

# 미세 스탬핑용 박판소재의 물성치 측정

김양수<sup>1</sup>, 심현보<sup>#</sup>

## Measurement of Material Properties for Miniature Stamping

Y. S. Kim, H. B. Shim

(Received February 7, 2006)

### Abstract

Rather than traditional manufacturing processes, miniature manufacturing processes usually require sophisticated equipments and characteristics of the processes of high cost and of low productivity. Contrarily, miniature stamping process can be realized in a low cost high productivity with relatively inexpensive equipments. In the meso scale, mechanical properties, especially work hardening characteristics, are discovered to be statically scattered and size dependent by intensive experimental and numerical investigations, which make the stamping process hard to apply to the miniature manufacturing. In this study, dual purpose experimental device that can be used for both miniature scale tensile test and miniature scale stamping by simple change of attachment has been developed. For the tensile test, the elongation has been measured with a combined use of a CCD camera and a linear encoder in order to account for the possibility of slippage between specimen and the grip and to ensure the accuracy of the measurement, while load has been measured with a load cell. To satisfy the required material properties for stamping, optimal annealing condition has been found by examining the microstructure of annealed specimen.

**Key Words** : Miniature Stamping, Optimal Annealing Condition, Tensile Test, Grip

### 1. 서 론

신기술이 고도로 집약된 오늘날의 제품에는, 특히 비약적으로 발전하고 있는 정보통신, 생명공학관련 기기는 경량화, 슬림화, 고집적화, 대용량 고기능화 추세에 맞추어 부품의 소형화 경향이 두드러지고 있다. 따라서 최근의 산업동향은 소품종 다량생산체제에서 다품종 적량 생산체제와 같은 일반적인 수준의 부가가치를 창출하는 제품의 생산, 즉 전통적인 생산방식에서 벗어나 초정밀 미세가공 분야까지 확대되고 있다[1].

그렇지만 미세가공의 경우 제품크기가 소형화됨에 따라 소재의 두께가 얇아지고 두께의 감소

에 따른 물성치 변화나 측정된 물성치의 산포등과 같은 크기 효과(size effect)등과 같은 미세구조와 관련된 문제점 때문에 일반적인 두께의 재료와는 다른 특성을 나타낸다[2]. 따라서 미세부품 성형공정의 개발을 위한 성형해석 시 크기효과에 따른 물성치 변화를 고려하지 않을 경우 신뢰할 만한 해석결과를 얻기가 어렵기 때문에 결과적으로 공정의 개발에 지장을 초래할 수 있다.

이러한 문제를 극복하기 위해 국내외적으로 미세재료에 대한 기계적 특성 규명과 측정방법에 대한 표준화, 미세 재료 특성의 수치적 묘사에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다[3~5].

일반적으로 미세 재료의 기계적 특성을 직접적

1. 영남대학교 대학원 기계공학과  
# 교신저자: 영남대학교 기계공학부  
E-mail : hbshim@yu.ac.kr

으로 얻기 위한 방법으로는 미세인장시험이 주를 이루고 있다. 그러나 일반적인 인장시험방법과 비교하여 시편의 크기가 작기 때문에 변위와 하중의 측정, 시편 정렬과 고정 등의 문제점 때문에 어려움을 겪고 있다.

본 연구에서는 이러한 문제점들을 감안하여 미세인장시험기를 제작하였으며, 궁극적인 목표가 미세성형에 필요한 판재의 물성치 측정이기 때문에 미세성형이 가능하기 위한 소재의 최적열처리 조건을 찾았고 개발된 미세인장시험기를 이용하여 열처리 조건에 따른 물성치 변화를 측정하였다[6].

## 2. 실험장치의 구성

Fig. 1과 Fig. 2는 본 연구에서 개발한 미세 인장시험기의 개략도를 나타내고 있다. 시험기의 구동장치는 스테핑모터(Autonics사, G5913 40,000pulse/rev)를 사용하고 있으며 인가하중의 증대와 원활한 운동을 위해 감속비 1/100인 감속기(HD Systems사, CSF32-100-2UH)를 연결하였다. 또 백래시를 최소화하기 위해 이송장치로 볼스크루(THK사, BNFN2505-5, C3급)를 사용하였다. 이 시험장치의 최대 인가하중은 700kgf이며, 최대이송속도는 10mm/min이다.

