



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2022-0157504
(43) 공개일자 2022년11월29일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

F16L 9/02 (2019.01) C21D 8/10 (2006.01)
C22C 38/44 (2006.01) C22C 38/46 (2006.01)
C22C 38/48 (2006.01) C22C 38/50 (2006.01)
F02M 55/02 (2006.01)

(52) CPC특허분류

F16L 9/02 (2019.01)
C21D 8/105 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2022-7038419

(22) 출원일자(국제) 2021년04월05일

심사청구일자 2022년11월02일

(85) 번역문제출일자 2022년11월02일

(86) 국제출원번호 PCT/JP2021/014435

(87) 국제공개번호 WO 2021/206034

국제공개일자 2021년10월14일

(30) 우선권주장

JP-P-2020-069080 2020년04월07일 일본(JP)

(71) 출원인

닛폰세이테츠 가부시키가이샤

일본 도쿄도 지요다꾸 마루노우찌 2쵸메 6방 1고

(72) 발명자

마키노 다이조

일본 도쿄도 지요다꾸 마루노우찌 2쵸메 6방 1고

닛폰세이테츠 가부시키가이샤 내

야마자키 마사히로

일본 도쿄도 지요다꾸 마루노우찌 2쵸메 6방 1고

닛폰세이테츠 가부시키가이샤 내

(74) 대리인

(유)한양특허법인

전체 청구항 수 : 총 1 항

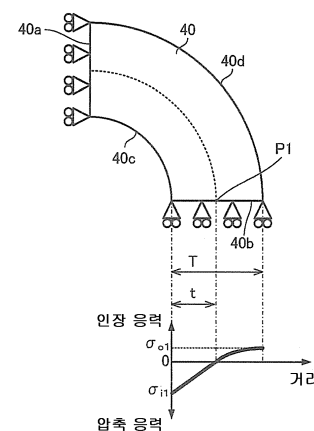
(54) 발명의 명칭 압력 배관용 강관

(57) 요약

자긴 처리가 실시된 압력 배관용 강관으로서, 강관의 외경을 D, 내경을 d, 항복 응력을 σ_y , 외면의 잔류 응력의 실측값을 σ_{o1} , 반할 후의 외면의 잔류 응력의 실측값을 σ_{o2} , 반할 후의 내면의 잔류 응력의 실측값을 σ_{i2} 로 한 경우에, D/d가 1.2 이상이며, $[\sigma_{i1}=(-\sigma_{i2})/(A \times (t/T)^2 - 1)]$, $[t/T=((\sigma_{o2}-\sigma_{o1})/(A \times (\sigma_{o2}-\sigma_{o1}) - C \times \sigma_{i2}))^{1/2}]$, $[A=3.9829 \times \exp(0.1071 \times (D/d)^2)]$, $[C=-3.3966 \times \exp(0.0452 \times (D/d)^2)]$ 로부터 구해지는, 강관의 내면의 잔류 응력의 추정값 σ_{i1} 이 $[1.1 \times F \times \sigma_y \leq \sigma_{i1} \leq 0.8 \times F \times \sigma_y]$ ($1.2 \leq D/d \leq 3.0$ 의 경우는, $F=(0.3 \times (3-D/d)^2 - 1)$, $D/d > 3.0$ 의 경우는, $F=-1$)을 만족하는, 압력 배관용 강관.

대표도 - 도3

(자긴 처리 후)



(52) CPC특허분류

C22C 38/44 (2013.01)

C22C 38/46 (2013.01)

C22C 38/48 (2013.01)

C22C 38/50 (2013.01)

F02M 55/02 (2013.01)

명세서

청구범위

청구항 1

자진(自緊) 처리가 실시된 압력 배관용 강관으로서,

상기 강관의 외경을 D(mm), 내경을 d(mm), 항복 응력을 σ_y (MPa)로 하고,

자진 처리 후의 상기 강관의 외면의 잔류 응력의 실측값을 σ_{o1} (MPa), 자진 처리 후 또한 반할(半割) 후의 상기 강관의 외면의 잔류 응력의 실측값을 σ_{o2} (MPa), 자진 처리 후 또한 반할 후의 상기 강관의 내면의 잔류 응력의 실측값을 σ_{i2} (MPa)로 한 경우에,

D/d가 1.2 이상이며,

하기 (i)식~(iv)식에 의해 구해지는, 자진 처리 후의 상기 강관의 내면의 잔류 응력의 추정값 σ_{i1} (MPa)가 하기 (v)식을 만족하는,

압력 배관용 강관.

$$\sigma_{i1}=(-\sigma_{i2})/(A \times (t/T)^2 - 1) \quad \cdots(i)$$

$$t/T=((\sigma_{o2}-\sigma_{o1})/(A \times (\sigma_{o2}-\sigma_{o1})-C \times \sigma_{i2}))^{1/2} \quad \cdots(ii)$$

$$A=3.9829 \times \exp(0.1071 \times (D/d)^2) \quad \cdots(iii)$$

$$C=-3.3966 \times \exp(0.0452 \times (D/d)^2) \quad \cdots(iv)$$

$$1.1 \times F \times \sigma_y \leq \sigma_{i1} \leq 0.8 \times F \times \sigma_y \quad \cdots(v)$$

단, 상기 (v)식 중의 F는 계수이며,

$$1.2 \leq D/d \leq 3.0 \text{의 경우는, } F=(0.3 \times (3-D/d)^2 - 1),$$

D/d>3.0의 경우는, F=-1로 한다.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은, 압력 배관용 강관에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 미래의 에너지 고갈에 대한 대책으로서, 에너지 절약을 촉구하는 운동, 자원의 리사이클 운동 및 이러한 목적을 달성하는 기술의 개발이 활발히 행해지고 있다. 특히 최근에는, 세계적인 대처로서 지구의 온난화를 방지하기 위하여 연료의 연소에 따른 CO₂의 배출량을 저감시키는 것이 강하게 요구되고 있다.

[0003] CO₂의 배출량이 적은 내연기관으로서, 자동차 등에 이용되는 디젤 엔진을 들 수 있다. 그러나, 디젤 엔진에는, CO₂의 배출량이 적은 반면, 흑연(黑煙)이 발생한다는 문제가 있다. 흑연은, 분사된 연료에 대해 산소가 부족한 경우에 발생한다. 즉, 연료가 부분적으로 열분해됨으로써 탈수소 반응이 일어나, 흑연의 전구물질이 생성되고, 이 전구물질이 다시 열분해되고, 응집 및 합체됨으로써 흑연이 된다. 이렇게 하여 발생한 흑연은 대기 오염을 일으키고, 인체에 악영향을 미치는 것이 염려된다.

[0004] 상기의 흑연은, 디젤 엔진의 연소실로의 연료의 분사압을 높임으로써, 그 발생량을 저감할 수 있다. 그러나,

그러기 위해서는, 연료 분사에 이용하는 강관에는 높은 피로 강도가 요구된다. 이러한 연료 분사관 또는 연료 분사관용 강관에 대하여, 하기의 기술이 개시되어 있다.

