한국소성가공학회 '97추계학술대회 논문집 pp.102~109

Shadow Mask 제조공정의 열변형특성(I)

손 순 식*, 서 윤 철*, 강 충 길**
(* LG전자(주), ** 부산대학교 기계공학부)
S. S. Son*, Y. C. Seo*, C. G. Kang**

ABSTRACT

The surface deformation of shadow mask was studied by the experiments and numerical analysis for process improvement and delet of the stabilizing process in the shadow mask manufaturing line. To inverigate the thermal deformation of shadow mask with and without stabilizing process mask, data of spring strength, frame flatness, frame magnetic force and a mask surface curvature were measured. The tube characteristics of two kind of shadow masks were also investigated.

1. 서론

TV의 전면이 평탄해지는 경향으로 전개되고 화면의 크기가 대형화됨에 따라 철계 소재로는 색순도의 유지가 어렵다. 그 이유는 전자 빔(Beam)을 직접 받는 철계재료의 새도우마스크는 열팽창이 커서 화면의 질을 고품위화하는데 한계가 있기 때문에 열팽창율이 철계소재의 1/10 이하인 Fe-36%Ni조성의 인바합금이 새로운 각광을 받게 되었다[(1)~(3)].

Shadow mask 제조공정(**이후 SM공정이라고 호칭함**)은 LG마이크론에서 제작된 평판 마스크(Flat Mask)를 어닐링(Annealing) 공정에서 BS(Base Plate)용접까지 총 9가지의 공정를 거쳐 새도우마스크가 제조된다. 재설계된 SM공정은 Stabilizing공정(이하 Stabi공정이라고 칭함)이 삭제된 8가지의 공정을 거쳐 제조된다. 본 연구에서는 SM제조공정을 개선하기 위하여 평판 마스크의 어닐링작업시 수소로 열처리와 처리시간에 따른 물성변화를 고찰한 다음 Stabi공정 전후에 있어서 부품의 특성 변화를 실험으로 비교 평가하고, Stabi공정을 거친 SM를 장착한 제품과 거치지 않은 제품의 특성변화를 비교 평가하였다.

부품의 특성변화를 평가하기 위하여 스프링(Spring) 강도변화의 실험, 프레임 평탄도 및 SM 완제품의 곡률변화를 측정하였다. 제품의 특성을 평가하기 위하여 색순도(Purity)특성 이외에 일반적인 제품 특성(Screen,Alignment)변화를 평가하였다. 특히 SM공정에서 용접작업한 후 SM가 Stabi공정에서 어떠한 변형를 일으키는지 관찰하기 위하여 제조과정을 유한요소법에 의하여 해석하여 그 결과를 실험결과와 비교검토하고,제품특성에 미치는영향을 파악하였다.

2. SM 공정 개요

Fig.1은 SM 튜브의 칼라 재현 원리를 간단히 표시하고 있다. Fig.1에서 보여주는 바와같이 3원색(Red, Green, Blue)을 독립적으로 발광하는 형광체와 그것들에 각각 대응하는 전자총과의 사이에 SM의 구멍부분을 통과하고 구멍을 통과한 각각의 전자빔은 그 기하학적 구조에 의해 대응하는 R,G,B 형광체에만 충돌하게 된다. 즉, 3개의 전자빔에 3원색 신호를 독립적으로 인가하면, 형광면에서는 변조된 3원색 화면이 합성되어지고, 따라서 칼라 화면이 스크린(Screen)에 재생된다. SM 튜브는 이처럼 색선별 작용을 하는 전극으로서 SM를 이용함으로써 특수한 제어 장치를 필요로하지 않고 오직 SM의 기하학적 형태만으로 그 역할을 하는 장점을 갖고 있다. 이처럼 주요한 기능을 가진 SM는 형광면에서 약 10mm 떨어져서 형광면과 평행하게 장치되어 있다. SM 두께는 0.13-0.18mm 정도로 SM 크기에 따라 14만에서 24만개의 슬롯(Slot)형

