(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2020-0001625
(43) 공개일자 2020년01월06일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
C22C 38/58 (2006.01) *C22C 30/00* (2006.01)
C22C 38/00 (2006.01) *C22C 38/04* (2006.01)
C22C 38/12 (2006.01) *C22C 38/44* (2006.01)
C22C 38/48 (2006.01)
(52) CPC특허분류
C22C 38/58 (2013.01)
C22C 30/00 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2019-7038711(분할)
(22) 출원일자(국제) 2012년05월24일
심사청구일자 없음
(62) 원출원 특허 10-2018-7022259
원출원일자(국제) 2012년05월24일
심사청구일자 2018년08월31일
(85) 번역문제출일자 2019년12월27일
(86) 국제출원번호 PCT/SG2012/000183
(87) 국제공개번호 WO 2012/161661
국제공개일자 2012년11월29일
(30) 우선권주장
201103887-4 2011년05월26일 싱가포르(SG)

(71) 출원인
유나이티드 파이프라인스 아시아 패시픽 피티이 리미티드
싱가포르 싱가포르 048623 싱가포르 랜드 타워 # 32-01 라플스 플레이스 50
(72) 발명자
로스코에, 세실 베르논
싱가포르 싱가포르 048623 싱가포르 랜드 타워 #32-01 라플스 플레이스 50 유나이티드 파이프라인스 아시아 패시픽 피티이 리미티드 내
(74) 대리인
특허법인 무한

전체 청구항 수 : 총 48 항

(54) 발명의 명칭 **오스테나이트계 스테인리스강**

(57) 요 약

본 발명은 오스테나이트계 스테인리스강에 관한 것이다. 기술된 구현예에서, 상기 오스테나이트계 스테인리스강은 16.00 wt%의 크롬 내지 30.00 wt%의 크롬; 8.00 wt%의 니켈 내지 27.00 wt%의 니켈; 7.00 wt% 이하의 몰리브덴; 0.40 wt%의 질소 내지 0.70 wt%의 질소, 1.0 wt%의 망간 내지 4.00 wt%의 망간, 및 0.10 wt% 미만의 탄소를 포함하고, 상기 망간 대 상기 질소의 비율은 10.0 이하로 조절된다. 특정 최소값의 PRE_N을 기반으로 하는 오스테나이트계 스테인리스강이 개시된다.

(1) PRE = wt% Cr + 3.3 × wt% (Mo) + 16 wt% N, ≥ 25 (0.40 - 0.70 범위의 N에 대해)

(2) PRE = wt% Cr + 3.3 × wt% (Mo+W) + 16 wt%N, ≥ 27 (W의 존재와 함께, 0.40 - 0.70 범위의 N에 대해)

(52) CPC특허분류
C22C 38/001 (2013.01)
C22C 38/04 (2013.01)
C22C 38/12 (2013.01)
C22C 38/44 (2013.01)
C22C 38/48 (2013.01)
C21D 2211/001 (2013.01)

명 세 서

청구범위

청구항 1

오스테나이트계 스테인리스강 베이스 메탈(base metal)로서,

상기 오스테나이트계 스테인리스강 베이스 메탈은

16.00 wt% 내지 30.00 wt%의 크롬 (Cr);

8.00 wt% 내지 27.00 wt%의 니켈 (Ni);

7.00 wt% 이하의 몰리브덴 (Mo);

0.40 wt% 내지 0.70 wt%의 질소 (N);

1.0 wt% 내지 4.00 wt% 미만의 망간 (Mn);

1.0 wt % 이하의 니오븀 (Nb);

0.10 wt% 미만의 탄소(C);

2.00 wt % 이하의 실리콘(Si);

0.070 wt% 이하의 산소;

0.03 wt% 이상 및 0.08 wt% 이하의 세륨; 및

잔량의 철 및 불순물;을 포함하는, 비자성 오스테나이트 베이스 메탈 미세구조를 갖고,

상기 Mo, Nb, C 및 Si의 wt %는 0이 아니며,

상기 망간 (Mn) 대 상기 질소 (N)의 비율이 2.85 이상 및 7.50 이하로 조절되며,

크롬 당량 [Cr] 대 니켈 당량 [Ni] 비율이 0.40 초과 및 1.05 미만에서 결정되고 조절되고,

상기 크롬 당량 [Cr]은, 하기의 식 1에 따라 결정되고 조절되며,

상기 니켈 당량 [Ni]은, 하기의 식 2에 따라 결정되고 조절되는 것이고,

니켈 당량 [Ni]으로 나눈 크롬 당량 [Cr]의 비율은, 1100 ℃ 내지 1250 ℃ 범위 내에서 수행되는 용액 열처리 (solution heat treatment), 및 이어서 수냉(water quenching) 후, 스테인리스 강의 베이스 메탈 내에 비자성 오스테나이트의 미세구조(non-magnetic austenitic microstructure)를 주로 수득하기 위해 용융 상태에서 최적화되는 것인, 오스테나이트계 스테인리스강 베이스 메탈:

[식 1]

$$[Cr] = (wt\%\ Cr) + (1.5 \times wt\%\ Si) + (1.4 \times wt\%\ Mo) + (wt\%\ Nb) - 4.99$$

[식 2]

$$[Ni] = (wt\ \%\ Ni) + (30 \times wt\ \%\ C) + (0.5 \times wt\ \%\ Mn) + ((26 \times wt\ \%\ (N - 0.02)) + 2.77.$$

청구항 2

제1항에 있어서,

0.030 wt% 이하의 탄소를 더 포함하는, 오스테나이트계 스테인리스강 베이스 메탈.

