

드럼브레이크 S/CAM 샤프트 단조 해석

김미애[†]·성백섭*·차용훈**

The Forging Analysis of S/CAM Shaft to the Drum Brake

Mi-Ae Kim , Back-Sub Sung ,Yong-Hoon Cha

Key Words: forging(단조), drum brake(드럼 브레이크), S-Cam shaft(S-Cam 축), commercial vehicle(상용차), effective Plastic strain(허용 소성), temperature behaviors(온도 거동)

Abstract

In the hot forging process, The forging defects that are caused by metal were strain, temperate, and inclusion. In this paper, the computer simulation analyzed the effective plastic strain and temperature behaviors. The quantitative analyses which proposed the effective mold design of S/CAM shaft was executed. The parameters of forging shape that affected on the optimize conditions that was calculated with simple equation were investigated. it is expected that the developed analysis model and design technique would greatly contribute to the drum brake optimal design considering temperature affected and material behaviors. This development could save more than 20% of production cost and reduced failure rate to more than 30%. By improving the life span of mold from 15,000 to 25,000, financial difficulty of company imposed on a mold manufacture could be overcome.

1. 서 론

최근의 자동차 산업은 경량화 및 생산 비용 절감을 목표로 다방면으로 경쟁적으로 이루어지고 있으며, 이의 강화를 위해 개발 기간의 단축으로 급속히 진전되고 있어 부품 제조업에서는 이러한 개발 스피드에 따라가는 것이 가장 중요한 과제가 되고 있다. 차량이 고속화됨에 따라 브레이크의 요구되는 성능은 더욱 많아지고 있다. 그러한 요구 성능의 증가와 더불어서 브레이크는 경량화, 저소음 등의 기술적 문제 등의 해결도 요구된다. 브레이크에는 드럼 브레이크(drum brake)와 디스크 브레이크(disc brake)로 크게 구분된다. 디

스크 브레이크는 승용차에서 주로 사용되며, 드럼 브레이크는 중, 대형 상용차량에서 사용된다. 디스크 브레이크는 회전하는 원형의 디스크를 패드(Pad)가 양쪽에서 밀착하여 제동력을 발생하는 구조이며, 드럼 브레이크는 밀폐형 내부 확장식(Internal expansion Type)으로 2개의 브레이크 슈(shoe)가 확장하여 드럼에 접촉함으로써 제동력을 발생한다.

디스크 브레이크는 회전하는 디스크가 대기와 접촉하게 되어있어 열방출성이 우수하며 제동 효율이 드럼브레이크에 비해 안정적이다. 하지만, 사용 차량에서는 큰 제동력을 필요함으로 드럼 브레이크가 상대적으로 국내에서는 많이 사용되고 있다.

상용차 브레이크 시스템의 S/CAM 샤프트 제품에 적용 생산하고 있다. 그러나 S/CAM 생산과정에서 여러 공정으로 인한 생산단가의 상승으로 경쟁력이 떨어지고 있다. 이에 기존 금형의 문제점을 파악하고, 생산 금형을 개발하고자, 컴퓨터 시뮬레이션을 실시하였으며, 개발된 금형을 이용

† 김미애, 조선대학교 기계공학과 대학원

E-mail : sbsung@Chosun.ac.kr

TEL : (062)230-7049 FAX : (062)230-7049

* 조선대학교 금속재료공학과

** 조선대학교 기계공학과

한 부품생산의 전 단계 과정을 위하여 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여, 제품의 정확한 성형상태를 예측하고, 열간단조 수치해석을 통하여 단조품의 온도 분포도와 응력 분포도를 분석하였다.

