〈학술논문〉 DOI:10.3795/KSME-A.2011.35.4.383 ISSN 1226-4873

핫스탬핑용 보론 강판의 열처리 조건에 따른 재질분석 및 점용접 특성 연구

제환일* · 손창석** · 남기우***†

* 부경대학교 대학원 재료공학과(현 교토대학 에너지과학연구과), ** 국방기술품질원, *** 부경대학교 재료공학과

A Study on Spot-Welding Characteristics and Material Analysis of Boron Steel for Hot-Stamping under Different Heat-Treatment Conditions

Hwan Il Je*, Chang Suk Son** and Ki Woo Nam***†

* Dept. of Materials Science and Engineering, Graduate School, Pukyong Nat'l Univ.
(Present Graduate School of Energy Science, Kyoto Univ.)
** Defence Agency for Technology and Quality,
*** Dept. of Materials Science and Engineering, Pukyong Nat'l Univ.

(Received July 19, 2010 ; Revised October 12, 2010 ; Accepted January 21 2011)

Key Words: Hot-Stamping(핫스탬핑), Spot Welding(점용접), Water Quenching(수냉), Boron Steel(보론강)

초록: 최근 차체 경량화를 위한 여러 가지 방법 가운데 고온에서 가공하여 성형성을 확보하고, 이후 열처리를 통하여 고강도를 가질 수 있는 프레스 열간 성형 및 핫스탬핑 기술이 각광을 받고 있으며, 이에 따라 핫스탬핑용 재료인 보론 첨가 강판의 수요도 늘어나고 있는 추세이다. 본 연구에서는 핫스탬핑용 보론 첨가 강판의 우수한 경화능을 보이는 임계 최적 열처리 조건을 파악하고자, Al+Si 코팅이 된 보론 강판을 각기 다른 온도로 열처리하여 수냉 조건에 따른 기계적 특성 및 조직을 관찰하였다. 또한, 이 결과를 토대로 선별된 기계적 특성이 우수한 보론강 시험편과 일반 냉연 강판인 SPRC 340과 SPRC 590 2종류의 상대재를 활용하여 특정 점용접 조건에서 용접을 실시하고, 보론강 및 상대재의 기계적 특성 변화에 따른 용접 후의 기계적 특성 및 조직, 그리고 코팅층 유무에 따른 특성 변화를 연구하였다.

Abstract: The hot-stamping technique is used to manufacture high-strength parts by press forming by heating at a temperature above the Austenite transformation temperature and then rapid cooling. Boron steel, which contains a very small amount of boron, is one of the materials used for hot stamping. The purpose of this study is to show the microstructures and to investigate the mechanical properties under different heat-treatment conditions. The heat treatment of water quenching was conducted at the various temperatures and different elapsed times. These can be practical data useful when boron steels are used for hot stamping. Furthermore, the microstructures and mechanical properties of the spot-welded specimen with coatings and counterpart materials (SPRC 340, SPRC 590) is investigated in order to determine the welding characteristics of boron steel at different welding condition.

1. 서 론

온실 가스에 감축에 대한 관심이 국내외 적으로 높아짐에 따라, 자동차 생산 업계에서는 차체의 안전성을 유지하면서 차량의 무게를 줄임으로써 연비개선, 연료절감으로 인한 환경 보호 등 연쇄적인 효과를 기대 할 수 있는 방법을 모색하고 있다. 그 방법으로써 알루미늄, 마그네슘 합금을 이용하여 재료 자체의 경량화를 도모하는 방법과 고강도 철강 재료를 사용하여 재료의 두께를 줄이는 경량화 방법 등이 각광을 받고 있다.

그러나 재료 자체 경량화의 경우, 알루미늄이나 마그네슘 합금 재료가 고가이므로 가격 경쟁력의 약화를 가져 올 수 있으며, 고강도 철강 재료는 스프링백 현상 및 고강도로 인한 가공 또는 성형이 어렵다는 단점을 극복해야 한다.[1,2] 이러한 단점을 보완하고자 고온에서 가공하여 성형성을 확보하고, 이후에 열처리를 통하여 고강도를 가질 수 있는 프레스 열간 성형 및 핫스탬핑(hot stamping) 기술이 각광을 받고 있다.[3,4]

† Corresponding Author, namkw@pknu.ac.kr
ⓒ 2011 The Korean Society of Mechanical Engineers

본 연구에서는 핫스탬핑용 보론 첨가 강판의 우수한 경화능을 보이는 임계 최적 열처리 조건을 파악하고자, Al+Si 코팅이 된 보론 강판을 각기 다른 온도로 열처리하여 수냉 조건에 따른 기계적 특성 및 조직을 관찰하였다. 또한, 이 결과를 토대로 선별된 기계적 특성이 우수한 보론강 시험편과 일반 냉연강판인 SPRC(steel plate rolled coil) 340과 SPRC 590 2종류의 상대재를 활용하여 특정 점용접 조건에서 용접을 실시하고, 보론강 및 상대재의 기계적 특성 변화에 따른 용접 후의 기계적 특성 및 조직, 그리고 코팅층 유무에 따른 특성 변화를 연구하였다.

2. 재료 및 실험방법

2.1 재료

본 연구에 사용된 재료는 보론강에 산화피막 발생을 방지하기 위해 Al+Si을 도금 처리한 USIBOR 1500P 재료로서 일반적으로 22MnB5로 알려져 있는 보론 첨가강을 사용하였다. 사용된 보론강의 화학조성은 Table 1에 나타내었다.

