

<論 文>

高張力 鋼板과 亞鉛鍍金 鋼板間의 點熔接 疲勞特性

徐 昌 敏* · 姜 成 守**

(1988年 1月 25日 接受)

Fatigue Characteristics of Spot Welding between High Strength Steel and Galvanized Steel Sheet

Chang-Min Suh and Sung-Su Kang

Key Words : Monogalvanized Steel Sheet(片面鍍金鋼板), Galvanized Plane(鍍金面), Bare Plane(非鍍金面), Dual Phase Steel(複合組織鋼)

Abstract

High strength steels (HS) of dual phase and monogalvanized steel sheets (GA ; plated plane, GAB ; bare plane) were used to investigate the fatigue strengths of four kinds of single-spot-welded joint specimen under tensile-shear repeated load. The specimen is classified as the same mating metal specimen (HS×HS, GA×GAB) and different mating metal specimen (HS×GA, HS×GAB). Some of the results are ; (1) Static tensile load of single-spot-welded joint specimens is proportional to tensile strength of metal and rigidity of mating metal sheet. (2) Fatigue life of HS×HS specimens increased about 20% longer than that of GA×GAB specimens in low cycle range. (3) In different mating metal specimens, the fatigue life of HS×GA specimens increased longer than that of HS×GAB specimens. (4) Fatigue life of HS×GA specimens increased about 84% more that of HS×HS specimens in high cycle range.

1. 序 論

一般的으로 용접의 피로강도에 대한 연구는 대형 구조물을 주대상으로 한 아크 용접에 관한 것이 주류를 이루어 왔다. 그러나 산업의 발달과 더불어 얇고 가벼운 첨단 제품의 비중이 커지고 이러한 제품에 관한 생산성 및 신뢰성이 문제가 되고 있다. 박판 구조물에 주로 응용되는 점용접법(spot welding)은 生産性이 높고 작업절차가 간단하여 自動化가 용이하므로 自動車, 항공기, 전자제품등 각종 첨단제품의 조립에 널리 응용되고 있다.

특히 에너지 쇼크이후 자동차의 경량화를 위한

高强度鋼材의 사용이 확장됨에 따라 이와같은 재료의 점용접부의 신뢰성에 많은 문제점을 제기하고 있다⁽¹⁾. 또한 북미 및 캐나다의 鹽害對策을 위한 아연도금강판의 사용이 늘고 있어 차체조립상 필수 불가결한 고장력 강판과 도금강판간의 정적 인장특성과 피로특성 연구는 새로운 문제점으로 제기되고 있는 실정이다.

고장력 강판과 양면 도금강판의 單種熔接部에 관한 연구는 어느정도 보고된 적이 있으나⁽²⁻⁴⁾ 편면 도금강판의 도금면, 편면 도금강판의 비도금면과 고장력 강판과의 점용접에 관한 연구는 보고된 적이 거의 없는 실정이다.

鹽害對策, 용접성 向上 및 용접전극의 수명증가 등을 위해서 최근에 많이 사용되는 片面 아연도금 강판의 용접조건은 양면이 동일하지 않고 고장력강

* 正會員, 慶北大學校 工科大學 機械工學科

** 正會員, 釜山大學校 工科大學 機械工學科

등과 같은 다른 異種鋼에 용접될 때 많은 문제점을 내포할 것이다.

종래의 인장강도에 기준을 둔 최적용접 조건은 많은 연구결과가 나왔고^(2,3,8,9), 여러 자동차회사 생산현장에서 필테스트(peel test) 등을 통하여 입증된 바 있지만 시간, 인력 및 특수장비가 요구되는 피로시험 연구결과는 그다지 많지 않아 高强度化에 의한 박판화는 사용조건에 가까운 피로시험에 충분히 研究檢討되어야 할 것으로 본다.

本 研究에서는 우리나라 자동차업체에서 널리 사용되는 복합조직인 고장력 강판(high strength steel sheet, HS)과 아연도금강판(galvanized steel sheet, GA)을 선택하여 각 강판간의 점용접 피로 특성을 규명하기 위하여 아래와 같은 4가지 조건하의 單點 點熔接 시험편을 제작하였다.

즉 (1) 고장력 강판(HS)×고장력 강판(HS), (2) 아연도금 강판(GA)×비도금면의 도금강판(GAB), (3) 고장력 강판(HS)×도금된 강판(GA), (4) 고장력 강판(HS)×비도금면의 도금강판(GAB)이다.

