



- (51) 국제특허분류: *C21D 1/09* (2006.01) *H01J 37/06* (2006.01)
- (21) 국제출원번호: PCT/KR2016/014872
- (22) 국제출원일: 2016년 12월 19일 (19.12.2016)
- (25) 출원언어: 한국어
- (26) 공개언어: 한국어
- (30) 우선권정보: 10-2015-0181558 2015년 12월 18일 (18.12.2015) KR
- (71) 출원인: 한국생산기술연구원 (KOREA INSTITUTE OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY) [KR/KR]; 31056 충청남도 천안시 서북구 입장면 양대기로길 89, Chungcheongnam-do (KR).
- (72) 발명자: 강은구 (KANG, Eun Goo); 07435 서울시 영등포구 대방천로 180, 4동 1006호 (신길동, 우성 2차아파트), Seoul (KR). 최현종 (CHOI, Hon Jong); 06295 서울시 강남구 언주로 118, 2-2902호 (도곡동, 우성캐릭터 199), Seoul (KR). 최영재 (CHOI, Young Jae); 04957 서울시 광진구 영화사로 16길 43, 101동 504호 (구의동, 아차산 한라아파트), Seoul (KR).

(74) 대리인: 고영갑 (KO, Young Kap); 13636 경기도 성남시 분당구 성남대로 69, 410호(구미동,로드랜드 EZ타워), Gyeonggi-do (KR).

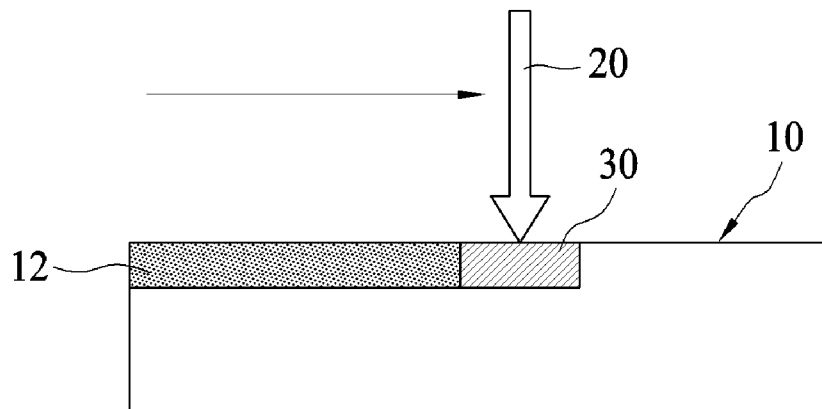
(81) 지정국 (별도의 표시가 없는 한, 가능한 모든 종류의 국내 권리의 보호를 위하여): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) 지정국 (별도의 표시가 없는 한, 가능한 모든 종류의 역내 권리의 보호를 위하여): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 유라시아 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 유럽 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[다음 쪽 계속]

(54) Title: SURFACE HEAT-TREATMENT METHOD USING ELECTRONIC BEAM

(54) 발명의 명칭 : 전자빔을 이용한 표면 열처리 방법



(57) Abstract: Disclosed is a surface heat-treatment method using an electronic beam, and the method for heat-treating a surface by emitting an electronic beam at the surface of a basic material made of carbon steel, which is ferrite, at room temperature comprises: a processing region setting step of setting a local processing region on the surface of the basic material; and an output control step of controlling an output of an electronic beam emitted at a processing region, wherein the output control step controls the output of the electronic beam according to the heat conductivity of the basic material such that a part of the basic material, which has been melted by the electronic beam within the processing region and deviated from the processing region according to the movement of the electronic beam, can be transformed into stable austenite at room temperature by being rapidly coagulated by heat conduction due to a relative mass difference with the entire basic material. In addition, disclosed is a surface heat-treatment device using an electronic beam, which is prepared so as to heat-treat the surface of carbon steel by using the surface heat-treatment method using the electronic beam according to the present invention.

(57) 요약서:

[다음 쪽 계속]



**공개:**

— 국제조사보고서와 함께 (조약 제 21 조(3))

본 발명은 상온에서 페라이트(ferrite)인 탄소강으로 구성된 모재의 표면에 전자빔을 조사하여 표면을 열처리하는 방법으로서, 상기 모재의 표면에 국부적인 가공영역을 설정하는 가공영역설정단계 및 상기 가공영역에 조사되는 전자빔의 출력을 제어하는 출력제어단계를 포함하며, 상기 출력제어단계는 상기 가공영역 내에서 상기 전자빔에 의해 용융되고 상기 전자빔의 이동에 따라 상기 가공영역으로부터 벗어난 상기 모재의 일부분은, 상기 모재 전체와의 상대적 질량 차이로 인한 열전도에 의해 급속 응고되어 상온에서 안정한 오스테나이트(austenite)로 변태(transformation)될 수 있도록, 상기 모재의 열전도도에 따라 상기 전자빔의 출력을 제어하는 전자빔을 이용한 표면 열처리 방법이 개시된다. 또한, 본 발명에 따른 상기 전자빔을 이용한 표면 열처리 방법을 이용하여, 탄소강의 표면을 열처리할 수 있도록 마련되는 전자빔을 이용한 표면 열처리 장치가 개시된다.

명세서

발명의 명칭: 전자빔을 이용한 표면 열처리 방법

기술분야

- [1] 본 발명은 전자빔을 이용한 표면 열처리 방법에 관한 것으로, 전자빔에 의해 국부적으로 용융된 모재의 표면과 모재 전체의 상대적 질량 차이에 의한 급속 용융 및 급속 응고를 이용하여, 알파철이 바탕인 페라이트로 구성된 모재의 표면을 상온에서 카바이드를 함유하지 않는 안정한 감마철의 오스테나이트로 변태시키는 전자빔을 이용한 표면 열처리 방법에 관한 것이다.

배경기술

- [2] 일반적으로 탄소강과 같은 합금은 순철이 갖는 결점을 보강한 금속으로서, 내식성 및 내마모성이 우수하여 각종 금형, 절삭공구, 정밀부품 등 기계 공업 분야에서 널리 이용되고 있는 소재이다.
- [3] 이와 같은 탄소강과 같은 합금의 경우 기본적인 소재 자체의 특성도 중요하지만, 열처리와 같이 소재의 특성을 개량하는 고정을 통해 사용용도에 알맞은 특성을 가지게 만든 후 사용되기 때문에, 열처리와 같은 표면처리 방법에 의해 좌우되는 기계적 특성이 더욱 중요하게 여겨진다.
- [4] 한편, 탄소강과 같은 합금의 표면처리 방법에는 다양한 방법이 있겠으나, 최근 레이저를 이용한 표면 열처리 기술과 함께 전자빔을 이용한 표면 열처리 기술들에 대한 연구 개발이 활발하게 진행되고 있는 추세이다.
- [5] 그러나, 종래 전자빔을 이용한 국부적인 표면 열처리 기술들의 경우 진공환경을 조성해야 한다는 제약과 필라멘트의 짧은 수명 등이 큰 문제점으로 지적되고 있는 실정이다.
- [6] 또한, 종래 대부분의 전자빔을 이용한 표면 열처리 기술들은 금속 내에 분포하고 있는 시멘타이트(cementite, 탄화철; 카바이드)을 발달시키거나 전자빔을 이용해 조대한 시멘타이트를 미세화시켜 경도를 향상시키는 목적으로 진행된다.
- [7] 아니면, 오스테나이트(austenite)를 알파철, 즉 알파상의 고형체와 시멘타이트로 구성되는 조직인 마르텐사이트(martensite)로 변태시켜 경도를 향상시키는 목적으로 진행되는 것이 통상적이었다.
- [8] 하지만, 시멘타이트 구조 같은 경우에는 표면강도가 높고 내마모성이 매우 뛰어나다는 장점이 있으나, 기본적으로 취성(brittleness)을 갖기 때문에 인장 응력에 매우 취약하며, 불안정한 화합물로서 900°C 이상의 고열에는 흑연으로 변화된다는 단점을 갖는다.
- [9] 아울러, 마르텐사이트 또한 앞서 시멘타이트 구조와 같이 표면강도 및 내마모성이 뛰어나다는 장점이 있으나, 오스테나이트보다 밀도가 작기 때문에 오스테나이트에서 마르텐사이트로 변태 시에 팽창하여 용적을 증가시켜 소입

변형 및 소입 균열의 원인이 되기 때문에, 정밀부품의 가공에는 적합하지 않다는 문제점이 존재한다.

- [10] 따라서, 전술한 종래 전자빔을 이용한 표면 열처리 기술들이 갖는 문제점들을 해결할 수 있는 전자빔을 이용한 표면 열처리 기술이 요구되고 있는 실정이다.

발명의 상세한 설명

기술적 과제

- [11] 본 발명이 해결하고자 하는 과제는, 전자빔에 의해 국부적으로 용융된 모재의 표면과 모재 전체의 상대적 질량 차이에 의한 급속 용융 및 급속 응고를 이용하여, 알파철이 바탕인 페라이트로 구성된 모재의 표면을 상온에서 카바이드를 함유하지 않는 안정한 감마철의 오스테나이트로 변태시키는 전자빔을 이용한 표면 열처리 방법을 제공함에 있다.

