

## 저탄소강의 마찰 점용접 특성에 관한 연구

### A study on the friction spot welding property of low carbon steel

이 창용\*, 이재홍\*, 최돈현\*, 이원배\*\*, 언 윤모\*\*\*, 박현성\*\*\*\*, 정 승부\*

\* 성균관대학교 신소재공학과

\*\* (주)POSCO 기술연구소

\*\*\* 수원과학대학 자동화시스템과

\*\*\*\* 기아자동차 (주) 차체생기팀

### 1. 서 론

현재 자동차 업계에서는 자동차용 강판접합을 위해 주로 저항 점용접 방식을 사용하고 있고, 자동차 한대 제작을 위해 약 3000 포인트의 점용접부가 필요하다는 통계가 보고 된 바 있다. 하지만 자동차의 품질을 향상시키는 여러 가지 변화로 인해 비강도가 높은 새로운 강판이나 도금강판, 혹은 알루미늄 판재가 적용되게 되었고, 그에 따라 새로운 접합법의 도입도 필요하게 되었다.

마찰점용접(Spot Friction Welding)은 기존의 마찰교반접합(Friction Stir Welding) 방식의 변형으로서 재료의 용융 없이 겹치기 점용접이 가능하여 최근 자동차 산업계에서 특히 주목받고 있는 새로운 접합 방법이다. 접합부에서 재료의 용융이 발생하지 않으므로 기존의 마찰교반접합이 지니는 고유한 장점을 그대로 지니며, 비교적 적은 에너지를 사용하여 최고의 특성을 나타낸다는 점에서 그 사용영역이 확장 되고 있다. 1991년 영국 용접연구소(TWI)에서 개발된 이후로 마찰교반접합법은 알루미늄 합금 등 주로 저용점 금속에 적용되어 개발이 진행되었다. 하지만 최근 몇 년간 steel에 적용한 연구결과가 발표되고 있고, 이러한 동향은 마찰점용접에도 그대로 이

어지고 있다. 마찰점용접법을 이용하여 steel과 같은 강한 재료를 접합하기 위해서는 내구성이 갖추어진 틀, 틀과 피접합재의 마찰시 발생하는 열을 냉각시키는 방법 등 해결해야할 몇 가지 과제가 있지만 경제적 측면이나 접합부의 우수한 특성 등을 고려할 때 그 적용 및 발전 가능성이 매우 높다고 예측할 수 있다.

본 연구에서는 마찰점용접법을 이용하여 저탄소강의 접합을 실시하였고, 틀의 삽입깊이에 따라서 접합부의 특성을 평가하였다. 또한 인장강도, 미세경도 등의 기계적 특성과 접합부의 미세조직과의 관계를 조사하였다.

### 2. 실험 방법

본 실험에 사용된 재료는 탄소함량 0.03%의 저탄소강이고 강도 30kg·f/cm<sup>2</sup> 이하의 연강이다. 자세한 화학조성을 표 1에 나타내었다.

Table 1. Chemical composition of Fe alloy used in this study

Elements	C	Si	Mn	P	S	Fe
wt%	0.03	0.005	0.096	0.123	0.06	Bal.

재료는 100mm × 30 mm의 크기, 0.6 mm 두께

의 판재로 가공되었으며, 겹치기 점 용접을 실시하기 위해 약 30mm 겹치도록 위치시키고, 크램프를 이용하여 단단히 고정 시킨 후 접합을 실시하였다. 톨의 회전속도는 2500rpm, 삽입속도는 10mm/min., 톨 제거 속도는 60mm/min., 삽입 후 유지시간은 2초로 하였으며, 톨의 경사각은 0°로 하였다. 톨의 삽입깊이에 따른 접합 특성을 조사하기 위해 0.18, 0.24, 0.3, 0.36mm 로 삽입 깊이를 변화시키면서 특성을 관찰하였다. 접합을 위해 사용된 톨은 초경합금을 이용하여 제작하였고, shoulder 부 직경 12.5mm, 하단에 직경 5mm, 높이 0.5mm의 원형돌기가 형성되어 있는 형태이다.

접합 후 광학현미경(OM:Optical Microscope)과 주사전자현미경 (SEM: Scanning Electron Microscope)을 사용하여 모재와 접합부의 미세조직을 관찰하였다. 용접부 내의 상 분석을 위하여 EDS(Energy Dispersive Spectroscopy)를 사용하였다.

접합부의 기계적 특성을 알아보기 위하여 접합 시편 단면의 경도를 측정하였다. 이 때 하중은 100gf, 측정시간은 10초로 하였다. 또한 접합부의 인장특성을 측정하고자 인장전단시험을 실시하였고 cross head speed는 1mm/min.으로 하였다.

