

실 사이드의 열간 프레스 성형을 위한 트림리스 블랭크 설계

이인규*, 이성윤*, 이상곤*[#], 안민수**

*한국생산기술연구원 극한제조기술그룹, ** (주)신영

Trimless Blank Design for Hot Stamping Process of a Sill Side

In-Kyu Lee*, Sung-Yun Lee*, Sang-Kon Lee*[#], Min-Su Ahn**

*Ultimate Manufacturing Technology Group, KITECH, ** Shin Young Co., Ltd.

(Received 24 June 2016; received in revised form 28 June 2016; accepted 29 June 2016)

ABSTRACT

The trimming process is required for satisfying the dimensions of a final product in the hot stamping process. In general, the mechanical trimming or laser trimming process is applied after hot stamping. However, these processes have several disadvantages such as short tool life and low productivity. Therefore, in this study, the optimal trimless blank shape for the hot stamping process of a sill side was designed to remove the trimming process after hot stamping. In order to design the trimless blank, numerical analysis was performed. Firstly, CFD analysis was carried out to predict the cooling temperature and holding time of the hot stamping process. Then, the optimal trimless blank shape was determined through FE analysis. The effectiveness of the designed trimless blank shape was verified through a hot stamping experiment at an actual industrial site.

Key Words : Hot Stamping(열간프레스성형), Trimless Blank Design(트림리스 블랭크 설계), CFD Analysis(유동해석), FE Analysis(유한요소해석), Stamping Experiment(프레스성형 실험)

1. 서 론

보론 강판(Bron steel)을 적용하는 핫 스탬핑(Hot stamping) 공정은 자동차 차체경량화 및 충돌 안전성 향상을 위해 최근 활발히 적용되고 있는 공정이다^[1-5]. 보론 강판의 경우 열처리성이 매우 우수하여 오스테이트 영역까지 가열한 후 프레스 성형 시 금형 내부에서 냉각시켜 마르텐사이트 상변태를 통해 1.5 GPa 이상의 고강도 부품 제조에 적용된다^[6]. 따

라서, 핫 스탬핑은 범퍼(Bumper), 임팩트빔(Impact beam), 루프레일(Roof rail), 센터필러(Center pillar) 등의 충돌부재 및 고강성 요구 부품 제조를 위해 활발하게 적용되고 있다^[7].

핫 스탬핑 공정의 경우 요구품질을 가진 부품을 성형하기 위해서는 블랭크 이송, 성형조건, 냉각 속도, 성형 후 치수정도 확보를 위한 후공정 등 고려해야 할 변수들이 매우 다양하다. 최근에 이러한 공정변수 설정을 위한 다양한 연구들이 수행되었다^[8-9].

일반적으로 핫 스탬핑 후에는 최종제품의 형상을 맞추기 위해 트리밍 공정이 적용된다. 프레스 금형을 이용한 통상의 트리밍 공정의 경우, 핫 스탬핑

Corresponding Author : sklee@kitech.re.kr

Tel: +82-53-580-0136, Fax: +82-53-580-0140

후 소재의 강도가 매우 높기 때문에 프레스 금형 수명이 매우 낮고 제품의 품질도 저하되는 단점이 있다^[10-11]. 최근에는 레이저 트리밍도 일부 적용하고 있지만 설비비가 높고 사이클 타임이 지나치게 길어 생산성 측면에서 큰 단점을 가지고 있다^[12]. 따라서, 핫 스탬핑 공정 시 트리밍 공정을 생략할 수 있다면 생산성 측면에서 상당한 도움이 될 것이다.

