



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

(11) 공개번호 10-2017-0047332  
 (43) 공개일자 2017년05월04일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
**B22D 21/06** (2006.01) **B23K 15/00** (2006.01)  
 (52) CPC특허분류  
**B22D 21/06** (2013.01)  
**B23K 15/00** (2013.01)  
 (21) 출원번호 10-2017-7008239  
 (22) 출원일자(국제) 2014년09월30일  
 심사청구일자 2017년03월27일  
 (85) 번역문제출일자 2017년03월27일  
 (86) 국제출원번호 PCT/JP2014/076103  
 (87) 국제공개번호 WO 2016/051511  
 국제공개일자 2016년04월07일

(71) 출원인  
**신닛테츠스미킨 카부시카이사**  
 일본 도쿄도 지요다꾸 마루노우찌 2쵸메 6방 1고  
 (72) 발명자  
**구니에다 도모노리**  
 일본 1008071 도쿄도 치요다꾸 마루노우찌 2쵸메 6방 1고 신닛테츠스미킨카부시카이사 내  
**다츠자와 요시츄구**  
 일본 1008071 도쿄도 치요다꾸 마루노우찌 2쵸메 6방 1고 신닛테츠스미킨카부시카이사 내  
 (뒷면에 계속)  
 (74) 대리인  
**양영준, 최인호, 성재동**

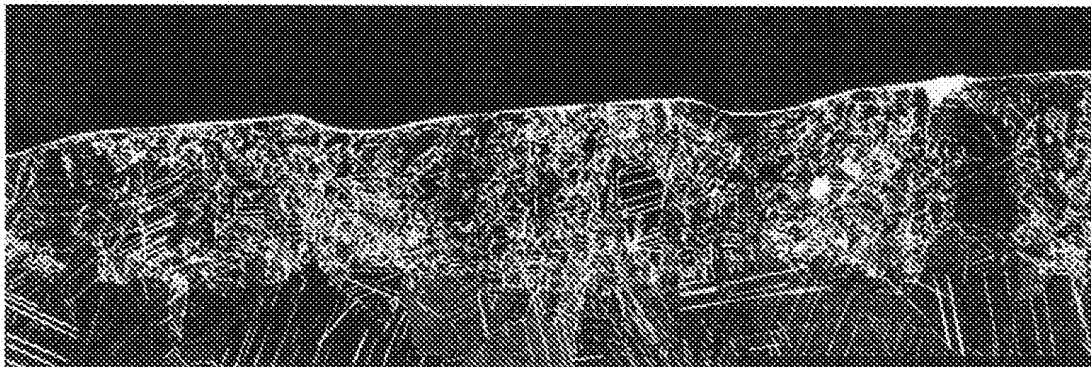
전체 청구항 수 : 총 7 항

(54) 발명의 명칭 **분괴 공정이나 정정 공정을 생략하여도 열간 압연 후의 표면 성상이 우수한 열간 압연용 티타늄 구조편 및 그 제조 방법**

**(57) 요약**

공업용 순티타늄 혹은 티타늄 합금으로 이루어지는 열간 압연용 티타늄 구조편으로서, 압연면으로 되는 표면에 있어서, 용융 재응고 처리에 의해 최표면에 형성한 바늘 형상 조직으로 이루어지는 조직 미세화층을 갖고, 상기 조직 미세화층의 두께가 깊이 5mm 이상, 9mm 미만이다. 본 발명에 의한 열간 압연용 티타늄 구조편은, 표면이 평탄하며 게다가 표면 바로 아래의 내부 미소 공극도 적고, 게다가 최표면은 현저하게 미세한 조직으로 되어 있다. 열간 압연에 제공한 경우, 열연 초기에 표면에 오목부가 발생하거나, 열연판에 표면 흠이 발생하거나 하는 것을, 실용적인 레벨로 안정적으로 방지할 수 있다.

**대표도 - 도5**



(72) 발명자

**모리 겐이치**

일본 1008071 도쿄도 치요다쿠 마루노우치 2초메  
6방 1고 신닛테즈스미킨카부시키카이사 내

**후지이 히데키**

일본 1008071 도쿄도 치요다쿠 마루노우치 2초메  
6방 1고 신닛테즈스미킨카부시키카이사 내

---

**명세서**

**청구범위**

**청구항 1**

티타늄으로 이루어지는 열간 압연용 티타늄 주조편이며,

압연면으로 되는 표면에, 용융시키고 재응고시킴으로써 형성된 모층보다도 미세 입자로 이루어지는 조직 미세화층을 갖고,

상기 조직 미세화층의 두께가 깊이 5mm 이상, 9mm 미만이며, 또한 상기 미세 조직의 평균 두께의 1/2의 위치에 있어서의 입경이 1mm 이상인 결정립의 비율이 15% 미만인, 열간 압연용 티타늄 주조편.

**청구항 2**

제1항에 있어서,

공업용 순티타늄 혹은 티타늄 합금으로 이루어지는, 열간 압연용 티타늄 주조편.

**청구항 3**

제1항 또는 제2항에 있어서,

티타늄으로 이루어지는 주조편 소재에 있어서, 열간 압연의 압연면으로 되는 표면을 전자빔 조사에 의해 가열하여, 표면으로부터 깊이 5mm 이상, 9mm 미만까지의 영역을 β 변태점 이상으로 가열하는 표층 가열 처리 공정과, 표층 가열 처리 공정 후, β 변태점보다 낮은 온도로 냉각하는 냉각 공정을 갖는, 열간 압연용 티타늄 주조편의 제조 방법.

**청구항 4**

제3항에 있어서,

상기 표층 가열 처리 공정에 있어서, 전자빔의 조사 층을, 주조편 소재의 표면과 평행한 방향으로 연속적으로 이동시키면서 전자빔 조사를 행하는, 열간 압연용 티타늄 주조편의 제조 방법.

**청구항 5**

제3항에 있어서,

상기 냉각 공정이, 주조편 소재의 모재측으로부터의 열제거에 의해 행해지는, 열간 압연용 티타늄 주조편의 제조 방법.

**청구항 6**

제3항에 있어서,

상기 주조편 소재가, DC 슬래브 주조법에 의해 주조한 것인, 열간 압연용 티타늄 주조편의 제조 방법.

**청구항 7**

제3항에 있어서,

상기 주조편 소재가, 주조 상태의 주조 표면을 갖는, 열간 압연용 티타늄 주조편의 제조 방법.

**발명의 설명**

**기술분야**

본 발명은, 열간 압연용 티타늄 주조편 및 그 제조 방법에 관한 것으로, 특히, 분괴 압연 공정이나 정정 공정을 생략하여도 열간 압연 후의 표면 성상을 양호하게 유지할 수 있는 티타늄 주조편 및 그 제조 방법에 관한 것이

[0001]

다.

