

퍼멀로이 실딩캔의 강성증대 및 형상 정밀도를 위한 최적 헤밍 공정설계

이선봉*, 김동환**, 김병민**

Hemming Process Design of the Permalloy Shielding Can for the Stiffness and Shape Accuracy

Sun Bong Lee*, Dong Hwan Kim**, Byung Min Kim**

ABSTRACT

This study shows the process design and forming analysis of permalloy shielding can that support the automobile multi-display parts to indicate the accurate information of car. This study is particularly important, since the accuracy of permalloy shielding can is known to affect the magnetic properties such as coercivity and permeability quite sensitively. The objective functions are defects such as hemming wind, hemming length, hemming wrap and tightness in pre-hemming process. The pre-hemming angle is considered as design parameter. The commercial finite element program PAM-STAMP™ was used to simulate the pre-hemming and hemming process. The ANN (Artificial Neural Network) has been implemented for minimizing of objective function and for investigating effect of punch angle relevant to the pre-hemming process. The results of analysis to validate the proposed design method are presented.

Key Words : Permalloy(퍼멀로이), Pre-hemming(프리헤밍), Stiffness(강성), Roundness(진원도), Optimization(최적화)

1. 서론

퍼멀로이 실딩캔(permalloy shielding can) 부품은 자동차 수요의 증대와 더불어 대량으로 생산되고 있으며, 높은 정도의 부품을 제작하기 위하여 연구가 필요하다. 본 제품은 자동차용 계기판 중에서 연료계에 들어가며, 크로스 코일 무브먼트(cross coil movement)에 전류를 제어하여 내장된 고무 자석(rubber magnet)을 회전시킴으로써 차량 정보를 지시하여 전달한다. 크로스 코일 무브먼트 연료계 구조는 Fig. 1 과 같다.

차량의 정확한 정보를 운전자에게 전달하기 위해서 퍼멀로이 실딩캔 제품은 정밀한 진원도와 균

일 두께분포를 가져야 한다. 그렇지 않으면 투자율이 낮아지고, 보자력이 높아져 연료계의 지시불량을 발생시킨다. 현재 수 개의 업체들이 퍼멀로이 실딩캔을 디프 드로잉 공법으로 생산하지만, 판재의 이방성으로 인하여 진원도를 얻기 어렵다.

퍼멀로이 실딩캔은 자성 재료라는 특성 때문에 열처리 공정이 필요하다. 열처리의 목적은 온도, 시간, 가열, 냉각 속도, 분위기 등을 적당히 규제하여, 금속이나 합금의 내부에 재결정, 확산, 격자 또는 석출 변태를 일으켜 그 결과로 보다 유효한 자기 특성을 부여하는 것이다. 그러나 정밀한 진원도를 가진 퍼멀로이 실딩캔은 가공 후 열처리에 의해 변형을 받게 되며 진원도를 얻을 수

2001년 8월 14일 접수
* ㈜대우통신
** 부산대학교 정밀정형 및 금형가공연구소

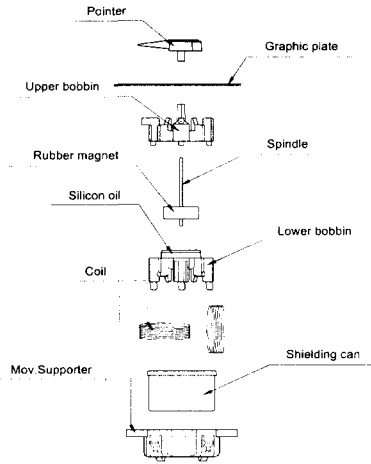


Fig. 1 The structure of cross coil movement of fuel gauge

없다. 또한, 열처리 비용절감을 위한 적층 시 퍼멀로이 부품의 변형 방지를 위해서는 부품의 끝 단 부에서 강성이 유지되어야 할 것이다.