청구항 3

제1항에 있어서,

0.020 wt% 내지 0.030 wt%의 탄소를 더 포함하는, 오스테나이트계 스테인리스강 베이스 메탈.

청구항 4

제1항에 있어서,

2.0 wt% 내지 4.00 wt% 미만의 Mn을 더 포함하는, 오스테나이트계 스테인리스강 베이스 메탈.

청구항 5

제1항에 있어서,

1.0 wt% 내지 3.0 wt%의 망간을 더 포함하는, 오스테나이트계 스테인리스강 베이스 메탈.

청구항 6

제1에 있어서,

상기 망간 대 상기 질소의 비율이 2.85 이상 및 6.25 이하로 조절되는 것인, 오스테나이트계 스테인리스강 베이스 메탈.

청구항 7

제1항에 있어서,

0.030 wt% 이하의 인을 더 포함하는 것인, 오스테나이트계 스테인리스강 베이스 메탈.

청구항 8

제1항에 있어서,

0.010 wt% 이하의 황을 더 포함하는 것인, 오스테나이트계 스테인리스강 베이스 메탈.

청구항 9

제1항에 있어서,

0.001 wt% 이하의 황을 더 포함하는 것인, 오스테나이트계 스테인리스강 베이스 메탈.

청구항 10

제1항에 있어서,

상기 산소는 0.050 wt% 이하의 산소인 것인, 오스테나이트계 스테인리스강 베이스 메탈.

청구항 11

제1항에 있어서,

0.75 wt% 이하의 실리콘을 더 포함하는 것인, 오스테나이트계 스테인리스강 베이스 메탈.

청구항 12

제1항에 있어서,

상기 실리콘은 0.25 wt% 이상 및 0.75 wt% 이하의 실리콘인 것인, 오스테나이트계 스테인리스강 베이스 메탈.

청구항 13

제1항에 있어서,

상기 실리콘은 0.75 wt% 이상 Si 및 2.00 wt% 이하의 실리콘인 것인, 오스테나이트계 스테인리스강 베이스 메탈.

청구항 14

제1항에 있어서,

0.010 wt% 이하의 붕소를 더 포함하는 것인, 오스테나이트계 스테인리스강 베이스 메탈.

청구항 15

제1항에 있어서,

0.001 wt% 이상 및 0.010 wt% 이하의 붕소를 더 포함하는 것인, 오스테나이트계 스테인리스강.

청구항 16

제1항에 있어서,

0.050 wt% 이하의 알루미늄을 더 포함하는 것인, 오스테나이트계 스테인리스강 베이스 메탈.

청구항 17

제1항에 있어서,

0.005 wt% 이상 및 0.050 wt% 이하의 알루미늄을 더 포함하는 것인, 오스테나이트계 스테인리스강 베이스 메탈.

청구항 18

제1항에 있어서,

0.010 wt% 이하의 칼슘을 더 포함하는 것인, 오스테나이트계 스테인리스강 베이스 메탈.

청구항 19

제1항에 있어서,

0.001 wt% 이상 및 0.010 wt% 이하의 칼슘을 더 포함하는 것인, 오스테나이트계 스테인리스강 베이스 메탈.

청구항 20

제1항에 있어서,

0.010 wt% 이하의 마그네슘을 더 포함하는 것인, 오스테나이트계 스테인리스강 베이스 메탈.

청구항 21

제20항에 있어서,

0.001 wt% 이상 및 0.010 wt% 이하의 마그네슘을 더 포함하는 것인, 오스테나이트계 스테인리스강 베이스 메탈.

청구항 22

제1항에 있어서,

1.50 wt% 이하의 구리를 더 포함하는 것인, 오스테나이트계 스테인리스강 베이스 메탈.

청구항 23

제1항에 있어서,

1.50 wt% 이상 및 3.50 wt% 이하의 구리를 더 포함하는 것인, 오스테나이트계 스테인리스강 베이스 메탈.

청구항 24

제1항에 있어서,

2.00 wt% 이하의 텅스텐을 더 포함하는 것인, 오스테나이트계 스테인리스강 베이스 메탈.

청구항 25

제1항에 있어서,

0.50 wt% 이상 및 1.00 wt% 이하의 텅스텐을 더 포함하는 것인, 오스테나이트계 스테인리스강 베이스 메탈.