최근까지 스탬핑 공정에 있어 초기 블랭크 형상 설계를 위한 다양한 연구들이 수행되었다^[13-15]. 본 연구에서는 승용차 측면 충돌부재인 사이드 실(Side sill) 핫 스탬핑 공정 시 트리밍 공정을 생략하기 위한 최적 트림리스 블랭크 형상설계를 수행하였다. 이를 위해 본 연구에서는 먼저 PAM-STAMP 역해석 기능을 이용하여 트리밍된 최종제품 형상을 이용하여 최적 블랭크 설계를 위한 초기 블랭크 형상을 설정하였다. 설정된 초기 블랭크를 이용하여 성형해석 및 최적화 모듈을 이용하여 트림리스 블랭크 형상을 설계하였다. 최적 트림리스 블랭크 설계에 앞서 본 연구에서는 핫 스탬핑 시 금형 냉각해석을 고려한 금형온도를 예측하였으며, 예측된 금형온도를 적용하여 최적 트림리스 블랭크 형상을 설계하였다. 설계된 트림리스 블랭크 형상은 핫 스탬핑 현장 테스트를 통해 타당성을 검증하였다.

2. 사이드 실 초기 블랭크 설정

사이드 실은 Fig. 1에서 보듯이 승용차 차체 측면 하단에 위치한 부품으로 센터 필러(Center pillar)와 함께 차체의 측면 충돌 안전성에 큰 영향을 미친다.

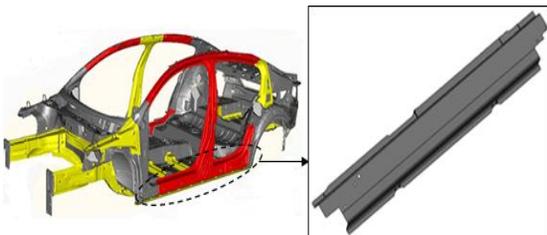


Fig. 1 Side sill of passenger car

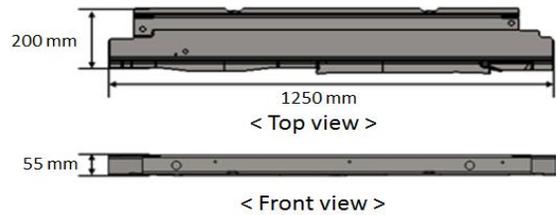


Fig. 2 Shape and dimension of the side sill

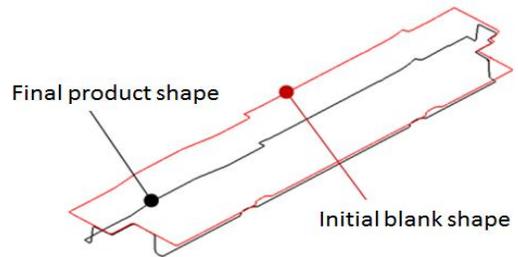


Fig. 3 Initial blank shape of the side sill

대상 사이드 실의 상세 형상 및 치수는 Fig. 2에 나타내었다.

적용된 소재는 SABC1470 소재로 기존 블랭크의 길이, 넓이, 두께는 각각 1260 mm, 310 mm, 그리고 1.4 mm 이다. 본 연구에서는 트림리스 블랭크 최적화를 위한 초기 블랭크 형상의 경우 상용 해석 소프트웨어인 PAM-STAMP의 역해석 기능을 이용하여 결정하였다. Fig. 3에 최종제품 형상과 역해석을 통해 펼쳐진 초기 블랭크 형상을 나타내었다.

3. 핫 스탬핑 금형 냉각해석

핫 스탬핑 공정 성형해석 및 최적화 기법을 이용한 최적 트림리스 블랭크 형상설계를 위해서는 핫 스탬핑 해석 시 적용되는 금형 온도값이 요구된다. 따라서, 본 연구에서는 먼저 핫 스탬핑 금형의 유동해석을 통한 금형 냉각 해석을 수행하였다. 해석은 FloEFD로 수행되었으며, Fig. 4에 유동 및 냉각 해석을 위한 금형 모델을 나타내었다. 금형세트는 다이, 펀치, 그리고 패드로 구성되어 있으며, 각 파트는 플레이트(Plate)부와 스틸(Steel)부로 이루어져 있다. 각 파트의 냉각수 흐름도도 Fig. 4에 나타내었다.