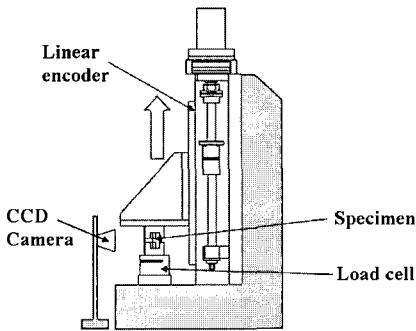


Fig. 1 Schematic diagram of tensile tester

하중은 최대측정하중 50kgf 인 로드셀(CAS 사, SB 50L)을 사용하여 측정하였다. 기존의 연구에 의하면 미세박판의 인장시험기에서 시편의 형상과 그립방법이 가장 문제가 되고 있는데 그립부위에서 미끄러짐이 발생할 경우 측정오차를 유발할 수 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서 본 장치에서는 리니어인코더와 화상처리기법을 복합적으로 사용함으로써 각 측정방법의 문제점을 보

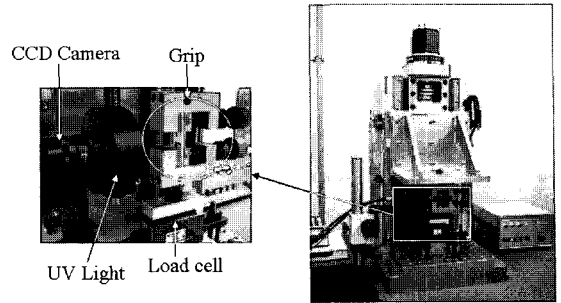


Fig. 2 Set-up for tensile test

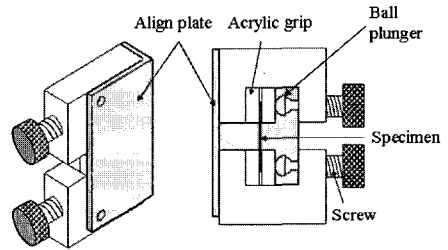


Fig. 3 Grip and alignment for tensile test

상하여 측정의 정확도를 높이고자 하였다.

시편의 인장 측정에 사용된 리니어인코더(RSF 사, MAS 670.51)는 분해능 0.1  $\mu\text{m}$ 이며 화상처리를 위해 사용된 CCD 카메라(Sony 사 XC-HR70)는 1024×768 pixel 에 시야면적 17×12.75mm 인 고평면의 매크로렌즈(OPTART 사, TV032D)를 연결하여 사용하였다. 이때 양호한 화상신호를 얻기 위해 자외선(UV light) 조명장치를 사용하였다. 촬영된 화상신호를 이용하여 리니어인코더로 측정된 결과를 보정하였다.

Fig. 3은 시편의 정렬방법을 나타내고 있다. 본 연구에서는 시편을 그립과의 마찰을 이용한 고정방식을 채택하였으며 비교적 마찰계수가 큰 아크릴판 사이에 시편을 물린 뒤, 아크릴 판과 점접촉이 이루어지는 볼 플런저(ball plunger)를 이용하여 시편을 밀착시켰다. 여기서 점접촉 방식으로 아크릴 판을 밀어주는 이유는 시편의 밀착을 위해 나사를 회전할 때 아크릴판의 회전을 최소화함으로써 시편 고정을 고정할 때 시편의 뒤틀림을 최소화하기 위함이다.

또한 미세인장시험의 정확도를 확보하기 위해서는 시편의 정렬이 중요하다. 이를 위해 압수 한쌍의 형상으로 제작된 아크릴 판 사이에 시편을

끼워둠으로써 시편과 아크릴 판을 정렬하였으며, 또 시편을 수납한 아크릴 판을 ‘ㄱ’ 자형태의 정렬판에 접촉시킴으로써 정렬이 쉽도록 하였다. 이때 아크릴과 정렬판은 체결 시에 정렬이 정확하게 이루어지도록 표면을 연마하였다. 인장시험 시에는 정렬판을 제거하고 시험을 실시하게 된다. 사용된 아크릴은 시편을 고정시킬 때 볼에 큰 힘을 가하기 때문에 아크릴판의 형상이 변할 수 있기 때문에 여러 개를 제작하여 사용하였다.

### 3. 미세 인장시험

#### 3.1 시편의 준비

##### 3.1.1 예비실험

미세인장시험은 시험하고자 하는 소재의 종류, 두께, 가공방법 그리고 시편의 고정방법 등에 따라 연구자에 따라 서로 다른 시험법이 사용되고 있어 시험방법이 아직 확립되어 있지 않은 형편이다[7]. 본 연구에서는 시편의 라운드 반경은 수차례의 시행착오과정을 거쳐 시편이 중앙부분에서 파단 될 수 있는 최소크기로 결정하였다. Fig. 4는 이렇게 결정된 폭 3mm, 라운드 부위 곡률반경 0.5 mm 인 시편의 형상을 나타내고 있다.

