

자동차 점용접부의 용접성 평가에 관한 연구

A Study on the Evaluation of Automobile Resistance Spot Weldability

황춘호*, 유효선**, 안병국***, 정세희**

*전북대학원, **전북대학교 기계공학부 (자동차신기술연구소), ***전북대학교 신소재공학부

1. 서론

자동차 제조라인에서 판금부품조립에 사용되고 있는 점용접에 있어, 그 용접성 평가는 접합강도와 관련된 박리시험(Peel Test)이나 인장-전단시험(Tensile Shear Test), 십자인장 시험(Cross Tensile Test) 그리고 점용접부의 너겟직경 측정 등과 같은 파괴시험(Fracture Test)에 의한 실험 결과에 전적으로 의존하고 있다.

그러나, 인장-전단시험과 십자인장시험 등과 같은 파괴시험에 의한 점용접성 평가는 상당한 시간과 많은 재료를 필요로 하고, 실제 생산라인에서 실기 용접물에 대한 적용에 많은 어려움이 있다. 또한 너겟직경 측정에 의한 방법도 점용접부의 중앙위치에서 수직방향으로 절단한 후, 연마와 현미경 조직관찰에 의해 수행되는 방법으로, 많은 시간이 소요되는 문제점과 함께 형상이 복잡한 용접물에서는 그 측정이 매우 어려운 문제점을 갖고 있다.

따라서 본 연구에서는 다양한 용접조건 변화에 따른 점용접부의 용접성을 비파괴적으로 간편하게 평가하기 위하여 통상 사용되는 기존의 용접성 평가인자의 결과와 초음파 시험결과사이의 상관관계를 이용하여 초음파에 의한 비파괴적인 점용접부의 용접성 평가방법을 조사하였다.

2. 실험방법

본 연구에 사용된 재료는 현재 자동차 재료에 널리 사용되는 일반 냉연강판(SPC) 및 아연도금강판이다. 그리고 사용된 용접기는 단상교류식 싱글포인트(Single Point) 공압정치식 용접기(150kVA)이고, 용접전류와 용접시간은 디지털식 프린터 부착 용접전류계를 사용하여 측정, 제어하였다. 가압력은 점용접용 가압력 측정계를 사용하여 측정하였다.

인장-전단시험편은 100mm×30mm×1.4(1.16, 1.0)mm^l의 강판을 30mm 겹치도록 1점용접을 실시하여 제작하였다. 초음파 시험편과 너겟직경 측정용 시험편은 150mm×30mm×1.4(1.16, 1.0)mm^l의 강판을 겹쳐서 30mm 간격으로 5점용접을 실시하여 제작하였다. 본 실시예에서 사용된 전극은 산화알루미늄 분산강화동인 R형 돔(Dome)식 전극을 사용하였다. 표 1에 시험에 적용된 용접조건을 나타내었다.

Condition Steels	Welding current (kA)	Electrode force (kg)	Squeeze time (cycle)	Welding time (cycle)	Holding time (cycle)
냉연강판(SPC), 아연도금 강판	5~13	250, 300	30	15	10

또한 점용접부의 용접강도를 평가하기 위하여 15 ton-인장시험기에 의해 인장-전단시험을 수행하였고, 너겟직경은 시험편의 용접부 중앙을 표면에 수직방향으로 절단한 후 측정하였다. 초음파의 실험에서 사용된 탐촉자는 종파 20MHz의 국부 수침형 탐촉자로서 탐촉자 선단부에 Water Column부가 있어 피측정물의 표면상태가 요철이 심한 경우에서도 탐상이 가능하다.

3. 실험결과 및 고찰

Fig. 1과 Fig. 2는 두께 1.4mm인 냉연강판과 아연도금강판에서 가압력 300kg인 경우 용접전류변화에 따른 초음파 전달시간(Transit Time)과 너겟직경 그리고 JIS(Z 3140)에서 권장하는 A-Class의 너겟직경의 최소값과 평균값의 크기를 함께 나타낸 그림이다. 그림에서 보는 바와 같

이 두 시험제 모두 용접전류의 증가에 따라 너겟직경은 증가하고 있는 반면, 초음파의 전달시간은 감소하고 있다. 그리고 고전류측으로 이동할수록 같은 전류량에 있어 아연도금 강판이 냉연강판의 경우보다 너겟부의 직경은 작은 반면 초음파의 전달시간은 큼을 알 수 있는데 이는 같은 가압력 이지만 표면 상태가 다른 두강재의 유효 통전 전류밀도차이에 기인한 결과로 사료된다. 한편, JIS A-Class의 너겟(Nugget) 직경의 최소값에 대응한 용접전류값은 냉연강판의 경우 6.6kA, 아연도금 강판의 경우는 7.2kA임을 알 수가 있다. 이에 대해 본 시험의 용접조건에 있어 JIS A-Class를 만족하는 최소 용접전류값에 대응한 초음파 에코 전달시간은 냉연강판의 경우 908ns이고, 아연도금 강판의 경우 900ns임을 알 수 있다.