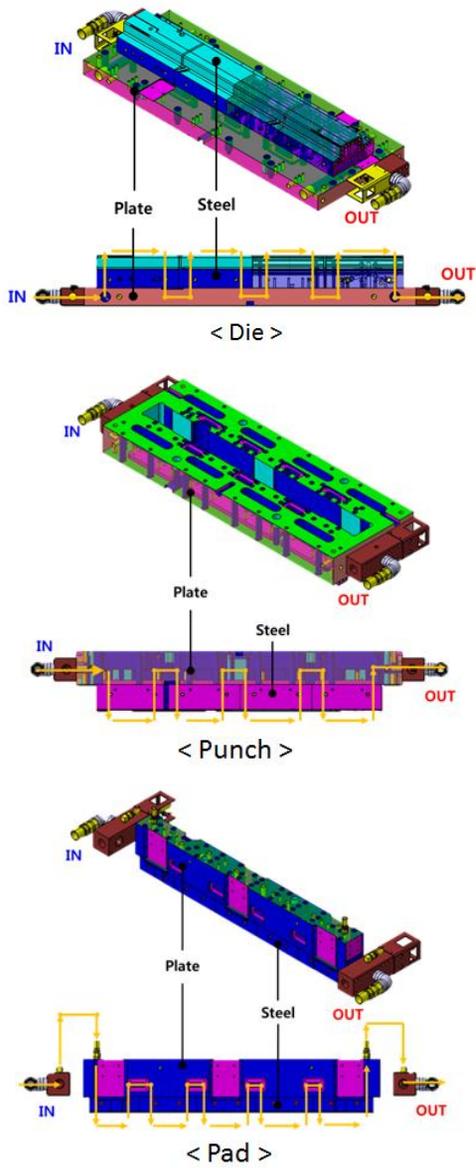


Fig. 4 Hot stamping die set for the side sill

Table 1 Temperatures for cooling analysis(°C)