이와같이 同種熔接材(HS×HS, GA×GAB)와 異種熔接材(HS×GA, HS×GAB)간의 單點 點용접 시험편을 제작하여 常溫下에서 정적 인장시험과 피로시험을 실시하여 각 재질간의 정적인장 특성과 피로특성을 규명하였다.

2. 실험재료 및 실험방법

2.1 실험재료

본 실험에 사용된 材料는 판두께 0.7mm인 복합조직(dual phase)인 고장력 강판(high strength

steel sheet, HS로 칭함)과 亞鉛鍍金 鋼板(galvanized steel sheet, GA로 칭함)이다. Table 1은 본 실험에 사용된 두가지 재료(HS, GA)의 化學成分을 나타내고 Table 2는 각각의 기계적 성질을 나타낸다.

이와같이 본 실험에 사용된 고장력강은 자동차 제조업체에서 주로 사용하는 페라이트-마르텐사이트 복합조직강으로 이 재료는 低降伏比, 변형초기의 加工硬化率이 높아 프레스 加工性이 좋은 것으로 알려져 있다^(12,14).

2.2 실험 방법

본 실험에 사용된 시험편은 定置式 點용접기(PA-150)*로 제작되었고 半球形(dome type)인 용접전극을 사용하였다. 전극 팁은 산화 알루미늄 분산동으로 되어있고 외경 $\phi 16\text{mm}$, 용접 전극경 $\phi 6\text{mm}$ 크기이다.

피로시험편은 여러가지 용접조건하에 제작된 單點 點용접 시험편을 인장시험과 필 테스트로 구한 용접최적 조건하에서 제작하였고, Table 3에 그 용접조건을 나타내었다. 亞鉛鍍金된 GA시험편은 片面도금상태이므로 실용적인 면을 고려하여 도금면을 상대의 시험편과 點용접시킨 것을 "GA"라 칭하고 비도금면(bare plane)을 상대의 시험편과 點용접시킨 것을 "GAB"로 칭하였다.

복합조직인 고장력강은 密着性이 좋지 않아 加壓力을 어느정도 크게 해주어야 Fig. 1과 같은 飛散(expulsion)이 일어나지 않는다. 이러한 飛散현상은 전류의 세기에 비해 가압력이 적은 경우와 같은 비적절한 용접조건하에서 생긴다. 가압력은 壓接의

Table 1 Chemical composition(WT, %)

Materials	C	Mn	Si	P	S
HS	0.05	0.2	0.02	0.06	0.007
GA	0.01	0.11	0.01	0.012	0.005

Table 2 Mechanical properties of specimens

Materials	Yield stress (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation (%)
HS	215.7	339.3	39
GA	186.3	299.1	49

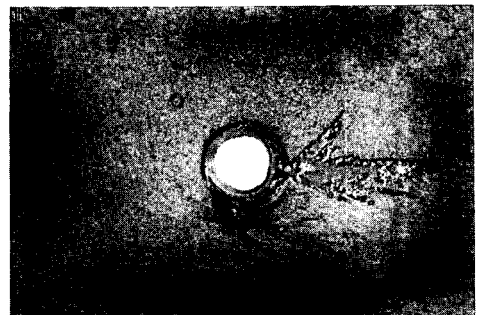


Fig. 1 Shape of expulsion

* 정격 용량 150kVA, 최대단락 전류 40,000A, 최대 가압력 14,710N

역할과 더불어 비산을 막는 역할이 중요하며, 가압력이 일정 전류하에서 어느 한계치보다 작아지면 飛散의 현상이 일어나는 것으로 보고되고 있다⁽¹⁶⁾.

Fig. 1과 같이 비산된 시험편은 인장강도 및 피로강도가 크게 감소하므로 본 실험에서 사용된 시험편은 비산이 생기지 않은 Table 3과 같은 조건하에서 재질에 따라서 제작된 시험편을 사용하였다.

Fig. 2는 본 실험에 사용된 시험편의 치수를 나타낸다. JIS규격⁽¹⁵⁾에는 電極지름이 $\phi 5\text{mm}$ 일때 板幅이 40mm이지만 본 시험편의 폭은 50mm로 일정하게 유지하였다. 이것은 본 실험에 사용한 시험편의 너깃(nugget)의 지름이 $\phi 6\text{mm}$ 로서 통상적인 너깃보다 그 크기가 크기 때문이다.