판재 끝 단부에 강성을 부여하는 밴딩(bending) 방법은 헤밍(hemming), 컬링(curling) 과 와이어링(wiring) 등이 있으며, 정밀한 진원도를 얻기 위한 방안으로 소재의 이방성에 따라 예상되는 변형량을 찌그러짐 정도만큼 편치형상을 타원형으로 하는 방법이 있다^[1]. Hishida 등은 프리헤밍(pre-hemming) 공정과 헤밍으로 나누는 공정에 관한 연구하였고, 헤밍 결합에 관한 연구와 더불어 3 차원 탄소성 유한요소법을 이용하여 헤밍 공정에 적용하였고^[2], Denis 는 이 두 공정을 하나로 통합 성형하는 공정에 관해서 연구하였다^[3]. Makinouchi 는 수치해석기법을 사용하여 판재성형에서 발생할 수 있는 결함을 예측 하였다^[4].

본 연구에서는 퍼멀로이 실딩 캔 부품의 열처리 공정 시 비틀림을 막고, 부품의 이송과정에서의 치수변형을 방지하기 위한 제품 끝 단부의 최적 헤밍 공정에 관하여 연구하였다. 또한, 헤밍 공정에서 나타나는 형상결함을 줄이기 위한 형상변화의 정량적인 분석과 자동차 계기관의 지시특성을 향상을 위한 프리헤밍 공정설계 방법을 제시하였다. 이와 같은 접근을 위해서는 우선 본 공정을 이해하는 것이 선행되어야 한다. 헤밍 공정의 공정설계, 금형설계, 헤밍 결합 그리고 분석적 연구 등의 관점에서 많은 연구가 이루어져 있으나 프리헤밍 공정에 대한 연구는 아직 미비한 실정이다.

2. 퍼멀로이 실딩 캔의 특성

2.1 퍼멀로이 PB(SUPRA50B)의 기계적 특성

본 연구에서 사용된 퍼멀로이 PB(SUPRA50B)는 Nickel 45% 소재로 기계적 특성을 파악하기 위해 압연 방향에 대해 0°, 45°, 90° 의 각 방향으로 ASTM E-8 규격의 인장 시편을 제작하여 10ton 용량의 Instron 만능 시험기에 의해 10mm/min 의 일정한 속도로 인장 실험을 실시하였다. 가공경화지수 n 값은 Holloman 의 식, $\sigma = K\varepsilon^n$ 을 이용하여 연신률 10% ~ 20% 사이에서 결정하였다. 여기서 σ 는 진응력, ε 는 소성변형률, K 는 소성계수이다. 한편 소성이방성 계수 r 값은 연신률 15%에서 폭방향 변형률 ε_w , 길이방향 변형률 ε_l 정밀 측정하여 다음식으로 구하였다.

$$r = \varepsilon_w / \varepsilon_l = -\varepsilon_n / (\varepsilon_n + \varepsilon_l) \quad (1)$$

퍼멀로이 기계적 특성을 Table 1 에 나타내었다

Table 1 Mechanical property of permalloy PB

Thickness	0.3mm
Yield strength	298.79Mpa
Tensile strength	664.85Mpa
Young's modulus	125.85GPa
Max elongation	23.6%
Lankford value for planar anisotropy(r)	$r_0: 1.72, r_{45}: 1.45, r_{90}: 1.61$
Hardening exponent (n)	0.286
Stress-strain characteristics	$\bar{\sigma} = 1033.95(0.0012 + \bar{\varepsilon})^{0.286}$

2.2 퍼멀로이 실딩캔의 설계요구조건

퍼멀로이 실딩캔의 부품도를 Fig.2 에 나타내었다. 부품의 설계요구조건은 Table 2 에 나타내었다. 열처리하는 1100℃ 에서 8 시간 동안 25m/min 의 속도로 열처리 된다.