Parts	Cooling water	Plate	Steel	Blank
Temp.	20.0	20.0	50.0	870.0

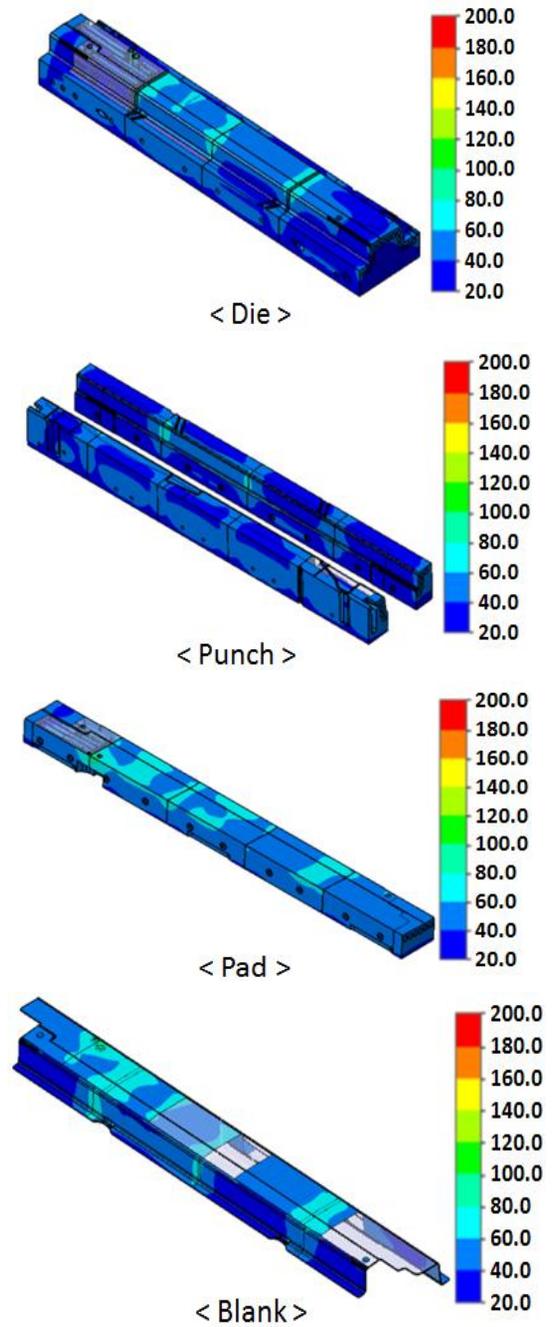


Fig. 5 Distribution of temperature(°C) after 20 sec

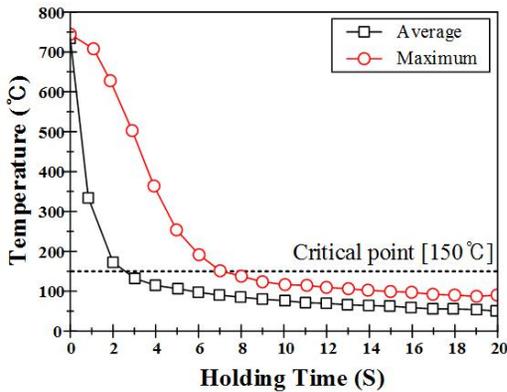


Fig. 6 Blank temperature change according to the holding time

유동 및 냉각해석 시 냉각수와 각 파트의 온도는 Table 1에 나타내었다.

Fig. 5는 해석결과 20초 후의 각 파트의 온도분포를 나타내었다. Fig. 5에서 알 수 있듯이 약 20초 후 블랭크 온도는 75 °C 이하를 나타내고 있다.

Fig. 6은 성형 시 홀딩시간에 따른 블랭크의 온도변화를 나타낸 것이다. 냉각에 의해 보른 강판의 미세조직이 마르텐사이트로 변태되기 위한 임계온도는 약 150 °C이다. 따라서 최소 7초 이상의 홀딩시간이 필요함을 알 수 있다.

4. 트림리스 블랭크 형상 설계

설정된 초기 블랭크 형상을 이용하여 트림리스 블랭크 최적화를 위해 먼저 적용 소재의 온도 및 변형률 속도 변화에 따른 진응력-진변형률 선도를 확보하였다. Fig. 7에 고온 인장시험을 통해 확보된 선도를 나타내었다. 온도가 낮고 변형률 속도가 증가할수록 응력은 증가함을 알 수 있다.

성형해석 시 금형의 온도는 블랭크의 임계온도를 고려하여 150 °C로 설정하였으며, 홀딩력은 10 ton, 블랭크 온도는 870 °C로 설정하였다. 이상의 조건을 포함한 성형해석 조건은 Table 2에 나타내었다¹⁶⁾.