이 시편을 Fig. 3의 그림장치와 정렬방법을 이용하여 인장시험기에 장착한 후 0.3mm/min의 속도로 두께 50  $\mu\text{m}$ , 70  $\mu\text{m}$ , 100  $\mu\text{m}$ 의 STS 316L 압연판재와 두께 100  $\mu\text{m}$ 의 순도 99.9%의 Cu 압연판재에 대해 예비인장시험을 하였다.

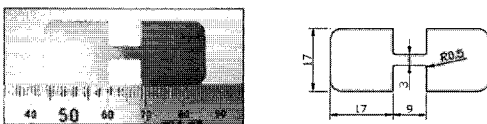


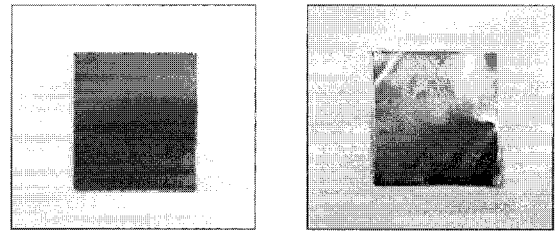
Fig. 4 Tensile test specimen

예비실험결과 압연된 상태, 풀림처리하지 않은 판재를 그대로 사용했을 때 충분한 소성변형을 얻기 전에 파단이 발생되기 때문에 스템핑을 하기 위해서는 풀림처리가 필요하다고 판단하였다.

##### 3.1.2 풀림처리

Fig. 5는 진공도에 따른 불량을 나타내며 진공도가 낮을 경우 표면이 탄화되어 표면의 색깔이

검게 변하는 것을 알 수 있다. 이와 같이 미세박판의 열처리의 성패는 온도뿐만 아니라 진공로 내부의 진공도 등에 영향을 크게 받는다는 것을 알았다. 이 결과를 바탕으로 Fig. 6과 같이 초기진공도를  $5.0 \times 10^{-5} \text{ torr}$ 를 유지하도록 하면서 최고온도를 달리하면서 풀림처리한 후 촬영한 결정조직 사진을 바탕으로 최적풀림 조건을 찾았다.



(a) Low vacuum

( $1.0 \times 10^{-2} \text{ torr}$ )

(b) High vacuum

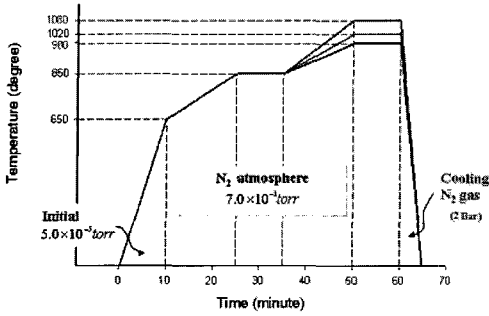
( $5.0 \times 10^{-5} \text{ torr}$ )

Fig. 5 Effect of degree of vacuum at initial stage

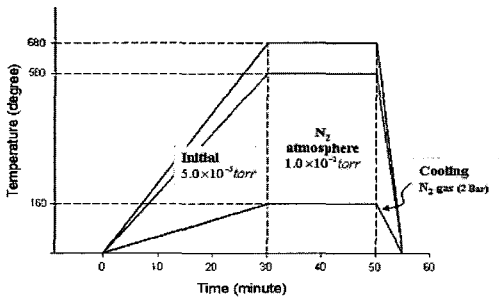
Fig. 6(a)는 두께 50  $\mu\text{m}$ , 70  $\mu\text{m}$ 의 STS 316L재의 열처리 조건, 즉 가열 및 냉각시간, 가열 및 냉각온도, 진공도를 나타내고 있다. 이 그림에는 풀림온도, 즉 최대온도 980 $^{\circ}\text{C}$ , 1020 $^{\circ}\text{C}$ , 1080 $^{\circ}\text{C}$ 의 3가지의 경우에 대한 열처리 조건을 함께 나타내었다. Fig. 6(b)는 두께 100  $\mu\text{m}$ 의 Cu에 대해서 풀림온도 680 $^{\circ}\text{C}$ , 580 $^{\circ}\text{C}$ , 160 $^{\circ}\text{C}$ 에 대한 열처리조건을 나타내고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 두 경우 모두 동일한  $7.0 \times 10^{-1} \text{ torr}$ 의 질소가스 분위기에서 풀림처리 하였으며 냉각 시에는 2bar의 질소가스를 주입하여 소재를 급랭시켰다.

