(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2013년10월01일
(11) 등록번호 10-1313526
(24) 등록일자 2013년09월24일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
*C21D 10/00* (2006.01) *C21D 11/00* (2006.01)
*B23K 20/10* (2006.01) *B23K 11/12* (2006.01)
(21) 출원번호 10-2007-7014167
(22) 출원일자(국제) 2005년11월14일
심사청구일자 2010년10월25일
(85) 번역문제출일자 2007년06월22일
(65) 공개번호 10-2007-0086532
(43) 공개일자 2007년08월27일
(86) 국제출원번호 PCT/US2005/041036
(87) 국제공개번호 WO 2006/057836
국제공개일자 2006년06월01일
(30) 우선권주장
10/994,551 2004년11월23일 미국(US)
(56) 선행기술조사문헌
JP2004130315 A*
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
**유.아이.티., 엘.엘.씨.**
미국 35210 앨라배마주 버밍엄 올드 리즈 로드 5871
(72) 발명자
**스타트니코프 에핌 에스.**
미국 35242 앨라배마주 버밍엄 메도우 릿지 레인 817
(74) 대리인
**안국찬, 양영준**

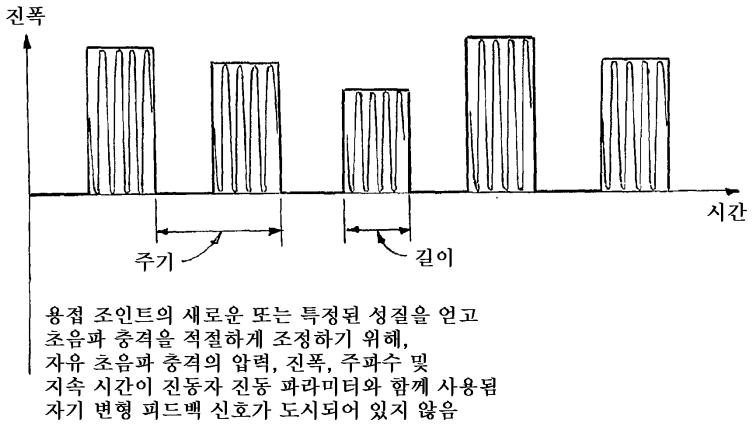
전체 청구항 수 : 총 2 항 심사관 : 우귀애

(54) 발명의 명칭 **새로운 성질을 갖는 용접 조인트 및 초음파 충격 처리에의한 이러한 성질의 제공**

## (57) 요 약

본 발명은 어떤 새로운 또는 개선된 성질을 갖는 분리 불가능한 용접 조인트 그리고 초음파 충격 처리에 의한 이러한 분리 불가능한 용접 조인트의 제공에 관한 것으로, 미리 결정된 성질의 형성을 제어하고 그에 의해 용접 조인트에 의해 수행될 역할을 기초로 하여 조인트에 개선된 품질 및 신뢰성을 제공하기 위해 선택 처리 파라미터를 조정하는 단계를 포함한다. 처리 파라미터는 초음파 충격의 반복 속도 및 길이, 처리될 표면에 대해 초음파 충격 공구 상에서 인가되는 압력 그리고 충격 진폭을 포함한다.

*대 표 도* - 도3




용접 조인트의 새로운 또는 특정된 성질을 얻고
초음파 충격을 적절하게 조정하기 위해,
자유 초음파 충격의 압력, 진폭, 주파수 및
지속 시간이 진동자 진동 파라미터와 함께 사용됨
자기 변형 피드백 신호가 도시되어 있지 않음

## *특허청구의 범위*

**청구항 1**

초음파 충격 처리된 분리 불가능한 용접 조인트이며,

상기 조인트는 탄소강이나 알루미늄 합금으로 형성되는 스폿 용접 조인트이고,

80 Hz 이상의 초음파 충격 주파수,

0.2 ㎜ 이상의 진폭에서 1 ms 이상의 평균 충격 지속 시간,

0보다 크고 100 ㎑ 이하인 충격시 압입자 초음파 진동 반송 주파수,

5 ㎛ 이상 40 ㎛ 이하 범위의 충격시 초음파 진동 진폭 및

3 kg 이상 30 kg 이하 범위의 초음파 충격 공구의 압력

을 포함하는 파라미터 내에서 상기 스폿 용접 조인트가 초음파 충격 처리되는 것에 기초하여 상기 스폿 용접 조인트의 피로 한도는 용접 조인트의 미처리된 모재의 피로 한도보다 적어도 1.3배 더 크며, 상기 스폿 용접 조인트는 용접 조인트의 미처리된 금속 모재와 동일하거나 더 큰 각각의 피로 저항, 항복점, 극한 강도 및 충격 강도를 갖는

초음파 충격 처리된 분리 불가능한 용접 조인트.

**청구항 2**

초음파 충격 처리된 분리 불가능한 용접 조인트이며,

상기 조인트는 탄소강이나 알루미늄 합금으로 형성되는 가용접 조인트이고,

0보다 크고 2000 Hz 이하인 초음파 충격 주파수,

1 ms 이상의 평균 충격 지속 기간,

0.2 ㎜ 이상의 충격 진폭,

18 ㎑ 이상의 충격시 압입자 초음파 진동 반송 주파수,

탄소강에 대해서는 25 ㎛ 이상이고 알루미늄 합금에 대해서는 0보다 크고 30 ㎛ 이하인 충격시 압입자 초음파 진동 진폭 및

3 kg 이상의 초음파 충격 공구의 압력

을 포함하는 파라미터 내에서 상기 가용접 조인트가 초음파 충격 처리되는 것에 기초하여 상기 가용접 조인트의 피로 한도는 용접 조인트의 미처리된 모재의 피로 한도보다 적어도 1.3배 더 크며, 상기 가용접 조인트의 각각의 피로 저항, 극한 강도 및 충격 강도는 용접 조인트의 미처리된 모재의 피로 저항, 극한 강도 및 충격 강도와 동일하거나 더 큰

초음파 충격 처리된 분리 불가능한 용접 조인트.

**청구항 3**

삭제

**청구항 4**

삭제

**청구항 5**

삭제

**청구항 6**

삭제

**청구항 7**

삭제

**청구항 8**

삭제

**청구항 9**

삭제

**청구항 10**

삭제

**청구항 11**

삭제

**청구항 12**

삭제

**청구항 13**

삭제

**청구항 14**

삭제

**청구항 15**

삭제

**청구항 16**

삭제

**청구항 17**

삭제

**청구항 18**

삭제

**청구항 19**

삭제

**청구항 20**

삭제

**청구항 21**

삭제

**청구항 22**

삭제

**청구항 23**

삭제

**청구항 24**

삭제

**청구항 25**

삭제

**청구항 26**

삭제

**청구항 27**

삭제

**청구항 28**

삭제

**청구항 29**

삭제

**청구항 30**

삭제

**청구항 31**

삭제

**청구항 32**

삭제

**청구항 33**

삭제

**청구항 34**

삭제

**청구항 35**

삭제

**청구항 36**

삭제

**청구항 37**

삭제

**청구항 38**

삭제

**청구항 39**

삭제

**청구항 40**

삭제

# 명 세 서

## 기 술 분 야

[0001] 본 발명은 새로운 강도 및 공정 유도 성질을 갖는 용접 조인트와, 초음파 충격 처리(UIT: ultrasonic impact treatment)에 의해 용접 조인트에 그러한 성질을 제공하는 방법에 관한 것이다. 본 발명의 용접 조인트는 용접 조인트에 개선된 품질 및 신뢰성을 제공하는 특별한 성질을 갖는다. 용접 조인트에서, 얻어지거나 향상되어야 하는 성질은 품질, 신뢰성 및 조립성의 영역에서와 같이 용접 조인트가 수행하여야 하는 역할을 기초로 하여 한정된다.

## 배 경 기 술

[0002] 미국 특허 제6,171,415 B1호 및 제6,338,765 B1호는 펄스 충격 에너지 특히 초음파 충격 에너지를 사용한 용접 구조물의 처리를 위한 초음파 충격 방법을 설명하고 있다. 이들 특허는 확률적 초음파 충격 처리(stochastic ultrasonic impact treatment)를 기초로 하여 용접 구조물에 대한 조립 및 수리 처리를 개시하고 있다. 초음파 진동자(ultrasonic transducer)의 주파수 및 진폭은 충격의 기본 특징이다. 압축 피드백 신호(striction feedback signal)는 특정된 처리 효과를 얻는 데 필요하고 충분한 파라미터의 선택을 가능케 한다.

[0003] 용접 조인트 구조물의 성질을 필요에 따라 조정하는 것이 요망된다는 것이 이제 밝혀졌다. 이것은 조인트의 품질 및 신뢰성을 추가로 향상시키기 위해 조인트의 특정한 역할 그리고 대응하는 구조의 관점에서 용접 조인트와 관련하여 특히 유리하다.

## 발명의 상세한 설명

[0004] 따라서, 본 발명은 개선된 성질을 갖는 분리 불가능한 용접 조인트 그리고 용접 조인트에 초음파 충격 처리를 적용함으로써 용접 조인트에 이러한 성질을 제공하는 방법에 관한 것이다. 새로운 구조적 성질은 용접 조인트가 수행하도록 의도되는 특정한 역할의 관점에서 용접 조인트에서 얻어진다. 여기에서는 용접 조인트와 관련하여 설명이 이루어진다. 그러나, 동등한 분리 불가능한 용접 구조물이 또한 여기에서 설명된 바와 같이 본 발명에 따라 처리될 수 있고, 여기에서 설명된 공학적 해결책은 임의의 동등한 분리 불가능한 용접 조인트 그리고 그에 의해 형성되는 구조물에 적용될 수 있다.

[0005] 또한, 본 발명은 새로운 미리 결정된 성질을 갖는 용접 조인트 및 구조물에 대한 초음파 충격 적용을 위한 파라미터의 선택을 포함한다.

[0006] 미국 특허 제6,171,415 B1호 및 제6,338,765 B1호에서 설명된 공학적 해결책과 같이, 본 발명 또한 용접 조인트를 처리하기 위해 확률적 초음파 충격을 이용한다. 그러나, 본 발명은 어떤 초음파 충격 처리 파라미터가 협력하여 용접 구조물 특히 용접 조인트의 기술적 성질을 개선시킨다는 것을 증명한다. 이들 파라미터는 (1) 초음파 충격의 반복 속도 및 길이(또는 지속 시간), (2) 처리될 표면에 대해 초음파 충격 공구 상에서 인가되는 압력 그리고 (3) 충격 진폭을 포함한다. 또한, 본 발명의 초음파 충격 처리의 새로운 조건은 초음파 충격 공구의 압입자(indenter)에서 반송 초음파 발진 주파수를 발생시키는 초음파 진동자를 가진하는 표준 파라미터의 범위의 확장을 포함한다. 이들 파라미터의 어떤 조합이 조인트가 수행하여야 하는 역할의 관점에서 용접 조인트에서 새로운 성질을 얻거나 기존의 성질을 변경하는 것을 가능케 한다. 초음파 충격 처리를 위한 선택된 파라미터는 용접 구조물에 대해 새로운 품질 및 신뢰성을 한정하고 용접 구조물의 미리 결정된 역할을 수행하는 데 적절한 용접 구조물의 성질을 얻기 위해 초음파 충격을 제어하고 필요한 조건을 생성시킨다.

[0007] 본 발명은 임의의 종류의 분리 불가능한 용접 구조물에 대해 이용될 수 있지만, 용접 조인트에 상당한 성능 향상을 가져오는 성질을 주로 제공한다. 본 발명의 용접 구조물의 예는 고-강도강으로 된 용접 조인트; 응력 집

중부를 갖는 용접 조인트; 불균형 하중에 취약한 용접 조인트; 균열 등의 결함 또는 손상 영역을 갖는 용접 조인트; 미리 결정된 제조 정확도를 요구하는 용접 조인트; 수리된 용접 조인트; 수리를 필요로 하는 용접 조인트; 겹침 용접 조인트(lap welded joint); 조인트를 위한 가용접(tack welds for joints); 모서리 용접 조인트(corner welded joint); 용석, 조대 입자 및 기공 형성에 취약한 용접 조인트; 예비 가열로 형성되는 용접 조인트; 미리 결정된 응력 부식 저항을 갖는 용접 조인트; 구멍을 갖는 용접 조인트; 브래킷 또는 보강재에서의 용접 조인트; 그리고 마텐자이트 형성에 취약한 용접 조인트를 포함한다.

## *실 시 예*

[0034] 초음파 충격 처리가 초음파 진동자의 가진으로부터 기인하는 진동을 이용한다. 도1에 도시된 바와 같이, 진동은 한정된 시간에 걸쳐 어떤 진폭에서 일어난다. 진동은 진동자가 작동될 때에 강제될 수 있거나 중단 동안에 자유로울 수 있다. 진폭은 시간의 경과에 따라 자유 진동 동안에 감소할 것이다. 도2에 도시된 바와 같이, 도1에 도시된 것과 같은 진동이 자유롭게 축 방향으로 이동하는 충격 요소 또는 압입자에 힘 임펄스를 무작위로 전달한다. 도1에 도시된 바와 같은 초음파 진동자의 강제 진동은 하중 하에서의 초음파 진동자의 자유 진동에 대한 정보를 얻도록 그리고 진동자 작동 모드를 수정하도록 중단된다. 이러한 정보의 출처는 중단 동안의 능동 요소의 권취부 또는 전극으로부터 분배된 피드백 신호이다. 이러한 원리는 초음파 진동자에서 사용되는 모든 종류의 능동 재료 구체적으로 자기 변형(magnetostrictive) 또는 압전 세라믹(piezoceramic) 재료에 대해 일반적인 것으로 존속한다는 것이 주목되어야 한다. 발생기 그에 따라 진동자의 작동을 분석 및 수정하기 위해, 압축 피드백 신호가 (1981년 3월 30일의 러시아 특허 제817931호에 기재된 바와 같이) 일반적으로 사용된다. 이와 같이, 특정한 용접 조인트를 위한 역할에 따라 초음파 충격 처리 조건을 선택하기 위해, 압축 피드백 신호가 사용되고, 기술적 시스템이 무하중 및 유하중 상태 하에서 진동자 진동의 주파수 및 진폭에 대해 조정된다.

[0035] 초음파 충격 처리에서 중요한 초음파 진동자 진동 파라미터 이외에, 초음파 충격의 관련된 파라미터가 조인트의 재료에 초음파 충격을 가함으로써 분리 불가능한 용접 조인트의 성질 그에 따라 특성을 얻거나 변경할 때에 중요하다는 것이 이제 판정되었다. 특정한 파라미터의 선택 그리고 이들 파라미터의 최적화를 통해, 미리 결정된 개선된 성질을 갖는 용접 조인트가 얻어질 수 있다. 초음파 진동자 진동 파라미터 및 초음파 충격 파라미터의 선택은 그 특성이 조인트에 대한 처리에서 인가되는 압력, 조인트 재료의 물리적 및 기계적 성질 그리고 조인트 자체의 음파 성질과 상호 의존하는 진동자-압입자-처리 물체 진동 시스템의 관련된 특성을 기초로 한다. 도3은 본 발명이 용접 조인트 및 구조물에서 새로운 미리 결정된 성질을 얻기 위해 초음파 충격의 연장을 가져오고 그에 의해 처리된 물체로의 초음파 에너지 전달의 효율을 개선시키는 방법을 도시하고 있다. 따라서, 초음파 충격 효율 기준은 조인트 재료 그리고 초음파 충격의 관련된 길이, 주파수 및 진폭 파라미터에 대한 직접적인 효과이다.

[0036] 이러한 음파 및 기계 시스템의 파라미터가 용접 조인트 구조물에서 새로운 또는 변경된 성질을 획득하기 위한 링크를 제공한다. 선택된 파라미터의 정확한 조합을 결정하는 과정은 다음의 단계를 포함한다:

[0037] (a) 용접부의 실제의 물리적 성질 그리고 용접 조인트를 형성하는 재료를 한정하는 단계,

[0038] (b) 특정한 조인트에 대한 품질 및 신뢰성 요건을 충족시키기 위해 요망되는 성질에 대한 단계 (a)의 성질의 적합성을 한정하는 단계,

[0039] (c) 조인트에 요망된 성질을 제공하는 것과 관련하여 용접 조인트 상에서의 초음파 충격 처리로부터 기인하는 물리적 인자를 한정하는 단계,

[0040] (d) 요망된 조인트 성질을 제공하는 것에 대한 초음파 충격 처리의 효과의 기준을 한정하는 단계,

[0041] (e) 조인트의 요망된 성질을 제공하기 위해 초음파 충격 처리의 조건을 한정하는 단계,

[0042] (f) 진동자의 파라미터, 초음파 충격, 압입자, 압력, 처리된 조인트 재료의 기계적 성질 및 음파 특성과 조합하여 초음파 충격 처리 조건을 한정하는 단계,

[0043] (g) 위에서 수립된 한정에 따라 조인트 상에 초음파 충격 처리를 수행하는 단계.

[0044] 위의 사항에 대해 구체적으로, 초음파 충격 처리에 의해 미리 결정된 새로운 또는 변경된 성질을 갖는 분리 불가능한 용접 조인트를 제공하기 위해, 처리될 용접 조인트의 실제의 물리적 성질이 종래의 시험 기술에 의해 초기에 결정된다.

[0045] 처리 후의 용접 조인트에서 요망된 성질이 그 다음에 처리 전의 용접 조인트의 성질과 그 차이에 대해 한정 및

평가되어야 한다. 이것은 요망된 목적을 달성하기 위해 알고리즘 또는 일련의 절차 단계로서 이후에서 언급된 본 발명에 의해 달성될 수 있다. 알고리즘은 일반적으로 (1) 특정된 요건에 대한 조인트 재료의 실제의 성질의 적합성을 한정하는 단계; (2) 용접 조인트 상에서의 초음파 충격 처리의 물리적 인자 및 기구를 한정하는 단계; (3) 요망된 용접 조인트 품질 및 신뢰성을 결정할 때의 기준을 한정하는 단계; (4) 용접 조인트에 대한 초음파 충격 처리의 기본 기준을 한정하는 단계; (5) 분리 불가능한 용접 조인트에 요망된 성질을 제공하는 초음파 충격 처리의 파라미터를 한정하는 단계; (6) 미리 결정된 성질을 제공하기 위해 용접 조인트에 대한 초음파 충격 처리의 결과를 판정하는 단계를 포함한다. 본 발명의 알고리즘은 이후에서 상세하게 설명된다. 구체적으로, 알고리즘은 조인트가 수행하여야 하는 역할의 관점에서 조인트에서 요망된 성질에 대한 처리될 분리 불가능한 용접 조인트의 실제의 성질의 적합성을 초기에 결정하는 단계 그리고 용접 조인트의 요망된 성질을 얻는 데 요구되는 한 세트의 초음파 충격 처리 파라미터를 조정하는 단계를 포함한다.

[0046] 용접 조인트 상에서의 초음파 충격 처리의 물리적 인자 및 기구는 저주파수 충격에 의해 유발되는 소성 변형; 충격 동안의 초음파 소성 변형; 저주파수 충격에 의해 생성되는 소성 변형 그리고 초음파 소성 변형이 포화되는 층의 초음파 진동이 충격 동안에 일어나는 동안에, 지정된 조인트의 재료 내에서의 초음파 응력파의 진폭 및 감쇠(진폭의 감소); 그리고 충격 동안의 접촉 지점에서의 온도 및 방열 속도를 포함한다.

