

Alloy718/SCM440 마찰용접재의 AE에 의한 동적 거동평가

Evaluation on Dynamic Behavior of Friction Welded Joints in Alloy718 to SCM440 using Acoustic Emission Technique

김동규¹, 공유식², 이진경^{3*}

Dong-Gyu Kim¹, Yu-Sik Kong², Jin-Kyung Lee^{3*}

〈Abstract〉

Dissimilar friction welding were produced using 15 mm diameter solid bar in superalloy(Alloy718) to chrome molybdenum steel(SCM440) to investigate their mechanical properties. Consequently, optimal welding conditions were n=2000 rpm, HP=60 MPa, UP=120 MPa, HT=10 sec and UT=10 sec when the metal loss(Mo) is 3.5 mm. Acoustic Emission(AE) technique was applied to analyze the dissimilar friction welding of Alloy718 and SCM440. The relationship between the AE parameters and dissimilar friction welding of both material was discussed. In the case of heating time of 6 sec, 10 sec, 14 sec and 20 sec, 5 AE events per 0.5 seconds and energy about 2.7×10^{10} were exhibited in heating time. In upsetting time, resulting in various numbers of events per second and very low energy. The frequency range of the signal generated during the heating time was about 200 kHz. However, the upsetting time resulted in a wide range of signals from very low frequency to high frequency of 500 kHz due to rapid plasticity of the material.

Keywords : Friction Welded Joints, Heating Pressure(HP), Upsetting Pressure(UP), AE Technique, Events, Frequency

1 김동규, 부경대학교 기계조선융합공학과

2 공유식, 부경대학교 기계공학과

3* 정희원, 이진경, 동의대학교 기계자동차로봇부품
공학부, 조교수, E-mail: leejink@deu.ac.kr

1 Department of Mechanical & Shipbuilding Convergence
Engineering, Pukyong National University

2 Department of Mechanical Engineering, Pukyong National
University

3* Division of Mechanical, Automobile and Robot Component
Engineering, Donggeui University

1. 서론

마찰용접(Friction welding)은 동일한 재료의 용접은 물론 아크용접, 가스용접, 전자빔용접 등 기존의 용접법에서는 적용이 어려운 이종금속, 비철금속까지 자유롭게 접합시키는 특성이 있고, 경제적인 측면과 기술적인 측면에서도 많은 장점이 있어 그 이용 범위는 광범위하다.[1-3] 마찰용접은 고체상태의 두 재료를 가압하에서 접촉면에 기계적 상대운동을 일으킬 때 발생하는 마찰열에 의해 두 재료를 가압시키는 고상용접으로서 특히 이종금속의 용접에 많이 응용되고 있다.[4-6] 한편 음향방출은 외부 하중에 의해 재료의 변형 및 균열발생시 발생하는 탄성파의 하나로써 재료의 동적인 거동을 평가할 수 있는 방법이다.[7,8] 따라서 본 연구에서는 각종 기계부품소재로 사용되는 크롬몰리브덴강(SCM440)과 초내열강(Alloy718)에 대한 이종 마찰용접시 최적의 마찰용접 조건을 실험적으로 규명하고자 한다. 일반적으로 초내열강인 Alloy718인 고가인데 비하여 크롬몰리브덴강은 저가이다. 따라서 고온에서 직접적인 접촉하는 부분에서는 Alloy718을 사용하고 나머지 부분은 저가인 SCM440을 사용하면 매우 경제적으로 활용할 수 있다. 또한 음향방출을 이용하여 마찰용접 조건이 변화할 때 음향방출 신호의 특성을 평가하여 마찰용접조건의 변화에 따른 음향방출의 각종 파라미터와 마찰용접조건과의 상관관계를 도출하고자 한다.

