한국소성가공학회 2004년도 추계학술대회 논문집 pp.319~324

냉간 전조압연 공정에서의 성형조건에 따른 재료의 물성변화분석

윤덕재* · 김인호* · 최석우* · 임성주* · 이형욱*

Experimental Study for Enhancement of Material Strength In Cold Cross Wedge Rolling Process

D. J. Yoon*, I. H. Kim*, S. O. Choi*, S. J. Lim*, H. W. Lee*

Abstract

Cross wedge rolling process is utilized to manufacture multi-stepped axis symmetrical parts. This process is generally performed under high temperature conditions in order to induce serious deformation. But cold cross wedge rolling process has been rarely studied due to the limits of deformation. Recently, the cold cross wedge rolling process has been utilized to enhance the material strength in specified parts of manufactured products. In this paper, experimental researches were carried out with various forming conditions of cold cross wedge rolling process in order to suggest the design guidance to make preform for cold cross wedge rolling. The tensile strength and the surface hardness of specified region were compared to that of initial material with the variation of the area reduction and the rotational speed of rolling die. With respect to the area reduction, the maximum tensile strength was linearly increased and the surface hardness was rapidly increased within lower percent of area reduction. The surface hardness was saturated over the rotational die speed of 0.8 RPM.

Key Words : Cross Wedge Rolling(회전전조압연), Forming Load(성형하중), Max Tensile Stress(최대인장강도), Shoulder Angle(성형각), Stretching Angle(진행각)

1. 서 론

금속을 원하는 형상으로 제작하는 데는 주물(Casting), 절삭(Cutting), 금속성형(Metal Forming)의 3 가지 방법이 있는데, 생산속도, 제품의 요구강도 및 재료절감의 측면에서 적절한 공정을 선택할 필요가 있다. 금속성형은 재료의 낭비 없이 원하는 치수와 형상을 얻으면서도 보다 강화된 재질을 다른 가공방식에 비해 빠르게 얻을 수 있는 공정이다. 이러한 금속성형 중에서 원형단면의 축 대칭 형상을 갖는 고강도의 기계부품을 성형하기 위해 개발된 전조압연공정은 재래식 단조공정(자유단조, 밀폐단조)으로는 성형하기 어려운 가늘고 긴 원형 단면의 축 대칭 형상을 갖는 다단형 축류제품(multi-stepped shaft) 및 정밀단조용 예비형(perform)을 생산하기 위해 개발된 공정 중의 하나이다. 전조압연공정은 1960 년대 말 구 동독과 체코슬로바키아에서 독자적인 모델로 개발된 이래 재래식 단조 공정에 비해 본 공정이 갖는 여러 특성이 인식되면서 현재 널리 보급되고 있다.

전조압연공정은 금형의 형상에 따라 판형과 롤

* 한국생산기술연구원 디지털생산공정팀

형으로 나눌 수 있으며, 일반적으로 판형과 두 개의 롤로 이루어진 롤형이 많이 사용되고 있다. 전조압연공정은 성형이 점진적으로 이루어져 소재유동이 연속적이기 때문에 재료의 강도를 높일 수 있다. 또한 점진공법의 특성상 소음과 진동이 적은 특징을 나타낸다[1,2].

현재까지의 전조압연성형은 다양한 축류 부품에 대하여 열간성형방법만을 적용하고 있다. 많은 연구자들이 열간상태에서의 전조압연공정에 대하여 다양한 연구를 수행하였다. Zb. Pater 등[3]은 평판형 전조압연공정을 이용한 업셋팅 공정의 해석적 모델을 구성하였고, 전조압연공정의 안정성에 대한 연구를 수행하였다. Y. Dong 등[4,5]은 평판형 전조압연공정에서 수치해석과 실험을 통하여 툴과 소재간의 미끄러짐을 해석하였다. Q. Li 등[6]은 전조압연공정에서 단면감소율, 성형 각, 진행 각에 따른 내부 결함의 발생에 대한 연구를 수행하였고, G. Fang 등[7]은 강 소성 유한요소법으로 롤형태의 전조압연공정에 대하여 해석을 수행하여 공정을 검토하였다.

