

박판 금속의 엠보싱을 위한 냉간 성형 연구

이광석^{1, #}, 김상우¹, 신민철², 이정환¹

A Study on the Cold Rolling for the Embossing of Metal Sheet

K.S. Lee, S.W. Kim, M.C. Shin and J.H. Lee

Abstract

When the metal sheet is subjected to the housing surface for fitting and insulating from harsh surroundings like fluid ingression or hot steam, both strength and formability have to be equally considered. In this regard, the main aim of this study is to design an apparatus of cost-effectively producing flexible fluted band with increasing the formability of embossed stainless steel sheet, which is utilized as a thermal insulation metal for housing ship engine exhauster. Designed to fabricate a maximum sheet width of 700 mm, this new apparatus consists of upper roll made of hard urethane and the female-etched lower roll made of SKD11, have a producing capacity up to 1-meter homogeneously embossed sheet for just 60 seconds. This machine is devised for the maximum operating efficiency from original sheet handling to machine setting. The embossing properties are characterized by 3-D profiling. After embossing plain metal sheet, both yield strength and elongation properties are improved simultaneously, indicating the effectiveness of the newly designed apparatus.

Key Words: Cold rolling, Embossing, Stainless steel sheet

1. 서론

엔진 배기 엘로우, 배기 매니폴더 등 각종 배기 계통에서 발생하는 고온은 엔진 room 내부 온도를 상승시켜 거주 종사원의 작업환경 악화의 주요인으로 작용하고 있다. 박판 금속에 상온에서 표면 엠보싱 가공을 하여 넓은 표면적을 형성하는 연구는 고온 고내식 배기 계통의 극한 환경에서의 금속 박판 단열재료의 적용 가능성 때문에 주목 받고 있다. 또한 기존 유리섬유 같은 전형적인 단열재를 일정한 형태로 고정시키면서 열 방출을 돕는 일종의 고정체로서의 역할 또한 수행할 수 있다. 엠보싱 공정은 냉간 압연에 의한 strain hardening 효과를 야기한다는 점에서 또한 장점을 가지나, 부품 형상 가공 이후의 표면 엠보싱, 즉 금속 박판을 히트 쉴드와 같은 제품으로 소성

가공하는 금형에 직접 음각을 형성하는 것은 다 품종 소량 생산 특유의 고비용 저 효율 공정이라는 측면에서 단점이 있다 [1]. 또한 금속 박판의 성형성이 두께 감소에 따라 더불어 감소한다는 보고 또한 존재한다 [2]. 이러한 관점에서, 균일한 엠보싱 형상을 광폭의 금속 박판에 경제적으로 냉간 가공하면서 동시에 기존 금속 박판의 성형성을 유지할 수 있는 공정 개발은 필수적으로 수반되어야 한다. 그러나 현재 0.1 mm 급 금속 박판 fluted band 의 적용 범위가 넓고 수요가 증가하고 있음에도 국내 개발이 전무하고 전량 수입에 의존하고 있는 상황이다. 본 연구에서는 중간재 개념의 광폭 금속 박판의 연속 엠보싱 생산 장비를 개발하고, 효율적인 엠보싱 성형이 금속 박판의 성형성과 기계적 물성에 미치는 영향을 확인하고자 하였다.

1. 한국기계연구원 부설 재료연구소 융합공정연구본부

2. ㈜장성EPS

E-mail: ksl1784@kims.re.kr

2. 실험 방법

앞서 언급한 냉간 롤링에 의한 금속 박판의 엠보싱 성형 장치는 그림 1 과 같다. 장치 디자인에서 주로 고려한 사항은 SKD11 하부 롤에 음극 식각을 수행할 경우, 상부 롤까지 같은 형상으로 양극 식각하는 방법은 경제적으로나 공정 편의상으로도 비효율적인 관계로 상부 롤로는 쇼어 A 경도값이 98 로 상당히 높은 우레탄 롤을 이용했다는 점이다. 최근 폴리머나 글라스 나노임프린팅 공정에서 주목 받고 있는 roll-to-roll 성형의 경우 roll 온도를 올리거나, printing 롤에 hard phase 를 코팅하는 등 장치 구축에 많은 비용이 소요되나 [3], 본 연구에서는 상부 백업 - 하부 프린팅 롤로 구성된 단일 유닛만으로 어떠한 코팅, 승온이나 윤활 공정 없는 단순 엠보싱 성형 장치만으로 전체 박판 냉간 성형 공정을 구현하고자 하였다. 본 연구에서 사용한 냉간 성형 이전의 광폭 소재는 일본 Kobe steel 에서 생산된 두께 0.1 mm, 폭 500 mm 의 SUS310S 로, 화학 성분은 표 1 과 같다.



