

## OP shaft용 냉간 단조 성형 공정 개발 및 SNCM강의 단조성 향상에 관한 연구

이광오\* · 제진수\*\* · 강성수\*\*\* · 전만수\*\*\*\* · 남원수\*\*\*\*\*

### Development of cold forging process for OP shaft and the improvement of forgeability of SNCM steel

K. O. Lee, J. S. Je, S. S. Kang, M. S. Joun and W. S. Nam

#### Abstract

This study presents the enhancement of forgeability of SNCM522H materials. Target parts are output shaft(OP shaft) used as components of power train for automobiles. To carry out cold forging process of OP shaft by 1 pass instead of existing 2 pass process, studies in terms of process design and heat treatment were performed. To introduce the new process, Finite element Method are accomplished, and to verify the validity of proposed heat treatment cycle, several experiments(Hardness test, Observation of optical microstructures, tensile test) are carried out.

**Key Words** : Cold Forging, Finite Element Method, Output(OP) Shaft, Heat Treatment

#### 1. 서론

단조가공법은 자동차 산업의 발전과 함께 전세계적으로 오래전부터 널리 사용되고 있는 금속 성형법으로, 현재에도 자동차, 항공기, 가전제품 및 레저 용품 산업계등에서 널리 이용되어지고 있다. 이 중 특히 냉간단조는 후가공없이 제품으로 활용하고자 하는 연구가 활발히 진행되고 있으며<sup>1-6)</sup>, 이러한 경향은 원가 및 에너지 절감, 환경문제등의 시대적 요구에 부합하여 발전속도가 빠르게 증가하고 있는 추세이다. 이러한 냉간단조는 소재의 절감, 제품 치수정밀도 향상, 가공경화에 의한 기계적 성

질의 향상등의 장점이 있는 반면, 소재의 성형한계와 가공경화에 따른 성형 횟수 증가 및 중간 소둔과정의 추가 및 절단, 윤활처리등의 전처리 공정이 추가되어야 하며, 높은 가공압력으로 인한 금형의 파괴 및 마모가 심하게 되어 금형 수명 감소등의 문제점을 안고 있어 주로 변형이 작은 축대칭 제품에 적용하고 있는 실정이다. 냉간단조품의 가공한계를 증대시키기 위한 방법으로는 재료적인 요인과 가공 기술적인 요인으로 나누어지는데, 재료적인 요인으로는 재료성분, 내부결함, 열처리 상태등이며, 가공기술적인 요인으로는 금형설계, 펀치상태, 프레스, 가공 절차등이다.

\* 부산대학교 정밀기계공학과 대학원  
\*\* 경상대학교 수송기계공학부  
\*\*\* 부산대학교 기계공학부  
\*\*\*\* 경상대학교 기계공학과  
\*\*\*\*\* 현대 자동차

현재에는 보다 가혹한 환경에서 높은 내마모성과 치수 정밀도를 요구하기 때문에 다양한 합금성분을 함유하여 기계적 강도를 높인 합금강이 사용되어 진다. 이러한 합금강은 가공성을 저하시키며, 내부결함을 유발하므로 이에 대한 가공한계 증대를 위해서는 효과적인 열처리를 이용하여야 한다. 생산성 증대 및 가공시간 단축을 위하여 복잡한 형상의 제품을 연속 다단성형을 통하여 생산하고 있으나, 이 경우 재료 내부의 응력 집중 및 성형성 불량을 유발한다. 따라서 보다 효과적인 금형 설계 및 공정설계를 위하여 시뮬레이션을 이용한 성형성 평가를 수행하여야 한다.

본 연구는 현재 생산되고 있는 합금강 제품의 성형성 및 정밀도 향상을 위하여 재료의 열처리 공정을 제안하고, 이에 대하여 실험을 통하여 평가하였다. 또한 실험을 통해 얻어진 재료 물성치를 이용하여 시뮬레이션을 통한 공정설계를 수행하여 성형성을 평가하였다.