- [12] 한편, 본 발명이 해결하고자 하는 기술적 과제는 전술한 기술적 과제로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 기술적 과제들은 아래의 기재로부터 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

과제 해결 수단

- [13] 상기 기술적 과제를 해결하기 위한 본 발명에 따른 전자빔을 이용한 표면 열처리 방법은, 상온에서 페라이트(ferrite)인 탄소강으로 구성된 모재의 표면에 전자빔을 조사하여 표면을 열처리하는 방법으로서, 상기 모재의 표면에 국부적인 가공영역을 설정하는 가공영역설정단계; 및 상기 가공영역에 조사되는 전자빔의 출력을 제어하는 출력제어단계를 포함하며, 상기 출력제어단계는, 상기 가공영역 내에서 상기 전자빔에 의해 용융되고 상기 전자빔의 이동에 따라 상기 가공영역으로부터 벗어난 상기 모재의 일부분은, 상기 모재 전체와의 상대적 질량 차이로 인한 열전도에 의해 급속 응고되어 상온에서 안정한 오스테나이트(austenite)로 변태(transformation)될 수 있도록, 상기 모재의 열전도도에 따라 상기 전자빔의 출력을 제어할 수 있다.
- [14] 그리고, 상기 전자빔이 기 설정된 속도에 맞춰 상기 모재의 표면을 따라 이동될 수 있도록, 상기 전자빔의 이동속도 또는 상기 모재의 이동속도를 제어하는 이동속도제어단계를 더 포함할 수 있다.
- [15] 이때, 상기 전자빔은, 10^{-3} Torr 내지 10^{-5} Torr의 진공상태에서 조사되며, 비정상 글로우 방전(abnormal glow discharge)을 이용한 플라즈마 전자빔일 수 있다.
- [16] 또한, 상기 전자빔은, 출력 전압이 30kV 내지 40kV의 범위 내에서 제어될 수 있다.
- [17] 여기서, 상기 가공영역 내에서 상기 모재에 가해지는 상기 전자빔의 에너지 밀도는 [수식 1]과 같이, 상기 전자빔의 에너지값에 비례하고 상기 모재의 질량에 반비례하여 결정되고, 상기 전자빔의 에너지값은 상기 전자빔의 가속전압과, 상기 전자빔의 전류밀도와, 상기 가공영역 내에서 상기 모재에 조사되는 상기

전자빔의 체류 시간과, 상기 전자빔의 펄스 값의 곱으로 간주될 수 있으며, 상기 모재의 질량은 상기 모재의 밀도와, 상기 전자빔이 상기 모재에 침투되는 깊이의 곱으로 간주될 수 있다.

[18] [수식 1.]

$$E_d = \frac{E}{m} \approx \frac{U \cdot j \cdot t_{beam} \cdot N}{\rho \cdot h} \text{ [J/cm}^2\text{]}$$

[19] (여기서, E_d : 상기 전자빔의 에너지 밀도, E : 상기 전자빔의 에너지값, m : 상기 모재의 질량, U : 상기 전자빔의 가속전압, j : 상기 전자빔의 전류밀도, t_{beam} : 상기 가공영역 내에서 상기 모재에 조사되는 상기 전자빔의 체류 시간, N : 상기 전자빔의 펄스값, ρ : 상기 모재의 밀도, h : 상기 전자빔이 상기 모재에 침투되는 깊이)

[20] 이때, 상기 전자빔이 상기 가공영역 내에서 상기 모재에 조사되는 시간(t_{beam})은 [수식 2]와 같이, 2와, 상기 전자빔이 상기 모재에 침투되는 깊이의 제곱과, 상기 모재의 밀도와, 상기 모재의 열용량의 곱을 상기 모재의 열전도도로 나눈 값으로 간주될 수 있다.

[21] [수식 2.]

$$t_{beam} \approx \frac{2 \cdot h^2 \cdot \rho \cdot c}{\lambda}$$

[22] (여기서, t_{beam} : 상기 가공영역 내에서 상기 모재에 조사되는 상기 전자빔의 체류 시간, h : 상기 전자빔이 상기 모재에 침투되는 깊이, ρ : 상기 모재의 밀도, c 는 상기 모재의 열용량, λ : 상기 모재의 열전도도)

[23] 한편, 상기 출력제어단계 또는 상기 이동속도제어단계는, 상기 가공영역 내에서 상기 전자빔에 의해 열처리되는 상기 모재의 표면 깊이가 $100\mu\text{m} \sim 500\mu\text{m}$ 가 되도록 이루어지며, 상기 전자빔의 가속전압에 의해 제어될 수 있다.

[24] 이에 따라, 상기 가공영역 내에서 상기 전자빔에 의해 용융된 후 급속 응고된 상기 모재의 표면은 카바이드(carbide)를 함유하지 않고, 면심입방구조(face centered cubic structure)를 갖는 감마철을 바탕으로 하며, 상온에서 안정된 오스테나이트로 구성될 수 있다.

[25] 아울러, 상기 모재가 크롬을 함유하고 있을 경우, 상기 가공영역 내에서 상기 전자빔에 의해 용융된 후 급속 응고된 상기 모재의 표면에는, 상기 모재의 표면에 존재하는 철의(Fe) 결정립(grain)들 사이의 결정립계(grain boundaries)에 크롬이 응집되어 경계면이 형성될 수 있다.

[26] 나아가, 상기 가공영역 내에서 상기 전자빔에 의해 용융된 후 급속 응고된 상기 모재의 표면을 피닝(peening)시키는 피닝단계를 더 포함할 수 있다.

[27] 여기서, 상기 피닝단계는, 상기 결정립계에 응집되어 있던 크롬을 이동시켜 결정립모암(grain matrix)을 형성하게 하며, 상기 결정립모암이 균일하게 분포되고 압축되어 서로 겹쳐진 상태로 단층을 이루도록 할 수 있다.

- [28] 그리고, 본 발명은 상기 전자빔을 이용한 표면 열처리 방법을 이용하여, 탄소강의 표면을 열처리할 수 있도록 마련되는 전자빔을 이용한 표면 열처리 장치를 포함할 수 있다.

발명의 효과

- [29] 전술한 구성을 가지는 본 발명에 따른 전자빔을 이용한 표면 열처리 방법은 다음과 같은 효과가 있다.
- [30] 전자빔에 의해 국부적으로 용융된 모재의 표면과 모재 전체의 상대적 질량 차이에 의한 급속 용융 및 급속 응고를 이용하여, 알파철이 바탕인 페라이트로 이루어진 모재의 표면을 상온에서 카바이드를 함유하지 않는 안정한 감마철의 오스테나이트로 변태시킬 수 있다는 이점이 있다.
- [31] 한편, 본 발명의 효과는 상기 언급한 효과에 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 효과들은 청구범위의 기재로부터 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

도면의 간단한 설명

- [32] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 전자빔을 이용한 표면 열처리 방법을 나타낸 도면이다.
- [33] 도 2 내지 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 가공영역설정단계, 출력제어단계 및 이동속도제어단계를 통한 열처리 과정을 개략적으로 나타낸 도면이다.
- [34] 도 4 내지 도 5는 투과 전자현미경을 이용하여 본 발명에 따른 전자빔을 이용한 표면 열처리 방법을 통해 열처리된 모재의 표면을 분석한 분석결과를 나타낸 도면이다.
- [35] 도 6 내지 도 7은 X-선 회절 분석법을 이용해, 본 발명에 따른 전자빔을 이용한 표면 열처리 방법을 통해 열처리된 모재의 표면과 종래 기술을 통해 열처리된 열처리된 모재의 표면을 비교분석한 분석결과를 나타낸 도면이다.
- [36] 도 8 내지 도 9는 본 발명에 따른 전자빔을 이용한 표면 열처리 방법에 있어서, 전자빔의 출력 전압을 독립변인으로 삼았을 때 다양한 출력 전압으로 열처리된 모재들의 표면 구조를 X-선 회절 분석법을 이용해 비교분석한 분석결과를 나타낸 도면이다.
- [37] 도 10은 투과 전자현미경을 이용하여 본 발명에 따른 전자빔을 이용한 표면 열처리 방법을 통해 열처리된 모재의 표면의 횡단면을 분석한 분석결과를 나타낸 도면이다.
- [38] 도 11은 마이크로 비커스 경도계용 측정프로그램인 VLPK-2000을 이용하여 본 발명에 따른 전자빔을 이용한 표면 열처리 방법을 통해 열처리된 모재의 표면(12)의 경도를 측정한 결과를 나타낸 도면이다.
- [39] 도 12는 에너지분산형 분광분석법을 이용하여 본 발명의 일 실시예에 따른 피닝단계를 통해 피닝된 모재를 분석한 결과를 나타낸 도면이다.
- [40] *부호의 설명

- [41] 10: 모재 12: 열처리된 모재의 표면
- [42] 20: 전자빔
- [43] 30: 가공영역

발명의 실시를 위한 형태

- [44] 이하 본 발명의 목적이 구체적으로 실현될 수 있는 본 발명의 일 실시예를 첨부된 도면을 참조하여 설명한다. 본 실시예를 설명함에 있어서 동일한 구성에 대해서는 동일 명칭 및 동일 부호가 사용되며 이에 따른 부가적인 설명은 생략하기로 한다.
- [45] 또한, 본 실시예를 설명함에 있어서 도면에 도시된 구성은 상세한 설명에 대한 이해를 돕기 위한 예시일 뿐, 이로 인해 권리범위가 제한되지 않음을 명시한다.
- [46] 본 발명의 일 실시예에 따른 전자빔을 이용한 표면 열처리 방법은 상온에서 페라이트(ferrite)인 탄소강(carbon steel)으로 구성된 모재의 표면에 전자빔(electron beam)을 조사하여 표면을 열처리하는 방법으로서, 도 1에 도시된 바와 같이 가공영역설정단계(S1), 출력제어단계(S2), 이동속도제어단계(S3), 피닝단계(S4)를 포함할 수 있다.
- [47] 여기서, 탄소강으로 구성된 모재함은 탄소 함유량이 0.5중량%(% by weight) 이상을 갖는 탄소강일 수 있다.
- [48] 단 이는 본 실시예에 따른 전자빔을 이용한 표면 열처리 방법을 통해 가장 바람직한 결과를 얻을 수 있는 탄소강의 일례일 뿐, 본 발명에 적용될 수 있는 모재를 한정하는 것이 아니며 이외에도 얼마든지 다양한 금속이 모재로 이용될 수 있음을 명시한다.
- [49] 한편, 페라이트는 알파철을 바탕으로 한 고용체의 금속 조직학상 명칭으로서, 외관은 순철과 유사하나 다른 원소가 고용될 경우 순철에 비해 강도가 향상되는 특징을 갖는다.
- [50] 이때, 알파철(α 철, alpha iron)이라 함은 900°C 이하에서 안정한 체심입방구조(body centered cubic structure)의 철을 말한다.
- [51] 이와 같은, 페라이트 및 알파철 그리고 탄소강의 경우 본 발명이 속한 기술분야에 있어서 널리 이용되고 있는 금속의 명칭 및 종류고, 이에 대한 특성은 자명하다 할 수 있을 정도로 알려져 있으며, 본 발명은 페라이트계의 탄소강의 표면 열처리 방법이기 때문에, 본 발명의 요지를 명확하게 하고자 보다 상세한 설명은 생략하도록 하겠다.
- [52] 본론으로 돌아와, 가공영역설정단계(S1)는 도 2에 도시된 바와 같이 모재(10)의 표면에 국부적인 가공영역(30)을 설정할 수 있다.
- [53] 여기서, 가공영역(30)은 전자빔(20)이 조사되는 모재(10)의 표면 일부분으로, 가공영역(30)으로 지정된 모재(10)의 표면 일부분은 전자빔(20)으로부터 전달되는 에너지에 의해 기 설정된 깊이만큼 가열되어 용융 및 응고의 과정을 거쳐 열처리될 수 있다.

