



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2017-0031906
(43) 공개일자 2017년03월22일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G06Q 50/04 (2012.01) B23Q 17/09 (2006.01)
G06Q 10/04 (2012.01)
(52) CPC특허분류
G06Q 50/04 (2013.01)
B23Q 17/09 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2015-0129467
(22) 출원일자 2015년09월14일
심사청구일자 2015년09월14일

(71) 출원인
서강대학교산학협력단
서울특별시 마포구 백범로 35 (신수동, 서강대학교)
주식회사진영정기
경기도 화성시 장안면 장안로 566-21
(72) 발명자
김낙수
경기도 고양시 일산동구 노루목로 79, 406동 140
1호 (장항동, 호수마을4단지아파트)
천승현
전라남도 목포시 원산중앙로 87, 308동 904호 (연
산동, 주공아파트)
(74) 대리인
특허법인명인

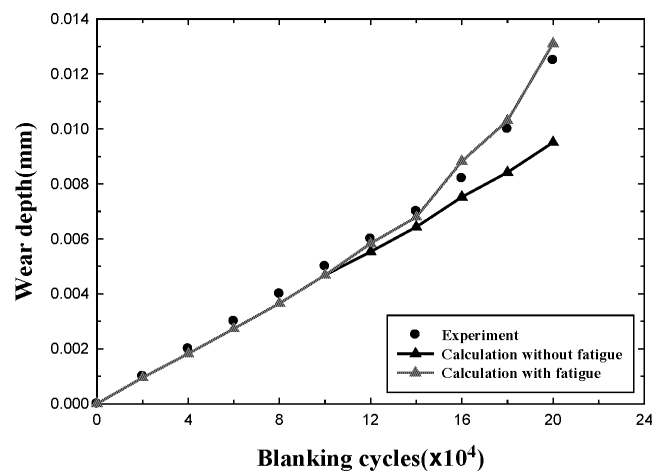
전체 청구항 수 : 총 8 항

(54) 발명의 명칭 마모 모델을 이용한 프레스 공구의 마모 및 수명 예측 방법

(57) 요약

프레스 공구의 마모를 예측하는 방법은, 유한요소 해석 시뮬레이션 프로그램에 연삭 마모 모델을 적용하여 상기 프레스 공구의 연삭 마모량을 산출하는 단계, 상기 연삭 마모량과 상기 프레스 공구를 이용한 실제 프레스 공정을 수행하여 얻어진 실측 마모량의 차이에 기초하여 피로 마모량을 산출하는 단계, 그리고 상기 연삭 마모량이 반영된 연삭 마모 모델 및 상기 피로 마모량이 반영된 피로 마모 모델을 상기 유한요소 해석 시뮬레이션 프로그램에 적용하여 상기 프레스 공구의 마모 시뮬레이션을 이용하여 상기 프레스 공구의 마모량을 산출하는 단계를 포함한다.

대표도 - 도3



(52) CPC특허분류

G06Q 10/04 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 20138540040010

부처명 산업통상자원부

연구관리전문기관 한국에너지기술평가원

연구사업명 에너지기술개발사업

연구과제명 불량률 4%이내의 핵연료봉 지지격자 생산을 위한 최적성형 공정

기 여 율 1/1

주관기관 (주)진영정기

연구기간 2013.12.01 ~ 2016.09.30

명세서

청구범위

청구항 1

프레스 공구의 마모를 예측하는 방법으로서,

유한요소 해석 시뮬레이션 프로그램에 연삭 마모 모델을 적용하여 상기 프레스 공구의 연삭 마모량을 산출하는 단계,

상기 연삭 마모량과 상기 프레스 공구를 이용한 실제 프레스 공정을 수행하여 얻어진 실측 마모량의 차이에 기초하여 피로 마모량을 산출하는 단계, 그리고

상기 연삭 마모량이 반영된 연삭 마모 모델 및 상기 피로 마모량이 반영된 피로 마모 모델을 상기 유한요소 해석 시뮬레이션 프로그램에 적용하여 상기 프레스 공구의 마모 시뮬레이션을 이용하여 상기 프레스 공구의 마모량을 산출하는 단계를 포함하는 프레스 공구의 마모 예측 방법.

