

STS304 스테인리스강과 SM25C 탄소강의 摩擦容接 特性에 관한 연구

A Study on The Friction Welding Properties of SM25C Steel and STS304 Stainless Steel

길남규*, 민택기*, 윤병수**

*충남대학교 기계공학과 **우송공업대학 기계과

1. 서론

일반적으로 STS304 오스테나이트 스테인리스강은 탄소강 또는 저합금강보다 열팽창계수가 크므로 용접 및 가동 중에 열사이클에 의한 열피로(Heat fatigue) 또는 급격한 온도변화에 의하여 열충격 등이 발생하여 파괴되는 경우가 있고, 탄화물이 결정입계에 석출되어 입계부식에 의한 균열현상이 생기지만 가공성이 좋고 높은 내식성과 내산성 지니고 있어 여러 분야에서 광범위하게 활용되고 있다. 탄소강의 경우도 가공변형이 쉽고, 기계적성질이 우수하며, 비교적 저가이므로 많이 쓰이고 있는 재료이다. 마찰용접은 이러한 이종재료를 접합하기 위한 수단으로 널리 이용되고 있다. 접합시 금속간 화합물의 형성을 억제하기 때문에 용접하기 어려운 이종금속 간의 접합을 훌륭히 할 수 있게 하고,¹⁾ 용접시 용접 변수를 적절히 조절함으로써 각 재료의 장점을 살린 매우 우수한 기계적 성질을 얻을 수 있어 용접품질에 대한 신뢰성이 높아 기계구조물의 안정성, 강도 및 경제적인 측면에서 많이 사용되어 왔다.

따라서, 본 연구에서는 기계적 성질이 우수하고 값이 저렴한 SM25C 탄소강과 내식성 및 고온 강도가 좋은 STS304 오스테나이트 스테인리스 봉재를 마찰용접하여 용접부에 대한 접합특성 및 신뢰성을 고찰하고자 하였고, 이를 위하여 마찰시간을 주요 변수로 하여 용접부에 대한 인장시험, 현미경 조직분석, 경도시험등을 실시하였다.

2. 실험재료

본 실험에 사용된 재료는 STS304 오스테나이트 스테인리스강과 저탄소강인 SM25C 탄소강이다. 두 재료 모두 직경 20mm, 길이 100mm의 환봉 형태로서 용접 이전에 모든 시험편의 용접면을 선삭가공하였고, 기름과 같은 이물질의 영향을 최대한 배제하기 위하여 용접면을 아세톤으로 세척하였다. 이들 재료의 화학조성은 Table 1에 나타내었다.

Table 1. Chemical Composition of Materials (Wt. %)

Elements Materials	C	Si	Mn	Cr	P	Ni	S	Fe
SM25C	0.24	0.25	0.50	-	0.03	-	0.03	Bal.
STS304	0.08	0.8	2.2	18.8	-	9.4	-	Bal.

3. 실험방법

본 실험에서는 브레이크 타입의 마찰용접기를 사용하였으며, 그 제어방식으로는 용접부의 강도를 향상시킬 수 있는 시간규제법을 활용하였고, 마찰시간을 주요 변수로 하여 실험을 실시하였다.

Table 2은 마찰용접조건을 나타내었다.

Table 2 Friction Welding Conditions

Spindle revolution (N)	2000 rpm	Preliminary friction time (t ₀)	0.5 sec
Friction pressure (P ₁)	50 MPa	Upset pressure (P ₂)	138 MPa
Friction time (t ₁)	0.6 ~ 1.6 sec	Upset time (t ₂)	3.0 sec

SM25C 탄소강 환봉과 STS304 오스테나이트 스테인리스강 환봉 접합부의 인장강도(Tensile strength) 및 인장파단면을 관찰하기 위하여 STS304 오스테나이트 스테인리스강 환봉을 만능재료시험기 상부 클램프에 고정시키고, SM25C 탄소강 환봉을 하부 클램프에 고정시켜 인장시험을 실시하였다. 경도 시험은 시험편의 중심에서 원주부 방향으로 5mm 떨어진 위치(R/2지점)에서 용접 계면에 수직인 방향으로 200g의 하중을 주어 실시하였으며, 용접부의 현미경조직을 관찰하기 위하여 시험편을 전해부식(Electrolytic corrosion)시켰다. 시험편의 부식 방법으로는 전해부식 장치를 활용하였으며, 전해액으로 CrO₃ 10g과 H₂O 100ml를 혼합한 다음, 여기에 DC 6V전압과, 0.2A의 전류를 가하여 10초 동안 부식시켰다.²⁾ 또한, 경도시험과 현미경 조직검사를 위한 시험편은 폴리코트(Ploycoat)로 마운팅한 다음 용접 단면을 #200, #800, #1500의 샌드페이퍼로 1차 연마한 후 2차 연마재로 입경 1 μ m의 알루미나 파우더를 증류수와 혼합하여 사용하였고, 그라인드 폴리셔(Model 95-2810)로 폴리싱하였다.