- [54] 즉, 가공영역설정단계(S1)는 모재(10)의 표면이 얼마만큼의 넓이 및 깊이를 갖고 열처리될 것인지를 모재(10)의 종류, 특성에 맞춰 사전에 설정하는 제어과정일 수 있다.
- [55] 이어서, 출력제어단계(S2)에서는 전술한 가공영역설정단계(S1)를 통해 설정된 가공영역(30)에 조사되는 전자빔(20)의 출력을 제어할 수 있다.
- [56] 이와 같은 출력제어단계(S2)는 도 3에 도시된 바와 같이, 가공영역(30) 내에서 전자빔(20)에 의해 용융된 후 전자빔(20)의 이동에 따라 가공영역(30)으로부터 벗어난 모재의 일부분(12)은, 모재(10) 전체 질량과의 상대적 질량 차이에 인한 열전도에 의해 급속 응고되어 상온에서 안정한 오스테나이트(austenite)로 변태(transformation)될 수 있도록, 상기 모재의 열전도도에 따라 상기 전자빔의 출력을 제어할 수 있다.
- [57] 이때, 전술한 바와 같은 전자빔(20)의 이동은 이동속도제어단계(S3)를 통해 제어될 수 있으며, 이동속도제어단계(S3)에서는 전자빔(20)이 기 설정된 속도에 맞춰 모재(10)의 표면을 따라 이동될 수 있도록, 전자빔(20)의 이동속도 또는 모재(10)의 이동속도를 제어할 수 있다.
- [58] 여기서, 상기 기 설정된 속도는 상기 모재의 열전도도, 상기 가공영역(30) 내에 속한 모재(10)의 일부분과 모재(10) 전체의 상대적 질량 차이를 고려하여 설정될 수 있다.
- [59] 한편, 오스테나이트는 면심입방구조(face centered cubic structure)를 갖는 철 및 합금강을 이루는 것으로서, 이와 같은 면심입방구조는 체심입방구조에 비해 보다 높은 원자충전율(atomic packing factor)을 갖는다.
- [60] 면심입방구조를 갖는 오스테나이트는 체심입방구조를 갖는 페라이트에 비해 동일 공간 대비 원자의 밀도가 더 치밀하게 구성되기 때문에, 페라이트 보다 경도가 높으며 산화가 내부로 깊숙하게 침투되기 어려워 내부식성이 뛰어나는 뿐만 아니라, 면 상에서 원자의 이동 또한 비교적 원활하여 연성이 뛰어나다는 장점이 있다.
- [61] 그러나, 일반적인 금속의 열처리에 있어서 순철의 경우 급냉 과정을 거치더라도 910°C를 경계로 하는 면심입방구조에서 체심입방구조로 변화되는 것을 막을 수 없어 체심입방구조를 갖게 되는 것이 일반적이다.
- [62] 종래의 전자빔을 이용한 표면 열처리 기술의 대부분이 상기와 같은 이유, 즉 상온에서 불안정한 오스테나이트의 경향 때문에, 오스테나이트를 마르텐사이트(martensite)로 변태시키거나, 마르텐사이트의 카바이드(또는 시멘타이트)를 발달 및 미세화시킴으로써 경도를 향상시키는 방법을 이용했었다.
- [63] 하지만, 시멘타이트 구조 같은 경우에는 표면강도가 높고 내마모성이 매우 뛰어나다는 장점이 있으나, 기본적으로 취성(brittleness)을 갖기 때문에 인장 응력에 매우 취약하며, 불안정한 화합물로서 900°C 이상의 고열에는 흑연으로 변환된다는 특성을 갖는다.

- [64] 아울러, 마르텐사이트 또한 앞서 시멘타이트 구조와 같이 표면강도 및 내마모성이 뛰어나다는 장점이 있으나, 오스테나이트보다 밀도가 작기 때문에 오스테나이트에서 마르텐사이트로 변태 시에 팽창하여 용적을 증가시켜 소입 변형 및 소입 균열의 원인이 되기 때문에, 정밀부품의 가공에는 적합하지 않다는 문제점이 존재한다.
- [65] 반면, 본 실시예에 따른 열처리 과정에서는 전술한 바와 같이 전자빔(20)에 의해 용융된 모재의 일부분(12)이 전자빔(20)의 이동에 따라 가공영역(30)으로부터 벗어났을 때, 모재(10) 전체와의 상대적 질량 차이로 인한 열전도에 의해 급속 응고되어 상온에서 안정한 오스테나이트로 변태될 수 있다.
- [66] 이때, 전술한 바와 같은 열처리 과정을 거쳐 오스테나이트로 변태된 모재의 일부분(12), 즉 모재(10)의 표면은 카바이드(carbide)를 함유하지 않고, 면심입방구조를 갖는 감마철을 바탕으로 하며 상온에서 안정된 상태를 유지할 수 있으며, 이는 도 4 내지 도 7을 통해 확인할 수 있다.
- [67] 여기서, 도 4 내지 도 5는 투과 전자현미경(TEM; Transmission Electron Microscope)을 이용하여 본 발명에 따른 전자빔을 이용한 표면 열처리 방법을 통해 열처리된 모재의 표면(12)을 분석한 분석결과를 나타낸 도면이다.
- [68] 본 분석결과를 살펴보자면, 열처리된 모재의 표면(12)의 결정립모양(grain matrix)이 오스테나이트 구조를 갖고 있음을 도 5(도 4의 A영역에 해당)와 같은 회절무늬(diffraction pattern)를 통해 확인할 수 있다.
- [69] (투과 전자현미경은 전자선을 집속하여 시료에 조사하고 시료를 투과한 전자선을 전자렌즈를 이용해 확대하여 상을 얻는 현미경으로서, 시료를 투과한 전자선의 회절무늬를 관찰할 수 있어 시료의 결정 구조를 조자함에 용이하다. 본 투과 전자현미경을 이용한 회절무늬 분석에 사용된 모재는 합금 공구강인 SKD11(탄소 함량 1.40~1.60%, 크롬 함량 11.0~13.0%)이 사용되었다)
- [70] 그리고, 도 6 내지 도 7은 X-선 회절 분석법(X-ray Diffraction Analysis)을 이용해, 본 발명에 따른 전자빔을 이용한 표면 열처리 방법을 통해 열처리된 모재의 표면과 종래 기술을 통해 열처리된 열처리된 모재의 표면을 비교분석한 분석결과를 나타낸 도면이다.
- [71] (X-선 회절 분석법이라 함은 시료에 조사한 X-선이 결정의 종류나 구조에 의해 산란되어 X-선의 강도나 회절 각도가 변화하는 것을 이용하여 결정 구조나 방위의 결정 등을 행하는 분석법이다. 본 X-선 회절 분석법에 있어서, 비교분석에 사용된 모재는 마찬가지로 합금 공구강인 SKD11이 사용되었으며, 종래기술의 경우에는 진공상태의 전자빔을 이용한 열처리 방법이 쓰였다)
- [72] 본 분석결과를 비교해 보자면, 본 발명의 경우 도 6을 통해 나타난 바와 같이 열처리된 모재의 표면은 스펙트럼의 분포 상태를 통해 감마철로 구성되어 있으며 카바이드가 존재하지 않음을 알 수 있다.
- [73] 이에 반해, 종래기술의 경우 도 7을 통해 나타난 바와 같이 열처리된 모재의 표면은 스펙트럼의 분포 상태가 알파철로 구성되어 있으며 카바이드가

존재하고 있음을 알 수 있다.