청구항 2

제1항에서,

상기 연삭 마모 모델은 수정된 Archard 모델인 프레스 공구의 마모 예측 방법.

청구항 3

제2항에서,

상기 수정된 Archard 모델은 다음 수식에 의해 마모 깊이를 산출하는 프레스 공구의 마모 예측 방법.

[수식]

$$W(\text{wear depth}) = K \frac{P^a v^b}{H^c} t$$

(여기서, W는 마모 깊이(wear depth), P는 프레스 공구에 작용하는 수직 압력, v는 소재가 프레스 공구 표면에 미끄러지는 속도, H는 프레스 공구의 표면 경도, t는 프레스 공구와 소재가 접촉하는 시간, K는 프레스 공구의 마모 계수, a, b, c는 프레스 공구의 마모에 영향을 미치는 인자들에 자유도를 부여하는 마모 상수를 나타냄)

청구항 4

제3항에서,

상기 K, a, b, c는 ASTM G99 규격에 따른 핀-온-디스크(pin-on-disc) 시험에 의해 구해지는 프레스 공구의 마모 예측 방법.

청구항 5

제1항에서,

상기 피로 마모 모델은 Lemaitre 모델인 프레스 공구의 마모 예측 방법.

청구항 6

제5항에서,

상기 Lemaitre 모델은 다음 수식에 의해 손상 값 증가분을 산출하고, 상기 피로 마모량은 상기 손상 증가분을 기초로 산출되는 프레스 공구의 마모 예측 방법.

[수식]

$$\dot{D} = \dot{\bar{\epsilon}}_e \left(-\frac{Y_e}{S_0} \right)^b \quad \text{with} \quad -Y_e = \frac{\bar{\sigma}_e^2}{2E(1-D)^2} \left[\frac{2}{3}(1+\nu) + 3(1-2\nu) \left(\frac{\sigma_{H,e}}{\bar{\sigma}_e} \right)^2 \right],$$

(여기서, $\dot{D}$ 는 피로 누적에 의한 손상 값 증가분, $\dot{\bar{\epsilon}}_e$ 는 탄성 영역에서의 변형률 증가분, Y_e 는 탄성 영역에서의 손상 스트레인 에너지 해방률(damage strain energy release rate), ν 는 포아송 비(Poisson's ratio), E 는 탄성 계수(young's modulus), D 는 손상 값, $\bar{\sigma}_e$ 는 탄성 영역에서의 유효 응력, $\sigma_{H,e}$ 는 탄성 영역에서의 정수압 응력, S_0 와 b 는 프레스 공구의 재료에 따라 발생하는 손상 증가분의 정도를 조절하는 손상 계수를 나타냄)

청구항 7

제1항에서,

상기 마모 시뮬레이션에 형상 업데이트 알고리즘을 적용하여 마모에 따른 상기 프레스 공구의 형상 변화를 반영하는 단계를 더 포함하는 프레스 공구의 마모 예측 방법.

청구항 8

제7항에서,

상기 프레스 공구의 형상 변화를 반영하는 단계에서, 연삭 마모에 대해서는 상기 프레스 공구의 형상을 구성하는 표면 노드를 마모량에 따라 점진적으로 후퇴하는 방식으로 표면 형상을 업데이트하고, 피로 마모에 대해서는 누적된 손상치가 임계값에 도달하면 상기 프레스 공구의 형상을 구성하는 표면 요소를 제거하는 방식으로 표면 형상을 업데이트하는 프레스 공구의 마모 예측 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 프레스 공정에 사용되는 프레스 공구의 마모 및 수명을 예측하는 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 프레스 공구를 이용하여 판재와 같은 모재를 성형하는 프레스 공정으로는 전단 공정, 굽힘 공정, 드로잉 공정 등이 있다.

