

TWB 핫스탬핑 공법 적용을 통한 일체형 사이드아웃터 부품 개발

김 소 연^{*,†} · 공 호 영^{*}

^{*}현대자동차 자동차강관개발TFT

Development of Reinforcement Side Outer Using TWB Hot Stamping Process

Soyoun Kim^{*,†} and Hoyoung Kong^{**}

^{*}Hyundai Motor company, Sheet Metal Development TFT, Gyeonggi-do 445-706, Korea

[†]Corresponding author : bluelf0102@naver.com

(Received October 4, 2015 ; Revised October 13, 2015 ; Accepted October 29, 2015)

Abstract

In the automotive industry, TWB hot stamping process is broadly adapted to reduce weight of the car and improve fuel efficiency. However, the process faces a problem of weakened strength of the welded zone after hot stamping process, due to the fact that Al-Si elements of the coating layer penetrating the welded zone. In this study, filler wires with high percentages of carbon and manganese is adapted during laser welding process to secure the strength of the fusion zone. In addition, wire feeding speed and laser welding speed are optimized by sample test.

Key Words : Tailor welded blanks(TWB), Laser welding, Filler wire, Hot stamping, Side structure, Crash test

1. 서 론

최근 각국 정부의 환경 규제 강화로 CO₂감축 및 연비 향상을 위한 자동차 경량화에 대한 연구가 많이 진행되고 있다. 더불어 범용 및 상품성 강화에 따라 안정성 문제가 급부상 하고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 초고장력강 사용이 증대되고 있다.

그러나 초고장력 강관의 냉간 성형성 저하로 인해 적용에 한계가 있어 이를 극복하기 위해 고강도와 고성형성을 동시에 구현이 가능한 핫스탬핑 공법이 개발되었다^{1,2)}. 핫스탬핑 공법은 보론(B)을 소량 첨가한 강관(이하 보론강)을 오스테나이트 변태온도(AC₃) 이상인 900°C 이상의 고온으로 가열하고, 가열된 강관을 금형으로 성형 및 급속 냉각시켜 1400MPa급의 고강도를 확보할 수 있는 공법이다. 또한, 경량화 및 충돌성능 향상을 목적으로 부품 요구특성에 따라 차등두께 및 차등강도 소재를 레이저 용접한 TWB (Tailor Welded Blanks) 소재를 적용하여 핫스탬핑 공법으로 성형하는 하이브리드 기술이 개발되었다.

본 연구에서는 핫스탬핑용 Al-Si도금 강관의 레이저 용접 시 도금층이 용접부 내부로 혼입되어도 용접부 강도를 저하시키지 않도록 고탄소 고망간계의 필러와이어를 적용하여 용접 공정 최적화에 대한 연구를 진행하였다³⁾. 또한 최적화된 용접 공정을 활용한 필러와이어 TWB 핫스탬핑 공법을 자동차 부품에 적용했을 경우의 용접부 강건성에 대해서도 연구하였다.

2. 본 론

2.1 이론적 배경

TWB 핫스탬핑 공법은 성형 이전에 레이저 용접을 하게 되므로, 열처리 후 용접부 물성의 신뢰성 확보가 중요하다. 특히, 열처리 중 산화 및 탈탄 방지를 목적으로 미리 도금된 보론강 표면의 Al-Si도금층이 용접 공정 중 용접부 내부로 혼입되어 용접부 강도를 저하시킨다는 연구결과가 있다⁴⁾. 아르셀로미탈 社에서는 레이저 용접 이전에 Al-Si도금층을 제거한 후 레이저 용접을 실시하여, 용접부의 Al-Si도금층 혼입을 사전에 방

