

비도금 핫스탬핑용 보론강판의 분위기 산소량에 따른 산화층 분석

이지호¹ · 최태훈² · 송정한² · 배기현^{2,*}

Oxide Layer Analysis of Uncoated Boron Steel Sheet for Hot Stamping According to the Atmosphere Oxygen Content

J. H. Lee, T. H. Choi, J. H. Song, and G. H. Bae

(Received May 16, 2023 / Revised May 16, 2023 / Accepted May 24, 2023)

Abstract

As the supply of eco-friendly vehicles increases, the application rate of hot stamping components is rising to reduce vehicle weight and improve safety. Although Al-Si coated steel sheets are commonly used in hot stamping processes, their manufacturing costs are elevated due to process patents and royalties. Various hot stamping studies have been conducted to reduce these production costs. In this study, we derived a process control method for suppressing the oxide layer of hot stamping parts using uncoated boron steel sheets. Firstly, hat-shaped parts were hot stamped under atmospheric conditions to analyze the tendency of oxide layer formation by location. Then, the Gleeble system was used to observe oxide layer formation based on oxygen content under various atmospheric conditions. Finally, the oxide layer thickness was quantitatively measured using SEM images.

Keywords: Hot stamping, Un-coated boron steel sheet, Un-coated 22MnB5, Oxide layer, Atmospheric control

1. 서론

최근 글로벌 자동차 시장은 탄소배출량 감축을 위하여 친환경차로 전환되고 있다. 친환경차는 고출력 배터리 탑재로 인하여, 주행거리 향상을 위한 차량경량화와 승객 및 배터리 보호를 위한 충돌성능 확보가 필수적이다. 이를 위하여 친환경차 차체의 핫스탬핑 부품 적용 비율은 지속 증가하고 있다[1].

핫스탬핑 부품은 대표적으로 22MnB5, 27MnCrB5, 37MnB5 등[2] 경화능이 우수한 보론강판[3]을 사용한다. 이때 소재를 약 900°C 이상의 고온으로 가열 후 성형-냉각하는 과정에서 표면 품질을 확보하기 위하여 Al-Si 도금된 보론강판을 주로 사용한다[4]. Al-Si 도금 보론강판은 표면의 산화층 및 탈탄층 형성을 방지 할 수 있다는 장점이 있는 반면, 원소재

및 핫스탬핑 제조공정 관련 특허[5] 로열티로 인한 높은 소재 원가로 부품 제조비용이 증가하는 단점이 있다. 이를 극복하기 위하여 비도금 보론강판을 이용한 핫스탬핑 부품 개발이 진행되고 있으나, 부품 제조원가 확보를 위하여 샷피닝 추가공정 생략이 가능한 수준의 표면품질을 확보할 수 있는 핫스탬핑 공정기술 연구가 필요한 상황이다.

본 논문에서는 22MnB5 비도금 보론 강판의 핫스탬핑 온도이력 조건에서 산소량에 따른 산화층 발생을 정량적으로 분석한다.

우선 모자형 모사시편의 핫스탬핑 성형시험을 통하여 대기 조건에서 형상 위치별 산화층 발생 특성을 분석한다. 이후 글리블 시험장비를 이용하여 산소량 비율에 따른 산화층 두께를 정량적으로 측정한다. 이를 통하여 산소량 분위기 제어에 따른 비도금 핫스탬핑 강판의 산화층 억제 방법을 제시한다. 마지막으로 시편의 경도 측정을 통하여 비도금 핫스탬핑 소재의 부품 강도 확보에 이상이 없음을 확인한다.

1. 한국생산기술연구원 뿌리기술연구소, 연구원

2. 한국생산기술연구원 뿌리기술연구소, 수석연구원

*Corresponding Author: Korea Institute of Industrial Technology, Incheon Regional Division, E-mail: baegh@kitech.re.kr

ORCID: 0000-0002-0015-4742



Fig. 1 Hat-type hot stamping test with un-coated boron steel sheet

2. 대기조건 모사부품 성형시험

비도금 보론강판 22MnB5 1.5t 소재를 이용하여 단면이 모자형인 모사부품 핫스탬핑 시험을 진행하였다. 소재는 100 x 250 mm 크기로 절단하여 부품 성형시험용 시편을 준비하였으며, 1000 °C 이상의 가열이 가능한 접촉식 가열로를 950°C로 가열한 후 시편을 10분간 가열하여 오스테나이트화하였다. 이후 C타입 200톤 서보프레스에 설치된 핫스탬핑용 모사부품 금형에 5초 이내로 이송한 후 부품 성형을 수행하였다. 핫스탬핑 금형 내에서 냉각채널이 설치되어 있으며, 칠러를 이용하여 냉각수를 순환하는 방식으로 금형을 냉각한다. 성형공정 후에는 소재 충분한 냉각을 위하여 1분간 유지시간을 부여하였다. 모자형 핫스탬핑 모사부품의 핫스탬핑 주요 장비 및 이를 이용한 부품성형 공정을 Fig. 1에 도시하였다.