- [0005] 특허문헌 1에는, 열간 압연한 심리스 강관 소재의 내면을 슷 블라스트 처리에 의해, 연삭·연마를 행한 후에, 냉간 인발 가공을 행하는 디젤 엔진의 연료 분사에 이용하는 강관의 제조 방법이 개시되어 있다. 이 제조 방법을 채용하면, 강관 내면의 흠(요철, 스캐, 미세 크랙 등)의 깊이를 0.10mm 이하로 할 수 있으므로, 연료 분사에 이용하는 강관의 고강도화가 도모된다고 되어 있다.
- [0006] 특허문헌 2에는, 적어도 강관의 내표면으로부터 20 μm 까지의 깊이에 존재하는 비금속 개재물의 최대 직경이 20 μm 이하이며, 인장 강도가 500MPa 이상인 연료 분사관용 강관이 개시되어 있다.
- [0007] 특허문헌 3에는, 인장 강도가 $900\text{N}/\text{mm}^2$ 이상이며, 적어도 강관의 내표면으로부터 20 μm 까지의 깊이에 존재하는 비금속 개재물의 최대 직경이 20 μm 이하인 연료 분사관용 강관이 개시되어 있다.
- [0008] 특허문헌 3의 발명은, S의 저감, 주입(鑄入) 방법의 고안, Ca의 저감 등에 의해 A계, B계, C계의 조대 개재물을 배제한 강재를 이용하여 소관(素管) 강관을 제조하고, 냉간 가공에 의해 목적으로 하는 직경으로 조정한 후, 담금질, 템퍼링에 의해 900MPa 이상의 인장 강도를 실현하는 것이며, 실시예에서는 260~285MPa의 한계 내압을 실현하고 있다.
- [0009] 특허문헌 4에는, 800MPa 이상, 바람직하게는 900MPa 이상의 인장 강도를 가지며, 내(耐)내압 피로 특성이 우수한 연료 분사관용 강관 및 그것을 이용한 연료 분사관이 개시되어 있다. 특허문헌 5에는, 비교적 낮은 자진(自緊) 처리압에 있어서도 높은 한계 내압 향상 효과를 발휘하고, 가공성 및 내내압 피로 특성이 우수한 연료 분사관용 강관이 개시되어 있다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0010] (특허문헌 0001) 일본국 특허공개 평9-57329호 공보
(특허문헌 0002) 국제 공개 제2007/119734호
(특허문헌 0003) 국제 공개 제2009/008281호
(특허문헌 0004) 국제 공개 제2015/129617호
(특허문헌 0005) 국제 공개 제2016/203924호

비특허문헌

- [0011] (비특허문헌 0001) 나카야마 에이스케, 미야하라 미즈오, 오카무라 카즈오, 후지모토 히로키, 후쿠이 키요유키, 「초소형 시험편에 의한 자동차용 박판 스폿 용접 이음매의 피로 강도 예측」, 재료, 2004년 10월, 제53권, 제10호, p.1136-1142
(비특허문헌 0002) 사단법인 일본재료학회 편찬, 「X선 응력 측정법 표준(2002년판) -철강편」, 2002년 3월

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0012] 특허문헌 1에 개시된 방법으로 제조된 연료 분사에 이용하는 강관은, 높은 강도를 갖지만, 그 강관 재료의 강도에 걸맞는 피로 수명을 얻을 수 없다. 강관 재료의 강도가 높아지면, 당연히, 강관의 내측에 가해지는 압력을 높게 할 수 있다. 그러나, 강관의 내측에 압력을 가한 경우에, 강관 내면에 피로에 의한 파괴가 발생하지 않는 한계가 되는 내압(이하, 「한계 내압」이라고 한다.)은, 강관 재료의 강도에만 의존하지 않는다. 즉, 강관 재료의 강도를 크게 해도 기대 이상의 한계 내압은 얻어지지 않는다. 최종 제품의 신뢰성 등을 고려에 넣으면, 피로 수명은 길수록 바람직하지만, 상기의 한계 내압이 낮으면, 높은 내압에 의한 사용에 의해 강관이 피로하기

쉽기 때문에 피로 수명도 짧아진다.

[0013] 특허문헌 2 및 3에 개시된 연료 분사관용 강관은, 피로 수명이 길고, 또한 신뢰성이 높다는 특별한 장점을 갖는다. 그러나, 특허문헌 2 및 3에 개시되는 강관이어도, 강관의 인장 강도에 따른 높은 한계 내압이 얻어지고 있다고는 말할 수 없다.

[0014] 그래서, 특허문헌 4 및 5에서는, 높은 한계 내압을 얻기 위하여, 자진 처리를 행하고 있다. 자진 처리란, 과대 내압을 작용시킴으로써 내표면 근방을 부분적으로 소성 변형시키고, 압축 잔류 응력을 발생시키는 처리이다. 자진 처리를 행함으로써, 강관의 인장 강도를 상승시키지 않아도 한계 내압을 증가시키는 것이 가능하다.

[0015] 그러나, 자진 처리에 있어서, 강관의 내표면에 부여하는 압력이 과대하면, 버스트(파열)의 리스크가 높아지기 때문에, 안전성의 면에서 낮게 설정하는 것이 일반적이다. 그 결과, 종래의 기술에서는, 자진 처리를 행했다고 하여도, 충분히 한계 내압을 높이는 것이 되어 있지 않아, 개선의 여지가 남아 있었다.

[0016] 본 발명은 상기의 과제를 해결하여, 높은 한계 내압을 갖는 압력 배관용 강관을 제공하는 것을 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

[0017] 본 발명은, 상기의 과제를 해결하기 위하여 이루어진 것이며, 하기의 압력 배관용 강관을 요지로 한다.

