creative commons
COMMONS DEED

저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:

**저작자표시**. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

**비영리**. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.

**변경금지**. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

**저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.**

이것은 이용허락규약(Legal Code)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

Disclaimer

dCollection

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

[UCI]I804:24011-200000266406

2017년 8월

석사학위 논문

# 저항 점 용접시 전극형상비에 따른 압흔 저감에 관한 연구

조선대학교 대학원

용접·접합과학공학과

김 지 민

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

# 저항 점 용접시 전극형상비에 따른 압흔 저감에 관한 연구

A study on the indentation characteristics with electrode diameter ratio in resistance spot welding

2017년 8월 24일

조선대학교 대학원

용접·접합과학공학과

김 지 민

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

# 저항 점 용접시 전극형상비에 따른 압흔 저감에 관한 연구

지도교수 방 희 선

이 논문을 공학 석사학위신청 논문으로 제출함

2017년 4월

조선대학교 대학원

용접·접합과학공학과

김 지 민

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

# 김지민의 석사학위논문을 인준함

위원장 조선대학교 교 수 방한서 (인)

위 원 조선대학교 교 수 방희선 (인)

위 원 조선대학교 교 수 송국현 (인)

2017년 5월

조선대학교 대학원

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

# CONTENTS

List of Figures ····· III
List of Tables ····· IV
Abstract ····· V

1장. 서론 ····· 1
1.1 연구 배경 및 목적 ····· 1
1.2 국내 외 기술 동향 ····· 3
1.3 저항 점 용접 ····· 5
1.3.1 저항 점 용접의 원리 ····· 5
1.3.2 저항 점 용접 품질 평가 ····· 7

2장. 연구 방법 ····· 8
2.1 연구 방법 및 용접 조건 ····· 8
2.1.1 연구 개요 ····· 8
2.1.2 사용소재 및 용접법 ····· 8
2.1.3 실험 장비 ····· 10
2.1.4 공정 변수 선정 ····· 11
2.1.5 용접 품질 평가 ····· 13



Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

2.2 용접부 특성 평가 ····· 14
2.2.1 점 용접 이음의 단면 시험방법 ····· 14
2.2.2 인장-전단강도 ····· 17
2.2.3 경도시험 ····· 20

3장. 결과 및 고찰 ····· 21
3.1 전극직경비 변화에 따른 용접부 품질 평가 ····· 21
3.1.1 판재 두께 1.2t(㎜) ····· 21
3.1.2 판재 두께 1.6t(㎜) ····· 24
3.1.3 이종 두께 1.2t×1.6t(㎜) ····· 27
3.2 가압력 변화에 따른 품질 평가 ····· 30
3.2.1 판재 두께 1.2t(㎜) ····· 30
3.2.2 판재 두께 1.6t(㎜) ····· 31
3.2.3 이종 두께 1.2t×1.6t(㎜) ····· 32

3.3 기계적 특성 평가 ····· 33
3.3.1 인장-전단강도 특성 ····· 33
3.3.2 경도 분포 특성 ····· 36

4장. 결론 ····· 37

참고문헌 ····· 39



Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

# List of Figures

Fig. 1.1 Temperature distribution of spot welding ····· 5
Fig. 1.2 Mimetic diagram of RSW machine ····· 6
Fig. 1.3 Contact resistance and temperature distribution on RSW ····· 6
Fig. 2.1 Configuration of RSW lap-joints specimen ····· 9
Fig. 2.2 Equipment of resistance spot welding ····· 10
Fig. 2.3 Specimen of resistance spot welding ····· 15
Fig. 2.4 Optical microscope ····· 15
Fig. 2.5 Cross section of spot welded specimen ····· 16
Fig. 2.6 Dimension of tensile-shear strength test specimen ····· 18
Fig. 2.7 UTM(Universal Testing Machine) ····· 19
Fig. 2.8 Vickers hardness test scheme and equipment ····· 20
Fig. 3.1 Indentation depth of spot welding with electrode tip diameter (1.2t) ····· 22
Fig. 3.2 Indentation depth of spot welding with electrode tip diameter (1.6t) ····· 25
Fig. 3.3 Indentation depth of spot welding with electrode tip diameter (1.2t×1.6t) ····· 27
Fig. 3.4 Nugget diameter and indentation depth of spot welded joints with electrode force (1.2t) ····· 30
Fig. 3.5 Nugget diameter and indentation depth of spot welded joints with electrode force (1.6t) ····· 31
Fig. 3.6 Nugget diameter and indentation depth of spot welded joints with electrode force (1.2t×1.6t) ····· 32
Fig. 3.7 Tensile-shear test results ····· 35
Fig. 3.8 Hardness distribution of spot welded joints ····· 38



Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

# List of Table

Table. 2.1 The chemical composition in SPCC (Wt%) ····· 9
Table. 2.2 The mechanical property in SPCC ····· 9
Table. 2.3 Specifications of resistance spot welding machine ····· 10
Table. 2.4 Electrode tip diameter and diameter ratio ····· 11
Table. 2.5 Welding conditions for resistance spot welding ····· 12
Table. 2.6 Configuration of tensile-shear test specimen (unit : mm) ····· 18
Table. 3.1 Welding conditions for resistance spot welding (1.2t) ····· 22
Table. 3.2 Cross section and nugget diameter of spot welding with electrode diameter (1.2t) ····· 23
Table. 3.3 Welding conditions of resistance spot welding (1.6t) ····· 25
Table. 3.4 Cross section and nugget diameter of spot welding with electrode diameter (1.6t) ····· 26
Table. 3.5 Welding conditions of resistance spot welding (1.2t×1.6t) ····· 28
Table. 3.6 Cross section and nugget diameter of spot welding with electrode diameter (1.2t×1.6t) ····· 29
Table. 3.7 Welding conditions for tensile-shear test specimen ····· 33
Table. 3.8 Fracture modes of spot welded specimen after tensile-shear test ····· 34



Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

# ABSTRACT

## A study on the indentation characteristics with electrode diameter ratio in resistance spot welding

Kim Ji-Min
Advisor : Prof. Bang, Hee-Seon, Ph.D.
Department of Welding and Joining Science Engineering,
Graduate School of Chosun University

Resistance Spot Welding(RSW) is a way of joining the materials by forming melted nugget in contact surface between materials. The nugget is formed by welding force and resistance heating. As an advantage of Resistance Spot Welding, the heat affected zone is generated because of its high speed of cooling and heating. Resistance Spot Welding is widely applied as one of the joining process in variety industries such as automobile, railroad car and cargo plane due to its economic feasibility and productivity. Nevertheless, the high temperature zone occurred by resistance heating and virtual pressure cause the plastic deformation. The weldability degrades because of indentation generated by the plastic deformation. Therefore, servo gun type of welding equipment or cu plate is used to decrease the indentation in industrial site. This study is to deduct the optimum welding condition by decreasing the depth of indentation with changing the diameter of the electrode tip. The experiment is progressed with fixed diameter of lower electrode tip and variable sizes of upper electrode tip. The characteristic of Resistance Spot Welding is evaluated by the ratio of the upper and lower



Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

electrode tip diameters in this study.

In case of same electrode tip diameter, the nugget diameter had increased when the current had increased. This can be inferred that the increase of heating value from the increase of current value affected the growth of nugget. In the same weld current, meanwhile, the nugget diameter had decreased when the electrode tip diameter ratio had increased. This result is from the decrease of current density by the increase of electrode tip diameter of upper surface.

the cross section of weld metal shows that 1.0 and 1.3 of electrode tip diameter ratio allowed the proper size of nugget growth, but the nugget could not grow and only be affected from the heat in the electrode tip diameter ratio which is upper than 1.7.

As the electrode tip diameter ratio increases, resistance heating decreases and nugget diameter decreases due to a decrease in current density. The minimum nugget diameter was satisfied at the electrode tip diameter ratio of 1.0 ~ 1.3. In addition, the depth of indentation was reduced to 0.038mm from the current ratio of 1.3 to 9.0kA. The indentation was convex at the electrode tip diameter ratio of 1.7 or more.

In the tensile shear strength test, about 7.702kN was measured under conditions of a weld force of 2kN and a current of 9.5kA. Then, under conditions of a weld force of 3kN and a current of 9.5kA, a tensile shear strength of about 7.752kN was measured. The tensile shear strength values when the condition of weld force 2kN than under the conditions of weld force 3kN the lower measurement is thought to be because the heat affected zone to increase the contact resistance between the plate material increases as the pressing force is decreased. However, both conditions are above all industry standards (6.17kN).



Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

# 제 1 장 서 론

## 1.1 연구 배경 및 목적

차체의 저항 용접법인 점 용접은 Joule 열을 이용한 용접법으로 오늘날 자동차, 가전분야를 비롯하여 대형 강구조물에 이르기까지 폭넓은 적용 범위를 가지고 있으며, 점 용접은 단극식 점용접(single spot welding), 직렬식 점용접(series spot welding), 다전극 접용접(multi spot welding)등이 있으며 융접(fusio welding), 납접(brazing and soldering) 및 리벳팅(riveting) 등의 접합방법에 비하여 작업성, 신뢰성, 안정성 및 생산성이 우수한 전기저항용접 방법으로 강재의 용접 특히 자동차 산업에 널리 쓰이고 있는 용접법이다.

저항 점 용접의 여러 가지 결함에 대한 연구는 꾸준히 이루어졌으나 이러한 연구들은 주로 저항 점 용접부의 기계적 강도나 결함 방지책에 대한 연구가 대부분이다. 따라서, 본 연구에서는 접합부 강도에 영향을 미칠 뿐만 아니라 제품의 외관에도 상당한 영향을 미치는 압흔을 감소시킬 수 있는 방안에 대하여 연구하고자 하였다.

