

	(19) 대한민국특허청(KR) (12) 공개특허공보(A)	(11) 공개번호 10-2014-0032549 (43) 공개일자 2014년03월17일
(51) 국제특허분류(Int. Cl.) B21D 22/02 (2006.01) B21D 31/00 (2006.01) B21D 37/00 (2006.01) B21D 37/20 (2006.01)	(71) 출원인 서강대학교산학협력단 서울특별시 마포구 백범로 35 (신수동, 서강대학교)	
(21) 출원번호 10-2012-0097255	(72) 발명자	
(22) 출원일자 2012년09월03일	이형일	
심사청구일자 2012년09월03일	경기도 고양시 일산서구 대산로212번길 26 대화성 저건영1502-304	
	김하성	
	경기도 용인시 수지구 동천로113번길 10 레미안이 스트팰리스 1312동 302호	
	(뒷면에 계속)	
	(74) 대리인	
	특허법인명인	

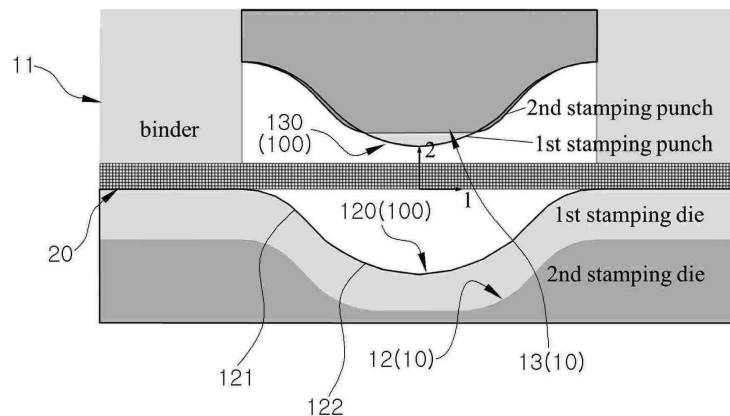
전체 청구항 수 : 총 10 항

(54) 발명의 명칭 금속 판재 성형 방법, 이에 사용되는 선행 스탬핑 툴, 그리고 선행 스탬핑 툴 최적 설계 방법

(57) 요약

본 발명은 금속 판재에 딥플 성형시 곡률부의 변형률을 최소화할 수 있는 금속 판재 성형 방법을 제공하는 것이 그 기술적 과제이다. 이를 위해, 본 발명의 금속 판재 성형 방법은 선행 스탬핑 툴을 이용하여 금속 판재에 상부 곡률부와 하부 곡률부를 갖는 가 형상의 딥플을 1차 스탬핑하는 단계와, 그리고 1차 스탬핑된 딥플을 기본 스탬핑 툴을 이용하여 실 형상의 딥플로 2차 스탬핑하는 단계를 포함한다.

대표도 - 도3



(72) 발명자

김민수

인천광역시 부평구 안남로 269 산곡푸르지오
105-201

김낙수

경기도 고양시 일산동구 노루목로 79 호수마을
406-1401

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 2011-0018432

부처명 교육과학기술부

연구사업명 원자력연구개발사업

연구과제명 핵연료 지지격자 공정해석 및 설계 융합 시스템 개발

기 여 율 1/1

주관기관 서강대학교 산학협력단

연구기간 2011.05.01 ~ 2012.04.30

특허청구의 범위

청구항 1

선행 스탬핑 툴을 이용하여 금속 판재에 상부 곡률부와 하부 곡률부를 갖는 가 형상의 덩플을 1차 스탬핑하는 단계; 및

상기 1차 스탬핑된 덩플을 기본 스탬핑 툴을 이용하여 실 형상의 덩플로 2차 스탬핑하는 단계를 포함하는 금속 판재 성형 방법.

청구항 2

제1항의 금속 판재 성형 방법에 사용되는 상기 선행 스탬핑 툴로,

상기 금속 판재를 파지하는 바인더;

상기 금속 판재의 저면을 받치며 상기 가 형상의 덩플을 스탬핑하는 다이; 및

상기 다이와 함께 상기 가 형상의 덩플을 스탬핑하는 펀치를 포함하고,

상기 다이는

상기 상부 곡률부를 가공하는 제1 원호 형상의 상부 곡률 가공부;

상기 하부 곡률부를 가공하는 제2 원호 형상의 하부 곡률 가공부를 포함하고,

상기 상부 곡률 가공부와 상기 하부 곡률 가공부는 변곡점을 기준으로 그 형상이 변곡되고,

상기 변곡점은

상기 상부 곡률 가공부의 원호 중심점과 상기 하부 곡률 가공부의 원호 중심점을 직선으로 연결할 경우, 상기 직선 상에 위치되는 선행 스탬핑 툴.

청구항 3

제2항의 선행 스탬핑 툴의 최적 설계 방법으로,

상기 선행 스탬핑 툴에 대해 설계 변수를 결정하는 단계;

상기 설계 변수에 따른 최대 변형률을 보고 상기 최대 변형률이 최소화되는 변수 조건을 구하는 단계; 및

상기 변수 조건으로 상기 선행 스탬핑 툴을 설계하는 단계를 포함하는 선행 스탬핑 툴 최적 설계 방법.

청구항 4

제3항에서,

상기 설계 변수를 결정하는 단계에서,

상기 설계 변수는 상기 상부 곡률 가공부의 곡률 반경(r_A)과 각도(θ)를 포함하고,

상기 변수 조건을 구하는 단계는

상기 곡률 반경(r_A)에 대한 제1 반경 변수 구간과 상기 각도(θ)에 대한 제1 각도 변수 구간을 정하는 단계;

상기 제1 반경 변수 구간을 제1 설정 길이 간격으로, 상기 제1 각도 변수 구간을 제1 설정 각도 간격으로 변화시켜 최대 변형률의 변화를 살피는 단계; 및

상기 변화되는 최대 변형률로부터 최소값의 제1 최대 변형률 및 이에 해당하는 제1 반경 조건과 제1 각도 조건을 구하는 단계를 포함하는 선행 스탬핑 툴 최적 설계 방법.

청구항 5

제4항에서,

상기 변수 조건을 구하는 단계는

상기 제1 반경 조건과 상기 제1 각도 조건 하에서,

서로 직교하는 x축 및 y축 방향으로 각각 상기 금속 판재에 대해 x축 및 y축 요소수를 증가시켜 가면서 최대 변형률의 변화를 살피는 단계; 및

상기 변화되는 최대 변형률로부터 최소값으로 수렴되는 지점에서의 제2 최대 변형률과 제1 x축 요소수(n_e)를 구하는 단계를 더 포함하는 선행 스탬핑 툴 최적 설계 방법.

청구항 6

제5항에서,

상기 설계 변수를 결정하는 단계에서,

상기 설계 변수는 상기 바인더의 길이(1)를 더 포함하고, 그리고

상기 변수 조건을 구하는 단계는

상기 제1 반경 조건과, 상기 제1 각도 조건과, 그리고 상기 제1 x축 요소수 하에서,

상기 바인더의 길이(1)를 변화시켜 가면서 최대 변형률의 변화를 살피는 단계; 및

상기 변화되는 최대 변형률로부터 최소값으로 수렴되는 지점에서의 제3 최대 변형률과 제1 바인더 길이를 구하는 단계를 더 포함하는 선행 스탬핑 툴 최적 설계 방법.

청구항 7

제6항에서,

상기 변수 조건을 구하는 단계는

상기 제1 바인더 길이 하에서,

상기 곡률 반경(r_A)에 대한 제2 반경 변수 구간과 상기 각도(θ)에 대한 제2 각도 변수 구간을 정하는 단계;

상기 제2 반경 변수 구간을 제2 설정 길이 간격으로, 상기 제2 각도 변수 구간을 제2 설정 각도 간격으로 변화시켜 최대 변형률의 변화를 살피는 단계; 및

상기 변화되는 최대 변형률로부터 최소값의 제4 최대 변형률에 해당하는 제2 반경 조건과 제2 각도 조건을 구하는 단계를 더 포함하는 선행 스탬핑 툴 최적 설계 방법.