그런데 두께 100  $\mu\text{m}$ 의 STS 316L 판재는 구입당시 이미 풀림 처리되어 있었으며, 열처리 조건을 확인한 결과 이 소재는 Fig. 6(c)와 같이 소재이동 속도 3m/min의 속도로 이동하면서 가열구간 10m, 냉각구간 7m, 가열온도 1000 $^{\circ}\text{C}$ 의 연속진공소둔로에서 풀림처리된 것으로 조사되었다.

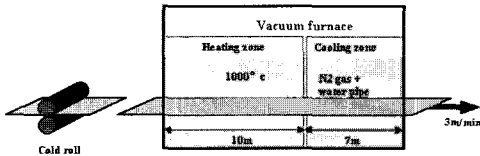
풀림처리에 의한 조직의 변화를 관찰하기 위해 서로 다른 온도로 열처리된 시편의 조직을 SEM (Scanning Electron Microscopy)을 사용하여 촬영하였다. 금속재료는 일반적으로 재결정온도 부근에서는 결정립의 미세화가 이루어지고 그 이상의 온도에서는 결정립이 성장하는데, Fig. 7의 STS 316L의 조직사진으로 판단할 때 결정립 크기를 기준으로 980 $^{\circ}\text{C}$ 에서는 열처리전의 조직과 거의 비슷한 모습을 보여주고 있으며 1000 $^{\circ}\text{C}$ 에서는 결



(a) STS316L sheet (50  $\mu\text{m}$ , 70  $\mu\text{m}$ )



(b) Cu sheet (100  $\mu\text{m}$ )



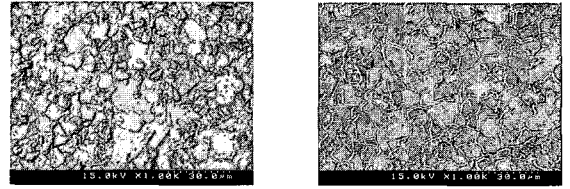
(c) STS316L sheet (100  $\mu\text{m}$ )

Fig. 6 Annealing conditions

정립의 크기가 다소 작아졌고 1020°C 이상에서는 커진 것을 미루어 볼 때 STS 316L 판재의 재결정 온도는 1000°C 부근일 것으로 짐작된다.

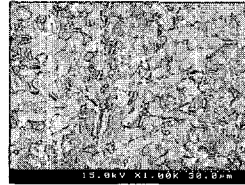
또한 Fig. 8 은 Cu 의 조직사진을 보여주고 있는데 160°C에서 결정립의 미세화 진행을 확인 할 수 있고, 이후 결정립이 성장하여 580°C에서는 열처리하지 않은 경우와 비슷해 졌으며 680°C는 580°C와 거의 비슷한 수준을 나타낸다. 일반적인 구리의 재결정온도는 200°C ~ 300°C로 알려져 있는데 조직사진에서의 결정립의 미세화와 결정립의 성장 경향과 일반적인 구리의 재결정온도와 잘 일치하고 있음을 알 수 있다.

온도에 따른 조직의 변화향을 바탕으로 풀림

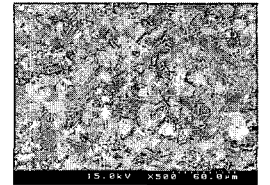


(a) Before annealing ( $\times 1000$ )

(b) 980°C ( $\times 1000$ )



(c) 1000°C ( $\times 1000$ )

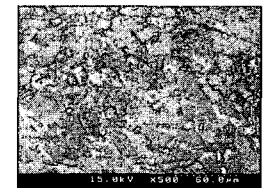


(d) 1020°C ( $\times 500$ )

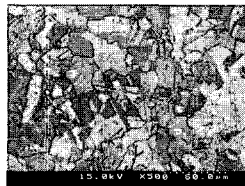
Fig. 7 Effect of annealing temperature on microstructure (STS316L)



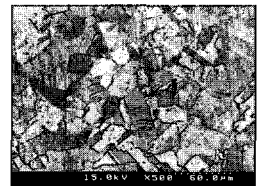
(a) Before annealing ( $\times 500$ )



(b) 160°C ( $\times 500$ )



(c) 580°C ( $\times 500$ )



(d) 680°C ( $\times 500$ )

Fig. 8 Effect of annealing temperature on microstructure (Cu)

열처리 조건을 다음과 같이 결정하였다. 즉 STS 316L의 경우 Fig. 6(a)와 같은 열처리조건을 따를 때 두께 50  $\mu\text{m}$ 의 경우 최고온도 1000°C로, 100  $\mu\text{m}$  판재는 최고온도 1020°C로, Cu는 두께 100  $\mu\text{m}$ 의 판재는 Fig. 6(b)와 같은 열처리조건에서 최고온도 580°C로 결정하였다.

