

## 비조질강의 냉간 성형공정에 따른 성형하중 및 금형응력 해석

이승헌\* · 김지훈\* · 박남기\* · 이영선\*\* · 서동우\*\* · 권용남\*\* · 이정환\*\*

### Forming load and stress analysis according to cold forming process of microalloyed forging steel

S.H.Lee, J.H.Kim, N.K.Park, Y.S.Lee, D.W.Suh, Y.N.Kwon and J.H.Lee

#### Abstract

The forming load and the stress applied to dies during cold forming of automotive part using microalloyed forging steel are examined with finite element analysis. The forming load and the stress applied to dies at each process step are investigated for two types of forming process. The changes in forming process significantly affect the variation of forming load and the stress at each process step, thus it is considered that the die life will be remarkably changed with the type of forming process, therefore optimal process design is necessary to obtain an increased the die life and to make the die life uniform at each process step.

**Key Words** : cold forging, microalloyed forging steel, stress analysis, dies, finite element analysis

#### 1. 서 론

냉간단조용 비조질강은 V 과 같은 미세합금원소를 첨가하여 석출경화현상을 이용하는 열간단조용 또는 직접절삭용 비조질강과 달리 C, Mn 과 같은 기본적인 합금성분을 조정하고 제어압연과 제어냉각을 통하여 적정 강도 및 인성을 확보하여 구상화소둔 및 조질열처리를 생략할 수 있도록 제조된 강종이다.<sup>(1)</sup> 냉간단조용 비조질강은 주로 볼트, tie rod, ball stud 등의 부품에 적용이 되고 있는데 비조질강을 이용한 볼트의 경우 8T 급 볼트 까지 제조가능한 선재들이 상용화되어 있으며 최근에 9T 급 이상의 볼트 제조에도 적용 가능한 강

종들이 개발되고 있다. 냉간단조용 비조질강을 부품 생산에 적용할 경우에 가장 문제가 되고 있는 것은 냉간 비조질강을 이용하여 제조된 최종 부품의 부위별 재질 편차와 냉간 비조질강 성형용 금형의 수명 감소 문제이다. 냉간단조용 비조질강은 조질열처리 뿐만 아니라 냉간성형성 향상을 위한 구상화처리도 생략할 수 있도록 제조된다. 그러나 냉간가공량이 증가할수록 중간성형품의 강도가 증가하여 냉간성형에 대한 저항이 증가하며 따라서 금형에 미치는 부하가 커지게 된다. 이러한 금형 부하의 증가는 결국 금형수명의 감소로 이어져 생산성과 경제성의 저하를 가져올 수 있다.<sup>(2)</sup>

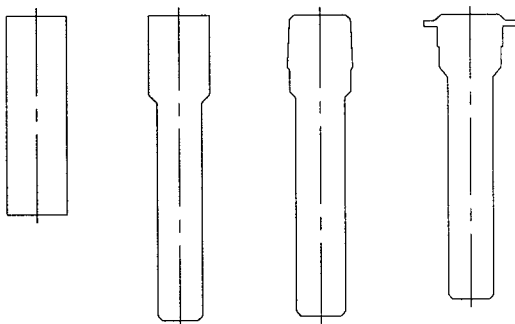
\* 주식회사 선일다이파스

\*\* 한국기계연구원 공경연구부

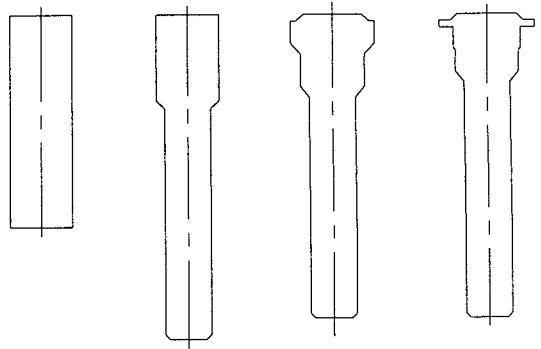
비조질강을 사용한 냉간 성형시 금형부하를 저감하여 금형수명을 증가시키기 위한 방안으로서 냉간압조성이 우수한 소재의 개발(소재 측면), 가공량이 비교적 작은 부품에의 적용 및 각 가공 스텝별 가공량의 적정 배분(성형 측면) 그리고 former 및 금형의 개선(금형 측면) 등을 들 수 있다. 이 연구에서는 주로 성형과 금형의 측면에서 금형부하 저감과 수명 증대방안을 고찰하기 위하여 냉간 단조용 비조질강을 사용하여 제품을 성형할 때 성형공정의 차이가 성형하중 및 금형응력에 미치는 영향을 살펴보았다. 현재 동일한 제품(자동차용 guide rod pin)의 성형에 사용되고 있는 2 종류의 성형공정에 대한 유한요소해석을 통하여 성형공정의 차이에 따른 성형하중과 금형응력의 변화를 해석하였다. 또한 성형된 최종제품에서 발생하는 재질편차가 냉간성형시 소재에 부가되는 부위별 성형량의 차이와 밀접한 관계가 있으므로 성형공정의 차이가 최종 제품의 부위별 성형량의 차이에 미치는 영향에 대해서도 살펴보았다.

