

곡선형 냉각채널 금형을 사용한 프론트 필라 핫스탬핑 공정에서 금형냉각시간이 기계적 특성에 미치는 영향

이재진*[#], 강다경*, 서창희**, 임용희***, 이경훈****, 한수식*****

*경북하이브리드부품연구원, **대구기계부품연구원, ***신화에스티, ****솔루션랩, *****금오공과대학교

Effect of Die Cooling Time on Component Mechanical Properties in a Front Pillar Hot Stamping Process

Jaejin Lee*[#], Dakyung Kang*, Changhee Suh**, Yonghee Lim***, Kyunghoon Lee****, Soosik Han*****

*GyeongBuk Hybrid Technology Institute, **Daegu Mechatronics & Materials Institute, ***Shinhwa ST, ****Solution Lab, *****Kumoh National Institute of Technology

(Received 10 April 2019; received in revised form 15 April 2019; accepted 17 May 2019)

ABSTRACT

Researchers have recently begun to study hot stamping processes to shorten the mold cooling time and improve productivity. These publications explain that the mold cooling time can be reduced by using a curved cooling channel, where the mold surface is processed to a uniform depth, instead of a straight cooling channel that uses the conventional gun drilling machine. This study investigates the characteristics of the front pillar of an automobile after using a mold with a curved cooling channel. To analyze the change in properties, we used a 1.6 mm boron steel blank and heated the prototype at 930°C for 5 minutes. Next, we formed the prototype with a load of about 500 tons while varying the mold cooling time between 1 and 10 seconds. We subjected each prototype specimen to a tensile strength test, a hardness test, and a tissue surface observation.

Key Words : Hot Stamping(핫스탬핑), Front Pillar(프론트 필라), Curved Cooling Channel(곡선형 냉각채널), Die(금형)

1. 서 론

최근 자동차산업에서 경량화 및 고강도화의 추세로 점점 핫스탬핑으로 성형한 부품의 사용이 늘어나고 있다. 핫스탬핑은 경화능이 우수한 보론강을

약 900°C 정도로 가열한 후 금형을 사용하여 성형하는 동시에 소재를 냉각시켜 초고강도 특성을 얻는 공법이다. 핫스탬핑 기술의 핵심은 금형을 사용한 성형과 냉각분야이며 특히 공정 중 가장 시간을 많이 차지하는 부분이 금형냉각시간이다. 예를 들면, 성형은 약 1초 내외로 완료되지만, 성형 후 소재의 냉각에 보통 10초 내외의 긴 시간이 소요된다. 따라서 핫스탬핑 공정에서는 생산성 향상을 위해서

Corresponding Author : jjlee@ghi.re.kr

Tel: +82-54-330-8121, Fax: +82-54-330-8069

금형냉각시간을 단축하려는 요구가 지속적으로 대두되고 있다. 금형냉각시간은 금형소재의 열전도특성과 냉각채널 설계에 의해서 영향을 받는다. 열전도특성이 우수한 금형소재를 사용하면 블랭크의 열을 빨리 냉각수 쪽으로 전달시켜 블랭크의 냉각을 빠르게 할 수 있다^[1-5]. 하지만 열전도특성이 우수한 금형소재의 가격이 기존 소재에 비해서 고가이기 때문에 적용에 한계를 가진다. 반면에 냉각채널 설계는 큰 비용의 증가 없이 금형냉각시간을 단축시킬 수 있는 방법이기 때문에 냉각속도를 빨리 할 수 있는 냉각채널의 설계 기법 개발은 산업적으로 유용하리라 생각된다.

기존의 냉각채널은 대부분 직선형으로 제작되고 있다^[6-7]. 금형을 몇 개의 블록으로 분할한 후 건드릴을 사용하여 직선형으로 냉각채널을 가공한 후 블록을 조립하여 금형을 완성하게 된다. 이러한 제작방법으로는 금형의 성형면과 내부의 냉각채널이 균일한 깊이를 유지하지 못해 블랭크의 균일냉각 및 급속냉각을 저해하게 된다. 따라서 금형 냉각시간을 단축하기 위해서 기존의 건드릴을 이용한 직선형 냉각채널 방식이 아닌 금형의 표면을 따라 균일한 깊이로 가공되는 곡선형 냉각채널의 개발이 요구되고 있다.

따라서 본 연구에서는 자동차의 프론트 필라를 대상으로 곡선형 냉각채널을 가지는 금형을 사용하여 금형냉각시간에 따른 시제품의 특성 변화를 검토하였다.