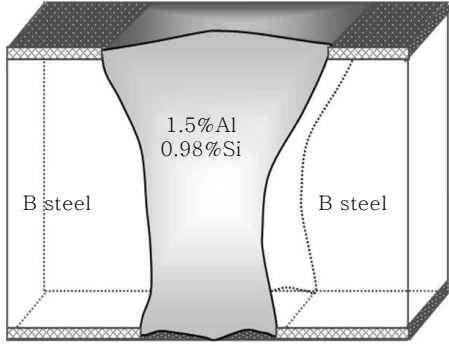


Fig. 1 Welded zone of Al-Si coated boron steel

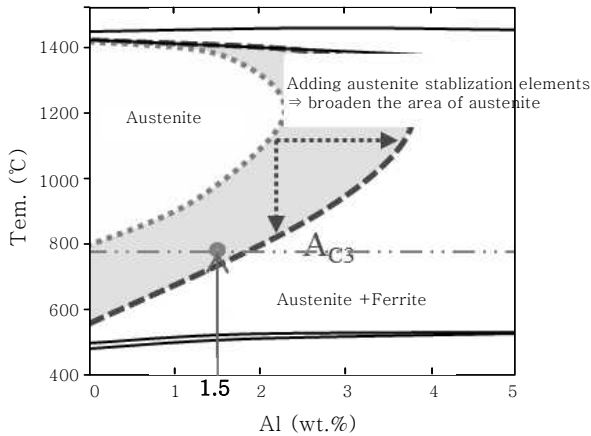


Fig. 2 CCT (Continuous Cooling Transformation)

지하는 공법을 적용하고 있다.

핫스탬핑 소재의 Al-Si 도금층을 제거하지 않고 레이저 용접 시, Fig. 1과 같이 1.5wt.% Al-0.98wt.% Si 성분이 용접부에 혼입된다. Al성분이 1.5wt.% 포함 될 경우, 800°C에서 오스테나이트 조직 외에 페라이트 및 베이나이트 조직이 생성되어 급냉 시에 전체적으로 균일한 마르텐사이트를 확보할 수 없다. 그러나 용접 시 오스테나이트 안정화 원소인 C 및 Mn 성분의 필러와이어를 적용하면 Fig. 2와 같이 CCT곡선상 오스테나이트 안정 영역이 확장되고, 급냉 시 마르텐사이트 변태에 따른 1400MPa 이상의 강도 확보가 가능해진다.

2.2 실험 방법

TWB 시편제작을 위해 핫스탬핑 성형용으로 보편적으로 상용되고 있는 Al-Si도금이 적용된 USIBOR 강판을 사용하였다. 22MnB5 강종을 베이스로 한 핫스탬핑용 보론강인 USIBOR는 소입성이 우수하며, Al-Si도금은 고온 열처리 시 강판의 표면산화와 탈탄현상을 방지한다.

Table 1 Chemical composition of filler wire (wt%)

C	Si	Mn	P	S
0.59	0.15	0.30	0.040	0.040
~0.66	~0.35	~0.60	Max.	Max.

TWB 용접을 위해 직경 600 μ m, 최대출력 4kW Nd:YAG 사양의 레이저 발진기를 사용하였으며, 15L/min의 Ar보호가스 분위기에서 용접하였다.

레이저 용접 시 적용한 고탄소 고망간계 필러와이어 성분계는 Table 1과 같다.

핫스탬핑 강판 가열은 1,200°C까지 온도조절이 가능한 전기로를 사용하였으며, 열처리 조건은 자동차에서 사용하는 핫스탬핑 부품 양산조건과 동일하게 950°C에서 300초 동안 가열하였다.

성형공정을 위해 1,000톤 프레스에서 가압하여 금형 냉각시켰으며, 냉각시간 역시 양산 조건과 동일한 14초로 유지하였다.

2.3 필러와이어 적용 TWB 용접공정 최적화

용접부 강도에 영향을 미치는 주요 인자인 소재 이동 시간, 필러와이어 송급속도^{5,6)}, 레이저 출력 및 용접속도⁷⁾를 실험을 통해 최적화하였다.

2.3.1 핫스탬핑 시작온도에 따른 영향

핫스탬핑 공정에서 소재가 가열로에서 나와 프레스 시작 직전까지의 소요시간을 소재 이송시간이라고 한다. 소재 이송시간이 길어지면 핫스탬핑 성형 시작온도가 낮아져, 마르텐사이트 조직 외 페라이트와 베이나이트 조직 분율이 증가한다.

소재 이송시간에 따른 미세조직 변화를 9초, 11초, 13초로 각각 변경하여 분석하였다. 뉴턴의 냉각식을 통해 계산한 이송시간별 소재의 냉각속도에 따른 CCT곡선⁸⁾을 Fig. 3에 도시하였다. 이송시간이 9초일 경우, 가열영역인 800°C에서 오스테나이트 조직이 급랭되어 전체적으로 균일한 마르텐사이트 확보가 가능한 반면, 이송시간이 11~13초로 증가함에 따라 소재가 공냉되어 핫스탬핑 시작온도가 800°C 이하로 낮아지면서 급랭 후에 마르텐사이트 외, 페라이트 및 베이나이트가 혼재하게 됨을 알 수 있었다.

