



(19)대한민국특허청(KR)  
(12) 등록특허공보(B1)

(51) 。 Int. Cl.	(45) 공고일자	2006년12월08일
<i>B22D 11/16</i> (2006.01)	(11) 등록번호	10-0654738
<i>B22D 11/00</i> (2006.01)	(24) 등록일자	2006년11월30일

(21) 출원번호	10-2004-0068352	(65) 공개번호	10-2005-0021961
(22) 출원일자	2004년08월30일	(43) 공개일자	2005년03월07일
심사청구일자	2004년08월30일		

(30) 우선권주장	JP-P-2003-00307108	2003년08월29일	일본(JP)
	JP-P-2003-00395818	2003년11월26일	일본(JP)

(73) 특허권자      제이에프이 스틸 가부시키키가이샤  
일본 도쿄도 지요다꾸 우찌사이와이쵸 2쵸메 2방 3고 히비야 고꾸사이 비루

(72) 발명자      이토야마세이지  
일본 도쿄도 지요다꾸 우찌사이와이쵸 2쵸메 2방 3고 제이에프이 스틸  
가부시키키가이샤 치테키자이산부 나이

후지무라토시오  
일본 도쿄도 지요다꾸 우찌사이와이쵸 2쵸메 2방 3고 제이에프이 스틸  
가부시키키가이샤 치테키자이산부 나이

스즈키마코토  
일본 도쿄도 지요다꾸 우찌사이와이쵸 2쵸메 2방 3고 제이에프이 스틸  
가부시키키가이샤 치테키자이산부 나이

우에하라히로히데  
일본 도쿄도 지요다꾸 우찌사이와이쵸 2쵸메 2방 3고 제이에프이 스틸  
가부시키키가이샤 치테키자이산부 나이

마츠자키타케시  
일본 도쿄도 지요다꾸 우찌사이와이쵸 2쵸메 2방 3고 제이에프이 스틸  
가부시키키가이샤 치테키자이산부 나이

타다치카시  
일본 도쿄도 지요다꾸 우찌사이와이쵸 2쵸메 2방 3고 제이에프이 스틸  
가부시키키가이샤 치테키자이산부 나이

미키유지  
일본 도쿄도 지요다꾸 우찌사이와이쵸 2쵸메 2방 3고 제이에프이 스틸  
가부시키키가이샤 치테키자이산부 나이

야마우치아키라  
일본 도쿄도 지요다꾸 우찌사이와이쵸 2쵸메 2방 3고 제이에프이 스틸  
가부시키키가이샤 치테키자이산부 나이

(74) 대리인      특허법인 원전

(56) 선행기술조사문헌  
JP08158007 A  
JP09192802 A  
JP2003170252 A

JP08243687 A  
JP2001047203 A

\* 심사관에 의하여 인용된 문헌

심사관 : 나동규

전체 청구항 수 : 총 24 항

## (54) 극저탄소강 슬래브의 제조방법

### (57) 요약

약 0.01 질량% 이하의 탄소함량을 가지는 극저탄소강 슬래브가, 약 150~240mm의 단변길이 D를 가지는 주조공간(casting space)을 구비하며, 배출구들(discharge spouts)을 구비하고 상기 각 배출구는 D/d의 비율이 약 1.5~3.0 범위에 있는 횡폭(lateral width) d를 가지는 침지노즐을 구비한 몰드를 사용하여 약 2.0 mm/min 이상의 주조속도로 주조함으로써 제조된다. 따라서, 스카핑(scarfing)과 같은 후처리공정(conditioning)을 수행하지 않고도 우수한 표면품질을 가지는 극저탄소강 슬래브를 얻을 수 있다.

### 대표도

도 1

### 특허청구의 범위

#### 청구항 1.

150~240mm의 단변길이 D를 가지는 주조공간(casting space)과, 적어도 하나 이상의 배출구(discharge spout)를 가지는 침지노즐을 구비한 몰드를 포함하여 구성되며, 상기 배출구는 D/d의 비율이 약 1.5~3.0 범위에 있는 횡폭(lateral width) d를 가지는 연속주조장치를 제공하는 단계와;

상기 침지노즐을 통하여 상기 몰드 내로 용강을 도입하는 단계; 및

0.01 질량% 이하의 탄소함량을 가지는 극저탄소강 슬래브를 제조하기 위하여, 상기 연속주조장치로 2.0 mm/min 이상의 주조속도로 상기 용강을 주조하는 단계;를 포함하여 구성되는 극저탄소강 슬래브의 제조방법.

#### 청구항 2.

제1항에 있어서,

상기 몰드를 185 cycles/min 이하의 진동수로 진동(oscillating)시키는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 극저탄소강 슬래브의 제조방법.

#### 청구항 3.

제1항에 있어서,

상기 주조속도가 2.4 m/min 이상인 것을 특징으로 하는 극저탄소강 슬래브의 제조방법.

#### 청구항 4.

제1항에 있어서,

상기 침지노즐이 2배출구노즐(two-spout nozzle)인 것을 특징으로 하는 극저탄소강 슬래브의 제조방법.

#### 청구항 5.

제1항에 있어서,

상기 D/d의 비율이 2.1~2.9인 것을 특징으로 하는 극저탄소강 슬래브의 제조방법.

#### 청구항 6.

제1항에 있어서,

상기 극저탄소강 슬래브는, 자동차 외관 형성을 위한 냉연강판용 소재인 것을 특징으로 하는 극저탄소강 슬래브의 제조방법.

#### 청구항 7.

제1항에 있어서,

상기 연속주조장치로 용강을 주조하는 단계에 앞서 수행되고, 상기 몰드의 주조공간 내의 용강의 유동(flow)에 전자기력을 이용하여 제동(brake)을 가하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 극저탄소강 슬래브의 제조방법.

#### 청구항 8.

제7항에 있어서,

상기 용강의 유동에 전자기력을 이용하여 제동을 가하는 단계는, 상부 자기장적용장치와 하부 자기장적용장치에 의하여 몰드 두께와 교차하는(intersecting) 방향으로 상기 몰드에 정자기장(static magnetic field)을 가함으로써 수행되며,

상기 상부 자기장적용장치는 몰드 내의 용강의 표면레벨을 포함하는 몰드 상부에 제공되고 상기 하부 자기장적용장치는 상기 상부 자기장적용장치의 하부에 제공되며,

상기 침지노즐은 상부 자기장적용장치와 하부 자기장적용장치 사이에 배치되고 200~350mm의 침지 깊이를 가지는 것을 특징으로 하는 극저탄소강 슬래브의 제조방법.

#### 청구항 9.

제7항에 있어서,

상기 용강의 유동에 전자기력을 이용하여 제동을 가하는 단계는, 몰드 내의 용강의 표면레벨을 포함하는 몰드 상부에 제공된 자기장적용장치에 의하여 몰드 두께와 교차하는 방향으로 상기 몰드에 정자기장과 AC자기장을 중첩되게 (superimposingly) 가함으로써 수행되며,

상기 침지노즐은 상기 자기장적용장치의 하부에 배치되고 200~350mm의 침지 깊이를 가지는 것을 특징으로 하는 극저탄소강 슬래브의 제조방법.

### 청구항 10.

제7항에 있어서,

상기 용강의 유동에 전자기력을 이용하여 제동을 가하는 단계는, 상부 자기장적용장치에 의하여 몰드 두께와 교차하는 방향으로 전체 몰드에 정자기장과 AC자기장을 중첩되도록 가하고, 하부 자기장적용장치에 의하여 몰드 두께와 교차하는 방향으로 상기 몰드에 정자기장을 가함으로써 수행되며,

상기 상부 자기장적용장치는 몰드 내의 용강의 표면레벨을 포함하는 몰드 상부에 제공되고, 상기 하부 자기장적용장치는 상기 상부 자기장적용장치의 하부에 제공되며,

상기 침지노즐은 상부 자기장적용장치와 하부 자기장적용장치 사이에 배치되고 200~350mm의 침지 깊이를 가지는 것을 특징으로 하는 극저탄소강 슬래브의 제조방법.

### 청구항 11.

제1항에 있어서,

상기 용강은 질량%로, C: 0.01% 이하, Si : 0.01~0.04%, Mn : 0.08~0.20%, P : 0.008~0.020%, S : 0.003~0.008%, Al : 0.015~0.060%, Ti : 0.03~0.080%, Nb ; 0.002~0.017%, B : 0~0.0007% 및 잔부는 Fe와 불가피한 불순물을 포함하는 것을 특징으로 하는 극저탄소강 슬래브의 제조방법.

### 청구항 12.

제11항에 있어서,

상기 용강은 C ; 0.0005~0.0090%인 것을 특징으로 하는 극저탄소강 슬래브의 제조방법.

### 청구항 13.

연속주조장치에서 극저탄소강 슬래브를 제조하는 방법에 있어서,

150~240mm의 단변길이 D를 가지는 주조공간(casting space)을 구비한 몰드에, D/d의 비율이 1.5~3.0 범위에 있는 횡폭(lateral width) d를 가지며 적어도 하나 이상의 배출구(discharge spout)를 가지는 침지노즐을 통하여 용강을 도입하는 단계와;

0.01 질량% 이하의 탄소함량을 가지는 극저탄소강 슬래브를 제조하기 위하여, 상기 연속주조장치로 2.0 mm/min 이상의 주조속도로 상기 용강을 주조하는 단계;를 포함하여 구성되는 극저탄소강 슬래브의 제조방법.

### 청구항 14.

제13항에 있어서,

상기 몰드를 185 cycles/min 이하의 주파수로 진동시키는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 극저탄소강 슬래브의 제조방법.

#### 청구항 15.

제13항에 있어서,

상기 주조속도가 2.4 m/min 이상인 것을 특징으로 하는 극저탄소강 슬래브의 제조방법.

#### 청구항 16.

제13항에 있어서,

상기 침지노즐이 2배출구노즐인 것을 특징으로 하는 극저탄소강 슬래브의 제조방법.

#### 청구항 17.

제13항에 있어서,

상기 D/d의 비율은 2.1~2.9인 것을 특징으로 하는 극저탄소강 슬래브의 제조방법.

#### 청구항 18.

제13항에 있어서,

상기 극저탄소강 슬래브는, 자동차 외관 형성용 냉연강관을 위한 출발 재료인 것을 특징으로 하는 극저탄소강 슬래브의 제조방법.

#### 청구항 19.

제13항에 있어서,

상기 연속주조장치로 용강을 주조하는 단계에 앞서 수행되고, 상기 몰드의 주조공간 내의 용강의 유동에 전자기력을 이용하여 제동을 가하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 극저탄소강 슬래브의 제조방법.

#### 청구항 20.

제19항에 있어서,

상기 용강의 유동에 전자기력을 이용하여 제동을 가하는 단계는, 상부 자기장적용장치와 하부 자기장적용장치에 의하여 몰드 두께와 교차하는(intersecting) 방향으로 상기 몰드에 정자기장(static magnetic field)을 가함으로써 수행되며,

상기 상부 자기장적용장치는 몰드 내의 용강의 표면레벨을 포함하는 몰드 상부에 제공되고 상기 하부 자기장적용장치는 상기 상부 자기장적용장치의 하부에 제공되며,

상기 침지노즐은 상부 자기장적용장치와 하부 자기장적용장치 사이에 배치되고 200~350mm의 침지 깊이를 가지는 것을 특징으로 하는 극저탄소강 슬래브의 제조방법.

