

SS400 후판소재의 전단가공 시 전단각의 영향에 대한 연구

The study on the effect of shear angle in shearing process with SS400

*김효준¹, #류호연², 김덕규³

*H. J. Kim¹, #H. Y. Ryu(hyryu@kitech.re.kr)², D.G.Kim³

¹ 부산대학교 기계공학부, ² 한국생산기술연구원, ³ 대신강업

Key words : Shearing process, Shear angle, Shear load, Ductile fracture criterion, Element kill method

1. 서론

전 세계적인 환경·에너지문제로 인한 자동차 경량화 추세에 따라 배기계 모듈 전체 중량의 상당 부분을 차지하는 배기 매니폴드가 기존 주철(鑄鐵) 소재의 주조(casting) 제품에서 25% 이상 경량화된 프레스 제품으로 대체되어 대형 고급·대형차종에서부터 중·소형차종으로 적용이 확대되고 있다.

Fig. 1의 배기 매니폴드 플랜지의 형상은 두께가 12mm이며 엔진의 흡배기 구멍 4개와 볼트 체결구멍 7개가 있다. 배기 매니폴드 플랜지의 가공공정은 외관형상의 절삭가공(평면가공), 배기 구멍 드릴가공, 체결구멍의 드릴 및 좌면가공으로 이루어진다. 생산성 향상을 위해 기존 기계가공을 프레스공정으로 변경할 경우 두께가 12mm나 되는 후판소재의 전단가공을 위한 높은 전단하중(shear load)이 요구되며 이를 해결하기 위해 전단각(shear angle)에 의한 전단하중의 최소화 방안이 널리 사용되고 있다.

본 연구에서는 SS400 후판소재의 전단가공 시 전단각에 의한 전단하중의 감소를 유한요소법으로 예측하여 금형설계에 반영하였다.

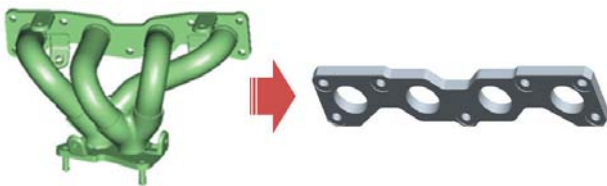


Fig. 1 Exhaust manifold flange of SS400

전단가공에서 소재의 변형 메커니즘에 관한 연구 내용은 크게 실험적 연구[1-3]와 해석적 연구[4]로 나뉘어진다. 실험에 의한 연구는 많은 시간과 비용을 초래하며, 재료 내부의 응력 분포, 변형률 분포, 전단가공의 변형 메커니즘 등을 정확히 파악하는 것은 상당히 어렵다. 이에 본 연구에서는 유한요소법으로 변형소재의 파괴를 예측하기 위하여 연성파괴기준과 요소제거기법을 적용하였다.

2. 유한 요소 해석

2.1 연성파괴기준과 요소제거기법

유한요소법을 이용하여 전단가공 시 나타나는 전단밴드의 형성에 의한 파괴를 구현하기 위해 연성파괴기준(Ductile fracture criterion)과 요소제거기법(Element kill method)을 사용하였다.

전단가공 공정 동안에 일어나는 파괴를 예측하기 위해 다양한 하중 조건에 적용될 수 있고 실험적 접근 및 수치적 계산이 용이한 Cockcroft-Latham의 연성파괴기준을 이용하였다.

즉,

$$\int_0^{\bar{\epsilon}_f} \sigma^* d\bar{\epsilon} = C$$

여기서, $\bar{\epsilon}_f$ 는 파괴 시 유효 변형률, $\bar{\epsilon}$ 는 유효 변형률, σ^* 는 주인장응력의 최대치이며, C 는 Cockcroft-Latham 상수이다.

위에서 언급한 재료 상수 C 값은 기존의 연구결과에서 제시하

였듯이 일반강일 경우 유효변형률이 2.0~3.2일 때 잘 일치한다고 한다[3].

전단가공 공정에서 전단면의 형성과정을 수치적으로 접근하기 위하여 어떤 특정 요소의 유효변형률의 값이 파괴기준에 도달하면 이 요소에 대하여 요소제거기법을 적용하였다.

이상에서 언급한 연성파괴기준과 요소제거기법을 이용하여 전단가공 공정을 시뮬레이션하기 위해 소성가공 전용 S/W인 DEFORM을 적용하였다.

2.2 전단각이 없는 경우 전단하중 예측

Fig. 2와 같이 전단각이 없는 경우 전단공정은 펀치가 하강하면서 소재와 다이(die)의 선접촉에 의해 전단가공 된다.