Fig. 4는 실제 시편 제작을 통해 소재 이송시간에 따른 조직 및 경도를 측정된 결과이다. 소재 이송시간이 9초일 경우, 마르텐사이트 확보가 가능하였고, 경도값도 500Hv 이상으로 균일한 값을 보였다. 그러나 소재 이송시간이 11초 이상으로 증가함에 따라 페라이트와

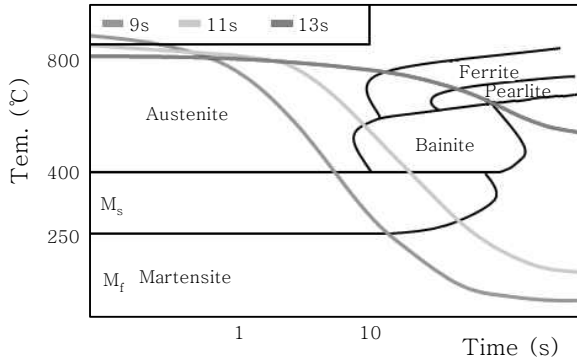


Fig. 3 CCT (Continuous Cooling Transformation)

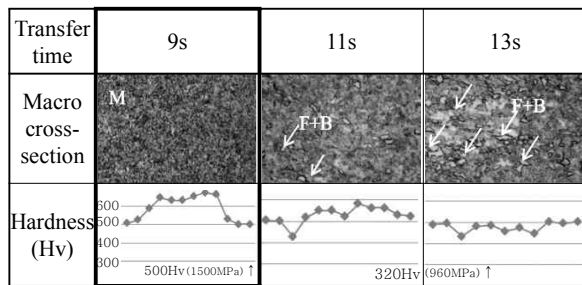


Fig. 4 Microstructure and hardness

베이 나이트가 혼재하게 되었고, 그에 따라 경도값이 500Hv 이하로 낮아졌다.

2.3.2 필러와이어 송급속도 영향

용접부 내 Al-Si 도금층 혼입에 의한 강도저하는 고탄소 고망간 필러와이어를 통해 보상가능하며, 와이어 송급속도는 성분 투입량을 결정하는 중요한 영향인자이다. Fig. 5에서는 필러와이어 송급속도에 따른 시편을 제작한 후, 인장시험을 실시한 용접부 단면사진을 나타내었다. 인장시험편은 KS B 0801(JIS Z 2201)의 13B호로 제작하였고, 인장시험편 중간에 TWB 용접부를 위치시켰다.

필러와이어 송급속도를 1.8m/min으로 낮게 설정하면 필러와이어 성분의 용접부 내 도금층 혼입으로 인한 강도저하 보상 효과가 미미하여 충분한 용접부의 강건성 확보가 어렵다. 필러와이어 송급속도가 3.3m/min으로 과도하게 높을 경우, Fig. 5에서 보는 바와 같이 모재부가 미용용되어 용접부의 충분한 접합강도를 확보하기 어렵다. 따라서 필러와이어 성분의 안정적 공급을 위해서는 2.2~2.7m/min이 적절한 수준임을 확인하였다.

2.3.3 레이저 출력 및 용접속도

레이저 출력 및 용접속도는 용접부 내 필러와이어 성분의 균일한 분포에 영향을 주는 인자이다. 용접속도가

Wire feeding speed	1.8m/min	2.2m/min	2.7m/min	3.3m/min
Macro cross-section				
Failure location after tensile test	Failure in welded zone (NG)	Failure in base metal (OK)	Failure in base metal (OK)	Non-melted area (NG)

Fig. 5 Macro-structure of welded zone

Laser power (kW)	Laser welding speed (m/min)				
	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5
1.8	Δt : 0.6mm	Δt : 0.4mm			
2.2	150K 1.4t +150K 2.0t		Δt : 0.2mm		Δt : 0mm
2.6		150K 1.0t +150K 1.4t		150K 1.0t+150K 1.2t	150K 1.4t(1.2t) +80K 1.4t(1.2t)
3.0					

Fig. 6 Laser power and Laser welding speed

감소할수록 용접부로의 입열량이 증가하여 용융 금속 중 Al성분의 편석 발생이 억제된다. 또한 TWB 블랭크 간의 두께 차이에 따라 적정 레이저 출력 및 용접속도가 변경된다.

블랭크 간 두께차이(Δt)를 0~0.6mm까지 0.2mm 간격으로 변경하여 두께 차이별 최적 레이저 출력 및 용접속도를 도출하였고, 상세 데이터는 Fig. 6과 같다.