[0018] (1) 자진 처리가 실시된 압력 배관용 강관으로서,

[0019] 상기 강관의 외경을 D(mm), 내경을 d(mm), 항복 응력을 σ_y (MPa)로 하고,

[0020] 자진 처리 후의 상기 강관의 외면의 잔류 응력의 실측값을 σ_{o1} (MPa), 자진 처리 후 또한 반할(半割) 후의 상기 강관의 외면의 잔류 응력의 실측값을 σ_{o2} (MPa), 자진 처리 후 또한 반할 후의 상기 강관의 내면의 잔류 응력의 실측값을 σ_{i2} (MPa)로 한 경우에,

[0021] D/d가 1.2 이상이며,

[0022] 하기 (i)식~(iv)식에 의해 구해지는, 자진 처리 후의 상기 강관의 내면의 잔류 응력의 추정값 σ_{i1} (MPa)가 하기 (v)식을 만족하는,

[0023] 압력 배관용 강관.

$$[0024] \sigma_{i1} = (-\sigma_{i2}) / (A \times (t/T)^2 - 1) \quad \cdots (i)$$

$$[0025] t/T = ((\sigma_{o2} - \sigma_{o1}) / (A \times (\sigma_{o2} - \sigma_{o1}) - C \times \sigma_{i2}))^{1/2} \quad \cdots (ii)$$

$$[0026] A = 3.9829 \times \exp(0.1071 \times (D/d)^2) \quad \cdots (iii)$$

$$[0027] C = -3.3966 \times \exp(0.0452 \times (D/d)^2) \quad \cdots (iv)$$

$$[0028] 1.1 \times F \times \sigma_y \leq \sigma_{i1} \leq 0.8 \times F \times \sigma_y \quad \cdots (v)$$

[0029] 단, 상기 (v)식 중의 F는 계수이며,

$$[0030] 1.2 \leq D/d \leq 3.0 \text{의 경우는, } F = (0.3 \times (3 - D/d)^2 - 1),$$

[0031] D/d > 3.0의 경우는, F = -1로 한다.

발명의 효과

[0032] 본 발명에 의하면, 높은 한계 내압을 갖는 압력 배관용 강관을 안정적으로 얻는 것이 가능해진다.

도면의 간단한 설명

[0033] 도 1은, 추정 장치에 의해 잔류 응력이 추정되는 자진 처리 후의 강관의 일례를 나타내는 도면이다.

도 2는, 다변수 함수의 도출 방법을 설명하기 위한 도면이다.

도 3은, 다변수 함수의 도출 방법을 설명하기 위한 도면이다.

도 4는, 다변수 함수의 도출 방법을 설명하기 위한 도면이다.

도 5는, 내압 피로 시험편의 형상을 설명하기 위한 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0034] 종래 기술에 있어서, 한계 내압을 충분히 높이기 위한 자진 처리압을 최적화할 수 없는 요인으로서, 강관의 내면의 잔류 응력을 구하는 방법이 확립되어 있지 않았던 것을 들 수 있다. 또한, 본원 명세서에 있어서 잔류 응력이란, 강관의 둘레 방향에 있어서의 잔류 응력을 의미한다.
- [0035] 종래, 본 발명자들은, 자진 처리 후의 강관을 반할 절단하고, 반할 후의 강관의 내면의 잔류 응력을 측정함으로써, 자진 처리 후의 강관의 내면의 잔류 응력을 상대적으로 평가하고 있었다. 또한, 반할 절단이란, 축방향에서 보아 강관이 원호 형상의 2개의 부재로 2등분되도록 당해 강관을 절단하는 것을 의미한다.
- [0036] 그러나, 자진 처리압을 최적화하여 한계 내압을 충분히 높이기 위해서는, 자진 처리 후 또한 반할 전의 강관의 내면의 잔류 응력을 정량적으로 평가할 필요가 있다. 그래서, 본 발명자들은, 강관의 내면의 잔류 응력을 정량적으로 평가하기 위한 방법에 대하여 연구를 진행해 왔다. 그 연구 중에, 본 발명자들은, 반할 후의 강관의 내면의 잔류 응력에 더하여, 반할 전후의 강관의 외면의 잔류 응력을 고려함으로써, 자진 처리 후 또한 반할 전의 강관의 내면의 잔류 응력을 평가하는 것을 검토했다.
- [0037] 본 발명자들은, 우선, 평가 대상이 되는 강관의 해석 모델을 이용하여, 다양한 조건으로 수치 해석(FEM 해석)을 행하고, 자진 처리에 의해 강관의 각 부에 발생하는 잔류 응력(계산치)을 구했다. 구체적으로는, 본 발명들은, 우선, 수치 해석에 의해, 자진 처리 후 또한 반할 전의 강관의 외면의 잔류 응력 σ_{o1} , 자진 처리 후 또한 반할 전의 강관의 내면의 잔류 응력 σ_{i1} , 자진 처리 후 또한 반할 후의 강관의 외면의 잔류 응력 σ_{o2} , 및 자진 처리 후 또한 반할 후의 강관의 내면의 잔류 응력 σ_{i2} 를 구했다.
- [0038] 상기와 같이 하여 얻어진 각 잔류 응력에 대하여 상세한 검토를 행한 결과, 본 발명자들은, 반할 전의 강관의 내면의 잔류 응력 σ_{i1} 은, 반할 전의 강관의 외면의 잔류 응력 σ_{o1} , 반할 후의 강관의 외면의 잔류 응력 σ_{o2} , 및 반할 후의 강관의 내면의 잔류 응력 σ_{i2} 를 이용하여 고정밀도로 추정할 수 있는 것을 발견했다.
- [0039] 그리고, 반할 전의 강관의 내면의 잔류 응력의 추정값 σ_{i1} 이 소정의 조건을 만족하도록 자진 처리 조건을 조정함으로써, 높은 한계 내압을 갖는 강관을 안정적으로 얻을 수 있다는 지견을 얻기에 이르렀다.
- [0040] 본 발명은 상기 지견에 의거하여 이루어진 것이다. 이하, 본 발명의 각 요건에 대하여 상세히 설명한다.
- [0041] 1. 압력 배관용 강관
- [0042] 본 발명은, 압력 배관용 강관에 관한 것이다. 압력 배관에는, 유압 실린더, 에어백 강관, 어큐뮬레이터, 수소용 배관, 연료 분사관 등이 포함된다. 또, 높은 내압에 견디기 위해서는, 강관의 내경이 클수록 그에 따라 두께를 두껍게 하는 것이 바람직하다. 강관의 내경이 일정하면, 두께가 두꺼워짐에 따라, 강관의 외경도 커진다. 즉, 높은 내압에 견디기 위해서는, 강관의 내경이 클수록 강관의 외경도 크게 하는 것이 바람직하다. 본 발명에 있어서는, 강관의 외경을 D(mm), 내경을 d(mm)로 한 경우에, D/d가 1.2 이상이 되는 강관을 대상으로 한다. D/d는 1.5 이상인 것이 바람직하고, 2.0 이상인 것이 보다 바람직하다.
- [0043] 그 외의 치수에 대해서는, 용도에 따라 선택하면 되고, 특별히 제한을 설정할 필요는 없다. 예를 들면, 강관을 유압 실린더로서 이용하는 경우에는, 피스톤의 출력(하중)을 확보하기 위하여, 사용 압력(내압)에 따른 내경이 일반적으로 15~580mm의 범위로부터 선정하는 것이 바람직하다. 또, 내압의 반복에 견딜 수 있도록, 두께는 5~60mm의 범위로부터, 외경은 30~700mm의 범위로부터 선정하는 것이 바람직하다. 내압 피로 강도가 높을수록, 두께를 얇게 할 수 있고, 이에 따라 외경도 정해진다.
- [0044] 강관을 에어백 인플레이터로서 이용하는 경우에는, 강관의 외경은 20~100mm인 것이 바람직하고, 20~60mm인 것이 보다 바람직하다. 강관의 두께는 1~5mm인 것이 바람직하고, 1~4mm인 것이 보다 바람직하다.
- [0045] 강관을 어큐뮬레이터로서 이용하는 경우에는, 강관의 외경은 25~500mm인 것이 바람직하고, 50~400mm인 것이 보다 바람직하다. 강관의 두께는 2~40mm인 것이 바람직하고, 4~30mm인 것이 보다 바람직하다.