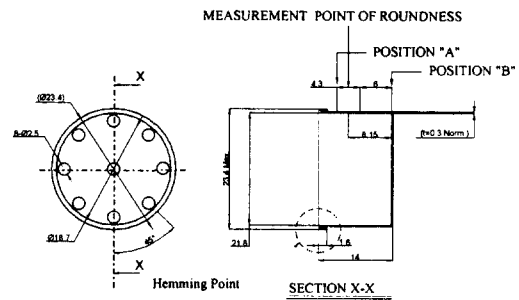


Fig. 2 The drawing of permalloy shielding can

Table 2 The specification of permalloy shielding can

Item	Requirement
Material	Permalloy PB (SUPRA50B) 45%Ni
Thickness	0.3± 0.01mm
Tolerance	± 0.15mm
Burr	0.05mm Max
Magnetic properties (Hc)	0.1 A Max
No visible damage	scratch, greasy stain, stain etc.
The roundness	within 0.1mm from "A" to "B"
Dimensions & magnetic properties to be measured after final heat treatment	

3. 원통 헤밍 공정의 유한요소모델링

3.1 헤밍 공정에서의 결함

프리헤밍은 헤밍의 전 단계공정으로 일반적으로 135°정도를 밴딩 하는 것을 말한다(Fig.3).

원통형 제품에 대한 프리헤밍의 효과는 플랜지 부위의 라운드 값을 적게 함과 동시에 소성변형을 주어 반듯하게 접을 수 있게 한다. 또한 밴딩 각도를 나누어 성형하여 급격한 소성변형을 줄일 수 있으므로, 되말림, 컵의 벽 부분의 변형, 플랜지의 길이변화 등의 형상결함을 최소화하여, 강건한 제품을 얻을 수 있다.

헤밍 공정에서 나타나는 기본적인 결함들을 4가지가 있다¹⁵⁻⁶⁾. 그 변형형태는 Fig.4 에 나타내었다.

- (a)헤밍 와인드(hemming wind):플랜지부 라운드가 말려들어가는 결함
- (b)헤밍 랩(hemming wrap):편차하중으로 인하여 컵의 벽부가 원주 외측으로 휘어지는 결함
- (c)헤밍 길이(hemming length):플랜지부 길이가 늘어나는 결함
- (d) 밀착도(tightness):플랜지부와 컵의 벽부 사이의 간격을 말하는 것으로 강성에 관계되는 결함

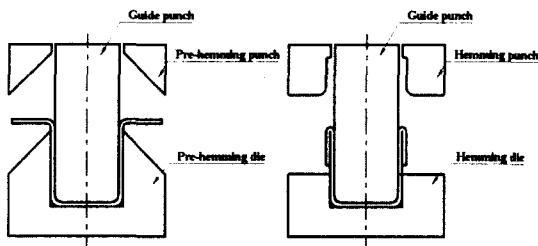


Fig. 3 Construction of the hemming process

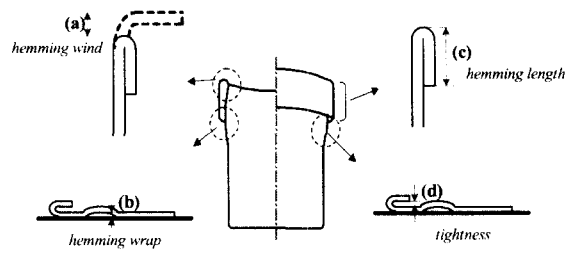
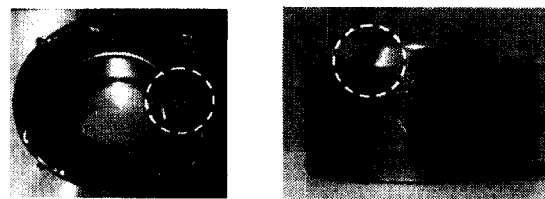


Fig.4 Defect types in hemming and pre-hemming process

3.2 헤밍 공정설계

평판의 프리헤밍 공정에서 고려될 수 있는 변수로는 프리헤밍 편치의 이동방향과 이동거리가 있다⁶⁾. 디프 드로잉제품은 일반적으로 클리어런스 (clearance)가 주 공정변수로 설정되지만, 프로그래시브 공정(progressive process)의 특성상 작업을 원활히 하기 위하여 현장에서 사용하는 소재 두께의 113%로 고정하였다. 그리고 플랜지의 길이는 Fig.2 의 설계기준에서 헤밍 길이가 규제되어 있기 때문에 1.6mm 로 고정하였다.