- [74] 여기서, 감마철(γ 철, gamma iron)은 철의 동소체이자 탄소를 고용하는 고용체로서, A3변태점(910°C)과 A4변태점(1400°C) 사이에 있는 철이며 결정구조는 면심입방구조를 갖고 전술한 알파철과는 달리 비자성체이다.
- [75] 보다 구체적으로, 본 실시예에 따른 열처리 과정에서는 탄소 및 탄소 이외의 다른 원소(예컨대, 탄소강의 경우에는 규소 및 망간의 경우에는 크롬 및 니켈 등)를 함유하고 페라이트인 모재(10)의 표면을 전자빔(20)을 통해 용융시킨 후, 모재(10) 전체와의 상대적 질량 차이로 인한 열전도를 이용해 급속으로 응고시킬 수 있다.
- [76] 이때, 탄소 및 탄소 이외의 다른 원소의 상호작용으로 인해 급속 응고 과정으로 거친 모재(10)는 상온에서 면심입방구조에서 체심입방구조로 변화되는 것이 완전히 정지하게 되며, 페라이트인 모재(10)는 상온에서 안정한 상태를 유지하는 면심입방구조의 오스테나이트로 변태될 수 있다.
- [77] 이에 따라, 본 실시예에 따른 열처리 과정을 거친 모재(10)의 표면은 보다 높은 경도와 뛰어난 내부성을 갖게될 뿐만 아니라, 연성-취성 천이온도(DBTT; ductile-brittle transition temperature)가 존재하지 않아 저온 취성을 방지할 수 있는 등 기계적 성질이 향상될 수 있다.
- [78] 뿐만 아니라, 변형 경화율(strain hardening factor)이 체심입방구조에 비해 월등하게 높기 때문에, 소성 가공 시 모재(10)의 경도와 강도가 증가될 수 있으며, 그라인딩, 래핑 및 폴리싱과 같은 후처리 공정에도 매우 유리한 기계적 성질을 가질 수 있다.
- [79] 한편, 본 실시예에 따른 출력제어단계(S2)에서 전자빔(20)은 10-3Torr 내지 10-5Torr의 압력값을 갖는 진공상태에서 조사되며, 비정상 글로우 방전(abnormal glow discharge)을 이용한 플라즈마 전자빔일 수 있다.
- [80] 이와 같이 저진공상태에서 열처리가 이루어질 경우에는 가공영역(30) 내에서 전자빔(20)에 의해 용융되는 모재(10)에서 발생하는 증발현상을 최소화할 수 있기 때문에, 모재(10)의 증발로 인한 열처리된 표면의 품질불량 및 거칠기 증가를 방지하고, 매끄러운 표면상태를 갖는 높은 품질의 열처리 결과를 얻을 수 있다.
- [81] 또한, 비정상 글로우 방전을 이용한 플라즈마 전자빔의 경우에는 정상 글로우 방전에 비해 원하는 만큼의 전압을 조절할 수 있어 제어면에서 유리하다는 이점이 있다.
- [82] 아울러, 본 실시예에 따른 출력제어단계(S2)에서 전자빔(20)의 출력 전압은 30kV 내지 40kV의 범위 내에서 제어될 수 있다.
- [83] 도 8 내지 도 9를 통해 나타난 바와 같이, 전자빔(20)의 출력 전압을 30kV 내지 40kV의 범위 내로 설정하여 열처리를 진행했을 경우, 모재(10)의 표면은 안정적인 감마철을 바탕으로 하는 오스테나이트 구조를 갖게 되었으며, 카바이드 역시 스펙트럼상에 존재하지 않음을 알 수 있었다.

- [84] 여기서, 도 8 내지 도 9는 본 발명에 따른 전자빔을 이용한 표면 열처리 방법에 있어서, 전자빔(20)의 출력 전압을 독립변인으로 삼았을 때 다양한 출력 전압으로 열처리된 모재(10)들의 표면 구조를 X-선 회절 분석법(X-ray Diffraction Analysis)을 이용해 비교분석한 분석결과를 나타낸 도면이다.
- [85] 본 분석결과를 비교해보자면, 도 8과 같이 열처리된 모재(10)의 표면은 전자빔(20)의 출력 전압이 30kV 내지 40kV의 범위 내에서 설정되었을 경우 카바이드가 존재하지 않았으나, 도 9와 같이 전자빔(20)의 출력 전압이 50kV 또는 100kV로 설정되어 열처리되었을 경우에는 미량이나마 카바이드를 함유하고 있음을 알 수 있었다.
- [86] 즉, 본 실시예에 따른 출력제어단계(S2)에서 전자빔(20)의 출력 전압은 30kV 내지 40kV의 범위 내에서 제어되는 것이 가장 바람직한 열처리 결과를 얻을 수 있다.
- [87] 한편, 전술한 전자빔의 출력 전압은 30kV 내지 40kV 범위로 제어되는 것은 출력제어단계(S2)에 있어서 일반적인 제어사항에 대한 일례를 설명한 것이며, 본 실시예에 따른 출력제어단계(S2)에서 전자빔(20)의 출력 전압은 반드시 위와 같은 범위로 한정되는 것이 아니며, 모재(10)의 종류 및 특성, 전체 질량 및 밀도에 따라 다양하게 적용될 수 있다.
- [88] 즉, 출력 전압에 따라 모재(10)에 전달되는 전자빔(20)의 에너지 밀도는 모재(10)의 종류 및 특성, 전체 질량 및 밀도에 따라 다양하게 적용될 수 있다.
- [89] 보다 구체적으로, 본 실시예에 따른 출력제어단계(S2)에 있어서, 가공영역(30) 내에서 모재(10)에 가해지는 전자빔(20)의 에너지 밀도는 아래의 [수식 1.]과 같이, 전자빔(20)의 에너지값에 비례하고 모재(10)의 질량에 반비례하여 결정될 수 있다.
- [90] [수식 1.]
- $$E_d = \frac{E}{m} \approx \frac{U \cdot j \cdot t_{beam} \cdot N}{\rho \cdot h} \text{ [J/cm}^2\text{]}$$
- [91] (여기서, E_d : 상기 전자빔의 에너지 밀도, E : 상기 전자빔의 에너지값, m : 상기 모재의 질량, U : 상기 전자빔의 가속전압, j : 상기 전자빔의 전류밀도, t_{beam} : 상기 가공영역 내에서 상기 모재에 조사되는 상기 전자빔의 체류 시간, N : 상기 전자빔의 펄스값, ρ : 상기 모재의 밀도, h : 상기 전자빔이 상기 모재에 침투되는 깊이)
- [92] 이때, 전자빔(20)의 에너지값(E)은 전자빔(20)의 가속전압(U)과, 전자빔(20)의 전류밀도(j)와, 가공영역(30) 내에서 모재(10)에 조사되는 전자빔(20)의 체류 시간(t_{beam})과, 전자빔(20)의 펄스 값(N)의 곱으로 간주될 수 있으며, 모재(10)의 질량은 모재(10)의 밀도(ρ)와, 전자빔(20)이 모재(10)에 침투되는 깊이(h)의 곱으로 간주될 수 있다.
- [93] 또한, 앞서 전자빔(20)이 가공영역(30) 내에서 모재(10)에 조사되는

시간(t_{beam})은 아래의 [수식 2.]와 같이, 2와, 전자빔(20)이 모재(10)에 침투되는 깊이(h)의 제곱과, 모재(10)의 밀도(ρ)와, 모재(10)의 열용량(C)의 곱을 모재의 열전도도(λ)로 나눈 값으로 간주될 수 있다.

[94] [수식 2.]

$$t_{beam} \approx \frac{2 \cdot h^2 \cdot \rho \cdot c}{\lambda}$$

[95] (여기서, t_{beam} : 상기 가공영역 내에서 상기 모재에 조사되는 상기 전자빔의 체류 시간, h : 상기 전자빔이 상기 모재에 침투되는 깊이, ρ : 상기 모재의 밀도, c 는 상기 모재의 열용량, λ : 상기 모재의 열전도도)

[96] 한편, 본 실시예에 따른 열처리 과정을 통해 모재의 표면(12)에서 감마철의 순수한 오스테나이트 구조를 얻을 수 있는 것은 아래의 [수식 3.]과 같이, 모재(10)가 가지고 있는 엔탈피의 변화속도와도 연관될 수 있다.

[97] [수식 3.]

$$H = E + PV$$

[98] (여기서, H : 엔탈피, E : 상기 모재의 내부에너지, P : 주변 압력, V : 상기 모재의 체적)

[99] 보다 구체적으로, 모재(10)가 가지고 있는 내부에너지(E)의 변화 즉, 용융된 모재(10)가 냉각되어 응고되는 속도의 변화와 압력(P), 모재(10)의 체적(V)이 주요 변수로 작용될 수 있다.

[100] 이러한 이유로, 본 실시예에 따른 전자빔(20)을 이용한 표면 열처리 과정은 모재(10)가 전자빔(20)에 의해 용융되고 응고되는 과정에서 비확산 변태(diffusionless transformation)과정이 원활하게 진행되도록, 전자빔(20)의 출력 전압 및 에너지 밀도 등을 제어할 수 있다.

[101] 즉, 모재(10)의 내부에너지(E)를 급속히(1초 이내) 상승시켜 국부적인 표면만을 제한적 영역(본 발명에 있어서 가공영역)만을 용융시키게 되며, 모재(10)의 총 에너지인 엔탈피(H)가 급속도로 감소할 수 있도록 앞서 [수식 3.]을 기반으로 하여 공정조건을 설정할 수 있다.

[102] (만약, 전자빔에 의한 모재의 내부에너지(E) 상승이 더더질 경우 모재의 전체의 온도상승으로 인해 모재의 총 에너지인 엔탈피(H)의 감소가 어려워 급속 냉각 및 응고가 힘들게 되며, 전자빔의 에너지가 과도할 경우 모재 내부의 용융되는 체적(가공영역)이 넓어져 내부에너지(E)의 감소 또한 어려워진다.

[103] 또한, 전술했던 바와 같이 본 실시예에 따른 열처리 과정은 엔탈피(H)의 감소를 위해 10-3Torr 내지 10-5Torr의 압력값을 갖는 진공상태에서 이루어지기 때문에, 전자빔의 에너지가 과도할 경우 모재의 증발을 야기하여 치수변화와 같은 문제를 발생시킬 수 있다.)

