

## 자동차용 고강도강의 레이저 용접 특성

최진강 · 강민정 · 조정호 · 김철희

### Laser Welding Characteristics of Ultra High Strength Steel for Automotive Application

Jinkang Choi, Minjung Kang, Jungho Cho and Cheolhee Kim

#### 1. 서 론

자동차산업에서는 환경문제와 국제유가 상승으로 인한 차량경량화에 대한 요구가 부각되면서 알루미늄합금, 특수 강화 플라스틱과 같은 경량소재의 사용이 증가하고 있지만 아직 철강소재를 대체하기까지 가격, 강도 등 해결해야 할 문제점을 많이 가지고 있다. 또한, 운전자를 보호하기 위한 충돌 안정성 강화 등이 강력하게 요구되고 있어 강도와 성형성이 좋은 UHSS (Ultra High Strength Steel)를 사용하여 차량을 경량화하면서도 충분한 강도를 확보하려 하고 있다. UHSS는 일반적으로 600MPa를 상회하는 인장강도를 가지는 강재이며, DP, TRIP, CP, Martensitic, Boron 강 등이 개발되어 있다. 위와 같은 UHSS는 알루미늄합금이나 복합재료와 비교해 지난 십년간 가장 빠른 추세로 성장하였고 향후에도 사용이 꾸준히 증가할 것으로 예상된다<sup>1-5)</sup>. UHSS는 일반 연강에 비해 합금첨가량이 증가하여 용접특성이 상이하므로 자동차용 UHSS 개발과 함께 용접특성 파악 및 용접성 향상을 위한 연구가 꾸준히 수행되고 있다.

#### 2. 본 론

##### 2.1 자동차 산업에서의 레이저 용접

자동차 차체 접합방법으로 저항 점용접이 주로 사용되었지만 새로운 강재가 개발되고 접합기술도 발전됨에 따라 다양한 접합기술이 연구되고 있다. 레이저를 이용한 접합의 경우 TWB(Tailor Welded Blanks)와 같은 이중두께와 이중합금의 접합분야에서 많이 적용되고 있다<sup>3-6)</sup>. 레이저 용접은 비접촉식 용접방법으로 작업공간의 유연성을 확보할 수 있고 공정자동화가 용이하다. 또한 빠른 용접속도에 의해 현장에서의 높은 생산성을 가지며 저입열에 의해 용접 후 변형이 다른 접합공정에

비해 적고 용접품질 안정성이 좋다. 다양한 연구를 통해 구조 강성이나 변형, 기계적 물성치가 저항 점용접에 비해 향상됨이 소개된 바 있다<sup>3-4)</sup>. 이에 따라 차체 접합에 있어 레이저 용접의 적용비중이 확대될 것으로 판단된다.

##### 2.2 자동차용 강재의 강도별 레이저 용접 특성

자동차용 강재는 사용 목적에 따라 다양한 강도가 적용되고 있고 각 강재가 가지는 화학조성과 레이저 용접이 가지는 빠른 용접속도에 의해 생성되는 미세조직이 달라 상이한 레이저 용접 특성을 보이고 있다. 일반적으로 탄소당량이 증가할수록 용접금속에서 경화가 발생하고 열영향부에서는 연화가 발생한다.

###### 2.2.1 600~800MPa급 자동차용 강재

일반적으로 다른 종류의 UHSS에 비해 성형성이 우수한 DP 600강재를 레이저 용접 시 모재경도는 압연공정의 영향으로 불균일한 특성을 보이며 용접금속부는 열입력에 따라 폭이 변하나 경도값은 거의 유사한 특성을 보인다. 또한, 열영향부에서는 마르텐사이트가 분해되어 시멘타이트가 입계 페라이트에 생성된다<sup>1)</sup>.

TRIP700강재의 경우에는 다른 UHSS에 비해 높은 탄소당량을 보이며 레이저의 용접 시 용접금속부에서 완전한 마르텐사이트를 생성한다<sup>3)</sup>.

800MPa급 강재에 레이저 용접을 적용한 결과에 따르면 용접속도를 증가시킬 경우 용접금속부와 열영향부의 폭이 줄어들고 용접금속부의 경도값이 증가하며, 용접금속의 미세조직은 베이나이트와 템퍼드 마르텐사이트로 구성되지만 그 분포는 용접속도와 입열에 따라 결정된다<sup>2)</sup>.

