

핫 프레스 포밍을 위한 고열전도성 금형에 대한 연구

김종원*, 박옥조**, 홍석무***,#

*㈜MDT, **㈜부일철강, ***국립공주대학교 금형설계공학과

Tough High Thermal-Conductivity Tool Steel for Hot Press Forming

Jongwon Kum*, Okjo Park**, Seokmoo Hong***,#

*MDT. Co., Ltd, **Buil Steel Co., Ltd,

***Department of Metal Mold Design Engineering, Kongju National University

(Received 7 November 2015; received in revised form 18 April 2016; accepted 26 April 2016)

ABSTRACT

Due to the need for advanced technologies in the automotive industry, the demand for lighter and safer vehicles has increased. Even though various nonferrous metals, like Aluminum, Magnesium and also Carbon Fiber Reinforced Plastic (CFRP), have been implemented in the automotive industry, a lot of technical research and development is still focused on ferrous metals. In particular, the market volume of High Strength Steel (HSS) parts and Ultra High Strength Steel (UHSS) by hot press forming parts has expanded significantly in all countries' automotive industries. A new tool steel, High Thermal-Conductivity Tool Steel (HTCS), for stamping punches and dies has been developed and introduced by Rovalma Company (Spain), and it is able to support better productivity and quality during hot press forming. The HTCS punches and dies could help to reduce cycle time due to their high thermal conductivity, one of the major factors in hot press forming operation. In this study, test dies were manufactured in order to verify the high thermal conductivity of HTCS material compared to SKD6. In addition, thermal deformation was inspected after the heating and cooling process of hot press forming. After heating and cooling, the test dies were measured by a 3D scanner and compared with the original geometry. The results showed that the thermal deformation and distortion were very small even though the cooling time was reduced by 2 seconds.

Key Words : Hot Press Forming(핫프레스포밍), Thermal Conductivity(열전도도), Toughness(인성)

1. 서 론

최근 자동차 산업에서 핫 이슈가 되고 있는 CO₂ 배출량, 연비, 충돌 안전성 등은 모두가 차체와 밀접한 관계가 있다. 차체에 필요로 하는 소재의 중

량을 최소화, 탑승자를 보호하는 공간의 안정성 확보, 주행 안정성을 위한 차체 강성 등을 동시에 만족하기란 어려운 일이다. 이러한 요구에 의해 이미 유럽의 경우 다중소재(철강, 알루미늄, 탄소섬유강화 플라스틱, 마그네슘 등)를 이용하여 차체 제작을 해왔으며, 국내에서도 기존 차체용 강판에 비해, 고장력 강판, 초고장력강판의 사용량이 증가하는 추세이다. 특히, 초고장력강판의 경우 열간성형이라는 새로운 프레스 성형기술과, 성형 후 1500MPa 수준의 강판을 절단함에 있어 기존의 금형 기술로 해

Corresponding Author: smhong@kongju.ac.kr

Tel: +82-43-521-9268, Fax: +82-43-521-9291

결할 수 없는 다양한 기술적 문제를 가지고 있다. 소재가 고강도화 될수록 소재의 연신이 떨어지기 때문에 프레스 가공 공정에서의 과단 불량률이 많아져 이를 극복하기 위한 블랭크 홀더 제어, 윤활, 하이드로포밍, 레이저 가공 등과 같은 신기술들이 소개되고 있다. 그 중 핫 프레스 포밍(Hot press forming)은 B, Mo, Cr 등 경화능이 큰 원소를 첨가하여 경화능을 향상시킨 강판을 900℃ 이상의 고온으로 가열한 후 상온의 금형으로 성형함과 동시에 급랭하여 강도를 증가시키는 방법이다. Fig. 1에서는 핫 프레스 포밍의 개념도를 설명하고 있다. 그림에서 보여 지는 바와 같이 핫 프레스 포밍 공정은 소재의 가열, 급속 이동, 금형을 이용한 열간성형 그리고 급속냉각으로 이루어진다. 이중 열간성형과 급속냉각에 있어서 금형은 고열전도성 및 고인성이 필수적으로 보장되어야 한다^[1-5]. Kim 등은 다이캐스팅 금형 소재 선정이 사이클 타임과 금형 마모에 미치는 영향에 대해 실험적으로 연구를 수행하였으며, Lee 등은 해석적 접근을 통해 핫 프레스 포밍에서 금형의 열전달이 사이클 타임을 감소시키는데 중요한 역할을 함을 강조했고, 열전달 해석을 통해 사이클 타임을 2초 정도 감소시킬 수 있음을 유한요소해석을 통해 보여주었다^[6-7]. 본 연구에서는 핫 프레스 포밍 공정에서 생산 시간을 줄여 원가경쟁력을 향상시키기 위해서 필요한 고열전도성과 고인성을 가진 금형의 개발과 이를 적용하여 실제 양산 제품의 축소 금형을 제작 하고 열처리 전후의 열변형량을 측정하고 그 실험결과를 정리하였다.

