

## Al-Si 코팅층 Laser Ablation 변수에 의한 LWB 보론강판의 기계적 특성 평가

문정환<sup>1</sup> · 이민식<sup>1</sup> · 강충길<sup>#</sup>

### Evaluation of Mechanical Characteristic of Laser-Welded Blank of a Boron Steel by Using Laser Ablation of Al-Si Coating Layer

J. H. Moon, M. S. Lee, C. G. Kang

(Received September 7, 2011 / Revised November 2, 2011/ Accepted November 8, 2011)

#### Abstract

Recent years have seen advent of hot stamped parts made from laser-welded blanks of boron steels for structures requiring high crash energy absorption. However, the presence of Al-Si coating interfered with satisfactory mechanical characterizations after laser butt welding. In this study, laser ablation technology was considered in order to facilitate adequate mechanical characterization of the final hot-stamped panels.

**Key Words** : Hot Stamping, Al-Si Coating Layer, Boron Steel Sheet, Laser Ablation, LWB(Laser Welded Blank)

#### 1. 서 론

최근 세계적으로 환경 문제가 대두되면서 자동차 업계는 온실가스 배출 규제와 자동차의 경량화를 통한 연비증가에 큰 관심을 가지고 있다. 특히 자동차 경량화와 함께 승객의 안전을 위한 고강도강판 개발 및 공법에 관한 연구가 꾸준히 진행되고 있다. 특히 800MPa의 인장강도와 연신율 25%를 가지는 DP(Dual Phase)강, TRIP(Transformation Induced plasticity)강을 이용한 기술개발과 함께 600 MPa 인장강도를 가지는 보론강을 이용한 Hot Stamping(Hot Press Forming, Press Hardening)공법에 의해 1500MPa의 초고강도 차체를 만드는 기술개발이 활발히 진행되고 있다[1~5]. 하지만 Hot Stamping 공법으로 만들어진 차체는 높은 인장강도에 비해 5~7%의 낮은 연신율을 가지고 있어 충격 흡수능이 좋지 않은 단점이 있다. 그래서 자동차 업계

에서는 승객의 안전과 직접적인 영향을 미치는 Center Pillar, Bumper, Roof Rail, Rear Side Member등과 같은 부품에 TWB(Tailer Welded Blank)를 이용한 Stamping 기술이 많이 적용되고 있다.

TWB 기술은 같은 소재에 두께가 다른 판재를 용접 후 필요한 강도를 적용할 수 있는 장점을 가지고 있어서 소재비용의 절감과 함께 차체 성능도 함께 높일 수 있는 등 많은 장점을 가지고 있어서 많은 연구가 진행되고 있다. Rajashekhar sharma[6]는 AHSS(Advanced High Strength Steel) 강재인 USIBOL 1500P, DP 980, TRIP 780, Mild Steel을 Yag laser 용접 후 용접부의 표면거칠기와 성분분석에 대한 연구를 하였다. 그리고 R.Padmanabhan[7]은 DP steel과 Mild steel의 맞대기 용접 후 딥드로잉을 통한 성형성 평가를 통해 판재가 이방성을 때 보다 등방성일 때 Weld-line을 따라 많은 Thinning이 발생됨

1. 부산대학교 일반대학원 기계공학부 정밀가공시스템전공  
# 교신저자 : 부산대학교 정밀정형및금형가공연구소(ERC/NSDM)  
E-mail : ckgang@pusan.ac.kr

을 보였다. D.Anand[8]는 두께가 다른 IF steel을 용접 후 기계적 특성 평가를 위해 인장강도와 경도 측정을 하였으며 파단된 시편의 SEM측정을 통해 성분분석을 하였다.

하지만 현재 보론강을 이용한 TWB 시편에 대한 연구는 많지 않다[9~11]. 또한 보론강 TWB 시편에 Hot stamping 기술을 접목한 연구는 해외에서 이루어지고 있지만 국내에서는 아직 많은 연구가 되지 않았다. 특히 보론강을 이용한 TWB에 Hot Stamping 기술이 적용되면 두께가 두꺼운 판재와 얇은 판재 모두 다이퀀칭을 통해 1500MPa의 높은 인장강도를 갖게 되며 두께가 얇은 판재로 충격 흡수능을 대체하여 낮은 연신율의 단점을 해결할 수 있다. 하지만 보론강은 용접시 Al-Si코팅층이 함께 용접부에 용융되어 기계적 강도 및 경도가 저감되는 문제점을 가지고 있다[9].

