

1-Piece 알루미늄 도어 인너 냉간-열간 복합 성형공정 개발

남성우¹, 배기현^{2, #}

Development of the Hybrid Cold-Hot Stamping Process for the 1-Piece Aluminum Door Inner Part

S. W. Nam, G. H. Bae

(Received August 30, 2021 / Revised September 27, 2021 / Accepted September 29, 2021)

Abstract

Aluminum alloy sheet is being applied to automobiles continuously for the purpose of reducing car body weight. However, due to low formability, there's a limit to application of products with a deep forming depth such as door inner parts. Therefore, the difficult-to-form parts are mainly segmented formed then joined together, which is also disadvantageous as it increases the cost of manufacturing. This study proposes a hybrid cold-hot stamping method for the 1-piece door inner part to reduce cost. To design the stamping process, numerical simulation method is established by using the temperature-dependent mechanical properties of AA6016. The formability according to the hybrid cold-hot stamping method is evaluated using numerical analysis. The suitability of the proposed stamping method is then verified through the stamping tryout.

Keywords : Aluminum alloy sheet, Hybrid Cold-Hot Stamping, Door Inner, Numerical Simulation

1. 서론

연비 및 주행거리 향상을 위한 차량경량화 대책으로 국내외 고급 차량을 중심으로 알루미늄 도어 부품들이 확대 적용되고 있다. 하지만 알루미늄 합금의 낮은 성형성(Formability)으로 인하여 도어 인너(Door Inner)와 같이 성형 깊이가 깊은 부품은 Fig. 1 과 같이 2, 3개로 부품으로 분할하여 성형하고 재결합하여 완제품을 제작하게 된다. 이로 인하여 공정 수 증가, 소재수율 저하, 조립/설비 투자비용 증대 등으로 인하여 부품 제조 단가가 상승하는 단점이 있다. 이와 같은 단점을 극복하기 위하여 최근 알루미늄 도어 인너 부품 일체화 성형기술 요구가 확대되고 있다[1-6]. 이와 같이 부품 일체화에 따른 1-Piece 도어 인너 제조기술을 확보할 경우, 기존 대비

부품 제조 단가를 현저히 낮출 수 있으므로 알루미늄 합금 판재의 도어 인너 확대 적용을 위한 핵심 기술로 활용할 수 있을 것이다.

본 논문에서는 알루미늄 도어 부품 일체화를 위하여 냉간-열간 복합 성형공법을 제안한다. 성형공정 설계를 위하여 온도에 따른 인장물성 및 성형한계

Car	AUDI A8	INFINITI 37
Shape		
Structure	2-piece	3-piece
Material	Outer : AA6014 1.0t Inner : AA6016 1.2/1.7t	Outer : AA6xxx 1.1t Inner : AA5182 2.3/1.2/1.6t

Fig. 1 Aluminum door modules with the segmented door inner part

1. 대우공업 기술연구소, 과장

2. 한국생산기술연구원 뿌리기술연구소, 선임연구원

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

ORCID : http://orcid.org/0000-0002-0015-4742

도(Forming Limit Diagram) 평가를 수행하고, 냉간-열간 성형공정 수치해석 기법을 정립한다. 구성된 수치해석 기법을 활용하여 냉간-열간복합 성형공정에 따른 성형성을 확인한다. 최종적으로 냉간-열간 복합 성형공법을 적용한 시제품 제작하고, 제안한 성형기법을 통한 1-Piece 타입 일체형 도어 인너의 알루미늄 합금 판재 양산 가능성을 검증한다.