이러한 연구를 통하여 성형각도, 진행각도, 단면감소율 등의 금형형상 변수와 마찰계수가 중요한 변수가 되는 것을 밝혔다. 그러나 냉간 상태에서의 전조압연공정에 대해서는 거의 이루어진 연구가 없는 상태이다. 냉간상태에서의 전조압연공정은 제품이나 부품을 성형하는 것보다 특정부위의 강도를 증가시키기 위해 적용될 수 있다. 특히 원형제품의 단조공정에서 성형모드상 가공경화가 일어나지 않는 부위에 대하여 강도를 증가시킬 수 있는 우수한 공정이 된다. 이 경우 원하는 강도를 얻기 위해 전조압연공정을 적용하기 전 초기 설계치수를 찾는 것이 중요한 설계요인이 된다. 따라서, 본 논문에서는 전조압연공정에 따라 성형부위의 강도 및 경도의 증가를 예측할 수 있는 실험적 접근법을 시도하였다. 본 논문에서는 두 개의 롤을 가진 수평형전조압연기를 이용하였고 금형설계에 있어서는 냉간공정의 경우 열간공정보다 마찰계수가 작기 때문에, 냉간전조압연에 가장 큰 난점은 슬립현상이라고 할 수 있다. 이에 이미 발표된 연구문헌[8]을 참고하면 냉간전조압연시에 진행각 1.2° , 성형각 20° 인 금형에서 타 모델에 비해 슬립이 작아지고 있는 것을 알 수 있었고, 타 연구보고서[9]에 의하면 성형각이 30° 인 금형에 비해 성형각이 20° 인 금형의 성형하중이 25% 정도 낮다는 연구보고가 있었다. 그러나 상기 연구에서는 CAD/CAE 를 이용한 결과이므로 실험을 통한 데이터를 확인할 필요가 있다고 판단되어진다. 따라서 진행각 1.0° , 성형각 20° 인 대칭형 금형을 제작하여 전조압연공정의 성형조건에 따른 성형소재의 강도 및 경도 예측을 위한 실험을 수행하였다.

2. 실 험

2.1 전조압연 공정변수

전조압연기는 압연공구 및 Driving Groove 의 형상에 따라 여러 Type 으로 분류되며 이를 Table 1 및 Fig. 1 에 각각 도시하였다. 여기서 원통형 전조압연공정의 금형에 대한 공정변수가 되는 것은 Fig. 2 에 도시한 것들이다. 여기에 소재와 금형사이의 마찰계수가 중요한 변수가 된다. 금형의 형상으로 제어할 수 있는 변수는 주로 성형각과 진행각, 절입부와 성형부의 길이 등이다.

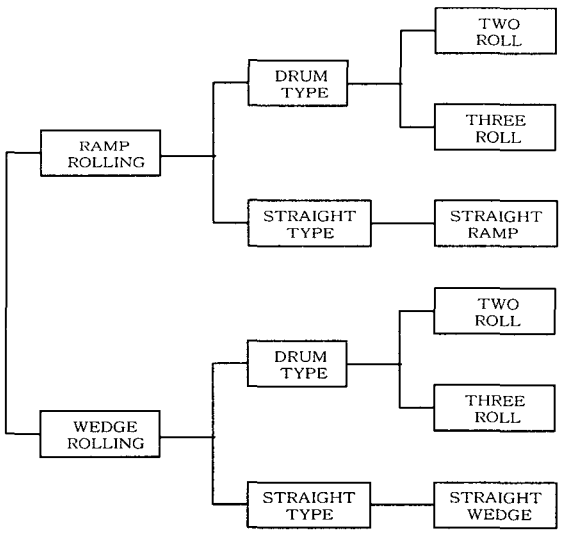


Table. 1 Type of the Transverse Rolling process

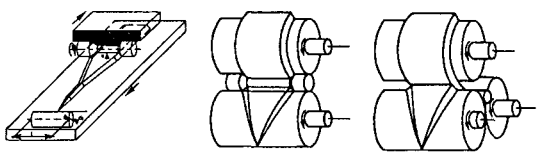


Fig. 1 Illustration of Transverse Rolling-tool configurations: (a) Straight wedge type; (b) Two roll type; (c) Three roll type

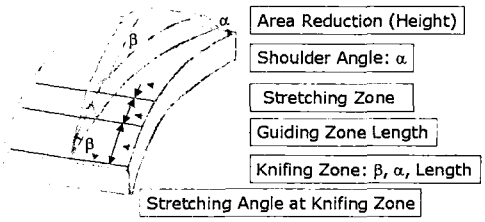


Fig. 2 Process parameters of cross wedge rolling Process

본 논문에서는 제안된 성형각과 진행각에서 성형 깊이, 압연롤의 회전속도에 대한 영향을 분석하도록 하였다.

