(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2020-0080312
(43) 공개일자 2020년07월06일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
C22C 38/44 (2006.01) *C22C 38/42* (2006.01)
C22C 38/46 (2006.01) *C22C 38/54* (2006.01)
(52) CPC특허분류
C22C 38/44 (2013.01)
C22C 38/42 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2020-7016636
(22) 출원일자(국제) 2018년11월14일
심사청구일자 2020년06월10일
(85) 번역문제출일자 2020년06월10일
(86) 국제출원번호 PCT/JP2018/042114
(87) 국제공개번호 WO 2019/098233
국제공개일자 2019년05월23일
(30) 우선권주장
JP-P-2017-220172 2017년11월15일 일본(JP)

(71) 출원인
닛폰세이테츠 가부시키가이샤
일본 도쿄도 지요다꾸 마루노우찌 2쪼메 6방 1고
(72) 발명자
사가라 마사유키
일본 1008071 도쿄도 지요다꾸 마루노우찌 2쪼메 6방 1고 신닛테츠스미킨 카부시키카이샤 내
도미오 유사쿠
일본 1008071 도쿄도 지요다꾸 마루노우찌 2쪼메 6방 1고 신닛테츠스미킨 카부시키카이샤 내
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
양영준, 최인호, 성재동

전체 청구항 수 : 총 3 항

(54) 발명의 명칭 **2상 스테인리스강 및 2상 스테인리스강의 제조 방법**

(57) 요 약

공식의 발생이 억제된 2상 스테인리스강을 제공한다. 본 개시에 의한 2상 스테인리스강은, 질량%로, Cr: 27.00% 초과 내지 29.00%, Mo: 2.50 내지 3.50%, Ni: 5.00 내지 8.00%, W: 4.00 내지 6.00%, Cu: 0.01 내지 0.10% 미만, N: 0.400% 초과 내지 0.600%, C: 0.030% 이하, Si: 1.00% 이하, Mn: 1.00% 이하, sol. Al: 0.040% 이하, V: 0.50% 이하, O: 0.010% 이하, P: 0.030% 이하, S: 0.020% 이하 및 잔부는 Fe 및 불순물로 이루어지고, 식 (1)을 만족시키는 화학 조성과, 35 내지 65체적%의 페라이트상 및 잔부는 오스테나이트상으로 이루어지는 마이크로 조직을 함유하고, 페라이트상 내에 석출된 Cu의 면적률이, 0.5% 이하이다.

$$Cr+4.0\times Mo+2.0\times W+20\times N-5\times In(Cu)\geqq 65.2\cdots(1)$$

(52) CPC특허분류
C22C 38/46 (2013.01)
C22C 38/54 (2013.01)
C21D 2211/005 (2013.01)
(72) 발명자
오스키 다카히로
일본 1008071 도꾜도 지요다꾸 마루노우찌 2쪼메 6방 1고 신닛테츠스미킨 카부시키카이샤 내
우가와 유스케
일본 1008071 도꾜도 지요다꾸 마루노우찌 2쪼메 6방 1고 신닛테츠스미킨 카부시키카이샤 내

명 세 서

청구범위

청구항 1

질량%로,

Cr: 27.00% 초과 내지 29.00%,

Mo: 2.50 내지 3.50%,

Ni: 5.00 내지 8.00%,

W: 4.00 내지 6.00%,

Cu: 0.01 내지 0.10% 미만,

N: 0.400% 초과 내지 0.600%,

C: 0.030% 이하,

Si: 1.00% 이하,

Mn: 1.00% 이하,

sol. Al: 0.040% 이하,

V: 0.50% 이하,

O: 0.010% 이하,

P: 0.030% 이하,

S: 0.020% 이하,

Ca: 0 내지 0.0040%,

Mg: 0 내지 0.0040%,

B: 0 내지 0.0040% 및

잔부는 Fe 및 불순물로 이루어지고, 식 (1)을 만족시키는 화학 조성과,

35 내지 65체적%의 페라이트상 및 잔부는 오스테나이트상으로 이루어지는 마이크로 조직을 함유하고,

상기 페라이트상 내에 석출된 Cu의 면적률이, 0.5% 이하인, 2상 스테인리스강.

$$Cr+4.0\times Mo+2.0\times W+20\times N-5\times In(Cu) \geqq 65.2 \cdots (1)$$

여기서, 식 (1) 중의 각 원소 기호에는, 각 원소의 함유량(질량%)이 대입된다.

청구항 2

제1항에 있어서, 2상 스테인리스강이며, 상기 화학 조성은 질량%로,

Ca: 0.0001 내지 0.0040%,

Mg: 0.0001 내지 0.0040% 및

B: 0.0001 내지 0.0040%로 이루어지는 군으로부터 선택되는 1종 또는 2종 이상을 함유하는, 2상 스테인리스강.

청구항 3

질량%로,

Cr: 27.00% 초과 내지 29.00%,

Mo: 2.50 내지 3.50%,

Ni: 5.00 내지 8.00%,

W: 4.00 내지 6.00%,

Cu: 0.01 내지 0.10% 미만,

N: 0.400% 초과 내지 0.600%,

C: 0.030% 이하,

Si: 1.00% 이하,

Mn: 1.00% 이하,

sol. Al: 0.040% 이하,

V: 0.50% 이하,

O: 0.010% 이하,

P: 0.030% 이하,

S: 0.020% 이하,

Ca: 0 내지 0.0040%,

Mg: 0 내지 0.0040%,

B: 0 내지 0.0040% 및

잔부는 Fe 및 불순물로 이루어지고, 식 (1)을 만족시키는 화학 조성을 갖는 소재를 준비하는 공정과,

상기 소재를, 850℃ 이상으로 열간 가공하는 공정과,

상기 열간 가공 후의 상기 소재를 5℃/초 이상에서 냉각하는 공정과,

상기 냉각한 상기 소재를, 1070℃ 이상으로 용체화 열처리하는 공정을 구비하는, 2상 스테인리스강의 제조 방법.

$$Cr+4.0\times Mo+2.0\times W+20\times N-5\times In(Cu)\geqq 65.2\cdots(1)$$

여기서, 식 (1) 중의 각 원소 기호에는, 각 원소의 함유량(질량%)이 대입된다.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 2상 스테인리스강 및 2상 스테인리스강의 제조 방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 페라이트상 및 오스테나이트상의 2상 조직을 갖는 2상 스테인리스강은, 우수한 내식성을 갖는 것이 알려져 있다. 2상 스테인리스강은 특히, 염화물을 함유하는 수용액 중에서 문제가 되는, 공식 및/또는 틈새 부식에 대한 내식성(이하, 「내공식성」이라고 함)이 우수하다. 그 때문에 2상 스테인리스강은, 해수 등의 염화물을 포함하는 습윤 환경에서 널리 사용되고 있다. 염화물을 포함하는 습윤 환경에서는, 2상 스테인리스강은 예를 들어, 플로 라인 파이프, 엄빌리컬 튜브 및 열 교환기 등에 사용된다.

[0003] 근년, 2상 스테인리스강의 사용 환경에 있어서의 부식 조건은, 점점 엄격해져 오고 있다. 그 때문에, 2상 스테인리스강에는, 더욱 우수한 내공식성이 요구되고 있다. 2상 스테인리스강의 내공식성을 더 높이기 위해, 다양한 기술이 제안되어 있다.

[0004] 국제 공개 제2013/191208호(특허문헌 1)는, 질량%로, Ni: 3 내지 8%, Cr: 20 내지 35%, Mo: 0.01 내지 4.0%, N: 0.05 내지 0.60%를 함유하고, Re: 2.0% 이하, Ga: 2.0% 이하 및 Ge: 2.0% 이하로부터 선택되는 1종 이상을 더 함유하는 것을 특징으로 하는 2상 스테인리스강을 개시한다. 특허문헌 1에서는, Re, Ga, 또는 Ge를 2상 스테인리스강에 함유시킴으로써, 공식이 발생하는 임계 전위(공식 전위)를 상승시켜, 내공식성 및 내틈새 부식성을 높이고 있다.