[0003] 프레스 공정에서는 공구 표면에서 공구와 판재의 접촉 및 미끄러짐에 의한 마찰이 발생하고 또한 공정 도중 판재로부터 가루나 먼지가 발생한다. 이러한 요인들이 공구 표면의 연삭 마모를 발생시키며, 나아가 프레스 공정의 특성상 공구에 지속적인 반복 하중이 작용하기 때문에 비점진적인 부피 손실 형태의 피로마모가 발생한다. 이러한 마모는 공구의 치수 변화를 초래하고 판재 성형의 정밀성을 저하시켜 성형성과 제품의 품질에 부정적 영향을 미친다. 따라서 제품의 생산성 향상 및 원가 절감을 위해 공구의 마모량을 예측하여 적정 시기에 공구를 교체하는 것이 매우 중요하다.

[0004] 그러나 현재까지 공구의 마모량을 예측하고 공구 교체 시기를 결정하는 체계적인 방법이 알려져 있지 않기 때문에, 산업 현장에서는 실무자의 주관적인 경험이나 노하우에 의존하여 공구 마모에 의한 교체 시기를 판단하고 있다.

[0005] 이로 인해 공정 조건이나 환경이 조금만 달라져도 공구의 마모 수명을 판단하기 위해 많은 시행착오를 거쳐야 하며, 그만큼의 시간과 비용이 소모된다. 나아가 체계적인 공구 교체 시기의 판단은 프레스 공정에서 비용과 시간을 절감시키기 때문에 공구 마모 예측 기법의 체계화가 더욱 필요한 실정이다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0006] (특허문헌 0001) 한국 공개특허공보 10-2013-0107807 (공개일자: 2013년 10월 2일)
(특허문헌 0002) 한국 공개특허공보 10-2012-0064321 (공개일자: 2012년 6월 19일)

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0007] 본 발명이 해결하고자 하는 과제는 정량적이고 신뢰성 있는 공구 마모 예측 방법을 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

- [0008] 본 발명의 실시예에 따른 프레스 공구의 마모를 예측하는 방법은, 유한요소 해석 시뮬레이션 프로그램에 연삭 마모 모델을 적용하여 상기 프레스 공구의 연삭 마모량을 산출하는 단계, 상기 연삭 마모량과 상기 프레스 공구를 이용한 실제 프레스 공정을 수행하여 얻어진 실측 마모량의 차이에 기초하여 피로 마모량을 산출하는 단계, 그리고 상기 연삭 마모량이 반영된 연삭 마모 모델 및 상기 피로 마모량이 반영된 피로 마모 모델을 상기 유한요소 해석 시뮬레이션 프로그램에 적용하여 상기 프레스 공구의 마모 시뮬레이션을 이용하여 상기 프레스 공구의 마모량을 산출하는 단계를 포함한다.

- [0009] 상기 연삭 마모 모델은 수정된 Archard 모델일 수 있다.

- [0010] 상기 수정된 Archard 모델은 다음 수식에 의해 마모 깊이를 산출할 수 있다.

- [0011] [수식]

$$W(\text{wear depth}) = K \frac{P^a v^b}{H^c} t$$

- [0012]

- [0013] 여기서, W는 마모 깊이(wear depth), P는 프레스 공구에 작용하는 수직 압력, v는 소재가 프레스 공구 표면에서 미끄러지는 속도, H는 프레스 공구의 표면 경도, t는 프레스 공구와 소재가 접촉하는 시간, K는 프레스 공구의 마모 계수, a, b, c는 프레스 공구의 마모에 영향을 미치는 인자들에 자유도를 부여하는 마모 상수를 나타낸다.

- [0014] 상기 K, a, b, c는 ASTM G99 규격에 따른 핀-온-디스크(pin-on-disc) 시험에 의해 구해질 수 있다.