2.2 실험 방법

본 논문의 실험에서 사용된 수평형 전조압연기는 한국생산기술연구원에서 개발한 것으로 Fig. 2에 보이는 것과 같다. 본 장비의 가로×세로×높이는 1900mm×3500mm×1700mm이며 Ø500mm의 두 개의 롤이 수평으로 장착되어있으며 고정된롤의 양쪽에는 50ton의 로드셀이 두 개 장착되어 있다. 또한 로드셀에서 출력되는 하중값을 보여주는 지시창과 롤의 회전속도를 변화시킬 수 있는 컨트롤 판넬이 장착되어 있다.

실험에 사용한 시편과 금형은 Fig. 3에 보이는 것과 같으며 여기에서 사용한 금형의 재질은 SCM440이고 Q&T열처리(HS40±2)를 하였고 금형의 주요설계 변수는 Table. 2와 같다.
실험시편의 재질은 SM20C를 사용하였고 실험조건은 Table. 3과 같다.

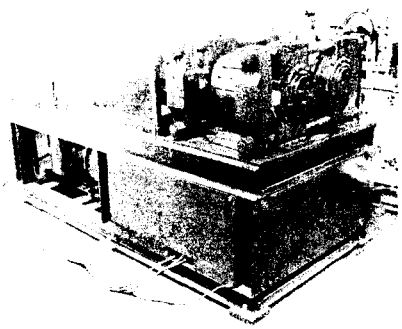
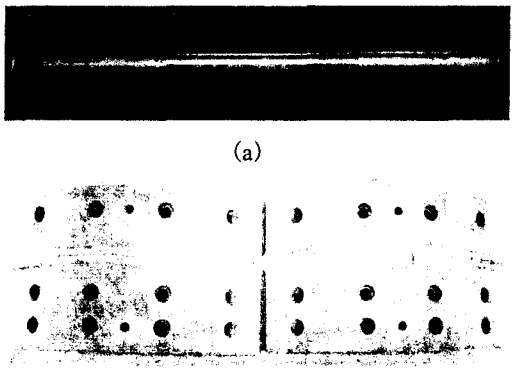


Fig. 2 Cross Rolling Machine of Horizontal Type



(a)

(b)

Fig. 3 (a) Specimen for experiment;
(b) Die of Cross Rolling Machine

Table. 2 Design Variables of Cross Rolling Die

Variable	Stretching Angle(β)	Shoulder Angle(α)	Die Angle
Angle	1.0°	20°	160°

Table. 3 The Condition of Parameters for Experiment

Experiment 1		Experiment 2	
Material Diameter	Area Reduction	Material Diameter	R.P.M of Roll
Ø11.0mm	2%	Ø12.5mm	0.2
Ø11.5mm	9%		0.5
Ø12.0mm	15%		0.8
Ø12.5mm	20%		1.0
R.P.M of Roll	0.5		1.2

본 실험에서는 소재의 각 직경에 따른 단면감소율과 회전속도의 변화에 따라 실험을 수행하였고, 물성변화 특히, 인장강도와 표면경도에 어떠한 영향을 미치는지 실험하였다. 이 결과는 전조압연초기성형체를 설계할 때 가이드가 될 수 있다.

3. 결과 및 고찰

3.1 단면감소율에 따른 재료의 물성변화

단면감소율에 따른 성형하중곡선, 최대성형하중곡선, 최대인장강도곡선을 각각 Fig. 4, Fig. 5, Fig. 6에 도시하였다.