두께차이가 증가할수록 용접속도를 느리게 하여야 Al성분의 고른 분포를 유도하여 용접부 강건성을 확보할 수 있음을 확인하였다.

2.4 자동차 충돌부품 적용

본 연구에서 도출한 필러와이어 TWB 핫스탬핑의 최적화된 공정 조건을 활용하여, 자동차 측면 충돌 시 승객의 안전에 중요한 부재인 사이드아우터 보강재 부품을 제작 및 평가하였다.

2.4.1 최적 TWB 라인 설정

차체 충돌에 관한 상품성 규제항목은 미국 고속도로 안전보험협회(IIHS, Insurance Institute for Highway Safety)에서 실시하는 시험법과 유럽 EU에서 실시하는 euro NCAP 시험법이 대표적이다. 본 논문에서는 상대적으로 가혹도가 높은 북미IIHS 시험법에 근거하여 측면충돌과 스몰오버랩 충돌 평가해석을 수행하였다.

북미IIHS 측면충돌 시험법은 Fig. 7과 같이 중량 1,500kg의 이동대차(MDB : Moving Deformable Barrier)가 측면 90°방향에서 50kph의 속도로 충돌하는 시험법이다⁹⁾.

충돌해석은 LS-DYNA 프로그램으로 진행하였으며 해석결과 Fig. 8과 같이 센터필러 하단부에 응력 집중 부위가 발생하였다. 해석결과를 바탕으로 응력 집중부를 회피하여 Fig. 9와 같이 센터플로어 크로스멤버 중앙부 기준으로 실사이드부 TWB 용접라인을 설계하였다.

또한 북미IIHS 스몰오버랩 해석도 진행하였다. 스몰오버랩 평가는 Fig. 10과 같이 정면충돌 시 차량과 베리어와 오버랩 양이 25%로 대부분의 하중을 사이드

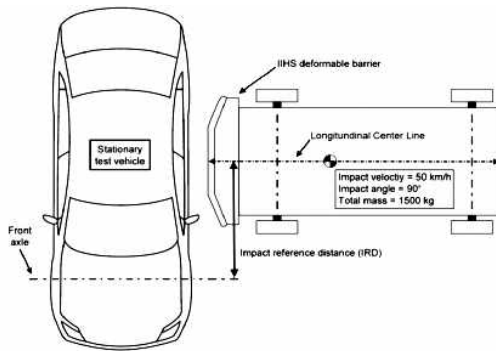


Fig. 7 Moving Deformable Barrier Alignment with Test Vehicle



Fig. 8 Simulation of side impact test

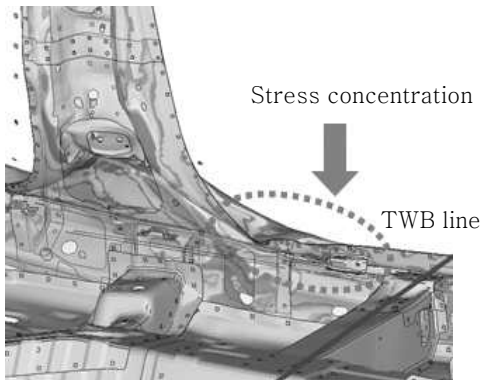


Fig. 9 Simulation of side impact test

스트럭처에서 지지해야 하는 가혹한 시험법이다.

스몰오버랩 해석결과, Fig. 11과 같이 프런트필러 상단부에 일부 격임이 발생하였다. 이를 극복하기 위해 격임 발생부를 회피하여 TWB 용접부를 설계하였으며, 기존 두께 대비 두꺼운 강판을 적용하여 격임 현상을 개선하였다. 최종 TWB 용접라인은 Fig. 12와 같다.

2.4.2 부품 제작

충돌해석을 통해 최적화된 TWB 용접라인 기준으로 성형해석을 통해 성형 시 TWB 이동량에 대한 분석을 실시하였다. 실사이드부(하단부)는 단면형상이 단순하여 Fig. 13(a)과 같이 금형 릴리프를 1.2t 방향으로 5mm 설정하였다. 성형해석을 실시한 결과 Fig. 13(b)와 같이 TWB 이동량이 최대 3mm 이동하는 결과를 얻었다.