보통 5mm以下の 너깃에서도 판폭이 40mm以上으로 증가할 때는 피로강도가 증가한다는 보고⁽⁷⁾도 있다.

시험편은 고장력강판과 고장력강판 사이에 單點 點용접된 HS×HS시험편은 3432N의 비교적 큰 加壓力下에서 제작하였고, 아연도금 강판의 도금면(galvanized plane)과 비도금면(bare plane) 사이에 點용접된 GA×GAB시험편은 1961N의 낮은 加壓力下에서 제작하였다. 또 異種材 용접시험편은 그 중간인 2942N의 加壓力下에서 製作하였다. 이러한 도금면과 비도금면 사이의 피로강도는 GA材의 生産性과 鹽害의 손실을 파악하기 위한 기초적

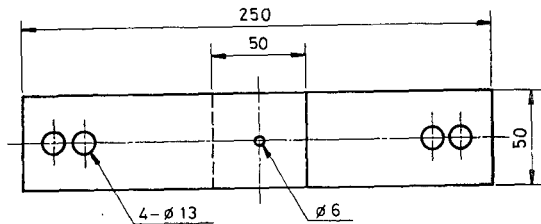


Fig. 2 Shape of specimen(mm)

Table 3 Welding condition

Specimens	Squeeze force (N)	Squeeze time (cycles)	Welding time (cycles)	Hold time (cycles)	Current (A)
HS×HS	3432	40	9	12	9100
GA×GAB	1961	40	9	12	9100
HS×GA	2942	40	12	12	9100
HS×GAB	2942	40	12	12	9100

인 자료를 얻기 위해서이다.

고장력 강판과 편면 아연도금 강판 사이에 點용접된 異種 시험편은 도금면과 點용접시킨 HS×GA시험편과 비도금면을 點용접시킨 HS×GAB시험편을 포함한 4가지 시험편을 각각 제작하였다.

피로시험은 전기유압식 피로시험기(Instron 1332)를 사용하여 주파수 25Hz 應力比 $R=0$ 조건하에서 하중제어 피로시험을 상온에서 실시하였다.

본 실험에서 결정하는 피로수명(N_f)은 피로균열이 點용접부의 내부에서 발생 成長하여 표면을 관통하여 어느정도 성장함과 더불어 부하하중이 떨어지는 시점을 기준으로 하였다.

본 실험을 통하여 관찰한 결과 대체로 너깃(nugget)지름 정도의 피로균열이 표면에 관통하여 나타나면 피로시험기에 부하된 일정한 하중이 저하되어 시험기의 작동이 정지되었다.

2.3 정적 인장특성

Fig. 2의 피로시험편과 동일 형상으로 제작된 정적 인장시험편을 전자식 인장시험기(tensilon)를 사용하여 인장속도 3mm/min로 인장시켰을 때의 인장력은 Table 4에 나타낸다.

모재강도가 강한 HS×HS材의 경우는 모재강도가 약한 GA×GAB材보다 인장력이 약 18.3% 증가하였고, 모재강도가 강한 것과 약한 것으로 된 異種試驗片인 HS×GA材 및 HS×GAB材의 경우에는 GA×GAB材보다 각각 약 3.8%, 2.6% 증가하였다. 이렇게 HS×GA材 시험편의 인장력이 GA×GAB材보다 큰 것은 두 용접재간의 剛性에 의존한 것이다.

Fig. 3과 Fig. 4에 정적인장시험시에 나타나는 파손의 예를 나타낸다. Fig. 3은 비교적 剛性이 적은 GA材와 GAB材간의 파손예이고, Fig. 4는 剛性이 큰 HS材와 剛性이 작은 GA材인 HS×GA材간의 예를 나타낸다.

Table 4 Tensile force of specimens

Specimen	Tensile force(N)
HS×HS	4825
GA×GAB	4080
HS×GA	4236
HS×GAB	4187



Fig. 3 Shape of statically failed specimen GA x GAB, P=3099N



Fig. 4 Shape of statically failed specimen HS x GA, P=4236N

Fig. 3과 같이 同質의 재료이며 동일 剛性으로 용접된 시험편의 경우에는 점용접부를 기준으로 한 回轉角이 서로 일정하였다. Fig. 4의 경우에는 강성이 큰 HS시험편은 회전각이 거의 없고 강성이 약한 GA板材에 회전각이 크게 생겼다. 이와같은 결과로 剛性이 약한 GA x GAB材보다는 HS x GA材 혹은 HS x GAB쪽의 인장력이 Table 4와 같이 증가하고 있다.