### 3.1.3 시편의 가공

본 연구에 필요한 인장시편은 소재의 크기를 고려할 때 일반적인 기계가공보다는 레이저가공, 와이어방전가공, CIP(Cold Isostatic Pressing)등의 사

용을 고려할 수 있다. 그런데 CIP 가공의 경우 소재에 열유입이 없기 때문에 열영향에 따른 조직의 변화를 유발하지는 않으나 레이저나 방전가공의 경우 가공중에 작용하는 열이 조직의 변화를 유발할 수 있다. 따라서 인장시편의 가공을 위해서는 열유입이 없는 CIP 방법이 적절하나 본 연구에서는 CIP 장비의 사용이 어려워 와이어방전 가공을 통해 인장시편을 가공하는 대신 와이어방전에 따른 물성치의 변화를 관찰하기 위해 절단부 위와 그렇지 않은 부위의 조직을 비교하였다.

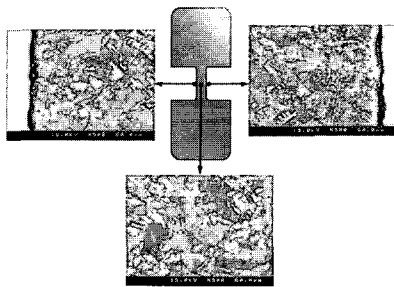


Fig. 9 Effect of wire cutting on microstructure

Fig. 9 는 와이어방전 가공으로 제작된 Cu 인장시편에 대한 결정립의 SEM 사진을 보여주고 있다. 사진에서 절단면에서 멀리 떨어진 부분, 즉 중심부분의 결정립은 절단면에 비하여 크기가 약간 더 크게 나타나고 있다. 사진에서 검은색으로 나타난 절단면의 열영향부의 깊이는 약  $8\ \mu\text{m}$  정도로 나타났으며 열영향부의 안쪽은 조직의 변화가 관찰되고 있지 않았다.

### 3.2 시험 및 평가

#### 3.2.1 측정장치

인장시험에서의 시편의 변형률측정을 위해서 분해능  $0.1\ \mu\text{m}$  의 리니어인코더(이하 LE)와 CCD 카메라를 이용한 화상처리 기법을 동시에 사용하였다. 화상처리기법은 LE에 비하여 다음과 같은 특징이 있다. 첫째, LE는 시편의 길이방향 변형량만 측정하는데 반하여 화상처리기법은 시편의 길이방향의 변형뿐만 아니라 폭방향의 변형도 동시에 측정할 수 있기 때문에 이방성계수의 측정에 유용하게 사용할 수 있다. 둘째, LE를 사용할 경우 그림에서 미끄러짐이 발생할 경우 변형량 측정시 오차가 발생할 수 있는데 반하여 화상처리기법은 변형부위를 직접 측정하기 때문에 미끄러짐에 따른 오차는 발생되지 않는 장점이 있다. 그렇지만

화상처리시 노이즈에 따른 오차발생가능성 때문에 실시간 측정이 어려운 문제점이 있다.

따라서 본 연구에서는 시편을 인장한 후 화상처리를 통해 측정된 인장량과 LE를 통해 측정된 인장량을 비교함으로써 그림에서의 미끄러짐량을 구하고 이를 바탕으로 LE에서 측정된 인장량을 보정하는 방법을 채택하였다.

인장력은 로드셀을 이용하여 측정하였으며 변형에 대한 LE 신호, 화상신호, 그리고 하중신호를 LabView[8]를 사용하여 동시 측정하였다.

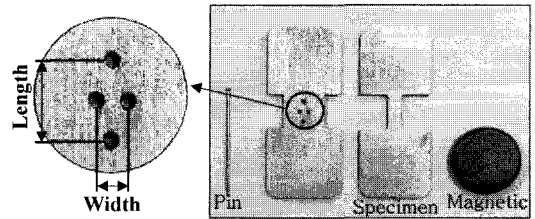


Fig.10 Marking device

화상처리기법으로 변형률 및 이방성계수를 측정할 때 필요한 표점을 표시하기 위해 Fig. 10과 같은 표점 표시장치를 제작하였다. 시편의 표점 표시방법은 길이방향으로 5mm 간격으로 2개, 폭방향으로 2mm 간격으로 2개의 구멍이 뚫린 판위에 시편을 올려놓고 자석을 이용해서 시편을 고정시킨 뒤 이를 뒤집은 후 형광물질을 묻힌 끝이 뾰족한 핀으로 이 구멍을 통해 표점을 표시하면 된다. 이러한 방법으로 표시된 표점은 크기가 약  $70\ \mu\text{m}$  로 시편이 변형되더라도 표점의 중앙점을 기준으로 거리를 측정하면 형상변화에 의한 측정오차를 최소화할 수 있다.