그러나 루프부(상단부)의 형상은 실사이드부 형상 대

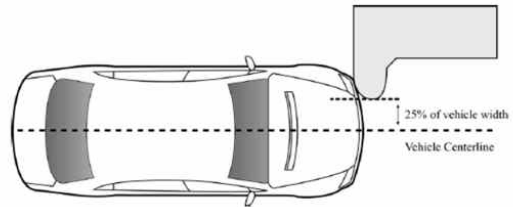


Fig. 10 Small overlap barrier with test vehicle

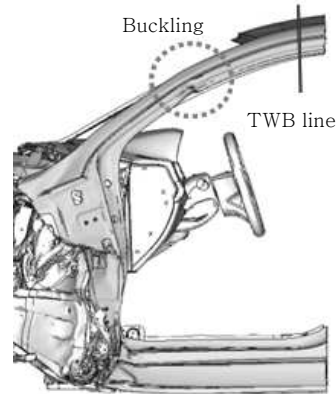


Fig. 11 Simulation of small overlap test

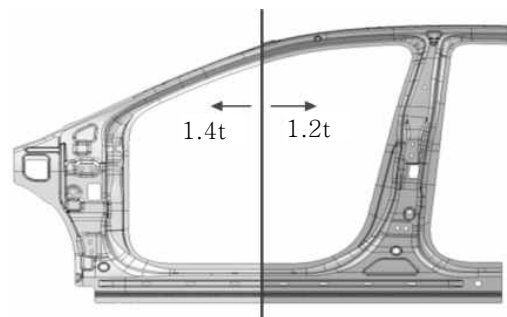


Fig. 12 Final TWB line of side structure

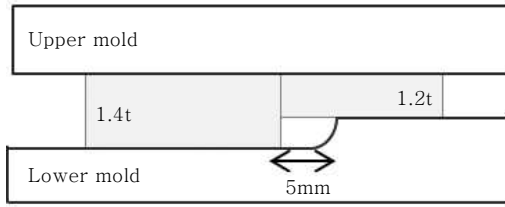


Fig. 13 (a) Design of mold relief

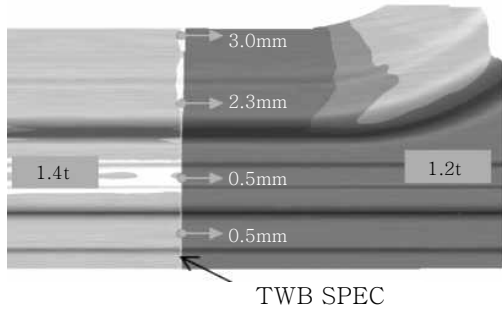


Fig. 13 (b) Movement of TWB line

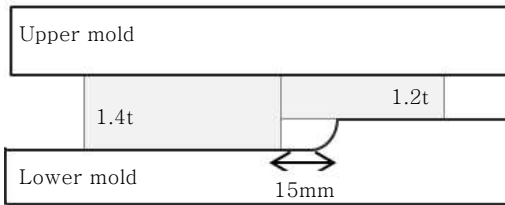


Fig. 14 (a) Design of mold relief

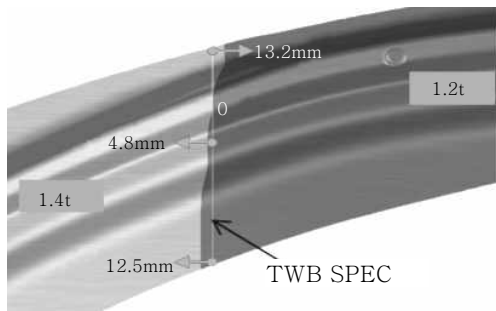


Fig. 14 (b) Movement of TWB line

비 복잡하여 부위별 TWB 용접라인 이동방향이 상이하 였으나, 성형 시 금형과 소재 사이에 끼임 발생이 없도 록 Fig. 14(a)과 같이 모델데이터 기준으로 1.2t방향 으로 15mm 릴리프를 동일하게 적용하였다.

그 결과 TWB 이동량은 Fig. 14(b)와 같이 최대 13.2mm 발생하였다. TWB 이동에 따른 소재와 금형 간의 GAP 생성으로 인하여 용접부 물성에 미치는 영 향도에 대해서는 실제 부품을 제작하여 평가하였다.

위 조건으로 양산공법을 적용한 테스트용 금형을 제 작하여, 1,000톤 프레스 장비로 성형 및 제작하였다.