구멍이 뚫어져 있다. 구멍의 배열은 화면의 세로축과 직각방향으로 피치(Pitch)는20"튜브의 경우 수직피치(Pv)=0.60,수평피치(Ph)=0.76이며, 이는 화면의 크기에 따라 다르다. 구멍의 피치에 따라서 전면의 구멍수가 결정되며,화면의 해상도는 구멍수의 평방근에 비례하므로 해상도를 좋게하려면 피치를 작게할수록 좋지만 피치가 작으면 형광점의 크기가 작아지고 빔이 자기 형광점에서 벗어나 혼색을 일으키기 쉽다. 슬롯의 형태는 통과하는 전자 빔이 슬롯형 구멍의 벽에 충돌하여 산란되지 않도록 형광면쪽으로 갈수록 넓어지는 원추형 구멍으로 되어있다. 슬롯 구멍의 크기는 20"튜브의 경우 약 0.205mm이며 클수록 전자빔의 투과율이 좋고 화면이 밝아지지만 피치가 작을 때와 마찬가지로 혼색을 일으키기 쉽다. 20" 튜브의 경우 전자빔의 투과율이 화면 중앙부에서 15-18%로서 이것만이 형광면을 발광시키고 나머지 빔은 SM에 그대로 충돌하여 열손실로 되기 때문에 SM 표면에 흑화처리를 하여 열방출을 좋게하고 있다[4].

Fig.2는 SM의 조립공정도이다. LG마이크론에서 평탄한 강판에 사진 재판술을 응용한 부식에 의하여 정확히 구멍을 뚫어온 평판 SM를 내부응력을 제거하기 위해 어닐링,롤-레벨링(Roll-Leveling)하여 프레스(Press)에 의해 규정된 곡률을 형성시킨 SM를 프레임과 흑화처리 후 용접하여 제작하였다[5]~[6].

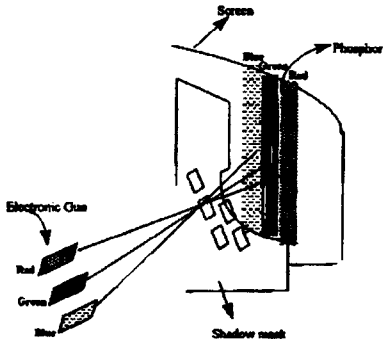


Fig.1 Shadow mask tub

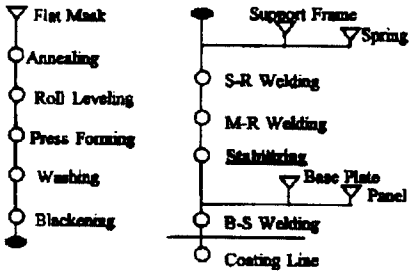


Fig.2 Flow chart for manufacturing process of shadow mask assembly

3.실험 및 결과 고찰

본 실험에서 사용된 재료는 Fe-36% Ni조성의 인바합금을 사용하였으며 실험방법은 수소로를 사용하여 어닐링온도를 900, 950, 1000, 1050℃로 변화시키고, 각 온도에서 유지시간을 15분, 30분으로 한후 노랭하여 특성을 검토 하였다. 인장시험은 상온, 120, 150, 180, 200℃에서 실시하였다.

상온 및 고온 인장시험에서 항복 강도의 변화를 Fig.3에서 나타내고 있다. 상온 인장의 경우 항복강도는 대체적으로 22~26kg/㎟ 범위에 있으며 전반적으로 어닐링 온도와 유지시간이 증가할 수록 1 kg/㎟ 범위내에서 완만하게 감소하였다. 유지시간이 15분인 경우 온도 증가에 따른 항복강도의 감소는 900℃의 저온인 경우가 1050℃의 고온인 경우보다 더욱 크게 나타난다. 그러나 유지시간이 30분으로 증가하면 항복 강도의 변화폭이 작아지는 동시에 오히려 항복강도가 약간씩 증가하였다. 또한, 동일한 어닐링 온도에서 유지시간이 증가하면 900℃의 온도에서는 약 1kg/㎟ 이상의 항복강도가 감소하는 현상을 보이고 있다. 그러나, 1050℃에서 유지시간이 30분으로 증가하면 0.8kg/㎟ 정도까지 크게 감소하여 22 kg/㎟의 최소값을 나타낸다. 전반적으로 어닐링 조건에 따른 항복강도의 변화가 그다지 크게 나타나지 않는 것은 판재의 두께가 아주 얇기 때문인 것으로 사료된다. 인장온도가 200℃의 경우에서는 항복강도는 어닐링 유