[0005] 국제 공개 제2010/082395호(특허문헌 2)는, 질량%로, Cr: 20 내지 35%, Ni: 3 내지 10%, Mo: 0 내지 6%, W: 0 내지 6%, Cu: 0 내지 3%, N: 0.15 내지 0.60%를 함유하는 2상 스테인리스 강재를, 열간 가공에 의해 혹은 추가로 고용화 열처리함으로써 냉간 가공용 소관을 제작한 후, 냉간 압연에 의해 2상 스테인리스 강관을 제조하는 방법을 개시한다. 특허문헌 2의 2상 스테인리스 강관의 제조 방법은, 최종 냉간 압연 공정에서의 단면 감소율에서의 가공도 Rd(=exp[{In(MYS)-In(14.5×Cr+48.3×Mo+20.7×W+6.9×N)}/0.195])가 10 내지 80%의 범위 내에서 냉간 압연하여, 758.3 내지 965.2MPa의 최저 항복 강도를 갖는 2상 스테인리스 강관의 제조 방법인 것을 특징으로 한다. 이에 의해, 예를 들어 유정이나 가스정에 사용할 수 있는, 탄산 가스 부식 환경이나 응력 부식 환경에 있어서도 우수한 내식성을 발휘함과 함께 높은 강도도 겸비한 2상 스테인리스 강관이 얻어진다고 특허문헌 2에 기재되어 있다.

[0006] 일본 특허 공개 제2007-84837호 공보(특허문헌 3)는, 질량%로, Cr: 20 내지 30%, Ni: 1 내지 11%, Cu: 0.05 내지 3.0%, Nd: 0.005 내지 0.5%, N: 0.1 내지 0.5%, 그리고 Mo: 0.5 내지 6 및 W: 1 내지 10 중 한쪽 또는 양쪽을 함유하는 2상 스테인리스강에 대해 개시한다. 특허문헌 3에서는, Nd를 함유시킴으로써, 2상 스테인리스강의 열간 가공성을 높이고 있다.

[0007] 일본 특허 공표 제2005-520934호 공보(특허문헌 4)는, 중량%로, Cr: 21.0% 내지 38.0%, Ni: 3.0% 내지 12.0%, Mo: 1.5% 내지 6.5%, W: 0 내지 6.5%, N: 0.2% 내지 0.7%, Ba: 0.0001 내지 0.6%를 함유하고, 공식 저항 당량 지수 PREW가 40≤PREW≤67을 만족시키는, 슈퍼 2상 스테인리스강에 대해 개시한다. 이에 의해, 부서지기 쉬운 시그마(σ)상, 카이(χ)상 등의 금속간 상의 형성이 억제된, 내식성, 내취화성, 주조성 및 열간 가공성이 우수한 슈퍼 2상 스테인리스강이 얻어진다고 특허문헌 4에 기재되어 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0008] (특허문헌 0001) 국제 공개 제2013/191208호

(특허문헌 0002) 국제 공개 제2010/082395호

(특허문헌 0003) 일본 특허 공개 제2007-84837호 공보

(특허문헌 0004) 일본 특허 공표 제2005-520934호 공보

발명의 내용

해결하려는 과제

[0009] 상술한 바와 같이, 근년, 더욱 우수한 내공식성을 갖는 2상 스테인리스강이 요구되고 있다. 따라서, 특허문헌 1 내지 4에 기재된 기술 이외의 수단에 의해, 우수한 내공식성을 나타내는 2상 스테인리스강이 얻어져도 된다.

[0010] 본 개시의 목적은, 우수한 내공식성을 갖는 2상 스테인리스강 및 그의 2상 스테인리스강의 제조 방법을 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0011] 본 개시에 의한 2상 스테인리스강은, 질량%로, Cr: 27.00% 초과 내지 29.00%, Mo: 2.50 내지 3.50%, Ni: 5.00 내지 8.00%, W: 4.00 내지 6.00%, Cu: 0.01 내지 0.10% 미만, N: 0.400% 초과 내지 0.600%, C: 0.030% 이하, Si: 1.00% 이하, Mn: 1.00% 이하, sol. Al: 0.040% 이하, V: 0.50% 이하, O: 0.010% 이하, P: 0.030% 이하, S: 0.020% 이하, Ca: 0 내지 0.0040%, Mg: 0 내지 0.0040%, B: 0 내지 0.0040% 및 잔부는 Fe 및 불순물로 이루어지고, 식 (1)을 만족시키는 화학 조성과, 35 내지 65체적%의 페라이트상 및 잔부는

오스테나이트상으로 이루어지는 마이크로 조직을 함유한다. 본 개시에 의한 2상 스테인리스강은, 페라이트상 내에 석출된 Cu의 면적률이, 0.5% 이하이다.

$$Cr+4.0\times Mo+2.0\times W+20\times N-5\times In(Cu)\geqq 65.2\cdots(1)$$

[0012]

[0013] 여기서, 식 (1) 중의 각 원소 기호에는, 각 원소의 함유량(질량%)이 대입된다.

[0014] 본 개시에 의한 2상 스테인리스강의 제조 방법은, 준비 공정과, 열간 가공 공정과, 냉각 공정과, 용체화 열처리 공정을 구비한다. 준비 공정에서는, 상술한 화학 조성을 갖는 소재를 준비한다. 열간 가공 공정에서는, 소재를, 850℃ 이상으로 열간 가공한다. 냉각 공정에서는, 열간 가공 후의 소재를 5℃/초 이상으로 냉각한다. 용체화 열처리 공정에서는, 냉각한 소재를 1070℃ 이상으로 용체화 열처리한다.

발명의 효과

[0015] 본 개시에 의한 2상 스테인리스강은, 우수한 내공식성을 갖는다. 본 개시에 의한 2상 스테인리스강의 제조 방법은, 상술한 2상 스테인리스강을 제조할 수 있다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0016] 본 발명자들은, 2상 스테인리스강의 내공식성을 높이는 방법에 대해 조사 및 검토를 행하였다. 그 결과, 이하의 지견을 얻었다.

[0017] Cr, Mo 및 Cu는, 2상 스테인리스강의 내공식성의 향상에 유효한 것이 알려져 있다. Cr, Mo 및 Cu 중, Cr 및 Mo가 2상 스테인리스강의 내공식성을 높이는 메커니즘은, 다음과 같이 생각되고 있다. Cr은, 산화물로서 2상 스테인리스강의 표면의 부동태 피막의 주성분이 된다. 부동태 피막은, 부식 인자와 2상 스테인리스강의 표면과의 접촉을 방해한다. 그 결과, 부동태 피막이 표면에 형성된 2상 스테인리스강은, 내공식성이 높아진다. Mo는, 부동태 피막에 함유되어, 부동태 피막의 내공식성을 더 높인다.

[0018] 한편, Cr, Mo 및 Cu 중, Cu가 2상 스테인리스강의 내공식성을 높이는 메커니즘은, 다음과 같이 생각된다. 공식이 생길 때까지는, 다음 2개의 스텝이 존재한다고 되어 있다. 최초의 스텝은, 공식의 발생(초기 단계)이다. 다음의 스텝은, 공식의 진전(진전 단계)이다. 종래, Cu는, 공식의 진전을 억제하는 효과가 있다고 생각되어 왔다. 특히, 산성 용액 중에 있어서는, 2상 스테인리스강의 표면에 용해 속도가 빠른 활성 사이트가 형성된다. Cu는, 그 활성 사이트를 피복하여, 2상 스테인리스강의 용해를 억제한다. 이에 의해, Cu는 2상 스테인리스강의 공식의 진전을 억제한다고 생각되어 왔다.