청구항 8

제7항에서,

상기 제2 반경 변수 구간 및 상기 제2 각도 변수 구간은 상기 제1 반경 변수 구간 및 상기 제1 각도 변수 구간 내에 각각 존재하고, 그리고

상기 제2 설정 길이 및 상기 제2 설정 각도는 각각 상기 제1 설정 길이 및 상기 제1 설정 각도 보다 작은 선행 스탬핑 툴 최적 설계 방법.

청구항 9

제8항에서,

상기 변수 조건을 구하는 단계는,

상기 곡률 반경(r_A)과 상기 각도(θ)에 대한 변형률(ϵ_i)을 식(1) 형태로 함수화하는 단계;

상기 제2 반경 변수 구간을 제3 설정 길이 간격으로, 상기 제2 각도 변수 구간을 제3 설정 각도 간격으로 변화시켜 가면서 함수 변형률을 살피는 단계; 및

상기 상부 곡률부에 미치는 함수 변형률(ε_A)과 상기 제2 절곡부에 미치는 함수 변형률(ε_B)의 교차점에 해당하는 제3 반경 조건과 제3 반경 각도를 구하는 단계를 더 포함하며,

식(1)은

$$\varepsilon_i = a_i + b_i x + c_i y + d_i xy + e_i x^2 + f_i y^2$$

(ε_i 은 변형률이고, $x = r_A$, $y = \theta$ 이고, a_i , b_i , c_i , d_i , e_i , f_i ($i = A, B$)는 아래 표에 기재된 상수값임)

Coefficient	ε_A	ε_B
a	-1.563	-4.629
b	1.313	-2.205
c	0.032	0.276
d	-0.193	0.566
e	0	-0.003
f	-0.017	0.012

(위 표는 RSM(response surface method)으로 구한 상수값임)

인 선행 스탬핑 툴 최적 설계 방법.

청구항 10

제3항에서,

상기 설계 변수를 결정하는 단계에서,

상기 설계 변수는 상기 상부 곡률 가공부의 곡률 반경(r_A)과 각도(θ)로 결정되고, 그리고

상기 변수 조건을 구하는 단계는,

상기 곡률 반경(r_A)과 상기 각도(θ)에 대한 변형률(ε_i)을 식(1) 형태로 함수화하는 단계;

상기 설계 변수인 곡률 반경과 각도를 각각 변화시켜 가면서 함수 변형률을 살펴는 단계; 및

상기 상부 곡률부에 미치는 함수 변형률(ε_A)과 상기 하부 곡률부에 미치는 함수 변형률(ε_B)의 교차점에 해당하는 반경 조건과 반경 각도를 구하는 단계를 더 포함하며,

식(1)은

$$\varepsilon_i = a_i + b_i x + c_i y + d_i xy + e_i x^2 + f_i y^2$$

(ε_i 은 변형률이고, $x = r_A$, $y = \theta$ 이고, a_i , b_i , c_i , d_i , e_i , f_i ($i = A, B$)는 아래 표에 기재된 상수값임)

Coefficient	ε_A	ε_B
a	-1.563	-4.629
b	1.313	-2.205
c	0.032	0.276
d	-0.193	0.566
e	0	-0.003
f	-0.017	0.012

(위 표는 RSM(response surface method)으로 구한 상수값임)

인 선행 스탬핑 툴 최적 설계 방법.

명세서

기술 분야

[0001] 본 발명은 금속 판재 성형 방법, 이에 사용되는 선행 스탬핑 툴, 그리고 선행 스탬핑 툴 최적 설계 방법에 관한 것이다.

배경 기술

- [0002] 일반적으로, 금속 판재를 성형하는 소성 가공 방법으로는 단조 가공법과, 압연 가공법 등이 있다.
- [0003] 단조 가공법은 금속 판재를 바인더에 파지하여 금속 판재를 다이와 펀치에 의해 설정 형상으로 성형하는 방법이다. 이러한 단조 가공법의 특성상, 금속 판재가 설정 형상으로 성형되는 동안 굽혀지는 곡률부는 다른 부위에 비해 변형률이 커서 균열 결합의 발생 빈도가 높을 수 있다.
- [0004] 특히, 이러한 균열 결합은 금속 판재에 딩플(dimple) 등을 성형하는 과정에도 나타날 수 있다. 예를 들어, 핵 발전 분야에서 핵연료 집합체 등에 사용되는 금속 판재인 지지 격자체(spacer grid)에도 딩플이 성형된다. 여기서, 지지 격자체는 냉각수의 고른 열전달을 위해 연료봉 간의 간격을 일정하게 유지하여 유로(냉각수가 흐르는 통로)를 일정하게 유지하는 역할과, 그리고 빠른 유속에서 발생하는 진동을 견디는 스프링 역할을 한다. 또한, 이에 성형된 딩플은 냉각수를 고르게 섞어 주는 역할을 한다. 따라서, 딩플 성형이 제대로 이루어지지 않아 곡률부의 변형률이 클 경우, 빠른 유속을 견디지 못하고 지지 격자체가 파손되거나 핵 연료봉이 파손될 우려가 있을 수 있다.
- [0005] 따라서, 곡률부에 대해 변형률을 줄이고자 하는 연구가 지속되고 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0006] 본 발명의 기술적 과제는, 금속 판재에 딩플 성형시 곡률부의 변형률을 최소화할 수 있는 금속 판재 성형 방법, 이에 사용되는 선행 스탬핑 툴, 그리고 선행 스탬핑 툴 최적 설계 방법을 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

- [0007] 상기 목적을 달성하기 위하여, 본 발명의 실시예에 따른 금속 판재 성형 방법은, 선행 스탬핑 툴을 이용하여 금속 판재에 상부 곡률부와 하부 곡률부를 갖는 가 형상의 딩플을 1차 스탬핑하는 단계; 및 상기 1차 스탬핑된 딩플을 기본 스탬핑 툴을 이용하여 실 형상의 딩플로 2차 스탬핑하는 단계를 포함한다.
- [0008] 한편, 본 발명의 실시예에 따른 금속 판재 성형 방법에 사용되는 선행 스탬핑 툴은, 상기 금속 판재를 파지하는 바인더; 상기 금속 판재의 저면을 받치며 상기 가 형상의 딩플을 스탬핑하는 다이; 및 상기 다이와 함께 상기 가 형상의 딩플을 스탬핑하는 펀치를 포함한다. 여기서, 상기 다이는 상기 상부 곡률부를 가공하는 제1 원호 형상의 상부 곡률 가공부; 상기 하부 곡률부를 가공하는 제2 원호 형상의 하부 곡률 가공부를 포함한다. 또한, 상기 상부 곡률 가공부와 상기 하부 곡률 가공부는 변곡점을 기준으로 그 형상이 변곡되며, 그리고 상기 변곡점은 상기 상부 곡률 가공부의 원호 중심점과 상기 하부 곡률 가공부의 원호 중심점을 직선으로 연결할 경우, 상기 직선 상에 위치된다.
- [0009] 다른 한편, 본 발명의 실시예에 따른 금속 판재 성형 방법에 사용되는 선행 스탬핑 툴의 최적 설계 방법은, 상기 선행 스탬핑 툴에 대해 설계 변수를 결정하는 단계; 상기 설계 변수에 따른 최대 변형률을 보고 상기 최대 변형률이 최소화되는 변수 조건을 구하는 단계; 및 상기 변수 조건으로 상기 선행 스탬핑 툴을 설계하는 단계를 포함한다.
- [0010] 또한, 상기 설계 변수를 결정하는 단계에서, 상기 설계 변수는 상기 상부 곡률 가공부의 곡률 반경(r_A)과 각도(θ)를 포함할 수 있고, 그리고 상기 변수 조건을 구하는 단계는 상기 곡률 반경(r_A)에 대한 제1 반경 변수 구간과 상기 각도(θ)에 대한 제1 각도 변수 구간을 정하는 단계; 상기 제1 반경 변수 구간을 제1 설정 길이 간격으로, 상기 제1 각도 변수 구간을 제1 설정 각도 간격으로 변화시켜 최대 변형률의 변화를 살펴보는 단계; 및 상기 변화되는 최대 변형률로부터 최소값의 제1 최대 변형률에 해당하는 제1 반경 조건과 제1 각도 조건을 구하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0011] 또한, 상기 변수 조건을 구하는 단계는, 상기 제1 반경 조건과 상기 제1 각도 조건 하에서, 서로 직교하는 x축

및 y축 방향으로 각각 상기 금속 판재에 대해 x축 및 y축 요소수를 증가시켜 가면서 최대 변형률의 변화를 살피는 단계; 및 상기 변화되는 최대 변형률로부터 최소값으로 수렴되는 지점에서의 제2 최대 변형률과 제1 x축 요소수(n_e)를 구하는 단계를 더 포함할 수 있다.

