

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

이광오*·진민호*·제진수**·남원수***·강성수****

(2003년 2월 17일 접수)

Development of Cold Forging Process for OP Shaft and Improvement of Forgeability of SNCM Steel

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

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, the finite element method was accomplished, and to assess the validity of proposed heat treatment cycle, several experiments(hardness test, observation of optical microstructures, tensile test) were carried out. The 2Pass forging process could be reduced as 1Pass process through improvement of process and heat treatment technology and that would give cost reduction.

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

1. 서론

단조가공법은 자동차 산업의 발전과 함께 전 세계적으로 오래 전부터 널리 사용되고 있는 급속 성형법으로, 현재에도 자동차, 항공기, 가전제품 및 레이저 용품 산업계 등에서 널리 이용되어지고 있다. 이 중 특히 냉간단조는 후가공 없이 제품으로 활용하고자 하는 연구가 활발히 진행되고 있으며,^(1~6) 이러한 경향은 원가 및 에너지 절

감, 환경문제 등의 시대적 요구에 부합하여 발전속도가 빠르게 증가하고 있는 추세이다. 이러한 냉간 단조는 소재의 절감, 제품 치수정밀도 향상, 가공경화에 의한 기계적 성질의 향상 등의 장점이 있는 반면, 소재의 성형 한계와 가공경화에 따른 성형 횟수 증가 및 중간 소둔 과정의 추가 및 절단, 윤활처리 등의 전처리 공정이 추가되어야 하며, 높은 가공압력으로 인한 금형의 파괴 및 마모가 심하게 되어 금형 수명 감소 등의 문제점을 안고

* 부산대학교 정밀기계공학과 대학원
** 경상대학교 수송기계 공학부
*** 현대자동차 소재금형기술부
**** 부산대학교 정밀기계공학과

있어, 주로 변형이 작은 축대칭 제품에 적용하고 있는 실정이다. 냉간 단조품의 가공한계를 증대시키기 위한 방법으로는 재료적인 요인과 가공 기술적인 요인으로 나누어지는데, 재료적인 요인으로는 재료성분, 내부결함, 열처리 상태 등이며, 가공기술적인 요인으로는 금형 설계, 프레스 등이다.

현재 냉간 단조법에 의해 자동차의 동력 전달장치에 사용되는 O/P shaft의 경우, 1 pass에서 1, 2단 성형공정과 3단 idle 공정 후, 응력 제거를 위한 구상화 열처리를 수행하고, 2pass에서 1, 2단 idle 공정, 3단 성형을 통해 완성품을 제작하고 있다. 이러한 2pass 공정의 경우 추가적인 열처리 공정과 idle 공정으로 인해 제품 생산 원가의 상승을 초래하고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 중간 열처리 공정을 없앤 1pass 공정을 채택하고자 하나 과도한 성형이 이루어지기 때문에 균열이 발생하고 있는 실정이다. 특히 내마모성, 내피로성 향상을 목적으로 채택된 SNCM 강(기존은 SCM강)의 경우 성형성이 대단히 열악하기 때문에 1pass 공정으로는 온전한 제품을 생산하기는 대단히 어렵다.

이러한 문제를 해결하기 위해서 본 연구에서는 재료적인 측면과 가공기술적 측면에서 접근하고자 하였다. 즉, 재료적인 측면에서는 합금강(SNCM 522H) 제품의 성형성 향상을 위하여 최적의 구상화 열처리 공정을 제안하고, 경도평가, 인장시험, 미세 조직 관찰 등을 통해 제안된 열처리의 타당성을 평가하였다. 동시에 가공기술측면(공정설계)도 고려하기 위해 위의 실험을 통해 얻어진 재료 물성치를 이용하여 시뮬레이션을 수행하였고, 그 결과를 최적의 공정 도출에 이용하였다.

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
~	~	~	0.25	~	~	~	~	0.25	~
0.24	0.15	0.67		0.20	1.1	0.60	0.80		0.25

Fig. 1에 기존 2Pass 공정(a)과 새로이 개발할 공정(b)을 개략적으로 나타낸다. SNCM522H강에 기존 공정을 그

대로 적용할 경우, Fig. 2에서 나타낸 바와 같이 균열이 발생하게 된다.

이러한 제 2, 제 3공정에서 발생하는 균열의 원인을 파악하기 위해 AFDEX 3D를 이용하여 시뮬레이션을 수행하였는데, 아래의 Fig. 3(a), Fig. 4(a)와 같이 결함이 발생하였다. 그림에서도 알 수 있듯 제 2공정에서는 shaft 헤드부분이 업세팅 될 때, 소재가 금형에서 떨어지면서 원주방향으로 항복 응력 이상의 과도한 인장력이 발생하여(Fig. 3(b)), 헤드 내경 부분에서 크랙이 발생함을 알 수 있다.(Fig. 3(a)) 제 3공정에서도 2공정과 마찬가지로 머리(head) 내경 부분이 성형될 때 변형의 진행과 함께 축방향 및 원주 방향으로 인장력이 발생하고 있어 크랙이 발생할 가능성이 높음을 알 수 있다.