[0019] 이상의 메커니즘에 의해, 2상 스테인리스강에 있어서, Cr, Mo 및 Cu는, 내공식성의 향상에 유효한 원소라고 생각되어 왔다. 그 때문에, 종래 2상 스테인리스강에 있어서, Cr, Mo 및 Cu는, 내공식성을 높일 목적으로 적극적으로 함유되어 왔다. 그러나, 본 발명자들의 검토의 결과, 종래 알려져 있지 않았던 다음의 지견이 얻어졌다. 구체적으로는, 본 발명자들은, Cr, Mo 및 Cu 중에서, Cu는, 공식의 발생(초기 단계)에 있어서는, 오히려 내공식성을 저하시키는 경우가 있음을 알아내었다.

[0020] 표 1은, 후술하는 실시예에 있어서의, 시험 번호 2 및 5의 시험편의 화학 조성과, 내공식성의 지표인 공식 전위를 나타내는 표이다. 표 1의 화학 조성은, 후술하는 표 3으로부터, 시험 번호 2 및 5에 대응하는, 강종 B 및 E의 화학 조성에 대해 발췌하고, 2단으로 나누어 기재한 것이다. 표 1의 화학 조성은 질량%로 기재되어 있으며, 잔부는 Fe 및 불순물이다. 표 1의 공식 전위는, 대응하는 시험 번호의 공식 전위를, 후술하는 표 4로부터 발췌하여 기재한 것이다.

표 1

[0021]

시험 번호	강종	Cr	Mo	Ni	W	Cu	N	C	Si	Mn
2	B	28.10	3.11	5.31	4.19	0.14	0.421	0.016	0.49	0.97
5	E	27.53	2.61	6.97	4.31	0.04	0.419	0.016	0.48	0.92

시험 번호	강종	sol.Al	V	O	P	S	Ca	Mg	B
2	B	0.013	0.10	0.004	0.018	0.001	0.0025	0.0001	0.0019
5	E	0.017	0.10	0.005	0.016	0.001	0.0010	0.0025	0.0013

시험 번호	강종	공식 전위 (mVvs.SCE)
2	B	71
5	E	346

[0022] 표 1을 참조하여, 시험 번호 2의 시험편 Cu 함유량은, 시험 번호 5의 시험편 Cu 함유량과 비교하여 높았다. 또한, 시험 번호 2의 시험편 Cr 및 Mo 함유량은, 시험 번호 5의 시험편 Cr 및 Mo 함유량과 비교하여 높았다. 따라서, 종래의 지견에 기초하면, Cr, Mo 및 Cu의 함유량이 높은 시험 번호 2의 시험편의 쪽이, 시험 번호 5의 시험편보다 우수한 내공식성을 갖는 것을 예상할 수 있다. 그러나, 시험 번호 2의 시험편 내공식성의 지표인 공식 전위는 71mVvs.SCE이며, 시험 번호 5의 시험편 공식 전위 346mVvs.SCE보다 낮았다.

[0023] 즉, 종래의 지견으로부터, 시험 번호 5의 시험편보다 우수한 내공식성을 가질 것으로 예상되는 시험 번호 2의 시험편은, 시험 번호 5의 시험편보다, 오히려 내공식성이 저하되어 있었다. 따라서 본 발명자들은, 시험 번호 2 및 5의 시험편 마이크로 조직에 착안하여, 더욱 상세하게 조사하였다. 그 결과, 시험 번호 2의 시험편에서는, 시험 번호 5의 시험편보다, 페라이트상 내에 석출된 Cu의 면적률(페라이트상 내의 Cu 면적률이라고 함)이 높은 것이 밝혀졌다.

[0024] 그래서 본 발명자들은 또한, 페라이트상 내에 석출된 Cu가 2상 스테인리스강의 내공식성에 끼치는 영향에 대해, 상세하게 조사 및 검토하였다. 표 2는, 후술하는 실시예에 있어서의, 시험 번호 3 및 6의 시험편의 화학 조성과, 페라이트상 내의 Cu 면적률과, 내공식성의 지표인 공식 전위를 나타내는 표이다. 표 2의 화학 조성은, 후술하는 표 3으로부터, 시험 번호 3 및 6에 대응하는, 강종 C의 화학 조성에 대해 발췌하고, 2단으로 나누어 기재한 것이다. 표 2의 화학 조성은 질량%로 기재되어 있으며, 잔부는 Fe 및 불순물이다. 표 2의 페라이트상 내의 Cu 면적률은, 대응하는 시험 번호의 페라이트상 내의 Cu 면적률을, 후술하는 표 4로부터 발췌하여 기재한 것이다. 표 2의 공식 전위는, 대응하는 시험 번호의 공식 전위를, 후술하는 표 4로부터 발췌하여 기재한 것이다.

표 2

[0025]

시험 번호	강종	Cr	Mo	Ni	W	Cu	N	C	Si	Mn
3	C	28.24	2.96	5.76	4.25	0.08	0.416	0.014	0.51	0.91
6	C	28.24	2.96	5.76	4.25	0.08	0.416	0.014	0.51	0.91

시험 번호	강종	sol.Al	V	O	P	S	Ca	Mg	B
3	C	0.012	0.10	0.004	0.019	0.001	0.0015	0.0002	0.0012
6	C	0.012	0.10	0.004	0.019	0.001	0.0015	0.0002	0.0012

시험 번호	강종	페라이트상 내의 Cu 면적률(%)	공식 전위(mVvs.SCE)
3	C	0.7	-12
6	C	0	204

[0026] 표 2를 참조하여, 시험 번호 3의 시험편 및 시험 번호 6의 시험편의 화학 조성은 동일하였다. 한편, 시험 번호 6의 시험편은, 페라이트상 내의 Cu 면적률이, 시험 번호 3의 시험편 페라이트상 내의 Cu 면적률보다, 낮았다. 그 결과, 시험 번호 6의 시험편 공식 전위는 204mVvs.SCE이며, 시험 번호 3의 시험편 공식 전위-12mVvs.SCE와 비교하여 높았다. 즉, 시험 번호 6의 시험편에서는, 페라이트상 내의 Cu의 석출이 저감된 결과, 시험 번호 3의 시험편보다 우수한 내공식성을 갖고 있었다.

[0027] 상술한 바와 같이, 종래, Cr, Mo 및 Cu의 함유량을 높이면, 내공식성이 높아진다고 생각되어 왔다. 그러나, Cr, Mo 및 Cu 중에서 Cu는, 오히려 내공식성을 저하시킬 가능성이 있음을 본 발명자들은 처음으로 알아내었다. 본 발명자들은 또한, 페라이트상 내의 Cu의 석출량을 저감시키면, 내공식성을 높일 수 있다는, 종래 전혀 알려져 있지 않은 지견을 얻었다.

[0028] 페라이트상 내에 석출된 Cu가, 2상 스테인리스강의 내공식성을 저하시키는 상세한 이유는 밝혀지지 않고 있다. 그러나, 본 발명자들은, 다음과 같이 생각하고 있다. 페라이트상 내에 석출된 Cu는, 부동태 피막이 균일한 형성을 저해하고 있을 가능성이 있다. 그 때문에, 페라이트상 내에 석출된 Cu양이 많은 경우, 부동태 피막에 의한, 부식 인자와 2상 스테인리스강의 표면과의 접촉을 억제하는 효과를 저하시킬 가능성이 있다. 그 결과, 2상 스테인리스강의 표면에 있어서, 공식이 발생된다고 생각하고 있다.