이상의 단순 인장시험의 결과에서 異種材料로 점용접된 HS x GA 및 HS x GAB시험편은 同一材質로 용접된 GA x GAB시험편보다 약 3% 높은 인장력을 나타내었다. 이러한 정적 인장시험에서 얻은 자료만으로 반복하중을 받는 차체 및 구조물을 경량화 설계하는 데에는 많은 문제점을 내포할 것이다. 따라서 경량화를 추구하는 현시점에서 이종재료간의 점용접에 관한 체계적인 피로시험과 부식피로시험을 통하여 종합적으로 검토할 필요성이 요구된다.

본 연구는 이러한 연구의 필요성에 의한 기초적 연구로서 Table 4에 나타낸 4가지 시험편에 관한 片振引張軸荷重疲勞試驗을 常溫에서 실시하여 각 재료간의 점용접 피로특성을 얻어 그 기초자료를 축적한다.

3. 결과 및 고찰

3.1 HS x HS材의 하중-반복수 특성

Fig. 6은 高張力鋼의 同質材間에 점용접시킨 HS x HS시험편의 피로시험 결과이며 10^6 회 반복수까지 견디는 하중범위는 약 1275N이다.

피로수명이 짧은 10^4 회 근처의 하중범위에서는 피로과정의 초기부터 點熔接部 근방에 소성변형이 생기고 회전각도 다소 크게 생겼다. 이러한 현상은 파단수명에 근접할수록 크게 나타났지만 인장시험의 Fig. 3과 같이 그 회전각이 크지는 않고 Fig. 5 보다는 크게 생겼다.

피로수명이 10^6 회 영역의 하중범위에서는 회전각 및 변형이 외형적으로 거의 일어나지 않다가 파단

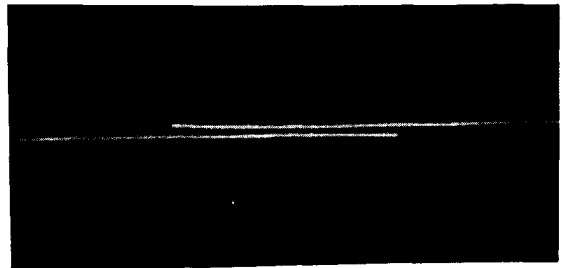


Fig. 5 Shape of fatigue fractured specimen HS x GA, P=1667N $N_f = 5.16 \times 10^6$ cycles, 25Hz

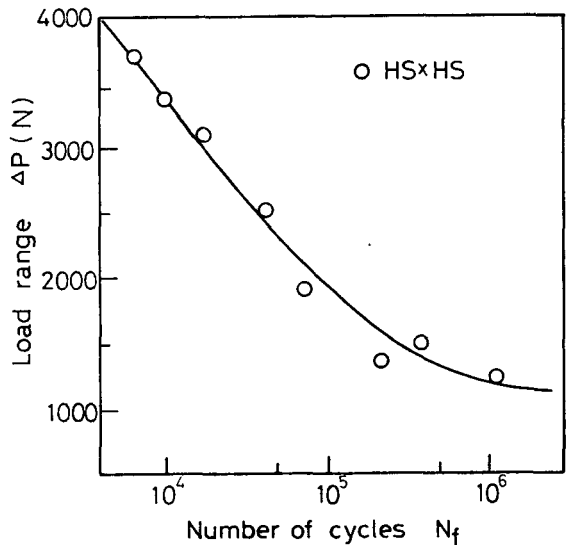


Fig. 6 Relationship between load range ΔP and number of cycles N_f of HS x HS specimens

수명에 가까워질수록 피로균열이 표면에 발생하며 회전각은 Fig. 5와 같이 작다.

피로균열이 발생하는 위치는 피로반복수가 10^4 사이클인 높은 하중범위에서는 Fig. 7(a)와 같이 너깃전면의 열영향부(HAZ)에서 주로 발생하였고 낮은 하중범위인 2.1×10^6 사이클 근처에서는 Fig. 7(b)와 같이 너깃의 경계면이나 너깃 안쪽으로 피로균열이 발생하였다.