2. 도어 인너 부품 일체화

본 연구에서는 알루미늄 도어 인너 제조단가 절감을 위한 성형공법을 제안하기 위하여 1-Piece 도어 인너 부품을 대상 제품으로 선정하였다. Fig. 2는 제품 분할 방식에 따른 도어 인너 부품의 설계를 보여준다. 현재 양산차량의 도어는 성형성 및 강성 확보를 위하여 주로 2/3-Piece 타입으로 제작되고 있다. 일반적으로 알루미늄 합금 판재의 낮은 성형성을 극복하기 위하여 열간 성형공정이 시도되고 있으나, Fig. 3 과 같이 고온에서의 높은 마찰로 인한 소재 유입특성 저하로 심각한 크랙(Crack)이 발생하게 된다. 따라서 부품일체화를 위해서는 기존 성형한계를 극복할 수 있는 성형공정 설계가 필요하다.

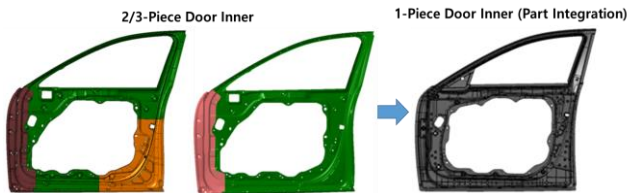


Fig. 2 Part integration of an aluminum door inner



Fig. 3 Formability problem of AA6016 hot stamping (Heating temp. : 530 °C)

3. 물성 평가

3.1 상온 물성 평가

도어 인너 냉간 성형공정 해석을 위하여 AA6016-O 1.2t 의 인장 및 벌지시험을 수행하였다. 인장시험은 MTS810 에서 수행하였으며, ARAMIS 영상분석(Digital Image Correlation)을 통하여 변형률 이력을 측정하였다. 시편은 압연 방향으로부터 45도 간격으로 채취하였다. 시편규격은 ASTM-E8M Subsize 이며, 시험 속도는 0.001 /s 이다. 대변형 벌지시험은 만능 성형성 평가장치에서 수행하였으며, 편치속도는 10 mm/s 로 선정하였다. 인장시험과 동일하게 ARAMIS 영상분석을 통하여 변형률을 측정하였다. Fig. 4 는 인장시험 및 유압식 벌지시험용 장치 및 영상분석 결과를 제시한 것이다. 두 가지 시험장치를 활용하여 Fig. 5 와 같이 시험조건별 응력-변형률 선도를 획득하였으며, Table 1 과 같이 성형해석용 이방성 물성을 확보하였다. 이때 항복비는 소성일의 원리를 이용하여 산출하였다.

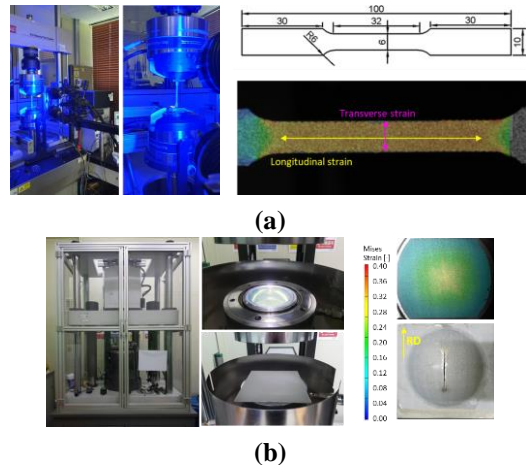


Fig. 4 Material testing system and strain distribution analysis: (a) Tension; (b) Bulge

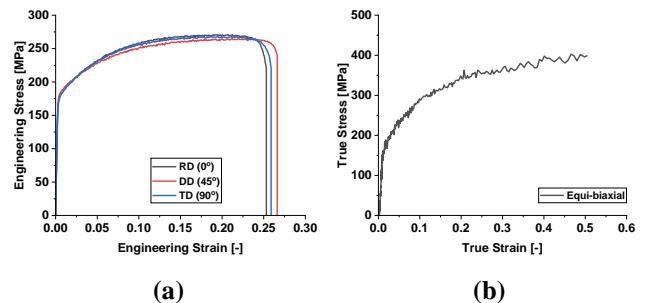


Fig. 5 Material test results: (a) Tension; (b) Bulge

Table 1 Anisotropic material properties for the sheet metal cold forming analysis