[0029] 이상의 지견에 기초하여 완성된 본 실시 형태에 따른 2상 스테인리스강은, 질량%로, Cr: 27.00% 초과 내지 29.00%, Mo: 2.50 내지 3.50%, Ni: 5.00 내지 8.00%, W: 4.00 내지 6.00%, Cu: 0.01 내지 0.10% 미만, N: 0.400% 초과 내지 0.600%, C: 0.030% 이하, Si: 1.00% 이하, Mn: 1.00% 이하, sol. Al: 0.040% 이하, V: 0.50% 이하, O: 0.010% 이하, P: 0.030% 이하, S: 0.020% 이하, Ca: 0 내지 0.0040%, Mg: 0 내지 0.0040%, B: 0 내지 0.0040% 및 잔부는 Fe 및 불순물로 이루어지고, 식 (1)을 만족시키는 화학 조성과, 35 내지 65 체적%의 페라이트상 및 잔부는 오스테나이트상으로 이루어지는 마이크로 조직을 함유한다. 본 실시 형태에 따른 2상 스테인리스강은, 페라이트상 내에 석출된 Cu의 면적률이, 0.5% 이하이다.

[0030] $$Cr+4.0\times Mo+2.0\times W+20\times N-5\times In(Cu)\geqq 65.2 \cdots (1)$$

[0031] 여기서, 식 (1) 중의 각 원소 기호에는, 각 원소의 함유량(질량%)이 대입된다.

[0032] 본 실시 형태에 따른 2상 스테인리스강은, 상술한 화학 조성과 상술한 마이크로 조직을 갖고, 또한, 페라이트상 내의 Cu의 면적률이 0.5% 이하이다. 그 결과, 본 실시 형태에 따른 2상 스테인리스강은, 우수한 내공식성을 갖는다.

[0033] 바람직하게는, 상기 화학 조성은 질량%로, Ca: 0.0001 내지 0.0040%, Mg: 0.0001 내지 0.0040% 및 B: 0.0001 내지 0.0040%로 이루어지는 군으로부터 선택되는 1종 또는 2종 이상을 함유한다.

[0034] 이 경우, 본 실시 형태에 따른 2상 스테인리스강의 열간 가공성이 높아진다.

[0035] 본 실시 형태에 따른 2상 스테인리스강의 제조 방법은, 준비 공정과, 열간 가공 공정과, 냉각 공정과, 용체화 열처리 공정을 구비한다. 준비 공정에서는, 상술한 화학 조성을 갖는 소재를 준비한다. 열간 가공 공정에서는 소재를, 850℃ 이상에서 열간 가공한다. 냉각 공정에서는, 열간 가공 후의 소재를 5℃/초 이상에서 냉각시킨다. 용체화 열처리 공정에서는, 냉각시킨 소재를, 1070℃ 이상에서 용체화 열처리한다.

[0036] 본 실시 형태에 따른 제조 방법에 의해 제조된 2상 스테인리스강은, 상술한 화학 조성과 상술한 마이크로 조직을 갖고, 또한, 페라이트상 내의 Cu의 면적률이 0.5% 이하이다. 그 결과, 본 실시 형태에 따른 제조 방법에 의해 제조된 2상 스테인리스강은, 우수한 내공식성을 갖는다.

[0037] 이하, 본 실시 형태에 따른 2상 스테인리스강에 대해 상세하게 설명한다.

[0038] [화학 조성]

[0039] 본 실시 형태에 따른 2상 스테인리스강의 화학 조성은, 다음 원소를 함유한다. 또한, 특별히 정함이 없는 한, 원소에 관한 %는 질량%를 의미한다.

[0040] [필수 원소에 대해]

[0041] 본 실시 형태에 따른 2상 스테인리스강의 화학 조성은, 다음의 원소를 필수로 함유한다.

[0042] Cr: 27.00% 초과 내지 29.00%

[0043] 크롬(Cr)은, 산화물로서 2상 스테인리스강의 표면에 부동태 피막을 형성한다. 부동태 피막은, 부식 인자와 2상 스테인리스강의 표면과의 접촉을 방해한다. 그 결과, 2상 스테인리스강의 공식의 발생이 억제된다. Cr은 또한, 2상 스테인리스강의 페라이트 조직을 얻기 위해 필요한 원소이다. 충분한 페라이트 조직을 얻음으로써, 안정된 내공식성이 얻어진다. Cr 함유량이 너무 낮으면, 이러한 효과를 얻지 못한다. 한편, Cr 함유량이 너무 높으면, 2상 스테인리스강의 열간 가공성이 저하된다. 따라서, Cr 함유량은 27.00% 초과 내지 29.00%이다. Cr 함유량의 바람직한 하한은 27.50%이고, 보다 바람직하게는 28.00%이다. Cr 함유량의 바람직한 상한은 28.50%이다.

[0044] Mo: 2.50 내지 3.50%

[0045] 몰리브덴(Mo)은, 부동태 피막에 함유되어, 부동태 피막의 내식성을 더욱 높인다. 그 결과, 2상 스테인리스강의 내공식성을 높인다. Mo 함유량이 너무 낮으면, 이 효과를 얻지 못한다. 한편, Mo 함유량이 너무 높으면, 2상 스테인리스강을 포함하는 강관을 조립하거나 하는 경우의 가공성이 저하된다. 따라서, Mo 함유량은 2.50 내지 3.50%이다. Mo 함유량의 바람직한 하한은 2.80%이고, 보다 바람직하게는 3.00%이다. Mo 함유량의 바람직한 상한은 3.30%이다.

[0046] Ni: 5.00 내지 8.00%

[0047] 니켈(Ni)은, 오스테나이트 안정화 원소이며, 페라이트·오스테나이트의 2상 조직을 얻기 위해 필요한 원소이다. Ni 함유량이 너무 낮으면, 이 효과를 얻지 못한다. 한편, Ni 함유량이 너무 높으면, 페라이트상과 오스테나이트상의 밸런스가 얻어지지 않는다. 이 경우, 안정되게 2상 스테인리스강이 얻어지지 않는다. 따라서, Ni 함유량은 5.00 내지 8.00%이다. Ni 함유량의 바람직한 하한은 5.50%이고, 보다 바람직하게는 6.00%이다. Ni 함유량의 바람직한 상한은 7.50%이다.

[0048] W: 4.00 내지 6.00%

[0049] 텅스텐(W)은, Mo와 마찬가지로 부동태 피막에 함유되어, 부동태 피막의 내식성을 더욱 높인다. 그 결과, 2상 스테인리스강의 공식의 발생을 억제한다. W 함유량이 너무 낮으면, 이 효과를 얻지 못한다. 한편, W 함유량이 너무 높으면, σ상이 석출되기 쉬워져, 인성이 저하된다. 따라서, W 함유량은 4.00 내지 6.00%이다. W 함유량의 바람직한 하한은 4.50%이다. W 함유량의 바람직한 상한은 5.50%이다.

[0050] Cu: 0.01 내지 0.10% 미만

[0051] 구리(Cu)는, 공식의 진전(진전 단계)을 억제하는 데 유효한 원소이다. Cu 함유량이 너무 낮으면, 이 효과를 얻지 못한다. 한편, Cr, Mo 및 Cu 중에서, Cu는, 공식의 발생(초기 단계)에 있어서는, 내공식성을 저하시킨다. 따라서, 본 실시 형태의 2상 스테인리스강은, 종래 2상 스테인리스강보다 Cu 함유량을 저감시킨다. 그 결과, 페라이트상 내의 Cu의 석출을 억제하고, 2상 스테인리스강의 공식의 발생(초기 단계)을 억제한다. Cu 함유량이 너무 높으면, 페라이트상 내의 Cu 면적률이 너무 높아진다. 이 경우, 2상 스테인리스강의 내공식성이 저하된다. 따라서, Cu 함유량은 0.01 내지 0.10% 미만이다. Cu 함유량의 바람직한 상한은 0.07%이고, 보다 바람직하게는 0.05%이다.

[0052] N: 0.400% 초과 내지 0.600%

[0053] 질소(N)는, 오스테나이트 안정화 원소이며, 페라이트·오스테나이트의 2상 조직을 얻기 위해 필요한 원소이다. N은 또한, 2상 스테인리스강의 내공식성을 높인다. N 함유량이 너무 낮으면, 이들 효과를 얻지 못한다. 한편, N 함유량이 너무 높으면, 2상 스테인리스강의 인성 및 열간 가공성이 저하된다. 따라서, N 함유량은 0.400% 초과 내지 0.600%이다. N 함유량의 바람직한 하한은 0.420%이다. N 함유량의 바람직한 상한은 0.500%이다.

