

미크론 수준의 용접변형 시뮬레이션에 관한 연구

- (I) 공정 및 온도 모니터링과 열전달 모델 정립 -

A Study on Thermal Deformation Simulation of the Micro-meter Order

- (I) Process/Temperature Monitoring & Heat Transfer Analysis

장경복*, 정진우*, 강성수*, 최규원**, 박찬우**, 조상명**

* 부산대학교 기계기술 연구소 미시소성 연구실

** 부경대학교 대학원 생산가공학과

1. 서론

정밀 산업 분야에는 마이크로미터(micrometer) 단위의 치수 공차 관리를 요하는 정밀 부품의 조합들로 이루어진 제품들이 상당히 많다. 대표적인 예로 케이스와 코어 등으로 이루어진 제품을 들 수 있는데 이 경우 특성상 기밀성이 우수하고 소음이 적어야 하기 때문에 작동부의 틈새가 마이크로 수준으로 관리되어야만 경쟁력 있는 제품을 생산할 수 있다. 이 경우 현장에서는 주로 부품을 접합하는 과정에서 발생하는 용접 열변형으로 인해 치수 관리에 어려움을 겪는 경우가 많아 결국은 제품의 성능을 저하시키면서까지 치수 공차의 여유를 확보하는 경우가 많다. 그 만큼 정밀 부품의 용접 열변형은 전 공정에 걸쳐 복합적인 인자의 영향을 받기 때문에 제어하기가 힘들기 때문이다.

이러한 경우 정밀 부품의 용접 열변형을 예측할 수 있는 수치모델이 정립되어진다면 제품의 변형을 제어할 수 있는 방안들이 제시될 수 있을 것이다. 마이크로미터 수준의 변형을 예측할 수 있는 수치 모델의 정립은 일반적인 해석 기법과는 다른 세밀한 접근법을 요한다. 특히, 용접 열변형의 경우는 정확한 해석을 위해서는 입열 모델의 정립이 중요한데 마이크로미터 수준의 정밀한 변형 해석을 위해서는 제품 제작에 적용되는 용접법의 특성에 맞는 입열 모델이 정밀하게 정립되어 정확한 열전달 해석이 이루어져야만 최종적인 변형 해석의 결과가 신뢰성을 지닐 수 있다. 또한, 해석 모델의 정립을 위해서는 각종 경계조건의 설정을 위한 많은 계측 데이터들이 요구되므로 각 제품 및 공정의 특성에 맞는 계측 시스템의 구축 또한 필요하다.

이에 본 연구에서는 마이크로미터 수준의 공차 관리를 요하는 정밀 부품의 용접 열변형을 제어하기 위해 크게 공정 지식, 계측 능력, 시뮬레이션 능력의 3가지 분야의 확보와 이들 상호간의 Feedback 및 Tuning의 중요성을 인식하여 열변형 수치 모델을 정립하는 방안을 제시하고자 하였다.

2. 실험 및 입열 모델 정립

본 연구의 대상인 제품은 박판의 케이스 내에 두꺼운 코어가 3군데에서 아크스팟(arc-spot) 용접되는데, 이 때의 용접 입열로 인해 코어 내의 제품의 성능을 위해 마이크로 수준의 치수관리가 이루어져야 하는 작동부 틈새가 변형되는 경우이다. 본 모델의 경우는 케이스와 코어의 재질이 서로 다르기 때문에 해석 모델을 정립하기가 더욱더 까다롭다.

우선, 용접법이 아크스팟 용접이기 때문에 전보(아크스팟 용접의 입열 효율 계산 수치 모델에 관한 연구)에서 동판을 이용하여 용접 시간에 따른 입열 효율의 변화를 계산하였다. 본 연구에서는 이를 실 제품의 경우에 적용하여 본 제품의 아크스팟 용접 공정에 맞는 입열 모델을 정립하고자 Fig.1 과 같이 코어를 절단하여 케이스와 한 곳에서만 아크스팟 용접하고 이 때 케이스 및 코어에 열전대를 부착하여 용접 시간 동안 케이스와 코어 쪽으로 전달되는 열을 계산하여 용접 시간 동안의 입열 효율의 변화를 계산하였다. Fig.2는 열전대 부착 위치를 나타낸다. 용접 조건은 전압 25V, 전류 220A, 용접시간 1.89초이다.