[0047] 요망된 용접 조인트 품질 및 신뢰성을 판정할 때의 기준은 기하학적 정확도; 잔류 변형 그리고 이들의 명목 치수 공차; 조인트의 체적 그리고 조인트 재료의 구조 세그먼트 내에서 평형이 형성되는 잔류 응력; 조인트의 하중-지지 용량을 책임지는 응력 집중원의 수용 가능한 응력 집중 수준 및 구성; 저주기와 고주기의 역전 및 변동 하중 하에서의 피로 한계 및 피로 저항; 그리고 저주기와 고주기의 역전 및 변동 하중 하에서의 침식 환경 내에서의 피로 한계 그리고 부식 및 부식-피로 파괴에 대한 저항, 그리고 용접 조인트 재료의 성질을 포함한다.

[0048] 용접 조인트에 대한 초음파 충격 처리 효과의 기본 기준은 유도 잔류 응력 및 변형의 수준; 표면 및 그 전이 영역의 양각(relief), 조도(roughness) 및 기하학적 변경 그리고 처리 영역 내에서의 재료 성질의 변경; 초음파 충격 처리 전의 지정된 조인트의 제조 기술에 의해 생성되는 잔류 응력의 완화 및 재분배; 그리고 조인트 방식 그리고 활동성 하중에 대한 그 저항의 상태의 변경을 포함한다.

[0049] 분리 불가능한 용접 조인트에 요망된 성질을 제공하는 초음파 충격 처리(UIT)의 파라미터는 (1) 약 0.1 내지 50 ㎏의 범위 내의 충격 공구 상에서의 압력, (2) 약 10 내지 800 ㎑의 진동자의 반송 초음파 주파수, (3) 약 0.5 내지 120 ㎛의 반송 주파수에서의 초음파 진동의 진폭, (4) 반송 초음파 주파수에서 약 2 내지 50 진동 주기의 범위 내의 무작위 초음파 충격의 지속 시간을 갖는 약 5 내지 2500 ㎐의 공구-압입자 시스템의 초음파 충격 주파수 및 자기-발진 주파수, (5) 0.05 내지 5 ㎜의 공구의 자기-발진 진폭, (6) 위에서 설명된 UIT 파라미터의 범위에 의존하는, 자유롭게 축 방향으로 이동하는 압입자와 공구의 진동자 사이의 연결의 수준, 그리고 (7) 재료 및 용접 조인트의 역할, 성질 및 크기에 따라 위에-언급된 범위 내에서 설정된 파라미터를 갖는 자유 초음파 충격을 포함한다.

[0050] 미리 결정된 성질을 제공하기 위한 용접 조인트 상에서의 초음파 충격 처리의 결과는 다음의 긍정적 변화들 즉 약 0.1 ㎛ 이상의 표면 조도 및 양각; 약 0.5 ㎜ 이상의 표면들 사이의 반경; 최대 약 2 ㎜의 응력 집중 영역 내의 임의의 표면들 사이의 용접 토우 라인 또는 라인(weld toe line or line)을 따른 홈의 깊이 그리고 최대 약 10 ㎜의 홈의 폭; 약 1.5배 이상만큼의 강도에 대한 그리고 약 1.2배 이상만큼의 충격 강도에 대한 응력 집중 영역 내에서의 재료 기계적 성질의 개선; 최대 약 7 ㎜의 깊이까지의 소성 변형, 적절한 압축 응력 그리고 미세 경도(microhardness) 면에서의 적절한 상대적 변화; 최대 10 ㎜의 깊이까지의 표면에 직각인 단면 내에서의 재료의 소성 변형으로 인한 탄성 압축 응력의 분포; 최대 약 12 ㎜의 깊이까지의 재료 항복 강도의 약 0.05 이상의 진폭을 갖는 초음파 변동 응력파로 인한 공정 유도 잔류 응력의 완화; 역할 한정에 따라 재료 항복 강도 및 극한 강도 이상의 특정된 깊이까지의 표면 상하에서의 제1 및 제2 종류의 적절한 잔류 응력; 최대 약 10배만큼의 부식-피로 강도 면에서의 개선을 동반하는 UIT 적용 없이 일어난 변형들 중 약 40% 이상만큼의 잔류 공정 유도 변형에 대한 보상; 가변 하중 하에서 최대 약 2.5배만큼의 부식-피로 강도 면에서의 그리고 최대 약 20배의 부식 환경 내에서의 수명 면에서의 개선; 1개 이상의 부문만큼 조인트의 강도를 증가시키기 위한, 약 1.5배 이상만큼의 반복 또는 변동 응력 하에서의 공기 중에서의 피로 한계 면에서의 그리고 약 10배 이상만큼의 수명 면에서의 개선; 약 50 ㎛ 이상의 깊이까지의 백색 층 및 비정질 조직의 형성 중 적어도 1개를 포함한다.

[0051] 분리 불가능한 용접 조인트는 접합될 임의의 접합 재료의 계면의 용해가 있거나 없는 그리고 충전재 재료가 있거나 없는 상태에서 초음파 충격 처리의 사용으로 임의의 접합 재료로 형성될 수 있고, 용접 재료, 또 다른 재료 내의 하나의 재료의 고용체의 전이 영역, 그리고 접합 및 미접합 재료 조직 그리고 변형의 모드에 대해 변경

되는 영역을 집합적으로 또는 임의의 조합으로 포함할 수 있다. 분리 불가능한 조인트는 완전, 부분 또는 불완전 용입이 있거나 없는 그리고 모서리 가공이 있거나 없는 상태에서 임의의 지정된 형상의 구조 요소의 구멍을 따라 용접뿐만 아니라 맞댐(butt), 필렛(fillet), 겹침(lap), 협홈(narrow-gap) 또는 스폿(spot) 용접에 의해 수행될 수 있고, 변동 수단 예컨대 아크, 저항, 레이저, 전자 빔, 확산, 마찰, 압력, 잠호 아크, 차폐 금속, 가스 차폐, 개방 및 잠호 아크 용접, 충전재 재료를 사용한 용접, 초음파 용접의 개방 플레임, 납땜 등에 의해 생성될 수 있다.

[0052] 이제, 본 발명의 특정한 용접 조인트가 설명될 것이다.

[0053] (A) 고강도강으로 된 용접 조인트

[0054] 실제로, 용접 조인트의 형성에서의 고강도강의 사용은 저강도강 및 평균-강도강, 즉 고강도강보다 최소 2배 낮은 항복 강도 그리고 고강도강보다 최대 2배의 피로 한계를 갖는 저탄소강 및 저합금강에 비해 이러한 강으로부터 형성된 용접 조인트의 낮은 피로 저항에 의해 제한된다. 이들 강 사이의 잠정적 경계는 최대 500 ㎫의 항복 강도 또는 극한 강도라는 것은 당업계에서 이해되는 바이다.

[0055] 얻어진 본 발명의 고강도강의 용접 조인트는 저강도강 및 평균-강도강보다 최소 2배 높은 피로 저항을 갖는다. 이것은 도4a 및 도4b에 그래프로 도시되어 있다. 도4a는 고강도강의 용접 조인트의 피로 한계(1), 저탄소강 또는 저합금강의 용접 조인트의 피로 한계(2) 그리고 초음파 충격 처리 없는 고강도강의 용접 조인트(3)의 피로 한계를 도시하고 있다. 도4b는 초음파 충격 처리 후의 고강도강의 용접 조인트의 피로 한계(4) 그리고 초음파 충격 처리 후의 저탄소강 또는 저합금강의 용접 조인트의 피로 한계(5)를 도시하고 있다. 도시된 바와 같이, 본 발명에 따른 초음파 충격 처리가 적용된 재료는 상당히 개선된다. 고강도강 및 합금으로 형성된 용접 조인트는 $\sigma \leq 500$ ㎫인 강 및 합금보다 최소 30% 큰 피로 한계를 용접 조인트의 재료 내에 제공하기 위해 본 발명에 따라 결정되고 위에 기재된 바와 같은 파라미터 내에 속하는 초음파 충격 처리 후에 $\sigma > 500$ ㎫의 항복 강도를 갖는다.

[0056] 구체적으로, 이것을 얻기 위해, 초음파 충격 처리가 용접부의 토에서의 위험한 응력 집중의 영역에 적용된다. 이와 같이, 본 발명에 따르면, 용접 후에 그대로 방치된 조인트 그리고 모재의 특성이 우선 결정된다. 500 ㎫ 이상의 모재의 강도에 비교할만한 용접 조인트의 피로 한계를 제공할 필요성을 고려하면, 초음파 충격 처리 조건이 소성 변형 및 압축 응력을 생성시킬 정도로 충분히 공급하는 충격 에너지를 계산함으로써 결정된다. 초음파 충격 처리 조건이 그 다음에 역할을 수행하기 위해 실험적으로 검증 및 수정된다. 약 27 ㎑의 발진 시스템 주파수 그리고 최대 약 10 ㎏의 공구 압력에서, 요망된 성질을 갖는 분리 불가능한 용접 조인트를 제공하기 위한 초음파 충격 처리 조건은 다음과 같다: 약 30 ㎛ 이상의 충격 동안의 초음파 진동자 진동 진폭, 약 80 내지 250 ㎐의 범위 내의 충격 주파수, 최대 약 2 ㎜의 공구 자기-발진 진폭, 약 3 내지 6.35 ㎜의 압입자 직경 그리고 용접 조인트 방식에 따라 약 10 내지 35 ㎜의 범위 내의 압입자의 평균 길이 또는 지속 시간. 위의 초음파 충격 처리 조건은 위험한 인장 응력 집중 영역의 강화 그리고 약 2 ㎜ 이상의 깊이까지의 적절한 압축 응력의 그 내에서의 생성을 책임지며, 표면에서의 그 크기는 최대 약 1.5의 인자만큼 모재의 항복 강도 및 피로 한계보다 크다. 이러한 경우에, 초음파 충격 처리 후의 응력 집중 영역은 최대 약 1 ㎜의 깊이를 갖는 규칙적인 홈의 구성을 달성하며, 이것은 초음파 충격에 의해 유발되는 소성 변형으로 인해 형성되고 용접부와 모재 사이의 매끄러운 전이부를 제공한다.

[0057] 이와 같이, 용접 구조물의 조립에서 그리고 결과의 용접 조인트에서 고-강도강의 이용이 가능하다.

[0058] (B) 응력 집중부를 갖는 용접 조인트

[0059] 조인트의 용접 토우에서의 재료의 물리적 및 기계적 성질, 작용 응력의 성질 그리고 응력 집중 영역에서의 그 분포는 용접 토우에서의 용접부와 모재 사이의 전이부의 기하 형상에 의존하는 집중 인자와 함께 응력 집중부를 갖는 용접 조인트에 대한 기본 강도 및 피로 저항 기준이다.

[0060] 용접 조인트는 용접 조인트를 형성하는 미처리 재료에 비해 명목 수치보다 높게 처리된 용접 조인트 재료의 강도, 연성 및 충격 강도를 개선시키기 위해 응력 집중 영역의 초음파 충격 처리에 의해 본 발명에 따라 얻어진다. 추가로, 용접 조인트는 외부 하중에 따라 변경 및 조정되며, 이것은 수행된 응력 집중 영역의 초음파 충격 처리가 처리된 영역 내에 적절한 잔류 압축 응력을 유도하기 때문이다.

[0061] 처리된 영역의 상태, 특성 및 성질은 초음파 충격의 진폭 및 길이 그리고 초음파 충격 처리 동안의 그 반복 속도에 의존하는 초음파 및 임펄스 소성 변형의 특징에 의해 결정된다. 결과적으로, 응력 집중 영역 내의 용접

조인트 재료의 극한 강도 및 피로 한계는 용접 조인트를 형성하는 재료보다 크다.

[0062] 이러한 상태 하에서의 용접 조인트의 변형의 모드는 잔류 응력 그리고 동등한 소성 및 탄성 변형에 의해 한정된다. 초음파 충격 처리로 인한 초음파 소성 변형의 영역 내에서의 적절한 잔류 압축 응력은 재료의 큰 명목 항복점 이상이다. 탄성 변형 그리고 각각의 탄성 응력은 탄성 응력을 평형화하는 잔류 압축 응력의 최대치로부터 처리된 재료의 깊이에서 지수적으로 감소하며, 한편 그 표면 상하에서의 잔류 및 탄성 응력의 수준 및 분포는 환경 영향 및 작용 응력을 보상하도록 수립된다.

[0063] 응력 집중 영역 내에서의 응력 및 변형 분배가 여기에서 설명된 알고리즘에 따라 수행되는 초음파 충격 처리의 결과로서 이러한 영역 내에서의 재료 성질 면에서의 변화와 함께 도5에 도시되어 있다.

[0064] 위험한 응력 집중부가 대체로 용접 토우에서 편중된다는 것이 주지되어 있다. 이것은 용접부와 모재 사이의 부적절한 예리한 전이부, 현저한 용접 결함(오버랩, 불규칙부, 언더컷 등)의 이러한 구역 내에서의 존재 그리고 또한 용접 수축 및 냉각에 의해 유발되는 인장 잔류 응력에 기인한다.

[0065] 본 발명에 따르면, 초음파 충격 처리가 금속 두께 및 용접 토우 각도에 따라 약 0.5 ㎜ 이상의 그 경계부에서의 반경, 0보다 크고 최대 약 10 ㎜인 폭, 그리고 0보다 크고 최대 약 2 ㎜인 깊이를 갖는 홈을 형성함으로써 용접부와 모재 사이의 매끄러운 전이부를 생성시킨다. 초음파 충격 처리 조건이 응력 제거, 홈 조도[Ra = 1905 ㎛ (75 μin)], 유도된 압축 응력의 크기 및 성질(재료의 극한 강도 이상), 소성 변형 영역 내에서 약 2 ㎜ 이상 그리고 탄성 변형 영역 내에서 약 5 ㎜ 이상의 깊이까지의 그 효과, 그리고 최초 상태의 약 20% 이하의 지점까지의 잔류 용접 응력 완화를 한정한다.

[0066] 용접 조인트를 제공하기 위한 파라미터는 0보다 크고 최대 약 80 ㎑인 주파수에서 0보다 크고 최대 약 50 ㎛인 충격시 초음파 진동 진폭, 0보다 크고 약 500 ㎐ 이하인 충격 주파수, 약 0.2 ㎜ 이상의 공구 자기-발진 진폭, 0보다 크고 최대 약 0.5인 충격 임펄스의 오프-듀티 인자, 적어도 약 3 ㎏의 압력을 포함하며, 위의 파라미터의 결과로서, 응력 집중 영역에서 압축 응력을 생성시키고 재료 극한 강도 성질을 변경할 정도로 충분한 충격 에너지는 최초 응력을 초과하고 외부 작용력을 보상할 정도로 충분하다.

[0067] 위에서-언급된 조건 하에서 이 방법에 따라 수행된 탄소강의 초음파 충격 처리는 위에서 기재된 물리적 인자의 조합 작용 그리고 또한 용접 조인트 재료의 소성 변형에 의한 용접 결함의 제거의 결과로서 용접 조인트의 피로 한계를 증가시킨다.

[0068] (C) 균형 및 불균형 하중이 적용되는 용접 조인트

[0069] 최초 조건에서의 균형 및 불균형 하중 하에서 용접 조인트가 파괴에 저항할 수 있는 능력을 한정하는 제1 요건은 본 발명에 따른 성질을 얻기 위한 초음파 충격 처리 후의 이들 조인트 상에서의 하중의 불균형 성질이다. 그러나, 용접 조인트의 최종의 응력 상태는 용접 조인트 상에서의 외부 하중의 상태에 항상 의존할 것이다. 이것을 기초로 하여, 용접 조인트의 초음파 충격 처리는 실제의 하중에 근접하는 조인트 상에서의 균형 또는 불균형 하중과 동시에 본 발명의 알고리즘에 따라 수행된다.

[0070] 지정된 용접 조인트 상에서의 외부 하중의 수준 및 성질 그리고 수행되는 초음파 충격 처리의 관련된 파라미터는 지정된 용접 조인트의 작동 동안에 균열 형성을 유발시키는 인자의 효과를 보상하기 위한 적절성의 조건에 의해 결정 및 조정된다.

[0071] 본 발명의 일부로서 초음파 충격 처리 적절성을 평가하는 절차는 아래에 기재된 바와 같이 수행될 수 있다.

[0072] 초기에, 실제의 하중에 충분한 변동 하중 상태가 샘플 또는 용접 후에 그대로 방치된 상태에서의 실제의 용접 조인트에 적용되고, 하중으로 인한 응력 또는 동등한 변형이 임의의 종래의 수단에 의해 측정된다. 요구된 충격 에너지를 계산함으로써, 초음파 충격 처리의 파라미터가 그 다음에 응력 또는 변형을 보상하도록 결정된다. 그 후, 초음파 충격 처리가 변동 하중과 함께 적용되고, 위험한 작용 응력 또는 변형에 대한 보상의 수준이 이전에 사용된 측정 절차에 의해 수립된다. 요구되면, 초음파 충격 처리의 설계 파라미터가 용접 조인트가 수행되어야 하는 역할에 의해 한정된 바와 같이 응력 또는 변형을 보상하도록 수정된다.

[0073] 하중과 동시에 적용된 용접 조인트의 초음파 충격 처리는 고정되지 않은 구조물 상에서 자유 상태에서, 고정된 구조물 상의 강성 외곽부에서 또는 일정, 가변 및 균형 하중 하에서 수행될 수 있다.

[0074] 위에서 설명된 바와 같이 문제점을 해결하기 위해, 탄소 구조강 및 스테인리스강 그리고 요망된 성질을 갖는 알루미늄 및 티타늄 합금으로부터 형성되는 용접 조인트를 제공하기 위한 초음파 충격 처리의 파라미터는 0보다

크고 최대 80 ㎑인 주파수에서 0보다 크고 최대 약 50 ㎛인 충격시 초음파 진동 진폭, 평균적으로 약 1 ㎳ 이상의 지배 충격 지속 시간을 갖는 0보다 크고 최대 500 Hz인 충격 주파수, 약 0.2 ㎜ 이상의 공구 자기-발진 진폭, 약 3 ㎏ 이상의 압력을 포함하며, 위의 결과로서, 충격 에너지는 최초의 압축 응력 및 강도 성질보다 크게 하기 위해 압축 응력을 생성시키고 응력 집중 영역 내의 재료 극한 강도 성질을 변경할 정도 이상이고, 외부 작용력을 보상할 정도로 충분하다.

[0075] 외부 인자의 위험한 효과의 보상을 가져오는 동시적 초음파 충격 처리의 결과로서의 하중 상태 면에서의 변화가 예시의 거더 구조물(girder structure)을 통해 도6a 및 도6b에 도시되어 있다. 도6a는 상이한 응력 하중 하의 거더를 도시하고 있다. 거더(10)는 정적 하중 Fc 하에서의 거더를 도시하고 있다. 거더(11)는 주기적, 변동성 또는 동적 하중 Fv를 도시하고 있다. 거더(12)는 복합 하중 즉 Fc + Fv 하에 있다. 도6b는 초음파 충격 처리 후의 동일한 거더에서의 응력 상태에 비교될 때의 각각의 거더(10, 11, 12)에 대한 응력 집중 영역 내의 초기 응력 상태를 도시하고 있다.