[0054] C: 0.030% 이하

[0055] 탄소(C)는 불가피적으로 함유된다. 즉, C 함유량은 0% 초과이다. C는 결정 입계에 Cr 탄화물을 형성하고, 입계에서의 부식 감수성을 증대시킨다. 따라서, C 함유량은 0.030% 이하이다. C 함유량의 바람직한 상한은 0.025%이고, 보다 바람직하게는 0.020%이다. C 함유량은 가능한 한 낮은 편이 바람직하다. 그러나, C 함유량의 극단적인 저감은, 제조 비용을 대폭 높인다. 따라서, 공업 생산을 고려한 경우, C 함유량의 바람직한 하한은 0.001%이고, 보다 바람직하게는 0.005%이다.

[0056] Si: 1.00% 이하

[0057] 실리콘(Si)은 강을 탈산한다. Si를 탈산제로서 사용하는 경우, Si 함유량은 0% 초과이다. 한편, Si 함유량이 너무 높으면, 2상 스테인리스강의 열간 가공성이 저하된다. 따라서, Si 함유량은 1.00% 이하이다. Si 함유량의 바람직한 상한은 0.80%이고, 보다 바람직하게는 0.70%이다. Si 함유량의 하한은 특별히 한정되지 않지만, 예를 들어 0.20%이다.

[0058] Mn: 1.00% 이하

[0059] 망간(Mn)은 강을 탈산한다. Mn을 탈산제로서 사용하는 경우, Mn 함유량은 0% 초과이다. 한편, Mn 함유량이 너무 높으면, 2상 스테인리스강의 열간 가공성이 저하된다. 따라서, Mn 함유량은 1.00% 이하이다. Mn 함유량의 바람직한 상한은 0.80%이고, 보다 바람직하게는 0.70%이다. Mn 함유량의 하한은 특별히 한정되지 않지만,

예를 들어 0.20%이다.

[0060] sol. Al: 0.040% 이하

[0061] 알루미늄(Al)은 강을 탈산한다. Al을 탈산제로서 사용하는 경우, Al 함유량은 0% 초과이다. 한편, Al 함유량이 너무 높으면, 2상 스테인리스강의 열간 가공성이 저하된다. 따라서, Al 함유량은 0.040% 이하이다. Al 함유량의 바람직한 상한은 0.030%이고, 보다 바람직하게는 0.025%이다. Al 함유량의 하한은 특별히 한정되지 않지만, 예를 들어 0.005%이다. 본 실시 형태에 있어서, Al 함유량이란, 산가용성 Al(sol. Al) 함유량을 가리킨다.

[0062] V: 0.50% 이하

[0063] 바나듐(V)은 불가피적으로 함유된다. 즉, V 함유량은 0% 초과이다. V 함유량이 너무 높으면, 페라이트상이 과도하게 증가하고, 2상 스테인리스강의 인성 및 내식성의 저하가 생기는 경우가 있다. 따라서, V 함유량은 0.50% 이하이다. V 함유량의 바람직한 상한은 0.40%이고, 보다 바람직하게는 0.30%이다. V 함유량의 하한은 특별히 한정되지 않지만, 예를 들어 0.05%이다.

[0064] O: 0.010% 이하

[0065] 산소(O)는 불순물이다. 즉, O 함유량은 0% 초과이다. O는 2상 스테인리스강의 열간 가공성을 저하시킨다. 따라서, O 함유량은 0.010% 이하이다. O 함유량의 바람직한 상한은 0.007%이고, 보다 바람직하게는 0.005%이다. O 함유량은 가능한 한 낮은 편이 바람직하다. 그러나, O 함유량의 극단적인 저감은, 제조 비용을 대폭 높인다. 따라서, 공업 생산을 고려한 경우, O 함유량의 바람직한 하한은 0.0001%이고, 보다 바람직하게는 0.0005%이다.

[0066] P: 0.030% 이하

[0067] 인(P)은 불순물이다. 즉, P 함유량은 0% 초과이다. P은 2상 스테인리스강의 내공식성 및 인성을 저하시킨다. 따라서, P 함유량은 0.030% 이하이다. P 함유량의 바람직한 상한은 0.025%이고, 보다 바람직하게는 0.020%이다. P 함유량은 가능한 한 낮은 편이 바람직하다. 그러나, P 함유량의 극단적인 저감은, 제조 비용을 대폭 높인다. 따라서, 공업 생산을 고려한 경우, P 함유량의 바람직한 하한은 0.001%이고, 보다 바람직하게는 0.005%이다.

[0068] S: 0.020% 이하

[0069] 황(S)은 불순물이다. 즉, S 함유량은 0% 초과이다. S는 2상 스테인리스강의 열간 가공성을 저하시킨다. 따라서, S 함유량은 0.020% 이하이다. S 함유량의 바람직한 상한은 0.010%이고, 보다 바람직하게는 0.005%이고, 더욱 바람직하게는 0.003%이다. S 함유량은 가능한 한 낮은 편이 바람직하다. 그러나, S 함유량의 극단적인 저감은, 제조 비용을 대폭 높인다. 따라서, 공업 생산을 고려한 경우, S 함유량의 바람직한 하한은 0.0001%이고, 보다 바람직하게는 0.0005%이다.

[0070] 본 실시 형태의 2상 스테인리스강의 화학 조성의 잔부는, Fe 및 불순물로 이루어진다. 여기서, 화학 조성에 있어서의 불순물이란, 2상 스테인리스강을 공업적으로 제조할 때, 원료로서의 광석, 스크랩, 또는 제조 환경 등으로부터 혼입되는 것으로서, 본 실시 형태에 따른 2상 스테인리스강에 악영향을 주지 않는 범위에서 허용됨을 의미한다.

[0071] [임의 원소에 대해]

[0072] 본 실시 형태에 따른 2상 스테인리스강의 화학 조성은, 다음 원소를 임의로 함유해도 된다.

[0073] Ca: 0 내지 0.0040%

[0074] 칼슘(Ca)은 임의 원소이며, 함유되어 있지 않아도 된다. 즉, Ca 함유량은 0%여도 된다. 함유되는 경우, Ca은 2상 스테인리스강의 열간 가공성을 높인다. Ca이 미세하게라도 함유되면, 이 효과가 어느 정도 얻어진다. 한편, Ca 함유량이 너무 높으면, 조대한 산화물이 생성되고, 2상 스테인리스강의 열간 가공성이 저하된다. 따라서, Ca 함유량은 0 내지 0.0040%이다. Ca 함유량의 바람직한 하한은 0.0001%이고, 보다 바람직하게는 0.0005%이고, 더욱 바람직하게는 0.0010%이다. Ca 함유량의 바람직한 상한은 0.0030%이다.

[0075] Mg: 0 내지 0.0040%

[0076] 마그네슘(Mg)은 임의 원소이며, 함유되어 있지 않아도 된다. 즉, Mg 함유량은 0%여도 된다. 함유되는 경우,

Mg은 Ca과 마찬가지로, 2상 스테인리스강의 열간 가공성을 높인다. Mg이 미세하게라도 함유되면, 이 효과가 어느 정도 얻어진다. 한편, Mg 함유량이 너무 높으면, 조대한 산화물이 생성되고, 2상 스테인리스강의 열간 가공성이 저하된다. 따라서, Mg 함유량은 0 내지 0.0040%이다. Mg 함유량의 바람직한 하한은 0.0001%이고, 보다 바람직하게는 0.0005%이고, 더욱 바람직하게는 0.0010%이다. Ca 함유량의 상한은, 바람직하게는 0.0030%이다.