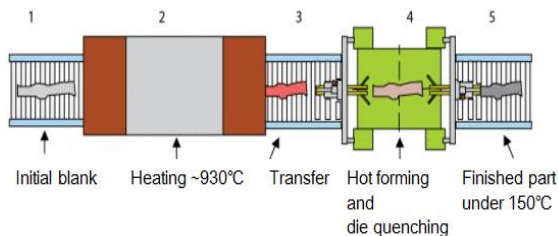


Fig. 1 Process of hot press forming (1) Blanking (2) Heating (3) Transfer (4) Hot Forming and die quenching (5) Finished part (Source: AP&T, sweden)

2. 금형 소재의 특성

2.1 열간성형을 위한 고열전도성 소재

기존의 자동차 열간 금형강의 소재는 SKD61종을 기반으로 인성 및 고온강도를 개선한 금형소재들을 주로 사용되었으며, 최근 일본, 유럽, 한국 등에서 핫 프레스 포밍 공정 적용을 위해 열전도도, 절삭성, 인성 등이 우수한 금형 소재를 개발하여 출시하고 있다. 핫 프레스 포밍에서 사용되는 금형의 주요 역할은 900℃ 이상으로 가열된 성형소재를 성형과 동시에 200℃ 이하로 빠른 시간 내에 냉각시키는 것이다. 가열로를 이용하여 오스테나이트 변태 온도 이상으로 가열된 판재는 연질의 오스테나이트 상의 기질을 갖게 된다. 프레스로 옮겨진 고온 오스테나이트 상의 판재는 성형과 동시에 금형에 의한 냉각공정 (Die quenching)을 겪게 된다 이 과정을 통해 성형된 연질의 오스테나이트 상은 급랭에 의해 마르텐사이트(Martensite) 상으로 변태하게 된다. 이러한 공정을 통해 초기 강도가 600MPa 정도였던 합금강 판재가 1500MPa 이상 급의 고강도를 확보한 차체 부품으로 성형된다. 이 과정에서 금형소재가 가지는 열전도도는 성형 소재의 열을 흡수하여 금형에 이미 확보되어 있는 냉각회로를 통해서 빼앗은 열을 배출하는데 소요되는 시간을 결정한다. 하지만 금형이라 함은 앞서 언급한 안정적 반복성형성과 열 방출이라는 두 가지 목적을 동시에 만족해야 한다.

Fig. 2는 경도에 따른 금형소재의 열확산 계수를 보여준다. 열처리 후에 금형 소재의 경도와 이에 따른 열확산계수이며, 이는 곧 열전도도와 깊은 연관성을 가지고 있다. 핫 프레스 포밍용으로 개발된 HTCS(Rovalma, Spain)의 경우, 기존 금형 소재들에 비해 약 2~3배의 열확산계수를 가지고 있으며 이를 통해서 열간성형 시에 작업 시간이 대폭 줄기 때문에 생산성 향상을 기대할 수 있다.