피로균열이 시험편 양면에 거의 동시에 관통되었다. 그러나 10^6 회 근처의 장수명영역의 낮은 하중범위에서는 회전각이 작은 쪽에 피로균열이 먼저 관통하는 현상을 관찰할 수 있었다.

3.2 GA×GAB材의 하중-반복수특성

Fig. 8은 아연도금 강판의 도금면(GA)과 비도금면(GAB)을 점용접시킨 GA×GAB시험편의 피로시험 결과를 나타낸다.

10^6 사이클까지 견디는 하중범위는 약 1324N정도이고, 이것은 정적 인장하중의 32%정도이다. 또한 피로균열이 발생하는 위치는 HS×HS시험편보다 너깃내부에 가깝게 나타났고 시험편의 회전각도 적게 나타남을 관찰할 수 있었다.

3.3 HS×HS材와 GA×GAB材간의 比較

Fig. 9는 HS×HS材의 피로시험 결과와 GA×GAB材의 피로시험 결과를 서로 비교한 것이다. 10^4 사이클 영역에서는 두 재료간의 차이는 거의 없지만 4×10^5 사이클 이후에는 HS×HS 쪽이 GA×GAB쪽보다 피로수명이 짧아지는 경향을 나타내고 있다.

이러한 결과는 Pollard의 研究結果⁽⁴⁾와도 서로 일치하고 있다. 즉 析出強化된 고장력강을 사용한 Pollard의 결과에 비하면 본 연구의 HS材 및 GA材의 역전위치가 Pollard의 결과보다 다소 빠른 것 같다.

3.4 GA×GAB材와 HS×GA材간의 비교

Fig. 10은 GA×GAB材의 피로시험의 결과와 HS×GA材의 피로시험 결과를 비교한 것이다. 10^4 사이클 수명영역에서는 두 종류간의 하중범위 및 반복수사이의 관계는 거의 같은 경향을 나타내고 있지만 $2 \times 10^4 \sim 6 \times 10^5$ 사이클 영역에서는 HS×GA材쪽이 GA×GAB材보다 피로수명이 증가하는 경향을 나타내고 있다. 하중범위 ΔP 가 1961N인 경