## 2. 해석 조건 및 방법

연구 대상 제품인 Guide Rod Pin 은 절단 공정과 트리밍 공정을 포함하여 총 5 공정으로 구성되어 있으나, 본 연구에서는 성형 공정에 대한 연구를 위해 3 개의 성형 공정(전방압출, 업세팅 1, 업세팅 2)에 대한 해석을 수행하였다. 해석에 사용된 공정은 Fig.1 과 같다. Fig.1 에는 2 가지 종류의 성형 공정이 나타나 있는데, Fig.1(b)는 Fig.2(a)에 비해 2 공정(Upsetting 1)에서 더욱 더 많은 변형을 가하여 보다 많은 형상을 부여하고 있다.



(a) process A



(b) process B

Fig. 1 Forming processes for forging of guide rod pin

본 연구 대상은 냉간 포머에서 작업이 이루어 지는데, 냉간 포머의 경우는 성형 공정의 최종 단계시 성형기 및 금형의 강성과 밀접한 관련이 있는 수준으로 다이와 펀치간 간극이 작기 때문에 그 수치가 설계치와 실제가 큰 차이를 보일 수 있다. 또한, 그 간극은 각 공정마다 성형의 최종 시점에 해당되는 만큼 성형하중과 금형 강도에 밀접한 영향을 미치는 인자이다. 따라서, FEM 해석시 금형의 탄성변형을 고려하여 각 공정간 펀치이동 거리(Stroke)를 설정하는 것이 바람직하다. 따라서, 본 연구에서는 금형의 탄성 변형을 실제와 최대한 근사시키기 위해 금형의 소재를 탄성체로 가정하여 해석하였다. 해석에 사용된 금형 소재의 탄성 물성치는 표 1 에 나타내었다. FEM 해석은 상용프로그램인 DEFORM-2D™ V8.0 을 이용하였으며, Fig.2 는 1 공정에 대한 모델(Model)을 보여주고 있다.

Table 1 Material properties of die

Materials	Elastic Modulus (GPa)	Yield Strength (MPa)	Poisson's Ratio
W.C.	500	3,100	0.23
AISI H-13	218	1,200	0.3
SKS3	215	1,000	0.3
SNCM-8	212	750	0.3

사용된 요소수는 단조 소재는 1,050 개, 단조 금형은 총 3,420 개를 사용하였다.

