bending 시험시 연성 감소가 발생하여 취성파괴된 것으로 사료 된다. 또한 Monel 용접부의 미소 균열은 조성적 과냉 또는 저융점화합물에 기인하여 발생된 응고균열(Solidification crack)로 보여진다.

따라서 탄소강과 Monel끼리의 이중금속 용접시 Barrier layer로서 309L은 Cu 액화균열 또는 액상금속취화를 야기시키므로 AWS(탄소강과 Monel)에 의거하여 용접시공하는 것이 적절하다고 판단된다.

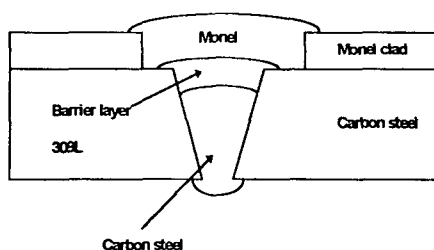


Fig. 1 Welding joint of monel clad steel

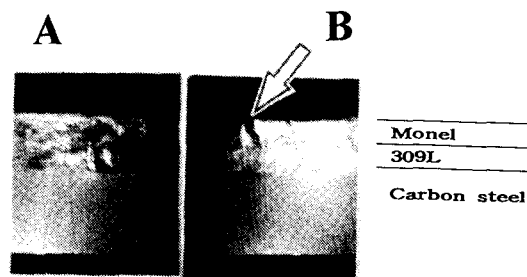
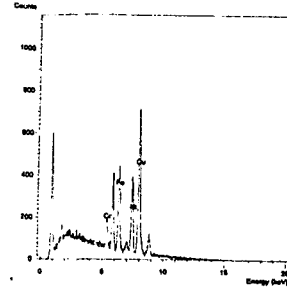


Fig. 2 Photograph showing the ruptured zone after bending test

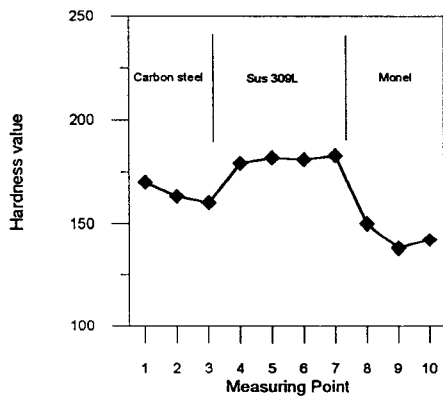


(a) SEM fractograph

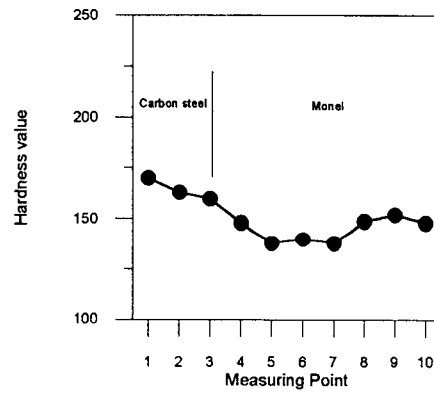


(b) EDX analysis

Fig. 3 SEM fractograph showing the detection of rich copper at 309L in the ruptured zone

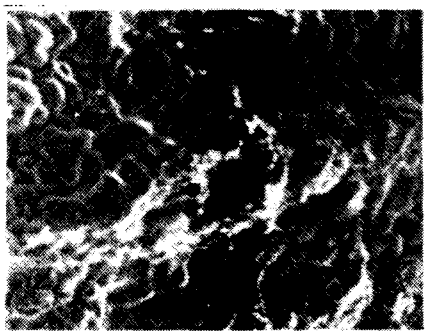


(a) barrier layer 309L on carbon steel

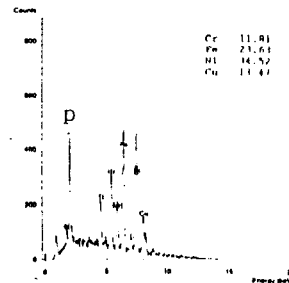


(b) monel on carbon steel without 309L

Fig. 4 Hardness values(Hv) of monel clad steels



(a) SEM fractograph



(b) EDX analysis

Fig. 5 SEM fractograph showing the solidification crack of monel weldments in the ruptured zone