지시간에 크게 영향을 받으며 어닐링 온도에 따른 변화도 뚜렷하다. Fig.4에서 보여주는 바와 같이 D의 변화를 1mm~8mm변화시에 스프링에 걸리는 힘을 측정했다. 또 10회 강제 압축 반복하중을 가한뒤 스프링의 높이를 측정했다.

Fig.5에서 보여주는 바와같이 SM 스프링의 강도는 Stabi적용품이 8mm변위, 즉 SM착탈기에서 스프링을 압축하였을 때 약 100g정도 강해지고 PMA(panel mask assembly)상태로 결합이 완료된 경우에는 스프링의 변위가 약 6mm정도인데 이때에는 약 80g정도 강해진다.그리고 현재 공정의 SM 착탈기에 대응해서 스프링을 10회 강제 압축한 후 복원력을 측정해본 결과 스테비를 적용하지 않은 SM가 스테비를 적용한 것에 대비 약 0.18mm정도 복원이 덜 이루어지나 1m 높이에서 PMA 상태로 낙하 테스트를 해본 결과 핀(Pin) 빠짐이나 핀 형합성에 영향을 미칠 정도는 아니다. Fig.4에서 보여주는 것처럼 흑화후, S-R용접후, M-R용접후, 스테비후 프레임을 차례대로 정반위에 올려놓고 두께 게이지로 4점의 틈새를 측정했다.

프레임의 평탄도 변화는 스테비전,후에 대해 변화하는 양은 거의 없으며 M-R, S-R용접기의 용접 Tip의 압력과 기구적인 조정을 통해 평탄도의 산포는 줄일 수 있다. Fig.6은 이를 도식화한 것이다. M-R과 S-R용접시 프레임 용접부에 잔존하는 자력의 효과 검증과 스테비후 자력 소멸 여부를 검증키 위함이다. Fig.7는 스테비 공정을 거친 SM의 곡률변화와 스테비 공정를 거치지 않은 SM의 곡률변화를 비교 측정하여 도식화한 것이다. 위치 1에서 스테비공정을 한 경우는 Fig.7에서 보여주고 있는 바와같이 도포후 약 -0.02㎜의 곡률변화가 발생한후 B/K후 -0.03㎜ 만큼 더 많은 변형이 발생하였고, 분리후 측정 결과는 -0.01㎜ 정도로 곡률이 더 변한 상태이다. 결국 BM(Black Matrix)도포후 부터는 튜브 상태로까지의 총 곡률변화량은 -0.06㎜가 된다. 스테비 공정을 거치지 않은 SM의 경우 형광체 도포 공정에서 -0.01㎜의 곡률 변화량이 있은 후 도포 이후의 공정에서 -0.03㎜의 변화가 발생하였다. 결과적으로 스테비 공정을 거친후의 곡률변화량은 공정을 거치지 않은 SM의 곡률변화보다 적음을 알 수 있다. 측정 위치별 차이는 있지만 곡률 관리규격이 화면 중앙부가 상하 0.15 mm, 가장자리부위가 0.25mm임를 감안한다면 스테비공정의 유무가 곡률을 결정적으로 변화시키는 요인이 되지 못함을 알 수 있다.