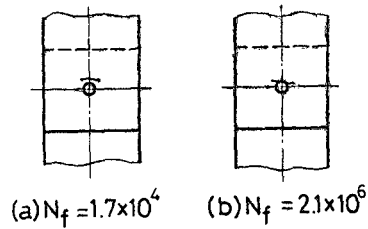


Fig. 7 Position of propagated fatigue cracks

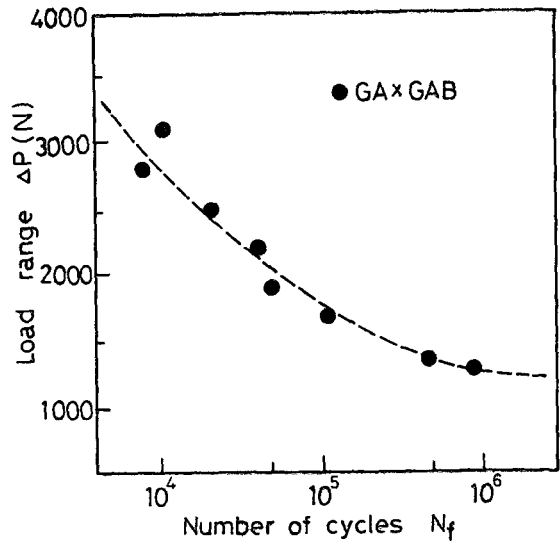


Fig. 8 Relationship between load range ΔP and N_f of GA×GAB specimens

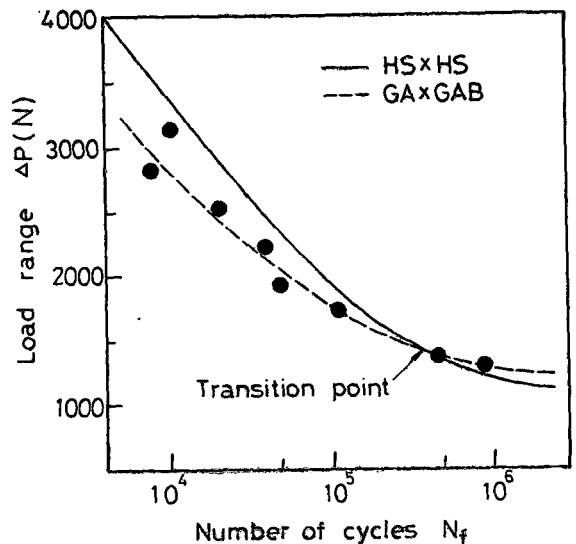


Fig. 9 Comparison of fatigue characteristics between HS×HS and GA×GAB specimens

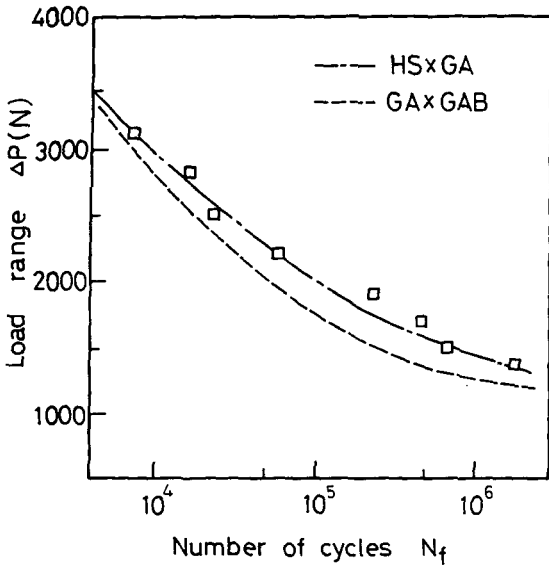


Fig. 10 Comparison of fatigue characteristics between HS×GA and GA×GAB specimens

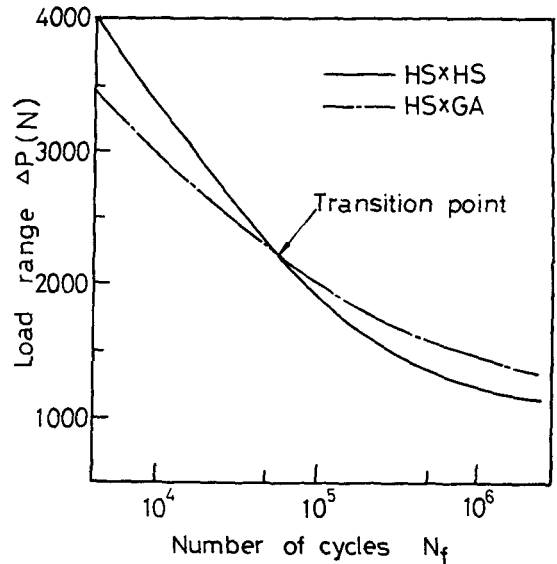


Fig. 11 Comparison of fatigue characteristics between HS×HS and HS×GA specimens

우 HS×GA材는 GA×GAB材보다 피로수명이 110% 증가하였고 하중범위가 1471N인 경우 약 70% 증가하였다. 이것은 피로수명의 장수명 영역이 될수록 두 재료간의 剛性이 민감하게 작용함을 의미하며 점용접된 상대편 시험편 재료의 剛性이 클수록 피로수명이 증가됨을 알 수 있다.

3.5 HS×HS材와 HS×GA材의 比較

Fig. 11은 HS×HS材와 HS×GA材간의 피로시험 결과를 서로 비교한 것이다. 10⁴사이클 근처의 단수명 영역에서는 HS×HS材의 피로수명이 증가하며 10⁶사이클 근처의 장수명 영역에서는 HS×GA材쪽의 피로수명이 증가함을 알 수 있다. 즉 하중범위 3432N인 경우 HS×HS材가 HS×GA材보다 피로수명이 53% 증가하였고 하중범위 1471N인 경우 HS×HS材가 HS×GA材보다 피로수명이 83% 감소하였다. 이와같이 인장강도는 12% 감소한 HS×GA材가 피로시험의 장수명 영역인 1471N에서는 HS×GA材가 83%증가하였다.