저항 점 용접에서는 용접이 진행되는 동안 판과 판 사이 너겟 형성부의 안정화를 위하여 적절한 가압이 필요하다. 하지만, 이러한 용접 건의 가압력으로 인하여 용접부 외부에 압흔(indentation) 또는 오목자국이라 불리는 용접흔적을 남기게 된다. 차체에 적용되는 대부분의 저항 점 용접 점 들은 도장이나 의장부품에 의해 가려져 외부에 쉽게 눈에 띄지 않지만, 일부 무빙부품, 즉, 후드, 드렁크리드, 테일게이트, 도어 등에 적용된 용접부에는 압흔이 그대로 노출되어 자동차의 감성품질을 저하시킨다.



Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

압흔은 응력집중현상에 의해 전단강도를 저하시키는 원인이 되기도 하므로 중요한 품질변수중 하나이다. 또한 압흔이 발생한 만큼 용접부의 금속이 용접 주변부로 밀려나서 접합이 되며 판재 사이가 벌어지는 판 분리 현상이 발생되어 점 용접된 외관은 변형이 되어 제품의 품질을 저하시킨다.[2~3]

대부분 차체에 적용되는 저항 점 용접들은 도장에 의해 용접 흔적이 가려져 쉽게 눈에 띄지 않지만 일부 점 용접으로 인해 압흔이 도출되는 부품의 외관상 품질을 개선시키면서 전단강도를 임계값 이상으로 유지시키고자 본 연구에서는 이를 저감 시킬 수 있는 방법을 개발하여 일부 산업용 자동차의 외관상 제품 품질을 향상시키고 디자인 유연성을 높이고자 한다.[4]



Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

## 1.2 국내·외 기술 동향

저항 점 용접 시의 저항은 주로 소재의 비저항과 접촉저항으로 이루어지는데 접촉저항은 일반적으로 가압력에 역비례하는 경향을 보인다. 가압력이 낮으면 용접 초기 접촉 저항의 증가로 발생되는 초기 과도입열로 인해 용접부는 용융이 많이 발생하여 압흔의 깊이는 증가하나 용융이 생성되고 난 뒤 용융부를 견고하게 만드는 가압력을 주지 못해 전단인장강도가 감소하는 경향이 있다. 가압력이 너무 높으면 초기 접촉 저항의 감소로 저항 발열량이 줄어들고 이로인해 전단인장강도가 감소하는 경향을 보여주었고 통전 후 유지시간에 과도한 가압력을 받아서 압흔의 깊이가 깊어지게 된다. 반면에 적절한 가압력에서는 충분한 입열과 가압력으로 인해 전단인장강도가 증가함과 동시에 압흔의 깊이도 낮아지게 된다. 그러나 가압력에 의한 상반된 효과를 제어하는 것은 상당히 어려우며 전류밀도를 증가시키기 위해 전극팁을 원형 또는 원추형상으로 할 경우에는 과도한 압흔이 발생하게 된다.

이를 해결하기 위해 최근에는 전극팁의 내부에 일정 길이의 절연체를 두어 너깃부의 전류밀도를 높여 충분한 용융이 일어나도록 하고, 전극 헤드부분은 모재의 접촉면적을 넓혀 표면응력을 대폭 감소시키는 일체형 절연팁이 연구, 개발되었다.[8]

한편, 저항 점 용접은 1887년 Elihu Thomson에 의해 고안된 이래로 많은 발전을 이루어왔다. 단순한 원리와 값싼 설비비로 차량의 차체부위의 결합에 많이 쓰여지고 있다. 최근에는 자동차 생산의 자동화에 따라 저항 점 용접이 도입되면서 용접건이 로봇의 끝단부에 연결되어 자유로운 움직임이 가능하게 되었다. 일반적으로 저항 점 용접 공정의 대부분은 용접건이 공압 실린더에 의한 용접부에 압력을 가했다. 그러나 공압 실린더에 의한 저항 점 용접은 실제 가압력을 정밀하게 측정하거나 제어할 수 없다. 따라서 최근에는 서보모터를 이용하여 실시간으로 가압력을 변화시키는 제어방식으로 전환되는 추세이다. 기존의 공압건에 비해 가압력의 제어가 용이해져 정밀한 가압력 제어가 가능해졌다.



Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

따라서 가압력의 제어에 의한 용접 품질 향상을 하고 있는 추세이다. 서보건 저항 점 용접의 가장 큰 특징은 가변 Stroke로 공압건에 비해 가압력을 임의로 조절 가능하고 용접 중에도 가압력을 단계별로 조절할 수 있어 저항 점 용점 중에 용융된 금속이 용접 주변부로 밀려나서 접합이 되어 판재 사이가 벌어지는 판 분리 현상 등이 일어나지 않도록 하는 것이 가능해졌을 뿐 아니라 압흔 깊이를 대폭 개선할 수 있게 되었다.[9]



Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

## 1.3 저항 점 용접

### 1.3.1 저항 점 용접의 원리

저항용접은 Fig. 1.1에서 보인 바와 같이 전극을 이용하여 판재를 고정시키고, 전류를 흐르게 하여 판재 내부에서 발생한 저항열에 의해 판재의 접합면을 용융시키고 압력을 가해 접합부를 형성하는 공정이다.

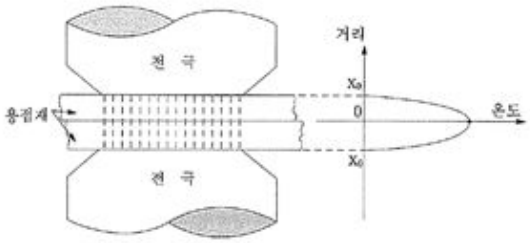



Fig. 1.1 Temperature distribution of spot welding

일반적으로 저항 점 용접 공정은 통전시간이 매우 짧아 생산성이 높기 때문에 생산 현장에서 널리 사용되고 있다. 또한, 용접속도가 빠르게 때문에 박판을 이용한 용접 제품의 대량 생산에 적합하다.

저항 점 용접에서는 저항열이 매우 중요한 열할을 하며, 도체에 전류가 흐르는 경우에 발생하는 저항열은 전류의 제곱에 비례한다.

저항 점 용접은 Fig. 1.2에서 보인 바와 같이 용접 변압기의 2차측에 봉 모양의 cu계 합금 전극을 이용하여 판재를 구속시킨 상태에서 높은 전류를 인가한다. 전류에 의해 판재인 용접재의 내부에서는 빠른 속도로 저항열이 발생하며, 판재의 접합면 부근에서 가장 높은 온도로 가열되어 너깃을 형성한다.



Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

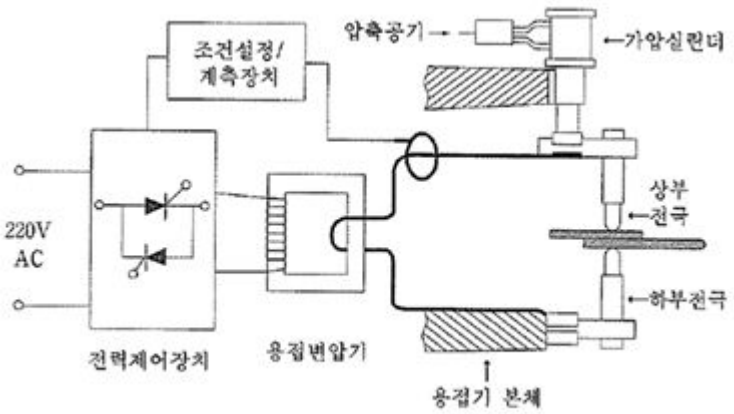



Fig. 1.2 Mimetic diagram of RSW machine

Fig.1.3는 두 장의 판재를 저항 점 용접할 때 용접부 두께 방향의 저항 분포와 저항열에 따른 온도 분포를 개략적으로 나타난 것이다. Fig. 1.5에서 1과 7은 용접 전극의 저항, 2와 6은 전극-판재 계면의 접촉저항, 3과 5는 판재 내부의 저항, 4는 판재와 판재 간 계면의 접촉 저항이다. 판재 간의 접촉면에서 온도가 가장 높으며, 이는 판재 간의 접촉면에 존재하는 산화 피막, 각종 오염 물질 및 계면의 표면 거칠기 때문에 저항이 가장 높아서 저항열이 가장 크게 발생하기 때문이다.

또한, 판재와 전극 사이의 계면 온도도 상당히 높지만, 전극에 의해 냉각되기 때문에 계면에서 발생하는 저항열의 상당 부분은 전극을 통해 외부로 전달된다.

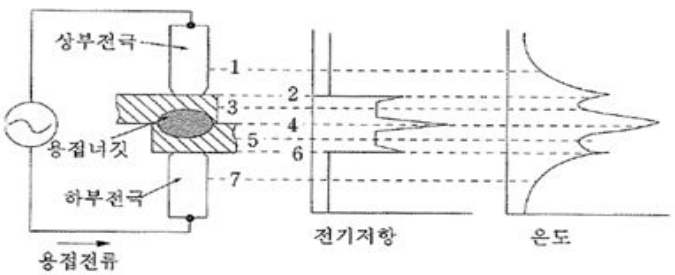



Fig. 1.3 Contact resistance and temperature distribution on RSW



Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

### 1.3.2 저항 점 용접 품질 평가

용접 지름은 적용 기준이 허용하지 않는 한, 충분한 크기의 플랜지 폭에 대한 용접 지름은 약 $\sqrt[5]{t}$ 이어야 한다. (t=판 두께)

용입 깊이와 오목자국은 동종 두께의 판재를 점 용접할 때, 전극에 의한 오목자국의 크기는 한 판재의 두께의 20%보다 작아야한다. 제품의 요구사항에 따라, 낮은 오목자국의 값이 규정될 수 있으며, 각각의 판재에서 용접 너깃의 깊이는 판 두께의 20~80% 범위 내에 있어야 한다.