- [0002] 일반적으로 공업용 순티타늄은, 클로르법에 의해 얻어진 스폰지 티타늄이나 티타늄 스크랩을 용해 원료로 하고, 진공 아크 용해(VAR)나 전자빔 용해(EBR) 등에 의해 용해하여, 대형의 주조편(잉곳)으로 하는 것이 통상적이었다. 여기서, 주조편 형상으로서는, 진공 아크 용해의 경우에는 원기둥 형상의 주조편(빌렛)으로 한정되고, 한편 전자빔 용해의 경우에는 직사각 형상의 주조편, 즉 슬래브로 주조할 수 있다.
- [0003] 또한 이와 같은 대형 주조편을 소재로서 티타늄 박판 등의 티타늄재를 제조하는 데 있어서는, 대형 주조편에 대하여, 필요에 따라 표면의 절삭 손질을 행하고 나서, 열간에 있어서 분괴 압연 혹은 단조를 실시하고, 그 후의 열간 압연에 적합한 형상, 치수의 슬래브로 가공한다. 이들 분괴 압연 혹은 단조에 의한 열간 가공 공정을, 여기서는 브레이크다운 공정이라 칭하고 있다. 그리고 또한 브레이크다운 후의 슬래브의 표면에 형성되어 있는 산화물층이나 산소 농화층을 제거하기 위해서, 표면을 절삭 가공에 의해 수 mm 정도 깎는 절삭 손질을 실시한 후, 열간 압연에 제공하는 것이 통상적이었다.
- [0004] 그러나, 이와 같은 종래의 일반적인 방법에서는, 대형 주조편으로부터 열간 압연에 적합한 형상, 치수에 가공하기 위한 분괴 압연 혹은 단조에 의한 브레이크다운 공정에 막대한 시간과 비용을 요하여, 이것이 티타늄 박판 제조의 생산성 향상, 비용 절감에 대한 큰 걸림으로 되고 있었다.
- [0005] 그런데, 최근에 이르러, 슬래브 형상의 주조편을 주조하는 방법으로서, 전술한 바와 같은 대형 잉곳 주조 대신에, 전자빔 용해에 의해 노상 내에서 용해한 티타늄 용탕을, 진공 분위기에 유지된 수랭 구리 주형 내에 연속적으로 주입하고, 또한 그 수랭 구리 주형 내에서 응고한 부분을 주형의 하단부측으로부터 연속적으로 뽑아내어, 소정 길이의 슬래브 형상 주조편을 얻는, DC 슬래브 주조법(다이렉트 캐스트법)이 채용되었다. 이 DC 슬래브 주조법에 의해, 비교적 얇은 슬래브 형상 주조편, 즉 그대로 열간 압연에 제공하는 것이 가능한 형상, 치수를 갖는 티타늄 주조편을 제조하는 기술이 확립되어 가고 있다.
- [0006] 이와 같은 전자빔 용해-진공하에서의 DC 슬래브 주조법을 적용하면, 종래 필요로 하던 브레이크다운 공정을 생략하는 것이 가능하게 되고, 그 결과, 티타늄 박판 제조의 생산성을 향상시켜서, 제조 비용을 저감하는 것이 가능해진다. 그러나, 진공하에서의 DC 슬래브 주조에 의해 얻어진 슬래브도, 주조한 재료의 주조편의 표면층은, 요철이 심하고 또한 결함이 많다. 이와 같은 주조편을 그대로 열간 압연에 제공하면, 열간 압연 상승판(열연판)의 표면 성상이 나빠지기 때문에, 전술한 바와 같이 대형 잉곳으로부터의 브레이크다운 공정을 적용한 경우와 마찬가지로, 표면에 절삭 가공을 실시하고 나서 열간 압연에 제공할 수 없는 것이 실상이다. 따라서 재료의 수율이 저하되고, 또한 절삭 가공의 수고, 비용을 요하기 때문에, 아직 개선의 요망이 강한 것이 실정이다.
- [0007] 또한, 전술한 바와 같이 전자빔 용해-진공하에서의 DC 슬래브 주조법을 적용하여 얻어진 슬래브(브레이크다운 공정 생략)에, 표면 절삭 가공을 실시하고 나서 열간 압연에 제공한 경우라도, 열간 압연 후의 열연판의 표면 성상은 반드시 양호하게는 되지 않는다는 문제가 있다. 즉, 열연판 표면에, 수 mm 내지 10mm 정도의 길이에까지 달하는 크고 작은 덧임 형상의 흠이 다수 발생한다는 문제가 있다. 이와 같은 표면의 다수의 덧임 형상의 흠을, 여기에서는 표면 흠이라고 칭하도록 하고 있다. 이와 같은 열연판의 표면 흠은, 주조한 슬래브의 조대 주조 조직에 유래한다고 생각된다. 즉, 열간 가공인 브레이크다운 공정을 거치지 않는 슬래브는, 주조한 상태(as cast; "주조 상태")의 조대한 결정립으로 이루어지는 주조 조직을 갖고 있으며, 그 표면에 절삭 가공을 실시하여도, 절삭 후의 표면층에는 조대한 조직이 존재하고 있는 것이며, 이와 같은 조대한 표면의 주조 조직에 기인하여, 열연판에 표면 흠이 발생한다고 생각된다.
- [0008] 여기서, 조대한 주조 조직에 기인하여 열연판에 표면 흠이 발생하는 구체적인 요인으로서, 조대한 결정립에 기인하여 입자 내 및 결정립 간의 변형 이방성의 영향에 의해 표면에 요철이 발생하고, 그 후의 열연 진행에 수반하여, 이 오목부 위에 금속이 덮여서 표면 흠으로 된다고 생각된다. 또한, 티타늄 합금에서는 변태 시에 구 β 결정립의 입계 근방에 α 상이 생성(입계 α 상)한다. 티타늄 합금에서 자주 사용되는 Al이나 O 등의 α 안정화 원소를 다량으로 포함하는 합금계에서는, α 상과 β 상의 열간 변형 저항이 크게 상이하며, 이 차이가 후의 열간, 냉간 가공 시의 균열의 기점이 되는 경우도 있다.
- [0009] 그런데 브레이크다운 공정을 거치지 않고 얻어진 열간 압연용 티타늄 슬래브에 대하여, 열간 압연 후의 열연판 표면에 발생하는 표면 흠의 발생을 방지하기 위해서, 열간 압연 전에 슬래브 표면층에 개질 처리를 실시해 두는 방법이, 이미 몇 가지 제안되어 있다.
- [0010] 예를 들어, 특허문헌 1에 있어서는, 열간 압연용 티타늄 슬래브의 표면을, 곡률 반경이 3 내지 30mm의 선단 형

상을 갖는 강제 공구, 혹은 반경이 3 내지 30mm의 강구에 의해, 냉간에서 두드리고(소성 가공하고), 이에 의해, 파형의 윤곽 곡선 요소의 평균 높이가 0.2 내지 1.5mm, 평균 길이가 3 내지 15mm의 덩푼을 부여하는 것이 제안되어 있다. 이 제안의 방법에서는, 전술한 바와 같이 강제 공구 혹은 강구에 의해 티타늄 슬래브의 표면층에 냉간에 의해 소정의 소성 왜곡을 부여해 둠으로써, 그 후의 열간 압연 시에 있어서 표면층을 재결정시키고, 미세 조직을 생성시킨다. 이에 의해, 전술한 바와 같은 조대 조직에 기인하는 오목부의 발생을 방지하는 것이 가능하며, 따라서 브레이크다운 공정을 생략하여도, 열연관의 표면 흠을 경감시키는 것이 가능하다.

[0011] 또한 특허문헌 2에 있어서는, 열간 압연용 티타늄 슬래브의 표면, 특히 열간 압연 시에 있어서의 압연면으로 되는 층의 표면에, 고주파 유도 가열, 아크 가열, 플라즈마 가열, 전자빔 가열 및 레이저 가열 등에 의해 고에너지를 부여하여, 그 표면층만을, 1mm 이상의 깊이에 걸쳐 용융시키고, 즉시 급랭 재응고시키는 방법이 제안되어 있다. 또한 이 제안의 방법의 경우, 티타늄의 용점은 당연히  $\beta$ 변태점 이상의 온도이기 때문에, 표면을 용융시키는 데 수반하여, 표면의 용융층보다도 하층(모재층)의 열 영향 영역(HAZ)층도,  $\beta$ 변태점 이상으로 가열되어서,  $\beta$ 변태하게 된다. 그리고 이 제안의 방법에서는, 열간 압연용 티타늄 슬래브의 표면층이 용융함으로써, 표면이 평활화되고, 또한 그 후에 모재층으로부터의 열제거에 의해 용융층이 급랭되어 응고하고, 동시에 하층의 HAZ층( $\beta$ 상)이 급랭됨으로써, 용융층 및 HAZ층이, 미세한 변태 조직(통상은 미세 바늘 형상 조직)으로 된다. 그리고 이와 같이 하여 미세화된 표면층은, 그 후의 열간 압연 초기에 있어서 재결정하여, 미세하며 불규칙한 방위를 갖는 입상의 조직(등축립 조직)으로 된다. 그로 인해, 조대 조직에 기인하는 오목부의 발생을 방지하고, 열간 압연 후의 열연관의 표면 흠도 해소하는 것이 어느 정도 가능하였다. 그러나, 특허문헌 2에 개시된 발명에 있어서는, 열연관의 표면 흠을 실용적인 레벨로 방지할 수 없는 경우가 있으며 그 원인은 불분명하여, 개선이 요구되었다.

### 선행기술문헌

#### 특허문헌

- [0012] (특허문헌 0001) 국제공개 제2010/090352호
- (특허문헌 0002) 일본 특허공개 제2007-332420호 공보

### 발명의 내용

#### 해결하려는 과제

[0013] 본 발명은, 특허문헌 1에 개시된 바와 같은 표면층 개질 처리를 필요로 하지 않고, 특허문헌 2에 개시된 발명을 더욱 개선하여, 브레이크다운 공정을 생략하고, 그 후의 열간 압연 후의 열연관 표면에 표면 흠이 발생하는 것을 실용적인 레벨로 방지하여, 이에 의해 티타늄 열연관 제조의 생산성을 향상시키고, 또한 비용 절감을 도모할 수 있도록 한 열간 압연용 티타늄 주조편, 및 그 제조 방법을 제공하는 것을 과제로 하고 있다.

#### 과제의 해결 수단

[0014] 전술한 과제를 해결하기 위해서, 전술한 특허문헌 2에 개시하는 표면층 개질 기술에 대하여, 예의 실험·검토를 거듭한바, 다음과 같은 지견을 얻었다.

[0015] 즉, 전자빔 등의 고에너지 밀도의 가열 수단에 의해 주조편의 표면을 가열하여, 표면층만을 용융시킨 후의 냉각은, 모재층으로부터의 열제거에 의해 행해지는 것이 통상적이다. 이때, 용융층의 두께가 얇을수록, 주조편 표면의 단위 면적당의 입열량(이하, 입열량에 관하여 단위 면적이란 1cm<sup>2</sup>를 가리킴)이 적기 때문에, 가열 직후의 냉각 속도가 커지게 되고, 그로 인해 냉각되어서 응고한 표면층(용융 재응고층)은, 보다 미세한 조직으로 되고, 그 후에 열간 압연을 위한 가열을 실시했을 때의 표면층의 조직도, 보다 미세화되어, 그 결과, 열연 초기에 발생하는 오목부나 열연관의 표면 흠의 발생도 확실하게 억제하는 것이 가능해진다.

[0016] 그러나, 용융층의 두께가 얇으면 이하의 문제가 있다는 사실도 알게 되었다.

[0017] (1) 용융 깊이가 얇은 경우, 표면으로부터 어느 정도의 깊이의 위치에 존재하는, 주조에 유래하는 공극이나 주름 등의 결함은 소멸되지 않는 경우가 있다. 즉, 용융 후의 재응고에 의해 표면층의 조직을 충분히 미세화시키기 위해서는, 용융 깊이는 수 mm 정도, 용융에 의해 용융부보다도 하부에 형성되는  $\beta$ 영역 이상 용점 미만까지

가열됨으로써 형성하는 미세 조직층( $\beta$ HAZ층)을 합친 용융 깊이+ $\beta$ HAZ의 조직 개질층을 5mm 이상으로 하는 것이 필요하다는 사실이 실험적으로 확인되었다. 즉, 용융 깊이가 얇아지면 공극은 소멸하지 않고, 그로 인해 열연 시에 이들 공극이 기점으로 되어 크랙이 발생하고, 표면에 오목부가 발생하여, 표면 흠이 발생하는 것이 추측되었다.

[0018] (2) 전자빔 등의 고에너지를 1방향으로 이동시키면서 조사함으로써 주조편의 표면을 가열해서 표면층만을 용융시키기 위해서, 조사부와 모재부의 경계 근방(용융 비드 단부)에서는 용융 깊이가 매우 얇아진다. 용융 깊이가 얇은 부분이 존재하는 경우, 용융 깊이 + $\beta$ HAZ의 조직이 미립화되기 쉽지만, 한편으로 (1)의 문제 이외에, 조직 개질된 하층에 존재하는 조대한 주조 조직에 기인한 오목부를 기점으로 해서 크랙이 발생하여, 열연편의 표면 흠을 발생시키고 있다는 사실을 확인할 수 있었다. 이 현상을 방지하기 위해서는, 용융 깊이 + $\beta$ HAZ의 조직 개질층을 5mm 이상으로 함으로써 방지할 수 있다는 사실을 알게 되었다.