기존의 평판 헤밍 공정에서는 프리헤밍 각도를 135°로 하고 있다. 하지만 Fig.5 와 같이 프로그래시브 공정에서는 프리헤밍 각도가 커지게 되면, 랜싱(lancing) 이외의 부분에서 변형이 커지게 되어 급형의 끝 단 부분의 손상이 심해진다. 따라서 대량생산에서 퍼멀로이 실딩캔의 높이가 낮아지고 프리헤밍 각도가 너무 작으면 소재의 어깨부 반경을 충분히 줄여주지 못하며, 소재의 찍어주기 효과도 줄어들게 된다. 따라서 최적의 헤밍 공정을 설계하기 위해서 프리헤밍 각도를 주 변수로 설정하였다. 본 연구에서 주 변수의 범위는 105°, 120°, 135°로 설정하여 퍼멀로이 실딩캔의 형상변화에 대한 경향성을 파악하였고, 정밀한 진원도를 얻을 수 있는 프리헤밍 각도를 찾고자 한다.



(a) lancing process (b) pre-hemming die shape
Fig. 5 Lancing process and pre-hemming die shape

4. 결과 및 고찰

본 연구에서는 탄소성 외연적 상용프로그램인 PAM-STAMP™ 을 사용하여 퍼멀로이 실딩 캔의 디프 드로잉(deep drawing) 공정 및 헤밍 공정의 성형 해석을 수행하였다. 성형해석을 위한 공정순서는 디프 드로잉, 프리헤밍, 헤밍으로 나뉘며, 디프 드로잉 공정은 이전의 연구^[1]에서 제시한 방법으로 수행하였다. 본 연구에서 사용된 퍼멀로이 PB(SUPRA50B) 소재의 성형해석을 위한 응력-변형률 관계식은 Table 1 에 나타내었다.

퍼멀로이 실딩 캔의 성형해석에서 각 공정별 제품형상은 Fig. 6 과 같다. 본 연구에서는 해석시간을 고려하여 퍼멀로이 실딩 캔 제품의 1/4 단면을 해석하였고, 프리헤밍 및 헤밍 공정의 소재 및 금형의 격자 형상을 Fig. 7 에 나타내었다.

헤밍 공정의 성형해석 후, 프리헤밍 각도에 따른 진원도, 헤밍 길이, 밀착도, 헤밍 접합의 측정을 위한 측정구간을 Fig. 8 에 나타내었고, 동일 조건에 대한 실험 및 성형해석 결과를 Table 3 에 나타내었다.

4.1 헤밍 와인드

Table 3 에 나타나 있듯이 프리헤밍각도를 달리하여 성형 해석한 결과, 헤밍 와인드는 3 가지 프리헤밍 각도 중에서 105°가 높게 나타났고, 135°가

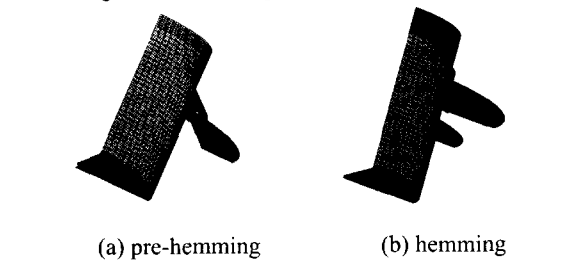
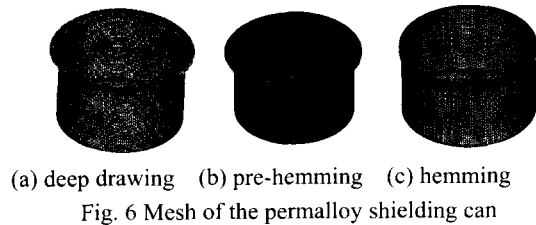