2. 실험방법

2.1 실험재료 및 조건

본 연구에 사용된 실험 재료는 기계부품 소재

로 사용되는 크롬몰리브덴강(SCM440)과 주조용 합금인 초내열강(Alloy718)에 대한 강도와 인성, 내마모성에 중점을 두었다. SCM440은 각종 기계 부품에 다양하게 사용되는 재료이며, Alloy718은 내열성, 내마모성, 고온강도 등이 우수하며, 주된 용도는 고온 기계부품 등에 이용된다. 본 연구에 사용된 재료의 기계적 특성을 Table 1에 나타낸다. 마찰용접 시험편은 Fig. 1과 같이 좌측의 회전축은 직경 15 mm의 Alloy718이며, 우측의 고정축은 직경 15 mm의 SCM440이며, 소재의 길이는 각 150, 100 mm로 적용하였다.

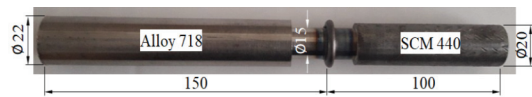


Fig. 1 Friction welding specimens

Table 1. Mechanical properties of materials

Material	Tensile strength σ_t (MPa)	Yield strength σ_y (MPa)	Elongation ϵ (%)	Hardness (HV)
SCM440	730	645	17	182
Alloy718	864	437	53	219

마찰용접의 변수는 회전수(n), 가열압력(HP), 업셋압력(UP), 가열시간(HT), 업셋시간(UT), 재료손실량(Mo) 등이다. 먼저 마찰용접의 압력 조건을 선정하기 위해 마찰용접기의 사용 설명서와 참고 문헌[1,9] 등을 조사하여 Table 2에서와 같이 1단계에서 가열압력을 변화시켜 6가지 조건으로 실험을 수행하였고, 그 결과 가열압력과 업셋압력의 최적조건을 도출하였다.

마찰용접기의 회전축은 초내열강(Alloy718)을 적용하였고, 고정축은 크롬몰리브덴강(SCM440)을 적용하여 마찰용접을 시행하였다. Table 2와 같이

가열시간과 업셋시간을 각각 5초 및 10초로 적용하였고, 가열압력과 업셋압력을 변화시켜 실험을 수행하였다.

Table 2. Friction welding conditions and dimension of specimen

n (rpm)	Pressure (MPa)		Time (sec)	
	HP	UP	HT	UT
2000	30	60	5	5
	40	80	5	5
	50	100	10	10
	60	120	10	10
	70	140	10	10
	80	160	10	10

2.2 실험장비 및 방법

마찰용접기(TOHO Controls Co. TH-25)는 연속구동 브레이크형이며, Fig. 2와 같이 용량은 최대 재료의 외경치수로 나타내며, 회전축은 $\phi 25$ mm이며, 고정축은 $\phi 40$ mm이다. 그리고 인장강도시험에 사용된 시험기는 만능시험기(SHIMADZU UH-F500kNX)로서, 인장속도는 2 mm/min으로 하였고, 모재와 용접재를 CNC 선반 가공한 후 인장시험을 시행하였다.[1] 한편 음향방출기법을 이

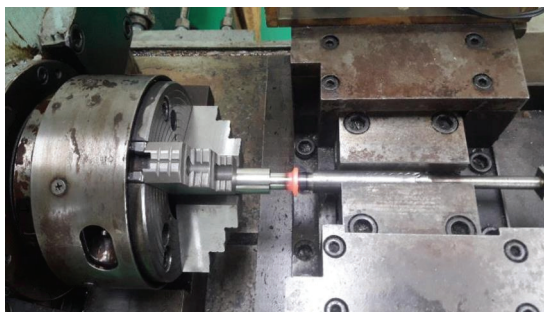


Fig. 2 Friction welding machine

용하여 마찰용접 특성을 평가하기 위하여 시스템을 구성하였으며 사용된 센서는 광대역센서를 사용하였으며 프리엠프에서 40dB 증폭하고 노이즈를 제거하기 위하여 문턱전압값을 45dB로 정하였다.[9]