[0012] 또한, 상기 설계 변수를 결정하는 단계에서, 상기 설계 변수는 상기 바인더의 길이(1)를 더 포함하고, 그리고 상기 변수 조건을 구하는 단계는, 상기 제1 반경 조건과, 상기 제1 각도 조건과, 그리고 상기 제1 x축 요소수 하에서, 상기 바인더의 길이(1)를 변화시켜 가면서 최대 변형률의 변화를 살피는 단계; 및 상기 변화되는 최대 변형률로부터 최소값으로 수렴되는 지점에서의 제3 최대 변형률과 제1 바인더 길이를 구하는 단계를 더 포함할 수 있다.

[0013] 또한, 상기 변수 조건을 구하는 단계는, 상기 제1 바인더 길이 하에서, 상기 곡률 반경(r_A)에 대한 제2 반경 변수 구간과 상기 각도(θ)에 대한 제2 각도 변수 구간을 정하는 단계; 상기 제2 반경 변수 구간을 제2 설정 길이 간격으로, 상기 제2 각도 변수 구간을 제2 설정 각도 간격으로 변화시켜 최대 변형률의 변화를 살피는 단계; 및 상기 변화되는 최대 변형률로부터 최소값의 제4 변형률에 해당하는 제2 반경 조건과 제2 각도 조건을 구하는 단계를 더 포함할 수 있다.

[0014] 또한, 상기 제2 반경 변수 구간 및 상기 제2 각도 변수 구간은 상기 제1 반경 변수 구간 및 상기 제1 각도 변수 구간 내에 각각 존재하고, 그리고 상기 제2 설정 길이 및 상기 제2 설정 각도는 각각 상기 제1 설정 길이 및 상기 제1 설정 각도 보다 작을 수 있다.

[0015] 일례로, 상기 변수 조건을 구하는 단계는, 상기 곡률 반경(r_A)과 상기 각도(θ)에 대한 변형률(ε_i)을 식(1) 형태로 함수화하는 단계; 상기 제2 반경 변수 구간을 제3 설정 길이 간격으로, 상기 제2 각도 변수 구간을 제3 설정 각도 간격으로 변화시켜 가면서 함수 변형률을 살피는 단계; 및 상기 상부 곡률부에 미치는 함수 변형률(ε_A)과 상기 제2 절곡부에 미치는 함수 변형률(ε_B)의 교차점에 해당하는 제3 반경 조건과 제3 반경 각도를 구하는 단계를 더 포함하며,

[0016] 식(1)은

$$\varepsilon_i = a_i + b_i x + c_i y + d_i xy + e_i x^2 + f_i y^2$$

[0018] (ε_i 은 변형률이고, $x = r_A$, $y = \theta$ 이고, a_i , b_i , c_i , d_i , e_i , f_i ($i = A, B$)는 아래 표에 기재된 상수값임)

Coefficient	ε_A	ε_B
a	-1.563	-4.629
b	1.313	-2.205
c	0.032	0.276
d	-0.193	0.566
e	0	-0.003
f	-0.017	0.012

[0019]

[0020] (위 표는 RSM(response surface method)으로 구한 상수값임)

[0021] 일 수 있다.

[0022] 다른 예로, 상기 설계 변수를 결정하는 단계에서, 상기 설계 변수는 상기 상부 곡률 가공부의 곡률 반경(r_A)과 각도(θ)로 결정될 경우, 상기 변수 조건을 구하는 단계는, 상기 곡률 반경(r_A)과 상기 각도(θ)에 대한 변형률(ε_i)을 위 식(1) 형태로 함수화하는 단계; 위 식(1) 및 위 표(1)를 이용하여 상기 설계 변수인 곡률 반경과 각도를 각각 변화시켜 가면서 함수 변형률을 살피는 단계; 및 상기 상부 곡률부에 미치는 함수 변형률과 상기 하부 곡률부에 미치는 함수 변형률의 교차점에 해당하는 반경 조건과 반경 각도를 구하는 단계를 포함할 수 있다.

발명의 효과

[0023] 이상에서와 같이, 본 발명의 실시예에 따른 금속 판재 성형 방법, 이에 사용되는 선행 스탬핑 툴, 그리고 선행 스탬핑 툴 최적 설계 방법은 다음과 같은 효과를 가질 수 있다.

[0024] 본 발명의 실시예에 의하면, 기존의 단일(1-step) 스탬핑시 곡률부에 집중된 변형을 줄이고자 설계 변수로 반경(r_A), 각도(θ)를 정하고 선행 스탬핑 툴을 최적 설계해 2단(2-step) 스탬핑을 수행하면서, 임의로 변화시킨 변수에서 최대 변형률의 최소값을 찾고 적정 요소수를 판단해 변형률을 찾아 보면 요소수(n_e)가 1.1×10^3 일 때 최대 변형률($\epsilon_{\max}$)의 최소값이 0.315로 기존의 단일(1-step) 스탬핑시 변형률에 비해 9% 감소시킬 수 있었다.

[0025] 또한, 바인더 길이 $1 \leq 0.9\text{mm}$ 부터 최대 변형률($\epsilon_{\max}$)이 수렴해 바인더 길이(1)를 0.9mm로 하고, 다른 변수를 변화시켜 변형률을 보면서, 특정 변수 구간에서의 반경(r_A)과 각도(θ)에 대한 변형률(ϵ_i)을 함수화해 구한 최대 변형률($\epsilon_{\max}$)이 (r_A, θ) = (1.58 mm, 51°)의 변수 조건에서 최소값이 0.293으로 기존의 단일(1-step) 스탬핑시 변형률에 비해 16% 감소시킬 수 있었다.

도면의 간단한 설명

[0026] 도 1은 기존의 단일(1-step) 스탬핑에 대한 유한요소모델을 나타낸 도식도이다.

도 2는 기존 기술로, 요소수(n_e)에 따른 단일(1-step) 스탬핑모델에 대한 변형률(ϵ_n) 분포를 나타낸 그래프이다.

도 3은 본 발명의 실시예에 따른 금속 판재 성형 방법으로, 2단(2-step) 스탬핑 유한요소모델을 나타낸 도식도이다.

도 4는 본 발명의 금속 판재 성형 방법에 사용되는 선행 스탬핑 툴에 대한 설계 변수를 나타낸 도식도이다.

도 5는 선행 스탬핑 툴의 상부 곡률 가공부의 곡률 반경(r_{An}) 및 각도(θ)에 따른 최대 변형률(ϵ_n) 분포를 제1 반경 변수 구간과 제1 각도 변수 구간 내에서 나타낸 그래프이다.

도 6은 제1 반경 조건과 제1 각도 조건 하에서, 요소수(n_e)에 따른 2단(2-step) 스탬핑모델에 대한 최대 변형률(ϵ_n) 분포를 나타낸 그래프이다.

도 7은 제1 반경 조건과 제1 각도 조건과 제1 x축 요소수 하에서, 선행 스탬핑 툴의 바인더 길이(l_n)에 따른 최대 변형률(ϵ_n) 분포를 나타낸 그래프이다.

도 8은 제1 바인더 길이 하에서, 곡률 반경(r_{An}) 및 각도(θ)에 따른 최대 변형률(ϵ_n) 분포를 제2 반경 변수 구간과 제2 각도 변수 구간에서 나타낸 그래프이다.

도 9는 제1 바인더 길이 하에서, 곡률 반경(r_A) 및 각도(θ_n)에 따른 최대 변형률(ϵ_n) 분포를 제2 반경 변수 구간과 제2 각도 변수 구간에서 나타낸 그래프이다.

도 10은 식(1) 하에서, 곡률 반경(r_{An}) 및 각도(θ_n)에 따른 최대 변형률(ϵ_n) 분포를 제2 반경 변수 구간과 제2 각도 변수 구간에서 나타낸 그래프이다.

