

Alloy718 동종 마찰용접재의 기계적 특성에 관하여

공유식* · 김선진* · 권상우* · 김정한** · 박노광**

*부경대학교 기계공학부

**한국기계연구원 소성응용그룹

On Mechanical Properties of Similar Friction Welded in Alloy718

YU-SIK KONG*, SEON-JIN KIM* SANG-WOO KWON* JEOUNG-HAN KIM** AND NHO-KWANG PARK**

**School of Mechanical Engineering, Pukyong National University, Busan, Korea*

***Dept. of Materials Processing, KIMM, Changwon, Korea*

KEY WORDS: Friction welding; FRW 마찰용접, Tensile strength 인장강도, Base metal: B.M 모재, Acoustic emission 음향방출, Ultrasonic attenuation coefficient 초음파 감쇠계수

ABSTRACT: Similar friction welding were produced using 15 mm diameter solid bar in Ni-base superalloy(alloy718) to investigate their mechanical properties. The main friction welding parameters were selected to endure good quality welds on the basis of visual examination, tensile tests, AE total counts and ultrasonic attenuation coefficient. The specimens were tested as welded, not heat-treated. The tensile strength of the friction welded joints was increased up to 90% of the alloy718 base metal under the condition of all heating time. Optimal welding conditions were $n=2,000$ (rpm), $P_1=200$ (MPa), $P_2=200$ (MPa), $t_1=8$ (s), $t_2=5$ (s) when the total upset length is 4.4(mm). The weld interface of similar friction welded steel bars was mixed strongly.

1. 서 론

마찰용접(friction welding, FRW)은 동종재는 물론 가스용접, 저항용접, 전자빔용접 등 기존의 용접법에는 곤란한 이종금속, 비철금속까지 자유롭게 접합시키는 특성을 가지고 있으며, 또한 경제적인 면과 기술적인 면에서도 많은 잇점을 지니고 있어 그 이용 범위는 넓고, 그 도입 목적도 광범위하다. 마찰용접은 고체 상태의 두 재료를 가압하에서 접촉면에 기계적 상대운동을 일으킬 때 발생하는 마찰열에 의해 두 재료를 압접시키는 고상용접의 일종으로서 특히 이종금속의 용접에 많이 응용되고 있다(대한용접학회, 1998; AWS, 1981).

국내에서는 1970년대 초반부터 마찰용접의 최적조건의 결정과 응용 및 강도에 관한 연구가 Cho(Cho and Suh, 1997), Jeong(Jeong and Shinoda, 1997), Oh(Oh et al, 2000) 등에 의하여 보고되는 등 동종 및 이종재료의 마찰용접에 관한 연구가 증가되고 있다. 그러나 마찰용접조건과 인장강도간의 관계에 관하여 많이 보고되고 있지만, 실용상 중요한 피로강도의 관점에서 이것을 평가하고, 또 신뢰성 제고를 위한 통계적 해석을 연구한 보고는 드물다. 마찰용접의 특성을 효과적으로 활용하고 구조물 혹은 제품의 안전성 및 신뢰성을 확보하기 위해서는 실용적 평가방법에 의한 마찰용접재의 용접부의 강도 특성 파악과 신뢰성 있는 데이터의 축적이 필요하다.

한편, 원자력 발전소용 스템밸브(stem valve)는 일반적으로 내열 스테인레스강으로 가공이 되고 있으나 고온, 고압에 작동되기 때문에 수명상의 한계가 있다. 이를 초내열 합금으로 대체 하게 될 경우 우수한 크리프-파단 특성을 활용할 수 있으며 또한, 인장강도의 비약적인 향상을 기대할 수 있다. 그러나 니켈기 초내열합금은 일반 스테인레스강에 비해서 가격이 비싸서 실제로 생산되는 부품의 제품단가를 높인다는 문제점이 있다. 스템밸브의 구성부분 중 직접적으로 고온·고압의 가스에 노출되는 헤드부분만을 니켈기 초내열합금으로 사용하고, 스템을 포함한 여타 부분은 일반 스테인레스 강으로 대체한다면 초내열합금의 내구성을 갖으면서 제조단가가 낮은 제품을 개발할 수 있다. 따라서 이들 이종재를 접합할 수 있는 기술의 개발이 요구되고 있다(Mary and Jahazi, 2006).