- [0015] 상기 피로 마모 모델은 Lemaitre 모델일 수 있다.

- [0016] 상기 Lemaitre 모델은 다음 수식에 의해 손상 값 증가분을 산출하고, 상기 피로 마모량은 상기 손상 증가분을 기초로 산출될 수 있다.

- [0017] [수식]

$$\dot{D} = \dot{\bar{\epsilon}}_e \left(-\frac{Y_e}{S_0} \right)^b \quad \text{with} \quad -Y_e = \frac{\bar{\sigma}_e^2}{2E(1-D)^2} \left[\frac{2}{3}(1+\nu) + 3(1-2\nu) \left(\frac{\sigma_{H,e}}{\bar{\sigma}_e} \right)^2 \right],$$

- [0018]

- [0019] 여기서, $\dot{D}$ 는 피로 누적에 의한 손상 값 증가분, $\dot{\bar{\epsilon}}_e$ 는 탄성 영역에서의 변형률 증가분, Y_e 는 탄성 영역에서의 손상 스트레인 에너지 해방률(damage strain energy release rate), ν 는 포아송 비(Poisson's ratio), E 는 탄성 계수(young's modulus), D 는 손상 값, $\bar{\sigma}_e$ 는 탄성 영역에서의 유효 응력, $\sigma_{H,e}$ 는 탄성 영역에서의 정수압 응력, S_0 와 b 는 프레스 공구의 재료에 따라 발생하는 손상 증가분의 정도를 조절하는 손상 계수를 나타낸다.

- [0020] 본 발명의 다른 실시예에 따른 프레스 공구의 마모 예측 방법은 상기 마모 시뮬레이션에 형상 업데이트 알고리

즘을 적용하여 마모에 따른 상기 프레스 공구의 형상 변화를 반영하는 단계를 더 포함할 수 있다.

[0021] 상기 프레스 공구의 형상 변화를 반영하는 단계에서, 연삭 마모에 대해서는 상기 프레스 공구의 형상을 구성하는 표면 노드를 마모량에 따라 점진적으로 후퇴하는 방식으로 표면 형상을 업데이트하고, 피로 마모에 대해서는 누적된 손상치가 임계값에 도달하면 상기 프레스 공구의 형상을 구성하는 표면 요소를 제거하는 방식으로 표면 형상을 업데이트할 수 있다.

발명의 효과

[0022] 본 발명에 의하면, 연삭 마모 모델과 피로 마모 모델을 적용하여 프레스 공구의 마모를 예측함으로써, 프레스 공구의 마모를 정확히 예측할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0023] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 프레스 공구의 마모 예측 방법에 사용되는 수정된 Archard 모델에서 핀-온-디스크 방법에 의해 프레스 공구의 재료 특성과 관련된 상수를 결정하기 위한 실험을 설명하기 위한 도면이다.

도 2는 도 1의 핀-온-디스크 방법에 의해 실험된 마모 깊이에 맞는 그래프의 도출을 통해 프레스 공구의 재료 특성과 관련된 상수를 결정하는 과정을 설명하기 위한 도면이다.

도 3은 블랭킹 공정을 예로 하여 실험을 통해서 얻은 타발수에 따른 프레스 공구(편치)의 마모량과 본 발명의 실시예에 따른 마모 예측 방법의 시뮬레이션을 통해 얻은 프레스 공구의 마모량을 대비하여 보여주는 그래프이다.

도 4는 블랭킹 공정을 예로 하여 실험을 통해서 얻은 성형되는 구멍의 크기 변화와 본 발명의 실시예에 따른 마모 예측 방법의 시뮬레이션을 통해 얻은 구멍의 크기 변화를 대비하여 보여주는 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0024] 이하에서 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 실시예에 대해 상세히 설명한다.

[0025] 본 발명의 실시예에 따른 프레스 공구의 마모 예측 방법은 마모 모델을 이용하여 프레스 공구의 마모량을 산출하여 마모를 예측할 수 있는 방법에 관한 것이다.