[0076] 또 다른 예시의 구조물이 도7a에 도시된 바와 같은 소위 "소켓 용접 조인트"이다. 도7a에서, 도면 부호 20은 소켓 용접 조인트를 표시하고, 도면 부호 21은 조인트를 위한 용접부의 처리에서 초음파 충격 공구를 표시한다. 독특한 이러한 "소켓 용접 조인트"의 특징은 이러한 조인트가 변동 및 교대 하중의 양쪽 모두를 갖고 용접 조인트를 형성하는 재료 면에서 비교적 작은 두께를 갖는 구조물에서 일반적으로 사용된다는 것이다. 이러한 경우에, 본 발명에 따른 응력 집중 영역의 초음파 충격 처리가 처리된 재료의 약 0.15 ㎜ 이하의 두께의 치수 및 깊이의 홈을 형성한다. 도7b는 초음파 충격 처리 전후의 조인트를 도시하고 있다. 처리 후, 용접 조인트는 전체 두께가 약 4 ㎜일 때에 최소 약 0.5 ㎜의 반경(22), 0보다 크고 최대 약 10 ㎜인 폭, 0보다 크고 최대 약 2 ㎜인 깊이, 그리고 약 0.15 ㎜의 웹 두께를 갖는다.

[0077] 이와 같이, 응력 집중 영역 내에서의 재료 성질의 변경은 조인트의 응력 집중 영역 내에서 유도되는 특정한 수준의 압축 응력을 가져온다. 이러한 응력을 생성시키는 조건 그리고 용접 조인트 치수 그리고 소켓 용접 조인트를 형성하는 재료의 두께와 관련된 홈 치수는 응력 집중 영역 내의 조인트 재료의 항복 강도보다 높은 응력을 유도하는 변동 및 주기적 하중 하에서 우수한 파괴 강도를 전체적으로 소켓 용접 조인트에 제공한다. 도7c는 초음파 충격 처리 전후의 조인트의 주기 응력을 비교하여 도시하고 있다. 따라서, 일정한 하중 및/또는 변동 하중의 편중화의 측면 상에서의 용접 토우 및 하중-지지 구성 요소의 하중 상태 및 초음파 충격 처리는 용접 토우를 따른 및/또는 바닥부 내에서의 모재의 항복점보다 높은 응력 집중으로 인해 활동성 균열의 형성을 유발시키는 정적 또는 주기적 또는 변동 응력의 영향을 보상하기 위해 초음파 소성 변형, 압축 응력의 생성 및 분배 그리고 용접부와 모재 사이에서의 전이부의 형성을 개시한다.

[0078] (D) 결함 그리고 손상된 영역(균열 포함)을 갖는 용접 조인트

[0079] 용접 구조물의 조립 및 작동의 실시는 용접 결함, 재료 구조적 결함, 중간-구조 손상 및 균열을 갖는 용접 조인트의 수명 및 신뢰성의 개선과 관련되는 독립적인 그룹의 문제점을 제시한다.

[0080] 본 발명에 따라 수행되는 초음파 충격 처리의 장점은 위의 결함이 검출되고 그에 의해 신뢰성 있는 조인트를 가져오는 용접 조인트의 성질을 제공하는 것을 가능케 한다. 이러한 경우에서의 용접 조인트 변형을 위해 중요한 것으로, 초음파 소성 변형, 외력 임펄스(충격)로 인한 변형 그리고 용접 조인트의 재료 내로 도입되는 잔류 압축 응력이 있으며, 여기에서 이들은 재료 조건에 대한 초음파 충격 영향의 이들 인자를 위한 위에서-설명된 파라미터 내에 있다.

[0081] 결함성 용접 조인트를 변형시킬 때에 매우 중요한 것으로, 초음파 소성 변형 즉 위에서-설명된 결함을 덮고 작용 하중으로 인한 외력 하에서 그 전개를 지연시키는 용접 조인트의 재료 내로 도입된 충격 및 잔류 압축 응력에 의해 유발되는 변형이 있다.

[0082] 균열은 용접 조인트 재료 내의 위험한 결함의 가장 흔한 예이다. 상이한 균열 크기를 사용하는 것은 사실상 내부 조건을 한정하는 것 그리고 외력 하에서 다른 종류의 결함에 의해 생성되는 초기 조건 또는 파괴의 단계를 시뮬레이션하는 것을 가능케 한다.

[0083] 균열을 포함한 모든 종류의 용접 결함의 위험한 영역은 도8a 내지 도8c에 도시된 바와 같은 응력 집중 영역이다. 또한, 초음파 충격 처리에 의해 유발되는 압축 응력장 내의 결함 지연 기구가 또한 도8a 내지 도8c에 도시되어 있다. 도8a에서, 도면 부호 30은 초음파 충격 처리 전에 균열을 포함하는 결함성 용접 조인트 그리고 그와 관련되어 존재하는 응력을 표시한다. 도8b는 압축 응력장을 생성시키기 위한 초음파 충격 공구(31)로의 결함성 영역의 처리를 도시하고 있다. 도8c는 초음파 충격 처리 후의 용접 조인트(32) 그리고 그 내에 존

재하는 응력 면에서의 변화를 도시하고 있다(도8a 및 도8c의 비교).

[0084] 장력 벡터가 최대 결함 영역이 나타나는 평면 상에 직각일 때의 결함이 가장 가혹한 위험이다. 도8a 내지 도8c에 도시된 경우에, 균열 주변부는 응력 집중 영역을 한정한다. 결함에 본 발명에 따른 초음파 충격 처리에 의해 압축 응력장이 적용될 때, 이것이 응력 집중 영역 내의 부적절한 인장 응력을 보상하고 응력 집중 위험이 일어나기 어려운 재료의 영역으로 이들을 변위시키는 것을 가능케 한다.

[0085] 이러한 경우에, 초음파 충격 처리가 외력 작용의 부적절한 상태 하에서 결과의 압축 응력을 유지할 정도로 충분한 거리에서 있을 수 있는 응력 집중부로부터 멀리 있을 수 있는 인장 응력을 변위시킬 정도로 충분한 치수를 갖는 표면 상에 편중된다. 이러한 표면의 치수는 여기에서 설명된 바와 같이 결함 전개 및 지연 조건을 시뮬레이션하는 동안에 결정된다. 요망된 용접 조인트를 제공하기 위한 이러한 경우에서의 초음파 충격 처리 파라미터가 0보다 크고 약 10 ㎏ 이하인 공구 압력; 0보다 크고 약 500 ㎐ 이하인 초음파 충격 주파수; 평균 약 1 ㎳ 이상의 초음파 충격의 지배 지속 시간; 처리될 재료의 성질 그리고 표면 상태 요건에 따라 0보다 크고 최대 약 100 ㎑인 초음파 반송 주파수; 약 30 ㎛ 이상의 충격 동안의 압입자의 초음파 발진 진폭; 그리고 약 0.2 ㎜ 이상의 충격 진폭을 포함한다. 본 발명의 방법에 따라 한정되고 위의 파라미터 그리고 대응하는 압입자 질량에 의해 표현되는 충격 에너지는 약 2 ㎜ 이상의 깊이까지 소성 변형 영역 내에서 그리고 인장 응력의 잔류 효과를 보상할 정도로 충분한 깊이까지 탄성 변형 영역 내에서 압축 응력을 생성시키도록 설정된다.

[0086] 이렇게 얻어진 새로운 성질 그리고 용접 조인트 재료 상태가 지정된 용접 조인트 상의 작용 하중으로부터 기인하는 위험한 응력의 효과에 대한 보상 그리고 그에 의해 또한 조인트가 작동 중일 때의 결함 전개의 지연을 가능케 한다.

[0087] (E) 제조 정확도에 대한 특정된 요건을 갖는 용접 조인트

[0088] 용접 조인트의 기하학적 정확도가 제1 품질 및 신뢰성 특성이다. 본 발명에 따른 초음파 충격 처리가 이러한 기초 기술 요건을 충족시키는 것을 보증하는 특징 시스템을 특징으로 한다. 이러한 특징은 (응력 및 변형의) 초음파 완화, 초음파 및 임펄스 소성 변형(재료 재분배) 그리고 압축 응력의 생성(인장 및 압축 응력 및 변형의 재분배)을 기본적으로 포함한다.

[0089] 이와 같이, 용접 조인트에서 특정된 정확도를 얻기 위한 4개의 방식은 다음과 같다: (1) 강성 부착물(고정된 위치)을 사용하여 본 발명에 따라 수행되는 초음파 충격 처리 그리고 고정에 의해 유발되는 잔류 용접 응력의 초음파 완화, (2) 고정 없는 용접, 본 발명에 따른 조인트 영역 내의 용접부 및 모재의 초음파 및 임펄스 소성 변형, 조인트 내에서의 재료 재분배, 그리고 수축 및 그에 따른 용접 변형에 대한 보상, (3) 초음파 충격 처리에서 위의 (1) 및 (2)를 조합하는 방식, 그리고 (4) 방향에 의한 용접 수축의 분할(그 차별화) 그리고 이들 방향으로의 조인트 변형에 대한 보상을 고려한 초음파 충격 처리.

[0090] 특정된 구성 정확도 요건을 갖는 용접 조인트를 얻는 위의 예는 역할 그리고 그 해결책의 특정한 상태에 따라 용접 동안에 또는 용접부가 냉각될 때에 고온(주위 온도보다 높은) 금속 위에서, 또는 용접 후에 저온(대략 주위 온도에서의) 금속 위에서 적용된다.

[0091] 방향성 용접 수축을 고려한 대칭 모서리 용접 조인트를 예로서 사용한 용접 변형 보상의 기술이 도9a, 도9b 및 도9c에 도시되어 있다. 도9a는 용접 조인트(40) 그리고 그 내에서의 공차를 도시하고 있다. 도9b는 초음파 충격 공구(41)로의 초음파 충격 처리 후의 용접 조인트를 도시하고 있다. 변형 및 공차가 다음과 같이 도9b에 표시되어 있다: a 및 f는 각각 초음파 충격 처리 후의 잔류 변형을 표시하고, b 및 e는 각각 공차를 표시하고, c 및 d는 각각 잔류 용접 변형을 표시한다. 도9c는 변형 보상 방향 조정을 개략적으로 도시하고 있다. 조인트 내의 잔류 용접 변형이 후속하는 잔류 용접 응력의 초음파 완화 또는 용접 금속의 초음파 및 임펄스 소성 변형 그리고 재분배와 관련하여 강성 부착물을 생성시킴으로써, 또는 이들 효과의 조합에 의해 중 어느 하나에 의해 보상되고, 그에 의해, 이렇게 함으로써, 용접 조인트 방식 및 용접 공정에 따라 그 길이 방향 및 폭 방향 수축 사이의 비율과 용접 금속의 소성 변형의 방향 및 크기를 조정한다.

[0092] 역할에 의해 특정되는 방향으로의 변형에 대한 보상 동안에, 초음파 충격 처리 공구 마크 오버랩 계수($K_o$)를 선택하는 원리가 사용된다. $K_o$의 최대 수치는 특정된 정확도를 제공하도록 보상되어야 하는 큰 잔류 변형의 방향에 대응하며, 한편 $K_o$의 최소 수치는 작은 잔류 변형의 방향에 대응한다. 다양한 방향으로의 잔류 변형은 이러한 방향으로 용접 금속 및 용접-부근 영역의 수축에 대응하며, 변형 보상이 초음파 충격 처리로 인한 소성 변형에 의해 유발되는 국부 체적의 용접 금속 및 용접-부근 영역의 누적 변위의 합에 대응한다. 양수이도록 그리고

표면이 공구 마크로 완전히 덮일 때의 압입 직경 차이와 압입 중심-대-중심 거리 사이의 관계와 동일하도록 $K_o$를 취하면 그리고 압입 중심-대-중심 거리에 대한 압입부간 거리의 비율이 단속적 처리 동안에 음의 오버랩 계수에 대응하면, 초음파 충격 처리가 $1 > K_o > -1$을 충족시키는 수치의 범위 내에서 특정된 방향으로의 변형 보상의 제어를 제공한다.

[0093] 이와 같이, 약 90 m/분의 공구 또는 공작물 이동 속도에서, $K_o$는 500 Hz의 초음파 충격 주파수 그리고 3 ㎜의 압입 직경에서도 양이 된다. 그러나, 실제의 초음파 충격 처리 속도는 0보다 크고 최대 약 5 m/분인 범위 내에 있다. 이것은 본 발명의 방법에 따른 초음파 충격 처리의 신뢰성 그리고 넓은 범위 처리 조건 내에서의 $K_o$의 제어를 강조한다. 즉, 넓은 범위의 처리 조건은 약 4 ㎏ 이상의 공구 상에서의 압력, 약 100 Hz 이상의 충격 주파수; 약 0.2 ㎜ 이상의 충격 진폭, 약 1 ms 이상의 충격 지속 시간, 약 15 ㎑ 이상의 반송 초음파 주파수, 그리고 강 및 고-강도 합금이 처리될 때에 약 30 ㎛ 이상의 그리고 최대 350 ㎫의 항복 강도를 갖는 알루미늄 합금 및 금속이 처리될 때에 약 30 ㎛ 이하의 충격 동안의 초음파 진동 진폭을 포함한다.

[0094] (F) 수리된 용접 조인트

[0095] 수리된 용접 조인트가 용접 구조물의 넓은 영역의 조립 및 작동 예컨대 용접 결함, 파괴 및 균열의 수리를 담당하고, 그에 의해 구조물 및 그 요소를 보강하고, 또한 구조적 안정성 및 하중-지지 능력 면에서 추가의 개선을 제공하고, 형성 및 운영의 도중에 구조적 구성을 수정한다. 동시에, 용접 조인트의 수리가 잔류 용접 응력, 변형 그리고 응력 집중 영역 및 그에 의한 규제되지 않은 금속 피로의 출처이다.

[0096] 본 발명에 따라 수행되는 초음파 충격 처리가 이들 문제점을 해결하고, 개선된 성질 즉 용접 조인트 재료의 항복 강도의 약 0.5 이하의 잔류 응력의 수준, 지정된 조인트에 대해 특정된 치수 공차의 100% 이하의 잔류 용접 변형 그리고 지정된 용접 조인트의 모재 이상의 피로 저항을 갖도록 수리되는 용접 조인트를 가져온다.

[0097] 수리된 용접 조인트 상에서의 작용의 기구 그리고 초음파 충격 처리로 인한 균열 및 응력 재분배가 도10a 내지 도10d에 도시되어 있다.

[0098] 도10a에 도시된 바와 같이, 인장력에 직각인 평면 내의 또는 그 평면에 근접한 공간 표면 내의 균열은 이러한 힘으로 인한 통상의 설계 응력보다 다수배 큰 응력의 집중을 생성시킨다.

[0099] 수리된 용접 조인트가 상황을 약간 개선시킨다. 그러나, 이것은 용접 피착물의 길이 방향 수축에 의해 유발되는 수리 용접의 종료 시에 새로운 잔류 인장 응력 집중을 생성시킨다(도10b).

[0100] 본 발명에 따른 초음파 충격 처리(도10c)가 위험한 용접 피착물 영역 내의 압축 응력(도10d)에 의해 교체되는 부적절한 잔류 인장 응력을 재분배한다. 이것이 일어남에 따라, 인장 응력이 용접 조인트 하중-지지 용량에 대해 안전한 통상의 응력의 영역 내로 이동하고, 표준 절차에 의해 계산될 수 있다.

[0101] 조인트에 의해 수행되는 역할에 의해 한정된 바와 같은 수리된 용접 조인트의 초음파 충격 처리가 냉각된 금속에 그리고 저온 금속에 용접의 도중에 적용된다.

[0102] 이와 같이, 용접 금속의 품질 그리고 구조적 결함 형성에 대한 그 저항을 개선시키기 위해, 본 발명에 따른 초음파 충격 처리가 용접 동안에 수행된다. 수리 용접 영역 내에 편중되는 잔류 용접 변형 및 응력을 보상하기 위해, 본 발명에 따른 초음파 충격 처리가 냉각될 금속 상에서 수행된다. 초음파 충격 처리가 용접 조인트 금속을 경화시키고 위험한 영역 내에 적절한 압축 응력을 생성시키고 위험한 인장 응력을 교체 및 완화시키기 위해 저온(주위 온도) 금속 상에서 수행된다.

[0103] 용접 조인트를 제공하기 위해 이렇게 함으로써, 강의 수동식 처리 동안의 초음파 공구 상에서의 압력은 약 3 ㎏ 이상이며, 이것은 기계식 처리의 경우에 최대 20 ㎏까지 증가할 수 있고, 충격 주파수는 약 80 Hz 이상이고, 충격 진폭은 0.2 ㎜ 이상이고, 충격 길이는 평균 약 1 ms 이상이고, 압입자 초음파 진동의 반송 주파수는 약 15 ㎑ 이상이고, 충격 동안의 초음파 진동 진폭은 고온(주위 온도보다 높은) 금속이 처리될 때에 약 20 ㎛ 이상 그리고 냉각될 금속 및 저온 금속을 처리할 때에 약 30 ㎛ 이상이다. 알루미늄 합금의 용접 피착물이 처리될 때, 초음파 진동 에너지가 재료의 강도를 조건으로 하여 최대 40%만큼 감소된다.

[0104] (G) 루트부 균열 발생으로부터 보호되는 불완전 용입을 갖는 모서리 조인트

[0105] 루트부 균열 형성에 대해 보호되고 하중-지지 용량을 갖는 용접 조인트가 완전, 부분 또는 불완전 용입을 갖는 용접 조인트의 종류 및 치수를 선택함으로써 얻어진다. 이것을 성취하는 것은 조인트 부분 또는 불완전 용입을

가질 때에 특히 어렵다.

[0106] 루트부 균열 형성의 원인은 웹 단부와 플랜지 평면 사이의 간극 내에서 이들과 용접 금속의 플랭크 각도와 주로 관련되며, 이것은 모서리 조인트에 의해 예시될 수 있다. 음의(예각의) 플랭크 각도의 경우에, 균열 형성은 용접 조인트의 이러한 영역 내에서의 응력 집중으로부터 직접적으로 기인한다.

[0107] 용접 동안에 수행되는 용접 조인트의 초음파 처리가 용접부의 루트부 내에서 용융된 금속과 고체 금속 사이의 경계부에서 열 교환 조건을 변화시킴으로써 이러한 문제점을 해결한다. 이러한 현상은 다음과 같이 설명될 수 있다. 용접 동안의 초음파 충격이 임펄스 및 초음파 응력 파동이 용접 금속 그에 따라 용융된 금속 내에서 전파되게 한다. 결과적으로, 강력한 음파 유동이 열 교환 활성화 따라서 이러한 영역 내에서 웹과 플랜지 사이에 간극을 형성하는 금속 표면의 큰 용입에 기여하는 용접 루트부 내의 용융-고체 금속 경계부에서 형성된다. 이와 같이, 본 발명의 절차를 기초로 하여, 용접 루트부 내에서의 웹 및 플랜지 금속의 용입 구성을 제어하기 위한 기구가 제공될 수 있고, 그에 의해 플랜지 표면 및 웹 단부와 용접 금속의 양의(둔각의) 플랭크 각도를 갖는 용접 조인트의 실질적으로 새로운 출현을 가져오며, 이것은 나중에 지정된 용접 조인트가 용접 루트부 내에서의 응력 집중 및 피로 균열 형성에 저항하는 것을 보증한다.

[0108] 웹 금속과 플랜지 금속 사이의 간극 내에서 이들과 용접 금속의 양의(둔각의) 플랭크 각도에 의한 루트부 균열 형성으로부터 보호되는 용접 조인트의 형성이 도11a 및 도11b에 도시되어 있다. 도11a는 초음파 충격 처리 없이 형성되는 용접부(50)를 도시하고 있다. 도11b는 용접 동안의 초기의 동작 위치(52) 그리고 연속 동작 위치(53)에서 초음파 충격 공구를 사용하여 초음파 충격 처리가 적용되는 용접부(51)를 도시하고 있다.