2. 수식화

2.1 유동응력의 수식화

단조 가공 시 하중은 $F = \bar{\sigma} \cdot (\mu) \cdot (c)$ 로 표현되는데 $\bar{\sigma}$ 는 유동응력이며 $f(\mu)$ 는 공구와 재료 표면에서의 마찰에 대한 표현이며 $g(c)$ 는 형상에 대한 항목이다. 유동응력은 온도 변형률속도 변형률의 함수인데 일반적으로 다음과 같은 형태로 표현된다.

$$\bar{\sigma} = K \bar{\epsilon}^n \dot{\epsilon}^m \quad (1)$$

여기서 n 은 가공경화지수 m 은 변형률속도 지수이다. 이때 변형속도가 유동응력에 미치는 영향을 살펴보면 실온에서 대부분의 금속은 m 의 값이 $0 \sim 0.03$ 으로 대단히 작다. 하지만 열간가공의 경우 m 의 값이 $0.1 \sim 0.3$ 까지 증가하며 반대로 n 값이 거의 0 으로 감소하므로 다음과 같은 형태로 표현할 수 있다.

$$\bar{\sigma} = K \dot{\epsilon}^m \quad (2)$$

대부분의 금속은 온도가 증가하면 가공경화 지수가 급격히 떨어지므로 일정한 변형률속도에서 측정된 유동응력과 인장강도가 감소한다. 그러나 이러한 감소가 연속적인 것이 아니고, 어떤 온도 범위에서는 유동응력이 온도에 따라 별로 변하지 않고 어떤 경우에는 온도의 상승에 따라 유동응력이 커지기도 한다. 유동응력의 온도의존성은 유동응력의 변형률속도의존성과 밀접한 관계가 있다. 변형률속도의 민감도가 유동응력에 미치는 영향은 온도상승이 유동응력에 미치는 효과와 같다. 따라서 단조하중을 구하기 위해서는 소재와 금형의 온도를 알아야 하고, 이온도에서의 유동응력과 변형률속도를 알아야 한다. 또한 플래시가 있는 경우에는 플래시의 폭과 길이도 알아야 한다.

하중을 구하는 방법에는 크게 두 가지로 나뉘는데 경험적인 방법과 해석적인 방법이 있다. 실험적인 방법은 단조작업 현장에서 실행된 작업의 자료 수치들을 같은 형상에 적용시켜서 이러한 수치들을 실험식으로 만든 방법이고, 해석적인 방법은 컴퓨터를 이용한 슬래브방법(Slab method)이다. 슬래브 방법의 경우 여러 가지 하중 계산식이 제안되었는데 그중 Von Mises 식과 Tresca 식이 가장 일반적이다.

Von Mises의식은

$$F = \bar{\sigma} \pi \left[\frac{a^2}{4} + \frac{d_c^3}{12\sqrt{3}s} + \frac{2}{3} \frac{\mu}{8s} (a^3 - d_c^3) \right] \quad (3)$$

이며 Tresca 식은

$$F = \bar{\sigma} \pi \left[\frac{a^2}{4} + \frac{d_c^3}{24s} + \frac{\mu}{12s} (a^3 - d_c^3) \right] \quad (4)$$

이다.

2.2 온도방정식의 유한요소 수식화

열평형방정식에서 유도된 온도방정식의 약적분형(Weak Integral Form)을 연속체를 n 개의 절점과 m 개의 요소로 이산화 시킨 계에 대하여 적용시키면 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$\int_v K_1 T_i \delta T_i dV + \int_v \rho c T \delta T dV - \int_v k^* \bar{\sigma} \bar{\epsilon} \delta T dV - \int_{s_q} q_a \delta T dS = 0 \quad (5)$$

이식을 형상함수를 이용하고 미소온도 변화 δT_B 를 소거하면 전 요소에 대한 계의 방정식(System of Equation)은 다음과 같이 정리할 수 있다.

$$\delta T_B \left[\int_{v^{(m)}} K_1 M M^T T dV + \int_{v^{(m)}} \rho c N N^T dV - \int_{v^{(m)}} k^* \bar{\sigma} \bar{\epsilon} N dV - \int_{s_q^{(m)}} q_a N dS \right] = 0$$

여기서 M 은 $N_{\alpha,i}$ 를 나타낸다. 위의 식을 간단히 벡터형으로 나타내면 다음과 같다.

$$KT + CT - Q - Q_n = 0 \quad (7)$$

여기서 Q_n 은 경계조건을 나타내는 열유동 벡터이며 아래의 식(13)으로 나타낼 수 있다.

$$Q_n = \int_{S_r} \sigma \epsilon (T_a^4 - T_s^4) NdS \quad (8)$$

$$+ \int_{S_c} h(T_a - T_s) NdS + \int_{S_i} h_{lub}(T_d - Tw) NdS - \int_{S_f} q_f NdS = 0$$

위의 식으로 전달되는 열유량을 통해 온도를 계산해 낼 수 있고, 이 계산된 온도를 통해 열간 접 소성 해석에 이용 한다.

