



**(19) 대한민국특허청(KR)**  
**(12) 공개특허공보(A)**

(11) 공개번호 10-2013-0100294  
(43) 공개일자 2013년09월10일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
**B21J 17/02** (2006.01) **B21D 37/16** (2006.01)  
**B21J 1/06** (2006.01) **C21D 10/00** (2006.01)  
 (21) 출원번호 10-2013-7006974  
 (22) 출원일자(국제) 2011년08월25일  
 심사청구일자 없음  
 (85) 번역문제출일자 2013년03월19일  
 (86) 국제출원번호 PCT/US2011/049052  
 (87) 국제공개번호 WO 2012/039882  
 국제공개일자 2012년03월29일  
 (30) 우선권주장  
 12/885,620 2010년09월20일 미국(US)

(71) 출원인  
**에이티아이 프로퍼티즈, 인코퍼레이티드**  
 미국, 오레곤 97321-0580, 알바니, 1600 엔.이.  
 올드 살렘 로드  
 (72) 발명자  
**스테판슨, 니알**  
 미국, 펜실베이니아 15317, 캐논스버그, 스탠딩 록  
 105  
**니콜라스, 앤드류**  
 미국, 펜실베이니아 15241, 어퍼 세인트 클레어, 머  
 드스톤 로드 2040  
**클레페, 마이클**  
 미국, 인디애나 46304, 체스터튼, 디켄슨 로드  
 2201  
 (74) 대리인  
**강명구**

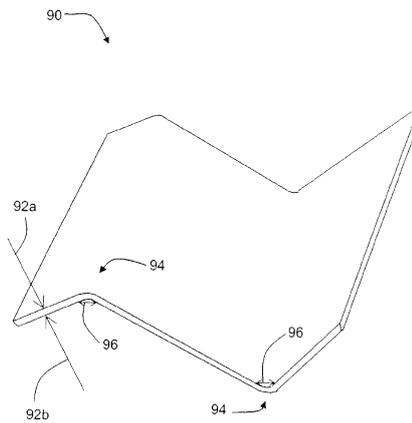
전체 청구항 수 : 총 84 항

(54) 발명의 명칭 **금속 재료들을 위한 상승 온도 성형 방법들**

**(57) 요약**

금속 제품을 성형하는 방법은 금속 제품의 국부적인 영역을 성형 온도로 직접 및/또는 간접 유도 가열하는 단계를 포함한다. 금속 제품은 티타늄 합금들, 니켈-계 합금들, 및 특수 강들, 예컨대, 스테인리스 강, 고-강도 저-합금 강, 외장 강 합금들 등으로부터 선택된 재료들을 포함할 수 있다. 성형 온도는 상기 제품을 포함하는 금속 재료의 용융 온도의 0.2 내지 0.5의 성형 온도 범위에 있을 수 있다. 국부적인 영역에서 금속 제품이 성형된다. 금속 제품의 국부적인 영역을 간접 및 직접 유도 가열하기 위한 디바이스들이 개시된다. 여기에 교시된 방법들 및/또는 디바이스들에 따라 가공되는 금속 제품들을 포함하는 제품들이 개시된다.

**대표도** - 도9



## 특허청구의 범위

### 청구항 1

금속 제품의 국부적인 영역을 성형 온도(forming temperature)로 유도 가열(inductively heating)하는 단계로서, 상기 성형 온도는 재료의 용융 온도(melting temperature)의 0.20 내지 0.50의 성형 온도 범위에 있는, 상기 유도 가열하는 단계; 및

상기 국부적인 영역에서 상기 금속 제품을 성형하는 단계를 포함하는 금속 제품을 성형하는 방법.

### 청구항 2

청구항 1에 있어서,

상기 금속 제품을 성형하는 단계는, 절곡(bending), 드로잉(drawing), 펀칭(punching), 스탬핑(stamping), 및 롤 성형(roll forming) 중 적어도 하나를 포함하는, 금속 제품을 성형하는 방법.

### 청구항 3

청구항 1에 있어서,

상기 금속 제품은, 티타늄 합금(titanium alloy), 니켈-계 합금(nickel-base alloy), 스테인리스 강 합금(stainless steel alloy), 고-강도 저-합금 강(high-strength low-alloy steel), 및 외장 강 합금(armor steel alloy)으로부터 선택된 재료를 포함하는, 금속 제품을 성형하는 방법.

### 청구항 4

청구항 1에 있어서,

상기 금속 제품은, 잉곳(ingot), 빌릿(billet), 블룸(bloom), 환봉(round bar), 각재(square bar), 압출(extrusion), 튜브(tube), 파이프(pipe), 슬랩(slab), 판재(sheet), 및 판(plate)으로부터 선택되는, 금속 제품을 성형하는 방법.

### 청구항 5

청구항 1에 있어서,

상기 금속 제품은 판이고, 상기 국부적인 영역은 선형 영역을 포함하며, 상기 금속 제품을 성형하는 단계는 상기 선형 영역에서 상기 금속 제품을 절곡하는 단계를 포함하는, 금속 제품을 성형하는 방법.

### 청구항 6

청구항 1에 있어서,

상기 금속 제품은 티타늄 합금을 포함하는, 금속 제품을 성형하는 방법.

### 청구항 7

청구항 1에 있어서,

상기 금속 제품은, ASTM 등급들(ASTM Grades) 5, 6, 12, 19, 20, 21, 23, 24, 25, 29, 32, 35, 36, 및 38 티타늄 합금들로 이루어진 그룹으로부터 선택된 재료를 포함하는, 금속 제품을 성형하는 방법.

### 청구항 8

청구항 1에 있어서,

상기 금속 제품은 특수 강(specialty steel)을 포함하는, 금속 제품을 성형하는 방법.

### 청구항 9

청구항 1에 있어서,

상기 금속 제품은, 500 BHN 강 외장, 600 BHN 강 외장, 700 BHN 강 외장, 고 강도 저 합금 강, RHA 합금, HHA 합금, 및 UHH 합금으로부터 선택된 재료를 포함하는, 금속 제품을 성형하는 방법.

**청구항 10**

청구항 1에 있어서,

상기 금속 제품은 니켈 계 합금을 포함하는, 금속 제품을 성형하는 방법.

**청구항 11**

청구항 1에 있어서,

금속 제품은 적어도 0.125 인치(3.175 mm)의 두께를 갖는, 금속 제품을 성형하는 방법.

**청구항 12**

청구항 1에 있어서,

상기 금속 제품은 적어도 0.1875 인치(4.763 mm)의 두께를 갖는, 금속 제품을 성형하는 방법.

**청구항 13**

청구항 1에 있어서,

상기 금속 제품은 Ti-4Al-2.5V-1.5Fe-0.25O<sub>2</sub> 티타늄 합금(UNS 54250)을 포함하며, 상기 성형 온도 범위는 728°F 내지 874°F(387°C 내지 468°C)인, 금속 제품을 성형하는 방법.

**청구항 14**

청구항 1에 있어서,

상기 금속 제품은 티타늄 합금을 포함하며, 상기 성형 온도 범위는 700°F 내지 900°F인, 금속 제품을 성형하는 방법.

**청구항 15**

청구항 1에 있어서,

상기 국부적인 영역을 유도 가열하는 단계는, 적어도 하나의 유도 가열기로 상기 국부적인 영역을 상기 성형 온도 범위에서의 온도로 가열하는 단계를 포함하는, 금속 제품을 성형하는 방법.

**청구항 16**

청구항 1에 있어서,

상기 국부적인 영역에서 상기 금속 제품을 성형하는 단계는, 적어도 2t의 반경으로 상기 국부적인 영역에서 상기 금속 제품을 절곡하는 단계를 포함하는, 금속 제품을 성형하는 방법.

**청구항 17**

청구항 1에 있어서,

상기 국부적인 영역에서 상기 금속 제품을 성형하는 단계는, 적어도 1t의 반경으로 상기 국부적인 영역에서 상기 금속 제품을 절곡하는 단계를 포함하는, 금속 제품을 성형하는 방법.

**청구항 18**

청구항 1에 있어서,

상기 성형 후, 상기 금속 제품의 상기 국부적인 영역은 선상의 결함 지시모양들(linear indication) 및 균열들이 없는, 금속 제품을 성형하는 방법.

**청구항 19**

금속판의 선형 영역을 절곡 온도로 유도 가열하는 단계로서, 상기 절곡 온도는 상기 금속판의 용융 온도의 0.2 내지 0.5의 절곡 온도 범위에 있는, 상기 유도 가열하는 단계; 및

상기 선형 영역에서 상기 금속판을 절곡하는 단계를 포함하는, 금속판을 절곡하는 방법.

**청구항 20**

청구항 19에 있어서,

상기 금속판은, 티타늄 합금, 니켈-계 합금, 스테인리스 강 합금, 고-강도 저-합금 강, 및 외장 강 합금으로부터 선택된 재료를 포함하는, 금속판을 절곡하는 방법.

**청구항 21**

청구항 19에 있어서,

상기 금속판은 티타늄 합금을 포함하는, 금속판을 절곡하는 방법.

**청구항 22**

청구항 19에 있어서,

상기 금속판은, ASTM 등급들 5, 6, 12, 19, 20, 21, 23, 24, 25, 29, 32, 35, 36, 및 38 티타늄 합금들로 이루어진 그룹으로부터 선택된 재료를 포함하는, 금속판을 절곡하는 방법.

**청구항 23**

청구항 19에 있어서,

상기 금속판은 특수 강을 포함하는, 금속판을 절곡하는 방법.

**청구항 24**

청구항 19에 있어서,

상기 금속판은, 400 BHN 강 외장, 500 BHN 강 외장, 600 BHN 강 외장, 700 BHN 강 외장, 고 강도 저 합금 강, RHA 합금, HHA 합금, 및 UHH 합금으로부터 선택된 재료를 포함하는, 금속판을 절곡하는 방법.

**청구항 25**

청구항 19에 있어서,

상기 금속판은 적어도 0.125 인치(3.175 mm)의 두께를 갖는, 금속판을 절곡하는 방법.

**청구항 26**

청구항 19에 있어서,

상기 금속판은 적어도 0.1875 인치(4.763 mm)의 두께를 갖는, 금속판을 절곡하는 방법.

**청구항 27**

청구항 19에 있어서,

상기 금속판은, Ti-4Al-2.5V-1.5Fe-0.25O<sub>2</sub> 티타늄 합금(UNS 54250)을 포함하며, 상기 절곡 온도 범위는 728°F 내지 874°F(387°C 내지 468°C)인, 금속판을 절곡하는 방법.

**청구항 28**

청구항 19에 있어서,

상기 금속판은 티타늄 합금을 포함하며, 상기 절곡 온도 범위는 700°F 내지 900°F인, 금속판을 절곡하는 방법.

**청구항 29**

청구항 19에 있어서,

상기 선형 영역을 유도 가열하는 단계는, 적어도 하나의 유도 가열기로 상기 선형 영역을 상기 절곡 온도 범위에서의 온도로 가열하는 단계를 포함하는, 금속판을 절곡하는 방법.

**청구항 30**

청구항 19에 있어서,

상기 선형 영역에서 상기 금속판을 절곡하는 단계는, 적어도 2t의 반경으로 상기 선형 영역에서 상기 금속판을 절곡하는 단계를 포함하는, 금속판을 절곡하는 방법.

**청구항 31**

청구항 19에 있어서,

상기 선형 영역에서 상기 금속판을 절곡하는 단계는, 적어도 1t의 반경으로 상기 선형 영역에서 상기 금속판을 절곡하는 단계를 포함하는, 금속판을 절곡하는 방법.

**청구항 32**

청구항 19에 있어서,

상기 성형 후, 상기 금속 제품의 상기 국부적인 영역은 선상의 결함 지시모양들 및 균열들이 없는, 금속판을 절곡하는 방법.

**청구항 33**

철 합금 표면상에 금속 및 금속 합금으로부터 선택된 재료를 포함하는 금속 제품을 배치하는 단계;

상기 금속 제품의 국부적인 영역과 접촉하는 상기 철 합금 표면의 국부적인 영역을 미리 결정된 온도로 유도 가열하고, 그에 의해 상기 금속 제품의 상기 국부적인 영역을 성형 온도 범위 내의 성형 온도로 도전 가열 (conductively heating)하는 단계; 및

상기 금속 제품의 상기 국부적인 영역에서 상기 금속 제품을 성형하는 단계를 포함하는, 금속 제품을 성형하는 방법.

**청구항 34**

청구항 33에 있어서,

상기 금속 제품은, 티타늄 합금, 니켈-계 합금, 스테인리스 강 합금, 고-강도 저-합금 강, 및 외장 강 합금으로부터 선택된 재료를 포함하는, 금속 제품을 성형하는 방법.

**청구항 35**

청구항 33에 있어서,

상기 성형 온도 범위는 상기 금속 재료의 용융 온도의 0.2에서 0.5까지인, 금속 제품을 성형하는 방법.

**청구항 36**

청구항 33에 있어서,

상기 금속 제품은 티타늄 합금을 포함하는, 금속 제품을 성형하는 방법.

**청구항 37**

청구항 33에 있어서,

상기 금속 제품은, ASTM 등급들 5, 6, 12, 19, 20, 21, 23, 24, 25, 29, 32, 35, 36, 및 38 티타늄 합금들로

이루어진 그룹으로부터 선택된 재료를 포함하는, 금속 제품을 성형하는 방법.

**청구항 38**

청구항 33에 있어서,

상기 금속 제품은 니켈 계 합금을 포함하는, 금속 제품을 성형하는 방법.

**청구항 39**

청구항 33에 있어서,

상기 금속 제품은 특수 강을 포함하는, 금속 제품을 성형하는 방법.

**청구항 40**

청구항 33에 있어서,

상기 금속 제품은, 400 BHN 강 외장, 500 BHN 강 외장, 600 BHN 강 외장, 700 BHN 강 외장, 고 강도 저 합금 강, RHA 합금, HHA 합금, 및 UHH 합금으로부터 선택된 재료를 포함하는, 금속 제품을 성형하는 방법.

**청구항 41**

청구항 33에 있어서,

상기 금속 제품은 판이고, 상기 국부적인 영역은 선형 영역을 포함하며, 상기 국부적인 영역에 상기 금속 제품을 성형하는 단계는 상기 선형 영역에서 상기 판을 절곡하는 단계를 포함하는, 금속 제품을 성형하는 방법.

**청구항 42**

청구항 33에 있어서,

상기 금속 제품은 적어도 0.125 인치(3.175 mm)의 두께를 갖는, 금속 제품을 성형하는 방법.

**청구항 43**

청구항 33에 있어서,

상기 금속 제품은 적어도 0.1875 인치(4.763 mm)의 두께를 갖는, 금속 제품을 성형하는 방법.

**청구항 44**

청구항 33에 있어서,

상기 금속 제품은 Ti-4Al-2.5V-1.5Fe-0.25O<sub>2</sub> 티타늄 합금(UNS 54250)을 포함하며, 상기 성형 온도 범위는 728°F 내지 874°F(387°C 내지 468°C)인, 금속 제품을 성형하는 방법.

**청구항 45**

청구항 33에 있어서,

상기 금속 제품은 티타늄 합금을 포함하며, 상기 성형 온도 범위는 700°F 내지 900°F인, 금속 제품을 성형하는 방법.

**청구항 46**

청구항 33에 있어서,

상기 철 합금 표면의 상기 국부적인 영역을 유도 가열하는 단계는, 적어도 하나의 유도 가열기로 상기 철 합금 표면의 상기 국부적인 영역을 가열하는 단계를 포함하는, 금속 제품을 성형하는 방법.

**청구항 47**

청구항 33에 있어서,

상기 국부적인 영역에서 상기 금속 제품을 성형하는 단계는, 적어도 2t의 반경으로 상기 국부적인 영역에서 상기 금속 제품을 절곡하는 단계를 포함하는, 금속 제품을 성형하는 방법.

**청구항 48**

청구항 33에 있어서,

상기 국부적인 영역에서 상기 금속 제품을 성형하는 단계는, 적어도 1t의 반경으로 상기 국부적인 영역에서 상기 금속 제품을 절곡하는 단계를 포함하는, 금속 제품을 성형하는 방법.

**청구항 49**

청구항 33에 있어서,

상기 성형 후, 상기 국부적인 영역은 선상의 결함 지시모양들 및 균열들이 없는, 금속 제품을 성형하는 방법.

**청구항 50**

청구항 33에 있어서,

상기 금속 제품은, 잉곳, 빌릿, 블룸, 환봉, 각재, 압출, 튜브, 파이프, 슬랩, 판재, 및 판으로부터 선택되는, 금속 제품을 성형하는 방법.

**청구항 51**

철 합금 표면에 금속 및 금속 합금으로부터 선택된 재료를 포함하는 금속판을 배치하는 단계;

상기 금속판의 선형 영역과 접촉하는 상기 철 합금 표면의 선형 영역을 미리 결정된 온도로 유도 가열하고, 그에 의해 상기 금속판의 상기 선형 영역을 절곡 온도 범위 내의 절곡 온도로 도전 가열하는 단계; 및

상기 금속판의 상기 선형 영역에서 상기 금속판을 절곡하는 단계를 포함하는, 금속판을 절곡하는 방법.