청구항 26

제1항에 있어서,

0.50 wt% 이하의 바나듐을 더 포함하는 것인, 오스테나이트계 스테인리스강 베이스 메탈.

청구항 27

제1항에 있어서,

0.10 wt% 이상 및 0.50 wt% 이하의 바나듐을 더 포함하는 것인, 오스테나이트계 스테인리스강 베이스 메탈.

청구항 28

제1항에 있어서,

0.040 wt% 탄소 이상 및 0.10 wt% 미만의 탄소를 더 포함하는 것인, 오스테나이트계 스테인리스강 베이스 메탈.

청구항 29

제1항에 있어서,

상기 탄소는 0.030 wt% 초과 및 0.08 wt% 이하의 탄소인 것인, 오스테나이트계 스테인리스강 베이스 메탈.

청구항 30

제28항에 있어서,

0.70 wt% 이하의 티타늄을 더 포함하는 것인, 오스테나이트계 스테인리스강 베이스 메탈.

청구항 31

제29항에 있어서,

0.70 wt % 이하의 티타늄을 더 포함하는 것인, 오스테나이트계 스테인리스강 베이스 메탈.

청구항 32

제30항에 있어서,

상기 티타늄은 Ti (min) 이상이고;

상기 Ti (min)은 4 × C (min)로 계산되고;

상기 C (min)는 탄소의 최소 함량인 것인, 오스테나이트계 스테인리스강 베이스 메탈.

청구항 33

제31항에 있어서,

상기 티타늄은 Ti (min) 이상이고;

상기 Ti (min)는 5 × C (min)로 계산되며;

상기 C (min)는 탄소의 최소 함량인 것인, 오스테나이트계 스테인리스강 베이스 메탈.

청구항 34

제28항에 있어서,

상기 니오븀은 Nb (min) 이상이며;

상기 Nb (min)은 8 × C (min)로 계산되고;

상기 C (min)는 탄소의 최소 함량인 것인, 오스테나이트계 스테인리스강 베이스 메탈.

청구항 35

제29항에 있어서,

상기 니오븀은 Nb (min) 이상이며;

상기 Nb (min)은 10 × C (min)로 계산되고;

상기 C (min)는 탄소의 최소 함량인 것인, 오스테나이트계 스테인리스강 베이스 메탈.

청구항 36

제34항에 있어서,

1.0 wt% 이하의 니오븀 플러스 탄탈 및 최대 0.10 wt%의 탄탈을 더 포함하는 것인, 오스테나이트계 스테인리스강 베이스 메탈.

청구항 37

제36항에 있어서,

상기 니오븀 및 탄탈은 Nb + Ta (min) 이상이고;

상기 Nb + Ta (min)은 8 × C (min)로부터 계산되고;

상기 C (min)은 탄소, (0.10 wt% Ta max와 함께)의 최소 함량인 것인, 오스테나이트계 스테인리스강 베이스 메탈.

청구항 38

제35항에 있어서,

1.0 wt % 이하의 니오븀 플러스 탄탈 및 최대 0.10 wt%의 탄탈을 더 포함하는 것인, 오스테나이트계 스테인리스강 베이스 메탈.

청구항 39

제38항에 있어서,

상기 니오븀 및 탄탈은 Nb + Ta (min) 이상이고;

상기 Nb + Ta (min)은 10 × C (min)로 계산되고;

상기 C (min)는 탄소의 최소 함량, (0.10 wt% Ta max와 함께)인 것인, 오스테나이트계 스테인리스강 베이스 메탈.

청구항 40

오스테나이트계 스테인리스강 베이스 메탈로서,

25 이상의 특정 내공식성지수 (Pitting resistance equivalent, PRE_N)를 갖는 합금 조성물 (alloy composition) 및 0.40 내지 0.70 wt%의 질소를 포함하는 비자성 오스테나이트 베이스 메탈 미세구조를 갖고,

상기 PRE_N은,

PRE_N = wt%의 크롬 + (3.3 × wt%의 몰리브덴) + (16 × wt%의 질소)이며,

상기 합금 조성물은,

16.00 wt% 내지 30.00 wt%의 크롬 (Cr); 8.00 wt% 내지 27.00 wt%의 니켈 (Ni); 7.00 wt% 이하의 몰리브덴 (Mo); 1.0 wt% 내지 4.00 wt% 이하의 망간 (Mn); 1.0 wt % 이하의 니오븀 (Nb); 0.10 wt% 미만의 탄소(C); 2.00 wt % 이하의 실리콘 (Si); 0.070 wt % 이하의 산소; 0.03 wt% 이상 및 0.08 wt% 이하의 세륨; 및 잔량의 철 및 필연적 불순물; 을 더 포함하고,