[0026] 먼저, 본 발명의 실시예에 따른 프레스 공구의 마모 예측 방법은 유한요소 해석 시뮬레이션 프로그램에 연삭 마모 모델을 적용하여 프레스 공구의 연삭 마모량을 산출한다.

[0027] 여기서, 유한요소 해석 시뮬레이션 프로그램은 유한요소 해석 프로그램을 이용하는 임의의 시뮬레이션 프로그램일 수 있으며, 예를 들어 DEFORM 시뮬레이션 프로그램일 수 있다.

[0028] 본 발명의 실시예에서는, 프레스 공구의 표면에서 점진적으로 발생하는 연삭 마모량을 산출하기 위해 연삭 마모 모델을 사용하며, 연삭 마모 모델로 수정된 Archard 모델을 사용한다. 즉, 기존에 알려진 연삭 마모 모델인 Archard 모델을 수정한 수정된 Archard 모델을 유한요소 해석 시뮬레이션 프로그램에 적용하여 프레스 공구의 연삭 마모량을 산출한다.

[0029] 수정된 Archard 모델은 다음 수식에 의해 마모 깊이(W)를 산출한다.

[0030] [수식]

$$W(\text{wear depth}) = K \frac{P^a v^b}{H^c} t$$

[0031]

[0032] 여기서, W는 마모 깊이(wear depth), P는 프레스 공구에 작용하는 수직 압력, v는 소재가 프레스 공구 표면에서 미끄러지는 속도, H는 프레스 공구의 표면 경도, t는 프레스 공구와 소재가 접촉하는 시간, K는 프레스 공구의 마모 계수, a, b, c는 프레스 공구의 마모에 영향을 미치는 인자들에 자유도를 부여하는 마모 상수를 나타낸다.

[0033] 이때, 수정된 Archard 모델의 상수 K, a, b, c는 ASTM G99 규격에 따른 핀-온-디스크(pin-on-disc) 시험에 의해 결정될 수 있다. 구체적으로, 이들 상수는 도 1에 도시된 바와 같은 핀(10)과 디스크(20)를 이용한 실험을 통해 구해질 수 있다. 도면에 도시된 바와 같이 디스크(20)는 원판 형태를 가질 수 있다.

[0034] 예를 들어, 핀(10)은 프레스 공정에 사용되는 프레스 공구와 동일한 소재로 원기둥 형태로 형성될 수 있으며, 디스크(20)는 프레스 가공되는 판재와 동일한 소재로 형성될 수 있다. 도 1에 도시된 바와 같이, 핀(10)의 밑면을 디스크(20)의 상면에 접촉시킨 상태에서 핀(10)에 아래 방향으로 일정한 접촉 압력(P)을 가하고, 이 상태로 디스크(20)를 일정한 속도(v)로 일정 시간(t) 동안 회전시킨다. 접촉 압력(P)과 속도(v)를 변화시키면서 실험을 진행하고, 실험을 진행하면서 핀(10)의 마모 정도를 측정하고 또한 시간 또는 디스크(20)의 회전 횟수에 따른 핀(10)의 마모량 그래프를 작성한다. 그리고 상기한 수정된 Archard 모델의 수식에 이미 알고 있는 실험 조건인 P, v, 프레스 공구의 표면 경도인 H, 핀의 마모량 W를 대입하고, 미지수 K, a, b, c의 값을 변경하면서 실험 값과 일치하는 곡선을 구한다. 예를 들어, 도 2의 그래프에 나타난 바와 같이, 핀-온-디스크 실험을 통해 얻어진 소정 크기의 수직 하중을 가한 상태에서 디스크의 회전 횟수(cycles)와 그에 따른 마모 깊이(wear depth)를 그래프 상에 표시하고 그와 일치하는 곡선을 도출하여 미지수인 상수 K, a, b, c를 결정할 수 있다.

