

〈 논문 〉

고장력 강판 적용에 따른 자동차용 4겹 다층 점용접물의 용접성 및 적정 용접조건

권일현** · 김희현* · 백승세* · 양성모** · 유효선†
(2005년 2월 23일 접수, 2006년 2월 27일 심사완료)

Weldability and Optimum Welding Conditions on the 4 Lap Spot Welded Joint of High Strength Steel Sheets in Automobile

Il-Hyun Kwon, Hoi-Hyun Kim, Seung-Se Baek,
Seong-Mo Yang and Hyo-Sun Yu

Key Words: Spot Welding(점용접), Indentation Depth(압흔깊이), Weldability Characteristics(용접 특성), High Strength Steel Sheet(고장력강판), Zinc Coated Steel Sheet(아연도금강판), 4-lap Spot Welded Joint(4겹 점용접물)

Abstract

Spot-welding is a widely used manufacturing method for thin-sheet components, especially in mass-production industries such as the car industry. Automobiles are often constructed by multi-lap spot welding to secure the passenger from the accident, where optimisation of the welding conditions is a major economic consideration. This research is conducted to investigate weldability characteristics with various welding conditions on the 4-lap spot welded joint of structural steel sheets in automobile. The relationship between the tensile-shear strength and the indentation depth has been investigated to propose the optimum welding conditions. The welding current and the welding time have a greater effect on the welding characteristics than the electrode force. It was found that the electrode force has a relatively close relationship with the expulsion occurrence. The design curves for optimum welding are proposed for the 4-lap spot welded joint.

1. 서 론

1992년 6월에 채택된 지구변화협약 이후 CO2 규제에 대한 국제적 규제가 본격화되면서 자동차 배출가스에서 직접 CO2를 규제하는 방안이 특히 EU 국가들을 중심으로 활발하게 논의되어지고 있다. 자동차 배출가스 허용기준 또한 엄격해지고 있는 추세인데, CO2 자체를 연소나 후처리기술로 저감할 수 있는 방안은 현재로서는 갖고 있

지 못하고, 연료 사용을 획기적으로 저감하는 저연비 자동차를 개발함으로써 CO2의 생성량을 줄이는 것이 가장 현실적인 대안으로 제시되어 있다. 자동차 연비향상을 위한 방법으로서 엔진효율 개선, 동력전달 효율 개선, 주행저항 감소 및 차체 경량화 등이 제시되고 있다. 이 같은 다양한 연비 개선책 중에서 가장 효과적인 방법으로는 자동차 중량의 상당 부분을 차지하는 차체 무게를 감소시키는 경량화라 할 수 있다.

일반적으로 차체용 강판으로는 인장강도가 약 300MPa로서 비교적 낮고, 프레스 성형이 용이한 냉간압연 강판이 널리 사용되어 왔다. 그러나, 최근 자동차 수요자의 욕구 고급화로 인해서 자동차의 충돌·전복 시의 안전성 및 방청성 등을 요구하고 있어 이를 만족시킬 수 있는 새로운 강판의

† 책임저자, 회원, 전북대학교 정밀기계공학과
E-mail : yuhs@moak.chonbuk.ac.kr
TEL : (063)270-2346 FAX : (063)270-2388

* 전북대학교 대학원 정밀기계공학과

** 전북대학교 정밀기계공학과, 자동차신기술연구센터

개발에 많은 연구를 행하고 있다. 그 결과로서 아연도금강판과 고장력 강판이 새롭게 개발되어 차체 구조용 재료로 적용되고 있다.^(1,2)

그러나, 자동차용 차체재료로서 고장력 강판과 아연도금강판의 적용에는 아직 많은 문제점들이 남아 있는데 그 중에서도 차체 제작을 위해 적용되고 있는 전기 저항 점용접에 있어서 강판의 용접성 및 용접강도가 특히 선결 과제라 할 수 있다. 현재까지 보고된 점용접물에 대한 연구결과들을 살펴보면 고장력 강판과 아연도금강판을 2겹 적층하여 구성하는 점용접물에 대한 연구가 대부분이다.⁽³⁻⁶⁾ 그러나 충격 안전성을 높이기 위해 강판을 적층하여 구성되는 차체 도어나 과대하중부위의 4겹 다층 점용접물에 대한 연구는 거의 행해지지 않고 있으며, 현장에서의 4겹 점용접물의 구성은 대부분 경험에 의해 행해지고 있는 실정이다.