이종 두께의 두 판재를 용접하는 경우는 오목자국의 크기는 얇은 판의 두께의 20%보다 작아야하며, 용접 자국이 없는 판재의 반대쪽 판재에는 큰 오목자국 값이 가능하다. 이 경우, 용접 너깃의 용입 깊이는 비대칭적이며, 용접된 두 판재의 두께 비율에 따라 달라진다.

용접 파단 모드는 시험 시편 및 부품의 용접부는 박리 혹은 정 시험을 하였을 때, 단일 판재의 두께가 1.5㎜ 까지는 플러그 파단이 발생한다. 그러나 적용 규정에 따라 계면 파단과 부분 플러그 파단도 허용된다.

이러한 파단은 연강에 대해 작은 용접 크기를 갖거나 고장력강에 대해 충분한 용접 크기를 가질 때 일반적으로 발생하며, 용접 크기는 플러그 지름을 측정하거나 내면 파괴의 경우 용융 부위의 지름을 측정하여 결정한다.

용접부 외관은 용접부의 표면에는 표면 균열이나 기공이 없어야 하며, 아연 도금강의 경우에 있어서 표면의 심각한 황동화를 피해야 한다. 용융된 금속이 튀는 현상인 표면 날림은 허용될 수 없다.

용접부의 면이 모재의 평면과 30도 이상 비틀린 경우, 혹은 판재가 용접부 주변으로 판재 두께의 2배 이상 당겨진 경우, 용접부는 결함이 있는 것으로 간주된다.



Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

# 제 2 장 연구 방법

## 2.1 연구 방법 및 용접 조건

### 2.1.1 연구 개요

본 연구에서는 저항 점용접 시 필연적으로 발생하는 압흔을 저감하기 위한 방안으로 전극직경비를 변화시켜 실험을 실시하였다. 전극직경비는 상부 전극과 하부 전극의 비로서 본 연구에서는 하부 전극은 고정하고 상부 전극을 변화시켜 실험을 진행하였다.

### 2.1.2 소재 및 용접법

본 연구에서는 저항 점용접 시 필연적으로 발생하는 압흔을 최소화하면서 점 용접의 결함이나 기계적 특성 기준을 만족하기위한 방안으로, 전극직경비를 변화시켜 전극직경비에 따른 최적의 용접조건에 대해 고찰하였다. 전극직경비는 상부 전극과 하부 전극의 비로서 하부 전극은 6∅로 고정하고 상부 전극은 6, 8, 10, 13, 16∅로 변화시켜 실험을 진행하였다.[16]

본 연구에서 실험에 사용된 재료는 자동차 차체에 많이 사용되고 있는 냉간압연강판(SPCC)으로 자동차의 루프, 휀더, 후드, 쿼터, 오일 팬, 스프링 하우스 등에 사용된다. 본 연구에서 사용한 냉간압연강판(SPCC)의 화학적 조성과 기계적인 물성은 Table. 2.1과 Table. 2.2에 나타내었다.

시험편 제원은 길이 (L)=160㎜, 폭(B)=50㎜, 판두께 (t)=1.2㎜와 (L)=160㎜, 폭(B)=50㎜, 판두께 (t)=1.6㎜로 절단한 후 동일두께 1.2㎜×1.2㎜, 1.6㎜×1.6㎜와 이종두께 1.2㎜×1.6㎜로 각각 시편을 겹쳐 약 50㎜ 의 간격으로 저항 점 용접을 실시하여 시험편을 제작하였으며, 저항 점 용접 이음부의 형상은 Fig. 2.1에 나타내었다.[17]



Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Table. 2.1 The chemical composition in SPCC (Wt%)

| Composition / Material | C(%) | Si(%) | Mn(%) | P(%) | S(%) |
|---|---|---|---|---|---|
| SPCC | 0.0017 ~ 0.0020 | 0.002 ~ 0.002 | 0.098 ~ 0.093 | 0.009 ~ 0.0096 | 0.0051 ~ 0.0055 |

Table. 2.2 The mechanical properties in SPCC

| Material | Mechanical properties | | |
|---|---|---|---|
| | Yield strength (MPa) | Tensile strength (MPa) | Elongation (%) |
| SPCC | 162 ~172 | 292 ~291 | 50 ~51 |

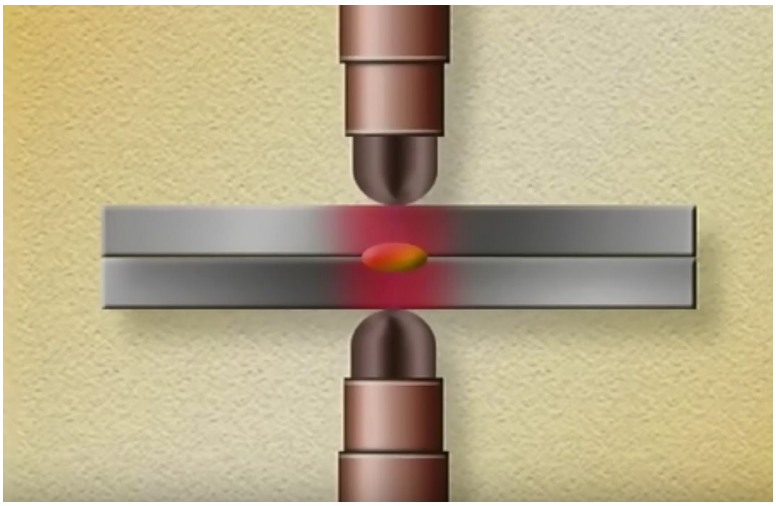


Fig. 2.1 Configuration of RSW lap-joints specimen



Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

### 2.1.3 실험 장비

본 연구에서는 냉간압연강판(SPCC)의 저항 점 용접을 위하여 미아찌코리아의 공압으로 작동하는 정치식 저항 점 용접기를 사용하였다. Fig. 2.2 (a)와 Table. 2.3은 본 연구에 사용한 저항 점 용접기와 상세 사양을 나타내었다. 점 용접시 전극의 가압력은 Fig. 2.2(b)의 Spotron사 10kN 용량의 전극 하중 측정기를 사용하여 측정하였다. 또한 압흔 깊이의 측정은 다이얼게이지를 이용하여 측정하였다.

(a) Spot welding machine (b) Electrode force machine

Fig. 2.2 Equipment of resistance spot welding

Table. 2.3 Specifications of resistance spot welding machine

| Rated input | Power input voltage | Max welding input | Rated output A | Cooling capacity | electrode force |
|---|---|---|---|---|---|
| 100 KVA | 1Ø220V 60Hz | 241 KVA | 27,000 A | 10 ℓ/min | 1,000 kgf |



Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

### 2.1.4 공정 변수 선정

저항 점 용접에서 저항열은 전류의 제곱에 비례하여 발생하기 때문에 용접전류는 가장 중요한 공정변수중 하나로 용접부의 강도에 영향을 준다. 전류가 증가하면 너깃 크기가 증가하여 용접부의 강도가 증가하지만 전류가 과도하면 날림과 압흔 깊이가 증가하여 강도가 감소한다. 따라서 적정 범위의 전류를 사용해야 한다.

가압력은 동일 용접전류에서 전류 밀도에 큰 영향을 준다. 가압력이 너무 크게 되면 용접부의 접촉 면적이 증가하여 접촉면적의 증가에 따른 접촉 저항의 감소로 저항열이 감소하게 된다. 이는 너깃의 크기를 감소시키기 때문에 인장-전단강도가 감소한다. 그러나 너무 낮은 가압력에서는 용융된 너깃을 충분히 구속시키지 못해 날림의 발생이 증가하게 된다. 그러므로 최적의 가압력 조건이 도출되어야 한다.

본 실험에 사용된 전극은 Cr-Cu 재질의 전극으로 하부는 R형 선단경 6㎜이며, 상부는 선단경 6~16㎜의 전극을 사용하였다. 또한 상부전극과 하부전극의 비를 전극직경비로 하여 전극직경비에 따른 압흔 깊이를 비교하였으며 전극직경비는 Table. 2.4에 나타내었다. 3가지 판재 Type의 조건별 전극직경비에 따른 상세 용접조건은 Table. 2.5에 나타내었다.

Table. 2.4 Electrode tip diameter and diameter ratio

| | | | Lower | | | Upper |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Electrode tip | | | | | | |
| Diameter (mm) | 6 | 8 | 10 | 13 | 16 | 6 |
| diameter ratio | 1 | 1.3 | 1.7 | 2.2 | 2.7 | - |



Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Table. 2.5 Welding conditions for resistance spot welding

| Type \ Plate thickness | 1.2x1.2(mm) | 1.6x1.6(mm) | 1.2x1.6(mm) |
|---|---|---|---|
| Weld force(kN) | 3 | 3 | 2~5 |
| Squeeze time(cycle) | 36 | 36 | 36 |
| Weld current 1(kA) | 9.0~11.0 | 7.0 | 7.0 |
| Weld time 1(cycle) | 36 | 15 | 15 |
| Weld current 2(kA) | - | 9.0~11.0 | 9.0~11.0 |
| Weld time 2(cycle) | - | 36 | 36 |
| Holding time(cycle) | 12 | 12 | 12 |
| Upper Electrode tip diameter(Ø) | 6~16 | 6~16 | 6~16 |
| Lower Electrode tip diameter(Ø) | 6 | 6 | 6 |
| Electrode diameter ratio | 1 ~ 2.7 | 1 ~ 2.7 | 1 ~ 2.7 |



Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

### 2.1.5 용접 품질 평가

용접 품질 평가는 KS B ISO 14373에 의거하여 용접지름, 용입깊이와 압흔, 용접 파단 모드와 용접부 외관을 평가하였다.