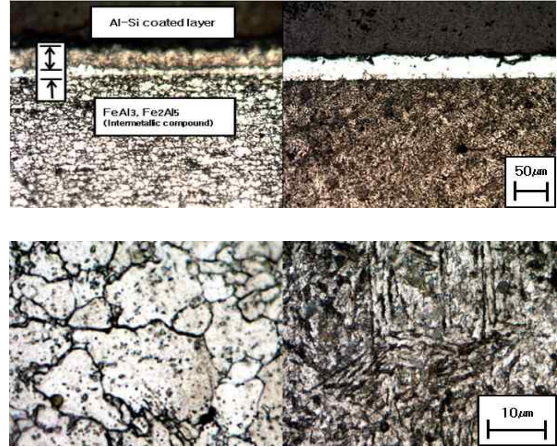
본 연구에서는 레이저를 이용하여 보론강 판재를 용접하는 LWB(Laser Welded Blank)에 Hot Stamping 기술을 적용하기 위해 용접시 Al-Si코팅층에 의한 기계적 특성이 감소되는 문제를 연구하는데 중점을 두고 있다. 그래서 Laser Ablation을 통해 Al-Si코팅층을 다양한 변수로 제거한 후 맞대기 용접된 시편의 기계적 특성을 평가하였다.

## 2. 이론적 배경 및 실험조건

### 2.1 보론강(22MnB5)의 특성

Table 1의 화학적 물성표에서 보여지듯이 보론강은 B,Mn,Cr소재를 첨가한 경화능이 우수한 강재이다. Fig.1의 조직사진에서 알 수 있듯이 보론강은 페라이트 기지에 펄라이트 층상을 나타내며 Fe<sub>3</sub>C 평형 상태도에서 A3 선 이상의 온도(900℃)로 가열 한 후 급랭 하게 되면 가장 경한 조직인 마르텐사이트로 변하게 된다. Table2는 보론강의 퀀칭 전과 후의 기계적 특성을 나타낸다. 보론강에는 산화방지를 위해서 25~45μm 두께의 Al-Si코팅층이 강판의 양면에 도금처리가 되어 있으며 코팅층과 모재층 사이에는 5~7μm 두께의 화합물인 FeAl<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>Al<sub>5</sub>(Intermetallic compou Al-Si코팅층보다 더 높은 경도를 가지고 있다. 그리고 코팅층의 녹는점이 600~700℃이지만 금속간화합물층은 1100℃ 이다.

그래서 보론강의 맞대기 용접시 Al-Si 코팅층이 함께 용해되어 기계적 강도와 경도를 떨어뜨리는 요인이 된다.



(a) Before diequenching (b) After diequenching  
Fig. 1 Microstructure of before and after diequenching

Table 1 Chemical composition of boron steel(wt%)

C	Mn	Si	P	S	Al	Cr	B
0.22	1.20	0.20	0.02	0.005	0.02	0.10	0.002

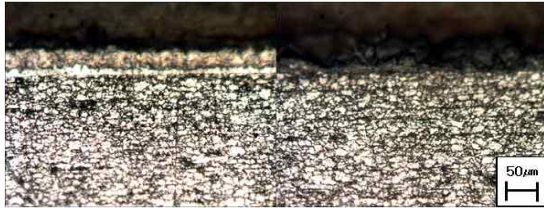
Table 2 Mechanical properties of boron steel

Mechanical properties	Before quenching	After quenching
UTS (MPa)	500 ~ 600	1450 ~ 1500
Elongation(%)	18 ~ 25	5 ~ 7
Vickers Hardness (Hv)	180 ~ 200	450 ~ 500

### 2.2 Laser Ablation

#### 2.2.1 Laser Ablation 방법

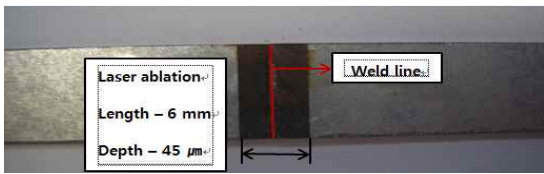
25~45μm 두께의 Al-Si코팅층을 Laser를 이용하여 제거하는 방법은 어렵다. 레이저 용접의 헤드를 이용하여 ablation할때에 속도가 느려지는 문제로 코팅층이 제거되지 않고 오히려 용융되어 금속간 화합물을 조성할 수 있다. 그래서 헤드 대신 스캐너 장착 후 고속으로 Laser ablation을 할 수 있게 하였다. Fig. 2는 보론강 Al-Si코팅층Laser ablation의 전과 후를 보여준다. Fig. 3에서는 Laser ablation을 한 시편을 대표적으로 예를 들었다. Ablation 치수는 용접Weld line을 중심으로 편측으로 3mm이고 깊이는 25~45μm이다.