[0035] 한편, 본 발명의 실시예에 따르면, 상기한 바와 같이 얻어진 수정된 Archard 모델을 이용하여 산출된 연삭 마모량과 실제 프레스 공구를 이용한 프레스 공정을 수행하여 얻어진 실측 마모량의 차이에 기초하여 피로 마모량을 산출한다. 즉, 프레스 공구에서 발생하는 마모는 연삭 마모 외에 피로 누적에 의한 피로 마모로 이루어지기 때문에, 실제 측정된 마모량에서 연삭 마모량을 제외한 나머지 부분을 피로 마모량으로 간주하는 것이다. 프레스 공정 중의 반복적인 하중에 의해 프레스 공구 내부에 손상이 누적되고 손상 값이 임계치에 도달할 경우 피로 누적에 의한 프레스 공구의 표면에서 피로 마모가 생긴다고 간주하는 것이다. 이러한 현상을 시뮬레이션으로 계산하기 위해 반복적인 하중에 의해 발생하는 손상을 계산할 수 있는 Lemaitre 모델을 피로 마모 모델로 사용한다.

[0036] 즉, 연삭 마모량과 프레스 공구를 이용한 실제 프레스 공정을 수행하여 얻어진 실측 마모량의 차이를 이용하여 피로 마모량을 산출하고, 이 피로 마모량이 반영된 피로 마모 모델을 유한요소 해석 시뮬레이션에 적용하는 것이다. 이때 피로 마모 모델로 Lemaitre 모델이 사용된다.

[0037] 일반적으로 Lemaitre 모델과 같은 손상 모델은 소성 영역에서만 손상을 계산하지만, 피로 마모의 경우 탄성 영역에서의 손상 누적에 의해 발생하는 현상이기 때문에, 기존의 Lemaitre 모델을 탄성 영역까지 확장하여 피로 마모량을 계산한다.

[0038] 본 발명의 실시예에 따르면, Lemaitre 모델은 다음 수식에 의해 손상 값 증가분($\dot{D}$)을 산출하고, 피로 마모량은 손상 값 증가분을 기초로 산출된다.

[0039] [수식]

$$\dot{D} = \dot{\bar{\epsilon}}_e \left(-\frac{Y_e}{S_0} \right)^b \quad \text{with} \quad -Y_e = \frac{\bar{\sigma}_e^2}{2E(1-D)^2} \left[\frac{2}{3}(1+\nu) + 3(1-2\nu) \left(\frac{\sigma_{H,e}}{\bar{\sigma}_e} \right)^2 \right],$$

[0041] 여기서, $\dot{D}$ 는 피로 누적에 의한 손상 값 증가분, $\dot{\bar{\epsilon}}_e$ 는 탄성 영역에서의 변형률 증가분, Y_e 는 탄성 영역에서의 손상 스트레인 에너지 해방률(damage strain energy release rate), ν 는 포아송 비(Poisson's ratio), E 는 탄성 계수(young's modulus), D 는 손상 값, $\bar{\sigma}_e$ 는 탄성 영역에서의 유효 응력, $\sigma_{H,e}$ 는 탄성 영역에서의 정수압 응력, S_0 와 b 는 프레스 공구의 재료에 따라 발생하는 손상 증가분의 정도를 조절하는 손상 계수를 나타낸다.

[0042] 이때, 손상 계수인 S_0 와 b 는 위에서 설명한 연삭 마모만을 고려한 모델의 결과와 실험 값과의 차이를 이용하여 결정될 수 있다. 예를 들어, 시뮬레이션 모델에 피로 마모 모델을 추가로 적용하여 프레스 공구의 마모량을 계산하고, 계산된 값과 실험 값과의 오차가 최소화되도록 하는 손상 계수 S_0 와 b 를 최적화 기법을 통해 도출할 수 있다.

[0043] 위에서 설명한 연삭 마모량이 반영된 연삭 마모 모델과 피로 마모량이 반영된 피로 마모 모델을 상기한 유한요소 해석 시뮬레이션 프로그램에 적용하여 프레스 공구의 마모 시뮬레이션을 도출한다.

