

관형 열교환기 브레이징 부의 국부적 물성평가 Evaluation of Local Material Properties of Brazed Joint Parts in Tube-type Heat Exchanger

*이주철¹, 강석훈¹, 박상후^{2#}

*J. C. Lee¹, S. H. Kang¹, S. H. Park^{1#} (sanghu@pusan.ac.kr)

¹부산대학교 기계공학부 대학원, ²부산대학교 기계공학부

Key words : Local Material Properties, Mechanical Integrity, Heat Exchanger

1. 서론

열교환기는 항공기 및 선박 등의 산업에서 주목을 받아 왔으며, 특히 항공기 엔진에 적용되는 열교환기의 경우, 고온 고압 조건에서 사용되기 때문에, 소재 선택, 경량화가 요구되는 최적설계뿐 아니라 기계적 신뢰성이 매우 중요하게 된다.⁽¹⁾

따라서 본 연구에서는 고온 고압의 조건에서 견디기 위해 니켈 (nickel) 내열합금의 일종인 inconel-625가 사용되었으며 항공기엔진에 적용 가능한 관형 열교환기 (tube-type heat exchanger)에서 취약부로 판단되는 미세관과 연결관의 브레이징 접합부에 대한 기계적 건전성을 평가하고자 한다. 이러한 접합부의 경우 재료 물성이 고온 접합과정과 접합재 (filler material)의 영향으로 국부적인 물성 변화가 많다. 따라서 본 연구에서는 브레이징 접합부의 국부적인 물성분포 분석하였고 브레이징 조건 변경을 통하여 재료 분포를 확인하였다.

2. 브레이징 접합부 경도 실험

관형 열교환기는 브레이징 공정에 의하여 미세관들이 관 고정관에 접합되어지는데 이때 접합재의 사용과 1,050 °C 의 고온 조건에 의하여 국부적인 재료물성이 달라지게 된다. 따라서 브레이징 접합부의 국부적인 물성평가를 위해 브레이징 접합부의 경도실험을 실시하였다.

본 연구에서 사용된 브레이징 관련 접합재의 상품명은 Nicobraz L.M. (Wallcolmonoy Co.) 이며

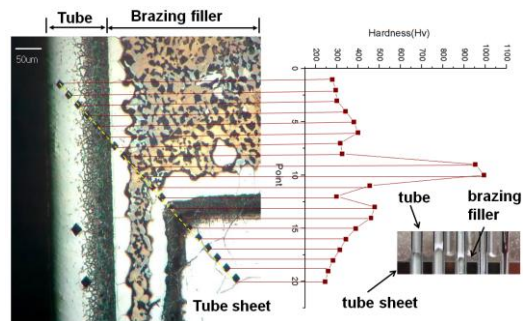


Fig. 1 The hardness test result and position of each value

온도조건 1,050 °C 에서 가공되었다. 경도실험은 마이크로 비커스 (micro-vickers, Mitroyo Co.)를 사용하였다. 경도실험 결과 Fig. 1 과 같이 소재의 평균적인 경도값은 280 Hv 로 측정되었으며, 브레이징 필렛 부분의 경도가 가장 높다. 또한 브레이징 접합부와 맞닿는 부분에서 경도가 비교적 높게 측정이 되었는데, 이것은 성분분석 결과, 접합재의 성분 중 크롬이 모재인 inconel 쪽에 스며들어 경도가 올라간 것으로 파악된다.

3. 브레이징 접합부 성분 분석

SEM-DES 를 이용하여 브레이징 과정중 접합부에 발생하는 성분변화를 알아보았다. 모재인 inconel-625 는 Ni 이 60 % 정도 차지하고 그 외에 Cr 22 %, Fe 5 %, Mo 10 %, Nb 3 %, 등으로 구성 되어져 있다.