Fig. 1은 6kW 출력의 CO<sub>2</sub>레이저를 적용하여 형성된 비드의 단면형상이며, 그 때 경도분포는 Fig. 2와 같다. 용접금속부는 모재에 대비하여 경화되는 형상을

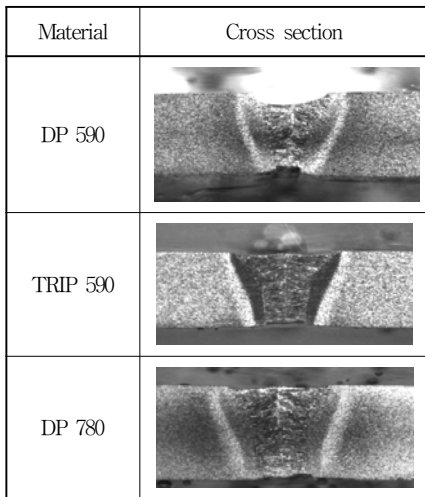


Fig. 1 Cross section of butt welds of 600~800MPa level steels

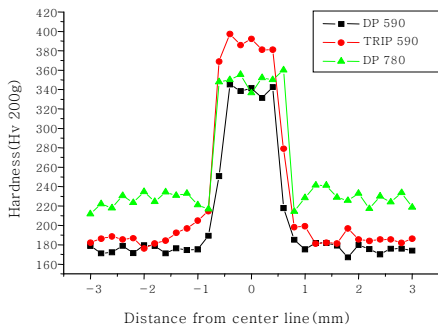


Fig. 2 Hardness distribution of butt welds of 600~800MPa level steel

Table 1 Tensile strength of the welded butt joint and base metal of TRIP 590, DP590, DP780

| Material | Tensile strength (MPa) |            | Failure location |
|----------|------------------------|------------|------------------|
|          | Welded joint           | Base metal |                  |
| TRIP 590 | 640                    | 631        | Base metal       |
| DP 590   | 672                    | 670        | Base metal       |
| DP 780   | 822                    | 842        | Base metal       |

확인할 수 있으며, 열영향부의 연화는 심하지 않음을 알 수 있다. Table 1과 같이 맞대기 용접부의 인장시험 결과 모두 모재 파단이 발생하였다.

이러한 용접금속부의 경화현상을 줄이기 위해 유도가열을 함께 적용하려는 시도가 있었으나 경도의 감소에는 큰 효과를 얻지 못했다<sup>7-9)</sup>. 하지만 레이저-아크 하이브리드 공정을 적용한 경우 단순 아크나 레이저 용접

에 비해 열입력의 제어 및 용접금속부의 경도 감소가 용이하였다. 또한 레이저와 아크의 상대적 위치가 열영향부의 미세금속에 영향을 주어 아크가 선행할 경우 더 많은 베이나이트가 열영향부에 생성되었다<sup>9-11)</sup>.

2.2.2 1000~1500MPa급 자동차용 강재

DP 980의 경우 견고한 마르텐사이트와 페라이트 기구구조로 이루어져 있으며 레이저 용접 후 열영향부에서 상대적으로 경도가 떨어짐을 확인할 수 있다. 높은 탄소당량에 따라 입열의 변화에도 열영향부의 경도값은 거의 유사하다. 또한 마르텐사이트 함량이 증가할수록 열영향부의 연화현상이 선형적으로 증가하는 경향이 발견되었다<sup>12-15)</sup>.

1000MPa 이상의 강도를 가지는 강재는 레이저 용접 시 열영향부 연화 현상이 발생하므로 유도가열을 통한 후열처리 및 레이저-아크 하이브리드 용접적용은 적합하지 않다. 하지만 레이저-MIG 하이브리드 용접의 경우 용접 와이어 성분에 따른 경도 감소 효과와 갭 대응력 향상은 기대할 수 있다<sup>9)</sup>.

1500MPa급 강재에 다양한 레이저 빔 직경 및 용접 속도를 적용 결과 빠른 용접속도와 작은 직경의 레이저 빔을 적용하였을 때 열영향부의 폭이 줄고 연화가 감소하였으나, 겹치기용접 적용 시 용접부의 폭도 함께 감소하여 계면에서의 하중 전달에 불리하여 전단 인장 하중이 줄어드는 현상이 관찰되었다. 저탄소강과 이중 용접 시에는 고강도강의 동종 용접 시 보다 성형성이 향상되는 결과를 확인하였다<sup>3)</sup>.