Fig.3은 열전대 부착 위치에서의 온도 모니터링한 결과로서 케이스와 코어로 전달되는 열을 계산하기 위해 용접 시간 동안만 확대하여 나타낸 온도 프로파일이다. 입열 모델을 위해 용접 시간을 크

계 5 구간으로 분류하였는데, Fig.3에서 Q_{core} 는 아크가 코어에서 스타트하여 케이스와 코어와의 틈새를 채우는 시간으로 코어로만 급격한 입열이 이루어지는 구간이고, Q_{case1} , Q_{case2} , Q_{case3} 는 본 제품의 유한요소 모델이 케이스 두께 방향으로 3개의 요소를 지니고 있으므로 케이스 두께를 3등분하였을 때 용접 금속이 각각을 채워 올라오는 구간이고, Q_{bead} 는 케이스 표면의 비드를 채우는 구간을 나타낸다. Fig.4는 전보의 아크스폿 용접 입열 효율 계산 결과와 본 실험의 결과를 중첩하여 최종적으로 계산된 용접 시간에 따른 입열 량을 나타낸다.

3. 열전달 모델 정립 및 해석 결과

Fig.5은 이렇게 정립되어진 입열 모델의 타당성을 검증하기 위해 케이스 표면 및 코어 측에 열전대를 부착하여 온도를 모니터링 한 결과이며, Fig.6은 정립되어진 입열 모델을 이용하여 3차원 열전달 해석을 수행한 결과로서 4.76초에서의 온도 분포를 나타내며, Fig.7은 Fig.5의 열전대 위치에서의 절점의 온도 프로파일을 나타낸다. 전체적으로 온도 모니터링 결과와 3차원 열전달 해석 결과가 잘 일치하고 있음을 알 수 있다.

4. 결론

전보의 아크스폿 용접시의 열효율 계산 결과와 공정 및 온도 모니터링 시스템을 이용하여 본 제품의 아크스폿 용접에 적합한 입열 모델을 정립할 수 있었고, 이를 이용하여 3차원 열전달 해석을 수행한 결과 온도 계측 결과와 좋은 일치성을 보였다. 이러한 열전달 해석 결과를 토대로 마이크로 미터 수준의 변형을 예측하는 변형 모델을 정립하고자 한다.

5. 참고문헌

- 1] P. Tekriwal and J. Mazumder : "Finite Element Analysis of Three-Dimensional Transient Heat Transfer in GMA Welding". Welding Research Supplement 151-s.
- 2] K.W.Mahin, W.Winters, T.M.Hosbonds and S.R.Macewen : "Prediction and Measurement of Residual Elastic Strain Distributions in Gas Tungsten Arc Welds". Welding Research Supplement 245-s, September 1991.

