



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2023-0052147
(43) 공개일자 2023년04월19일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01N 3/32 (2006.01) G01N 3/06 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G01N 3/32 (2020.05)
G01N 3/06 (2020.05)
(21) 출원번호 10-2021-0135360
(22) 출원일자 2021년10월12일
심사청구일자 2021년10월12일

(71) 출원인
경상국립대학교산학협력단
경상남도 진주시 진주대로 501 (가좌동)
(72) 발명자
전만수
경상남도 진주시 에나로 100(충무공동, 휴엔인엘
리시움) 101호 2001호
지수민
경상남도 진주시 천수로138번길 8-1
(74) 대리인
특허법인 태웅

전체 청구항 수 : 총 11 항

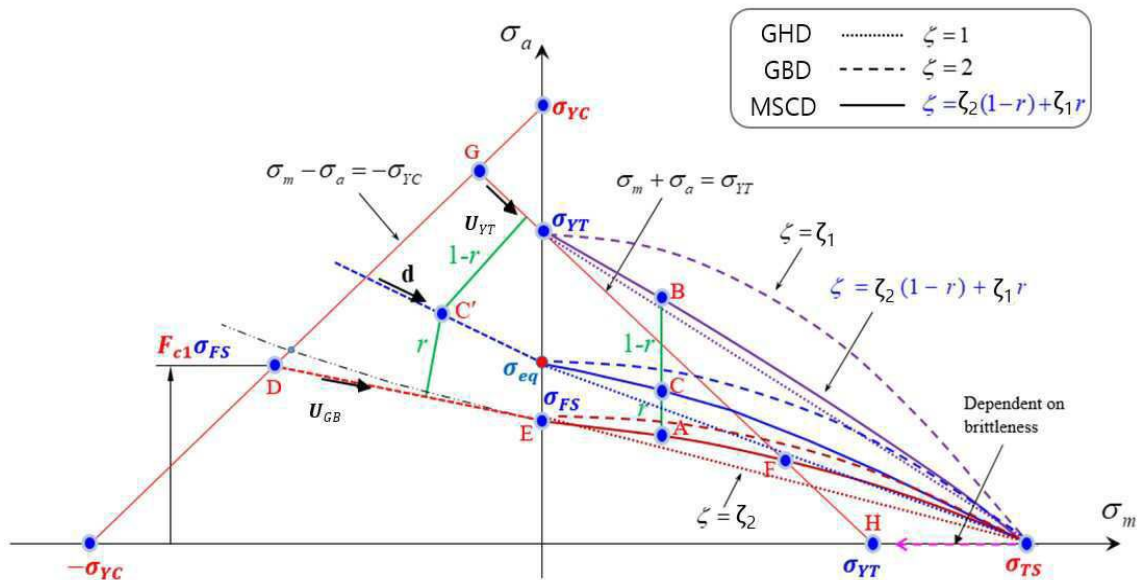
(54) 발명의 명칭 확장된 피로 한계 선도를 이용한 금형 피로 수명 예측 방법

(57) 요약

본 발명의 금형 피로 수명 예측 방법은 교번 응력(Alternating stress)이 가해지는 금형의 피로 파괴 강도 데이터를, 평균 기저 응력(MBS, Mean basis stress) 및 상기 교번 응력을 축으로 가지는 좌표상에 표시하는 분포 단계, 상기 피로 파괴 강도 데이터의 분포를 나타내는 평균 기저 응력 보정 선도(MSCD, Mean basis Stress correction diagram)를 연결하는 피팅 단계; 를 포함할 수 있다.

평균 기저 응력은 교번 응력의 최대 응력과 최소 응력의 평균을, 상기 금형에 대한 소정의 1축에 대한 응력으로 나타낸 것일 수 있고, 1축(평균 기저 응력)과 2축(교번 응력)으로 표현되는 평균 기저 응력 보정 선도는 상기 금형의 인장 강도당 상기 평균 기저 응력의 일반화 지수에 의해 결정될 수 있다. 상기 일반화 지수는 1축과 2축의 좌표값에 따라 달라질 수 있어, 응력 조건에 따른 수명 예측 목적에 사용될 수 있다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

G01N 2203/0005 (2013.01)

G01N 2203/0073 (2013.01)

G01N 2203/0075 (2013.01)

G01N 2203/0212 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1415172260

과제번호 20003950

부처명 산업통상자원부

과제관리(전문)기관명 한국산업기술평가관리원

연구사업명 산업소재핵심기술개발(R&D)

연구과제명 정밀 냉간단조의 지능화 및 스마트화를 위한 금형수명 사전예지 시스템의 개발 및 응용

기 여 율 1/2

과제수행기관명 (주)풍강

연구기간 2021.01.01 ~ 2021.12.31

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1415176069

과제번호 20214000000520

부처명 산업통상자원부

과제관리(전문)기관명 한국에너지기술평가원

연구사업명 에너지인력양성(R&D)

연구과제명 자원순환(재제조)산업 고도화 인력양성

기 여 율 1/2

과제수행기관명 (사)한국건설기계제제조협회

연구기간 2021.04.01 ~ 2021.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

교번 응력(Alternating stress)이 가해지는 금형의 피로 파괴 강도 데이터를, 평균 기저 응력(MBS, Mean basis stress) 및 상기 교번 응력을 축으로 가지는 좌표상에 표시하는 분포 단계;

상기 피로 파괴 강도 데이터의 분포를 나타내는 평균 기저 응력 보정 선도(MSCD, Mean basis Stress correction diagram)를 작도하는 피팅 단계; 를 포함하고,

상기 평균 기저 응력은 교번 응력의 최대 응력과 최소 응력의 평균을, 상기 금형에 대한 소정의 1축에 대한 응력으로 나타낸 것이며,

상기 평균 기저 응력 보정 선도는 상기 금형의 인장 강도당 상기 평균 기저 응력의 일반화 지수에 의해 결정되는 피로 선도의 조합인 금형 피로 수명 예측 방법.