## 2. 성형 공정 개발

### 2.1 개발 대상

본 연구 대상인 Output Shaft의 소재인 SNCM522H의 성분은 Table 1에 나타내었다.

Table 1 Chemical composition of SNCM522H(wt%)

C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu	Nb
0.21	0.05	0.57	~	0.10	1.0	0.45	0.70	~	0.15
~	~	~	~	~	~	~	~	~	~
0.24	0.15	0.67	0.25	0.20	1.1	0.60	0.80	0.25	0.25

Fig. 1에 기존 2Pass 공정(a)과 새로이 개발할 공정(b)을 개략적으로 나타낸다. SNCM522H강에 기존 공정을 그대로 적용할 경우, Fig. 2(a), Fig. 3(a)와 같이 결함이 발생하게 된다. 그림에서도 알 수 있듯 제 2공정에서는 Shaft head부분이 업세팅될 때 소재가 금형에서 떨어지면서 원주방향으로 항복응력 이상의 과도한 인장력이 발생하여 크랙이 발생함을 알 수 있고(Fig. 2(b)) 제 3공정에서는 머리(head) 내경부분이 성형될 때 변형의 진행과 함께 축방향 및 원주 방향으로 인장력이 발생하고 있고 따라서 크랙이 발생하는 것을 판단할 수 있다.

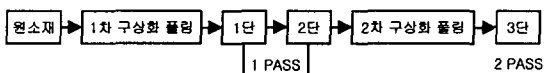


Fig. 1(a) Current Process(2 Pass)

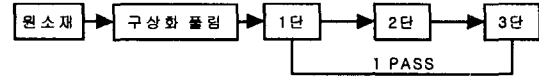


Fig. 1(b) Process to be developed(1 Pass)