또한 브레이징 공정 조건별로 접합부의 성분

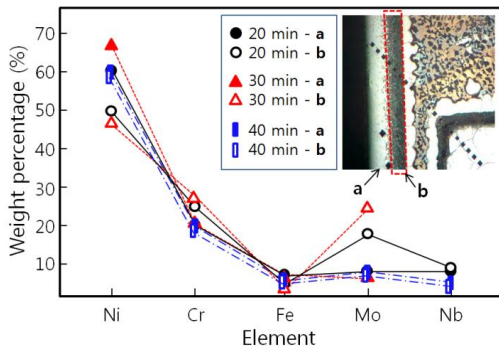


Fig. 2 Average weight percentage of elements according to holding time 20, 30, 40 min

변화를 알아보기 위해 최고점 온도 (1,050 °C)의 지속시간을 각각 20, 30, 40 min으로 변화를 주어서 브레이징 조건이 성분변화에 어떤 영향을 주는지 실험적으로 알아보았다. Fig. 2의 분석결과에서 유지시간을 40 min으로 한 경우에는 충분한 성분확산 시간이 주어져서 모든 주요성분의 성분차이가 7% 이내로 적음을 알 수 있다.

4. 브레이징 접합부 기계적 물성 분석

나노 인덴테이션(nano-indentation)을 이용하여 접합부의 국부적인 기계적 물성을 정량적으로 측정해 보고 성분차이로 인한 국부적인 탄성계수 차이를 비교해 보았다. 나노 인덴테이션으로 탄성계수를 구하기 위해 Oliver와 Pharr가 제시한 식(1)과 식(2)을 이용하였다.

$$E_r = \frac{1}{\beta} \frac{\sqrt{\pi}}{2} \frac{S}{\sqrt{A}} \quad (1)$$

$$\frac{1}{E_r} = \frac{(1-\nu_s^2)}{E_s} + \frac{(1-\nu_i^2)}{E_i} \quad (2)$$

접합부의 국부적인 탄성계수 물성은 Fig. 2와 같으며, 성분차이로 인하여 국부적인 탄성계수가 221~262 GPa 분포, 경도가 높은 부분, 접합재와 접촉하는 부분에서 탄성계수가 큰 값을 가지며, 필렛이 끝나는 부분에서는 탄성계수의 불연속이 존재함을 알 수 있다. 따라서 이 부분에 재료결함이나 응력집중이 발생하여, 균일이 발생할 수 있다고 판단된다.

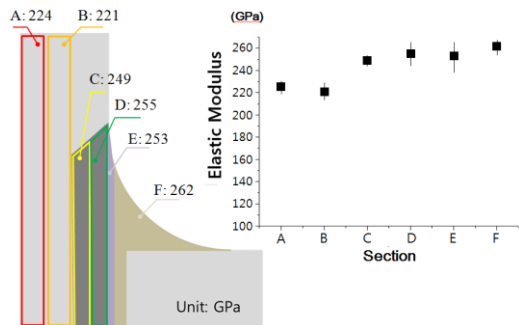


Fig. 3 Local elastic modulus distribution

5. 결론

본 연구에서는 관형 열교환기의 취약부인 브레이징 접합부의 국부적인 물성분포를 분석하였다. 브레이징 조건 중 최고점 온도의 유지시간을 달리하면서 접합부의 미세성분을 분석하였으며, 분석결과 유지시간에 따라 성분분포에 많은 차이를 보이며, 최고점 온도를 40 min 이상으로 유지하는 것이 필요하다. 그리고 브레이징 접합부의 성분차이에 의해 발생하는 국부적인 탄성계수를 검토한 결과 경도가 높은 곳에서 탄성계수 크게 나왔으며, 211~252 GPa의 분포를 가진다. 특히 필렛이 끝나는 부근에서 미세관의 탄성계수 편차가 심함을 알 수 있다. 향후 이러한 국부적인 미세물성을 해석적 방법에 적용하여 기계적 신뢰성을 평가하는 연구를 진행할 예정이다.

후기

본 연구는 정부재원으로 수행이 되었으며 관련 과제 담당자에게 감사를 드린다. (한국연구재단 과제번호 : K20703001798-11E0100-00310), (한국에너지기술평가원 과제번호 : 2010172020020-12-3-01), 그리고 (국가핵심연구센터사업 과제번호 : 2011-0006-257)

참고문헌

1. Min, J. K., Jeong, J. H., Ha, M. Y., and Kim, K. S., 2009, "High temperature heat exchanger studies for applications to gas turbines," Heat Mass Transfer, Vol. 46, pp. 175~186.