청구항 2

제1 항에 있어서,

상기 금형은 냉간 단조되는 시편과 접촉하는 금형 인서트(die insert)를 포함하고,

상기 냉간 단조중 상기 금형 인서트는 예압(prestressed) 상태인 금형 피로 수명 예측 방법.

청구항 3

제1 항에 있어서,

상기 일반화 지수는 제1 파라미터 및 제2 파라미터의 선형 조합으로 주어지고,

상기 제1 파라미터의 계수는 r 이고, 상기 제2 파라미터의 계수는 $1-r$ 이며, 상기 r 은 0과 1사이의 수이고,

상기 평균 기저 응력 보정 선도는, 상기 r 이 0인 경우의 선도, 및 상기 r 이 1인 경우의 선도간에 선형 조합 또는 보간으로 결정되는 피로 선도의 조합인 금형 피로 수명 예측 방법.

청구항 4

제1 항에 있어서,

상기 일반화 지수는 제1 파라미터 및 제2 파라미터의 선형 조합으로 주어지고,

상기 제1 파라미터의 계수는 r 이고, 상기 제2 파라미터의 계수는 $1-r$ 이며, 상기 r 은 0과 1사이의 수이고,

상기 r 이 0인 경우, 상기 일반화 지수는 상기 제2 파라미터와 동일하며,

상기 r 이 0인 경우, 상기 평균 기저 응력 보정 선도는, 상기 금형의 인장 강도, 및 상기 금형의 상기 평균 기저 응력이 0인 경우의 피로 강도를 연결하는 피로 선도를 포함하는 금형 피로 수명 예측 방법.

청구항 5

제1 항에 있어서,

상기 일반화 지수는 제1 파라미터 및 제2 파라미터의 선형 조합으로 주어지고,

상기 제1 파라미터의 계수는 r 이고, 상기 제2 파라미터의 계수는 $1-r$ 이며, 상기 r 은 0과 1사이의 수이고,

상기 r 이 1인 경우, 상기 일반화 지수는 상기 제1 파라미터와 동일하고,

상기 r 이 1인 경우, 상기 평균 기저 응력 보정 선도는, 상기 교변 응력 축 상의 상기 금형의 인장 강도, 및 상기 평균 기저 응력 축 상의 상기 금형의 인장 항복 강도를 연결하는 피로 선도를 포함하는 금형 피로 수명 예측 방법.

청구항 6

제1 항에 있어서,

제1 사분면의 평균 기저 응력 보정 선도는 상기 일반화 지수에 의해 결정되고,

제2 사분면의 평균 기저 응력 보정 선도는 상기 제1 사분면 영역의 축 절편과 연장되며,

상기 제2 사분면의 평균 기저 응력 보정 선도는 직선이고, 경사는 90도에서 180도 사이인 금형 피로 수명 예측 방법.

청구항 7

제1 항에 있어서,

상기 일반화 지수는 제1 파라미터 및 제2 파라미터의 선형 조합으로 주어지고,

상기 일반화 지수가 제2 파라미터인 경우, 상기 평균 기저 응력 보정 선도는, 상기 금형의 인장 강도, 및 상기 금형의 상기 평균 기저 응력이 0인 경우의 피로 강도를 연결하며,

제2 사분면의 평균 기저 응력 보정 선도는 상기 평균 기저 응력이 0인 경우의 피로 강도를 축 절편으로 하는 직선인 금형 피로 수명 예측 방법.

청구항 8

제1 항에 있어서,

상기 일반화 지수는 제1 파라미터 및 제2 파라미터의 선형 조합으로 주어지고,

상기 일반화 지수가 제1 파라미터인 경우, 상기 평균 기저 응력 보정 선도는, 상기 금형의 인장 강도, 및 상기 금형의 인장 항복 강도를 연결하며,

제2 사분면의 평균 기저 응력 보정 선도는 상기 인장 항복 강도를 축 절편으로 하는 직선인 금형 피로 수명 예측 방법.

청구항 9

제1 항에 있어서,

상기 일반화 지수는 제1 파라미터 및 제2 파라미터의 선형 조합으로 주어지고,

상기 일반화 지수가 제2 파라미터인 경우, 제1 사분면의 상기 평균 기저 응력 보정 선도는, 상기 금형의 인장 강도, 및 상기 금형의 상기 평균 기저 응력이 0인 경우의 피로 강도를 연결하며,

제1 직선은 상기 평균 기저 응력이 0인 경우의 피로 강도를 축 절편으로 하고 경사는 90도에서 180도 사이이며,

상기 일반화 지수가 제1 파라미터인 경우, 제1 사분면의 상기 평균 기저 응력 보정 선도는, 상기 금형의 인장 강도, 및 상기 금형의 인장 항복 강도를 연결하며,

제2 직선은 상기 상기 인장 항복 강도를 축 절편으로 하는 직선이고 경사는 90도에서 180도 사이이며,

제2 사분면의 상기 평균 기저 응력 보정 선도는 상기 제1 직선 및 제2 직선을 선형 조합 또는 보간하여 결정되는 금형 피로 수명 예측 방법.