- [0046] 또, 강관을 수소 가스 배관 또는 연료 분사관으로서 이용하는 경우에는, 사용 시에 있어서의 내부의 압력 변동을 줄이기 위하여, 어느 정도의 용량이 필요해진다. 그 때문에, 강관의 내경은 2.5mm 이상인 것이 바람직하고, 3.0mm 이상인 것이 보다 바람직하다. 또, 높은 내압에 견딜 필요가 있기 때문에, 강관의 두께는 1.5mm 이상인 것이 바람직하고, 2.0mm 이상인 것이 보다 바람직하다. 한편, 강관의 외경은 20mm 이하인 것이 바람직하고, 15mm 이하인 것이 보다 바람직하며, 10mm 이하인 것이 더 바람직하다.
- [0047] 기계 특성에 대해서도, 용도에 따라 선택하면 되고, 특별히 제한을 설정할 필요는 없다. 그러나, 연료 분사관 또는 유압 실린더 등의 압력 배관으로서 이용하기 위해서는, 강관의 인장 강도는, 500MPa 이상인 것이 바람직하고, 800MPa 이상인 것이 보다 바람직하며, 900MPa 이상인 것이 더 바람직하다. 항복 응력은, 300MPa 이상인 것이 바람직하고, 400MPa 이상인 것이 보다 바람직하며, 500MPa 이상인 것이 더 바람직하다.
- [0048] 항복비는, 0.50~0.95가 바람직하며, 보다 높은 압력으로 자진 처리를 행하고, 큰 압축 잔류 응력을 얻기 위해서는, 항복비는 0.60 이상인 것이 보다 바람직하고, 0.70 이상인 것이 더 바람직하다. 또 낮은 압력에 의한 자진 처리로, 보다 효율적으로 압축 잔류 응력을 도입하기 위해서는, 항복비가 0.90 이하인 것이 바람직하고, 0.85 이하인 것이 더 바람직하다.
- [0049] 또한, 본 발명에 있어서, 강관의 인장 강도는, 강관의 직관부를 잘라 내고, 그 양단면으로부터 일정 길이의 영역(이하, 「그립부」라고 한다.)을 척킹하고, 그립부 사이의 평행부에 신장계를 장착한 다음, 인장 시험을 행함으로써 구한다. 척킹은, 강관 외측 반경보다 얇은 V홈 또는 R홈을 형성한 접촉편을, 유압, 볼트 체결, 또는, 췌기 지그의 사용에 의해, 그립부를 압압(押壓)함으로써 행한다.
- [0050] 그립부의 길이는 시험 강관이 시험 중에 미끄러지지 않도록, 누름 압력과 시험 하중을 고려하여 결정하면 된다. 또, 평행부의 길이는, 신장계가 장착되고, 또한 파단 직전의 네킹 변형이 척에 의해 영향을 받지 않을 정도로 확보되면 된다. 또한, 강관에 충분한 길이의 직관부가 없는 경우는, 비특허문헌 1에 나타내어지는 바와 같은 박육의 덩벨 형상의 소형 시험편을 잘라 내어 인장 시험을 행해도 된다.
- [0051] 또, 본 발명에 따른 압력 배관용 강관은, 하기 (I)식을 만족하는 한계 내압을 갖는 것이 바람직하다.
- [0052]
$$IP \geq 0.44 \times TS \times \alpha \quad \cdots (I)$$
- [0053]
$$\alpha = [(D/d)^2 - 1] / [0.776 \times (D/d)^2] \quad \cdots (II)$$
- [0054] 단, 상기 (I)식 중의 IP는 강관의 한계 내압(MPa), TS는 강관의 인장 강도(MPa)를 의미하고, α 는 상기 (II)식으로 표시되는 값이다. 또, 상기 (II)식 중의 D는 강관의 외경(mm), d는 내경(mm)이다. α 는 관의 외경과 내경의 비에 의해 내압과 관 내면의 발생 응력의 관계가 변화되는 것을 보정하는 계수이다.
- [0055] 또한, 본 발명에 있어서, 한계 내압이란, 내압 피로 시험에 있어서 최저 내압을 18MPa로 하고, 시간에 대해 정현파를 취하는 반복 내압 변동을 부여하여, 반복수가 10^7 회가 되어도 파손(리크)이 발생하지 않는 최고 내압(MPa)을 의미한다. 구체적으로는, 종축을 최대 내압으로 하고, 횡축을 파손 반복수로 한 S-N선도 상에서, 파손이 발생한 최대 내압의 최소값과, 10^7 회가 되어도 파손되지 않은 최대값의 중간값을 한계 내압으로 한다.
- [0056] 2. 잔류 응력 추정 모델
- [0057] 반할 전의 강관의 내면의 잔류 응력 σ_{i1} 을 추정하기 위한 모델에 대하여, 상세히 설명한다. 도 1은, 본 모델에 의해 잔류 응력이 추정되는 자진 처리 후의 강관의 일례를 나타내는 도면이다. 도 1에 있어서, (a)는, 자진 처리가 실시된 강관(20)의 좌측면도이며, (b)는, (a)에 나타내는 강관(20)의 정면도이며, (c)는, (a)에 나타내는 강관(20)을 반할 절단하여 얻어지는 반할 시료(22)의 좌측면도이며, (d)는, (c)에 나타내는 반할 시료(22)의 정면도이다. 또한, 본 명세서에 있어서 반할 후의 강관이란, 자진 처리 후의 강관을 반할 절단하여 얻어지는 반할 시료를 의미한다.
- [0058] 본 모델에서는, 자진 처리 후의 강관(20)의 외면(20a)의 잔류 응력 σ_{o1} , 반할 시료(22)의 외면(22a)의 잔류 응력 σ_{o2} , 및 반할 시료(22)의 내면(22b)의 잔류 응력 σ_{i2} 의 실측값을 이용한다. 또한, 상술한 바와 같이 잔류 응력이란, 강관(20)의 둘레 방향에 있어서의 잔류 응력을 의미한다.
- [0059] 도 1을 참조하여, 잔류 응력을 측정할 때의 강관(20)의 길이 L은, 강관(20)의 외경 D의 3배 이상으로 하는 것이 바람직하고, 예를 들면 30mm 정도로 할 수 있다. 강관(20)을 반할 절단할 때에 절단에 따른 발열이

과잉해지면, 내면에 있어서의 잔류 응력에 영향을 미친다. 이 때문에, 발열이 최대한 없는 절단 방법을 채용할 필요가 있어, 와이어 컷 방전 가공에 의해 반할 절단하는 것이 바람직하다. 이 때, 반할 시료(22)의 측면에서 봤을 때에 있어서, 반할 시료(22)의 절단면(22c)과 외면(22a)의 중심의 거리 X(절단면(22c)에 수직인 방향에 있어서의 거리)는, 강관(20)의 반경 r의 $\pm 5\%$ 이내의 범위가 되도록 제어한다.