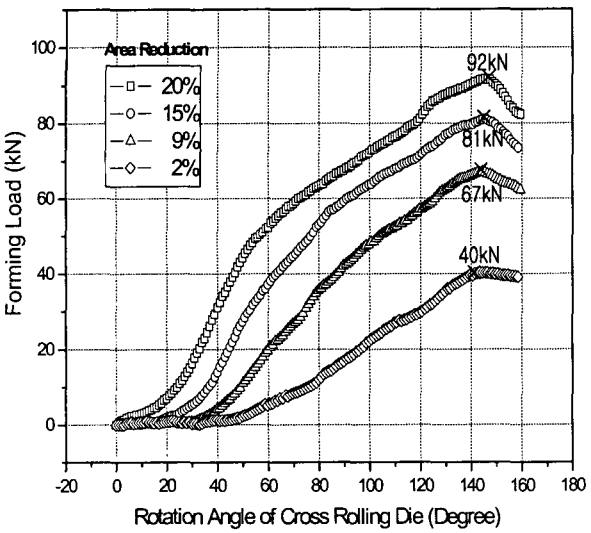


Fig. 4 Variation of the Forming Load with respect to the Area Reduction

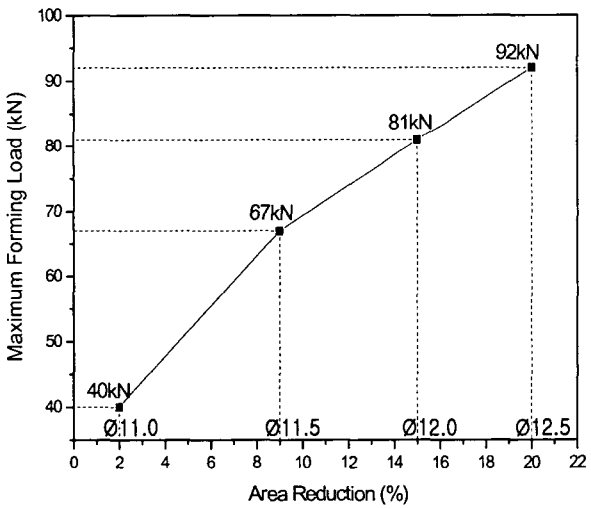


Fig. 5 Variation of the Maximum Forming Load with respect to the Area Reduction

단면감소율에 따른 각 그래프를 살펴보면 성형하중의 경우 단면감소율이 2%일 때보다 20%일 때가 2.3 배 가량 더 높은 것으로 나타났으며, 최대인장강도의 경우에는 단면감소율에 따라 거의 선형으로 증가하는 경향을 보이며, 원소재보다 단면감소율이 20%일 때 약 11.6%증가 하는 것으로 나타났다.

Fig. 7 과 Fig.8 은 각각 단면감소율에 따른 표면경도와 회전속도변화에 따른 곡선을 나타내고 있다. Fig. 7 에서 원소재에 비해 단면감소율이 20%일 때의 경도 값이 약 30%정도 증가하는 것을 알 수 있으며 단면감소율이 작은 영역에서 표면경도가 급격히 증가하는 경향을 보이며 이후 거의 선형의 관계를 나타내는 것을 알 수 있다.

이것은 전조압연이 표면에서 주로 성형이 일어나기 때문인 것으로 사료된다. Fig. 8 의 경우를 보면 0.8RPM 까지 경도값이 상승하다가 그 이후부터는 거의 변화가 없음을 알 수 있다.

이것은 단면감소율 외에도 성형조건에 따라 경도를 더욱 증가시킬 수 있는 방안이 될 수 있으며 특정 단면감소율에서 슬립이 일어나지 않는 한도 내에서 최적 회전속도를 결정할 수 있음을 나타낸다. 이것은 무리한 단면감소율을 유도하지 않고도 경도를 증가시킬 수 있어 성형공정설계시 유용할 것이라 사료된다.

단면감소율에 따른 조직사진과 회전속도에 따른 조직사진을 각각 Fig. 8, Fig. 9 에 보여주고 있다. 여기서 단면감소율이 증가하면 할수록 조직이 조밀해짐을 알 수 있고 조직의 배열 방향이 전조압연의 특성대로 경사짐을 알 수 있다. 그러나, 회전속도에 따라서는 조직의 변화가 크지 않게 보이나 추후 정밀한 분석이 필요할 것이라 생각된다.