청구항 10

제1 항에 있어서,

상기 평균 기저 응력 보정 선도는 다음의 식으로 표현되고,

$$\frac{\sigma_a}{\sigma_{FS}} + \left(\frac{\sigma_m}{\sigma_{TS}} \right)^\zeta = 1$$

상기 ζ 는 일반화 지수이며, 다음의 식으로 주어지며,

$$\zeta = r\zeta_1 + (1-r)\zeta_2$$

상기 r은 0과 1사이의 수이고,

상기 σ_a 은 교번 응력 진폭(alternating stress amplitude)이고, 상기 σ_m 은 평균 기저 응력이며, 상기 σ_{FS} 은 피로 강도(fatigue strength)이고, 상기 σ_{TS} 은 인장 강도인 금형 피로 수명 예측 방법.

청구항 11

제1 항에 있어서,

상기 평균 기저 응력 보정 선도의 제1 사분면은 다음의 식으로 표현되고,

$$\frac{\sigma_a}{\sigma_{FS}} + \left(\frac{\sigma_m}{\sigma_{TS}} \right)^\zeta = 1$$

상기 ζ 는 일반화 지수이며, 다음의 식으로 주어지며,

$$\zeta = r\zeta_1 + (1-r)\zeta_2$$

상기 ζ 는 r이 1인 경우 상기 ζ_1 이며, 상기 ζ 는 r=0인 경우 상기 ζ_2 이고,

상기 σ_a 은 교번 응력 진폭(alternating stress amplitude)이고, 상기 σ_m 은 평균 기저 응력이며, 상기 σ_{FS} 은 피로 강도(fatigue strength)이고, 상기 σ_{TS} 은 인장 강도이며,

상기 ζ 가 ζ_2 인 경우 상기 평균 기저 응력 보정 선도의 y 절편은 피로 강도이고, 상기 ζ 가 ζ_1 인 경우 상기 평균 기저 응력 보정 선도의 y 절편은 인장 강도이며,

상기 평균 기저 응력 보정 선도의 제2 사분면은,

상기 ξ 가 ξ_2 인 경우 y절편이 상기 피로 강도이고, 경사각 90도 내지 180도 사이의 제1 직선으로 연장되며,

상기 ξ 가 ξ_1 인 경우 y절편이 상기 인장 강도이고, 경사각 90도 내지 180도 사이의 제2 직선으로 연장되며,

다음의 식으로 주어지는 단위 벡터 $\mathbf{d}$ 를 가지고,

$$\mathbf{d} = \frac{r\mathbf{U}_{GB} + (1-r)\mathbf{U}_{YT}}{\|r\mathbf{U}_{GB} + (1-r)\mathbf{U}_{YT}\|}$$

상기 r 은 0과 1사이의 수이고, 상기 제1 직선의 단위 벡터는 $\mathbf{U}_{GB}$ 이고, 상기 제2 직선의 단위 벡터는 $\mathbf{U}_{YT}$ 인 금형 피로 수명 예측 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 확장된 피로 한계 선도를 이용한 금형 피로 수명 예측 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 기존의 피로 파괴 선도를 이용한 금형의 피로 수명 예측 방법은 금속 성형, 특히 냉간 단조시 금형의 고주기 피로 수명 예측에는 적절치 않을 수 있다.

[0003] 냉간 단조시 예압 금형(prestressed die)의 피로 파괴 수명 예측은 기존 피로 선도로는 충분히 설명되지 않을 수 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0004] 본 발명은, 냉간 단조시 금형의 피로 수명 예측을 위한 평균 기저 응력 보정 선도를 이용한 금형 피로 수명 예측 방법을 제공한다.

과제의 해결 수단

[0005] 본 발명의 금형 피로 수명 예측 방법은 교번 응력(Alternating stress)이 가해지는 금형의 피로 파괴 강도 데이터를, 평균 기저 응력(MBS, Mean basis stress) 및 상기 교번 응력을 축으로 가지는 좌표상에 표시하는 분포 단계, 상기 피로 파괴 강도 데이터의 분포를 나타내는 평균 기저 응력 보정 선도(MSCD, Mean basis Stress correction diagram)를 작도하는 피팅 단계;를 포함할 수 있다.

[0006] 평균 기저 응력은 교번 응력의 최대 응력과 최소 응력의 평균을, 상기 금형에 대한 소정의 1축에 대한 응력으로 나타낸 것일 수 있고, 평균 기저 응력 보정 선도는 상기 금형의 인장 강도당 상기 평균 기저 응력의 일반화 지수에 의해 결정될 수 있다.