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 마찰용접의 최적화

Table 2의 압력변화 및 시간변화에 따른 인장강도의 실험 결과를 Fig. 3에 나타낸다. 우선적으로 가열시간(HT)과 업셋시간(UT)을 각각 5초 및 10초의 두 가지 조건으로 변화시키고, 가열압력(HP)과 업셋압력(UP)을 여섯 가지로 변화시켜 마찰용접을 수행하였다. 그래프에서와 같이 HP(UP)=30(60), 40(80) MPa의 인장강도는 369, 482 MPa로 비교적 낮게 나타났다. 반면에 HP=50, 60, 70, 80 MPa의 인장시험 결과는 SCM440 모재의 인장강도(730 MPa)와 비슷하게 나타났다. 특히 HP(UP)=50(100), 60(120) MPa의 인장강도

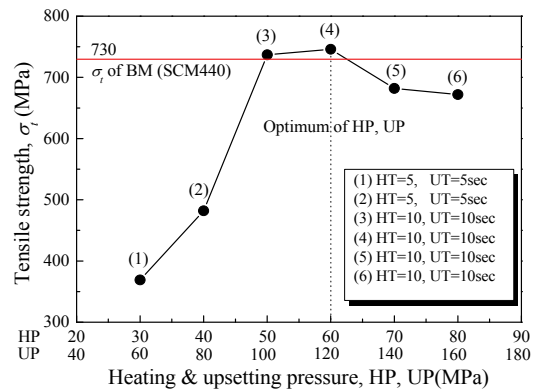


Fig. 3 Relationship between tensile strength and pressure of as-welded specimens

가 737, 746 MPa로 모재의 인장강도에 비해 높게 나타났으며, HP(UP)=80(160) MPa의 인장강도는 672 MPa로 낮아지는 경향으로 나타났다.

또한 HP(UP)=50(100), 60(120) MPa의 항복강도는 각각 467 MPa로 동일하게 나타났으며, 특히 HP(UP)=30(60) MPa의 항복강도 결과는 337 MPa로 가장 낮게 나타났으나, 다른 조건에서는 Alloy718 모재의 항복강도(437 MPa)에 비해 높게 나타났다. 따라서 압력변화에 따른 최적 조건은 인장강도 및 항복강도를 고려해 볼 때 HP(UP)=60(120) MPa으로 판단된다.

Fig. 4는 마찰용접에서 가열시간의 변화에 따른 재료손실량의 실험 결과를 나타낸다. Fig. 4에서 보면 가열시간이 증가할수록 재료손실량이 선형적으로 증가함을 알 수 있다. 다른 실험결과에서도 일반적으로 가열시간(또는 가열압력)과 재료손실량과의 사이에는 선형적인 관계를 나타내는 결과보고[1,9]되고 있다.

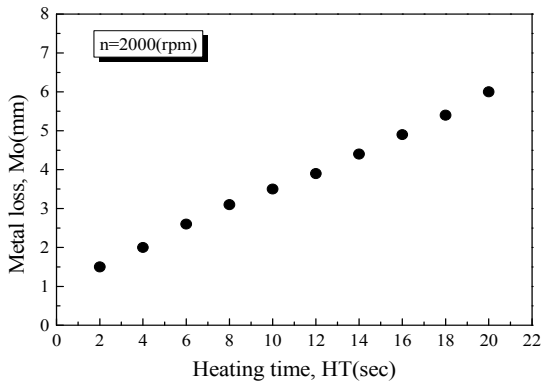


Fig. 4 Relationship between metal loss and heating time of as-welded specimens

한편, 재료손실량은 가열시간 2초에서 1.5 mm, 10초에서 3.5 mm로 나타났고, 20초일 때 6 mm로 가열시간에 따라 증가함을 알 수 있다. 일반적으로 직경 20 mm 강재의 재료손실량은 보통 10

~15 mm로 보고[1,6]되고 있으며, 본 실험에서는 직경 15 mm의 초내열강재와의 이중금속간의 접합으로 볼 때 전체적으로 적게 나타났다. 결과적으로 본 결과는 마찰용접에서 용접제품의 길이치수가 요구될 때 적용된다.