용접지름은 적용 기준이 허용하지 않는 한 약 $5\sqrt{t}$ 이상이어야 한다.

압흔의 경우 동종 두께인 1.2㎜×1.2㎜, 1.6㎜×1.6㎜의 점 용접시 전극에 의한 압흔의 깊이는 한 판재 두께의 20%보다 작아야하며 용입 깊이는 판 두께의 20~80% 범위 내에 있어야한다. 이종 두께인 1.2㎜×1.6㎜의 점 용접시 압흔은 얇은 판 두께인 1.2㎜의 20%보다 작아야한다. 이 경우 용입 깊이는 비대칭적이며, 용접된 두 판재의 두께 비율에 따른다.

용접 파단 모드의 평가는 인장전단시험을 하였을 때 단일 판재의 두께가 1.5㎜까지는 플러그 파단이 발생하여야한다. 그러나 적용 규정에 따라 계면 파단과 부분 플러그 파단도 허용하였다.

용접부의 외관 평가는 용접부의 표면에 표면 균열이나 기공이 없어야 하며 용융된 금속이 튀는 현상인 표면 날림은 허용될 수 없다. 또한 용접부의 면이 모재의 평면과 30도 이상 비틀린 경우나 판재가 용접부 주변으로 판재 두께의 2배 이상 당겨진 경우는 용접부에 결함이 있는 것으로 간주하였다.



Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

## 2.2 용접부 특성 평가

### 2.2.1 점 용접 이음의 단면 시험방법

용접부의 단면 시험은 KS B 0854 점 용접 이음의 단면 시험방법의 단면 시험에 의거하여 실시하였다. 점 용접 이음의 단면 시험은 Fig. 2.3과 같이 점 용접된 시험편을 판 표면과 수직의 단면에 대해 시행하였다. 용접점의 중심을 지나는 단면을 다이아몬드 절단기를 사용하여 절단하고 마운팅을 한 후, 시험편 표면을 연마지를 사용하여 #400, #600, #800, #1000, #1200, #1500, #2000, #2400, #4000의 순서로 연마를 하였다. 그 후 Diamond paste 9㎛, 3㎛, 1㎛를 이용하여 미세연마를 하였다.

너깃부의 단면 형상을 관찰하기 위하여 애칭을 실시하였으며, 애칭은 미세연마가 완료된 시험편을 3% 질산과 97% 에탄올의 나이탈 부식액으로 30~50초간 etching을 실시하였다.

저항 점 용접에서 최적 용접조건을 위해선 압흔의 깊이와 크기, 너깃의 크기 등 육안검사를 실시하였다. 최적 용접조건의 주안점으로 표면 및 중간날림이 발생하지 않으며 판 분리 현상이 일어나지 않는 조건을 선정하였다.

애칭이 완료된 시험편을 광학 현미경으로 관찰하였으며 너깃의 직경이 최소너깃 직경인 $5\sqrt{t}$를 만족하는지와 기공이나 균열 등의 내부결함이 있는 지를 확인하여 점 용접 이음의 단면 시험을 평가하였다.



Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Fig. 2.3 Specimen of resistance spot welding

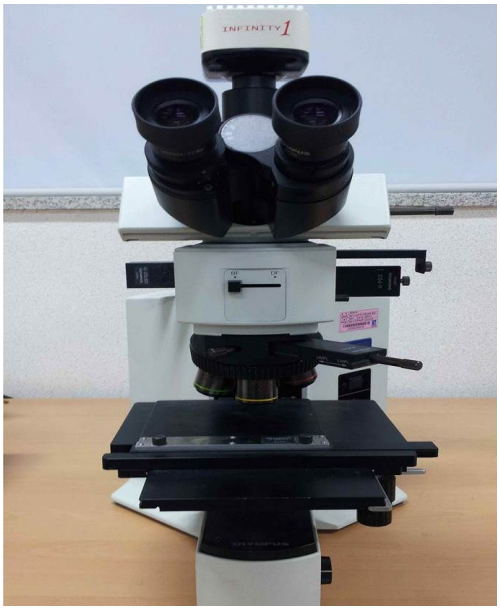



Fig. 2.4 Optical microscope



Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

용접부의 너깃 지름 및 용입은 Fig. 2.5 에 나타낸 각 부분에 대하여 측정하였다. 너깃 직경을 측정하기 위하여 시험편의 절단은 다이아몬드 절단기를 사용하였으며 마운팅 시킨 시험편의 표면을 #1000까지 연마한 후 산화 알루미늄(Al2O3)분말을 사용하여 연마하여 광학 현미경으로 관찰함. 다만 용입률은 서로 접한 판의 판 두께 차이가 있는 경우에는, 얇은 판의 두께에 대한 용입 비율로 나타낸다.

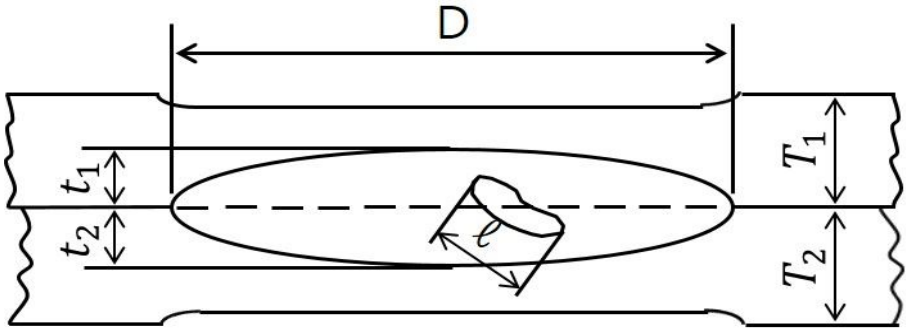



Fig. 2.5 Cross section of spot welded specimen

얇은 판측의 용입률$=\frac{t_1}{T_1}\times 100(\%)$　　두꺼운 판측의 용입률$=\frac{t_2}{T_1}\times 100(\%)$

여기에서 $T_1$, $T_2$ : 판 두께 $T_1<T_2$, $t_1$, $t_2$ : 최대 용입 깊이,

$D$ : 너깃 지름, $l$ : 균열 및 기공의 최대 길이



Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

### 2.2.2 인장-전단시험

인장-전단강도시험은 각각 KS B 0850 규격에 따라 Fig. 2.6과 같이 시험편을 제작하여 시험하였다. Table. 2.6과 같이 동일 두께의 점 용접인 1.2㎜×1.2㎜ 시험편은 호칭 판 두께 0.8㎜ 이상 ~ 1.3㎜ 미만의 규격에 따라 판 너비 30㎜, 겹침여유 30㎜, 시험편 길이 100㎜, 클램프 간 거리 90㎜의 인장-전단강도 시험편을 제작하고, 1.6㎜×1.6㎜ 시험편의 경우에는 호칭 판 두께 1.3㎜ 이상 ~ 2.5㎜ 미만의 규격에 따라 판 너비 40㎜, 겹침여유 40㎜, 시험편 길이 125㎜, 클램프 간 거리 100㎜의 규격으로 시험편을 제작하였다. 이종 두께인 1.2㎜×1.6㎜ 시험편의 경우에는 얇은 판재를 기준으로 두어 호칭 판 두께 0.8㎜ 이상 ~ 1.3㎜ 미만의 규격으로 판 너비 30㎜, 겹침여유 30㎜, 시험편 길이 100㎜, 클램프 간 거리 90㎜의 인장-전단강도 시험편을 제작하여 시험을 실시하였다.

인장-전단시험에 사용된 장비는 Fig. 2.7의 일본 시마츠社의 20Ton의 UTM(Universal Testing Machine)을 사용하였다. 인장-전단시험은 3㎜/min의 속도로 수행하였다.

