

STS304 와 SM15C 이종마찰용접재의 변형 및 파괴거동

Behavior of Deformation and Fracture

in Friction Welded Materials of STS304 and SM15C

오환섭*, 박준건**, 허민구**, 오정국***

Hwan-Sup Oh, Joon-Gun Park, Min-Goo Hur, Jung-Guk Oh

Key-word : Friction welding, Dissimilar materials,
Heat Affected zone, Necking on yeild point,
Fractography.

ABSTRACT

In this study, behavior of deformation and fracture under static tensile load in friction welded dissimilar materials, and necking phenomenon occuring at tensile yeilding point were shown. Fibrous zone with view of macroscope and dimple pattren with a view of microscope were observed at shear surface.

1. 서론

마찰압접은 피접합물의 회전 마찰운동에 의하여 발생하는 마찰열에 의하여 접합면을 급속히 가열하고 동시에 가압하여 접합면에 소성변형을 일으키며 접합하는 방법이다. 이 방법은 높은 에너지 효율, 공정의 간편성, 자동화의 용이성, 낮은 비용 등의 면에서 우수한 특징을 가지고 있다. 그러나 현재 자동차 부품 등 각종 분야의 실용부품으로 응용되고는 있으나 일반화 되지 못하고 있는 실정이다. 그 이유로서 아직 data가 적은 경우도 있으나, 이런 문제를 포함해서 압접재의 기계적 성질[1], 피로강도[2] 및 균열거동[3] 등에 대한 연구가 있으나 아직 체계적으로 충분한 해명이 되어있지 않다. 그래서 사용환경이 가혹한 조건이나 신뢰성이 요구되는 분야 등에는 아직 적용이 지연되고 있는 실정이다. 따라서 마찰압접의 특성을 유용하게 활용하기 위해서는 파괴역학적 관점에서 적극적 평가방법이 확립되어야 하고, 이것에 의한 접합이음의 강도평가와 data의 축적이 필요하게 되었다.

본 연구에서는 이상의 관점에서 마찰압접재의 파괴거동을 파괴역학적 관점에서 규명하기 위한 기초연구로서 이종접합재료의 대상으로 냉간압연한 STS304와 SM15C를 Forging압력과 시간을 중심으로 마찰압접하고 정적인장하중하에서의 변형 및 파괴거동을 검토하고자 한다.

* 경희대학교 기계공학과

** 경희대학교 대학원

*** 조선대학교 기계공학과

2. 시험편 및 실험방법

2-1. 실험재료 및 시험편

본 실험에 사용한 실험재료는 일반적으로 내열재로서 많이 사용되는 냉간압연한 STS304와 SM15C재를 선정하였고, 화학성분 및 기계적 성질을 각각 Table 1, Table 2에 표시하였다.

Table 1. Chemical composition of material

Material	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr
STS304	0.08	1.17	2.28	0.045	0.30	8.91	24.39
SM15C	0.16	0.21	0.52	0.02	0.35	0.18	0.16

Table 2. Mechanical properties of base metal

Material	Yield Strength σ_v (Mpa)	Tensile Strength σ_B (Mpa)	Elongation (%)	Reduction (%)	Vickers Hardness (200gr)
STS304	604.0017	731.6298	29.09	77.1994	257
SM15C	680.6178	701.8074	7.03	47.4376	224

마찰압접을 위한 시료의 치수는 Fig. 1과 같이 지름은 16mm의 것을 사용하고, 압접시 소성유동으로 감소되는 길이의 변화를 고려하여 길이는 STS304의 경우 105mm, SM15C의 경우 110mm로 하였으며 용접후의 길이는 약 200mm가 되도록 하였다.

마찰압접은 습식브레이크식 마찰압접기를 사용하였고, 마찰압접공정은 Fig. 2와 같다.

본 연구에서 사용한 이중압접재의 종류는 Table 3과 같은 압접조건하에서 7종류의 시료를 사용하였다. 시험편의 형상 및 치수는 KS B 14호 규격에 따랐고 Fig. 3과 같다.

2-2 실험방법

본 실험에서 사용한 시험기는 ZWICK 25ton 인장시험기를 사용하였고 시험속도는 2 mm/min로 일정하게 하였다. 경도시험은 Micro-Vickers를 사용하였고 시험시 하중 유지 시간은 15초로 하였다. 금속조직 관찰은 Nital 3%의 부식액에 의하였고 광학현미경을 사용하여 관찰하였으며 파면은 SEM에 의하였다.