- [0060] 잔류 응력의 측정은, 전해 연마에 의해 강관(20)의 외면(20a) 및 반할 시료(22)의 내면(22b)의 표층을 $10\mu\text{m}$ 이하의 범위에서 제거한 후에 행한다. 측정 방법으로서, X선 회절에 의한 $\sin^2\psi$ 법을 이용할 수 있으며, 비특허문헌 2에 준거하여 행할 수 있다.
- [0061] 이상의 방법에 의해 실측된 잔류 응력 σ_{o1} , σ_{o2} , σ_{i2} , 그리고 외경 D 및 내경 d를 변수로 하는 다변수 함수에 의해, 잔류 응력 σ_{i1} 의 추정값을 산출한다.
- [0062] 구체적으로는, 도 2의 (a)에 나타내는 바와 같이, 이차원 평면 변형 요소에 의해, 강관(20)의 횡단면(통축 방향으로 수직인 단면)을 모델화한 원호 형상의 해석 모델(40)(1/4 모델)을 작성한다. 도시는 생략하지만, 해석 모델(40)은, 복수의 요소(메쉬)로 분할되어 있다. 해석 모델(40)의 물성값은, 탄성체로 한다.
- [0063] 우선, 강관(20)을 모의하기 위하여, 도 2의 (b)에 나타내는 바와 같이, 해석 모델(40)의 둘레 방향에 있어서의 양단부(40a, 40b)의 둘레 방향으로의 이동을 규제하도록, 구속 조건을 설정한다. 그 후, 초기 상태로서, 자진 처리 시의 강관(20) 상태를 모의한 체적력을 설정한다. 구체적으로는, 초기 상태에서는, 해석 모델(40)의 내면(40c)에 둘레 방향의 압축 잔류 응력(-100MPa)을 부여한다.
- [0064] 또, 초기 상태에서는, 내면(40c)으로부터 해석 모델(40)의 경방향(徑方向)으로 떨어진 위치 P(원호 형상의 파선으로 나타내는 위치)와 외면(40d) 사이의 영역에는, 응력이 발생하지 않은 것으로 한다. 또한, 초기 상태에서는, 내면(40c)과 위치 P 사이의 영역의 응력 분포는, 내면(40c)으로부터 위치 P를 향해 압축 응력이 점차 저하되도록, 선형 분포로 했다. 또한, 도 2의 (b), 그리고 후술의 도 3 및 도 4에는, 단부(40b)에 있어서의 응력 상태가 나타나어져 있다. 이하에 있어서는, 단부(40b) 상에 있어서 압축 응력이 0이 되는 점 P1과 내면(40c)의 경방향에 있어서의 거리를, 거리 t라고 기재하고, 해석 모델(40)의 두께를, 두께 T라고 기재한다. 또한, 단부(40b) 상에 있어서 압축 응력이 0이 되는 점이 복수 있는 경우는, 내면(40c)에 가까운 쪽의 일점을 P1로 한다.
- [0065] 상기와 같이 체적력을 설치한 후, 탄성 해석을 실시하고, 응력을 재배분한다. 이에 의해, 예를 들면, 도 3에 나타내는 바와 같이, 해석 모델(40)의 응력 상태가 변화한다. 또한, 도 3에 있어서는, 응력이 0이 되어 있는 위치를 파선으로 나타내고 있다. 파선보다 내측의 영역에서는, 둘레 방향의 압축 응력이 발생하고, 파선보다 외측의 영역에서는, 둘레 방향의 인장 응력이 발생하고 있다. 도 3에 나타내는 상태에서는, 해석 모델(40)의 전체의 응력 분포의 적분값은 0이 된다. 도 3에 나타내는 응력 상태가, 자진 처리 후의 강관(20)의 응력 상태에 대응한다. 그리고, 도 3에 나타내는 상태에 있어서, 내면(40c)과 단부(40b)의 교점의 응력을, 자진 처리 후의 강관(20)의 내면(20b)의 잔류 응력 σ_{i1} 로서 취득하고, 외면(40d)과 단부(40b)의 교점의 응력을, 자진 처리 후의 강관(20)의 외면(20a)의 잔류 응력 σ_{o1} 로서 취득한다.
- [0066] 다음으로, 반할 시료(22)(반할 후의 강관(20))를 모의하기 위하여, 도 4에 나타내는 바와 같이, 단부(40a)의 구속을 해제하고, 탄성 해석을 실시한다. 이에 의해, 해석 모델(40)의 응력 상태가 더욱 변화한다. 또한, 도 4에 있어서는, 응력이 0이 되어 있는 위치를 파선으로 나타내고 있다. 도 4에 나타내는 예에서는, 해석 모델(40)에 있어서, 경방향에 있어서의 중앙부에는, 둘레 방향의 인장 응력이 발생하고, 내면(40c)을 따르는 원호 형상의 영역 및 외면(40d)을 따르는 원호 형상의 영역에는, 둘레 방향의 압축 응력이 발생하고 있다.
- [0067] 또, 도 4에 나타내는 해석 모델(40)에서는, 단부(40a)가 반할 시료(22)의 절단면(22c)(도 1을 참조)에 대응하고, 단부(40b)가 반할 시료(22)의 둘레 방향에 있어서의 중심부(22d)(도 1을 참조)에 대응한다. 그리고, 도 4에 나타내는 상태에 있어서, 내면(40c)과 단부(40b)의 교점의 응력을, 반할 시료(22)의 내면(22b)의 잔류 응력 σ_{i2} 로서 취득하고, 외면(40d)과 단부(40b)의 교점의 응력을, 반할 시료(22)의 외면(22a)의 잔류 응력 σ_{o2} 로서 취득한다.
- [0068] 임의의 치수의 강관(20)에 대하여, 도 2의 (b), 도 3 및 도 4로 설명한 상기의 해석을, 초기 상태에 있어서의 거리 t를 다양하게 변화시켜(즉, 도 2의 (b)에 있어서 압축 응력이 0이 되는 점 P1의 위치를 변화시켜) 행한다.
- [0069] 본 발명자들의 다양한 검토의 결과, 강관(20)의 두께 T, 그리고 상기와 같이 하여 구해지는 자진 처리 후의 강관(20)에 있어서의 거리 t(도 3을 참조), 강관(20)의 외면(20a)의 잔류 응력 σ_{o1} (도 3을 참조), 강관(20)의 내

면(20b)의 잔류 응력 σ_{i1} (도 3을 참조), 반할 시료(22)의 외면(22a)의 잔류 응력 σ_{o2} (도 4를 참조), 및 반할 시료(22)의 내면(22b)의 잔류 응력 σ_{i2} (도 4를 참조)의 사이에는, 일정한 관계가 있는 것을 알 수 있었다.