대기조건에서 부품 산화층 발생 특성을 분석하기 위하여 Fig. 2와 같이 Top, Wall, Flange 3가지 위치에서 샘플을 채취하고 마운팅한 후 2400방 사포를 활용하여 연마한 후, Quanta 200F 주사전자현미경(SEM, Scanning Electron Microscope)으로 이미지를 촬영하였다. 이때 3회의 반복측정에 따른 산화층 두께의 정량적 측정 결과를 Table 1에 제시하였다. Top에서는 금형과의 간섭 없이 발생한 산화층이 그대로 남게 되어 약 27 μm의 두꺼운 산화층이 관찰된다. Wall과 Flange에서는 각각 금형과의 접촉 및 압축에 의하여 10 μm 이하의 비교적 얇은 산화층이 관찰된

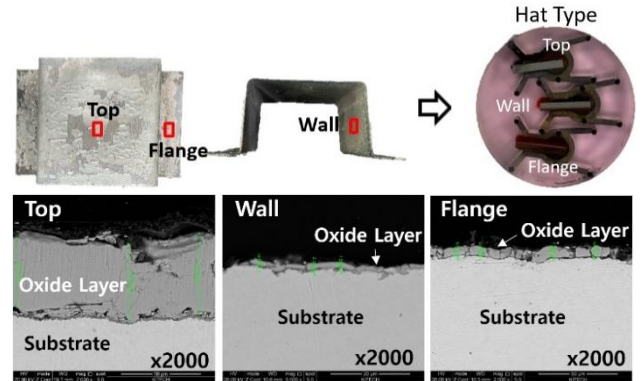


Fig. 2 Investigation of the oxide layer at various positions of hat-type specimen

Table 1 Oxide layer thickness at various positions of hat-type specimen

Position	Thickness [μ m]	Average [μ m]
Top	24.75	27.13
	21.13	
	35.50	
Wall	7.88	9.50
	8.39	
	12.25	
Flange	8.16	7.55
	7.84	
	6.66	

다. 이와 같이 실부품 성형 시에도 소재와 금형간의 간섭 및 접촉 특성에 따라 산화층 두께에 차이가 발생할 것으로 예상되며, 후속 조립공정 시에도 이와 같이 특성을 고려한 점용접 위치 선정이 필요할 것으로 판단된다.

3. 분위기 제어 산화층 발생 시험

3.1 시험 장비 및 온도제어 조건

분위기 제어 실험에 사용된 장비는 저항가열을 통해 온도 이력을 정밀하게 제어할 수 있는 Gleeble 3500 System을 사용하였다. 이때 시험부에 설치된 챔버를 이용하여 진공도 제어가 가능하므로 원하는 산소량 조건에서의 산화층 발생 시험이 가능하다. 시편 체결용 그림은 열전도도를 고려하여 동 재질의 Gleeble 규격 그림을 사용하였다. 시험에 사용된



Fig. 3 Gleeble 3500 System for testing the oxide layer thickness of un-coated boron steel sheet

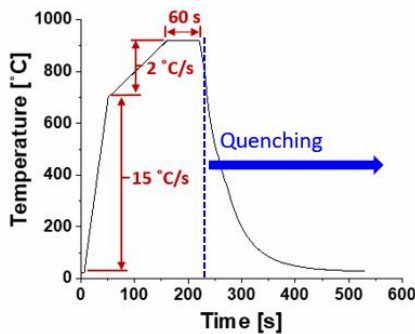


Fig. 4 Gleeble test condition to describe the temperature history during the hot stamping process

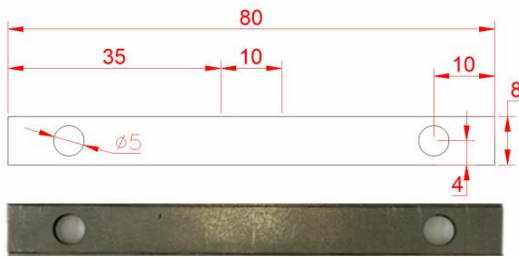


Fig. 5 Bar-type Gleeble specimen for securing the sufficient quenching speed to obtain full martensite micro structure

Gleeble 3500 시스템을 Fig. 3에 도시하였다.