이 같은 배경 하에서 본 연구는 경량화 차체 점용접물의 구조재료로 현재 적용되고 있는 고장력 강판과 아연도금강판을 대상으로 주요 점용접 변수 즉, 용접전류, 용접시간 그리고 가압력 변화에 의해 구성된 4겹 점용접물에 대한 용접특성을 평가하고자 한다. 또한 동종 강판과 이종 강판 4겹 점용접물의 용접강도 특성을 비교하고, 자동차 차체 부품 생산현장에서 적용될 수 있는 적정 용접범위 곡선을 제시하고자 한다.

2. 시험편 및 실험방법

2.1 시험 재료 및 시험편

자동차 차체 제작을 위한 강판의 두께는 보통 0.5~2mm 정도가 현재 널리 사용되고 있다. 이들 강판 중에서 본 연구에서는 충격 안전성을 고려하여 제작되는 다층 점 용접부의 강판으로 널리 사용되는 두께 1.2mm와 1.6mm인 EZNCEN 전기 아연도금강판과 두께 1.4mm인 HS40R 고장력 강판을 이용하여 4겹 점용접물을 제작하였다. 용접 조건에 따른 인장-전단강도 평가를 위한 4겹 점용접 시험편은 강판을 길이 100mm, 폭 30mm로 절단하여 두 강판을 30mm 겹친 후, 강판 사이에 길이 30mm의 강판을 삽입하여 제작하였다. Fig. 1에 시험편의 형상 및 치수를 나타내었다. 인장-전단강도 및 너깃 직경 평가를 위한 4겹 시험편은 1.2×1.2×1.2×1.6t와 1.2×1.2×1.2×1.4(H)t의 두 종류로 제작하였고, 언급된 숫자는 강판의 두께와

Table 1 Chemical compositions of base metals (wt%)

Elements Steel	C	Mn	P	S	S-Al
EZNCEN	0.013	0.11	0.14	0.05	0.30
HS40R	0.0876	0.74	0.124	0.0036	-

Table 2 Welding conditions used in this study

Welding current (kA)	Electrode force (kg)	Squeeze time (cycle)	Welding time (cycle)	Holding time (cycle)
6~13	200~500	30	10, 15	10

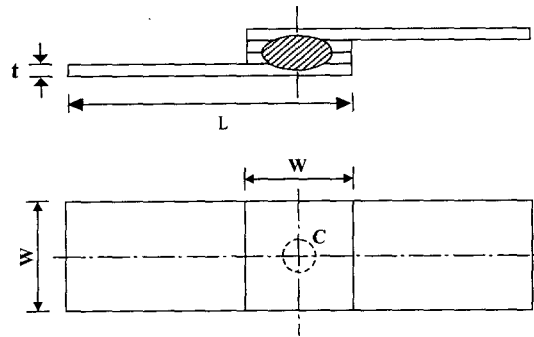


Fig. 1 Dimensions and configuration for spot welding specimens (L : length, C : spot welding center, t : thickness, W : width)

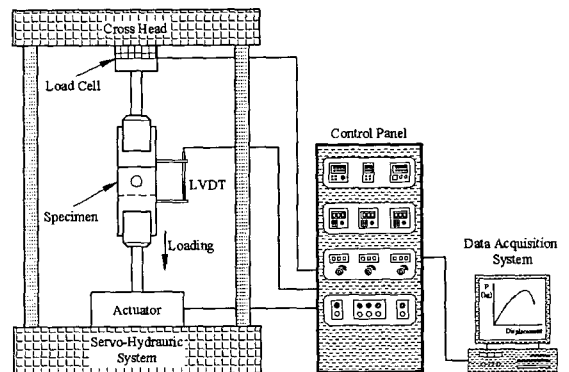


Fig. 2 Schematic diagram for tensile-shear testing

적층 순서 그리고 H는 고장력 강판을 의미한다.

Table 1 과 Table 2에 각각 EZNCEN과 HS40R 강판의 화학적 조성 및 점용접에 사용된 용접조건을 나타내었으며 1 사이클은 1/60초를 의미한다.