Fig. 1. The feature of the upper/lower rolls and entire cold-rolling apparatus for embossing thin metal sheet.

Table 1. Chemical composition of the thin SUS310S sheet used in this study.

Fe	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr
Bal.	0.04	0.71	1.00	0.02	0.001	19.2	24.8

엠보싱 성형이 기계적 성질에 미치는 영향을 확인하기 위해 KS B 0802 에 의거하여 정형 시험편인 5 호 시험편 규격(표점 거리 50 mm, 너비 25 mm)를 방전 가공으로 제작하여 변위 제어 방식으로 단축 인장 시험을 수행하였다. 박판 경도 측정을 위해 triangular Berkovich 다이아몬드 인텐터를 부착한 MTS Nanoindenter XP 를 이용한 나노압입 시험 또한 수행하였는데, 변위 제어 모드로 깊이 1000 nm 전후까지 각 15 회씩 측정하여 평균값을 얻었다. 압입 형상은 고분해능의 주사탐침현미경 (Scanning Probe Microscope, SPM)을 이용하여 관찰하였으며, 3-D 스캔을 통해 최대 엠보싱 깊이를 측정하고 엠보싱 형상의 균일성 등을 확인하였다.

3. 실험 결과

3.1 엠보싱 성형된 SUS310S 박판의 기계적 성질

그림 2(a)는 엠보싱 성형 전후의 공칭 응력-변형률 곡선이다. 엠보싱 성형된 시편의 최대 강도는 성형 이전의 그것과 거의 차이가 없었으나, 항복 강도 및 연신율은 각각 23 MPa 및 4 % 증가하였는데, 이는 엠보싱 경계 영역에서의 thinning 현상과 관계 있는 것으로 판단된다. SUS 박판의 냉간 가공이 기계적 강도를 희생하지 않으면서 성형성을 확보할 수 있음을 의미한다. 파단 이후 시편의 형상을 그림 2(b)로부터 확인해 보면, 소성 변형이 집중적으로 일어난 시편의 중앙 부분에는 더 이상 엠보싱 형상이 없음을 확인할 수 있다.

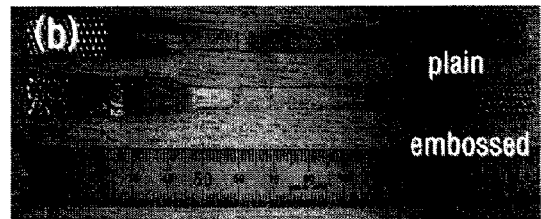
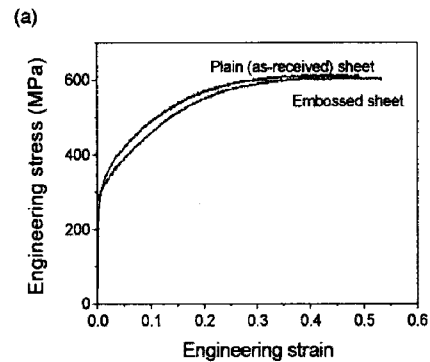


Fig. 2. Results of tensile test: (a) Engineering stress-strain curves and (b) macroscopic feature of both plain and embossed SUS310S metal sheet.

인장시 엠보싱 경계 영역에서의 단면적 감소로 인한 응력값 감소 현상을 고려, 엠보싱 성형 전후 시편의 나노압입시험을 통해 기계적 물성을 재차 확인한 결과 경도 및 modulus 값 모두 embossing 성형 이후 다소 증가하는 현상을 보이는데, 이는 냉간 엠보싱시 소성 변형으로부터 야기되는 변형 경화(strain hardening)의 영향으로 판단된다. 이와 같은 일련의 상은 기계적 물성은 표 2 와 같이 정리할 수 있다.

Table 2. Summarized mechanical properties of both plain and embossed sheet.