2.2 실험방법

2.2.1 열처리 방법 및 조건

각각 다른 열처리 조건에서 수냉한 보론 강판의 기계적 특성 및 미세조직을 관찰하였다. 인장시험편(Fig. 1)은 800 ℃, 840 ℃, 870 ℃ 및 900 ℃의 4조건에서 안정화하고, 10분간 열처리한 후 수냉하기까지의 대기 시간(0, 5, 10 및 30초)을 달리하는 방법으로 열처리 하였다.

수냉까지의 대기시간을 달리한 이유는 핫스탬핑용 보론 첨가 강판이 열처리 된 후, 이송시 공기중에 노출되는 시간 및 원하는 형상으로의 성형되기까지 소요되는 시간이 있기 때문이다.

2.2.2 인장시험

수냉 조건에 따른 인장시험 및 이종재와의 점용접에 따른 전단인장시험(Fig. 2)은 250 kN 용량의 Zwick/Roell Z250 모델의 만능시험기를 사용하였다. 인장시험 조건은 pre-load를 50 N으로 가한 상태에서 시험속도를 1 mm/min로 실시하였다.

2.2.3 미소경도측정

미소경도는 2.94 N 하중으로 10초간 압입하여 마이크로 비커스 경도측정을 실시하였다. 수냉 조건에 따른 경도는 시험편당 5회 이상 측정한 후 평균값을 사용하였다. 이종재와의 점용접에 따른 경도 측정은 시험편 횡단면의 양쪽 가장자리에서 중앙으로 0.2 mm 간격으로 측정하였다.

Table 1 Chemical compositions of boron steel (wt.%)

C	Si	Mn	P	S
0.24	0.27	1.14	0.015	0.001
Cr	Al	Ti	B	Fe
0.17	0.041	0.036	0.003	Bal.

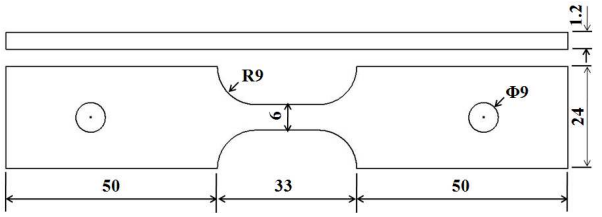


Fig. 1 Schematic diagram of specimen for tensile test (unit : mm)

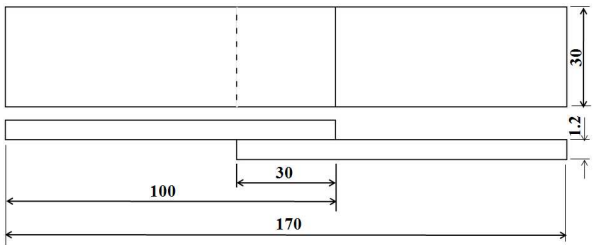


Fig. 2 Schematic diagram of spot welded specimen for shear tensile test (unit : mm)

2.2.4 미세조직 관찰

미세조직은 시험편을 수직방향으로 절단하여 냉간 마운팅한 시편을 에머리페이퍼 #2000까지 단계적으로 습식연마한 후 윤활제와 입도가 0.25 ㎛의 다이아몬드 페이스트를 사용하여 미세 연마하였다. 그 후 에타놀 (97 ㎖) + HNO_3 (3 ㎖)의 나이탈 용액에 15초간 에칭하여 광학현미경을 이용하여 관찰하였다.

2.2.5 점용접

본 연구에서는 일반적으로 널리 알려진 냉연강판 SPRC340과 SPRC 590 2가지를 상대재로 활용하여, 열처리 및 수냉 조건을 달리하여 우수한 기계적 특성을 나타내는 조건의 보론강과 점용접을 실시하였다.

여기에서 사용된 냉연강판 SPRC 340과 SPRC 590의 기계적 특성을 아래의 Table 2와 같다.

Table 2 Mechanical properties of SPRC 340 and SPRC 590

	σ_U (MPa)	σ_y (MPa)	ε (%)	Hv
SPRC 340	340	180	35	100
SPRC 590	590	400	15	180

Table 3 Test conditions and marking for specimen

Speci-men	Heat treat-ment	*W.T** (sec)	Speci-men	Heat treat-ment	*W.T** (sec)
800-00	800 ℃	00	840-00	840 ℃	00
800-05		05	840-05		05
800-10		10	840-10		10
800-30		30	840-30		30
870-00	870 ℃	00	900-00	900 ℃	00
870-05		05	900-05		05
870-10		10	900-10		10
870-15		15	900-15		15
870-20		20	900-20		20
870-30		30	900-30		30

***W.T** : Waiting time for water quenching after heat treatment*

용접기는 NADEX사의 점용접기를 사용하였으며, 선단지름 ϕ6을 가진 크롬동재를 사용한 RF형 전극에 냉각수를 10 L/min으로 일정하게 공급하였다. 점용접은 차체제조업체에서 시뮬레이션한 결과, 최적 용접조건인 통전시간 20 cycle, 가압력 3.5 kN 및 전류 9 kA로 고정하여 실시한 후 기계적 특성 및 조직을 관찰하였다. 이러한 용접조건을 고정한 이유는 동일 용접조건에서 보론강과 각기 다른 기계적 특성을 가진 이종금속을 접합하였을 때 특성변화를 비교 관찰하기 위함이다.

3. 실험 결과

3.1 열처리 및 수냉 조건에 따른 보론 첨가 재료의 특성

각각 다른 열처리 조건에서 수냉한 보론 강판의 기계적 특성 및 미세조직을 관찰함으로서 재료 자체의 특성을 관찰하였다.

시험 조건별 시편의 분류를 Table 3에 나타내었다.