### 3. 실험 결과

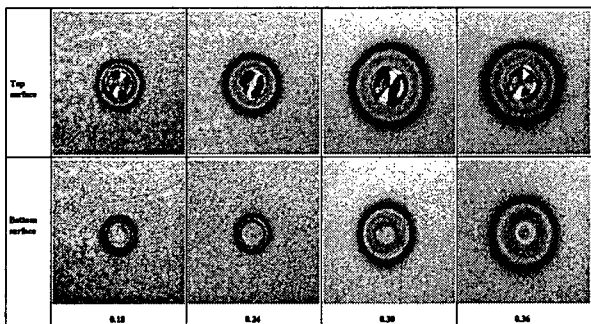


Fig. 1 External shape after spot friction welding with pin insertion depth

Fig. 1에 접합 후 외관을 관찰한 macro image를 나타내었다. 앞면과 뒷면 모두 접합부 주위에서 재료의 변색이 관찰 되었고 원형 변색부위의 크기는 톨 삽입 깊이가 깊어질수록 증가하는 것을 확인 할 수 있었다. 이것은 삽입 깊이가 증가함에 따라 접합부에서 발생하는 마찰열의 양도 비례하여 증가하기 때문으로 생각된다. Fig. 1에

서 관찰되는 바와 같이 본 실험에 적용된 삽입 깊이가 즉 0.18~0.36mm 범위 내에서는 접합부 주위에 재료 고유의 색상이 변한 것 이외에는 결함이 발생하지 않는 것을 확인 할 수 있었다.

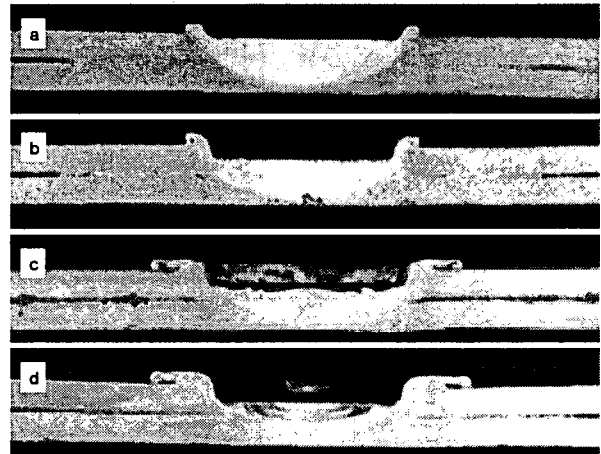


Fig. 2 Cross-sectional macro image of spot friction weld joint with pin insertion depth  
a) 0.18 b) 0.24 c) 0.3 d) 0.36 (mm)

접합 후 내부의 결함과 조직분포를 알아보기 위해 단면을 관찰하였고, 마크로 조직사진을 Fig. 2에 나타내었다. 단면 마크로 조직에서도 삽입된 톨의 깊이가 증가하는 것을 잘 관찰할 수 있었고, 깊이 증가에 따라 발생하는 burr의 양도 증가하는 것이 관찰되었다. 또한 접합부 중심에 주변에 비해 밝은 색을 나타내는 nugget 부위가 관찰되었고, 삽입 깊이가 가장 낮은 0.18mm에서도 상판과 하판 사이에 미 접합부 없이 네 가지 조건에서 공통적으로 양호한 접합이 이루어진 것을 확인할 수 있었다.

접합부 각 영역의 결정립 크기 및 형태를 관찰하기 위해 광학현미경을 이용하여 관찰한 미세조직을 Fig. 3에 나타내었다. Fig. 2-b는 접합에 영향을 받지 않은 모재(base metal)로서 장방형의 페라이트 조직이 관찰되었다. Fig. 2-c는 접합부에서 약 10mm 이내의 주변부에서 관찰된 열영향부 조직을 나타내었다. 모재에 비해 세로축의 길이가 다소 증가한 형태의 결정립이 관찰되었고, 결정립계가 더욱 뚜렷해진 것을 관찰할 수 있었다. Fig. 2-d는 톨 회전시 직접적으로 기계적 영향을 받은 영역과 열영향부의 경계로서 톨의 회전에 의해 연신된 결정립이 관찰되었고 결정립의 크기도 매우 불규칙한 것을 알 수 있다. Fig. 2-e는 접합 시 회전하는 톨의 핀과 접촉하는 부

분으로서 결정립이 모재에 비해 매우 미세한 것을 관찰할 수 있었고, 그 크기는 1 $\mu$ m 이하인 것으로 예측되었다.

