

탄소강 FSW 용접부의 미세조직 및 기계적 성질

Microstructures and mechanical properties of friction stir welded carbon steel

최기용* 장웅성* 권영각* 김숙환*

* 포항산업과학연구원 용접센터

1. 서 언

Friction Stir Welding(이하 FSW)은 최근에 상당한 각광을 받고있는 새로운 용접공정이다. 이 용접 process는 금속은 물론 알루미늄을 비롯하여 동, 마그네슘, 아연 및 납 등의 경금속재료, 이들 간의 이종금속 조합 및 주물재료와 플라스틱 등 적용분야가 넓다. 그러나 현재 FSW는 접합기술 개발수요가 높은 알루미늄합금들을 중심으로 응용연구가 활발히 진행되어 왔다. 최근에는 철강 재료 용접기술에 FSW의 적용이 영국 및 미국 등의 선진국에서 진행되고 있다. TWI에서는 최근 판두께 25mm의 일반강을 100~240mm/min의 속도로 양면접합하고 판두께 12mm의 12%Cr강을 1층 접합하여 건전한 접합부가 얻어짐을 보고한 바 있다. 이와 같이 Al합금 이외에 steel에 FSW의 적용이 최근 중요하게 부각되고 있다. 그 이유는 FSW가 기존 용융용접에 비하여 다양한 장점을 가지고 있기 때문이다. 기존의 용융용접에 비해 FSW는 입열량이 아주 낮기 때문에 steel 용접시 HAZ에서 야극학적인 변화가 적으며 변형 및 잔류응력을 상대적으로 최소화할 수 있다. 또한 FSW는 고상용접이기 때문에 수소유기균열을 최소화할 수 있다. FSW는 자동화가 가능한 것 또한 큰 장점이다. FSW 공정이 steel에 적용시키는 것이 중요한 매력을 끄는 결정적인 이유는 경제성 때문이다. FSW 공정은 기존의 용융용접에 비해 용접준비시간 및 용접시간이 적게 소요되며 용접재료가 필요 없다. FSW의 비용절감 효과는 피용접재의 판두께 증가에 따라 더욱더 크다. 이러한 경제적 효과는 다양한 분야에서 steel에 FSW 공정의 적용이 매력을 끌기에 충분한 이유이다.

이러한 배경아래 각종 강재 및 스테인레스강에 대하여 FSW 공정을 적용하여 여러 가지 시험을 행하였다. 이 결과중 탄소강 FSW 접합부의 미세조직 및 기계적 성질을 논하고자 한다.

2. 실험방법

본 연구에 사용된 탄소강의 화학조성을 Table.1에 나타내었다. AH32 강은 선급용 탄소강이며 FG는 세립압연강이다. AH32 강은 FG 강과 비교해 탄소함량이 약 0.05% 높으며 그 이외의 미량 원소는 큰 차이가 없다.

Table.1 Chemical composition of carbon steel used.(wt%)

Steel	C	Si	Mn	Fe
AH32	0.14	0.25	1.10	bal.
FG	0.09	0.12	1.48	bal.
Steel	P	S	Ti	Thickness (mm)
AH32	0.010	0.004	0.010	11
FG	0.0006	0.030	0.019	12

AH32 및 FG 두 강재의 tool 회전속도(tool rotation speed; Rt) 및 접합속도(travel speed; V)는 동일한 조건을 가하였다. tool은 pin 나선형상이 조금 다른 것을 사용하였다. 그 이외의 자세한 접합조건은 TWI와의 협약상 생략한다. 탄소강 FSW 접합부의 미세조직적 특징은 광학현미경을 사용하여 관찰하였다. 접합부의 기계적 성질은 경도시험(10kgf, 15sec), 인장시험(BS EN 10002-1: 1990) 및 충격시험(ASTM E23-82)을 실시하여 평가하였다. 용접부에 존재하는 벤드층이 충격치에 영향을 미치지 않도록 충격시험편의 크기는 subsize(10×5)로 가공하였다.

3. 실험결과 및 고찰

아래 Fig.1은 FSW에 의해 AH32 및 FG 두 피용접재에 형성된 용접부 형상과 FSW 표면 거칠기를 측정된 결과이다. 두 피용접재 모두 양호한 용접비드를 형성하고 있다.

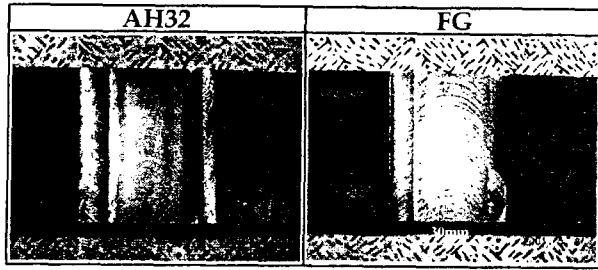


Fig.1 Macrographs of Friction stir welded carbon steels.