2.2 점용접 및 실험방법

인장-전단시험 및 너깃 관찰을 위한 점용접 시험편은 단상교류식 단 타점(single point) 공압 정치식(150KVA) 용접기를 사용하여 제작하였다. 용접조건은 용접기에 부착된 계기를 통하여 설정하였다. 전극 가압력(electrode force)은 20kN 용량의 하중 측정기(CAS C1-5010, Korea)를 사용하여 측정하였다. 용접에 사용된 전극은 R형(dome식) Cr-Cu재질 전극으로, 선단경은 $\phi 6\text{mm}$ 로 피용접물의 두께 t 에 대하여 RWMA(Resistance Welders Manufacturers Association)에서 권장하고 있는 $5\sqrt{t}$ 의 범위로 선정하였다. Fig. 2는 인장-전단강도 시험을 위한 시험장치의 개략도이며, 시험 속도는 2mm/min.로 행하였다.⁽⁷⁾ 또한, 광학 현미경(OM)을 사용하여 용접조건 변화에 따른 너깃 직경을 측정하여 적정 용접조건에 대한 판정에 이용하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 용접조건 변화에 따른 용접강도 평가

본 절에서는 먼저 용접조건 변화에 따른 강도 특성 및 시험편에서 발생하는 비산(expulsion)을 조사하여 용접변수와 용접성과의 상관관계 및 적정 용접조건을 조사하고자 한다. 비산이란 용접 중 용착금속 주위로 비산하는 일부 용융물질의 미립자를 의미한다. 용접 시 발생한 비산은 차체의 외관에 달라붙어 강판 표면 및 도장 공정 후 외관에 심각한 품질저하를 초래하는 것으로 보고되고 있다.⁽⁸⁾

Fig. 3의 (a)와 (b)는 각각 EZNCEN 전기아연 도금강판 1.2x1.2x1.2x1.6t 점용접 시험편의 용접 전류, 가압력 그리고 용접시간 변화에 따른 인장-전단강도를 나타내고 있다. 그림 중에는 KS B 0850에서 권장하는 인장전단강도 규격 및 용접 시 발생한 비산을 표시하였다.⁽⁹⁾ 여기서 인장-전단강도 규격은 4점 점용접 시험편에서 가장 얇은 두께 강판 또는 최소 인장강도를 나타내는 강판 두께를 기준으로 하여 산정한 것이다.

먼저 Fig. 3(a)의 그림을 살펴보면 가압력 및 용접 전류가 증가함에 따라 점진적인 인장-전단강도의 상승을 보이고 있으나, 고 전류측인 12kA이

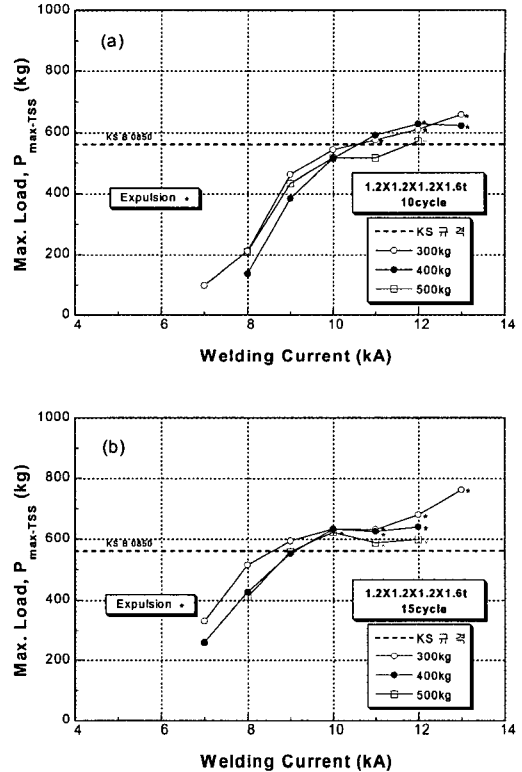


Fig. 3 Tensile-shear strength with various welding conditions

상의 용접전류에서는 더 이상의 인장-전단강도 상승은 관찰되지 않았다. 이는 시험편에 과도 전류 공급으로 인해 아연도금층의 일부가 비 접촉 부로 이동하여 접촉 면적이 커져서 상대적으로 전류밀도의 저하를 초래한 결과로 판단된다.