상기 Mo, Nb, C 및 Si의 wt %는 0이 아니며,

상기 망간 (Mn) 대 상기 질소 (N)의 비율이 2.85 이상 및 7.50 이하로 조절되며,

크롬 당량 [Cr] 대 니켈 당량 [Ni]의 비율이 0.40 초과 및 1.05 미만으로 결정되고 조절되고;

상기 크롬 당량 [Cr]은, 하기의 식 1에 따라 결정되고 조절되며;

상기 니켈 당량 [Ni]은, 하기의 식 2에 따라 결정되고 조절되고,

니켈 당량 [Ni]으로 나누어진 크롬 당량 [Cr]의 비율은, 1100 ℃ 내지 1250 ℃ 범위 내에서 수행되는 용액 열처리, 및 이어서 수냉 이후 스테인리스 강의 베이스 메탈 내에 비자성 오스테나이트의 미세구조를 주로 수득하기 위해 용융 상태에서 최적화되는 것인, 오스테나이트계 스테인리스강 베이스 메탈:

[식 1]

[Cr] = (wt% Cr) + (1.5 x wt% Si) + (1.4 x wt% Mo) + (wt% Nb)-4.99;

[식 2]

[Ni] = (wt% Ni) + (30 x wt% C) + (0.5 x wt% Mn) + ((26 x wt% (N - 0.02)) + 2.77.

청구항 41

오스테나이트계 스테인리스강 베이스 메탈로서,

25 이상의 특정 내공식성지수 (PRE_N)를 갖는 합금 조성물 및 0.40 내지 0.60 wt%의 질소를 포함하는 비자성 오스테나이트 베이스 메탈 미세구조를 갖고,

상기 PRE_N은,

PRE_N = wt%의 크롬 + (3.3 × wt%의 몰리브덴) + (16 × wt%의 질소)이며,

상기 합금 조성물은,

16.00 wt% 내지 30.00 wt%의 크롬 (Cr); 8.00 wt% 내지 27.00 wt%의 니켈 (Ni); 7.00 wt% 이하의 몰리브덴 (Mo); 1.0 wt% 내지 4.00 wt% 미만의 망간 (Mn); 1.0 wt % 이하의 니오븀 (Nb); 0.10 wt% 미만의 탄소(C); 2.00 wt % 이하의 실리콘 (Si); 0.070 wt % 이하의 산소; 0.03 wt% 이상 및 0.08 wt% 이하의 세륨; 및 잔량의 철 및 필연적 불순물; 을 더 포함하고,

상기 Mo, Nb, C 및 Si의 wt %는 0이 아니며,

상기 망간 (Mn) 대 상기 질소 (N)의 비율이 2.85 이상 및 7.50 이하로 조절되며,

크롬 당량 [Cr] 대 니켈 당량 [Ni]의 비율이 0.40 초과 및 1.05 미만에서 결정되고 조절되고;

상기 크롬 당량 [Cr]은, 하기의 식 1에 따라 결정되고 조절되며,

상기 니켈 당량 [Ni]은, 하기의 식 2에 따라 결정되고 조절되고,

니켈 당량 [Ni]으로 나누어진 크롬 당량 [Cr]의 비율은, 1100 ℃ 내지 1250 ℃ 범위 내에서 수행되는 용액 열처리, 및 이어서 수냉 이후 스테인리스 강의 베이스 메탈 내에 비자성 오스테나이트의 미세구조를 주로 수득하기 위해 용융 상태에서 최적화되는 것인, 오스테나이트계 스테인리스강 베이스 메탈:

[식 1]

[Cr] = (wt% Cr) + (1.5 x wt% Si) + (1.4 x wt% Mo) + (wt% Nb)-4.99

[식 2]

[Ni] = (wt% Ni) + (30 x wt% C) + (0.5 x wt% Mn) + ((26 x wt% (N - 0.02)) + 2.77.

청구항 42

오스테나이트계 스테인리스강 베이스 메탈로서,

27 이상의 특정 내공식성지수 (PRE_{NW})을 갖는 합금 조성물, 0.50 wt% 내지 1.00 wt%의 텅스텐 및 0.40 내지 0.70 wt%의 질소를 포함하는 비자성 오스테나이트 베이스 메탈 미세구조를 갖고,

상기 PRE_{NW}는,

PRE_{NW} = wt%의 크롬 + [(3.3 × wt% (몰리브덴 + 텅스텐)] + (16 × wt%의 질소)이며,

상기 합금 조성물은,

16.00 wt% 내지 30.00 wt%의 크롬 (Cr); 8.00 wt% 내지 27.00 wt%의 니켈 (Ni); 7.00 wt% 이하의 몰리브덴 (Mo); 1.0 wt% 내지 4.00 wt% 미만의 망간 (Mn); 1.0 wt % 이하의 니오븀 (Nb); 및 0.10 wt% 미만의 탄소(C); 2.00 wt % 이하의 실리콘 (Si); 0.070 wt % 이하의 산소; 0.03 wt% 이상 및 0.08 wt% 이하의 세륨; 및 잔량의 철 및 필연적 불순물;을 더 포함하고,