저항 점 용접 인장시험 시의 파단형상으로는 세 종류의 파단형상이 있다. 용접부족으로 인해 너깃부에서 분리되는 쉐어 파단과 양호한 용접으로 반대쪽의 피용접재를 찢으며 분리되는 테어 파단 그리고 과도한 용접으로 반대쪽 너깃부가 쏙 빠지는 것과 같은 플러그 파단으로 나뉜다.[21~22]



Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

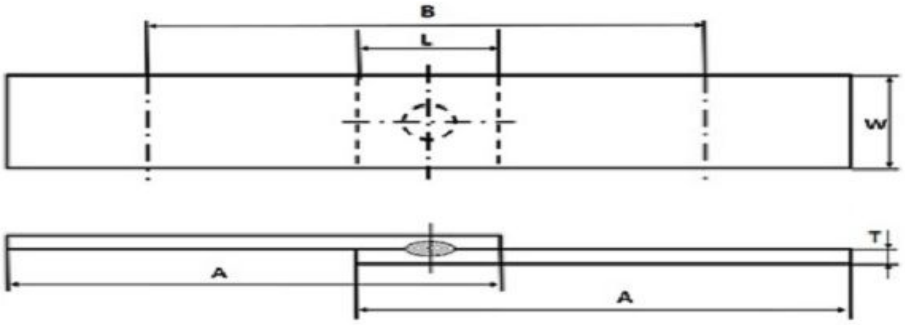



Fig. 2.6 Dimension of tensile-shear strength test specimen

Table. 2.6 Configuration of tensile-shear test specimen (unit : mm)

| Plate Thickness (T) | Width (W) | Overlap (L) | Length (A) | Free length between clamps (B) |
|---|---|---|---|---|
| 0.3 ~ 0.8 | 20 | 20 | 75 | 70 |
| 0.8 ~ 1.3 | 30 | 30 | 100 | 90 |
| 1.3 ~ 2.5 | 40 | 40 | 125 | 100 |
| 2.5 ~ 5.0 | 50 | 50 | 150 | 110 |



Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Fig. 2.7 UTM(Universal Testing Machine)



Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

### 2.2.3 경도시험

경도시험은 Fig. 2.8에 나타낸 AkAshy사의 HM-112 micro Vickers 경도기를 이용하여 하중 0.5kgf로 실시하였다. 현미경의 배율은 50$\mu m$이며 136° 다이아몬드 피라미드 압입자를 이용하였다. 경도시험의 시험편은 KS B ISO 14271 점, 프로젝션, 심 용접의 비커스경도시험(저하중,미세경도)에 의거하여 Fig. 2.13와 같이 용접 시험편을 채취하였다.

경도 측정 위치는 시험편의 너깃부는 상하 5points, 좌우 6points로 11points와 열영향부 상하 2points, 좌우 4points로 6points, 모재부 상판 5points, 하판 4points로 9points, 총 26points의 경도를 측정하였다.

Fig. 2.8 Vickers hardness test scheme and equipment



Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

# 3장. 결과 및 고찰

## 3.1 전극직경비 변화에 따른 용접부 품질 평가

### 3.1.1 판재두께 1.2t(㎜)

판재 두께 1.2t(㎜)의 전극직경비 변화에 따른 용접부 품질평가를 위한 용접 조건은 Table. 3.1에 나타내었다.

전류 7.0~11.0kA 변화에 따른 용접부의 특성을 고찰한 결과, 7.0~8.0kA 전류 구간 대에서는 전류가 낮아 너깃 형성이 어려움이 있었으며, 전극직경이 $D_2/D_1$ =1.7 (상부전극 10∅ 하부전극 6∅) 이상에는 접합이 이루어지지 않은 것을 확인하였다. 또한, 10.0~11.0kA의 전류 구간 대에서는 전극직경비 1.0 및 1.3 조건에서 표면날림이 발생하였다.

Table. 3.2는 전류직경비에 따른 너깃직경을 나타내었다. 전극직경비가 증가할수록 전류밀도 저하로 인한 저항발열 감소에 의해 너깃 직경이 감소함을 확인할 수 있었다. 특히, 전극직경비 $D_2/D_1$=1.7 이상의 전극직경비에서는 전류가 증가하여도 너깃이 형성되지 못하고 열의 영향만 받는 것은 알 수 있었다.

최소 압흔은 전류 9.0kA 전극직경비 1.3에서 0.038㎜로 기존 현장 요구치인 0.125㎜보다 약 70% 감소한 것을 확인할 수 있었다. 또한, 압흔이 전극직경비 1.3 이하일 때는 오목 형상이 나타났다.

Fig. 3.1에서 보듯이 전극직경비 1.7부터 압흔 깊이가 소폭 증가하나 그 크기는 0.06㎜ 이하이며 볼록한 형상의 압흔으로 바뀐 것을 확인할 수 있었다. 이는 하부와 상부 전극의 직경의 차이가 커지면서 하부 전극의 압력이 재료의 상부표면의 압흔형성에 영향을 준 것으로 사료된다.



Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Table. 3.1 Welding conditions for resistance spot welding (1.2t)

| Type | Values |
|---|---|
| Weld force(kN) | 3 |
| Squeeze time(cycle) | 36 |
| Weld current 1(kA) | 7.0~11.0 |
| Weld time 1(cycle) | 36 |
| Weld current 2(kA) | - |
| Weld time 2(cycle) | - |
| Holding time(cycle) | 12 |
| Electrode diameter ratio | 1~2.7 |

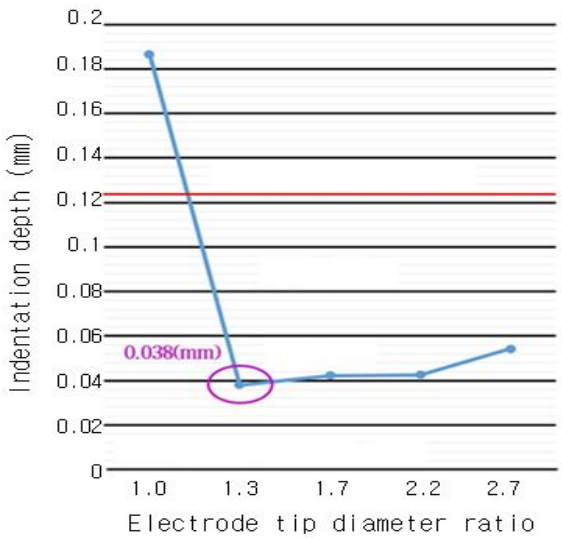


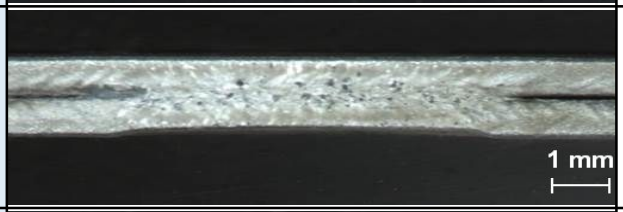
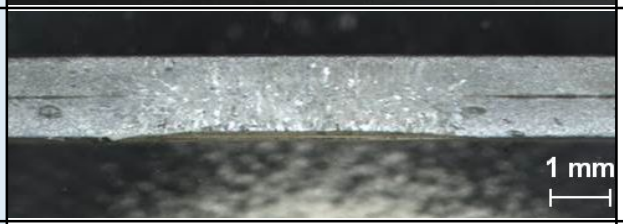

Fig. 3.1 Indentation depth of spot welding with electrode tip diameter (1.2t)



Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Table. 3.2 Cross section and nugget diameter of spot welding with electrode diameter (1.2t)

| Electrode diameter ratio | Nugget cross section | Nugget diameter |
|---|---|---|
| 1.0 | | 5.58mm |
| 1.3 |  | 5.52mm |
| 1.7 |  | 5.23mm |
| 2.2 | | 5.12mm |
| 2.7 | | 너깃 미형성 |



Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

### 3.1.2 판재 두께 1.6T(㎜)

본 연구는 냉간압연강판(SPCC) 1.6t 저항 점 용접 lap-joint용접 시 전극 직경 변화에 따른 용접부 품질 평가를 실시하였다. 용접조건은 1.2㎜×1.2㎜과 달리 두꺼워진 시험편의 용접성을 향상시키기 위해 2회 통전을 실시하였다. Table. 3.3은 1.6t(㎜)의 용접조건을 나타냈다.

본 연구에서 10.0~11.0kA의 전류 구간대에서는 전극직경비 1.0 및 1.3 조건에서 표면날림이 발생하였다. 따라서 표면날림이 발생하지 않고, 전극직경비가 증가하여도 어느 정도 너깃 형성이 가능한 전류 8.5~9.5kA 구간의 시험편을 비교 평가 하였다. Table. 3.4은 전류 8.5kA의 전극직경비에 따른 너깃 단면 및 너깃 직경을 나타내었다.

Table. 3.4의 저항 점용접부의 단면을 보면 전극직경비 1.0 과 1.3에서는 적정 크기의 너깃을 형성하나 1.7이상의 전극직경비에서는 전류를 증가하여도 너깃이 제대로 형성되지 못하고 열의 영향만 받는 것을 확인할 수 있었다. 또한 2회 통전으로 인하여 1.2t(㎜)보다 열영향부가 다소 커지는 현상을 확인하였다. (최소 너깃 직경 $\sqrt[5]{t}$ = 6.32㎜)

Fig.3.2에서 보듯이 전극직경비 1.3이상에서 현저하게 줄어들고 최소 압흔은 전극직경비 1.3에서 0.025㎜이 나타났다. 이는 기존 현장의 요구치인 0.125㎜에 비해 약 80% 감소한 것을 확인할 수 있었다. 또한, 전극직경비 1.7부터 압흔은 볼록한 형상으로 바뀌며 그 크기도 점점 증가하였는데, 이는 상·하부 전극 직경의 차이 가 커 하부 전극의 가압력이 상부 표면에 영향을 미친 것으로 사료된다.



Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Table. 3.3 Welding conditions of resistance spot welding (1.6t)

| Type | Values |
|---|---|
| Weld force(kN) | 3 |
| Squeeze time(cycle) | 36 |
| Weld current 1(kA) | 7.0 |
| Weld time 1(cycle) | 15 |
| Weld current 2(kA) | 8.5~11.0 |
| Weld time 2(cycle) | 36 |
| Holding time(cycle) | 12 |
| Electrode diameter ratio | 1~2.7 |

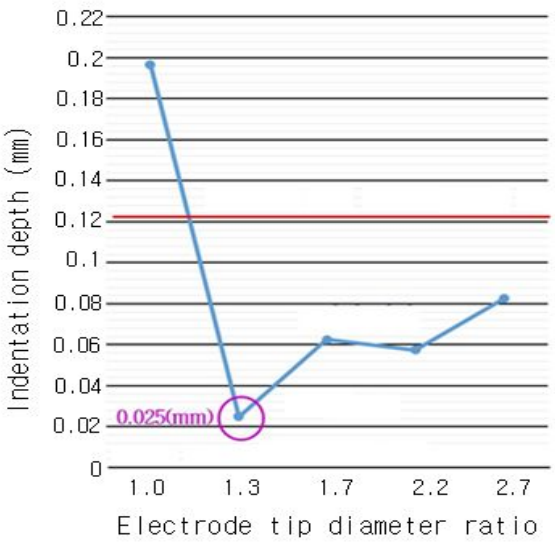


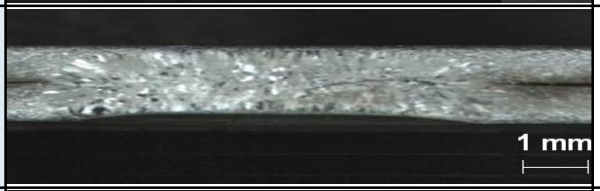

Fig. 3.2 Indentation depth of spot welding with electrode tip diameter (1.6t)



Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Table. 3.4 Cross section and nugget diameter of spot welding with electrode diameter (1.6t)

| Electrode diameter ratio | Nugget cross section | Nugget diameter |
|---|---|---|
| 1.0 | | 6.43mm |
| 1.3 | | 6.39mm |
| 1.7 |  | 6.31mm |
| 2.2 | | 6.21mm |
| 2.7 | | 6.13mm |



Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

### 3.1.3 이종 두께 1.2t×1.6t(㎜)

앞선 2가지 Type의 동일두께 실험에서 도출된 최소 너깃 직경 만족 및 최소 압흔 조건을 바탕으로 용접 조건을 선정하였다. Table. 3.5은 1.2t×1.6t(㎜)의 용접조건을 나타내었다. Table. 3.6과 같이 저항 점 용접부의 단면을 보면 전극직경비 1.3 및 1.7에서는 최소 너깃 직경( $\sqrt[5]{t}$ = 5.48㎜) 이상 크기의 너깃을 형성하나 전류를 11.0kA까지 상승 시킬 시 너깃 직경이 커지지만 전극직경비 2.2에서는 전류가 증가하여도 너깃 직경이 뚜렷하게 형성되지 못하는 것을 확인하였다.

Fig. 3.3에서 보듯이 압흔은 전극직경비 1.3이상에서 현저하게 줄어들고 최소 압흔은 전극직경비 1.3에서 0.03㎜으로 측정되었다. 이는 기존 현장 요구치인 0.125㎜ 비해 약 74% 감소한 것을 확인할 수 있었다. 또한, 전극직경비 1.7부터 압흔은 볼록한 형상으로 바뀌며 그 크기도 점점 증가된 것을 확인할 수 있었다.

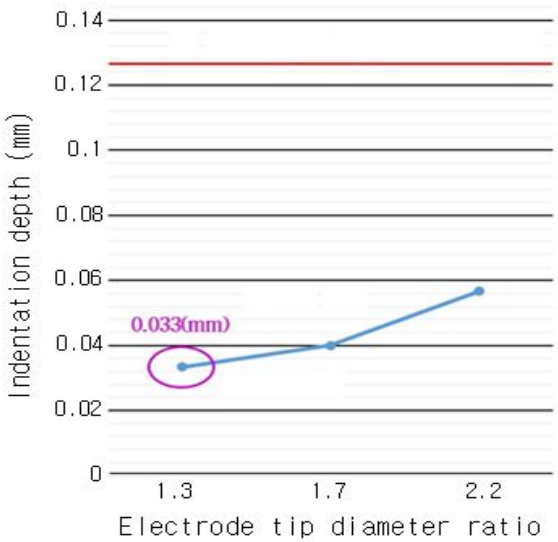



Fig. 3.3 Indentation depth of spot welding with electrode tip diameter (1.2t×1.6t)



Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Table. 3.5 Welding conditions of resistance spot welding (1.2t×1.6t)

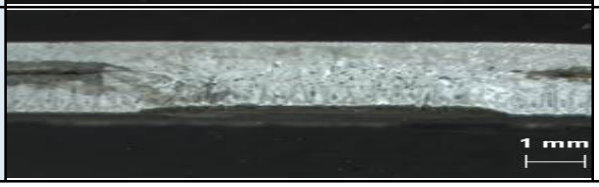
| Type | Values |
|---|---|
| Weld force(kN) | 3 |
| Squeeze time(cycle) | 36 |
| Weld current 1(kA) | 7.0 |
| Weld time 1(cycle) | 15 |
| Weld current 2(kA) | 9.0～11.0 |
| Weld time 2(cycle) | 36 |
| Holding time(cycle) | 12 |
| Electrode diameter ratio | 1.3～2.2 |



Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Table. 3.6 Cross section and nugget diameter of spot welding with electrode diameter (1.2t×1.6t)

| Electrode diameter ratio | Nugget cross section | Nugget diameter |
|---|---|---|
| 1.3 | | 5.84mm |
| 1.7 | | 5.48mm |
| 2.2 |   | - |



Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

## 3.2 가압력 변화에 따른 품질 평가

### 3.2.1 판재 두께 1.2t(㎜)

본 실험에서는 앞 절의 전극직경비 변화에 따른 압흔 저감 조건을 바탕으로, 가압력을 기존 3kN을 기준으로 감소 또는 증가 시켜 최소 너깃 직경을 만족하면서 압흔을 저감할 수 있는 최적의 조건을 도출하였다.

1.2t(㎜)에서 최소 너깃 직경과 최소 압흔 깊이를 만족하는 전류 9.0kA 및 전극직경비 1.3(상부 8∅, 하부 6∅)조건에서 가압력을 2kN, 4kN, 5kN으로 변화하여 실험을 한 결과, 2kN, 3kN에서의 너깃 직경은 각각 5.781㎜,5.61㎜로 최소 너깃 직경( $\sqrt[5]{t}$ = 5.48㎜)을 만족하였다. 또한, 가압력이 4kN, 5kN일 때는 전류밀도 감소로 인해 저항 발열이 저하하면서 최소 너깃 직경을 만족하지 못하는 것을 확인할 수 있었다. 또한, Fig.3.4에서 보듯이 2kN, 3kN에서 압흔이 동일하게 0.03㎜로 최소가 되었으며 가압력이 증가할수록 압흔깊이가 증가하였다.

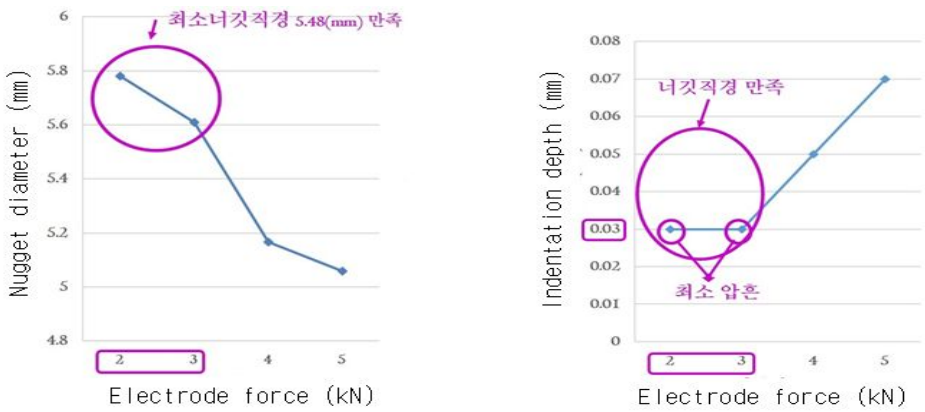



Fig. 3.4 Nugget diameter and indentation depth of spot welded joints with electrode force (1.2t)



Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

### 3.2.2 판재 두께 1.6t(㎜)

최소 너깃 직경과 최소 압흔 깊이를 만족하는 조건인 용접전류 9.0kA 및 전극직경비 1.3(상부 8∅, 하부 6∅)의 용접조건에서 가압력을 변화하여 결과를 도출한 결과, 2kN, 3kN에서의 너깃 직경은 각각 6.693㎜, 6.65㎜로 최소 너깃 직경( $\sqrt[5]{t}$ = 6.32㎜)을 만족하였다.

Fig.3.5에서 보듯이 2kN, 3kN에서 압흔이 동일하게 0.03㎜로 최소가 되었으며 가압력이 증가할수록 압흔깊이가 증가하였다. 이는 전극의 가압력이 압흔 깊이의 증가에 영향을 주었음을 확인할 수 있었다.