	Plain sheet	Embossed sheet
Yield strength (MPa)	265	288
Maximum strength (MPa)	605	603
Elongation (%)	49.1	53.4
Hardness (GPa)	2.34±0.08	2.46±0.14
Modulus (GPa)	160.4±5.0	155.8±3.8

나노압입시험으로부터 얻어낸 변위-응력 곡선은 Fig. 3의 좌측과 같다. 엠보싱 성형된 시편이 성형 이전 시편에 비해 다소 큰 기울기 값을 보이는데, 이 또한 변형 경화 영향으로 해석할 수 있다. 더불어 변위-하중 곡선상에 어떠한 불연속적인 증분 구간, 즉 serration 이 관찰되지 않았는데, 이는 그림 4의 SPM 압입 관찰 결과, embossing 성형 여부와 관계 없이 압입 경계 주변에 어떠한 크랙이나 file-up 현상이 존재하지 않는 신뢰성 있는 정도값 측정이 가능했음을 의미한다. 또한 Fig. 3의 오른쪽은 엠보싱 성형된 인장 시험편의 파단면 관찰 결과로, 연성 파괴에서 주로 관찰되는 딴플 파괴(dimple fracture)의 파단면을 보여준다.

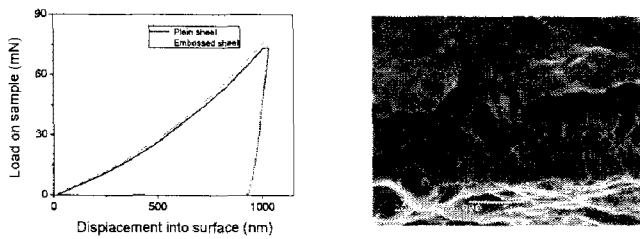


Fig. 3. (Left) Displacement-load curves obtained by nanoindentation tests and (right) tensile fracture surface of embossed SUS310S sheet observed by SEM.

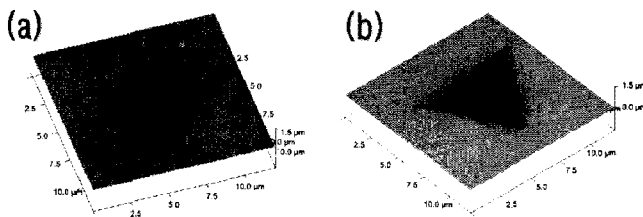


Fig. 4. Scanning probe microscopy topologies on (a) plain and (b) embossed metal sheet.

3.2 SUS310S의 엠보싱 성형특성 분석

Fig. 5(a)는 그림 1의 박판 냉간 엠보싱 성형 장치를 이용해 폭 50 cm, 두께 0.1 mm의 SUS310S 박판에 냉간 엠보싱 성형을 수행하는 공정 사진이고, Fig. 5(b)는 최종 권취된 광폭 엠보싱 박판을 형상을 보여준다. 냉간 압연시 두께 수직 방향의 압력은 본 연구에서 수행한 single-stage 엠보싱 성형성을 결정하는 주인자로, 상부 우레탄 롤이 수평 방향으로 고른 압하량을 유지해야만 균일한 압연 방향으로의 엠보싱 성형량을 얻을 수 있다. 엠보싱 성형 정밀도를 확인하기 위해 그림 5(b)의 센터 부위를 가로 및 세로 10 cm 크기로 절단하여, 3-D profiling을 수행한 결과는 그림 6과 같다. 국부적인 두께 감소 현상 없이 전체적으로 균일한 두께를 가진 가운데 z 축 방향으로의 엠보싱 성형 최대 깊이 차이는 0.224 mm로, 0.1 mm 두께의 SUS310S 금속 박판을 적용해서 엔진 배기 엘보우 등의 고온 배기가스 관로에서 열을 효율적으로 발생하기 위한 최소 엠보싱 깊이인 0.1 mm 이상을 확보할 수 있었다.

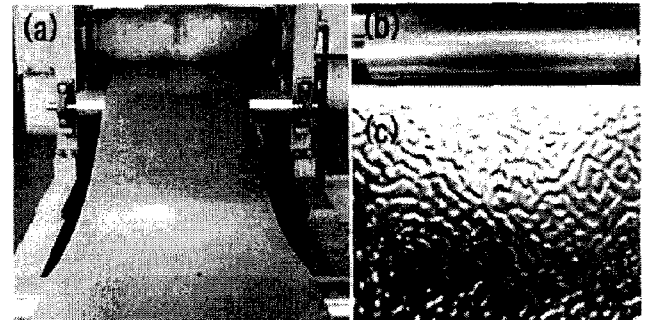
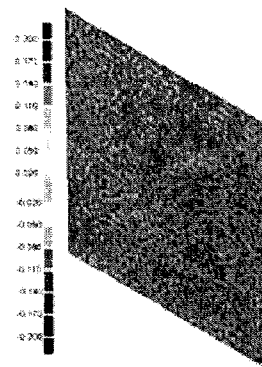


Fig. 5. (a) Cold-rolling process, (b) reeling embossed sheet and (c) embossing feature on the sheet surface.