**청구항 52**

청구항 51에 있어서,

상기 절곡 온도 범위는 상기 재료의 용융 온도의 0.2 내지 0.5인, 금속판을 절곡하는 방법.

**청구항 53**

청구항 51에 있어서,

상기 금속판은 티타늄 합금, 니켈-계 합금, 스테인리스 강 합금, 고-강도 저-합금 강, 및 외장 강 합금으로부터 선택된 재료를 포함하는, 금속판을 절곡하는 방법.

**청구항 54**

청구항 51에 있어서,

상기 금속판은 티타늄 합금을 포함하는, 금속판을 절곡하는 방법.

**청구항 55**

청구항 51에 있어서,

상기 금속판은, ASTM 등급들 5, 6, 12, 19, 20, 21, 23, 24, 25, 29, 32, 35, 36, 및 38 티타늄 합금들로 이루어진 그룹으로부터 선택된 재료를 포함하는, 금속판을 절곡하는 방법.

**청구항 56**

청구항 51에 있어서,

상기 금속판은 니켈 계 합금을 포함하는, 금속판을 절곡하는 방법.

**청구항 57**

청구항 51에 있어서,  
상기 금속판은 특수 강을 포함하는, 금속판을 절곡하는 방법.

**청구항 58**

청구항 51에 있어서,  
상기 금속판은, 500 BHN 강 외장, 600 BHN 강 외장, 700 BHN 강 외장, 고 강도 저 합금 강, RHA 합금, HHA 합금, 및 UHH 합금으로부터 선택된 재료를 포함하는, 금속판을 절곡하는 방법.

**청구항 59**

청구항 51에 있어서,  
상기 금속판은 적어도 0.125 인치(3.175 mm)의 두께를 갖는, 금속판을 절곡하는 방법.

**청구항 60**

청구항 51에 있어서,  
상기 금속판은 적어도 0.1875 인치(4.763 mm)의 두께를 갖는, 금속판을 절곡하는 방법.

**청구항 61**

청구항 51에 있어서,  
상기 금속판은, Ti-4Al-2.5V-1.5Fe-0.25O<sub>2</sub> 티타늄 합금(UNS R54250)을 포함하며, 상기 절곡 온도 범위는 728°F 내지 874°F(387°C 내지 468°C)인, 금속판을 절곡하는 방법.

**청구항 62**

청구항 51에 있어서,  
상기 금속판은 티타늄 합금을 포함하며, 상기 절곡 온도 범위는 700°F 내지 900°F인, 금속판을 절곡하는 방법.

**청구항 63**

청구항 51에 있어서,  
상기 철 합금 표면의 상기 선형 영역을 유도 가열하는 단계는, 적어도 하나의 유도 가열기로 상기 철 합금 표면의 상기 선형 영역을 가열하는 단계를 포함하는, 금속판을 절곡하는 방법.

**청구항 64**

청구항 51에 있어서,  
상기 선형 영역에서 상기 금속판을 절곡하는 단계는, 적어도 2t의 절곡 반경으로 상기 선형 영역에서 상기 금속판을 절곡하는 단계를 포함하는, 금속판을 절곡하는 방법.

**청구항 65**

청구항 51에 있어서,  
상기 선형 영역에서 상기 금속판을 절곡하는 단계는, 적어도 1t의 절곡 반경으로 상기 선형 영역에서 상기 금속판을 절곡하는 단계를 포함하는, 금속판을 절곡하는 방법.

**청구항 66**

청구항 51에 있어서,  
상기 절곡 후, 상기 선형 영역은 선상의 결함 지시모양들 및 균열들이 없는, 금속판을 절곡하는 방법.

**청구항 67**

금속 및 금속 합금으로부터 선택된 재료를 포함하는 금속 제품의 국부적인 가열을 위한 디바이스(device)로서,  
철 합금 표면을 포함하는 지지대; 및

적어도 하나의 유도 가열 디바이스를 포함하며,

상기 적어도 하나의 유도 가열 디바이스는, 상기 철 합금 표면의 국부적인 영역을 유도 가열하도록 위치되고 적응되며,

상기 철 합금 표면의 상기 유도 가열된 국부적인 영역은, 상기 철 합금 표면상에 위치되는 금속 및 금속 합금으로부터 선택된 재료를 포함하는 금속 제품의 국부적인 영역을 미리 결정된 온도로 가열하도록 적응되는, 금속 제품의 국부적인 가열을 위한 디바이스.

**청구항 68**

제 67 항에 있어서,

상기 지지대는, 상기 철 합금 표면을 포함하는 철 합금 판재, 및 상기 철 합금 표면을 포함하는 철 합금판 중 적어도 하나를 포함하는, 금속 제품의 국부적인 가열을 위한 디바이스.

**청구항 69**

청구항 67에 있어서,

상기 철 합금 표면은 강 합금 표면을 포함하는, 금속 제품의 국부적인 가열을 위한 디바이스.

**청구항 70**

청구항 67에 있어서,

상기 철 합금 표면은, 탄소 강, 강 합금, 및 스테인리스 강으로부터 선택된 하나 이상의 재료들을 포함하는, 금속 제품의 국부적인 가열을 위한 디바이스.

**청구항 71**

청구항 67에 있어서,

상기 적어도 하나의 유도 가열 디바이스는, 상기 철 합금 표면의 미리 결정된 국부적인 영역을 유도 가열하도록 튜닝(tuning)되는, 금속 제품의 국부적인 가열을 위한 디바이스.

**청구항 72**

청구항 67에 있어서,

상기 적어도 하나의 유도 가열 디바이스는, 상기 철 합금 표면의 맞은편에 배치되며, 상기 철 합금 표면의 미리 결정된 선형 영역을 유도 가열하도록 적응되는, 금속 제품의 국부적인 가열을 위한 디바이스.

**청구항 73**

금속 및 금속 합금으로부터 선택된 재료를 포함하는 금속 제품의 국부적인 가열을 위한 디바이스로서,

지지 표면을 포함하는 지지대; 및

적어도 하나의 유도 가열 디바이스를 포함하며,

상기 적어도 하나의 유도 가열 디바이스는, 금속 제품의 국부적인 영역을 유도 가열하도록 위치되고 적응되며, 미리 결정된 온도로 상기 지지 표면에 위치되고,

상기 지지대 및 상기 지지 표면은, 상기 적어도 하나의 유도 가열 디바이스에 의해 가열되지 않은 재료를 포함하는, 금속 제품의 국부적인 가열을 위한 디바이스.

**청구항 74**

청구항 73에 있어서,

상기 지지대 및 지지 표면은 내화 재료(refractory material)를 포함하는, 금속 제품의 국부적인 가열을 위한 디바이스.

**청구항 75**

청구항 73에 있어서,

상기 지지대 및 지지 표면은, 산화 알루미늄(aluminium oxide), 산화 규소(silicon oxide), 알루미늄노실리케이트(aluminosilicate), 산화 마그네슘(magnesium oxide), 산화 지르코늄(zirconium oxide), 산화 칼슘(calcium oxide), 탄화 규소(silicon carbide), 내화 점토(fire clay), 내화 벽돌(fire brick), 마그네사이트 광석(magnesite ore), 돌로마이트 광석(dolomite ore), 크롬 광석(chrome ore) 중 하나 이상을 포함하는, 금속 제품의 국부적인 가열을 위한 디바이스.

**청구항 76**

청구항 73에 있어서,

상기 적어도 하나의 유도 코일의 주파수는, 상기 금속 제품을 포함하는 상기 재료의 가열을 위해 튜닝되는, 금속 제품의 국부적인 가열을 위한 디바이스.

**청구항 77**

청구항 76에 있어서,

상기 특정한 금속 합금은 티타늄 합금이며, 상기 유도 코일의 상기 주파수는 1 KHz로 튜닝되는, 금속 제품의 국부적인 가열을 위한 디바이스.

**청구항 78**

금속 및 금속 합금으로부터 선택된 재료를 포함하는 금속 제품을 절곡하기 위한 시스템(system)으로서,

철 합금 표면을 포함하는 지지대, 및

적어도 하나의 유도 가열 디바이스로서,

상기 적어도 하나의 유도 가열 디바이스는, 상기 철 합금 표면의 미리 결정된 선형 영역을 유도 가열하도록 위치되고 적응되며,

상기 철 합금 표면의 상기 유도 가열된 선형 영역은, 상기 철 합금 표면상에 위치한 금속 제품의 선형 영역을 절곡 온도 범위에서의 절곡 온도로 도전 가열하도록 적응되는, 상기 적어도 하나의 유도 가열 디바이스를 포함하는 가열 디바이스; 및

상기 철 합금 표면에 근접하여 위치되며, 상기 선형 영역이 상기 절곡 온도 범위 아래로 냉각되기 전에 상기 선형 영역에서 상기 금속 제품을 절곡하도록 적응된 금속 재료 절곡 장치를 포함하는, 금속 제품을 절곡하기 위한 시스템.

**청구항 79**

금속 및 금속 합금으로부터 선택된 재료를 포함하는 금속 제품을 절곡하기 위한 시스템으로서,

지지 표면을 포함하는 지지대, 및

적어도 하나의 유도 가열 디바이스로서,

상기 적어도 하나의 유도 가열 디바이스는, 상기 지지 표면에 위치한 금속 제품의 국부적인 영역을 절곡 온도 범위에서의 절곡 온도로 유도 가열하도록 위치되고 적응되며,

상기 지지대 및 상기 지지 표면은, 상기 적어도 하나의 유도 가열 디바이스에 의해 가열되지 않은 재료를 포함하는, 상기 적어도 하나의 유도 가열 디바이스를 포함하는 가열 디바이스; 및

상기 지지대 및 상기 지지 표면에 근접하여 위치되며, 상기 선형 영역이 상기 절곡 온도 범위 아래로 냉각되기

전에 상기 선형 영역에서 상기 금속 제품을 절곡하도록 적응된 금속 재료 절곡 장치를 포함하는, 금속 제품을 절곡하기 위한 시스템.

**청구항 80**

티타늄 합금, 니켈-계 합금, 및 특수 강 합금, 스테인리스 강 합금, 고-강도 저-합금 강(HSLA: high-strength low-alloy steel), 및 외장 강 합금 중 적어도 하나; 및

적어도 2t의 절곡 반경을 가지는 적어도 하나의 절곡 영역을 포함하는, 성형된 탄도 외장판(ballistic armor plate).

**청구항 81**

청구항 80에 있어서,

상기 성형된 탄도 외장판은 적어도 0.125 인치(3.175 mm)의 두께를 갖는, 성형된 탄도 외장판.

**청구항 82**

청구항 80에 있어서,

상기 성형된 탄도 외장판은 적어도 0.1875 인치(4.763 mm)의 두께를 갖는, 성형된 탄도 외장판.

**청구항 83**

청구항 80에 있어서,

상기 성형된 탄도 외장판은, 모놀리식 쉘(monolithic hull), V-형 쉘, 폭발 보호 차량 언더벨리(underbelly), 및 엔클로저(enclosure) 중 하나인, 성형된 탄도 외장판.

**청구항 84**

청구항 80 내지 청구항 83 중 어느 한 항에 따른 성형된 탄도 외장판을 포함하는 제조물.

**명세서**

**기술분야**

[0001] 본 발명은 국부적인 직접 또는 간접 유도 가열(induction heating)을 사용하여, 난성형(hard-to-form) 금속 재료들 즉, 금속들 및 금속 합금들을 성형하는 방법들에 대한 것이다.

**배경기술**

[0002] 예를 들면, 티타늄(titanium), 티타늄 합금들, 니켈-계 합금들(nickel-based alloys), 특수 강들(specialty steels)(예컨대, 스테인리스 강(stainless steel), 고-강도 저-합금 강(HSLA: high-strength low-alloy steel), 외장 강 합금들(armor steel alloys) 등)을 포함하는, 특정 금속들 및 금속 합금들이 성형하기에 어렵다는 것은 일반적으로 알려져 있다. 이러한 금속 재료들은 여기에서 일반적으로 "난성형(hard-to-form)" 금속 재료들로 불리운다. 난성형 금속 재료들은 일반적으로, 그것들의 두께, 폭, 및/또는 길이가 증가할수록 성형하기에 더 어렵다. 많은 난성형 금속 재료들은 광범위하고 값비싼 가공 단계들의 세트의 사용 없이 원하는 형상들 또는 구성요소들로 효과적으로 및 효율적으로 성형될 수 없다. 난성형 금속 재료들로부터 부분들을 제조하는 종래 기술들은, 다수의 조각들을 함께 용접하는 것, 원하는 형상들을 제공하기 위해 전체 단면들을 머시닝(machining) 또는 호깅 아웃(hogging out)하는 것, 및 정형 주조(net shape casting), 단조(forging), 초소성 성형(super-plastic forming) 등과 같은, 개선된 성형 기술들을 포함할 수 있다. 많은 종래의 성형 기술들은 난성형 금속 재료들을 이용하는 사용으로부터 상기 기술들을 배제하는 금속 특성들의 열화로 인해 제한들을 가진다. 예를 들면, 열 영향부가 용접(welding)으로부터 기인할 수 있으며, 용이하게 검출가능하지 않은 머시닝 및 주조 결함들이 존재할 수 있다. 난성형 금속 재료들의 종래의 성형은 통상적으로 표면 보수, 평탄도 제어, 치수 안정성, 외관 보수, 및 원하는 기계적 특성들의 조정/복구를 위해 상당한 성형-후 동작들을 수반한다.

[0003] 제조자들은 로즈-버드 토치 기술(rose-bud torch technology)과 같은, 전형적인 개방 토치 기술(open torch technology)로 난성형 금속들 및 금속 합금들의 직접 가열을 이용해 왔다. 그러나, 이들 방법들은 구성요소 또

는 부품의 크기가 증가할수록, 단지 엇갈린 성패에 맞닥뜨리며 일반적으로 덜 성공적이다. 열악한 온도 제어 및 열악한 가열 균일성은 이러한 방법들의 공통적인 결함이다. 예를 들면, 알파+베타 티타늄 합금판(alpha+beta titanium alloy plate)의 절곡(bend) 영역을 가열하기 위한 개방 토치 기술의 사용은, 열악한 온도 제어로 인해 바람직하지 않은 상 변태들(phase transformations)을 생성하여, 판 중심선을 향해 움직이는 알파+베타 상 미세 구조의 증가하는 농도를 가진, 판의 표면에서의 베타 상을 초래할 수 있다.

[0004] 난성형 금속 재료들을 절곡하기 위한 다른 공지된 방법들은 일반적으로 성형 이전 및/또는 성형 동안 고온 가열을 수반한다. 이러한 공정들은 부품의 성형을 가능하게 하기 위해 다수의 가열 단계들을 요구할 수 있다. 또한, 고온 성형은 보통 어닐링(annealing), 표면 조절, 피클링(pickling), 치수 안정화, 및/또는 부가적인 제작업과 같은, 성형-후 동작들을 요구한다. 또한, 이러한 고온 작업은 성형된 구성요소의 부품 크기 및 치수들에 따라, 큰 노(furnace)를 요구할 수 있다. 실행 계획, 실행 가능성, 및 비용은 동작, 스케줄링, 및 비용 측면에서 비현실적인 이러한 가공을 제공할 수 있다.

[0005] 난성형 금속 재료들의 성형을 위한 개선된 기술들을 개발하기 위한 시도들이 이루어져 왔다. 예를 들면, 미국 특허 번호 제6,071,360호는 두꺼운 티타늄 합금판의 초소성 성형을 위한 방법을 개시한다. 판은 초소성 온도들, 예컨대, 1650°F(898.9°C)로 가열되고, 성형은 프레스 램(press ram)을 사용하여 일어난다. 부품의 완성은 성형된 판을 머시닝함으로써 달성된다. '360 특허는 7.87 인치(20 cm) 두께의 판이 5 인치(12.7 cm) 내지 6 인치(15.24 cm) 내부 반경 절곡을 갖고 약 130° 로 절곡시킬 수 있다는 것을 서술한다. '360 특허의 실시예에서, 2 인치(5.08 cm) 두께의 판은 30×60 인치들(76.2×152.4 cm)의 면적에 걸쳐 12 인치(30.48 cm) 깊이를 초과하는 복합 곡률로 성형되었다. '360 특허에 설명된 방법의 하나의 결함은 합금판에서 초소성을 달성하기 위해 요구되는 고온 및 특수화된 장비이다.

[0006] 상기 논의를 고려하여, 난성형 금속 재료들을 절곡하고 다른 방법으로 성형하기 위한 개선된 방법들에 대한 요구가 존재한다.