2. 실험 방법

프론트 필라는 자동차의 앞유리 부근에 위치하는 부품으로 자동차의 전복 시 운전자를 보호하는 중요한 부품으로 초고강도 특성이 요구된다. 본 연구의 대상인 자동차 프론트 필라의 형상을 Fig. 1에 나타내었다. 프론트 필라 핫스탬핑 금형 및 곡선형 냉각채널 설계형상을 Fig. 2와 Fig. 3에 나타냈다. 프론트 필라 시제품 제작을 위해서 간접가열 방식의 가열로, 이송용 로봇, 최대용량 1200톤의 서보유압프레스를 Fig. 4와 같이 사용하였다. 시제품 제작은 1.6mm 두께의 보론강 블랭크를 사용하여 가열로에서 930℃에서 5분간 가열한 후 이송용 로봇을

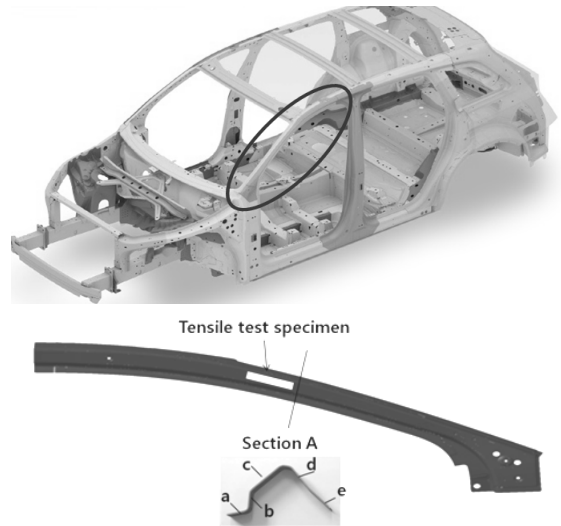


Fig. 1 Automobile front pillar

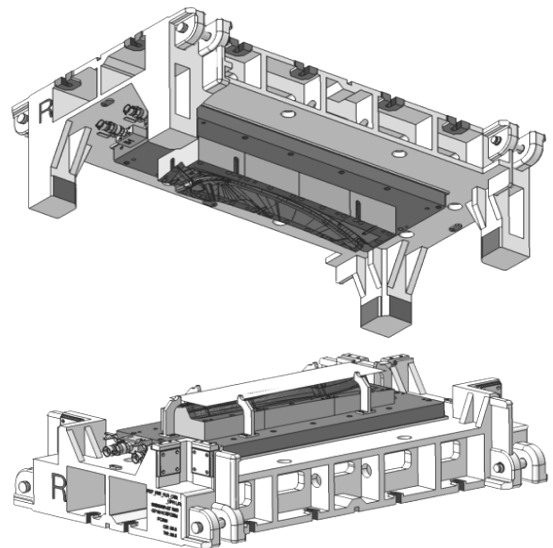


Fig. 2 Hot stamping mold with curved cooling channels

사용하여 약 10초 동안 이송하였다. 이후 약 500톤의 하중으로 1초 동안 성형하였으며, 금형을 닫아둔 상태로 유지하면서 금형냉각을 실시하였다. 금형냉각시간을 1~10초로 변경하면서 시제품을 제작하였다. 이때 금형내부로 냉각수를 지속적으로 순환시켜 금형의 온도가 상온을 유지하도록 하였다.