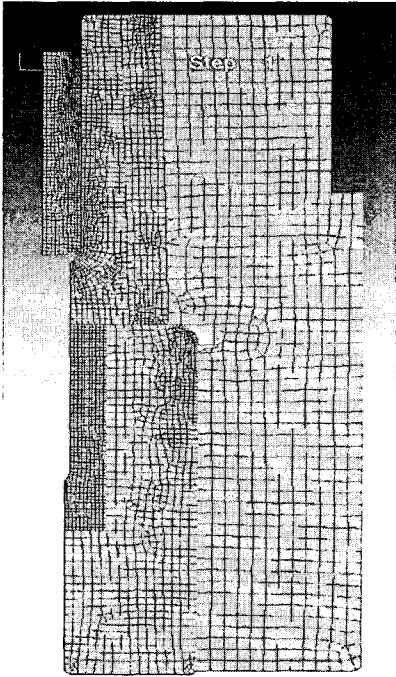


Fig. 2 Model of 1<sup>st</sup> forging process for guide rod pin

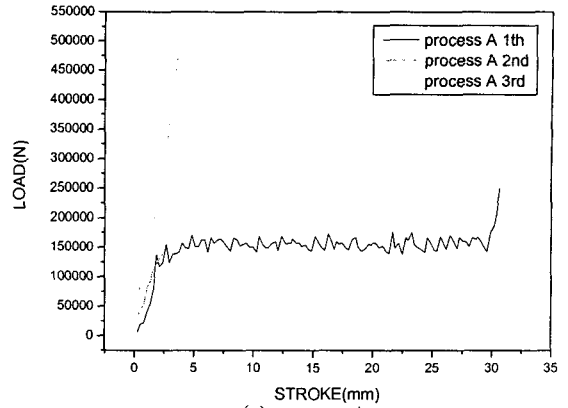
표 2 는 실험에 사용된 냉간 비조질강의 화학성분을 나타낸다. 압축시험을 이용하여 측정한 냉간 비조질강의 유동곡선을  $\sigma=ke^n$  형식으로 표현하였을 때 강성지수 K 는 881, 가공경화지수 n 은 0.11 을 나타내었다.

Table 2 Chemical composition of alloy (wt%)

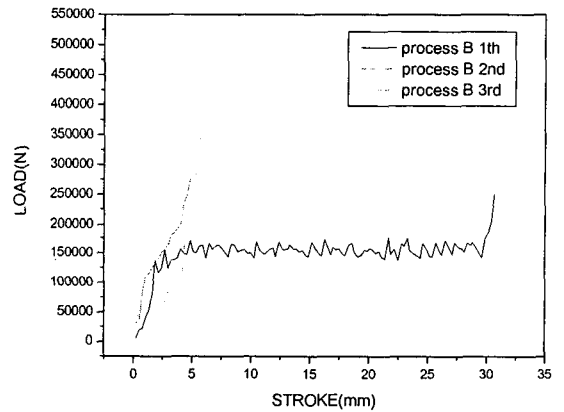
C	Si	Mn	P	S	Al
0.22	0.24	0.89	0.015	0.06	0.027

### 3. 결과 및 고찰

Fig. 3 에 냉간단조 공정 A, B 의 각 공정 단계별 성형하중을 나타내었다. 유한요소해석결과, process A 에 있어서 1 공정(전방압출)에서 약 25 톤, 2 공정(업세팅 1)과 3 공정(업세팅 2)에서 각각 약 14 톤과 46 톤의 성형하중이 필요한 것을 확인할 수 있었다. Process B 에 대해서는 1 공정에서 25 톤 그리고 2 공정과 3 공정에서 각각 28 톤과 35 톤의 성형하중이 필요하였다. 즉, process A 와 B 를 비교하였을 때, 2 공정에서는 process B 의 성형하중이 약 14 톤



(a) process A



(b) process B

Fig. 3 Forming loads according to process type and process step

높고 3 공정에서는 process B 의 성형하중이 11 톤 낮은 것으로 나타났다. 이러한 결과는 앞서 Fig. 2 에 나타낸 바와 같이 process A 가 2 공정에서 변형량이 비교적 작고 이에 따라 3 공정에서 변형량이 많이 부과되어 성형하중이 공정별로 차이가 많이 나는 것에 비하여 process B 에서는 2 공정에서 소재에 비교적 많은 변형을 추가하고 있어 3 공정에서의 변형량이 상대적으로 줄어들어 결과적으로 2 공정과 3 공정에 필요한 성형하중을 비교적 균일하게 분배하고 있기 때문으로 생각된다. 각 공정단계별 성형하중의 균일한 분포는 냉간성형시 금형에 발생하는 응력의 분포를 균일하게 하여 금형수명의 균일화 및 장수명화에 매우 중요한 역할을 한다. Fig. 4 에 냉간단조 공정 A, B 의 각 공정단계별 금형에 발생하는 최대 주인장응력의 변화를 나타내었다.