[0019] (3) 한편으로, 주조편 표면의 압연되는 면의 전부를 완전히 조직 개질하는 것은 막대한 비용이 필요해진다는 사실을 알게 되었다. 그러나, 다소의 열연 시의 표면 흠의 발생은, 열연편 표면의 손질을 행함으로써 해소할 수 있어, 분해 압연이나 단조의 비용 삭감의 장점을 충분히 얻을 수 있다는 사실도 알게 되었다.

[0020] 한편, 용융 깊이를 깊게 한 경우에는, 이하의 문제가 있다는 사실도 알게 되었다.

[0021] 용융 깊이를 깊게 하고자 하는 경우, 보다 고에너지 밀도를 갖고 표면층을 용융시키지 않으면 안 된다. 그러나 그 경우에는, 전술한 경우와는 반대로, 단위 면적당 입열량이 커지게 되어, 가열 직후의 모재측으로부터의 열제거에 의한 냉각 속도가 작아진다. 그로 인해, 냉각되어 응고한 표면층(용융 재응고층)의 조직은 충분히 미세화되지 않고, 그 후에 열간 압연을 위한 가열을 실시했을 때의 표면층의 조직도 충분히 미세화되지 않아, 그 결과, 열연 초기에 발생하는 오목부나 열연편의 표면 흠이 충분하게는 저감되지 않게 된다. 이 현상을 방지하기 위해서는, 용융 깊이 + $\beta$ HAZ의 조직 개질층을 9mm 이하로 억제할 필요가 있다는 사실도 알게 되었다.

[0022] 이와 같은 신규의 지견을 베이스로 하여 본 발명자들이 예의 실험·검토를 거듭한 결과, 특허문헌 2에 개시되는 표면 개질 기술의 문제점이 명백하게 되어, 더욱 개량함으로써, 열연 초기에 발생하는 오목부나 열연편의 표면 흠을 충분히 억제할 수 있다는 사실을 알아내고, 열연 초기에 발생하는 오목부나 열연편의 표면 흠을 실용적인 레벨로 억제할 수 있다는 사실을 알아내었다.

[0023] 즉, 열간 압연용 슬래브의 소재가 되는 주조편의 표면층을, 전자빔 조사에 의해 용융, 재응고시킬 때, 전자빔 조사 출력이나 조사 조건(용융 비드의 중첩 방법 등)을 컨트롤하고, 전자빔 조사에 의해 형성되어 조직 미세화층 전체의 형상을 특정한 범위가 되도록 열간 압연용 슬래브 표면의 용해를 행함으로써, 열연 초기에 발생하는 오목부나 열연편의 표면 흠을 실용적인 레벨로 확실하게 방지할 수 있고, 그 후의 열간 압연 후의 열연편에 있어서의 표면 흠의 발생을 확실하게 억제할 수 있다는 사실을 알아내어, 본 발명을 완성하기에 이른 것이다.

[0024] 본 발명의 요지로 하는 바는, 이하와 같다.

[0025] [1]

[0026] 티타늄으로 이루어지는 열간 압연용 티타늄 주조편으로서,

[0027] 압연면으로 되는 표면에, 용융시키고 재응고시킴으로써 형성된 모층보다도 미세 입자로 이루어지는 조직 미세화층을 갖고,

[0028] 상기 조직 미세화층의 두께가 깊이 5mm 이상, 9mm 미만이며, 또한 상기 미세 조직의 평균 두께의 1/2의 위치에 있어서의 입경이 1mm 이상인 결정립의 비율이 15% 미만인, 열간 압연용 티타늄 주조편.

[0029] [2]

[0030] 공업용 순티타늄 혹은 티타늄 합금으로 이루어지는, 상기 [1]에 기재된 열간 압연용 티타늄 주조편.

[0031] [3]

[0032] 티타늄으로 이루어지는 주조편 소재에 있어서, 열간 압연의 압연면으로 되는 표면을 전자빔 조사에 의해 가열하여, 표면으로부터 깊이 5mm 이상, 9mm 미만까지의 영역을  $\beta$ 변태점 이상으로 가열하는 표층 가열 처리 공정과, 표층 가열 처리 공정 후,  $\beta$ 변태점보다 낮은 온도로 냉각하는 냉각 공정을 갖는, 상기 [1] 혹은 [2]에 기재된 열간 압연용 티타늄 주조편의 제조 방법.

[0033] [4]

- [0034] 상기 표층 가열 처리 공정에 있어서, 전자빔의 조사 충을, 주조편 소재의 표면과 평행한 방향으로 연속적으로 이동시키면서 전자빔 조사를 행하는, 상기 [3]에 기재된 열간 압연용 티타늄 주조편의 제조 방법.
- [0035] [5]
- [0036] 상기 냉각 공정이, 주조편 소재의 모재측으로부터의 열제거에 의해 행해지는, 상기 [3]에 기재된 열간 압연용 티타늄 주조편의 제조 방법.
- [0037] [6]
- [0038] 상기 주조편 소재가, DC 슬래브 주조법에 의해 주조한 것인, 상기 [3]에 기재된 열간 압연용 티타늄 주조편의 제조 방법.
- [0039] [7]
- [0040] 상기 주조편 소재가, 주조 상태의 주조 표면을 갖는, 상기 [3]에 기재된 열간 압연용 티타늄 주조편의 제조 방법.
- [0041] 이와 같은 본 발명에 의하면, 주조 후의 주조 표면에 존재하고 있던 심한 요철이 용융에 의해 해소되어 평활화 되고, 동시에 주조 시에 유래하는 내부 공극 등의 결함이 소멸되어 있으며, 또한 조대한 주조 조직도 소멸되어 있다. 게다가, 최표면은, 재가열·급랭에 의한 조직 미세화층으로 되어 있다. 그로 인해, 본 발명의 열간 압연용 티타늄 주조편을 열간 압연에 제공할 때에는, 주조 시에 유래하는 주름이나 내부 공극에 기인하는 표면 흠의 발생을 미연에 방지할 수 있음과 동시에, 조직 미세화의 불충분에 기인하는 열연 초기의 오목부 발생이나 열연판의 표면 흠의 발생도, 확실하게 미연에 방지할 수 있다.
- [0042] 즉, 용융되어서 재응고했을 때 용융 및  $\beta$  변태점 이상까지 가열된 내측 조직 미세화층은, 그 조직 미세화층이 5 mm 이상, 9mm 미만의 범위에 있고, 용융 비드 간이더라도 충분한 두께를 갖고 있어, 표면 근방으로부터 수 mm 정도의 위치에 존재하던 공극이 충분히 소멸되어 있다.
- [0043] 한편, 용융을 너무 깊게 하지 않음으로써 모재로부터의 열제거에 의한 고속의 급랭 효과에 의해, 충분히 미세한 조직으로 이루어지는 층으로 되어 있다. 그로 인해, 조직 미세화의 불충분에 기인하는 열연 초기의 오목부 발생이나 열연판의 표면 흠의 발생도, 확실하게 방지할 수 있다.
- [0044] 그리고 전술한 각 작용은, 주조 후에 열간 가공인 분괴 압연이나 단조 등의 브레이크다운 공정을 거치지 않는 상태의 주조 편이더라도 얻을 수 있고, 게다가 표면에 미리 절삭 가공을 실시하지 않은 주조 상태의 소위 흑피의 주조편에서도 얻을 수 있다.
- [0045] 또한 본 발명의 열간 압연용 티타늄 주조편의 제조 방법에 있어서, 상기 주조편 소재가, DC 슬래브 주조법에 의해 주조한 것, 전자빔 용해법에 의해 얻어진 용탕을, DC 슬래브 주조법에 의해 주조한 것, 주조 상태의 주조 표면을 갖는 것 중 어느 것이라도 무방하다. 이와 같은 직사각형 주조편은, 분괴 압연 혹은 단조로 이루어지는 브레이크다운 공정을 거치지 않고 얻어진 것이며, 그 용해법은 특별히 한정하는 것이 아니지만, 전자빔 용해법이나 플라즈마 아크 용해법 등이 적용 가능하다. 전자빔 용해법에 있어서는, 고진공 중의 용해이기 때문에, 용해 후에 슬래브 표면 부근에 잔존하는 공극 내부가 진공으로 되기 때문에, 열간 압연 시에, 그 공극을 압착해서 무해화하기 쉬운 이점이 있다. 한편, 플라즈마 아크 용해법에 있어서는, 저진공 분위기로 용해할 수 있기 때문에, 티타늄 합금을 제조할 때, 증기압이 높은 합금 원소를 첨가하기 쉬운 이점이 있어, 적절히 용해하는 성분계에 의해 최적의 용해 방법을 선택하면 된다.

**발명의 효과**

- [0046] 본 발명에 의한 열간 압연용 티타늄 주조편은, 표면이 평탄하며 게다가 표면 바로 아래의 내부의 미소 공극도 적고, 게다가 최표면은 현저하게 미세한 조직으로 되어 있다. 따라서 그것을 열간 압연에 제공한 경우, 열연 초기에 표면에 오목부가 발생하거나, 열연판에 표면 흠이 발생하거나 하는 것을, 실용적인 레벨로 안정적으로 방지할 수 있다. 그리고 이와 같은 효과는, 열간 압연용 티타늄 주조편을 제조하기 위한 소재 주조편으로서, 분괴 압연이나 단조 등의 브레이크다운 공정을 거치지 않는 주조편을 사용해도 얻을 수 있다. 그로 인해 브레이크다운 공정을 생략하는 것이 가능하게 되어, 종래보다도 현격하게 비용 절감을 도모하는 것이 가능해진다.