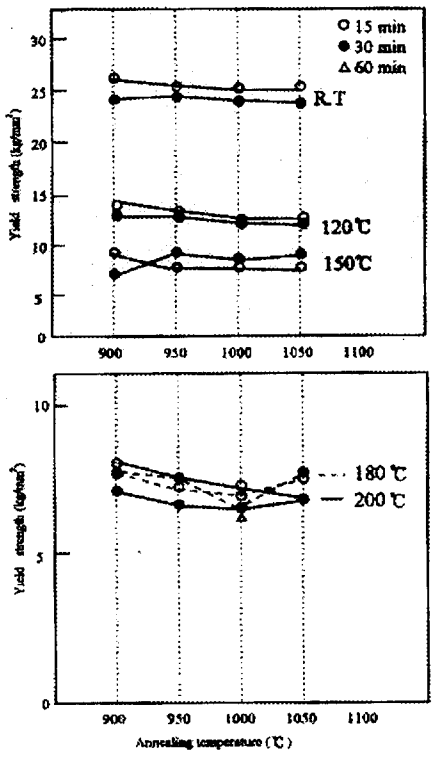


Fig.3 Relationship between yield strength and annealing temperature for invar material

4. 열탄소성 해석 결과 및 고찰

4.1 열전도 해석

스테비로내에서 SM에 발생하는 열전도를 해석하기위해 사용된 SM 원재료의 물성치는 ρ=7600 kg/m^3, c=460 J/kgK, k=42 W/mK 및 h=8 W/m^{2}K 을 이용하였다.

해석을 위한 모델은 SM 전체로 하지않고 두께0.18mm 가로,세로 10등분한 100mm × 100mm 크기의 정사각형 대칭구조로 단순화 했다.

모델에 대한 경계조건은 M-R용접된 SM는 구속조건 없이 스테비로내의 분위기온도의 대류

조건에 열전달이 이루어 진다고 가정했다. Fig.8는 온도해석 결과이다. 모델에 대한 경계조건을 ANSYS 프로그램에 적용시켜 열전도 해석을 한 결과 스테비로내에서의 SM 표면에 가해지는 온도는 스테비로내에 설정된 분위기 온도와 시간에 비례하여 변화함을 알 수 있었다.

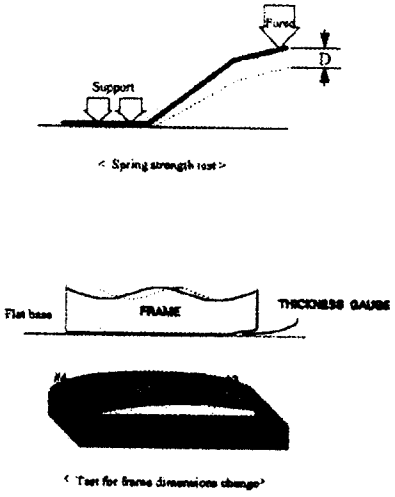
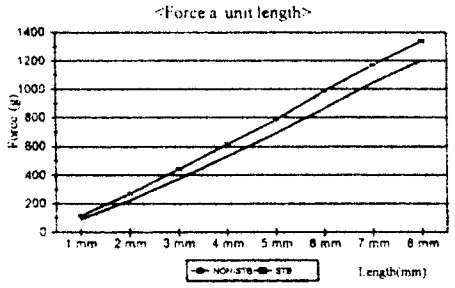