[104] 이에 따라, 본 실시예에서는 모재(10)가 전자빔(20)에 의해 용융된 후 응고되어 고체화 되는 과정에서 비확산 변태가 원활하게 진행되도록, 추가적인 냉각

장치를 포함하거나, 전술한 바와 같이 10-3Torr 내지 10-5Torr의 압력값을 갖는 진공상태처럼 대기압 이하의 압력변화를 부가할 수 있다

- [105] 나아가, 모재(10) 내의 탄소 함유량을 증가시켜 비확산 변태 과정을 촉진시킬 수도 있으며, 이 경우 열처리를 마친 모재의 표면(12)이 상온에서 안정한 오스테나이트 구조를 유지하기 때문에 1.0중량% 이상의 탄소 함유량을 갖는 탄소강에서도 카바이드가 석출되지 않을 수 있다.
- [106] 즉, 본 실시예에 따른 전자빔을 이용한 표면 열처리 방법에서는 탄소 함유량을 증가시켜 비확산 변태를 촉진시키더라도, 카바이드의 존재 없이 경도를 향상시킬 수 있으며 오스테나이트 구조가 갖는 연성을 획득할 수 있다.
- [107] 이처럼, 전술한 바와 같이 본 실시예에 따른 출력제어단계(S2)에서는, 출력 전압에 따라 모재(10)에 전달되는 전자빔(20)의 에너지 밀도를 모재(10)의 종류 및 특성, 전체 질량 및 밀도에 맞춰 제어할 수 있다.
- [108] 아울러, 알맞은 가공영역(30)을 한정하고 용융된 모재(10)의 급속 냉각 및 응고를 통해, 상온에서 카바이드를 함유하지 않고 안정한 오스테나이트 구조를 얻기 위해, 모재(10)의 내부에너지 및 체적에 맞춰 냉각속도 및 압력 등을 제어할 수도 있다.
- [109] 이에 따라, 다양한 소재로 구성된 모재(10)들의 열처리가 가능할 뿐만 아니라, 전자빔(20)에 의해 모재(10)가 용융되는 가공영역(30)의 면적 및 깊이 등을 제어할 수 있다.
- [110] 이때, 앞서 기재한 가공영역(30)의 깊이, 즉 가공영역(30) 내에서 전자빔(20)에 의해 열처리되는 모재(10)의 표면 깊이는 100 μ m~500 μ m가 되도록 이루어지며, 이는 전술한 출력제어단계(S2) 또는 이동속도제어단계(S3)에서 전자빔(20)의 가속전압(j)의 설정값에 의해 제어될 수 있다.
- [111] 또한, 도 10을 통해 나타난 바와 같이 본 실시예에 따른 전자빔을 이용한 표면 열처리에 따르면, 모재(10)가 크롬을 함유하고 있을 경우 가공영역(30) 내에서 전자빔(20)에 의해 용융된 후 급속 응고된 모재의 표면(12)에는, 모재의 표면(12)에 존재하는 철(Fe)의 결정립(grain)들 사이의 결정립계(grain boundaries)에 크롬(chromium)이 응집되어 경계면이 형성될 수 있다.
- [112] 여기서, 도 10은 앞서 설명했던 투과 전자현미경(TEM; Transmission Electron Microscope)을 이용하여 본 발명에 따른 전자빔을 이용한 표면 열처리 방법을 통해 열처리된 모재의 표면(12)의 횡단면(cross-sectional)을 분석한 분석결과를 나타낸 도면이며, 이때 사용된 모재(10) 또한 앞서와 마찬가지로 SKD11을 사용했다.
- [113] 본 분석결과를 살펴보자면, 철의 결정립들 간의 경계인 결정립계에 크롬이 유입되고 띠 형상을 갖추며 소량의 산소(O)와 함께 응집되어 굳어짐으로써 일종의 격벽을 형성할 수 있다.
- [114] 이에 따라, 각각의 철 결정립들은 결정립계의 빈 공간으로 인한 유격이 없어지게 되므로 치밀하게 조직될 수 있을 뿐만 아니라, 모재의 표면(12)에

- 산화이 진행되더라도 결정립계에 응집된 크롬의 격벽으로 인해 산화가 다른 철의 결정립들로 진행되지 않기 때문에 뛰어난 경도와 내식성을 갖출 수 있다.
- [115] 한편, 위와 같은 경도와 내식성은 본 실시예에 따른 피닝단계(S4)를 통해 더욱 향상될 수 있는데, 피닝단계(S4)에서는 가공영역(30) 내에서 전자빔(2)에 의해 용융된 후 급속 응고된 모재의 표면(12)을 초음파를 이용하거나 또는 기계적장치를 이용해 피닝(peening)시킬 수 있다.
- [116] 본 실시예에 따른 열처리 과정을 거친 모재(10)의 경우, 앞서 설명했던 바와 같이 변형 경화율이 월등하게 높아지게 되므로, 피닝(peening)과 같은 후처리에 의해 반복적인 응력에 노출될 경우 그 경도와 강도가 비약적으로 증가될 수 있다.
- [117] 도 11을 통해 나타난 바와 같이, 본 실시예에 따른 피닝단계(S4)를 거친 모재의 표면은 비커스 경도 및 로크웰 경도가 비약적으로 증가되었음을 알 수 있다.
- [118] 여기서, 도 11은 마이크로 비커스 경도계용 측정프로그램인 VLPK-2000을 이용하여 본 발명에 따른 전자빔을 이용한 표면 열처리 방법을 통해 열처리된 모재의 표면(12)의 경도를 측정한 결과를 나타낸 도면이다.
- [119] 아울러, 도 12를 통해 나타난 바와 같이 본 실시예에 따른 피닝단계(S4)의 경우 결정립계에 응집되어 있던 크롬을 이동시켜 결정립모암을 형성하게 하며, 상기 결정립모암이 균일하게 분포되고 압축되어 서로 겹쳐진 상태로 단층을 이루도록 할 수 있다.
- [120] 이에 따라, 피닝단계(S4)를 거친 모재의 표면은 경도 및 강도 향상뿐만 아니라, 내부식 또한 더욱 향상되는 등 기계적 성질이 한층 더 강화될 수 있다.
- [121] 여기서, 도 12는 에너지분산형 분광분석법(EDS; energy dispersive spectrometry)을 이용하여 본 실시예에 따른 피닝단계(S4)를 통해 피닝된 모재를 분석한 결과를 나타낸 도면이며, 에너지분산형 분광분석법이라 함은 주사 전자현미경(SEM)을 이용해 시료의 전자빔을 주사하여 에너지를 주입한 후, 물질에 따라 방출되는 고유의 X-선을 통해 시료의 성분을 분석하는 분석법을 말한다.
- [122] 나아가, 도면으로 도시되지는 않았지만 본 발명은 상술한 본 실시예에 따른 전자빔을 이용한 표면 열처리 방법을 이용하여, 탄소강의 표면을 열처리할 수 있도록 마련되는 전자빔을 이용한 표면 열처리 장치를 더 포함할 수 있다.
- [123] 이상과 같이 본 발명에 따른 일 실시예를 살펴보았으며, 앞서 설명된 실시예 이외에도 본 발명이 그 취지나 범주에서 벗어남이 없이 다른 특정 형태로 구체화될 수 있다는 사실은 해당 기술에 통상의 지식을 가진 이들에게는 자명한 것이다.
- [124] 그러므로, 상술된 실시예는 제한적인 것이 아니라 예시적인 것으로 여겨져야 하고, 이에 따라 본 발명은 상술한 설명에 한정되지 않고 첨부된 청구항의 범주 및 그 동등 범위 내에서 변경될 수도 있다.

청구범위

- [청구항 1] 상온에서 페라이트(ferrite)인 탄소강으로 구성된 모재의 표면에 전자빔을 조사하여 표면을 열처리하는 방법으로서,
상기 모재의 표면에 국부적인 가공영역을 설정하는 가공영역설정단계;
및
상기 가공영역에 조사되는 전자빔의 출력을 제어하는 출력제어단계를 포함하며,
상기 출력제어단계는,
상기 가공영역 내에서 상기 전자빔에 의해 용융되고 상기 전자빔의 이동에 따라 상기 가공영역으로부터 벗어난 상기 모재의 일부분은, 상기 모재 전체와의 상대적 질량 차이로 인한 열전도에 의해 급속 응고되어 상온에서 안정한 오스테나이트(austenite)로 변태(transformation)될 수 있도록, 상기 모재의 열전도도에 따라 상기 전자빔의 출력을 제어하는, 전자빔을 이용한 표면 열처리 방법.
- [청구항 2] 제1항에 있어서,
상기 전자빔이 기 설정된 속도에 맞춰 상기 모재의 표면을 따라 이동될 수 있도록, 상기 전자빔의 이동속도 또는 상기 모재의 이동속도를 제어하는 이동속도제어단계를 더 포함하는,
전자빔을 이용한 표면 열처리 방법.
- [청구항 3] 제1항 또는 제2항에 있어서,
상기 전자빔은,
 10^{-3} Torr 내지 10^{-5} Torr의 진공상태에서 조사되며, 비정상 글로우 방전(abnormal glow discharge)을 이용한 플라즈마 전자빔인 것을 특징으로 하는,
전자빔을 이용한 표면 열처리 방법.
- [청구항 4] 제1항 또는 제2항에 있어서,
상기 전자빔은,
출력 전압이 30kV 내지 40kV의 범위 내에서 제어되는 것을 특징으로 하는,
전자빔을 이용한 표면 열처리 방법.
- [청구항 5] 제1항 또는 제2항에 있어서,
상기 가공영역 내에서 상기 모재에 가해지는 상기 전자빔의 에너지 밀도는 [수식 1]과 같이, 상기 전자빔의 에너지값에 비례하고 상기 모재의 질량에 반비례하여 결정되고,
상기 전자빔의 에너지값은 상기 전자빔의 가속전압과, 상기 전자빔의 전류밀도와, 상기 가공영역 내에서 상기 모재에 조사되는 상기 전자빔의 체류 시간과, 상기 전자빔의 펄스 값의 곱으로 간주될 수 있으며,
상기 모재의 질량은 상기 모재의 밀도와, 상기 전자빔이 상기 모재에

침투되는 깊이의 곱으로 간주될 수 있는 것을 특징으로 하는,
전자빔을 이용한 표면 열처리 방법.