일반적으로 냉간 단조성은 소성 변형 경로에 따른 정수압 응력의 추이를 통해 평가되어지고 있다.⁽⁷⁻⁹⁾ 인장(+)의 정수압 응력이 발생하는 경우 연성파괴에 의해 쉽게 크랙이 발생하게 되는 것이다. 이러한 사실은 정수압 응력에 대한 시뮬레이션 결과를 통해 확인할 수 있다.(Fig. 4(b))

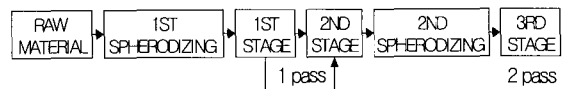


Fig. 1(a) Current Process(2 Pass)

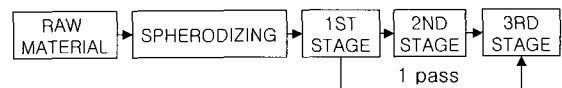


Fig. 1(b) Process to be developed(1 Pass)

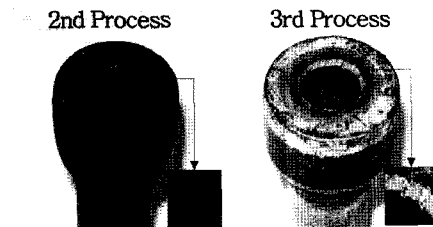


Fig. 2 The Crack on current process

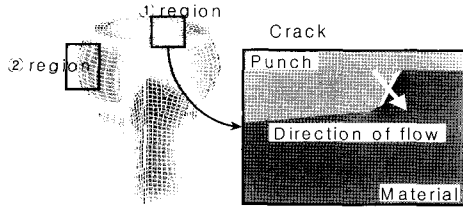


Fig. 3(a) Crack occurrence in 2nd process

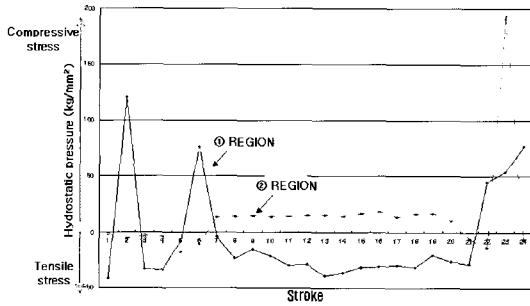


Fig. 3(b) Hydrostatic stress with stroke in 2nd process

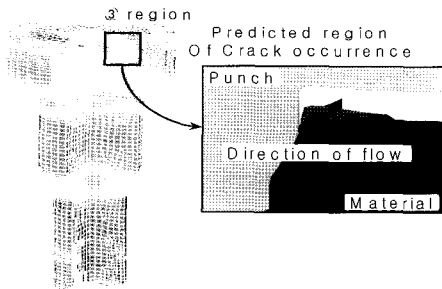


Fig. 4(a) Crack occurrence in 3rd process

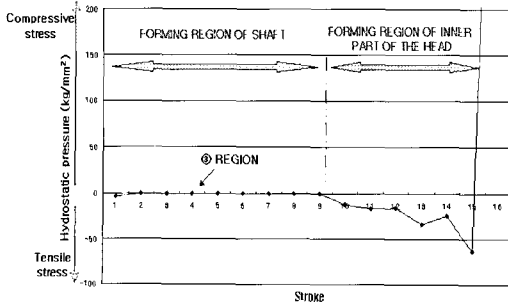


Fig. 4(b) Hydrostatic stress with stroke in 3rd process

이러한 문제점을 해결하기 위하여 2공정의 shaft head내 경부(Fig. 3(a) : ① region)가 성형될 때, 외경부(Fig. 3(a) ② region)의 급형 직경과 헤드부 급형 바닥의 곡률 반경을 증가시킴으로써 내경부 성형시 외경부의 구속을 줄이게 된다. 따라서 내경부에서의 과도한 응력 집중을 피할 수 있도록 하였다.

3차 공정의 경우, 맨드렐 치수를 허용 범위 내에서 줄임으로써 내경부 성형량을 줄이고자 하였다. 아래 Fig. 5(a)에 개선전 공정을 Fig. 5(b)에 이러한 점들에 착안하여 개선된 공정을 나타내었다.