발명의 효과

[0007] 금형의 피로 수명의 정확한 예측을 위해서는 안정성 중시의 보수성이 요구되는 구조 설계시 사용하는 기존 피로 선도 또는 평균 기저 응력 보정 선도와는 다른 피로 선도 또는 평균 기저 응력 보정 선도가 필요할 수 있다. 따라서, 본 발명은 기존의 피로 선도를 확장 또는 수정함으로써, 냉간 단조중 금형의 피로 파괴 수명을 예측하는 방법을 제공할 수 있다.

[0008] 평균 기저 응력 보정 선도(MSCD, MBS Correction Diagram)는 파괴 실험의 실제 실험 데이터의 분포를 최적으로 설명하기 위해 제안된 것일 수 있고, 실제 피로 파괴 실험 데이터 분포를 기술하기 위한 피로 한계 선도일 수

있다.

- [0009] 본 발명의 평균 기저 응력 보정 선도는 금형의 실제 고주기 파괴 수명 또는 냉간 단조중 사용된 금형 부품의 파괴 수명을 예측할 수 있다.
- [0010] 제1 사분면의 평균 기저 응력 보정 선도는 단위 인장 강도당 평균 기저 응력을 나타내는 항의 일반화된 지수에 의해 결정될 수 있고, 일반화된 지수는 2개의 파라미터에 의해 결정될 수 있다. 평균 기저 응력은 2개의 경계선에 의한 선형 조합 또는 보간으로 주어질 수 있고, 2개의 경계선은 일반화된 지수가 각 파라미터에 해당하는 경우일 수 있다.
- [0011] 일반화 지수는 1축(평균 기저 응력)과 2축(교번 응력)의 좌표값에 따라 달라질 수 있어, 응력 조건에 따른 수명 예측 목적에 사용될 수 있다.
- [0012] 제2 사분면의 평균 기저 응력 보정 선도는 제1 사분면의 평균 기저 응력 보정 선도의 선형화 또는 직선화 연장일 수 있다. 음의 평균 기저 응력을 가지는 제2 사분면의 평균 기저 응력 보정 선도의 직선 경사는 금형의 피로 파괴 수명 예측에 중요한 역할을 할 수 있다.
- [0013] 본 발명의 확장된 평균 기저 응력 보정 선도는 고주기 피로 파괴 영역이 제한된 영역에만 집중적으로 나타날 수 있고, 이는 실제 피로 파괴 실험 데이터와 잘 부합할 수 있다.
- [0014] 따라서, 금형의 피로 파괴 수명을 정확히 예측하기 위해서는 평균 기저 응력 보정 선도의 제2 사분면이 중요한 역할을 할 수 있다. 즉, 평균 기저 응력 보정 선도의 제1 사분면에서 확장된 제2 사분면의 직선의 경사는 금속의 성형시 금형의 고주기 파괴 수명 예측을 용이하게 할 수 있고, 실제 생산 공정을 개선하는데 이용될 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0015] 도 1은 본 발명의 평균 기저 응력 보정 선도(MSCD)이다.
- 도 2는 본 발명의 평균 기저 응력 보정 선도(MSCD)를 구하는 과정을 나타낸 설명도이다.
- 도 3의 (a)는 Goodman-Haight 선도이고, (b)는 본 발명의 MSCD이며, (c)는 실제 금형을 도시한 것이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0016] 일반적인 구조물을 설계하는 경우에는, 허용 응력 이하로 보수적으로 설계하지만, 냉간 단조시의 금형과 같이 반복적인 교번 응력(AS, Alternating Stress)에 노출되는 경우에는 피로 파괴가 발생할 수 있다. 피로 파괴는 정적 하중의 인장 강도보다도 낮은 응력 상태로 오랜 시간 변동하는 응력이 가해질 때 발생할 수 있다.
- [0017] 냉간 단조중 금형 파괴는 주로 피로에 의해서 발생하기에, 피로 파괴에 의한 금형의 수명 예측은 중요한 문제이고, 최근 기술의 발전과 함께 복잡한 형상의 금형 인서트(die insert)의 분석도 가능해지고 있다.
- [0018] 금속 성형의 저주기 피로(LCF, Low-Cycle Fatigue)는 일반적으로 열간 금속 성형동안 금형의 피로 파괴 수명 예측에 이용될 수 있고, 금형의 고주기 피로(HCF, High-Cycle Fatigue)수명 예측은 자동 다단 냉간 단조의 경우 중요할 수 있다. 따라서, 본 발명의 파괴 수명 예측 방법은 금형의 고주기 파괴 수명을 예측할 수 있고, 실제 냉간 단조에도 적용될 수 있다.
- [0019] 피로 파괴는 응력 진폭 또는 평균 응력의 영향을 크게 받을 수 있다. 교번 응력의 경우, 응력 진폭은 최대 응력에서 최소 응력을 뺀 후 2로 나눈 것일 수 있고, 평균 응력은 최대 응력 및 최소 응력을 더한 후 2로 나눈 것일 수 있다.
- [0020] 이상적인 실험실의 조건이 아닌 경우, 실구조물에 작용하는 피로 하중은 평균 응력이 0이 아닐 수 있고, 평균 응력은 S-N 곡선만으로는 피로 파괴 분석의 적용이 어려울 수 있다. 따라서, 피로 한계 선도(fatigue limit diagram)를 평균 응력 및 응력 진폭으로 이루어진 좌표상에 표시함으로써 피로 수명 예측에 이용될 수 있다.
- [0021] 냉간 단조의 금형은 어느정도 반복 작동후 파괴될 것을 설계할 수 있기에, 냉간 단조시 금형의 피로 파괴 수명 예측에는 전통적인 피로 선도의 수정이 필요할 수 있다. 기존 피로 선도에는 Goodman-Haigh 선도 또는 Gerber 선도가 포함될 수 있고, 직선인 Goodman-Haigh 선도는 포물선인 Gerber 선도보다 보수적일 수 있다.
- [0022] 피로 수명의 정확한 예측을 위해서는 구조 설계시 사용하는 기존 피로 선도와는 확장 또는 수정된 피로 선도가