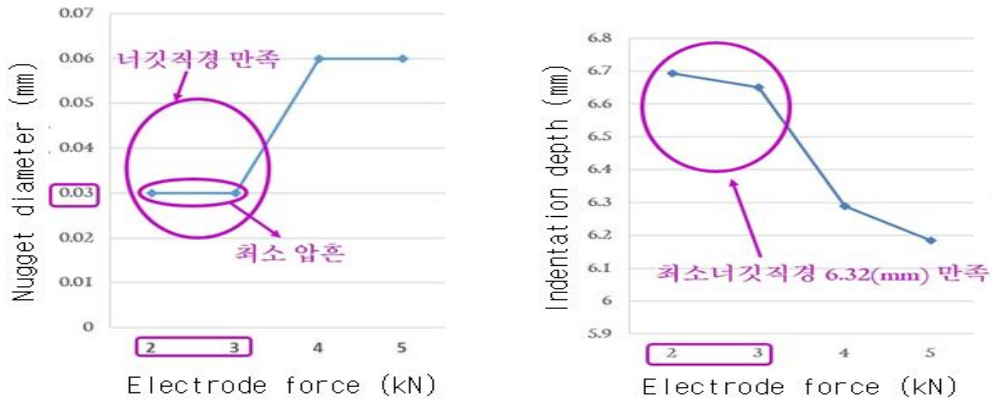



Fig. 3.5 Nugget diameter and indentation depth of spot welded joints with electrode force (1.6t)



Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

### 3.2.3 이종 두께 1.2t×1.6t(㎜)

본 실험에서 가압력 변화에 따른 최소 너깃 직경은 가압력 2~5kN의 모든 조건에서 얇은 판재 기준 최소 너깃 직경을 만족함을 확인할 수 있었다. 또한, 압흔은 가압력 3kN에서 0.03㎜로 최소화되었고, 2kN에 비해 0.01㎜감소, 4kN이상의 가압력 조건에서는 압흔 깊이가 다소 크게 증가함을 알 수 있었다.

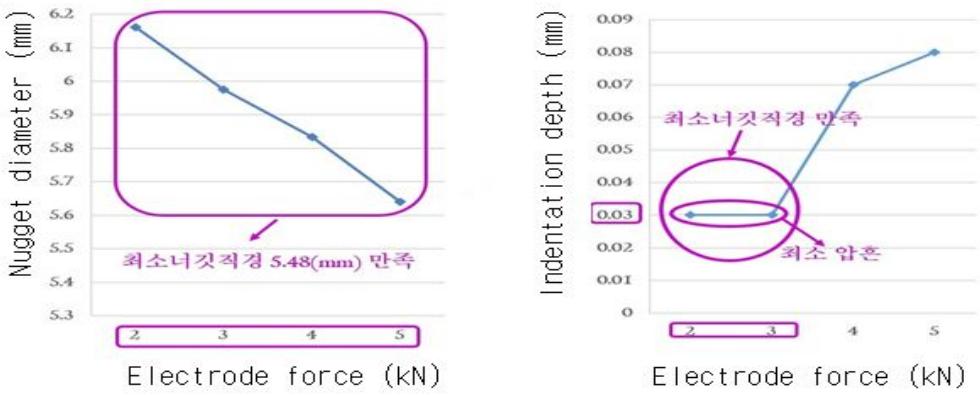



Fig. 3.6 Nugget diameter and indentation depth of spot welded joints with electrode force (1.2t×1.6t)



Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

## 3.3 가압력 변화에 따른 품질 평가

### 3.3.1 인장-전단강도 특성

Table. 3.7과 같이 최소 너깃 직경 및 최소 압흔을 만족하는 조건은 선정하여 인장-전단시험을 실시하였다. 점 용접부 표면형상과 절단면 너깃 형상, 인장접합강도 등을 1차적으로 평가한 결과 전체적으로 접합성은 매우 양호하며, 용접과정에서 발생될 수 있는 기공(Porosity)이나 미소균열 등과 같은 용접 결함이 없음을 확인하였다.

Table. 3.7 Welding conditions for tensile-shear test specimen

| Type | 동일두께 | | 이종두께 |
|---|---|---|---|
| | 1.2x1.2(mm) | 1.6x1.6(mm) | 1.2x1.6(mm) |
| Weld force(kN) | 2,3 | 2,3 | 2,3 |
| Squeeze time(cycle) | 36 | 36 | 36 |
| Weld current 1(kA) | 9.0 | 7.0 | 7.0 |
| Weld time 1(cycle) | 36 | 15 | 15 |
| Weld current 2(kA) | - | 8.5 | 9.0 |
| Weld time 2(cycle) | - | 36 | 36 |
| Holding time(cycle) | 12 | 12 | 12 |
| Upper Electrode tip diameter(Ø) | 8 | 8 | 8 |
| Lower Electrode tip diameter(Ø) | 6 | 6 | 6 |



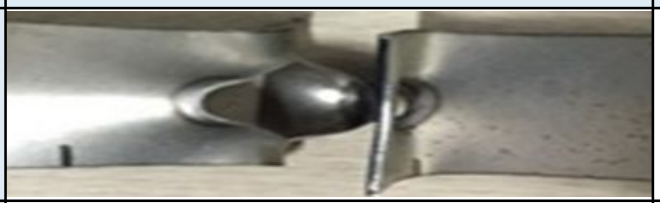
Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

1.2t(㎜)를 인장-전단시험을 한 결과, 2kN, 3kN의 가압력에서 각각 7.702kN, 7.752kN으로 기존 현장 측정치인 6.17kN을 상회하였으며, 1.6t(㎜)에서는 각각 11.075kN, 11.262kN으로 기존 현장 측정치 9.21kN을 상회한 것을 알 수 있었다. 또한 이종 두께 1.2t×1.6t(㎜)에서도 각각 7.89kN, 8.29kN으로 기존 현장 측정치를 만족하고 있음을 확인할 수 있었다.

Table. 3.8에서 보듯이 판재두께 1.2t(㎜)에서는 테어파단, 1.6t(㎜)에서는 플러그파단, 1.2t×1.6t(㎜)에서는 테어파단 형상을 확인할 수 있었다.

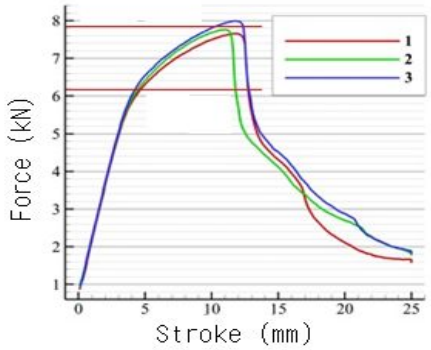
Table. 3.8 Fracture modes of spot welded specimen after tensile-shear test

| Type | Fracture specimen | Fracture modes |
|---|---|---|
| 1.2 |  | 테어파단 |
| 1.6 | | 플러그파단 |
| 1.2×1.6 | | 테어파단 |

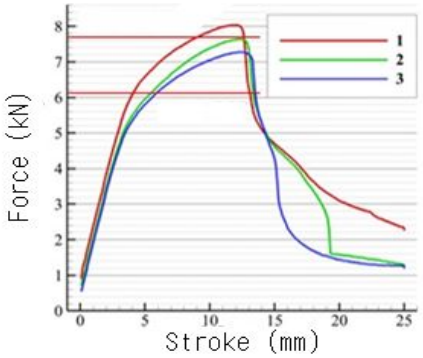


Collection @ chosun

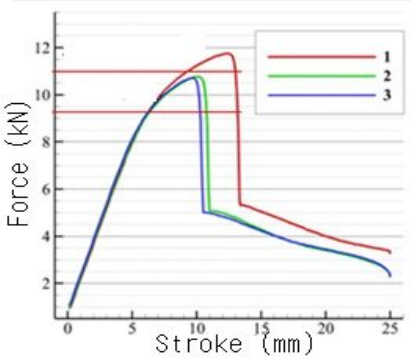
조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY



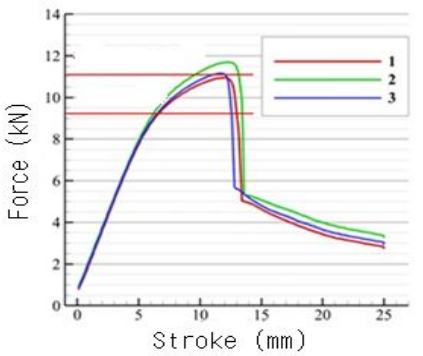

(a) 2kN (1.2t)



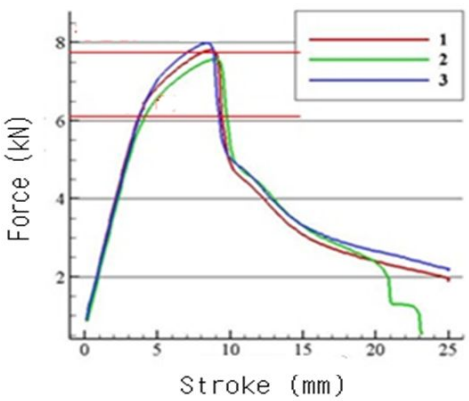

(b) 3kN (1.2t)



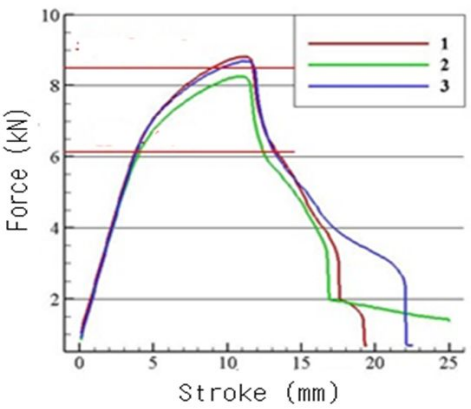

(a) 2kN (1.6t)




(b) 3kN (1.6t)




(a) 2kN (1.2t×1.6t)




(b) 3kN (1.2t×1.6t)

Fig. 3.7 Tensile-shear test results



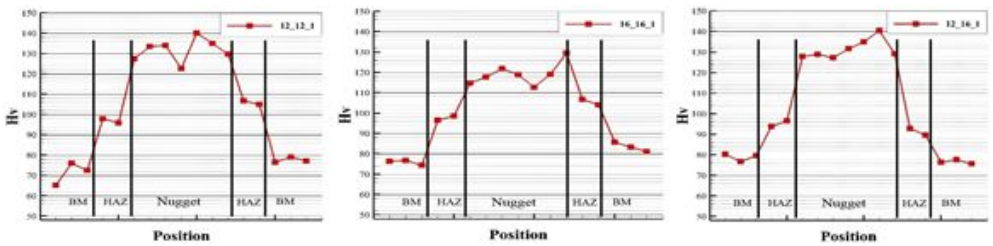
Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

### 3.3.2 경도 분포 특성

인장-전단시험에서 강도값이 최대값을 나타낸 조건의 시험편을 제작하여 3가지 Type별 용접부에 대한 경도분포를 측정하였다. 측정 위치는 너깃부(nugget), 열영향부(Heat Affected Zone), 모재(Base Metal)에 대하여 측정하였으며 경도분포는 너깃부>열영향부>모재 순으로 나타난 것을 확인하였다. 또한, 용접부의 너깃(Nugget), 열영향부(Heat Affected Zone), 모재(Base Metal)에 대하여 KS B ISO 14271 규격에 의거하여 경도를 측정 하였다.