상기 Mo, Nb, C 및 Si의 wt %는 0이 아니며,

상기 망간 (Mn) 대 질소 (N) 비율이 2.85 이상 및 7.50 이하로 조절되며,

크롬 당량 [Cr] 대 니켈 당량 [Ni]의 비율이 0.40 초과 및 1.05 미만에서 결정되고 조절되며;

상기 크롬 당량 [Cr]은, 하기의 식 1에 따라 선택되고 조절되고,

상기 니켈 당량 [Ni]은, 하기의 식 2에 따라 선택되고 조절되고,

니켈 당량 [Ni]으로 나누어진 크롬 당량 [Cr]의 비율은, 1100 ℃ 내지 1250 ℃ 범위 내에서 수행되는 용액 열처리, 및 이어서 수냉 이후 스테인리스 강의 베이스 메탈 내에 비자성 오스테나이트의 미세구조를 주로 수득하기 위해 용융 상태에서 최적화되는 것인, 오스테나이트계 스테인리스강 베이스 메탈:

[식 1]

[Cr] = (wt% Cr) + (1.5 x wt% Si) + (1.4 x wt% Mo) + (wt % Nb)-4.99이고;

[식 2]

[Ni] = (wt% Ni) + (30 x wt% C) + (0.5 x wt% Mn) + ((26 x wt% (N - 0.02)) + 2.77.

청구항 43

오스테나이트계 스테인리스강 베이스 메탈로서,

27 이상의 특정 내공식성지수 (PRE_{NW})을 갖는 합금 조성, 0.40 내지 0.60 wt% 의 질소 및 0.50 wt % 내지 1.00 wt % 의 텅스텐을 포함하는 비자성 오스테나이트 베이스 메탈 미세구조를 갖고,

상기 PRE_{NW} 은,

PRE_{NW} = wt% 크롬 + [(3.3 × wt% (몰리브덴 + 텅스텐)] + (16 × wt% 질소)이며,

상기 합금 조성물은,

16.00 wt% 내지 30.00 wt%의 크롬 (Cr); 8.00 wt% 내지 27.00 wt%의 니켈 (Ni); 7.00 wt% 이하의 몰리브덴 (Mo); 1.0 wt% 내지 4.00 wt% 미만의 망간 (Mn); 1.0 wt % 이하의 니오븀 (Nb); 0.10 wt% 미만의 탄소(C); 2.00 wt % 이하의 실리콘 (Si); 0.070 wt % 이하의 산소; 0.03 wt% 이상 및 0.08 wt% 이하의 세륨; 및 잔량의 철 및 필연적 불순물; 을 더 포함하고,

상기 Mo, Nb, C 및 Si의 wt %는 0이 아니며,

상기 망간 (Mn) 대 질소 (N) 비율이 2.85 이상 및 7.50 이하로 조절되며,

크롬 당량 [Cr] 대 니켈 당량 [Ni] 비율이 0.40 초과 및 1.05 미만에서 선택되고 조절되며;

상기 크롬 당량 [Cr]은, 하기 식 1에서 따라 결정되고 조절되고,

상기 니켈 당량 [Ni]은, 하기의 식 2에 따라 결정되고 조절되고,

니켈 당량 [Ni]으로 나누어진 크롬 당량 [Cr]의 비율은, 1100 ℃ 내지 1250 ℃ 범위 내에서 수행되는 용액 열처리, 및 이어서 수냉 이후 스테인리스 강의 베이스 메탈 내에 비자성 오스테나이트의 미세구조를 주로 수득하기 위해 용융 상태에서 최적화되는 것인, 오스테나이트계 스테인리스강 베이스 메탈:

[식 1]

[Cr] = (wt% Cr) + (1.5 x wt% Si) + (1.4 x wt% Mo) + (wt% Nb)-4.99

[식 2]

[Ni] = (wt% Ni) + (30 x wt% C) + (0.5 x wt% Mn) + ((26 x wt% (N - 0.02)) + 2.77.

청구항 44

제1항에 있어서,

상기 크롬 당량 [Cr] 대 상기 니켈 당량 [Ni]의 비율은 0.45 이상 및 0.95 미만에서 결정되고 조절되는 것인, 오스테나이트계 스테인리스강 베이스 메탈.

청구항 45

제1항에 기재된 오스테나이트계 스테인리스강 베이스 메탈을 포함하는 연강 (Wrought steel).

청구항 46

제1항에 기재된 오스테나이트계 스테인리스강 베이스 메탈을 포함하는 주강 (Cast steel).