Fig.4 Test method of main components



	Restoration (mm)
Stabi	0.14
Non-Stabi	0.32
Difference	0.18

Fig.5 Results of spring strength test

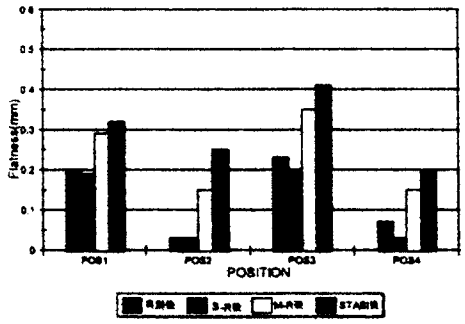


Fig.6 Frame flatness of SM

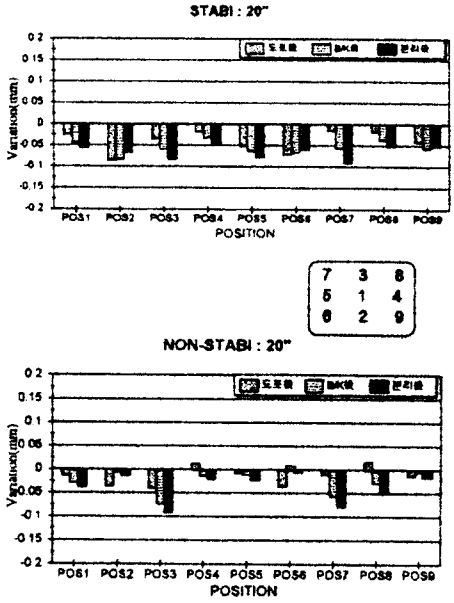


Fig.7 Mask curvature in each position for variation of process

4.2 열탄소성 해석결과 및 고찰

실험조건은 온도변화를 상온, 350℃, 450℃에서 각각 3개의 시편을 사용했다. $\dot{\varepsilon}=10^{-3}sec^{-1}$로 하여 실험을 행하였다. 온도변화에 따른 시험결과들을 이용하여 ANSYS프로그램의 입력데이타에 맞게끔 수정된 응력과 변형율의 관계를 정리하여 이용하였다. 해석을 위한 SM 모델은

앞에서 실험한 20" 튜브용 SM로서 Fig.9과 같이 절점 2397개, 요소 2273개로 구성하고, 약 20만개에 달하는 SM 표면의 구멍을 정사각형으로 단순화 하였다. 또, 소재의 두께는 양산중인 0.18mm와 향후 적용예정인 0.15mm로 구분했다. Fig.10의 M-R용접점의 위치는 측면에 20군데 사각형의 크기로 모델링했다. 프레임은 모델링에 포함되어 있지않으며 SM에 용접하중이 가해지는 것으로 가정하고 해석하였다.

Fig.11는 열탄소성 해석을 위해 모델에 대해 가해지는 단계별 하중조건을 나타낸 것었다. 하중조건 1단계(welding)에서는 SM에 가해지는 용접하중을 용접점별로 각각 0.25mm의 수직변위를 가하는 것으로 가정했다. 0.25mm는 프레임과 SM간의 용접 틈새를 의미한다. 하중조건 2단계 에서는 스테비로내에서 최대온도(450℃)까지 SM에 가해지는 열전달만을 하중으로 가정했다. 이 때 SM에 가해지는 온도의 변화는 선형적이고 온도이외의 다른 구속조건들은 없다고 가정하였다. 상온에서 450℃까지 온도변화는 승온 시간대를 5군데로 단순화시켜 해석하였다. 하중조건 3단계 에서는 스테비로 최대온도에서 상온까지 냉각될 때 SM에 가해지는 열전달만을 하중으로 가정했다. 또 다른 조건들은 2단계와 동일한 방법으로 해석하였다. 하중조건의 2,3단계에서 SM에 가해지는 온도는 스테비로 분위기 온도와 동일하다고 가정하였다.

해석 결과는 M-R용접후, 열처리 작업중, 열처리후 각각 세가지 경우에 대하여 계산하였으나 본 논문에서는 Uz 결과만을 수록 하였다. 현재 사용중인 0.18mm두께의 SM와 향후 적용예정인 0.15mm두께에 대한 SM에 대하여 계산을 수행하였다.