[0077] B: 0 내지 0.0040%

[0078] 보론(B)은 임의 원소이며, 함유되어 있지 않아도 된다. 즉, B 함유량은 0%여도 된다. 함유되는 경우, B는 Ca 및 Mg와 마찬가지로, 2상 스테인리스강의 열간 가공성을 높인다. B가 미세하게라도 함유되면, 이 효과가 어느 정도 얻어진다. 한편, B 함유량이 너무 높으면, 2상 스테인리스강의 인성이 저하된다. 따라서, B 함유량은 0 내지 0.0040%이다. B 함유량의 바람직한 하한은 0.0001%이고, 보다 바람직하게는 0.0005%이고, 더욱 바람직하게는 0.0010%이다. Ca 함유량의 상한은, 바람직하게는 0.0030%이다.

[0079] [식 (1)에 대해]

[0080] 본 실시 형태에 따른 2상 스테인리스강의 화학 조성은, 상기 각 원소의 함유량을 만족시키며, 또한 다음의 식 (1)을 만족시킨다.

$$Cr+4.0\times Mo+2.0\times W+20\times N-5\times In(Cu)\geqq 65.2\cdots(1)$$

[0081]

[0082] 여기서, 식 (1) 중의 각 원소 기호에는, 각 원소의 함유량(질량%)이 대입된다.

[0083] F1=Cr+4.0×Mo+2.0×W+20×N-5×In(Cu)이라고 정의한다. F1은, 내공식성을 나타내는 지표이다. F1이 65.2 미만이면 2상 스테인리스강의 내공식성이 저하된다. 따라서, F1≥65.2이다. F1의 하한은, 바람직하게는 68.0이고, 보다 바람직하게는 69.0이고, 더욱 바람직하게는 70.0이다. F1의 상한은 특별히 한정되지 않지만, 예를 들어 90.0이다.

[0084] [마이크로 조직에 대해]

[0085] 본 실시 형태가 의한 2상 스테인리스강의 마이크로 조직은, 페라이트 및 오스테나이트로 이루어진다. 구체적으로는, 본 실시 형태에 따른 2상 스테인리스강의 마이크로 조직은, 35 내지 65체적%의 페라이트상 및 잔부는 오스테나이트상으로 이루어진다. 페라이트상의 체적률(이하, 페라이트 분율이라고도 함)이 35% 미만이면 사용 환경에 따라서는 응력 부식 균열이 일어날 가능성이 높아진다. 한편, 페라이트상의 체적률이 65%를 초과하는 경우, 2상 스테인리스강의 인성이 저하될 가능성이 높아진다. 그 때문에, 본 실시 형태의 2상 스테인리스강의 마이크로 조직은, 35 내지 65체적%의 페라이트상 및 잔부는 오스테나이트상을 포함한다.

[0086] [페라이트 분율의 측정 방법]

[0087] 본 실시 형태에 있어서, 2상 스테인리스강의 페라이트 분율은 다음의 방법으로 구할 수 있다. 먼저, 2상 스테인리스강으로부터 마이크로 조직 관찰용 시험편을 채취한다. 2상 스테인리스강이 강판이면, 강판의 판 폭 방향으로 수직인 단면(이하, 관찰면이라고 함)을 연마한다. 2상 스테인리스강이 강관이면, 강관의 축 방향과 두께 방향을 포함하는 단면(관찰면)을 연마한다. 2상 스테인리스강이 봉강 또는 선재이면, 봉강 또는 선재의 축 방향을 포함하는 단면(관찰면)을 연마한다. 다음에, 왕수와 글리세린의 혼합액을 사용하여, 연마 후의 관찰면을 에칭한다.

[0088] 에칭된 관찰면을 광학 현미경으로 10 시야 관찰한다. 시야 면적은, 예를 들어 2000μm^2(배율 500배)이다. 각 관찰 시야에 있어서, 페라이트와, 그 밖의 상은 콘트라스트로부터 구별할 수 있다. 그 때문에, 콘트라스트로부터 각 관찰에 있어서의 페라이트를 특정한다. 특정된 페라이트의 면적률을, JIS G0555(2003)에 준거한 점산법으로 측정한다. 측정된 면적률은, 체적 분율과 동등하다고 해서, 이것을 페라이트 분율(체적%)이라고 정의한다.

[0089] [페라이트상 내의 Cu 면적률에 대해]

[0090] 본 실시 형태에 따른 2상 스테인리스강의 페라이트상 내에 석출된 Cu의 면적률은, 0.5% 이하이다. 상술한 바와 같이, 2상 스테인리스강에 포함되는 Cu는, 2상 스테인리스강의 공식의 진전을 억제시키는 것으로 생각되고 있다. 그 때문에, 본 실시 형태에 따른 2상 스테인리스강에서는, Cu를 0.01 내지 0.10% 미만 함유시킨다. 한

편, Cu를 0.01 내지 0.10% 미만 함유하는 2상 스테인리스강에서는, 페라이트상 내에 금속 Cu가 석출되는 경우가 있다. 상술한 바와 같이, 페라이트상 내에 석출된 Cu는, 부동태 피막에 의한 공식의 발생을 억제하는 효과를, 저하시키는 것이 밝혀졌다. 즉, 페라이트상 내에 석출된 금속 Cu는, 2상 스테인리스강의 내공식성을 저하시킨다.

[0091] 그래서, 본 실시 형태에 따른 2상 스테인리스강은, 페라이트상 내의 Cu 면적률을 0.5% 이하로 저하시킨다. 그 때문에, 2상 스테인리스강의 공식의 발생이 억제된다. 페라이트상 내의 Cu 면적률은 낮을수록 바람직하다. 페라이트상 내의 Cu 면적률의 상한은, 바람직하게는 0.3%이고, 보다 바람직하게는 0.1%이다. 페라이트상 내의 Cu 면적률의 하한은 0.0%이다.

[0092] [페라이트상 내의 Cu 면적률의 측정 방법]

[0093] 본 명세서에서, 페라이트상 내의 Cu 면적률이란, 2상 스테인리스강의 마이크로 조직 중, 페라이트상 내에 석출된 Cu의, 페라이트상에 대한 면적률을 의미한다. 본 실시 형태에 있어서, 페라이트상 내의 Cu 면적률은 다음의 방법으로 측정할 수 있다. FIB-마이크로 샘플링법으로 투과 전자 현미경(TEM: Transmission Electron Microscope) 관찰용 박막 시료를 제작한다. 박막 시료의 제작에는, 집속 이온 빔 가공 장치(가부시키가이샤 히타치 하이테크 사이언스제, MI4050)를 사용한다. 2상 스테인리스강이 임의의 부분으로부터, TEM 관찰용 박막 시료를 제작한다. 박막 시료의 제작에는, Mo제 메쉬, 표면 보호막으로서 카본 데포막을 사용한다.

[0094] TEM 관찰에는 전해 방출형 투과 전자 현미경(니혼 덴시 가부시키가이샤제의 JEM-2100F)을 사용한다. 관찰 배율은 10000배로서 TEM 관찰을 행한다. 시야 내의 페라이트상 및 오스테나이트상이란, 콘트라스트가 다르다. 그래서, 콘트라스트에 기초하여, 결정 입계를 특정한다. 각 결정 입계에 둘러싸인 영역의 상을, X선 회절법(XRD: X-Ray Diffraction)에 의해 특정한다. 각 결정 입계에 둘러싸인 영역 중, 페라이트상과 특정된 영역의 면적을, 화상 해석에 의해 구할 수 있다.

[0095] 관찰 시야에 대해, 에너지 분산형 X선 분석법(EDS: Energy Dispersive X-ray Spectrometry)에 의한 원소 분석을 행하고, 원소 맵을 생성한다. 또한, 석출물은, 콘트라스트로부터 특정할 수 있다. 따라서, XRD에 의해 특정된 페라이트상 내에 있어서의, 콘트라스트에 기초하여 특정의 석출물이, 금속 Cu인 것은, EDS에 의해 특정할 수 있다.

