

열연 API-X70 강재의 ERW 조건에 따른 피로파괴 감수성 고찰

A Study on the Sensitivity to Pressure Reversal Fracture with ERW Variables in Hot coil API-X70

홍 현욱, 김 충명, 이 종봉
포스코 기술연구소 접합연구그룹

ABSTRACT A pressure reversal is where ERW pipes fail at an applied pressure lower than one experienced previously. The susceptibility to pressure reversals of ERW joints has been investigated by varying heat input in the range of 230~268kW power and seam annealing temperature of 850~970°C. The application of repeated loading to notched three point bend specimens was used in this study. There was no occurrence of reversals in all the condition investigated. Furthermore, the bond line ductility is found to be satisfactory. These results can be explained by the fact that a bond line free from defects is successfully obtained from a wide range of ERW conditions.

1. 서 론

중·소구경용 강관의 조관 용접방법으로 주로 적용되는 전기저항용접법(Electric Resistance Welding)은 생산 효율성은 상당히 높은 반면, 접합부위인 bond line에서 결함발생빈도가 상대적으로 높아 많은 파괴사고 전례가 있다¹⁾. 이 중 대표적인 pressure reversal failures(PRF)는 수송압력에 의해 반복적으로 피로 성장한 flaws가 임계크기에 다다르면 그 전의 압력보다 낮은 압력에서 bond line을 따라 급격하게 성장하여 결국 파괴가 발생하는 현상이다. 이러한 flaws는 초기 비파괴 검사에서 검출되지 않는 작은 크기로 존재하므로 고강도 ERW 강관의 신뢰성을 확보하기 위해서 PRF에 대한 감수성 여부를 파악하는 것이 중요하다. 본 연구에서는 ERW 입열과 seam annealing 온도(SAT) 조건별로 얻어진 용접부에 대해 반복하중을 통한 피로파괴 감수성을 파악하고자 하였다.

2. 실험 방법

2.1 ERW 용접조건

시험용 대상 소재의 규격은 열연 API 5L X70이며, 두께는 11.6mm이다. ERW강관의 용접부를 모사하기 위해 당사가 보유한 ERW simulator를 이용하여 출력값을 230~268kW 범위에서 변화시켜 용접부를 얻었다. 또한, 얻어진 용접부에 대

해 후열처리 공정의 최고가열온도 영향을 파악하고자 850~970°C 범위에서 seam annealing 처리를 실시하였다.

2.2 피로파괴 감수성 평가

ERW 용접부에 대한 피로파괴 감수성을 평가하기 위해 bond line 기준으로 표면에 노치(a/w=0.3) 가공한 3점 굽힘시험편을 제작하였다. 변형제어 반복하중을 부과하였으며, load-strain 곡선상에서 탄성영역 기울기 값의 절반이 되는 변형량($\epsilon=0.18$)까지 응력을 가한 후 unloading 하는 작업을 반복하였다. 소성변형에 의한 균열tip blunting이 발생되어 더 이상 불안정한 균열성장(PRF)이 나타나지 않는 20cycles까지 시험을 실시하여 피로파괴 감수성 여부를 고찰하였다^{1,2)}. 또한, bond line의 연성을 알아보기 위해 미국가스협회(AGA)에서 제안한 weld line ductility 시험³⁾을 실시하였다.

3. 결과 및 고찰

변형제어 반복·3점 굽힘시험결과 입열량과 후열처리 온도에 관계없이 pressure reversals 현상은 관찰되지 않았다. 대표적인 출력 249kW 조건에서의 load-strain 곡선을 Fig. 1에 나타내었다. load의 급작스런 drop현상은 찾아볼 수 없으며, SAT가 높을수록 소성변형정도가 증가함을 알

수 있다. 이는 페라이트 결정립 성장에 기인한 연성증가에 의한 효과로 판단된다.

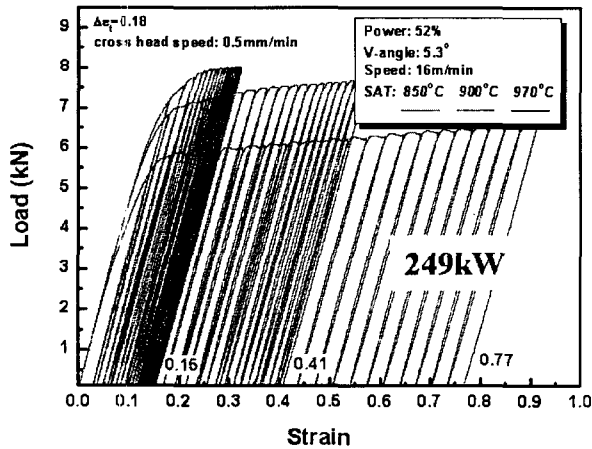


Fig. 1 Results of load-strain curves from repeated load three point bend tests.