4. 실험결과 및 고찰

4.1 마찰용접부의 인장시험

Fig. 1은 회전수 2,000rpm, 마찰압력 50MPa, 업셋압력 138MPa, 업셋시간 3.0초에서의 마찰시간 0.6초에서 1.6초까지 0.2초 간격으로 변화시켜 마찰용접을 하였다.

Fig. 1에서 보는것처럼 마찰시간이 0.6초로 짧았을 경우에는 충분한 발열이 발생되지 않아 그에 따른 소성유동이 상대적으로 미흡하여 업셋과정시 가압력이 충분히 작용하지 못하여 접합력이 떨어진 것으로 사료된다. 그리고 마찰시간이 증가하면서 1.2초때를 정점으로하여 감소하는 추세를 보이고 있는데 이는 마찰압력(50MPa)이 짧았을 때와는 반대의 현상으로 설명할 수 있는데, 마찰과정 후 초기의 업셋과정에서 과다한 발열에 의해서 재료의 소성유동이 커져 업셋압력이 재료에 충분히 가해지지 못해기 때문이다. 또한 업셋과정 중반이후에는 과대한 플래시 배출로 인하여 새롭게 드러나는 모재가 열량이 적어 상대적으로 적은 소성유동이 기인하여 접합이 제대로 이루어지지 않은 것으로 여겨진다.

4.2 접합부의 현미경 금속조직

Photo 1은 최적조건에서 마찰용접한 시험편의 모재부, 용접계면과 HAZ부를 나타내는 현미경조직으로서 중심축으로부터 원주방향으로 5mm 떨어진 곳(R/2지점)을 100배율로 관찰한 것이다.

Photo 1(a)은 STS304 오스테나이트 스테인리스강의 모재부로 등축 오스테나이트 결정립과 풀림 쌍정(annealed twin)으로 구성되어 있고, Photo 1(b), (d)은 열영향부(HAZ) 부분이며 마찰용접시에 발생하는 가열 및 냉각의 열영향에 의하여 모재의 결정립이 미세화된 상태이다. 그리고, Photo 1에서 SM25C 탄소강 모재의 결정립이 접합부로 갈수록 미세화 되어가는 조직((e)→(f)→(g))을 나타내고 있다. 여기서 Photo 1(b)부분은 접합면과 근접한 부분으로서 마찰열과 압력에 의해서 변화된 용체화처리³⁾(Solid solution treatment)와 비슷한 상태를 이루고 있다. Photo 1(e)은 SM25C 탄소강의 모재를 나타내고 있으며 여기서 검은색 부분은 펄라이트(Pearlite)이며 주위의 흰 부분(白色)은 페라이트(Ferrite)를 보여준다. Photo 1(c)은 STS304 스테인리스강과 SM25C 탄소강의 접합면을 관찰한 사진이다. 먼저, STS304 스테인리스강이 SM25C 탄소강과 비교하여 고온강도가 높고 열전도가 낮은 등의 물리적 성질⁴⁾의 차이에 의하여, STS304 스테인리스강 쪽의 플래시(Flash)는 SM25C 탄소강 쪽의 플래시보다 작게 나타났다.

Photo 1(e)에서 보는바와 같이 SM25C 탄소강은 인발된 봉재로서 페라이트(Ferrite)와 펄라이트(Pearlite)가 층상(層狀)조직을 이루고 있으며, 축방향으로 방향성을 지니고 있다. 또한, Photo 1(b), (d)에서 보는바와 같이 열영향부의 폭이 STS304 스테인리스강 봉재에 비해 매우 넓으며, 모재에서 열영향부로 갈수록 탄소의 확산이동에 의해 페라이트(Ferrite)와 펄라이트(Pearlite) 조직이 점차 미세화되었고, 모재에서 층상(層狀)구조의 형태로 나타난 조직들은 접합부 근처에서 유동라인들을 형성하면서 원주방향으로 방향이 바뀌었다. 이러한 유동방향의 급격한 변화는 이 영역내의 온도 기울기가 비교적 급하다는 것을 보여주며 이러한 소성영역에서의 유동은 모재 금속 방향에 수직으로 형성되고 금속간 혼합물의 재배열을 가져오며 용접계면에 평행하고 바깥 방향으로 방사상으로 나타난

다.⁵⁾ 따라서, 시험편의 중심에서 바깥쪽으로 나가는 소성유동 영역은 외주부에 가까울수록 점차 넓어지고 결국 플래시 형태로 배출되는데 그 폭은 중심에서 바깥으로 가면서 비례적으로 증가한다.⁶⁾

STS304 오스테나이트 스테인리스강의 모재 및 열영향부(HAZ)의 조직은 Photo 1(e)에 나타난 바와 같이 길이 방향으로 방향성을 지니고 있는 봉재로서 접합시 SM25C 탄소강의 방향과 직각을 이루며 접합되므로 접합 특성상 SM25C 탄소강의 부분에서 소성유동이 활발하게 이루어지고 STS304 측에서는 분자의 운동이 활발하게 되지 않는다. 따라서 열영향부 폭이 매우 좁고 용접계면으로 갈수록 조직이 치밀해졌다.