청구항 47

제1항에 있어서,

상기 크롬 당량 [Cr] 및 니켈 당량 [Ni]은 다음의 식에 의해서 더 정의되는, 오스테나이트계 스테인리스강 베이스 메탈:

크롬 당량:

[Cr] = (wt% Cr) + (1.5 x wt% Si) + (1.4 x wt% Mo) + (wt% Nb) + (0.72 x wt% W) + (2.27x wt% V) + (2.20x wt% Ti) + (0.21x wt% Ta) + (2.48x wt% Al)-4.99; 및

니켈 당량:

[Ni] = (wt% Ni) + (30 x wt% C) + (0.5 x wt% Mn) + ((26 x wt% (N - 0.02)) + (0.44% x wt% Cu) + 2.77

(상기 식에서, Nb, W, V, Ti, Ta, Al 및 Cu의 wt %는 0이 아니고, Nb = 니오븀 (Niobium); W = 텅스텐 (Tungsten); V = 바나듐 (Vanadium); Ti = 티타늄 (Titanium); Ta = 탄탈 (Tantalum); Al = 알루미늄 (Aluminium); 및 Cu = 구리 (Copper)이다).

청구항 48

오스테나이트계 스테인리스강 베이스 메탈의 제조방법으로서,

상기 오스테나이트계 스테인리스강 베이스 메탈은

16.00 wt% 내지 30.00 wt%의 크롬 (Cr); 8.00 wt% 내지 27.00 wt%의 니켈 (Ni); 7.00 wt% 이하의 몰리브덴 (Mo); 0.40 wt% 내지 0.70 wt%의 질소 (N); 1.0 wt% 내지 4.00 wt% 미만의 망간 (Mn); 1.0 wt % 이하의 니오븀 (Nb); 0.10 wt% 미만의 탄소(C); 2.00 wt % 이하의 실리콘(Si); 0.070 wt % 이하의 산소; 0.03 wt% 이상 및 0.08 wt% 이하의 세륨; 및 잔량의 철 및 필연적 불순물; 을 포함하는 비자성 오스테나이트 베이스 메탈 미세구조를 갖고,

상기 Mo, Nb, C 및 Si의 wt %는 0이 아니며,

상기 제조방법은

1100 ℃ 내지 1250 ℃ 사이의 온도에서 메탈 합금 조성물의 용액 열처리를 수행하고 이어서 수냉을 수행하는 단계를 포함하고,

스테인리스 스틸의 베이스 메탈 내에 비자성 오스테나이트의 미세구조를 수득하기 위해 용융 상태에서 니켈 당량 [Ni]으로 나누어진 크롬 당량 [Cr]의 비율이 최적화되고,

상기 용융 상태에서, 상기 망간 (Mn) 대 상기 질소 (N)의 비율이 2.85 이상 및 7.50 이하로 조절되며;

상기 크롬 당량 [Cr] 대 상기 니켈 당량 [Ni] 비율이 0.40 초과 및 1.05 미만에서 결정되고 조절되며,

상기 크롬 당량 [Cr]은, 하기의 식 1에 따라 결정되고 조절되고,

상기 니켈 당량 [Ni]은, 하기의 식 2에 따라 결정되고 조절되는 것인, 오스테나이트계 스테인리스강 베이스 메탈의 제조방법:

[식 1]

$$[Cr] = (wt\ \%\ Cr) + (1.5 \times wt\ \%\ Si) + (1.4 \times wt\ \%\ Mo) + (wt\ \%\ Nb) - 4.99$$

[식 2]

$$[Ni] = (wt\ \%\ Ni) + (30 \times wt\ \%\ C) + (0.5 \times wt\ \%\ Mn) + ((26 \times wt\ \%\ (N - 0.02)) + 2.77.$$

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 오스테나이트계 스테인리스강 (Austenitic Stainless Steel)에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 통상적으로, UNS S30403 (304L) 및 UNS S30453 (304LN)와 같은, 300 시리즈 오스테나이트계 스테인리스강 (300 series Austenitic Stainless Steels)은 하기의 표 1에 기술된 바와 같은 중량 백분율 내로 특정화된 화학적 조성 (chemical compositions)을 가진다:

[0003] [표 1]

UNS No	Type		C	Mn	P	S	Si	Cr	Ni	Mo	N
S 30403	304L	MIN						17.50	8.00		
		MAX	0.030	2.00	0.045	0.030	0.75	19.50	12.00	...	0.10

UNS No	Type		C	Mn	P	S	Si	Cr	Ni	Mo	N
S 30453	304LN	MIN						18.00	8.00		0.10
		MAX	0.030	2.00	0.045	0.030	0.75	20.00	12.00	...	0.16

[0004]

[0006] 이들의 특정 사양의 범위에 관련된 상기 언급한 종래의 오스테나이트계 스테인리스강에 많은 문제점이 있다. 이는, 좋은 부식 저항성과 기계적 강도 특성 (mechanical strength properties)의 우수한 조합을 제공하도록 합금의 특성을 최적화하는데 필수적인, 용융 단계에서의 화학적 분석에 대한 적절한 조절을 결여시킬 수 있다.