Parameter	RD (ref.)	DD	TD	Bulge
Yield ratio	1.000	0.985	0.973	0.994
r-value	0.741	0.295	1.138	0.946

3.2 고온 인장시험

도어 인너 열간 성형공정 해석을 위하여 AA6016-O 1.2t 의 고온 인장물성 평가를 수행하였다. 열간성형 시에 승온-용체화-급냉-성형 구간의 온도이력을 고려하여 Fig. 6 과 같이 온도 및 변형률속도에 따른 인장 시험 조건을 제시하였다. 고온 인장시험은 글리블 (Gleeble) 3500 을 이용하여 수행하였으며, 전기저항발열을 이용하여 매우 정밀한 온도이력 제어가 가능하다. 인장시험은 Fig. 7 과 같이 글리블 시험용 도그본 (dob-bone) 규격시편을 사용하였다. 이와 같은 시험조건에 따라 온도 및 변형률 속도에 따른 인장시험을 수행하였으며, Fig. 8 에 인장시험 결과를 제시하였다. 온도가 증가함에 따라 강도가 지속적으로 저하되는 것을 확인할 수 있으며, 변형률 속도 증가에 따라 연신률이 상승하는 경향을 확인할 수 있다. 따라서 성형온도와 성형속도가 높을 경우, 연신율 측면에서의 장점을 확보할 수 있을 것으로 기대된다.

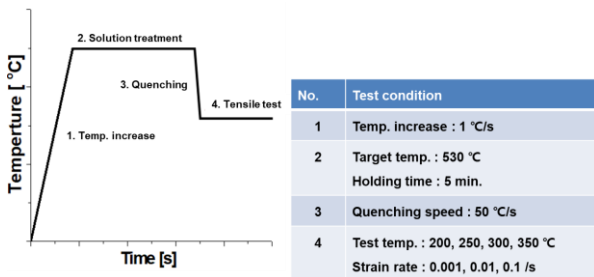


Fig. 6 Temperature history and tensile test condition of AA6016 in the hot stamping process of door inner

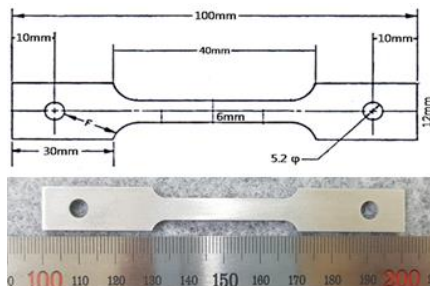


Fig. 7 Tensile test specimen for the Gleeble system

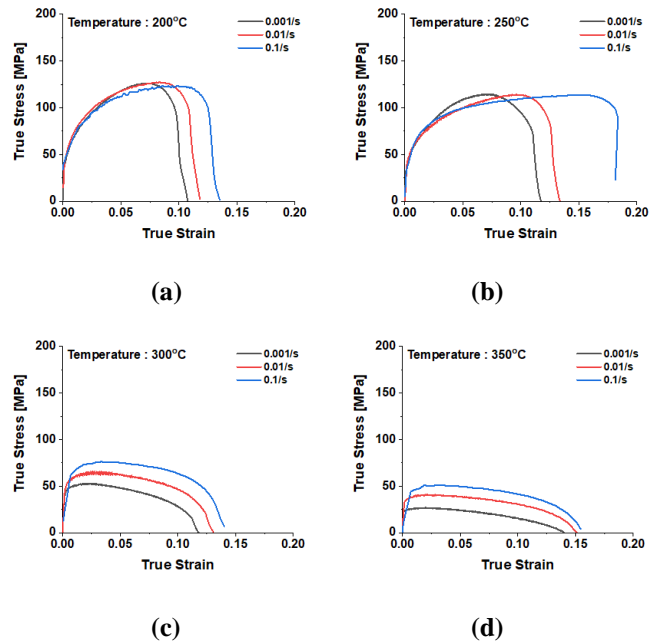


Fig. 8 Tensile test result according to the temperature and the strain rate: (a) 200 °C; (b) 250 °C; (c) 300 °C; (d) 350 °C