필요할 수 있다. 따라서, 본 발명은 기존의 피로 선도를 확장 또는 수정함으로서, 냉간 단조중 금형의 피로 파괴 수명을 예측하는 방법을 제공할 수 있다.

[0023] 냉간 단조중 금형 피로 파괴 수명 예측 방법은 평균 기저 응력(MBS, mean basis stress), 또는 등가 교번 응력(EAS, Equivalent Alternating Stress)을 어떻게 정의하느냐에 크게 의존할 수 있다. 평균 기저 응력 보정 선도(MSCD, MBS Correction Diagram)는 파괴 실험의 실제 실험 데이터의 분포를 최적으로 설명하기 위해 제안된 것일 수 있고, 실제 피로 파괴 실험 데이터 분포를 기술하기 위한 피로 한계 선도일 수 있다.

[0024] 예를 들어, 제1 사분면의 평균 기저 응력 보정 선도는 평균 기저 응력 축상의 한점과 교번 응력 진폭 축상의 한점을 연결하는 선도일 수 있다. 평균 기저 응력 보정 선도가 연결하는 교번 응력 진폭 축상의 점은 극점(extreme point)일 수 있고, 극점은 교번 피로 강도(AFS) 또는 인장 항복 강도일 수 있다. 극점인 이유는, 평균 기저 응력 보정 선도는, 교번 응력 진폭 축상의 피로 강도 또는 인장 항복 강도사이의 어느 한점과 평균 기저 응력 축상의 인장 강도를 연결할 수 있기 때문일 수 있다.

[0025] 도 1을 참조하면, σ^a 은 교번 응력 진폭(alternating stress amplitude), σ^m 은 평균 기저 응력, σ_{FS} 은 교번 피로 강도, σ_{IT} 은 인장 항복 강도, σ_{IC} 은 압축 항복 강도, σ_F 은 파괴점에서의 진응력(true stress), σ_{TS} 은 인장 강도일 수 있다.

[0026] 시편의 양단에 힘이 가해지는 경우, 물체의 길이는 수축 또는 인장될 수 있다. 어느정도까지는 원래 크기로 돌아가지만 소정 크기 이상의 힘이 작용되는 경우, 시편은 원래 상태로 복원되지 못하는 소성 변형이 일어날 수 있다. 원래 상태로 복원될 때의 최대 공칭응력을 항복 강도라 할 수 있고, 절단되기 전까지 가해지는 힘 중 가장 큰 공칭응력을 인장 강도라 할 수 있다.

[0027] 즉, 시편이 파괴되는 응력을 강도라 할 수 있고, 응력이 강도에 이르지 않더라도 반복하여 작용하는 경우 특정 횟수를 넘어서는 순간 파괴가 될 수 있다. 상기 파괴를 피로 파괴(fatigue fracture or fatigue failure)라 할 수 있다.

[0028] 또한, 반복 횟수, 즉 사이클만큼의 수명이 주어질 수 있는 최대 응력을 피로 강도(fatigue strength)라 할 수 있고, 시편이 피로에 의해서 파괴되지 않는다고 판정할 수 있는 최대 한도를 피로 한도(fatigue limit)라 할 수 있다. 즉, 피로 한도는 S-N 곡선의 수평선에 해당하는 강도일 수 있다.

[0029] MSCD 또는 피로 한계 선도는, x축을 평균 기저 응력으로, y축을 교번 응력 진폭으로 하는 평면에서 표현될 수 있다. 따라서, MSCD를 통해 평균 기저 응력의 교번 피로 강도에 대한 영향을 알 수 있다.

[0030] 실제 금형의 다축 응력에 대응하여 1축 응력을 정의할 수 있고, 평균 응력을 평균 기저 응력을 정의할 수 있으며, 기저 응력은 연속체 역학의 응력과 구별하기 위한 것일 수 있다.

[0031] 피로 강도는 평균 기저 응력 또는 응력 진폭에 의존할 수 있다. 양(+)의 평균 기저 응력(+MBS)은 피로 강도를 저하시킬 수 있고, 음(-)의 평균 기저 응력(-MBS)은 피로 강도를 향상시킬 수 있다. 피로 강도는 응력비(최대응력을 최소응력으로 나눈 값)가 -1인 경우, 즉 평균 기저 응력이 0인 경우에 정의될 수 있고, 이 경우 피로 강도는 y축상에 위치할 수 있다.