본 연구에서는 PAM-STAMP를 이용하여 트림리스 블랭크 형상을 설계하였다. 설정된 초기 블랭크를 이용하여 성형해석을 수행한 후 성형된 형상의

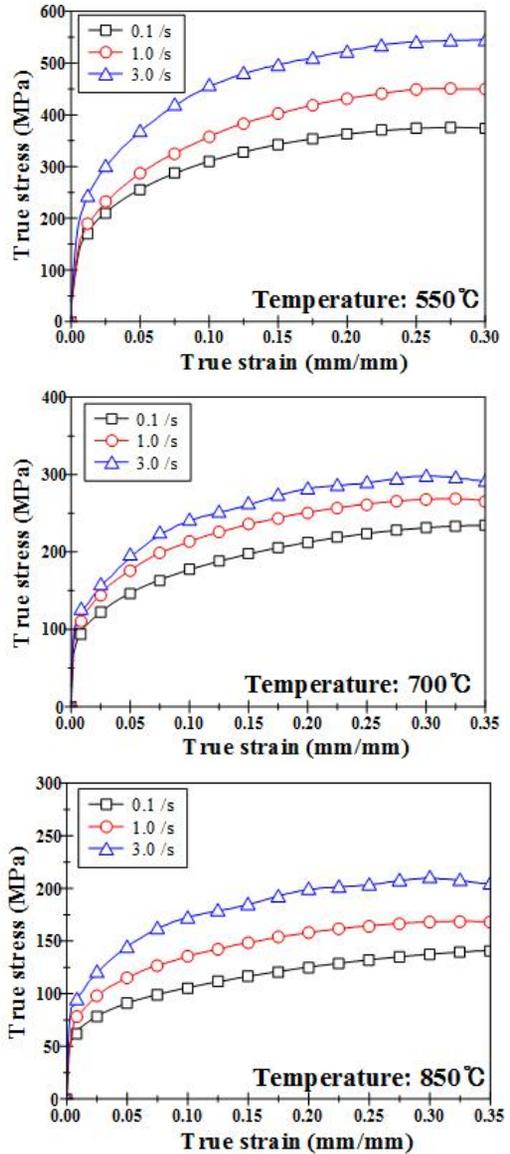


Fig. 7 True stress-strain curve of SABC1470

치수공차가 허용공차를 만족할 때 까지 성형해석을 반복 수행하였다. 최적화는 PAM-STAMP의 최적화 모듈을 활용하였으며, 그 절차는 Fig. 8에 나타내었다. 적용된 초기 블랭크에 대한 성형해석결과에 대하여 성형품의 치수정도 평가 후 블랭크 외곽선 최적화를 적용하여 초기 블랭크 형상을 수정한 후 성

Table 2 FE analysis conditions

Conditions	Value
- Holding force	10 ton
- Stamping velocity	300 mm/s
- Cooling time	16 sec
- Tool temperature	150 °C
- Friction coefficient (μ)	0.4
- Convection coefficient	0.16 kW/m ² K
- Contact heat transfer coefficient	0.1x0.75 W/m ² K (x: contact pressure)

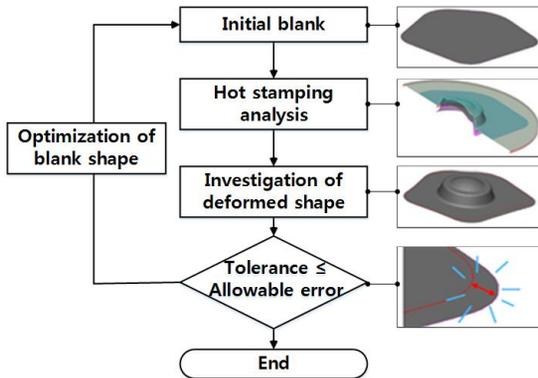


Fig. 8 Procedure for designing the trimless blank

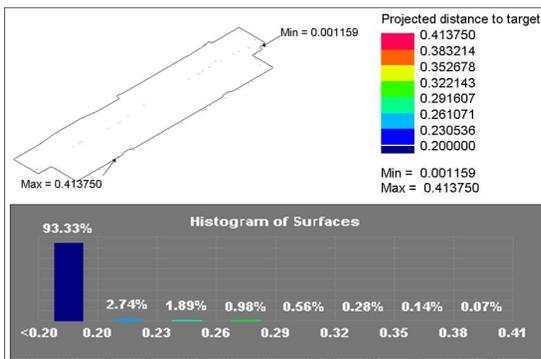


Fig. 9 FE analysis result of th 8th iteration

형해석을 다시 수행하였으며, 최종 성형품의 치수 공차가 허용공차를 만족할 때 까지 반복 적용하여 트림리스 블랭크를 설계하였다.

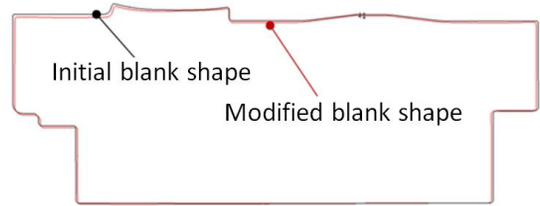


Fig. 10 Comparison of blank shape between the initial and the designed trimless blank



Fig. 11 Hot stamping experiment

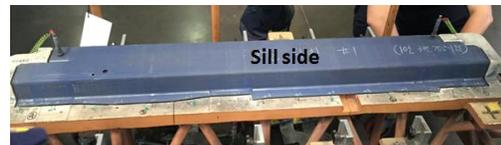


Fig. 12 Produced side sill

적용된 사이드 실 최종제품의 외곽선 허용공차는 ± 2.0 mm 이다. 공차가 ± 2.0 mm를 초과하면 조립 시 간섭이 발생하게 된다. 본 연구에서는 Fig. 9에서 보듯이 8번째 반복해석결과 사이드 실의 목표외곽선과 해석결과 제품의 외곽선 최대 공차가 약 0.42 mm를 나타내었다. 따라서, 8번째 블랭크 형상을 트림리스 블랭크 형상으로 설정하였다. Fig. 10에 초기 블랭크와 설계된 블랭크를 비교하였다.