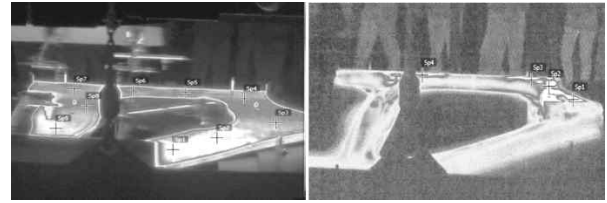


Fig. 15 Temperature of product before hot stamping and after hot stamping



Fig. 16 Final proto type of side structure



Fig. 17 Tensile test result

핫스탬핑 공정 조건은 950℃에서 300초 동안 가열하 였고, 금형 내 냉각시간은 양산조건인 14초로 유지하였 다. 성형 전의 온도는 850℃이고 성형 직후의 온도는 80~150℃로 약 50~55℃/S 의 냉각속도로 성형되었 다. 핫스탬핑 전후의 소재 온도분포는 Fig. 15과 같다.

Fig. 16과 같이 제작된 프로토타입 부품의 용접부에서 인장시험편을 채취하여 기계적 물성을 평가하였다. 인 장시험 결과는 Fig. 17과 같이 용접부에서의 파단없이 모재에서 파단이 되었고, 항복강도 1000MPa이상, 인 장강도 1400MPa이상의 강도 확보가 가능하였다. 또 한 Fig. 18과 같이 용접부 주변 경도값을 측정한 결과, 500Hv 이상의 균일한 값을 얻었다.

3. 결 론

본 연구에서는 차량 경량화를 위해 필러와이어 TWB 공법의 공정인자를 최적화하여, 그 결과를 자동차 부품 에 실제 적용하여 핫스탬핑 후 용접부의 강건성을 검증 하였다.

1) 高탄소 高망간 성분의 필러와이어를 적용할 경우

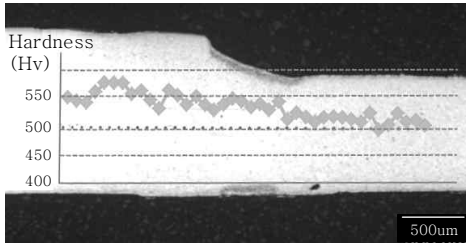


Fig. 18 Hardness of welded zone after hot stamping

TWB 용접부의 Al-Si도금성분 편석으로 인한 약화를 방지할 수 있으며, 이를 위한 용접영향인자를 선정하여 최적의 공정조건을 도출하였다.

2) 충돌해석을 통해 사이드스트러처 핫스탬핑 보강부품의 최적 TWB 용접라인을 설정하였고, 성형해석을 통해 성형시 TWB 이동량을 고려하여 금형 내 릴리프 구간을 설계하였다. 또한, 최적화된 공정조건을 바탕으로 실부품을 제작하여 용접부 강건성 및 강도 확보하였다.

References

1. Taylan Altan, Hot-stamping boron-alloyed steels for automotive parts, *Process method and uses, Stamping Journal*, Part 1, (2006)
2. H. Karbasian and A.E. Tekkaya, A review on hotstamping, *Journal of Mater. Proc. Technology*, 210 (2010)
3. W. Ehling, L. Cretteur, A. Pic, R. Vierstraete and Q. Yin, Development of a laser decoating process for fully functional Al-Si coated press hardened steel laser welded blank solutions, *Proceeding of the 5th Int. WLT- conf. on LIM*, (2009)
4. M.S.Kwon, Y.G.Kim, M.B.Moon, J.P.Kong and C.Y.Kang, Development of the New Technology for TWB and Hot Stamping Hybrid Process, *6th International Conference on Tube Hydroforming*, (2013)
5. F.Briand and O.Dubet, hybrid Arc/Laser-Welding Method for Aluminized Steel Parts Using Gammagenic Elements and a Gas Containing Less Than 10% of Nitrogen Or Oxygen, *Patent, US 2013-0098878*
6. Nippon Steel and Sumitomo Metal Corporation, Tailored Blank For Hot Stamping, Hot Stamped Member, and Methods For Manufacturing Same, *Patent, US 2015-0043962*
7. M.Hiroshk, G.Hiroki, M.Yasuo, Weldment Produced By Beam Welding, *Patent, US 5968672*
8. S.Erturk, M.Sester, M.Selig, P.Feuser and K.Roll, A Thermo-Mechanical-Metallurgical FE Approach for Simulation of Tailored Tempering, Hot Sheet Metal Forming of High-Performance Steel CHS2,2011
9. IIHS, Side Impact Crashworthiness Evaluation Crash Test Protocol, Version