Fig. 7 The 1/4section modeling of the pre-hemming and the hemming processes

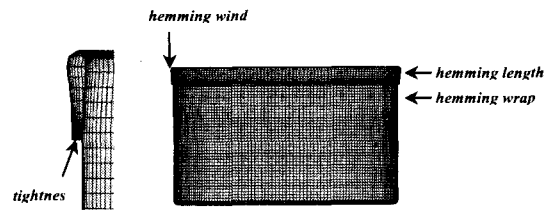


Fig. 8 The measure point of the defect in FE-simulations

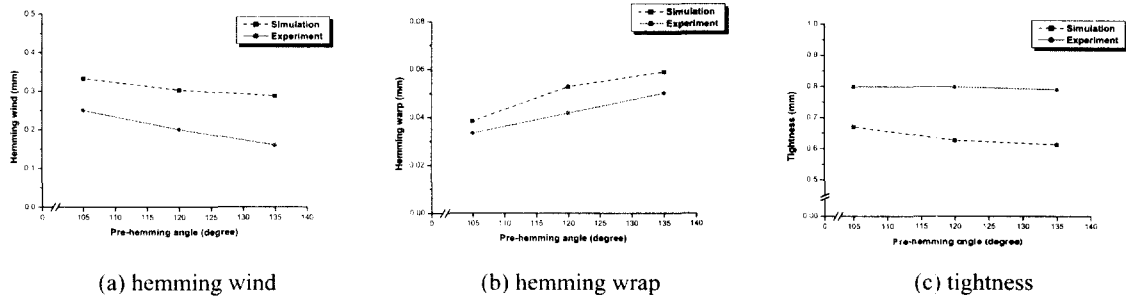
가장 낮게 나타났다. 즉, 프리헤밍 각도가 커질수록 헤밍 와인드의 양은 감소한다. 본 연구결과는 프리헤밍각도가 클수록 프리헤밍 제품의 어깨 반경부가 줄어들며, 헤밍 라인을 따라 국부 소성변형량이 커졌기 때문이다. 이것은 Livatyali^[6]의 연구결과에서 어깨부 반경이 클수록 헤밍 와인드의 양이 증가한다는 유사한 결과를 설명하고 있다.

4.2 헤밍 랩

프리헤밍 각도에 따라 헤밍 랩을 성형 해석한 결과는 105°에서 작게 나타났으며, 프리헤밍 각도가 135°에서 가장 크게 나타났다. 프리헤밍 공정에서 프리헤밍각도가 커지면, 끝 단의 라운드는 작아지지만 프리헤밍 단계에서 국부 소성변형량의 증가로 인하여 헤밍 공정에서 제품의 벽부에 대한 편지의 압축응력에 대한 영향이 증가하였기 때문이다. 그리고 헤밍 랩의 양은 거의 선형적으로 증가하였으며 그 양은 미소하였다.

4.3 헤밍 길이

초기소재의 헤밍 길이를 1.6mm 설계하였을 때 (Fig.2), Table 3 에 나타난 바와 같이 플랜지 길이에 대한 성형해석결과는 120°에서 약간 작게 나타났으며, 105°, 135°는 비슷하게 나타났다. 그러나, 실험결과에서는 프리헤밍 각도에 따른 헤밍길이의 변화는 유사하며, 135°인 경우가 헤밍 길이가 가장 짧게 나타났다. 즉, 헤밍 길이는 프리헤밍 각도가 클수록 짧아지는 경향을 보이며, 해석과의 오차는 플랜지 꺾임부에서 격자의 크기가 각도변화를 제대로 반영하지 못하여 이로 인해 길이변화 차이가 실험과 다르게 나타난 것으로 생각된다. 따라서 꺾임부의 길이변화를 제대로 반영하기 위해서는 해석시간을 고려하여 격자를 보다 조밀하게 구성하는 방안이 모색되어야 할 것이다. 보다 정확한



(a) hemming wind (b) hemming wrap (c) tightness
 Fig. 9 Comparison FE-simulations and experiments for pre-hemming angles in hemming processes