따라서, JIS A-Class에서 추천되고 있는 점용접부의 너겟직경(d_n)은 피용접물의 두께 t 에 대해 $4.3\sqrt{t} \sim 5\sqrt{t}$ 의 범위라는 사실로부터 점용접부의 용접품질과 관련된 용접성 평가시 양호한 용접품질의 판정을 내릴 수 있는 초음파 에코의 유효 전달시간(Available Transit Time; ATT)은 본 실시예의 경우 약 900ns~870ns이다.

Fig. 3은 가압력 250kg의 경우, 냉연강판의 점용접부에 대한 초음파 시험결과로서 피용접물 두께 1.4mm의 경우 초음파 에코의 유효 전달시간으로 판정된 약 900ns~870ns에 해당되는 너겟 직경은 $4.3\sqrt{t} \sim 5\sqrt{t}$ 의 범위에 포함되는 약 5.3mm~5.9mm임을 알 수가 있다. Fig. 4는 가압력 250kg의 경우, 아연도금 강판의 초음파 시험결과로서 초음파 유효 전달시간인 약 900ns~870ns에 해당되는 너겟직경은 약 5.6mm~5.9mm이므로 유효 너겟직경인 $4.3\sqrt{t} \sim 5\sqrt{t}$ 의 범위에 모두 포함됨을 알 수 있다. 따라서 피용접물 두께 1.4mm인 경우, 900ns~870ns 범위인 유효 전달시간으로부터 점용접물의 비파괴적인 용접품질과 관련된 점용접성의 평가가 가능하다.

Fig. 5는 피용접물 두께 1.0mm, 1.16mm, 1.4mm인 자동차 냉연강판과 아연도금 강판의 2겹 점용접물에 대해 피용접물 두께에 따라 JIS의 A-Class에 해당되는 초음파 에코의 유효 전달시간(ATT) 그리고 2겹의 두께에 해당되는 초음파 에코의 전달시간을 함께 나타낸 결과이다. 그림으로부터 JIS A-Class에 해당되는 너겟직경에 대응한 초음파 에코의 유효 전달시간(ATT)은 피용접물 두께(t)에 대해 다음과 같이 표현된다.

$$\boxed{\text{초음파 유효 전달시간(ATT)} = 596 t^{1.22} \sim 576 t^{1.22}} \quad \text{----- 식(1)}$$

따라서 실험에 사용된 피용접물 두께에 대한 초음파의 유효 전달시간의 범위를 나타내는 식(1)은 점용접부의 용접성 평가인자로 사용되는 유효 너겟직경을 대변하는 비파괴적인 초음파 평가인자의 관계식이다. Fig. 6은 다양한 용접물중 두께 1.4mm의 냉연강판을 대상으로 가압력 300kg 조건에서 용접된 용접물의 최대 인장전단강도와 초음파 전달시간과의 관계를 나타낸 결과이다. 두께 1.4mm의 경우 초음파의 유효 전달시간(900ns~870ns) 범위에서 인장전단강도값은 모두 JIS A-Class에서 두께 1.4mm에 대한 최소 인장전단강도값인 705kg를 모두 넘어 본 연구에서 제안한 초음파의 유효 전달시간의 평가인자의 유효성을 확인할 수가 있다.

따라서 점용접부의 초음파 에코 전달시간(Transit Time)은 실제 생산현장에서 점용접물의 용접품질 평가와 관련된 너겟직경의 형성여부 즉, 너겟의 언더사이즈 형성 (Undersize Weld), 유효 사이즈 형성 (Good Weld), 오버사이즈 형성(Oversize Weld) 등의 판단을 평가하는데 사용가능한 인자이다.

4. 결론

초음파 에코의 유효 전달시간(ATT)과 종래 피용접물의 두께에 따라 정립화 되어 있는 점용접부의 적정 너겟직경(d_n)과는 뚜렷한 상관관계를 보이며, 초음파 에코의 유효 전달시간과 피용접물 두께에 대해 관계식을 이용하여 점용접물의 용접성을 매우 간편하게 비파괴적으로 평가 가능하다.