Fig. 3(b)에서 15cycle의 용접시간에서 용접된 시험편의 인장-전단강도도 또한 앞선 그림 (a)의 10cycle에서 관찰된 것과 거의 유사한 거동을 보이고 있다. 그러나, 용접시간이 10cycle에서 15 cycle로 증가함에 따라 각 가압력에서 얻어진 동일 용접전류에서의 용접강도가 상승하고 있음을 알 수 있어 모든 가압력에서 용접시간의 증가에 의해 용접성이 개선되었음을 알 수 있다. 이는 용접시간 증가에 따른 입열량 증가로 인한 안정 너깃 형성에 기인한 결과로 추론된다. 또한 동일 용접조건 중 가압력만 변화시킨 경우 가압력이 증가할수록 대부분 인장-전단강도는 감소하고, 비산 발생 임계 전류값은 고 전류측으로 이동함을

관찰 할 수 있다. 이상으로부터 EZNCEN 전기아연도금강판 1.2×1.2×1.2×1.6t 점용접물의 인장-전단강도 특성은 용접전류 및 용접시간에는 크게 의존하지만 가압력 증가는 비산의 발생 억제에 효과적임을 알 수 있다.⁽¹⁰⁾

EZNCEN 아연도금강판 1.2×1.2×1.2×1.6t 점용접물의 적정 용접조건을 조사하기 위해 먼저 KS 규격을 만족시키는 용접조건을 살펴보았다. 용접시간 10cycle에서 얻어진 강도곡선에서 KS규격을 만족하는 가압력 및 용접전류는 400kg, 11kA임을 알 수 있다. 이는 300kg, 11kA와 500kg, 12kA의 조건도 KS강도규격을 만족하고 있으나 용접시 비산의 발생이 확인되어 적정 용접조건으로 설정하기 어렵기 때문이다. 동일한 방법으로 용접시간 15cycle에서 얻어진 강도곡선에서 KS규격을 만족하는 가압력 및 용접전류는 300kg에서 9kA과 400~500kg에서 9~11kA임을 알 수 있다. 이상의 용접시간 15cycle에서 얻어진 결과를 10cycle에서 얻어진 적정 용접조건과 비교해 보면 적정 용접강도를 나타내는 점용접물을 구성하기 위해 15cycle의 용접시간이 비교적 낮은 전류를 필요로 하기 때문에 용접시간은 15cycle이 보다 적절하다 할 수 있다.

Fig. 4의 (a)와 (b)는 각각 EZNCEN과 HS40R 강판 1.2×1.2×1.2×1.4(H)t 점용접 시험편의 용접전류-가압력-용접시간 변화에 따른 인장-전단강도를 나타내고 있다.

먼저 용접시간 10cycle에서 용접전류 및 가압력 변화에 따른 전단강도 변화를 나타낸 Fig. 4(a)의 그림을 살펴보면 용접 전류가 증가함에 따라 인장전단강도가 점차적으로 상승하다가 어느 정도의 임계 전류값에서는 더 이상의 강도 상승은 관찰되지 않음을 알 수 있다.

그림 (b)의 15cycle 용접시간에서 용접된 시험편의 인장-전단강도도 또한 거의 유사한 거동을 보이고 있다. 그러나, 용접시간이 10cycle에서 15cycle로 증가함에 따라 각 가압력에서 얻어진 동일 용접전류에서의 용접강도가 상승하고 있음을 알 수 있어 모든 가압력에서 용접시간의 증가에 의해 용접성이 개선되었음을 추론할 수 있다. 또한 용접조건 중 가압력 증가에 따른 전단강도의 변화를 살펴보면, 가압력이 증가함에 따라 동일 용접전류에서의 용접강도는 대부분 저하되고 있는 반면에 비산의 발생 임계 전류값은 높아지