5. 핫 스템핑 실험 및 고찰

설계된 트림리스 블랭크에 대한 타당성 검증을 위하여 Fig. 11과 같이 핫 스템핑 실험을 실시하였다. 실험은 해석과 동일한 조건으로 수행하였으며, Fig. 12에 핫 스템핑 실험으로 제조된 사이드



Fig. 13 3D laser scanning of the side sill



Fig. 14 Dimensional error[mm] of the side sill

실을 나타내었다. 성형된 제품의 외관상 결함은 발생하지 않았으며, 최종 성형품의 치수정도 평가를 위하여 Fig. 13과 같이 비접촉식 3차원 레이저 스캐너를 이용하여 최종 치수를 측정하였다. 측정된 치수는 Fig. 14에서 보듯이 최종제품 모델링 치수와 비교하여 오차를 평가하였다. 그 결과 최대 치수 오차는 약 1.67 mm로 제품의 끝단부에서 발생하였다. 성형해석결과보다 치수 오차가 다소 증가하였으나, 요구 치수 공차인 ± 2.0 mm를 만족함을 알 수 있다. 성형해석결과보다 치수 오차가 증가한 이유는 냉각 후 발생한 스프링 백 때문인 것으로 판단된다. 따라서, 핫 스템핑 성형해석 시 스프링 백 예측은 현재까지 매우 어려운 연구 주제이나 향후 지속적인 연구가 필요함을 알 수 있다.

이상의 실험 및 최종제품의 치수 평가를 통해 본 연구에서 제안한 트림리스 블랭크의 타당성을 검증하였다.

6. 결 론

본 연구에서는 성형해석 및 최적화 모듈을 이용하여 핫 스템핑 성형 시 성형 후 적용되는 레이저 트리밍 공정 생략을 위한 트림리스 블랭크 형상을 설계하였으며, 다음의 결론을 도출하였다.

1. 핫 스템핑 시 금형의 온도를 고려하기 위하여 유동해석을 통해 핫 스템핑 금형온도를 예측하였다. 해석 결과 마르텐사이트 변태를 위한 임계온도는 약 $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ 였으며, 임계온도는 트림리스 블랭크 설계를 위한 핫 스템핑 성형해석에 적용되었다.
2. 최종 목표 제품 외곽선의 역전개를 통해 최적 트림리스 블랭크 형상을 설정하였으며, 설정된 초기 블랭크 형상과 성형해석 및 최적화 모듈을 이용하여 트림리스 블랭크 형상을 설계하였다. 설계된 트림리스 블랭크를 적용한 해석결과 성형 후 제품의 외곽선 최대 공차는 약 0.42 mm 로 허용공차 이내임을 확인할 수 있었다.
3. 설계된 트림리스 블랭크 형상의 타당성을 핫 스템핑 현장 실험 후 최종제품 치수 평가를 통해 검증하였다. 그 결과 트림리스 블랭크 적용 시 최종 제품의 치수 공차가 허용 치수 공차인 $\pm 2.0\text{ mm}$ 이내임을 확인하였다. 핫 스템핑 시 발생하는 스프링 백으로 인하여 치수 오차가 성형해석결과보다 다소 증가하였으나, 허용 공차이내이기 때문에 실제 현장 적용이 가능할 것으로 판단된다.

현재 핫 스템핑 후 적용되는 레이저 트리밍 공정의 경우 생산성이 매우 낮아 생산비용 증대의 원인이 되고 있다. 따라서, 본 연구에서 제시한 트림리스 블랭크를 다양한 핫 스템핑 성형품에 적용할 경우 생산시간 및 비용 절감에 큰 도움이 될 것으로 판단된다.