[0109] 도11a 및 도11b에 도시된 바와 같은 공구 각도 및 초음파 충격 처리 영역의 선택은 풀 경계부에 대해 구체적으로 지향되는 음파 유동의 용융 풀 내에서의 형성을 가능케 한다. 이것은 나중에 용접 금속이 모재를 적절하게 충족시키는 방향으로의 플랜지 및 웹 금속 용입의 제어를 위한 가능성을 제공한다.

[0110] 이와 같이, 플랜지 측면 표면에 초음파 충격 처리가 적용될 때[도11b의 동작 위치(53)], 웹에 비해 플랜지 금속의 양호한 용해를 위한 필요 조건이 생성된다. 근접한 효과가 45° 초과의 각도만큼 플랜지 평면에 대해 공구 각도를 증가시킴으로써 얻어질 수 있다[도11b의 위치(52)]. 처리 동안의 처리 조건, 공구 각도 및 위치의 선택이 용접 조인트의 용접 공정, 재료 및 치수에 의존한다. 탄소강으로 형성되는 이러한 종류의 용접 조인트를 제공하기 위한 위에서 언급된 양호한 초음파 충격 처리 조건은 강의 수동식 처리 동안에 약 3 ㎏ 이상의 그리고 기계식 처리 동안에 0보다 크고 최대 약 25 ㎏인 공구 압력; 0보다 크고 최대 약 800 ㎐인 충격 주파수; 약 0.2 ㎜ 이상의 충격 주파수; 약 18 ㎑ 이상의 초음파 진동 반송 주파수; 약 400℃를 넘는 온도 범위에서 0보다 크고 최대 약 20 ㎛이며, 약 400℃ 미만의 온도 범위에서 0보다 크고 최대 약 30 ㎛인 초음파 진동 진폭; 그리고 평균 약 1 ㎳ 이상의 초음파 충격 지속 시간을 포함한다.

[0111] 플랜지와 웹 사이에서의 용접 금속의 적절한 재분배로써, 본 발명에 따른 초음파 충격 처리가 용접 후에 그대로 방치된 조인트의 변형의 표준 모드의 최소 40%의 잔류 용접 응력을 감소시킨다.

[0112] 위에서 설명된 열 교환 활성화와 동시에, 본 발명에 따른 초음파 충격은 용융된 금속에 대한 표면 장력 감소 효과를 개시시키고, 이러한 현상의 결과로서, 용융된 금속의 유동성을 증가시킨다. 즉, 초음파 및 임펄스 응력 파동이 초음파 충격 처리의 결과로서 용접 금속을 통해 용접될 재료로 전달되고, 웹 및 플랜지 단부들 사이의 간극 내의 이들 상에서의 용융된 금속의 유연성 그에 따라 유동성을 증가시킨다. 음파 유동에 의해 활성화된 용융 풀의 온도는 모서리를 추가로 용해시키고, 그에 의해 도12a 및 도12b에 도시된 바와 같이 모세관에서와 유사한 오목한 메니스커스를 형성한다. 용융된 금속 유동성은 최대 300 ㎑의 초음파 진동 반송 주파수 그리고 최대 2500 ㎐의 초음파 충격 반복 속도의 넓은 범위 내에서 증가한다는 것이 수립되었다. 초음파 충격 처리 파라미터가 용접 재료 및 소모품, 용접 조인트의 종류 및 크기 그리고 용접 공정 및 조건에 따라 본 발명의 방법에 따라 한정된다. 도12a 및 도12b에 도시된 바와 같은 용접 조인트의 개략도에서, 도12a는 초음파 충격 처리가 적용되지 않은 용접부(60) 그리고 그 내에 형성된 균열을 도시하고 있다. 도12b는 초음파 충격 처리가 적용된 용접부(61)를 도시하고 있다. 용접 루트부 내의 메니스커스는 도면 부호 62에 의해 표시되어 있다. 초음파 충격 공구는 용접부 상의 초기 동작 위치(63)에서 그리고 용접부의 처리 동안의 연속 동작 위치(64)에서 도시되어 있다. 루트부를 형성하는 동안에 본 발명의 파라미터 내에서 수행되는 초음파 충격 처리로 형성된 불완전 및/또는 부분 용입을 갖는 모서리 용접 조인트는 용접 금속, 플랜지 또는 웹을 넘어 진행하고, 메니스커스(62)를 생성시키는 간극 내에서 용접부와 모재 사이의 확산 또는 접착 결합 그리고 기부와 용접 금속 사이의 매끄러운 전이부로부터의 응고 시에 예리한 모서리의 용해 유무에 따라 보강재 또는 웹 단부와 플랜지 또는 웹 플랜트 사이에서 (초음파 충격 하에서) 간극을 충전하는 용융된 금속을 가져오고, 그에 의해 응력 집중 효과 그리고 용접

부의 루트부 내에서의 피로 균열 형성에 대한 지정된 용접 조인트의 저항을 증가시킨다.

[0113] 이와 같이, 1개의 추가의 기구가 본 발명에 따른 초음파 충격 처리의 결과로서 웹 단부 및 플랜지 표면과 용접 금속의 양의(둔각의) 플랭크 각도를 가능케 한다. 이것은 응력 집중 및 피로로 인한 루트부 균열 형성으로부터 보호되는 새로운 용접 조인트가 형성되는 방법을 설명하고 있다.

[0114] (H) 스폿 용접 조인트

[0115] 피로 저항 기준을 기초로 하여 용접 조인트의 품질 및 신뢰성을 증가시킬 필요성과 관련되는 특정한 역할이 스폿 용접과 관련된다. 제1 문제점은 용접 조인트 영역 내의 위험한 영역이 종래의 응력 집중 처리 기술에 대해 접근 불가능하다는 것이다. 이것은 용접될 재료의 전체 두께를 횡단하여 용접 조인트의 변형의 모드를 변형시킬 것을 필요로 한다. 이와 같이, 위험한 열 영향부는 응력 집중원을 포함할 것이 고려되어야 하고, 원 또는 용접 조인트의 경계부를 따라 원의 직경과 동일한 평균 직경을 갖는 링을 나타낸다.

[0116] 본 발명에 따른 초음파 충격 처리를 사용하여 형성되는 스폿 용접 조인트가 용접 영역 내의 전체 금속 두께를 횡단하여 높은 수준의 초음파 소성 및 임펄스 변형을 특징으로 하며, 피로 한계는 미처리 조인트보다 최소 약 1.3배 크고, 모재 이상의 극한 강도를 갖는다.

[0117] 스폿 용접 조인트의 개략도가 도13a 내지 도13e에 도시되어 있다. 도13a는 미처리 스폿 용접 조인트(70) 그리고 그와 관련된 응력을 도시하고 있다. 도13b는 정지 판(73)과 관련하여 스폿 용접부의 처리에서의 초음파 충격 공구(71)를 도시하고 있다. 도13c에서, 2개의 초음파 충격 공구(71, 72)가 스폿 용접과 관련하여 이용된다. 도13d는 스폿 용접부에 대한 정지판 또는 공구(74) 및 공구(75)로부터의 충격의 접촉부의 지점의 확대도이다. 도13e는 처리된 조인트(76) 그리고 그와 관련된 응력을 도시하고 있다.

[0118] 스폿 용접 조인트의 초음파 충격 처리가 용접 동안에(용접 전극이 진동 속도 농축기 또는 압입자를 동시에 제공할 때에) 그리고 용접 후에 수행될 수 있다. 압입자는 용접 조인트 크기 그리고 그 사후-용접 조건에 따라 둥글고 평탄하고 원주 방향 작업 표면을 가질 수 있다.

[0119] 사실상, 초음파 충격 처리가 수동 또는 능동 공진 음파 디커플링, 수동 비공진 음파 디커플링 그리고 "앤빌(anvil)"로서 역할하는 강성 정지 블록을 사용하여 적용될 수 있다. 이것은 용접 조인트 영역 내에서의 소성 변형이 각각의 측면으로부터 순차적으로 또는 양쪽 측면으로부터 동시에 형성될 수 있다는 것을 의미한다.

[0120] 도13a에 도시된 바와 같이, 최대 인장 응력이 작용하는 스폿 용접 조인트의 위험 영역은 "접 용접부" 경계부에서 편중되고, 작용 응력 임계 집중 영역 내에 위치된다.

[0121] 본 발명에 따른 초음파 충격 처리가 용접 조인트에 적절한 압축 응력 영역을 완전히 적용하고, 응력 집중에 대한 임의의 구조적 필요 조건이 없는 영역으로 인장 응력 영역을 변위시킨다.

[0122] 이와 같이, 실험 데이터를 기초로 하여, 본 발명에 따른 초음파 충격 처리가 적어도 약 1.3배만큼 스폿 용접부의 피로 한계를 증가시키고, 모재 이상의 수준까지 피로 저항, 항복점, 극한 강도 및 충격 강도를 개선시킨다.

[0123] 탄소강 및 알루미늄 합금으로 형성되는 접 용접 조인트를 얻기 위해, 초음파 충격 처리 조건이 다음을 포함하고 조인트 종류 및 재료를 기초로 하여 설명된 양 내에서 변동한다: 약 80 ㎐ 이상의 초음파 충격 주파수, 약 0.2 ㎜ 이상의 진폭에서 평균적으로 약 1 ms 이상의 충격 지속 시간, 0보다 크고 최대 약 100 ㎑인 충격 동안의 압입자 초음파 진동 반송 주파수, 약 5 내지 40 ㎛의 범위 내의 충격 동안의 초음파 진동 진폭, 그리고 약 3 내지 약 30 ㎏의 공구 압력. 초음파 충격 처리로의 용접 동안 또는 초음파 충격 처리 동안의 시스템 "구조물 내의 공구-용접 조인트"의 공진 주파수의 안정화는 이러한 방식의 용접 조인트를 위한 방법 처리 종결 기준이다.

[0124] (I) 겹침 용접 조인트 및 가용접부

[0125] 겹침 또는 가용접 조인트는 용접 단부에서 균열 발생에 극히 취약하며 이 때 균열이 짧은 용접 부분 상에서 신속하게 전파된다. 이들 조인트 내에서의 균열 형성은 용접 결함, 부적절한 용접 토우 각도, 응력 집중, 조인트의 국부 안정성 및 강도의 손실, 그리고 피로에 주로 기인한다. 이들 문제점은 본 발명에 따른 초음파 충격 처리가 적용되고 그에 의해 용접부와 모재 사이의 매끄러운 전이부의 형성을 가져오는 용접 조인트를 생성시킴으로써 해결될 수 있다. 동시에, 가용접 단부에서의 그리고 용접 토우 라인을 따른 이러한 전이부에는 초음파 소성 변형이 적용되며, 한편 가용접부의 피로 한계는 미처리 조건에 비해 최소 약 1.3배 크고, 피로 저항, 극한 강도 및 충격 강도는 모재 이상이다. 용접 조인트 그리고 초음파 충격 처리에 기인하는 그 변형의 모드의 개략도가 도14a 내지 도14c에 도시되어 있다. 도14a는 미처리 겹침 조인트 그리고 그와 관련된 응력(80)을 도시하

고 있다. 도14b는 그 상에 표시된 바와 같은 압축 응력 영역을 생성시키기 위한 초음파 충격 공구(82)로의 처리 동안의 겹침 조인트를 도시하고 있다. 도14c는 처리된 겹침 조인트(84) 그리고 그와 관련된 응력을 도시하고 있다.

[0126] 구체적으로, 도14a는 최대 인장 응력이 길이 방향으로의 그리고 약간 정도로 폭 방향으로의 용접부 수축으로 인해 가용접 단부에서 편중된다는 것을 도시하고 있다. 이러한 상황은 가용접 단부 영역이 작용 중인 응력 집중 영역과 일치한다는 사실에 의해 악화된다.

[0127] 본 발명에 따른 초음파 충격 처리가 용접 조인트의 변형의 모드의 성질을 변화시키고, 인장 응력을 재분배하고, 압축 응력에 의해 이들을 대체하고, 응력 집중이 일어나기 어려운 용접 조인트 영역으로 작용 중인 하중으로 인한 인장 응력을 변위시킨다. 본 발명에 따른 초음파 충격 처리가 지정된 조인트의 설계 특징부로 인한 응력 집중 그리고 변동하고 역전되는 하중 사이클의 부적절한 성질 하에서의 금속 피로에 의해 유발되는 균열의 형성에 대한 지정된 용접 조인트의 저항을 개선시킨다.

[0128] 이와 같이, 잔류 응력 재분배와 동시에, 균열 형성에 대한 지정된 용접 조인트 저항의 개선이 또한 도14a 내지 도14c에 도시된 바와 같이 그 초음파 소성 변형 동안에 용접 조인트의 재료 성질을 변형시킴으로써 성취된다.

[0129] 요망된 용접 조인트를 제공하는 본 발명에 따른 초음파 충격 처리의 파라미터는 다음을 포함한다: 0보다 크고 최대 약 2000 ㎐인 초음파 충격 주파수, 평균적으로 약 1 ㎳ 이상의 초음파 충격 길이, 약 0.2 ㎜ 이상의 충격 진폭, 약 18 ㎑ 이상의 압입자 초음파 진동 반송 주파수, 탄소강에 대해 약 25 ㎛ 이상의 그리고 알루미늄 합금에 대해 약 30 ㎛ 이하의 충격 동안의 압입자 초음파 진동 진폭, 그리고 약 3 ㎏ 이상의 처리된 표면에 대한 공구 압력을 포함한다.

[0130] (J) 모서리 용접 조인트

[0131] 조인트 주변부를 따라 변동하는 홈 그리고 또한 90° 미만의 변동하는 플랭크 각도를 갖는 모서리 용접 조인트의 제조 정확도 그리고 높은 피로 저항, 그리고 완전한 용입을 얻는 것은 어려운 기술 문제점이다. 이러한 문제점은 존재하는 특정한 용접 응력 및 변형 분포 그리고 또한 용접 주변부를 따라 공간 조인트 내에 배향되는 복잡부의 형성의 기하학적 조건에 대한 조인트 피로 한계 의존성에 의해 악화된다.

[0132] 용접 동안에 그리고 저온 금속 위에서 본 발명에 따라 수행되는 초음파 충격 처리가 이러한 복잡한 조인트의 주변부를 따라 특정된 치수 정확도를 가능케 하고, 최소 1.3의 인자만큼 피로 한계를 증가시킨다. 초음파 충격 처리에 의해 처리되는 주변부를 따라 변동하는 홈 그리고 90° 미만의 각도를 갖는 모서리 용접 조인트의 개략도가 도15a 및 도15b에 도시되어 있다. 용접 조인트는 도면 부호 90으로서 표시되어 있으며, 용접부는 도면 부호 91로서 표시되어 있다. 초음파 충격 공구(93)는 상이한 용접부 처리 위치에서 도시되어 있다.

[0133] < 90°의 웹과 플랜지 사이의 각도 그리고 완전 또는 불완전 용입을 갖는 모서리 용접 조인트가 널리 사용되며, 이것은 우선 기술적 비용 최소화의 문제점을 가져오고, 그와 함께 치수 정확도 그리고 적절한 피로 한계 및 수명을 제공한다. 본 발명에 따른 초음파 충격 처리가 길이 방향 및 폭 방향 용접부 수축에 대한 초음파 및 임펄스 보상, 웹에 대한 플랜지의 대칭 각도 변형 그리고 응력 집중 영역 내에서의 재료 성질 및 상태 변형에 의해 이러한 문제점을 해결한다. 이것은 웹과 플랜지 사이의 각도가 < 90°인 용접 조인트를 제공하고, 그에 의해 특정된 조인트 치수 정확도 그리고 또한 각각 1.3 및 10의 인자 이상의 증가된 피로 한계 및 수명을 얻는다.

[0134] 본 발명에 따른 용접된 모서리 조인트의 개략도가 도16a 및 도16b에 도시되어 있다. 도16a는 용접 전에 모서리를 형성하는 공작물(100)을 도시하고 있다. 도16b는 초음파 충격 공구(102)에 의해 처리될 모서리 용접부(101)를 포함하는 공작물을 도시하고 있다. 초음파 충격 처리 후, 변형이 처리된 재료의 성질 면에서 존재한다. 초음파 충격 처리 후의 특정된 치수로부터의 이탈이 길이 방향 및 폭 방향 변형에 대한 공차 내에 있다. 처리 후의 용접된 모서리 조인트의 피로 한계는 미처리 상태에서의 용접된 모서리 조인트보다 최소 1.3배 크다. 처리 후의 용접된 모서리 조인트의 수명은 미처리 상태에서의 용접된 모서리 조인트보다 최소 10배 크다.

[0135] 이와 같이, 도15a 및 도15b 그리고 도16a 및 도16b에 도시된 바와 같은 변동하는 그리고 "일정한" 홈 경사 각도를 갖는 모서리 용접 조인트의 형성 및 보수는 최소의 생산 비용을 통해 한편으로 이러한 조인트의 필요한 정확도 그리고 다른 한편으로 그 특정된 수명을 제공하는 공학적 해결책을 찾아낼 필요성과 관련된다.

[0136] 모서리 용접 조인트의 정확도는 그 역할 수행 신뢰성, 설계 하중-지지 용량 및 외부 하중 저항을 보증하여야 한다. 용접 조인트의 내구성은 변동하고 역전되는 하중에 대한 용접 조인트의 저항을 통해 표현되는 수명을 보증하여야 한다.

[0137] 용접 조인트 정확도는 일반적으로 열 처리에 의해 그리고 값비싼 전도체 공구 세트를 사용함으로써 성취된다. 용접 조인트의 내구성은 모재 및 용접 소모품, 큰 용접 치수 그리고 잔류 응력 감소를 위한 열 처리의 선택으로의 특별한 접근법에 의해 성취된다.

[0138] 본 발명에 따른 초음파 충격 처리가 제조 비용을 최소화하고, 열 처리에 대한 필요성 그리고 용접에서의 대량의 용접 금속의 사용을 없앤다. 이것은 잔류 용접 응력 및 변형의 초음파 완화 및 재분배를 통해 그리고 또한 용접 조인트 재료의 초음파 소성 변형에 의해 영향을 받는 영역 내의 모재의 수준에 있게 하기 위해 용접 조인트 재료 성질을 변형시킴으로써 성취된다.

[0139] 본 발명에 따른 초음파 충격 처리가 제조 조건 및 용접 공정에 따라 용접 동안의 고온 금속에, 냉각 동안의 금속에 또는 용접 후의 저온 금속에 적용될 수 있다.

[0140] 본 발명에 따른 초음파 충격 적용의 결과는 용접 금속의 층 처리, 응력 집중 영역 내에서의 집중 해제 홈의 형성 그리고 처리 도중의 초음파 충격 처리의 공정-중 및 온-라인 제어에 의해 얻어진다.

[0141] 본 발명에 따른 모서리 용접 조인트에 대한 초음파 충격 처리 조건이 최대 약 1200 Hz의 초음파 충격 주파수, 약 1 ms 이상의 초음파 충격 길이, 약 0.2 ㎜ 이상의 충격 진폭, 약 18 ㎑ 이상의 압입자 초음파 진동 반송 주파수, 탄소강에 대해 약 25 ㎛ 이상의 그리고 알루미늄 합금에 대해 30 ㎛ 이하의 충격 동안의 압입자 초음파 진동 진폭, 그리고 수동식 또는 기계식 처리를 요구하는 약 3 ㎏ 이상의 처리된 표면에 대한 공구 압력을 포함한다.