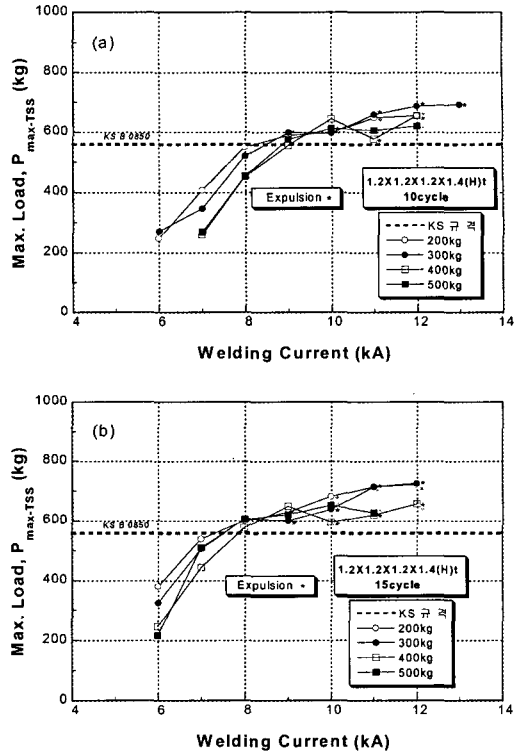


Fig. 4 Tensile-shear strength with various welding conditions

고 있음이 관찰되어 가압력 증가는 비산의 발생 억제에 효과적임을 확인할 수 있다. 이는 가압력 증가에 따른 판 접촉면적의 증가로 인해서 전류 밀도가 감소한 결과로 사료된다. 이상으로부터 EZNCEN과 HS40R 강판 1.2×1.2×1.2×1.4(H)t 점용접물의 인장강도 특성은 용접전류 및 용접시간에는 크게 의존하고, 가압력에는 큰 영향을 받지 않음을 확인할 수 있다.

EZNCEN과 HS40R 강판 1.2×1.2×1.2×1.4(H)t 점용접물의 적정 용접조건을 조사하기 위해 KS B 0850에서 제안하고 있는 최소 인장-전단강도 규격을 만족시키는 용접조건을 살펴보았다. 용접시간 10cycle에서 얻어진 강도곡선에서 KS규격을 만족하는 가압력과 용접전류는 300kg에서 약 8.5~9kA 그리고 400~500kg에서 9~11kA임을 알 수 있다. 이 기준은 KS 최소 인장-전단강도 규격과 비산의 발생이 확인되지 않은 시험편을 기준으로 산정한 것이다. 동일한 방법으로 용접시간 15cycle에서 얻어진 강도곡선에서 KS규격을 만족

하고 비산의 발생이 확인되지 않은 가압력 및 용접전류는 200~300kg, 8~9kA 그리고 400~500kg, 8~10kA 임을 알 수 있다. 이상에서 얻어진 결과를 토대로 적정 용접조건을 비교해 보면 10cycle에서 15cycle로 용접시간이 증가함에 따라 전반적으로 적정 용접전류는 낮아질 뿐만 아니라 그 범위도 증가하고 있어 용접시간은 15cycle이 적절함을 알 수 있다.

3.2 용접조건에 따른 너깃 직경 변화

본 절에서 논의되는 내용은 용접조건 변화에 따른 너깃 직경의 변화를 조사하여 앞서 언급된 각 용접물에 대해 보다 적절한 용접범위를 제안하기 위한 것이다. 앞서 규명된 바와 같이 본 연구에서 인장-전단 시험을 수행한 용접물의 경우 용접시간 15cycle에서 구성한 용접물이 경제적인 측면에서 KS 강도규격에 보다 더 적절한 것으로 판별되었다. 따라서 이하에서는 15cycle에서의 용접물을 대상으로 용접조건에 따른 너깃 직경의 변화를 관찰하여 KS 인장강도 규격에서 얻어진 용접조건과의 상호 비교를 통해 적정 용접조건을 제시하고자 한다.

Fig. 5는 용접전류, 가압력에 따른 EZNCEN 전기아연도금강판 1.2×1.2×1.2×1.6t 점용접물의 너깃 직경을 나타내고 있다. 그림에는 KS B 0850에서 제안하고 있는 적정 너깃 직경을 점선으로 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이 용접전류의 증가에 따라 너깃직경은 증가함을 관찰할 수 있으며, 모든 용접전류에서 가압력 증가에 따른 너깃 직경의 차이는 거의 관찰되지 않고 있다. EZNCEN 전기아연도금강판 1.2×1.2×1.2×1.6t 점용접물의 경우 유효 너깃에 의한 적정 용접전류는 가압력 300kg의 경우는 7.6kA~8.5kA, 가압력 400kg의 경우는 8kA~8.6kA임을 알 수 있다.