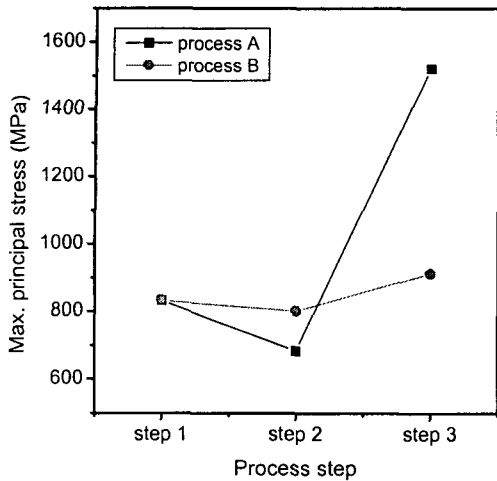


Fig. 4 Maximum principal stress according to process type and process step

냉간 성형공정에 있어서 금형에 작용하는 최대 주 인장응력 성분은 성형공정에 따라 금형에 반복적으로 작용하는 피로응력으로 해석할 수 있으므로 이러한 응력성분의 크기는 냉간단조 금형의 수명과 매우 깊은 연관성을 가지고 있다. Fig. 4에서 알 수 있듯이 process B는 process A에 비하여 2 공정에서 최대 주 인장응력 성분이 약간 높지만, 3 공정에서는 현저하게 낮은 수준으로 평가된다. 또한 각 공정단계별로 금형에 부과되는 응력수준도 매우 균일하게 유지되는 것으로 나타났다. 따라서 process B의 경우에 process A와 비교하여 3 공정 금형 수명의 증대와 각 공정별 금형 수명의 균일화가 이루어질 것으로 기대된다. 이러한 결과는 냉간성형 공정시 적절한 공정설계에 따른 성형하중의 균일한 분포를 통하여 냉간성형 금형의 장수명화와 수명 균일화를 동시에 달성할 수 있음을 보여주고 있다.

한편, 비조질강의 냉간성형에 있어서는 냉간성형 공정의 차이가 최종 성형품의 물성, 특히 재질편차에 영향을 미칠 수 있다. 이것은 비조질강의 냉간성형품의 경우 최종적인 강도를 냉간성형시의 가공경화에 의해서 확보하기 때문에 제품 부위별 변형량의 차이에 기인하는 재질편차의 양상이 냉간성형 공정의 차이에 따라 달라질 수 있기 때문이다. Fig. 5는 최종 성형품에 있어서 냉간성형공정별 변형량의 분포를 나타내고 있다. 성형품 상부에 변형량이 낮은 부위가 존재하여 재질편차의 원인으로 작용할 것으로 예상되는데 Process B의

경우에 process A와 비교하여 성형품 상부의 변형량이 다소 증가하고 있음을 알 수 있으며 따라서 최종 성형품의 재질이 비교적 균일할 것으로 판단된다.

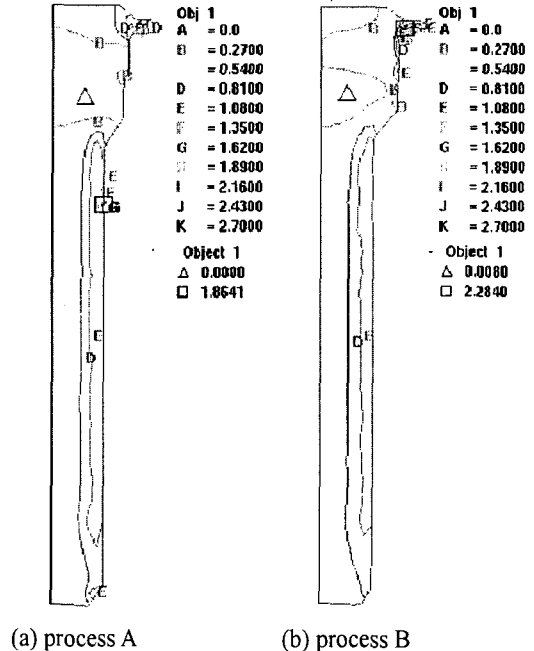


Fig. 5 Effective strain distribution in final product

#### 4. 결론

비조질강의 냉간성형 공정에 따른 성형하중 및 금형응력을 해석하였다. 냉간성형 공정의 차이에 의해 성형하중과 금형응력이 크게 영향을 받을 수 있음을 확인하였다. 성형공정의 적정설계에 의하여 각 성형단계별 성형하중을 균일화 함으로서 금형에 부과되는 응력을 저감 및 균일화 할 수 있으며 따라서 금형의 장수명화와 수명 균일화에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

#### 참고 문헌

- (1) 이덕락, 1993, "비조질강 제조기술," 주단조와 열처리, 제 11 호, pp.133~141
- (2) 이영선, 이정환, 이상용, 강정훈, 김주현, 1998, 냉간가공시 조직 및 비조질강의 성형성과 기계적 성질의 비교연구", 소성가공학회 춘계학술대회 논문집, pp.224~230