경도 분포를 측정 결과, 최대 경도값은 너깃부에서 발생하였으며 판재 두께 1.2㎜×1.2㎜에서는 최대경도값이 140.1Hv, 판재 두께 1.6㎜×1.6㎜에서는 129.5Hv, 이종 두께 1.2㎜×1.6㎜에서는 129.5Hv로 나타났다. 따라서 너깃부의 최대경도값은 120~140Hv로 모재대비 약 60Hv 정도 상승하였으며 열영향부는 약 20Hv 상승됨을 확인 할 수 있었다.




(a) 1.2t (b) 1.6t (c) 1.2t×1.6t

Fig. 3.8 Hardness distribution of spot welded joints



Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

# 4장 결론

본 연구에서는 저항 점 용접부의 압흔을 저감하기 위한 방안으로 전극직경비, 용접전류 변화에 의한 압흔 저감 특성을 고찰하였다. 최적 용접조건은 압흔 깊이와 크기, 너깃의 크기 등 육안검사 외에도 기계적 특성을 평가하여 도출하였으며 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 전극직경비 변화에 따른 용접부 품질 평가 실험에서는 판재두께 1.2t(㎜)일 때 최소 압흔은 전류 9.0kA 전극직경비 1.3에서 0.038㎜로 기존 현장 요구치인 0.125㎜보다 약 70% 감소한 것을 확인할 수 있었다. 판재두께 1.6t(㎜)일 때는 8.5kA의 2차통전전류 조건일 때 전극직경비 1.3이상에서 현저하게 줄어들고 최소 압흔은 전극직경비 1.3에서 0.025㎜이 나타났다. 이종두께 1.2t×1.6t(㎜)의 시험편에서 압흔은 전극직경비 1.3이상에서 현저하게 줄어들고 최소 압흔은 전극직경비 1.3에서 0.03㎜으로 측정되었다.

2) 가압력 변화에 따른 품질 평가 실험에서는 동두께 및 이종두께 판재조건 모두 가압력이 증가할수록 너깃직경은 감소하였으며 2kN, 3kN의 가압력 구간에서 최소 압흔이 측정되었다. 가압력이 4kN이상 증가하였을 때는 압흔이 크게 증가하는 양상을 보였다.

3) 인장-전단강도 특성실험에서는 판재두께 1.2t(㎜)일 때 2kN, 3kN의 가압력에서 각각 7.702kN, 7.752kN으로 기존 현장 측정치인 6.17kN을 상회하였으며, 1.6t(㎜)에서는 각각 11.075kN, 11.262kN으로 기존 현장 측정치 9.21kN을 상회한 것을 알 수 있었다. 또한 이종 두께 1.2t×1.6t(㎜)에서도 각각 7.89kN, 8.29kN이었으며, 판재두께 1.2t(㎜)에서는 테어파단, 1.6t(㎜)에서는 플러그파단, 1.2t×1.6t(㎜)에서는 테어파단 형상을 확인할 수 있었다.



Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

4) 경도 분포 특성실험에서는 최대 경도값은 너깃부에서 발생하였으며 판재 두께 1.2t(㎜)에서는 최대경도값이 140.1Hv, 판재 두께 1.6t(㎜)에서는 129.5Hv, 이종 두께 1.2t×1.6t(㎜)에서는 129.5Hv로 나타났다. 너깃부의 최대경도값은 120~140Hv로 모재대비 약 60Hv 정도 상승하였으며 열영향부는 약 20Hv 상승했다.



Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

# 참고문헌

[1] 지성환, 한민식, 안광우, 이종수, 전언찬. (2011). 핫스탬핑용 보론강의 점용접 스패터 발생을 줄이기 위한 최적 용접 조건에 관한 연구. 한국기계가공학회 춘추계학술대회 논문집, 33-34.

[2] 서승일, 이재근, 장상길, 차병우. (1996). 점 용접 시 압흔 깊이 감소를 위한 최적 용접 조건 선정에 관한 연구 ( A Study on the Optimum Welding Conditions for Reducing the Depth of Indentation of Surface in Spot Welding ). 대한용접·접합학회지, 14(2), 57-64.

[3] 박남수, 박문수, 허훈. (2014). 변형률속도에 따른 점용접 너겟부의 기계적 물성 평가. 한국자동차공학회 춘계학술대회, 1084-1090.

[4] 조도운, 조용준, 박현성, 소득영, 장인성. (2015). 저항 점 용접 압흔 최소화를 위한 양산 적용공법 개발. 대한용접학회 특별강연 및 학술발표대회 개요집, 107-107.

[5] Robert J, Messler W,Jou M. Review of control systems for resistance spot welding: past and current practives and emerging trends. Sci Technol Weld Join1996;1:1-9

[6] 용접접합편람 3편 공정 및 열가공, 대한용접접합학회, pp78

[7] 신현일, 강성수. (1993). 가압력이 Al 점용접성에 미치는 영향. 대한용접학회 특별강연 및 학술발표대회 개요집, 51-60.

[8] 박영제, 조형석, 박지환. (2000). 서보건을 이용한 저항 점용접 공정에서의 가압력 패턴에 의한 용접품질 평가. 제어로봇시스템학회 국내학술대회 논문집, 1, 84-87.

[9] S. I. Seo, S. G. Jang, 점 용접 시 압흔 깊이 감소를 위한 절연팁 개발에 관한 연구, 대한용접학회지 제 21권 제1호, 2003.2, pp42-47

[10] 백정엽, 김태형, 이종구, 이세헌. (2002). 서보건을 이용한 저항 점 용접 공정의 최적 용접 조건 설정에 관한 연구. 한국정밀공학회 학술발표대회 논문집, 679-682.



Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

[11] 박지환, 김영선, 조형석, 박영제, 서보건을 이용한 저항 점 용접에서 공정변수의 품질에 대한 기여도 분석, 1998년 한국자동제어학술회의 논문집 제1권, 1998.10, pp454-457

[12] 강연철, 김대영, 김완기, 김석원. (2000). 점용접 조건에 의한 연강의 미세조직 및 기계적 특성에 관한 연구 (The Study on Microstructures and Mechasnical Properties of Mild Steel Joined with Various Spot Welding Conditions ). 대한용접·접합학회지, 18(1), 52-58.

[13] Kang Zhou, Tuo Shi, Lilong Cai. (2017). Online measuring the electrical resistivity of molten nugget of stainless steel in resistance spot welding. Journal of Manufacturing Processes, Vol0.28, Part1, 109-115.

[14] 방한서, 주성민. (1998). 수치 Simulation에 의한 저항 점 용접부의 역학적 거동에 관한 연구 (A study of the mechanical behavior in resistance spot welding using numerical simulation). 대한용접학회 특별강연 및 학술발표대회 개요집, 91-95.

[15] 방한서, 신현, 방희선. (2000). 저항 점 용접 시 피치의 영향에 관한 연구 ( A study on the Effect of pitch during resistance spot welding ). 대한용접학회 특별강연 및 학술발표대회 개요집, 327-329.

[16] P.S. Wei, T.H. Wu. (2012). Electrical contact resistance effect on resistance spot welding, International Journal of Heat and Mass Transfer, Vol.55, 3316-3324

[17] 서상균, 홍성준, 강형식, 조상명. (1998). 가압력 변화에 따른 STS 304 박판의 점 용접성의 평가 ( Evaluation on the Spot Weldability of STS 304 Sheets by variation of Load ). 대한용접학회 특별강연 및 학술발표대회 개요집, 230-233.

[18] 조용준, 이세헌, 엄기원. (1997). 저항 점 용접의 용접 품질 평가 기술 개발에 관한 연구 ( A Study of Weldability Estimation of Resistance Spot Welding ). 대한용접학회 특별강연 및 학술발표대회 개요집, 176-178.

[19] POSCO SPCC : www.posco.co.kr 포스코



Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

[20] 김형일, 방한서, 방희선, 안병호. (2012). 자동차용 강판 DP590의 레이저스티치 용접과 점용접의 기계적 특성 비교. 대한용접학회 특별강연 및 학술발표대회 개요집, 162-162.

[21] Fengxiang Xu, Guangyong Sun, Guangyao Li, Qing Li. (2014). Failure analysis for resistance spot welding in lap-shear specimens. International Journal of Mechanical Sciences, Vol.78, 154-166.



Collection @ chosun