이상의 KS 규격의 유효너깃을 만족하는 용접 범위와 앞선 인장-전단강도 규격에서 얻은 용접 범위와의 교집합을 이용하여 최종적인 적정 용접 범위를 구하고자 하였으나 교집합을 이루는 용접 전류 범위가 구해지지 않았다. 즉 Fig. 3의 인장-전단강도 강도규격을 만족하는 적정 용접조건인 15cycle의 용접시간에서의 가압력 및 용접전류가 각각 300kg일 때 9kA, 400~500kg일 때 9kA~11kA 결과와 비교해 보면, 9kA 용접전류 조건에서는 인장-전단강도 규격을 만족한다 할지라도 적정

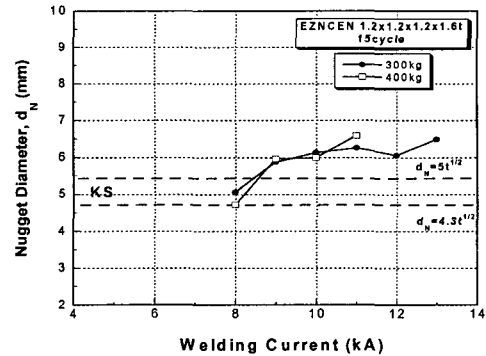


Fig. 5 Effect of welding current and welding force on nugget diameter

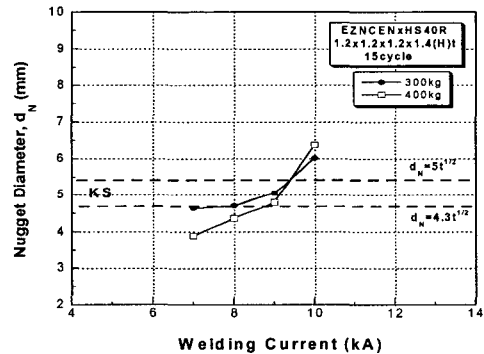


Fig. 6 Effect of welding current and welding force on nugget diameter

크기의 너깃이 아닌 오버 사이즈(over size) 너깃이 형성된다는 사실을 알 수 있어 최적 점용접 설계 시 너깃 관찰의 중요성을 알 수 있다. 결국, EZNCEN 1.2×1.2×1.2×1.6t 점용접물의 경우 KS 강도 규격과 너깃직경을 모두 만족하는 적정 용접조건 산출이 어려움을 알 수 있어, 금후 보다 많은 연구가 필요함을 알 수 있다.

Fig. 6은 EZNCEN과 HS40R 강판 1.2×1.2×1.2×1.4(H)t 4점 다층 점용접물의 용접전류에 따른 너깃 직경을 나타내고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 용접전류의 증가에 따라 너깃직경은 증가함을 관찰할 수 있으며, KS 유효 너깃범위에서 생성된 너깃은 모든 용접전류에서 가압력 300kg이 400kg에 비해서 보다 큰 너깃을 생성함을 알 수 있다. 이 같은 결과는 본 용접물의 경우 가압력 증가는 오히려 용접 특성을 저하시킬 수 있음을 지적하고 있다. KS 너깃 직경 규격을 만족하는 용접전

