

냉간단조용 비조질강 및 성형품의 미세조직과 기계적 특성분석

서동우* · 이영선* · 권용남* · 이정환*

Characterization of Microstructure and Mechanical Properties of Micro-alloyed Cold Forging Steel and Product

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

Abstract

Microstructures and mechanical properties of microalloyed cold forging steel and cold forged prototype automobile part are characterized. The work hardening according to the increase of plastic strain plays a major role in increasing the tensile strength of microalloyed cold forging steel during cold forming. On the other hand, inhomogeneous distribution of plastic strain causes variations in microstructure and mechanical properties. The relation between inhomogeneous distribution of plastic strain and variations in microstructure and mechanical properties is discussed. The variation of mechanical property in cold forged automobile part is analyzed using quantitative evaluation of plastic strain from finite element method.

Key Words : cold forging, microalloyed steel, mechanical property, microstructure, plastic strain

1. 서론

비조질강은 열처리 비용의 절감을 목적으로 1972년 독일의 Thyssen사에서 최초로 개발되었다. 비조질강은 개발 초기에는 큰 주목을 받지 못하였지만, 1980년대 전세계적인 오일 쇼크를 통하여 에너지 절감의 효용성을 인정 받기 시작하여 주로 유럽과 일본을 중심으로 연구 및 개발이 진행되었다. 비조질강은 단조 후 또는 기계가공 전 조질 열처리 (담금질과 뜨임, Quenching and Tempering)을 통하여 기계부품의 강도를 제어하던 기존의 방식에서 벗어나 합금설계 및 제어압연/제어냉각 그리고 후속 가공공정을 통하여 부품

의 강도를 확보할 수 있도록 함으로써 열처리 비용을 절감할 수 있도록 개발되었다.⁽¹⁾ 비조질강은 크게 열간단조용, 냉간단조용, 직접절삭용 비조질강으로 구별할 수 있다. 냉간 단조용 비조질강은 주로 냉간 압조에 의해서 제작되는 볼트류를 생산하기 위한 강종으로 압연재의 신선성을 높이기 위하여 통상적으로 행하여지는 구상화 열처리와 볼트 성형 후의 강도제어를 위한 조질 열처리를 생략함으로써 열처리 비용을 절감할 수 있다. 냉간단조용 비조질강에 있어서 합금성분은 S45C에 비하여 탄소함량을 저감하고 (약 0.2wt% 내외) Mn의 함량을 증가시켜 (약 1.5wt% 내외) 인성을 개선하고 제어압연과 제어냉각을 통하여 조직을

* 한국기계연구원 공정연구부

미세화시켜 압연 상태에서 필요한 강도와 인성을 확보한다. 또한 최종 제품의 강도는 신선 또는 냉간성형을 통한 가공경화를 통하여 확보되게 된다. 냉간단조용 비조질강은 열처리 비용의 절감뿐만 아니라 냉간단조 또는 압조 후 실시되는 조질 열처리를 생략함으로써 열처리 시 발생할 수 있는 제품 변형이나 균열을 사전에 방지할 수 있다는 장점이 있다. 또한 조질 열처리 생략에 의한 수소 지연과 파괴성도 우수한 것으로 알려지고 있다. 냉간단조용 비조질강을 구조부품에 적용하는데 있어서 고려하여야 할 사항은 최종 부품의 부위별 재질 편차와 성형용 금형의 수명 감소 문제이다.^(2,3) 냉간단조용 비조질강은 강도확보를 위한 별도의 조질 열처리 없이 가공경화만으로 강도를 확보할 수 있도록 설계되었기 때문에 냉간성형시 제품부위별 가공량의 차이에 따라서 재질편차가 발생할 수 있다. 특히 제품 부위별 가공량의 차이가 클 경우에는 제품의 재질 편차 발생에 의해 필요 강도를 확보할 수 없게 되는 경우도 있으므로 제품의 형상 설계시 성형해석을 통하여 제품 부위별 가공량, 강도 및 재질편차를 미리 예측하는 것이 필수적이다. 이 연구에서는 비조질강 부품의 건전성과 신뢰성 확보를 위하여 냉간 단조용 비조질강을 이용하여 제조된 자동차 부품의 부위별 재질편차 예측 방안에 대하여 검토하였다. 냉간단조용 비조질강의 기본 특성을 파악하기 위하여 비조질강 원소재의 미세조직과 기계적 특성을 분석하고 시제품의 부위별 가공량 편차를 성형해석을 통하여 평가하여 이를 바탕으로 시제품의 부위별 재질편차 발생 가능성을 검토하고 재질편차 정도를 분석해 보고자 하였다.