(a) Before laser ablation (b) After laser ablation  
 Fig. 2 Before and after laser ablation of al-si coating layer of boron steel



(a) specimen of tensile test



(b) Enlarged photo of tensile specimen

Fig.3 Example specimen of laser ablation and welding

Table 3 Variable of laser ablation

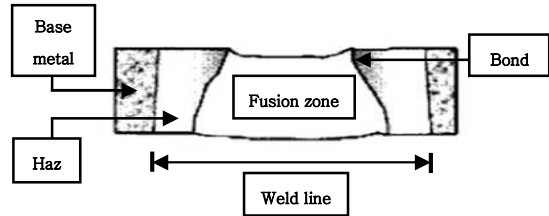
Exp. Number	Method of Ablation	Side of Ablation
No. 1	Sandpaper	Double Side
No. 2	Laser	Double Side
No. 3	Laser	Upper Side
No. 4	Laser	Under Side
No. 5	Without Ablation	-

2.2.2 시험편의 Laser Ablation 변수

Table 3은 Laser Ablation의 변수를 나타낸다. 용접된 시험편의 Laser Ablation 변수를 5가지로 나누었다. 그리고 보론강 모재(Base Metal)인 22MnB5를 코팅층 Laser Ablation이 적용된 용접된 시험편과 기계적 특성을 비교하였다. Exp. no. 1은 사포를 이용하여 사람의 힘으로 보론강 판재 양면의 코팅층을 제거하였다. Exp. no. 2~4는 Pulse laser를 사용하여 보론강의 코팅층을 제거하였다. Exp. no. 2는 양면의 코팅층을 제거하였으며 Exp. no. 3은 윗면의 코팅층만 제거한 후 용접하였고 Exp. no. 4는 아랫면의 코팅층만 제거한 후 용접을 하였다. Exp. no. 5는 코팅

Table 4 Welding condition for laser weld

Power (w)	Speed (mm/sec)	Focus (mm)	Shield gas
3500	100	-4	N2



(a) High heat input



(b) Optimal heat input



(c) Low heat input

Fig. 4 Cross section of butt welding according to welding conditions[10]

층을 제거하지 않고 바로 맞대기 용접한 조건이다. 보론강의 Al-Si 코팅층을 양면으로 제거하면 용접할 때 Al-Si 코팅층의 유입이 없어서 기계적 특성을 극대화 할 수 있지만 한쪽면만 Laser Ablation 한 조건의 기계적 특성이 높게 나온다면 경제적인 측면에서 좋을 것이다.

2.3 Laser Welding

본 실험에서는 보론강(22MnB5) 판재의 1.6 thickness를 맞대기 용접 하였다. Table 4는 용접 조건을 나타낸다. Fig. 4에서 처럼 최적의 용접 조건은 용접 후 Weld line이 좁고 Back bead가 보여야 하며 Full penetration(X - Penetration) 형상이 되어야 한다. 만약 용접의 출력은 높으나 속도가 늦게 된다면 과입열로 Back bead의 면적이 넓어지게 되고 출력은 높고 속도가 빠르게 되면 과소입열로 Back bead가 나오지 않게 되어 기계적 특성을 떨어뜨리게 된다.

Bond 부는 용접시 Base metal과 Weld line 사이의 HAZ(Heat Affected Zone)에서 생성되며 취화의

원인이 된다. 하지만 최적의 용접조건 일 수록 HAZ 부의 크기는 줄어든다. 그리고 용접후 두 판재의 단차를 줄이기 위해서 전단시 발생한 버를 줄로 제거 후 지그에 고정시키고 레이저 용접하였다.

### 3. 실험 결과

#### 3.1 인장실험

##### 3.1.1 다이켄칭 전 인장강도

인장시험을 위해 조건에 따라 Laser ablation 후 Laser welding한 보론강을 ASTM E 8(Subsize specimen)의 규격[13]으로 가공을 하였다. 실험의 신뢰성을 위해 조건별 3개의 시편을 준비하였고 가장 높은 값과 가장 낮은 값이 나오는 시편을 제외하고 남은 한개의 시편을 결과 값으로 사용하기로 하였고 완전한 파단이 났을 때 까지의 값을 실험의 결과값으로 사용하였다. Fig. 5는 시편의 다이켄칭 전의 인장실험 결과를 나타낸다. exp. no. 6의 시편은 보론강(22MnB5) 모재(Base metal)로 인장강도 643MPa, 연신율 20%이 나왔다. 이것은 Table 2에 나온 일반적인 보론강의 기계적 특성에 수렴 하였다. Laser ablation조건을 적용한 시편중 연신율을 기준으로 가장 높은 값을 보인 시편은 양면을 Laser ablation한 exp. no. 2 시편이 인장강도 585MPa, 연신율 20%의 결과 값이 나왔다. 그리고 시편의 윗면만 Laser ablation한 exp. no. 3의 조건이 603MPa, 18%를 보였고 사포를 사용하여 사람의 힘으로 코팅층을 벗겨낸 exp. no. 1의 시편은 604MPa, 16%를 보였다. 또한 밑면만 Laser ablation한 시편과 Laser ablation을 하지 않고 바로 맞대기 용접을 한 exp. no. 4, 5의 인장강도 값이 603MPa, 599MPa이 나왔고 연신율은 14%, 16%가 나왔다. 윗면의 코팅층이 존재한 상태로 용접한 두가지 조건의 시편인 exp. no. 4, 5는 바로 파단이 발생하지 않고 크랙 현상이 지속된 후 파단되는 연성파괴 경향을 보였다.