REFERENCES

1. Kim, N. C., Yoon, J. and Na, W. K., "The $135\text{kg}_f/\text{mm}^2$ Back Beam Application to Bumper

- for Good Rating in the IIHS Test and Reducing its Weight,” Spring Conf Proc. of KSAE, KSAE04-S0183, pp. 1151-1157.
2. Hilditch, T. B, Speer, J. G. and Matlock, D. K., “Influence of Low-strain Deformation Characteristics of High Strength Sheet Steel on Curl and Springback in Bend-under-tension Tests,” Journal of Materials Processing Technology, Vol. 182, No. 1-3, pp. 84-94, 2007.
 3. Kim, O. H., Altan, T. and Yan, Q. G., “Evaluation of Stamping Lubricants in Forming Advanced High Strength Steels (AHSS) using Deep Drawing and Ironing Tests,” Journal of Materials Processing Technology, Vol. 209, No. 8, pp. 4122-4133, 2009.
 4. Karabasian, H. and Tekkaya, A. E., “A Review on Hot Stamping,” Journal of Materials Processing Technology, Vol. 210, pp. 2103-2118, 2010.
 5. Bae, G. H., Huh, H., Song, J. H. and Kim, S. H., “Light-weight Design with a Simplified Center-pillar Model for Improved Crashworthiness,” Trans of KSAE, Vol. 14, No. 6, pp. 112-119, 2006.
 6. Kolleck, R., Veit, R., Merklein, M., Lechler, J. and Geiger, M., “Investigation on Induction Heating for Hot Stamping of Boron Alloyed Steels,” CIRP Annals - Manufacturing Technology, Vol. 58, No. 1, pp. 275-278, 2010.
 7. Chang, Y., Li, X. D., Zhao, K. M., Wang, C. Y., Zheng, G. J., Hu, P. and Dong, H., “Influence of Stress on Martensite Transformation and Mechanical Properties of Hot Stamping AHSS Parts,” Materials Science and Engineering A, Vol. 629, pp. 1-7, 2015.
 8. Huang, M. D., Wang, B., Zhou, J. and Li, X., “Investigation on Mechanical Properties Distribution on Hot Stamped Part,” Procedia Engineering, Vol. 81, pp. 1774-1779, 2014.
 9. Chang, Y., Li, S., Li, X., Wang, C, Hu, P. and Zhao, K., “Effect of Contact Pressure on IHTC and the Formability of Hot-formed 22MnB5 Automotive Parts,” Applied Thermal Engineering, Vol. 99, pp. 419-428, 2016.
 10. Han, X., Yang, K., Ding, Y., Tan, S. and Chen, J., “Numerical and Experimental Investigations on Mechanical Trimming Process for Hot Stamped Ultra-high Strength Parts,” Journal of Materials Processing Technology, Vol. 234, pp. 158-168, 2007.
 11. So, H., Fabmann, D., Hoffman, H., Golle, R. and Schaper, M., “An Investigation of the Blanking Process of the Quenchable Boron Alloyed Steel 22MnB5 Before and After Hot Stamping Process,” Journal of Materials Processing Technology, Vol. 212, No. 2, pp. 437-449, 2012.
 12. Kolleck, R., Aspacher, J. and Veit, R., “Efficiency of Hot Forming Process,” Proc. of 2nd International Conference on Hot Sheet Metal Forming of High-Performance Steel, pp. 173-179, 2009.
 13. Yang, C., Li, P. and Fan, L., “Blank Shape Design for Sheet Metal Forming based on Geometrical Resemblance,” Procedia Engineering, Vol. 81, pp. 1487-1492, 2014.
 14. Ko, D. C., Cha, S. H., Lee, S. K., Lee, C. J. and Kim, B. M., “Application of a Feasible Formability Diagram for the Effective Design in Stamping Processes of Automotive Panels,” Materials & Design, Vol. 31, No. 3, pp. 1262-1275, 2010.
 15. Kim, J. T., Kim, B. M. and Kang, C. K., “Blank Shape Design Process for a Hot Stamped Front Pillar and its Experimental Verification,” Transactions of Materials Processing, Vol. 21, No. 3, pp. 186-194, 2012.
 16. Choi, H. S., Kim, B. M., Kang, C. K., Ha, S. Y. and Lee, D. W., “Optimization of Blank Shape for Hot Stamping of Center Pillar,” Annual Conference of KSAE, pp. 2439-2445, 2009.