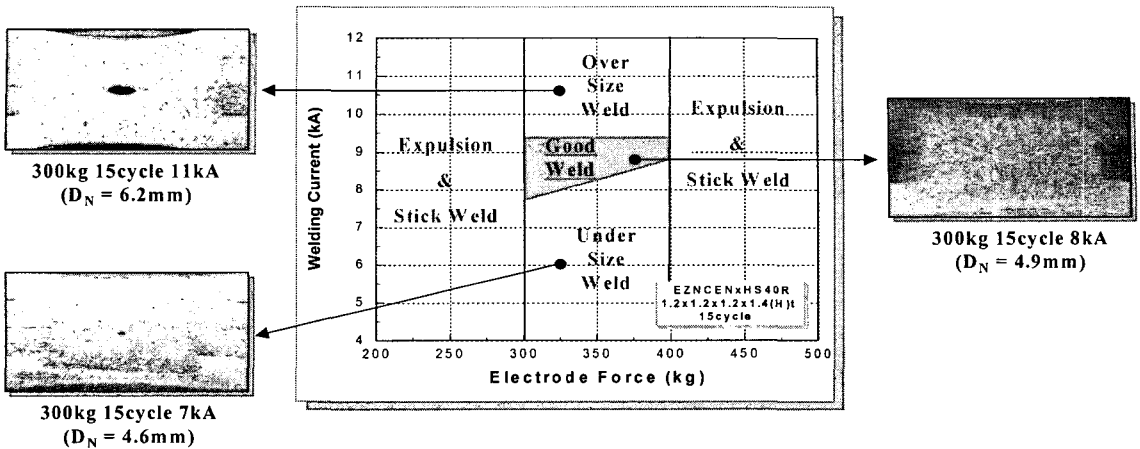


Fig. 7 Effect of welding current and welding force on nugget diameter

류 범위를 살펴보면 전극 가압력 300kg, 용접시간 15cycle의 조건에서 용접전류 7.7kA~9.4임을 그리고 전극 가압력 400kg, 용접시간 15cycle의 조건에서 용접전류 8.8kA~9.4kA임을 알 수 있다.

이상의 유효 너깃과 인장-전단강도 규격을 동시에 만족하는 최적 점용접 조건을 구하면 전극 가압력 300kg, 용접시간 15cycle의 조건에서 용접전류 7.7kA~9.4kA임을 그리고 전극 가압력 400kg, 용접시간 15cycle의 조건에서 용접전류 8.8kA~9.4 kA임을 알 수 있다.

3.3 4겹 점용접물의 적정 용접범위곡선의 제안
본 절에서는 4겹 점용접물에 대한 적정 용접범위 곡선을 제안하고자 한다. 일반적으로 점용접의 최적 용접조건의 결정요인은 전극, 가압력, 용접전류, 통전시간 및 전극 선단경이며, 이들 조건에 따라 형성된 점용접 너깃의 크기가 $4.3\sqrt{I_m} \sim 5\sqrt{I_m}$ 에 이르기 시작하는 전류와 시간을 최저 조건으로 하고, 판과 판 사이에서 비산이 발생하거나 용접 시 용접부에 전극용착이 발생하는 전류와 시간을 최대 용접조건으로 판정하여 이를 기준으로 각종 점용접물의 최적 용접설계 곡선을 설정하였다.

Fig. 7은 EZNCEN과 HS40R 강판 1.2×1.2×1.2×1.4(H)t 점용접물에 대한 적정 용접범위를 나타내는 용접설계 곡선이다. 본 그림은 앞선 3.1절과 3.2절에서 얻어진 적정 용접범위를 이용하여 구한 것으로서 그림 상에 입열량에 따라 생성되는 너깃형상과 크기를 함께 제시하였다. 그림에서

알 수 있듯이 용접조건에 따라 형성되는 너깃의 형상이 큰 차이를 보이고 있다. 즉 그림의 하측 경계 아래의 용접조건에서 얻어진 용접물의 경우는 충분한 용접 입열량 부족으로 인한 언더사이즈의 너깃이 발생하며, 상측 경계 위의 용접조건에서 얻어진 용접물의 경우는 과도한 용접 입열량에 의해 오버 사이즈의 너깃이 형성됨을 알 수 있다. 또한 그림의 좌측과 우측영역에 해당하는 용접조건에서 구성된 점용접물의 경우는 너깃의 유효크기가 $4.3\sqrt{I_m} \sim 5\sqrt{I_m}$ 을 벗어난 너깃의 형성과 함께 용접 시 비산이 발생하는 영역이다. 따라서 이상의 경계선들의 중간영역이 적정 용접조건 범위에 해당한다고 할 수 있으며 이를 그림 상에 음영으로 표시하였다. 결국 본 연구에서 제시된 최적 용접설계 곡선에서 음영으로 표시한 용접조건을 이용하여 4겹 점용접물을 구성한다면 양호한 품질 즉, KS 강도규격 및 유효너깃 조건을 만족하는 용접물을 얻을 수 있어 금후 현장 실기에서 유용하게 사용될 수 있을 것으로 사료된다.