탄소강 FSW 용접부의 단면조직을 6062 Al 합금과 함께 Fig.2에 나타낸다. 탄소강 FSW 용접부



(a) 6062 Al



(b) Steel(AH32)



(c) Steel(FG)

Fig.2 Macrostructures of Friction stir welds in carbon steel and Al alloy.

는 전반적으로 결함이 없는 우수한 용접부를 보유하고 있다. 그리고 용접중 tool과 마찰시 마모에 의해 생성되는 것으로 보이는 벤드층이 SZ (Stir Zone, Weld nugget)의 상부와 TMAZ (Thermo-mechanically Affected Zone) 부근 SZ에 각각 존재하고 있다. 여기서 SZ 상부 벤드층은 tool 중 shoulder의 마모에 의해 형성된 것이고 TMAZ 부근 SZ의 벤드층은 tool 중 pin의 마모에 의해 형성된 것으로 생각된다. 두 강재의 벤드층 형상의 차이는 AH32강과 FG강에 사용된 tool의 나선형상의 차이와 밀접한 관련이 있는 것으로 생각된다. 그리고 SZ 및 TMAZ의 형상과 크기는 종래의 Al합금의 조직과 큰 차이가

있음을 볼 수 있다.

FG 및 AH32 각각의 FSW 용접부의 미세조직을 Fig.3에 나타낸다. 모재의 경우 FG 및 AH32강은

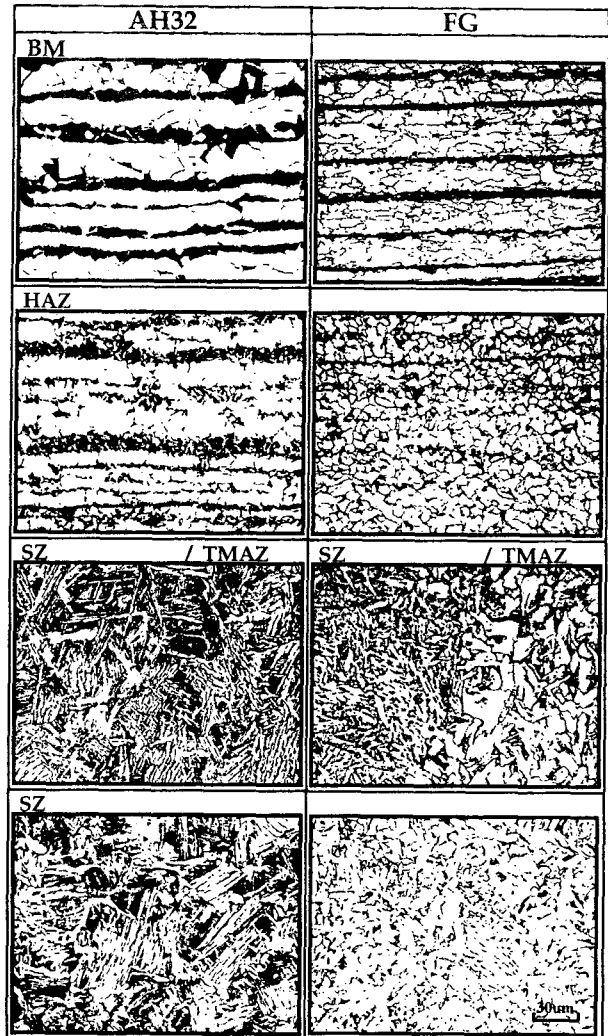


Fig.3 Microstructures of Friction stir welds in carbon steels.

모두 ferrite기지에 pearlite가 밴드형으로 형성되어 있다. 또한 FG강은 AH32강에 비해 grain이 아주 미세하며 FGS(ferrite grain size)가 크다. HAZ에서 pearlite 밴드가 파괴되며 파괴정도는 FG강이 더 크음을 알 수 있다. 이는 FG강의 HAZ 폭이 AH32강보다 넓은 원인으로 판단된다. 그리고 AH32강은 HAZ에서 ferrite grain이 약간 조대화된 것을 볼 수 있다. SZ 및 TMAZ에서는 AH32강의 경우 ferrite 주체의 조직이며 FG강의 경우 취약한 bainite 주체의 조직을 가진다. SZ 및 TMAZ에서 이와 같은 조직적 차이는 탄소함량의 차이와 직접적인 연관성이 있는 것으로 생각된다.