도 11은 최적변수를 적용한 2단(2-step) 스탬핑 유한요소모델을 나타낸 도식도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0027] 이하, 첨부한 도면을 참고로 하여 본 발명의 실시예에 대하여 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 상세히 설명한다. 그러나 본 발명은 여러 가지 상이한 형태로 구현될 수 있으며 여기에서 설명하는 실시예에 한정되지 않는다.

[0028] 본 발명의 실시예에 따른 금속 판재 성형 방법은, 먼저 선행 스탬핑 툴(100)을 이용하여 금속 판재(20)에 상부 곡률부(도 1b의 21)와 하부 곡률부(도 1b의 22)를 갖는 가 형상의 덩플을 1차 스탬핑한다. 그리고 나서, 1차 스탬핑된 덩플을 기본 스탬핑 툴(도 3의 10)을 이용하여 실 형상의 덩플로 2차 스탬핑한다. 여기서, 기본 스탬핑 툴(10)은 기존의 단일(1-step) 스탬핑 공정에서 사용되던 스탬핑 툴의 형상과 동일하다.

[0029] 따라서, 본 발명의 실시예에 의하면, 선행 스탬핑 툴(100)에 의해 금속 판재(20)의 덩플이 가 형상으로 1차 가공이 되므로, 2차 스탬핑시 금속 판재(20)에 미치는 변형률을 완화시킬 수 있어, 한번에 이루어지던 기존의 단

일(1-step) 스탬핑 방법에 비해 금속 판재(20)에 미치는 변형률을 감소시킬 수 있다.

- [0030] 이하, 도 3 및 도 4를 참조하여, 본 발명의 실시예에 따른 금속 판재 성형 방법에 사용되는 선행 스탬핑 툴(100)에 대해 상세히 설명한다.
- [0031] 도 3은 본 발명의 실시예에 따른 금속 판재 성형 방법으로, 2단(2-step) 스탬핑 유한요소모델을 나타낸 도식도이며, 그리고 도 4는 본 발명의 금속 판재 성형 방법에 사용되는 선행 스탬핑 툴에 대한 설계 변수를 나타낸 도식도이다.
- [0032] 선행 스탬핑 툴(100)은, 도 3 및 도 4에 도시된 바와 같이, 금속 판재(20)를 파지하는 바인더(11)와, 금속 판재(20)의 저면을 받치며 가 형상의 덩플을 스탬핑하는 다이(120)와, 그리고 다이(120)와 함께 가 형상의 덩플을 스탬핑하는 펀치(130)를 포함할 수 있다.
- [0033] 다이(120)는, 도 3 및 도 4에 도시된 바와 같이, 금속 판재(20)에 덩플의 상부 곡률부(21)를 가공하는 제1 원호 형상의 상부 곡률 가공부(121)와, 그리고 금속 판재(20)에 덩플의 하부 곡률부(22)를 가공하는 제2 원호 형상의 하부 곡률 가공부(122)를 포함할 수 있다.
- [0034] 상부 곡률 가공부(121)와 하부 곡률 가공부(122)는, 도 4에 도시된 바와 같이, 변곡점(C)을 기준으로 그 형상이 변곡될 수 있다. 특히, 변곡점(C)은 상부 곡률 가공부(121)의 원호 중심점(b)과 하부 곡률 가공부(122)의 원호 중심점(d)을 직선(b-d 직선)으로 연결할 경우, 이 직선(b-d 직선) 상에 위치된다.
- [0035] 참고로, 도 3에 도시된 도면 부호 "12"는 2차 스탬핑시 사용되는 기본 스탬핑 툴(10)의 다이를 가리키고, 도면 부호 "13"은 기본 스탬핑 툴(10)의 펀치를 가리킨다. 또한, 기본 스탬핑 툴(10)은 기존의 단일(1-step) 스탬핑 공정에서 사용되던 스탬핑 툴의 형상과 동일한 것이다.
- [0036] 이하, 도 1 및 도 2를 참조하여, 기존의 단일 스탬핑 공정에 대한 유한요소 모델링에 대해 설명한다. 이는 본 발명의 2단 스탬핑 공정시 변형률의 감소가 기존에 비해 얼마나 감소되지는 보이기 위한 예이다.
- [0037] 도 1은 기존의 단일(1-step) 스탬핑에 대한 유한요소모델을 나타낸 도식도이고, 그리고 도 2는 기존 기술로, 요소수(n_e)에 따른 단일(1-step) 스탬핑모델에 대한 변형률(ϵ_n) 분포를 나타낸 그래프이다.
- [0038] 도 1a에 도시된 바와 같이, 금속 판재(20)의 시편의 길이와 두께는 각각 12.5 mm와 0.5 mm이며, 요소망은 4절점 평면 변형률 요소(CPE4)이다. 소재는 지르칼로이-4(Zircaloy-4)이며, 펀치(13)와, 다이(12)와, 바인더(11)는 강체로 가정하고 좌우단 경계조건은 고정단이다. 마찰계수(?)는 0.2이고, 바인더 힘(BF; Binder Force)은 20N, 바인더 길이(1)는 2.78 mm이다. 다이(12)의 곡률 반경은 r 이고, 펀치(13)의 곡률 반경은 r_p , 다이(12)와 펀치(13)의 조립체인 금형의 상부 및 하부 곡률 가공부(12a)(12b)의 반경은 각각 r_A 와 r_B 이다.
- [0039] 도 1b에 도시된 바와 같이, 시편의 상부 곡률부(21)에서 1-방향 최대 변형률(ϵ_A)은 0.262이고, 시편의 하부 곡률부(22)의 1-방향 최대 변형률(ϵ_B)은 0.351 이다. 모사한 단일(1-step) 스탬핑모델의 x-축 요소수(n_e)는 100개이고, y-축 요소수는 8개이다. 참고로, X-축과 y-축은 서로 직교하고, x-축은 도면상 1-방향을 향하는 축이고, 그리고 y-축은 도면상 2-방향을 향하는 축이다.
- [0040] 적정 요소수를 판단하고, x-축 요소수(n_e)에 따른 변형률을 보고자 요소수를 x-축으로는 100개씩, y-축으로는 8개씩 증가시켰다. 도 2에 도시된 바와 같이, X-축 요소수(n_e)가 10^3 일 때 최대 변형률(ϵ_{max})은 0.348 로 수렴하며, 아래 표 1을 보면 최대 변형률 요소수(n_e)가 100일 때 최대 변형률(ϵ_{max})과의 차이(Gap)는 1% 이다. 이에 실제값을 요소수(n_e)가 10^3 에서의 값으로 판단해 2단(2-step) 스탬핑모델 변형률과 비교를 위한 단일(1-step) 스탬핑모델의 기준값으로 변형률(ϵ_{ref})은 0.348로 한다.

표 1

n_e along x-axis	ϵ_A	ϵ_B	ϵ_{max}
100	0.262	0.351	0.351
1×10^3	0.271	0.348	0.348
Gap (%)	3	-1	-1