## 발명의 내용

### 과제의 해결 수단

[0007] 본 발명의 일 측면에 따르면, 금속 제품을 성형하는 방법은 금속 제품의 국부적인 영역을 성형 온도로 유도 가열(inductively heating)하는 단계를 포함한다. 비-제한적인 실시예에서, 상기 성형 온도는 상기 금속 제품이 포함되는 재료의 용융 온도(melting temperature)의 0.20 내지 0.50의 성형 온도 범위에 있다. 상기 국부적인 영역을 유도 가열한 후, 상기 금속 제품은 상기 국부적인 영역에서 성형된다. 비-제한적인 실시예들에서, 상기 금속 제품을 성형하는 단계는 상기 금속 제품을 절곡(bending), 드로잉(drawing), 펀칭(punching), 스탬핑(stamping), 및 롤 성형(roll forming)하는 것 중 적어도 하나를 포함한다. 특정한 비-제한적인 실시예들에서, 상기 금속 제품은 티타늄 합금(titanium alloy), 니켈-계 합금(nickel-base alloy), 스테인리스 강 합금(stainless steel alloy), 고-강도 저-합금 강(high-strength low-alloy steel), 및 외장 강 합금(armor steel alloy)으로부터 선택된 재료를 포함한다.

[0008] 본 발명의 또 다른 측면에 따르면, 금속판을 절곡하는 방법은 상기 금속판의 선형 영역을 절곡 온도로 유도 가열하는 단계를 포함한다. 비-제한적인 실시예에서, 상기 절곡 온도는 상기 금속판이 포함되는 금속 재료의 용융 온도의 0.2 내지 0.5의 절곡 온도 범위에 있다. 상기 금속판의 선형 영역을 유도 가열한 후, 상기 판은 상기 선형 영역을 따라(즉, 선형 영역에서) 절곡된다. 비-제한적인 실시예들에서, 상기 금속판이 포함되는 상기 금속 재료는 티타늄 합금, 니켈-계 합금, 스테인리스 강 합금, 고-강도 저-합금 강 및 외장 강 합금으로부터 선택된 재료이다.

[0009] 본 발명의 또 다른 측면에 따르면, 금속 재료를 성형하는 방법은 철 합금 표면상에 금속 및 금속 합금으로부터 선택된 재료를 포함하는 금속 제품을 배치하는 단계를 포함한다. 상기 철 합금 표면은 상기 금속 제품의 국부적인 영역과 접촉하는 상기 철 합금 표면의 국부적인 영역에서 미리 결정된 온도로 유도 가열되며, 그에 의해 상기 금속 제품의 상기 국부적인 영역은 성형 온도 범위 내에서 성형 온도로 도전 가열(conductively heating)된다. 상기 금속 제품은 상기 국부적인 영역에서 성형된다. 비-제한적인 실시예들에서, 상기 금속 제품은 티타늄 합금, 니켈-계 합금, 스테인리스 강 합금, 고-강도 저-합금 강 및 외장 강 합금으로부터 선택된 금속 재료를 포함한다. 또 다른 비-제한적인 실시예에서, 상기 성형 온도 범위는 상기 금속 재료의 용융 온도의 0.2 내지 0.5이다.

- [0010] 본 발명의 추가 측면에 따르면, 금속판을 절곡하는 방법은 철 합금 표면상에 금속 및 금속 합금으로부터 선택된 금속 재료를 포함하는 금속판을 배치하는 단계를 포함한다. 상기 판의 선형 영역과 접촉하는 상기 철 합금 표면의 선형 영역은 미리 결정된 온도로 유도 가열되며, 그에 의해 상기 금속판의 선형 영역은 절곡 온도 범위 내에서의 절곡 온도로 도전 가열된다. 상기 금속판은 상기 금속판의 상기 선형 영역에서 절곡된다. 비-제한적인 실시예에서, 상기 절곡 온도 범위는 상기 금속 재료의 용융 온도의 0.2 내지 0.5이다. 다른 비-제한적인 실시예들에서, 상기 금속판은 티타늄 합금, 니켈-계 합금, 스테인리스 강 합금, 고-강도 저-합금 강 및 외장 강 합금으로부터 선택된 금속 재료를 포함한다.
- [0011] 본 발명의 추가 측면에 따르면, 금속 및 금속 합금으로부터 선택된 재료를 포함하는 금속 제품의 간접적인 국부적인 가열을 위한 디바이스는 철 합금 표면을 포함하는 지지대, 및 적어도 하나의 유도 가열 디바이스를 포함한다. 상기 적어도 하나의 유도 가열 디바이스는 상기 철 합금 표면의 국부적인 영역을 유도 가열하도록 위치되며 적용된다. 상기 철 합금 표면의 상기 유도 가열된 국부적인 영역은 상기 철 합금 표면상에 위치되는 금속 제품의 국부적인 영역을 미리 결정된 온도로 가열하도록 적용된다.
- [0012] 본 발명의 또 다른 측면에 따르면, 금속 및 금속 합금으로부터 선택된 재료를 포함하는 금속 제품의 직접적인 국부적인 가열을 위한 디바이스는 지지 표면을 포함하는 지지대를 포함한다. 적어도 하나의 유도 가열 디바이스는 상기 지지 표면상에 위치한 상기 금속 제품의 국부적인 영역을 미리 결정된 온도로 유도 가열하도록 위치되며 적용된다. 상기 지지대 및 상기 지지 표면은 상기 적어도 하나의 유도 가열 디바이스에 의해 유도 가열되지 않는 재료를 포함한다.
- [0013] 본 발명의 부가적인 측면은 금속 및 금속 합금으로부터 선택된 재료를 포함하는 금속 제품을 절곡하기 위한 시스템에 관한 것이다. 상기 시스템은 철 합금 표면을 포함하는 지지대, 및 적어도 하나의 유도 가열 디바이스를 포함한다. 상기 적어도 하나의 유도 가열 디바이스는 상기 철 합금 표면의 미리 결정된 선형 영역을 유도 가열하도록 위치되고 적용된다. 상기 철 합금 표면의 유도 가열된 선형 영역은 상기 철 합금 표면상에 위치한 금속 제품의 선형 영역을 절곡 온도 범위에서의 절곡 온도로 도전 가열하도록 적용된다. 상기 시스템은 상기 철 합금 표면에 근접하여 위치되고, 상기 선형 영역이 상기 절곡 온도 범위 아래로 냉각되기 전에 상기 선형 영역을 따라 상기 금속 제품을 절곡하도록 적용된 금속 재료 절곡 장치를 더 포함한다.
- [0014] 본 발명의 또 다른 측면은 티타늄 합금, 니켈-계 합금, 스테인리스 강 합금, 고-강도 저-합금 강 및 외장 강 합금으로부터 선택된 금속 재료를 포함하는 성형된 탄도 외장판(ballistic armor)에 관한 것이며, 상기 판은 적어도 2t의 절곡 반경을 가지는 적어도 하나의 절곡 영역을 가진다. 상기 성형된 탄도판은 예를 들면, 모놀리식 헬(monolithic hull), V-형 헬, 폭발 보호 차량 언더벨리(underbelly), 또는 엔클로저(enclosure)로서 제공될 수 있다.
- [0015] 본 발명의 추가 측면은 본 발명에 따른 성형된 탄도 외장판을 포함하는 제조물에 관한 것이다. 상기 성형된 탄도판은 예를 들면, 모놀리식 헬, V-형 헬, 폭발 보호 차량 언더벨리, 또는 엔클로저의 형태일 수 있다. 특정한 실시예들에서, 상기 성형된 탄도판은 티타늄 합금, 니켈-계 합금, 스테인리스 강 합금, 고-강도 저-합금 강 및 외장 강 합금 중 하나를 포함할 수 있으며, 적어도 2t의 절곡 반경을 가지는 적어도 하나의 절곡 영역을 포함할 수 있다.

**도면의 간단한 설명**

[0016] 여기에 설명된 특정 비-제한적인 실시예들의 특징들 및 이점들은 첨부한 도면들을 참조하여 보다 양호하게 이해될 수 있다.

도 1은 난성형 금속 재료를 포함하는 제품을 성형하기 위한 방법의 본 발명에 따른 비-제한적인 실시예의 흐름도이다.

도 2는 난성형 금속 재료의 판 또는 판재의 선형 영역을 유도 가열하는 단계를 포함하는 방법의 본 발명에 따른 비-제한적인 실시예의 개략적인 표현이다.

도 3은 난성형 금속 재료의 판, 판재, 또는 다른 제품을 절곡하거나 또는 다른 방법으로 성형하기 위한 방법의 본 발명에 따른 비-제한적인 실시예의 흐름도이다.

도 4는 금속 제품을 성형하기 위해 난성형 금속판, 판재, 또는 다른 제품의 선형 또는 다른 국부적인 영역을 간접적으로 가열하기 위해 간접 유도 가열을 이용하는 방법의 본 발명에 따른 비-제한적인 실시예의 개략적인 표현

현이다.

도 5는 철 합금 표면을 포함하는 지지대, 및 적어도 하나의 유도 가열기를 포함하는 디바이스의 비-제한적인 실시예의 개략적인 표현이다. 적어도 하나의 유도 가열기는 그에 의해 실질적으로 균일한 방식으로 금속 제품의 국부적인 영역을 도전 가열하기 위해, 실질적으로 균일한 방식으로 철 합금 표면의 국부적인 영역을 유도 가열하도록 배치되고 적용된다.

도 6은 지지대 및 적어도 하나의 유도 가열기를 포함하는 디바이스의 비-제한적인 실시예의 개략적인 표현이다. 적어도 하나의 유도 가열기는 실질적으로 균일한 방식으로 지지대의 표면에 배치된 금속 제품의 국부적인 영역을 유도 가열하도록 배치되고 적용된다. 지지대는 적어도 하나의 유도 가열기에 의해 유도 가열되지 않은 재료를 포함한다.

도 7a 및 도 7b는 금속 제품의 국부적인 영역의 직접적 및 간접 유도 가열을 위한 디바이스에 대한 지지대의 비-제한적인 실시예의 개략적인 표현들을 도시한다.

도 8은 금속 제품을 성형하기 위한 시스템의 비-제한적인 실시예를 도시하며, 상기 디바이스는 금속 제품의 국부적인 영역의 온도가 성형 온도 범위 아래로 냉각되기 전에 상기 금속 재료의 성형을 가능하게 하도록 유도 가열 디바이스 가까이에 위치한 성형 장치 및 금속 제품의 국부적인 영역을 가열하도록 적용된 유도 가열 디바이스를 포함한다.

도 9는 약 2t의 적어도 하나의 절곡 반경을 가지는 성형된 탄도 외장 판의 본 발명에 따른 비-제한적인 실시예의 개략적인 표현이다.

도 10은 가열 테이블의 형태인, 본 발명에 따른 가열 디바이스의 비-제한적인 실시예의 사진이다.

도 11은 본 발명에 따른 방법의 비-제한적인 실시예를 사용하는 1t 내지 6t의 증가적인 반경들로 절곡된 1-인치 (2.54 cm) 두께의 ATI 425<sup>®</sup> 티타늄 합금(Ti-4Al-2.5V-1.5Fe-0.25O<sub>2</sub>(UNS R54250)) 판 샘플들의 사진이다.

도 12는 900초 동안 유도 가열되고 그 후 가열된 국부적인 영역의 중심선으로부터의 거리의 함수로서 60초 동안 냉각된 티타늄 합금의 국부적인 영역 내에서의 온도들의 플롯(plot)이다.

본 발명에 따른 특정 비-제한적인 실시예들에 대한 다음의 상세한 설명을 고려할 때, 독자는 앞서 말한 상세 내용들, 뿐만 아니라 다른 것들 또한 이해할 것이다.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

[0017] 동작 예들 이외에 또는 다른 방법으로 표시된, 비-제한적인 실시예들의 본 설명에 있어서, 양들 또는 특성들을 표현하는 모든 숫자들은 용어 "약(about)"에 의해 모든 인스턴스들(instances)에서 변경되는 것으로서 이해되어야 한다. 따라서, 반대로 표시되지 않는다면, 다음의 설명에 제시되는 임의의 수치 파라미터들은 본 발명에 따른 방법들에 의해 획득하고자 하는 원하는 특성들에 따라 변할 수 있는 근사치들이다. 적어도, 및 청구항들의 범위에 대한 균등론의 적용을 제한하기 위한 시도로서가 아니라, 각각의 수치 파라미터는 적어도 기록된 유효 숫자들의 수를 고려하여 및 보통의 반올림 기술들을 적용함으로써 해석되어야 한다. 또한, 여기에 제공된 모든 범위들은 표시된 경계들 또는 제한들을 포함한다. 예를 들면, 특정 온도의 "0.2 내지 0.5"의 온도 범위는 특정 온도의 0.2 및 0.5의 표시된 경계들을 포함한다.

[0018] 전체적으로 또는 부분적으로 여기에 참조로써 통합된다고 말할 수 있는 임의의 특허, 공개물, 또는 다른 개시 자료는 단지 통합된 자료가 본 발명에 제시된 기존의 정의들, 서술들, 또는 다른 개시 자료와 충돌하지 않는 정도로 여기에 통합된다. 이와 같이, 및 필요한 정도로, 여기에 제시된 바와 같은 본 발명은 참조로써 여기에 포함되는 임의의 충돌 자료를 대체한다. 여기에 참조로써 통합된다고 말할 수 있지만, 여기에 제시된 기존의 정의들, 서술들, 또는 다른 개시 자료와 충돌하는 임의의 자료, 또는 그 일부는 단지 상기 통합된 자료 및 기존의 개시 자료 사이에서 충돌이 발생하지 않는 정도로만 통합된다.

[0019] 난성형(hard-to-form) 금속 재료들을 절곡하고 다른 방법으로 성형하기 위한 개선된 방법들에 대한 요구가 존재한다. 예를 들면, 본 발명자들은 개방 토치들(open torches), 큰 노들(large furnaces), 및 연관된 실행 계획(logistics), 또는 초소성 온도들로의 재료들의 가열의 사용을 요구하지 않는 난성형 금속 재료들을 성형하는 방법을 제공하는 것이 유리할 것이라고 결론지었다. 본 발명자들은 이러한 방법이 성형된 구성요소들의 비용을 낮추고, 생산성을 증가시키며, 및/또는 많은 난성형 금속 재료들을 성형하기 위해 현재 요구되는 열기계적

가공 장치 기반시설을 감소시킬 수 있다고 믿는다. 또한, 본 발명자들은 이러한 방법이 새로운 부품 설계 기준 즉, 종래의 생산 기술들의 제한들로 인해 이러한 부품들에 대해 이전에 사용되지 않은 합금들로부터의 부품들의 생산을 가능하게 할 것이라고 믿는다.

[0020] 도 1은 난성형 금속 재료를 포함하는 금속 제품의 상승 온도 성형 방법의 본 발명에 따른 비-제한적인 실시예를 개략적으로 나타내는 흐름도이다. 여기에 사용된 바와 같이, 용어 "난성형 금속 재료(hard-to-form metallic material)"는 성형 온도에서 고 강도 및 저 연성(ductility)을 가지는 금속들 및 금속 합금들, 및 변형시 흐름이 부드러워지는 금속들 및 금속 합금들을 지칭한다. 비-제한적인 실시예에서, 난성형 금속 재료는 성형 온도에서의 인장 강도(tensile strength) 및 항복 강도(yield strength)에 있어서 10% 미만의 차이를 가진다. 또 다른 비-제한적인 실시예에서, 난성형 금속 재료는 예를 들면, 티타늄 합금들을 가지는 경우인 것과 같이, 높은 스프링 백(spring back)을 보여주는 금속 또는 금속 합금이다. 여기에 사용된 바와 같이, 난성형 금속 재료들은 예를 들면, 티타늄(titanium) 합금들, 니켈(nickel)-계 합금들, 및 특수 강들(specialty steels)(예컨대, 스테인리스 강(stainless steel), 고-강도 저-합금 강(HSLA: high-strength low-alloy steel), 및 외장 강(armor steel) 합금들)을 포함한다. 또한, 여기에 사용된 바와 같이, "금속(metallic)"은 금속 및/또는 금속 합금을 포함하는 재료 또는 제품을 지칭한다.

[0021] 도 1에 개시된 실시예는 구체적인 난성형 금속 재료들을 지칭하지만, 여기에 설명된 실시예들은 고 순도 금속들(high purity metals), 공업용 순 금속들(commercially pure metals), 및 난성형 금속 재료들로 고려되거나 또는 고려되지 않는 다른 금속 합금들을 성형할 때 사용될 수도 있다. (또한, 본 논의에서 반복을 줄이기 위해, 본 발명에 따른 실시예들의 계속되는 논의에서 "금속 합금(metal alloy)"에 대한 임의의 언급은 순수 비금속을 포함한다). 여기에 개시된 실시예들에 따라 가공될 수 있는 난성형 고 순도 금속의 하나의 비-제한적인 예는 고 순도 지르코늄(high purity zirconium)이다.

[0022] 도 1을 참조하면, 금속 제품 즉, 난성형 금속 또는 금속 합금 제품을 포함하는 제품을 성형하기 위한 본 발명에 따른 비-제한적인 방법(10)은 금속 제품의 국부적인 영역을 성형 온도 범위에서의 성형 온도로 유도 가열하는 단계(12)를 포함한다. 상기 국부적인 영역이 원하는 성형 온도에 있을 때, 상기 제품은 유도 가열된 국부적인 영역에서 절곡되거나 또는 다른 방법으로 성형된다(14).