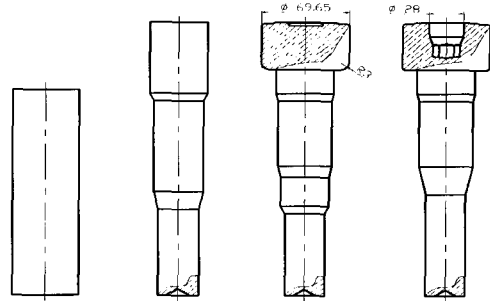


Fig. 5(a) Current process planning for O/P shaft

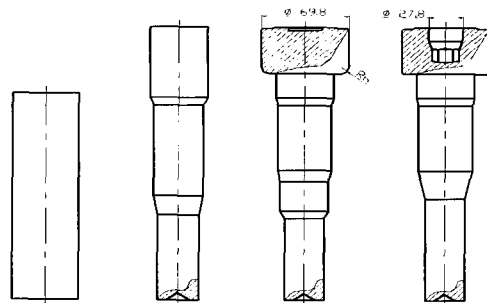


Fig. 5(b) Improvement of the process for O/P shaft

3. 열처리 사이클 개발

3.1 구상화 풀림(Spheroidizing 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⁽⁶⁾라고 한

다. 연화의 정도는 탄화물의 분포와 탄화물의 형상에 따라 다르며, 그 수가 적고, 동시에 조대한 쪽이 연하다. 구상화는 일반적으로 아래와 같은 방법에 의해 행해진다.

㉠ A₁점 이하의 온도에서 장시간 유지한다.

㉡ A₁점 바로 아래위 온도에서 가열 냉각을 반복한다.

㉢ A₁점 바로 아래 또는 A₁과 A_{cm} 사이의 온도에서 가열한 후, 아주 천천히 노(爐)내에서 냉각을 하거나 또는 A₁점 바로 아래에서 온도를 장시간 유지한다.

그러나 일반적으로 합금원소가 첨가되면 구상화가 지연되어 SNCM강과 같은 니켈이나 크롬이 다량 함유된 합금강의 경우에는 일반적인 구상화 열처리로는 원하는 결과를 얻기 힘들다. 따라서 구상화 열처리 사이클의 더욱 섬세한 제어가 필요하게 된다.

3.2 구상화 풀림 처리 사이클

첫 번째 열처리 사이클의 제안에서는 SNCM강의 A₁ 온도는 713°C, A₃온도는 805°C[MITSUBISHI STEEL MURORAN INC. 제공]이기 때문에 A₁과 A₃ 사이의 중간온도인 760°C와 A₁온도이하의 온도 두 가지 영역에서 대부분의 시간이 머물도록 열처리 사이클을 선정하였다.(Fig. 6(a)) 두 번째 열처리 사이클 제안에서는 첫 번째 제안의 경우, 너무 높은 온도로 인해 오히려 조대화 되어 버리기 때문에 온도를 730°C로 수정하였고,(Fig. 6(b)) 세 번째 제안에서는 713°C부근에서 더 많은 시간을 머물도록 배려하였다.(Fig. 6(c))

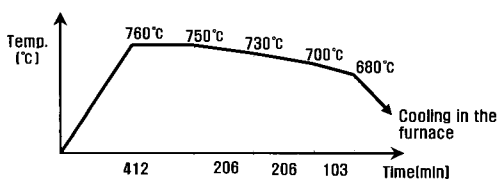


Fig. 6(a) Heat treatment cycle proposed - (I)

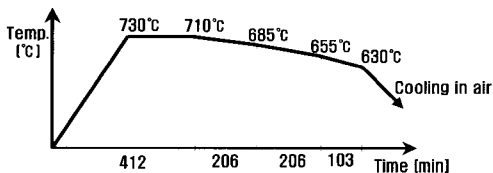


Fig. 6(b) Heat treatment cycle proposed - (II)

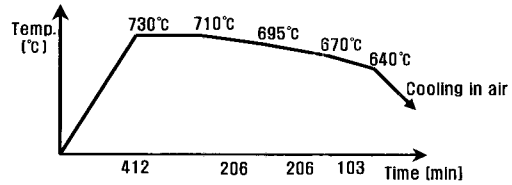


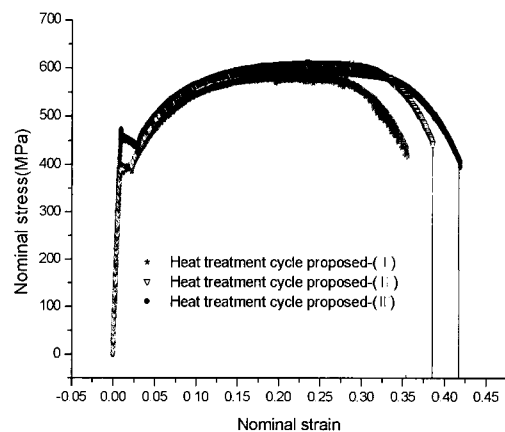
Fig. 6(c) Heat treatment cycle proposed - (III)