### 청구항 21.

제19항에 있어서,

상기 용강의 유동에 전자기력을 이용하여 제동을 가하는 단계는, 몰드 내의 용강의 표면레벨을 포함하는 몰드 상부에 제공된 자기장적용장치에 의하여 몰드 두께와 교차하는 방향으로 상기 몰드에 정자기장과 AC자기장을 중첩되게 (superimposingly) 가함으로써 수행되며,

상기 침지노즐은 상기 자기장적용장치의 하부에 배치되고 200~350mm의 침지 깊이를 가지는 것을 특징으로 하는 극저탄소강 슬래브의 제조방법.

### 청구항 22.

제19항에 있어서,

상기 용강의 유동에 전자기력을 이용하여 제동을 가하는 단계는, 상부 자기장적용장치에 의하여 몰드 두께와 교차하는 방향으로 전체 몰드에 정자기장과 AC자기장을 중첩되도록 가하고, 하부 자기장적용장치에 의하여 몰드 두께와 교차하는 방향으로 상기 몰드에 정자기장을 가함으로써 수행되며,

상기 상부 자기장적용장치는 몰드 내의 용강의 표면레벨을 포함하는 몰드 상부에 제공되고, 상기 하부 자기장적용장치는 상기 상부 자기장적용장치의 하부에 제공되며,

상기 침지노즐은 상부 자기장적용장치와 하부 자기장적용장치 사이에 배치되고 200~350mm의 침지 깊이를 가지는 것을 특징으로 하는 극저탄소강 슬래브의 제조방법.

### 청구항 23.

제13항에 있어서,

상기 용강은 질량%로, C: 0.01% 이하, Si: 0.01~0.04%, Mn: 0.08~0.20%, P: 0.008~0.020%, S: 0.003~0.008%, Al: 0.015~0.060%, Ti: 0.03~0.080%, Nb: 0.002~0.017%, B: 0~0.0007% 및 잔부는 Fe와 불가피한 불순물을 포함하는 것을 특징으로 하는 극저탄소강 슬래브의 제조방법.

### 청구항 24.

제23항에 있어서,

상기 용강은 C: 0.0005~0.0090%인 것을 특징으로 하는 극저탄소강 슬래브의 제조방법.

명세서

## 발명의 상세한 설명

### 발명의 목적

**발명이 속하는 기술 및 그 분야의 종래기술**

본 발명은, 연속주조에 의한 극저탄소강 슬래브의 제조방법에 관한 것으로, 특히 우수한 표면 품질을 구비하여 자동차의 외관형성용 등으로 적절하게 사용될 수 있는 강 슬래브의 제조방법에 관한 것이다.

예컨대, 자동차 외관형성용으로 사용되는 강관은, 딥 드로잉 공정에 의하여 가공 및/또는 변형에 의하여 복잡한 형상으로 형성되므로, 우수한 성형성(formability)을 가져야 한다. 따라서, 이른바 "극저탄소강"이 사용되어 왔으며, 상기 강의 탄소 함량은 가능한 한 낮아지도록 감소된다. 극저탄소강은 대개 0.01 질량% 이하의 C 함량을 가진다. 상기 극저탄소강 중에서, 자동차 외관 형성용 냉연강관이 우수한 외관에다 우수한 도장성(painability)으로 인하여 유용하다.

용강에서 탄소를 제거하는 공정은, 극저탄소강이 제조될 때 산소를 이용하여 산화시키는 정련공정으로 수행된다. 따라서, 이 산화제거단계에서 용강에 용해된 산소를 제거하기 위한 탈산공정이, 알루미늄, 마그네슘 및 티타늄과 같은 탈산제를 사용하여 추가적으로 수행된다. 이러한 탈산공정에서, 용강에 용해된 산소는 상기 탈산제와 반응하여 알루미늄, 마그네시아(magnesia) 및 티타니아(titania)와 같은 반응생성물을 형성하며, 상기 반응생성물들은 비금속개재물로서 용강내에 잔류하게 된다.

상기 비금속개재물이 슬래브 표면 근처에 존재할 경우, 열간압연 및/또는 냉간압연에 의하여 상기 슬래브를 박강판으로 만들 때 강판 표면 부근에 생성되는 슬리버(sliver) 및/또는 블리스터(bilster)와 같은 결함은, 바람직하지 않다.

연속주조시의 몰드 내 용강 표면에 아르곤가스가 공급되며 몰드 파우더가 첨가되어 턴디쉬로부터 몰드로 용강을 공급하기 위하여 사용되는 침지노즐이 막히는 것을 방지한다. 상기 아르곤 가스가 용강 내로 휘쓸려들어갈 때, 공급된 상기 아르곤 가스는 기포(bubble)의 형태로 용강 내에 잔류하거나, 탈산에 의하여 형성된 상기 반응생성물(이후에 "탈산 반응생성물"로 언급된 것)과 결합하여 용강내에 잔류하는 기포를 형성할 수 있다. 상기 두 가지 경우 모두 표면 결함이 생성된다. 게다가, 탈산 반응생성물과 관련된 것과 유사한 표면결함은, 첨가된 몰드 파우더가 용강 내에 잔류할 때에도 역시 생성된다.

과거에는, 연속주조에 의하여 준비되는 통상의 슬래브의 경우, 그 슬래브에 표면처리를 하지 않고 열간압연을 하여 냉연강판으로 제조하였다. 그러나, 자동차 외관을 형성하기 위하여 사용되는 슬래브의 경우에는, 약 1~4mm의 두께를 가지는 슬래브 표면부가 예컨대, 스카핑(scarfing)에 의하여 제거되었는데, 이는 열간압연, 이후의 열간압연 및 냉간압연이 수행된 후 제조되는 강관에 표면결함을 야기할 수 있는 탈산반응생성물과 같은 개재물, 기포, 몰드 플럭스 등과 같은 것들을 제거하기 위한 것이었다.

상기와 같은 슬래브 마무리처리는, 출발재료, 즉 어떠한 물품을 제조하기 위한 기초소재로서 사용되는 슬래브의 수득율(yield)을 감소시키며, 게다가 공정 지연을 초래하는 단점이 있었다. 따라서, 연속주조장치를 사용하여 슬래브를 제조하는 공정에 있어서, 강관의 표면결함을 야기하는 슬래브 표면결함의 생성을 방지하기 위한 시도가 행해져오고 있다.

상기 시도의 기초적인 사상은, 기본적으로 다음의 (1)~(6)에 기초한 것이다.

- (1) 압연시 슬래브 폭은 제한되기 때문에, 주조 속도(m/min) 감소를 위하여 슬래브 두께를 증가시켜 그 단면영역이 증가되도록 한다. 이에 의하여, 생산성을 저하시킴이 없이 몰드 내의 용강의 체류시간(residence time)이 증가되며, 결과적으로 탈산반응생성물, 몰드 파우더, 기포 등과 같은 외부 물질을 몰드 내 용강 내부로부터 표면으로 제거하기 위한 시간이 증가된다.
- (2) 탈산반응생성물, 몰드 파우더, 기포 등을 몰드 내 용강 내부로부터 표면으로 점차적으로 분리할 수 있도록 수직부(vertical portion)를 가지는 연속주조장치를 사용하여 주조를 수행한다.
- (3) 전자기력에 의하여 메니스커스 부근에 수평방향으로 이동하는 유동(flow)이 생성되므로, 용강내에 부유하는 외부재료가 응고셀에 포착되는 것이 방지된다(위싱효과(wasing effect)).
- (4) 몰드 파우더의 점도를 적절하게 조절하여 용강내로 몰드 파우더가 가라앉을 가능성을 감소시킨다.
- (5) 연속주조 동안 몰드의 진동(수직진동)조건을 적절히 조절하여 몰드 내에 형성되는 응고셀의 네일(진동 때문에 응고셀의 일부가 용강쪽으로 쏠리는 현상) 생성을 감소시키고, 이에 의하여 상기 네일 내부로 포착되는 탈산반응생성물, 몰드 파우더, 기포 등의 양을 감소시킨다.

(6)침지노즐로부터 몰드로 공급되는 용강의 유동에 전자기적인 제동(brake)을 가하여 전자기적 교반을 수행함에 의하여 용강의 유동을 적절하게 제어함으로써, 탈산반응생성물이 동반된 용강의 흐름이 몰드 내의 깊은 위치에 다다른 것을 방지한다.

예컨대, 일본특허출원 공개공보 5-76993호에는, 0.10 중량% 미만의 탄소를 함유하는 용강을, 20m 이상의 수직부를 가지는 연속주조장치를 사용하여 1.0m/min 이상 및 4ton/min 이상의 주조속도로 주조하여 200mm이상의 두께와 900mm 이상의 폭을 가지는 슬래브를 만드는 기술이 개시되어 있으며, 상기 파우더 점도는 1.0poise 이상으로 설정되고, 침지노즐로부터의 불활성 가스 유량은 1 리터/min 이상으로 설정되며, 메니스커스로부터 1.5m의 깊이에 이르는 용강이 존재하는 지역에 15~50cm/sec의 유동속도로 수평방향으로 전자기적 교반이 수행되었다. 이 기술은 주로 상기 (1),(2),(3),(4) 및 (6)에 기초한 것이다.

또한, 일본특허출원 공개공보 7-155902호에는, 몰드 진동조건이 적절하게 조절되어 개재물이 포착되기 쉬운 내일부의 생성을 억제하는 기술이 개시되어 있으며, 상기 내일부는 슬래브 표면부의 초기 응고단계에서 생성된다. 이 기술은 주로 상기 (5)에 기초한 것이다.

그러나, 상술한 기술들은 여전히 문제를 가지고 있다.

즉, 일본특허출원 공개공보 5-76993호에 개시된 바와 같이, 슬래브의 단면영역이 증가될 때, 특히 1.5m/min 이상의 주조속도에서 그 두께가 증가될 때, 개재물 등에 의하여 야기되는 슬래브의 표면 부근의 결함의 수가 기대한만큼 많이 감소하지 않았다. 그 이유는, 비록 수평방향으로 전자기력을 가함으로써 메니스커스부의 용강의 유동속도  $v_m$ 이 최적값으로 조절된다 하더라도, 슬래브 두께 증가에 따라 스루풋(throughput)이 증가되고, 동일한 주조속도( $V_c$ )와 동일한 슬래브 폭( $W$ )에서 주조가 수행될 때 침지노즐로부터의 배출속도  $v_i$ 가 증가되어, 단면영역이 증가되지 않기 때문이다. 따라서, 용강의 유동속도  $v_m$ 의 평균값의 변화가 작다 하더라도, 그 변화량이 증가되며, 결과적으로 몰드 플럭스가 용강내에 점차적으로 휩쓸려들어가게 된다. 즉, 슬래브 표면 부근의 청정도는 단지 메니스커스 부근 용강의 유동속도에 의해서만 결정되지 않는다.

더욱이, 침지노즐로부터의 용강의 분출(jet)유동의 영향이 상당히 되어 쉘의 성장은 몰드의 단변을 따라 부분적으로 지체된다. 그 이유는, 슬래브 연속주조장치의 경우에, 용강이 몰드 내로 배출될 때, 전단이 막혀있고 두 개의 대략 원형의 배출구가 몰드의 단변쪽을 따라 제공된 노즐, 이른바 "2배출구(two-spout) 노즐"이 사용되어 몰드 내의 주조공간의 폭방향을 따라 균일하게 용강을 공급하기 때문인데, 이 2배출구노즐의 배출구 폭  $d$ 는 몰드 내의 단변 길이  $D$ (슬래브의 두께에 상당함)에 비하여 상대적으로 작아서, 용강의 유동속도는 상기 슬래브 두께방향을 따라 변한다. 따라서, 높은 유동속도를 가지는 용강은 불균일하게 단변을 따르는 응고셀 부분과 충돌하고, 결과적으로 상기 응고셀부의 성장은 지체된다. 더욱이, 슬래브 두께방향을 따른 용강 유동속도의 변화는, 또한 부분적으로 상기 메니스커스 부근 용강의 유동속도변화의 원인이 된다.