3. 실험

3.1 실험준비

본 실험에 사용된 강은 S45C로 현재 S/CAM 샤프트 양산에 사용되는 강이다. 합금의 조성은 Table 1과 같다. Fig. 1에서와 같이 대형 상용차에 주로 사용되는 S/CAM 드럼 브레이크이 구조이며, S/CAM 드럼 브레이크는 회전하는 드럼, 실제 드럼과 마찰하는 라이닝(lining)이 부착된 슈, 챔버(chamber)로부터 발생한 공압으로 슈를 밀어주는 S/CAM, 라이닝의 간격을 조절하는 슬랙 어드저스터(slack adjuster) 등으로 구성되어 있다.

Table 1 Chemical composition of S45C steel used (wt.%)

C	Si	Mn	Cu	S	P
0.43	0.21	0.71	0.16	0.009	0.025

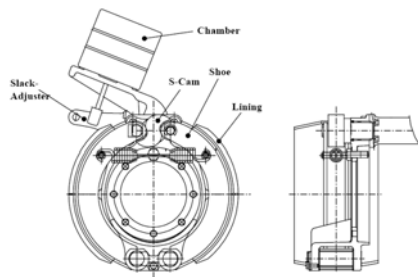


Fig. 1 Drum brake structure of internal expansion type

Fig. 2에서와 같이 S/CAM 샤프트 단조공정의 생산 프로세스이며, 소재입고에서 제품 출하까지 매우 많은 공정을 거쳐 제품이 생산되고 있다. 소재 입고 시 기계적 성질 및 화학적 성질 등의 영향이 품질에 매우 큰 영향이 미치고 있으며, 소재 절단 시에는 절단면과 절단면의 크랙이 발생하면 단조를 실시하더라도 제품에 하자가 발생한다. Fig. 3은 열간 단조 실험을 위하여 빌렛을 가열하는 고주파 가열 장치를 보여주고 있다.

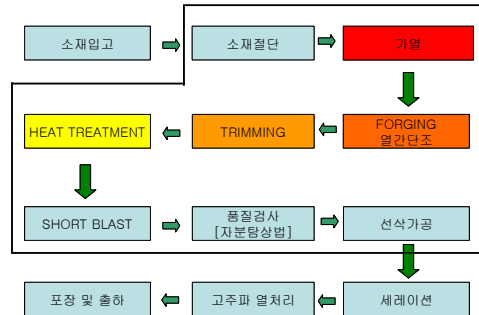


Fig. 2 Flow of forging process



Fig. 3 Output of heating billet

3.2 S/CAM 샤프트 해석

열간 단조 공정에서 가장 중요한 것은 소재가 가열되고, 단조금형 내에서 정확한 형상을 만드는 것이 가장 중요하며, 형상이 이루어지는 동안 온도변화와 그리고 형상을 이룰 때 가장 많이 영향을 끼치는 응력을 분석하는 것이 중요하다. 이를 분석하기 위하여 전산해석 프로그램인 Super forge2005를 이용하여 실시하였다.

Super forge2005는 단조 해석 프로그램 중에서도 유한체적법과 유한요소법의 두 가지 솔버를 기반으로 3차원 적인 소재의 형상 변화 및 금형의 응력 분포를 정확히 표현할 수 있어 소재에 따른 성형과정을 빠른 시간 내에 검토 할 수 있다.

해석을 수행하기 위하여 3차원 설계를 실시하였으며, Fig. 4는 상부 및 하부 금형을 이용한 S/CAM 샤프트 생산을 위한 열간 단조금형의 시뮬레이션을 나타낸 그림이다. 그림에서 알 수 있듯이 3차원 모델링화 하였으며, 이 모델링은 상부 금형과 하부 금형으로 나누어서 모델링을 하였다. 이에 따르는 열간 단조금형으로 생산되어질 상용차 브레이크 드럼 S/CAM 샤프트의 3차원 솔리드 모델링이다.