Fig.12은 z축 방향으로의 변위분포도를 나타낸 것이다. z축 방향의 변위분포도는 SM의 중앙을 중심으로한 대칭구조이다. 변위분포를 관찰해보면 SM의 중앙부가 최대 0.159mm, 주변부는 최대 0.259mm의 변위를나타내고 있다. 이 값들은 공정에서 관리기준 중앙부 ±0.15mm이내, 가장자리부분 ±0.25mm이내의 상한치에 접근되어있다. Fig.12의 스테비를 거치지 않은(Non-stabi)도포후의 SM 곡률의 측정값과 비교하면 높은 변위량이다. 이는 SM의 모델링과정에서 SM를 지지하는 프레임의 생략에 따른 오차라고 판단된다. 결론적으로 M-R용접후 z축방향으로의 변위는 스테비를 거치지 않아도 관리규격내에서 SM를 조립할수 있다는 근거를 보여주고 있다. Fig.13은 열처리된 SM의 z축 방향의 변위 분포도이다. 전체적으로 변위 분포가 앞의 모델에서 해석한 것과 차이가 나는 것은 열처리 후에는 SM가 급격히 냉각되면서 수축하여 z축의 "-"방향,즉 SM가 굽힘변형을 받고 있음을 의미한다. 이 결과는 Fig.7의 스테비 공정을 거친(Stabi) 도포후의 SM 곡률값이 측정위치의 모든 지점에서 "-"값을 나타내는 것과 동일한 형태를 보인다.

Fig.13의 분포도에서는 Z축 방향으로 절대변위의 크기가 최대 -0.60mm 이상으로 나타나 실험결과와 비교하면 10배 이상의 큰 변위이고 -0.3mm 이상의 큰 절대변위가 SM 전면에 분포되어 있다. SM 곡률의 관리규격인 중앙부 ±0.15mm, 자장자리부분 ±0.25mm를 초과하고 있다. 이러한 결과는 M-R용접후의 Z축 방향의 변위분포와 마찬가지로 후레임을 SM 모델링 작업에서 생략하고 단순화시킨 데 원인이 있다고 판단된다. 두께 0.15mm SM를 적용해야 하므로 0.18mm 두께의 SM와 동일한 조건에서 응력 분포와 열변형을 비교 검토 하였다. Fig.14은 M-R용접후의 SM 모델의 Z축 방향의 변위 분포도이다. 전체적으로 변위분포가 Fig.12의 0.18mm 두께를 가진 SM 모델과 유사하나,변위의 크기가 0.01mm 적게 나타나 스테비를 하지 않는 작업 공정에서 SM 곡률의 산포도를 줄이는 데 유리하게 작용할 수 있다.

Fig.15는 스테비로 열처리후 SM 모델의 z 축 방향의 변위 분포도이다. 0.18mm두께의 SM 모델 변위분포와 유사하나, 변위의 크기가 0.02mm 정도 더 크게 나타난다. SM 두께를 0.03mm 축소는 변위의 분포형태나 크기에 크게 영향을 주지않는다는 것을 알 수 있다. 이상의 열탄소성 해석의 결과로 스테비를 하지않은 M-R용접후의 MS 모델의 열변형은 SM 조립규격에 크게 영향을 미치지 않음을 알 수 있다.

향후 SM 모델링에서 생략된 후레임(Frame)을 결합시켜 동일한 조건에서 열변형을 해석하여 그 결과를 비교하여야 하며, 후레임 두께를 1.0mm에서 0.8mm로 축소시킨 SM 모델의 해석도 필요하다. M-R용접후 일어나는 열변형을 감소시키기 위해 용접조건(전류,시간)의 차이에 따른 열변형의 결과도 추가적으로 검토하여 용접조건을 최적화할 필요가 있다. 스테비, 공정이후 SM 표면이 급격히 냉각되면서 SM 전면이 처지는 열변형이 일어났다. 이는 SM공정 이후에 SM에 직접적으로 열을 가하는 공정(베이킹로,프릿트 실링로,배기로)에서도 동일한 현상이 일어날 수 있다.