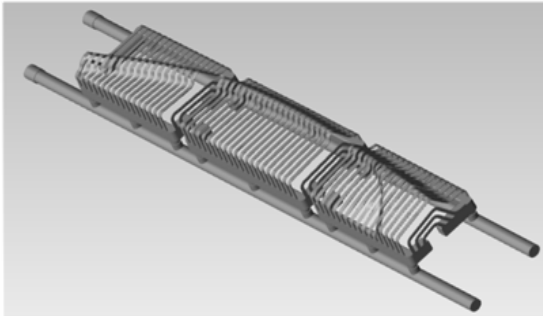


Fig. 3 Curved Cooling Channel Design Shape of Upper Mold

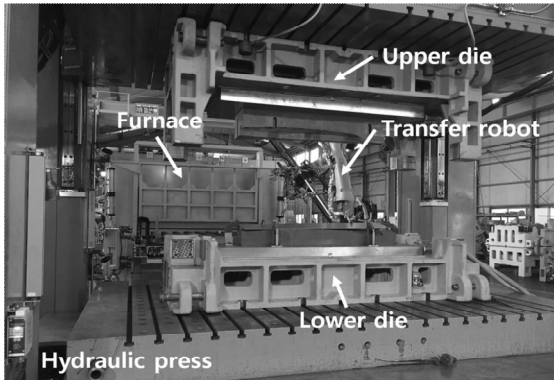


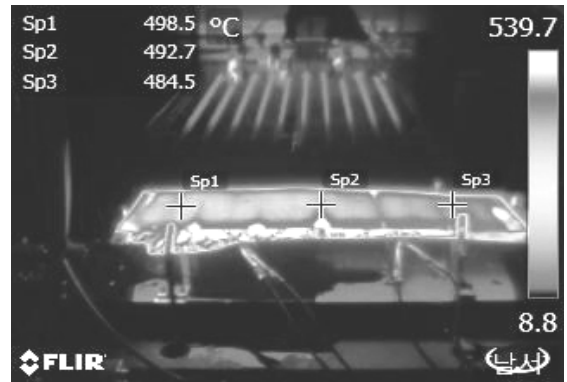
Fig. 4 Equipment for hot stamping prototyping

블랭크의 온도 측정을 위해서 열화상 카메라를 사용하였으며, 블랭크가 금형 내에 안착되어 성형되기 직전의 블랭크 온도와 금형냉각이 완료된 직후의 온도를 측정하였다. 각각의 금형냉각시간 동안 제작된 시제품의 기계적 특성 평가를 수행하였다. 인장시편은 ASTM E8 규격에 따라서 제작하였으며, 시편의 채취 위치는 Fig. 1에서와 같이 프론트 필라의 중심부이다. 인장시험은 Instron 5569 장비를 사용하여 1mm/min의 속도로 시험하였다. 비커스 경도 시험은 Fig. 1과 같이 프론트 필라의 중심부 단면 (Section A)을 대상으로 하였으며, 시험은 Tukon 2100 장비를 사용하여 수행하였다. 조직 관찰은 인장시편과 동일 위치에서 시편을 채취하여 수행하였다. 온도 측정은 열화상 카메라를 사용하여 수행하였으며, 프론트 필라의 인장시편 채취부위와 동일한 중심부의 온도를 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 블랭크 온도

핫스탬핑 공정 중에 측정된 온도 분포를 Fig. 5에 나타냈다. Fig. 5(a)는 성형이 시작되기 직전의 블랭크 온도 분포이며, Fig. 5(b)는 성형과 10초 동안의 금형냉각이 완료된 직후의 온도 분포이다. 930°C에서 5분간 가열된 블랭크가 10초 동안의 이송으로 약 500°C 정도로 냉각되었다. 전체적으로 균일하게 냉각되어 블랭크 내부의 온도 편차가 크지 않은 것으로 나타났다. 금형냉각이 완료된 후에는 블랭크 내부의 온도 편차가 발생하고 있음을 확인하였다. 성형과정에서는 소재의 국부적인 연신으로 인해서 금형과 블랭크와의 접촉이 발생하지 않는 부분들이 발생하여 냉각을 지연시키고 있는 것으로 예상된다.



(a) Before stamping



(b) After 10 second die cooling

Fig. 5 Temperature distribution of blank

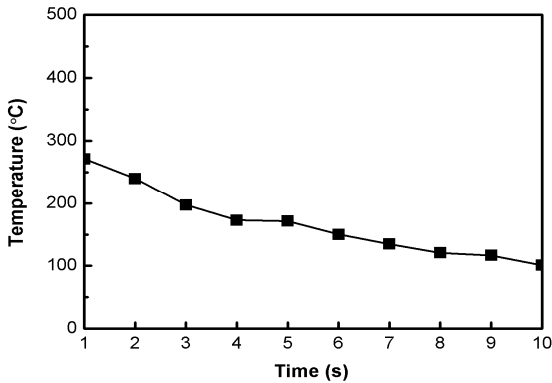


Fig. 6 Blank temperature with mold cooling time

또한 금형의 가공오차도 블랭크의 균일 냉각을 방해하고 있는 것으로 여겨진다. 이러한 부분적인 냉각속도의 차이로 인해서 제품으로 완성된 후 기계적 특성의 변화에 영향을 미칠 수 있을 것으로 예상된다. 또한 공정이 완료된 후 변형이 발생하여 치수정밀도를 저하시킬 수 있을 것으로도 예상된다.