Fig. 3은 다른 금형소재로 제작되어진 금형에서 같은 제품을 성형한 후 금형에서 냉각속도의 차이에 대한 실험결과를 보여준다. 그래프의 x축은 냉각시간을 의미하고, y축은 소재의 온도를 의미한다. 냉각 실험에 사용된 시편의 재질은 22MnB5이며, 160mm X 50mm의 폭과 너비를 갖으며, 두께는 1.5mm 시편

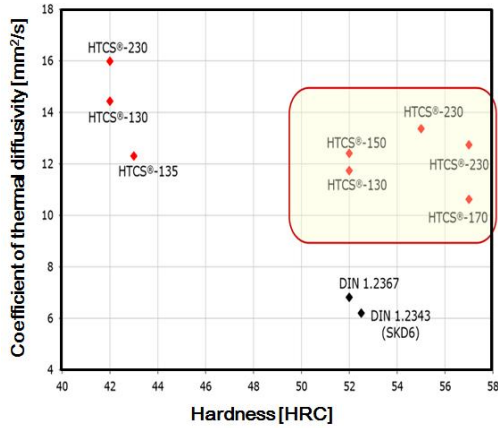


Fig. 2 Thermal diffusivity of die material according to hardness[HRC]

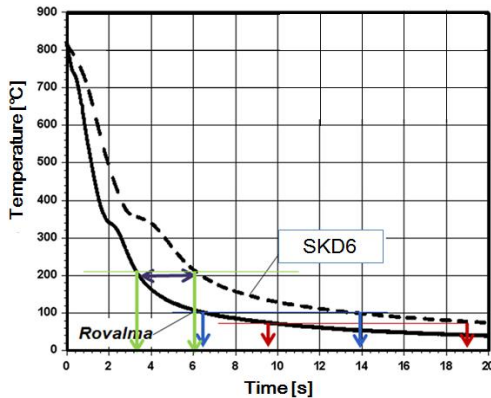


Fig. 3 Comparison of cooling time between HTCS and conventional die material (SKD6) for hot forming

을 가지고 테스트를 수행하였다. 이때 작용 하중은 0.17MPa로 측정되었고, 공급된 냉각수 유량은 16l/min 이다. 약 800℃의 1.5mm 두께 핫 프레스 포밍용 소재가 금형에서 200℃까지 냉각되는데, 일반 열간 공구강(SKD6)의 경우 약 6초가 필요한데 반해 고인성, 고열전도성 소재(HTCS, Rovalma, Spain)의 경우 약 3.5초 만에 냉각이 완료되었다. 이는 냉각에 소요되는 시간만을 계산할 때에 2.5초가 감소되었고, 전체 냉각의 42% 시간을 절약할 수 있음을 의미한다. 냉각 시간의 단축은 제조 현장에서 사이

클 타임(cycle time)을 단축시킬 수 있고, 빠른 열전달로 인해 전체 소재의 균일한 마르텐사이트 구조 형성에 도움이 될 수 있다.

2.2 냉간 프레스 트리밍을 위한 고인성 소재

일반적으로 초고장력강판은 열간성형 이후에 약 1500MPa수준의 인장강도를 가지기 때문에 냉간 프레스 트리밍을 통해서 제품을 절단함에 있어 Fig.4 와 같이 고하중을 견딜 수 있는 금형 소재 선택이 필요하다.

그림에서 USIBOR(Boron steel 1500MPa급), DP1000 (Dual phase 1000MPa급), TRIP800 (800MPa 급 Trip강)그리고 ST-12(Stainless steel 금형)의 순으로 금형에 응력이 크게 작용함을 볼 수 있다. 기존 냉간 프레스 트리밍용 금형 소재를 사용하여 트리밍을 할 경우, 내충격성이 강할 경우 내마모성이 떨어지고, 그 반대로 내마모성이 우수하면 내충격성이 떨어지는 것이 일반적인 현상이다. 하지만 냉간 프레스 트리밍에 필요로 하는 소재는 일정 수준 이상의 반복적 생산성, 품질 안정성을 갖기 위해서 일정 수준 이상의 내충격성과 내마모성을 가져야만 한다. 본 실험에서 사용된 고인성 소재인 HWS(Rovalma, Spain)의 경우 아래 Fig. 5에서 보는 바와 같이 기존의 냉간 프레스 트리밍에 주로 사용된 SKD11에 비해 인성이 약 4~5배, 내마모성이 약 7배 정도로 초고장력 강판 냉간 프레스 트리밍에 적합한 특성을 가지고 있다. Fig. 5에서는 마르텐사이트 조직을 가진 초고장력 강판에 있어서,