##### 3.1.2 다이켄칭 후 인장강도

보론강을 이용한 Hot stamping 공법과 동일한 환경을 만들기 위해 보론강 모재를 포함한 6 가지 조건의 인장시편을 950℃ 고온로에 5 분간 유지 후 완전한 오스테나이트 상태로 만들고 바로 다이켄칭을 하였다. Fig. 6은 다이켄칭 후 인장시편의 인장실험을 한 결과를 나타내었다. 보

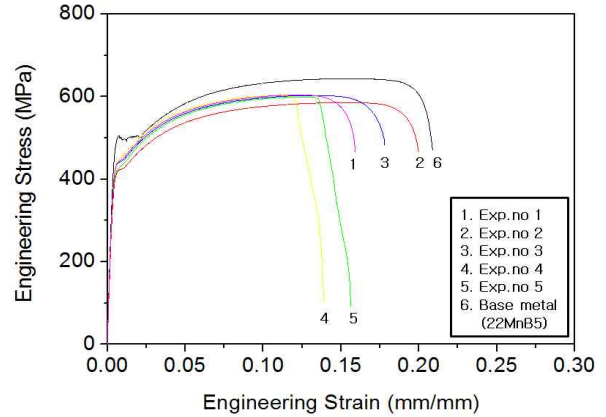


Fig. 5 Tensile strength of specimen before die quenching

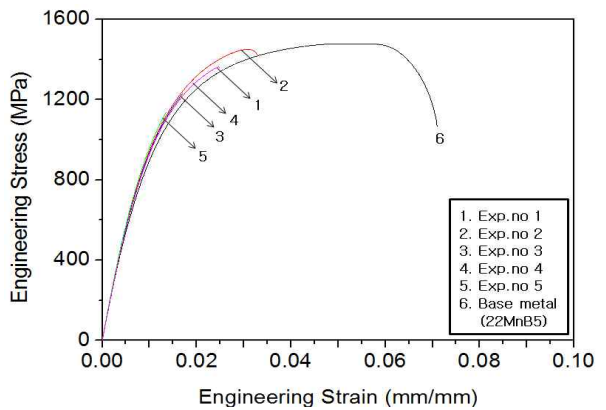


Fig. 6 Tensile strength of specimen after diequenching

론강(22MnB5) 모재(Base metal)인 6 번 시험편은 인장강도 1478MPa, 연신율 7%의 값이 나왔다. 이 결과도 Table 2에 나온 보론강의 기계적 특성에 수렴 되었다. 그리고 높은 연신율 순으로 보면 양면 ablation한 exp. no. 2 조건이 1451MPa, 3%의 값이 나왔다. 모재에 비해서는 낮은 연신율 값이지만 인장강도 값은 자동차업계의 Hot stamping 부품으로 사용할 수 있는 최소 기준 1450MPa에 만족한 결과로 나왔다. 사포를 사용하여 양면 코팅층을 제거한 exp. no. 1은 1363MPa, 2.4%의 값이 나왔고 exp. no. 5, 3, 4의 시편은 인장강도 1140~1232MPa, 연신율 1.3~1.7%의 값이 나왔다.

인장강도 기준으로 exp. no. 2을 제외하고 나머지 조건은 모두 기계적 특성이 저하된 것을 확인할 수 있었다.



### 3.1.3 인장시편의 파단위치

용접시 Weld line 에서는 고온용융과 급속냉각이 이루어 지기에 가장 경한 조직인 마르텐사이트 조직이 나타나고 보론강(22MnB5) 모재(Base metal) 부는 페라이트 기지에 펄라이트 층상의 조직이기에 다이퀀칭 전 인장실험을 했을때 모두 모재에서 파단이 발생되었다. 그러나 다이퀀칭 후 인장실험을 한 시편의 파단면은 exp. no. 1 과 exp. no. 2 처럼 양면 코팅층을 제거한 조건은 HAZ 의 bond 부(Fig. 3)에서 파단이 되었다. Weld line 과 모재 모두 마르텐사이트 조직으로 변하지만 HAZ 의 bond 부는 용접시 모재(Base metal)와 Fusion zone 사이에 국부적으로 경도와 강도가 떨어지는 영역이다. 그리고 판재 두께가 얇고 용접조건이 최적화 일수록 HAZ 의 영역은 줄어든다. exp. no. 3~5 는 모두 Weld line 의 중심인 Fusion zone 에서 파단이 되었다. 파단면 또한 거친 모습을 보였다. Al-Si 코팅층 Laser ablation 의 조건에 따라 인장강도, 연신율 외에도 파단위치와 파단면에도 큰 영향을 보인다는 것을 확인 할 수 있었다.