[0023] 비-제한적인 실시예에서, 성형 온도는 금속 제품을 포함하는 금속 또는 금속 합금의 용융 온도( $T_m$ )의 0.2 내지 0.5의 성형 온도 범위에 있다. 또 다른 비-제한적인 실시예에서, 성형 온도는 금속 제품을 포함하는 금속 또는 금속 합금의 용융 온도의 0.24 내지 0.3의 성형 온도 범위에 있다. 또 다른 비-제한적인 실시예에서, 성형 온도 범위는 상기 용융 온도의 약 0.2 내지 금속 제품을 포함하는 금속 또는 금속 합금의 재결정화 온도보다 낮은 온도이다. 여기에 사용된 바와 같이, "용융 온도(melting temperature)"는 금속 또는 금속 합금의 막 시작된 용융이 발생하는 최저 온도인 것으로 정의된다. 여기에 사용된 바와 같이, "재결정화 온도(recrystallization temperature)"는 냉각-가공된 금속 또는 금속 합금의 왜곡된 결정 구조가 계속되는 가열 동안 새로운, 무변형 결정 구조로 대체되는 최저 온도로 정의된다.

[0024] 여기에 사용된 바와 같이, "티타늄 합금(titanium alloy)"은 주된 요소로서 티타늄을 포함하는 금속 합금이다. 여기에 사용된 바와 같이, "니켈 계 합금(nickel base alloy)"은 주된 요소로서 니켈을 포함하는 금속 합금이다. 여기에 사용된 바와 같이, "특수 강(specialty steel)"은 이에 제한되지 않지만, 전기 강들(electric steels), 합금 강들, 스테인리스 강들(페라이트(ferritic), 마르텐사이트(martensitic), 오스테나이트(austenitic), 슈퍼-오스테나이트(super-austenitic), 듀플렉스(duplex), 및 석출 경화 스테인리스 강들(precipitation hardening stainless steels)을 포함하는), 공구 강들(tool steels), 마래이징 강들(maraging steels), 외장 강 합금들, 고 강도 저 합금 강들, 및 마모 강들(wear steels)을 포함하는 강들의 카테고리들(categories)로부터 선택된다.

[0025] 다시 도 1을 참조하면, 금속 제품을 성형하는 단계(14)는, 이에 제한되지 않지만, 절곡(bending), 드로잉(drawing), 펀칭(punching), 스탬핑(stamping), 및 롤 성형(roll forming)으로부터 선택된 기술들을 포함할 수 있다. 또 다른 비-제한적인 실시예에서, 금속 제품은 공장 제품(mill product)을 포함한다. 여기에 사용된 바와 같이, "공장 제품(mill product)"은 제조 상태 그대로 사용되거나 또는 완제품으로 추가 제조되는 임의의 금속(즉, 금속 또는 금속 합금) 제품이다. 본 발명에 따른 비-제한적인 실시예에서, 공장 제품은 잉곳(ingot), 빌릿(billet), 블룸(bloom), 환봉(round bar), 각재(square bar), 압출(extrusion), 튜브(tube), 파이프(pipe), 슬랩(slab), 판재(sheet), 및 판(plate)으로부터 선택된다. 본 발명에 따른 또 다른 비-제한적인 실시예에서, 금속 제품은 금속판을 포함하고, 유도 가열되는 금속판의 국부적인 영역은 선형 영역을 포함하며, 금속판을 성형

하는 단계(14)는 금속판의 선형 영역에서 금속판을 절곡하는 단계를 포함한다.

[0026] 여기에 사용된 바와 같이, "국부적인 영역(localized region)"은 성형 단계 동안 소성 변형될 금속 제품의 면적이다. 또한, "국부적인 영역"은 소성 변형될 금속 제품의 면적에 바로 인접한 하나 이상의 면적들을 포함할 수 있다. 예를 들면, 본 발명에 따른 특정 비-제한적인 실시예들에서, 국부적인 영역은 약 0.5 인치(1.27 cm)까지, 약 1 인치(2.54 cm)까지, 약 2 인치(5.04 cm)까지, 약 3 인치(7.62 cm)까지, 약 4 인치(10.16 cm)까지, 또는 소성 변형될 금속 제품의 면적으로부터 보다 큰 거리를 연장할 수 있다. 예를 들면, 소성 변형될 면적을 유도 가열하는 것뿐만 아니라, 상기 방법이 보다 두꺼운 금속 제품들 상에서 행해질 때 소성 변형될 면적에 바로 인접한 하나 이상의 면적을 유도 가열하고 및/또는 소성 변형되는 금속 제품의 면적이 성형 단계 동안 성형 온도에 있다는 것을 더욱 보장하는 것이 바람직할 수 있다는 것이 예상된다.

[0027] 본 발명에 따른 방법의 비-제한적인 실시예에서, 유도 가열되는 국부적인 영역은 선형 영역이다. 여기에 사용된 바와 같이, "선형 영역(lineal region)"은 금속판 또는 다른 제품의 의도된 절곡선(즉, 절곡의 중심선)을 포함하는 가늘고 긴 영역이다. 또한, 선형 영역은 의도된 절곡선으로부터의 거리를 연장할 수 있다. 예를 들면, 선형 영역은 약 0.5 인치(1.27 cm)까지, 약 1 인치(2.54 cm)까지, 약 2 인치(5.04 cm)까지, 약 3 인치(7.62 cm)까지, 약 4 인치(10.16 cm)까지, 또는 의도된 절곡선의 길이의 한 영역 또는 모두를 따르는 의도된 절곡선으로부터의 보다 큰 거리를 연장할 수 있다. 특정 실시예들에서, 선형 영역의 경계를 정의하는 의도된 절곡선으로부터의 거리는 여기에서의 방법들을 사용하여 절곡되거나 또는 다른 방법으로 성형될 판 또는 다른 제품의 두께가 증가함에 따라 증가한다.

[0028] 본 발명에 따른 비-제한적인 실시예들에서, 선형 영역 또는 다른 국부적인 영역을 유도 가열하는 단계는 판 또는 다른 제품의 국부적인 영역에 인접하여 위치한 하나 이상의 유도 가열 코일들을 이용하는 단계를 수반한다. 도 2는 난성형 금속 또는 금속 합금의 판(24)의 선형 영역(22)을 유도 가열(20)하는 방법의 본 발명에 따른 비-제한적인 실시예의 개략적인 표현이다. 선형 영역(22)은 도 2에서 라인들(22a)에 의해 경계가 이뤄진다. 도 2에 의해 표현된 비-제한적인 실시예에서, 선형 영역(22)은 판(24)의 선형 영역(22)의 반대 표면들(28, 29)에 인접하여 위치한 두 개의 유도 코일들(induction coils)(26)에 의해 유도 가열된다. 도 2는 판(24)의 선형 영역(22)을 가열하기 위해 이용되는 두 개의 유도 코일들(26)을 도시하지만, 하나의 유도 코일(26) 또는 둘 초과의 유도 코일들(26)이 판(24)의 선형 영역(22)을 가열하기 위해 이용될 수 있다는 것이 이해된다. 따라서, 예를 들면, 제품의 국부적인 영역을 성형 온도로 가열하기 위해, 금속판 또는 다른 제품의 선형 영역 또는 다른 국부적인 영역의 하나 또는 둘 모두의 반대 표면들에 인접하여 하나 이상의 유도 코일들을 위치시키는 것은 본 발명의 범위에 속한다. 금속 제품의 국부적인 영역에 대한 유도 코일들의 수 및 위치 결정에 관한 앞서 말한 논의는 본 발명에 따른 방법들에서 사용될 수 있는 국부적인 영역의 임의의 기하학적 구조에 적용한다는 것이 이해될 것이다.

[0029] 여기에서의 목적들을 위해, 예를 들면, 판(24)과 같은 금속 또는 금속 합금 제품에 직접 인접하여 위치한 예를 들면, 유도 코일들(26)과 같은 유도 코일들의 배열을 사용하는 유도 가열은 여기에서 "직접(direct)" 유도 가열로 지칭된다. 직접 유도 가열에서, 하나 이상의 유도 코일들 또는 다른 유도 가열 디바이스들은 금속 제품의 국부적인 영역에 전류를 유도하며, 그에 의해 국부적인 영역의 온도가 증가하게 한다. 직접 유도 가열은 "간접(indirect)" 유도 가열과 대조될 수 있으며, 여기에서 전류는 안으로 유도되고 그에 의해 금속체의 영역을 가열하며, 금속체는 유도 가열된 금속체로부터 금속 제품으로 열의 전도를 통해 금속 제품의 국부적인 영역을 가열한다. 따라서, 직접 유도 가열에서, 상기 유도 가열 디바이스는 삽입 금속(interposing metal) 또는 금속 합금체를 유도 가열하는 것에 의존하지 않고 절곡되거나 또는 다른 방법으로 성형되도록 금속 또는 금속 합금 제품을 유도 가열한다.

[0030] 유도 가열은 전자기 유도에 의해 금속 또는 금속 합금체와 같은, 전기 도전성 물체를 가열하기 위해 사용된 기술이며, 여기에서 고 주파수 교류는 전자석 및 유도 코일을 통해 전달된다. 유도 코일은 금속체에 인접하여 위치되며, 코일 내의 전류는 물체 내에 와전류들(eddy currents)을 발생시킨다. 금속체 내부의 전기적 저항은 물체의 줄열 가열(Joule heating)을 초래한다. 특정 금속 또는 금속 합금체를 유도 가열하기 위해 사용되어야 하는 교류의 주파수는 물체 크기, 금속 또는 금속 합금의 조성, 가열될 물체 및 유도 코일 사이의 특정 결합, 및 유도된 와전류들의 침투 깊이에 따른다. 본 발명에 따른 비-제한적인 실시예들에서, 난성형 금속 재료를 포함하는 제품의 선형 영역 또는 다른 국부적인 영역을 가열하기 위해 사용되는 유도 가열 디바이스는 금속 제품을 효율적으로 및 적절하게 가열하기 위해 명확하게 튜닝(tuning)된 교류 주파수를 이용한다. 유도 가열은 이 기술분야에서의 숙련자들에게 알려져 있으며, 기술을 실행하는 원리들 및 그것을 위한 방식의 추가적인 상술은 본 개

시물에 불필요한 것으로 여겨진다.

[0031] 본 발명에 따른 특정 비-제한적인 실시예들에서, 성형 또는 절곡 온도는 난성형 금속 또는 금속 합금의 용융 온도( $0.2T_m$ )의 약 0.2배에서, 난성형 금속 또는 금속 합금의 용융 온도( $0.5T_m$ )의 약 0.5배까지의 범위 내에 있다. 그러므로, 이용된 비교적 낮은 온도들을 고려해 볼 때, 본 발명에 따른 비-제한적인 실시예들의 측면은 실시예들이 "온간 성형(warm forming)" 방법들이므로 고려될 수 있다는 것이다. 이에 제한되지 않지만, 티타늄 합금들, 니켈-계 합금들, 및 특수 강들과 같은, 난성형 금속 재료들은 성형 동안 재료를 균열시키지 않고 재료들의 용융 온도들보다 실질적으로 낮은 온도들에서 절곡되거나 또는 다른 방법으로 성형될 수 있으며, 성형 후, 소성 변형된 영역은 예를 들면, 절곡 또는 다른 성형 단계로부터 야기되는, 매크로(macro)-표면 및 마이크로(micro)-표면 균열의 형태의 선상의 결함 지시모양들(linear indications)과 같은, 표면 결함들이 완전히 또는 실질적으로 없다는 것은 본 발명자들에게 예기치 않은 일이었으며 놀라운 일이었다.

[0032] 상기 방법이 티타늄 합금 제품상에서 수행되는 본 발명에 따른 비-제한적인 실시예에서, 성형 또는 절곡 온도 범위는  $750^{\circ}\text{F}(398.9^{\circ}\text{C})$  내지  $850^{\circ}\text{F}(454.4^{\circ}\text{C})$ 의 성형 또는 절곡 온도 범위에 있거나, 또는  $800^{\circ}\text{F}(426.7^{\circ}\text{C})$  내지  $850^{\circ}\text{F}(454.4^{\circ}\text{C})$ 의 성형 또는 절곡 온도 범위에 있을 수 있다. 하나의 비-제한적인 실시예에 따르면, 티타늄 합금 제품에 대한 성형 또는 절곡 온도는 약  $800^{\circ}\text{F}(426.7^{\circ}\text{C})$ 이지만, 또 다른 비-제한적인 실시예에서, 티타늄 합금 제품에 대한 성형 또는 절곡 온도는 약  $850^{\circ}\text{F}(454.4^{\circ}\text{C})$ 이다. 특정한 비-제한적인 실시예들에 따르면, 절곡되거나 또는 다른 방법으로 소성 변형되는 금속 제품이 Ti-4Al-2.5V-1.5Fe-0.25O<sub>2</sub> 합금(UNS R54250)으로 이루어지거나 또는 이를 포함할 때, 성형 또는 절곡 온도 범위는  $728^{\circ}\text{F}$  내지  $874^{\circ}\text{F}(387^{\circ}\text{C}$  내지  $468^{\circ}\text{C})$ 일 수 있다. 금속 재료가 티타늄 합금으로 이루어지거나 또는 이를 포함하는 본 발명에 따른 다른 비-제한적인 실시예들에서, 성형 또는 절곡 온도 범위는 티타늄 합금의 베타 변태 온도(beta transus temperature)( $T_{\beta}$ ) 아래로 약  $1000^{\circ}\text{F}(555.6^{\circ}\text{C})$ 에서 티타늄 합금의 베타 변태 온도 아래로 약  $700^{\circ}\text{F}(388.9^{\circ}\text{C})$ 까지 즉,  $T_{\beta}$ - $1000^{\circ}\text{F}$  내지  $T_{\beta}$ - $700^{\circ}\text{F}(T_{\beta}$ - $555.6^{\circ}\text{C}$  내지  $T_{\beta}$ - $388.9^{\circ}\text{C})$ 에 있을 수 있다.

[0033] 티타늄 합금들을 성형하기 위한 대부분의 종래의 공정들은  $1000^{\circ}\text{F}(537.8^{\circ}\text{C})$ 보다 높은 온도를 사용한다. 이들 "열간 성형(hot forming)" 온도들에서, 티타늄 합금들의 표면들은 산화하여, 알파-케이스(alpha-case)를 성형할 수 있다. 알파-케이스는 티타늄 및 그것의 합금들이 가열된 공기 또는 산소에 노출될 때 결과로 초래되는 산소-부화 상(oxygen-enriched phase)이다. 알파-케이스는 취약성(brittle)이며 합금에서 피로 균열들(fatigue cracks)을 야기하려는 경향이 있기 때문에, 그것은 통상적으로 후속의 가공 단계들에서 제거된다. 거의 없거나 또는 무 알파-케이스는 여기에 개시된 성형 방법들의 다양한 비-제한적인 실시예들에서 사용된 성형 온도들에서 성형한다.

[0034] 또한, 약  $1000^{\circ}\text{F}(537.8^{\circ}\text{C})$  이상에서, 티타늄 합금들의 기계적 특성들은 변할 수 있다. 예를 들면, 예를 들어, 고 인성(high toughness)과 같은 외장 적용들을 위한 티타늄 합금들에 요구되는 탄도 특성들은 열간 성형 온도들에서 티타늄 합금을 열기계적 가공할 때 손실될 수 있다. 이러한 경우에서, 열간 성형 후속의 열 처리들은 합금들에서 원하는 기계적 특성들을 회복시키기 위해 요구될 수 있다. 몇몇 난성형 금속 재료들에 대해, 성형-후 열 처리들을 사용하여 원하는 기계적 특성들을 회복시키는 것이 가능하지 않을 수 있다. 본 발명자들은 티타늄 합금들 및 다른 금속 합금들이 여기에 개시된 비-제한적인 실시예들에 사용된 비교적 낮은 성형 온도들을 겪게 하는 것은 합금들의 중요한 기계적 특성들에 상당한 영향을 받지 않는다는 것을 관찰하였다. 제안된 바와 같이, 특히 중요한 기계적 특성들은 탄도 외장 및/또는 다른 적용들에 대해 요구된 것들일 수 있다.