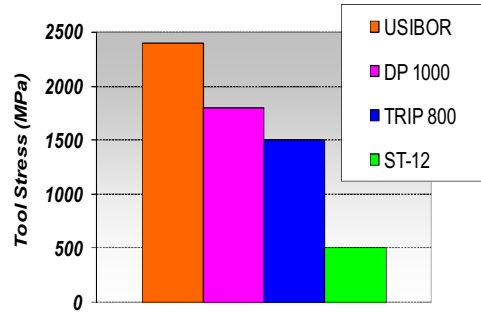


Fig. 4 Load during cold trimming according to different sheet materials

Table 1 Mechanical and thermal properties

	HTCS-230	SKD61
Mechanical properties		
Charpy un-notch toughness(J)	>450	180
Wear resistant	220	100
Density(g/cm ³)	7.88	7.8
Hardness(HRc)	54	54
Thermal properties		
Thermal conductivity (W/m.K)(20℃)	47	21
Max conductivity(W/m.K)	55	27
Thermal diffusivity (mm ² /s)(20℃)	12.2	5.96
Max diffusivity(mm ² /s)	13.5	6.25
Coefficient of linear thermal expansion(10 ⁻⁶ /K)	12.7	12.6
Heat capacity (J/kg.K)(20℃)	486	460

Pin-on-disc 시험을 통해 요구되어지는 내충격성과 내마모성을 보여주고 있다. Fig. 5에서 보여지는 바와 같이, 기존 상용 소재는 최소 요구되는 내충격성 40J 이하에 위치하는데 반해, HWS 경우 약 150J의 내충격성을 보여주고 있다. 또한 우수한 내마모성을 가지기 때문에 반복적 대량 생산에도 안정적인 품질을 기대할 수 있다.

3. 실제 금형 제작 및 열변형 측정

본 내용을 검증하기 위하여 축소 금형이 설계되었고, 열처리 전후의 변형을 측정해 보았다. 축소 금형은 HTCS-230 소재를 사용하여, MBR UPR LWR(Membrane Upper) 부품 가공에 사용되는 핫프레스 금형을 대상으로 삼았다. 본 연구에서는 실험 금형의 비용 및 열처리로의 제한 등을 고려하여 실제 금형의 사이즈에 비해 25% 크기로 축소(200mmX100mmX60mm)하여 진행하였다. Fig. 6에서는 실험에 사용된 금형의 사진을 보여주고 있다. Fig. 6의 금형 부품은 HTCS-230(고열전도도 핫스탬 평용 금형소재)로 가공되었으며, 기존 핫 프레스 포밍에 사용되던 SKD61에 비해 열전도도가 매우 우수한 소재이다. 또한 저온 열처리가 가능하기 때문에 금형의 열처리 후 변형량이 매우 작다. 제공된