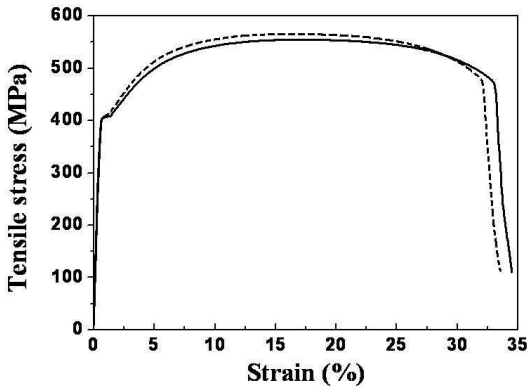


Fig. 3 Stress-strain curve of as-received boron steel

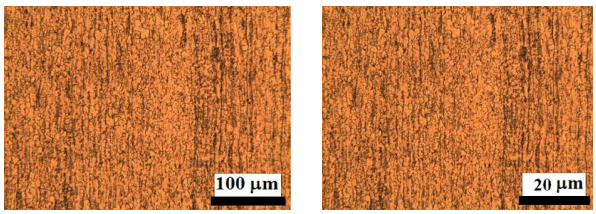


Fig. 4 Micro-structure of as-received boron steel

3.1.1 보론 첨가강 모재의 기계적 특성 및 미세조직

보론 첨가강의 열처리에 따른 기계적 특성 변화를 파악하기 위하여 모재상태의 보론 첨가강에 대한 기계적 특성 및 미세조직을 관찰하였다.

Fig. 3은 2회 실시한 보론강 모재 인장시험의 응력-변형률 곡선이다. 인장시험에서 나타난 보론 첨가강은 항복강도 400 MPa, 인장강도 550 MPa 및 연신율 30 % 이상이다. 또한 2.94 N 하중으로 10초간 압입하여 5회 측정한 모재의 비커스 경도는 평균 Hv 178.3이었다.

Fig. 4는 광학 현미경으로 200배와 500배로 관찰한 보론 첨가강의 미세조직이다. 일반적으로 보론강은 페라이트와 펄라이트의 복합조직이 존재하는 것으로 알려져 있다.[5,6] Fig. 4로부터 알 수 있듯이 모재의 미세조직은 대부분의 페라이트 조직과 미세한 판상의 펄라이트 조직으로 이루어져 있다.

3.1.2 열처리 및 수냉 조건에 따른 기계적 특성

Table 4는 열처리 및 수냉 조건을 달리한 보론 첨가강 시험편을 조건별로 2회에 걸쳐 인장시험을 실시한 후, 그 결과를 평균값으로 표시하였다.

Table 4 Mechanical properties obtained from room temperature tensile test according to the different waiting time for water quenching after heat treatment

Specimen	σ_y (MPa)	σ_U (MPa)	ε (%)
800-00	1,014	1,583	5.8
800-05	610	1,201	9.1
800-10	487	982	14.2
800-30	400	646	28.9
840-00	1,264	1,707	7.0
840-05	1,285	1,699	7.8
840-10	793	1,365	7.1
840-30	428	671	23.0
870-00	1,294	1,706	8.0
870-05	1,294	1,681	10.2
870-10	1,228	1,647	8.6
870-15	1,002	1,521	8.4
870-20	779	1,338	8.1
870-30	628	1,062	10.9
900-00	1,192	1,671	11.0
900-05	1,239	1,657	10.3
900-10	1,143	1,637	9.9
900-15	1,118	1,600	10.5
900-20	934	1,478	9.4
900-30	685	1,063	9.2

Fig. 5는 인장시험 결과를 열처리 조건별로 응력-변형률 곡선으로 분류하여 나타내었다.

Table 4 및 Fig 5에서 알 수 있듯이, 동일한 열처리 조건에서 수냉하기까지 시간이 길어짐에 따라 인장 및 항복강도가 낮아지는 경향을 나타내었다. 그리고 열처리 온도가 높아짐에 따라 수냉까지 시간이 길어지더라도 인장 및 항복강도는 낮아지는 정도가 감소하였다. 즉시 수냉에 따른 보론강 재료의 특성 관찰 결과, 840 ℃ 이상의 온도에서 열처리한 후, 즉시 수냉한 시험편(840-0, 870-0, 900-0)의 경우는 모두 인장강도 1650 MPa 이상의 기계적 특성을 나타내었다.

그러나 800 ℃에서 열처리 후, 즉시 수냉한 시험편(800-0)의 경우는 인장강도가 1580 MPa로 다소 낮은 경향을 보였다. 인장강도 1600 MPa 이상의 기계적 특성을 나타내는 것은 840 ℃열처리 후 5초 이내(840-0, 840-5), 870 ℃ 열처리 후 10초 이내(870-0, 870-5, 870-10), 900 ℃ 열처리 후 15초 이내에 수냉한 시험편(900-0, 900-5, 900-10, 900-15)이었다.