온도제어 조건은 실제 핫스탬핑 공정의 온도 이력을 모사하여 Fig. 4와 같이 설정하였다. 큐리점을 고려하여 700 °C 전후로 승온속도를 15 °C/s, 2 °C/s로 결정하였다. 이후 소재 내부의 오스테나이트화를 위해 60초의 유지시간을 부여하였고, 이후 퀘칭을 진행하였다. 이때 전체 마르텐사이트 생성을 위한 70°C/s 이상의 퀘칭속도 확보를 위하여 Fig. 5와 같이 Lee 등[6]이 최적화한 사각형상 시편을 사용하였다.

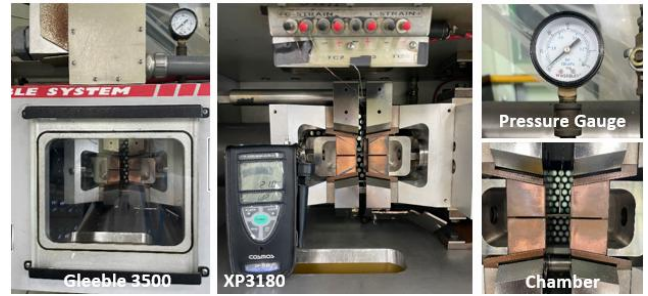


Fig. 6 Atmosphere oxygen control system in Gleeble 3500 system

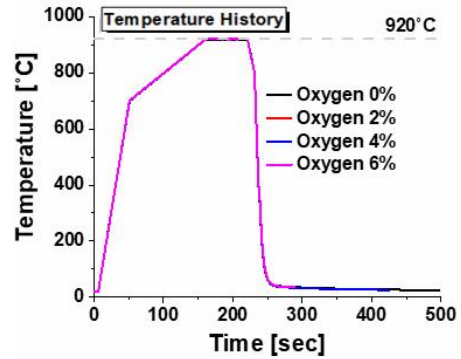


Fig. 7 Measured result of the temperature history during the Gleeble test in various oxygen contents

3.2 산화층 발생 시험

분위기 제어 조건에 따른 산화층 발생량을 관찰하기 위하여 산소량 0%(진공), 2%, 4%, 6% 조건에서 핫스탬핑 온도이력에 따른 글리블 시험을 진행하였다. 산소량 제어를 위하여 챔버의 진공도를 조절하였으며, 정확한 산소량 확인을 위하여 NEWCOSMOS사의 XP3180 산소측정기를 챔버 내부에 배치한 상태에서 실험을 진행하였다. 분위기제어를 위한 시험 관련 장치를 Fig. 6에 도시하였다.

글리블 시험장비의 온도제어 성능을 확인하기 위하여 Fig. 7과 같이 각 산소량 제어 조건에서의 온도 이력을 도시하였다. 이를 통하여 Fig. 4에서 설정한 온도이력이 매우 정확하게 재현되는 것을 확인할 수 있다. 퀘칭속도는 소재 이송 후 성형시작 온도와 마르텐사이트 변태온도를 고려하여 800 °C ~ 400 °C 구간에서의 평균치로 측정하였으며, 그 결과를 Table 2에 제시하였다. 모든 조건에서 퀘칭속도가 목표치인 70 °C/s 부근에서 정밀하게 제어되고 있음을 확인할 수 있다. 이를 통하여 Fig. 5와 같이 최적 설계된 시편이 목표 퀘칭속도 확보에 유효함을 검증하였다.

Table 2 Average quenching speed in the range from 800 °C ~ 400 °C in various atmospheric oxygen contents

Case	Quenching Speed [-°C/s]
Oxygen 0% (Vacuum)	70.14
Oxygen 2%	70.54
Oxygen 4%	70.07
Oxygen 6%	70.19
Average	70.24