### 3.2 시편의 경도분포

경도 측정전 시편을 2cm 가량 절단 후 폴리코트와 경화제를 사용하여 마운팅하였다. 그리고 폴리싱을 하여 표면상태를 고르게 한 후 비커스 경도계를 사용하여 경도 측정 하였다. 하중은 1000g 으로 설정하였고 0.25mm(250 μm) 간격 마다 측정을 하였다. 그리고 두께 방향으로 1, 2, 3(상,중,하)으로 나뉘었다. 이것은 Laser ablation 조건별로 용접시에 Al-Si 코팅층이 Weld line 의 어느층에 많은 분포가 되는지를 확인하기 위해서이다.

Fig. 7 에서 보여지듯이 퀀칭 전 각 조건의 시편은 모두 약간의 차이는 있으나 모두 비슷한 경향을 보였다. Weld line 에서는 마르텐사이트 조직의 비커스 경도 값인 450~550Hv 이 나왔으며 모재(Base metal)에서는 180~200Hv 이 측정 되었다.

하지만 퀀칭 후의 시편은 Fig. 8~10 에서 보여지듯 조건별로 모두 다른 분포를 보였다. 먼저 exp. no. 1 의 시편은 Weld line 과 모재부 모두 조직이 마르텐사이트화 되어 일정한 경도 분포를 보였다. exp. no. 2 의 시편은 양면 Laser ablation 한 조건으로 고른 분포를 보였지만 Weld line 에서 모재부 보다 조금 더 높은 경도 값을 보였다. exp. no. 3 의 시편은 윗면의 코팅층만 제거 후 용접한 시편으로 두께방향의 1 영역은 경도값이 일정하게 측정

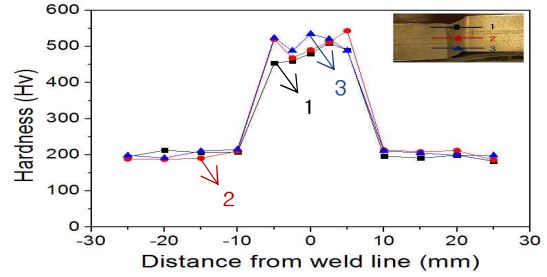
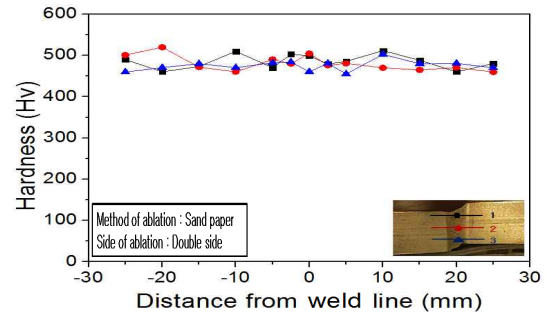
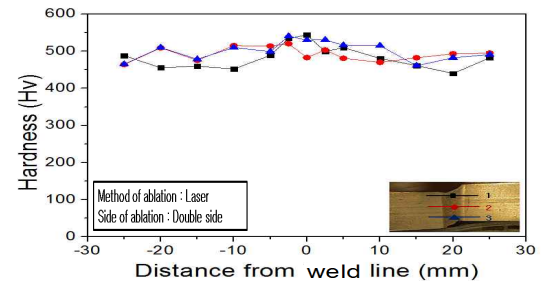