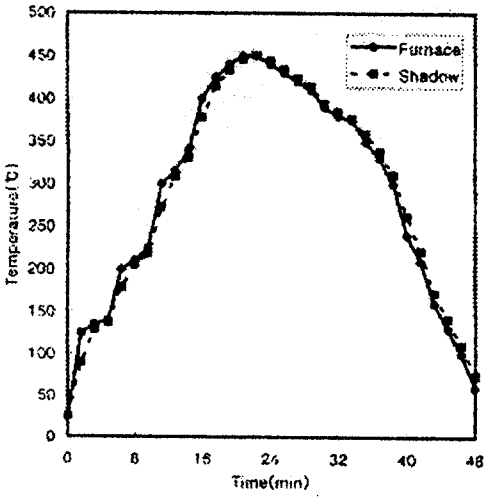


Fig.8 Temperature of stabilizing process and shadow mask surface

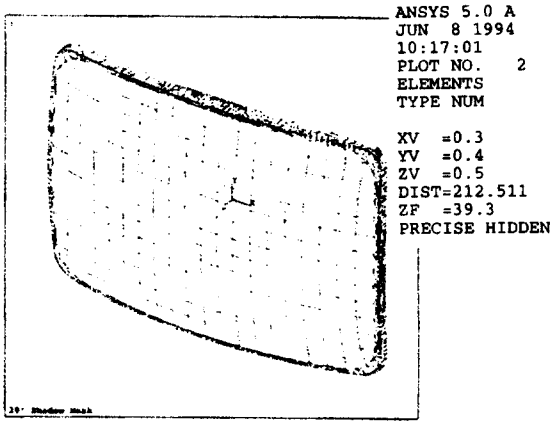


Fig.9 Shadow mask model

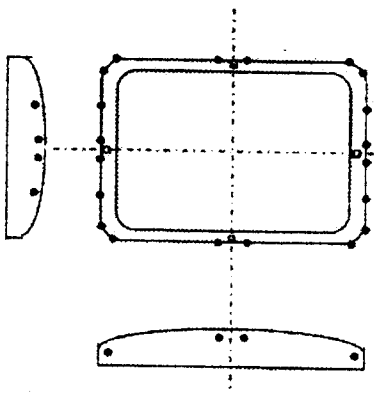


Fig.10 Mask-Frame welding point

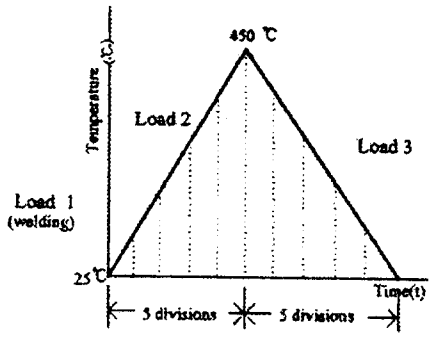


Fig.11 Curve for loading analysis

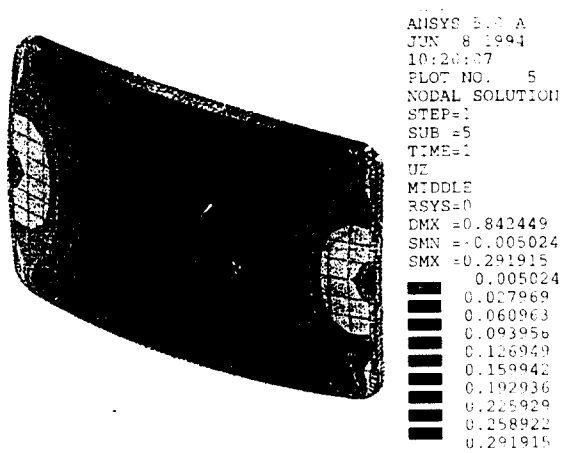


Fig.12 Displacement distribution of Z direction in mask model(0.18t) after M-R welding

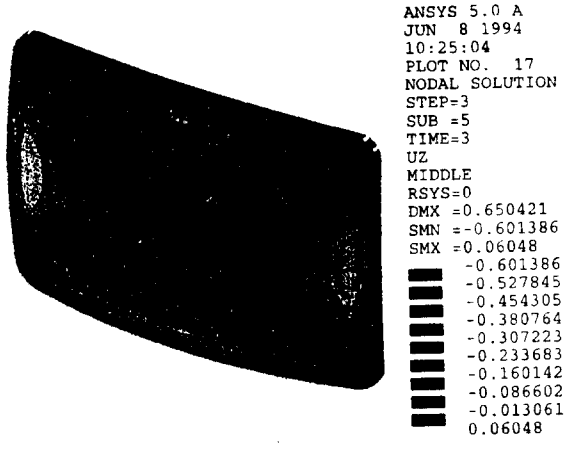


Fig.13 Displacement distribution of Z direction in mask model(0.18t) after heat treatment