Photo 1(c)은 마찰용접 후 접합면을 나타낸 사진으로서, 열영향부 및 용접계면을 살펴보면 이종재료의 계면에 나타나는 전형적인 검은색 띠(Band)를 볼 수 있는데 이것은 마찰용접시 용접계면에서 생기는 전형적인 형태로서 소성변형으로 인해 미세화된 결정입자들이 확산되어 생성된 혼합층(Mixed layer)으로⁷⁾ 접촉영역에서 축압력에 의한 원주방향과 토크에 의한 접선방향으로 고온의 금속 이동을 수반하면서 양방향에서 복합적인 작용에 의해 형성된 소성변형층으로 볼 수 있다. 이 때 STS304 오스테나이트 스테인리스강은 고온으로 인하여 풀립효과와 같은 현상을 일으켜 연화될 것으로 사료된다.

4.3 접합부의 경도분포

Fig. 2은 회전수 2,000rpm, 마찰압력 50MPa, 마찰시간 1.2초, 업셋압력 138MPa, 업셋시간 3.0초의 최적조건에서 중심부와 R/2(5mm)부분을 용접계면에서 수직방향으로 측정하여 나타난 경도 분포를 보여준다.

경도 분포의 특징을 살펴보면 용접계면과 그 근처에서 경도가 크게 상승한 것을 알 수 있다. SM25C 탄소강의 경우 용접계면으로부터 3mm이내에서 중심부, R/2부분 모두, 용접계면의 비커스 경도는 모재 경도 198Hv에 비해 273, 282Hv로 가장 높았다. 이러한 용접계면에서의 경도상승 원인은 높은 업셋압력(138MPa)으로 인하여 마찰면이 활성화 되면서 표면층의 화학적 성질이 변화하게 되었고, 이 때 소성변형이 진행됨에 따라 결정입자가 변형되면서 가공 경화되어 조직이 미세화되었기 때문으로 보여진다. 이 부분은 조직사진으로도 관찰되었다.(Photo 1)

STS304 오스테나이트 스테인리스강의 경우 열영향부에서 경도가 떨어졌으며, 그 이후 부분(용접계면에 인접한 영역)에서는 경도가 상승하여 모재보다 낮은 경도값을 보이고 있다. 여기서 경도가 저하되는 현상은 마찰열에 의한 결정립의 미세화³⁾ 때문이라고 생각된다. 경도 저하부는 마찰시 발열량에 의한 용체화처리의 효과로 인하여 석출된 탄화물이 재고용되어 순수한 오스테나이트 조직으로 형성¹³⁾되어 있다. 순수한 오스테나이트 조직은 내식성이 우수하기 때문에 모재에 비해 적게 생긴 것이 조직사진에서 확인 되었고, 반면에 경도가 저하되는 부분은 경도 분포에서 약 1.2mm부분으로 확인 되었다.

5. 결 론

본 연구에서는 SM25C 탄소강 봉재와 STS304 오스테나이트 스테인리스강 봉재를 회전수 2000rpm, 마찰압력 50MPa, 업셋압력 138MPa로 고정하고 마찰시간을 변수로 마찰용접하여 용접부의 인장강도, 현미경 조직, 경도시험등을 관찰한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 인장시험한 결과 마찰시간이 1.2초일 때 모재 인장강도(SM25C 탄소강) 560MPa보다 약 128%에 해당하는 714MPa를 얻을 수 있었다.
2. 접합부에서 조직과 경도를 기준으로 평가한 열영향부(HAZ)의 넓이는 STS304 오스테나이트 스테인리스강은 1.2mm, SM25C 탄소강은 3.0mm이었다. SM25C 탄소강의 경도 분포는 최고 경도를 보이는 접합면으로부터 점차로 감소하는 형태를 보이는 반면 STS304 오스테나이트 스테인리스강은 1mm범위내에서 급격한 경도 저하를 보이다가 모재보다 낮은 경도 분포를 나타내었다.
3. 용접계면에서는 미세한 입자들로 이루어진 혼합층이 형성되었고, SM25C 열영향부는 바깥 외주 방향으로 유동라인을 형성하면 그 폭이 넓어졌다.