[0142] (K) 용융 분리, 입자 크기, 탈기 및 기공

[0143] 용접 금속의 긴 지속 시간 및 긴 냉각의 조건 하에서 큰 체적의 용융 풀로 형성되는 용접 조인트는 용융 분리에 취약하다. 이러한 현상은 큰 입자의 성장 그리고 모재와의 그 경계부로부터 중심부로의 용융 풀 결정의 방향에 의해 주로 설명된다.

[0144] 용접 금속의 용접 및 냉각 동안에 본 발명의 파라미터 내에서 종결되는 초음파 충격 처리는 용융된 금속의 체적 초음파 결정 그리고 큰 입자의 초음파 및 임펄스 결정을 기초로 하여 이러한 문제점을 해결한다. 용융 풀 내에서의 체적 결정은 초음파 충격의 그에 대한 효과의 결과로서 용접부를 따른 초음파 파동 전파로부터 기인하는 초음파 진동에 의해 유발되는 음파 유동 및 향상된 공동 현상으로 인해 일어난다. 용접 금속 및 용접-부근 영역은 용접부 그리고 냉각될 용접-부근 금속에 대한 초음파 충격의 직접 작용 하에서 재결정된다. 이것은 모든 방향으로 용접부 단면을 횡단하여 특정된 용접 금속 상 균질성을 제공한다. 조직의 상 균질성을 갖는 용접 조인트가 대표 부분이 확대되는 도17a 및 도17b에 도시된 바와 같은 개략도에 따라 형성될 수 있다. 도17a는 용접부의 중심에서 용융 분리부(110)를 갖는 용접부를 도시하고 있다. 도17b는 용접부에 초음파 충격으로 활성화된 재결정부(111)를 제공하기 위해 본 발명의 파라미터 내에서 용접부를 처리하는 초음파 충격 공구(112)를 도시하고 있다. 충격은 화살표 그리고 실선 및 파선으로 도시된 공구(112)에 의해 표시된 바와 같이 도17b에 도시된 용접부를 횡단하여 제공된다.

[0145] 영하 그리고 고온 및 주위 온도에서의 충격 강도, 항복 및 극한 강도, 착사성(stringiness) 및 균열 저항 등의 용접 조인트 신뢰성을 책임지는 가장 중요한 특성은 입자 크기에 의존한다. 결정화 중심 형성에 대한 용융된 금속의 최대 민감도에 대응하여 그리고 입자 성장의 도중에 입자 재결정화까지 금속을 응고시키는 아크로부터 어떤 거리에 있는 이 방법의 파라미터 내에서 수행되는 초음파 충격 처리가 이러한 문제점을 성공적으로 해결한다. 가혹한 기계 강도 요건을 충족시키고 용접 금속 및 열 영향부의 미세한 입자 조직 때문에 특정된 물리적 및 기계적 성질을 소유하는 새로운 방식의 용접 조인트가 그에 의해 생성된다. 이러한 조인트가 얻어지는 방식의 개략도가 도18a 및 도18b에 도시되어 있다. 도18c는 조인트에 대한 초음파 충격 처리로부터 기인하는 기계 강도 및 충격 강도를 그래프로 도시하고 있다. 도18a는 초음파 충격 처리가 적용되지 않은 (설명을 위한 확대된 부분을 갖는) 용접부(120)를 도시하고 있다. 도18b는 화살표 그리고 실선 및 파선으로 도시된 공구를 따라 용접부를 횡단하여 이동하는 초음파 충격 공구(122)로의 처리에 의해 초음파 충격 활성화 재결정부를 갖는 (설명을 위해 확대된 부분으로 도시된) 용접부(121)를 도시하고 있다. 도18c는 용접부(120) 및 용접부(121)에 대한 데이터를 도시하고 있다.

[0146] 용접 조인트에 대한 기본 품질 기준들 중 하나가 용접 금속 내에서의 기공의 존재 또는 부존재이다. 이러한 성질은 용접 도중의 용융 풀 탈기 효율(molten pool degassing efficiency)에 의해 주로 결정된다. 본 발명에 따른 초음파 충격 처리가 용접 도중의 용융 풀 초음파 탈기의 개시를 기초로 하는 이러한 문제점에 대한 유효한 해결책을 가능케 한다.

[0147] 이러한 효과는 용접 금속 내에서의 가스 개재물의 최소 용해도와 동일한 용융 풀 액상에 대응하는 아크로부터 어떤 거리에서 위에서 설명된 파라미터를 사용하여 용접 금속 또는 관련된 금속 위에서 수행되는 초음파 충격 처리에 의해 성취된다. 용접 조인트 및 그 탈기의 개략도가 도19a 및 도19b에 도시되어 있다. 도19a는 초음파 충격 처리가 적용되지 않고 용접부의 루트부 영역 내에 관찰 가능한 기공을 갖는 용접부(130)를 도시하고 있다. 도19b에서, 용접부(131)는 탈기를 활성화하기 위해 초음파 충격으로 처리되었고, 그에 따라 어떠한 기공도 관찰 불가능하다. 초음파 충격 공구(132)로의 처리가 화살표 그리고 실선 및 파선으로 도시된 공구(132)에 의해 표시된 바와 같이 용접부를 횡단한다.

[0148] 이와 같이, 큰 체적의 용융된 금속에서의 용석 저항, 신뢰서 있는 재결정화 그리고 미세-입자 조직 형성, 그리고 기공 형성에 대한 용접 금속 저항 등의 새로운 성질을 갖는 용접 조인트를 형성하는 것을 목적으로 하는 용접 동안의 본 발명에 따른 초음파 충격 처리의 3개의 가능한 적용 분야가 설명되었다.

[0149] 용융된 금속의 거동 그리고 용접 금속 및 조인트의 조직 및 성질에 대한 본 발명에 따른 초음파 충격 처리의 효과는 용융 풀로부터의 초음파 충격 영역의 거리 그리고 초음파 충격 파라미터의 대응하는 방법 선택을 기초로 한다. 각각의 특정한 경우에, 용접 영역에 대해 본 발명에 따라 수행되는 초음파 충격 처리 영역 위치의 선택 기준은 각각 용융된 금속 및 용접 금속의 유효한 결정화 및 재결정화의 온도 범위 그리고 또한 용융 풀 내에서의 최소 가스 용해도의 온도 범위이다. 이러한 경우에, 처리된 재료의 성질 그리고 초음파 충격 처리 영역에서의 온도를 조건으로 하는 본 발명에 따른 초음파 충격 처리의 파라미터는 다음의 범위 내에서 설정된다: 약 0.1 내지 50 ㎏의 공구 압력, 약 10 내지 800 ㎑의 진동자에서의 초음파 진동 반송 주파수, 약 0.5 내지 120 ㎛의 무하중 상태 하에서의 그리고 반송 주파수에서의 충격 동안의 초음파 진동 진폭, 약 0.05 내지 5 ㎜의 공구 자기-발진 진폭 그리고 약 1 ㎳ 이상의 평균 초음파 충격 지속 시간.

[0150] (L) 확산 수소

[0151] 강 구체적으로 페라이트계강으로 제조되는 가혹한 취성 파괴 저항 요건을 갖는 용접 조인트가 조인트 재료로부터 확산 수소를 추방하기 위해 용접 전에 사전에 또는 용접 동안에 동시에 가열된다. 이것은 작업자의 작업장에서의 높은 온도, 환경의 오염 그리고 구조물의 추가된 가열에 의해 유발되는 잔류 용접 변형 면에서의 증가를 초래한다.

[0152] 용융 풀(molten pool)로부터 어떤 거리에서 및/또는 모서리의 저온 금속 위에서의 용접 동안에 또는 확산 수소의 최대 이동도에 공동으로 대응하는 초음파 충격의 세기 및 스펙트럼으로의 용접 후에 본 발명에 따라 수행되는 초음파 충격 처리가 취성 파괴에 높은 저항을 갖는 용접 조인트를 생성시킨다. 따라서, 사전 또는 동시 가열 요건이 최소화된다.

[0153] 용접 조인트의 개략도가 도20a 및 도20b에 도시되어 있다. 도20c는 초음파 충격 처리 후의 조인트의 금속 내의 잔류 확산 수소 함량의 최소화를 도시하는 그래프이다. 도20a는 (설명을 위해 확대 단면도로) 초음파 충격 처리가 적용되지 않고 그에 의해 관찰 가능한 기공을 갖는 용접부(140)를 도시하고 있다. 도20b는 (설명을 위해 확대 단면도로) 화살표에 따라 처리 동안에 용접부를 횡단하여 이동되는 공구(142)를 사용하여 초음파 충격 처리에 의해 동반되는 냉각 또는 저온 모서리 준비로 인해 활성화된 재결정부를 갖는(기공이 없는) 용접부(141) 그리고 실선 및 파선으로 도시된 초음파 충격 공구(142)를 도시하고 있다. 처리가 아래에 설명된 파라미터 내에서 일어난다. 도20c는 강에 대한 허용 가능한 수소 함량 한계를 도시하고 있다. 용접 전에 용접 조인트 금속 내에서의 잔류 수소의 허용 가능한 수준은 강에 대해 5 ㎤/100 g을 초과하지 않아야 한다는 것이 일반적이다. 도20c는 대응하는 도면 부호에 의해 표시된 바와 같이 도20a 및 도20b에 도시된 용접부에 대한 수소 함량을 도시하고 있다.

[0154] 새로운 구조물의 생성, 그 재생, 예방적 보수 유지 또는 수리에서 어떤 온도 범위에서 임의의 생성 조건 즉 용접 전에 저온 모서리 위에서 또는 용접 동안에 용융 풀 앞의 어떤 거리의 모서리 위에서, 또는 용접 동안에 용융 풀 뒤의 어떤 거리의 용접 금속 위에서, 또는 용접 후에 용접 금속 위에서 금속이 수소 포화에 취약하다는 사실을 고려하여, 본 발명에 따른 용접 조인트의 초음파 충격 처리가 수행된다.

[0155] 위에서 인용된 모든 조건에 대해, 본 발명의 방법에 따른 처리 전, 유효한 확산 수소 제거 그리고 이러한 상태에서의 금속의 유지를 제공하는 온도 범위 또는 임시 조건이 결정된다.

[0156] 도21에 도시된 포화 도표로부터, 본 발명에 따른 초음파 충격 처리가 적어도 2배만큼 넓은 온도 범위 내에서 확산 수소의 함량을 감소시킨다는 것을 알 수 있다.

[0157] 위에서 제시된 결과를 보증하는 본 발명에 따른 초음파 충격 처리의 파라미터는 최대 약 2500 Hz의 초음파 충격 주파수, 약 0.2 ㎜ 이상의 초음파 충격 진폭, 약 1 ms 이상의 초음파 충격의 평균 지속 시간, 약 15 ㎑ 이상의 초음파 진동 반송 주파수, 처리될 금속의 온도 및 등급에 따라 약 15 ㎛ 이상 그리고 저온 금속이 처리될 때에 약 30 ㎛ 이상의 충격 동안의 초음파 진동 진폭, 그리고 수동식 처리 동안에 약 5 ㎏ 이상 그리고 기계식 처리 동안에 약 10 ㎏ 이상의 처리된 표면에 대한 공구 상에서의 압력을 포함한다.

[0158] (M) 가혹한 환경-응력 부식(처리 전후)

[0159] 변동성 하중 상태 하에서의 응력 부식 손상 또는 파괴에 대한 용접 조인트의 저항이 긴 동작 사이클과 관련된 하중 상태의 구조물의 신뢰성 및 수명을 한정한다. 메인 파이프라인 및 해양 플랫폼이 이러한 구조물의 예이다. 응력 부식에 대한 이들의 보호는 비용이 많이 든다.

[0160] 본 발명에 따른 새로운 성질을 제공하기 위한 처리가 이러한 문제점을 해결한다. 응력 상태 또는 변동성 하중 상태 하에서의 유해 환경에서 금속 표면에 대한 초음파 충격 처리 효과의 주요 파라미터가 아래에서 설명된다:

[0161] - 0.8 ㎜의 샘플링 길이에서 5 ㎛ 이하인 조도 그리고 2.5 ㎛의 샘플링 길이에서 15 ㎛ 이상인 표면 기복(waviness),

[0162] - 재료 항복 강도 이상인 초음파 및 임펄스 변형의 영역 내에서의 압축 응력,

[0163] - 1.5 ㎜ 이상인 소성 변형 및 도입 잔류 압축 응력의 깊이,

[0164] - 50 ㎛ 이상인 재료 성질에 따른 백색 층의 형성과 관련된 비정질 미세 조직 변형.

[0165] 표면 및 재료 성질이 변화되므로, 미처리 상태에서의 조인트에 비해 부식성 환경에서의 다양한 하중 상태 하에서, 조인트의 응력 부식 저항이 2의 인자만큼 적어도 증가되고, 극한 부식-피로 강도가 적어도 1.3배만큼 증가되고, 수명이 적어도 7배만큼 증가된다. 이들 성질은 새로운 용접 조인트 그리고 작동 중의 용접 조인트에 균등하게 적절하다는 것이 중요하다.

[0166] 높은 탄소 함량을 갖는 강으로 제조되고 초음파 충격 처리가 적용되는 용접 조인트의 결과 및 성질이 도21에 도시되어 있다. 임의의 재료의 표면 상에서 전형적으로 일어나는 불규칙 부식 후에 안정된 공정이 일어난다는 것이 도21에 도시되어 있으며, 여기에서 본 발명의 방법에 따른 초음파 충격 처리에 의해 처리된 층의 부식 속도는 실험 데이터를 기초로 하여 용접 후에 그대로 방치된 금속보다 최소 4배 작다. 본 발명에 따른 초음파 충격 처리에 의해 처리된 탄소강이 해수 내에서의 응력 부식에 저항하는 최소의 등가 시간은 10 년이다.

[0167] 위에서 제시된 결과를 보증하는 본 발명의 방법에 따른 초음파 충격 처리의 파라미터는 최대 약 500 Hz의 초음파 충격 주파수, 약 0.5 ㎜ 이상의 초음파 충격 진폭, 약 1 ms 이상의 초음파 충격의 평균 지속 시간, 약 15 ㎑ 이상의 초음파 진동 반송 주파수, 약 20 ㎛ 이상의 충격 동안의 초음파 진동 진폭 그리고 약 5 ㎏ 이상의 처리된 표면에 대한 공구 상에서의 압력을 포함한다.

[0168] (N) 용접 조인트 내의 구멍

[0169] 용접 구조물 작업의 실시는 용접 조인트 근처 또는 그 내의 영역 내에 균열 저지 수단(crack arrest means)으로서 구멍을 사용할 필요성과 어느 정도 관련된다. 이러한 조인트 내에서의 손상이 이러한 구멍에 의해 저지되는 균열로부터 그리고 또한 구멍 자체로부터 전개될 수 있다. 그 이유는 구멍의 형성 동안에 생성되는 표면 뜯김(surface tearing)에 있으며, 이것은 응력 집중 영역이 활성화되게 하고 나중에 피로를 유발시킨다.

[0170] 균열 저지 구멍을 갖는 신뢰성 있는 용접 조인트를 얻기 위해, 본 발명에 따른 초음파 충격 처리가 우선 양쪽 균열 측면에 그 다음에 구멍에 적용된다. 구멍이 처리되며, 여기에서 금속은 손상된 측면으로부터 구멍 깊이의 1/5 이상을 제외한 입구 및 출구 영역에서 구멍의 형성 동안에 손상된다. 재료 항복 강도 이상인 잔류 압축 응력이 초음파 및 임펄스 소성 변형이 적용된 층 내에 형성된다. 압입자 형상은 이러한 경우에 구멍의 손상된 부분으로의 자유로운 접근을 제공하도록 선택된다는 것이 주목되어야 한다.

[0171] 구멍을 갖는 용접 조인트 그리고 처리의 결과의 개략도가 도22a 및 도22b에 도시되어 있다. 도22a는 공지된 관련된 응력을 초래하는 종래의 팁 드릴링 가공을 사용하여 준비되는 용접부(150) 내의 2개의 구멍들 사이의 균열을 도시하고 있다. 도22b는 종래의 팁 드릴링 가공에 후속하는 충격 공구(152)로의 초음파 충격 처리로 준비되는 용접부(151) 내의 2개의 구멍들 사이의 균열을 도시하고 있다. 팁 드릴링 가공으로부터 기인하는 관련된 응력이 압축 응력 영역(153)의 형성으로 인해 변화된다. 또한, 도22b는 초음파 충격 공구(152)의 니들 압입자(154), 그리고 구멍(155) 그리고 구멍(156)의 모서리를 처리하고 그에 의해 균열의 단부에서 구멍 내의 재료의

파열을 초래하는 방식을 도시하고 있다. 그 드릴링 가공 후의 구멍 영역 내에서의 인장 응력이 압축 응력에 의해 교체되고 있을 수 있는 인장 응력이 활성화 응력 집중 그리고 그에 의해 피로 균열 개시가 쉽게 일어나지 않는 구조물의 영역 내로 변위된다는 것이 도시되어 있다.

[0172] 가장 넓은 범위의 금속에 대해 위에서 제시된 결과를 보증하는 본 발명에 따른 초음파 충격 처리의 파라미터는 최대 약 500 Hz의 초음파 충격 주파수, 약 0.5 ㎜ 이상의 초음파 충격 진폭, 약 1 ms 이상의 초음파 충격의 평균 지속 시간, 약 15 ㎑ 이상의 초음파 진동 반송 주파수, 약 30 ㎛ 이상의 충격 동안의 초음파 진동 진폭 그리고 약 5 ㎏ 이상의 처리된 표면에 대한 공구 상에서의 압력을 포함한다.

[0173] (O) 브래킷

[0174] 브래킷 평면이 주 용접부를 횡단하는 반경 절결부를 갖는 브래킷의 용접 조인트는 용접 구조물의 제작에서 광범위하게 사용되는 전형적인 용접 조인트이다. 이러한 구조물의 가장 위험한 구성 요소는 절결부 영역 내의 용접 단부 그리고 브래킷이 패널에 용접될 때의 용접 토우 라인이다. 이러한 조인트에서의 치수 정확도가 또한 매우 중요한 문제점을 제시한다.

[0175] 본 발명의 파라미터 내에 있을 때에 반경 절결부 내의 브래킷 및 용접 단부를 따른 용접부의 초음파 충격 처리가 미처리 조인트보다 최소 1.3 배의 피로 저항 면에서의 증가를 갖는 치수 정확도 요건을 충족시키는 용접 조인트를 가져온다.

[0176] 충격 처리 전후의 브래킷 용접 조인트의 개략도가 도23a 및 도23b에 도시되어 있다. 브래킷 패널(160)은 초음파 충격 처리가 없을 때에 브래킷 용접부의 영역 내에 균열(161)을 갖는다. 브래킷 평면은 패널과의 연결이 반경 절결부 내의 브래킷 단부로의 길이 방향 필렛 용접에 의해 수행되는 주 용접부를 횡단한다. 도23b는 처리 구역(162)을 제공하기 위해 초음파 충격에 의해 처리되는 브래킷을 도시하고 있다. 브래킷을 따른 용접부 그리고 반경 절결부 내의 용접 단부에서의 초음파 충격 처리는 용접 조인트가 치수 정확도 요건을 충족시키고 미처리 브래킷 구조물에서의 동일한 성질에 비해 최소 1.3 배의 피로 저항 면에서의 증가를 가져오는 것을 보증한다.