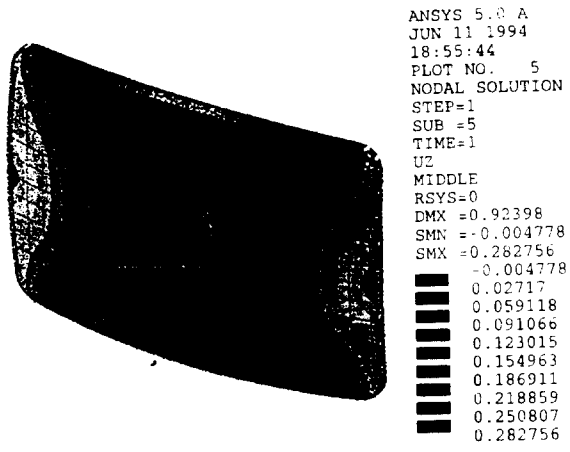


Fig.14 Displacement distribution of Z direction in mask model(0.15t) after M-R welding

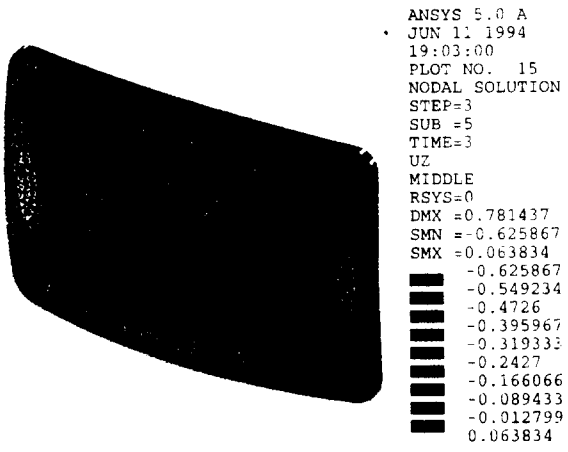


Fig.15 Displacement distribution of Z direction in mask model(0.15t) after heat treatment

5. 결론

1. Fe-Ni 36% 조성의 인바합금의 SM의 어닐링 작업시 항복강도에 영향을 크게 미치는 것은 결정립의 크기이며, 어닐링 온도와 유지시간에 따라서 결정됨을 알수 있었다.
2. SM의 스프링의 강도는 스테비 공정을 수행하지 않은 SM가 공정을 추가한 것에 비해 0.18mm 정도 복원이 덜 이뤄지나 핀(Pin)형합성에 영향을 미칠 정도는 아니다.
3. 스테비 공정을 거치지 않는 SM의 곡률 변화는 최대 0.06mm 이내로 관리 규격내에 있음을 알 수 있었다.
4. 스테비 공정을 적용한 SM와 적용하지 않은 SM를 이용하여 두 종류의 튜브를 제작 제품특성을 비교해 본 결과 큰 차이가 없음을 알수 있었다.

6.참고문헌

1. NHK 기술연구소, "Shadow Mask형 칼라 수상관의 색순도에 관한 종합적 검토", 1960.11
2. 천 종목,"INVAR재 MASK 열처리에 대한 고찰",LG 마이크론 기술세미나(1회), 1995.4
3. 정 우창,"SHADOW MASK용 AL-KILLED 냉연강판의 제조기술과 POSCO 개발현황", LG 마이크론 기술세미나(2회),PP 3-27,1996.4
4. 김 희중,"Development Trend of Invar Alloy Technology for Shadow mask", LG마이크론 기술세미나(2회),PP 38,1996.4
5. 칼라수상관의 연구,PP 204-289
6. LG전자 영상 Display 연구소,칼라 브라운관 교본,PP 25,55-62,1995.3