3.3 성형한계도 시험

온도에 따른 성형성 판정을 위하여 고온 성형한계도 평가를 수행하였다. 성형한계도 시험은 ISO 규격 시편을 사용하였으며, Gun 타입 그리드 분석장치를 이용하여 시험 후 변형률을 측정하였다. 카트리지 히터(Cartridge Heater)를 이용하여 금형내에서 시편을 접촉식 가열하였으며, 소재 목표온도 도달 후 5분의 유지시간 이후 시험을 수행하였다. Fig. 9는 성형성 평가 장비 및 온도에 따른 성형한계선 측정 결과를 제시한 것이다. 이와 같이 온도가 증가함에 따라 AA6016-O 의 성형한계가 급격히 상승하는 것을 확인할 수 있다.

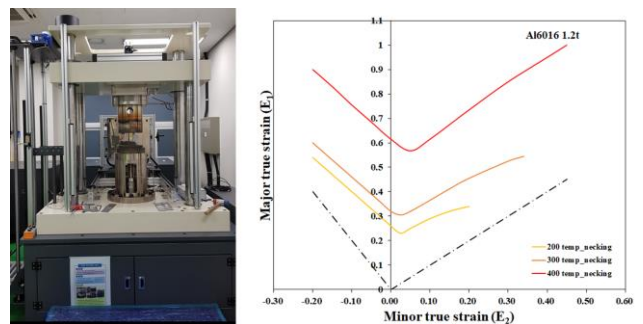


Fig. 9 FLD test result according to the temperature

4. 냉간-열간 복합성형 공법 설계

4.1 성형공정 설계

Fig. 3 에 제시한 바와 같이 열간성형 단일공정에서 발생하는 성형성 문제를 개선하기 위하여 냉간-열간 복합 성형공법을 제안하였다. 1 공정에서 냉간 성형성을 확보하기 위하여 Fig. 10 과 같이 곡률부를 완화하고 드로잉 성형으로 전체 형상을 확보하였다. 이후 2 공정에서 성형품의 열처리 후 고온 스트레칭성을 활용하여 최종 곡률부 형상을 성형하였다. 이와 같이 1-Piece 도어 인너 부품 성형을 위한 냉간-열간 2 공정 복합성형 공법을 제안하였으며, 수치해석을 통하여 제안한 성형공정의 유효성을 확인하였다.

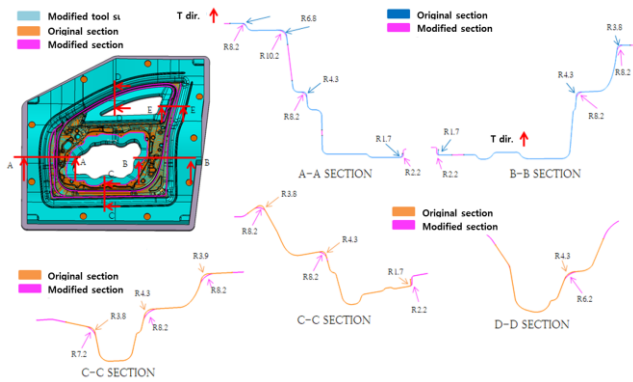


Fig. 10 Modification of the die corner radius to secure the formability in the cold stamping process