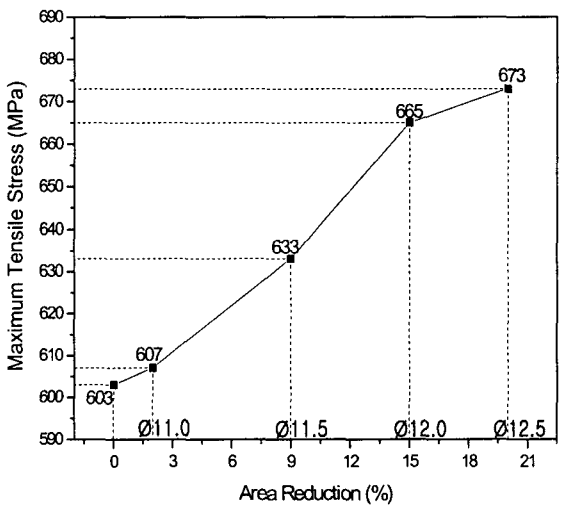


Fig. 6 Variation of the Maximum Tensile Stress with respect to the Area Reduction

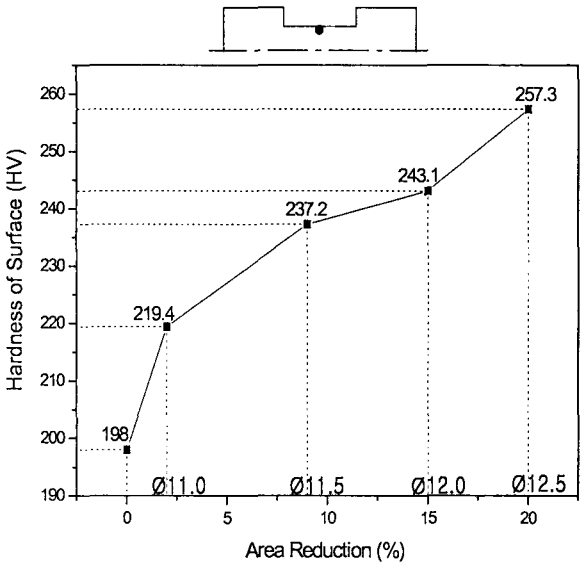


Fig. 7 Variation of the Hardness of Surface with respect to the Area Reduction

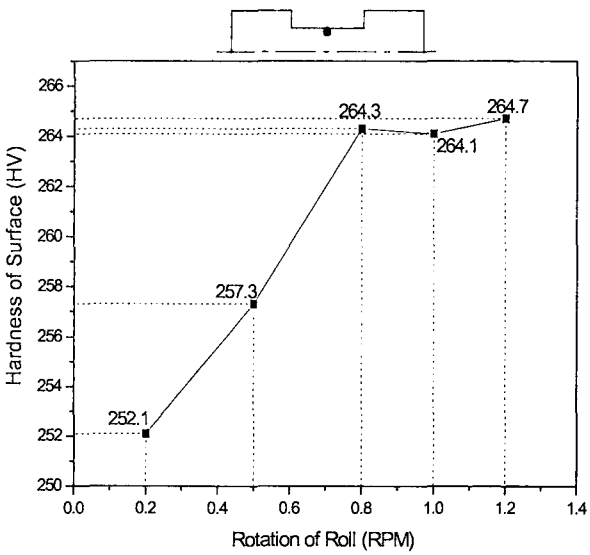


Fig. 8 Variation of the Hardness of Surface with respect to the R.P.M

4. 결 론

본 논문에서는 수평형 전조압연기를 이용하여 냉간상태에서 기계적 강도를 높이기 위하여 SM20C 를 단면감소율 및 회전속도변화에 대하여 재료의 강도 및 경도변화를 분석해 보았다.