Fig. 6에는 1~10초의 금형냉각 후 블랭크의 중심부 온도 변화를 나타냈다. 금형냉각시간이 길어질수록 블랭크의 온도는 점차 하락하는 경향을 나타냈다. 성형 전 블랭크 온도가 약 500°C이며, 1초의 금형냉각 후 블랭크 온도가 약 270°C 이기 때문에 금형냉각 동안 블랭크에서 약 220°C의 온도 하락이 있었다. 2초의 금형냉각 후에는 약 250°C의 온도 하락이 발생하고 있으며, 블랭크의 온도 하락은 초기 접촉에 의해서 가장 크게 영향을 받고 있는 것으로 나타났다. 열화상 카메라에서 측정된 온도는 블랭크 표면의 온도이며, 블랭크 심부는 열전도에 의해서 표면과는 다소의 차이를 나타내고 있을 것으로 여겨진다.

3.2 기계적 특성

기계적 특성 평가를 위해서 인장시험 및 경도시험을 수행하였다. 먼저, Fig. 7에 금형냉각시간에 따른 인장강도결과를 나타냈다. 1초 냉각의 경우 약 900MPa의 인장강도를 가지면서 냉각시간이 증가할수록 인장강도가 증가하다가 4초의 냉각시간 이후에는 약 1400MPa 정도로 동일하게 유지되는 경향을 나타냈다. 즉, 1~4초의 냉각시간으로는 완전한

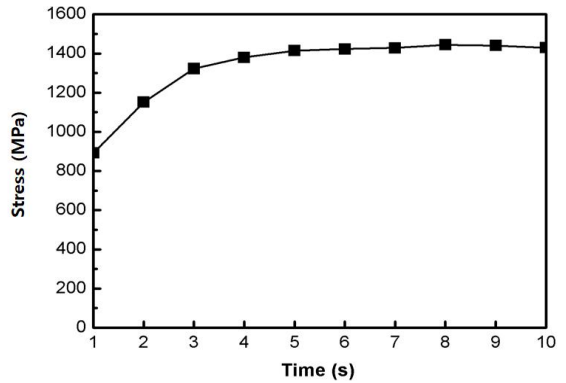


Fig. 7 Tensile strength with mold cooling time

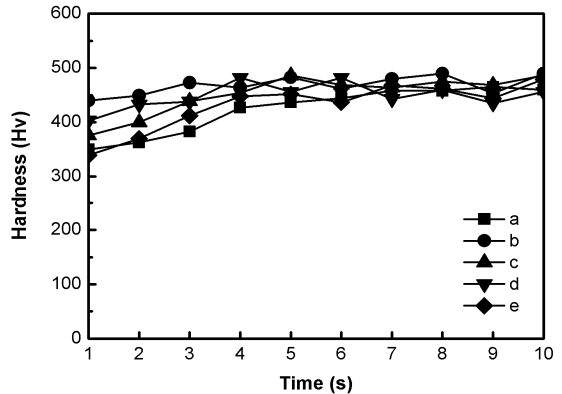


Fig. 8 Hardness with mold cooling time

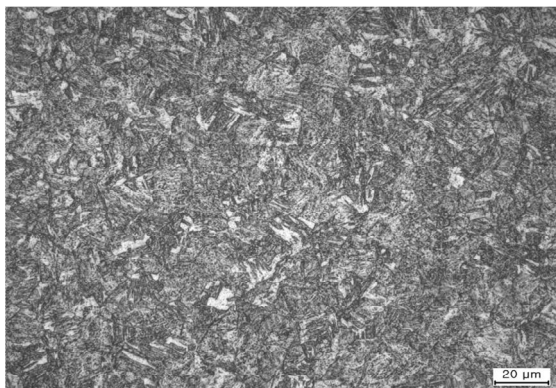
마르텐사이트를 얻기에 부족한 시간으로 파악되었다. 완전한 마르텐사이트를 얻는 최소의 시간을 아는 것은 핫스탬핑 공정을 설계할 때 중요한 것으로 예상된다.

Fig. 8에 금형냉각시간에 따른 경도시험결과를 나타냈다. 경도도 인장강도와 유사한 경향을 나타내었지만 측정 위치별로 다소의 차이를 나타냈다. 특히 1~4초의 경우에 부위별 차이가 크게 나타났다. 이는 핫스탬핑 성형 시 부위별로 금형과 접촉하여 상태가 달라져 경도에 차이를 나타낸 것으로 예상된다. 블랭크가 금형과 접촉하는 경우에 열전달계수는 접촉하는 압력에 비례하여 증가한다고 알려져 있기 때문에^[8] 금형가공 오차, 핫스탬핑 시 블랭크의 연신에 의한 비접촉 구간의 생성 등 다양한 원인에 의해서 블랭크의 냉각 시 온도 차이가 발생할

수 있을 것으로 예상된다. 이러한 부위별 온도차이는 Fig. 5에서 보여지는 열화상 카메라 이미지에서도 확인할 수 있다.