**도면의 간단한 설명**

- [0047] 도 1은, 본 발명의 열간 압연용 티타늄 주조편의 제조 방법의 실시 형태의 플로우를 나타내는 약해도이다.
- 도 2는, 본 발명의 열간 압연용 티타늄 주조편의 제조 방법의 실시 형태에 제공되는 소재(직사각형 티타늄 주조편)의 일례의 개요와 그에 대한 전자빔 조사 상황을 나타내는 모식적인 사시도이다.
- 도 3은, 본 발명의 열간 압연용 티타늄 주조편의 제조 방법의 실시 형태에 있어서 소재의 직사각형 티타늄 주조편의 표면층의 추이의 일례를 단계적으로 나타내는 모식적 단면도이다.
- 도 4는, 본 발명의 열간 압연용 티타늄 주조편의 표면 부근의 전자빔 조사 방향으로부터 수직 방향의 단면 조직의 일례를 나타내는 모식도이다.
- 도 5는, 본 발명의 열간 압연용 티타늄 주조편의 표층 부분에 있어서의 미세화층과 주조 응고 조직을 나타내는 단면 관찰 사진이다.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

- [0048] 이하에, 본 발명의 실시 형태에 대하여, 도면을 참조하여 상세히 설명한다.
- [0049] 도 1은, 본 발명의 일 실시 형태에 따른 열간 압연용 티타늄 주조편의 제조 방법에 있어서의 전체적인 프로세스의 각 공정을 개략적으로 나타내고 있다. 또한 이 도 1에 있어서는, 전공정으로서, 소재로 되는 직사각형 티타늄 주조편의 제조 공정의 일례도 함께 나타내고 있다. 또한 도 2는, 본 발명의 열간 압연용 티타늄 주조편의 제조 방법의 실시 형태에 제공되는 소재(직사각형 티타늄 주조편)의 개요를 나타냄과 동시에, 그 직사각형 티타늄 주조편에 대한 전자빔 조사 상황을 나타내고 있다. 또한 도 3은, 도 1에 도시한 제조 방법의 일 실시 형태에 있어서의, 각 공정에 의한 직사각형 티타늄 주조편의 표면 근방의 단면 상황의 추이를 나타내고 있다.

[0050] [전공정]

[0051] 본 발명의 열간 압연용 티타늄 주조편을 제조하는 데 있어서는, 도 1에 전공정으로서 나타낸 바와 같이, 공업용 순티타늄의 용해 원료, 예를 들어 클로르법에 의해 얻어진 티타늄 스펀지나, 티타늄 스크랩, 티타늄 합금의 원료가 되는 티타늄이나 첨가 원소가 화합물로 이루어지는 모합금을, 노상 내에서 전자빔 용해에 의해 소정량만큼 용해한다. 얻어진 티타늄 용탕을, DC 슬래브 주조용의 수랭 구리 주형, 즉 상하가 개방되어 있어 수평 단면이 직사각형상(코너부에 챔퍼가 형성되어 있는 경우를 포함함)을 이루는 수랭 구리 주형 내에 연속적으로 주탕한다. 또한 그 주형 내에서 응고된 주조편을 아래쪽으로 연속적으로 뽑아내고, 이에 의해, 주조한 상태의 형상, 치수로 열간 압연에 적합한 두께, 폭 및 길이를 갖는 직사각형(슬래브 형상)의 티타늄 주조편을 얻는다. 이와 같이, 주조편의 코너부에 챔퍼가 부여되어 있는 경우에도 넓게는 「직사각형」이라 칭하도록 하고 있다. 또한 상기의 전자빔 가열에 의한 노상에서의 용해 및 주조 시의 분위기는 진공으로 유지된다.

[0052] 여기서 공업용 순티타늄이란, JIS 규격의 1종 내지 4종, 및 그에 대응하는 ASTM 규격의 Grade 1 내지 4, DIN 규격의 3·7025로 규정되는 공업용 순티타늄을 포함하도록 한다. 즉, 본 발명에서 대상으로 하는 공업용 순티타늄은, 질량%이고, C: 0.1% 이하, H: 0.015% 이하, O: 0.4% 이하, N: 0.07% 이하, Fe: 0.5% 이하, 잔부 Ti로 이루어지는 것이라 할 수 있다. 또한, 이들에 약간의 백금족 원소를 첨가하고, 모디파이드(개량) 순티타늄이라 부르고 있는 고내식성 합금(ASTM Grade 7, 11, 16, 26, 13, 30, 33 혹은 이들에 대응하는 JIS종이나 더 다양한 원소를 소량 함유시킨 티타늄재)도, 본 발명에서는, 공업용 순티타늄에 포함되는 것으로서 취급한다.

[0053] 또한, 티타늄 합금은, 통상, 열간 압연이나 냉간 압연에 의해 판재에 성형되거나, 선재나 봉재 등의 형상의 제품도 제조되어 있다. 여기서 티타늄 합금이란, α형 티타늄 합금, 혹은 α+β형 티타늄 합금, β형 티타늄 합금이 적용 가능하다. 따라서, 본 발명에서는, 티타늄 합금의 성분 조성은 특별히 한정하는 것은 아니다.

[0054] 또한, 본 발명의 열간 압연용 티타늄 주조편을 제조하는 데 있어서, 그 소재로 되는 직사각형 티타늄 주조편은, 기본적으로는, 임의의 용해법, 임의의 주조법에 의해 얻어진 것이면 된다. 본 발명의 효과를 가장 유효하게 발휘시킬 수 있는 것은, 전자빔 용해법이나 플라즈마 아크 용해법에 의해 티타늄 스펀지나 티타늄 스크랩 등의 원료를 진공하에서 용해시키고, 그 티타늄 용탕을, 진공하에서의 DC 슬래브 주조법에 의해, 단면이 직사각형상을 이루는 직사각형(슬래브 형상)으로 주조한 티타늄 주조편이다. 이와 같은 DC 슬래브 주조법에 의하면, 열간 압연에 적합한 형상, 치수의 단면 직사각형상의 직사각형 티타늄 주조편을 용이하게 얻을 수 있어, 그로 인해 분과 압연이나 단조 등의 열간에서의 브레이크다운 공정을 생략할 수 있는 것이다.

[0055] 또한 직사각형 티타늄 주조편의 치수는, 그대로 열간 압연에 제공할 수 있는 치수라면 특별히 한정되지 않는다. 열간 압연으로서 코일 압연을 적용하고, 판 두께 3mm 내지 8mm 정도의 열연 코일 박 중판을 제조하는 경우, 직

사각형 티타늄 주조편으로서는, 두께 150mm 내지 280mm 정도, 길이 3m 내지 10m 정도, 폭 600mm 내지 1500mm 정도로 하면 된다.