- [0042] 이하, 도 3 및 도 4를 다시 참조하여, 선행 스탬핑 툴(100)의 설계 변수 설정 및 설계 방법에 대해 설명한다.
- [0043] 단일(1-step) 스탬핑시 곡률부에 집중된 변형으로 인해 하부 곡률부(도 1b의 22)에 균열이 발생할 수 있다. 이에 집중된 변형을 줄이고자, 도 3에서와 같이 2단(2-step) 스탬핑을 수행한다. 선행 스탬핑 툴(100)의 최적 형상은 상부 곡률부(121)의 변형률(ϵ_A)과 하부 곡률부(122)의 변형률(ϵ_B)의 최대값에 해당하는 최대 변형률($\epsilon_{\max}$)을 최소로 하는 다이 형상이다.
- [0044] 구체적으로, 2단(2-step) 스탬핑 모델의 선행 스탬핑 툴(100)은, 도 4에 도시된 바와 같이, 두 개의 원호인 제1 원호 형상의 상부 곡률 가공부(121; a-c원호)(이하, "a-c원호"라 함)와, 제2 원호 형상의 하부 곡률 가공부(122; c-f원호)(이하 "c-f원호"라 함)로 구성되며, 설계 변수는 a-c원호의 반경(r_A)과 각도(θ)로 설정되고, 그 단위는 각각 mm 와 degree 이다. 제작 가능성을 고려하면 a-c원호(121) 및 c-f원호(122)의 교점(c)은 변곡점이며 첨점이 아니다.
- [0045] c-f원호(122)의 중심점(d)은 대칭축선상에 위치되고, 그리고 a-c원호(121)의 중심점(b), 변곡점(c)과, c-f원호의 중심점(d)은 하나의 직선(b-d 직선)상에 위치된다. 따라서, c-f원호(122)에 대한 대응각도(θ)는 a-c원호(121)의 각도(θ)와 같으며, 그리고 c-f원호(122)의 반경(r_B)은 a-c원호(121)의 반경(r_A)과 각도(θ)로 구할 수 있다.
- [0046] a-c원호(121)는 빗변(bc)의 길이가 반경(r_A)인 삼각형에서 각도(θ)를 활용해 임의점으로 변곡점(c)을 구하고 제1 중심점(b)을 중심으로 한 원호이다. 제1 중심점(b)이 (x, y)의 좌표를 가지면 변곡점(c)은 $(x + r_A \sin \theta, y + r_A \cos \theta)$ 의 좌표를 갖는다.
- [0047] c-e선의 길이($s = x + r_A \sin \theta$)와 각도(θ)로 c-f원호(122)의 반경(r_B)과 d-e선의 길이(1)를 구하면 c-f원호(122)의 반경(r_B)은 " $(x/\sin \theta) + r_A$ "의 식으로 계산되고, d-e선의 길이(1)은 " $r_B \cos \theta$ "의 식으로 계산된다.
- [0048] c-f원호(122)는 반경(r_B)과 d-e선의 길이(1)를 활용해 구한 제2 중심점(d)을 중심으로 한 원호이다. 제2 중심점(d)은 $[0, y + (r_A + r_B) \cos \theta]$ 의 좌표를 갖고, 점(f)는 $[0, y + (r_A + r_B) \cos \theta - r_B]$ 의 좌표를 갖는다.
- [0049] 이하, 도 5 및 도 6을 참조하여, 선행 스탬핑 툴(100)의 설계 변수의 변화에 따른 변형률의 변화를 살핀다.
- [0050] 도 5는 선행 스탬핑 툴의 제1 원호의 반경(r_{An}) 및 각도(θ)에 따른 최대 변형률(ϵ_n) 분포를 제1 반경 변수 구간과 제1 각도 변수 구간 내에서 나타낸 그래프이고, 그리고 도 6은 제1 반경 조건과 제1 각도 조건 하에서, 요소수(n_e)에 따른 2단(2-step) 스탬핑모델에 대한 최대 변형률(ϵ_n) 분포를 나타낸 그래프이다.
- [0051] 설계 변수의 한계를 설정하고자 변수를 임의로 a-c원호(121)의 반경(r_A)은 1.0 ~ 2.4mm까지 0.2mm 간격으로, 각도(θ)는 30° ~ 60° 까지 10° 간격으로 변화시켜 변형률 변화를 살폈다. 여기서, 1.0 ~ 2.4mm는 제1 반경 변수 구간이 예이고, 30° ~ 60° 는 제1 각도 변수 구간의 예이고, 0.2mm는 제1 설정 길이의 예이고, 10° 는 제1 설정 각도의 예이다. 이러한 변형률은 본 발명이 속하는 기술분야의 통상의 지식을 가진 자에게 이미 알려진 실험이나 수치해석 등을 통해 얻을 수 있는 것이므로 이에 대한 더욱 상세한 설명은 생략한다.
- [0052] 도 5를 보면 각도(θ)가 30° 에서 모든 변수조합의 최대 변형률($\epsilon_{\max}$)은 기준값을 초과하며, 각도(θ)가 40° 에서 반경(r_A)이 증가하면 최대 변형률($\epsilon_{\max}$)은 증가하다가 1.6 mm 이후 감소하였다. 각도(θ)가 50° 및 60° 에서 반경(r_A)이 증가하면 최대 변형률($\epsilon_{\max}$)은 감소하다가 각각 1.4mm와 1.8mm 이후 증가하였다. x-축은 $r_{An}(=r_A/r_{A|\max})$ 이고, y-축은 $\epsilon_n(= \epsilon_{\max}/0.348)$ 이다. $(r_A, \theta) = (1.4\text{mm}, 50^\circ)$ 의 변수 조건에서 최대 변형률($\epsilon_{\max}$)은 0.304로 최소값을 보였다. 여기서, 1.4mm는 제1 반경 조건의 예이고, 50° 은 제1 각도 조건의 예이며, 0.304는 제1 최대 변형률의 예이다.
- [0053] 0.1mm 단위에서의 정확한 최소값을 살피고자 반경(r_A)을 각각 1.3mm와 1.5mm 로 하고 변형률의 변화를 살피면 $(r_A, \theta) = (1.5\text{mm}, 50^\circ)$ 의 변수 조건에서 최대 변형률($\epsilon_{\max}$)이 0.293으로 최소값을 보였다. 여기서, 1.5mm은 제1 반경 조건의 다른 예이고, 0.293은 제1 최대 변형률의 다른 예이다.

[0054] 단일(1-step) 스탬핑 모델과 동일하게 적정 요소수를 판단하고, 요소수(n_e)에 따른 변형률을 보고자 요소수(n_e)를 x-축으로 100개, y-축으로 8개씩 증가시켰다. $(r_A, \theta) = (1.5 \text{ mm}, 50^\circ)$ 의 변수 조건 하에서, 도 6를 보면 요소수(n_e)가 1.1×10^3 일 때 최대 변형률($\epsilon_{\max}$)은 0.315로 수렴하며, 표 2에서 $\epsilon_{\max|n_e} = 100$ 와의 차이(Gap)는 7%이다. 여기서, 10^3 은 제1 x축 요소수의 예이다. 한편, 요소수(n_e)가 1.1×10^3 일 때 최대 변형률($\epsilon_{\max}$)이 수렴하지만 전산효율을 고려하여 추후 해석은 요소수(n_e)를 500으로 하며 최대 변형률($\epsilon_{\max}$)은 0.313으로 이로 인한 차이는 0.6%이다. 여기서, 500은 제1 x축 요소수의 다른 예이고, 0.315는 제2 최대 변형률의 일 예이고, 0.313은 제2 최대 변형률의 다른 예이다.

표 2

n_e along x-axis	ϵ_A	ϵ_B	$\epsilon_{\max}$
100	0.291	0.293	0.293
1×10^3	0.305	0.315	0.315
Gap (%)	5	7	7

[0056] 이하, 도 7을 참조하여, 바인더길이 (1)에 따른 변형률 변화를 살펴본다.

[0057] 도 7은 제1 반경 조건과 제1 각도 조건과 제1 x축 요소수 하에서, 선행 스탬핑 툴의 바인더 길이(l_n)에 따른 최대 변형률(ϵ_n) 분포를 나타낸 그래프이다.

[0058] 제1 반경 조건과 제1 각도 조건과 그리고 제1 x축 요소수 하에서, 도 7에 도시된 바와 같이, 바인더(11)의 길이 (1)를 2.7 ~ 0.6 mm까지 0.3 mm 간격으로 줄여 바인더(11)의 길이(1)에 따른 변형률에 대한 영향을 보면, 바인더(11)의 길이(1)가 0.9mm 및 그 이하에서 최대 변형률($\epsilon_{\max}$)은 0.299로 수렴한다. 이에 기준 바인더(11)의 길이(1)를 0.9mm로 하여 추후 해석에 적용한다. x-축은 $l_n (= 1/l_{\max})$ 이고, y-축은 $\epsilon_n (= \epsilon_{\max}/0.348)$ 이다. 또한, 0.299는 제3 최대 변형률의 예이다.

[0059] 이하, 도 8 및 도 9를 참조하여, 제1 반경 변수 구간 및 제2 각도 변수 구간에서의 설계 변수(r_A, θ)에 따른 변형률 변화를 살펴본다.

[0060] 도 8은 제1 바인더 길이 하에서, 곡률 반경(r_{An}) 및 각도(θ)에 따른 최대 변형률(ϵ_n) 분포를 제2 반경 변수 구간과 제2 각도 변수 구간에서 나타낸 그래프이고, 그리고 도 9는 제1 바인더 길이 하에서, 곡률 반경(r_A) 및 각도(θ_n)에 따른 최대 변형률(ϵ_n) 분포를 제2 반경 변수 구간과 제2 각도 변수 구간에서 나타낸 그래프이다.