[수식 1.]

$$E_d = \frac{E}{m} \approx \frac{U \cdot j \cdot t_{beam} \cdot N}{\rho \cdot h} \text{ [J/cm}^2\text{]}$$

(여기서, E_d : 상기 전자빔의 에너지 밀도,

E : 상기 전자빔의 에너지값,

m : 상기 모재의 질량,

U : 상기 전자빔의 가속전압,

j : 상기 전자빔의 전류밀도,

t_{beam} : 상기 가공영역 내에서 상기 모재에 조사되는 상기 전자빔의 체류
시간,

N : 상기 전자빔의 펄스값,

ρ : 상기 모재의 밀도,

h : 상기 전자빔이 상기 모재에 침투되는 깊이)

[청구항 6]

제5항에 있어서,

상기 전자빔이 상기 가공영역 내에서 상기 모재에 조사되는 시간(t_{beam})은

[수식 2]와 같이, 2와, 상기 전자빔이 상기 모재에 침투되는 깊이의

제곱과, 상기 모재의 밀도와, 상기 모재의 열용량의 곱을 상기 모재의

열전도도로 나눈 값으로 간주되는 것을 특징으로 하는,

전자빔을 이용한 표면 열처리 방법.

[수식 2.]

$$t_{beam} \approx \frac{2 \cdot h^2 \cdot \rho \cdot c}{\lambda}$$

(여기서, t_{beam} : 상기 가공영역 내에서 상기 모재에 조사되는 상기 전자빔의
체류 시간,

h : 상기 전자빔이 상기 모재에 침투되는 깊이,

ρ : 상기 모재의 밀도, c 는 상기 모재의 열용량,

λ : 상기 모재의 열전도도)

[청구항 7]

제1항에 또는 제2항에 있어서,

상기 출력제어단계 또는 상기 이동속도제어단계는,

상기 가공영역 내에서 상기 전자빔에 의해 열처리되는 상기 모재의 표면

깊이가 $100\mu\text{m} \sim 500\mu\text{m}$ 가 되도록 이루어지며, 상기 전자빔의 가속전압에

의해 제어되는 것을 특징으로 하는,

전자빔을 이용한 표면 열처리 방법.

[청구항 8]

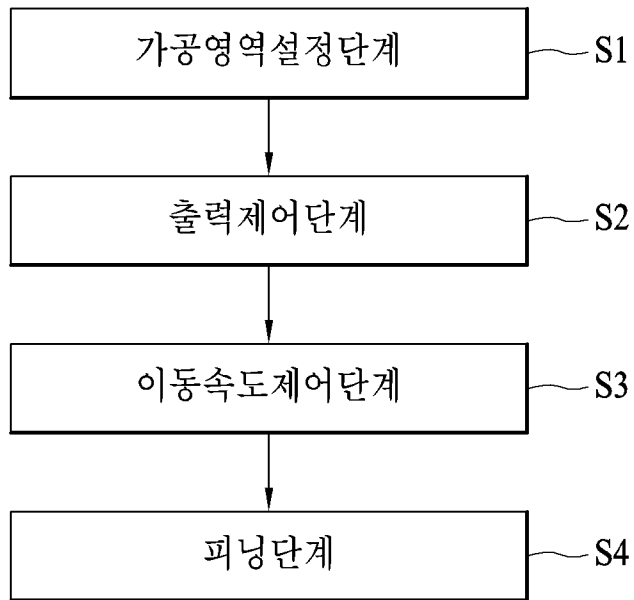
제1항 또는 제2항에 있어서,

상기 가공영역 내에서 상기 전자빔에 의해 용융된 후 급속 응고된 상기

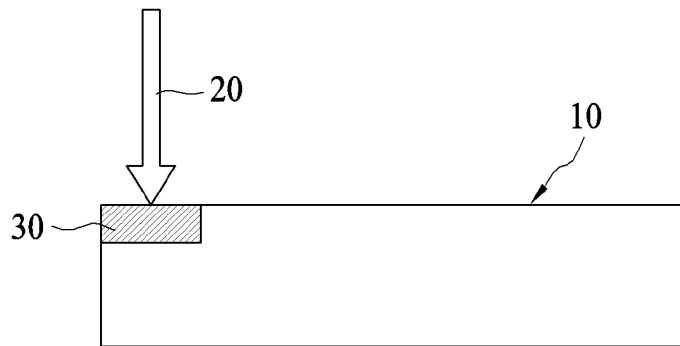
모재의 표면은 카바이드(carbide)를 함유하지 않고, 면심입방구조(face centered cubic structure)를 갖는 감마철을 바탕으로 하며, 상온에서 안정된 오스테나이트로 구성되는 것을 특징으로 하는, 전자빔을 이용한 표면 열처리 방법.

- [청구항 9] 제1항 또는 제2항에 있어서,
상기 모재가 크롬을 함유하고 있을 경우, 상기 가공영역 내에서 상기 전자빔에 의해 용융된 후 급속 응고된 상기 모재의 표면에는, 상기 모재의 표면에 존재하는 철의(Fe) 결정립(grain)들 사이의 결정립계(grain boundaries)에 크롬이 응집되어 경계면이 형성되는 것을 특징으로 하는, 전자빔을 이용한 표면 열처리 방법.
- [청구항 10] 제9항에 있어서,
상기 가공영역 내에서 상기 전자빔에 의해 용융된 후 급속 응고된 상기 모재의 표면을 피닝(peening)시키는 피닝단계를 더 포함하는, 전자빔을 이용한 표면 열처리 방법.
- [청구항 11] 제10항에 있어서,
상기 피닝단계는,
상기 결정립계에 응집되어 있던 크롬을 이동시켜 결정립모암(grain matrix)을 형성하게 하며, 상기 결정립모암이 균일하게 분포되고 압축되어 서로 겹쳐진 상태로 단층을 이루도록 하는 것을 특징으로 하는, 전자빔을 이용한 표면 열처리 방법.
- [청구항 12] 제1항 또는 제2항 중 어느 한 항에 따른 전자빔을 이용한 표면 열처리 방법을 이용하여, 탄소강의 표면을 열처리할 수 있도록 마련되는, 전자빔을 이용한 표면 열처리 장치.

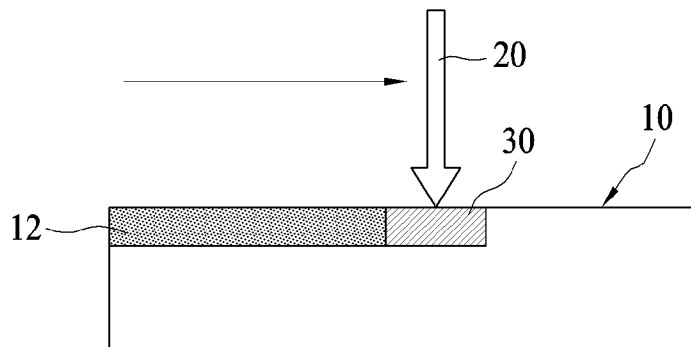
[도1]



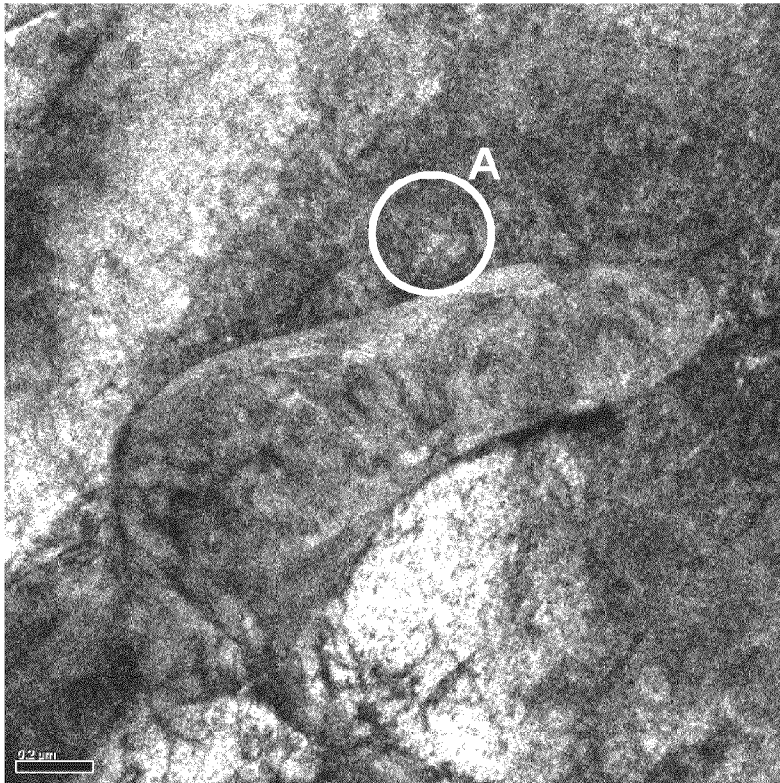
[도2]



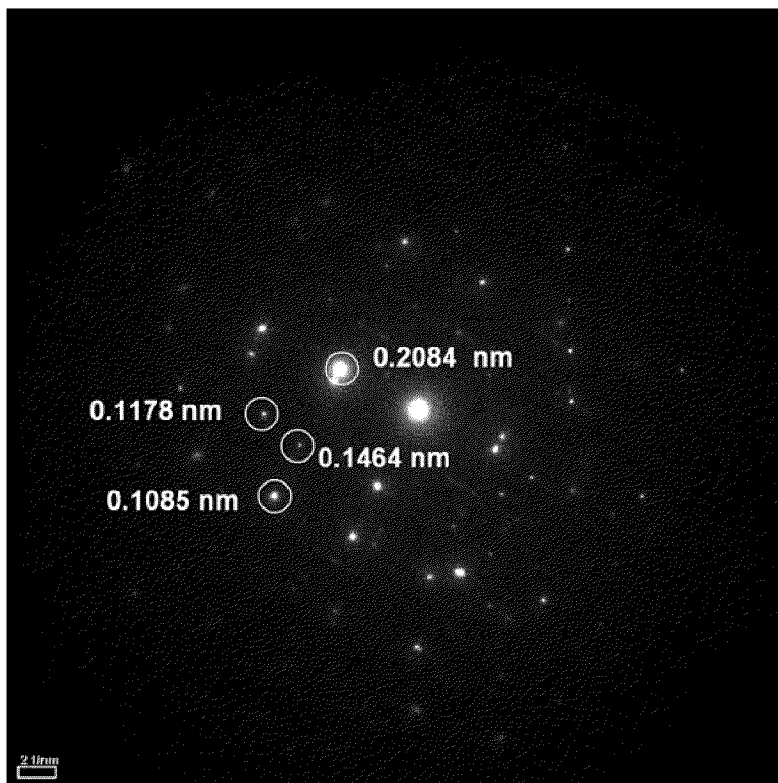
[도3]