[0032] 교번 응력 진폭 축(y축) 상에 피로 강도 및 인장 항복 강도가 위치할 수 있고, 인장 강도는 피로 강도보다 큰 값일 수 있다. 평균 기저 응력 축(x축) 상에는 인장 항복 강도 및 인장 강도가 위치할 수 있고, 인장 강도는 인장 항복 강도보다 큰 값일 수 있다.

[0033] y축 상의 인장 항복 강도와 x축 상의 인장 항복 강도를 잇는 선을 인장 항복선이라 할 수 있고, y축상의 피로 강도와 x축 상의 인장 강도를 잇는 선을 한계 피로선이라 할 수 있다.

[0034] 안전을 최우선으로 하는 구조 설계시에는 피대상 시편에 속하는 유한 요소가 모두 인장 항복선 아래에 위치하게 하고, 유한 요소 모두가 피로선 아래에 위치하게 할 수 있다. 이 경우, 시편의 소성 변형을 방지하고, 누적된 하중에 의한 피로 파괴를 방지할 수 있다.

[0035] 그러나, 냉간 단조시 예압(prestressed)된 금형의 고주기 파괴 수명을 예측하기 위한 선도는 안전을 최우선으로 하는 구조 설계시의 선도와는 다를 수 있다. 왜냐하면 안전 구조 설계시의 부재와 달리 금형은 반복된 작업 수

행후 파괴가 허용될 수 있기 때문이다.

[0036] 피로선은 일반적으로 수학적 식 1로 표현될 수 있다.

수학적 식 1

[0037]

$$\frac{\sigma_a}{\sigma_{FS}} + \left(\frac{\sigma_m}{\sigma_{TS}} \right)^\zeta = 1$$

[0038]

ζ 는 단위 인장 강도당 평균 기저 응력값을 나타내는 항의 지수일 수 있다. 예를 들어, 피로선이 직선인 경우 Goodman-Haigh 선도일 수 있고, ζ 는 1일 수 있다. 피로선이 포물선인 경우 Gerber 선도일 수 있고, ζ 는 2일 수 있다. 피로선이 직선인 경우는 포물선인 경우보다 안전 구조 설계면에서는 보수적일 수 있으나, 파괴 강도점의 분포는 포물선에 의해 더 잘 기술될 수 있다.

[0039]

일 실시 예로, 알루미늄 또는 강철 재료의 금형에 대한 파괴 강도점을 나타낸 실험 결과를 살펴보면, 제1 사분면의 y축의 피로 강도 및 x축의 인장 강도를 연결한 직선으로는 기술되기 어려울 수 있다.

[0040]

평균 기저 응력 보정 선도는 Goodman-Haigh 선도와 Gerber 선도의 조합으로 표현될 수 있고, ζ 는 ζ_1 , ζ_2 , 및 r의 파라미터에 의해 수학적 식 2와 같이 일반화되어 표현될 수 있다.

수학적 식 2

[0041]

$$\zeta = r\zeta_1 + (1-r)\zeta_2$$

수학적 식 3

[0042]

$$r = \frac{AC}{AB}$$

[0043]

파라미터 r은 수학적 식 3으로 정의될 수 있고, r은 0과 1사이의 수일 수 있다. ζ 가 r이 1인 경우 ζ_1 일 수 있고, ζ 가 r=0인 경우 ζ_2 일 수 있다. 평균 기저 응력 보정 선도(MSCD)는, ζ 가 ζ_2 인 경우 y축 절편이 극점인 피로 강도일 수 있고, ζ 가 ζ_1 인 경우 y축 절편이 극점인 인장 강도일 수 있다. 따라서, 평균 기저 응력 보정 선도는 ζ 를 ζ_1 및 ζ_2 로 가지는 경계선 사이의 선도일 수 있고, y축 절편은 피로 강도와 인장 항복 강도 사이의 값으로 주어질 수 있다.

[0044]

임의의 평균 기저 응력에 대응하는 평균 기저 응력 보정 선도상의 A점은 ζ 가 ζ_2 인 경우에 해당할 수 있고, B점은 ζ 가 ζ_1 인 경우에 해당할 수 있으며, C점은 예측 목표표하는 $\zeta = r\zeta_1 + (1-r)\zeta_2$ 인 경우에 해당할 수 있다.

[0045] 예를 들어, $\xi_1 = \xi_2 = 1$ 인 경우 Goodman-Haigh 선도일 수 있고, $\xi_1 = \xi_2 = 2$ 인 경우 Gerber 선도일 수 있다. ξ_1 이 ξ_2 와 동일한 경우, $\xi = \xi_1 = \xi_2$ 일 수 있고, 즉 ξ , ξ_1 , ξ_2 는 1과 2사이의 값일 수 있다.

[0046] 제2 사분면 즉, 음의 평균 기저 응력에 대응하는 평균 기저 응력 보정 선도에 대해 살펴본다.

[0047] 양(+)의 평균 기저 응력 영역에서 음(-)의 평균 기저 응력 영역으로 확장하는 경우, 기존에는 거의 무시하거나, y축의 피로 강도점에서 수평선으로 연장하는 것에 그쳤다. 그러나, 실험 데이터를 살펴보면, 압축이 가해진 평균 기저 응력은 교번 응력 진폭을 증가시킬 수 있고, 제2 사분면은 90도에서 180도 사이의 기울기 경사를 가지는 직선으로 기술될 수 있다.