Usibor강과 같이 Al-Si 코팅층이 존재하는 강 의 경우 열간성형공정에서 내부식성을 확보하는데 유리하지만 레이저 용접 시 용접부에 금속간 화합물을 생성시켜 물성이 급격히 나빠지므로 용접 전 Al-Si 함금층을 제거하기 위해 레이저 어블레이션을 시도한 사례도 있다. Usibor강과 같은 고강도강은 500MPa급 강과 이중 용접되어 차량충돌 시 낮은 강도를 갖는 강재에서 충격을 흡수하고 Usibor강은 차량 구조를 유지하여 운전자를 보호하는 역할을 하므로 이중 금속간 레이저 용접이 요구된다<sup>6)</sup>.

Fig. 3은 6kW 출력의 CO<sub>2</sub>레이저를 적용하여 형성된 비드의 단면형상이며, 그 때 경도분포는 Fig. 4와 같다. 앞에서 언급한 것과 같이 1180MPa강재의 경우 용접금속부의 경화와 열영향부의 연화를 확인할 수 있으며, 1500MPa강재의 경우 열영향부의 연화만을 확인할 수 있다. 맞대기 용접부의 인장시험 결과 Table 2에서 보는 것과 같이 열영향부 파단이 발생함을 알 수 있다.

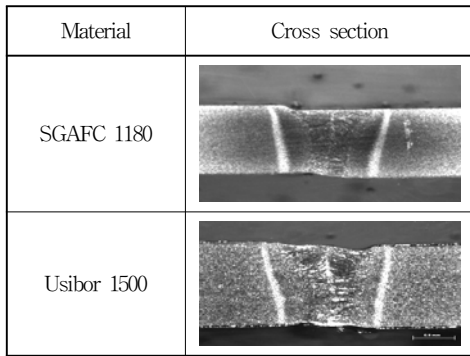


Fig. 3 Cross section of butt welds of SGAFc 1180 and Usibor 1500

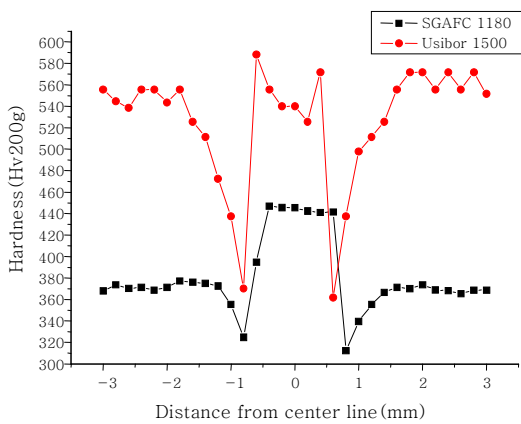


Fig. 4 Hardness distribution of butt welds of SGAFc 1180 and Usibor 1500

Table 2 Comparison of the tensile strength of the welded butt joint and base metal for SGAFc 1180 and Usibor1500

| Material    | Tensile strength(MPa) |            |           | Failure location |
|-------------|-----------------------|------------|-----------|------------------|
|             | Welded joint          | Base metal | Ratio (%) |                  |
| SGAFc 1180  | 1190                  | 1230       | 96        | HAZ              |
| Usibor 1500 | 1290                  | 1522       | 85        | HAZ              |

### 3. 결 론

UHSS의 용접에서는 용접부와 열영향부의 연화, 경화 현상을 잘 이해하고 그들 강재의 장점을 최대한 활용하기 위해 적절한 용접공정 및 공정변수 선정이 필요하다.

따라서 자동차용 UHSS의 레이저 용접 시 나타나는 특성 및 금속학적 경화, 연화 현상에 대한 연구도 활발히 진행되고 있다.

차량 경량화 요구 및 충돌 안정성 강화에 부합하는 UHSS의 사용이 점점 증가하고 있어 관련 강재 개발도 활발히 진행될 것으로 보인다. 향후 UHSS에 새로운 용접공정을 적용하거나 신개발 강재의 레이저 용접성 평가에 관한 연구도 지속적으로 이루어질 것으로 예상된다.