반복 3점 굽힘시험 후 노치선단 근처의 미세조직을 관찰한 결과, 취성파괴로 인한 균열진전은 관찰되지 않으며 피로하중으로 인해 조직이 연신되어 있음을 알 수 있다(Fig. 2). 이는 bond line이 결합에 대한 피로균열 저항성이 우수하다는 것을 내포한다.

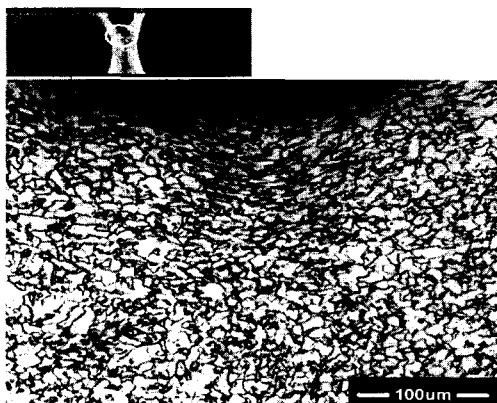


Fig. 2 Optical micrograph showing blunted notch tip due to highly tough microstructure of bond line(power: 249kW, SAT: 970°C).

Bond line의 연성을 파악하고자 그 부위에 노치를 준 시편과 그렇지 않은 시편의 인장강도비(NTS/TS)를 고찰하였는데, 모든 조건에 대해서 AGA에서 제시한 허용치 1 이상임을 확인하였다. 따라서, 당사의 고강도 열연 API-X70 강재로부터 넓은 ERW용접 및 열처리 조건 범위에서 연성과 피로파괴 저항성이 우수한 용접부가 얻어질 수 있다는 것을 알 수 있었다.

위의 사실들은 ERW 용접부에 발생되는 결합빈도가 매우 낮음을 시사하며, 실제 X-ray 검사에서도 모든 조건에서 결합이 나타나지 않았다. 결합이외에도 균열전파에 용이한 편석대도 검출되지 않았다(Fig. 3). 이러한 결과들은 bond line의 우수한 피로파괴 저항성을 잘 설명해 준다.

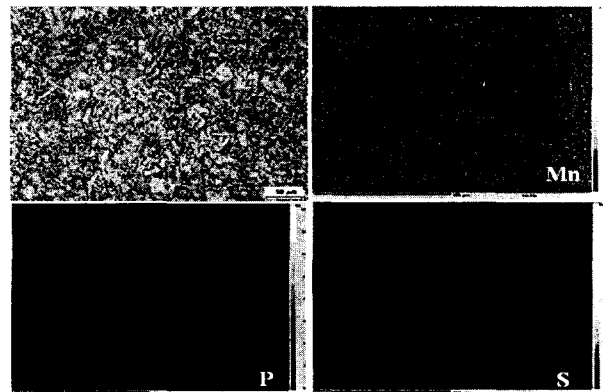


Fig. 3 EPMA map of a bond line (power: 230kW, SAT: 900°C).

4. 결 론

본 연구에서 고찰된 ERW 조건 범위내에서는 pressure reversal 현상이 관찰되지 않았다. 이는 용접도중 bond line에 발생하는 미세 penetrator(산화물, 개재물) 발생빈도가 매우 적다는 것을 의미하며, 또한 넓은 후열처리온도 범위에서도 충분한 연성을 확보할 수 있음을 내포한다. 따라서, 당사 소재의 ERW 강관은 고압 수송 service에서도 신뢰성을 충분히 보증할 수 있다고 예측된다.

참고문헌

1. R. J. Pargeter : Assessment of ERW Welds in Modern High Strength Linepipe, Pipeline Reliability, Proceeding, International Conference, Calgary, Canada, 2-5 June 1992.
2. D. G. Jones : Inspection and Performance of Modern ERW Pipe, Welding of Pipelines, Vol. 1 (1986), 59-73
3. D. N. Williams and R. J. Eiber : Test Measures ERW Line Pipe Weld Ductility, Oil & Gas Journal, Apr 8 (1985) 96-106