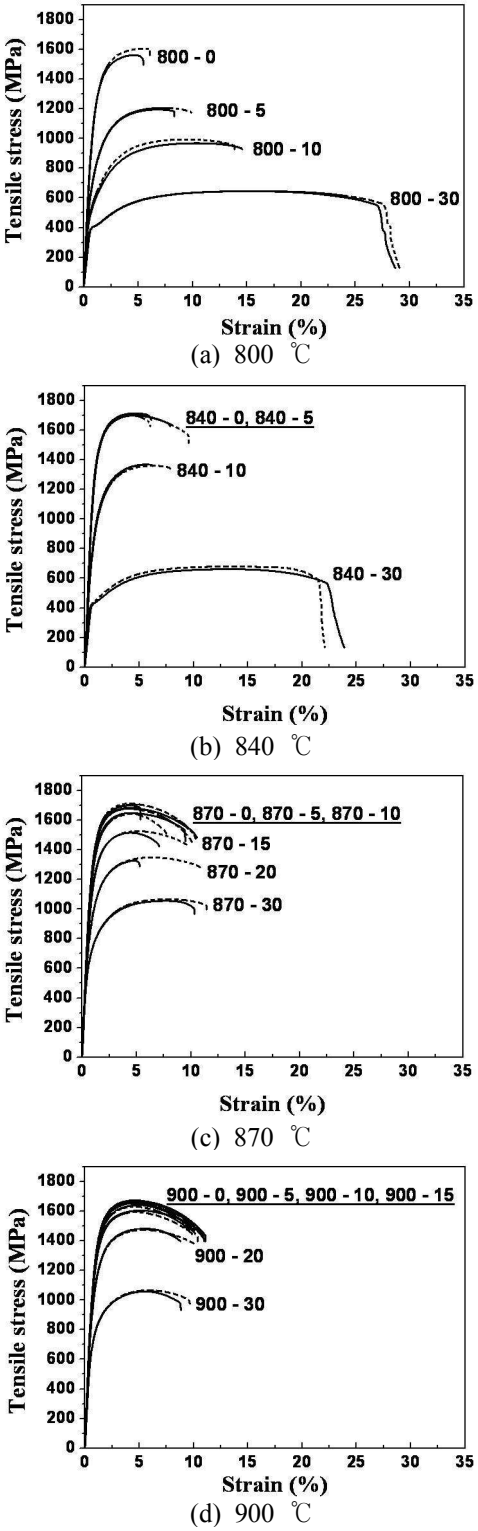


Fig. 5 Stress-strain curve of the boron steel according to the different waiting time for water quenching after heat treatment at 800 ℃, 840 ℃, 870 ℃, 900 ℃

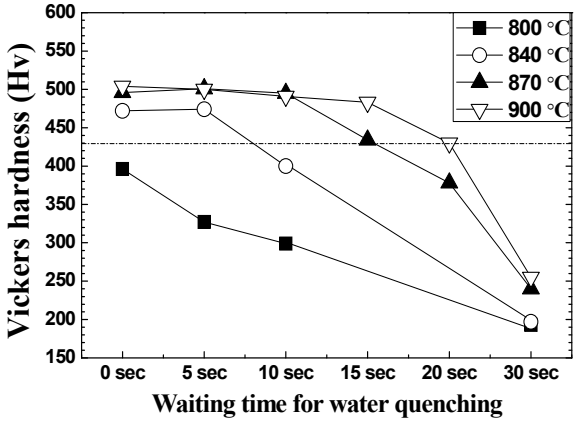


Fig. 6 Vickers hardness according to waiting time for water quenching after heat treatment at 800 ℃, 840 ℃, 870 ℃, 900 ℃

일반적으로 고강도 자동차 부품 재료에서 요구하는 인장강도 1450 ~ 1500 MPa 이상인 시험편은 800 ℃ 열처리 후 즉시(800-0), 840 ℃ 열처리 후 5초 이내(840-0, 840-5), 870 ℃ 열처리 후 15초 이내(870-0, 870-5, 870-10, 870-15), 900 ℃ 열처리 후 20초 이내에 수냉한 시험편(900-0, 900-5, 900-10, 900-15, 900-20)이었다.

Fig. 6는 800, 840, 870 및 900 ℃에서 각각 열처리 후 수냉까지 시간에 따른 경도 측정을 5회 이상한 후, 그 결과를 평균으로 나타낸 것이다.

인장 시험 결과와 마찬가지로, 같은 열처리 조건에서 수냉까지 시간이 길어짐에 따라 비커스 경도가 낮아지는 경향을 보였다. 그러나 열처리 온도가 높아짐에 따라 수냉까지 시간이 길어지더라도 경도가 낮아지는 정도가 감소하였다. 특히 800 ℃에서 열처리 후 즉시 수냉한 시험편의 경우는 Hv 396이고, 840, 870, 900 ℃에서 열처리한 후 즉시 수냉한 시편의 비커스 경도는 Hv 470 이상으로 큰 차이를 나타내었다.

또한 840 ℃열처리 후 5초 이내(840-0, 840-5), 870 ℃ 열처리 후 10초 이내(870-0, 870-5, 870-10), 900 ℃ 열처리 후 15초 이내(900-0, 900-5, 900-10, 900-15)에 수냉한 시험편은 Hv 470으로 비교적 일정한 수준을 나타났다.

3.1.3 수냉 조건에 따른 조직 특성

핫스탬핑용 보론 강판의 수냉 조건에 따른 기계적 특성과 미세조직과의 상관관계를 규명하고자, 열처리 온도별로 수냉까지 시간에 따른 미세조직을 Fig. 7에 나타내었다.