6. 참고문헌

1. Yu. D. Potapov et al, "Scope for Temperature Regulation in the Friction Welding of Dissimilar Materials", Svar. Proiw, No. 2, pp. 1~3, 1971.
2. Metal Handbook, Vol. 8, 8th Edition, *American Society for Metals*, pp. 97~99.
3. 오세욱외 3인, "SM40C와 STS304 이종재료 마찰용접재의 파단특성 및 크랙전파특성의 연구", 대한용접학회지, 제10권, 제4호, pp. 230~239. 1992.
4. 송삼홍, 박명과, "이종강의 마찰용접시 압접시간 변화에 따른 강도 거동", 대한 기계학회논문집, 제11권, 제5호, pp. 762~771, 1987.
5. Lippold J. C. Odegard B. C. "Microstructural Evolution during Inertia Friction Welding of Austenitic Stainless Steels", *Welding Research Supplement*, January, pp. 35~38, 1984.
6. S. A. Seregin, A. S. Seregin and V. P. Sabantsev, "The Degree of Plastic Strain in the Friction Welding of Metals", *Welding Production*, 23(8), pp. 42~44, 1976.
7. Yashan D. Tsang S., Johns W. L. and Doughty M. W., "Inertia Friction Welding of 1100 Aluminum to Type 316 Stainless Steel", *Welding Journal*, August, pp. 27~37, 1987.

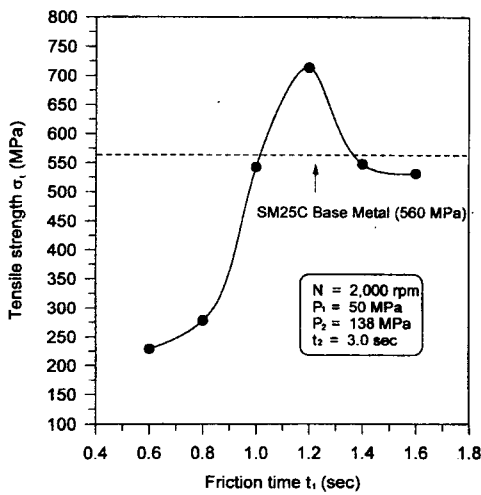


Fig. 1 Relationships between friction time and tensile strength

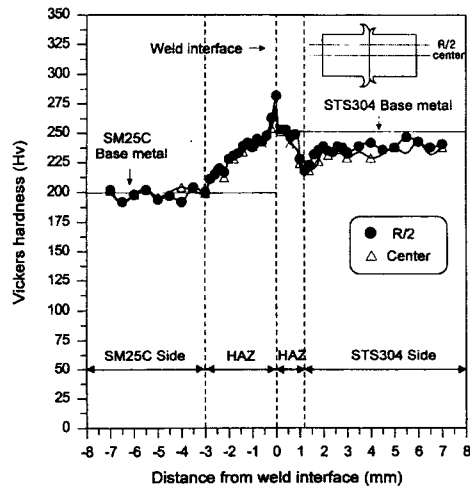


Fig. 2 Hardness distributions of friction welded joint

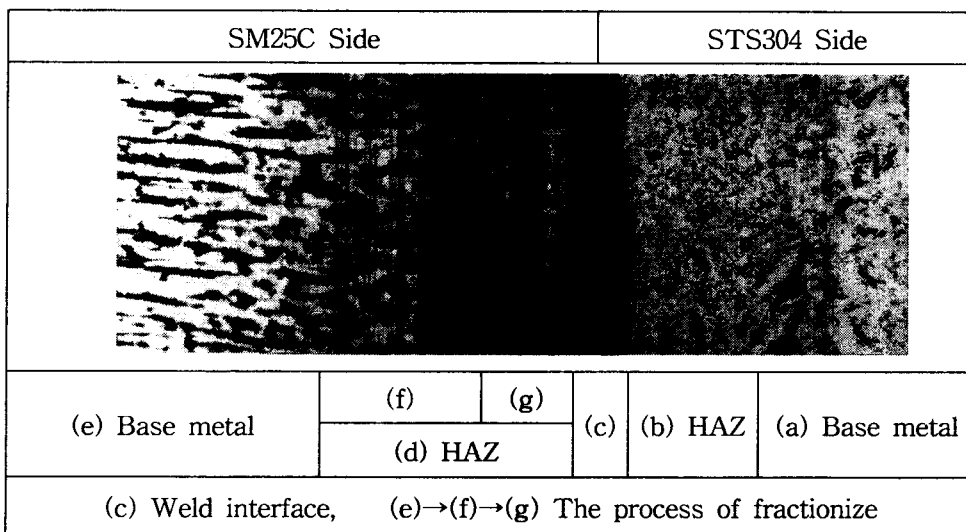


Photo 1 Microstructure in friction weld of SM25C and STS304 (Mag.100)