[0035] 티타늄 합금들이 절곡되거나 또는 다른 방법으로 성형되는 본 발명에 따른 방법들의 특정 비-제한적인 실시예들에서, 절곡 또는 성형 온도가 낮아지기 때문에, 상기 방법의 재현 가능성 및 보다 엄격한 반경으로 성형하거나 또는 절곡하기 위한 능력 둘 모두가 감소한다. 예를 들면, 절곡 또는 성형 온도가 낮아지기 때문에, 절곡되거나 또는 다른 방법으로 성형된 판 또는 다른 제품의 "스프링 백(spring back)"의 보다 높은 발생률이 일어난다. 이 기술분야에 알려진 바와 같이, 예를 들면, 판이 절곡된 후, 절곡판은 그것이 절곡된 것보다 큰 절곡 반경으로 되돌아갈 때 스프링 백이 발생한다. 또한, 사용되는 절곡 온도가 낮아짐에 따라, 절곡선에 미소-균열이 발생할 위험은 증가한다. 그러므로, 티타늄 합금 제품들의 절곡 또는 다른 성형을 위한 방법의 본 발명에 따른 비-제한적인 실시예에서, 절곡 또는 다른 성형 온도에 대한 하한은 약  $750^{\circ}\text{F}(398.9^{\circ}\text{C})$ 이다. 티타늄 합금 제품들의 절곡 또는 다른 성형을 위한 방법의 본 발명에 따른 또 다른 비-제한적인 실시예에서, 절곡 또는 다른 성형 온도에 대한 하한은 약  $700^{\circ}\text{F}(371.1^{\circ}\text{C})$ 이다. 티타늄 합금 제품들의 절곡 또는 다른 성형을 위한 방법의 본 발명에 따른 또 다른 비-제한적인 실시예에서, 절곡 또는 다른 성형 온도에 대한 하한은 약  $700^{\circ}\text{F}(371.1^{\circ}\text{C})$  내지 약  $900^{\circ}\text{F}$

(482.2℃)의 성형 온도 범위에 있다. 일반적으로, 이에 제한되지 않지만, 티타늄 합금들, 니켈-계 합금들, 및 특수 강들(예컨대, 스테인리스 강, 고-강도 저-합금 강(HSLA), 외장 강 합금들 등)과 같은, 난성형 금속 재료들을 포함하는 금속들 및 금속 합금들의 절곡 및 다른 성형을 위한 방법들의 본 발명에 따른 다양한 비-제한적인 실시예들에서, 성형 온도 범위의 하한은 약  $0.2T_m$ 이다. 또한, 일반적으로, 이에 제한되지 않지만, 티타늄 합금들, 니켈-계 합금들, 및 특수 강들(예컨대, 스테인리스 강, 고-강도 저-합금 강(HSLA), 외장 강 합금들 등)과 같은, 난성형 금속 재료들을 포함하는 금속들 및 금속 합금들의 절곡 및 다른 성형을 위한 방법들의 본 발명에 따른 다양한 비-제한적인 실시예들에서, 성형 온도 범위는 약  $0.2T_m$  내지 약  $0.5T_m$ 이다.

[0036] 난성형 금속 재료들을 성형하거나 또는 절곡하기 위한 "온간 성형(warm forming)" 방법의 개발 동안, 본 발명자들은 전체 판은 여기에 개시된 바와 같은 절곡 온도로 노에서 가열될 수 있으며, 판이 절곡 온도 범위의 밖으로 냉각되기 전에 판이 노에서 프레스 브레이크(press break)로 전달될 때 성공적으로 절곡된다는 것을 관찰하였다. 그러나, 전체 판을 가열할 수 있는 노는 비교적 커야 하며, 균일한 온도로 전체 판을 가열하는 것은 상당한 시간을 소요할 수 있어, 수율(yield)을 감소시키며 노에서 성형 장비로의 처리를 복잡하게 한다.

[0037] 본 발명에 따른 실시예들에서, 금속 제품의 선형 또는 다른 국부적인 영역의 국부적인 유도 가열은 비교적 빨리 달성될 수 있다. 특정 비-제한적인 실시예들에서, 선형 또는 다른 국부적인 영역을 유도 가열하는 것은 예를 들면, 5 내지 10초, 1분 내, 2분 내, 20분 내, 30분 내, 또는 60분 내에 달성될 수 있다. 특정 비-제한적인 실시예들에서 가능한 다른 유도 가열 시간은 약 3분 내지 약 20분일 수 있다. 가열 시간은 "냉점들(cold spots)"이 가열되는 선형 영역 또는 다른 국부적인 영역에 존재하지 않음을 보다 보장하기 위해 연장될 수 있다. 여기에 사용된 바와 같이, "냉점(cold spot)"은 원하는 절곡 또는 다른 성형 온도보다 더 차가운 선형 또는 다른 국부적인 영역 내의 영역이며, 절곡 또는 다른 성형 온도 범위의 밖에 있다. 보다 두꺼운 금속판 및 다른 더 두꺼운 금속 제품들은 원하는 성형 온도에 도달하기 위해 보다 긴 가열 시간을 요구할 수 있다. 그러나, 본 발명에 따른 특정한 비-제한적인 실시예들에서, 하나 이상의 유도 코일들이 소성 변형될 금속 또는 금속 합금 제품과 결합하고 이를 가열하기 위해 적절히 조정되며, 유도 코일들이 판 또는 다른 제품의 선형 또는 다른 국부적인 영역에 대하여 적절히 위치된다면, 국부적인 영역은 30초 이하에서 냉점들 없이 원하는 성형 온도로 가열될 수 있다. 비-제한적인 실시예에서, 1 인치-두께의 18 인치×120 인치 티타늄 합금판의 선형 영역은 냉점들 없이, 10분 내에 약 850°F(454.4℃)의 균일한 절곡 온도로 직접 유도 가열될 수 있다.

[0038] 다시 도 1을 참조하면, 난성형 금속판 또는 다른 제품을 유도 가열한 후, 제품은 성형 장치로 전달된다. 도 2에 도시된 비-제한적인 실시예에서, 예를 들면, 판(24)의 선형 영역(22)은 절곡 온도 범위 내의 절곡 온도로 유도 코일들(26)에 의해 빠르게 유도 가열되며, 그 후 판(24)은 성형 장치(도시되지 않음) 상에서 원하는 절곡 반경으로 절곡된다. 본 발명에 따른 비-제한적인 실시예에서, 절곡 또는 성형은 프레스 브레이크 또는 다른 성형 장치상에서 달성된다. 성형 장치는 국부적인 영역의 온도가 성형 온도 범위 아래의 온도로 냉각되기 전에, 금속판 또는 다른 제품의 유도 가열된 성형 또는 다른 국부적인 영역이 절곡되거나 또는 다른 방법으로 성형될 수 있음을 보다 더 보장하기 위해, 유도 가열 디바이스에 가깝게 위치될 수 있다.

[0039] 도 2에 개략적으로 도시된 비-제한적인 실시예는 그것이 절곡 온도로 가열된 후 판(24)의 절곡을 수반하지만, 가열된 제품을 소성 변형하기 위한 다른 성형 공정들은 여기에 개시된 실시예들의 범위 내에 있다는 것이 인식될 것이다. 예를 들면, 이러한 다른 성형 공정들은, 이에 제한되지 않지만, 드로잉, 펀칭, 스탬핑, 롤 성형, 및 유사한 성형 공정들을 포함한다. 또한, 여기에 논의된 특정한 실시예들은 선형 또는 다른 국부적인 영역을 유도 가열하는 단계 및 가열된 제품을 절곡하는 단계를 수반하지만, 본 발명은 이러한 배열들에 제한되지 않음이 이해될 것이다. 예를 들면, 스탬핑 또는 압인(coining) 공정에 관한 본 발명에 따른 비-제한적인 실시예들은 스탬핑 또는 압인 동작에서 소성 변형될 금속 제품의 국부적인 영역을 직접 및/또는 간접적으로 유도 가열하는 단계를 수반할 수 있다. 본 발명 내에 포함되는 금속 제품의 국부적인 영역의 유도 가열의 다른 구성들은 다른 성형 공정들에 특정적일 수 있으며, 본 발명을 고려하는 숙련자는 과도한 실험 없이 이러한 적용들을 위한 여기에서의 방법들을 적용시킬 수 있다.

[0040] 본 발명에 따른 온간 성형의 특정한 비-제한적인 실시예들을 사용하여 성형될 수 있는 티타늄 합금들은 이에 제한되지 않지만, 근(near)-알파 티타늄 합금들, 알파+베타 티타늄 합금들, 및 예를 들면, 근-베타 및 준안정(metastable) 베타 티타늄 합금들을 포함하는 베타 티타늄 합금들을 포함한다. 특정한 비 제한적인 실시예들에서, 본 발명에 따른 온간 성형 방법들을 사용하여 절곡되거나 또는 다른 방법으로 성형될 수 있는 티타늄 합금들은 이에 제한되지 않지만, ASTM 등급들(ASM Grades) 5, 6, 12, 19, 20, 21, 23, 24, 25, 29, 32, 35, 36, 및 38 티타늄 합금들을 포함한다. 특정한 비-제한적인 실시예들에서, 등급 38 티타늄 합금(UNS R54250)의 제품

의 국부적인 영역은 유도 가열되며, 여기에서의 온간 성형 방법들의 실시예들에 따라 절곡되거나 또는 다른 방법으로 성형된다. 또 다른 비-제한적인 실시예에서, Ti-6-4 합금 및 Ti-6Al-4V 합금으로도 불리우는, 등급 5 티타늄 합금(UNS R56400)의 제품의 국부적인 영역은 유도 가열되며, 여기에 개시된 실시예들에 따라 온간 절곡되거나 또는 다른 방법으로 온간 성형된다. 또 다른 비-제한적인 실시예에서, 공칭 총 합금 중량에 기초한 중량 퍼센티지로 4.5% 알루미늄(aluminum), 2% 몰리브덴(molybdenum), 1.6% 바나듐(vanadium), 0.5% 철, 0.3% 실리콘(silicon), 및 평형 티타늄(balance titanium) 및 부수적인 불순물들을 포함하는 등급 35 티타늄 합금(UNS R56340)의 국부적인 영역은 유도 가열되며, 여기에 개시된 실시예들에 따라 온간 절곡되거나 또는 다른 방법으로 온간 성형된다.

[0041] 본 발명의 비-제한적인 측면에 따르면, 본 발명에 따른 온간 성형 방법은 높은 경도 특수 강(high hard specialty steel)으로 이루어진 금속 제품의 선형 영역 또는 다른 국부적인 영역을 성형 온도로 유도 가열하는 단계 및 선형 또는 다른 국부적인 영역을 소성 변형함으로써 높은 경도 특수 강 제품을 절곡하거나 또는 다른 방법으로 성형하는 단계를 포함한다. 본 발명의 비-제한적인 실시예에 따르면, 높은 경도 특수 강 외장인 높은 경도 특수 강은 여기에서의 방법들에 따라 가공된다. 특정한 비-제한적인 실시예들에 따르면, 여기에서의 방법들에 의해 가공된 높은 경도 특수 강은 400 BHN 강 외장, 500 BHN 강 외장 합금, 600 BHN 강 외장 합금, 700 BHN 강 외장, 및 고 강도 저 합금 강으로 이루어진 그룹으로부터 선택된다.

[0042] 외장 강 합금들은 일반적으로 다음과 같이 그것들의 경도에 따라 분류되거나 또는 식별될 수 있다: MIL-A-12560H 하에서 212-388 BHN(브리넬(Brinell) 경도수)의 경도 범위를 가진 균질 압연 강판("RHA": Rolled Homogeneous Armor) 합금들; MIL-DTL-46100E 하에서 477-535 BHN의 경도 범위를 가지는 고 경도 외장("HHA": High Hard Armor) 합금들; 및 MIL-DTL-32332 하에서 570 BHN의 최소 경도를 가지는 초 고 경도 외장("UHH": Ultra High Hard Armor) 합금들. 특정한 비-제한적인 실시예들에 따르면, 여기에서의 방법들에 의해 가공된 외장 강 합금들은 이에 제한되지 않지만, RHA, HHA, 및 UHH 합금들을 포함한다.

[0043] 비-제한적인 실시예에서, RHA 합금, HHA 합금, 및 UHH 합금 중 하나를 포함하는 외장 강 합금의 판 또는 다른 제품의 국부적인 영역은 유도 가열되며, 여기에 개시된 실시예들에 따라 온간 절곡되거나 또는 다른 방법으로 성형된다. 또 다른 비-제한적인 실시예에서, 500 BHN 강 외장 합금의 판 또는 다른 제품의 국부적인 영역은 유도 가열되며, 여기에 개시된 실시예들에 따라 온간 절곡되거나 또는 다른 방법으로 성형된다. 본 발명에 따라 가공될 수 있는 500 BHN 강 외장 합금의 하나의 비-제한적인 예는 알레거시 테크놀로지스(Allegheny Technologies) 주식회사의 마켓 섹터(market sector) 팀, 펜실베이니아(PA), 워싱턴(Washington), ATI 디펜스(ATI Defense)로부터 이용가능한, ATI 500-MIL<sup>®</sup> 고 경도 특수 강 외장 합금이다. 또 다른 비-제한적인 실시예에서, 600 BHN 강 외장 합금의 판 또는 다른 제품의 국부적인 영역은 유도 가열되며, 여기에 개시된 실시예들에 따라 온간 절곡되거나 또는 다른 방법으로 성형된다. 본 발명에 따라 가공될 수 있는 600 BHN 강 외장 합금의 비-제한적인 예는 ATI 디펜스로부터 이용가능한 ATI 600-MIL<sup>®</sup> 고 경도 특수 강 외장이다.

[0044] 금속 및 금속 합금 제품들의 절곡 또는 다른 성형은 제품들의 두께가 증가할수록 점차 어려워진다는 것이 인식된다. 상기 논의된 바와 같이, 본 발명자들은 난성형 금속 재료들의 판들이 비교적 낮은 성형 온도로 국부적인 영역에서 유도 가열될 수 있으며, 미세-균열과 같은 절곡 표면 결함들의 형성을 초래하지 않고 절곡되거나 또는 다른 방법으로 성형될 수 있다는 것을 발견하였다. 비-제한적인 실시예에서, 금속 또는 금속 합금판 또는 여기에서의 방법들에 의해 가공된 다른 제품은 적어도 0.125 인치(3.175 mm) 두께이다. 또 다른 비-제한적인 실시예에서, 금속 또는 금속 합금판 또는 여기에서의 방법들을 사용하여 가공된 다른 제품은 적어도 0.1875 인치(4.763 mm) 두께이다. 여기에 개시된 비-제한적인 실시예들에 따라 절곡되거나 또는 다른 방법으로 성형될 수 있는 판들 또는 다른 제품들의 두께는 최대 약 2 인치(5.08 cm) 또는, 몇몇 경우들에서, 최대 약 1 인치(2.54 cm)이며, 여기에서 두께는 상기 방법에서 소성 변형될 영역에 있다. 티타늄 합금판을 절곡하거나 또는 다른 방법으로 성형하기 위한 본 발명에 따른 방법의 비-제한적인 실시예에 따르면, 1000 톤 내지 1500 톤(8.896 MN 내지 13.34 MN)의 성능을 가진 브레이크 프레스 또는 다른 성형 장비는 1.5 인치(3.81 cm) 두께 판을 절곡하기에 충분하다. 여기에서의 온간 성형 방법들의 실시예들에 따라 절곡되거나 또는 다른 방법으로 성형될 수 있는 판의 두께는 단지 사용되는 브레이크 프레스(brake press) 또는 다른 성형 장비의 성능에 의해서만 제한된다고 여겨진다. 또한, 금속 및 금속 합금 판재의 절곡 또는 다른 성형, 즉 0.1875 인치(4.763 mm) 미만의 두께를 가진 제품은 여기에 개시된 실시예들의 범위 내에 있다는 것이 인식된다.

[0045] 여기에서의 방법들에 이용된 성형 온도들, 예컨대 0.2T<sub>m</sub> 내지 0.5T<sub>m</sub>의 온도 범위에서의 성형 온도들은 비교적 낮은 때문에, 유도 가열되는 금속 또는 금속 합금 제품의 선형 또는 다른 국부적인 영역의 특정한 기계적 특성들

은 절곡 또는 다른 성형 단계 후 실질적으로 변경되지 않는다. 여기에 사용된 바와 같이, 특성이 변경되지 않거나 또는 원래의 값으로부터, 10% 이하로, 또는 몇몇 경우들에서 5% 이하로 변경된다면, 기계적 특성은 "실질적으로 변경되지(substantially change)" 않는다.

[0046] 본 발명의 특정 비-제한적인 실시예들에 따라 이에 제한되지 않지만, 티타늄 합금들, 니켈-계 합금들, 및 특수 강들(예컨대, 스테인리스 강, 고-강도 저-합금 강(HSLA), 외장 강 합금들 등)과 같은, 난성형 금속 재료들은 비교적 낮은 온도들로 국소적으로 유도 가열될 수 있으며, 엄격한 반경들로 절곡된다는 것은 본 발명자들에게 특히 놀라운 일이었다. 예를 들면, 티타늄 합금판, 니켈-계 합금판, 및 특수 강 판으로부터 선택된 금속 제품의 선형 영역을 유도 가열하고 이를 절곡하는 것을 포함하는 여기에서의 비-제한적인 실시예에 따르면, 상기 형태는 적어도 6t의 절곡 반경으로 절곡된다. 여기에 사용된 바와 같이, "절곡 반경(bend radius)"은 내부 곡률에 대해 측정된, 반경이며, 판 또는 다른 금속 제품은 파괴하고, 표면 균열들을 형성하거나, 또는 절곡 영역에서 금속 제품의 기계적 특성들을 상당히 열화시키지 않고 절곡될 수 있다. 절곡 반경의 값은 판 또는 다른 제품의 두께("t")에 대하여 주어진다. 1t의 반경으로 절곡된 판은 예를 들면, 판의 두께와 동일한, 곡률 반경의 내부에서 측정되는, 반경을 가지는 절곡을 포함한다. 티타늄 합금판, 니켈-계 합금판, 및 특수 강 판으로부터 선택된 금속 제품의 선형 영역을 유도 가열하는 것 및 이를 절곡하는 것을 포함하는 다른 비-제한적인 실시예들에서, 제품은 적어도 4t 또는 적어도 2t의 반경으로 절곡된다. 티타늄 합금판, 니켈-계 합금판, 및 특수 강 판으로부터 선택된 금속 제품의 선형 영역을 유도 가열하는 것 및 이를 절곡하는 것을 포함하는 또 다른 비-제한적인 실시예에서, 제품은 적어도 1t의 반경으로 절곡된다.