[0070] 구체적으로는, 본 발명자들은, 자진 처리 후의 강관(20)에 있어서의 $(t/T)^2$ 의 값과 $(\sigma_{i2}/-\sigma_{i1})$ 의 값 사이에, 일정한 상관이 있는 것을 발견했다. 그리고, $(t/T)^2$ 의 값과 $(\sigma_{i2}/-\sigma_{i1})$ 의 값의 관계를 최소 제곱법으로 선형 근사함으로써, 하기 (1)식을 구했다. 또한, 하기 (1)식에 있어서, A 및 B는 계수이다.

[0071]
$$\sigma_{i2}/(-\sigma_{i1})=A \times (t/T)^2 - B \quad \cdots(1)$$

[0072] 상기 (1)식을 σ_{i1} 에 대하여 정리하여, 하기 (i)식이 얻어진다. 또한, 본 발명에 있어서는, A는 하기 (iii)식으로 표시되는 값으로 하고, B는 1로 했다.

[0073]
$$\sigma_{i1}=(-\sigma_{i2})/(A \times (t/T)^2 - 1) \quad \cdots(i)$$

[0074]
$$A=3.9829 \times \exp(0.1071 \times (D/d)^2) \quad \cdots(iii)$$

[0075] 또, 본 발명자들은, 자진 처리 후의 강관(20)에 있어서의 $(t/T)^2$ 의 값과 $((\sigma_{o2}-\sigma_{o1})/(-\sigma_{i1}))$ 의 값 사이에도, 일정한 상관이 있는 것을 발견했다. 그리고, $(t/T)^2$ 의 값과 $((\sigma_{o2}-\sigma_{o1})/(-\sigma_{i1}))$ 의 값의 관계를 최소 제곱법으로 선형 근사함으로써, 하기 (2)식을 구했다. 또한, 하기 (2)식에 있어서, C 및 E는 계수이다.

[0076]
$$(\sigma_{o2}-\sigma_{o1})/(-\sigma_{i1})=-C \times (t/T)^2 - E \quad \cdots(2)$$

[0077] 상기 (1)식 및 (2)식으로부터, (t/T) 는, 하기 (3)식으로 표시할 수 있다.

[0078]
$$t/T=((B \times (\sigma_{o2}-\sigma_{o1})-E \times \sigma_{i2})/(A \times (\sigma_{o2}-\sigma_{o1})-C \times \sigma_{i2}))^{1/2} \quad \cdots(3)$$

[0079] 또한, 본 발명에 있어서는, B는 1로 하고, E는 0으로 하여, 하기 (ii)식이 얻어진다. 또, C는 하기 (iv)식으로 표시되는 값으로 했다.

[0080]
$$t/T=((\sigma_{o2}-\sigma_{o1})/(A \times (\sigma_{o2}-\sigma_{o1})-C \times \sigma_{i2}))^{1/2} \quad \cdots(ii)$$

[0081]
$$C=-3.3966 \times \exp(0.0452 \times (D/d)^2) \quad \cdots(iv)$$

[0082] 이상의 추정 모델로부터 얻어지는 (i)식~(iv)식에 의해, 자진 처리 후의 강관(20)의 내면(20b)의 잔류 응력의 추정값 σ_{i1} 을 산출할 수 있다.

[0083] 그리고, 본 발명에 따른 강관은, σ_{i1} 의 값이 하기 (v)식을 만족한다.

[0084]
$$1.1 \times F \times \sigma_y \leq \sigma_{i1} \leq 0.8 \times F \times \sigma_y \quad \cdots(v)$$

[0085] 단, 상기 (v)식 중의 F는 계수이며,

[0086]
$$1.2 \leq D/d \leq 3.0 \text{의 경우는, } F=(0.3 \times (3-D/d)^2 - 1),$$

[0087]
$$D/d > 3.0 \text{의 경우는, } F=-1 \text{로 한다.}$$

[0088] 자진 처리에 의해, σ_{i1} 을 강관의 항복 응력과의 관계에 있어서, $0.8 \times F \times \sigma_y$ 이하로 함으로써, 높은 한계 내압이 얻어지게 된다. 한편, σ_{i1} 이 $1.1 \times F \times \sigma_y$ 를 밑도는 경우, 외면 측의 인장 잔류 응력이 커지고, 한계 내압의 상승이 포화될 뿐만 아니라, 오히려 저하될 우려가 있다.

[0089] 3. 제조 방법

[0090] 본 발명에 따른 압력 배관용 강관의 제조 방법에 대하여 특별히 제한은 없지만, 예를 들면, D/d가 1.2 이상인 복수의 강관 소재에 대해, 다양한 조건으로 자진 처리를 행하고, 얻어진 각 강관에 대하여, 상술의 방법에 의해

σ_{il} 을 구하고, 상기 (v)식을 만족하는 강관을 선별하는 공정을 행함으로써 제조할 수 있다.

[0091] 또한, 자진 처리 조건에 대해서는, 예를 들면, 자진 처리압 및/또는 자진 처리 시간을 제어함으로써, σ_{il} 이 상기 (v)식을 만족하도록 조정하는 것이 가능하다. 상술한 바와 같이, 자진 처리 후 또한 반할 전의 강관의 내면의 잔류 응력을 정확히 추정함으로써, 자진 처리 조건을 최적화할 수 있고, 높은 한계 내압을 갖는 강관을 안정적으로 얻는 것이 가능해진다.

[0092] 또, 상기의 강관에 대해, 예를 들면 그 양단 부분에 접속 머리부를 형성함으로써, 고압 연료 분사관으로 할 수 있다.

[0093] 이하, 실시예에 의해 본 발명을 보다 구체적으로 설명하지만, 본 발명은 이들 실시예에 한정되는 것은 아니다.

[0094] 실시예

[0095] 표 1에 나타내는 화학 조성을 갖는 강을 진공 용해로에서 용제하여 잉곳을 얻었다. 이 잉곳을 1250℃로 가열한 다음, 열간 단신(鍛伸)을 행하여, 직경 20mm의 둥근 봉을 얻었다. 또한, 당해 둥근 봉을 1000℃로 가열하고 10분 유지 후에 방랭하는 용체화 처리를 행하여, 시험편의 소재로 했다. 그리고, 조(粗)기계 가공, 열처리, 마무리 가공을 행하여, 도 5에 나타내는 형상의 내압 피로 시험편을 얻었다. 여기서, 조기계 가공 후의 형상은, 도 5의 마무리 가공 후의 형상에 대해, 외경이 1mm 크고, 내경이 1mm 작은 형상으로 했다. 또한, 도 5에 기재된 길이의 단위는 mm이다.