Fig. 7 Distribution of vickers hardness before diequenching of exp. no. 1~5



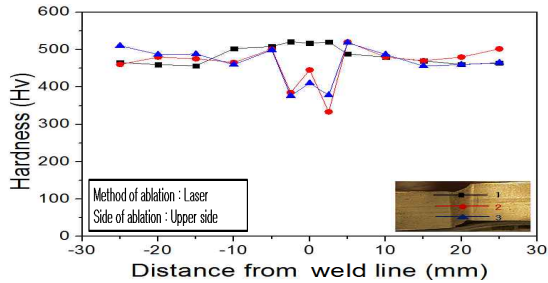
(a) After diequenching of exp. no. 1



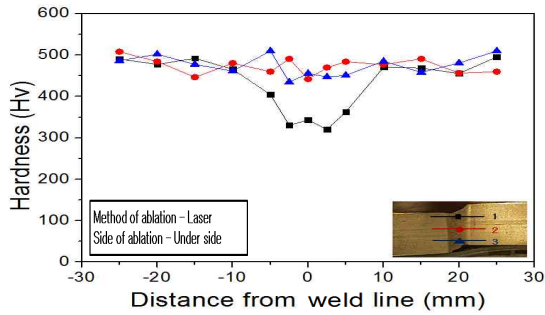
(b) After diequenching of exp. no. 2

Fig. 8 Distribution of vickers hardness after diequenching of exp. no. 1, 2

되었지만 2, 3(중,하) 영역은 경도 값이 떨어졌다. 이는 용접 시 판재 아랫면의 Al-Si 코팅층이 용융된 것이라 판단이 된다. 이것은 exp. no. 4, 5 의 경도 분포를 보면 확실히 알 수 있다. exp. no. 4 는 판재의 윗면은 코팅층을 남겨두고 아랫면만 코팅층을 벗겨낸 조건으로서 두께 방향의 2, 3(중,하)의 경도만 일정하게 유지되었지만 1(상)의 경도 값은 Weld line 에서 300Hv 로 떨어지는 것을 확인 할 수 있었다. Al-Si 코팅층을 제거하지 않고 바로 맞대기 용접한 조건인 exp. no. 6 은 Weld line 에서 두께방향의 1, 2, 3(상,중,하)의 경도가 250~300Hv 로 감소되는 결과가 나타났다.



(a) After diequenching of exp. no. 3



(b) After diequenching of exp. no. 4

Fig. 9 Distribution of vickers hardness after diequenching of exp. no. 3, 4

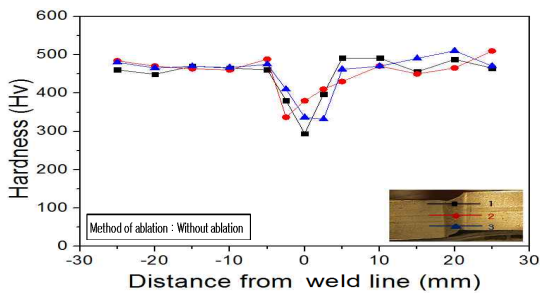


Fig.10 Distribution of vickers hardness after diequenching of exp. no. 5

### 3.3 시편의 미세 조직

미세조직을 확인 하기 위해서 폴리싱 된 시편을 Nitric acid 용액과 Alcohol을 5대 100의 비율로 섞은 용액에 에칭 하였다. 퀴칭 전 시편의 에칭 시간은 2~3초로 하였고 퀴칭 후의 시편은 퀴칭 전의 시편과 같은 에칭 시간을 유지할 시 조직이 타버리는 현상이 발생되어 0.5~1초로 하였다. 그 결과 Fig. 11~14에서 퀴칭 전 후 시편의 조직 사진을 나타 내었다. 먼저 Fig. 11에서 보여지듯 퀴칭 전의 시편 모두 Weld line은 마르텐사이트 조직이 확인 되었고 모재(Base metal)부는 페라이트 기지에

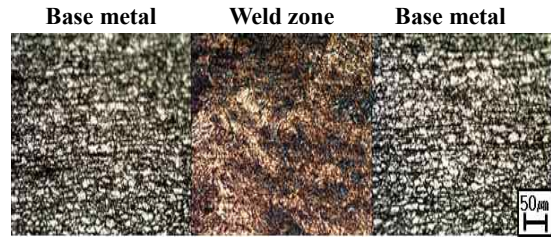
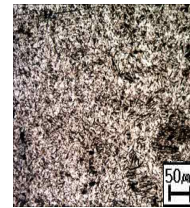
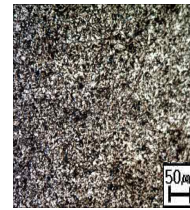


Fig.11 Microstructure of before diequenching of exp. no. 1~5

### Weld zone



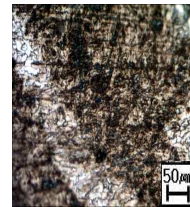
(a) After diequenching of exp. no. 1



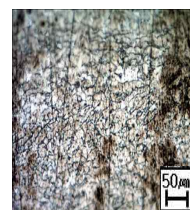
(b) After diequenching of exp. no. 2

Fig.12 Microstructure of after diequenching of exp. no. 1, 2

### Weld zone

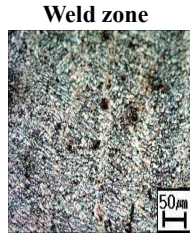


(a) After diequenching of exp. no. 3



(b) After diequenching of exp. no. 4

Fig.13 Microstructure of after diequenching of exp. no. 3, 4



**Fig.14 Microstructure of after diequenching of exp. no. 5**

펄라이트 층상이 발견되었다. 그리고 경도가 국부적으로 떨어지는 부분인 HAZ부는 얇은 판재의 영향과 최적의 용접조건으로 특별한 조직의 변화를 발견하지 못하였고 마르텐사이트와 페라이트의 경계만 확인 되었다.