Fig. 11은 별도 조명이 차단된 상태에서 형광물질을 발광시키기 위해 자외선발광장치로 조명한 뒤 CCD 카메라로 촬영한 화상이다.

이 화상으로부터 표점 간의 거리측정을 위해 LabView 함수들을 이용하여 Fig. 12에 나타낸 순서와 같이 화상처리를 하였다.

1 단계: 버퍼(buffer) 영역에 원본을 저장하고 화상을 흑백반전한다.

2 단계: 지수(exponential) 함수를 사용하여 명도차(gray level)를 증가시킨다.

3 단계: 선택영역을 결정하고 역치(threshold)를 조정하여 표점의 외곽(edge)를 찾는다.

4 단계: 모핑(morphing)기능을 사용하여 표점내부를 채워주고 표점을 제외한 나머지 이미지는

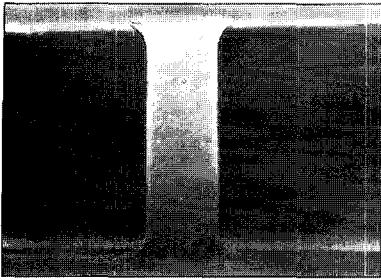


Fig.11 Image of specimen after marking

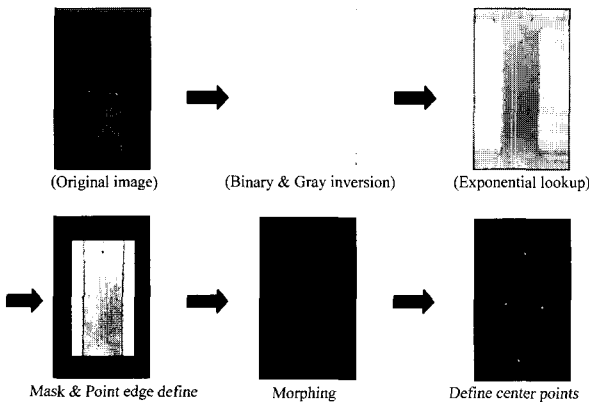


Fig.12 Image processing procedure

제거한다.

5 단계: 표점 내부의 중앙점(center point)을 찾아 내어 이를 좌표로 나타낸다.

3.2.2 리니어 인코더와 화상처리의 비교

인장시험시의 리니어인코더로 측정된 변형량과 화상처리를 통해 구한 변형량을 비교하기 위해 두께 100 μm 의 STS 316L 판재 (풀림온도 1000℃) 과 두께 100 μm 의 Cu 판재 (풀림온도 580℃)를 리니어인코더로 측정된 값이 일정값에 도달할 때 까지 인장한 후 이 시편의 인장량을 비전시스템을 측정하여 비교하여 Table 1에 나타내었다.

Table 1을 보면 2가지 측정방법으로 구한 인장량이 거의 일치하고 있는데 이를 미루어 볼 때 두가지의 측정방법 모두 신뢰성이 있는 것으로 판단되며 아울러 시편 그림부에서의 미끌어짐이 무시할 만하다는 사실과, 그리고 라운드부위에서의 변형의 차이가 거의 나타나지 않음을 알 수 있다. 따라서 본 연구에서 제작한 그림장치가 적절하다는 것과 또, 리니어인코더와 로드셀을 사용하여

Table 1 Comparison of measured strain

Material		Strain (%)	
		Vision system	Linear encoder
STS316L	0°	47.5	48.7
	45°	58.7	57.9
	90°	65.6	63.2
Cu	0°	21.2	22.9
	45°	33.1	32.5
	90°	21.8	23.2

Table 2 Lankford Value R

Material		R	$\bar{R}$
STS316L	0°	0.72	0.84
	45°	0.96	
	90°	0.7	
Cu	0°	0.82	0.58
	45°	0.34	
	90°	0.8	

측정한 응력-변형률 곡선이 신뢰할 수 있음을 확인하였다.

3.2.3 이방성 계수의 측정

이방성계수는 화상처리 기법을 통해 측정하도록 한다. 판재의 이방성계수 R 은 다음 식으로 표현된다.

$$R = \frac{\ln(w/w_0)}{\ln(t/t_0)} = \frac{\ln(w/w_0)}{\ln(w/w_0) + \ln(l/l_0)} \quad (1)$$

평균이방성 계수  $\bar{R}$  은 압연방향에 대하여 0°, 45°, 90°방향으로 각각 절취한 인장시편으로 구한 이방성계수의 평균으로 다음 식으로 표현된다.

$$\bar{R} = \frac{R_0 + 2R_{45} + R_{90}}{4} \quad (2)$$

Table 2 는 각 재료에 대하여 측정된 이방성 계수 R 을 나타내고 있다.