2. 실험 방법

Table 1은 실험에 사용된 냉간단조용 비조질강의 조성을 나타낸다. 실험에 사용된 소재는 직경이 15.7mm인 원소재를 직경 14.7mm까지 신선한 선재이다.

Table 1 Chemical composition of alloy (wt%)

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

2.1 비조질강 선재 특성 평가

냉간 비조질강 선재의 특성 평가를 위하여 선재 상태에서의 미세조직을 광학현미경을 사용하여 평가하고 인장시험과 압축시험을 통하여 기계적 특성을 평가하였다. 냉간 비조질강의 경우 최종 제품의 요구강도를 냉간성형시의 가공경화를 통하여 확보하게 되므로 냉간가공량에 따른 비조질강 특성 변화에 대한 검토가 필요하다. 이 연구에서는 냉간 스웨이징(swaging)을 이용하여 비조질강 선재를 단면감소율 약 20%, 35% 그리고 50% 정도로 냉간가공하고 이에 따른 미세조직 변화와 기계적 특성의 변화를 살펴보았다.

2.2 비조질강 부품의 재질편차 분석

냉간 비조질강을 이용하여 제조된 부품의 부위별 재질편차 분석을 위하여 자동차 부품인 guide rod pin 시제품을 냉간성형 하였다. 자동차 부품으로 사용되는 guide rod pin은 Fig. 1에 나타난 것과 같이 3 단계의 과정을 거쳐 성형 된다. 성형된 시제품의 특성평가를 위하여 부위별 미세조직을 관찰하였으며 재질편차를 정량적으로 평가하기 위하여 부위별 미소경도시험을 실시하였다. 시제품의 부위별 가공량 편차를 평가하기 위하여 유한요소해석 프로그램인 DEFORM 2D를 이용한 성형해석을 실시하였다. 유한요소해석을 통한 비조질강 시제품의 부위별 가공량 분석과 원소재의 가공경화거동을 비교하여 시제품에서 발생할 수 있는 재질편차를 분석하였으며 이를 미소경도시험에 의해 정량화된 시제품의 부위별 재질편차와 비교 하였다.

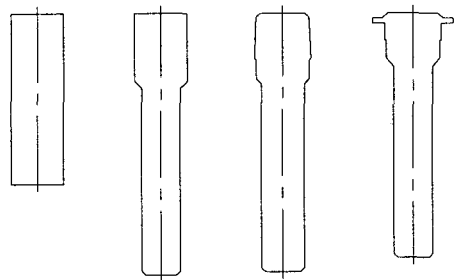


Fig. 1 Forming steps for the guide rod pin

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 비조질강 선재의 특성 분석

Fig. 2 는 비조질강 선재의 초기 미세조직과 스웨이징에 의한 압축 가공량 증가에 따른 미세조직의 변화를 나타낸다. Fig. 2 는 선재 지름의 1/4 위치에서 관찰한 결과로서 단면감소율이 20%와 35% 인 경우에는 압축가공에 따른 미세조직의 변화가 뚜렷하지 않지만 단면감소율이 50%에 이르면 길이방향으로 연신된 결정립들을 관찰할 수 있다. 이것은 스웨이징에 의한 가공 초기에는 표면부가 우선 변형되고 압축변형량이 증가함에 따라서 변형이 선재 내부로 전파되어 전체적으로 균일한 변형이 이루어지기 때문으로 생각된다.

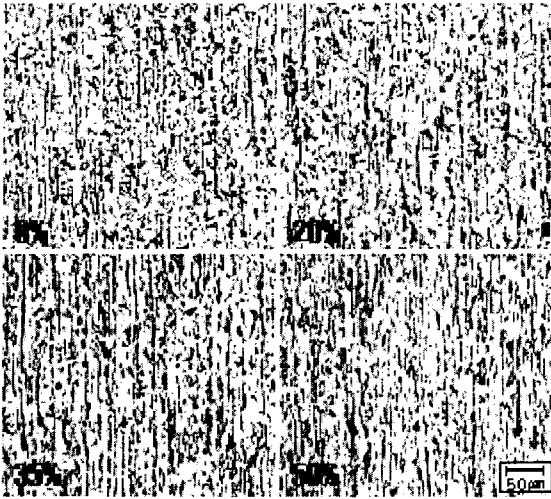


Fig. 2 Microstructural evolution of microalloyed cold forging steel according to reduction of area