[0048] 제1 사분면에서 ξ 가 ξ_2 인 경우의 평균 기저 응력 보정 선도를 등가 교번 파괴 응력-평균 기저 응력 선도(equivalent AFS-MBS diagram)라 할 수 있다. 등가 AFS-MBS 선도는 제2 사분면으로 확장될 수 있고, 제2 사분면으로 확장된 등가 AFS-MBS 선도는 90도에서 180도 사이의 기울기 경사를 가지는 직선일 수 있고, 도면에서 $\overline{DE}$ 로 표시될 수 있다. 제2 사분면의 확장된 등가 AFS-MBS 선도는 수학적 4로 주어지는 확장된 Gerber 선도의 선형화로 구해질 수 있다. 확장된 등가 AFS-MBS 선도의 y절편은 피로 강도일 수 있다.

수학적 4

$$\frac{\sigma_a}{\sigma_{FS}} - \left(\frac{\sigma_m}{\sigma_{IC}} \right)^2 = 1$$

[0049]

[0050] 평균 기저 응력이 음수인 경우의 평균 기저 응력 보정 선도는, 확장된 등가 AFS-MBS 선도, 및 제1 사분면의 인장 항복선의 제2 사분면으로의 연장 선도의 선형 조합으로 구해질 수 있다.

[0051] 예를 들어, 제1 사분면의 인장 항복선의 제2 사분면으로의 연장 선도는 $\overline{GH}$ 일 수 있고, $\overline{DE}$ 의 단위 벡터는 $\mathbf{U}_{GB}$ 일 수 있으며, $\overline{GH}$ 의 단위 벡터는 $\mathbf{U}_{YT}$ 일 수 있으며, 제2 사분면의 평균 기저 응력 보정 선도는 $\mathbf{d}$ 를 단위 벡터로 가질 수 있다.

[0052] 제2 사분면의 평균 기저 응력 보정 선도를 구하는 선형 조합 방법은 평균 기저 응력 보정 선도의 제1 사분면과 마찬가지로 과정일 수 있다. 즉, 상기 선형 조합은, $\mathbf{U}_{GB}$ 를 단위 벡터로 하는 직선과 $\mathbf{U}_{YT}$ 를 단위 벡터로 하는 직선으로부터 파라미터 r 을 이용하여 보간될 수 있다.

[0053] 따라서, 평균 기저 응력 보정 선도의 제2 사분면 확장 구역은 수학적 5로 주어지는 $\mathbf{d}$ 를 단위 벡터로 하는 직선일 수 있다.

수학적 5

$$\mathbf{d} = \frac{r\mathbf{U}_{GB} + (1-r)\mathbf{U}_{YT}}{\|r\mathbf{U}_{GB} + (1-r)\mathbf{U}_{YT}\|}$$

[0054]

[0055] 선형 조합 또는 보간에 사용되는 인장 항복선은 제2 사분면의 평균 기저 응력 보정 선도의 방향을 적절히 변조하기 위해 다른 근사로 교체될 수 있다.

[0056] 도 2는 Goodman-Haigh 선도 및 본 발명의 평균 기저 응력 보정 선도(MSCD)를 도시한 것일 수 있다. 도 2를 참조하면, 파선은 Goodman-Haigh 선도일 수 있고, 실선은, ξ_1 이 1.5이고 ξ_2 이 1.0이며 F_{cl} 이 2.65인 경우의 평

균 기저 응력 보정 선도일 수 있다. F_{c1} 은, 제2 사분면의 평균 기저 응력 보정 선도와 압축 항복 강도선의 교점을 나타내는 파라미터일 수 있다. 압축 항복 강도선은, 음의 평균 기저 응력축 및 교번 응력 축상의 압축 항복 강도점을 연결한 직선일 수 있다.

[0057] Goodman-Haigh 선도는 평균 기저 응력 보정 선도보다 평균 기저 응력이 0인 경우의 피로 강도가 더 높음에도 불구하고 더 보수적일 수 있고, 이는 제2 사분면의 평균 기저 응력 보정 선도의 직선 경사 효과를 반영한 것일 수 있다.

[0058] 따라서, 금형의 피로 파괴 수명을 정확히 예측하기 위해서는 평균 기저 응력 보정 선도의 제2 사분면이 중요한 역할을 할 수 있다. 즉, 평균 기저 응력 보정 선도의 제1 사분면에서 확장된 제2 사분면의 직선의 경사는 금형 성형시 금형의 고주기 파괴 수명 예측을 용이하게 할 수 있고, 실제 산업 과정을 개선하는데 이용될 수 있다.