전단가공에 예상되는 전단하중 이론식은 다음과 같다.

$$P = L \times t \times \tau \times n$$

- 전단 길이(L) : 940.8 [mm]
- 두께(t) : 12 [mm]
- 전단강도(τ) : 인장강도(438MPa)×0.8 = 352 [MPa]
- 안전율(n) : 1.5
- ∴ 전단 하중(P) = 608 [ton]

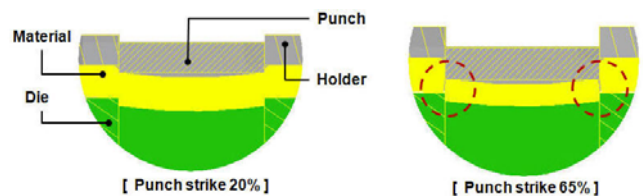


Fig. 2 Shearing process without shear angle

2.2 전단각이 있는 경우 전단하중 예측

Fig. 3과 같이 금형 다이부에 높이 3mm, 반경 150mm의 전단각을 설계한다. 전단각이 있는 경우 전단공정은 펀치가 하강하면서 전단각에 의한 소재와 다이의 점접촉에 의해 1차 전단가공 되고 순차적으로 나머지 부분이 가공된다.

전단가공에 예상되는 전단 하중 이론식은 다음과 같다.

$$P = K \times L \times t \times \tau \times n$$

여기서 K 는 보정계수로 0.2~0.4의 값을 가진다. 그러나 본 연구에서는 유한요소법을 통하여 전단하중을 예측하였다.

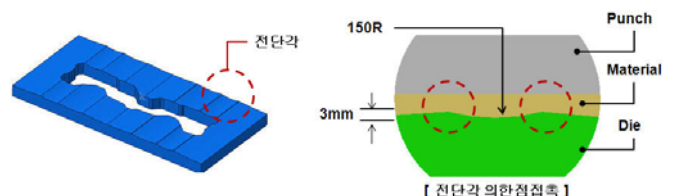


Fig. 3 Shearing process with shear angle

참고문헌

1. J.E.Biegel, Tool Mfg. Engr., 48, 5, p97, 1962
2. S. Jana et al., J. mat. proc. tech., 19, p55-72, 1989
3. 고대철, 김병민, 최재찬, "요소제거기법에 의한 관재 전단가공의 수치해석," 한국정밀공학회, 춘계학술대회논문집, pp. 191-195, 1996
4. 정성훈, 강정진, 오수익, "유한요소법을 이용한 전단 메커니즘에 관한 연구," 한국소성가공학회, 춘계학술대회논문집, pp. 211-223, 1995

연성파괴기준과 요소제거기법을 사용하여 유한요소해석을 수행하였고 Fig. 4와 같이 금형 및 펀치, 스트리퍼는 강체로 설정하고 소재의 재료물성치는 SS400의 인장시험에 나온 결과를 이용하였다. 펀치속도(v) = 100[mm/s], 마찰 상수(m) = 0.1로 설정하고 유한요소의 수는 약 120,000개 이다.

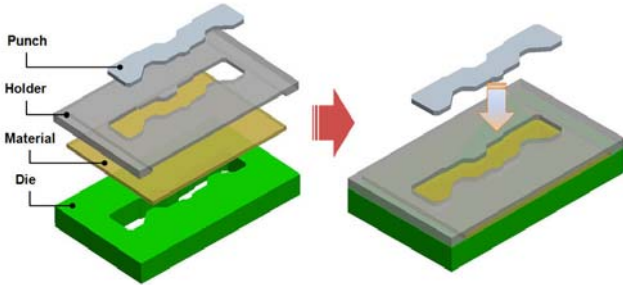


Fig. 4 3D design for finite element method

3. 결과

전단각의 유무에 따른 전단하중 변화의 해석결과를 Table 1에 나타내었다.

Table 1 Comparison of measured Shear load data

Analysis result	Without Shear angle	With Shear angle
Shear load	600t	420t
Shear angle	No	Yes

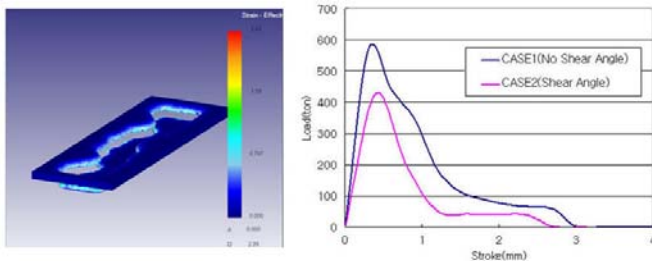


Fig. 5 Shear load by Finite element method

Case1은 전단각이 없는 경우의 해석결과 전단하중은 약 600[ton]이며 Case 2는 전단각이 있을 경우의 해석결과 전단하중은 약 420[ton]으로 계산되었다. 전단각이 있는 경우는 전단각이 없는 경우보다 전단하중이 약 24% 감소하였다. 그 결과를 Fig. 5에 나타내었다.

4. 결론

본 연구에서는 SS400 후판소재의 전단가공 시 전단각의 영향에 대한 유한요소해석을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- ① 전단각이 없는 경우 전단공정은 펀치가 하강하면서 소재와 다이의 선접촉에 의해 전단가공된다.
- ② 전단각이 있는 경우 전단공정은 펀치가 하강하면서 전단각에 의한 소재와 1차 전단가공 되고 순차적으로 나머지 부분이 가공된다.
- ③ 전단각이 없는 경우의 전단하중은 약 600[ton]이었으나 전단각이 있는 경우의 전단하중은 약 420[ton]으로 계산되어 약 24% 감소하였다.

후기

본 연구는 한국산업단지공단 현장맞춤형기술개발사업의 지원으로 이루어졌으며, 이에 관계자 분들께 감사드립니다.