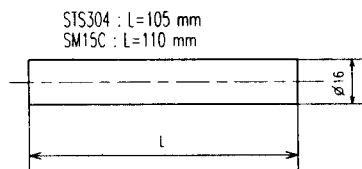


Fig. 1 Specimen for friction welding

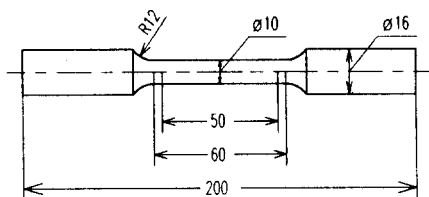


Fig. 3 Shape and dimensions of tensile test specimen

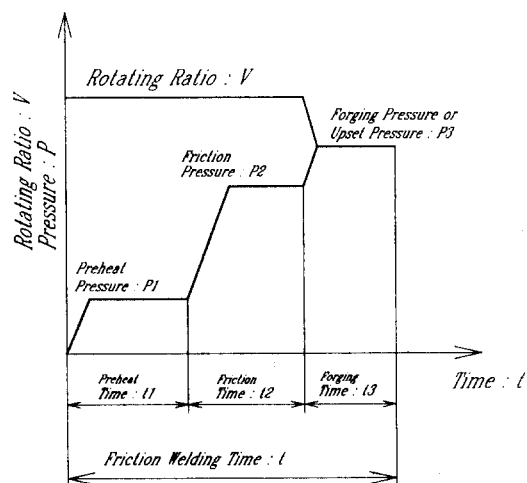


Fig. 2 Schematic illustration of friction welding process

Table 3. Conditions of friction welding

Specimen Series	Preheating Pressure P_1 (mpa)	Preheating Time t_1 (sec)	Friction Pressure P_2 (Mpa)	Friction Time t_2 (sec)	Forging Pressure P_3 (Mpa)	Forging Time t_3 (sec)
FW ₁	45	2	100	1	125	0.5
FW ₂	45	2	100	1	125	0.8
FW ₃	45	2	100	1	125	1.2
FW ₄	45	2.5	125	1.5	162.5	0.5
FW ₅	45	2.5	125	1.5	162.5	0.8
FW ₆	45	2.5	125	1.5	162.5	2
FW ₇	45	2.5	125	1.5	162.5	3

3. 실험 결과 및 고찰

3-1 접합계면주위의 금속조직 및 경도치의 거동

Fig. 4은 마찰압접재의 대표적인 금속조직을 표시한것으로서 접합계면을 중심으로 관찰한 SM15C의 금속조직을 표시한 것이고 냉간압연한 그대로 마찰압접한 것이다. (a)는 냉간압연한 모재의 Grain의 형상 및 방향을 볼수 있으며 Pearlite와 Ferrite의 분포도를 볼 수 있다. (b)는 접합계면에서 약 1mm정도에서 관찰한 것이다. 이는 열영향부에서의 조직을 관찰한 것으로 고온의 마찰열에 의하여 Pearlite의 조직이 미세화된 것을 알 수 있다. (c)는 접합계면을 중심으로 아래쪽이 SM15C재이고, 위쪽이 STS304재이며 SM15C쪽의 경우 탄화물을 포함하는 Ferrite조직이 미세화된 것을 알 수 있다.

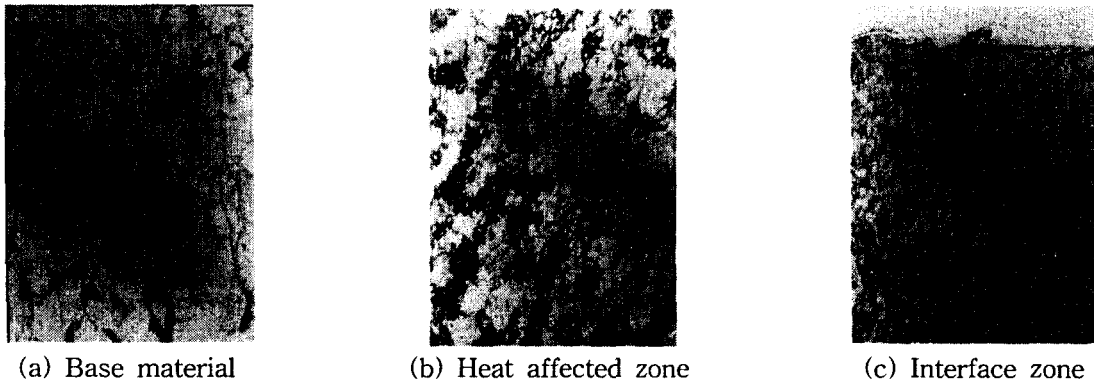


Fig. 4 Microstructure of specimen(×400)