[0047] 이러한 발명의 비-제한적인 측면은 금속판 또는 다른 제품의 선형 또는 다른 국부적인 영역을 가열하기 위한 간접 유도 가열 및 금속 제품을 온간 성형하기 위해 성형 단계를 이용한다. 도 3은 예를 들면, 티타늄 합금, 니켈-계 합금, 또는 특수 강(예컨대, 스테인리스 강, 고-강도 저-합금 강(HSLA), 외장 강 등)과 같은, 난성형 금속 재료의 판 또는 다른 제품을 절곡하거나 또는 다른 방법으로 성형하기 위한 방법(30)의 본 발명에 따른 비-제한적인 실시예의 흐름도이다. 도 4는 본 발명에 따른 비-제한적인 실시예에 사용된 장비 및 재료들의 배열(40)의 개략도이며, 여기에서 간접 유도 가열은 금속 제품을 온간 성형하기 위해 금속판 또는 다른 제품의 선형 또는 다른 국부적인 영역을 간접적으로 가열하기 위해 사용된다.

[0048] 각각 도 3 및 도 4의 방법(30) 및 배열(40)을 참조하면, 금속 제품을 온간 성형하기 위한 간접 유도 가열의 비-제한적인 실시예는 철 합금 표면(44) 상에서 금속 제품(42)을 배치하는 단계(32)를 포함한다. 비-제한적인 실시예에서, 금속 제품(42)은 난성형 금속 재료를 포함한다. 철 합금 표면(44)상에 금속 제품(42)을 배치한 후, 금속 제품(42)의 국부적인 영역(48)(선들(48a)에 의해 개략적으로 경계가 이루어진)과 접촉하는 철 합금 표면(44)의 국부적인 영역(46)은 미리 결정된 온도로 유도 가열된다(34). 철 합금 표면(44)을 유도 가열하는 것은 성형 온도 범위 내에서의 성형 온도로 금속 제품(42)의 국부적인 영역(48)을 도전 가열한다.

[0049] 비-제한적인 실시예에서, 철 합금 표면(44)의 국부적인 영역(46)이 가열되는 미리 결정된 온도는 금속 제품(42)의 성형 온도이다. 또 다른 비-제한적인 실시예에서, 철 합금 표면(44)의 국부적인 영역(46)이 가열되는 미리 결정된 온도는 금속 제품(42)의 성형 온도 범위에서의 성형 온도이다. 또 다른 비-제한적인 실시예에서, 철 합금 표면(44)의 국부적인 영역(46)이 가열되는 미리 결정된 온도는 금속 제품(42)의 성형 온도보다 높다. 그러나, 바람직하게는, 금속 제품(42)의 국부적인 영역(48)이 도전 가열되는 온도는 금속 제품(42)의 성형 온도 범위의 상한을 초과하지 않는다.

[0050] 도 4에 추가 도시된 바와 같이, 배열(40)에서, 철 합금 표면(44)의 국부적인 영역(46)을 유도 가열하는 것은 유도 가열될 철 합금 표면(44)의 국부적인 영역(46)의 반대 측(52) 상에 배치된 하나 이상의 유도 코일들(50)을 이용할 수 있다. 도 4는 하나의 유도 코일(50)이 철 합금 표면(44)의 국부적인 영역(46)을 가열하는 배열을 도시하지만, 하나 초과하는 유도 코일이 철 합금 표면(44)의 국부적인 영역(46)을 가열하기 위해 이용될 수 있다는 것이 이해될 것이다. 도 4의 비-제한적인 실시예에 도시된 바와 같이, 국부적인 영역을 가열하기 위한 가능한 수의 유도 코일들 및 그것들의 위치들에 관한 상기 논의는 이 발명의 범위 내에서 다양한 유형들의 온간 성형 동작들에서 사용될 수 있는 다른 국부적인 영역 기하학적 구조들에 대해 동일하게 적용한다는 것이 이해될 것이다.

[0051] 간접 유도 가열을 이용하는 본 발명에 따른 비-제한적인 실시예에서, 금속 제품(42)의 국부적인 영역(48)이 성형 온도 범위에서의 성형 온도로 철 합금 표면(44)의 국부적인 영역(46)에 의해 도전 가열될 때, 그 후 금속 제품(42)은 금속 제품(42)의 국부적인 영역(48)에서 금속 제품(42)을 소성 변형시킴으로써 절곡되거나 또는 다른 방법으로 성형된다(14).

- [0052] 본 발명에 따른 비-제한적인 실시예에서, 여기에 개시된 간접 유도 가열 방법은 이에 제한되지 않지만, 티타늄 합금들, 니켈-계 합금들, 및 특수 강들(예컨대, 스테인리스 강, 고-강도 저-합금 강(HSLA), 외장 강들 등)과 같은, 난성형 금속 재료들을 포함하는 금속 제품들을 절곡하고 다른 방법으로 성형하기 위해 사용될 수 있다. 또한, 본 발명에 따른 비-제한적인 실시예에서, 여기에 개시된 간접 유도 가열 방법은 금속 제품을 포함하는 금속 또는 금속 합금의 용융 온도의 0.2 내지 0.5의 성형 온도 범위에서의 성형 온도로 금속 제품의 국부적인 영역을 가열한다. 본 발명에 따른 또 다른 비-제한적인 실시예에서, 여기에 개시된 간접 유도 가열 방법은 금속 제품을 포함하는 금속 또는 금속 합금의 용융 온도의 0.24 내지 0.30의 성형 온도 범위에서의 성형 온도로 금속 제품의 국부적인 영역을 가열한다.
- [0053] 여기에 개시된 방법들의 특정한 비-제한적인 실시예들에서, 및 특히 도 3 및 도 4을 참조하면, 성형(36)은 이에 제한되지 않지만, 절곡, 드로잉, 편칭, 스탬핑, 및 롤 성형과 같은, 공정들을 포함한다. 또 다른 비-제한적인 실시예에서, 금속 제품(42)은 잉곳(ingot), 빌릿(billet), 블룸(bloom), 환봉(round bar), 각재(square bar), 압출(extrusion), 튜브(tube), 파이프(pipe), 슬랩(slab), 판재(sheet), 및 판과 같은, 공장 제품으로 이루어지거나 또는 이를 포함한다. 또 다른 비-제한적인 실시예에서, 금속 제품(42)은 금속 합금 판이고, 금속 합금판의 국부적인 영역은 선형 영역이며, 성형 단계(36)는 금속 합금판의 선형 영역에서 금속 합금판을 절곡하는 단계를 포함한다.
- [0054] 다시 도 4를 참조하면, 비-제한적인 실시예에서, 금속 제품(42)의 국부적인 영역(48)은 성형 단계(36) 동안 소성 변형될 금속 재료에 바로 인접한 금속 재료의 영역을 포함한다. 비-제한적인 실시예들에서, 국부적인 영역(48)은 약 0.5 인치(1.27 cm)까지, 약 1 인치(2.54 cm)까지, 약 2 인치(5.04 cm)까지, 약 3 인치(7.62 cm)까지, 약 4 인치(10.16 cm)까지, 또는 성형 단계(36) 동안 소성 변형될 제품(42)의 금속 재료로부터 떨어진 더 큰 거리를 연장하는 금속 재료의 영역을 포함한다. 보다 두꺼운 제품 형태들을 성형하기 위해, 국부적인 영역의 면적은 성형 동안 소성 변형을 겪는 금속 재료의 영역이 원하는 절곡 온도 또는 다른 성형 온도에 있음을 보장하기 위해 증가될 수 있다는 것이 예상된다.
- [0055] 간접 유도 가열을 수반하는 본 발명에 따른 비-제한적인 실시예에서, 금속 제품(42)의 국부적인 영역(48)은 선형 영역이다. 간접 유도 가열을 이용하는 특정 비-제한적인 실시예들에서, 선형 영역은 절곡될 판 또는 다른 금속 제품의 절곡선을 포함하고 이를 둘러싸는 영역이며, 선형 영역은 절곡선의 모두 또는 일부를 따라, 약 0.5 인치(1.27 cm)까지, 약 1 인치(2.54 cm)까지, 약 2 인치(5.04 cm)까지, 약 3 인치(7.62 cm)까지, 약 4 인치(10.16 cm)까지, 또는 절곡선의 측면들 중 하나 또는 둘 모두에 대한 보다 큰 거리를 연장할 수 있다. 또한, 보다 두꺼운 판을 절곡하기 위해, 선형 영역의 면적이 증가될 수 있다는 것이 예상된다.
- [0056] 금속 제품(42)을 온간 성형하기 위한 간접 유도 가열을 이용하는 비-제한적인 실시예에서, 금속 제품(42)은 티타늄 합금을 포함한다. 특정한 비-제한적인 실시예들에서, 티타늄 합금은 ASTM 등급들 5, 6, 12, 19, 20, 21, 23, 24, 25, 29, 32, 35, 36, 및 38 티타늄 합금들로부터 선택된다.
- [0057] 금속 제품(42)을 온간 성형하기 위한 간접 유도 가열을 이용하는 또 다른 비-제한적인 실시예에서, 금속 제품은 고 강도 특수 강을 포함한다. 비-제한적인 실시예에서, 금속 제품(42)은 400 BHN 강 외장 합금, 500 BHN 강 외장 합금, 600 BHN 강 외장 합금, 700 BHN 강 외장 합금, 고 강도 저 합금 강, RHA 합금, HHA 합금, 및 UHH 합금으로부터 선택된 재료를 포함한다.
- [0058] 특히 도 4를 참조하면, 본 발명에 따른 비-제한적인 측면은 판(42)의 구성 내에 있는 금속 제품을 절곡하기 위해 간접 유도 가열을 사용하는 단계를 포함한다. 비-제한적인 실시예에서, 판의 국부적인 영역(48)은 선형 영역을 포함하며, 성형 단계(36)는 선형 영역에서 판을 절곡하는 단계를 포함한다.
- [0059] 비-제한적인 실시예들에서, 금속 제품(42)은 적어도 0.125 인치 (3.175 mm)의 두께를 가진다. 다른 비-제한적인 실시예들에서, 금속 제품(42)은 적어도 0.1875 인치(4.763 mm)의 두께를 가진다.
- [0060] 비-제한적인 실시예에서, 판(42)이 포함되는 금속 재료가 Ti-4Al-2.5V-1.5Fe-0.25O<sub>2</sub> 티타늄 합금(UNS 54250)일 때, 성형 온도 범위는 728°F 내지 874°F(387°C 내지 468°C)이다. 또 다른 비-제한적인 실시예에서, 금속 재료가 티타늄 합금일 때, 성형 온도 범위는 700°F 내지 900°F이다.
- [0061] 비-제한적인 실시예들에서, 금속 제품(42)의 국부적인 영역(48)은 성형(36) 후 적어도 1t의 절곡 반경을 가질 수 있다. 다른 비-제한적인 실시예들에서, 금속 제품(42)의 국부적인 영역(48)은 성형(36) 후 적어도 6t, 적어도 4t, 또는 적어도 2t의 절곡 반경을 가질 수 있다.

- [0062] 특정 비-제한적인 실시예들에서, 금속 제품은 공장 제품이다. 또 다른 비-제한적인 실시예에서, 금속 제품(42)은 잉곳, 빌릿, 블룸, 환봉, 각재, 압출, 튜브, 파이프, 슬랩, 판재, 및 판 중 하나이다.
- [0063] 본 발명의 비-제한적인 측면은 국부적인 간접 유도 가열을 사용하여 금속판을 절곡하기 위한 방법에 관한 것이다. 금속판은 금속 제품의 일 실시예이기 때문에, 도 3 및 도 4에 대한 참조가 다시 이루어진다. 금속판(42)을 절곡하기 위한 방법(30) 및 배열(40)은, 철 합금 표면(44)상에 금속 및 금속 합금으로부터 선택된 재료를 포함하는 금속 판(42)을 배치하는 단계(32); 금속판(42)의 선형 영역(48)과 접촉하는 철 합금 표면(44)의 선형 표면 영역(46)을 미리 결정된 온도로 유도 가열하고, 그에 의해 판(42)의 선형 영역(48)을 절곡 온도 범위 이내의 절곡 온도로 도전 가열하는 단계(34); 및 선형 영역(48)에서 판(42)을 절곡하는 단계(36)를 포함한다.
- [0064] 절곡은 성형의 일 실시예이다. 따라서, 온간 성형 금속 제품들에 대한 국부적인 간접 유도 가열에 유용한 여기에 설명된 모든 상태들이 금속 판들을 온간 절곡하기 위한 국부적인 간접 유도 가열의 비-제한적인 실시예들에 동일하게 적용한다는 것이 이해될 것이다. 또한, 금속 판들은 다양한 비-제한적인 실시예들에서 및 다른 방법으로 여기에 구체적으로 개시된 금속 재료들 중 임의의 것을 포함할 수 있으며, 판들은 여기에 논의된 국부적인 간접 유도 가열의 다양한 비-제한적인 실시예들에 의해 가공될 수 있다.
- [0065] 비-제한적인 실시예에서, 금속판(42)은 적어도 0.125 인치(3.175 mm)의 두께를 가진다. 또 다른 비-제한적인 실시예에서, 금속판은 적어도 0.1875 인치(4.763 mm)의 두께를 가진다.
- [0066] 본 발명의 하나의 비-제한적인 측면은 금속 및 금속 합금으로부터 선택된 금속 재료를 포함하는 제품들의 간접적인 국부적인 유도 가열을 위한 디바이스에 관한 것이다. 이제 도 5를 참조하면, 비-제한적인 실시예에서, 디바이스(60)는 철 합금 표면(64)을 포함하는 지지대(62), 및 적어도 하나의 유도 가열 디바이스(66)를 포함한다. 적어도 하나의 유도 가열 디바이스(66)는 철 합금 표면의 국부적인 영역(67)(선들(67a)에 의해 경계가 이루어진)을 유도 가열하도록 위치되고 적용된다. 도 5는 철 합금 표면(64)의 국부적인 영역(67)을 가열하기 위해 이용되는 하나의 유도 가열 디바이스(66)를 도시하지만, 하나 초과인 유도 가열 디바이스(66)가 철 합금 표면(64)의 국부적인 영역(67)을 가열하기 위해 이용될 수 있다는 것이 이해될 것이다. 또한, 도 5는 일반적으로 선형 구성을 가진 국부적인 영역(67)을 유도 가열하기 위한 디바이스를 도시하지만, 본 발명의 범위는 다른 기하학적 형상들 및/또는 방향들을 가지는 국부적인 영역들을 유도 가열하기 위해 유도 코일들의 수, 형상들, 및/또는 위치들을 변경하는 것도 포함하며, 다양한 유형들의 성형 동작들에 대해 유용할 수 있다는 것이 이해될 것이다. 비-제한적인 실시예에서, 철 합금 표면의 유도 가열된 국부적인 영역은 철 합금 표면상에 위치한 금속 및 금속 합금으로부터 선택된 재료를 포함하는 금속 제품의 국부적인 영역을 미리 결정된 온도로 도전 가열하도록 적용된다.
- [0067] 성형 동작에서, 예를 들면, 금속판 또는 다른 금속 제품을 절곡할 때와 같이, 적어도 하나의 유도 가열 디바이스(66)는 철 합금 표면(64)의 국부적인 영역(67)을 미리 결정된 온도로 유도 가열하기 위해 활성화된다. 비-제한적인 실시예에서, 미리 결정된 온도는 절곡될 금속 또는 금속 합금판 또는 다른 제품의 절곡 온도이다. 절곡될 금속 또는 금속 합금 제품(도시되지 않음)은 철 합금 표면(64)과 접촉하여 배치된다. 철 합금판의 유도 가열된 국부적인 영역(67)과 접촉한 금속 또는 금속 합금판의 국부적인 영역은 비-제한적인 실시예에서, 금속 또는 금속 합금 판이 절곡될 때의 온도인, 미리 결정된 온도로 도전 가열된다.
- [0068] 비-제한적인 실시예에서, 철 합금 표면(64) 및 지지대(62)는 동일한 철 합금을 포함한다. 또 다른 비-제한적인 실시예에서, 철 합금 표면(64) 및 지지대(62)는 하나의 조각이며, 철 합금 표면(62)은 지지대(62)의 표면이다. 하나의 비-제한적인 실시예에서, 지지대(62)는 철 합금 판재 및 철 합금 판 중 적어도 하나를 포함한다. 특정한 비-제한적인 실시예들에서, 철 합금 표면은 탄소 강, 강 합금, 및 스테인리스 강으로부터 선택된 재료를 포함한다. 다른 비-제한적인 실시예들에서, 철 합금 표면(64)은 지지대(62)의 표면이며, 표면(64) 및 지지대(62)는 저탄소 강(low carbon steel), 강 합금, 및 페라이트 스테인리스 강 합금 중 적어도 하나로 구성된다.
- [0069] 본 발명에 따른 비-제한적인 실시예에서, 유도 가열 디바이스들(66) 중 하나 이상은 하나 이상의 유도 코일들을 포함한다. 또 다른 비-제한적인 실시예에서, 하나 이상의 유도 가열 디바이스들(66)은 철 합금 표면의 특정 재료와 결합하는 주파수로 튜닝된다. 예를 들면, 철 합금 표면(64)은 강 합금으로 구성될 수 있으며, 유도 코일의 교번 자기장의 주파수는 강 합금을 최적으로 가열하도록 조정된다. 특정 재료들을 가열하기 위한 유도 코일들의 튜닝은 이 기술분야의 숙련자에게 알려져 있으며 여기에서 추가로 상술될 필요는 없다. 또 다른 비-제한적인 실시예에서, 적어도 하나의 유도 가열 디바이스는 철 합금 표면(64)의 맞은 편에 위치되며, 철 합금 표면(64)의 선형 영역을 유도 가열하도록 적용된다.