3.3 조직 특성

Fig. 9에 금형냉각시간 1초와 10초의 경우에 조직 사진을 비교하여 나타냈다. 1초의 경우에는 금형이 열린 후 대기 중에서 서냉이 되어 템퍼링된 마르텐사이트를 나타냈다. 본 연구에서는 이송 시 블랭크의 온도가 약 500°C까지 냉각이 되어 금형냉각이 시작되는 온도가 500°C로 낮은 편이다. 1초의 냉각으로도 마르텐사이트가 시작되는 400°C 이하로 블랭크의 온도를 하강시킨 후 금형이 열려서 마르텐사이트가 생성된 후 서냉이 되어서 마르텐사이트가



(a) 1 second



(b) 10 seconds

Fig. 9 Microstructure change with mold cooling time

템퍼링된 것으로 예상된다. 10초의 경우는 마르텐사이트 종료온도인 200°C 이하까지 완전히 급랭되어 완전한 마르텐사이트가 얻어졌다.

4. 결론

핫스탬핑 공정에서의 곡선형 냉각채널을 가지는 금형을 제작하여 금형냉각시간에 따른 블랭크의 기계적 특성 변화에 대하여 연구하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 금형냉각시간이 증가할수록 블랭크의 인장강도는 증가했으며, 4초 이후에는 거의 유사한 값을 유지하였다.
2. 프론트 필라 단면에서 경도값은 위치별로 다르게 나타났으며, 금형냉각시간이 짧은 경우 위치별 차이가 크게 나타났다.
3. 열화상카메라를 사용한 온도 측정에서 금형냉각이 완료된 후 제품은 약 60~120°C 사이의 온도 분포로 나타났다.
4. 금형냉각시간이 짧은 경우 템퍼드 마르텐사이트가 나타났으며, 일정한 시간이 지난 후에는 완전한 마르텐사이트가 나타났다.

후 기

본 연구는 산업통상자원부의 지역주력산업육성 기술개발사업의 지원에 의하여 수행되었습니다.

REFERENCES

1. Lee, K., Lee, J. J., & Suh, C. H., "Evaluation of Cooling Capability of Hot Press Forming Die with Thermal CFD Simulation", Transactions of Materials Processing, Vol. 25, No. 4, pp. 242-247, 2016.
2. Hoffmann, H., So, H., & Steinbeiss, H., "Design of Hot Stamping Tools with Cooling System", CIRP Annals, Vol. 56, No. 1, pp 269-272, 2007.
3. Li, Y., Ying, L., Hu, P., Shi, D., Zhao, X., & Dai, M., "Coupled Numerical Simulation of Hot

- Stamping Process and Experimental Verification”, AIP Conference Proceedings, Vol. 1532, No. 1, pp 471-477, 2013.
4. Cha, S. H., Seo, P. K., Nam, J. D., Ahn, M. S., & Won, K. W., “Cooling Performance Evaluation of Roof Side Die according to the Thermal Conductivity of Tool Steels”, Journal of The Korean Society For Technology of Plasticity, pp. 111-114, 2014.
 5. Kum, J. W., Park, O. J., & Hong, S. M., “Tough High Thermal-Conductivity Tool Steel for Hot Press Forming”, Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 15, No. 3, pp. 130-134, 2016.
 6. Hong, S. M., Ryu, S. Y., Park, J. K., Yoon, S. J., Kim, K. J., & Kim, H. Y., “Design of cooling channel in hot press forming process of Boron Steel”, Journal of The Korean Society For Technology of Plasticity, pp. 367-370, 2009.
 7. Lin, T., Song, H. W., Zhang, S. H., Cheng, M., & Liu, W. J., “Cooling system design in hot stamping tools by a thermal-fluid-mechanical coupled approach”, Advances in Mechanical Engineering, Vol. 6, 2014.
 8. Lee, S. Y., Lee, K., Lim, Y. H., & Jeong, W. C., “Study on Heat Transfer Characteristic in Hot Press Forming Process”, Transactions of Materials Processing, Vol. 22, No. 2, pp. 101-107, 2013.