4.2 성형공정 해석

앞서 제안한 냉간-열간 복합성형 공정에 대한 성형해석을 수행하고, 성형한계도를 바탕으로 각 공정에서의 성형성 확보 가능성을 검토하였다. 프레스 성형공정 해석은 Auroform R8 을 이용하여 수행하였다. 성형해석용 물성모델은 구분선형모델(Piecewise Linear Model)을 이용한 온도 의존 경화모델과 Barlat2000 항복함수로 구성하였다. 이때 항복함수의 m 값은 8 로 선정하였다. 성형한계선 또한 온도 의존 구분선형모델을 이용하여 구성하였다. 상온 이방성 물성은 Table 1 로 적용하였으며, 고온 이방성 물성은 등방경화로 가정하였다. Coulomb 식을 이용하여 냉간/열간 성형공정의 마찰을 고려하였으며, 마찰계수(Coefficient of Friction)는 AA6xxx 고온 마찰평가

관련 문헌을 참고하여 각각 0.15, 0.90 으로 설정하였다[7]. Fig. 3 의 열간성형 T/O 시에 소재의 소재 유입이 거의 발생하지 않는 것을 통하여 0.9 의 마찰계수 적용이 타당한 것으로 판단하였다. 열간성형 시 소재 가열온도는 530 °C, 이송시간은 11 초로 가정하였다. Fig. 11 은 냉간 성형해석 모델을 제시한 것이다. 이후 열간 성형해석 시에는 Fig. 10 에서 제시한 최종 곡률부 형상을 적용하였다. Fig. 12 은 냉간/열간 성형공정의 성형해석 결과를 제시한 것이다. 해석결과를 통하여 냉간-열간 복합 성형공정 시 양호한 성형성 확보가 가능할 것으로 판단된다.

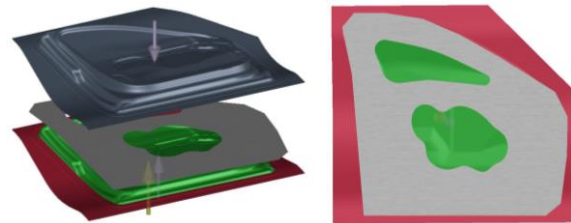


Fig. 11 Tool setup for the cold stamping process

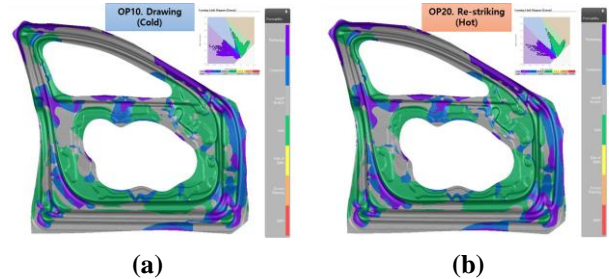


Fig. 12 Formability evaluation of the cold-hot stamped door inner part: (a) OP10 - Drawing (Cold stamping with trimming); (b) OP20 - Re-striking (Hot stamping)

5. 성형공정 검증

실제 성형품의 성형성을 확인함으로써 제안한 성형공법을 검증하기 위하여 공정별 시작금형을 제작하고 1-piece 도어 인너 성형 트라이아웃(Tryout)을 수행하였다. 1 차 드로잉(Drawing) 냉간성형을 통해 예비형상을 문제없이 확보하였으며, 불필요한 영역을 레이저 트리밍(Trimming)한 후 2 차 리스트라이킹(Restriking) 열간성형을 통해 최종 곡률부 형상을 확보하였다. 이와 같이 냉간-열간 복합성형 공정을 이용하여 1-Piece 도어 인너 일체화 부품 성형성 확

보가 가능한 것을 확인하였다. 본 논문에서 제안한 냉간-열간 복합 성형공법을 활용할 경우, 도어 인너 부품과 같이 성형 깊이가 깊은 난성형성 차체 부품에도 알루미늄 합금 판재를 적절히 적용함으로써 차량경량화에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