- [0070] 특정한 비-제한적인 실시예들에서, 디바이스(60)는 레그들(legs)(68)을 포함하는 유도 가열 테이블의 형태일 수 있다. 또한, 선택적으로, 디바이스는 국부적인 영역(69) 내의 가열을 보다 양호하게 포함하기 위해 및 수냉식(water cooled) 유도 코일들(66)을 절연시키기 위해 국부적인 영역(67)으로부터 떨어진 면적들에 절연 처리(insulation)(69)를 포함할 수 있다.
- [0071] 본 발명의 하나의 비-제한적인 측면은 금속판 또는 다른 금속 제품의 국부적인 영역의 직접 유도 가열을 위한 디바이스에 관한 것이다. 도 6을 참조하면, 비-제한적인 실시예에서, 디바이스(70)는 지지 표면(72)을 포함하는 지지대(71), 및 적어도 하나의 유도 가열 디바이스(73)를 포함한다. 지지대(71) 및 지지 표면(72)은 적어도 하나의 유도 가열 디바이스(73)에 의해 유도 가열되지 않는 하나 이상의 재료들로부터 구성된다. 예를 들면, 지지대(71) 및 지지 표면(72)은 전기적으로 도전성이 아니며, 그러므로 유도를 사용하여 가열될 수 없는 하나 이상의 재료들로부터 구성될 수 있다. 비-제한적인 실시예에서, 지지대(71) 및 지지 표면(72)은 내화 재료를 포함한다. 여기에 사용된 바와 같이, 용어 "내화 재료(refractory material)"는 그것들이 예를 들면, 1000°F(538°C)보다 높은 온도들과 같은, 고온을 견디도록 허용하는 화학적 및 물리적 특성들을 가지는 비-금속 재료들을 지칭한다. 지지대(71) 및 지지 표면(72)을 제조할 때 사용될 수 있는 내화 재료들은 이에 제한되지 않지만, 산화 알루미늄(aluminum oxide), 산화 규소(silicon oxide), 알루미늄노실리케이트들(aluminosilicates), 산화 마그네슘(magnesium oxide), 산화 지르코늄(zirconium oxide), 산화 칼슘(calcium oxide), 탄화 규소(silicon carbide), 내화 점토(fire clay), 내화 벽돌(fire brick), 마그네사이트 광석(magnesite ore), 돌로마이트 광석(dolomite ore), 크롬 광석(chrome ore), 및 그 혼합물들을 포함한다. 비-제한적인 실시예에서, 지지대(71) 및 지지 표면(72)은 동일한 내화 재료를 포함한다. 그러나, 지지대(71) 및 지지 표면(72)은 상이한 내화 재료들, 또는 다른 적절한 재료들을 포함할 수 있다는 것이 이해될 것이다.
- [0072] 적어도 하나의 유도 가열 디바이스(73)는 지지대(71)의 지지 표면(72)상에 위치되는 금속 제품(75)의 국부적인 영역(74)(선들(74a)에 의해 경계가 이루어진)을 유도 가열하도록 위치되고 적용된다. 금속 제품(75)은 디바이스(70)의 소자가 아니며, 디바이스(70)의 기능을 보다 양호하게 예시하기 위해 도 6에 포함된다는 것이 이해된다. 도 6은 지지 표면(72)상에 배치된 금속 제품(75)의 국부적인 영역(74)을 가열하기 위해 하나의 유도 가열 디바이스(73)를 도시하지만, 하나 초과와 유도 가열 디바이스(73)가 지지 표면(72)상에 위치된 금속 제품(75)의 국부적인 영역(74)을 가열하기 위해 이용될 수 있다는 것이 이해될 것이다. 또한, 도 6의 비-제한적인 실시예는 지지대(71) 아래에 위치된 유도 코일(73)을 도시하지만, 또 다른 비-제한적인 실시예에서, 적어도 하나의 유도 코일 또는 다른 유도 가열 디바이스(73)가 지지대에 내장될 수 있다. 또한, 도 6은 일반적으로 선형 구성을 가지는 국부적인 영역(74)의 직접 유도 가열을 위한 디바이스를 도시하지만, 본 발명의 범위는 다른 기하학적 형상들 및/또는 방향들을 가지는 국부적인 영역들을 직접 유도 가열하기 위해 유도 코일들의 수, 형상들, 및/또는 위치들을 변경하는 것도 포함하며 다양한 유형들의 성형 동작들에 유용할 수 있다는 것이 이해될 것이다.
- [0073] 예를 들면, 금속판 또는 다른 금속 제품을 절곡하는 것과 같은, 성형 동작시, 디바이스(70)의 적어도 하나의 유도 가열 디바이스(73)는 금속 제품(75)의 국부적인 영역(74)을 미리 결정된 온도로 직접 유도 가열하기 위해 활성화된다. 금속 제품(75)이 금속판이고 성형 동작이 절곡 동작인 비-제한적인 실시예에서, 미리 결정된 온도는 절곡 온도 범위 내에서 금속 판(75)의 절곡 온도이다.
- [0074] 유도 가열 디바이스(73)가 하나 이상의 수냉식 유도 코일들인 특정 비-제한적인 실시예들에서, 디바이스(70)는 레그들(76)을 포함하는 유도 가열 테이블의 형태일 수 있다. 또한, 선택적으로, 디바이스는 국부적인 영역(74) 내에서의 가열을 더욱 양호하게 포함하기 위해 및 수냉식 유도 코일들(73)을 절연시키기 위해 단열(thermal insulation)(77)을 포함할 수 있다.
- [0075] 본 발명에 따른 직접적 및 간접적 국부적인 유도 가열의 다양한 비-제한적인 실시예들에 관하여, 가열될 국부적인 영역에 대하여 유도 코일들의 위치 결정은 가열되는 국부적인 영역에서의 온도 분포에 영향을 미친다는 것이 이해될 것이다. 도 7a 및 도 7b는 금속 제품의 국부적인 영역을 가열하기 위한 직접 유도 가열 디바이스(70) 및 간접 유도 가열 디바이스(60)를 위한 지지대(62, 71)의 비-제한적인 실시예들의 개략적인 표현들이다. 지지대(62, 71)는 표면(64, 72) 및 반대 표면(80)을 포함한다. 디바이스(60, 70)의 비-제한적인 실시예들에서, 적어도 하나의 유도 코일(66, 73)은 반대 표면에 인접하여 위치될 수 있다. 도 7a 및 도 7b의 비-제한적인 실시예는 6개의 유도 코일들의 일부들(66, 73)을 도시하며, 여기에서 각각의 코일(66, 73)의 단부들은 전자석 전원 공급 장치에 연결된다. 그러나, 또한, 도 7a 및 도 7b의 도시는 반대 표면에 인접하여 위치되고 사문석 형상(serpentine shape)을 가지는 하나의 유도 코일을 포함하는 비-제한적인 실시예를 표현하기 위해 해석될 수 있으며, 여기에서 단지 코일(66, 73)의 가장 바깥쪽 단면들만이 전자석 전원 공급 장치에 연결된다. 도 7a 및 도

7b에 도시되는 코일들의 부분들을 연결하는 사문석 유도 코일의 절곡 단면들은 이들 도면들에 도시되지 않는다.

[0076] 도 7a 및 도 7b에서, 반대 표면으로부터의 적어도 하나의 유도 코일(66, 73)의 거리는 화살표(A)에 의해 표현된다. 비-제한적인 실시예에서, 거리(A)는 약 0.5 인치(1.27 cm)이다. 코일들 또는 적어도 하나의 코일(66, 73)의 단면 사이의 거리는 화살표(B)에 의해 표현된다. 비-제한적인 실시예에서, 거리(B)는 약 3 인치(7.62 cm)이다. 지지대(62, 71)의 두께는 화살표(C)에 의해 표현된다. 비-제한적인 실시예에서, 거리(C)는 약 1 인치(2.54 cm)이다.

[0077] 디바이스(60, 70)의 비-제한적인 실시예에서, 전자석 전원 공급 장치의 주파수 및 전력은 간접 유도 가열 디바이스(60)에서의 철 합금 표면(64)의 국부적인 영역(67), 또는 직접 유도 가열 디바이스(70)에서의 특정 금속 제품(75)의 국부적인 영역(74)을 효과적으로 가열하기 위해 선택된다. 티타늄 및 티타늄 합금들을 가열하기 위한 직접 유도 가열 디바이스의 비-제한적인 실시예에서, 전자석 전력 공급 장치는 약 6 KA에서 150 KW 및 1 KHz로 동작될 수 있다.

[0078] 이제 도 8을 참조하면, 본 발명의 또 다른 비-제한적인 측면은 금속 및 금속 합금으로부터 선택된 재료를 포함하는 금속판 또는 다른 금속 제품을 절곡하거나 또는 다른 방법으로 성형하기 위한 시스템에 관한 것이다. 비-제한적인 실시예에서, 상기 시스템은 예를 들면, 여기에서의 다양한 비-제한적인 실시예들에 논의된 바와 같이, 가열 디바이스(60, 70), 및 가열 디바이스에 근접하거나 또는 인접하여 위치되며, 선형 또는 다른 국부적인 영역의 온도가 원하는 온도 범위 아래로 냉각되기 전에 선형 또는 다른 국부적인 영역을 따라(즉, 선형 또는 다른 국부적인 영역에서) 금속 제품을 절곡하거나 또는 다른 방법으로 성형하도록 적용된 절곡 장치(80) 또는 다른 성형 장치를 포함한다. 비-제한적인 실시예들에서, 가열 디바이스(60, 70)는 선형 또는 국부적인 영역을 절곡 온도 또는 다른 성형 온도 범위에서의 절곡 온도 또는 다른 성형 온도로 가열한다. 비-제한적인 실시예에서, 절곡 또는 성형 장치는 가열 디바이스에 근접하여 위치되며 선형 또는 다른 국부적인 영역이 절곡 또는 다른 성형 온도 범위 아래로 냉각되기 전에 선형 또는 다른 국부적인 영역을 따라(즉, 선형 또는 다른 국부적인 영역에서) 금속 제품을 절곡하거나 또는 다른 방법으로 성형하도록 적용된다.

[0079] 도 9를 참조하면, 본 발명의 또 다른 측면은 성형된 탄도 외장관(90)에 관한 것이다. 비-제한적인 실시예에서, 본 발명에 따른 성형된 탄도 외장관(90)은 화살표들(92a, 92b)에 의해 지정된 "t"의 두께를 가지며, 화살표(96)에 의해 도시된 바와 같이 약 2t의 절곡 반경을 가지는 적어도 하나의 절곡 영역(94)을 포함한다. 본 발명에 따른 비-제한적인 실시예들에서, 탄도 외장관(90)은 적어도 0.125 인치(3.175 mm), 또는 적어도 0.1875 인치(4.763 mm)의 두께("t")를 가진다. 도 9는 약 2t의 절곡 반경(96)을 가진 두 개의 절곡 영역들(94)을 가지는 성형된 탄도 외장관(90)을 도시하지만, 본 발명에 따른 성형된 탄도 외장관(90)의 다른 비-제한적인 실시예들은 적어도 1t, 적어도 2t, 적어도 4t, 또는 적어도 6t의 절곡 반경(96)을 가진 적어도 하나의 절곡 영역(94)을 가진다. 또 다른 실시예에서, 성형된 탄도 외장관은 티타늄 합금, 니켈-계 합금, 및 특수 강(예컨대, 스테인리스 강, 고-강도 저-합금 강(HSLA), 외장 강 등) 중 하나를 포함한다. 본 발명에 따른 또 다른 비-제한적인 실시예에서, 탄도 외장관(90)의 절곡 영역(94)은 표면 결함들, 선상의 결함 지시모양들, 및 균열들이 없다.

[0080] 본 발명의 또 다른 측면은 본 발명의 성형된 탄도 외장관(90)의 일 실시예를 포함하는 제조물에 관한 것이다. 특정 비-제한적인 실시예들에 따르면, 상기 제조물은 모놀리식 쉘(monolithic hull), V-형 쉘, 폭발 보호 차량 언더벨리(underbelly)(지뢰들 및 다른 폭발 디바이스들로부터의 보호를 위한), 및 폭발 보호를 위한 엔클로저(enclosure) 중 하나의 형태인 성형된 탄도 외장관(90)으로 이루어지거나 또는 이를 포함한다.

[0081] 본 발명에 따른 특정 비-제한적인 실시예들을 도시하는 여러 예들은 다음과 같다.

[0082] 예 1

[0083] 유도 가열 디바이스는 유도 가열 테이블의 형태로 구성되었다. 가열 테이블의 사진이 도 10에 제공된다. 0.5 인치(1.27 cm)의 두께를 가지는 강 합금판이 지지대 및 철 합금 표면으로서 사용되었다. 레그들은 판을 지지하기 위해 강 판에 용접된다. 구리 유도 코일은 강 합금판의 밑면 상에 위치되며, 강 합금판의 선형 영역을 가열하고 그에 의해 강 합금판의 철 합금 표면을 가열하도록 적용되었다. 유도 코일은 강 합금판의 강 합금과 같은 철 합금들의 가열을 위해 적합한 주파수를 사용하여 RF 전력 변압기와 함께 활성화되었다. 유도 가열 디바이스는 난 성형 금속 재료들 및 다른 금속 재료들을 포함하는 금속 판들 및 다른 제품들의 국부적인 영역들을 도전 가열하는데 사용될 수 있다. 그 후, 도전 가열된 형태들은 예를 들면, 여기에서 다양한 실시예들과 함께 논의된 바와 같이 절곡되거나 또는 다른 방법으로 성형될 수 있다.

[0084] 예 2

[0085] 1 인치(2.54 cm)의 두께를 가지는 ATI 425<sup>®</sup> 티타늄 합금(Ti-4Al-2.5V-1.5Fe-0.25O<sub>2</sub> 합금, UNS R54250)의 판은 알레거나 테크놀러지스 주식회사(Allegheny Technologies Incorporated company), 알바니 OR(Albany OR), ATI 와 장(ATI Wah Chang)으로부터 획득되었다. 판은 종래의 공장 관례들을 통해 열간 압연되며(hot rolled), 공장-어닐링된 상태로 수신되었다. 판은 12 인치×30 인치 샘플들로 잘라졌다. 예 1에 설명된 유도 가열 테이블은 철 합금 표면의 국부적인 선형 영역이 800°F(428°C)의 온도로 유도 가열되도록 구성되었다. 티타늄 합금판 샘플들은 각각의 샘플의 의도된 절곡선이 유도 가열 테이블의 가열된 국부적인 영역 위에 위치되고, 그에 의해 각각의 샘플의 국부적인 영역이 도전 가열되도록, 유도 테이블 상에 순차적으로 위치되었다. 보다 구체적으로, 의도된 절곡선 및 바로 인접한 영역을 포함하는, 각각의 샘플의 선형 영역은 철 합금 표면과의 접촉을 통해 약 12분 내에 800°F(428°C)로 도전 가열되었다. 임의의 중요한 냉각이 발생하기 전에, 샘플들은 유도 가열 테이블 가까이 에 위치한 브레이크 프레스 상의 가열된 절곡선을 따라 절곡되었다. 샘플들은 1t 내지 6t의 증가적인 반경들로 절곡되었다. 절곡된 샘플은 도 11의 사진에 도시된다.

[0086] 절곡된 샘플들은 각각의 샘플의 절곡 영역의 상태를 평가하기 위해 조사되었다. 절곡 영역들에서 어떠한 표면 결함들, 선상의 결함 지시모양들, 또는 균열들도 관찰되지 않았다.