[0008] UNS S30403 및 UNS S30453와 같은 합금으로 획득된 기계적 특성은 최적화되지 않고, 22 Cr 듀플렉스 스테인리스강; 및 25 Cr 듀플렉스 및 25 Cr 슈퍼 듀플렉스 스테인리스강과 같은 다른 일반적 스테인리스강과 비교시 상대적으로 낮다. 이는, 전형적인 등급의 22 Cr 듀플렉스, 25 Cr 듀플렉스 및 25Cr 슈퍼 듀플렉스 스테인리스강과 이러한 통상적인 오스테나이트계 스테인리스강의 특성을 비교하여 표 2에 제시하였다.

[0009] [표 2]

[0010] 오스테나이트계 스테인리스강의 기계적 특성

UNS No	Type	Tensile Strength Min		Yield Strength Min		Elongation 2in or 50mm Min	Hardness Note 2 Max	
		Ksi	MPa	Ksi	MPa	%	Brinell	Rockwell B
S30403	304L	70	485	25	170	40	201	92
S30453	304LN	75	515	30	205	40	217	95

[0011]

[0013] 22Cr 듀플렉스 스테인리스강의 기계적 특성

UNS No	Type	Tensile Strength Min		Yield Strength Min		Elongation 2in or 50mm Min	Hardness Note 2 Max	
		Ksi	MPa	Ksi	MPa	%	Brinell	Rockwell C
S31803	2205	90	620	65	450	25	293	31
S32205	2205	95	655	65	450	25	293	31
S32304	2304	87	600	58	400	25	290	32

[0014]

[0015] 25 Cr 듀플렉스 및 25 Cr 슈퍼 듀플렉스 스테인리스강의 기계적 특성

UNS No	Type	Tensile Strength Min		Yield Strength Min		Elongation 2in or 50mm Min	Hardness Note 2 Max	
		Ksi	MPa	Ksi	MPa	%	Brinell	Rockwell C
S32760	...	108	750	80	550	25	270	...
S32750	2507	116	795	80	550	15	310	32
S39274	...	116	800	80	550	15	310	32
S32520	...	112	770	80	550	25	310	...

[0016]

[0017] "Note 2": 인용된 경도 수치는 용액 풀림 상태 (solution annealed condition)에 적용된다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0018] 본 발명의 목적은, 종래의 문제점 중 적어도 하나를 해결하는 오스테나이트계 스테인리스강을 제공하고, 또는 유용한 선택을 가진 공개 (public)를 제공하는 것이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0019] **본 발명의 요약**

[0020] 본 발명의 제1 양상에 따라, 청구항 제1항에 따른 오스테나이트계 스테인리스강이 제공된다.

[0022] 더 바람직한 특징은 종속항에서 확인될 수 있다.

[0024] 기술된 구현예에서 이해될 수 있는 바와 같이, 고수준의 질소를 포함하는 상기 오스테나이트계 스테인리스강 (Cr-Ni-Mo-N) 합금은, 우수한 연성 (ductility) 및 인성 (toughness)과 높은 기계적 강도 특성 (mechanical strength properties)의 독특한 조합뿐만 아니라, 전면 및 국소 부식에 대한 좋은 저항성 (resistance) 및 용접성 (weldability)을 포함한다. 보다 구체적으로, 상기 기술된 구현예들은, 또한, 22 Cr 듀플렉스 스테인리스강; 및 25 Cr 듀플렉스 및 25 Cr 슈퍼 듀플렉스 스테인리스강과 비교할 경우에, UNS S30403 및 UNS S30453와 같은 통상적인 300 시리즈 오스테나이트계 스테인리스강의 상대적으로 낮은 기계적 강도에 관한 문제점을 해결

한다.

[0026] **바람직한 구현예들의 구체적인 설명**

[0027] **304LM4N**

[0028] 용이한 설명을 위해서, 본 발명의 제1 구현예는 304LM4N으로 나타낸다. 일반적으로, 상기 304LM4N은 고수준의 질소를 포함하는 고강도 오스테나이트계 스테인리스강 (Cr-Ni-Mo-N) 합금이고, $PRE_N \geq 25$의 최소 특정 내공식성 지수 (Pitting Resistance Equivalent), 바람직하게는 $PRE_N \geq 30$를 획득하도록 구성된다. 상기 PRE_N은 하기의 식에 따라 계산된다:

[0029] $PRE_N = \% Cr + (3.3 \times \% Mo) + (16 \times \% N)$

[0031] 상기 304LM4N 고강도 오스테나이트계 스테인리스강은 우수한 연성 및 인성과 높은 기계적 강도의 독특한 조합뿐만 아니라, 전면 및 국소 부식 (general and localised corrosion)에 좋은 저항성 및 용접성을 포함한다.

[0033] 상기 304LM4N 고강도 오스테나이트계 스테인리스강의 화학적 조성 (Chemical composition)은 선택적이고, 다음과 같이, 중량 (wt) 백분율로 화학적 원소의 합금으로 특징된다; 0.030 wt% C (탄소) max, 2.00 wt% Mn (망간) max, 0.030 wt% P (인) max, 0.010 wt% S (황) max, 0.75 wt% Si (실리콘) max, 17.50 wt% Cr (크롬) - 20.00 wt% Cr, 8.00 wt% Ni (니켈) - 12.00 wt% Ni, 2.00 wt% Mo (몰리브덴) max, 및 0.40 wt% N (질소) - 0.70 wt% N이다.