Table 3 The result of the simulation and experiment

Angle (°)	Roundness		Hemming-wrap		Hemming-wind	
	Before (mm)	After (mm)	Sim. (mm)	Exp. (mm)	Sim. (mm)	Exp. (mm)
105	0.056	0.073	0.038	0.033	0.332	0.250
120	0.047	0.054	0.053	0.042	0.365	0.200
135	0.058	0.050	0.059	0.050	0.484	0.160
Angle (°)	Tightness		Hemming-length			
	Sim. (mm)	Exp. (mm)	Sim. (mm)	Exp. (mm)		
105	0.669	0.780	1.702	1.687		
120	0.626	0.798	1.664	1.687		
135	0.613	0.789	1.694	1.663		

*Before : Before heat treatment, After : After heat treatment, Sim : FE-simulation, Exp : Experiment

헤밍 길이변화가 예측되면, 길이 변화를 고려하여 초기 소재의 헤밍 길이를 결정해야 할 것이다.

4.4 밀착도

프리헤밍 각도에 따른 성형해석결과는 105°에서 밀착도가 평균값은 0.66955 mm(5set)로 가장 크게 나타났고, 120°에서 평균값은 0.6263mm(5set)였으며 135°에서의 평균값은 0.6125mm(5set)로 가장 작게 나타났다. 그 값이 0.6mm 일 때 완전 밀착으로 판단하며, 프리헤밍각도가 120°이상일 때부터 사이의 갭(gap)이 0.02mm 이하로 완전 밀착에 가깝다고 판단된다.

4.5 진원도

퍼멀로이 실딩캔 최종 제품의 진원도를 측정하여 보았다. 퍼멀로이 실딩캔의 진원도는 형상에

대한 다점 측정이 가능한 Smart Scope Fov(회사명) 장비를 이용하였다. 부품의 진원도는 Fig. 4 의 A~B 구간 사이에서 측정하였다. 진원도는 ①최종 헤밍 공정 후와 ②1100℃× 25m/m× 8Hr 에서 열처리 후를 각각 측정하였다. 그 결과를 분석하면 기존의 공정에서 부품의 진원도는 ①의 경우 평균 0.0538mm(10set) 이었으며 ②의 경우 평균 0.0591mm(10set) 로 변화량이 아주 작았다. 따라서 헤밍 공정의 적용이 열처리 시 진원도 유지에 큰 역할을 함을 확인하였다.

그러나 Table 3 의 실험결과에서 프리헤밍 각도에 대한 진원도 측정값은 차이가 있으며, 120° 프리헤밍 각도 부위에서 보다 진원도에 가까운 형상을 얻을 수 있음을 알 수 있었다.

5. 최적 헤밍 공정설계

본 연구에서 고려한 3 가지 프리헤밍 각도에 따른 실험결과를 신경망의 학습 데이터로 사용하여 임의의 프리헤밍 각도에 대한 헤밍 공정의 진원도, 밀착도 및 벽부의 변형량을 예측하였고, 그 결과를 Fig.10 에 나타내었다. 사용된 신경망은 1 개의 입력층, 1 개의 은닉층 그리고 1 개의 출력층으로 구성된 감독학습의 역전파 학습 신경망 알고리즘을 이용하였으며, 프리헤밍 각도를 입력층에, 진원도, 밀착도 그리고 헤밍 랩의 3 가지 실험결과를 출력층에 입력하여 학습하였고, 수렴의 판단은 실험결과와 학습오차가 10⁻⁷ 까지 학습하였다^[9-13].

이전의 실험결과에서는 프리헤밍 각도가 클수록 밀착도는 우수하며, 벽부 변형량은 증가하고 진원도는 120°근방에서 우수하게 나타났다. Fig.10 과 같이 신경망을 이용하여 최적 프리헤밍 각도를 예측해 본 결과, 최적의 진원도를 갖는 프리헤밍