[0061] 바인더(11)의 길이를 상술한 기준 바인더 길이(1)인 0.9 mm로 고정하고, 반경(r_A)은 1.40 ~ 1.60mm 구간에서 0.02 mm 간격으로, 각도(θ)는 $48^\circ \sim 52^\circ$ 구간에서 1° 간격으로 변화시켜 변형률을 보았다. 여기서, 1.40 ~ 1.60 mm는 제2 반경 변수 구간의 예이고, $48^\circ \sim 52^\circ$ 은 제2 각도 변수 구간의 예이고, 0.02 mm는 제2 설정 길이의 예이고, 그리고 1° 는 제2 설정 각도의 예이다.

[0062] 도 8에 도시된 바와 같이, x-축을 $r_{An} (= r_A/r_{A|\max})$ 으로 하면 각도(θ)가 51° 에서 최대 변형률($\epsilon_{\max}$)의 최소값 주었다. 한편, 도 9에 도시된 바와 같이, x-축이 $\theta_n (= \theta/\theta_{\max})$ 일 경우, 반경(r_A)이 1.44 ~ 1.50mm 구간은 각도(θ)가 50° 에서, 1.52 ~ 1.60mm 구간은 각도(θ)가 51° 에서 최소값을 보였으며, 반경(r_A)이 1.58mm에서 최대 변형률($\epsilon_{\max}$)의 최소값을 주었다. 이에 최소값은 $(r_A, \theta) = (1.58 \text{ mm}, 51^\circ)$ 의 변수 조건 하에서 최대 변형률($\epsilon_{\max}$)은 0.295이다. 이는 기존의 일단(1-step) 스탬핑 모델에서의 최대 변형률($\epsilon_{\max}$)인 0.348에 비해 15 % 감소한 양이다. 여기서, 0.295는 제4 최대 변형률의 예이다.

[0063] 이하, 도 10을 참조하여, 변형률을 함수화하고, 이를 통해 최적의 변수 조건을 도출하는 과정을 설명한다.

[0064] 도 10은 식(1) 하에서, 곡률 반경(r_{An}) 및 각도(θ_n)에 따른 최대 변형률(ϵ_n) 분포를 제2 반경 변수 구간과 제2 각도 변수 구간에서 나타낸 그래프이다.

[0065] 설계 변수인 반경(r_A)과 각도(θ)에 대한 변형률(ϵ_A , ϵ_B)을 식(1)의 형태로 함수화했다. 특히, 식(1)은 상술한 과정들을 토대로 하여 마련되었으며, 반경(r_A)는 상술한 제2 반경 변수 구간으로 1.40 ~ 1.60 mm일 수 있고, 각도(θ)는 상술한 제2 각도 변수 구간으로 49° ~ 51° 일 수 있다.

[0066]
$$\epsilon_i = a_i + b_i x + c_i y + d_i xy + e_i x^2 + f_i y^2 \text{ ----- 식(1)}$$

[0067] 여기서, ϵ_i 은 변형률이고, $x = r_A$, $y = \theta$ 이고, a_i , b_i , c_i , d_i , e_i , f_i ($i = A, B$)는 아래 표 3에 기재된 상수 값이다.

표 3

[0068]

Coefficient	ϵ_A	ϵ_B
a	-1.563	-4.629
b	1.313	-2.205
c	0.032	0.276
d	-0.193	0.566
e	0	-0.003
f	-0.017	0.012

[0069] (위 표는 RSM (response surface method)으로 구한 상수값임)

[0070] 도 10에서 반경(r_A)을 1.40 ~ 1.60mm 구간에서 0.01mm 간격으로, θ 를 49° ~ 51° 범위에서 0.1° 간격으로 변화시켜 함수 변형률을 보았다. 식(1) 함수들($R_A = 0.99$, $R_B = 0.97$)의 최소값은 두 함수의 교차점으로, (r_A , θ) = (1.58 mm, 51°)의 변수 조건에서 최대 변형률($\epsilon_{\max}$)이 0.293을 보였다.

[0071] 기존의 단일(1-step) 스탬핑 모델에서의 최대 변형률($\epsilon_{\max}$)에 비해 16 % 감소한 양이며 변형률을 최소화하는 변수는 (1.58 mm, 51°)임을 알 수 있었다. 참고로, x-축은 $1_n (= 1/l_{\max})$, y-축은 $\epsilon_n (= \epsilon_{\max} / 0.348)$, z-축은 $\theta (= \theta / \theta_{\max})$ 이다.

[0072] 도 11은 최적변수로 바인더 길이(1)를 0.9 mm로, 반경(r_A)을 1.58mm로, 각도(θ)를 51° 로 적용한 2단(2-step) 스탬핑 유한요소모델을 나타낸 도식도이다. 여기서, 도면부호 "1011"은 위 최적변수로 설계된 바인더를 가리키고, 도면부호 "1120"및 "1130"은 위 최적변수로 설계된 다이와 펀치를 각각 가리킨다.

[0073] 이상에서와 같이, 본 발명의 실시예에 따른 금속 판재 성형 방법, 이에 사용되는 선행 스탬핑 툴, 그리고 선행 스탬핑 툴 최적 설계 방법은 다음과 같은 효과를 가질 수 있다.

[0074] 본 발명의 실시예에 의하면, 기존의 단일(1-step) 스탬핑시 곡률부에 집중된 변형을 줄이고자 설계 변수로 반경(r_A), 각도(θ)를 정하고 선행 스탬핑 툴(100)을 최적 설계해 2단(2-step) 스탬핑을 수행하면서, 임의로 변화시킨 변수에서 최대 변형률의 최소값을 찾고 적정 요소수를 판단해 변형률을 찾아 보면 요소수(n_e)가 1.1×10^3 일 때 최대 변형률($\epsilon_{\max}$)의 최소값이 0.315로 기존의 단일(1-step) 스탬핑시 변형률에 비해 9% 감소시킬 수 있었다.

[0075] 또한, 바인더(11)의 길이(1)가 0.9mm 이하에서 최대 변형률($\epsilon_{\max}$)이 수렴해 바인더 길이(1)를 0.9mm로 하고, 다른 변수를 변화시켜 변형률을 보면서, 특정 변수 구간에서의 반경(r_A)과 각도(θ)에 대한 변형률(ϵ_i)을 함수화해 구한 최대 변형률($\epsilon_{\max}$)이 (r_A , θ) = (1.58 mm, 51°)의 변수 조건에서 최소값이 0.293으로 기존의 단일(1-step) 스탬핑시 변형률에 비해 16% 감소시킬 수 있었다.

[0076] 이상에서 본 발명의 바람직한 실시예에 대하여 상세하게 설명하였지만 본 발명의 권리범위는 이에 한정되는 것은 아니고 다음의 청구범위에서 정의하고 있는 본 발명의 기본 개념을 이용한 당업자의 여러 변형 및 개량 형태 또한 본 발명의 권리범위에 속하는 것이다.

부호의 설명

[0077]