[0044] 도 3은 블랭킹 공정을 예로 하여 실제 실험을 통해서 얻은 타발수에 따른 프레스 공구의 마모량과 시뮬레이션을

통해 얻은 프레스 공구의 마모량을 대비하여 보여주며, 도 3을 참조하면 연삭 마모 모델만을 적용한 경우(Calculation without fatigue)에 비해 피로 마모 모델을 함께 적용한 경우(Calculation with fatigue)가 실제 실험을 통해서 얻은 결과(Experiment)에 더 근접함을 알 수 있다.

[0045] 한편, 본 발명의 실시예에 따르면, 마모 시뮬레이션에 형상 업데이트 알고리즘을 적용하여 마모 진행에 따른 프레스 공구의 형상 변화를 반영할 수 있다. 예를 들어, 프레스 공구에 발생하는 연삭 마모에 대해서는 프레스 공구를 구성하는 포면 노드를 마모량에 따라 점진적으로 후퇴하는 방식으로 표면 형상을 업데이트하고, 피로 마모에 대해서는 누적된 손상치가 임계값에 도달하면 프레스 공구의 형상을 구성하는 표면 요소를 제거하는 방식으로 표면 형상을 업데이트할 수 있다. 이와 같은 방식으로 포면 형상 업데이트 알고리즘을 적용함으로써 마모 진행에 따른 프레스 공구의 형상 변화가 반영될 수 있고 그에 의해 보다 정확한 마모 예측이 가능해진다.

[0046] 한편, 도 4는 블랭킹 공정을 예로 하여 실험을 통해서 얻은 성형되는 구멍의 크기 변화와 본 발명의 실시예에 따른 마모 예측 방법의 시뮬레이션을 통해 얻은 구멍의 크기 변화를 대비하여 보여주는 그래프이며, 이를 이용하여 공구의 교체 시기를 결정할 수 있다.

[0047] 즉, 프레스 공정(예를 들어, 블랭킹 공정)이 진행됨에 따라 프레스 공구에 마모가 발생하고 프레스 공구의 마모에 의해 관재에 생성되는 구멍의 크기가 점차로 감소하게 되며, 도 4는 이와 같이 감소하는 구멍의 면적을 보여준다. 도 4를 참조하면 실험을 통해서 얻은 구멍의 면적 감소(Experiment)와 시뮬레이션 결과를 통해서 얻은 면적 감소(Calculation)는 근사하게 진행하며, 계산 결과를 선형 함수로 근사화시킨 회귀직선(regression line)은 도 4와 같다.

[0048] 이를 이용하여 다음 식에 의해 프레스 공구의 교체 주기를 다음 식에 의해 산출할 수 있다.

[0049] [수식]

$$\Delta A_{hole} = 0.0202 \times 10^{-4} N$$

[0051] 여기서, ΔA_{hole} 은 구멍의 면적 감소율을 나타내고 N 은 타발수를 나타낸다.

[0052] 예를 들어, 허용할 수 있는 구멍의 면적 감소량을 0.2mm²로 가정하면, 프레스 공구의 교체 주기는 위의 식에 의해 99,010타발이 된다.

[0053] 이상에서 본 발명의 바람직한 실시예에 대하여 상세하게 설명하였지만 본 발명의 권리범위는 이에 한정되는 것은 아니고 다음의 청구범위에서 정의하고 있는 본 발명의 기본 개념을 이용한 여러 변형 및 개량 형태 또한 본 발명의 권리범위에 속하는 것이다.