Fig. 3 에 나타낸 선재의 부위별 경도를 보면 이러한 경향은 더욱 뚜렷하다. Fig. 3 에서 알 수 있듯이 비조질강 선재는 초기 경도가 약 225Hv 정도이며 압축가공의 진행에 따라서 점차 경도가 증가하여 최종적으로 약 245Hv 정도의 값을 나타내고 있다. 또한 압축가공을 받지 않은 초기 선재에서는 표면부와 내부에 걸쳐 비교적 균일한 경도 분포를 보이고 있지만, 압축가공이 진행되면서 불균일 변형으로 인하여 표면부와 내부의 경도차이가 발생한다. 불균일 변형에 의한 부위별 경도차이는 압축가공량이 단면감소율 50%정도에 이르면 다시 감소하는 것을 알 수 있다. 이러한 결과는 Fig. 2 에 나타낸 미세조직 변화에서 알 수 있듯이

압축가공 초기에 표면부의 우선변형에 의해 불균일 변형이 나타나지만 압축가공량이 증가함에 따라서 선재 내부의 변형이 진행되어 압축가공량이 단면감소율 50%정도에 이르면 선재 표면부와 내부에 걸쳐서 균일한 변형이 이루어지기 때문으로 생각된다.

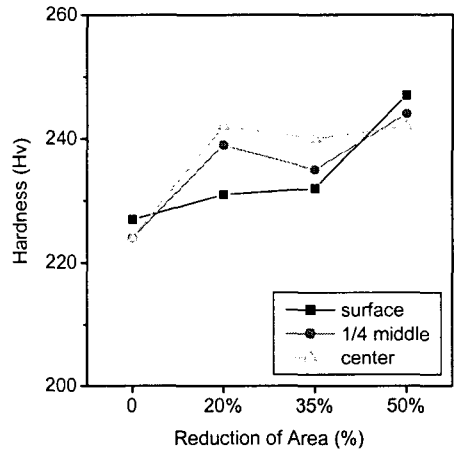


Fig. 3 Hardness profile of microalloyed cold forging steel according to reduction of area

Fig. 4 는 비조질강 선재의 인장특성을 나타낸다. 비조질강 초기 선재는 약 12%정도의 단면감소율로 신선된 상태이므로 저탄소강에서 통상적으로 관찰되는 항복점 현상이 나타나지 않고 연속항복거동을 보인다. 비조질강 선재의 인장강도는 압축가공을 받지 않은 초기 상태에서는 약 700MPa 수준으로 평가되었고 압축가공량의 증가와 더불어 인장강도가 증가하여 압축가공량이 약 50%정도에 이르면 인장강도가 약 780MPa 수준으로 증가하는 것으로 평가되었다. 압축가공량의 증가에 따른 인장강도의 증가는 앞서 Fig. 3 에서 나타낸 경도값의 증가로부터도 예측할 수 있는데, $\Delta TS \approx 3.04 \cdot \Delta Hv$ 의 관계로부터 약 61MPa 의 인장강도 증가가 예측되어 인장시험에서 측정된 강도 증가량과 비슷한 값을 나타내고 있음을 알 수 있다. 균일연신율과 총연신율은 압축가공량의 증가에 따라 다소 증가하는 경향을 보였으나 크게 변화하지는 않았다.

3.2 비조질강 부품의 재질편차 분석

비조질강을 이용하여 냉간성형된 guide rod pin 시제품의 부위별 미세구조와 경도값을 Fig. 5 에 나타내었다.

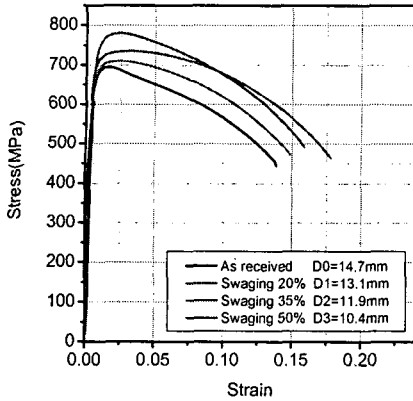


Fig. 4 Flow curves of microalloyed cold forging steel according to reduction of area