10: 기본 스탬핑 툴

11: 바인더

12, 120: 다이

13, 130: 편치

20: 금속 판재

21: 상부 곡률부

22: 하부 곡률부

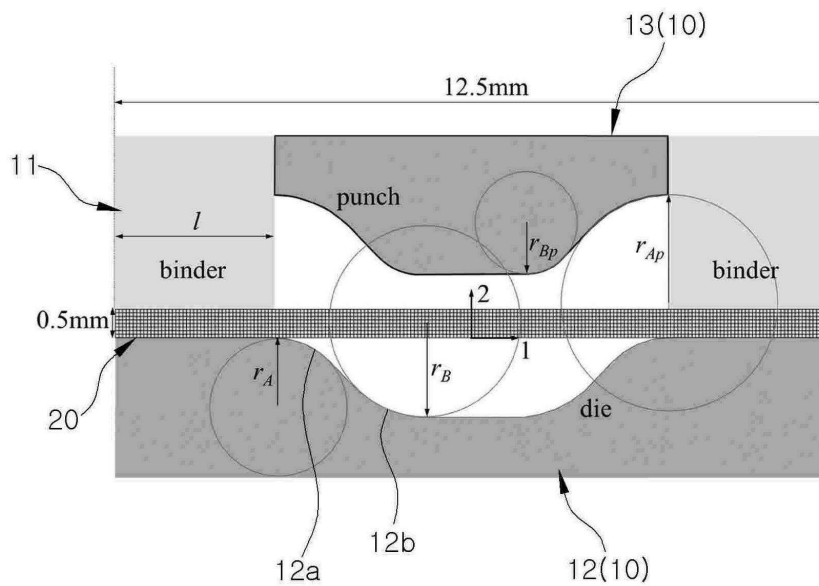
100: 선행 스탬핑 툴

121: 상부 곡률 가공부

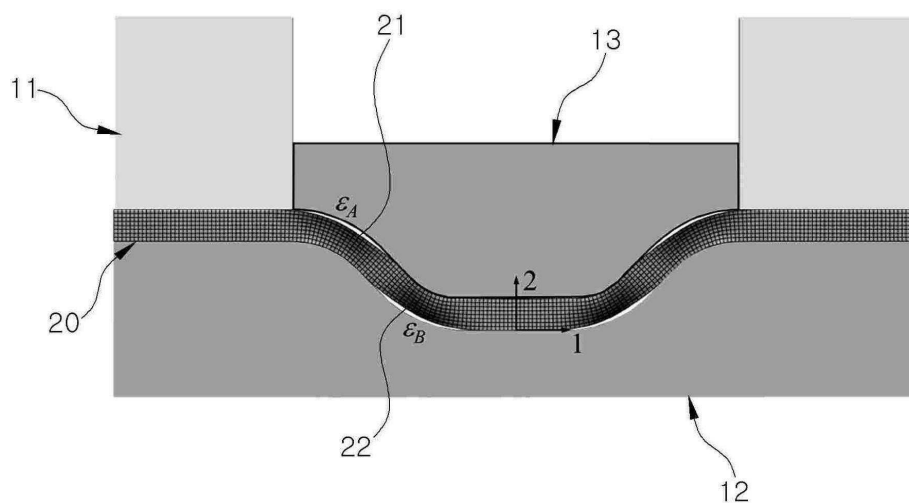
122: 하부 곡률 가공부

도면

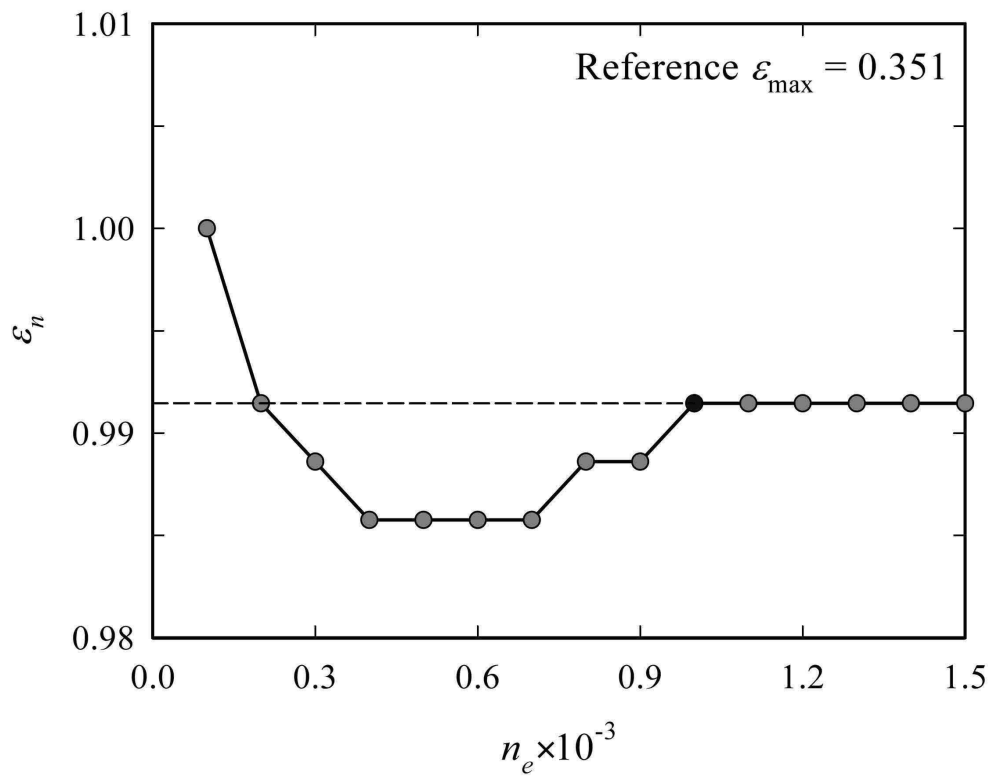
도면1a



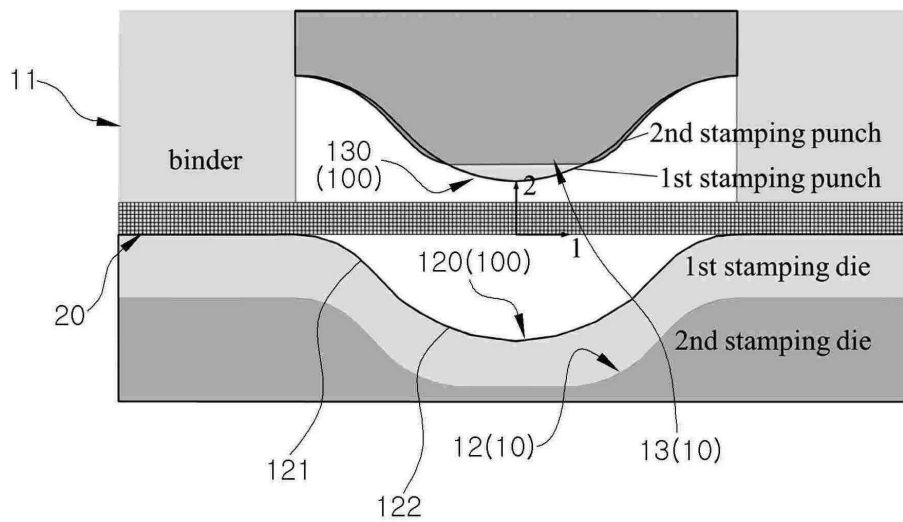
도면1b



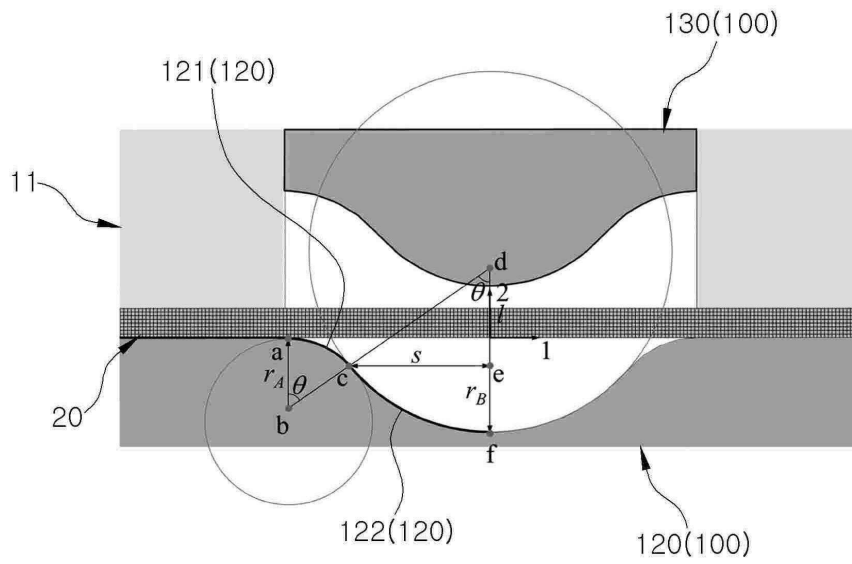