3.2 AE에 의한 품질평가

본 연구에서는 앞의 Fig. 3의 가열압력과 업셋압력의 결과에서 최적의 조건인 60(120)MPa인 경우에 가열시간이 변화함에 따른 음향방출 신호의 변화를 이용하여 최적의 가열시간을 도출하고자 한다.

Fig. 5에서는 가열시간 및 업셋시간에 따라 발생하는 신호의 AE 이벤트를 나타낸 것으로 가열시간이 6초, 10초, 14초 및 20초동안 발생하는 신호의 이벤트를 나타낸다. 그림에서 보여주는 바와 같이 4가지 경우 모두 가열시간에는 0.5초당 약 5개의 신호가 발생하고 있으며 업셋시간에서는 가압에 의한 재료의 소성변형의 형태에 의해 초당 다양한 수의 이벤트가 발생함을 알 수 있다. 따라서 가열시간이 10초인 경우 약 100개 정도의 AE 이벤트가 발생할 때 최적의 마찰용접조건이 됨을 알 수 있다.

Fig. 6에서는 음향방출 신호의 에너지와 축적된 카운터를 나타낸 것으로 가열시간이 증가함에 따라 축적된 카운터의 수는 선형적으로 증가하고 있으며 업셋시간에는 거의 일정한 값을 유지하고 있음을 알 수 있다. 그리고 가열시간에 발생하는 신호의 에너지는 약 2.7×10^{10} 내외의 값을 나타내고 업셋시간에는 급격히 감소한 값을 나타내었다. 특히, 20초의 가열시간에서는 가열시간이 약 14초 이후부터 발생하는 신호의 에너지는 점차적으로 감소하는데 이것은 너무 많은 가열시간에 의해 재료의 용융이 과도하게 발생하여 에너지는 점차적으로 감소하는 경향을 나타내었다.

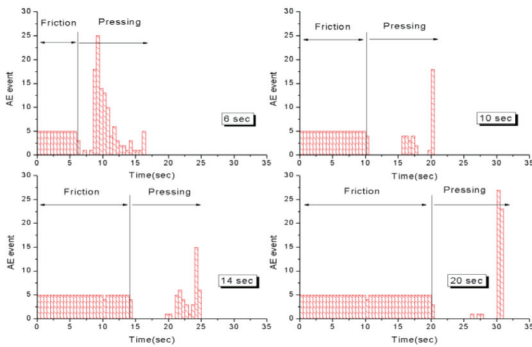
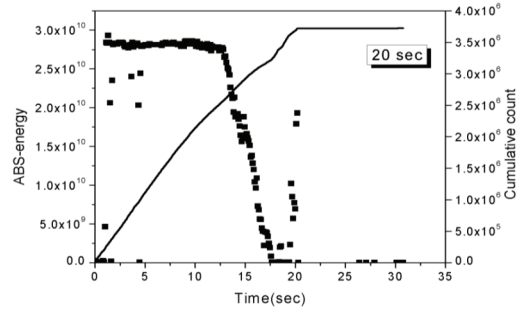
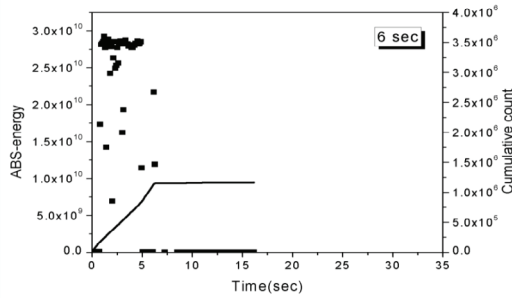