이 이상의 틀 삽입에서는 오히려 상판 두께의 감소가 발생하므로 인장전단 하중에 해로운 영향을 미치는 것으로 추정된다.

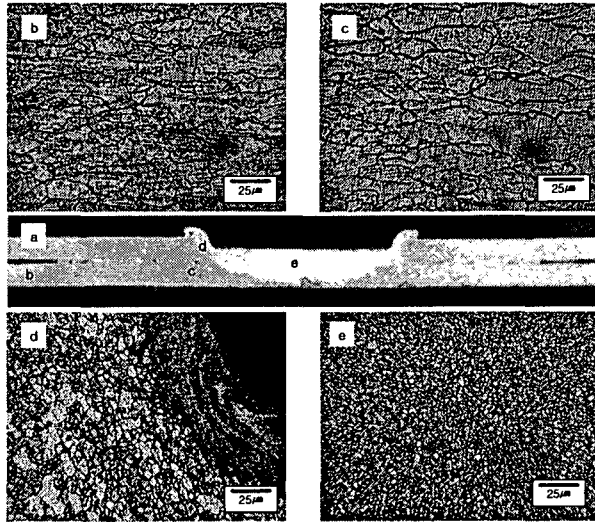


Fig. 3 Microstructures of spot friction welded low carbon steel at the pin insertion depth of 0.24 mm and duration time of 2 sec

- a) transverse cross section
- b) base metal
- c) heat affected zone
- d) transition zone
- e) thermally and mechanically affected zone

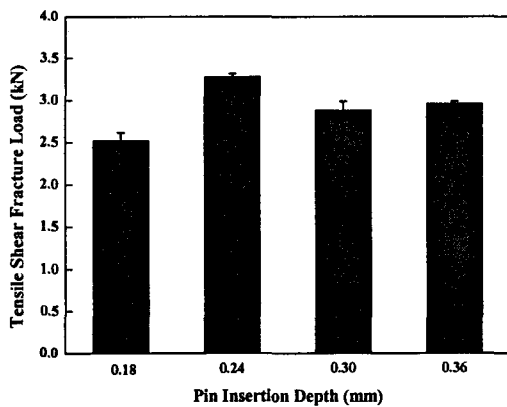


Fig. 4 Tensile shear fracture load with pin insertion depth

삽입 깊이에 따른 인장전단결과를 Fig. 4에 나타내었다. 겹치기 접합의 특성상 접합부의 명확한 면적 측정이 어려운 관계로 인해 파단시의 최고 하중값으로 결과를 표시하였다. 그래프에서 확인할 수 있는 바와 같이 삽입깊이 0.24mm 조건에서 가장 높은 값이 측정되었다. 삽입 깊이가 얇을 경우 상판과 하판간의 원자 확산이 충분히 일어나기 어렵고, 일정 깊

#### 4. 결 론

마찰점용접을 이용한 저탄소강의 접합 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 상부 및 하부에서 공통적으로 접합부 주변에 변색이 발생했고, 틀 삽입깊이가 증가함에 따라 변색부위의 크기가 증가했다.
- 2) 단면 조직 관찰결과 모재, 열영향부, 열 및 기계적 영향부 등 영역별로 뚜렷한 결정립 변화가 관찰되었고, nugget 중심에서는 1 $\mu$ m이하의 매우 미세한 결정립이 관찰되었다.
- 3) 인장전단 시험 결과 0.24mm 삽입한 경우 가장 높은 파단하중값을 나타냈고, 이것은 상판 두께 및 접합부 형성을 위한 충분한 원자 확산 시간과 관련이 있는 것으로 나타났다.

#### 참 고 문 헌

1. 연윤모, 이원배, 이창용, 정승부, 송건 : 마찰교반점용접한 A5052 알루미늄 합금판재의 접합부 특성, 대한용접학회지, 24-1 (2006) 71-76
2. Z.Feng, M.L.Santella, S.A.David, R.J.Steel, S.M.Packer, T.Pan, M.Kuo, R.S.Bhatnagar : Friction Stir Spot Welding of advanced high-strength steels - a feasibility study, FSW symposium (2005)
3. K.Aota, K. Ikeuti : Spot friction stir welding for low carbon steel, 日本 鋸接學會 全國大會 講演概要 (2005) 176-177
4. 연윤모, 이창용, 이원배, 정승부, 장웅성 : 마찰교반점용접기술 및 Al 접합부 특성, 대한용접학회지, 23-3 (2005) 228-232