- [0056] 또한, 열간 압연용에 제공되는 빌렛, 블룸 등도 압연면에 상당하는 부분을, 본 발명과 같이 열처리를 행하여 열간 압연을 행해도 마찬가지로의 효과가 발휘된다. 소재로 되는 티타늄 주조편은, 직사각형(슬래브 형상)으로 한정되지 않고, 빌렛, 블룸도 포함된다.
- [0057] 전술한 바와 같이 하여 DC 슬래브 주조에 의해 얻어진 직사각형 티타늄 주조편에 대해서는, 그대로의 상태에서, 도 1에 도시한 바와 같이 표층 가열 처리 공정, 냉각 공정의 순서대로 제공된다. 여기서, 직사각형 티타늄 주조편이, 그대로의 상태에서 각 공정에 제공되면, 분괴 압연이나 단조 등의 열간 가공에 의한 브레이크다운 공정을 거치지 않고, 티타늄 열간 압연용 제조용 슬래브의 제조를 위한 소재로서, 주조 상태(as cast)의 재료이며, 각 공정에 제공되는 것을 의미한다. 따라서 열간 압연용 티타늄 주조편의 소재로 되는 직사각형 티타늄 주조편은, 표면 성상으로서 주조에 유래하는 조대한 요철을 가짐과 함께, 조대한 주조 조직을 갖고, 또한 표면으로부터 수 mm 정도의 깊이까지의 부분에는, 주조에 유래하는 공극 등의 결함이 다수 존재한 것으로 되어 있는 것이 통상적이다. 당연한 일이지만, 슬래브 표면의 손질을 위한 절삭 공정을 거친 후에, 표면을 용해하는 방법이라도 문제없이, 보다 평활한 면이 얻어지기 쉽다.
- [0058] 또한 이하에 설명하는 각 공정은, 직사각형 티타늄 주조편의 외표면 중, DC 슬래브 주조 시의 선단면(주조 개시면에 상당하는 하단면) 및 후단면(주조 종료면에 상당하는 상단면)을 제외한 4면 중, 적어도 열간 압연 공정에서의 압연면(열연 롤에 접하는 면)으로 되는 2면(즉 폭이 넓은 2면)에 대하여 실시된다. 또한 챔퍼를 갖는 직사각형 주조편의 경우, 챔퍼면은 상기의 광폭의 2면의 일부를 이루는 것으로 한다.
- [0059] 구체적으로는, 예를 들어 도 2에 도시한 바와 같이, 챔퍼(11)를 갖는 직사각형 티타늄 주조편(10)에 있어서는, 그 주조 방향(DC 슬래브 주조에 있어서의 주조편 뽑는 방향) D를 따른 4면(10A 내지 10D) 중 폭이 넓은 2면(10A, 10B)[챔퍼(11)를 포함하는 면]이, 열간 압연 시에 있어서의 압연면으로 된다. 따라서, 적어도 그 챔퍼(11)를 포함하는 폭이 넓은 2면(10A, 10B)에 대하여, 각 공정을 실시한다.
- [0060] 또한, 주조 방향 D를 따른 4면(10A 내지 10D) 중 폭이 넓은 2면(열간 압연 시에 있어서의 압연면으로 되는 면)(10A, 10B)뿐만 아니라, 폭이 좁은 2면(열간 압연 시에 있어서의 에지측으로 되는 면)(10C, 10D)에 대해서도, 각 공정을 실시해도 된다. 그 경우의 에지측의 2면(10C, 10D)에 대한 각 공정은, 열연면으로 되는 폭이 넓은 2면(10A, 10B)에 대한 각 공정이 종료되고 나서, 제차 실시하여도 된다. 단 본 실시 형태에서는, 설명의 간략화를 위해서, 에지측의 2면(10C, 10D)에 대한 각 공정에 대해서는 생략하고 있다.
- [0061] [표층 가열 처리 공정] 내지 [냉각 공정]
- [0062] 전술한 바와 같이, 전자빔 용해와 DC 슬래브 주조에 의해 얻어진 직사각형 티타늄 주조편은, 그대로, 표층 가열 처리 공정에 제공된다. 이 표층 가열 처리 공정은, 도 2에 도시한 바와 같이, 직사각형 티타늄 주조편(10)의 외표면 중, 적어도 열간 압연 공정에서의 압연면(열연 롤에 접하는 면)으로 되는 폭이 넓은 2면(10A, 10B)에 대하여, 전자빔을 조사하고, 그 면에 있어서의 표면층만을 용융시키는 공정이다. 여기에서는 우선 그 2면(10A, 10B) 중 한쪽 면(10A)에 대하여 실시하도록 한다.
- [0063] 여기서, 도 2에 도시한 바와 같이, 직사각형 주조편(10)의 면(10A)에 대한 하나의 전자빔 조사 총(12)에 의한 전자빔의 조사 영역(14)의 면적은, 조사해야 할 면(10A)의 전체 면적과 비교해서 현격하게 작은 것이 통상적인, 따라서 실제로는, 전자빔 조사 총(12)을 연속적으로 이동시키면서, 혹은, 직사각형 주조편(10)을 연속적으로 이동시키면서, 조사해야 할 면(10A)의 전체에 전자빔 조사를 행하는 것이 통상적이다. 이 조사 영역은, 전자빔의 초점을 조정함으로써, 혹은 전자 렌즈를 사용해서 소 빔을 고주파수로 진동(오실레이션 Oscillation)시켜서 빔 다발을 형성시킴으로써 그 형상이나 면적을 조정할 수 있다. 그리고 본 실시 형태의 설명에서는, 도 2 중의 화살표 A로 나타낸 바와 같이, 전자빔 조사 총(12)을 연속적으로 이동시키도록 하여, 이하의 설명을 진행시킨다. 또한 전자빔 조사 총의 이동 방향은 특별히 한정되지 않지만, 일반적으로는 직사각형 주조편(10)의 길이 방향(통상은 주조 방향 D) 또는 폭 방향(통상은 주조 방향 D와 수직인 방향)을 따라 연속적으로 이동시키고, 상기 조사 영역(14)의 폭 W(원형 빔 또는 빔 다발의 경우에는, 직경 W)에서 연속적으로 띠 형상으로 조사한다. 또한 그 인접한 미조사의 띠 형상 영역에 대하여 역방향(혹은 동일 방향)으로 조사 총(12)을 연속적으로 이동시키면서 띠 형상으로 전자빔 조사를 행한다. 또한 경우에 따라서는 복수의 조사 총을 사용하여, 동시에 복수의 영역에 대하여 동시에 전자빔 조사를 행해도 된다. 도 2에서는, 직사각형 주조편(10)의 길이 방향(통상은 주조 방향 D)을 따라 직사각형 빔을 연속적으로 이동시키는 경우를 나타내고 있다.

[0064] 이와 같은 표층 가열 처리 공정에 의해 직사각형 티타늄 주조편(10)의 표면[면(10A)]에 전자빔을 조사하여, 그 표면을 티타늄의 용점(통상은 1670℃ 정도) 이상의 온도로 가열하면, 도 3의 중앙 왼쪽에 도시한 바와 같이, 직사각형 티타늄 주조편(10)의 면(10A)의 표면층이, 입열량에 따른 깊이만큼 최대 용융된다. 그러나, 전자빔의 조사 방향에 대하여 수직 방향으로부터의 깊이는 도 4의 (a)에 도시한 바와 같이 일정하지 않고, 전자빔 조사의 중앙부가 가장 깊이가 커지게 되어, 띠 형상의 단부로 갈수록 그 두께가 감소하는 아래에 볼록한 만곡 형상으로 된다. 또한 그 용융층(16)보다도 주조편 내부층의 영역도, 전자빔 조사에 의한 열 영향에 의해 온도 상승하고, 순티타늄의 β 변태점 이상의 온도로 된 부분(열 영향층=HAZ층)이 β 상으로 변태한다. 이와 같이 표층 가열 처리 공정에서의 전자빔 조사에 의한 열 영향에 의해 β 상으로 변태한 영역도, 용융층(16)의 형상과 마찬가지로 아래로 볼록한 만곡 형상으로 된다.

[0065] 이와 같이 띠 형상의 단부가 될수록 용융 깊이가 얇아져 버리면 표층 수 mm 위치에 존재하는 공극을 소멸시킬 수 없고, 그로 인해 열연 시에 이들 공극이 기점으로 되어 크랙이 발생하고, 표면에 오목부가 발생하여, 표면 흠이 발생한다. 또한, 용융 깊이가 얇아짐으로써, 하층의 조대한 주조 조직의 영향을 받아, 열연 시의 표면 흠 발생의 원인으로 된다. 그를 위해서는, 인접한 미조사의 띠 형상 영역을 조사할 때 이미 조사가 완료된 영역과의 전자빔의 중첩 방법을 적절하게 할 필요가 있다. 전자빔의 중첩은, 인접한 미조사부를 용융부의 형상이나 띠 형상 영역을 역방향(혹은 동일 방향)으로 조사할 때 조사 총을 연속적으로 이동시키고, 전자빔의 중심 위치를 필요량만큼 어긋나게 하면서 띠 형상으로 전자빔 조사함으로써 행한다. 이 중첩량은, 인접한 띠 형상부와 전자빔과의 거리로 나타내고, 5mm 이상, 20mm 미만으로 하는 것이 바람직하다. 중첩량이 5mm보다 작아지면, 용융부의 형상은 보다 매끄럽게 되고, 띠 형상의 단부에 있어서도 충분한 깊이까지 용융되기 때문에, 공극을 제거할 수 있지만, 인접한 미처리부를 용융했을 때 이미 조사한 부위의 대부분이 열 영향에 의해 고온까지 상승해버린다. 그렇게 하면, 용융 재응고 처리에 의해 형성한 미세 조직이 조대화되어 버려, 1mm 이상의 결정립의 존재량이 많아지게 된다. 한편, 20mm 이상으로 해버리면, 중첩량이 적어 띠 형상의 단부 공극이 충분히 제거되지 않고 잔존된다. 중첩량을 5mm 이상 20mm 미만으로 함으로써 도 4의 (b)에 도시한 바와 같이 띠 형상의 단부(최소부)에 있어서도 충분한 깊이까지의 용융 깊이를 담보하고, 공극을 제거할 수 있다. 그러나, 용융 깊이를 너무 깊게 하면, 모재로부터의 열제거에 의한 냉각 속도가 느려지게 되어, 후술하는 충분한 조직의 미세화가 어렵다. 전자빔의 조사 방향에 대하여 수직 방향에 있어서, 표층 가열 처리 공정에 의한 용융층(16) 및 β 변태층(18)의 깊이의 합계가, 5mm 이상 9mm 미만의 범위 내임으로써, 띠 형상의 단부 공극 소실 및 띠 형상의 중앙부의 조직 조대화의 억제를 양립할 수 있다. 또한, 용융층(16)의 두께(깊이)는 특별히 한정하지 않는다. 용융층(16)과 β 변태층(18)의 합계가 상기 깊이로 되면 되며, 통상, 용융층(16)은 2 내지 3mm의 범위 내로 하는 것이 바람직하다.

[0066] 전자빔 조사에 의한 용융 깊이에는, 주로 입열량이 관계하기 때문에, 상기한 용융 깊이가 얻어지는 입열량으로 되도록, 전자빔 조사 조건을 선정한다. 실제로는, 주조편의 두께(열 용량)나, 모재 온도, 모재층의 냉각 조건 등에 의해서도 필요한 입열량은 상이하기 때문에, 상기한 용융 두께를 얻기 위한 입열량은 일률적으로는 정해지지 않지만, 통상은, 단위 면적당(1cm<sup>2</sup>당)의 입열량을, 30 내지 150J 정도로 하면 된다. 또한 여기서, 단위 면적당 입열량에 영향을 미치는 전자빔 조사 조건으로서, 조사 총의 출력 및 빔 직경, 나아가 전술한 바와 같이 조사 총을 연속적으로 이동시키면서 조사하는 경우의 총 이동 속도(조사 위치 이동 속도) 등이 있고, 이들을 적절하게 설정하여 상기한 입열량을 확보하면 된다.

[0067] 또한, 특별히 도시하지는 않았지만, 직사각형 티타늄 주조편의 표면에 대한 전자빔의 조사를 행하여, 표층 가열 처리 공정을 실시한 후에, 냉각 공정을 실시 하는 데 있어서는, 스테인리스강, 구리, 알루미늄 등의 열전도 재료(금속)로 이루어지는 수랭 베이스 위에 직사각형 티타늄 주조편을 적재해 두고, 전자빔의 조사에 의해 직사각형 티타늄 주조편이 전체적으로 온도 상승하지 않도록 한다. 그리고, 표층 가열 처리 공정이 실시된 후에, 즉시 모재층으로부터의 열제거가 급속하게 진행되어 냉각 공정이 실시되도록 한다. 이에 의해, 본 발명의 효과를 더욱 높일 수 있다.