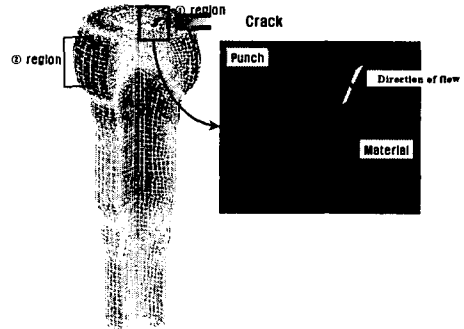


Fig. 2(a) Crack occurrence in 2nd process

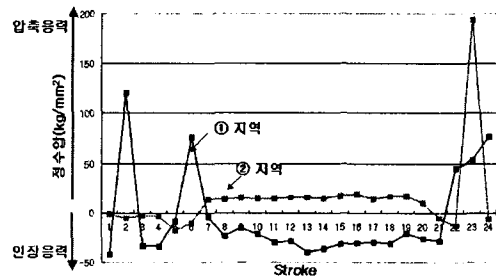


Fig. 2(b) Hydrostatic stress with stroke in 2nd process

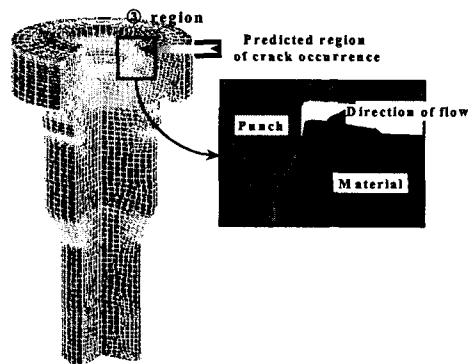


Fig. 3(a) Crack occurrence in 3rd process

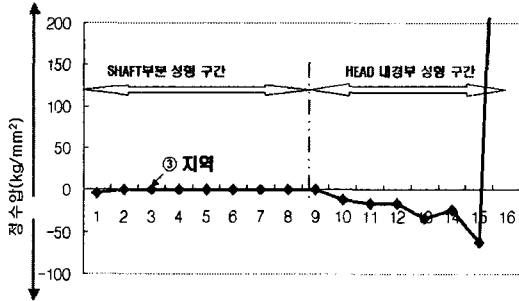


Fig. 3(b) Hydrostatic stress with stroke in 3rd process

### 3. 열처리 사이클 개발

#### 3.1 구상화 풀림(Spheridizing annealing)처리

일부의 탄소강이나 합금강과 같이 완전 풀림(Full annealing)으로도 충분히 연화시키지 못하거나 혹은 고속 절삭을 행하기 위해 한층 피삭성이 요구되는 경우에는 특별한 풀림이 필요하게 된다. 연화시킬 때에는 층상 조직의 퍼얼라이트를 파괴시켜 탄화물을 구상화시켜 페라이트 기지에 분산시키는 방법이 가장 유효하다. 따라서 이러한 종류의 열처리를 구상화 풀림열처리<sup>[6]</sup>라고 한다. 연화의 정도는 탄화물의 분포와 탄화물의 형상에 따라 다르며, 그 수가 적고, 동시에 조대한 쪽이 연하다. 구상화는 일반적으로 아래와 같은 방법에 의해 행해진다.

- ㉠ A<sub>1</sub>점 이하의 온도에서 장시간 유지한다.
- ㉡ A<sub>1</sub>점 바로 아래위 온도에서 가열 냉각을 반복한다.
- ㉢ A<sub>1</sub>점 바로 아래 또는 A<sub>1</sub>과 A<sub>cm</sub> 사이의 온도에서 가열한 후, 아주 천천히 노(爐)내에서 냉각을 하든지 또는 A<sub>1</sub>점 바로 아래에서 온도를 장시간 유지한다.

그러나 일반적으로 합금원소가 첨가되면 구상화가 지연되어 일반적인 구상화 열처리로는 SNCM강과 같은 니켈이나 크롬이 다량 함유된 합금강의 경우 구상화 열처리 사이클의 더욱 섬세한 제어가 필요하게 된다.

#### 3.2 구상화 풀림 처리 사이클

첫 번째 열처리 사이클의 제안에서는 SNCM강의 A<sub>1</sub> 온도는 713℃, A<sub>3</sub>온도는 805℃[MITSUBISHI STEEL MURORAN INC.]이기 때문에 A<sub>1</sub>과 A<sub>3</sub> 사이의 중간온도인 760℃와 A<sub>1</sub>온도이하의 온도 두 가지 영역에서 대부분의 시간이 머물도록 열처리 사이클을 선정하였다(Fig. 4).

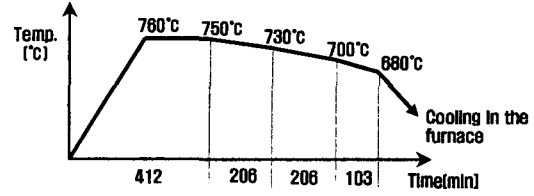


Fig. 4(a) Heat treatment cycle proposed - (I)

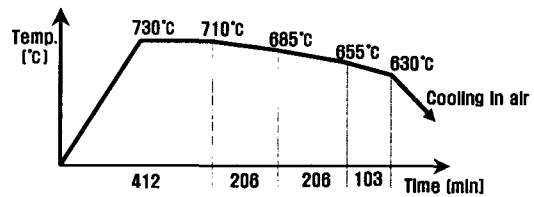


Fig. 4(b) Heat treatment cycle proposed - (II)

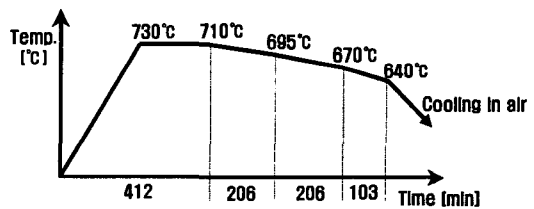


Fig. 4(c) Heat treatment cycle proposed - (III)

#### 3.3 실험 및 결과

앞서 제시된 열처리 사이클의 타당성을 검증하기 위해 연신율, 경도, 현미경 조직 사진 측정 실험을 실시하였다. 연신율은 인장시험(INSTRON 8501, KSD 0801 14호 비례시험편)을 통해 측정하였고, 경도는 로크웰 B 스케일로 측정하였으며, 현미경사진은 ×400 비율로 측정하였다. Table 2에는 경도측정 결과를, Fig. 5에는 인장시험 결과를, Fig. 6에는 광학현미경 사진 결과를 보여준다.