다음에, 일본특허출원 공개공보 7-155902호에 개시된 기술에서는, 슬래브 표면 품질을 개선하기 위하여, 네거티브 스트립타임(negative strip time)  $T$ 가 주조속도, 몰드진폭에 의하여 결정될 경우, 특히 몰드진폭을 감소시키고 몰드 진동 주파수를 증가시키는 등의 몰드 진동조건을 조절함에 의하여 상기 몰드의 진동 주파수를 특정 범위 내에서 조절하는 기술이 개시되어 있으나, 다음과 같은 문제가 발생하는 것이 알려져있다.

즉, 극저탄소강이 2.0m/min 이상의 주조속도와 185 cycles/min 이상의 몰드 진동주파수로 형성될 때, 비록 그렇게 자주 관찰되는 것은 아니지만, 용강 표면레벨이 갑자기 크게 변화하는 비정상적인 현상이 발생한다. 결과적으로, 몰드 플럭스가 용강 내에 휩쓸려들어가거나 응고셀에 포착될 수 있어, 이에 의하여 주조강판의 표면결함을 초래하게 된다. 그러므로, 주조속도가 2.0m/min 이상에서 주조가 수행될 때는 몰드 플럭스에 의하여 생산품 상에 표면 결함이 종종 발생한다. 따라서, 우수한 표면 품질을 가지는 제품이 안정적으로 얻어지지 않는다는 문제가 있었다.

상기에서 명백한 바와 같이, 2.0m/min 이상의 고주조속도에서 자동차 외관 등을 형성하기 위하여 사용되는 극저탄소강 슬래브가 제조될 때, 현재로서 고품질 슬래브의 안정적인 생산은 스카핑과 같은 슬래브 후처리공정을 거치지 않고서는 수행될 수 없다.

### 발명이 이루고자 하는 기술적 과제

따라서, 스카핑과 같은 어떤 슬래브 후처리공정없이 2.0m/min 이상의 고주조속도에서도 우수한 표면품질을 가지는 슬래브를 안정적으로 얻을 수 있는 극저탄소강 슬래브 연속주조방법을 제공하는 것이 요망된다.



**발명의 구성**

본 발명은, 약 150~240mm의 단변길이 D를 가지는 주조공간(casting space)과, 적어도 하나 이상의 배출구(discharge spout)를 가지는 침지노즐을 구비한 몰드를 포함하여 구성되며, 상기 배출구는 D/d의 비율이 약 1.5~3.0 범위에 있는 횡폭(lateral width)을 가지는 연속주조장치를 제공하는 단계와;

상기 침지노즐을 통하여 상기 몰드 내로 용강을 도입하는 단계; 및

약 0.01 질량% 이하의 탄소함량을 가지는 극저탄소강 슬래브를 제조하기 위하여, 상기 연속주조장치로 약 2.0 mm/min 이상의 주조속도로 상기 용강을 주조하는 단계;를 포함하여 구성되는 극저탄소강 슬래브의 제조방법을 제공한다.

상기 슬래브 연속주조방법은, 상기 몰드를 약 185 cycles/min 이하의 진동수로 진동(oscillating)시키는 단계를 더 포함하는 것이 바람직하다. 용강 표면 레벨이 갑자기 크게 변화하는 비정상현상의 발생가능성이 억제된다. 따라서, 플럭스에 의해 야기되는 결함의 수가 감소될 수 있는데, 왜냐하면 몰드 진동수가 약 185 cycles/min 이하일 때 용강표면의 진동과 몰드의 진동 사이에 공진(resonance)발생율이 감소하기 때문이다.

상기 주조속도는 약 2.4 m/min 이상인 것이 바람직하다. 상기 네일 깊이는 약 0.7mm 이하가 되는데, 이는 상기 주조속도가 약 2.4 m/min 이상일 때 외부재료를 포착하기 위한 두께가 상기 네일 깊이보다 적게 된다는 것을 의미한다. 따라서, 주조속도는 약 2.4 m/min 이상으로 설정되는 것이 바람직하다.

상기 침지노즐로서는, 실린더형노즐(이른바 "스트레이트(straight)노즐")이나, 전단이 막혀있고 두 개의 대략 원형의 배출구가 몰드의 단변쪽을 따라 제공된 노즐, 이른바 2배출구노즐(two-spout nozzle)이 일반적으로 사용된다.

슬래브 두께, 침지노즐 내구성 및 바람직한 유동을, 게다가 제품 품질까지 고려하였을 때, 상기 단변 D와 침지노즐 배출구의 횡폭 d의 비율인 D/d가 약 2.1~2.9인 것이 바람직하다.

상기 극저탄소강 슬래브는, 자동차 외관을 형성하기 위한 냉연강판용 소재, 즉 출발재료(starting material)인 것이 바람직하다.

상기 슬래브 연속주조방법은, 상기 몰드의 주조공간 내의 용강의 유동(flow)에 전자기력을 이용하여 제동(brake)을 가하는 단계를 더 포함하는 것이 바람직하다.

전자기력을 이용하여 제동을 가하기 위한 바람직한 방법으로서 다음 (A)~(C) 단락이 언급되어질 수 있다.

(A)전자기력을 이용하여 제동을 가하는 단계는, 상부 자기장적용장치와 하부 자기장적용장치에 의하여 몰드 두께와 교차하는(intersecting) 방향으로 거의 전체 몰드에 정자기장(stactic magnetic field)을 가함으로써 수행된다. 상기 상부 자기장적용장치는 몰드 내의 용강의 표면레벨을 포함하는 몰드 상부에 제공되고, 상기 하부 자기장적용장치는 상기 상부 자기장적용장치의 하부에 제공된다. 상기 침지노즐은 상부 자기장적용장치와 하부 자기장적용장치 사이에 배치되고, 그 침지 깊이는 약 200~350mm로 설정된다.

(B)전자기력을 이용하여 제동을 가하는 단계는, 몰드 내 용강의 표면레벨을 포함하는 몰드의 상부에 제공된 자기장적용장치를 사용하여 몰드 두께와 교차하는(intersecting) 방향으로 전체 몰드에 정자기장과 AC자기장을 중첩되게 가함으로써 수행된다. 상기 침지노즐은 자기장적용장치의 하부에 배치되고, 그 침지 깊이는 약 200~350mm으로 설정된다.

(C)전자기력을 이용하여 제동을 가하는 단계는, 상부 자기장적용장치에 의하여 몰드 두께와 교차하는 방향으로 전체 몰드에 정자기장과 AC자기장을 중첩되도록 가하고, 또한 하부 자기장적용장치에 의하여 몰드 두께와 교차하는 방향으로 상기 몰드에 정자기장을 가함으로써 수행된다. 상기 상부 자기장적용장치는 몰드 내의 용강의 표면레벨을 포함하는 몰드 상부에 제공되고, 상기 하부 자기장적용장치는 상기 상부 자기장적용장치의 하부에 제공된다. 상기 침지노즐은 상부 자기장적용장치와 하부 자기장적용장치 사이에 배치되고, 그 침지 깊이는 약 200~350mm으로 설정된다.

본 발명자들은, 주조속도, 연속주조몰드의 주조공간의 단변 길이 D 및 상기 단변 길이 D와 침지노즐의 배출구 횡폭 d의 비율 D/d를 적절하게 조절하며, 게다가 필요하다면 언제든지 몰드의 진동주파수를 적절하게 제어하고, 용강 유동에 전자기적 제동을 효과적으로 사용함에 의하여 극저탄소함량의 슬래브를 유용하게 제조할 수 있다는 것을 발견하였다.

본 발명에 따른 강 종류는, 0.01질량% 이하의 탄소함량을 가지는 이른바 "극저탄소강(ultra-low carbon steel)"이다. C 이외의 성분들은 특히 한정되지 않는다. 그러나, 자동차 외판등을 형성하기 위한 딥 드로잉에 의하여 적절하게 가공될 수 있는 강종류가 바람직하다. 본 발명의 장점 중 하나는, 개재물이 슬래브 표면으로부터 어떤 깊이까지의 영역에 거의 존재하지 않도록 함으로써 본 출원분야에 사용되는 강에 개재물에 의해 야기되는 결함이 거의 없기 때문에, 상기 부분을 후속 공정에서 벗겨낼 필요가 없다는 점이다. 극저탄소강에서 본 발명은 최대의 장점을 가지는데, 왜냐하면 극저탄소강에서는 정련공정의 탈산반응 생성물로서 알루미늄이나 같은 비금속개재물이 생성되기 쉽기 때문이다.

극저탄소강의 전형적인 조성(성분 C를 제외한)으로서, 다음의 것을 예로 들 수 있다; Si : 약 0.01~0.04%, Mn : 약 0.08~0.20%, P : 약 0.008~0.020%, S : 약 0.003~0.008%, Al : 약 0.015~0.060%, Ti : 약 0.03~0.080%, Nb ; 약 0.002~0.017%, B : 0~약 0.0007%.

본 발명에 따른 연속주조장치는, 강 슬래브를 형성하기 위한 연속주조장치이며, 수직형(vertical) 연속주조장치, 수직형 벤딩(vertical bending) 연속주조장치 및 만곡된(curved) 연속주조장치로부터 임의로 선택될 수 있다. 그러나, 생산성과 생산품질을 고려할 때, 이 중에서 수직형 벤딩 연속주조장치가 특히 바람직하다.

상기 몰드는, 이른바 "슬래브 연속주조몰드"라고 하는 것으로, 그 단변길이가 약 150~240mm이다. 몰드의 장변길이는 특히 제한되지는 않지만 약 900~2200mm와 같이 통상의 냉연강관(특히, 자동차용 냉연강관)의 길이와 대략 같은 정도인 것이 바람직하다. 상기 단변길이는 슬래브가 형성될 때의 슬래브 두께에 상응하며, 상기 장변길이는 슬래브 폭에 해당한다.

수직방향으로의 몰드 높이는 특히 제한되지는 않는다. 그러나, 응고셀이 어느 정도의 두께를 가지도록 형성되기 때문에, 2.0m/min 이상의 주조속도에서 주조가 수행되더라도 상기 몰드를 통과하는 주조강관이 팽창하지 않도록, 그 높이는 약 800~1000mm로 설정되는 것이 바람직하다.

침지노즐은 턴디쉬로부터 몰드의 주조공간으로 용강을 공급하기 위한 노즐로서 사용된다. 침지노즐용 재료는 알루미늄-그라파이트와 같이 통상 사용되는 재료일 수 있다. 그러나, 상기 재료는 이에 한정되는 것은 아니다.

또한, 침지노즐의 형태로서, 통상적으로 언급되는 실린더형노즐(이른바 "스트레이트노즐") 또는 그 전단부가 막혀있고 두 개의 대략 원형의 배출구가 몰드 단변쪽으로 제공된 2배출구노즐이 있다. 상기 배출구의 단면형상은 원형, 정사각형 또는 장방형(측방향으로 더 길거나, 또는 길이방향으로 더 긴)일 수 있고 특히 제한되지는 않으며, 배출구의 최대폭 d가 본 발명의 조건을 만족하는 한 어떠한 형태의 타입도 사용될 수 있다.