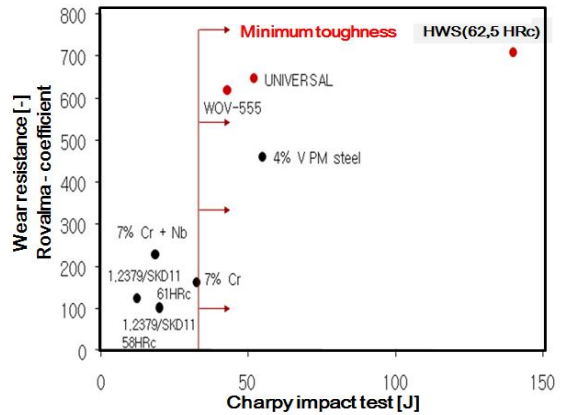


Fig. 5 Result from Pin-on-disk test on martensite structured steel



Fig. 6 MBR upper mold after heat treatment

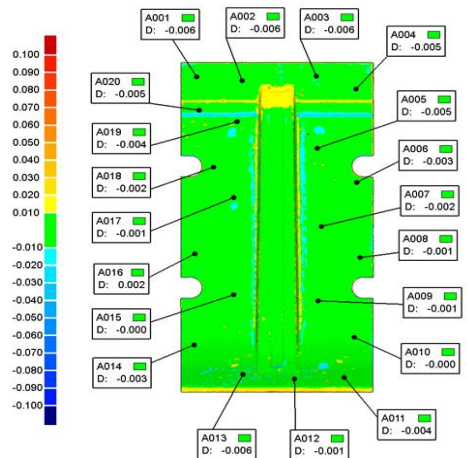


Fig. 7 Displacement after heat treatment

HTC-230의 특성은 기존 금형 소재의 특성과 비교하여 Table 1에 정리하였다. HRC 경도에 있어 열처리 전에는 37HRC이고 열처리 후에는 50-52로 HRC 값이 측정 되었다. Table 1에서 보여지는바와 같이 기계적, 열적 물성이 측정되었다. 열처리 시 표준 열처리 조건에 따라서 590℃ 3.5시간으로 열처리를 수행하였다. HTCS-230 소재의 경우, SKD6 금형에 비해 냉각 시간이 약 2초 정도 단축되었다.

열처리 전과 열처리 후의 3차원 변위를 3D 스캐너를 통해 측정하였다 (Fig. 7). 3차원 스캔 측정 장비로는 GOM社(Germany) ATOS TRIPLE SCAN 8M이 사용되었다^[8]. 금형 표면에 대해서 대부분 열전달이 잘되어 대부분은 열처리 이후에도 변위가 발생하지 않았지만, 모서리부분과 좁은 돌출부위에서는 최대 +/- 0.01mm의 변형이 발생하였다. 실제 양산 금형에서는 이와 같이 국부 열변형이 발생하는 위치를 판단하고 적절한 열처리 조건을 선택하여 열처리를 수행해야 할 것으로 판단된다. 또한 정밀도가 필요한 부품이라면 금형 형상 자체에서 열변형을 고려하여 잔류응력을 고려한 예측 설계를 할 필요도 있다.

4. 결 론

핫 프레스 포밍을 위해 개발된 (HTCS, HWS) 금형강에 대한 열전도도 및 내충격성 등을 기존 산업현장에서 사용하던 SKD6 금형 소재와 비교분석 하고, 실제 양산 제품의 축소 금형을 제작하여 열처리 전후의 열변형량을 측정하고 그 실험 결과를 정리하였다.

핫 프레스 포밍을 위해 개발된 고열도성의 금형소재(HTCS)의 경우 기존 열간 금형에 사용되는 SKD6 금형 소재에 비해 열전도성이 향상되었기 때문에, 생산 사이클 타임이 감소되어 원가 경쟁력이 향상될 것으로 판단되며, 고인성 금형 소재(HWS)의 경우는 약 2배 이상의 인성 및 마모량 향상으로 금형 파손과 금형 마모를 감소시켜 금형의 사용 가능한 수명을 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다.

REFERENCES

1. Lenze, F. J., Bian, J. and Sikora, S., "Einsatz pressgehärteter Stähle im Karosseriebau : Stand und Trends der Entwicklung", Erlanger Workshop Warmblechumformung, 2007.
2. Altan, T., "Hot-stamping Boron-alloyed Steels for Automotive Parts Part I : Process Methods and Uses", Stamping Journal, Vol. 18, pp. 40-41, 2006.
3. Karbasian, H. and Tekkaya, A. E., "A Review on Hot Stamping", Journal of Materials Processing Technology, Vol. 210, No. 15, pp. 2103-2118, 2010.
4. Kim, N., Kwon, K., and Kang, C., "The Study of Mechanical Property and Micro structural Evolution for 22MnB5 during Hot Stamping according to Cooling Condition", KSME Spring Conference, pp. 78-83, 2009.
5. Chae, M. S., Lee, G. D., Suh, Y. S., Lee, K. H., and Kim, Y. S., "Mechanical and Forming Characteristics of High-Strength Boron-Alloyed Steel with Hot Forming", Transactions of Materials Processing, Vol. 18, No. 3, pp. 236-244, 2009.
6. Lee, S. Y., Lee, K., Lim, Y. H., and 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.
7. Kim, J., Hong, S., Lee, J., "Study on Life Evaluation of Die Casting Mold and Selection of Mold Material", Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 12, No. 3, pp. 7-12, 2013.
8. GOM, ATOS Professional User's Manual, GOM mbH, 2014.