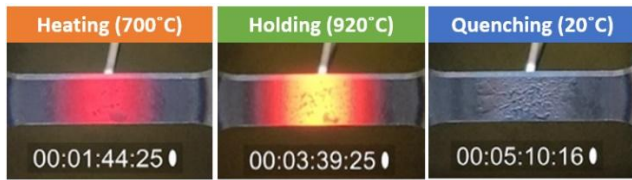


Fig. 8 Growth of the oxide layer during the hot stamping temperature history

4. 산화층 분석

4.1 산화층 발생 관찰

핫스탬핑 공정에서 온도이력에 따른 산화층 성장을 관찰하기 위하여 글리블 시험 시 주요 시점에서 시편 중앙부를 Fig. 8와 같이 촬영하였다. 시편의 가열 단계에서 약 700 °C ~ 920 °C의 온도구간에서 산화층이 발생하기 시작하였으며, 920 °C 온도유지 구간에서 산화층이 서서히 성장한다. 이후 쿨링 구간에서 산화층이 급격히 발생하는 것이 관찰되었다. 이와 같이 산화층은 쿨링 시점에서 급격히 성장하는 것으로 판단되며, 비도금강판의 산화층 억제를 위해서는 소재 이송이후 단계에서의 분위기 제어가 중요한 것을 확인할 수 있다. Fig. 9는 산소량 제어 조건에 따른 산화층 발생 시편을 비교한 것이다. 이와 같이 산소량이 증가함에 따라 산화층의 발생량이 점차 증가하는 것을 육안으로 관찰할 수 있다. 따라서 산소량에 따라 산화층의 발생량은 매우 민감하게 변화하는 것을 확인할 수 있다.

4.2 산화층 두께 분석

분위기 제어 조건에 따른 산화층 두께를 정량적으로 측정하기 위하여 Fig. 10에서 제시한 사각 시편 중심부로부터 15 mm 길이의 샘플을 채취한 후 단면

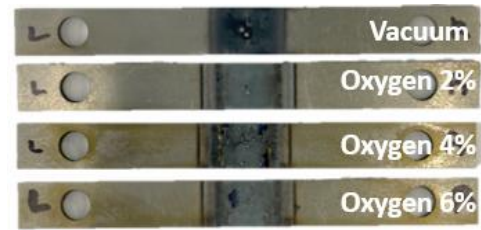


Fig. 9 Investigation of the oxide layer of Gleeble specimens after the heat treatment according to the atmosphere oxygen content

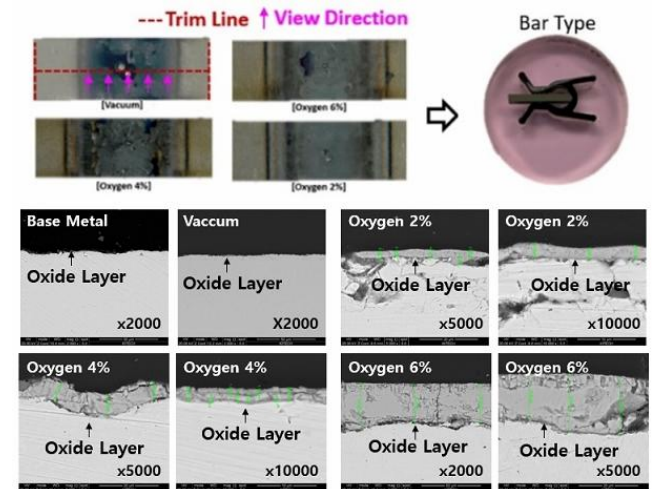


Fig. 10 Investigation of the oxide layer according to the atmosphere oxygen content

의 주사전자현미경(SEM) 이미지를 촬영하였다. 샘플의 마운팅, 연마 등의 조건은 2절에 제시한 모사부품의 샘플 준비 조건과 동일하다. Fig. 10에 제시한 바와 같이 산소량이 증가할 때 4% 조건까지는 산화층 두께가 서서히 증가하다가 6%에서는 산화층 두께가 급격히 증가하여 Table 3에 제시한 바와 같이 대기 조건 모사형 시편의 Top 위치와 유사한 수준으로 산화층이 발생하는 것을 확인할 수 있다. 이때 진공 조건에서의 산화층은 핫스탬핑 열처리 이전에 원소재 상태에서 미소하게 존재하고 있던 산화막으로 예측된다. 통상적으로 비도금 핫스탬핑 부품의 조립, 도금 등 후공정 불량방지를 위해서는 진공상태와 유사한 수준의 산화층 억제가 필요하다. 따라서 본 시험결과 기준으로 핫스탬핑 성형부품의 양호한 표면품질 확보를 위해서는 2~4% 범위 이내의 산소량 제어가 필수적일 것으로 판단된다.