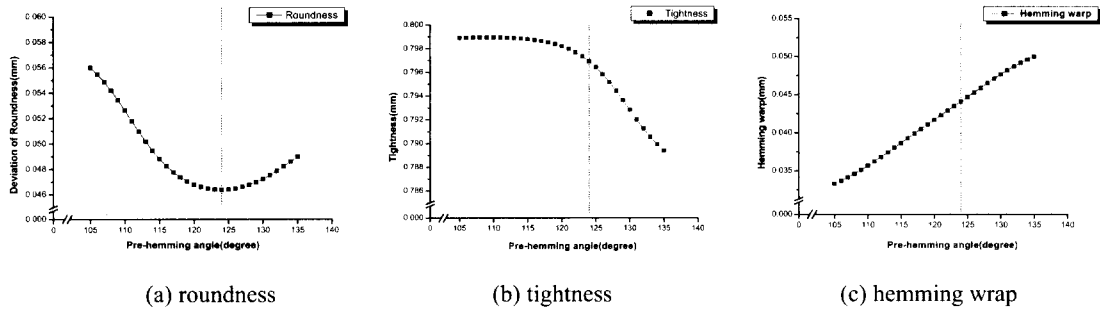


Fig. 10 Prediction for results of hemming process using neural network

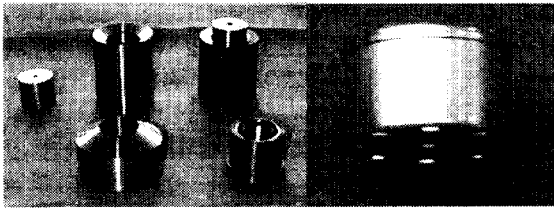


Fig. 11 Hemming and pre-hemming die set and final product of permalloy shielding can

Table 4 Verification of results between neural network and experiments

Method \ Items	Neural network (mm)	FEM (mm)	Experiments (mm)
Warp	0.044	0.036	0.036
Tightness	0.797	0.769	0.797
Roundness	0.046	-	0.041

각도는 124° 였고, 프리헤밍 각도가 클수록 밀착도는 좋아지는 반면, 벽부 변형량은 증가하는 것으로 나타났다.

따라서 본 연구에서는 자동차 계기판의 지시 정도에 가장 영향을 미치는 퍼멀로이 실딩캔 제품의 진원도를 우선으로 하여 최적의 진원도를 갖는 124°의 프리헤밍 각도로 헤밍 공정의 실험을 수행하였다. Fig.11 에는 프리헤밍 각도를 124°로 제작한 프리헤밍 공정 및 헤밍 공정의 금형세트를 나타내었다. Table 4 에는 124°의 프리헤밍 각도로 수행된 헤밍 공정의 예측된 결과와 실험결과를 나타내었다. 신경망을 이용하여 예측된 결과는 실험결과와 잘 일치하였으며, 특히 예측된 최적의 진원도를 갖는 프리헤밍 각도로 실험하여 그 진원도를 측정

한 결과 예측된 값보다 더 좋은 진원도를 얻을 수 있었다. Fig.11 에는 124°의 프리헤밍각도로 헤밍 공정을 수행한 퍼멀로이 실딩캔 최종 부품 사진을 나타내었다. 본 부품은 최적의 진원도 뿐만 아니라, 밀착도 역시 우수하였고, 제품 표면의 주름이나 접힘 등의 외관상 결함도 나타나지 않았다.

6. 결론

본 연구에서는 퍼멀로이 실딩캔의 열처리, 취급 및 조립시, 부품의 비틀림 방지를 위한 강성 증대의 한 방법으로 헤밍 공정설계방법을 제시하였다. 헤밍 공정 시 헤밍 와인드, 헤밍 랩, 헤밍 길이, 밀착도 등 여러 가지 결함들이 수반되며, 특히 원형의 헤밍 공정에서는 이러한 결함으로 인해 부품 설계요구조건을 만족시키지 못하므로 본 연구에서는 프리헤밍 공정설계방법을 제시하였고, 이를 위해 프리헤밍 각도를 설계변수로 선정하였다. 또한 퍼멀로이 실딩캔 부품의 지시정도 향상을 위한 최적의 진원도를 갖게 하는 프리헤밍 각도를 신경망의 함수보간 기능을 이용하여 예측하였다.