[0068] 전술한 바와 같이 표층 가열 처리 공정으로부터 냉각 공정에 걸친 프로세스에 있어서, 전자빔 조사에 의해 용융한 직사각형 티타늄 주조편의 표면은, 표면 장력에 의해 평탄화되고, 주조 표면의 조대한 요철이 해소된다. 또한 표면의 용융에 의해, 그 표면의 내부에 존재하고 있던 주조 유래의 공극도 소실된다. 따라서 용융층을 냉각 응고시킨 용융 재응고층은, 표면의 요철이 적고, 또한 내부의 공극도 적은 층으로 된다. 또한 용융에 의해 조대한 주조 조직이 소실되고, 그 후의 냉각 과정에서의 응고, 또한 β 상으로부터 α 상으로의 변태에 의해 미세한 조직이 생성된다. 이 냉각·응고는, 모재층으로부터의 열제거에 의해 행해지지만, 모재층으로부터의 열제거에 의한 냉각 속도는 현격하게 크고, 그로 인해, 응고, 변태 후의 조직은 미세하게 된다.

- [0069] 또한  $\beta$  변태층은,  $\beta$  변태점보다 높은 온도로 가열된 후, 모재측으로부터의 열제거에 의한 큰 냉각 속도로 냉각되어  $\alpha$  상으로 역변태하고 HAZ층으로 된다. 이로 인해, HAZ층도, 미세한 조직으로 된다.
- [0070] 그러나, 상기의 용융층+HAZ층은, 용융 재응고시킨 주조편 표면 전체에 균일하게 형성되지 않는 경우가 있고, 일부는 조대한 조직이 존재하는 경우가 있다. 이 경우에 있어서도, 용융층+HAZ층의 평균 두께의 1/2의 부분에 있어서의 1mm 이상의 결정립의 비율이 15% 미만이면 열연 후의 표면 결함은 발생하였다고 해도, 매우 근소하며 표면 손실로 충분히 대응 가능한 레벨이다.
- [0071] 여기서, 1mm 이상의 결정립의 비율은, 용융층+HAZ층의 평균 두께의 1/2의 부분에 있어서의 개수 비율이다. 그로 인해, 개질 처리를 실시한 후, 단면을 광학 현미경으로 관찰하고, 용융층+HAZ층의 평균 두께의 1/2의 부분에 있어서의 결정립의 입경 및 개수를 측정함으로써 측정할 수 있다.
- [0072] 상기한 조대 조직이 잔존하는 이유는 불분명하지만, 이하와 같이 추측할 수 있다.
- [0073] 용융 재응고층에 형성하는 조직의 크기는, 용융부의 입열이나 모재로부터의 열제거에 의해 정해진다. 주조 상태의 슬래브 표층에는 주름 등의 요철이 다수 존재하기 때문에, 이와 같은 요철을 갖는 표층부를 용융하면, 슬래브로부터의 열제거 상태가 변화하고, 경우에 따라서는, 비교적 조대한 결정립을 갖는 부위가 발생한다. 또한, 한번 용융된 부위가, 다른 부위를 용융 시에 그곳으로부터의 열 영향에 의해  $\beta$  변태점 이하의 고온 영역까지 상승하는 경우가 있다. 그렇게 되면, 비교적 조대한 결정립은 다시 입성장을 해서 1mm 이상의 조대한 결정립을 형성하는 경우가 있다.
- [0074] 이상과 같이 하여 얻어진 열간 압연용 티타늄 주조편, 즉 직사각형 티타늄 주조편에 대하여 개질 처리를 실시한 열간 압연용 티타늄 주조편의 표층 부분에 있어서의 미세화층과 내측 미세화층과 주조 응고 조직을 나타내는 단면 관찰 사진을 도 5에 도시한다.
- [0075] 이와 같이 하여 얻어진 열간 압연용 티타늄 주조편을 실제로 사용하는 데 있어서는, 열간 압연을 실시해서 원하는 판 두께의 열연판으로 한다. 열간 압연의 방식은 특별히 한정되지 않지만, 박판 열연판 제품으로 하는 경우, 코일 압연을 적용하는 것이 통상적이다. 또한 그 경우의 열연 상승판 두께는 특별히 한정되지 않지만, 통상은 3mm 내지 8mm 정도이다. 열간 압연 조건은 특별히 한정되지 않지만, 통상의 티타늄 열간 압연과 마찬가지로, 공업용 순티타늄이면 720℃ 내지 920℃로,  $\alpha$ 형이나  $\alpha+\beta$ 형 티타늄 합금이라면  $\beta$  변태점 바로 아래에 60분 내지 420분 정도 가열하고, 그 범위 내의 온도에서 열간 압연을 개시하여, 압연기의 능력에 따라서, 실온 이상의 온도에서 열간 압연을 종료시키면 된다.
- [0076] 또한 이상의 실시 형태에서는, 전자빔 용해-DC 슬래브 주조에 의해 얻어진 직사각형 티타늄 주조편을, 그대로의 상태, 즉 분괴 압연이나 단조 등의 열간 가공에 의한 브레이크다운 공정을 거치지 않고, 열간 압연용 티타늄 주조편을 제조하기 위한 소재로서, 주조 상태(as cast)의 소재이며, 각 공정에 제공하도록 하고 있다. 즉, 주조 상태의 주조 표면(표면에 주조에 유래하는 심한 요철이 존재하고, 표층부에 다수의 공극 등의 주조 결함을 갖고, 소위 흑피 상태의 표면으로 이루어지는 주조 표면)을 갖는 소재를 사용하고 있다. 본 발명의 효과는, 이와 같은 주조 상태의 주조편에 적용한 경우에 가장 유효하게 발휘할 수 있지만, 경우에 따라서는, 주조 표면의 요철이나 표면 근처의 공극을 제거하기 위해서, 최표면으로부터 수 mm 정도까지의 층을 절삭 가공에 의해 제거한 경우, 즉 소위 백피가 드러난 상태의 주조편에 대하여 적용하는 것도 허용된다. 또한, 주조 후에 용해로나 냉각로를 해방하여 주조편을 대기 중으로 취출할 때, 고온에서 취출하였기 때문에 표면에 생성하는 산소 부화층(최대 1mm 정도)의 전체 혹은 일부를 절삭 가공에 의해 제거하여, 소위 반백피로 한 주조편에 적용하는 것도 허용된다.
- [0077] 실시예
- [0078] 이하에, 표 1(표 1의 A 및 표 1의 B)에 나타낸 시험 번호 1 내지 7, 표 2(표 2의 A 및 표 2의 B)에 나타낸 시험 번호 8 내지 21, 표 3의 B(표 3의 A 및 표 3의 B)에 나타낸 시험 번호 22 내지 24의 실험에 기초하여, 본 발명의 실시예를, 종래법에 의한 참고예(=분괴 슬래브), 비교예(본 발명의 처리를 전혀 실시하지 않은 비교예, 및 본 발명의 조건을 벗어난 처리를 행한 비교예)와 함께 설명한다.

표 1

A

시험 번호	표층 가열 처리				
	직사각형 EB 빔 치수 (cm)	출력 (kW)	조사 속도 (cm/s)	1cm <sup>2</sup> 당 입열량 (J)	인접한 피형상부와 전자 빔과의 거리
1	1	15	150	100	7
2	1.5	15	150	67	10
3	1.5	20	200	67	10
4	3	22	100	73	15
5	2	22	100	110	10
6	2.5	25	60	167	15
7	2	20	150	67	22

B

시험 번호	조직 미세화층 두께		1mm이상의 결정립의 비율 (%)	열 연판 산 세정 후의 흡 성적 (1m <sup>2</sup> 당 개수)	비고
	최대부	최소부			
1	7.5	6.8	1	0.1	본 발명에: 기본
2	6.9	5.9	2	0.1	본 발명에: 기본
3	7.1	5.9	1	0.1	본 발명에: 기본
4	7.4	5.3	3	0.25	본 발명에: 최대와 최소부의 차가 큼. 양호하지만 흡 증가 경향
5	8.2	7.2	7	0.25	본 발명에: 입열량 비교적 높음. 양호하지만 흡 증가 경향
6	10.5	8.9	17	0.7	비교예: 입열량 과대. 조직 미세화층이 너무 두껍기 때문에 흡 성적 불합격
7	6.2	3.0	7	0.55	비교예: 조사 간격 대. 조직 미세화층의 두께 차가 커서, 흡 성적 불합격

[0079]

표 2

A

시험번호	제1단계 표준 가열 처리				인접한 피형상부와 전자 빔과의 거리
	최사각형 EB 빔 치수 (cm)	출력 (kW)	조사 속도 (cm/s)	1cm <sup>2</sup> 당 입열량 (J)	
8	1	15	150	100	7
9	1.5	15	125	80	7
10	1	15	150	100	7
11	1.5	15	125	80	10
12	1	15	150	100	10
13	2	20	100	100	10
14	2	20	100	100	10
15	2	20	100	100	10
16	2	20	100	100	10
17	2	15	100	75	10
18	1	15	100	150	7
19	1.5	15	100	100	7
20	2	20	100	100	10
21	1.5	20	150	89	10

B

시험번호	조직 미세화층 두께		1mm 이상의 결정립의 비율 (%)	열 연판 산 세정 후의 흡 성적 (1m <sup>2</sup> 당 개수)	비고
	최대부	최소부			
8	7.5	6.8	5	0.12	JIS2 중
9	6.7	6.0	3	0.10	JIS3 중
10	7.5	6.8	3	0.11	JIS4 중
11	6.7	6.0	2	0.11	Ti-0.06Pd (ASTM Gr.17)
12	7.5	6.8	1	0.09	Ti-0.5Ni-0.05Ru (ASTM Gr.13)
13	7.4	6.0	0.8	0.21	Ti-1Fe-0.35O
14	7.3	6.0	0.5	0.22	Ti-5Al-1Fe
15	7.5	6.0	0.3	0.18	Ti-5Al-1Fe-0.25Si
16	7.4	6.0	0.7	0.20	Ti-3Al-2.5V
17	7.5	6.0	0.3	0.20	Ti-4.5Al-2Mo-1.6V-0.5Fe-0.3Si-0.03C (ASTM Gr.35)
18	7.0	5.0	0.5	0.22	Ti-4.5Al-2Fe-2Mo-3V
19	6.9	5.7	2	0.22	Ti-1Cu
20	7.5	6.8	3	0.25	Ti-1Cu-0.5Nb
21	6.7	6.0	2	0.23	Ti-1Cu-1Sn-0.3Si-0.2Nb