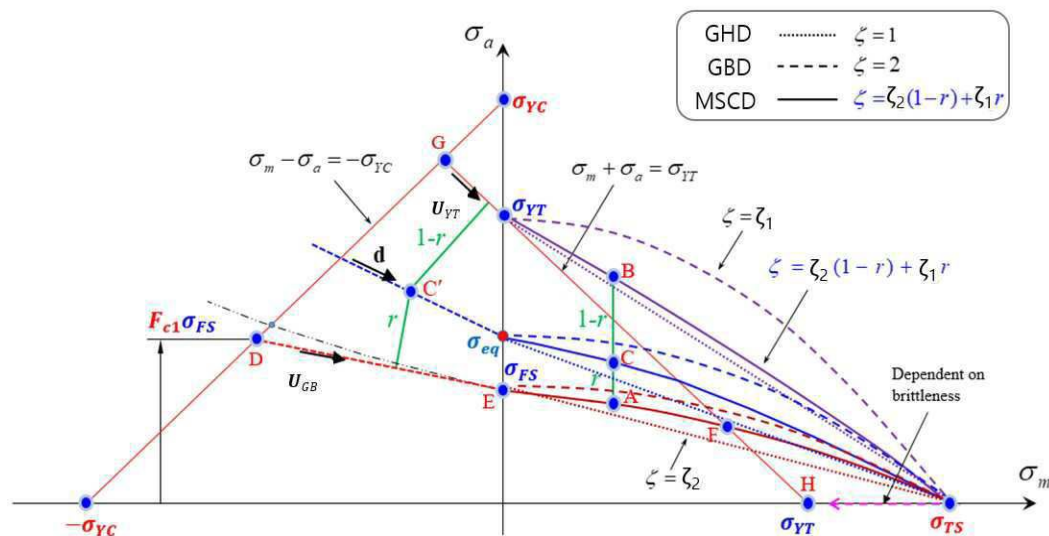
[0059] 따라서, 평균 기저 응력 보정 선도는 상기 금형의 인장 강도당 상기 평균 기저 응력의 일반화 지수에 의해 결정되는 피로 선도의 조합일 수 있고, 일반화 지수는 1축(평균 기저 응력)과 2축(교번 응력)의 좌표값에 따라 달라질 수 있어, 응력 조건에 따른 수명 예측 목적에 사용될 수 있다.

부호의 설명

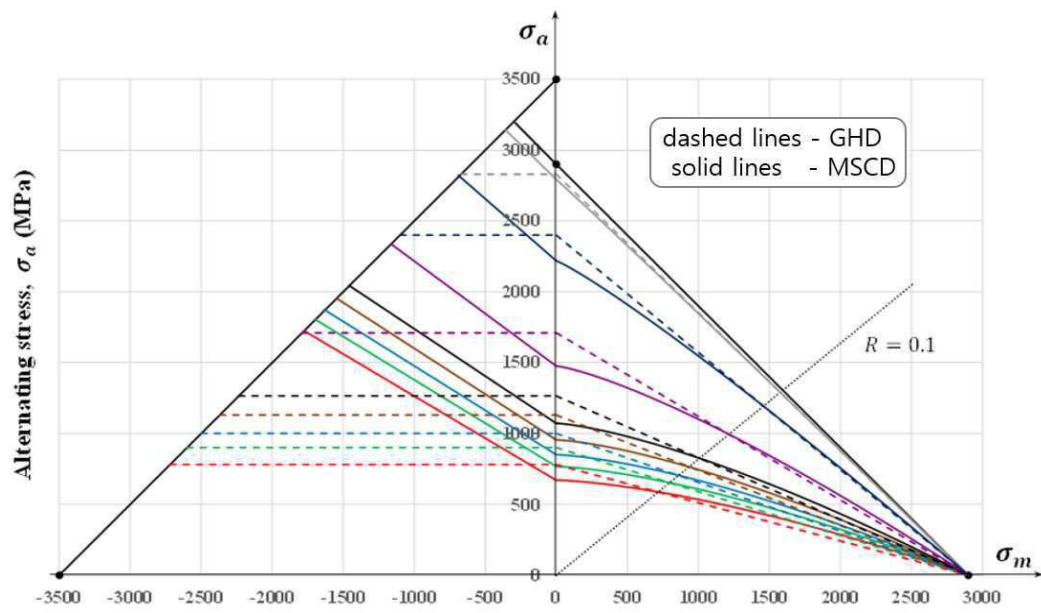
[0060] MSCD... 평균 기저 응력 보정 선도
GHD... Goodman-Hight 선도(diagram)
GBD... Gerber 선도

도면

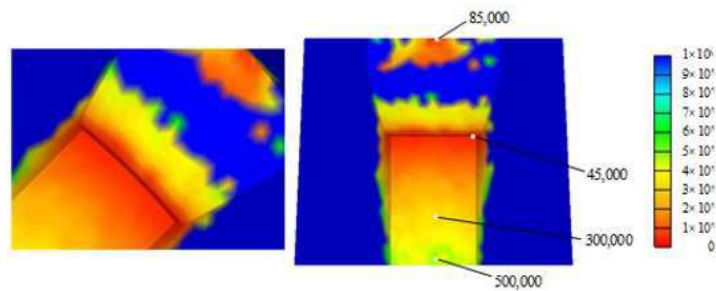
도면1



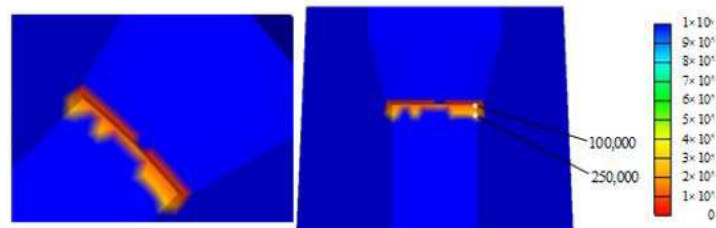
도면2



도면3



(a) GHD



(b) MSCD



(c) Fractured die