Fig. 5 AE event at heating and upset times according to heating times change

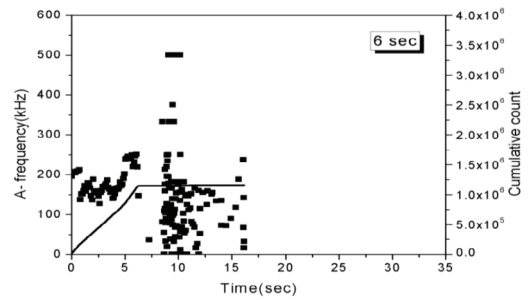


(d) 20 sec

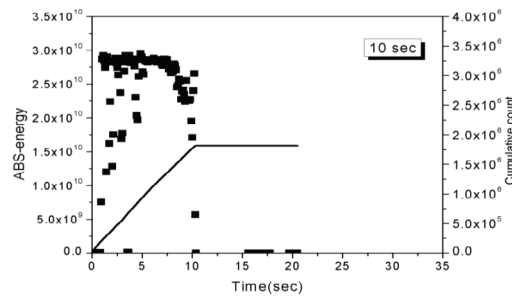
Fig. 6 ABS energy and Cumulative count according to heating times change.



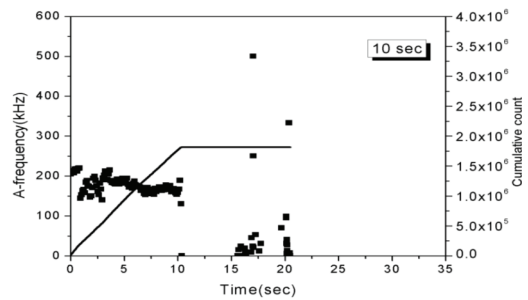
(a) 6 sec



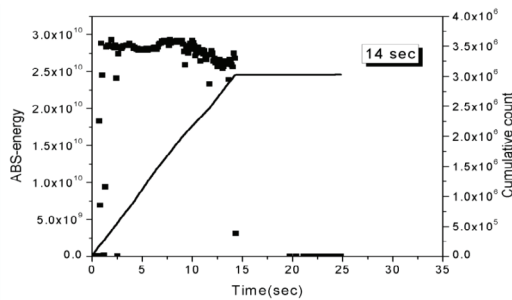
(a) 6 sec



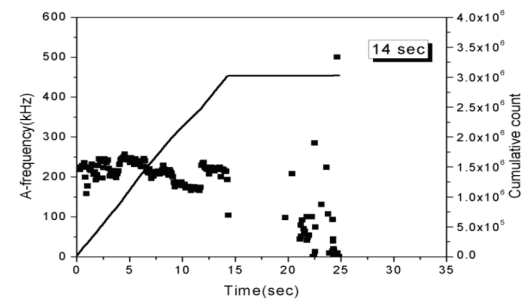
(b) 10 sec



(b) 10 sec



(c) 14 sec



(c) 14 sec

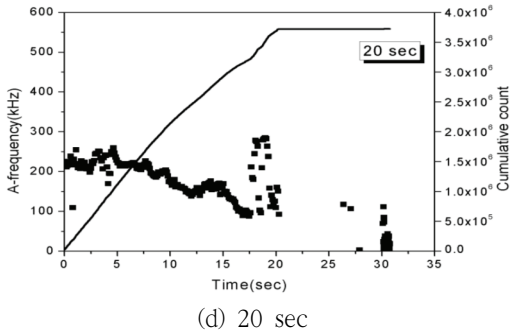


Fig. 7 Average frequency and Cumulative count according to heating times change

Fig. 7에서는 신호의 주파수 특성을 나타낸 것으로 가열시간에 발생하는 신호의 주파수 영역은 주로 200kHz 정도를 나타내었지만 업셋시간에는 재료의 급격한 소성거동에 의해 아주 낮은 주파수부터 500kHz의 높은 주파수 영역을 나타내는 신호가 발생하고 있음을 알 수 있다. 따라서 가열시간에 발생하는 음향방출 신호의 파라미터는 전반적으로 일정한 값을 나타내지만 업셋시간에 발생하는 신호의 파라미터의 값들은 소성거동 특성에 따라 넓은 영역의 값을 나타내었다.