### 참 고 문 헌

1. R. R. G. M. Pieters, M. Y. Krasnoperov, I. M. Richardson: Laser Welding of High Strength Steels, Proceeding of 22nd International Congress on Applications of Lasers & Electro-Optics, Laser Material Processing Conference, (2003), 294-303
2. Z. Liu, M. Kutsuna, G. Xu: Fiber Laser Welding of 780MPa High Strength Steel, Proceeding of 25th International Congress on Applications of Lasers & Electro-Optics, Laser Material Processing Conference, (2006), 562-568
3. S. G. Shi, S. Westgate: Fiber-Delivered Laser Welding of Ultra-High Strength Steels for Automotive Applications, TWI Report, (2007), No. 865/2007
4. C. M. Allen: Twin Spot Laser Welding for Dissimilar Thickness Steel Tailored Blanks, TWI Report, (2004), No. 793/2004
5. C.Y. Kang, T.K. Han, B.K. Lee, G.G. Chin: Hardness of Laser Welded AHSS with a Strength over 600MPa for Automotive, Proceeding of the 4th International Congress on Laser Advanced Materials Processing, (2006), Paper No. 06-276
6. W. Ehling, L. Cretteur, A. Pic, R. Vierstraete, Q. Yin: Development of a Laser Decoating Process for Fully Functional Al-Si Coated Press Hardened Steel Laser Welded Blank Solutions, Proceeding of 5th International WLT-Conference on Laser in Manufacturing, (2009), 409-413
7. A. Jahn, B. Brenner, E. Beyer: Induction Assisted Laser Welding of Advanced High Strength Steels to Increase the Formability of Welded Automotive Body Structures, Proceeding of 25th International Congress on Applications of Lasers & Electro-Optics, Laser Material Processing Conference, (2006), 303-311
8. O. Meier, H. Haferkamp, A. Ostendorf, A. Bormann: Induction Assisted Laser Beam Welding of High Strength Steel Sheets, Proceeding of 24th International Congress on Applications of Lasers & Electro-Optics, Laser Material Processing Conference, (2005), 1008-1015
9. F.Briand, O.Dubet, P.Lefebvre, G.ballerini, K.Niki: Laser and Hybrid Welding of Ultra High Strength Steels, Proceedings of the 4th International Congress on Laser Advanced Materials Processing, (2006), Paper No. 06-182
10. Z. Liu, M. Kutsuna: Metallurgical Study on Laser-MAG Hybrid Welding of HSLA-590 Steel, Proceeding

- of 24th International Congress on Applications of Lasers & Electro-Optics, Laser Material Processing Conference, (2005), 127-133
11. J. Verwimp, J. Gedopt, E. Geerinckx, W. Van Haver, A. Dhooge, d. Criel: Hybrid Laser Welding of Dual Phase Steel DP600: Microstructure and Mechanical Properties, Proceeding of 26th International Congress on Applications of Lasers & Electro-Optics, Laser Material Processing Conference, (2007), 325-334
  12. Y. Mitookta, K. Murakami, M. Hino, H. Iogawa, H. Ono, H. Goto, S. Katayama: YAG Laser-TIG Hybrid Welding of 800MPa-Class High Tensile Strength Steel, Proceeding of the 4th International Congress on Laser Advanced Materials Processing, (2006), Paper No. 06-185
  13. K. Harley, H. Haferkamp, A. Ostendorf: Inductively Supported Laser Beam Welding of High and Ultra Strength Steel Grade, Proceeding of 27th International Congress on Applications of Lasers & Electro-Optics, Laser Material Processing Conference, (2008), 589-594
  14. M.S. Xia, M.L. Kunts, Z.L. Tian, Y. Zhou: Failure Study on Laser Welds of Dual Phase Steel in Formability Testing, Science and Technology of Welding and Joining, 13-4 (2008), 378-386
  15. M. Xia, E. Biro, Z. tian, Y.N. Zhou: Effects of Heat Input and Martensite on HAZ Softening in Laser Welding of Dual Phase Steel, ISIJ International, 48-6(2008), 809-814



- 최진강
- 1981년생
- 한국생산기술연구원 용접·접합연구부
- 레이저 용접
- e-mail : jkchoi@kitech.re.kr



- 강민정(姜旻政)
- 1982년생
- 한국생산기술연구원 용접·접합연구부
- 금속재료
- e-mail : kmj1415@kitech.re.kr



- 조정호
- 1978년생
- 오하이오주립대 IWSE
- 레이저용접, 용융플 해석
- e-mail : junghocho.phd@gmail.com



- 김철희
- 1973년생
- 한국생산기술연구원 용접·접합연구부
- 용접공정해석 및 자동화
- e-mail : chkim@kitech.re.kr