이러한 현상은 두 재료간의 剛性에 따른 結果로서, 비교적 軟性이 큰 쪽은 剛性이 큰 상대편 쪽에 손상을 적게 끼친 결과로 추측된다. 이러한 材質間 차이에 따른 피로손상의 결과는 반복하중에 의한 疲勞損傷의 累積面에서 좀 더 집중적인 연구가 요청된다. 또한 HS×HS材와 HS×GA材간의 피로

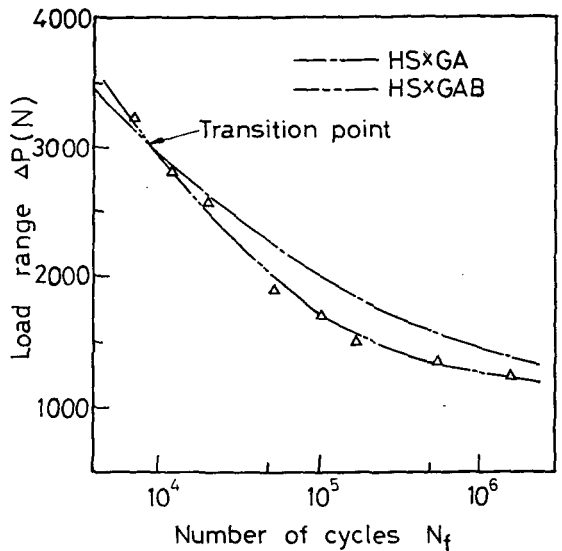


Fig. 12 Comparison of fatigue characteristics between HS×GA and HS×GAB specimens

수명이 서로 역전되는 위치가 3.3절과 3.4절에서 비교한 데이터의 중간위치에 해당한다.

3.6 HS×GA材와 HS×GAB材간의 比較

Fig. 12는 HS×GA材와 HS×GAB材간의 피로수명을 서로 비교한 것이다. 高張力鋼板에다 片面鍍金된 HS×GA쪽이 도금되지 않은 비도금면을

점용접시킨 HS×GAB쪽보다 본 연구에서 대상으로 한 전수명의 구간에서 피로수명이 증가된 경향을 나타내고 있다. 즉 HS×GA材는 HS×GAB材보다 하중범위 1961N와 1471N에서 피로수명이 각각 약 370%, 320%만큼 증가하고 있다.

이와같이 두 材料간의 용접조건상의 비대칭에 의하여 HS×GA材쪽이 HS×GAB쪽보다 피로수명이 증가하게 된다.

이것은 도금된 GA쪽이 점용접시 용융될 때 아연은 대부분 높은 온도로 인하여 冶金가스로 飛散되고 용접부의 조직에 큰 영향을 미치지 않으나, 비도금면인 GAB쪽은 도금면과 용접전극 사이의 친화성때문에 전극팁의 구리가 황동화되는 현상이 결과이다^(1,3). 또한 HS×GA시험편의 피로수명이 증가하는 현상은 전극소모를 적게 할 수 있어 점용접의 生産의 側面에서도 유익하다고 생각된다⁽¹⁾.

3.7 각 시험편의 비교

Fig. 13에는 본 실험에서 피로시험을 실시한 4가지 시험편의 $\Delta P-N_f$ 곡선을 동시에 나타낸다. 10^4 영역의 단수명 영역에서는 인장시험에서 인장력이 가장 큰 HS×HS材의 피로수명이 가장 길다. 또한 剛한 시험편과 軟한 시험편이 상호 점용접된 HS×GA材가 3×10^4 이후에는 피로수명이 가장 길며 또한 하중범위도 가장 높았다. 이것은 剛한 시험편은

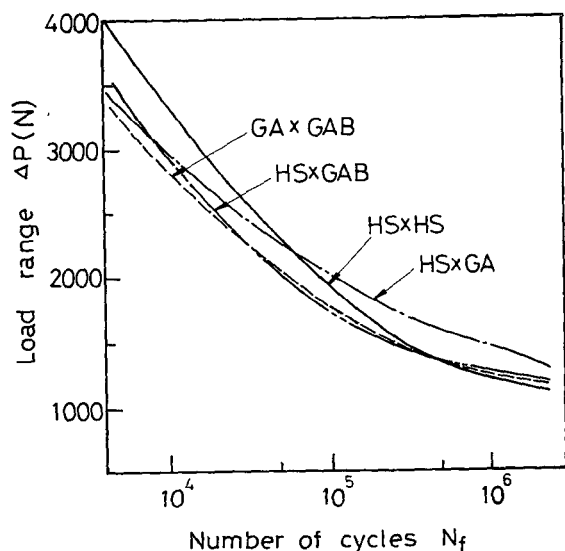


Fig. 13 Relationship between load range ΔP and number of cycles N_f for various specimens

굽힘변형을 방지하고 연한 시험편은 손상을 약하게 한 결과로 생각된다. 그러나 HS×GAB용접재는 GA×GAB材와 거의 비슷한 피로특성을 나타내었다.