표 1

표 1

| 화학 조성 (질량%, 잔부: Fe 및 불순물) | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------|------|------|-------|--------|-------|------|-------|------|--------|-------|-------|-------|--------|-------|
| C | Si | Mn | P | S | Cu | Cr | Ni | Mo | Ti | V | Nb | Sn,Al | N | O |
| 0.20 | 0.30 | 1.36 | 0.017 | 0.0030 | <0.01 | 0.01 | <0.01 | 0.17 | 0.0070 | 0.057 | 0.027 | 0.027 | 0.0041 | 0.001 |

[0096]

[0097] 열처리 조건은, 1000℃로 가열하고 10분 유지 후 공랭의 소준 처리한 것과, 고주파 가열에 의해 1000℃까지 가열하고 급랭하고, 640℃로 가열하고 15분 유지 후 방랭하는 담금질 템퍼링 처리를 행한 것의 2종류로 했다. 여기서, 전자를 소준품, 후자를 소입품으로 구별하여 부르는 것으로 한다. 도 5의 시험편 형상에 있어서, 소준품의 외경은 12.0mm 또는 18.0mm, 소입품의 외경은 9.0mm이다. 즉, 내경 d에 대한 외경 D의 비 D/d는 소준품에서 2.0 또는 3.0, 소입품에서 1.5이다. 또, 내면에 대해서는 연마 처리를 행하여, 표면 거칠기 Ra(산술 평균 거칠기)가 0.2μm 이하가 되도록 했다.

[0098] 내압 피로 시험편 중 하나로부터 비특허문헌 1에 나타내어지는 박육 덤벨 형상의 소형 시험편을 잘라 내고, 인장 시험을 행하여, 기계적 성질을 평가했다. 그 결과를 표 2에 나타낸다. 소준품보다 소입품 쪽이 인장 강도, 항복 응력 및 항복비가 높은 것을 알 수 있다.

표 2

표 2

| 시험 No. | 구분 | D/d | 인장 강도 (MPa) | 항복 응력 (MPa) | 항복비 | 자진 처리압 (MPa) | 잔류 응력 실험값 (MPa) | | | 잔류 응력 추정값 (MPa) | (V)식 [†] 좌변값 | (V)식 [†] 우변값 | 한계 내압 (MPa) | (I)식 [‡] 우변값 | |
|-----------|-----|-----|-------------------|-------------------|------|--------------------|--------------------|---------------|---------------|-----------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------|--------------------------|-------|
| 1 | 소준품 | 2.0 | 722 | 545 | 0.75 | 340 | σ_{01} | σ_{02} | σ_{11} | -254 | -420 | -305 | 300 | 307 | 비교예 |
| 2 | 소준품 | 2.0 | 722 | 545 | 0.75 | 380 | 40 | -47 | -123 | -344 | -420 | -305 | 340 | 307 | 본 발명에 |
| 3 | 소준품 | 2.0 | 722 | 545 | 0.75 | 420 | 117 | -64 | -72 | -371 | -420 | -305 | 360 | 307 | 본 발명에 |
| 4 | 소입품 | 1.5 | 948 | 873 | 0.92 | 280 | 181 | -32 | -51 | -113 | -312 | -227 | 260 | 299 | 비교예 |
| 5 | 소입품 | 1.5 | 948 | 873 | 0.92 | 350 | 153 | -17 | -73 | -262 | -312 | -227 | 300 | 299 | 본 발명에 |
| 6 | 소준품 | 3.0 | 722 | 545 | 0.75 | 425 | 25 | -16 | -34 | -336 | -600 | -436 | 350 | 364 | 비교예 |
| 7 | 소준품 | 3.0 | 722 | 545 | 0.75 | 490 | 36 | -28 | -228 | -446 | -600 | -436 | ≥400 | 364 | 본 발명에 |

[†] $1.1 \times F \times \sigma_y \leq \sigma_{01} \leq 0.8 \times F \times \sigma_y \dots (V)$

[‡] $IP \geq 0.44 \times TS \times \alpha \dots (I)$

[0099]

[0100]

계속해서, 얻어진 내압 피로 시험편에 대해, 자진 처리를 행했다. 자진 처리는, 도 5의 내압 피로 시험편의 편측 단면을 시일하고, 다른 편측 단면으로부터 시험편 내부에 압력 매체로서 작동유를 봉입하고, 봉입부의 내압을 제어하여 행했다. 자진 처리는, 봉입부의 내압을 자진 처리압 P_{at} 까지 상승시키고, 제하(除荷)함으로써 행하는 것이다. 자진 처리압은, 소준품에서 3수준, 소입품에서 2수준으로 하고, 각각의 자진 처리압에 대하여, 복수개의 시험편을 처리했다.

[0101]

자진 처리 후의 시험편 중 1개를, 잔류 응력 측정에 제공했다. 우선, 전해 연마에 의해 시험편의 길이 방향 중앙 위치 외면의 표층을 $10 \mu m$ 이하의 범위에서 제거한 후, 둘레 방향 잔류 응력 σ_{01} 을 측정한다. 측정 방법으로서, X선 회절에 의한 $\sin^2 \psi$ 법을 이용해, 비특허문헌 2에 준거하여 행했다. 상세한 측정 조건은 이하에 나타내는 바와 같다.

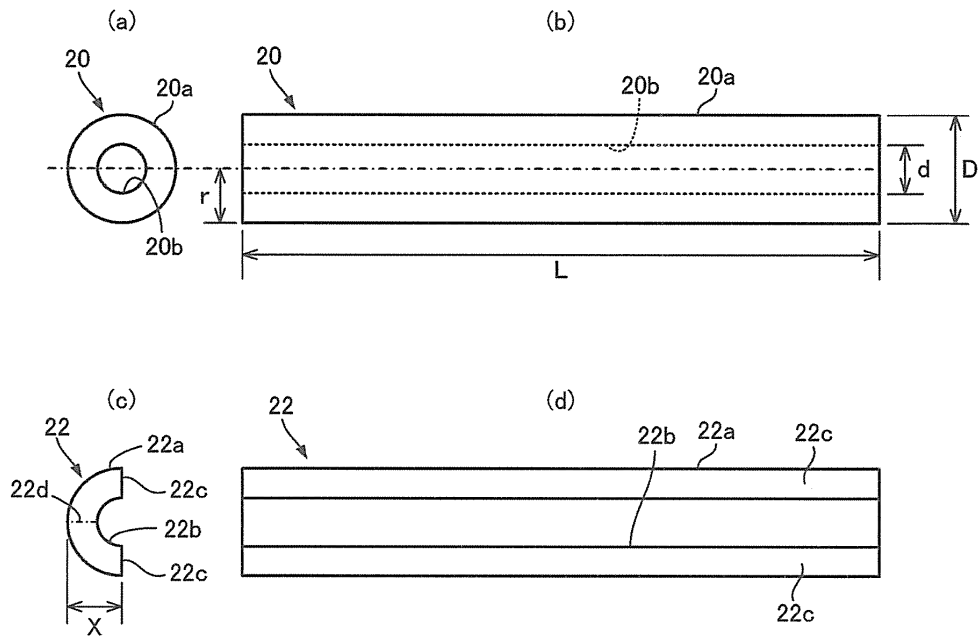
[0102]