더욱이, 주조속도는 후술하는 이유로 2.0m/min 이상으로 설정된다. 상기 주조속도는 2.4m/min 이상으로 설정되는 것이 더욱 바람직하다.

연속주조장치의 몰드 주조공간내의 용강의 유동에 전자기력을 사용하여 제동을 가할 때, 그 바람직한 방법으로서 예컨대, 일본특허출원 공개공보 2-284570호에 개시된 정자기장이 장변 쪽을 따라 전체 몰드에 적용되는 방법, 또는 일본특허출원 공개공보 57-17356호에 개시된 정자기장이 단지 용강의 배출부에만 적용되는 방법이 언급될 수 있다. JP2-284750 및 JP57-17356의 주제는 참조를 위하여 본 명세서에 편입된다.

몰드 주조공간의 단변길이(슬래브 두께)를 약 150~240mm로 설정하고 주조속도를 2.0m/min로 설정하는 조건하에서 본 발명에 따른 주조를 수행할 때 여러가지 현상이 일어난다. 이어서, 상기 언급한 현상에 관련된 새로운 발견을 서술한다. 이후에는, 개재물, 기포 등을 "외부재료"로 부를 것이다.

#### (1) 외부재료를 포착하는 영역 감소

메니스커스부에 초기 응고셀이 형성됨에 있어서, 주조속도  $V_c$ 가 약 2.0m/min 이상, 바람직하게는 2.4m/min 이상으로 설정될 때, 이른바 "네일(nail)"을 크게 억제할 수 있다. 그 이유는, 용강 표면레벨로부터 임의의 일정깊이에 생성되는 응고셀의 두께가 상기 주조속도  $V_c$ 가 증가됨에 따라 감소되기 때문에, 용강의 정압(static pressure)의 영향으로 인하여, 몰드 쪽으로 가해지는 힘이 응고셀의 두께에 의존하는 응고셀의 열적수축에 의하여 용강쪽으로 쏠리는 네일의 힘보다 크게 되기 때문인 것으로 여겨진다. 게다가, 상기 슬래브 두께가 감소할 때, "슬래브 두께×온도차이×열팽창계수"로 대표되는 두께방향으로의 셀 수축양의 절대값이 감소되며, 용강쪽으로 향하는 셀의 쏠림이 더욱 억제되고, 결과적으로 네일의 쏠림을 억제하는 효과가 보다 크게 된다.

도1에서, 네일 깊이에 대한 주조속도의 영향이 도시되어 있다. 상기 주조속도가 2.0m/mim 이상이고 몰드 주조공간의 단 변길이(슬래브 두께)가 240mm 이하일 때, 상기 네일깊이는 1mm 이하가 된다. 또한, 상기 주조속도가 2.4m/mim 이상일 때는, 상기 네일깊이는 0.7mm 이하가 된다.

(2)외부재료의 흡수억제

응고와 함께, 응고셀의 계면에 농축된 용질의 편석 때문에, 표면장력의 구배가 발생하고, 이 구배에 기인한 힘 때문에 외부 재료가 응고셀의 계면에 흡수되거나 포착되는 것과 같은 현상이 발생한다. 따라서, 외부재료를 흡수 및 포착하는 힘을 강화시키는 용질로서 특히 큰 영향을 미치는 S 또는 Ti의 농도를 감소시키는 시도가 행해져왔다. 그러나, 어떤 경우에 있어서 S를 감소시킬 때 바람직하지 않게 코스트증가를 야기할 수 있고, Ti를 감소시킬 때 품질저하를 야기할 수 있다.

본 발명에 따르면, 상기 응고셀의 계면상에 외부재료를 흡수 및 포착하는 힘이 주조속도  $V_c$ 를 증가시킴으로써 억제된다. 즉, 2.0m/mim 이상과 같이 주조속도  $V_c$ 가 높을 때, 메니스커스부분의 응고양이 감소되기 때문에, 편석양도 감소한다. 따라서, 외부재료를 끌어들이는 힘으로 작용하는 표면장력의 구배 또한, 감소한다. 결과적으로, 응고셀 쪽에 흡수 및 포착된 외부재료의 양도 역시 감소된다.

(3)외부재료를 포착하는 두께 감소

도2는, 외부재료가 포착되는 슬래브 표면으로부터 포착(trapping)깊이  $h$ 와 포착된 외부재료의 수 사이의 슬래브 표면부에서의 관계를 도시한 것이다. 또, 도3은 포착된 외부재료의 수와, 상기 슬래브 표면으로부터의 포착 깊이  $h$ 를 변환함으로써 얻어지는 메니스커스(meniscus:용강의 표면)로부터의 거리  $L$ 과의 관계를 도시한 것이다. 상기 변환은 다음 식에 의하여 수행된다.

$$h=k(L/V_c)^{1/2}$$

이 식에서,  $V_c$ 는 주조속도를 나타내고, 응고상수  $k$ 는  $20\text{mm} \cdot \text{min}^{-1/2}$ 이다.

도2 및 도3에 도시된 바와 같이, 상기 셀에 의하여 포착된 외부재료는 용강 표면으로부터 20mm의 깊이 영역에 있다. 또, 포착 깊이는 주조속도가 증가함에 따라 증가되며, 2.0m/mim 이상의 주조속도  $V_c$ 에서는 슬래브 표면으로부터의 포착 깊이  $h$ 는 1mm 이하이다.

상기 포착깊이  $h$ 가 1mm 이하일 때, 비록 외부재료가 상기 셀에 의하여 포착된다 할지라도, 열간압연공정 및 냉간압연공정을 통한 후속의 제품 형성공정에서, 상기 외부재료는 주조강관의 표면에 형성된 산화스케일과 함께 긁어져 나가서 제거된다. 따라서, 슬래브 후처리공정을 수행하지 않고도 결함이 없는 제품을 얻을 수 있다. 또, 상기 네일 깊이가 0.7mm 이하가 되며, 즉 주조속도가 2.4m/mim 이상일 때는 포착 두께  $h$  역시 네일 깊이 이하가 된다. 그러므로, 주조속도는 2.4m/mim 이상으로 설정되는 것이 보다 바람직하다.

(4)외부재료가 포착될 가능성 감소

외부재료가 응고셀에 의하여 포착될 수 있는 용강 표면으로부터 20mm의 깊이 영역에서의 응고셀의 체류시간(residence time)은, 주조속도가 증가함에 따라 감소한다. 따라서, 동일한 양의 외부재료가 용강 내에 부유하며 존재할 때조차도, 응고셀에 의하여 외부재료가 포착될 가능성은 감소한다. 예컨대,  $V_c$ 가 3.0m/mim일 때, 포착가능성은  $V_c$ 가 1.5m/mim일 때의 1/2로 감소한다.

(5)용강 표면레벨의 갑작스런 변화를 방지하기 위한 몰드의 바람직한 진동주파수

약 2.0m/mim 이상의 주조속도  $V_c$ 에서 주조가 수행될 때, 몰드내의 응고셀의 두께가 추가적으로 감소하기 때문에, 그렇게 명확한 것은 아니지만 벌징(bulging) 현상이 발생한다. 이 벌징현상은 용강의 정압(static pressure)의 영향에 의하여 응고셀이 몰드 쪽으로 밀어붙여지는 현상이다. 이 벌징현상에서, 상기 셀의 온도가 높을 때 및 강의 종류가 다른 강 종류에 비하여 작은 셀 강도를 가지는 극저탄소강과 같은 종류의 강일 때, 벌징(몰드로 밀어붙여짐) 속도는 몰드의 진동속도보다 더 크게 된다. 응고수축 및/또는 열적수축에 의하여 야기되는 체적수축을 보상하기 위하여 일반적으로 테이퍼(taper)를 구비한 몰드가 수직방향으로 진동될 때, 상기 응고셀은 몰드의 하강과 함께 벌징양  $\delta_b$ 만큼 팽창된다. 반대로, 몰드의 상승과

함께, 상기 몰드는 팽창된 상기 쉘을  $\delta_b$  과 거의 등가인 미는 힘  $\delta_p$  으로 밀어붙인다. 단순히 계산했을 때, 이러한 부피변화에 의한 용강 표면레벨의 변화는, 약 1mm 미만일 정도로 작다. 그러나, 상기 현상이 반복적으로 수행될 때, 용강 표면레벨의 진동과 몰드의 진동이 서로 공명할 수 있다. 결과적으로, 용강 표면레벨이 갑자기 크게 변화하는 비정상현상(abnormal phenomenon)이 때로는 발생할 수 있다. 용강 표면에 대하여 통상의 맴돌이전류(eddy-current) 타입 센서를 사용하여 이 현상을 탐지하는 것은 어려운데, 왜냐하면 이 비정상현상은 몰드의 에지부에서 일어나기 때문이다. 그러나, 주조강 슬래브의 진동 마크(mark)의 시간에 대한 변형을 조사함으로써 상기 현상을 처음으로 발견하였다. 특히, 주조속도가 2.0m/min 이상이고 몰드의 진동주파수가 185 cycles/min 이상과 같이 높을 때, 상기 비정상현상은 관찰될 수 있다. 결과적으로, 몰드 플럭스가 용강 내로 휩쓸려들어가거나 응고셀에 포착될 수 있으며, 이에 의하여 주조강관의 표면부에 결함을 야기하게 된다. 따라서, 약 2.0m/min 이상의 주조속도에서 주조하는 경우에는, 상기 몰드 플럭스에 의해 야기되는 제품의 표면결함의 수는 갑자기 증가한다. 결과적으로, 상기 표면결함을 감소시키는 것은 어려웠다.

그러나, 몰드의 진동주파수와, 갑작스런 비정상현상의 발생을 나타내는 지표로 사용되는 총결함에 대한 플럭스 관련 결함의 비 사이의 관계로부터, 몰드의 진동주파수가 185 cycles/min 이하로 설정될 때, 상기 비정상현상은 주조속도  $V_c$  가 약 2.0m/min 이상일 때조차도 유효하게 예방될 수 있다.

더욱이, 몰드의 진동주파수의 하한은, 외부재료가 포착되는 영역의 감소의 관점에서 네일 깊이를 증가시키지 않도록 설정될 수 있으며, 또한 몰드내의 유회성(몰드 플럭스의 소비량)의 감소에 의하여 야기되는 잠재(restraint) 브레이크아웃 방식의 관점에서 설정될 수 있다. 예컨대, 네거티브 스트립타임은 약 0.02초 이상이고 네거티브 스트립길이(negativer strip length)는 약 0.1mm 이상인 것이 바람직하다. 상기 네거티브 스트립타임은, 몰드 진동조건을 한정하는 하나의 특성값(characteristic value)이며, 이는 몰드의 하강속도가 상기 주조강 슬래브의 하강속도보다 큰 기간을 지시한다. 상기 네거티브 스트립길이는, 네거티브 스트립타임 내의 몰드와 주조강 슬래브 사이의 최대거리를 나타내며, 드로잉되는 주조강 슬래브가 상기 몰드를 지나가는 거리이다. 몰드의 진동 파형이 사인파형을 가지는 것을 가정할 때,  $\pi Sf/Vc > 1$  이 만족되는데, S는 몰드의 진동 스트로크를 지시하고, f는 몰드 주파수를,  $V_c$  는 주조속도를 지시한다. 예를 들면,  $V_c$  가 2.0m/min이고 S가 9mm일 때, 몰드 주파수 f의 하한은 71cpm(cycles/minute)이고, S가 5mm일 때 상기 하한은 127cpm이다. 몰드의 진동 파형이 사인 파형으로 제한될 필요는 없다. 또한, 연속주조장치의 진동조건을 특정화와 그 조절가능성을 고려하면, 상기 주파수의 하한과 파형은 적절하게 결정될 수 있다.