따라서 본 연구에서는 니켈기 초내열합금인 Alloy718의 동종 금속간의 최적 마찰용접 조건을 결정하기 위해 마찰용접 후열처리전의 상태에 대하여 마찰용접 변수인 회전수, 마찰압력, 엷셋압력, 가열시간, 엷셋시간 등의 상호작용에 의한 용접 품질(특히 인장강도, 인성 등)과의 상관관계를 고찰하였다.

2. 실험재료 및 실험방법

2.1 재료 및 시험편

본 연구에 사용된 마찰용접 실험재료는 니켈기 초내열 합금인 Alloy718이며, 내열성, 내마모성, 고온강도 등이 우수하며, 주된 용도는 일반기계, 자동차, 선박용, 항공기 등

교신저자 공유식: 부산광역시 남구 용당동 산100

051-620-1623 kongys@pknu.ac.kr

의 축류, 스템밸브류, 볼트류 등에 많이 이용된다. Table 1과 Table 2에 화학적 성분과 기계적 성질을 각각 나타내었다.

마찰용접 시험을 위한 시험편은 접합부는 직경 15mm, 척의 물림부는 직경 20mm, 전체 길이는 80mm로 가공하였다. 그리고 마찰용접 시험편의 강도를 알기 위한 인장 시험편의 형상 및 치수로서 KS규격(KS B0801 14A)에 따라 CNC선반 가공 후 연삭가공 하였다. 또한 가공시 열영향을 최소화 하기 위하여 절삭유를 듬뿍 적용하였다.

Table 1 Chemical composition of materials (wt. %)

Material	Al	Si	Mn	Cr	Ti	Fe	Mo	Ni
Alloy718	0.62	0.1	0.06	19.2	1.1	17.7	2.8	Bal.

Table 2 Mechanical properties of materials

Material	Tensile strength σ_t (MPa)	Yield strength σ_y (MPa)	Reduction of area ψ (%)	Elongation ϵ (%)	Hardness Hv
Alloy718	988	600	61.6	48.5	244

2.2 실험장치 및 실험방법

마찰용접시험에 사용된 마찰용접기(Model: TOHO TH-25)는 연속구동 브레이크 형(continuous drive brake type)이며, 용량은 최대 재료치수로서 회전축은 $\phi 25$ mm이고 고정축은 $\phi 40$ mm이다. 그리고 이음부의 인장강도 시험에 사용된 시험기는 만능시험기(Model: KDU-50)로서 인장속도는 2 mm/min으로 각 모재와 용접재를 인장시험 하였다.

한편, 마찰용접시 발생하는 AE량을 측정하기 위해서는 고감도 변환기(R15-C 150kHz seonsor)를 용접면에서 마찰용접기의 정지척 방향으로 170mm 떨어진 위치의 정지척 상에 연결된 웨이브 가이드에 부착하였다. 웨이브가이드에 부착한 변환기로부터 전달된 AE신호를 컴퓨터에 저장하여, 그 저장된 결과를 AE 누적총량의 형태로 표현하였다. 넓은 주파수범위의 스펙트럼을 커버하는 다양한 AE발생원으로부터 AE가 발생하기 때문에 100~300kHz 범위의 밴드 패스 필터(band-pass filter)를 포함하는 고감도 센서용 증폭장치를 사용하여 저주파와 고주파의 소음(noise)을 제거하였으며 40dB로 증폭하여 측정된 AE신호가 시그널 케이블을 통과하여 장치에 원활이 전달되도록 하였다. 장치에 전달된 AE신호는 신호처리를 위하여 주증폭기에서 다시 40dB로 증폭하여 전체 시스템 이득(gain)을 80dB로 설정하였다.