Fig. 5는 접합계면을 중심으로 경도분포거동을 조사한 것으로서 대표적인 예로서 FW9재의 경우를 표시하였다. 경도치는 전반적으로 모재(SM15C와 STS304)에 비하여 접합부(접합계면을 포함하는 영역)가 낮으며 또, 접합부에서는 접합계면의 경도치가 가장 높고 접합계면 주위에서의 최소

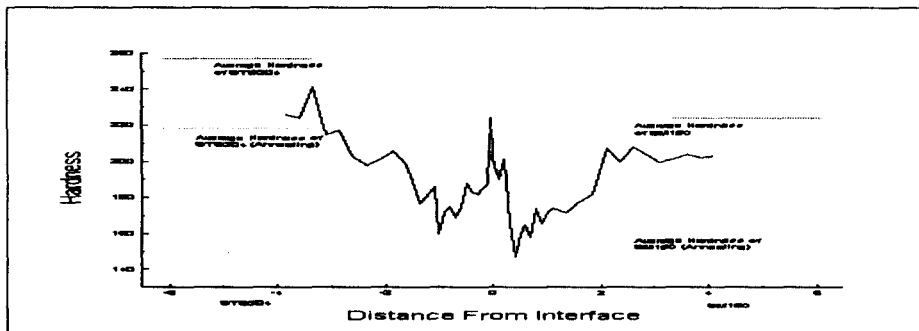


Fig. 5 Hardness distribution of friction welded specimen by micro hardness for 200gr.

경도치를 보이고 있다. 최소경도치가 나타내는 위치는 접합계면을 중심으로 SM15C인 경우 0.4~0.5mm, STS304의 경우 1mm정도이며 SM15C의 쪽이 STS304에 비하여 경도치가 낮고 급격히 저하하였다가 점차 증가하는 경향을 보이고 있다.

3-2. 인장하중하에서의 변형 및 파괴거동

3-2-1 P- δ curve의 특성

Fig. 6의 (a), (b)는 마찰압접에서 가장 중요한 Forging Pressure와 Forging Time을 각각 변화하였을때의 예를 표시한 것이다. 어느 경우나 P- δ 선도의 모양은 유사하고 상·하항복점이 분명히 나타나지는 않으나 탄성영역과 소성영역의 거동은 변곡점을 기준으로 구분할 수 있는 정도이다. 그러나 Fig. 6의 (a), (b)와 (c)를 비교하면 소성영역(항복하중에서 최대하중 사이의 영역)을 비교하면 크게 다르다. 즉, 마찰압접재의 소성영역은 모재의 경우 소성영역이 작는데 비하여 크고, 소성불안정영역은 모재의 경우 큰데 비하여 짧게 나타나고 있다. 이는 접합계면을 중심으로한 접합영역이 변형 및 파괴거동에 밀접한 관계가 있음을 시사한다고 생각한다.

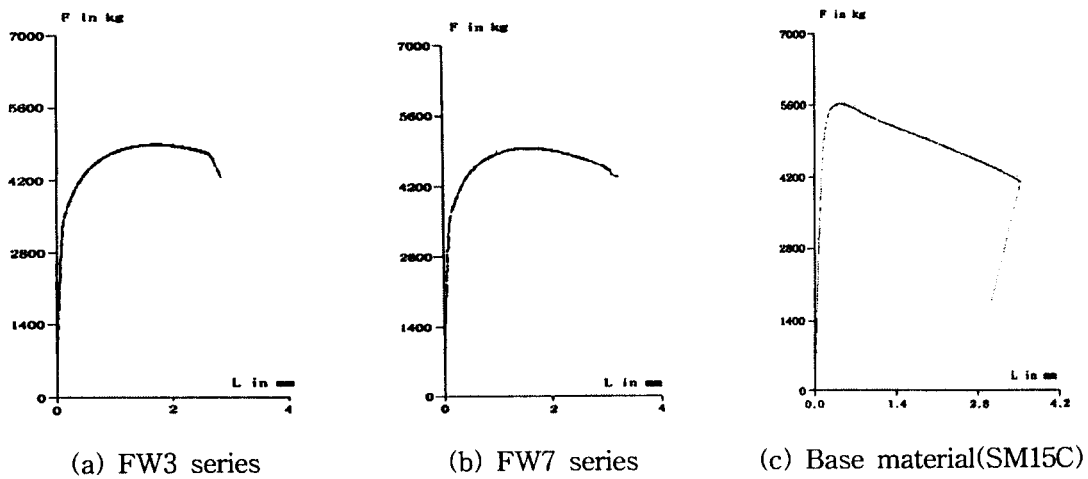


Fig. 6 Typical illustration of load-deflection curve

3-2-2 항복점에서의 Necking

Fig. 7은 마찰압접재의 변형거동을 조사한 것으로서 공통적 변형 특징을 시험과정에서 관찰한 예를 표시한 것이다.