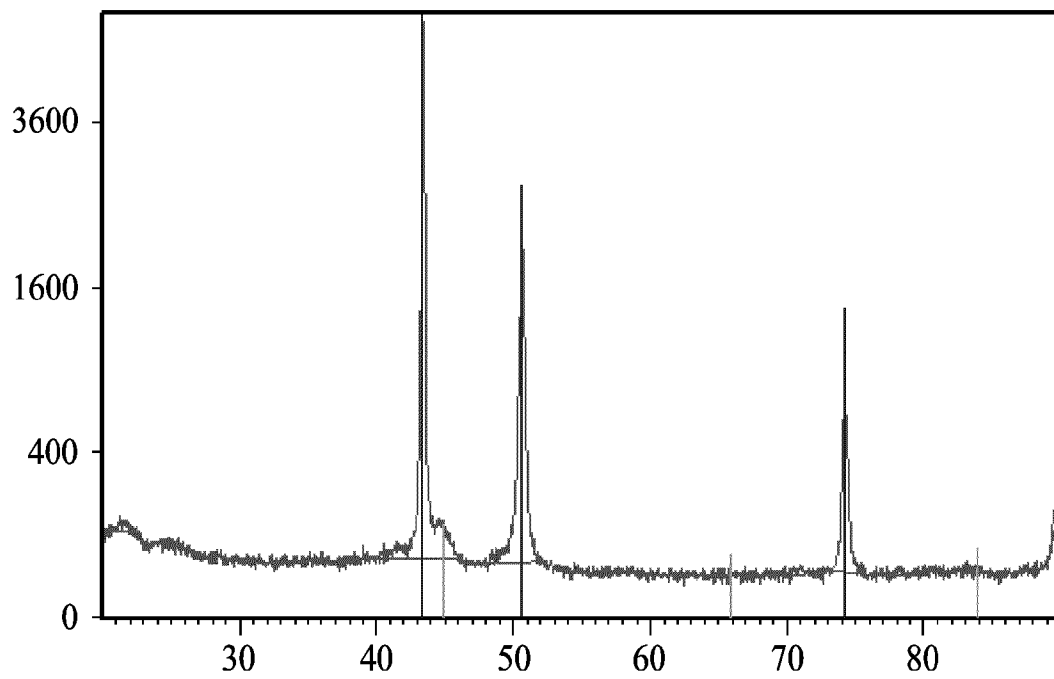
[도4]



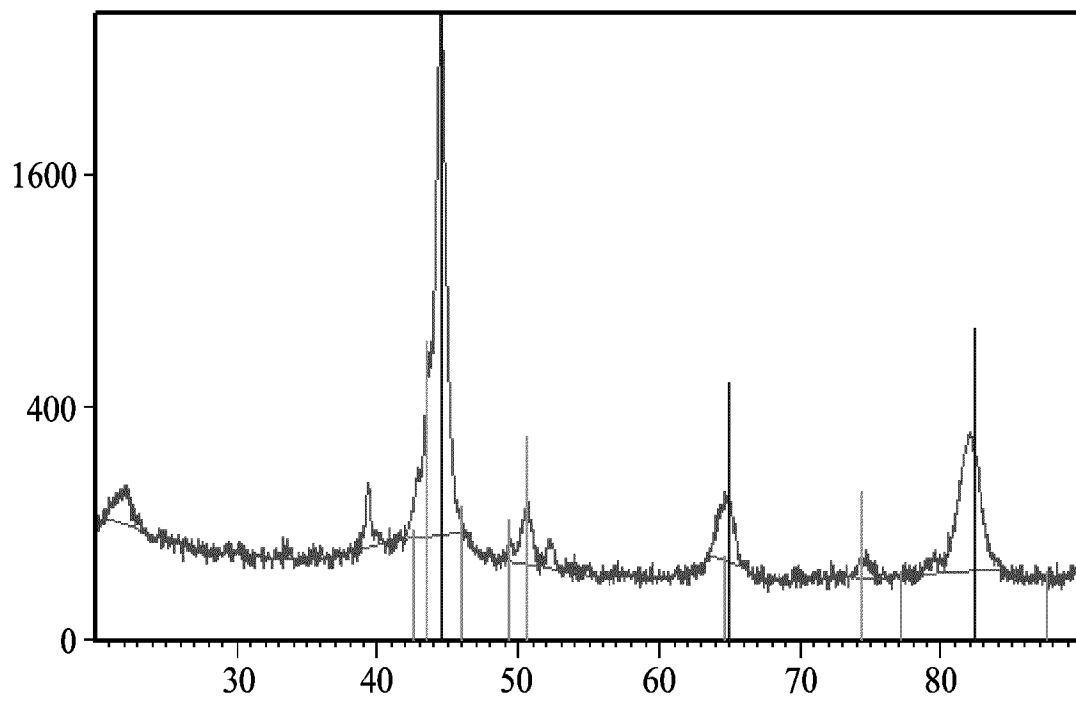
[도5]



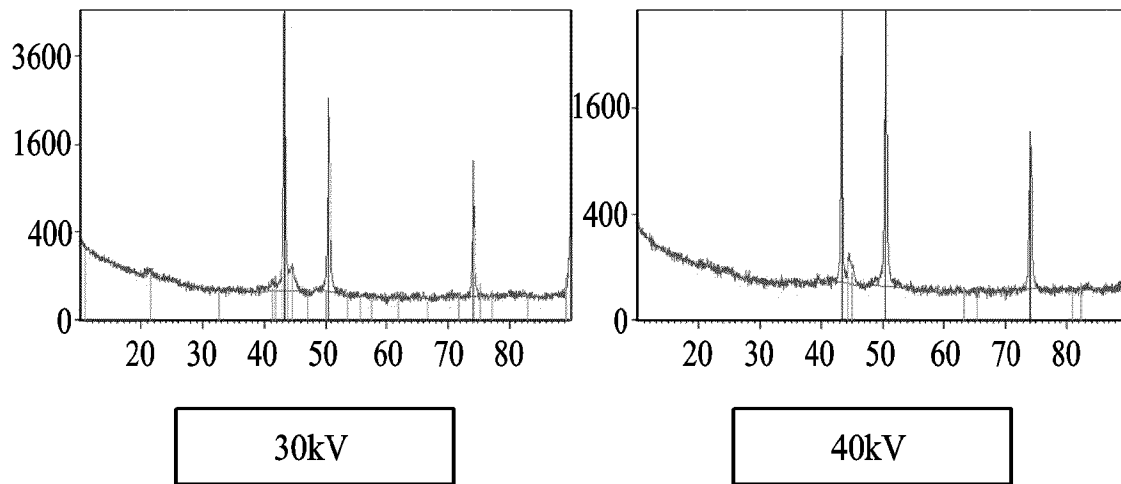
[도6]



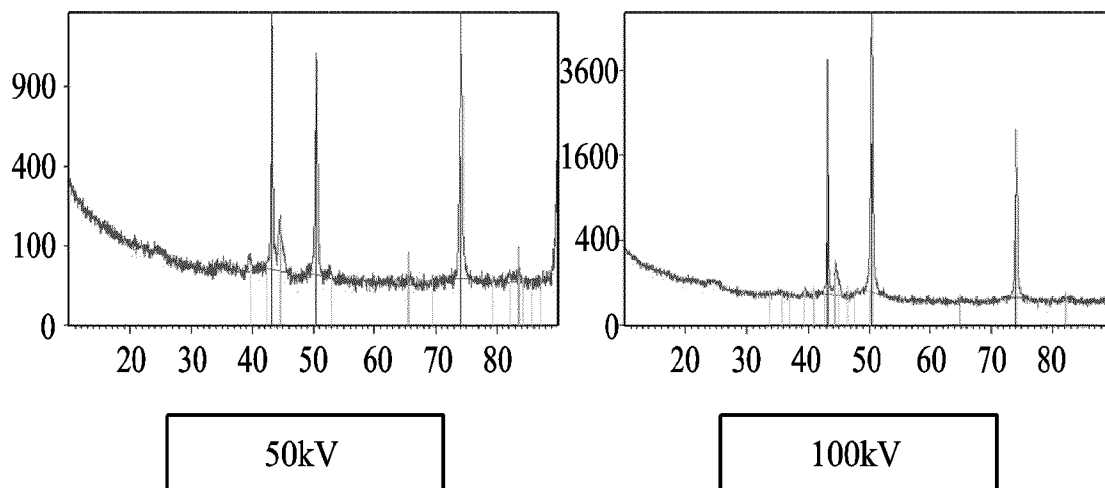
[도7]