Table 2 Results of hardness test(HRb)

	1	2	3	4	5	Avg.
Cycle I	89.9	82.3	82.1	83.1	83.5	84.2
Cycle II	88.2	87.6	86.4	86.7	87.2	87.2
Cycle III	86.6	86.1	85.2	84.8	85.7	85.7

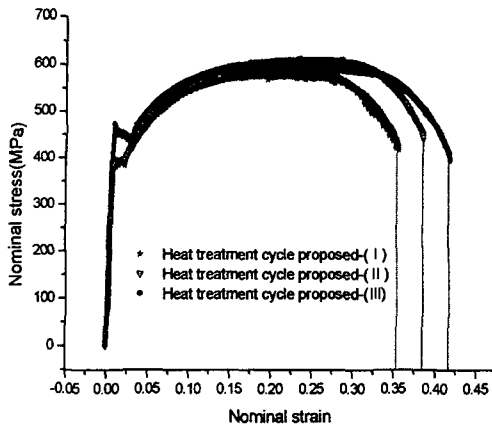


Fig. 5 Results of tensile test

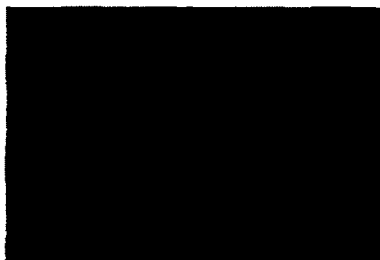


Fig. 6(a) Microstructure of Cycle I

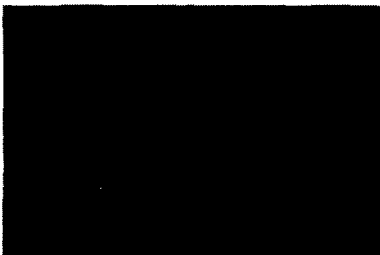


Fig. 6(b) Microstructure of Cycle II



Fig. 6(c) Microstructure of Cycle III

#### 4. 결론

OP shaft의 냉간 단조 공정의 유한 요소 해석과 SNCM522H강의 단조성 향상을 위한 구상화 플럼 열처리를 수행하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 기존 공정의 경우, 스트로크가 진행됨에 따라 머리(Head)가 형성되는 부분에서 인장의 정수압응력이 걸리고 따라서 이 부분에서 크랙이 일어날 가능성이 높은 것으로 판단되며 실제의 양산제품에서도 이러한 결과가 나타남을 확인 할 수 있었다.

(2) SNCM522H강의 단조성 향상을 위해 구상화 플럼 열처리를 실시한 결과, cycle III(Fig. 4(c))의 결과가 가장 양호하다는 것을 알 수 있었다. 이러한 사실은 인장 시험(Fig. 5), 광학현미경 사진(Fig. 6)으로부터 확인할 수 있다.

#### 참 고 문 헌

- (1) Kurt Lange, Handbook of Metal Forming, McGraw-Hill Book Company, 1985.
- (2) 工藤英明, "冷間鍛造のこれから", 塑性と加工, 第22巻, 第250號, pp. 1126-1128, 1981.
- (3) 변상규, 제진수, 강범수, "다단계 자동차 부품 스플라인 소성가공 공정설계", 한국소성가공학회지, 제6권, 제1호, pp. 53~61, 1997.
- (4) 김동진, 정덕진, 김병민, 최재찬, "자동차 냉방기용 내부 플리의 냉간 단조 공정 설계", 한국자동차공학회 논문집, 제5권4호, pp. 199~206, 1997.
- (5) 김영석, 김현수, 김찬일, 김영석, "토크 컨버터 임펠러 허브의 냉간 단조공정 설계", 한국정밀공학회지, Vol.17, No.11, pp.213~219, 2000
- (6) 鋼の熱處理, 日本鐵鋼協會編, 改訂 5版