3.2.4 와이어 방전절단의 영향 조사

와이어 방전절단에 의한 물성치의 변화를 조사하기 위하여 Fig. 4 의 미세인장시편과 폭 12.5mm,

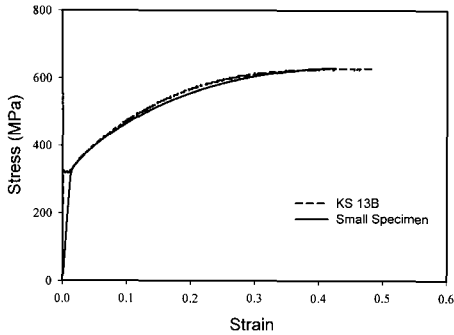


Fig.13 Comparison of measured stress-strain curve to show the effect of wire cutting

길이 50mm 인 KS 13B 호 시편을 각각 인장시험한 결과를 비교하였다. 그 이유는 KS 13B 인장시편은 미세인장시편과 비교할 때 크기가 크기 때문에 상대적으로 절단부위의 영향이 작고 반대로 미세인장시편은 절단부위의 영향이 상대적으로 많기 때문이다. 즉 두 결과의 차이로부터 와이어절단이 물성치에 미치는 영향을 조사하였다.

이를 위해 풀림처리된 100  $\mu\text{m}$  두께의 STS 316L 판재를 압연방향에 평행한 방향으로 절취한 뒤 각각 와이어방전절단으로 Fig. 4의 미세인장시편과 KS 13B호 인장시편을 각각 제작한 후 KS 13B 인장시편은 Instron 시험기에서, 미세인장시편은 본 연구에서 제작된 인장시험기에서 각각 실험한 후 그 결과를 Fig. 13에 비교하였다.

탄성계수의 값을 제외하고 항복응력, 최대인장강도, 연신율 등 모든 값이 잘 일치하고 있는 것으로 미루어 볼 때 본 연구에서 제작된 인장시험 장치의 신뢰성을 확인할 수 있었고 또 와이어 방전절단은 탄성영역에서의 물성치만 변화시키고 있는데 이는 와이어방전 절단부에서 열영향을 받아 조직이 변화했기 때문인 것으로 판단된다.

### 3.2.5 크기효과의 조사

두께에 따른 물성치의 변화, 즉 크기효과를 조사하기 위해 동일한 재질의 두께가 서로 다른 판재의 인장시험 결과를 비교하였다. 비교를 위해 풀림처리를 하지 않은 STS 316L재질의 두께 50  $\mu\text{m}$ , 70  $\mu\text{m}$ 의 판재의 인장시험결과를 Fig. 14에 나타내었다. 두께가 얇아질수록 전체적으로 강도는 커지고 파단시의 공칭변형률, 즉 연성이 작아지는 전형적인 크기효과를 확인할 수 있다[2].

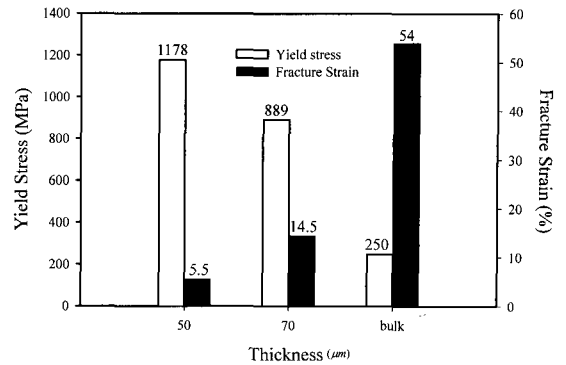
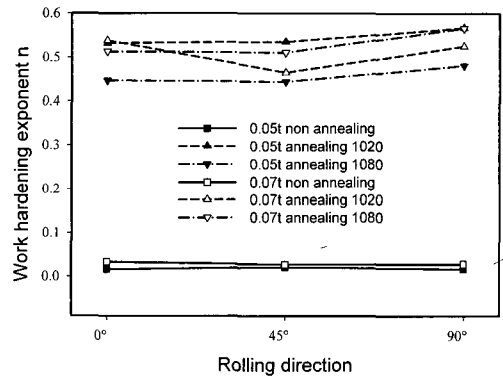
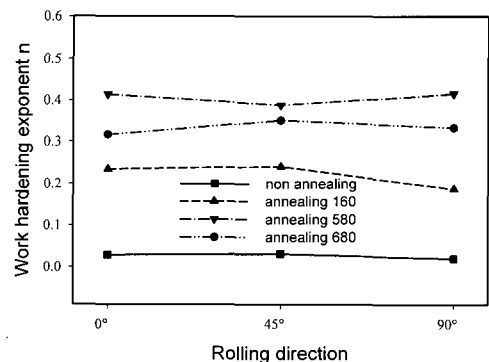