[0177] 절결부 영역 내의 용접 단부가 본 발명에 따른 초음파 충격 처리에 의해 처리될 때, 특별한 공구 헤드가 이러한 영역으로의 압입자를 위한 접근을 제공하는 데 사용된다.

[0178] 가장 넓은 범위의 금속에 대해 위에서 제시된 결과를 보증하는 본 발명의 방법에 따른 초음파 충격 처리의 파라미터는 최대 약 300 Hz의 초음파 충격 주파수, 약 0.5 ㎜ 이상의 초음파 충격 진폭, 약 1 ms 이상의 초음파 충격의 평균 지속 시간, 약 15 ㎑ 이상의 초음파 진동 반송 주파수, 약 30 ㎛ 이상의 충격 동안의 초음파 진동 진폭 그리고 약 3 ㎏ 이상의 처리된 표면에 대한 공구 상에서의 압력을 포함한다.

[0179] (P) 마텐자이트 형성이 일어나기 쉬운 용접 조인트

[0180] 잔류 용접 변형이 최소화되어야 할 때, 용접 공정 직후의 용접 조인트의 집중된 강제 냉각이 일부의 특정한 경우에서 사용된다. 이것은 특히 탄소강에서 마텐자이트를 추방함으로써 그리고 제한된 연성을 갖는 조인트의 형성에 의해 동반되는 주지된 경화 효과를 유발시킨다. 마텐자이트 분해는 협소한 특정된 온도 범위 내에서 장시간 동안의 조인트의 추가의 강제 가열 그리고 조인트에서의 흡수에 의해 성취된다. 이러한 절차는 큰 에너지 소비를 갖고, 협소한 온도 범위 내에서의 가열 및 흡수의 조건을 성취하는 것과 관련하여 복잡하고, 결과의 불충분한 일관성을 특징으로 한다.

[0181] 마텐자이트 분해 그리고 소르바이트 또는 템퍼링된 마텐자이트에 의한 그 교체의 온도에 대응하여 가열 아크로부터 어떤 거리에서의 본 발명의 파라미터 내에서의 조인트의 이러한 방식의 초음파 충격 처리는 이러한 범위의 하부 경계부보다 최소 1.5배 큰 온도 범위 내에서 용접 조인트 구조를 변화시키며, 한편 이 범위 자체는 초음파 충격 처리가 없는 상태에서 위에서-언급된 조건 하에서 마텐자이트 형성의 가능성을 감소시키기 위해 용접에서 요구되는 것보다 최소 2배 크다. 이것이 일어남에 따라, 마텐자이트 분해 시간이 적어도 10배만큼 감소된다. 이것은 마텐자이트 분해의 근본적으로 증가된 공정 온도 범위로 용접 조인트를 생성시키며, 한편 이 범위의 평균 온도는 이러한 문제점을 해결하기 위해 요구되는 표준 조건에 비해 감소된다.

[0182] 과냉된 오스테나이트(마텐자이트) 분해의 도표가 강 12XH3의 예시 샘플에 대해 도24에 도시되어 있다. 라인 1은 초음파 처리가 적용되지 않은 샘플에 대한 온도 T1에서의 마텐자이트 변태를 표시하고 있다. 본 발명에 따른 초음파 충격 처리가 적용된 라인 2에 의해 표시된 바와 같은 샘플은 온도 T2에서 마텐자이트 변태를 갖는다. T1 > T2. 표준 열 처리 동안의 마텐자이트 분해 공정은 최소 3 시간 동안 495℃ 내지 430℃의 온도 범위 내에

서 일어날 수 있다는 것이 도24에 도시되어 있다. 본 발명에 따른 초음파 충격 처리 동안에, 동일한 공정이 260℃ 내지 390℃의 온도 범위 내에서 3 내지 4 분 동안 지속될 수 있다.

[0183] 가장 넓은 범위의 금속에 대해 위에서 제시된 결과를 보증하는 본 발명에 따른 초음파 충격 처리의 파라미터는 최대 약 800 Hz의 초음파 충격 주파수, 약 0.5 ㎜ 이상의 초음파 충격 진폭, 약 1 ms 이상의 초음파 충격의 평균 지속 시간, 약 15 ㎑ 이상의 초음파 진동 반송 주파수, 약 30 ㎛ 이상의 충격 동안의 초음파 진동 진폭 그리고 약 10 kg 이상의 처리된 표면에 대한 공구 상에서의 압력을 포함한다.

[0184] 이것은 마텐자이트 분해의 근본적으로 증가된 공정 온도 범위로 용접 조인트를 생성시키며, 한편 이 범위의 평균 온도는 용접 구조물의 실제의 일관 자동 또는 컴퓨터-보조식 생산의 기간 내에 이러한 문제점을 해결하기 위해 요구되는 표준 조건에 비해 감소된다.

[0185] (Q) 보호 및/또는 경화 코팅을 갖는 용접 조인트

[0186] 용접 조인트의 유지는 다양한 금속 또는 비금속 코팅을 사용함으로써 그 보호 또는 경화에 대한 필요성과 다수의 측면에서 관련된다. 이러한 경우에, 용접부, 용접부-부근 영역 및 용접 토우의 소성 변형의 공지된 방법을 포함한 임의의 방식의 기계적 작업의 사용은 요구되는 코팅 일체성에 의해 제한된다.

[0187] 본 발명에 따른 초음파 충격으로 처리하는 것이 위의 문제점을 해결하고 특정된 새로운 성질을 갖는 용접 조인트를 생성시키는 것을 가능케 하며, 이것은 초음파 충격 처리가 코팅 위에서 수행될 수 있기 때문이다. 이러한 경우에, 보호 또는 경화 코팅의 성질 면에서의 일체성 및 개선은 용접 조인트에서의 특정된 성질과 함께 얻어진다.

[0188] 이러한 용접 조인트의 예가 도25a, 도25b 및 도25c에 도시되어 있다. 도25a는 코팅 및 초음파 충격 처리 전의 용접부를 도시하고 있다. 도25b는 코팅(170)이 도포된 후 그리고 코팅된 용접부의 초음파 충격 처리 전의 동일한 용접부를 도시하고 있다. 도25c에서, 초음파 충격 처리 후의 코팅된 용접부가 도시되어 있다. 용접부 내의 홈 및 응력 집중원 변형부가 코팅(170) 위에서 도면 부호 171에 의해 표시되어 있다. 도25c의 용접 조인트에서, 반경은 최소 0.5 ㎜이고, 폭은 최대 10 ㎜이고, 깊이는 최대 2 ㎜이고, 코팅 두께는 웹 두께가 4 ㎜일 때 0.15 ㎜이다. 본 발명에 따른 초음파 충격 처리가 용접에 의한 조인트의 생성, 보호 또는 경화 코팅의 도포 그리고 본 발명에 따른 초음파 충격 처리의 순서로 된 특별한 코팅의 사용으로 인해 특정된 성질을 갖는 용접 조인트를 생성시키는 공정을 가능케 한다는 것이 도25a 내지 도25c에 도시되어 있다.

[0189] 코팅 일체성을 유지시키기 위해, 본 발명에 따른 초음파 충격 처리의 조건은 코팅 표면 상에서의 접촉 압력 그리고 초음파 충격 처리 영역 내에서의 압력 구배가 코팅의 파괴 강도보다 크지 않도록 선택된다.

[0190] 가장 넓은 범위의 금속에 대해 위에서 제시된 결과를 보증하는 본 발명에 따른 초음파 충격 처리의 파라미터는 최대 약 1500 Hz의 초음파 충격 주파수, 약 1 ㎜ 이상의 초음파 충격 진폭, 약 1 ms 이상의 초음파 충격의 평균 지속 시간, 약 20 ㎑ 이상의 초음파 진동 반송 주파수, 약 30 ㎛ 이하의 충격 동안의 초음파 진동 진폭, 코팅 파괴 강도 이하의 개별 초음파 충격 처리 공구들 사이의 경계부에서의 접촉 압력 및 응력 구배 그리고 약 3 kg 이상의 처리된 표면에 대한 공구 상에서의 압력을 포함한다.

[0191] (R) 용접 구조물

[0192] 위에서 설명된 용접 조인트 그리고 조인트를 얻는 과정은 높은 품질 및 신뢰성 요건을 충족시키는 용접 구조물의 생성을 가능케 한다. 구조도가 본 발명 하에서 얻어질 수 있는 다양한 용접 조인트(180)를 설명하기 위해 도26에 개략적으로 도시되어 있다. 요소, 세부 항목, 조인트 및 재료의 집합체 또는 이들의 임의의 조합으로 된 이러한 구조는 패널, 패널에 직각으로 또는 경사지게 용접되는 연속 또는 가변 경사 각도를 갖는 원통형 요소, 평탄한 구조 요소, 웨브, 브래킷, 모서리 조인트, 겹침 조인트 등을 포함할 수 있다. 용접 조인트의 품질 및 신뢰성은 본 발명에 따른 조인트의 초음파 충격 처리를 통해 조인트에서의 개선된 성질의 제공에 의해 개선된다.

[0193] 당업자에게 명백한 바와 같이, 다양한 변형이 전술된 설명의 범주 내에서 수행될 수 있다. 당업자의 능력 내에 있는 이러한 변형은 본 발명의 일부를 형성하고, 첨부된 청구의 범위에 의해 포함된다.

## *도면의 간단한 설명*

[0008] 도1은 초음파 충격을 유발시키는 초음파 진동자의 진동을 진폭 및 시간의 관점에서 도시하고 있다.

[0009] 도2는 초음파 충격에 의해 무작위로 전달된 힘 펄스를 진폭 및 시간의 관점에서 도시하고 있다.

[0010] 도3은 본 발명의 방법을 사용하여 얻어진 연장 초음파 충격을 진폭 및 시간의 관점에서 도시하고 있다.

[0011] 도4a 및 도4b는 각각 본 발명에 따라 처리되지 않은 고강도강 및 처리된 고강도강의 피로 한계를 도시하고 있다.

[0012] 도5는 용접 구조물의 재료의 응력 집중 영역 내에서의 응력 및 변형 분포를 도시하고 있다.

[0013] 도6a 및 도6b는 거더(girder) 그리고 그와 함께 있을 수 있는 하중 상태, 그리고 외부 인자의 위험한 영향을 보상하는 초음파 충격 처리 후의 응력 집중 영역 내에서의 변화를 통해 도시된 바와 같은 하중 상태 면에서의 변화를 예로서 도시하고 있다.

[0014] 도7a, 도7b 및 도7c는 본 발명에 따른 처리 전후의 소켓 용접 조인트(socket weld joint) 그리고 조인트의 응력에 대한 효과를 도시하고 있다.

[0015] 도8a, 도8b 및 도8c는 초음파 충격에 의해 유도되는 압축 응력에 대한 결함 지연 기구를 도시하고 있다. 도8a는 처리 전의 조인트를 도시하고 있고, 도8b는 처리 동안의 조인트를 도시하고 있고, 도8c는 처리 후의 조인트를 도시하고 있다.

[0016] 도9a 내지 도9c는 방향성 용접 수축을 고려한 대칭 모서리 용접 조인트를 예로서 사용하여 용접 변형 보상의 기술을 도시하고 있다. 도9a는 초음파 충격 처리 전의 용접 조인트 및 그 공차를 도시하고 있고, 도9b는 처리 후의 용접 조인트 및 그 공차를 도시하고 있고, 도9c는 변형 보상 방향 조정의 개략도를 도시하고 있다.

[0017] 도10a 내지 도10d는 균열을 갖는 용접 조인트의 수리의 작용의 기구 그리고 초음파 충격 처리로 인한 응력 재분배를 도시하고 있다.

[0018] 도11a 및 도11b는 용접 금속의 양의 플랭크 각도에 의해 루트부 균열 형성으로부터 보호되는 용접 조인트의 형성을 도시하고 있다.

[0019] 도12a 및 도12b는 루트부 균열 형성으로부터 보호되도록 형성되는 또 다른 용접 조인트를 도시하고 있다.

[0020] 도13a 내지 도13e는 초음파 충격 처리 이전, 처리중 및 처리 이후의 스폿 용접 조인트를 도시하고 있다.

[0021] 도14a는 미처리 겹침 조인트를 도시하고 있고, 도14b는 처리 동안의 겹침 조인트를 도시하고 있고, 도14c는 처리 후의 겹침 조인트를 도시하고 있다.

[0022] 도15a 및 도15b는 각각 본 발명에 따른 처리 전후의 모서리 용접 조인트를 도시하고 있다.

[0023] 도16a 및 도16b는 초음파 충격 처리 전후의 또 다른 모서리 용접 조인트를 도시하고 있다.

[0024] 도17a 및 도17b는 각각 초음파 충격 처리 전후의 용접 조인트의 구조적 상 균질성(확대 부분)을 도시하고 있다.

[0025] 도18a 및 도18b는 미처리 (확대 부분을 포함하는) 용접 조인트 그리고 용접 조인트 내에 활성화된 결정화(도18b)를 제공하기 위한 초음파 충격 처리 후의 용접 조인트를 도시하고 있다. 도18c는 처리된 용접 조인트 및 처리되지 않은 용접 조인트를 그래프로 도시하고 있다.

[0026] 도19a 및 도19b는 각각 초음파 충격 처리로 활성화된 탈기가 없는 경우와 있는 경우의 용접 조인트를 도시하고 있다.

[0027] 도20a 및 도20b는 수소 함량이 있는 경우와 없는 경우의 용접 조인트를 도시하고 있다. 도20c는 허용 가능한 수소 함량을 갖는 조인트 그리고 초음파 충격 처리 후의 수소 함량의 잔류 확산의 최소화를 갖는 조인트를 그래프로 비교하고 있다.

[0028] 도21은 처리되지 않은 그리고 본 발명에 따른 초음파 충격에 의해 처리되지 않은 경우와 처리된 경우의 높은 탄소 함량을 갖는 강의 용접 조인트의 부식 속도를 그래프로 도시하고 있다.

[0029] 도22a 및 도22b는 각각 초음파 충격 처리 이전 및 처리중에 균열의 팁에서 구멍을 갖는 용접 조인트를 도시하고 있다.

[0030] 도23a 및 도23b는 각각 초음파 충격 처리 전후의 용접 브래킷 조인트를 도시하고 있다.

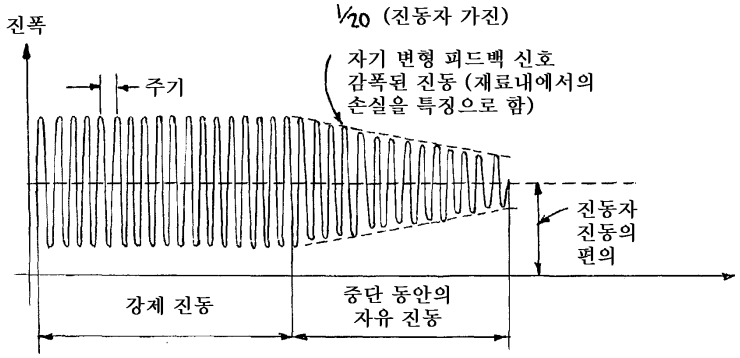
[0031] 도24는 강 내에서의 과냉된 오스테나이트 분해의 도표를 도시하고 있다.

[0032] 도25a 내지 도25c는 각각 코팅 및 초음파 충격 처리(UIT) 이전의, 보호 코팅의 도포 이후 그리고 UIT 이전의, 그리고 코팅 위에서의 UIT 이후의 용접 조인트를 도시하고 있다.

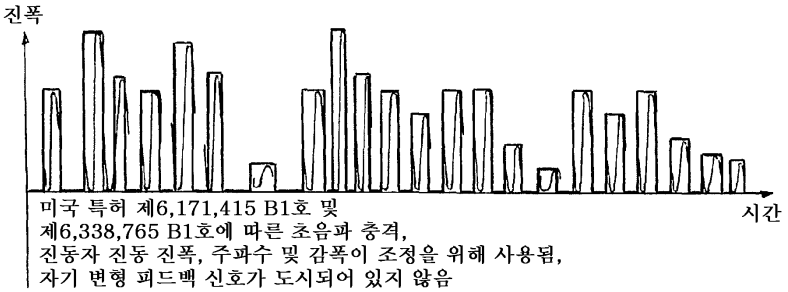
[0033] 도26은 얻을 수 있는 용접 조인트 구조물의 예를 도시하고 있다.

## 도면

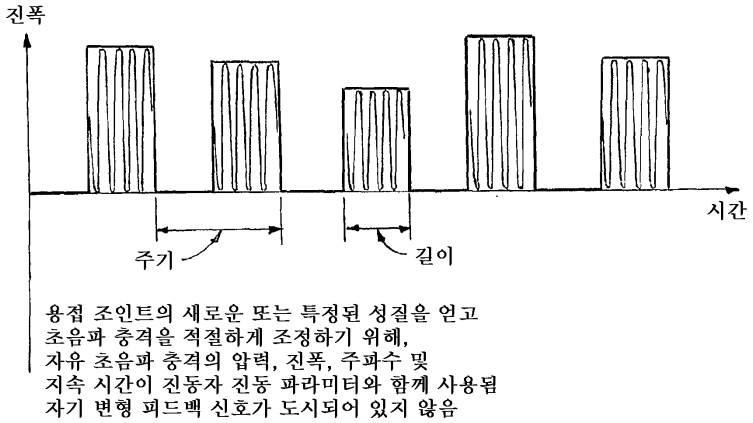
### 도면1



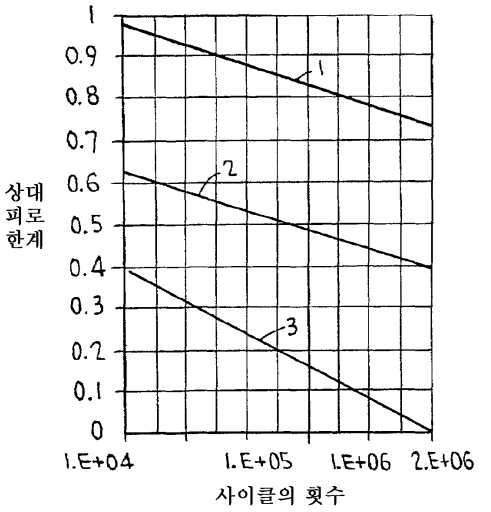

### 도면2




### 도면3



도면4a

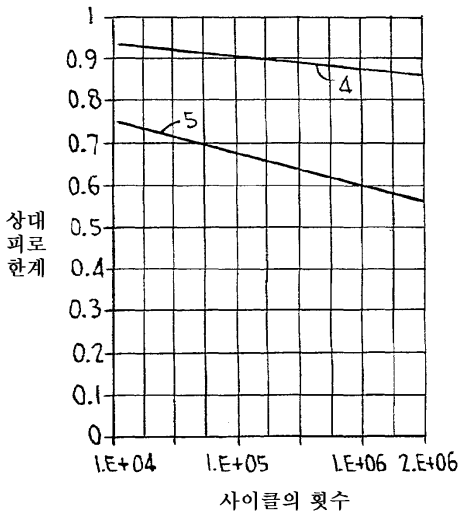



1- 고강도강의 피로 한계

2- 저탄소강 또는 저합금강으로 된 용접 조인트의 피로 한계

3- 고강도강 용접 조인트의 피로 한계

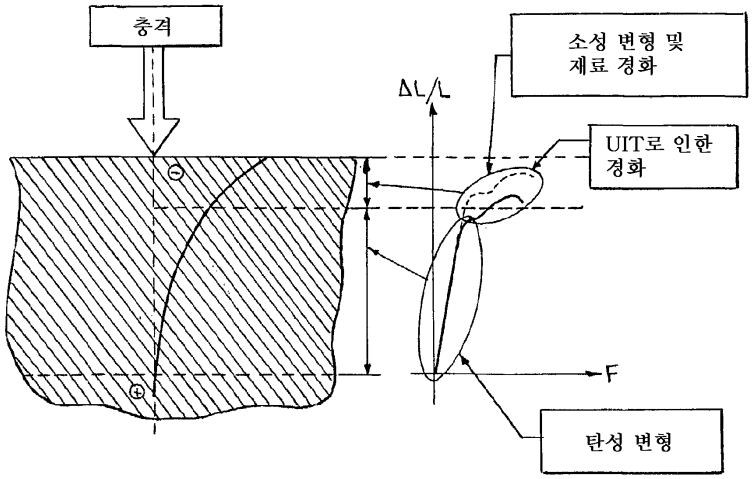
도면4b




4- UIT 처리된 고강도강 용접 조인트의 피로 한계

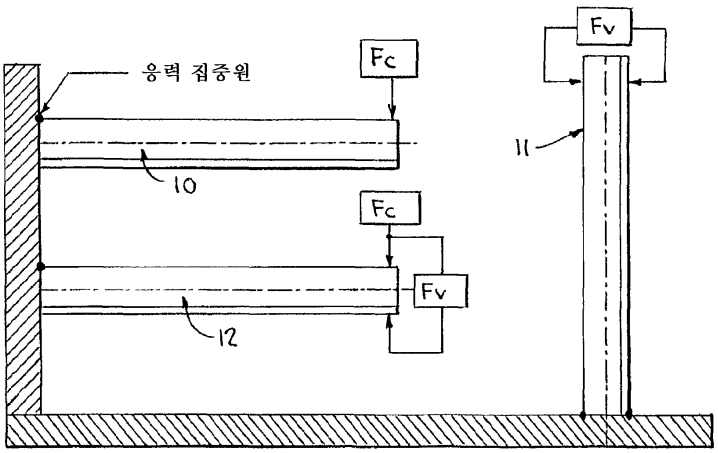
5. 저탄소강 또는 저합금강으로 된 UIT 처리된 용접 조인트의 피로 한계