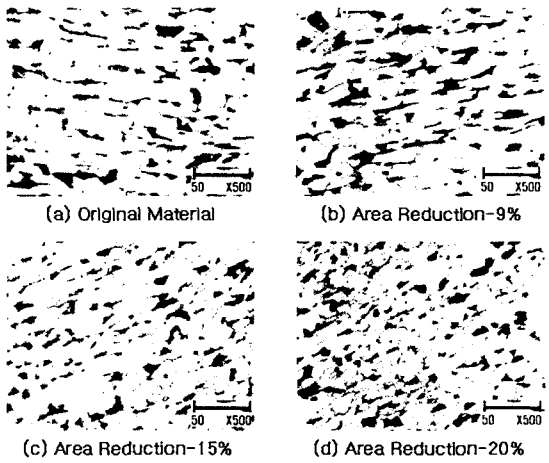


Fig. 9 Grain Boundary by Area Reduction

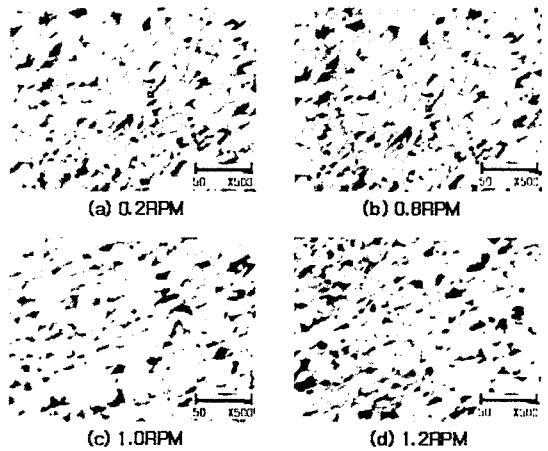


Fig. 10 Grain Boundary by Rotation of Roll

(1) 단면감소율이 증가함에 따라 최대인장강도 및 경도가 선형적으로 증가함을 알 수 있었다.

(2) 회전속도변화에 따른 경도값은 0.8RPM 정도까지는 증가하다가 그 이후부터는 경도값이 증가되지 않는 경향을 보였다. 따라서 금형과 소재 사이에 미끄러짐이 일어나지 않는 한도 내에서 최적회전속도를 설정하는데 유용한 자료라고 판단된다.

(4) 단면감소율이 증가함에 따라 미세조직이 치밀화되는 현상을 볼 수 있었으며, 어느 특정부위의 강도를 높이는데 있어서는 냉간전조압연공정이 유리하다고 생각된다.

(3) 단면감소율의 증가에 따라 소재내부에 Hole이 발생되는 것을 확인할 수 있었으며, 금형설계의 개선이 요구된다.

(5) 향후 다양한 재료를 이용한 여러 가지 성형조건으로 미끄럼방지 및 내부결함방지 등에 관한 실험을 수행할 계획이다.

참 고 문 헌

(1) 최석우, 1986, "전조압연 공정의 성형하중에 대한예측," 한국과학기술원, 학위논문.

(2) 나경환, 1989 "전조압연 공정에서의 회전압축 해석," 한국과학기술원, 학위논문

(3) Zb. Pater, W. Weronski, J. Kazanecki and A. Gontarz, 1999, "Study of the process stability of cross wedge rolling", J. Mater. Process. Technol., Vol. 92-93, pp. 458-462.

(4) Y. Dong, M. Lovell and K. Tagavi, 1998, "Analysis of interfacial slip in cross-wedge rolling: an experimentally verified finite-element model", J. Mater. Process. Technol., Vol 80-81, pp.273-281.

(5) Y. Dong, K. A. Tagavi and M. R. Lovell, 2000, "Analysis of interfacial silp in cross-wedge rolling: a numerical and phenomenological investigation", J. Mater. Process. Technol., Vol 97, pp. 44-53.

(6) Q. Li, M. R. Lovell, W. Slaughter and K. Tagavi, 2002, "Investigation of the morphology of internal derect in cross wedge rolling", J. Mater. Process. Technol., Vol. 125-126, pp. 248-257.

(7) G. Fang, L. P. Lei and P. Zeng, 2002, "Three-dimensional rigid-plastic finite element simulation for the two-roll cross-wedge rolling process", J. Mater. Process. Technol., 129, pp.245-249.

(8) 이형욱, 윤덕재, 이근안, 최석우, 2004, "CAD/CAE 를 이용한 냉간 비조질강용 회전전조 금형설계," 한국소성가공학회 2004 년도 춘계학술대회 논문집, pp. 400-403.

(9) 한국생산기술연구원, 2004, 고강도 냉간 비조질강의 Net Shape 성형기술개발 보고서.