· 주사법: 측경법(側傾法), n 일정법(PSPC법)

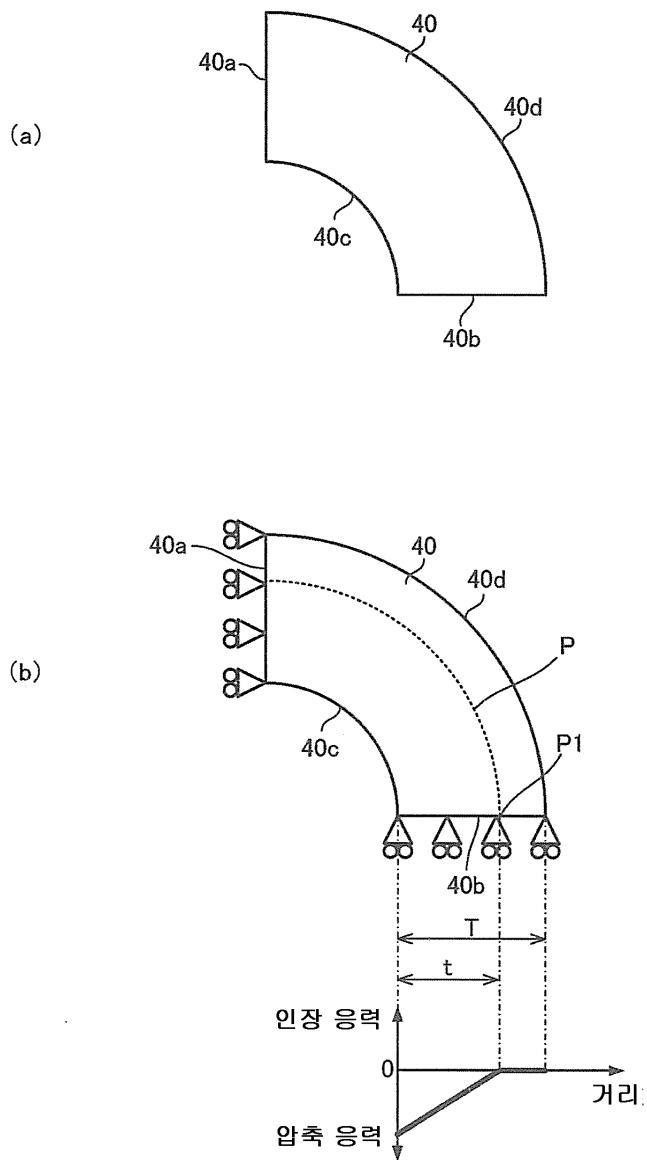
22a: 외면 22b: 내면
 22c: 절단면 22d: 중심부
 40: 해석 모델 40a, 40b: 단부
 40c: 내면 40d: 외면

도면

도면1

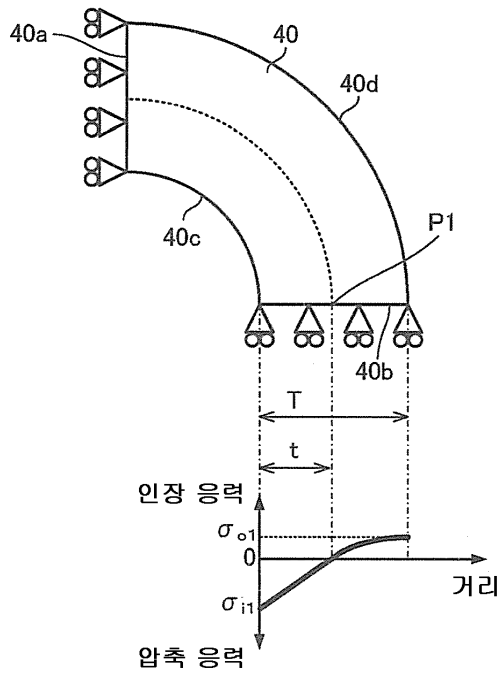


도면2



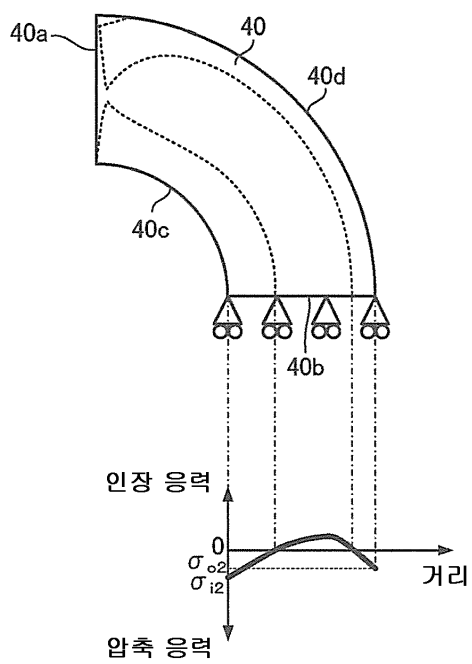
도면3

(자간 처리 후)

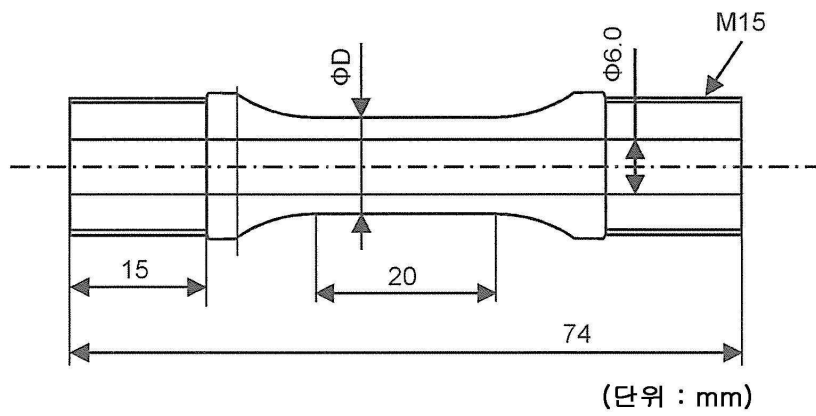


도면4

(반할 후)



도면5



소준품 : $D=12.0\text{mm}$ 또는 18.0mm

소입품 : $D=9.0\text{mm}$