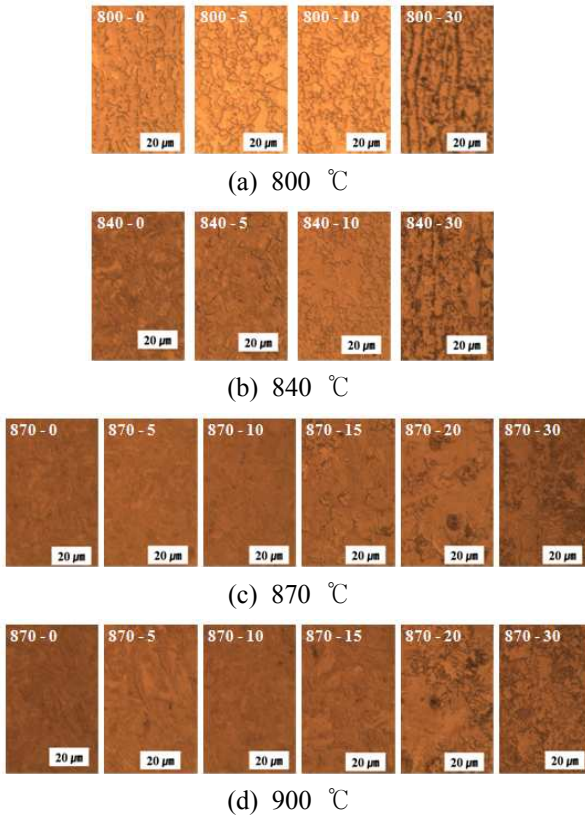


Fig. 7 Microstructure of the specimen

즉시 수냉한 시험편의 경우, 840 ℃, 870 ℃, 900 ℃에서는 대부분 마르텐사이트 조직을 보였다. 그러나 800 ℃에서는 오스테나이트화 하지 못하여 수냉에 따른 마르텐사이트 조직이 생성되지 않고 페라이트 기지가 관찰되었다. 이것은 800 ℃에서 열처리 한 시험편의 인장강도 및 경도가 나머지 840, 870, 900 ℃에서 열처리 한 시험편 보다 현저히 낮은 경향을 보이는 것과 잘 일치한다.

또한 840 ℃ 열처리 후 5초 이내(840-0, 840-5), 870 ℃ 열처리 후 10초 이내(870-0, 870-5, 870-10), 900 ℃ 열처리 후 15초 이내(900-0, 900-5, 900-10, 900-15)에 수냉한 시험편은 모두 마르텐사이트 조직이 관찰되었다. 그러나 이후의 시간에서는 수냉에 의한 냉각속도 보다 상당히 느린 공기 중의 냉각속도에 영향을 받아 마르텐사이트 생성을 위한 냉각속도 보다 느려짐으로써 마르텐사이트 조직은 관찰되지 않거나 미량 존재하였다. 즉, 인장강도 1600 MPa이상, 비커스 경도 430이상을 가지는 시험편은 마르텐사이트 조직으로 대부분 변태되었음을 의미한다.

Table 5 Test conditions of spot welded specimen according to the existence of coating and the counterpart materials

Specimen	Heat treatment	Coated(Al+Si) or Non-coated	Counter part material
870-10-C-340	Quenching after 10sec. from 870 ℃	Coated	SPRC 340
870-10-C-590			SPRC 590
870-10-N-340		Non-coated	SPRC 340
870-10-N-590			SPRC 590
870-15-C-340	Quenching after 15sec. from 870 ℃	Coated	SPRC 340
870-15-C-590			SPRC 590
870-15-N-340		Non-coated	SPRC 340
870-15-N-590			SPRC 590
900-10-C-340	Quenching after 10sec. from 900 ℃	Coated	SPRC 340
900-10-C-590			SPRC 590
900-10-N-340		Non-coated	SPRC 340
900-10-N-590			SPRC 590
900-15-C-340	Quenching after 15sec. from 900 ℃	Coated	SPRC 340
900-15-C-590			SPRC 590
900-15-N-340		Non-coated	SPRC 340
900-15-N-590			SPRC 590
900-20-C-340	Quenching after 20sec. from 900 ℃	Coated	SPRC 340
900-20-C-590			SPRC 590
900-20-N-340		Non-coated	SPRC 340
900-20-N-590			SPRC 590

Table 6 Maximum tensile shear load of the spot welded specimen according to the existence of coating and the counterpart materials

Specimen	Max. tensile shear load (kN)	Specimen	Max. tensile shear load (kN)
870-10-C-340	10.47	870-10-C-590	16.99
870-10-N-340	11.13	870-10-N-590	17.13
870-15-C-340	10.81	870-15-C-590	16.03
870-15-N-340	9.57	870-15-N-590	15.36
900-10-C-340	10.87	900-10-C-590	17.53
900-10-N-340	10.18	900-10-N-590	17.13
900-15-C-340	10.90	900-15-C-590	16.89
900-15-N-340	11.96	900-15-N-590	17.93
900-20-C-340	11.11	900-20-C-590	14.02
900-20-N-340	10.11	900-20-N-590	14.05

3.2 점용접에 따른 특성

본 절에서는 열처리 및 수냉 조건에 따라서 1450 MPa 이상의 인장강도를 나타는 시험편 (870-10, 870-15, 900-10, 900-15, 900-20)을 활용하여 SPRC 340 과 SPRC 590 2가지 재료에 점용접을 실시하였다또한, 보론 첨가강은 표면 산화 방지를 위하여 Al+Si가 코팅되어 있으므로, 코팅 유무에 따라 점용접 후의 기계적 특성을 평가하였다.

Table 5는 특정 점용접조건에서 보론강의 Al+Si 코팅 유무 및 상대재의 종류에 따른 실험 조건 및 시험편 명칭을 나타낸다. 여기서 시험편 명칭에 C는 코팅이 되어 있는 것이고, N은 코팅이 없는 것이다.

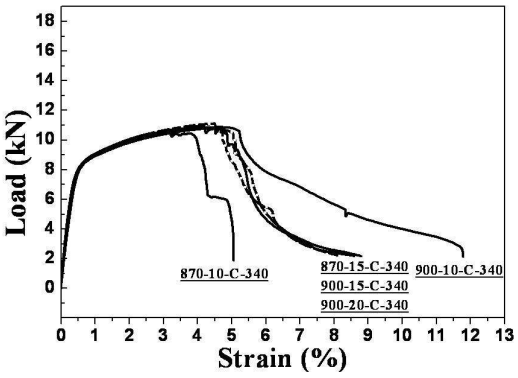
3.2.1 점용접에 따른 인장특성

1450 MPa 이상의 인장강도를 나타내는 보론강과 일반냉연강판(SPRC 340, SPRC 590)을 점용접한 후에 전단 인장시험한 결과를 Table 6에 나타내었다. 표에서 900 ℃에서 20초 후에 수냉한 보론 강판과 점용접된 시험편 (900-20-C-340, 900-20-N-340, 900-20-C-590, 900-20-N-590)을 제외하고, SPRC 590 과 용접된 시험편의 최대전단인장하중은 4900 ~ 5880 N 이상 높게 나타났다. 따라서 보론강판의 물성이 동일할 때, 코팅 유무에 관계없이 용접되는 상대재의 강도가 접합 후의 기계적 특성에 영향을 미친다는 것을 알 수 있었다.