4. 결론

Alloy718/SCM440 소재의 이중 마찰용접 최적화 및 비파괴시험 평가에 관하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 이중마찰 용접의 가열시간, 압력 등 변수를 고려한 최적조건은 회전수 2000 rpm, 가열압력 60 MPa, 업셋압력 120 MPa에서 가열시간과 업셋시간이 10 sec임을 알 수 있었다.

(2) 가열시간 6초, 10초, 14초 및 20초의 4가지 조건에서 발생한 음향방출 신호는 가열시간에는 0.5초당 5개의 이벤트 및 에너지는 약 2.7×10^{10}

정도의 값을 나타내었으며 업셋시간에서는 가압에 의한 재료의 소성변형에 의해 초당 30-40개의 이벤트와 아주 낮은 에너지를 나타내었다.

(3) 주파수분석에서 가열시간에 발생하는 신호의 주파수 영역은 200 kHz 정도를 나타내었지만 업셋시간에는 재료의 급격한 소성거동에 의해 아주 낮은 주파수부터 500 kHz의 높은 주파수까지 광범위한 영역의 신호가 발생하였다.

참고문헌

- [1] Y. S. Kong and J. K. Lee, "Optimal welding condition of dissimilar friction welded materials and its real time evaluation by acoustic emission," *Journal of The Korean Society for Industry Convergence*, vol. 22, no. 2, pp. 191-199, (2019).
- [2] L. Wenya and W. Feifan, "Modeling of continuous drive friction welding of mild steel," *Materials Science and Engineering A*, vol. 528, pp. 5921-5926, (2011).
- [3] M. B. Uday, M. N. Ahmad Fauzi, H. Zuhailawati and A. B. Ismail, "Advances in friction welding process: a review," *Science and Technology of Welding and Joining*, vol. 15, no. 7, pp. 534-558, (2010).
- [4] C. Mary and M. Jahazi, "Linear friction welding of IN718 process optimization and microstructure evolution," *Advanced Materials Research*, vol. 15-17, pp 357-362, (2006).
- [5] S. M. Chowdhury, D. L. Chen, S. D. Bhole and X. Cao, "Tensile properties of a friction stir welded magnesium alloy: Effect of pin tool thread orientation and weld pitch," *Materials Science and Engineering A*, vol. 527, pp. 6064-6075, (2010).
- [6] G. S. Chander, G. M. Reddy and A. V. Rao, "Influence of rotational speed on microstructure and mechanical properties of dissimilar metal

- AISI 304-AISI 4140 continuous drive friction welds,” *Journal of Iron and Steel Research*, vol. 19, no. 10, pp. 64-73, (2012).
- [7] Zhe Geng, Debashis Puhan, Tom Reddyhoff, “Using acoustic emission to characterize friction and wear in dry sliding steel contacts”, *Tribology International*, In press, (2019).
- [8] Mao Sheng, Shouceng Tian, Bo Zhang, Hongkui Ge, “Frequency analysis of multi-sources acoustic emission from high-velocity waterjet rock drilling and its indicator to drilling efficiency”, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, Vol 115, pp. 137-144, (2019).
- [9] D. G. Kim, Y. S. Kong and J. K. Lee, “Evaluation of acoustic emission technique for dissimilar friction welding of forgings and pipes,” *Journal of Korean Society for Non-destructive Testing*, vol. 38, no. 6, pp. 361-366, (2018).

(접수: 2019.05.27. 수정: 2019.08.14. 게재확정: 2019.09.03.)