또한, 마찰용접 조건에 대한 초음파 감쇠계수의 측정은 탐촉자 내의 압전재료에 적정 펄스전압을 가하여 진동(초음파)을 만들고 그 진동이 시험편 배면에서 반사되어오는 것을 압전재료가 전기적 신호로 바꾸어 CRT상으로 나타나게 하는 펄스 반사법 중에서 수직탐상법으로 측정하였다. 표준시험편은 KS B 0831에 규정된 STB-A1을 사용하였고, 초음파의 발생과 수신을 위해서 Parametric사의 $\phi 10$ 주파수 5MHz인 탐촉자를 사용

하였으며, USD-15 초음파 탐상기를 사용하여 초음파 파라미터를 측정하였다.

본 연구에 사용된 마찰용접의 변수로는 회전수(n), 가열압력(P_1), 업셋압력(P_2), 가열시간(t_1), 업셋시간(t_2) 등이다. 먼저 참고 문헌(오세규등, 1988; 이배섭등, 2005)을 통하여 Fig. 1의 조건으로 실험 후 가열압력과 업셋압력의 최적조건을 결정하였다. 그리고 이 조건을 기준으로 가열시간 변화에 따른 상관관계와 총업셋량(U_T)의 변화를 조사하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 압력변화의 상관성

Fig. 1은 압력변화에 따른 인장강도 결과를 나타낸다. 먼저 가열압력(P_1)과 업셋압력(P_2), 가열시간(t_1)과 업셋시간(t_2)을 각 4가지 조건으로 변화시켜 실험을 수행하였다. 그림에서 보면 타 조건에 비해 $P_1=200$ MPa, $P_2=200$ MPa, $t_1=10$ sec, $t_2=5$ sec의 인장강도가 971MPa로 높게 나타났다. 이는 모재 인장강도(988MPa)의 98%에 달하며, 거의 100%에 근접하는 결과이다. 또한 본 실험 결과는 타 문헌(오 등, 1988; 이 등, 2005; Oh *et al*, 2000)의 결과와도 비교적 잘 일치한다. 따라서 1단계 압력변화의 최적조건을 P_1 과 P_2 를 각각 200, 200(MPa) t_1 과 t_2 를 각각 10, 5sec로 결정하였다.

3.2 업셋량의 상관성

Fig. 2는 마찰용접에서 업셋량(U_T)과 가열시간(t_1)의 상관관계를 나타낸다. 그래프에서 알 수 있듯이, 가열시간이 증가할수록 각 업셋량이 선형적으로 증가함을 알 수 있다. 여기서 가열시간이 8초일 때 총 업셋량은 4.4mm로 나타났고, 18초일 때 14.8mm가 되었다. 따라서 마찰용접과정에서의 업셋길이를 조절하여 용접제품의 길이치수 정밀도 등을 요구할 때 매우 효율적인 방법이라고 판단된다. 이것으로부터 알 수 있듯이, 업셋량과 가열시간 사이에는 강한 양(positive)의 선형적인 상관관계가 있음이 확인되었다. 타의 실험결과에서도 가열시간과 업셋량과의 사이에는 선형적인 증가관계를 나타내는 결과가 많이 보고되고 있다.