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. 7 에는 인장시험결과를, Fig. 8 에는 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



Cycle	I	II	III
Elongation	0.355	0.375	0.44

Fig. 7 Results of tensile test

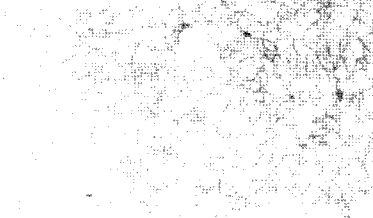


Fig. 8(a) Microstructure of Cycle I



Fig. 8(b) Microstructure of Cycle II

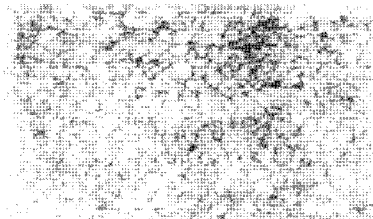


Fig. 8(c) Microstructure of Cycle III

Table 2로부터 구상화 풀림 열처리 온도가 가장 높은 Cycle I의 경도값이 가장 낮으며, 열처리 온도가 같은 Cycle II, III의 경우에는 Cycle III의 경도가 더 낮게 나타남을 알 수 있다. 또한 Cycle I과 III의 경도차는 그다지 크지 않음을 알 수 있다.

그러나 인장시험의 결과(Fig. 7)에서는 Cycle I과 II보다는 III에서 연신율이 대폭적으로 향상되었음을 확인할 수 있다. 또한 Fig. 8에서 조직사진 육안관찰 시 (c)가 (a)와 (b)에 비교하여 구상화가 가장 고르게 잘 되었음을 확인할 수 있었고 이러한 사실은 앞서 수행한 인장시험의 결과에서도 확인할 수 있었다.

따라서 이상과 같은 실험 결과를 통해 Cycle III가 가장 최적의 열처리 사이클임을 확인할 수 있었다.

4. 결 론

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

(1) 기존 공정의 경우, 스트로크가 진행됨에 따라 머리(Head)가 형성되는 부분에서 인장의 정수압 응력이 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 풀림 열처리를 실시한 결과, cycle III(Fig. 6(c))의 결과가 가장 양호하다는 것을 알 수 있었다. 이러한 사실은 인장시험(Fig. 7) 광학현미경 사진(Fig. 8)으로부터 확인할 수 있다.

(3) 본 연구에서 제안된 열처리 사이클을 실 공정에 적용함으로써 열악한 가공성으로 인해 발생하던 불량률을 대폭 줄일 수 있었으며, 금형 수명의 측면에서도 큰 효과를 볼 수 있었다.

후 기

본 연구는 현대자동차의 지원으로 수행되었으며, 이에 관계자 여러분께 감사 드립니다.

참 고 문 헌

- (1) Kurt Lange, Handbook of Metal Forming, McGraw Hill Book Company, 1985.
- (2) 工蘇英明, 1981, "冷間鍛造のこれから", 塑性と加工, 第22卷, 第250號, pp. 1126~1128.
- (3) 변상규, 제진수, 강범수., 1997, "다단계 자동차 부품 스플라인 소성가공 공정설계", 한국소성가공학회지, 제6권, 제1호, pp. 53~61.
- (4) 김동진, 정덕진, 김병민, 최재찬., 1997, "자동차 냉방기용 내부 풀리의 냉간 단조 공정 설계", 한국자동차공학회 논문집, 제5권4호, pp. 199~206.
- (5) 김영석, 김현수, 김찬일, 김영석., 2000, "토크 컨버터 임펠러 허브의 냉간 단조공정 설계", 한국정밀공학회지, Vol.17, No.11, pp. 213~219.
- (6) 鋼の熱處理, 日本鐵鋼協會編, 改訂5版.
- (7) 小坂III宏, etc, 1977, "冷間塑性加工條件における炭素鋼の延性破壊(第2報, 金屬組織の影響)", 日本機械学会論文集, 第43卷, 第376号, pp. 4463~4471.

- (8) 小坂田宏, etc, 1980, "冷間塑性加工條件における炭素鋼の延性破壊(第3報, 塑性方法と変形履歴の影響)", 日本機械学会論文, 第46卷, 第407号, pp. 844~850.
- (9) S.E.Clift, etc, 1990, "Fracture Prediction in Plastic Deformation Processes", Int. J. Mech. Sci., Vol. 32, No.1, pp. 1~17.