(6)단변 별징의 예방(몰드 주조공간의 단변길이의 상한에 대한 이유)

침지노즐이, 몰드 주조공간의 단변길이(슬래브 두께) D와 침지노즐의 배출구 횡폭 d의 비율 D/d를 만족하도록 사용되는 경우에도 상기 단변길이가 너무 클 때에는, 약 2.0m/min 이상의 주조속도  $V_c$  에서 주조시에 문제들이 발생한다. 특히, 슬래브 형상에 관련된 결함 및/또는 브레이크아웃은 단변별징에 의하여 발생한다. 반대로, 단변길이가 작을 때, 및 주조속도  $V_c$  가 클 때, 몰드를 지나가는 슬래브의 단변의 별징,(이는 용강의 정압에 의하여 야기된다)은 억제될 수 있으며 브레이크아웃 발생위험은 작다.

그러나, 도4에 도시된 바와 같이, 단변길이(즉, 슬래브 두께)가 240mm 이상일 때, 주조속도가 2.4m/min이라 하더라도, 슬래브 두께의 증가로 인하여 침지노즐의 배출구로부터의 용강의 분출유동속도가 증가되어, 2차적인 유동속도는 전자기적 제동을 적용받아 증가된다. 결과적으로 단변을 따른 쉘의 성장의 지체를 억제하는 것은 어렵게 된다. 따라서, 몰드의 바닥에서 단변별징은 명백하게 되고 브레이크 아웃 발생의 위험(10mm 이상의 별징양)이 증가한다.

더욱이, 단변길이(즉, 슬래브 두께)가 240mm 이상일 때, 상술한 것과 같은 동일한 이유로, 용강 표면레벨의 변동이, 응고셀의 단변으로부터 흘러나오는 용강의 분출유동에 의한 역전(inversion) 유동과 2차적 유동에 의하여 용이하게 되기 때문에, 몰드 플럭스의 휩쓸려들어감과 포착이 일어나기 쉽게 된다. 또, 슬래브 두께의 증가로 인하여, 메니스커스부, 특히 침지노즐 부근에서의 용강의 정체(stagnation)가 일어나기 쉽게 된다. 결과적으로, 도5에 도시된 바와 같이, 슬래브 표면결함의 수와 제품 결함의 수가 증가한다.

(7)몰드 주조공간의 단변길이의 하한 한정이유

상기 몰드의 주조공간의 단변길이(슬래브 두께)는 다음과 같은 이유로 150mm 보다 작은 것이 바람직하다.

상기 효과(1)은, 슬래브의 단면영역이 과도하게 감소할 때의 용강 표면레벨의 조절가능성을 고려할 때 얻을 수 없다. 그 이유는, 주조양이 변할 때, 넓은 단면영역을 가지는 슬래브가 생성되는 경우에 비하여 용강 표면레벨의 변동이 증가하기 때문이다. 또한, 이에 의하여 용강의 잔물결(ripple)이 발생하기 때문에, 1mm 이상의 깊이를 가지는 네일의 발생율이 증가한

다. 더욱이, 용강 표면레벨의 변동으로 인하여 몰드 플럭스의 휩쓸려들어감과 포착이 발생하기 쉽게 된다(도5 참조). 또한, 통상의 침지노즐의 외경은, 내구성을 고려하여 결정된 벽두께(약 20mm 이상)와, 5.4ton/min(150mm 두께, 2200mm 폭 및 2.1m/min 이상의 주조속도)~ 14.5ton/min(240mm 두께, 2200mm 폭 및 3.5m/min 이상의 주조속도)의 스투풋을 얻기 위하여 결정된 내경(약 70~130mm)의 합에 의하여 결정된다. 이 경우에, 상기 단변길이(슬래브 두께) D가 과도하게 작을 때, 침지노즐의 외벽과 응고셀의 장변 사이 거리가 너무 작게(20mm 미만) 되어, 그 사이의 유동은 불균일하게 되며, 이에 의하여 길이방향 크랙의 발생이 초래된다. 극단적인 경우에는, 상기 응고셀이 노즐과 접촉하여 이에 결합되어, 브레이크아웃이 발생된다. 따라서, 상기 단변길이(슬래브 두께) D는 약 150mm(내경 70mm + 총 외벽두께 40mm(20×2) + 침지노즐의 외벽과 응고셀의 장변 사이 거리 40mm(20×2)) 보다 작지 않게 설정된다.

또, 몰드 주조공간의 장변길이(슬래브 폭)는 특히 한정되지는 않지만, 통상의 냉연강판(특히, 자동차용 냉연강판)의 폭과 동일할 수 있다. 대략 900~2200mm의 길이가 바람직하다.

상기 몰드의 수직방향높이는 특히 한정되지는 않는다. 그러나, 약 2.0m/min 이상의 주조속도에서 주조가 수행될 때라 하더라도 몰드를 통과하는 주조강 슬래브가 벌지되지 않도록 하는 어떤 두께를 가지도록 응고셀이 형성되어야 하기 때문에, 그 높이는 대략 800~1000mm로 설정되는 것이 바람직하다.

(8) 몰드 주조공간의 단변길이(슬래브 두께) D와 침지노즐의 배출구 횡폭 d의 비율 D/d의 최적화

침지노즐 배출구로부터 뿜어져나오는 용강은, 감속되는 동안에, 상기 단변 셀과 충돌할 때까지 그 폭이 연장된다. 그러나, 상기 단변 셀에 충돌하는 용강의 분출유동속도의 감속과 분배정도는, 슬래브 폭 W, 주조속도 Vc 및 D/d에 의존한다. D, Vc 및 W가 증가함에 따라 상기 몰드 주조공간의 단변길이(슬래브 폭) D에 대하여 침지노즐 배출구 폭 d가 너무 작을 때 (D/d가 너무 클 때), 상기 단변 셀에 충돌하는 높은 유동속도를 가지는 용강 영역의 폭과 슬래브 두께(단변 폭)의 비는 감소한다. 따라서, 응고셀의 성장이 불균일하게 되고 방해받기 쉽게 된다. 또한, 응고셀의 두께가 극단적으로 감소될 때의 몇몇 경우에는 브레이크아웃이 발생할 수 있다. 한편, D, Vc 및 W이 감소함에 따라 상기 몰드 주조공간의 단변길이(슬래브 폭) D에 대하여 침지노즐 배출구의 횡폭 d가 너무 클 때(D/d가 너무 작을 때), 용강의 분출 흐름이 응고셀의 단변과 충돌하기 전에 그 장변과 충돌하여 응고셀의 장변쪽 성장이 방해받으며, 이에 의하여 횡단(transversal) 크랙 및/또는 경사(oblique) 크랙이 생성된다. 게다가, 응고셀의 두께가 극단적으로 감소되는 몇몇의 경우엔 브레이크아웃도 발생할 수 있다. 상술한 두 경우에 있어서, 슬래브 폭의 영향은 거의 관찰되지 않는다.

또, 용강이 응고셀의 단변과 충돌하고 상승하여 그 장변의 용강 표면을 따라 흐르는 경우, 슬래브 두께방향으로 용강의 유동속도가 변하기 때문에 상기 D/d의 최적화범위 바깥에 있을 때, 메니스커스 부근의 유동속도변화가 이에 의하여 영향을 받을 수 있으며, 휩쓸려들어간 몰드 플럭스의 양이 증가한다.

약 5.4~14.5ton/min의 스투풋을 얻기 위하여 결정된 배출구의 최대폭 d는, 내구성의 관점에서 침지노즐의 내경(70~130mm)과 같거나 그보다 작은 것이 바람직하다. 따라서, 상기 비율 D/d는, 몰드 주조공간의 최적 단변길이(슬래브 두께) D(150~240mm)와 배출구의 폭 d(70~130mm)를 고려하여 결정된다. 300 분 이상의 장시간 주조를 행할 경우, 총 외벽 두께는 25mm×2=50mm 이상으로 설정되는 것이 바람직하다. 게다가, 상기 몰드와 노즐 사이 거리는 보다 안정한 품질을 확보하기 위하여 40mm 이상으로 설정되는 것이 바람직하다. 즉, 내경 이외의 요구되는 두께는, 50+ 40×2=130mm 이다. 한편, 단시간 주조의 경우에, 총외벽두께는 20mm×2=40mm로 설정될 수 있으며, 몰드와 노즐 사이 거리는 약 20mm로 설정될 수 있다. 즉, 내경 이외의 두께는 40+ 20×2=80mm이다.

표1에서, 제품 품질에 대한 D/d의 영향을 조사한 결과를 나타내었다. 바람직한 D/d의 범위는 1.5~3.0이다. 그러나, 최적 슬래브두께, 침지노즐의 내구성 및 바람직한 유동율을 고려할 때, 상기 비율은 2.1~2.9의 범위에 있는 것이 더욱 바람직하다.

[표 1]

No.	슬래브 두께 D (mm)	슬래브 폭 W (mm)	주조 속도 Vc (m/min)	침지노즐의 배출구 형폭 d (mm)	D/d	몰드 스프로크 S (송진폭) (mm)	몰드의 진동주파수 f (TIMES/min)	ln*	전자기력 제어 계동	슬래브 표면 크랙의 수 (<math>\leq 5mm</math>)	냉간압연된 강판의 표면결함율 (%)	브레이크 아웃의 발생	비고
1	220	1100-1800	2.4	80	3.67	7	160	0.098	TYPE 1	65	2.1	단면에서의 브레이크아웃	비고에
2	220	1100-1800	2.4	70	3.14	7	160	0.098	TYPE 1	23	0	NO	비고에
3	220	1100-1800	2.4	75	2.93	7	160	0.098	TYPE 1	0	0	NO	실시에
4	220	1100-1800	2.4	80	2.75	7	160	0.098	TYPE 1	0	0	NO	실시에
5	220	1100-1800	2.4	130	1.69	7	160	0.098	TYPE 1	5	0	NO	실시에
6	235	1100-1800	2.4	80	2.97	7	160	0.098	TYPE 2	0	0	NO	실시에
7	235	1100-1800	2.4	100	2.35	7	160	0.098	TYPE 2	0	0	NO	실시에
8	235	1100-1800	2.4	120	1.96	7	160	0.098	TYPE 2	1	0	NO	실시에
9	235	1100-1800	2.4	160	1.47	7	160	0.098	TYPE 2	$\geq 100$	23.5	장면에서의 브레이크아웃	비고에

TYPE 1: EMBR TYPE 2: EMLS \*ln=60/fp fp=60/(πS) × acos(1000Vc/rS)

(9)전자기력에 의한 유동(flow)의 제어(braking)

주조속도 Vc가 약 2.4 m/min 이상이거나 스루풋이 7 톤/min 이상일 때, D/d가 최적화된다고 하더라도, 제품결함율의 증가가 약간 관찰된다.

상술한 경우에 있어서, 전자기력에 의한 유동의 제어가 추가적으로 수행되는 것이 바람직하며, 상기 유동의 제어에 의하여 보다 안정한 작동과 품질개선이 달성될 수 있다.