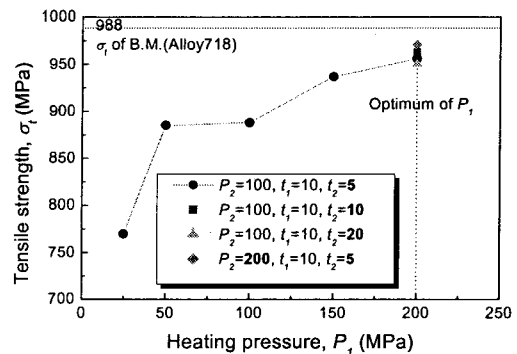


Fig. 1 σ_t vs. P_1 , P_2 for similar FRW in alloy718 to alloy718

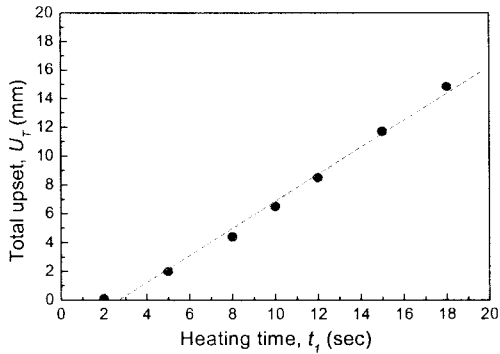


Fig. 2 U_T vs. t_1 for similar FRW in alloy718 to alloy718

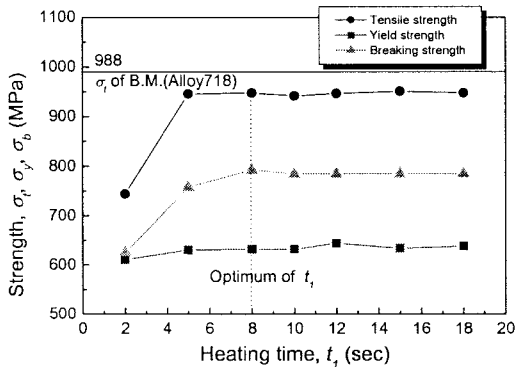


Fig. 3 σ_t , σ_y , σ_b vs. t_1 for similar FRW in alloy718 to alloy718

3.3 용접변수와 강도의 상관성

Fig. 3은 가열시간과 각종 강도(인장강도, 항복강도, 파괴강도)와의 관계를 나타낸다. 그림에서 알 수 있듯이, 인장강도는 모재의 인장강도(988MPa)에 비해 모든 조건에서 낮게 나타났으며, 평균적으로 가열시간이 증가하면 다소 증가하는 경향을 보였으나 항복강도와 파괴강도는 가열시간 2초인 경우를 제외하고는 비슷한 결과를 보였다. 따라서 최적조건을 정적 강도적인 측면에서 고려해 볼 때, 가열시간은 8초 정도가 적합하다고 판단된다. 다만, 마찰용접시 건전한 접합(인장강도만을 중심으로)이 되는 최적조건 범위는 비교적 넓었고, Fig. 1에서와 같이, 비교적 높은 용접압력에서의 결과가 실험적으로 우수하였다. 이는 타의 실험결과에서도 비슷한 결과를 보고하고 있다.

그림에서 특이한 사항은 가열시간이 2초일 때, 인장강도, 항복강도 그리고 파단강도가 비슷한 값으로 비교적 낮게 나타남을 알 수 있다. 이는 다른 조건에서는 모재에서 연성적 파단을 나타낸 반면에, 가열시간 2초의 경우에는 용접계면(weld interface)에서 바로 파단이 일어난 취성파괴(brittle fracture) 양상의 원인으로 생각된다.

Fig. 4는 마찰 가열시간과 연성(연신율, 단면수축율)과의 관계를 나타낸다. 그림에서 가열시간 2초의 경우를 제외한 가열시간이 5-18초인 경우, 연신율은 거의 비슷한 경향을 보이고

있다. 그리고 단면수축율도 약 50(%)로 비슷하고 8초에서 55%로 비교적 높게 나타나고 있다. 따라서 앞의 강도적인 측면과 더불어 인성적인 측면에서 고려해 볼 때, 최적 마찰 가열시간은 8초가 적합하다고 판단된다. 이는 마찰용접제의 인장강도가 모재와 비슷한 경우 취성의 영향이 적고, 연성이 높은 편이 우수하기 때문이다.

그림에서 특이한 사항은 가열시간 2초에서 연성적 측면은 가장 낮게 나타났고, 용접계면에서 취성파단 되었다. 이는 가열시간이 짧기 때문에 짧은 시간에 많은 열을 받아 열영향부에서의 많은 열변형의 동반이나 짧은 시간으로 인한 용입 불량 등의 원인으로 사료되나 앞으로 이 문제에 대한 고찰의 필요성이 있다.