[0096] 특정된 페라이트상 내에 석출된 Cu의 면적을, 화상 해석에 의해 구할 수 있다. 페라이트상 내에 석출된 Cu의 면적의 합계를, 페라이트상의 면적의 합계로 나눈다. 이와 같이 하여, 페라이트상 내의 Cu 면적률(%)을 측정한다.

[0097] 본 실시 형태에 따른 2상 스테인리스강은, 상술한, 식 (1)을 포함하는 화학 조성 및 페라이트상 내에 Cu 면적률을 포함하는 마이크로 조직의 모두를 만족시킨다. 그 때문에, 본 실시 형태에 따른 2상 스테인리스강은, 우수한 내공식성을 갖는다.

[0098] [항복 강도]

[0099] 본 실시 형태에 따른 2상 스테인리스강의 항복 강도는 특별히 한정되지 않는다. 그러나, 항복 강도가 750MPa 이하이면 제조 공정에 있어서 냉간 가공을 생략할 수 있다. 이 경우, 제조 비용을 저감할 수 있다. 따라서, 항복 강도는 750MPa 이하가 바람직하다. 보다 바람직하게는, 항복 강도는 720MPa 이하이다. 항복 강도의 하한은 특별히 한정되지 않지만, 예를 들어 300MPa이다.

[0100] [항복 강도의 측정 방법]

[0101] 본 명세서에서 항복 강도란, JIS Z2241(2011)에 준거한 방법으로 구해진 0.2% 내력을 의미한다.

[0102] [2상 스테인리스강의 형상]

[0103] 본 실시 형태에 따른 2상 스테인리스강의 형상은, 특별히 한정되지 않는다. 2상 스테인리스강은 예를 들어, 강관이어도 되고, 강판이어도 되고, 봉강이어도 되고, 선재여도 된다.

[0104] [제조 방법]

[0105] 본 실시 형태의 2상 스테인리스강은, 예를 들어 다음의 방법으로 제조할 수 있다. 제조 방법은, 준비 공정과, 열간 가공 공정과, 냉각 공정과, 용체화 열처리 공정을 구비한다.

[0106] [준비 공정]

[0107] 준비 공정에서는, 상술한 화학 조성을 갖는 소재를 준비한다. 소재는, 연속 주조법(라운드 CC를 포함함)에 의해 제조된 주편이어도 되고, 주편으로부터 제조된 강편이어도 된다. 또한, 조괴법에 의해 제조된 잉곳을 열간 가공하여 제조된 강편이어도 된다.

[0108] [열간 가공 공정]

[0109] 준비된 소재를 가열로 또는 균열로에 장입하고, 예를 들어 1150 내지 1300℃로 가열한다. 다음에, 가열된 소재를 열간 가공한다. 열간 가공은, 열간 단조여도 되고, 예를 들어 유진·세쥬루네법(Ugine-Sejournet) 또는 엘하르트 푸쉬 벤치법을 사용한 열간 압출이어도 되고, 열간 압연이어도 된다. 열간 가공은, 1회 실시해도 되고, 복수회 실시해도 된다.

[0110] 가열된 소재를, 850℃ 이상으로 열간 가공한다. 더 구체적으로는, 열간 가공 종료 시점의 강재 표면 온도가 850℃ 이상이다. 열간 가공 종료 시점의 강재 표면 온도가 850℃ 미만인 경우, 페라이트상 내에 Cu가 다량으로 석출한다. 그 결과, 후술하는 용체화 처리에 의해서도 페라이트상 내의 Cu 면적률을 충분히 저감할 수 없는 경우가 있다. 이 경우, 2상 스테인리스강의 내공식성이 저하된다. 따라서, 열간 가공 종료 시점의 강재 표면 온도는, 850℃ 이상이다. 열간 가공을 복수회 실시하는 경우에는, 최종 열간 가공 종료 시점의 강재 표면 온도가 850℃ 이상이다. 이에 의해, 열간 가공 종료 시점에 있어서, 페라이트상 내에 Cu가 석출되는 것을 억제할 수 있다. 열간 가공 종료 시점의 강재 표면 온도의 상한은 특별히 한정되지 않지만, 예를 들어 1300℃이다. 또한, 열간 가공 종료 시점이란, 열간 가공 종료 후 3초 이내를 의미한다.

[0111] [냉각 공정]

[0112] 다음에, 열간 가공 후의 소재를 5℃/초 이상에서 냉각한다. 850℃ 부근에서, 페라이트상 내에 Cu가 석출되기 시작한다. 그 때문에, 열간 가공 후의 냉각 너무 속도가 느리면, 페라이트상 내에 Cu가 다량으로 석출된다. 그 결과, 후술하는 용체화 처리에 의해서도 페라이트상 내의 Cu 면적률을 충분히 저감할 수 없는 경우가 있다. 이 경우, 2상 스테인리스강의 내공식성이 저하된다. 따라서, 열간 가공 후의 냉각 속도는, 5℃/초 이상이다. 여기서, 열간 가공을 복수회 실시하는 경우에는, 열간 가공 후란, 최종의 열간 가공 후를 의미한다. 즉, 본 실시 형태에 있어서는, 최종의 열간 가공 후의 소재를 5℃/이상에서 냉각한다. 냉각 속도의 상한은 특별히 한정되지 않는다. 냉각 방법은 예를 들어, 공랭, 수랭, 유랭 등이다.

[0113] [용체화 열처리 공정]

[0114] 계속해서, 냉각시킨 소재를, 1070℃ 이상에서 용체화 열처리한다. 용체화 열처리에 의해, 페라이트상 내에 석출된 Cu를 고용시킨다. 열간 가공 종료 시점 및 냉각 후에 있어서의 페라이트상 내의 Cu 석출이 충분히 억제된 소재를, 1070℃ 이상으로 용체화 열처리함으로써, 페라이트상 내의 Cu 면적률을 0.5% 이하로 할 수 있다. 용체화 열처리 온도의 상한은 특별히 한정되지 않지만, 예를 들어 1150℃이다. 용체화 열처리의 처리 시간은 특별히 한정되지 않는다. 용체화 열처리의 처리 시간은 예를 들어, 1 내지 30분이다.

[0115] 이상의 공정에 의해, 본 실시 형태에 따른 2상 스테인리스강을 제조할 수 있다. 또한, 본 실시 형태에 있어서는, 제조 비용이 높아지는 점에서, 냉간 가공은 행하지 않은 것이 바람직하다.

[0116] **실시예**

[0117] 표 3에 나타내는 화학 조성을 갖는 합금을 50kg의 진공 용해로에서 용제하고, 얻어진 잉곳을 1200℃로 가열하여, 열간 단조 및 열간 압연을 실시하여 두께 10㎜의 강판에 가공하였다. 표 4에 나타내는, 압연 종료 시 온도란, 열간 압연 종료 시점의 강판 표면 온도이다. 표 4에 나타내는, 압연 후 냉각 속도란, 열간 압연 후의 냉각 속도이다. 또한, 강판을 표 4에 나타내는 용체화 온도(℃)에서 용체화 처리하여, 각 시험 번호의 시험편을 얻었다.