전자기력을 사용하여 유동을 제어하는 방법으로서, 일본특허출원 공개공보 NO 2-284750호와 57-17356호에 개시된 기술이 상기한 바와 같이 사용되는 것이 바람직하다.

도7a~7c에서, 본 발명에 적합하게 사용되며 각각 자기장적용몰드가 제공된 연속주조몰드가 개략적으로 도시되어 있다.

도7a는, 용강 표면레벨을 포함하는 몰드의 상부에 배치되며 2단계로 정자기장(static magnetic field)을 적용하기 위하여 소정거리 이하로 배치된 자기 적용장치(1)가 도시되어 있다. 도7b는, 정자기장과 AC 자기장을 중첩되게 적용하기 위하여

용강 표면레벨을 포함하는 몰드의 상부에만 배치된 자기 적용장치(2)가 도시되어 있다. 도7c는, 정자기장과 AC 자기장을 중첩되게 적용하기 위하여 용강 표면레벨을 포함하는 몰드의 상부에 배치된 자기 적용장치(2)와, 정자기장을 적용하기 위하여 상기 자기장 적용장치(2) 아래에 소정 거리로 이격되어 배치된 자기 적용장치(1)이 도시되어 있다.

상술한 여러 자기장 적용장치에 있어서, 상기 자기장 적용장치가 정자기장을 적용하기 위하여 사용될 때, DC 자기장의 크기(자속밀도)는 약 1000~7000가우스로 설정되는 것이 바람직하다. 상기 언급된 값은, 두 장치가 상부와 하부 위치에 제공되는 경우와 하나의 장치만이 하부에 제공되는 경우의 두 경우에 모두 적용될 수 있다.

AC 자기장으로서, AC 진동자기장(oscillating magnetic field)과 AC 이동 자기장(travelling magnetic field)의 두 가지 타입이 있으며, 본 발명에서는 상기 두 가지가 모두 바람직하게 사용된다.

도8은, AC 진동자기장을 도시한 것으로, 상기 자기장은 서로 거의 반대의 위상(phase)을 가지는 AC 전류가 서로 인접한 코일에 적용될 때 또는 동일한 위상을 가지는 AC 전류가 서로 반대되는 권취방향을 가지는 코일에 적용되어 인접한 코일에서 생성되는 자기장을 실질적으로 역전시킬(invert) 때의 자기장이다. 이 AC 진동자기장이 상기 DC 자기장 상에 중첩될 때 상기 몰드 내의 용강에 국부적인 유동이 야기된다. 도면에서, 참조부호 3은 DC 코일을 지시하며, 참조부호 4는 AC 코일을 지시하고, 참조부호 5는 몰드를 지시하며, 참조부호 6은 용강을 지시한다(경사선으로 도시된 부분은 느린 유동 부분을 나타낸다).

게다가, 상기 AC 이동자기장은,  $360^\circ/N$  당 쉬프팅되는 위상을 가지는 AC 전류가 인접한 임의의 코일의 N 피스(piece)에 적용될 때 얻어지는 자기장이다. 일반적으로, 도9에 도시된 바와 같이, 고효율이 얻어질 수 있기 때문에  $N=3(120^\circ$ 의 위상 차이)이 사용된다. 또한, 상술한 바와 같이, 이 AC 이동자기장이 상기 DC 자기장 상에 중첩될 때, 상기 몰드 내의 용강에 국부적인 유동이 야기될 수 있다.

상술한 바와 같이 AC 자기장을 적용하기 위하여 상기 자기장 적용장치가 사용될 때, 상기 AC 자기장의 자속밀도는 약 100~1000가우스로 설정되는 것이 바람직하며, 진동자기장의 주파수는 약 1~10Hz로 설정되는 것이 바람직하다.

더욱이, 정자기장과 AC 자기장이 중첩되게 적용하기 위하여 상기 자기장 적용장치가 사용될 때, 상기 DC 자기장의 크기는, 약 1000~7000가우스로 설정되는 것이 바람직하며, AC 자기장의 자속밀도는 약 100~1000가우스로 설정되는 것이 바람직하다.

연속주조는, 상술한 바와 같은 자기장 적용장치를 사용하여 전자기력에 의하여 상기 용강 유동이 제동되는 동안에 수행된다. 이하에서는, 본 발명의 제조조건 한정 이유와 함께, 상기 연속주조시에 몰드 내에서 발생하는 현상에 관하여 새롭게 발견된 것들을 설명할 것이다.

(10)노즐 침지깊이(용강 표면으로부터 배출구의 상단까지의 거리)

몰드 내의 용강의 순환 유동의 상태는, 노즐 침지깊이의 변화에 따라 변화된다. 특히, 주조속도가 높을 때 침지노즐로부터의 유출속도가 빨라지기 때문에, 침지깊이가 최적화된다. 즉, 침지깊이가 너무 작을 때는, 용강 표면에서의 유출 속도는 너무 빨라지게 된다. 결과적으로 유동의 가라앉음(engulfment)이 촉진된다. 한편, 상기 깊이가 너무 깊을 때, 표면에서 용강의 유출속도가 매우 크게 감소하기 때문에, 응고셀의 위상효과가 감소한다. 결과적으로 기포와 개재물의 포착이 촉진된다.

따라서, 상술한 상태를 고려하여, 침지노즐 깊이의 최적값을 조사하였을 때, 상기 침지노즐 깊이가 약 200~350mm의 범위로 설정되는 것이 알려져 있다.

게다가, 상기 침지노즐용 재료로서는, 예컨대 통상의 알루미늄-그라파이트가 사용되는 것이 바람직하다. 그러나, 그에 한정되는 것은 아니다.

상기 침지노즐로서, 실린더형 노즐 또는 전단이 막혀있고 몰드의 단면쪽으로 두 개의 대략 원형의 배출구가 구비된 2배출구노즐이 일반적으로 사용될 수 있다. 상기 배출구의 단면형상은 원형, 정사각형 또는 장방형(측방향이 더 길거나, 길이방향이 더 긴)일 수 있으나, 특히 제한되는 것은 아니며, 어떤 형태라도 후술하는 본 발명의 조건을 만족하는 최대폭 d를 만족하는 한 사용될 수 있다.

상기한 바와 같이, 몰드 플럭스의 휩쓸려들어감이 가능한 한 작게 되도록 상기 (5), (6) 및 (8) 단락에 기재된 내용에 의하여 방지되며, 플럭스가 휩쓸려들어거나 개재물이 용강 내에서 부유하고 있을 때에도 응고셀로의 외부재료의 포착은 (2)

및 (4) 단락에 기재된 내용에 의하여 억제되며, 외부재료가 포착된다 하더라도 결함을 야기하지 않도록 외부재료가 포착되는 응고셀 표면으로부터 깊이가 상기 단락 (1) 및 (3)에 기재된 내용에 의하여 더 작게 된다. 따라서, 제품 형성과정에서, 특히 슬래브 가열과정에서, 슬래브 표면층으로부터 외부재료의 벗겨냄(scaling-off) 및 제거는 용이하게 이루어질 수 있다.

따라서, 상기한 효과가 (6),(7),(8) 및 (9)에 기재된 내용에 의하여 안정적으로 달성될 수 있으며 높은 생산성이 얻어진다.

### 실시에 1

다양한 단변길이를 가지는 주조공간이 제공된 몰드를 구비한 연속주조장치를 사용함으로써, 110mm(테스트(test) 연속주조장치에 의한 것), 200, 215, 220, 235 및 260mm(수직형 벤딩제조 연속주조장치에 의한 것)의 슬래브 두께를 가지며, 400mm(테스트 연속주조장치에 의한 것) 및 900~2200mm(수직형 벤딩제조 연속주조장치에 의한 것)의 슬래브 폭을 가지는 여러 종류의 슬래브가, 표2a 및 2b로 도시된 조건 하에 주조되어 준비되었다. 상기 공정에 있어서, 몰드 높이는 900mm(상기 벤딩제조 연속주조장치에 의한 경우)와 700mm(상기 테스트 연속주조장치에 의한 경우)이고, 침지노즐은 25mm의 벽두께를 가지는 알루미늄-그라파이트로 만들어진 2배출구노즐이며, 상기 배출구의 형태는 정사각형(슬래브두께가 220mm 이하일 때) 또는 원형(슬래브두께가 220mm를 초과할 때)이고, 하향배출각도는 20°의 일정한 값이며, 노즐 침지깊이(용강 표면에서 배출구 상단까지 거리)는 200~250mm로 설정된다. 몰드 플럭스로서, 1000℃의 응고온도, 1300℃에서 0.05~0.2 Pa·s(0.5~2.0poise)의 점도, 및 1.0의 염기도(CaO/SiO<sub>2</sub>)를 가지는 재료를 사용하였다. 또, 턴드 위에서 용강의 과열도는 10~30℃로 설정된다. 더욱이, 용강은 그 성분들이, 질량%로 C: 0.0005~0.0090%, Si: 0.05% 미만, Mn: 0.050% 미만, P: 0.035% 미만, S: 0.020% 미만, Al: 0.005~0.060%, Ti: 0.080% 미만, Nb; 0.050% 미만, B: 0.0030% 미만인 조성을 가지는 극저탄소강이다. 또, 몰드 진동과형은 사인파형이다.

최대 단변 벌징양, 최대 네일깊이, 슬래브 표면결함의 최대수 및 브레이크아웃의 발생은, 형성된 여러 종류의 슬래브에 대하여 측정되었다. 그 결과를 표3에 나타내었다. 최대 단변 벌징양은 10mm 이하인 것이 바람직하며, 더욱 바람직하게는 5mm 이하이다. 최대 네일깊이는 1mm 이하인 것이 바람직하며, 더욱 바람직하게는 0.7mm 이하이다.

또, 표3에는, 냉연강판(판 두께 0.8mm)의 표면결함율의 측정결과도 도시되어 있으며, 상기 냉연강판은 1100~1200℃의 온도에서 2~2.5시간동안 상기 슬래브의 각각을 가열하는 단계와, 이후 통상의 공정에 따라 열간압연, 냉간압연 및 마무리 어닐링을 함으로써 얻어졌다.

더욱이, 슬래브 표면결함과 냉연강판의 표면결함에 대한 주조속도의 영향의 조사결과도 요약되어져 있다. 그 결과는 도6에 도시되어 있다.

슬래브 표면결함의 최대수는, 1mm의 슬래브 표면을 밀링하고, 에머리(emery) 페이퍼 #1000으로 폴리싱하고, 염산과 과산화수소의 혼합용액으로 에칭한 일련의 공정 후에 단위면적당 관찰된 기포(0.2mm 이상의 직경), 알루미늄 클러스터(500 $\mu$ m 이상의 직경) 및 슬래그(몰드 플럭스를 포함하며, 0.5mm 이상의 직경인)의 수(piece/m<sup>2</sup>)이다.

또, 냉연강판의 표면결함율은, %비율로서, 총 결함에 대하여 긁힘(scratches) 및 흔적(spills)과 같은 주조에 의하여 야기되는 결함의 수의 비율이며, 냉연강판의 전후표면 1000m 당 측정된 결함의 수이다.

각 개별 조건하에 주조시에 적어도 하나라도 브레이크아웃이 발생한 때에는, 브레이크아웃의 발생은 "Yes"로 정의된다.