도면2



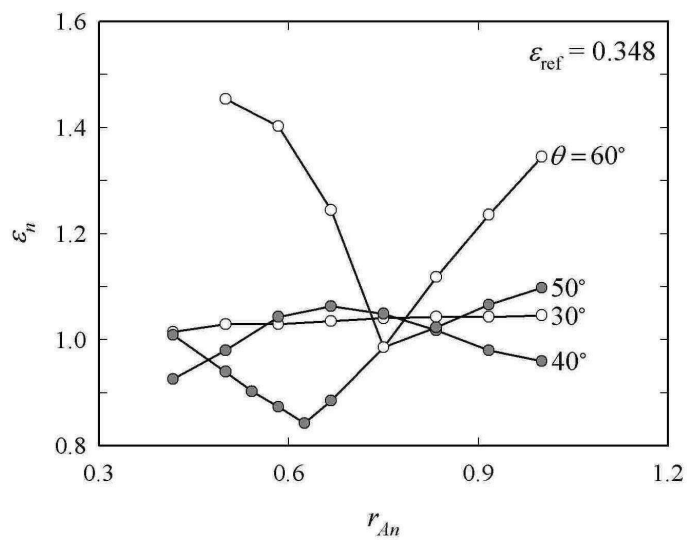
도면3



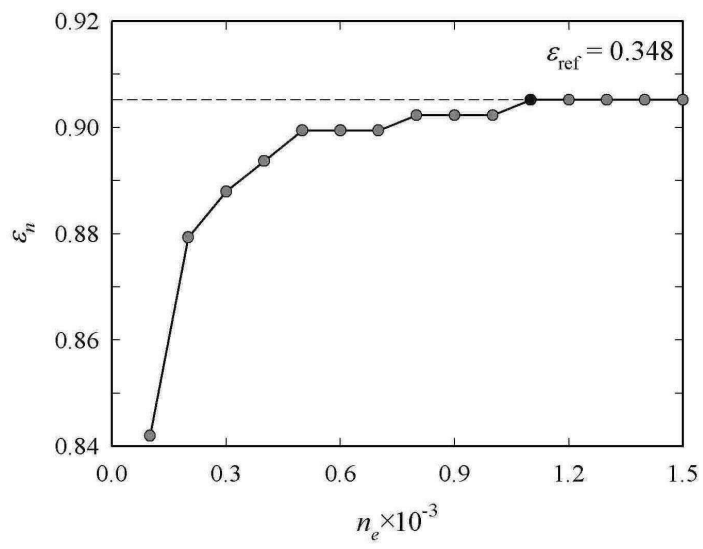
도면4



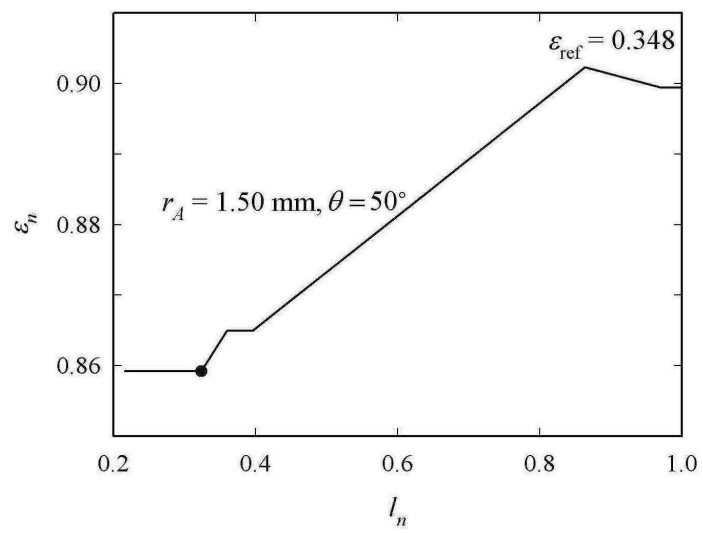
도면5



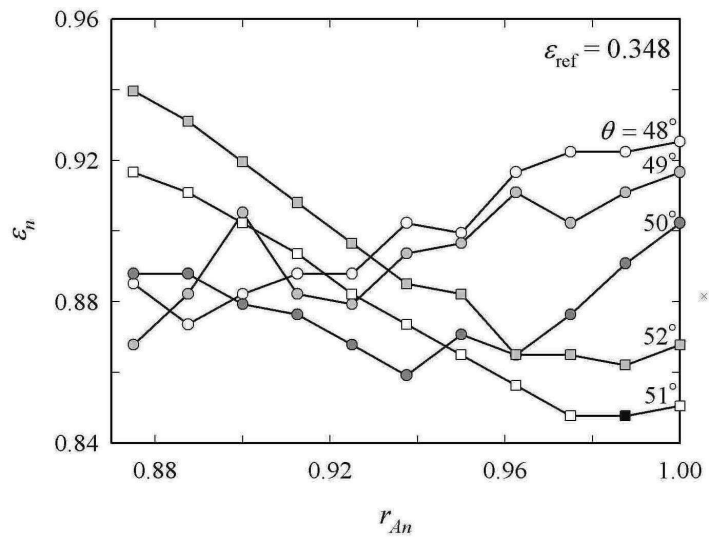
도면6



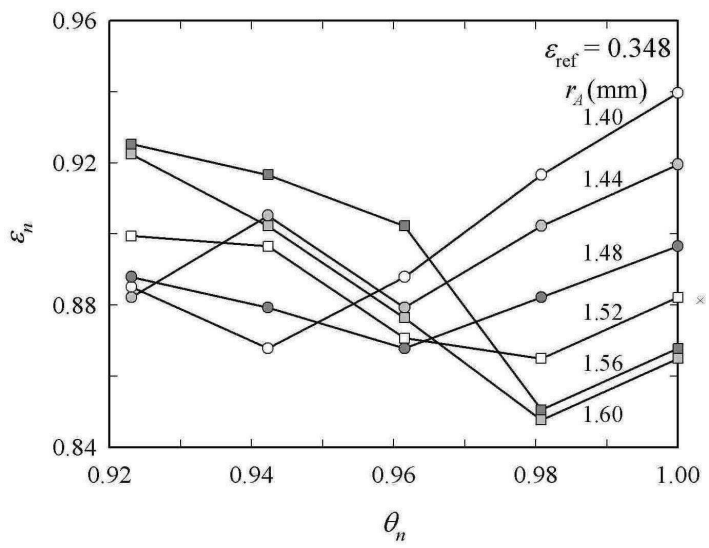
도면7



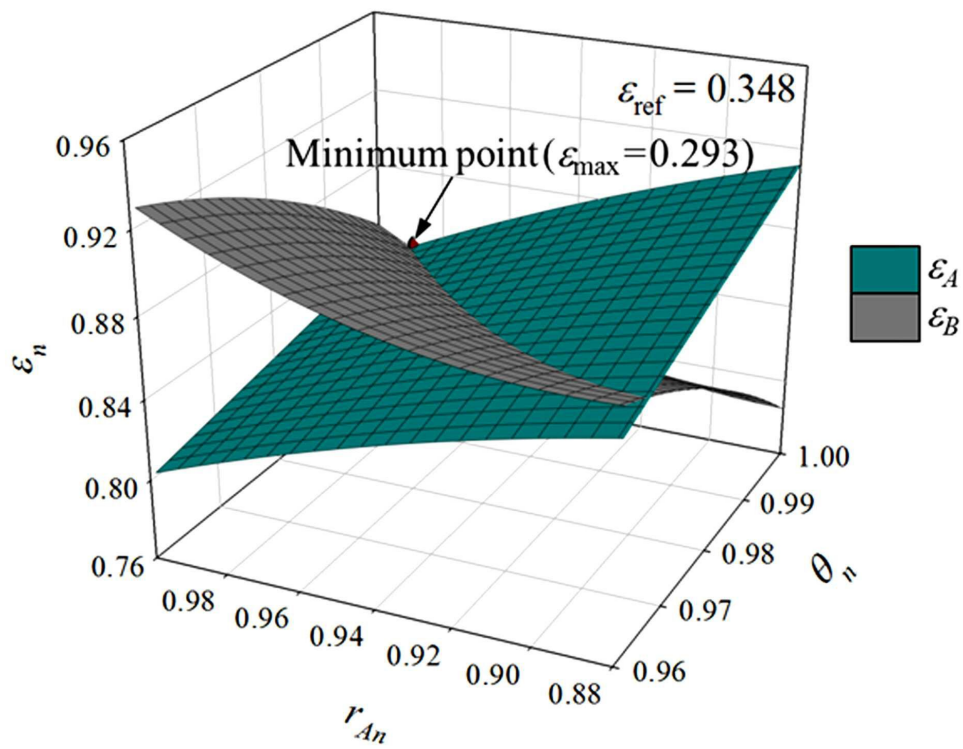
도면8



도면9



도면10



도면11