도면5

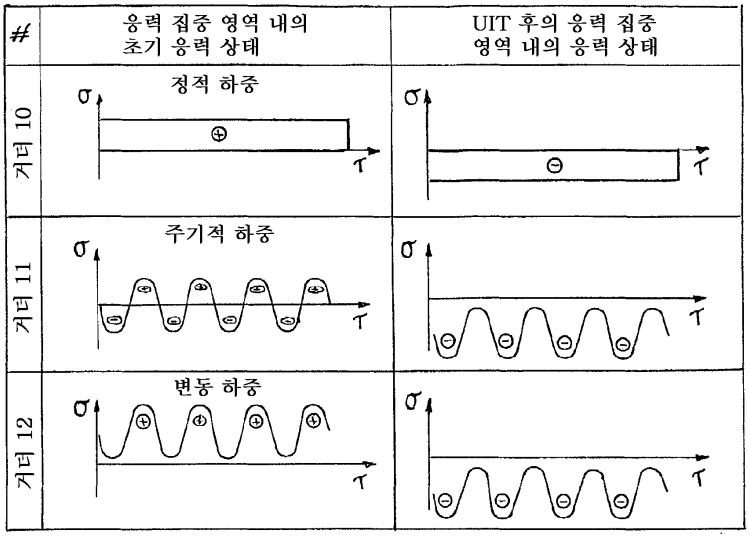



응력 집중 영역 내에서의 재료의 상태 단면

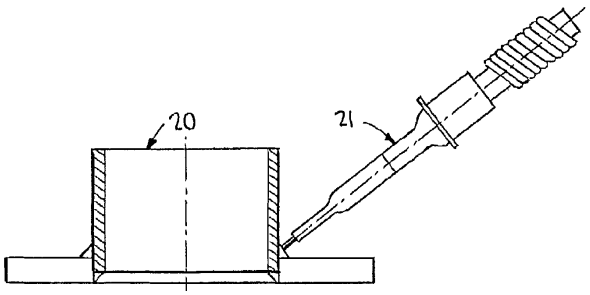
도면6a



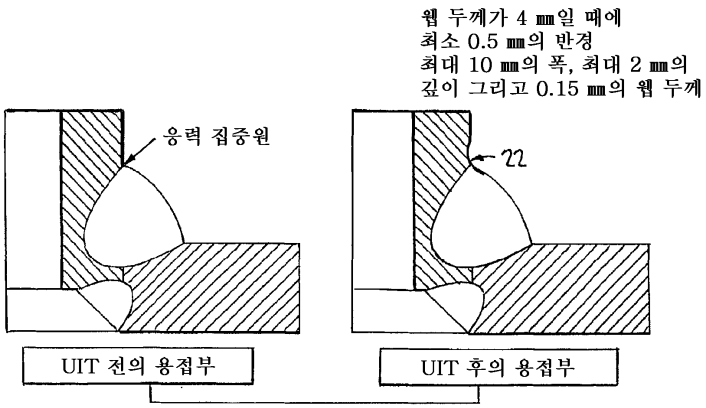
도면6b



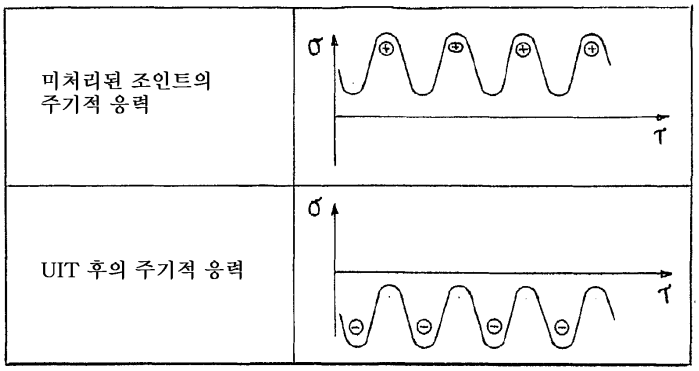

도면7a



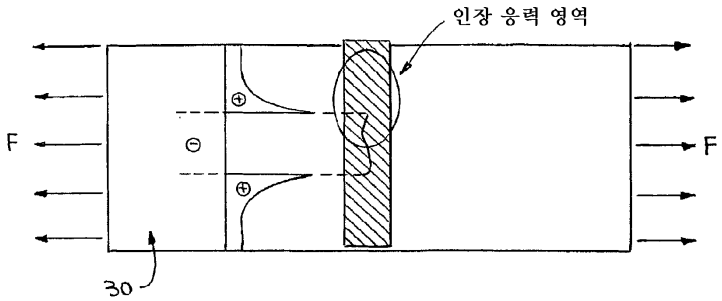

도면7b



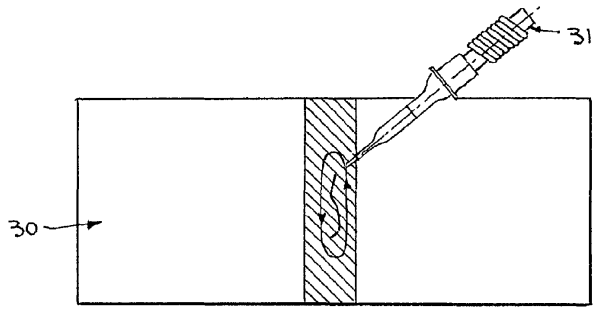
도면7c




도면8a

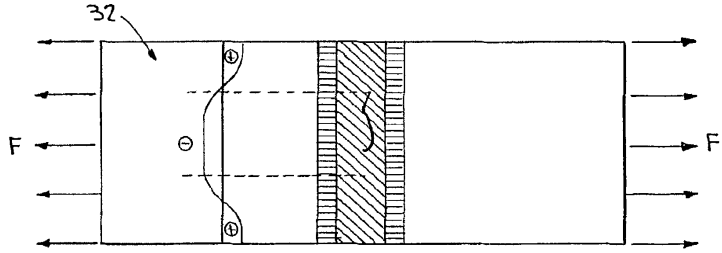



도면8b

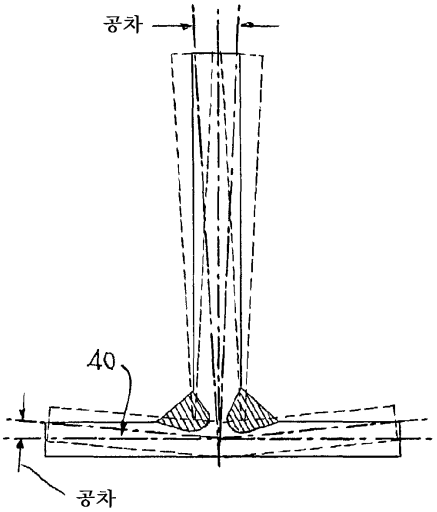



초음파 및 임펄스 소성 변형에 의해
유발되는 압축 응력의 영역의 생성

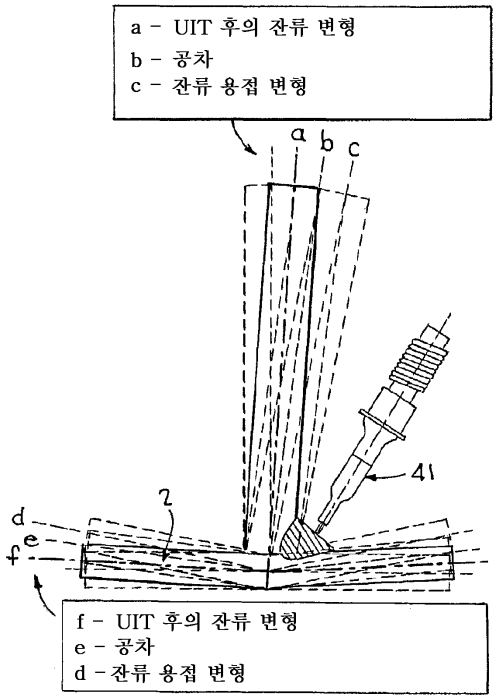
도면8c



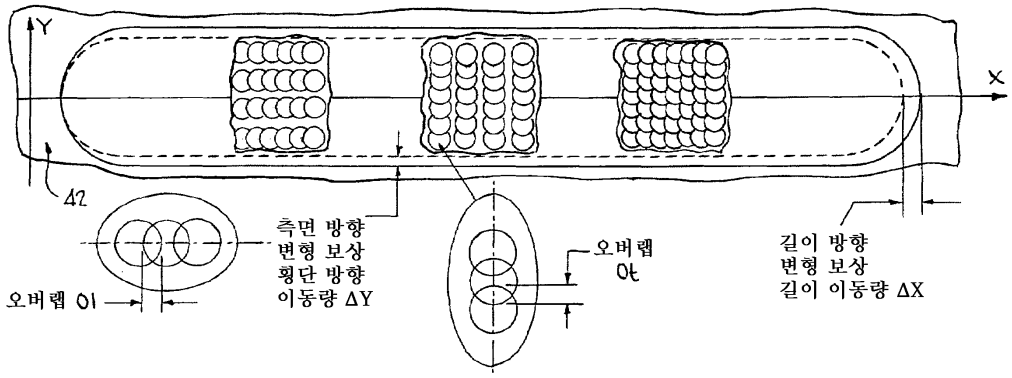
도면9a


공차
40
공차

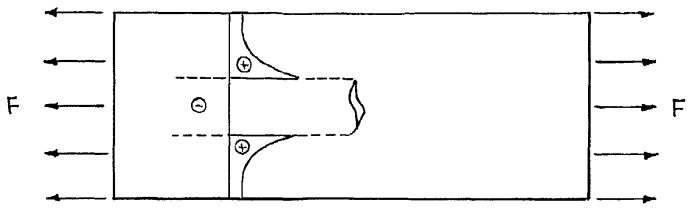
도면9b


a - UIT 후의 잔류 변형
b - 공차
c - 잔류 용접 변형
a
b
c
41
2
d
e
f
f - UIT 후의 잔류 변형
e - 공차
d - 잔류 용접 변형