[0087] 예 3

[0088] 예 2에서 사용된 것과 동일한 공장-어닐링된 상태에서 1 인치(2.54 cm)의 두께를 가지는 ATI 425<sup>®</sup> 티타늄 합금 판은 ATI Wah Chang으로부터 획득되었다. 판의 길이 및 폭은 100 인치(2.54 m)×80 인치(2.032 m)이었다. 판은 예 1에 설명된 유도 가열 테이블 상에 위치되며, 의도된 절곡선 및 인접한 영역을 포함하는 판의 선형 영역은 약 20분 내에 800°F(426°C)로 도전 가열되었다. 판의 가열된 선형 영역이 임의의 상당한 냉각을 경험하기 전에 판은 브레이크 프레스로 전달되며, 판은 절곡선을 따라 2t의 반경으로 절곡되었다. 판은 유도 가열 테이블 상에 다시 위치되며, 또 다른 의도된 절곡선을 포함하는 상이한 선형 영역이 850°F(454.4°C)로 도전 가열되도록 배열 되었다. 그 후, 판은 브레이크 프레스에 전달되며, 선형 영역의 임의의 상당한 냉각이 발생하기 전에 2t의 반경으로 절곡선을 따라 절곡되었다. 이러한 공정은 판이 6개의 상이한 위치들에서 2t 반경으로 절곡될 때까지 반복 되었다. 6개의 절곡 영역들에서는 어떠한 표면 결함들 또는 균열도 관찰되지 않았다.

[0089] 예 4

[0090] 판은 하나 이상의 절곡들을 포함하기 위해 일반적으로 예 3에 설명된 공정을 사용하여 성형된다. 판은 예를 들면, Ti-4Al-2.5V-1.5Fe-0.25O<sub>2</sub> 합금, 또 다른 티타늄 합금, 또는 예를 들면, 500 BHN 강 외장 합금, 600 BHN 강 외장 합금, 700 BHN 강 외장 합금, 고 강도 저 합금 강, RHA 합금, HHA 합금, 또는 UHH 합금과 같은, 외장 합금으로 구성될 수 있다. 성형된 판은 외장된 또는 다른 차량의 새시(chassis)에 용접된다. 성형된 판은 차량을 위한 탄도 외장판 언더벨리로서 작용한다. 성형된 판의 형상, 방향, 및/또는 조성은 차량 아래에서 폭발된 폭발 디바이스들에 의해 생성된 폭발 에너지를 소멸시키도록 적용된다.

[0091] 예 5

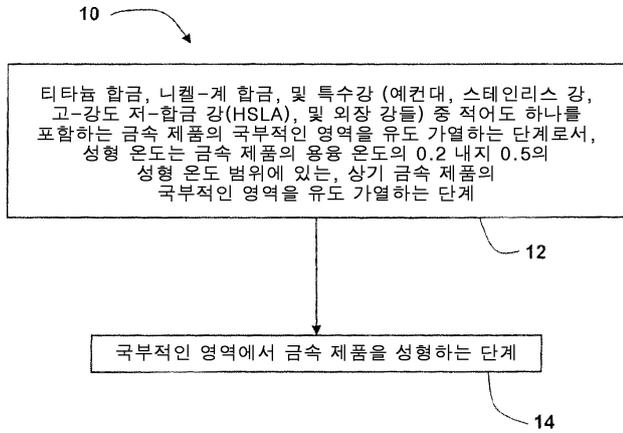
[0092] 84-인치(215.9 cm) 길이, 1-인치 (2.54 cm) 두께의 ATI 425<sup>®</sup> 티타늄 합금판의 국부적인 영역은 여기에 개시된 바와 같이 및 도 6에 도시된 바와 같이, 직접 국부적인 유도 가열 디바이스의 비-제한적인 실시예를 사용하여 직접 유도 가열되었다. 도 7에 도시된 바와 같이, 유도 가열 디바이스는 약 3 인치(7.62 cm) 떨어진 평면에서 이격된 6개의 단면들을 갖고 내화물 지지대로부터 약 0.5 인치(1.27 cm)에 위치한 사문석-형 유도 코일을 포함 하였다. 내화물 지지대의 두께는 약 1 인치(2.54 cm)였다. 유도 코일은 900초 동안 150 KW, 1 KHz, 및 1A로 활성화되었다. 그 후, 유도 코일로의 전력이 중단되었으며, 판은 공기 냉각하도록 허용되었다. 판의 최상부 및 최하부의 온도는 국부적인 유도 가열의 900초 후 및 가열된 구역의 중심선으로부터의 거리의 함수로서 공기 냉각의 60초 후에 측정되었다. 도 12는 가열 후 및 60초 동안 냉각 후 판의 최상부 및 최하부의 측정된 온도들의 플롯을 포함한다. 가열된 구역의 중심 영역에서 판의 최상부 및 최하부의 온도는 유도 가열의 900초 후 범위가 약 1200°F(648.9°C)에서 약 900°F(482°C)에 이르렀으며, 가열된 구역은 절곡된 판 영역의 중심선의 각각의 측면 상에서 약 11 인치(27.94 cm) 연장하였다. 약 60초 동안 주변 공기에서의 냉각 후, 가열된 구역의 중심 영역에서의 온도는 약 900°F(482°C) 내지 약 1000°F(537.8°C)의 범위에 있었으며, 이것은 판이 절곡되거나 또는 다른 방법으로 성형될 수 있는 온도 범위이다.

[0093] 본 설명은 본 발명의 명료한 이해에 관련된 본 발명의 이들 측면들을 도시한다는 것이 이해될 것이다. 이 기술 분야의 숙련자들에게 명백하며, 그러므로 본 발명의 보다 양호한 이해를 가능하게 하지 않을 특정 측면들은 본

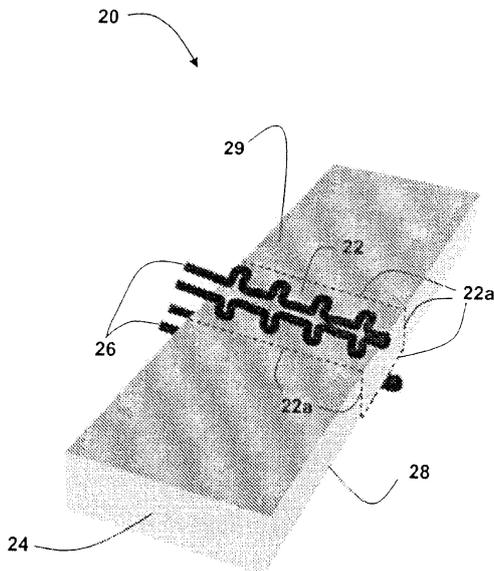
설명을 간단하게 하기 위해 제공되지 않았다. 단지 본 발명의 제한된 수의 실시예들만이 여기에 필수적으로 설명되지만, 이 기술분야에서의 숙련자는, 앞서 말한 설명을 고려할 때, 본 발명의 많은 수정들 및 변형들이 이용될 수 있다는 것을 인지할 것이다. 본 발명의 모든 이러한 변형들 및 수정들은 앞서 말한 설명 및 다음의 청구항들에 의해 커버되도록 의도된다.

**도면**

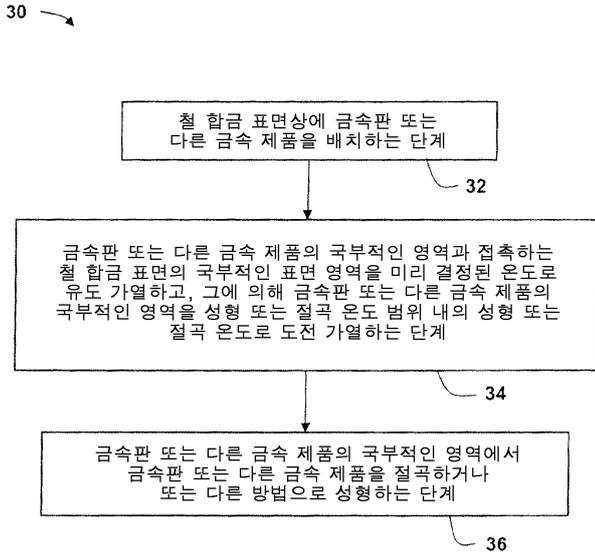
**도면1**



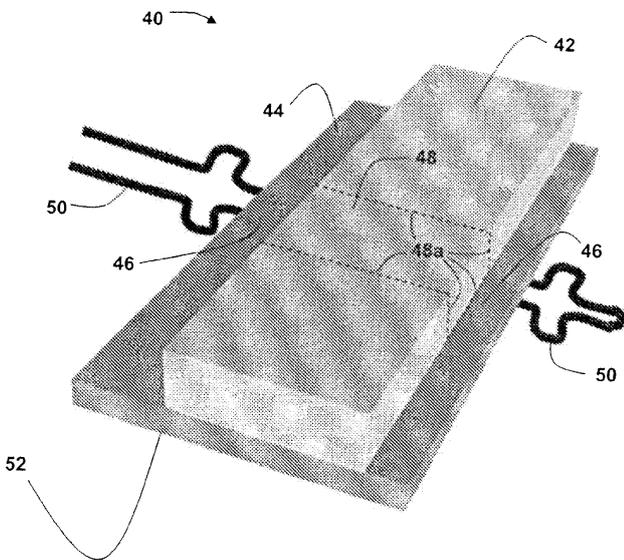
**도면2**



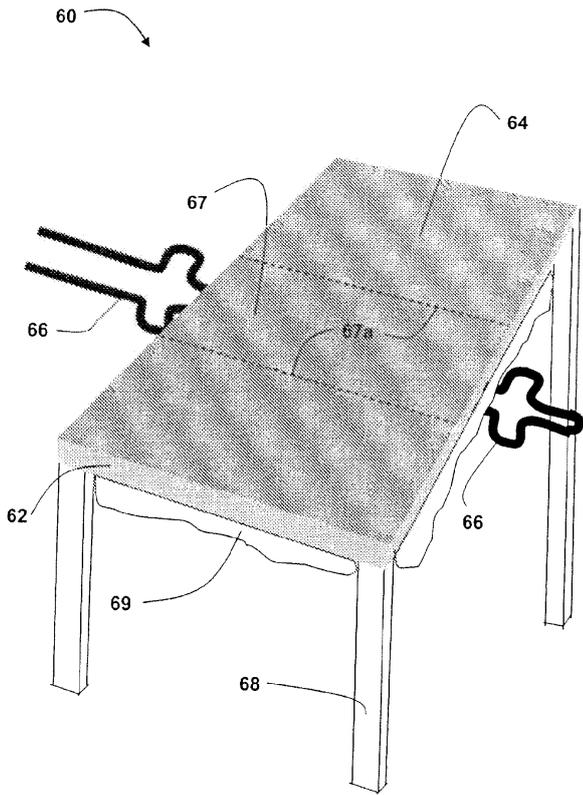
도면3



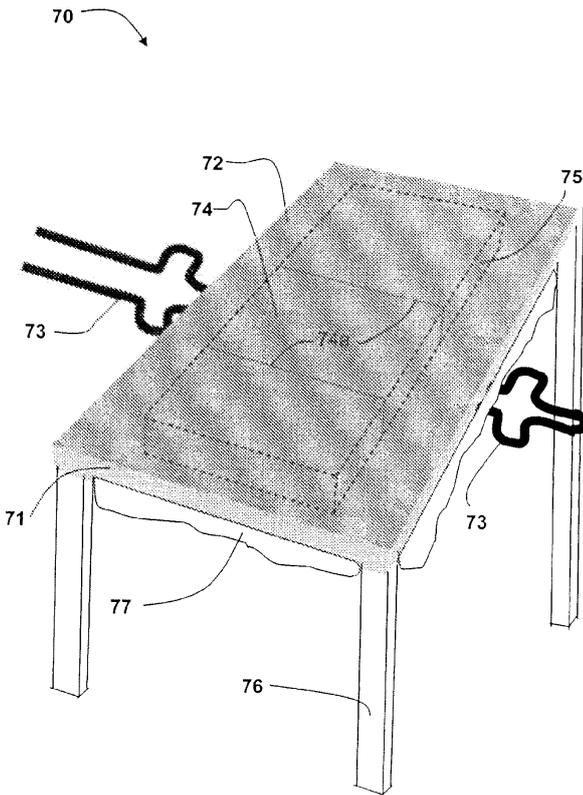
도면4



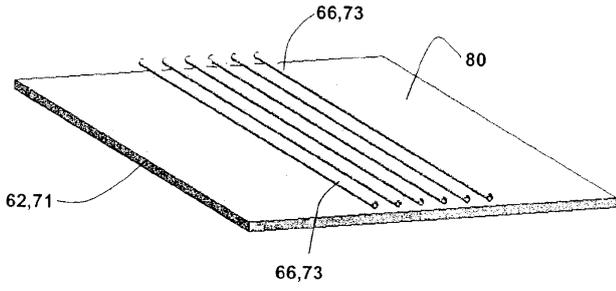
도면5



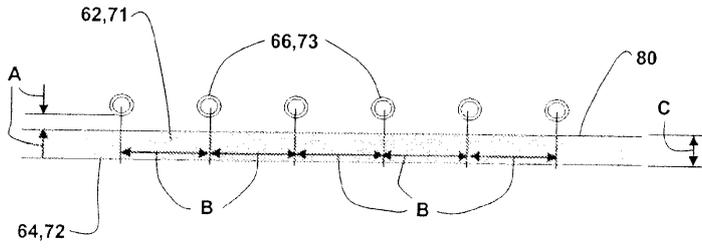
도면6



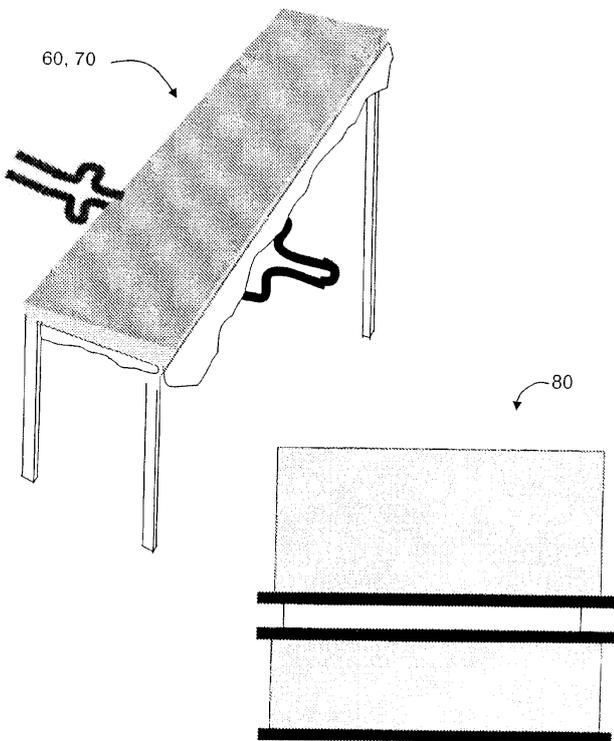
도면7a



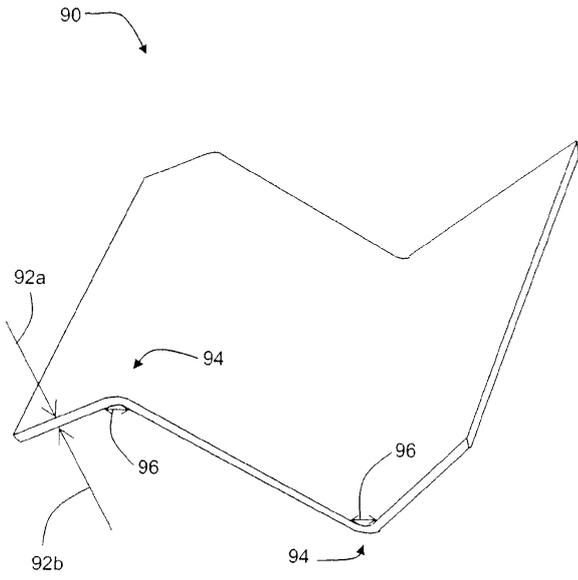
도면7b



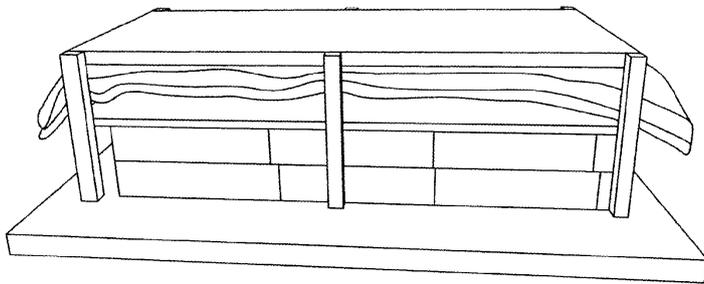
도면8



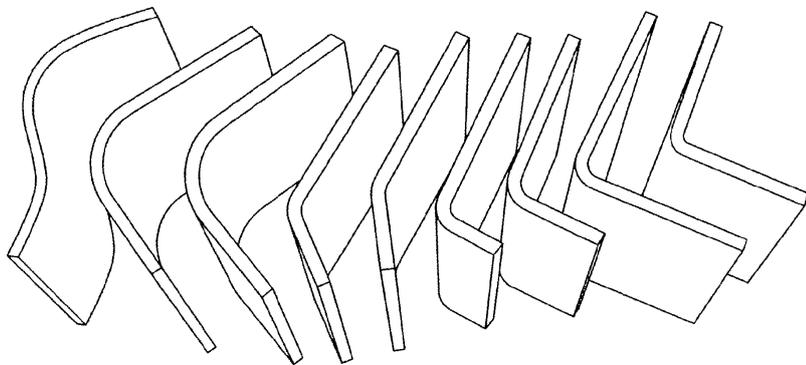
도면9



도면10



도면11



도면12