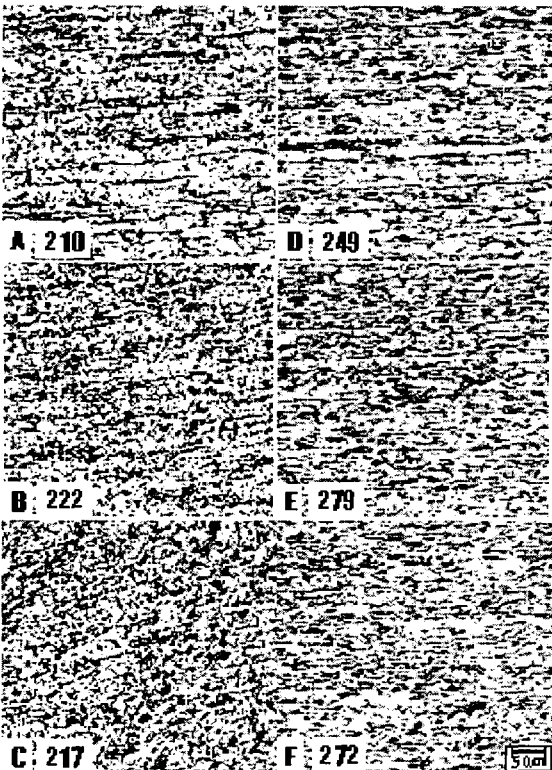
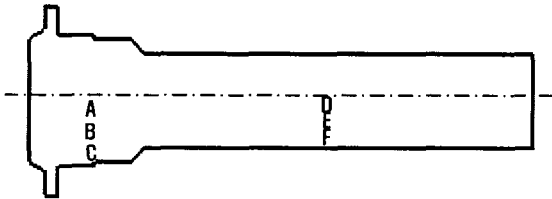


Fig. 5(a), (b), (c) 와 (d), (e), (f)에 나타난 바와 같이

비조질강을 이용하여 냉간 성형된 시제품의 상부(A,B,C)에서는 냉간성형에 의한 강도증가가 거의 이루어지지 않았으며 시제품의 하부(D,E,F)에서는 내부와 표면부에 걸쳐 미세조직과 재질의 편차가 존재하였다. 미세조직의 변화를 고려하여 볼 때 시제품에서 발생하는 이러한 재질편차는 냉간 성형시의 변형량의 차이에 기인하는 것으로 판단된다. Fig. 6 에 유한요소해석에 의한 냉간 비조질강 성형품의 부위별 변형량 분포를 나타내었다. 표면부에서 내부에 걸친 냉간변형량 불균일한 분포는 시제품에 발생한 재질편차와 동일한 양상을 나타내고 있음을 알 수 있다.

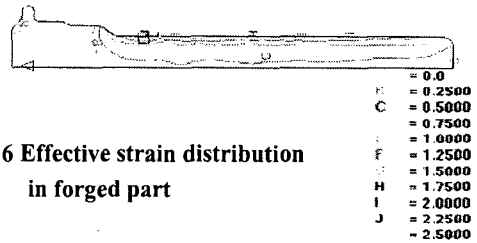


Fig. 6 Effective strain distribution in forged part

4. 결 론

냉간단조용 비조질강과 이를 이용하여 냉간단조된 자동차 부품의 미세조직과 기계적 성질을 분석하였다. 소성가공량의 증가에 의해 냉간단조용 비조질강은 가공경화 되어 인장강도가 증가하였으나 소성가공량의 불균일 분포에 의하여 재질 편차가 발생하였다. 비조질강을 사용하여 냉간단조된 시제품도 표면부-내부, 상부-하부에 걸쳐 재질편차가 발생하였으며 이러한 재질편차는 냉간단조중의 부위별 소성가공량 차이에 의해 기인함을 유한요소해석을 통하여 확인하였다.

참 고 문 헌

- (1) 이덕락, 1993, "비조질강 제조기술," 주단조와 열처리, 제 11 호, pp.133~141
- (2) H.Gondo, T.Yoshimura, M.Araki and N.Eguchi, 1980, "High strength steel sire rod for industrial fastners and pc wires manufactured without heat treatment in the final cold working process", Nippon Steel Technical Report, No.16, pp.142~166
- (3) 이영선, 이정환, 이상용, 강경훈, 김주현, 1998, 냉간가공시 조직 및 비조질강의 성형성과 기계적 성질의 비교연구", 소성가공학회 춘계학술대회 논문집, pp.224~230