표 3

강종	화학 조성(단위는 질량%, 잔부는 Fe 및 불순물)															F1
	Cr	Mo	Ni	W	Cu	N	C	Si	Mn	sol.Al	V	O	P	S	Ca	Mg	B	
A	27.14	3.21	6.21	4.10	0.50	0.406	0.015	0.50	0.98	0.017	0.10	0.003	0.019	0.001	0.0019	0.0021	0.0017	59.8
B	28.10	3.11	5.31	4.19	0.14	0.421	0.016	0.49	0.97	0.013	0.10	0.004	0.018	0.001	0.0025	0.0001	0.0019	67.2
C	28.24	2.96	5.76	4.25	0.08	0.416	0.014	0.51	0.91	0.012	0.10	0.004	0.019	0.001	0.0015	0.0002	0.0012	69.5
D	27.01	2.50	5.29	4.00	0.09	0.401	0.017	0.52	0.92	0.014	0.10	0.005	0.017	0.001	0.0027	0.0034	0.0015	65.1
E	27.53	2.61	6.97	4.31	0.04	0.419	0.016	0.48	0.92	0.017	0.10	0.005	0.016	0.001	0.0010	0.0025	0.0013	71.1
F	27.88	3.05	5.34	5.61	0.07	0.501	0.016	0.49	0.94	0.015	0.11	0.003	0.017	0.001	–	–	–	74.6
G	28.71	3.45	7.21	4.37	0.08	0.457	0.014	0.48	0.97	0.016	0.11	0.005	0.017	0.001	–	–	–	73.0
H	27.30	2.86	6.48	3.61	0.08	0.401	0.018	0.54	0.91	0.014	0.10	0.004	0.021	0.001	0.0018	0.0019	0.0021	66.6
I	27.04	2.23	7.62	4.19	0.07	0.405	0.016	0.51	0.92	0.019	0.11	0.003	0.023	0.001	0.0025	0.0014	0.0011	65.7
J	26.10	3.01	5.67	4.27	0.09	0.408	0.019	0.47	0.96	0.017	0.09	0.003	0.018	0.001	0.0013	0.0034	0.0017	66.9

[0118]

표 4

[0119]

시험 번호	강종	제조 조건			분석 결과			
		압연 종료시 온도 (℃)	압연 후 냉각 속도 (℃/초)	용체화 온도 (℃)	페라이트 분율 (체적%)	페라이트상 내의 Cu 면적률 (%)	공식 전위 Vc'_{100} (mVvs.SCE)	항복 강도 (MPa)
1	A	980	30	1120	44	0.8	-60	712
2	B	970	10	1100	48	0.6	71	680
3	C	1010	30	1050	39	0.7	-12	620
4	D	930	10	1100	43	0.1	85	719
5	E	950	30	1100	50	0.0	346	637
6	C	1000	30	1090	41	0.0	204	675
7	F	1020	10	1070	40	0.0	410	617
8	G	1060	10	1090	47	0.0	384	701
9	H	1050	10	1100	51	0.0	70	721
10	I	1100	30	1090	48	0.1	76	679
11	J	1040	10	1070	45	0.2	81	665
12	C	840	10	1070	44	1.1	-150	663
13	C	1000	3	1090	51	1.6	-71	714

[0120] [페라이트 분율 측정 시험]

[0121] 각 시험 번호의 시험편에 대해, 상술한 방법으로 페라이트 분율(체적%)을 측정하였다. 결과를 표 4에 나타낸다. 또한, 각 시험 번호의 시험편 마이크로 조직 잔부는, 오스테나이트상이었다.

[0122] [페라이트상 내의 Cu 면적률의 측정 시험]

[0123] 각 시험 번호의 시험편에 대해, 상술한 방법으로 페라이트상 내의 Cu 면적률(%)을 측정하였다. 결과를 표 4에 나타낸다.

[0124] [공식 전위 측정 시험]

[0125] 용체화 처리 후의 각 시험 번호의 시험편 공식 전위를 측정하였다. 먼저, 시험편을 기계 가공하여 직경 15㎜, 두께 2㎜의 시험편으로 하였다. 얻어진 시험편을 사용하여, 80℃, 25% NaClaq. 중에서 공식 전위를 측정하였다. 시험 온도 및 NaCl 농도 이외의 조건은, JIS G0577(2014)에 준하여 행하였다. 각 시험 번호의 시험편 공식 전위 Vc'_{100}의 측정 결과를 표 4에 나타낸다.

[0126] [인장 시험]

[0127] 각 시험 번호의 시험편에 대해, JIS Z2241(2011)에 준거한 방법에서, 0.2% 내력을 구하였다. 결과를 표 4에 나타낸다.

[0128] [평가 결과]

[0129] 표 3 및 표 4를 참조하여, 시험 번호 5 내지 8의 시험편은, 화학 조성이 적절하고, 또한, 제조 조건이 적절하였다. 그 때문에, 시험 번호 5 내지 8의 시험편은, 페라이트 분율이 35 내지 65체적%이며 잔부가 오스테나이트상으로 이루어지는 2상 스테인리스강이며, 또한, 페라이트상 내의 Cu 면적률이 0.5% 이하였다. 그 결과, 시험 번호 5 내지 8의 강판 공식 전위(mVvs.SCE)는 100 이상으로 되어, 우수한 내공식성을 나타내었다.

[0130] 한편, 시험 번호 1의 시험편에서는, Cu 함유량이 너무 높았다. 시험 번호 1의 시험편에서는 또한, F1이 59.8이며, 식 (1)을 만족시키지 않았다. 그 때문에, 시험 번호 1의 시험편 페라이트상 내의 Cu 면적률은, 0.8%였다. 그 결과, 시험 번호 1의 시험편 공식 전위(mVvs.SCE)는 -60이며, 우수한 내공식성을 나타내지 않았다.

[0131] 시험 번호 2의 시험편에서는, Cu 함유량이 너무 높았다. 그 때문에, 시험 번호 2의 시험편 페라이트상 내의 Cu 면적률은, 0.6%였다. 그 결과, 시험 번호 2의 시험편 공식 전위(mVvs.SCE)는 71이며, 우수한 내공식성을 나타내지 않았다.

[0132] 시험 번호 3의 시험편에서는, 용체화 온도가 1050℃이고, 너무 낮았다. 그 때문에, 시험 번호 3의 시험편 페라이트상 내의 Cu 면적률은, 0.7%였다. 그 결과, 시험 번호 3의 시험편 공식 전위(mVvs.SCE)는 -12이며, 우수한

내공식성을 나타내지 않았다.

[0133] 시험 번호 4의 시험편에서는, 각 원소의 함유량은 적절하였지만, F1이 65.1이며, 식 (1)을 만족시키지 않았다. 그 결과, 시험 번호 4의 시험편 공식 전위(mVvs.SCE)는 85이며, 우수한 내공식성을 나타내지 않았다.

[0134] 시험 번호 9의 시험편에서는, W 함유량이 너무 낮았다. 그 결과, 시험 번호 9의 시험편 공식 전위(mVvs.SCE)는 70이며, 우수한 내공식성을 나타내지 않았다.

[0135] 시험 번호 10의 시험편에서는, Mo 함유량이 너무 낮았다. 그 결과, 시험 번호 10의 시험편 공식 전위(mVvs.SCE)는 76이며, 우수한 내공식성을 나타내지 않았다.

[0136] 시험 번호 11의 시험편에서는, Cr 함유량이 너무 낮았다. 그 결과, 시험 번호 11의 시험편 공식 전위(mVvs.SCE)는 81이며, 우수한 내공식성을 나타내지 않았다.

[0137] 시험 번호 12의 시험편에서는, 열간 압연 종료 시의 온도가 840℃이고, 너무 낮았다. 그 때문에, 시험 번호 12의 시험편 페라이트상 내의 Cu 면적률은, 1.1%였다. 그 결과, 시험 번호 12의 시험편 공식 전위(mVvs.SCE)는 -150이며, 우수한 내공식성을 나타내지 않았다.

[0138] 시험 번호 13의 시험편은, 열간 압연 종료 후의 냉각 속도가 3℃/초이며, 너무 느렸다. 그 때문에, 시험 번호 13의 시험편 페라이트상 내의 Cu 면적률은, 1.6%였다. 그 결과, 시험 번호 13의 시험편 공식 전위(mVvs.SCE)는 -71이며, 우수한 내공식성을 나타내지 않았다.

[0139] 이상, 본 발명의 실시 형태를 설명하였다. 그러나, 상술한 실시 형태는 본 발명을 실시하기 위한 예시에 지나지 않는다. 따라서, 본 발명은 상술한 실시 형태에 한정되지 않고, 그 취지를 일탈하지 않는 범위 내에서 상술한 실시 형태를 적절하게 변경하여 실시할 수 있다.