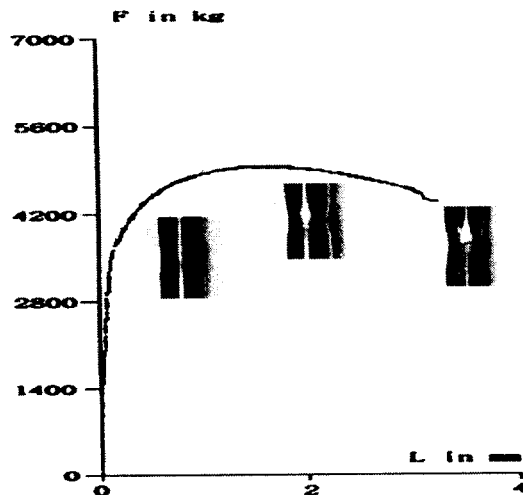
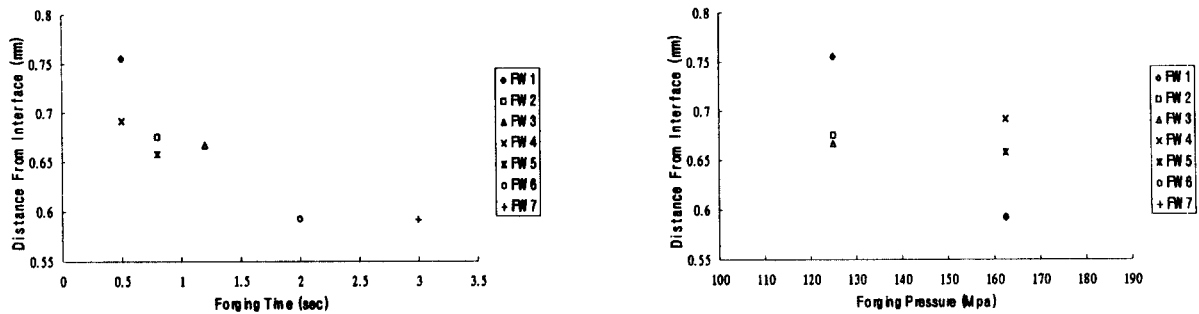


Fig. 7 Behavior of deformation on load-deflection curve

일반적으로 변형거동은 소성영역의 구간에서는 유효표점길이 내에서는 전단면에 대해서 일정하고 최대인장하중하에서 Necking이 발생하기 시작하여 이 부분에서 파단된다고 알려져 있다. 그러나 마찰압접재에 대한 본 연구의 경우 인장하중 하에서의 변형거동은 Fig. 7과 같이 분명히 항복하중점 즉, 탄소성천이점인 변곡점에서 Neck이 발생하여 최대인장하중점까지는 점차 단면적이 감소하여 최소지름에 이르고 최대하중에서 파단점까지는 접합계면을 중심으로 최소지름을 유지한 채 SM15C과 STS304의 양방향으로 시험편길이방향으로 신연이 되어 파단된다. 이러한 항복점에서의 Necking현상은 지금까지 타 연구결과에서 찾아볼수 없으며 마찰압접재의 설계에 새로운 시사점을 주는 것으로 사료된다.

3-2-3 파단면의 위치

Fig. 8의 (a)는 Forging압력에 따라서 (b)는 Forging시간에 따라서 접합계면에서 파단면까지의 거리를 표시한 것이다. 여기서 알수있듯이 Forging압력이 높을수록, Forging시간이 길수록 파단위



(a) Distance from welding interface to fracture line by forging time

(b) Distance from welding interface to fracture line by forging pressure

Fig. 8 Behavior of distance of fracture line by friction welding condition

치는 계면에 가깝게 된다. 또, 파단위치는 Fig. 7의 계면에서 파단점까지의 거리는 인장파단후 이므로 인장하중에 의한 변형을 고려하면 Fig. 5의 최소경도치를 나타내는 점과 일치한다고 생각한다.

3-3 파면 특성

Fig. 9는 마찰압접재의 파면특성을 SEM에 의하여 관찰한 예를 표시한 것이다.

일반적으로 STS304와 SM15C의 경우 거시적 파단특성은 Cup and Cone의 형태를 갖지만 마찰압접재의 계면파괴는 취성파괴특성을 갖는다고 볼 수 있다. 그러나, 미시적파면특성은 파단면 전 영역에서 Dimple형의 특성을 나타내고있고 원주 가장자리(Necking 표면)에서도 일반적인 Cup and Cone형태에서 관찰되는 Shear lip zone은 거의 나타나지 않고 Fibrous zone만이 관찰됨을 알 수 있다.