Deviation	mm
Max. dev. +	0.103
Max. dev. -	-0.119
Average +/-	0.024/ 0.027
Std. Dev.	0.030

Fig. 6. 3-D profiling of the center part of embossed sheet.

중간재로서의 균일하게 엠보싱 성형된 금속 박판은 현재 Fig. 7 과 같은 다양한 형상의 조선 디젤 엔진용 exhaust elbow 의 방열판으로 설드 가공되어 적용되고 있으며, 향후 특정 형상을 갖는 최종 설드 부품의 열 차폐 특성에 관한 연구를 진행하고자 한다.

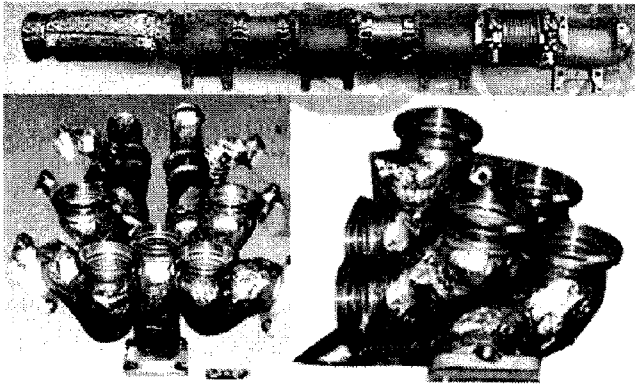


Fig. 7. Various shield shapes formed from embossed metal sheet.

4. 결론

본 연구에서는 0.1 mm 두께의 SUS310S 박판에 단일 유닛 roll-to-roll 공정을 통해 균일한 성형 깊이 분포를 갖는 광폭 냉간 엠보싱 성형 장치를 구현하고, 엠보싱 성형된 금속 박판의 3-D profiling 및 기계적 물성 분석을 통해 다음 결론을 얻었다.

(1) SUS310S 박판 냉간 엠보싱 성형된 시편은 성형 이전 시편에 비해 최대인장강도를 제외한 항복강도, 연신율, 경도 등 모든 상은 기계적 성질이 다소 개선되는 것으로 확인되었는데, 이는 변형 경화의 영향으로 판단된다.

(2) 특히 연신율의 증가는 엠보싱 성형 경계면에서의 두께 감소가 야기하는 네킹의 영향이 없음을 간접적으로 증명하고, 따라서 갑작스런 파단이나 크랙, 혹은 국부 변형을 의미하는 pile-up 현상 없이 53 %의 연신 이후 덩플 파단까지 안정적으로 진행됨을 확인할 수 있다.

(3) 권취된 중간재로서의 엠보싱 금속 박판을 센터부위에서 절취, 3-D profiling 을 수행한 결과 엠보싱 성형 최대 깊이 차이는 0.224 mm 로, 엔진 배기 엘보우 등의 고온 배기가스 관로에서 열을 효율적으로 발생하기 위한 최소 엠보싱 깊이인 0.1 mm 이상을 확보, 최종 열 차폐 설드를 제작하기 위한 최소한의 조건을 만족하였다.

후 기

본 연구 결과는 중소기업청에서 시행한 구매조건부 신제품개발사업(S1024455) 및 한국기계연구원 부설 재료연구소의 2008 년 일반사업인 “조선해양 소재 연계 공정 기반 구축”의 지원으로 수행된 결과의 일부로, 이에 감사 드립니다.

참 고 문 헌

- [1] C.S. Namaco Jr., T. Iizuka, K. Narita, N. Takakura, and K. Yamaguchi, *Journal of Materials Processing Technology*, **187-188** 202 (2007).
- [2] K. Yamaguchi, S. Nishimura, N. Takakura, M. Fukada, *Processing of the Fourth International Conference on Production Engineering*, 155 (1980).
- [3] T. Makela, T. Haatainen, P. Majander, J. Ahopelto and V. Lambertini, *Japanese Journal of Applied Physics*, **47** 5142 (2008)