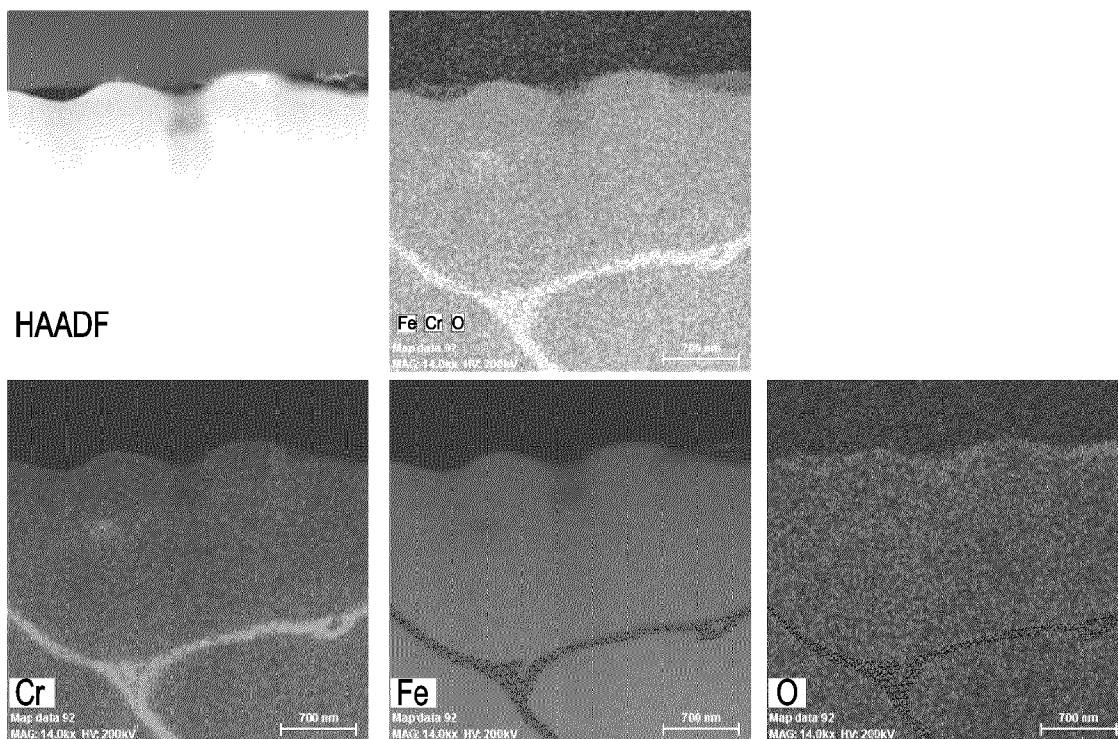
[도8]



[도9]



[도10]



Three EDS elemental maps are shown side-by-side, labeled Fe, Cr, and O. The Fe map shows a large, dark, irregularly shaped region in the center, surrounded by a lighter, more uniform area. The Cr map shows a similar pattern, with a large, dark, irregularly shaped region in the center, surrounded by a lighter, more uniform area. The O map shows a large, dark, irregularly shaped region in the center, surrounded by a lighter, more uniform area.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/KR2016/014872**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER****C21D 1/09(2006.01)i, H01J 37/06(2006.01)i**

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

C21D 1/09; C21D 1/06; B23K 26/00; B23K 15/00; C21D 1/04; H01J 37/06

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Korean Utility models and applications for Utility models: IPC as above

Japanese Utility models and applications for Utility models: IPC as above

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

eKOMPASS (KIPO internal) & Keywords: rapid solidification, electron beam, output, carbon steel, ferrite, austenite, thermal conductivity and glow discharge

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 60-501865 A (SCIAKY BROS., INC.) 31 October 1985 See pages 2-3, 5 and claims 1-9.	1-4,12
A		5-11
Y	JP 09-216075 A (AISIN AW CO., LTD.) 19 August 1997 See abstract, paragraphs [0020]-[0023] and claims 1-6.	1-4,12
A	KR 10-1999-0085272 A (SOK, Chang-Hwan) 06 December 1999 See abstract and claims 1-2.	1-12
A	KR 10-1999-0077250 A (UNIVERSITY OF TENNESSEE RESEARCH FOUNDATION) 25 October 1999 See abstract and claims 1, 4, 18.	1-12
A	KR 10-1995-0006001 A (POSTECH FOUNDATION) 20 March 1995 See abstract and claims 1-3.	1-12



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

31 MARCH 2017 (31.03.2017)

Date of mailing of the international search report

05 APRIL 2017 (05.04.2017)

Name and mailing address of the ISA/KR

Korean Intellectual Property Office
Government Complex-Daejeon, 189 Seonsa-ro, Daejeon 302-701,
Republic of Korea

Facsimile No. 82-42-472-7140

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/KR2016/014872

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member	Publication date
JP 60-501865 A	31/10/1985	NONE	
JP 09-216075 A	19/08/1997	EP 0789084 A1 KR 10-1997-0061427 A	13/08/1997 12/09/1997
KR 10-1999-0085272 A	06/12/1999	NONE	
KR 10-1999-0077250 A	25/10/1999	AU 1997-22434 B2 CN 1087353 C CN 1218517 A EP 0956378 A1 EP 0956378 B1 JP 2001-527601 A KR 10-0319962 B1 US 5961861 A US 5985056 A US 6350326 B1 WO 97-26388 A2 WO 97-26388 A3	12/07/2001 10/07/2002 02/06/1999 13/09/2000 02/04/2003 25/12/2001 19/02/2002 05/10/1999 16/11/1999 26/02/2002 24/07/1997 01/10/1998
KR 10-1995-0006001 A	20/03/1995	KR 10-1995-0006270 B1	13/06/1995

A. 발명이 속하는 기술분류(국제특허분류(IPC))**C21D 1/09(2006.01)i, H01J 37/06(2006.01)i****B. 조사된 분야**

조사된 최소문헌(국제특허분류를 기재)

C21D 1/09; C21D 1/06; B23K 26/00; B23K 15/00; C21D 1/04; H01J 37/06

조사된 기술분야에 속하는 최소문헌 이외의 문헌

한국등록실용신안공보 및 한국공개실용신안공보: 조사된 최소문헌란에 기재된 IPC

일본등록실용신안공보 및 일본공개실용신안공보: 조사된 최소문헌란에 기재된 IPC

국제조사에 이용된 전산 데이터베이스(데이터베이스의 명칭 및 검색어(해당하는 경우))

eKOMPASS(특허청 내부 검색시스템) & 키워드: 급속응고, 전자빔, 출력, 탄소강, 페라이트, 오스테나이트, 열전도도 및 클로우 방전

C. 관련 문헌

카테고리*	인용문헌명 및 관련 구절(해당하는 경우)의 기재	관련 청구항
Y	JP 60-501865 A (SCIAKY BROS., INC.) 1985.10.31	1-4, 12
A	페이지 2-3, 5 및 청구항 1-9 참조.	5-11
Y	JP 09-216075 A (AISIN AW CO., LTD.) 1997.08.19	1-4, 12
A	요약, 단락 [0020]-[0023] 및 청구항 1-6 참조.	
A	KR 10-1999-0085272 A (석창환) 1999.12.06	1-12
A	요약 및 청구항 1-2 참조.	
A	KR 10-1999-0077250 A (더 유니버시티 오브 테네시 리써치 코퍼레이션)	1-12
A	1999.10.25	
A	요약 및 청구항 1, 4, 18 참조.	
A	KR 10-1995-0006001 A (학교법인제철학원) 1995.03.20	1-12
A	요약 및 청구항 1-3 참조.	

☐ 추가 문헌이 C(계속)에 기재되어 있습니다.☒ 대응특허에 관한 별지를 참조하십시오.

* 인용된 문헌의 특별 카테고리:

“A” 특별히 관련이 없는 것으로 보이는 일반적인 기술수준을 정의한 문헌

“T” 국제출원일 또는 우선일 후에 공개된 문헌으로, 출원과 상충하지 않으며 발명의 기초가 되는 원리나 이론을 이해하기 위해 인용된 문헌

“E” 국제출원일보다 빠른 출원일 또는 우선일을 가지나 국제출원일 이후에 공개된 선출원 또는 특허 문헌

“X” 특별한 관련이 있는 문헌. 해당 문헌 하나만으로 청구된 발명의 신규성 또는 진보성이 없는 것으로 본다.

“L” 우선권 주장에 의문을 제기하는 문헌 또는 다른 인용문헌의 공개일 또는 다른 특별한 이유(이유를 명시)를 밝히기 위하여 인용된 문헌

“Y” 특별한 관련이 있는 문헌. 해당 문헌이 하나 이상의 다른 문헌과 조합하는 경우로 그 조합이 당업자에게 자명한 경우 청구된 발명은 진보성이 없는 것으로 본다.

“O” 구두 개시, 사용, 전시 또는 기타 수단을 언급하고 있는 문헌

“&” 동일한 대응특허문헌에 속하는 문헌

“P” 우선일 이후에 공개되었으나 국제출원일 이전에 공개된 문헌

국제조사의 실제 완료일

2017년 03월 31일 (31.03.2017)

국제조사보고서 발송일

2017년 04월 05일 (05.04.2017)

ISA/KR의 명칭 및 우편주소



대한민국 특허청

(35208) 대전광역시 서구 청사로 189,

4동 (둔산동, 정부대전청사)

팩스 번호 +82-42-481-8578

심사관

배근태

전화번호 +82-42-481-3547



국제조사보고서에서 인용된 특허문헌	공개일	대응특허문헌	공개일
JP 60-501865 A	1985/10/31	없음	
JP 09-216075 A	1997/08/19	EP 0789084 A1 KR 10-1997-0061427 A	1997/08/13 1997/09/12
KR 10-1999-0085272 A	1999/12/06	없음	
KR 10-1999-0077250 A	1999/10/25	AU 1997-22434 B2 CN 1087353 C CN 1218517 A EP 0956378 A1 EP 0956378 B1 JP 2001-527601 A KR 10-0319962 B1 US 5961861 A US 5985056 A US 6350326 B1 WO 97-26388 A2 WO 97-26388 A3	2001/07/12 2002/07/10 1999/06/02 2000/09/13 2003/04/02 2001/12/25 2002/02/19 1999/10/05 1999/11/16 2002/02/26 1997/07/24 1998/10/01
KR 10-1995-0006001 A	1995/03/20	KR 10-1995-0006270 B1	1995/06/13