또, 전자기적 제동으로서 "Type 1"으로 표시된 것은, 몰드의 바닥단부 부근에서 전체 몰드에 대하여 수행된 정자기장 적용(EMBR)을 나타내며, "Type 2"로 표시된 것은, 침지노즐 배출구에서 전체 몰드에 대하여 수행된 정자기장 적용(EMLS)을 나타내고, 상기 "Type 1"과 "Type 2"는 일본특허출원 공개공보 2-284750호 및 57-17356호에 각각 개시된 기술에 기초하여 수행된다.

네거티브 스트립타임 tn은 몰드 진동조건을 정의하기 위한 하나의 특성값이며, 몰드의 하강속도가 주조강판의 그것보다 더 큰 기간(a period of time)을 지시한다. 표3 및 도6에 도시된 바와 같이, 슬래브가 본 발명에 따른 주조에 의하여 형성될 때, 주조속도가 약 2.0m/min 이상과 같이 높은 때에도, 생성된 슬래브의 표면 결함의 정도는 미약하며, 그로부터 형성된 냉연강판의 표면결함도 거의 탐지되지 않거나, 또는 결함이 존재할 때에도 그 수는 매우 작다.



상기 실시예에서 알 수 있는 바와 같이, 본 발명에 따르면, 작동조건을 바람직하게 최적화하여 다음의 상태를 얻을 수 있다;

- (1) 용강의 정압에 의하여 몰드 벽쪽으로 향하는 상대적인 미는 힘이 증가하여 몰드내 용강 표면 부근에서 응고되는 셀에 적용된다,
- (2) 응고셀 계면상의 개재물, 슬래그, 플럭스 및 기포를 흡수하는 현상이 억제되고, 외부재료가 포착될 가능성이 감소한다,
- (3) 상기 응고셀 내로 외부재료가 포착되는 깊이는 가능한 한 크게 감소한다.

따라서, 주조가 약 2.0m/min 이상의 고속으로 수행될 때에도, 높은 생산성과 안정한 작동을 달성할 수 있으며, 자동차 외 관형성용으로 사용되는 냉연강판용 고품질 슬래브가 슬래브 표면처리없이도 공급될 수 있다.

실시예 2

RH처리에 의하여 컨버터에서 용해되어 얻어지는 용강(약 300 ton)이, 도7a 내지 7c에 도시된 자기장적용장치의 하나를 구비한 연속주조장치를 사용하여 연속주조되어 슬래브가 형성되었으며, 상기 용강은 질량%로 C: 0.0015%, Si: 0.02%, Mn: 0.08%, P: 0.015%, S: 0.004%, Al: 0.04%, Ti: 0.04% 및 잔부가 Fe 및 불가피한 불순물로 된 조성을 가진다. 본 실시예의 제조조건은 표2에 도시되어 있다. 침지노즐로서, 하향 배출각도가 15°인 장방형 배출구가 각각 제공된 2배출구 침지노즐이 사용된다.

이어서, 냉간압연후의 제조된 슬래브의 표면편석과 비금속개재물의 양 및 몰드 플럭스에 의해 야기된 표면결함이 측정되었다. 그 결과는 표3에 도시되어 있다.

표면편석은 슬래브 폴리싱 및 에칭 수행후에 1m<sup>2</sup>당 편석의 수를 육안관찰함으로써 평가하였다. 또, 비금속개재물은 표면으로부터 1/4 두께의 깊이에 위치한 주조강판으로부터 슬라임(slime) 추출에 의하여 추출되었다. 이어서, 상기 개재물의 무게가 측정되었다. 또, 냉간압연에 의하여 제조된 코일의 표면결함이 육안검사에 의하여 체크되고, 이후 샘플링되어 분석되었다. 몰드 플럭스에 의해 야기된 결함의 수가 얻어졌다. 비교를 위하여 표면편석, 개재물 양, 몰드 플럭스에 의하여 야기되는 결함의 수를 표지번호(index number)로 환원하고, 모든 조건 중에서 얻어진 최악의 결과를 표지번호 10으로 간주하였다. 각 결과는 그들 사이에 선형관계가 만족된다는 가정에 기초하여 최악의 결과에 대한 비율로 나타내었다.

표3에 도시된 바와 같이, 본 발명에 따르면, 주조속도, 몰드 주조공간의 단변길이 D, 노즐침지깊이, 몰드 주조공간의 단변길이 D와 침지노즐의 배출구 횡폭 d의 비 D/d가 몰드 내의 용강 유동에 가해지는 적절한 전자기적 제동과 함께 적절하게 조절될 때, 표면편석의 수, 비금속개재물의 양, 몰드 파우더에 의하여 야기되는 결함의 수가 감소될 수 있다.

진동자기장의 강도가 너무 높을 때, 용강표면에서의 플럭스 휩쓸려들어감이 증가하여 표면 품질저하를 초래한다. 게다가, 주파수가 너무 높을 때는, 용강 표면레벨이 자기장을 따라갈 수 없으며, 응고셀 계면의 위상효과가 감소하여, 기포와 개재물 결함의 수가 증가하게 된다.

[표 2a]

No. (슬레브 두께)	단면 길이 D (mm)	슬레브 폭 W (mm)		주조 속도 Vc (m/min)	용강의 스루풋 (THROUGHPUT) (t/min)		침지노즐의 배출구의 경폭 d (mm)	D/d	물도 스트로크 S (총진폭) (mm)	물도의 진동 주파수 (TIMES/min)	T <sub>0</sub> (s)
		최소	최대		최소	최대					
1	220	900	1950	1.0	1.6	3.4	80	2.75	6	120	0.177
2	220	900	1950	1.5	2.3	5.1	80	2.75	6	130	0.134
3	220	900	1950	1.8	2.3	6.1	80	2.75	6	150	0.112
4	220	900	1950	2.0	3.1	6.7	80	2.75	6	185	0.099
5	220	900	1950	2.1	3.3	7.1	80	2.75	5	170	0.075
6	220	900	1950	2.2	3.4	7.4	80	2.75	5	180	0.072
7	220	1200	1950	1.5	3.1	5.1	80	2.75	9	190	0.129
8	220	1200	1950	1.8	3.7	6.1	80	2.75	9	190	0.124
9	220	1200	1950	2.0	4.1	6.7	80	2.75	9	190	0.120
10	220	1200	2200	2.3	4.8	8.7	80	2.75	9	160	0.124
11	220	1200	2200	2.3	4.3	8.7	80	2.75	9	185	0.115
12	220	1200	1640	2.3	4.8	7.3	80	2.75	9	195	0.112
13	220	1200	1500	2.3	4.8	6.0	80	2.75	9	205	0.108
14	220	900	1950	2.1	3.3	7.1	80	2.75	6	160	0.098
15	220	900	1950	2.2	3.4	7.4	80	2.75	7	160	0.107
16	220	900	1950	2.3	3.6	7.7	80	2.75	7	160	0.102
17	220	900	2200	2.5	3.9	9.5	80	2.75	6	160	0.071
18	220	900	2200	2.7	4.2	10.3	80	2.75	8	160	0.100
19	220	900	2000	3.0	4.7	10.4	80	2.75	9	160	0.101
20	220	900	1950	3.5	5.4	11.8	80	2.75	9	180	0.088
21	110	400	400	2.5	0.9	0.9	30	3.67	6	160	0.071
22	200	900	1950	2.5	3.5	7.7	70	2.88	6	160	0.071
23	215	900	1950	2.5	3.8	8.2	88	2.44	6	160	0.071
24	235	900	1950	2.5	4.2	9.0	88	2.67	6	160	0.071
25	250	900	1950	2.5	4.4	9.6	88	2.84	6	160	0.071
26	260	900	1950	2.5	4.6	9.9	88	2.95	6	160	0.071
27	220	1200	1950	2.5	5.2	8.4	80	2.75	6	160	0.071
28	235	1200	1950	2.5	5.5	9.0	88	2.67	7	160	0.093
29	235	1200	1950	1.5	3.3	5.4	88	2.67	7	185	0.123
30	235	1200	1950	2.1	4.6	7.6	88	2.67	6	180	0.089
31	235	1200	2200	2.5	5.5	10.1	130	1.81	6	185	0.080
32	220	900	2200	2.5	3.9	9.5	80	2.75	6	185	0.080
33	220	900	2200	2.5	3.9	9.5	80	2.75	6	185	0.080
34	220	900	2200	2.5	3.9	9.5	80	2.75	6	185	0.080
35	220	900	2200	2.5	3.9	9.5	80	2.75	6	185	0.080
36	220	900	1950	2.1	3.3	7.1	80	2.75	6	160	0.099
37	220	900	2000	3.0	4.7	10.4	80	2.75	9	160	0.101

TYPE 1 : 진동(OSCILLATING) 자기장, TYPE 2 : 쉬프팅(SHIFTING) 자기장

[표 2b]

No.	침지노즐 깊이 (mm)	AC 자기장의 타입	상부 AC 자기장 (Gauss)	상부 DC 자기장 (Gauss)	하부 DC 자기장 (Gauss)
1	280	NO	0	0	0
2	280	NO	0	0	0
3	280	NO	0	0	0
4	280	NO	0	0	0
5	280	NO	0	0	0
6	280	NO	0	0	0
7	280	TYPE 1	1000	1000	0
8	280	TYPE 1	700	1000	0
9	280	TYPE 1	500	1000	0
10	280	TYPE 1	300	1000	0
11	280	TYPE 1	300	1000	0
12	280	TYPE 1	300	1000	0
13	280	TYPE 1	300	1000	0
14	280	TYPE 1	300	1000	0
15	280	TYPE 1	300	1000	0
16	280	TYPE 1	300	1000	0
17	280	TYPE 1	0	1000	1500
18	280	TYPE 1	0	1500	2000
19	280	TYPE 1	0	2000	2500
20	280	TYPE 1	0	2500	3000
21	280	TYPE 1	0	0	0
22	280	TYPE 1	200	1000	0
23	280	TYPE 1	200	1000	0
24	280	TYPE 1	200	1000	0
25	280	TYPE 1	200	1000	0
26	280	TYPE 1	200	1000	0
27	280	NO	0	0	0
28	280	NO	0	0	0
29	280	TYPE 2	600	0	0
30	280	TYPE 2	600	1000	0
31	280	TYPE 2	600	1000	0
32	180	TYPE 1	200	1000	0
33	200	TYPE 1	200	1000	0
34	350	TYPE 1	200	1000	0
35	370	TYPE 1	200	1000	0
36	280	TYPE 1	300	1000	1500
37	280	TYPE 1	300	1000	1500

[표 3]

No	최대단변-별징 양 (BULGING) (mm)	최대 네일 깊이 (mm)	슬래브 표면결함의 최대수 (/m <sup>2</sup> )	표면 결함율 (%)	브레이크 아웃의 발생	총 결함에 대한 파우더 결함의 비율 (%)	비고
1	0	3.5		3.10	NO	49	비교예 1
2	1	2.7	185	2.35	NO	24	비교예 2
3	1	2.6	120	1.23	NO	20	비교예 3
4	2	1.5	90	0.30	NO	36	비교예 4
5	2	1.1	55	0.15	NO	0	실시에 1
6	1	0.7	45	0.05	NO	3	실시에 2
7	1	3.0		3.10	NO	33	비교예 5
8	1	2.9		1.54	NO	20	비교예 6
9	2	2.2		0.50	NO	16	비교예 7
10	4	0.8		0	NO	0	실시에 3
11	4	0.9		0.11	NO	5	실시에 4
12	3	1.3		2.6	NO	74	비교예 8
13	3	1.3		4.1	NO	85	비교예 9
14	2	1.0	50	0	NO	0	실시에 5
15	3	0.6	30	0	NO	0	실시에 6
16	3	0.5	20	0	NO	0	실시에 7
17	3	0.2	10	0	NO	0	실시에 8
18	5	0.2	3	0	NO	0	실시에 9
19	5	0.1	3	0	NO	0	실시에 10
20	6	0.2	5	0	NO	0	실시에 11
21	1	1.4	70		NO		비교예 10
22	1	0.1	15	0.02	NO	0	실시에 12
23	2	0.2	11	0	NO	0	실시에 13
24	5	0.3	13	0	NO	0	실시에 14
25	10	0.8	25	0.3	NO	4	비교예 11
26	15	1.1	60	0.4	NO	60	비교예 12
27	9	0.7		0.03	YES	15	실시에 15
28	9	0.6		0.05	NO	21	실시에 16
29	0	2.5		5.90	NO	37	비교예 13
30	1	0.8		0	NO	0	실시에 17
31	2	0.4		0	NO	0	실시에 18
32	2	0.4		0.05	NO	33	실시에 19
33	2	0.4		0	NO	0	실시에 20
34	2	0.4		0	NO	0	실시에 21
35	2	0.6		1.5	NO	67	비교예 14
36	2	1.0	20	0	NO	0	실시에 22
37	3	0.5	12	0	NO	0	실시에 23

\* 빈 칸 : 측정 안함

**발명의 효과**

이상에서 설명한 바와 같이, 본 발명에 의하면, 스카핑과 같은 어떤 슬래브 후처리공정없이 2.0m/min 이상의 고주조속도에서도 우수한 표면품질을 가지는 슬래브를 안정적으로 얻을 수 있다.