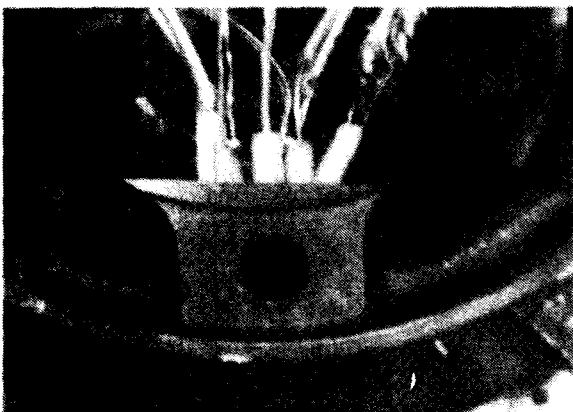


Fig. 1 Real Equipment for Test

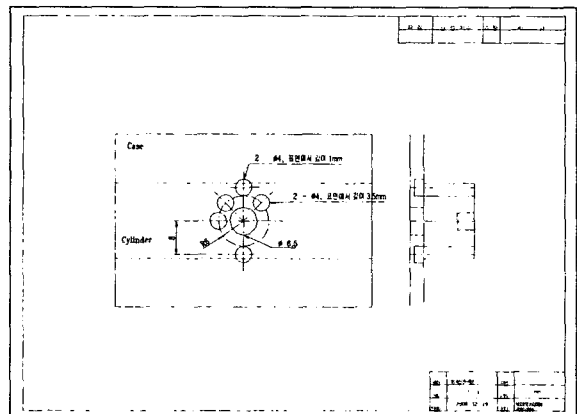


Fig. 2 Position of Thermo Couple

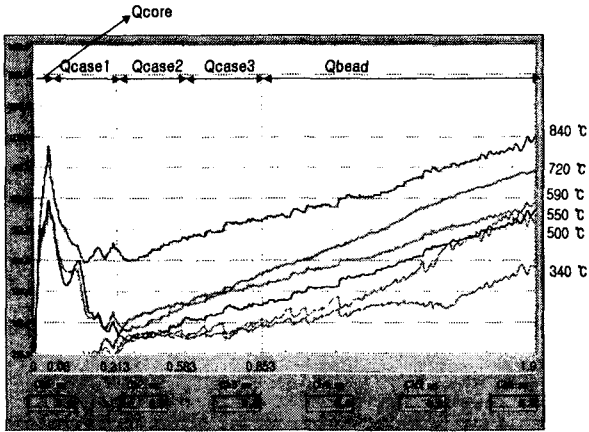


Fig. 3 Results of Temperature Monitoring

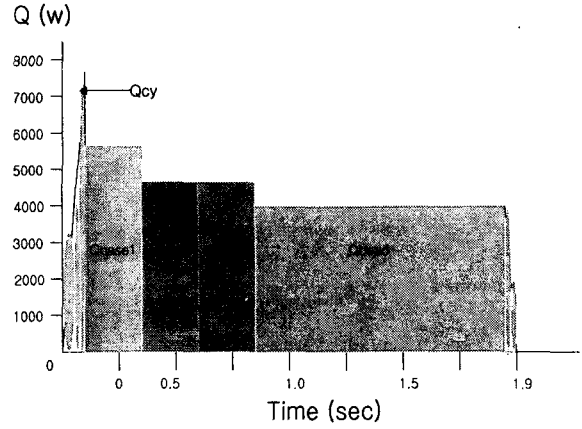
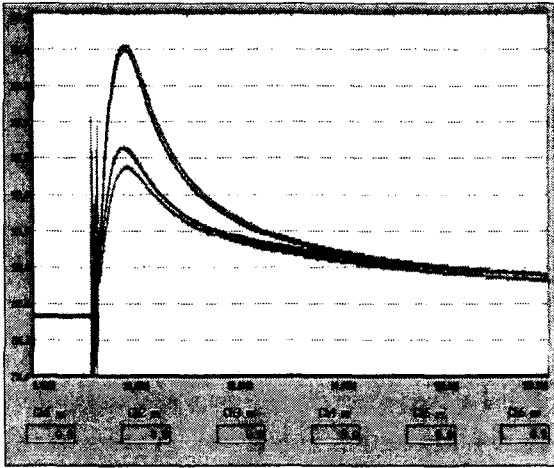
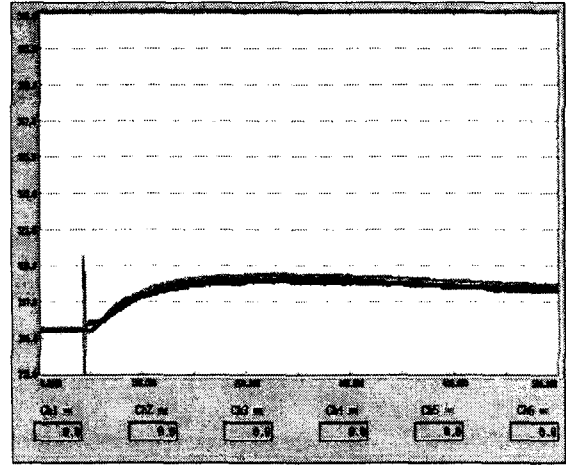


Fig. 4 Outline of arc heat input model



(a) Temperature Profiles on case



(b) Temperature Profiles on core

Fig. 5 Results of Temperature Monitoring

Inc: 150
Time: 4.761e+000

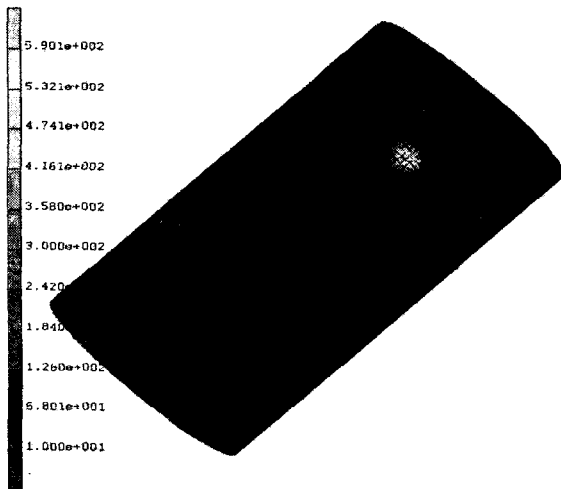


Fig. 6 Distribution of Temperature on case

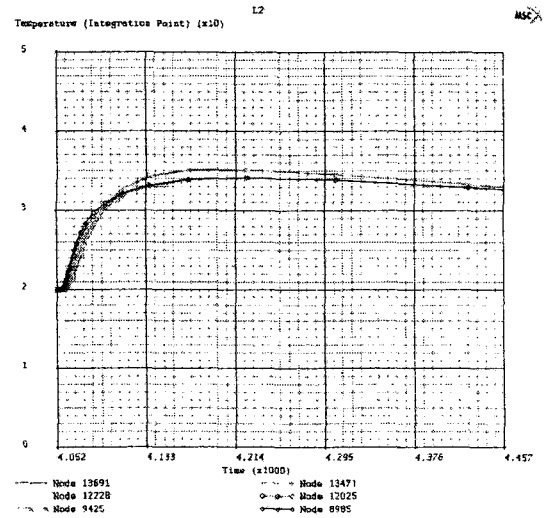


Fig. 7 Analysis Results on core