이상에서 알 수 있듯이, 강도적인 측면과 인성적인 측면을 조합하여 고려해 볼 때, 가열시간이 5초 이하는 마찰용접 조건으로 타당하지 않다고 판단된다.

Fig. 5는 가열시간과 충격에너지 값과의 관계를 나타낸다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 모재의 충격에너지 값(22.3 kg·m)에 비해 전체적으로 약 60%에 근접한 결과이다.

인장강도와 비교할 때 비슷한 경향으로 나타났으며, 마찰용접부의 충격에너지 값은 5초와 8초일 때 15.1kg·m과 14.9kg·m로 최대값을 기록하였다. 이 값은 모재보다 크게 낮았으나 모재의 약 68%에 근접한 결과이다.

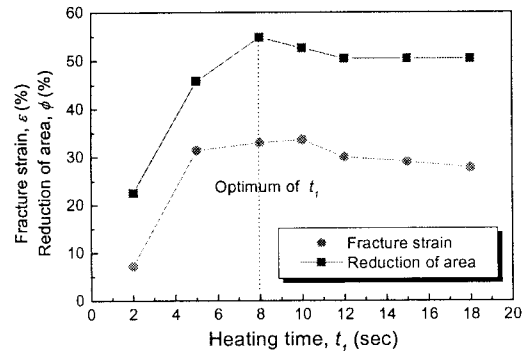


Fig. 4 ϵ_f , ψ_f vs. t_1 for similar FRW in alloy718 to alloy718

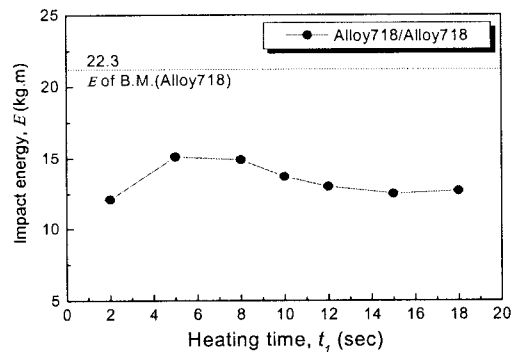


Fig. 5 E vs. t_1 for similar FRW in alloy718 to alloy718

4. 결 론

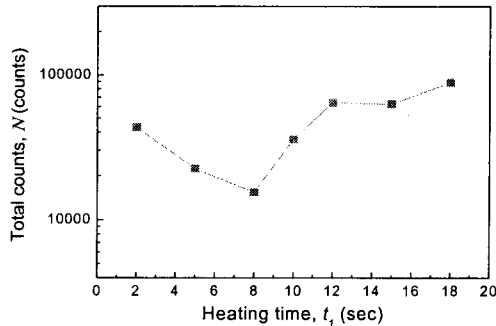


Fig. 6 AE total counts vs. heating time

3.4 AE누적총량과 가열시간과의 관계

Fig. 6은 가열시간(t_1)과 AE누적총량의 관계를 나타낸다. 그림에서 알 수 있듯이 확실한 상관성이 보이지 않았으나 전체적인 경향으로는 가열시간이 증가하면 AE누적총량이 증가하는 경향이 보여 지고 있고, 이에 대한 추가적인 연구가 필요하다고 본다. 최적의 마찰용접조건으로 결정된 가열시간 8초의 AE총 누적량이 15400정도로 가장 낮은 값을 보였다. 이는 가열시간 중에 AE를 발생하는 인자의 영향이 적어 양호한 용접이 이루어지고 있음을 시사해준다고 할 수 있다.