하지만 퀘칭 후의 조건에서 조직이 변하는 것을 확인 할 수 있었다. Al-Si 코팅층을 양면으로 제거한 exp. no. 1, 2(Fig. 12 (a),(b))는 Weld line과 모재부에서 모두 마르텐사이트 조직이 나타났다. 하지만 Al-Si코팅층과 함께 용접된 시편에서는 조직이 변화한 것을 확인 했다. 윗면의 코팅층만 제거한 exp. no. 3(Fig. 13 (a))에서는 두께방향으로 윗면은 마르텐사이트조직이 된 것을 확인 했지만 아랫면에서 마르텐사이트와 페라이트가 함께 공존하는 것을 변화하였다. 그리고 아랫면의 코팅층만 제거 후 용접한 조건인 exp. no. 4(Fig. 13 (b))에서는 두께방향으로 아랫면의 조직은 마르텐사이트가 발견되지만 윗면의 조직은 페라이트에 FeAl<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>Al<sub>5</sub>의 금속간 화합물이 결정립계에 남아 있는 것으로 확인 되었다. 또한 코팅층을 제거하지 않고 바로 용접한 시편인 exp. no. 5(Fig. 14)에서는 Weld line 전체가 페라이트 기지에 FeAl<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>Al<sub>5</sub>가 결정립계에 남아 있는 것을 확인 하였다. 용접시에 Al-Si층이 유입된 조건에서 경도 값이 떨어지는 것은 조직의 변화와도 관계가 있다는 것을 확인 하였다.

#### 4. 결론

자동차 업계에서 Hot stamping 공법을 위해 사용되는 보론강은 용접시에 Al-Si 코팅층의 영향으로 용접부의 기계적 강도와 경도값이 떨어지게 된다. 그래서 본 연구에서는 5 가지 조건으로 코팅층 Laser ablation 을 한 용접된 시편을 다이퀘칭 전과 후로 나누어 인장강도, 비커스 경도, 미세조직을

통해서 기계적 특성을 비교 및 평가하였다.

(1) 5가지의 조건으로 Laser ablation한 시편 모두 조금의 차이는 있으나 다이퀘칭 전 인장시편은 보론강(22MnB5)의 인장강도 500~600MPa에 수렴하는 585~604MPa의 값이 나왔다. 하지만 보론강 모재의 연신율 18~25%에 만족하는 조건은 양면 Ablation을 한 조건과 윗면만 Ablation한 조건이었다.

(2) 다이퀘칭 후의 인장실험에서 Hot stamping 공법을 적용한 보론강의 인장강도에 수렴되는 1450 Mpa이상의 값을 보이는 조건은 1451MPa값이 나온 양면 Ablation을 한 조건이 었다. 나머지 조건의 시편은 모두 Hot stamping 차체로는 사용할 수 없는 값이 나왔다. 특히나 Laser ablation을 하지 않고 용접한 조건의 시편은 1140MPa로 Laser ablation의 필요성을 확인 할 수 있었다. 하지만 연신율에서는 모든 조건이 보론강 모재의 평균 연신율인 5~7%값이 나오지 못하였다. 그중 양면 Ablation한 조건이 가장 높은 3%가 나왔다.

(3) 비커스 경도 값을 비교해 보면 다이퀘칭 전은 모두 비슷한 결과가 나왔지만 다이퀘칭 후의 조건에서는 양면 ablation한 조건과 ablation 하지 않은 조건에서 확연한 차이가 보였다. Weld line 부의 비커스 경도 값에서 양면으로 ablation한 조건은 퀘칭한 보론강의 비커스 경도 값인 450~550을 수렴하였다. 하지만 ablation없이 바로 용접한 시편의 Weld line의 비커스 경도 값은 250~350Hv로 감소하는 것을 알 수 있었다.

(4) 조직사진에서도 경도 값으로 유추할 수 있듯이 양면 ablation한 조건은 Weld line에서 마르텐사이트를 보였지만 코팅층을 제거하지 않은 조건에서는 페라이트에 결정립계에는 FeAl<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>Al<sub>5</sub>조직으로 변하여 기계적 특성이 저하되는 것을 확인 하였다.