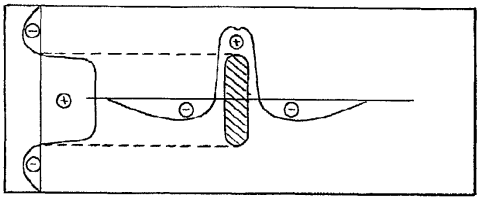
도면9c



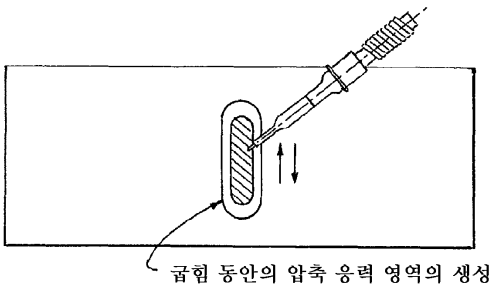

도면10a



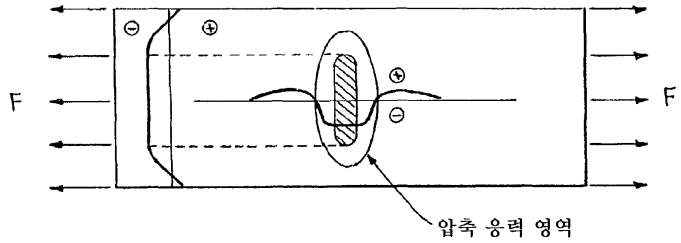

도면10b



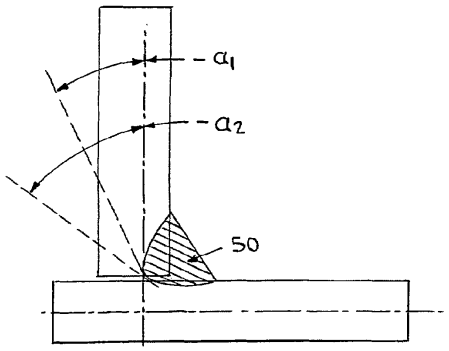
도면10c



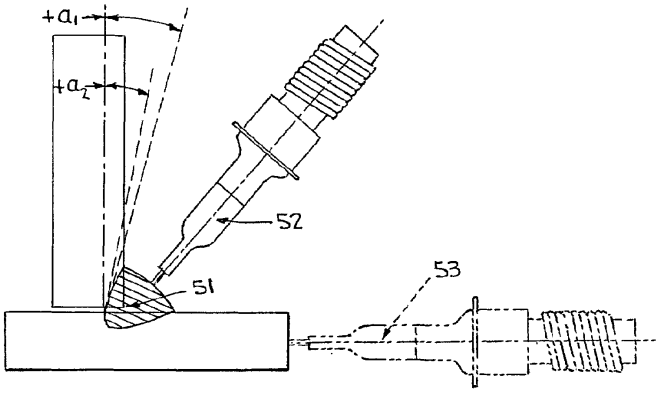
도면10d



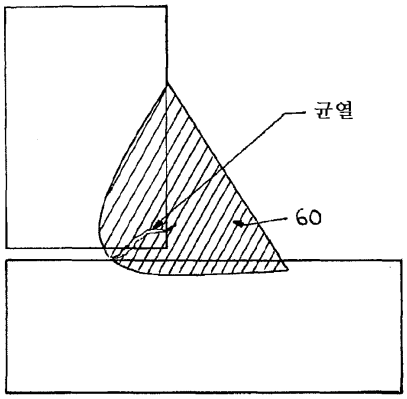

도면11a



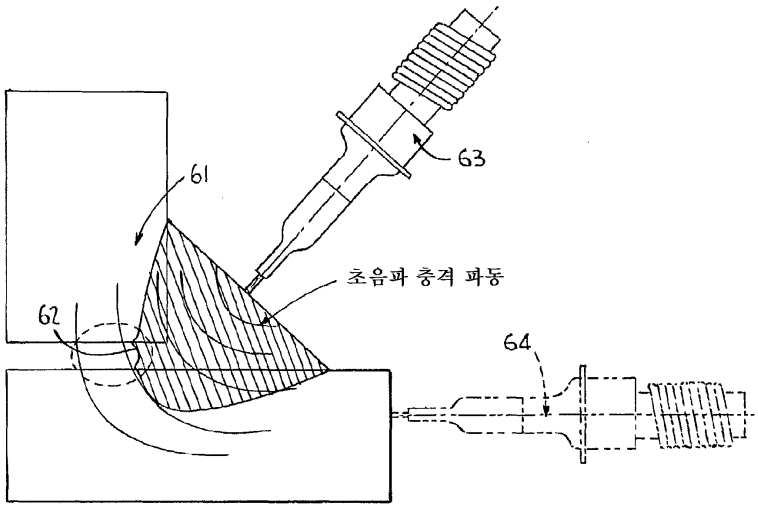

도면11b



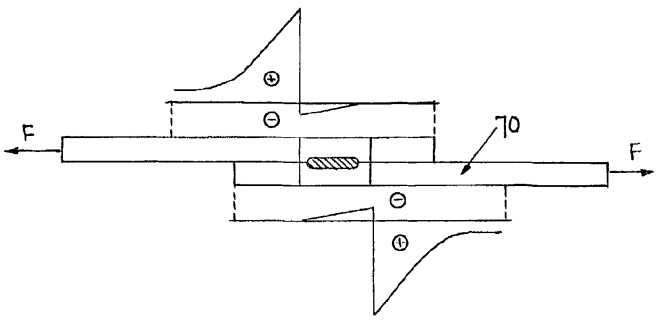
도면12a



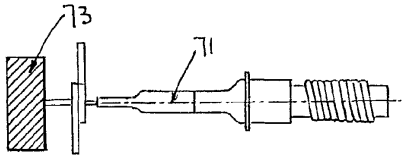

도면12b



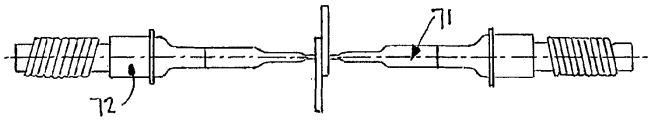

도면13a



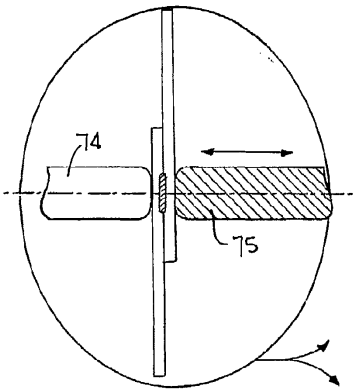
도면13b



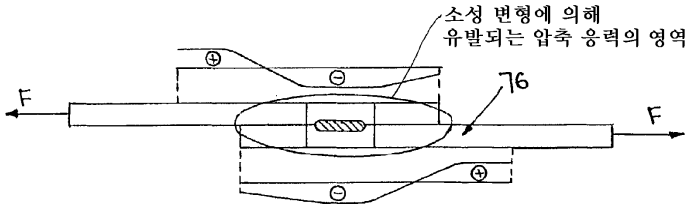

도면13c



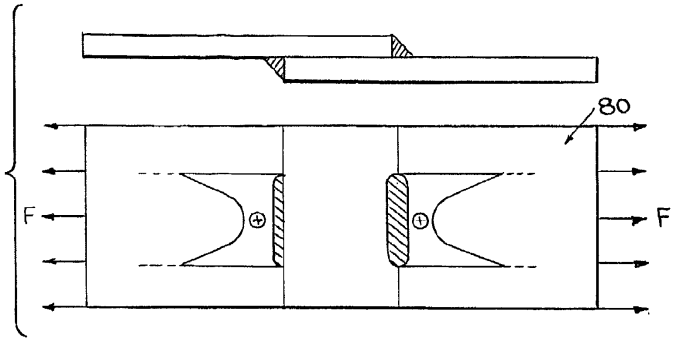

도면13d



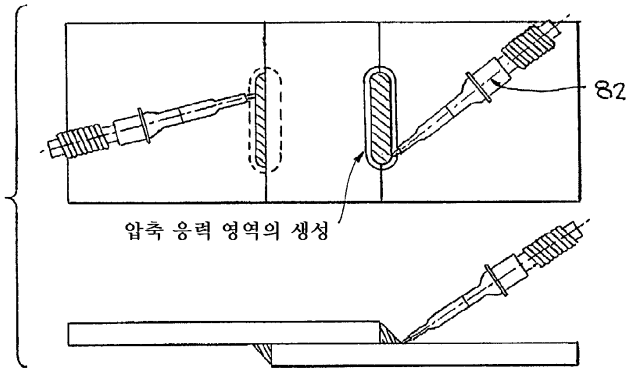

도면13e



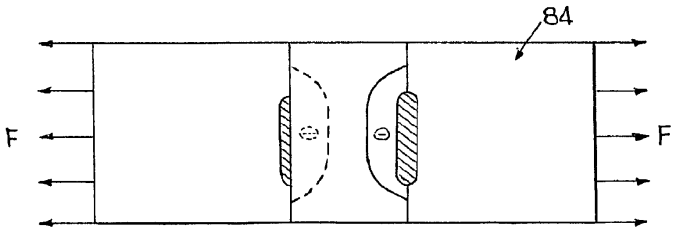
도면14a



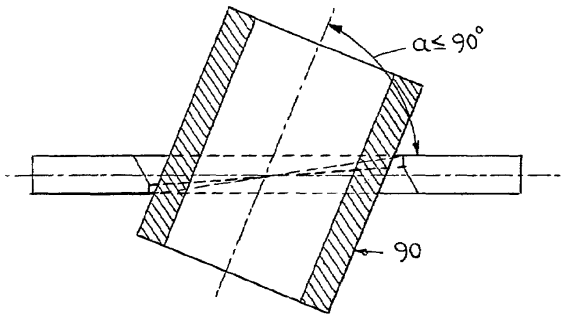

도면14b



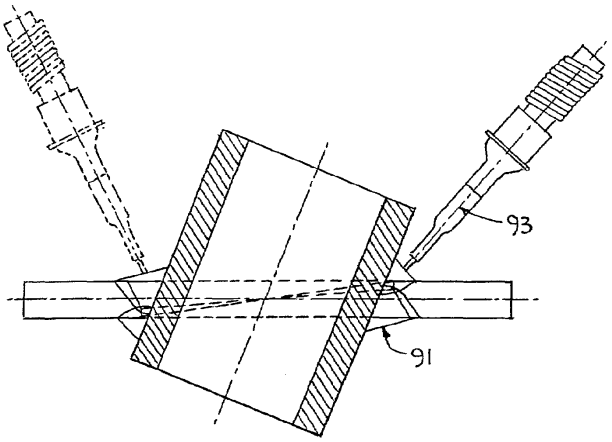

도면14c



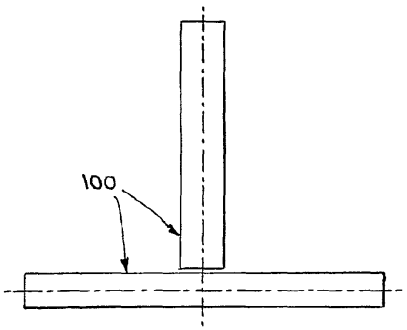

도면15a



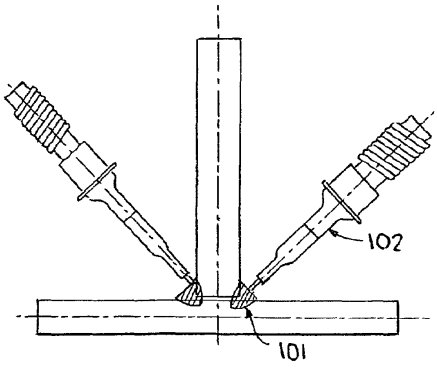
도면15b



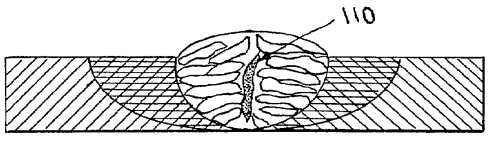

도면16a



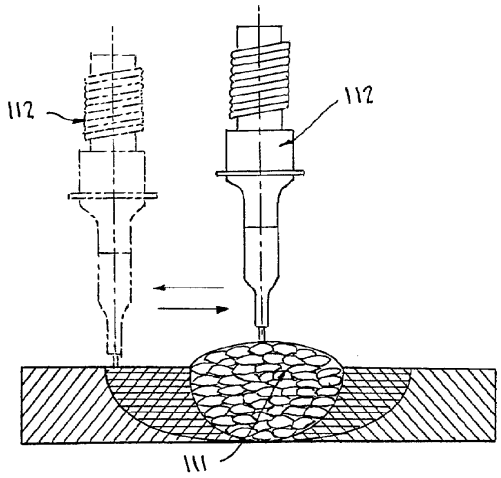

도면16b



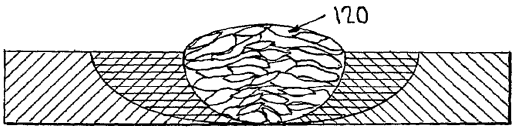

도면17a



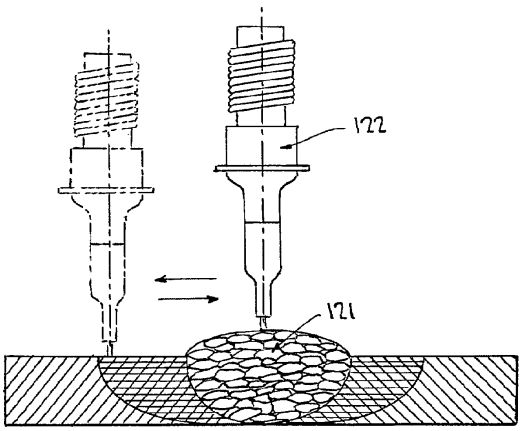
도면17b



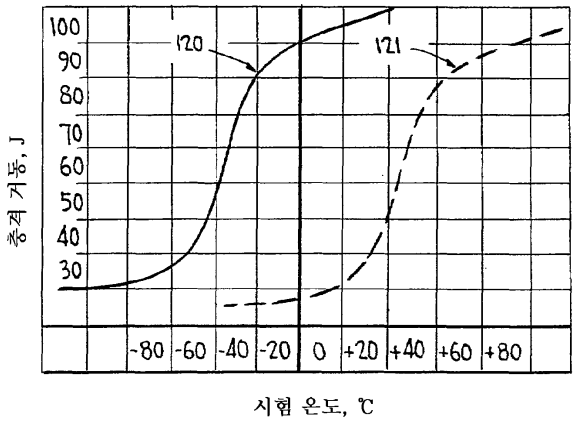

도면18a



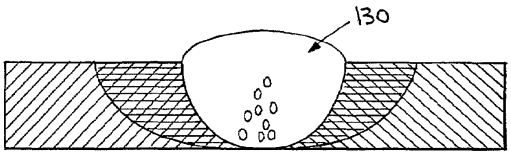

도면18b



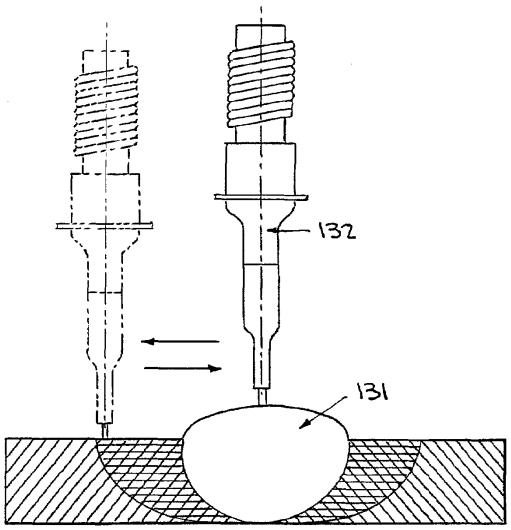
도면18c



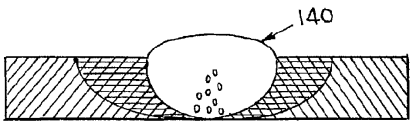

도면19a



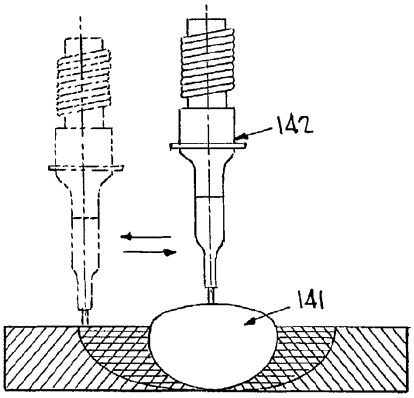

도면19b



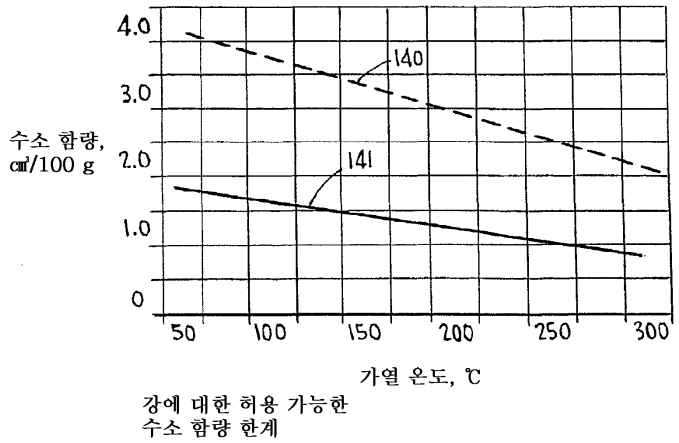

도면20a



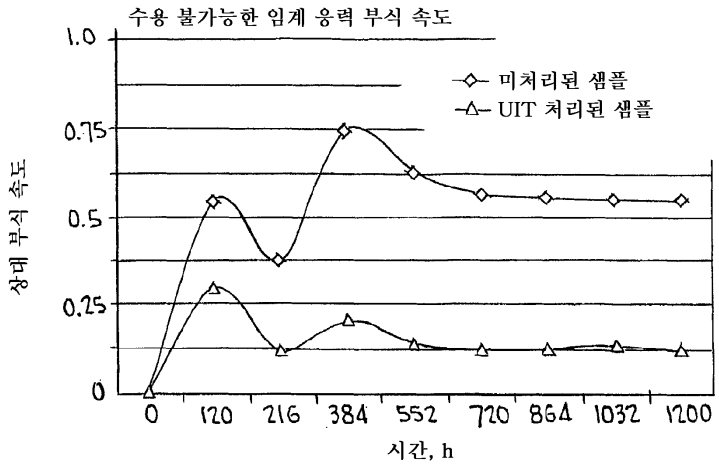
도면20b



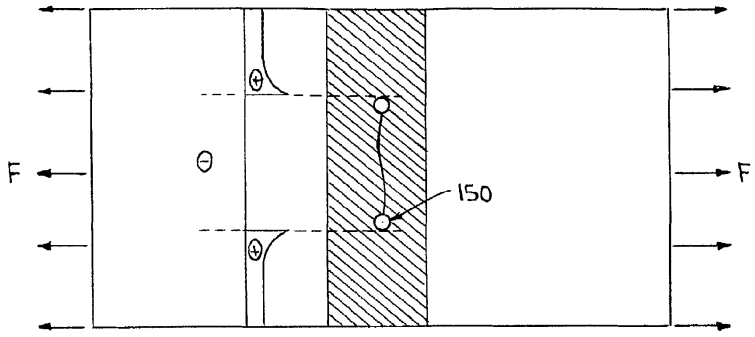

도면20c



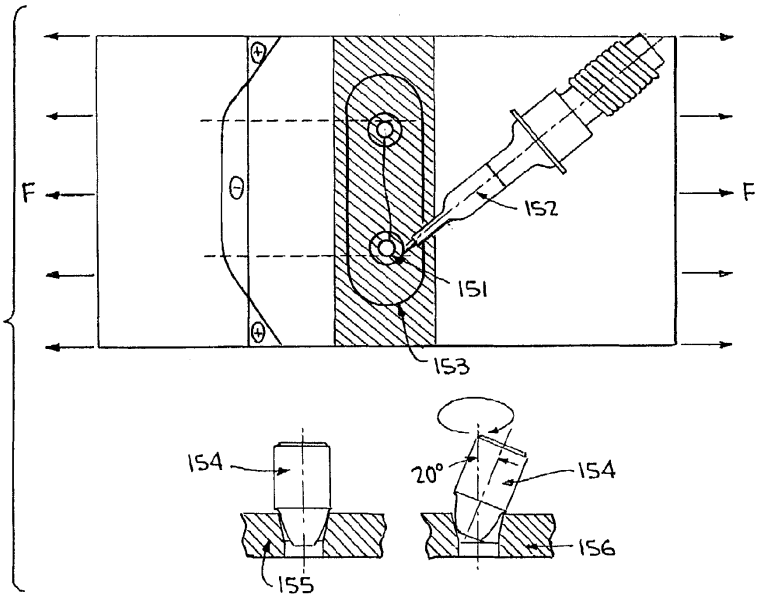

도면21



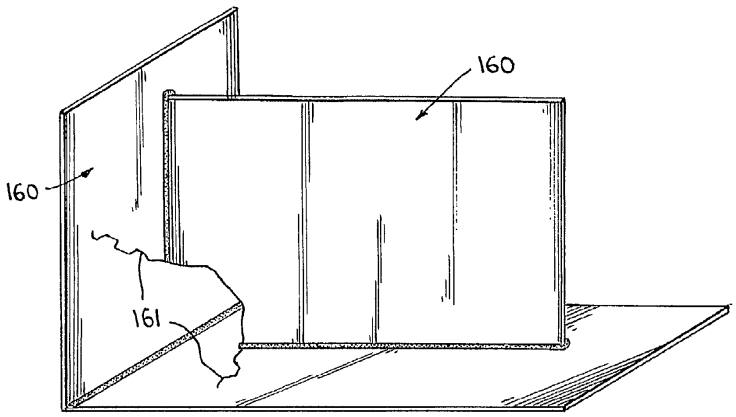
도면22a



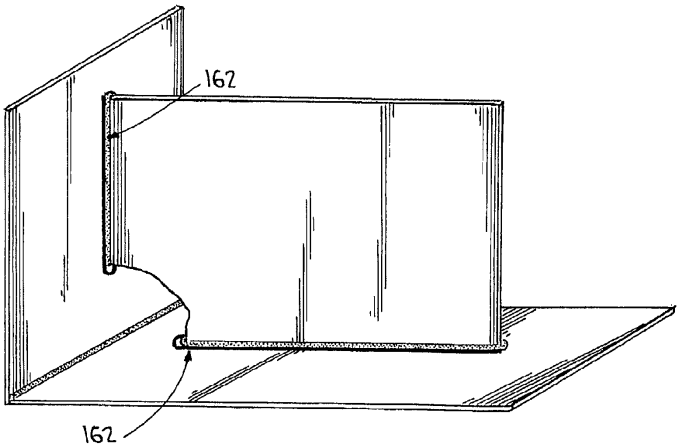

도면22b



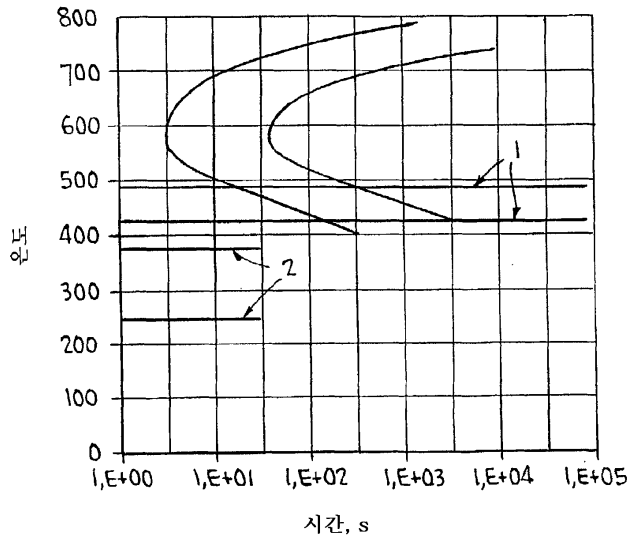

도면23a



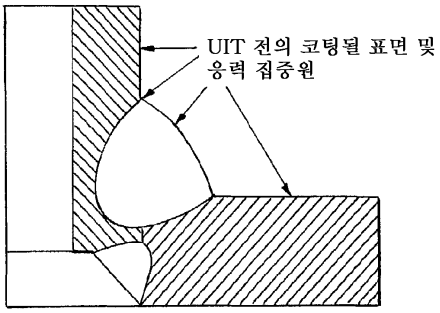
도면23b



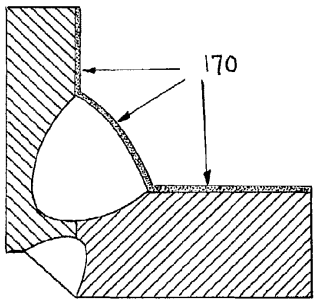

도면24



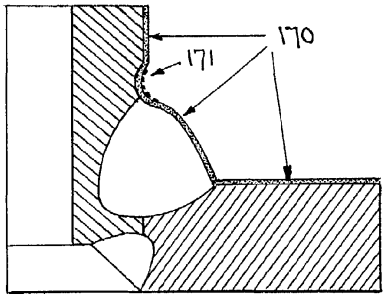

도면25a

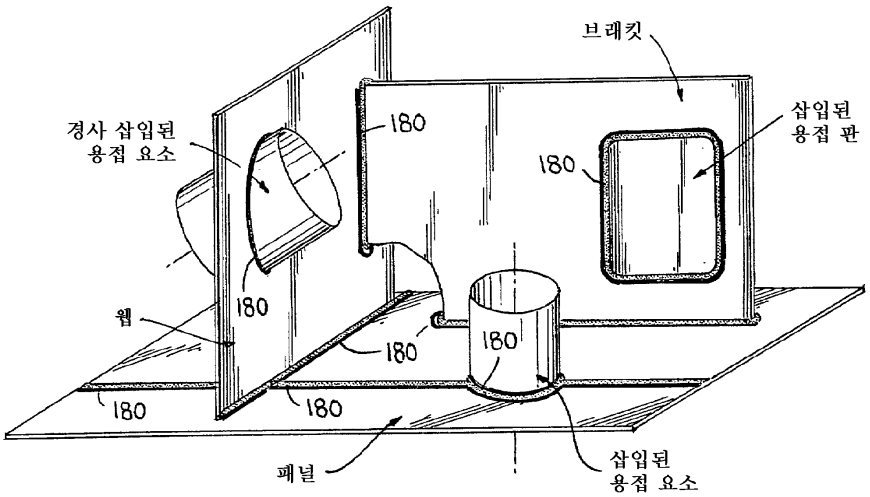


도면25b




도면25c




도면26