[0080]

표 3

A

시험 번호	제1단계 표층 가열 처리				
	직사각형 EB 빔 치수 (cm)	출력 (kW)	조사 속도 (cm/s)	1cm <sup>2</sup> 당 입열량 (J)	인접한 띠 형상부와 전자 빔과의 거리
22	1.5	20	150	89	10
23	1	15	150	100	10
24	1	15	150	100	10

B

시험 번호	조직 미세화층 두께		1mm 이상의 결정립의 비율 (%)	열연판 산 세정 후의 흠 성적 (1m <sup>2</sup> 당 개수)	비고
	최대부	최소부			
22	7.0	6.0	3	0.18	본 발명에
23	7.3	6.2	8	0.25	본 발명에
24	7.5	5.8	5	0.22	본 발명에

[0081]

[0082] [시험 번호 1 내지 7(표 1의 A, 표 1의 B)]

[0083] 단면이 1220mm 폭×270mm 두께×7000mm 길이의 JIS 1종 순티타늄 슬래브를 전자빔 용해에 의해 DC 주조하여 제조한 JIS 1종 순티타늄의 DC 슬래브에 대하여, 슬래브를 이동시킴으로써, 길이 방향으로 전자빔을 조사하고, 이것을 왕복시키는 공정을 반복함으로써, 압연면 전체면에 전자빔 조사를 행하였다. 슬래브의 측면에도 조사를 실시하였다.

[0084] 이들 슬래브는, 820℃의 노에 삽입 후, 약 240분 가열하고, 연속 열간 압연 스트립밀로 5mm 두께의 열연판 코일을 제조하고, 질불산으로 이루어지는 연속 산 세정 라인을 통과하고, 편면당 약 50μm 용삭하였다. 그 후, 양쪽의 판면을 눈으로 관찰하고, 표면 흠의 수를 측정하였다. 또한, 표면 흠의 수는 1m 사방의 프레임 중에 표면 흠이 발생한 개수를, 10 내지 15시야 관찰하고, 그 평균으로 하였다. 또한, 판이나 길이가 1m에 달하지 않는 경우에는, 관찰한 열연판의 표면적이 1m<sup>2</sup>로 되도록 환산하고, 그것을 1m<sup>2</sup>당 표면 흠의 수로 하였다.

[0085] 또한 여기서, 열연판 표면 흠의 평가 기준으로서, 표면 흠의 수가 1m<sup>2</sup>당 0.3개 이하를 합격으로 하고, 1m<sup>2</sup>당 0.3개를 초과한 경우를 불합격이라 평가하였다. 이 평가 기준은, 후술하는 각 시험 번호 8 내지 22에 있어서도 마찬가지이다.

[0086] 시험 번호 1, 2, 3, 4, 5는, 모두 본 발명의 실시예이며, 표 1의 A, 표 1의 B에 나타난 바와 같이, 모두 본 발명에서 규정한 표층부의 형태(조직 미세화층의 최대 및 최소 두께 차)를 갖고, 열연 가열 상당 열 처리 후에는, 본 발명에서 규정한 결정립 직경으로 이루어지는 조직을 나타내고, 열연 후의 표면 흠도 적어, 합격 라인을 초

과하였다.

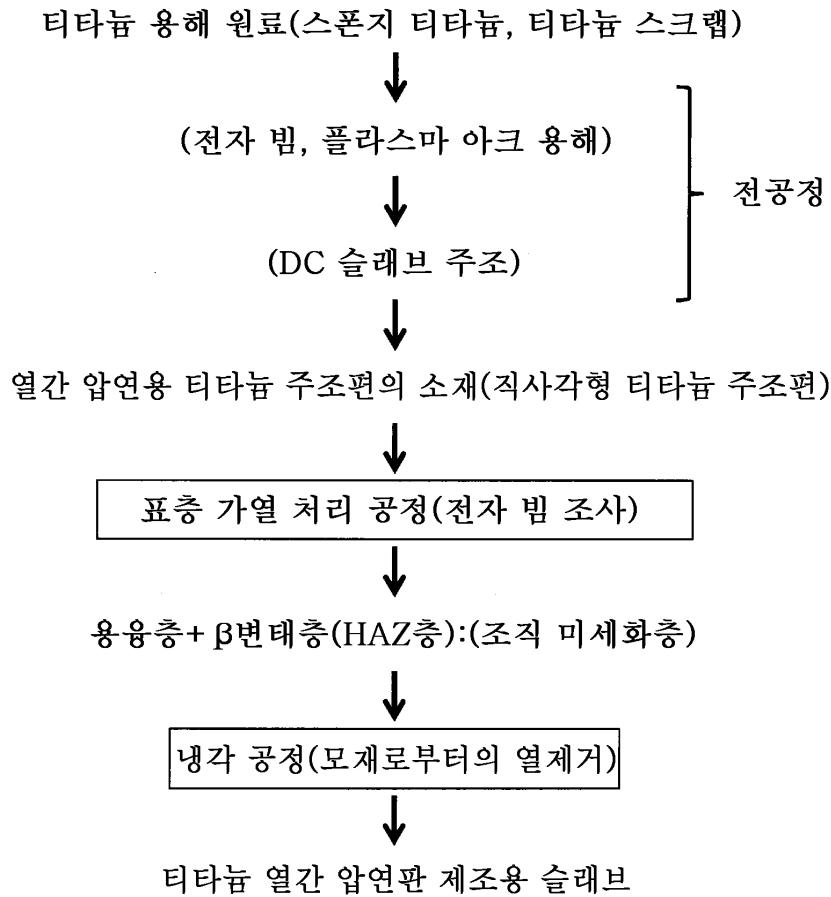
- [0087] 한편, 시험 번호 6, 7은, 본 발명에서 규정한 표층부의 형태나 시공 조건을 만족하지 않는 비교예이며, 이들은 표 1의 A, 표 1의 B에 나타난 바와 같이 열연 후의 표면 흠이 많아, 열연관의 표면 상태는 불합격이었다.
- [0088] [시험 번호 8 내지 21(표 2의 A, 표 2의 B)]
- [0089] 시험 번호 8 내지 12는 단면이 1220mm 폭×270mm 두께×7000mm 길이의 JIS 1종 순티타늄 슬래브를 전자빔 용해에 의해 DC 주조하여 제조한 다양한 JIS 그레이드 또는 ASTM 그레이드의 공업용 순티타늄 또는 모디파이드 순티타늄(저합금 티타늄)의 DC 슬래브에 대하여, 슬래브를 이동시킴으로써, 길이 방향으로 전자빔을 조사하고, 이것을 왕복시키는 공정을 반복함으로써, 압연면 전체면에 전자빔 조사를 행하였다. 슬래브의 측면에도 조사를 실시하였다.
- [0090] 시험 번호 13 내지 18은 단면이 950mm 폭×220mm 두께×5000mm 길이의 티타늄 슬래브를 전자빔 용해에 의해 DC 주조하여 제조한 티타늄 합금의 DC 슬래브에 대하여, 슬래브를 이동시킴으로써, 길이 방향으로 전자빔을 조사하고, 이것을 왕복시키는 공정을 반복함으로써, 압연면 전체면에 전자빔 조사를 행하였다. 슬래브의 측면에도 조사를 실시하였다.
- [0091] 시험 번호 19 내지 21은, 단면이 950mm 폭×250mm 두께×4500mm 길이의 티타늄 슬래브를 플라즈마 아크 용해에 의해 DC 슬래브 주조한 티타늄 합금의 DC 슬래브에 대하여, 슬래브를 이동시킴으로써, 길이 방향으로 전자빔을 조사하고, 이것을 왕복시키는 공정을 반복함으로써, 압연면 전체면에 전자빔 조사를 행하였다. 슬래브의 측면에도 조사를 실시하였다.
- [0092] 시험 번호 8은, JIS 2종 순티타늄, 시험 번호 9는, JIS 3종 순티타늄, 시험 번호 10은, JIS 4종 순티타늄, 시험 번호 11은, ASTM Gr. 17의 티타늄 합금, 시험 번호 12는, ASTM Gr. 13의 티타늄 합금이다. 시험 번호 11, 12는, 합금 원소를 첨가한 티타늄 합금이지만 첨가량은 근소하며, 순티타늄에 준하여 취급되는 모디파이드 순티타늄이다.
- [0093] 시험 번호 13은, Ti-1Fe-0.350의 티타늄 합금, 시험 번호 14는, Ti-5Al-1Fe의 티타늄 합금, 시험 번호 15는, Ti-5Al-1Fe-0.25Si의 티타늄 합금, 시험 번호 16은, Ti-3Al-2.5V의 티타늄 합금, 시험 번호 17은, Ti-4.5Al-2Mo-1.6V-0.5Fe-0.3Si-0.03C(ASTM Gr.35)의 티타늄 합금, 시험 번호 18은, Ti-4.5Al-2Fe-2Mo-3V, 시험 번호 19는, Ti-1Cu, 시험 번호 20은, Ti-1Cu-0.5Nb, 시험 번호 21은, Ti-1Cu-1Sn-0.3Si-0.2Nb이다.
- [0094] 이들 슬래브에 대하여, 표층 가열 처리를 표층의 면에 실시하고, 그 후 슬래브를 반전시켜서, 이측의 면에 표층 가열 처리를 실시하였다. 그러한 후에, 측면에도 마찬가지로의 전자빔 조사를 행하였다.
- [0095] 이들 슬래브는, 820℃의 노에 삽입 후, 약 240분 가열하고, 연속 열간 압연 스트립밀로 5mm 두께의 열연관 코일을 제조하고, 질불산으로 이루어지는 연속 산 세정 라인을 통과하고, 편면당 약 50μm 용삭하였다. 그 후, 양쪽의 판면을 눈으로 관찰하고, 표면 흠의 수를 측정하였다.
- [0096] 이들 시험 번호 8 내지 21의 예는, 모두 본 발명의 실시예이며, 표 2의 A, 표 2의 B에 나타난 바와 같이 모두 본 발명에서 규정한 표층부의 형태를 갖고, 열연 가열 상당히 열 처리 후에는, 본원 발명에서 규정한 결정립 직경으로 이루어지는 조직을 나타내며, 열연 후의 표면 흠도 적어, 합격 라인을 달성하고 있다.
- [0097] [시험 번호 22 내지 24(표 3의 A, 표 3의 B)]
- [0098] 시험 번호 22는, 단면이 1000mm 폭×190mm 두께×5000mm 길이의 JIS 1종 순티타늄 슬래브를 전자빔 용해에 의해 DC 주조한 주조편, 시험 번호 18은, 단면이 950mm 폭×165mm 두께×4500mm 길이의 JIS 1종 순티타늄 슬래브를 전자빔 용해에 의해 DC 주조한 주조편, 시험 번호 24는, 시험 번호 22와 동일 치수로, 플라즈마 아크 용해에 의해 DC 슬래브 주조한 주조편이다.
- [0099] 이들 슬래브에 대하여, 표층 가열 처리를 표층의 면에 실시하고, 그 후 슬래브를 반전시켜서, 이측의 면에 제1단계 표층 가열 처리를 실시하였다. 그러한 후에, 측면에도 마찬가지로의 전자빔 조사를 행하였다. 그 때, 조사 조건을 다양하게 변화시켰다.
- [0100] 이들 슬래브는, 820℃의 노에 삽입 후, 약 240분 가열하고, 연속 열간 압연 스트립밀로 5mm 두께의 열연관 코일을 제조하고, 질불산으로 이루어지는 연속 산 세정 라인을 통과하고, 편면당 약 50μm 용삭하였다. 그 후, 양쪽의 판면을 눈으로 관찰하고, 표면 흠의 수를 측정하였다.