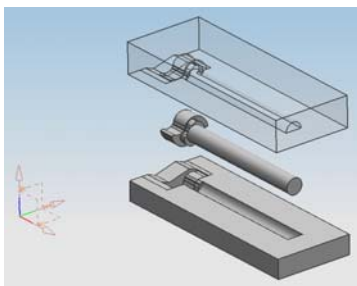


Fig. 4 S/CAM shaft forging setting

4. 결론

4.1 온도의 영향거동 해석

성형 공정 중에 겉 표면 온도 및 내부온도에 대한 분석을 위하여 온도의 영향거동에 대하여 분석하여야 한다. 열간단조 공정에서는 온도 해석이 매우 중요하며, 내부 온도의 변화로 인하여 잔류응력에 의한 수축과 그리고 결정 조직에 많은 영향을 주기 때문이다.

다음 그림은 S/CAM 샤프트 단조금형 시 내부 온도의 변화를 전산 해석하여 분석한 결과이며, Fig. 5는 공정이 10%가 이루어진 초기에 S/CAM 샤프트 겉 표면의 온도이다. 금형과 처음으로 접촉하는 부분은 소재의 온도가 미소하게 내려가는 것을 볼 수 있다. 하지만 내부 온도는 큰 변화가 없는 것으로 나타났으며, 이는 공정이 20%가 진행되어도 같은 결과를 얻었다.

Fig. 6은 공정 60% 온도변화를 보여주고 있으며, 처음 소재에 온도인 1200℃보다 약간은 높은 온도 1223℃정도에서 안정화되면서 성형이 이루어짐을 볼 수 있고 소재에 하부에서는 금형과의 접촉으로 성형이 이루어지면서 가압을 받기 시작하여 마찰에 따른 소재에 온도가 증가함을 볼 수 있다.



Fig. 5 Temperature of S/CAM shaft 10%

Fig. 7은 공정이 끝날 때의 온도 변화를 보여주고 있다. 100%공정이 끝났을 때 안정화를 찾아가는 것을 볼 수 있었다.

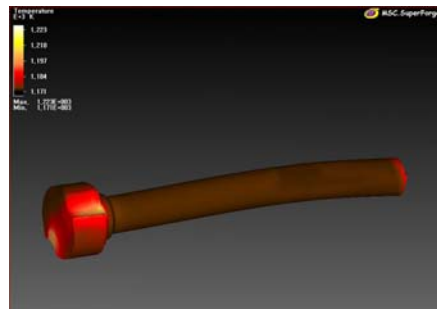


Fig. 6 Temperature of S/CAM shaft 60%

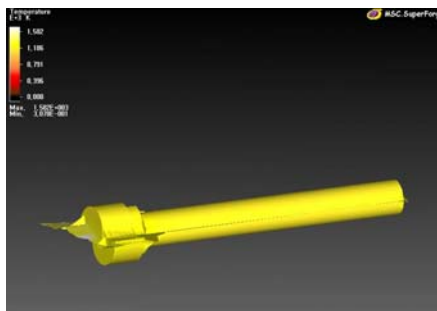


Fig. 7 Temperature of S/CAM shaft 100%

4.2 재료거동 해석

열간 단조에 따른 재료의 유동거동을 해석한 것으로 형상변화 관찰 및 불량 제품을 수정하기 위한 금형수정과정에서 유용하게 쓰이는 해석부분이다.

Fig. 8에서와 같이 공정 10%에서 부터 재료의 유동거동이 가장 활발히 이루어짐을 알 수 있으며, Fig. 9의 그림에서와 같이 공정 50%에서 물성 유동이 최대 9.299E-001, 최소 7.053E-002로 측정

되었으며, Fig. 10의 공정 60%에서 물성 유동이 최대 1.009E-000, 최소 5.469E-002로 측정 되어 급격히 감소함을 알 수 있었다. 이것은 소재의 형상이 어느 정도 잡혀져가는 과정과 빠르게 유동 거동이 둔화되는 현상을 관찰할 수 있었다.