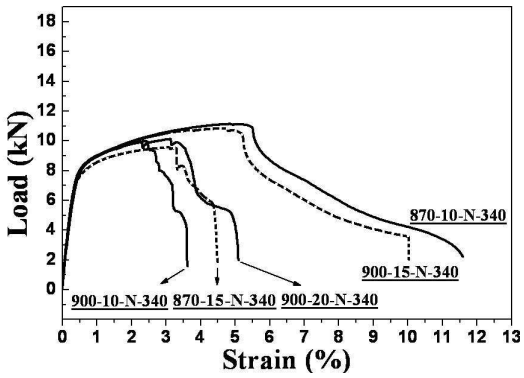
Fig. 8(a)는 SPRC 340 재료에 코팅된 보론강판, (b)는 SPRC 340 재료에 미코팅된 보론강판, (c)는 SPRC 590 재료에 코팅된 보론강판, (d)는 SPRC 590 재료에 미코팅된 보론강판으로 점용접한 후, 전단 인장시험한 하중-변형률 곡선이다. 전단 인장 시험에서 재료의 파괴는 대부분 냉연강판이 아닌 보론강판에서 일어났으며, 파괴 기점은 점용접으로 인하여 용융되어 발생한 너겟 부위의 가장자리 부분 즉, 보론 강판과 일반냉연 강판의 경계 부위에서 파괴되었다. 이는 전단 인장 시험시 보론 강판과 일반 냉연 강판의 경계부에 응력이 집중되어, 상대적으로 연성이 부족한 보론강판에서 파괴된 것으로 판단된다. 그리고 Fig. 8의 (a)와 (b) 및 (c)와 (d)를 비교하면, 보론 첨가 강판의 표면 산화 발생을 방지를 위한 Al+Si 코팅층은 파괴에 영향이 없었다.

3.2.2 점용접에 따른 경도 및 미세조직

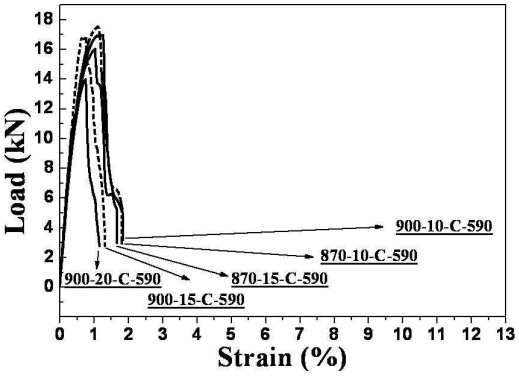
점용접된 시험편의 용접부 및 용접 열영향부 (HAZ : heat affected zone)의 경도 값을 Table 7에 나타내었다.



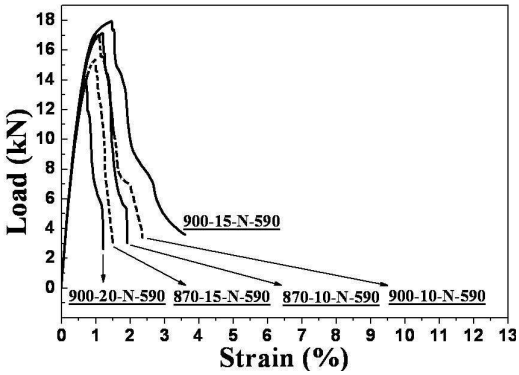
(a) SPRC 340 to coated boron steel



(b) SPRC 340 to non-coated boron steel



(c) SPRC 590 to coated boron steel



(d) SPRC 590 to non-coated boron steel

Fig. 8 Load-strain curve of the spot welded specimen according to the existence of coating and the counterpart materials

Table 7 Vickers hardness of the spot welded specimen according to the existence of coating and the counterpart materials

Specimen	Hv (welded zone)	Hv (HAZ on the boron stee)	Specimen	Hv (welded zone)	Hv (HAZ on the boron steel)
870-10-C-340	380	293	870-10-C-590	411	320
870-10-N-340	364	320	870-10-N-590	375	315
870-15-C-340	393	289	870-15-C-590	415	281
870-15-N-340	382	319	870-15-N-590	401	299
900-10-C-340	380	302	900-10-C-590	381	303
900-10-N-340	384	315	900-10-N-590	381	302
900-15-C-340	368	282	900-15-C-590	405	302
900-15-N-340	392	291	900-15-N-590	393	297
900-20-C-340	367	290	900-20-C-590	383	311
900-20-N-340	388	319	900-20-N-590	412	292