Fig.4는 FG 및 AH32 강재들의 FSW 용접부 연속경도분포를 나타낸 것이다. AH32강의 경도분포는 모재에서 HAZ 및 TMAZ로 갈수록 경도가

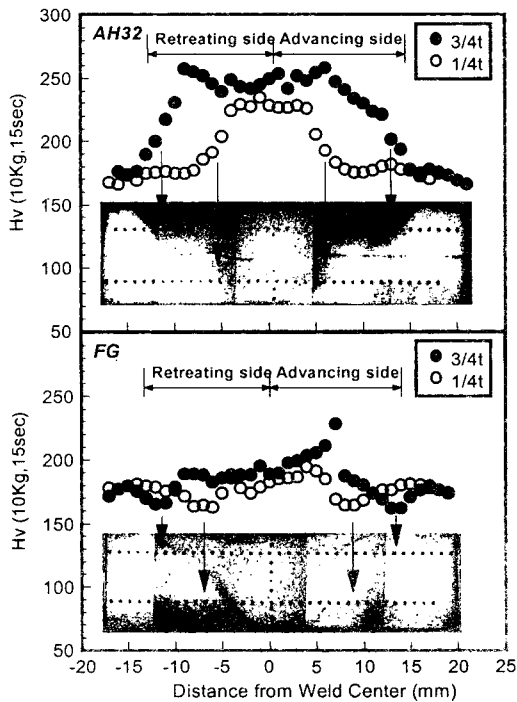


Fig.4 Hardness distribution across FS welds in carbon steels.

증가하며 SL(Stir Line) 근방의 TMAZ에서 250 이상의 최고경도를 보인다. FG강의 경도분포는 모재에서 HAZ로 갈수록 경도가 감소한 후 다시 증가하며 SL 부근의 TMAZ에서 역시 최고 경도를 보인다. 여기서 FG강이 HAZ에서 연화되는 현상은 HAZ에서 ferrite grain의 조대화 때문인 것으로 판단된다. SZ에서는 AH32강이 약 Hv 250 수준이며 FG강이 약 200정도 수준으로 AH32강이 약 50정도 높은 값을 보인다. 이 원인은 SZ에서 AH32강의 경우 경화상 주체의 조직이고 FG강의 경우 ferrite 주체의 조직이기 때문인 것으로 판단된다.

두 강재의 인장시험결과를 Fig.5에 나타낸다. AH32강 및 FG강 용접부는 인장강도 및 항복강도가 모두 모재에 육박할 정도로 우수하다. 연신율의 경우 모재보다 감소하지만 AH32강 용접부는 모재의 65% 수준인 21.5%를 보유하고 있고 FG강 용접부는 모재의 70%인 수준인 24%를 보유하고 있다.

Fig.6은 AH32강 및 FG강 모재와 SZ에서의 충격시험결과를 정리한 것이다. AH32강 모재의 충

격에너지는 약 63J이며 FG강 모재의 충격에너지는 약 246J로 FG강재가 충격치가 훨씬 높다.

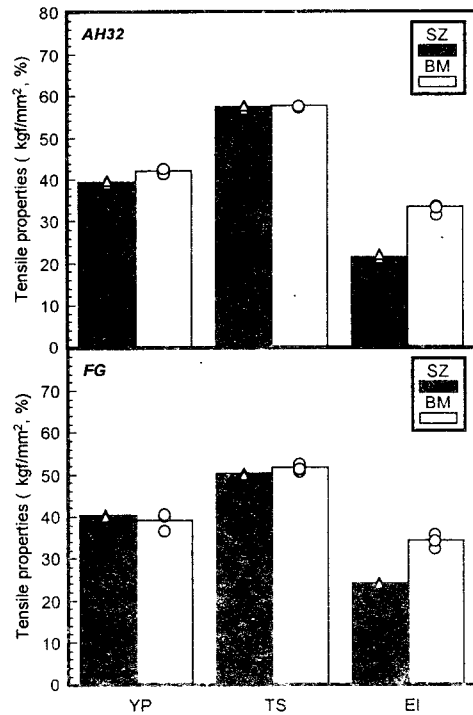


Fig.5 Comparison of tensile properties in carbon steels.

이것은 FG강재의 grain size가 매우 미세하기 때문인 것으로 생각된다. AH32강 SZ의 충격치는 모재의 80%정도를 보유하고 있으며 FG강 SZ의 충격치는 모재의 85%에 육박하는 우수한 용접부를 보유하고 있다.

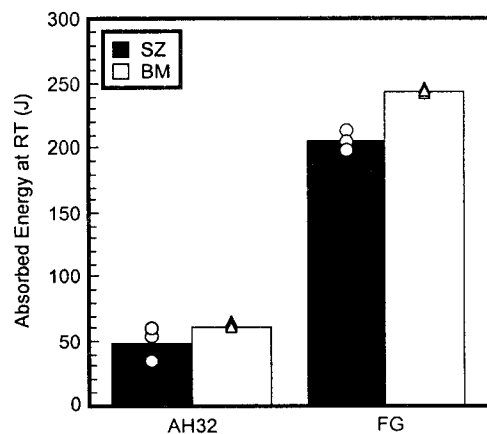


Fig.6 Comparison of absorbed energy in carbon steels.

후기

본 연구는 영국 TWI와 공동으로 수행한 연구 중 일부이다.