Fig.14 Size effect due to scale down



(a) STS316L



(b) Cu (100  $\mu\text{m}$ )

Fig.15 Work hardening exponent n

### 3.2.6 가공경화지수와 풀림처리

열처리조건에 따른 가공경화지수의 변화를 조사하였다. 가공경화지수는 인장시험에서 측정된 공칭응력-공칭변형률 곡선을 진응력-진변형률로 변환

후 기

한 뒤, 최소자승법을 이용하여  $\sigma = K\epsilon^n$  형태의 곡선에 근사하는 K와 n 값을 구하였다.

Fig. 15(a)는 동일한 진공로에서 50  $\mu\text{m}$ , 70  $\mu\text{m}$  두께의 STS 316L 판재를 풀림처리하지 않은 것, 1020 $^{\circ}\text{C}$ , 1080 $^{\circ}\text{C}$ 에서 풀림처리한 것에 대한 가공경화지수를 비교하고 있으며 Fig. 15(b)는 100  $\mu\text{m}$ 의 두께의 Cu의 풀림처리하지 않은 것, 160 $^{\circ}\text{C}$ , 580 $^{\circ}\text{C}$ , 680 $^{\circ}\text{C}$ 에서 풀림처리 한 것에 대한 가공경화지수를 비교하고 있다. 그림에서 풀림처리를 통해 재료의 가공경화지수가 급격히 증가하고 있음을 알 수 있다. 가공경화지수가 증가할수록 성형성이 좋아지기 때문에 풀림처리가 미세스텝핑 공정의 주요해결방법이 될 수 있을 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서는 미세인장실험을 위해 인장시편의 형상을 고안하였으며 이 시편의 인장시험을 위해 필요한 그림 및 정렬을 위한 장치를 고안하였다. 또한 인장시험시의 힘의 측정을 위해서는 로드셀을 사용하였고, 변형량의 측정을 위해서는 리니어인코더에 의한 변형량 직접측정방식과 CCD 카메라를 이용한 화상처리방법을 이종으로 사용함으로써 실험의 신뢰도를 높이고자 하였다.

사용된 시편의 최적풀림열처리 조건을 도출하여 인장시험을 실시하여 시편의 방전절단에 의한 물성치변화도 조사하였다. 또 시편의 두께가 얇아질수록 강도는 커지고 연성이 작아지는 크기효과도 확인할 수 있었으며 열처리조건에 따른 가공경화 지수의 영향을 파악한 결과 풀림처리에 의해 가공경화지수가 급격히 커짐을 알 수 있었다.

본 연구는 한국학술진흥재단의 지역대학우수과 학자 지원사업(R05-2004-000-10034-0)과 2004 학년도 영남대학교 연구년제의 지원으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- [1] 나경환, 2002, 미세 성형 기술 개발 현황, 한국소성가공학회지 제 11 권 제 3 호, pp. 217~223.
- [2] N. Pernin, J. Chambert, P. Picart, 2005, Micro-Forming Modeling by using gradient plastic and surface layer approaches, October 9-13, ICTP, Verona, Italy.
- [3] 이혜진 외 6 인, 2005, 냉간 등방압 성형기를 이용한 미세박판 인장시험시편 가공기술 및 정밀 기계적 물성 측정기술, 한국소성가공학회 춘계학술대회 논문집, pp. 245~248.
- [4] W. N. Sharpe Jr., B. Yuan, R. L. Edwards, 1997, A New Technique for Measuring the Mechanical Properties of thin films, J. Microelectromech. Syst., Vol. 6, pp. 193~199.
- [5] S. Greek, S. Johansson, 1997, Tensile Testing of Thin Film Microstructures, Proc. SPIE, Vol.3224, pp. 344~351.
- [6] 김양수, 2006, 미세박판 성형에서의 블랭크 형상의 영향에 관한 연구, 영남대학교 대학원 석사학위 논문.
- [7] 나경환 외 7 명, 2003, 기능성 소재의 마이크로 인장 시험기 개발, 고기능 초미세 광-열유체 마이크로부품 기술개발 워크샵, 제주.
- [8] <http://www.ni.com/labview>