(5) 양면 Laser ablation을 한 조건이 가장 최적의 조건임을 확인 하였으며 보론강 용접시 ablation이 반드시 필요한 공정임을 확인 할 수 있었다. 그리고 용접된 시편의 Weld line의 길이가 1.5mm 이고 ablation의 길이가 6mm(편측 3mm)임을 감안하면 두께 감소율을 무시 할 수 없다. 그렇기에 Weld line을 수렴하는 조건으로 ablation 길이를 4mm(편측 2mm)로 줄여서 두께 감소율 폭을 줄인다면 인장강도 및 연신율을 더 높일 수 있기에 추가적인 연구가 필요하다.

(6) 용접전 판재를 커팅하기 위한 전단가공 과정에서 발생된 버의 영향으로 맞대기 용접후에

단차가 발생되어 인장실험시에 오차가 발생할 수 있다. 그래서 버의 영향을 최소화 하기 위해 레이저 커팅이 필요하다.

### 후 기

본 과제(연구)는 지식경제부와 한국산업진흥원의 전략기술인력양성사업과 한국연구재단과 지식경제부의 재원으로 한국에너지 기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구과제(NO.20104010100540)입니다.

### 참 고 문 헌

- [1] R. M. Lyengar, B. Fedewa, 2008, Implication of Hot-stamped Boron Steel Components in Automotive Structure, SAE Paper, No. 2008-01-0857.
- [2] Z. W. Xinga, J. Bao, Y. Y. Yang, 2009, Numerical Simulation of Hot Stamping of Quenchable Boron Steel, Mater. Sci. Eng. A, Vol. 499, pp. 28~31.
- [3] S. H. Yoon, J. H. Lee, K. M. Lee, 2001, A study on the Fatigue Properties of Boron Steel(AISI 51B20), Proc. Kor. Soc. Precis. Eng., Vol. 18, No. 11, pp. 174~178.
- [4] H. S. Choi, B. M. Kim, K. H. Park, W.S.Lim, S.B. Lee, 2010, Optimization of Resistance Spot Weld Condition for Single Lap Joint of Hot Stamped 22MnB5 by Taking Heating Temperature and Heating Time into Consideration, Trans. Kor. Soc. Mech. Eng., Vol. 34, No. 10, pp. 1367~1375.
- [5] H. I. Jae, C. S. Son, K. W. Nam, 2011, A Study on Spot-Welding Characteristics and Material Analysis of Boron Steel for Hot-Stamping under Different Heat-Treatment Conditions, Kor. Soc. Mech. Eng., Vol. 35, No. 4, pp. 383~391.
- [6] R. Sharma, P. Molian, F. Peters, 2010, Geometric Variability and Surface Finish of Weld Zones in Yb:YAG Laser Welded Advanced High Strength Steels, J. Manuf. Processes, Vol. 12, No. 2, pp. 73~84.
- [7] R. Padmanabhan, A. J. Baptista, M. C. Oliveria, L. F. Menezes, 2007, Effect of Anisotropy on Deep-drawing of Mild Steel and Dual-phase Steel Tailor-welded Blanks, J. Mater. Process. Technol., Vol. 184, No. 1-3, pp. 288~293.
- [8] D. Nand, D. L. Chen, S. D. Bhole, P. Andreychuk, G. Boudreau, 2006, Fatigue Behavior of Tailor (Laser)-Welded Blanks for Automotive Applications, Mater. Sci. Eng. A, Vol. 420, pp. 199~207.
- [9] H. S. Choi, B. M. Kim, G. H. Park, W. S. Lim, 2010, Optimization of Resistance Spot Weld Condition for Single Joint Hot Stamped 22MnB5 by Taking Heating Temperature and Heating Time Into Consideration, Kor. Soc. Mech. Eng. A, Vol. 34, No.10, pp. 1367~1375.
- [10] J. K. Choi, J. G. Kim, S. M. Shin, C. H. Kim, S. H. Rhee, 2010, A study on Laser Welding characteristics of 1500MPa Grade Ultra High Strength Steel for Automotive Application, J. Kor. Soc. Las. Pro., Vol. 13, No. 3, pp. 19~26.
- [11] Y. G. An, C. Y. Kang, Y. S. Kim, C. H. Kim, T. K. Han, 2011, Microstructure and Hardness of DISK laser Welded in Al-Si Coated Boron Steel and Zn Coated DP Steel, J. Kor. Weld. Join. Soc., Vol. 29, No. 1, pp. 90~98.
- [12] J. H. Kim, W. O. Lee, K. H. Chung, D. Y. Kim, C. M. Kim, K. Okamoto, R. H. Wagoner, K. S. Chung, 2011, Springback Evaluation of Friction Stir Welded TWB Automotive Sheets, Met. Mater. Int., Vol. 17, No. 1, pp. 89~98.
- [13] ASTM E 8M-01, Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Material.