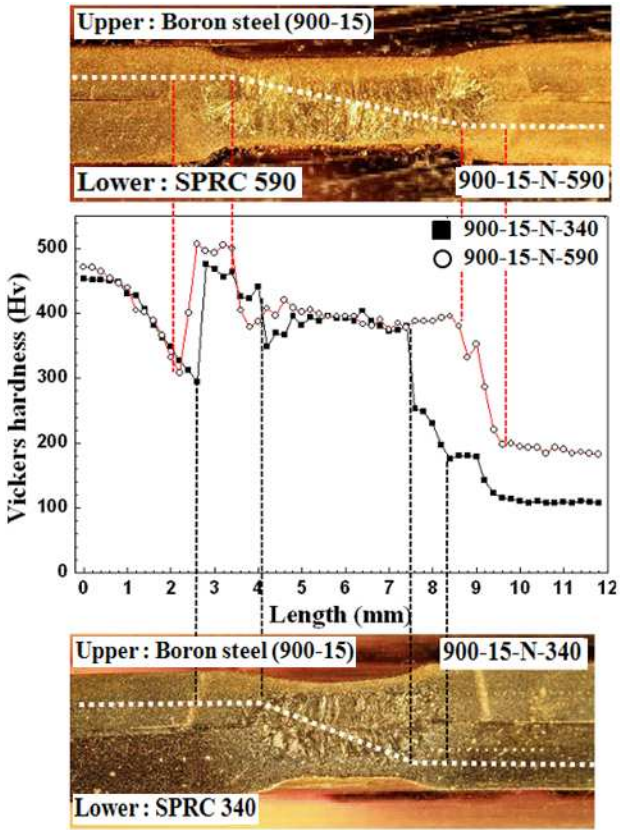


Fig. 9 Vickers hardness of 900-15-N-340 and 900-15-N-590

Fig. 9은 점용접에 따른 경도 변화를 관찰하기 위하여 900-15-N-340과 900-15-N-590 시험편의 비커스 경도를 나타낸다. Table 7과 Fig. 9에 나타난

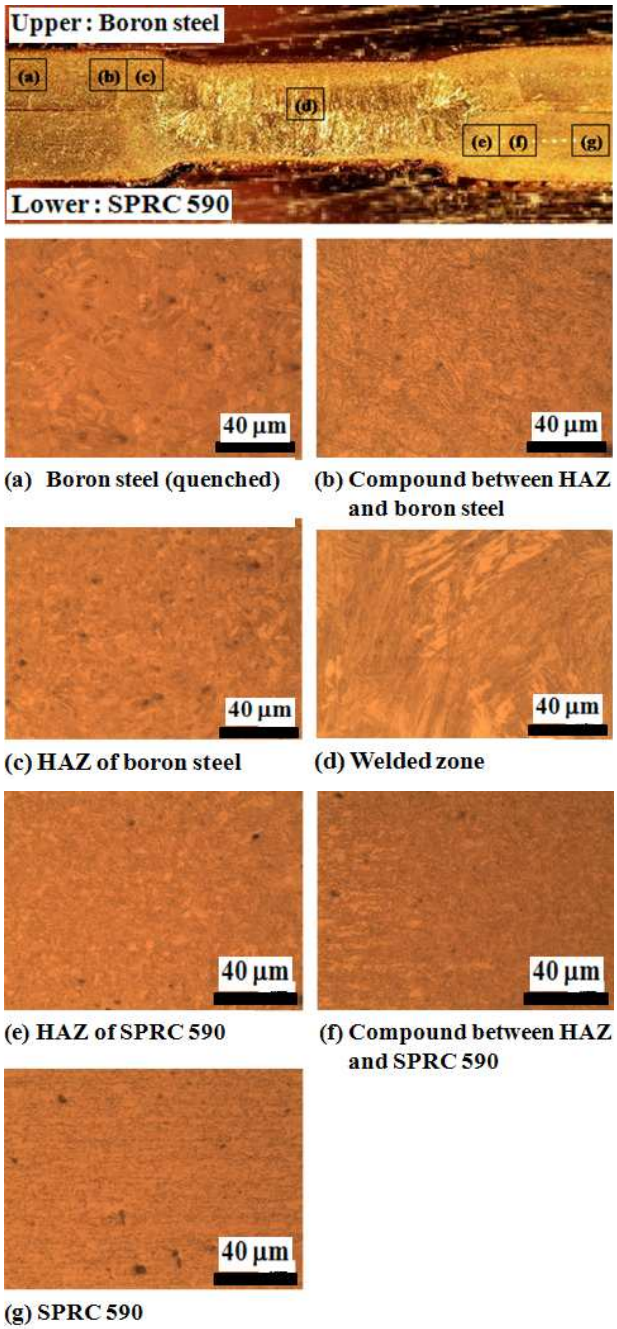


Fig. 10 Microstructure of spot welded specimen

것과 같이 용접으로 인하여 용융되어 보론 첨가 강판과 일반 냉연강판이 접합된 부위는 비커스 경도 값이 Hv 400 전후로 일정하게 나타났다. 그리고 냉연 강판은 용접부를 거쳐 열영향부를 지나 냉연강판까지의 경도 값은 냉연강판 자체의 비커스 경도 수준(SPRC 340 : Hv 100 정도, SPRC 590 : Hv 180 정도)으로 지속적으로 낮아지는 경향을 보였다. 그러나 보론강판의 경우 열영향부에서 용접부보다 다소 높은 Hv 450 이상의 경도를 나타내다가 급격히 경도가 Hv 270 ~ 320으로 떨어지는 경향을 보였다. 이는 핫스탬핑용 보론강판이 용접 열영향에 의하여 용접부와 가까운 부분에서 마르텐사이트 변태 효과로 경도가 상승하였다가 용접부와 멀어지면서 효과를 상실한 결과로 판단된다.

SPRC 590 재료의 경도(Hv 180)가 SPRC 340 재료의 경도(Hv 100)보다 높고, 점용접에 사용된 각기 다른 열처리의 보론 강판의 물성이 상이함에도 불구하고, 용접부 및 용접 열영향으로 인한 열화부의 경도는 특이한 경향이 없이 일정하였다.