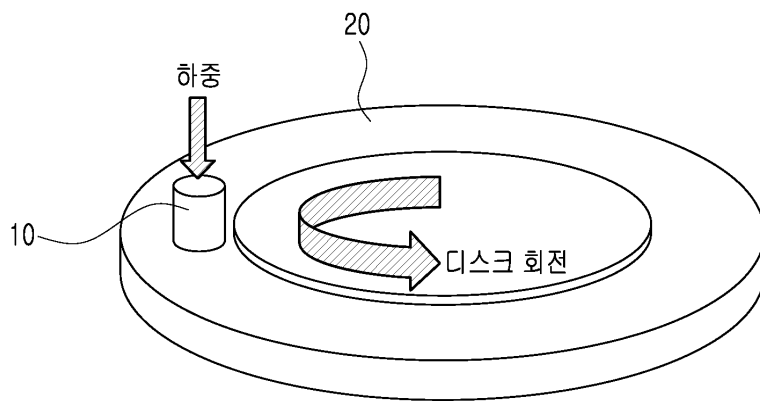
부호의 설명

[0054] 10: 핀

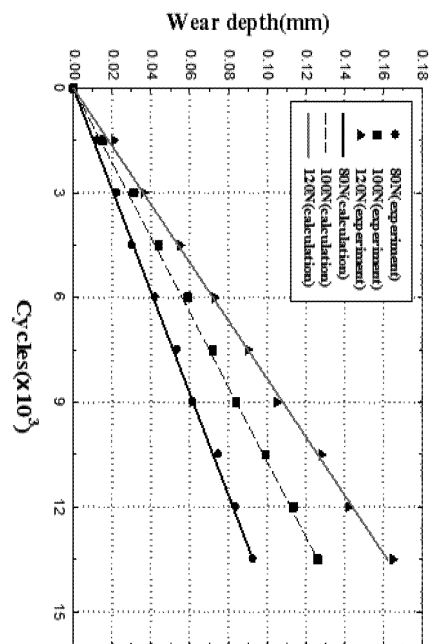
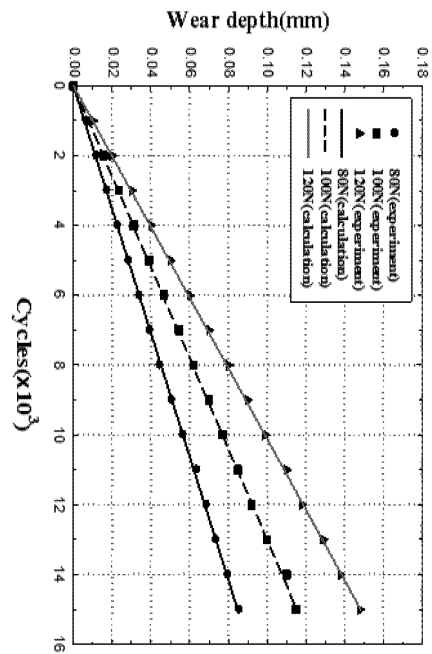
20: 디스크

도면

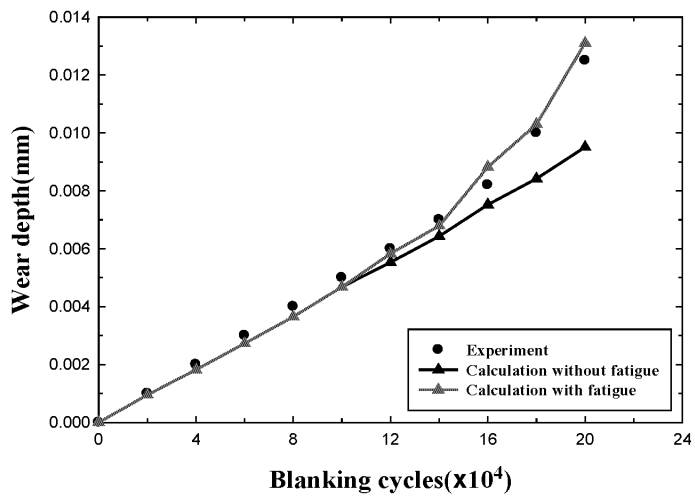
도면1



도면2



도면3



도면4