3.5 초음파 감쇠계수와 가열시간과의 관계

Fig. 7은 가열시간(t_1)과 초음파 감쇠계수(dB/m)와의 변화를 조사한 결과를 나타낸다. 그림에서 알 수 있듯이 마찰 가열시간과 초음파 감쇠계수와의 관계에는 확실한 상관성이 보이지 않았으나, 전체적인 경향으로 보아 가열시간이 증가하면 감소하다가 다시 증가하는 경향을 보이고 있다. 이러한 초음파의 감쇠의 원인은 다음에 의해서 발생하는 것으로 알려져 있다. 즉, 결정입자 및 조직에 의한 산란, 점성감쇠, 전위운동에 의한 감쇠, 강자성 재료에서 자벽의 운동에 의한 감쇠, 잔류응력으로 인한 음장의 산란에 의한 결보기 감쇠 등을 들 수 있다. 그러나 이에 대한 추가 연구가 향후 필요하다고 본다. 최적의 마찰용접조건으로 결정된 가열시간 8초인 경우에 초음파 감쇠계수가 가장 적은 값을 나타냈으며, 이는 AE의 결과와 비슷한 경향을 얻었다.

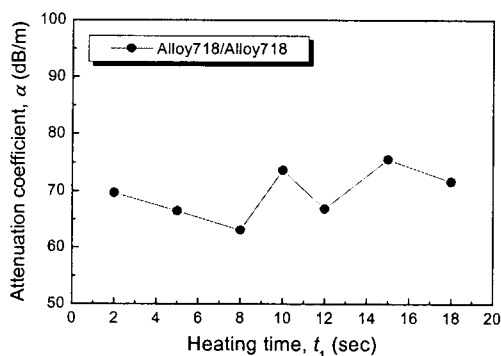


Fig. 7 Ultrasonic attenuation coefficient vs. heating time

니켈기 초내열합금인 Alloy718의 동중재 마찰용접을 시행하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

(1) 마찰용접부 강도가 모재의 강도와 비슷한 양호한 이종재 마찰용접이 가능하게 되어, 재료의 기계가공에 따른 공정수와 비용 및 재료의 절감에 가능하게 되었다.

(2) 2초를 제외한 모든 용접조건에서 용접부의 이음효율이 모재의 90% 이상 되었으며, 용접재의 강도 및 연성을 고려한 최적 마찰용접조건은 다음과 같다.

$n=2,000(\text{rpm})$, $P_1=200(\text{MPa})$, $P_2=200(\text{MPa})$, $t_1=8(\text{s})$, $t_2=5(\text{s})$

(3) 최적의 마찰용접조건으로 결정된 가열시간 8초의 AE누적총량이 가장 낮은 값으로 나타났고, 초음파 감쇠계수와와의 관계에서도 확실한 상관성이 보이지 않았으나 전체적인 경향은 AE누적총량과 비슷하게 나타났다.

후 기

본 연구는 산업자원부의 민군겸용기술개발 사업의 일환으로 추진되었으며, 관련연구 지원에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- 대한용접학회(1998). "용접 · 접합편람", pp 663-664.
- 오세규, 김부안, 김선진, 남상훈(1988). "S45C와 SCM4의 마찰용접 및 피로특성에 관한 연구", 한국해양공학회지, 제2권, 제2호, pp 312~321.
- 이배섭, 공유식, 김선진(2005). "해양차량 속업소비용 강재의 이종 마찰용접과 AE 평가", 한국해양공학회지, 제19권, 제1호, pp 44-48.
- AWS(1981). "Welding Handbook-Vol.1, Fundamentals of Welding", 7th edition, Vol1, pp 153-220.
- Cho, H.S. and Suh, S.J. (1997). "Friction Welding of Inconel 713C and SCM440", Journal of KWS, Vol 15, No 6, pp 78-84.
- Jeong, H.S. and Shinoda, T. (1997). "Fundamental and Basic Application of Friction Welding", Journal of KWS, Vol 15, No 6, pp 1-12.
- Mary, C. and Jahazi, M. (2006). "Linear Friction Welding of IN718 Process Optimization and Microstructure Evolution", Advanced Materials Research, Vols 15-17, pp 357-362.
- Oh, S.K., Kong, Y.S., Yoo, I.J. and Kim, I.S. (2000). "Creep Life Prediction for Dissimilar Friction-Welded-Joints of Turbine Impeller Heat Resisting Steels and AE Evaluation(1)-FRW and AE Evaluation", Proc. of International Offshore and Polar Eng. Conf., ISOPE, Seattle, USA, pp 203-207.