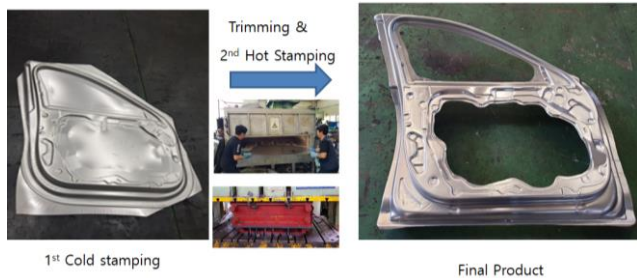


Fig. 13 Tryout result of 1-Piece door inner part using the hybrid cold-hot stamping process

6. 결론

본 논문에서는 1-Piece 알루미늄 도어 인너 부품의 일체화 성형을 위하여 냉간-열간 복합 성형공법을 제안하였다.

(1) AA6016-O 1.2t 소재의 상온/고온 물성평가를 이용하여 온도효과를 고려한 물성모델 및 수치해석 모델을 구성하였다.

(2) 단일 열간성형 공정의 성형성 문제를 극복하기 위하여 냉간 드로잉-열간 스트레칭 복합 성형공법을 제안하고, 수치해석을 통하여 성형성 확보 가능성을 확인하였다.

(3) 시제품 성형을 통하여 냉간-열간 복합 성형공법의 유효성을 검증하였으며, 알루미늄 합금 판재의 난성형성 극복을 위한 성형공법으로 활용 가능성을 확인하였다.

후 기

본 논문은 한국생산기술연구원 기관주요사업 "Ad-d-on 모듈 탑재를 통한 지능형 뿌리공정 기술개발 (KITECH EO-21-0009)"와 "초고강도 경량차체 부품 적용 레이저 응용 가변 물성 구현 스탬핑 기술 개발(KITECH JB-21-0007)"의 지원으로 수행한 연구입니다.

REFERENCES

- [1] J. Mendiguren, E. S. D. Argandona, L. Galdos, 2016, Hot Stamping of AA7075 Aluminum Sheets, IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng., Vol. 159, pp. 012026. doi:10.1088/1757-899X/159/1/012026
- [2] G. D. Amours, A. Ilinich, 2018, Development of a Material Model for AA7075 Aluminum Hot Stamping, IOP Conf. Ser.: J. Phys., Vol. 1063, pp. 012033. doi:10.1088/1742-6596/1063/1/012033
- [3] Y. Liu, Z. Zhu, Z. Wang, B. Zhu, Y. Wang, Y. Zhang, 2017, Formability and Lubrication of a B-pillar in Hot Stamping with 6061 and 7075 Aluminum Alloy Sheets, Procedia Eng., Vol. 207, pp. 723~728. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.10.819>
- [4] P. F. Bariani, S. Bruschi, A. Ghiotti, F. Michieletto, 2013, Hot Stamping of AA5083 Aluminum Alloy Sheets, CIRP Annals – Manuf. Technol., Vol. 62, pp. 251~254. <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2013.03.050>
- [5] J.S. Jin, X.Y. Wang, H.E. Hu, J.C. Xia, 2012, High-Temperature Deformation Behavior and Processing Map of 7050 Aluminum Alloy, Met. Mater. Int., Vol. 18, No. 1, pp. 69-75. <https://doi.org/10.1007/s12540-012-0009-y>
- [6] J. Lee, H.J. Bong, D. Kim, Y.S. Lee, Y. Choi, M.G. Lee, 2020, Mechanical Properties and Formability of Heat-Treated 7000-Series High-Strength Aluminum Alloy: Experiments and Finite Element Modeling, Met. Mater. Int., Vol. 26, pp. 682-694. <https://doi.org/10.1007/s12540-019-00353-9>
- [7] Y. Liu, B. Zhu, K. Wang, S. Li, Y. Zhang, 2020, Friction Behaviors of 6061 Aluminum Alloy Sheets in Hot Stamping Under Dry and Lubricated Conditions Based on Hot Strip Drawing Test, Tribol. Int., Vol. 151, pp. 106504. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2020.106504>