4. 결론

STS304재와 SM15C재를 Forging압력과 시간을 변화해 가며 마찰압접하고, 정적인장하중하에서 접합계면과 그것을 포함하는 주위의 변형 및 파괴거동의 특성을 검토하고 그 결과 중요한 내용을 요약하면 다음과 같다.

- 1) 일반적인 경우 최대하중점에서 Necking이 생기는 것에 비하여 마찰압접재의 경우 항복점에서 Necking이 발생하는 특성이 있다. 또, Neck부의 지름은 최소가 되고 하중이 작용하고 길이방향으로 신연되어 파단된다.
- 2) 파면특성은 거시적으로 취성파괴의 특성을 나타내고 전파면은 Fibrous zone을 형성한다. 또,

전파면에서의 Dimple pattern이 나타나고 있다.

3) 마찰압접재의 경우 파단위치는 접합계면 주위에서 최소경도치를 갖고 SM15C의 열영향부에서 파단된다.

4) 열영향부내에서 경도치는 접합계면에서 최대치를 나타내고, 계면에서 멀어짐에 따라 급격히 감소하였다가 서서히 모재의 경도로 회복된다.

5) 이종마찰압접재의 경우 항복점에서 Necking이 생기는 것은 특이한 현상이며 추후 타경우에 대하여 검토할 필요가 있다.

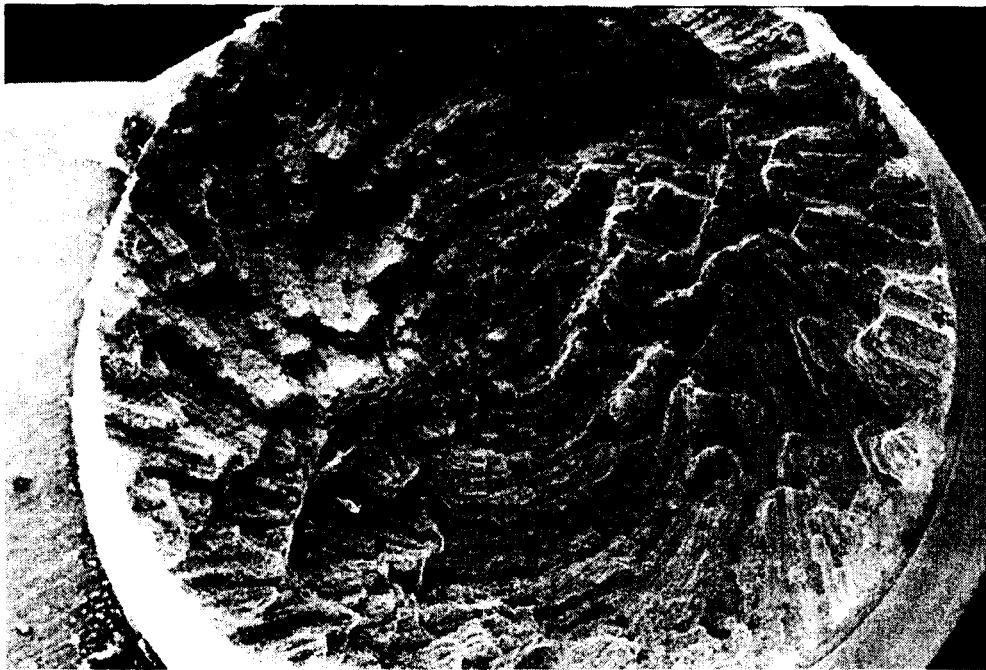


Fig. 9 Fractography of fracture under static tensile strength($\times 14$)

마찰압접에 도움을 주신 신진정밀 이환식 공장장님께 감사드립니다.

참고문헌

- [1] K. OKITA, Y. FUKUCHI, M. ARITOSHI, H. NAKAYAMA, K. ITOGA, "Resistance to Fracture of Friction Welded Joints", J. of Metals, Vol. 39, No. 445, p. 1431~1437. 1990.
- [2] K. OKITA, Y. FUKUCHI, M. ARITOSHI, "Fatigue Crack Growth Behavior in Friction Welded Batt Jionts of Freecutting Stainless Steel", J. of Metals, Vo. 1.38, No. 432, p. 1035~1039
- [3] 박명과, "마찰압접한 이종구조용강의 강도 및 피로파괴거동에 대한 연구", 경희대학교 박사학위 논문, 1987.