Fig. 11은 공정 90%~100% 되어가는 공정이며 이때 재료유동거동이 증가되는 현상을 관찰할 수 있는데 이것은 단조가 완성되어지는 과정에 피팅으로 인한 결과로 해석되며 결국 제품의 품질에는 영향을 주지 않으며, 최종 공정단계에서 트림 금형에 의해서 제거되어지게 된다.

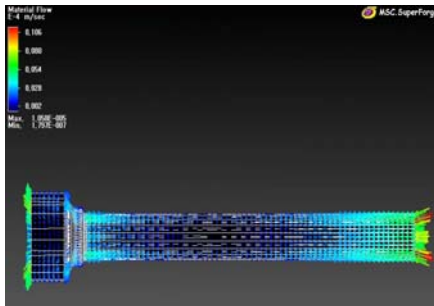


Fig. 8 Material flow of S/CAM shaft 10%

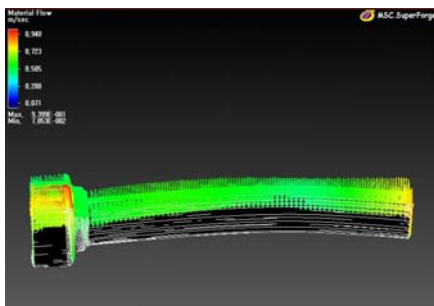


Fig. 9 Material flow of S/CAM shaft 50%



Fig. 10 Temperature of S/CAM shaft 60%

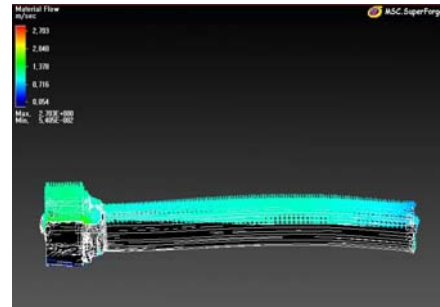


Fig. 11 Material flow of S/CAM shaft 90%

5. 결론

본 연구에서는 상용차 브레이크 드럼 시스템의 S-CAM 샤프트 캠부 전용 개발을 위하여 단조 금형에 따른 전산응용 프로그램을 이용하여 성형 해석을 실시하였다.

가압단조로 생산되는 S/CAM 샤프트를 이용하여 온도변화 및 소재 유동거동 해석을 실시하였으며, 해석 결과 하부 금형 보다 상부 금형에서 금형과에 접촉이 먼저 일어나고 공정에 80%가 진행되었을 때에는 성형에 필요한 금형과에 일치하는 상부와 하부 모두 일치가 일어나며 나머지 공정은 성형을 이루는 데 필요한 공정으로 분석되었다. 또한, 샤프트 길이가 다양한 특징을 가지고 있는 S/CAM 샤프트를 단일 금형으로 생산할 수 있도록 금형 개선을 통하여 하나의 금형으로 여러 종류의 S/CAM를 제작이 가능하였으며, SM45C 소재를 1100℃~1300℃ 가열한 후 열간 단조 방식을 이용하여 성형제품의 무결삭화 기술방식을 적용 할 수 있음을 본 연구를 통하여 알 수 있었다.

참고문헌

- (1) Jing Tao, Anzai Koichi, Niyama Eisuke, 1996, "Die life prediction in the die casting cycle simulation", *Proceedings of the 3rd Pacific Rim International Conference on Modeling of Casting and Solidification Processes*, p312 .
- (2) A.J.DAY, 1999,"A finite element approach to drum barake analysis.
- (3) S.Y.Kim, 1993, M. Phill, "Drum brake noise and bibration analysiss".
- (4) N. Rebelo, H. Rydstad and G. Schroder, 1980,

"Simulation of material flow in closed-die forging by model techniques and rigid-plastic FEM, in numerical method in industrial forming process", *Pineridge press, Swansea. U.K.* p.237~249.

(6) B. S. Sung , I. S. Kim, 2008, "The molding analysis of automobile parts using the die-casting system", *Jouranal of Materials Processing Technology*, p.635~639.