**도면의 간단한 설명**

도1은, 본 발명의 실시예에 따른 주조속도와 네일(nail) 깊이 사이의 관계를 나타내는 그래프,

도2는, 본 발명의 실시예에 따른 슬래브 표면으로부터 포착(trapping)깊이 h와 포착된 개재물(inclusions)의 수 사이의 관계를 상이한 주조속도에 대하여 나타낸 그래프,

도3은, 본 발명의 실시예에 따른 메니스커스(meniscus)로부터의 거리 L과 포착된 개재물의 수 사이의 관계를 상이한 주조속도에 대하여 나타낸 그래프,

도4는, 본 발명의 실시예에 따른 단변 별징양(a short-side bulging amount)에 미치는 슬래브 두께와 주조속도의 영향을 나타낸 그래프,

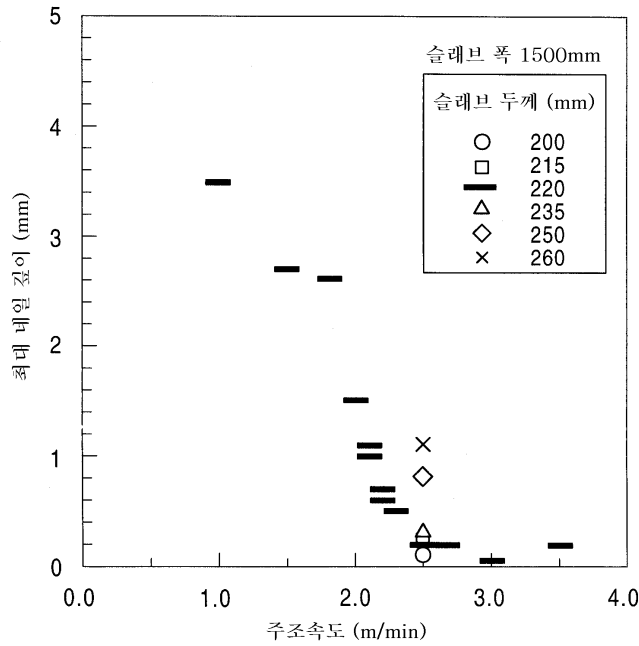
도5는, 본 발명 실시예에 따른 제품의 표면결함율에 미치는 슬래브 두께의 영향을 나타낸 그래프,

도6은, 본 발명에 따른 제품의 표면결함율에 미치는 주조속도의 영향을 나타낸 그래프,

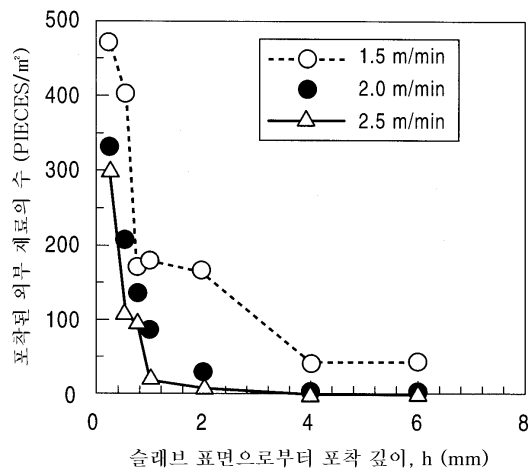
도7a 내지 7c는, 자기장적용장치를 구비하며 본 발명에 적합하게 사용되는 연속주조몰드의 개략도,  
 도8은, 본 발명 실시예에 따른 AC 진동자기장(oscillating magnetic field)을 적용한 예를 나타낸 도면,  
 도9는, 본 발명 실시예에 따른 AC 이동자기장(travelling magnetic field)을 적용한 예를 나타낸 도면이다.

도면

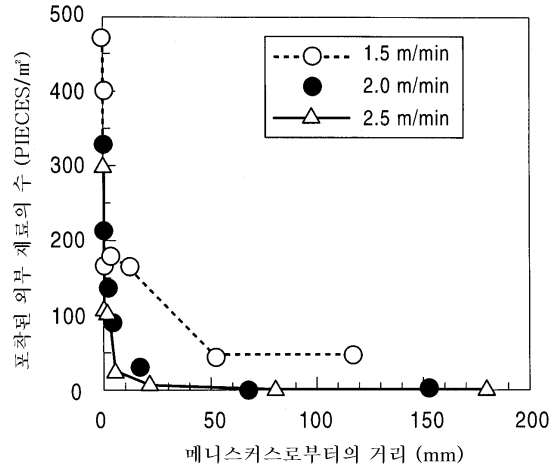
도면1



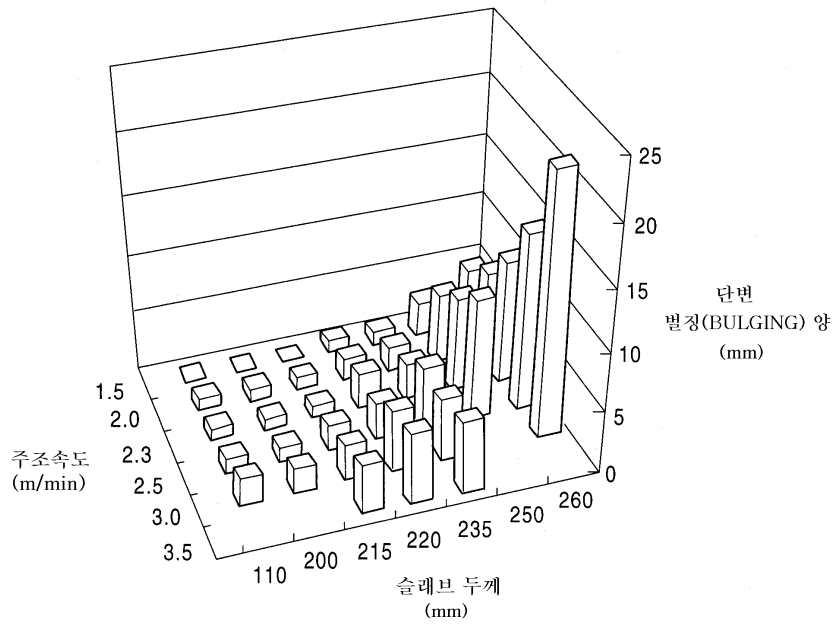
도면2



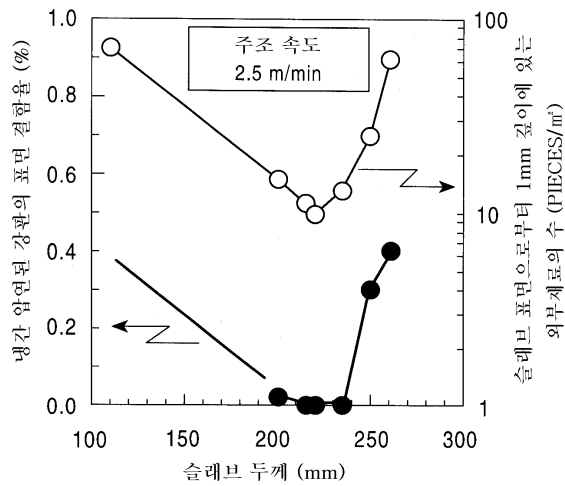
도면3



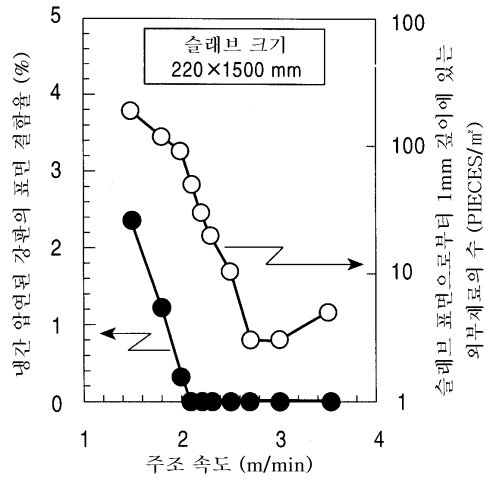
도면4



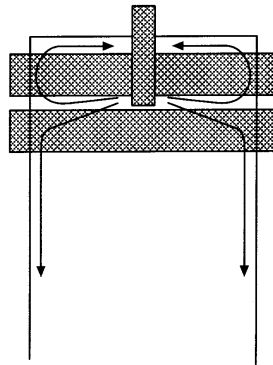
도면5





도면6

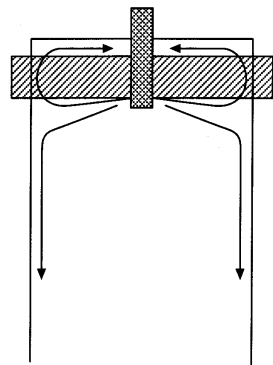




도면7a



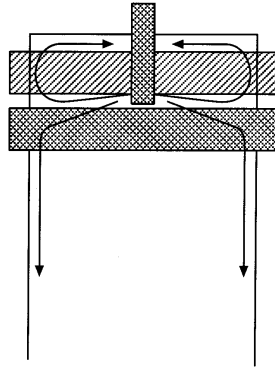
 DC COIL  
 DC + AC COIL



도면7b



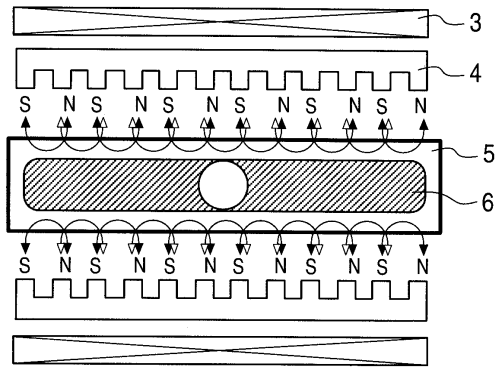
 DC COIL  
 DC + AC COIL

도면7c



 DC COIL  
 DC + AC COIL

도면8



도면9