추가로 비도금 핫스탬핑 강판의 인장강도를 간접

Table 3 Oxide layer thickness according to the atmospheric oxygen content

Case	Thickness [μ m]	Average [μ m]
Base Metal	1.89	1.51
	1.21	
	1.43	
Oxygen 21% (Hat-type, Top)	24.75	27.13
	21.13	
	35.50	
Oxygen 6%	20.10	23.70
	32.50	
	18.50	
Oxygen 4%	7.341	7.011
	7.350	
	6.342	
Oxygen 2%	2.36	2.25
	1.91	
	2.49	
Oxygen 0% (Vacuum)	1.68	1.60
	1.52	
	-	

Table 4 Measured Result of Vickers Hardness

Case	Vickers Hardness [Hv]		Average [Hv]
	Maximum	Minimum	
Al- Si Coated	501	477	485
Un-Coated Hat Type (Top)	520	489	501
Un-Coated Hat Type (Wall)	527	511	521
Un-Coated Hat Type (Flange)	527	507	518
Oxygen 6%	477	460	469
Oxygen 4%	507	465	496
Oxygen 2%	507	477	490
Oxygen 0%	500	471	484

적으로 확인하기 위하여 경도 측정을 실시하였다. 경도 측정을 위하여 SHIMAZU HMV-2R 장비를 사용하였으며, 980.7 mN 하중으로 10초의 유지시간을 부가하여 1 mm 간격으로 6회 측정하였다. 경도 측정 방법은 비커스 경도 시험법 ISO6507을 참고하여 측정하였다. Table 4는 산소량에 따른 경도 측정 결과

를 제시한 것이다. Karbasian 등[5]은 22MnB5 소재가 1.5GPa의 인장강도에 대응하는 경도가 약 470Hv 이상 수준임을 제시한 바 있다. 실험된 Al-Si 코팅 보론 강판의 평균 경도값 수준도 유사하게 나타났으며 모든 산소량 제어 조건에서 비도금 강판의 열처리 후 경도가 기준치를 만족하므로 비도금 강판 적용 핫스탬핑 부품의 1.5 GPa 인장강도 확보에는 문제가 없을 것으로 판단된다.

5. 결론

본 연구에서는 비도금 22MnB5 1.5t 보론강판을 이용하여 산소량 분위기 제어에 따른 산화층 발생을 정량적으로 분석하였다.

(1) 모자형 모사부품 성형시험을 통하여 금형과의 접촉조건에 따라 위치별로 산화층 두께가 상이할 수 있음을 확인하였다.

(2) 글리블 시험장비를 이용하여 비도금 핫스탬핑용 강판의 산화층 분석을 위한 온도이력, 산소량 등의 시험 조건을 정밀하게 구현하였다.

(3) 승온 과정에서 산화층이 서서히 생성되기 시작하며, 퀘칭 과정에서 산화층이 급격히 성장하는 것을 관찰하였다.

(4) 비도금 핫스탬핑 부품의 산화층 억제를 위해서는 산소량 2~4% 수준의 제어가 필요하며, 6% 이상에서는 대기 조건과 유사한 수준의 산화층이 발생하였다.

(5) 비도금 핫스탬핑 강판을 이용한 핫스탬핑 부품 제작 시 분위기 제어에 따른 소재 물성 저하는 없을 것으로 예상된다.

후 기

본 논문은 산업통상자원부 소재부품기술개발사업 ‘친환경차용 비도금 초고강도강판 열간 프레스 성형 및 부품화 기술 개발(KM-22-0242)’의 지원으로 수행한 연구입니다.

REFERENCES

- [1] Chantzis, D., Liu, X., Politis, D. J., El Fakir, O., Chua, T. Y., Shi, Z., & Wang, L., 2020, Review on additive manufacturing of tooling for hot stamping, Int. J. of

- Adv. Mfr. Technol., Vol. 109, pp. 87-107,
<https://doi.org/10.1007/s00170-020-05622-1>
- [2] GÜLER, Hande; ERTAN, Rukiye; ÖZCAN, Reşat, 2013, Characteristics of 30MnB5 boron steel at elevated temperatures, Mater. Sci. Eng., Vol. 578, pp. 417-421, <https://doi.org/10.1016/j.msea.2013.04.116>
- [3] J. Wilsius, P. Hein, and R. Kefferstein, 2006, Status and Future Trends of Hot Stamping of Usibor 1500 P, Proc. 1st Erlangener Workshop Warmblechumformung, pp. 82-101
- [4] H. Karbasian, A.E. Tekkaya, 2010, A review on hot stamping, J. Mater. Process. Technol. Vol. 210.15, pp. 2103-2118,
<https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2010.07.019>
- [5] K. Steinhoff, 2010, Press Hardening - From Ultra-High-Strength Steel to Body-In-White Application, Proc. 1st Int. Semin. Hot Sheet Met. Form. High-Performance Steel, pp. 153-168.
- [6] J. H. Lee, J. H. Song, G. H. Bae., 2022, A Study on Quenching Speed Prediction Method of Specimen for Evaluating the Oxide Layer of Uncoated Boron Steel Sheet. Trans. Mater. Process., Vol. 31(1), pp. 17-22,
<https://doi.org/10.5228/KSTP.2022.31.1.17>