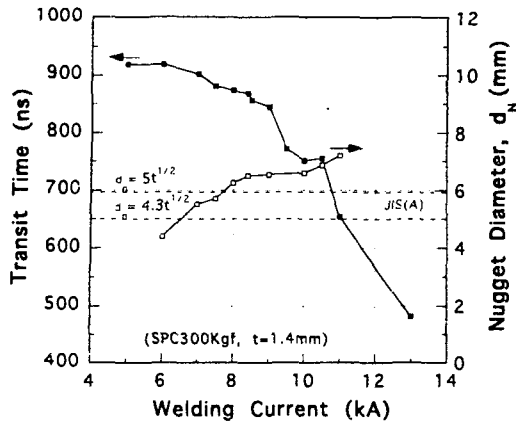


Fig.1 The effect of Welding current on transit time and nugget diameter

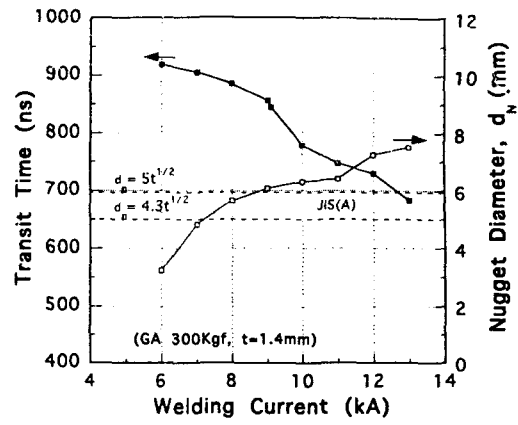


Fig.2 The effect of Welding current on transit time and nugget diameter

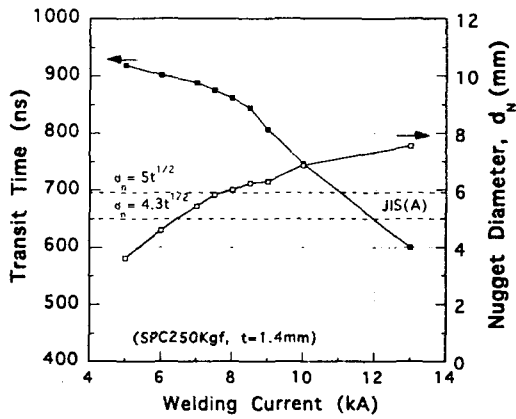


Fig.3 The effect of Welding current on transit time and nugget diameter

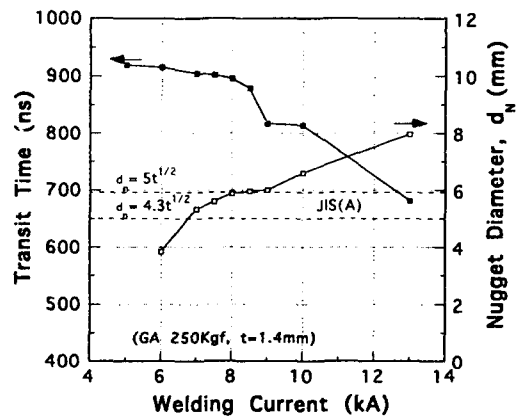


Fig.4 The effect of Welding current on transit time and nugget diameter

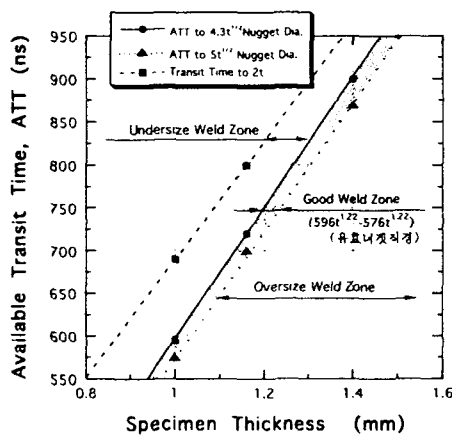


Fig.5 The schematic diagram of available transit time with specimen thickness

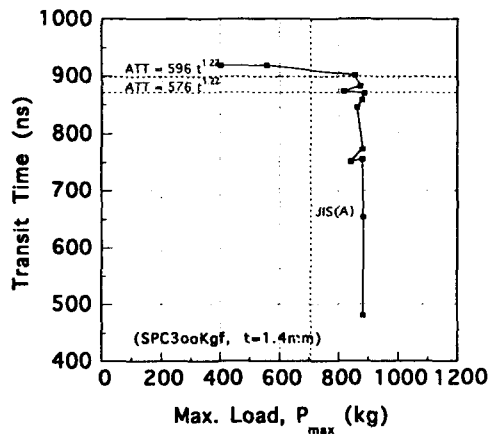


Fig. 6 The effect of Welding current on transit time and tensile-shear strength