헤밍 및 프리헤밍 공정의 실험으로 성형해석 결과와 신경망의 예측으로 찾아낸 최적 프리헤밍 각도의 신뢰성을 검증할 수 있었고, 최적의 진원도를 갖게 하는 최적의 프리헤밍 각도는 124°임을 확인하였다. 퍼멀로이 실딩캔의 열처리 전, 후의 진원도는 평균은 각각 0.0412mm(50set) 와 0.0582mm(50set)으로 부품의 설계규격을 만족하였다.

본 연구에서는 퍼멀로이 실딩캔의 최적공정설계의 한 방법으로 설계자가 설계변수와 설계변수의 범위를 선정하고, 이를 해석 및 실험을 통하여

목적함수를 최적화하는 설계변수 값을 선정하는 방법으로 신경망을 이용하는 기법을 제시하였습니다. 이 설계방법을 이용하여 최소의 실험으로 최적을 설계변수조건을 찾을 수 있었고, 본 연구의 결과로 강건한 퍼멀로이 실딩캔 부품의 양산이 가능하며, 향후 국산 자동차 계기판의 품질 안정화 및 고정도화가 기대된다.

후 기

본 연구는 부산대학교 정밀정형 및 금형가공 연구센터를 통한 한국과학재단 우수 연구센터 지원금에 의한 것입니다.

참고문헌

1. 김동환, 이선봉, 김병민, “자동차 계기판용 퍼멀로이 실딩캔의 성형해석 및 공정설계,” 한국정밀공학회지, 제 18 권 2 호, 2001.
2. Hishida. Y, and Sato.Y, “Analysis of Hemming Processes by the Finite Element Method for Improving Hemming Quality,” Processing of the 14th Biannual Congress of IDDRG, Koln, 1986.
3. St.Denis.L, “Hemming Machine and Method,” USA Patent No:5, 1991.
4. Makinouchi.A, Nakamachi.E, Onate.E, and Wanger.R.H,” Numerical Simulation of 3-d Sheet Metal forming Processes Verification of Simulation with Experiment,” Proc. of the 2nd International Conference of NUMISHEET, 1993.
5. A. Muderrisoglua, M.Muratab, M. A.Ahmetoglua, G. Kinzelc, T. Altan, “Bending, flanging, and Hemming of aluminum sheet-an experimental study,” Journal of Material Processing Technology, Vol. 59, pp. 10-17, 1996.
6. H.Livatyalia, A.Muderrisoglub, M.A.Ahmetoglub, N. Akgermanb, G.L.Kinzelb and T.Altan, “Improvement of hem quality by optimizing flanging and pre-Hemming operations using computer aided die design,” Journal of Material Processing Technology, Vol. 98, pp. 41-52, 2000.
7. Kwon Hee Kim, Gyu Hee Han, and Tae Hoon Kwon, “Elastic Spring back in Hemming process,” 5th HANPAM'99 Conference, pp. 399-404, 1999.
8. ESI/PSI, User Manual for PAM-STAMP, 1999.
9. 김동환, 김동진, 김호관, 김병민, 최재찬 “신경망과 실험계획법을 이용한 열간 단조품의 공정설계,” 한국정밀공학회지, 제 15 권 제 9 호, 1998.
10. D.H.Kim, D.J.Kim, D.C.Ko, and B.M.Kim and J.C.Choi, “The Application of Artificial Neural Network and Taguchi Method to Process Sequence Design in Metal Forming Processes,” Metals and Materials, Vol. 4, No. 3, pp. 548-553, 1998.
11. D.H.Kim, D.C.Ko, and B.M.Kim, “Application of artificial neural network and Taguchi method to preform design in metal forming considering workability,” International Journal of Machine Tools and Manufacture, Volume 39, Issue 5, pp. 771-785, 1999.
12. D.H.Kim, D.J.Kim, and B.M.Kim,”The Application of Neural Network and Statistical Method to Process Design in Metal Forming Process,” International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 15, pp. 886-894, 1999.
13. D.H.Kim, S.B.Lee, D.C.Ko and B.M.Kim, “Process Design and Forming Analysis of Permalloy Shielding Can for Instrument Cluster,” Research and Development in Net Shape Manufacturing, Birmingham, UK, 2001.