Fig. 10에 점용접된 시험편의 대표적인 미세조직을 나타내었다. Fig. 8에 나타낸 것처럼, 수냉처리된 보론 강판(a)는 대부분 마르텐사이트 조직을 보이다가, 보론 강판과 용접 열영향부 경계(b)에서는 상당량의 페라이트 조직이 관찰되었다. 보론 강판의 열영향부(c)는 다시 미세한 마르텐사이트 조직이 관찰되었다. 그리고 용접부(d)는 일반 냉연강판과 보론강이 용융 후 냉각되면서 수냉 처리된 보론 강판의 마르텐사이트 조직과는 상이한 마르텐사이트 조직을 보였다.[7,8]

이는 핫스탬핑용 보론강판이 용접 열영향에 의하여 용접부와 가까운 부분에서 마르텐사이트 변태 효과로 경도가 상승하였다가 용접부와 멀어지면서 효과를 상실한 결과를 보인 경도측정 결과(Fig. 9)와 같은 경향을 보였다. 또한 냉연 강판의 용접 열영향부(e)에서 냉연강판 모재(g)로 갈수록 특이한 조직의 변화 없이 페라이트 조직이 커지는 경향을 관찰 할 수 있었다.

4. 결 론

본 연구에서는 Al+Si 코팅 된 핫스탬핑용 보론강판을 각기 다른 온도로 열처리하여 수냉 조건에 따른 기계적 특성 및 조직을 관찰하였다. 그리고 이 결과를 토대로 선별된 기계적 특성이 우수한 조건인 보론강 시험편과 일반 냉연 강판인 SPRC 340과 SPRC 590 2종류의 상대재를 사용하여 점용접을 실시하였다. 보론강 및 상대재의 기계적 특성 변화에 따른 용접 후의 기계적 특성 및 조직, 그리고 코팅층 유무에 따른 특성 변화 등을 연구한 결과 아래와 같은 결론을 얻었다.

(1) 즉시 수냉을 하였을 경우의 조직 관찰 및

경도 측정 결과, 800 ~ 840 ℃ 구간에서 마르텐사이트 변태가 일어남을 알 수 있었다.

(2) 열처리 및 수냉 조건에 따른 기계적 특성치 측정 결과, 870 ℃ 15초 이내에, 900 ℃ 20초 이내에 수냉한 보론 첨가 강판의 인장강도는 1450 MPa 이상, 비커스 경도는 Hv 400 이상을 나타냄으로서 열처리에 의한 고장력 강판의 특성을 나타내었다.

(3) 점용접 후 전단인장하중 측정 결과, 코팅의 유무와는 무관한 것으로 나타났으며, 보론강판의 물성이 동일할 때 용접되는 상대재의 강도가 접합 후의 기계적 특성에 영향을 미친다는 것을 알 수 있었다.

(4) 점용접 후 경도 측정 결과, 보론강판의 경도 특성과 상관없이 점용접부의 경도는 SPRC 340보다 SPRC 590과 용접하였을 때가 약간 높은 경향을 보이긴 하였으나 380 Hv정도로 일정한 경향을 보였다.

(5) 점용접 후 경도 측정 및 미세조직 관찰 결과, 열처리된 보론 강판과 용접부 그리고 열영향부에서는 마르텐사이트 조직을 보였으나, 용접 열영향부와 열처리된 보론 강판 사이에서는 페라이트 조직이 관찰 되었으며 이는 경도 측정 결과와 동일한 경향을 보여 주었다.

(6) 보론강판의 용접 열영향부 경도 측정 결과 모두 Hv 280 이상으로 SPRC 340모재의 경도인 Hv 100 수준, SPRC 590 모재의 경도인 Hv 180 수준 보다 Hv 100이상 높은 것으로 보아 Hv 280 수준의 냉연 강판을 용접 상대재로 사용할 경우 상당한 강도 개선 효과를 볼일 것으로 판단된다.

후 기

본 연구는 2009년 동남광역경제권 선도산업 육성사업의 지원으로 수행된 연구임.

참고문헌

(1) Ji, M. W., Kang, K. P., Lee, K. H., Kim, Y. S. and Suh, Y. S., 2009, "Application and Verification of Virtual Manufacturing to Hot Press Forming Process with Boron Steel," *Proceedings of the KSME · KSAE 2009 Spring Annual Meeting*, pp. 13~14.

(2) Jang, J. M., Kim, Y. G. and Moon, M. B., 2009, "A Study on Rear impact inprovement of Passenger Car by Hot stamping Process," *Proceedings of the KSME 2009 Spring Annual Meeting*, pp. 205~208.

(3) Altan, T., 2006, "Hot-Stamping Boron-Alloyed Steels for Automotive Prats, Part I : Process Methods and Uses" *Stamping Journal*, pp. 40~41.

(4) Engels, H., Schalmin, O. and Muller-Bollenhagen, C., 2006, “Controlling and Monitoring of the Hot-tamping Process of Boron-Alloyed Heat-Treated Steels” The International Conference “New Development in Sheet Metal Forming Technology” pp.135~150.

(5) Lee, M. K., Kim, S. J. and Jeong, W. C., 2008, "Technology of Press Hardening for Manufacturing Ultra-high Strength Automobile Parts, *Machine and Materials*, pp. 83~86.

(6) Choi, Y. S., Jung, W. S., Park, I. M., Kwon, K. W., Jee, Y. K. and Yoo, I. S., 1996, "Boron Distribution Behavior and Property of Boron Treated Steel" *Proceedings of the KSME 2009 Spring Annual Meeting*, pp. 740~744.

(7) Lee, H. W., Kim, Y. H. and Lee, S. H., 2007, “Effect of Boron Contents on Weldability in High Strength Steel,” *Journal of Mechanical Science and Technology* 21, pp. 772~778.

(8) Hovanski, Y., Santella, M. L. and Grant, G. J., 2007, “Friction Stir Spot Welding of Hot-Stamped Boron Steel,” *Scripta Materialia*, Vol. 57, pp. 873~876.