이상과 같은 각 시험편간의 10^6 사이클상의 하중범위를 Table 5에 나타낸다. Table 5과 같이 HS×GA쪽이 가장 높고 HS×HS쪽보다 11.5% 증가하였다.

Table 5 Load range for 10^6 cycles

Specimen	Load range(N)
HS×HS	1275
GA×GAB	1324
HS×GA	1422
HS×GAB	1294

5. 結 論

페라이트-마르텐사이트 복합조직으로 된 고장력 강판(HS)과 片面亞鉛鍍金된 강판(GA)을 사용하여 同種熔接材(HS×HS, GA×GAB)와 異種熔接材(HS×GA, HS×GAB)인 4가지 點熔接 試驗片을 각각 제작하여 정적 인장시험과 피로시험을 실시하여 研究한 결과 다음과 같은 結果를 얻었다.

(1) 정적 인장강도는 모재강도에 비례하며 상대 시험편의 剛性이 커질 때는 인장강도도 증가하며, HS×HS材는 GA×GAB材보다 약 18.3% 증가하였다.

(2) 동일재질간의 점용접에서는 HS×HS쪽이 GA×GAB쪽보다 短壽命영역에서 피로수명이 증가하였고 장수명영역에서는 서로 비슷한 경향을 나타내었다.

(3) 이종재간의 점용접에서는 HS×GA쪽이 HS×GAB보다 전수명영역에서 피로수명이 증가하는 경향을 나타내었다.

(4) HS×GA쪽은 HS×HS材보다 인장강도는 12% 감소하였지만 長壽命領域에서는 약 84%정도 피로수명이 증가하였다.

參 考 文 獻

- (1) 近藤正桓, 劑藤亨, 1986, "最近の自動車用亞鉛

- メシキ鋼板及び高張力鋼板の抵抗スポット溶接,
日本溶接學會誌, Vol. 2, No. 2, pp. 37~46.
- (2) D. J. Vandebossche, 1977, "Ultimate Strength and Failure Mode of Spot Welds in High Strength Steels", SAE 770214 pp. 1~12.
- (3) Suzanne Mathieu, 1985, "Zinc Coating Influence on Spot Weldability of Hot-Dip Galvanized Steel Sheets", SAE 850273, pp. 1~7.
- (4) B. Pollard, 1982, "Fatigue Strength of Spot Welds in Titanium-Bearing HSLA Steels", SAE 820284, pp. 1~16.
- (5) 友田陽, 田村今男, 1982, "延性2相鋼板の強度, 延性と組織", 鐵と鋼, Vol. 68, No. 9, pp. 1147~1158.
- (6) 岡襄二, 1983, "自動車用防錆處理鋼板の動向", 日本自動車技術, Vol. 37, No. 8, p. 876.
- (7) 佐藤次彦, 片山襄二, 1982, "多點スポット溶接繼手の應力分布と疲勞強度", 日本溶接學會誌, Vol. 51, No. 1, pp. 37~44.
- (8) 須藤正俊, 野村伸吾, 1982, "高強度薄鋼板のスポット溶接性", 鐵と鋼, Vol. 68, No. 9, pp. 286~289.
- (9) 柳炳吉, 姜春植, 1987, "Galvannealed steel의 點溶接性에 관한 研究", 대한용접학회지, 제 5 권, 제 1 호, pp. 64~71.
- (10) Pollard N. 1979, "Spot Weldability of Dual Phase Steels", SAE 790006, pp. 1~8.
- (11) 宋森弘, 金富東, 1984, "點溶接材의 破壞舉動과 應力分布", 大韓機械學會論文集, 제 8 권, 제 3 호, pp. 224~231.
- (12) 조용한, 1983, "自動車用 高張力鋼板(1)", 大韓機械學會誌, 제23권, 제 2 호, pp. 102~110.
- (13) 徐昌敏, 1987, "點溶接 構造의 疲勞強度 및 壽命推定法", 大韓機械學會誌, 제27권, 제 5 호 pp. 413~420.
- (14) 김정규, 1982, "複合組織鋼과 自動車 輕量化", 大韓機械學會誌, 제22권, 제 1 호, pp. 2~8.
- (15) JIS-Z 3138-1983, "スポット溶接繼手の疲勞試驗方法".
- (16) 現代自動車(株), 1985, "電氣抵抗溶接法", pp. 45~50.