4. 결 론

아연도금강판 및 고장력 강판을 이용하여 제작한 4겹 다층 점용접물을 대상으로 인장-전단강도 시험 및 너깃 직경을 관찰하여 다음의 결론을 얻었다.

(1) 모든 점용접물의 인장-전단강도는 용접전류의 증가에 따라 점차 증가하다가 비산이 관찰된

전류치 이상에서는 거의 변화가 관찰되지 않았다.

(2) 용접전류 및 용접시간이 증가함에 따라 용접강도 및 너깃 직경은 증가하는 반면에 가압력의 증가는 오히려 용접강도와 너깃 직경의 저하를 초래함을 알 수 있었다.

(3) 1.2×1.2×1.2×1.6t 점용접물에 비해 1.2×1.2×1.2×1.4(H)t 점용접물의 용접특성이 보다 뛰어난 것으로 나타났으며, 이는 용접물 강판 두께의 차이 또는 고장력 강판 HS40R의 화학성분에 기인한 결과로 사료된다.

(4) 4점 점용접물의 인장-전단강도 규격 및 유효 너깃 직경을 만족하는 적정 용접 조건은 1.2×1.2×1.2×1.6t 점용접물의 경우에는 얻을 수 없었으나, 1.2×1.2×1.2×1.4(H)t 점용접물의 경우 15cycle의 용접시간에서 가압력 및 용접전류는 200~300kg일 때 8kA, 400~500kg일 때 8~9kA 임을 알 수 있었다.

(5) 본 연구에서 제시된 최적 용접설계 곡선을 이용하여 4점 점용접물을 구성한다면 금후 현장 실기에서 양호한 품질의 점 용접물을 얻을 수 있으므로 사료된다.

후 기

"본 논문은 2003 한국학술진흥재단의 지원에 의해 연구되었음" (KRF-2003-002-D00007)

참고문헌

- (1) Gdeon, S.A., 1984, "Metallurgical and Process Variables Affecting the Resistance Spot Weldability of Galvanized Sheet Steels," SAE 840113, pp. 14~28.
- (2) Min, J.K., Oh, Y.K., and Kim, G.S., 1996, "A Study on the Spot Weldability of Automotive Steel Sheet," *Journal of KWS*, Vol. 14, No. 3, pp. 41~47
- (3) Paik, J.K., Chung, J.Y., and Paik, Y.M., 1999, "On Daynamic/Impact Tensile Strength Characteristics of Thin High Tensile Steel Materials for Automobile," *The Korean Society of Automotive Engineers*, Vol. 7, No. 2, pp. 268~278
- (4) Chuko, W.L., and Gould, J.E., 2002, "Development of Appropriate Resistance Spot Welding Practice for Transformation-Hardened Steels," *Welding Journal*, pp. 1s~7s.
- (5) Vandebossche, V., 1977, "Ultimate Strength and Failure Mode of Spot Welds in High Strength Steels," SAE 770214, pp. 1~12.
- (6) Lee, S.I, Kwon, I.H, Lee, B.J, Yu, H.S., 2001, "A Study of Fatigue Life Prediction for Automotive Spot Weldment Using Local Strain Approach," *Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers*, Vol. 25, No. 2, pp. 220~227.
- (7) Cho, S.M., 1997, "Principle of Resistance Welding and Analysis of Monitoring Results," *Journal of KWS*, Vol. 15, No. 2, pp. 1~10.
- (8) Seo, D.W., Yoon, H.C., Joen, Y.B., and Lim, J.K., 2003, "Effect of Spot Welding Conditions on Spatter and Mechanical Strength Properties," *Journal of KWS*, Vol. 21, No. 2, pp. 200~205.
- (9) KS B 0850, 1996, "Method of Inspection for Spot Weld," pp. 1~7.
- (10) Shin, H.I., and Kang, S.S., 1994, "A Study on the Spot Weldability of High Strength Steel Sheet and Two Stories Zinc Coated High Strength Steel Sheet," *Journal of KWS*, Vol. 12, No. 3, pp. 56~63.