[0101]

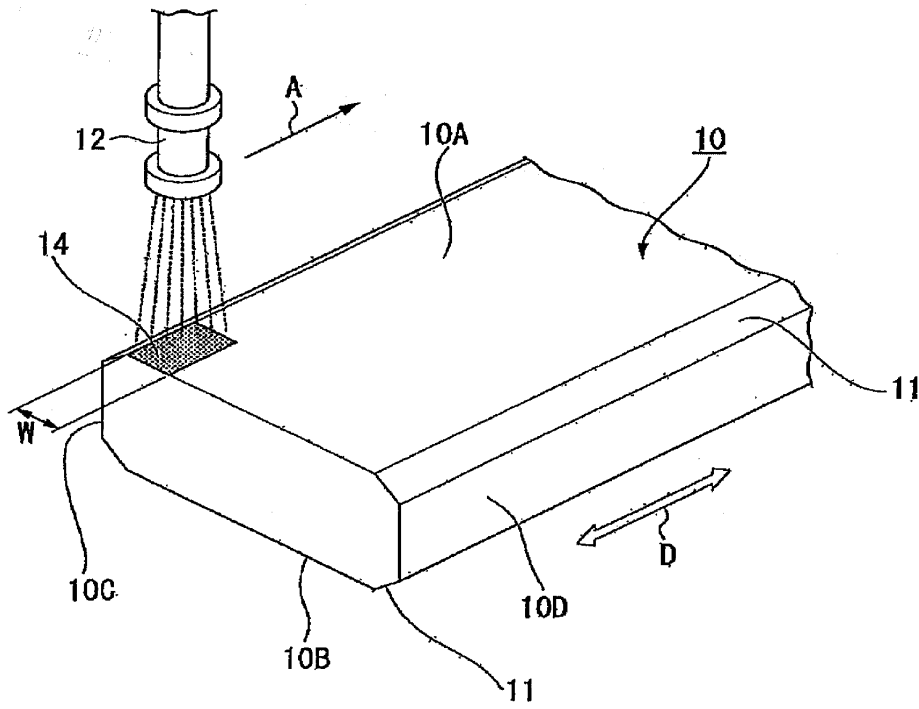
이들 시험 번호 22 내지 24에서는, 시험 번호 1 등과 비교하여, 치수가 작기 때문에 열용량도 작고, 그로 인해 냉각 속도가 느려지는 경향이 있지만, 본원 발명에서 규정한 결정립 직경으로 이루어지는 조직을 나타내며, 열연 후의 표면 흠도 적어, 합격 라인을 달성하였다.

도면

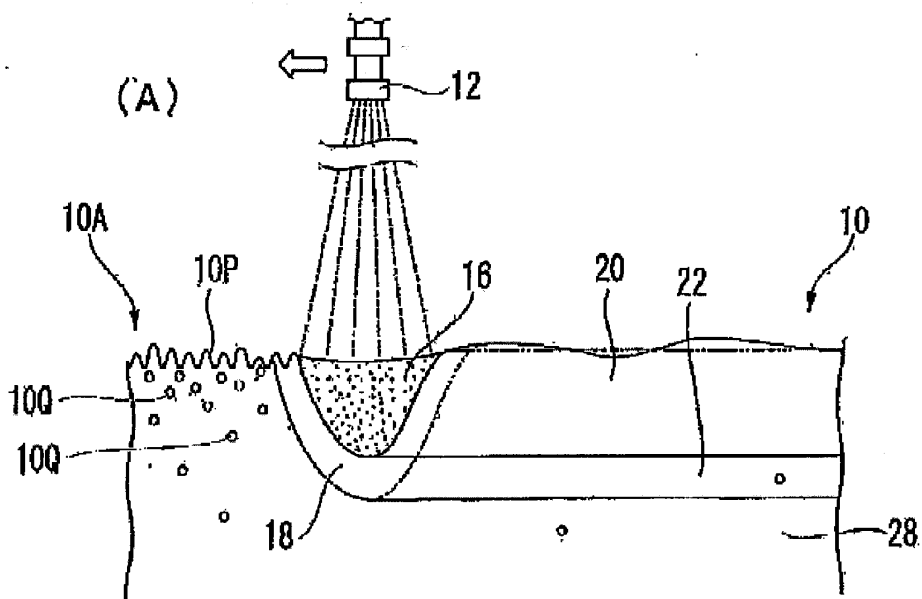
도면1



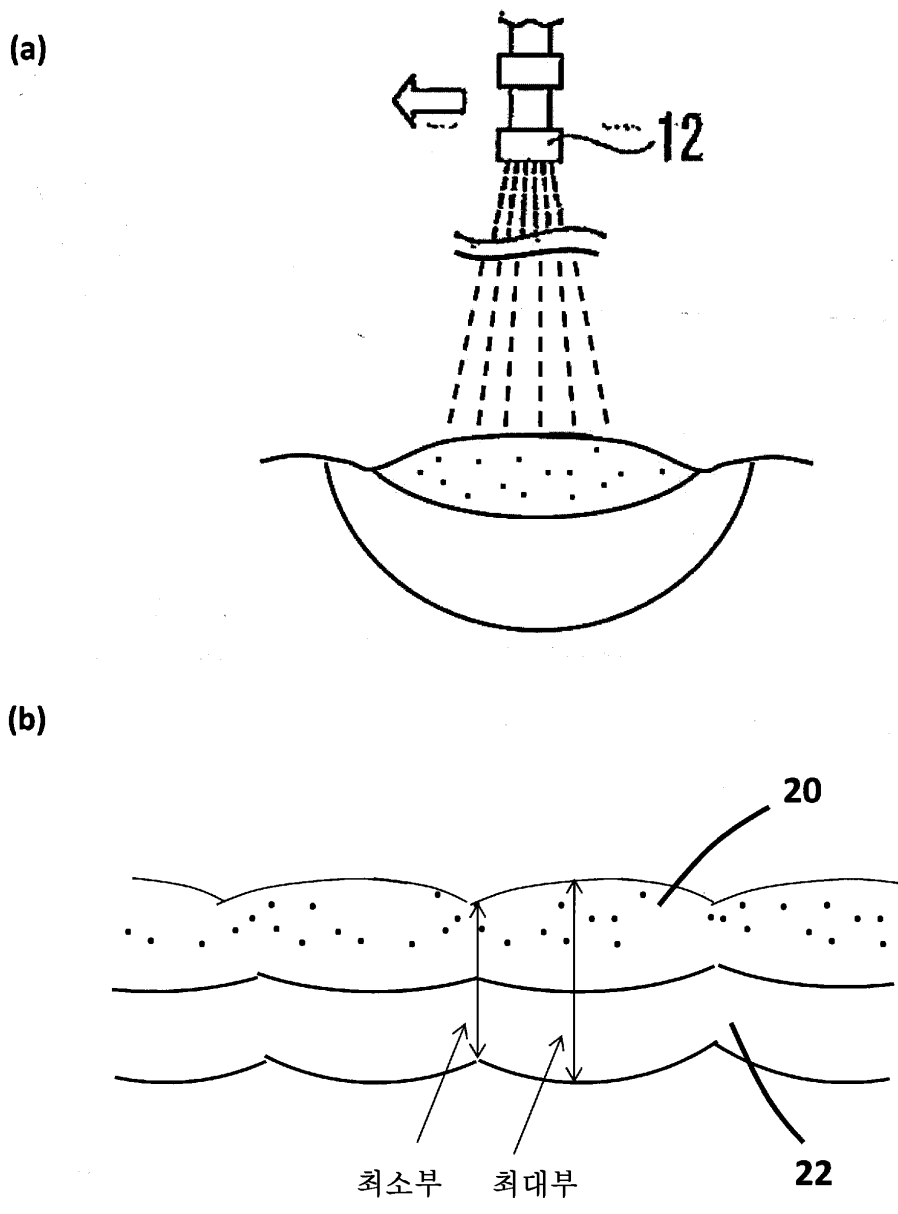
도면2



도면3



도면4



도면5