[0035] 또한, 상기 304LM4N 스테인리스강은 잔여부 (remainder)의 주성분으로 Fe (철)을 포함하고, 또한, 0.010 wt% B (붕소) max, 0.10 wt% Ce (세륨) max, 0.050 wt% Al (알루미늄) max, 0.01 wt% Ca (칼슘) max 및/또는 0.01 wt% Mg (마그네슘) max와 같은 매우 소량의 원소 및 잔여 수준에서 통상적으로 존재하는 다른 불순물도 포함할 수 있다.

[0037] 상기 304LM4N 스테인리스강의 화학적 조성은, 1100 ℃ 내지 1250 ℃의 범위 내에서 전형적으로 수행되고 이어서 수냉 (water quenching)이 따르는 용액 열처리 (solution heat treatment) 이후에, 베이스 물질 (base material) 내에 오스테나이트의 미세구조 (austenitic microstructure)를 주로 보장하도록 용융 상태 (melting stage)에서 최적화된다. 용접된 상태 (as-welded)의 용접 금속 및 열용접 (weldments)의 열영향부 (heat affected zone)와 더불어, 용액 열처리 상태 내에서 상기 베이스 물질의 미세구조는, 상기 합금이 오스테나이트인 것을 주로 보장하도록 페라이트 형성 원소 및 오스테나이트 형성 원소 간에 밸런스 (balance)를 최적화하여 조절된다. 결과적으로, 상기 304LM4N 스테인리스강은 주위온도에서 연성과 고강도의 독특한 조합을 나타내는 것과 동시에, 주위 온도 및 초저온에서 우수한 인성을 제공한다. 상기 304LM4N 고강도 오스테나이트계 스테인리스강의 화학적 조성은, $PRE_N \geq 25$, 그러나, 바람직하게는 $PRE_N \geq 30$를 달성하도록 조정되는 사실을 고려하여, 이는, 상기 물질이 또한, 광범위한 공정 환경 (process environments)의 범위 내에서 전면 부식 및 국소 부식 (공식 부식, Pitting Corrosion) 및 틈새 부식 (Crevice Corrosion))에 대한 좋은 저항성을 갖는 것을 보장한다. 상기 304LM4N 스테인리스강은 UNS S30403 및 UNS S30453과 같은 통상적인 오스테나이트계 스테인리스강과 비교될 때, 염화물을 포함하는 환경 (Chloride containing environments) 내에서 응력부식 균열 (stress corrosion cracking)에 대한 개선된 저항성을 가진다.

[0039] 상기 304LM4N 스테인리스강의 최적 화학적 조성의 범위는 상기 제1 구현예를 기반으로 하여, 다음에 따른 중량 백분율로 다음의 화학 원소를 포함하도록 신중하게 선택되어 결정된다.

[0041] **탄소 (C)**

[0042] 상기 304LM4N 스테인리스강에서 탄소 구성은 ≤ 0.030 wt% C (예를 들어, 최대 0.030 wt% C)이다. 바람직하게는, 상기 탄소의 함량은 ≥ 0.020 wt% C 및 ≤ 0.030 wt% C일 수 있고, 더 바람직하게는 ≤ 0.025 wt% C일 수 있다.

[0044] **망간 (Mn)**

[0045] 제1 구현예의 304LM4N 스테인리스강은 두 개의 변형으로 될 수 있다: 저망간 (low Manganese) 또는 고망간 (high Manganese)

[0047] 상기 저망간합금 (low Manganese alloys)에 관해서, 상기 304LM4N 스테인리스강의 망간 함량은 ≤ 2.0 wt% Mn이다. 바람직하게는, 상기 범위는 ≥ 1.0 wt% Mn 및 ≤ 2.0 wt% Mn, 더 바람직하게는 ≥ 1.20 wt% Mn 및 ≤ 1.50 wt% Mn이다. 이와 같은 조성으로, 이는 ≤ 5.0의 최적 Mn 대 N의 비율, 바람직하게는 ≥ 1.42 및 ≤ 5.0를 얻는다. 더 바람직하게는, 상기 비율은 ≥ 1.42 및 ≤ 3.75이다.

[0049] 상기 고망간 합금 (high Manganese alloys)에 관해서, 상기 304LM4N 스테인리스강 중의 망간 함량은 ≤ 4.0 wt% Mn이다. 바람직하게는, 상기 망간 함량은 ≥2.0 wt% Mn 및 ≤ 4.0 wt% Mn, 더 바람직하게는 상한은 ≤ 3.0 wt% Mn이다. 더욱더 바람직하게는, 상한은 ≤ 2.50 wt% Mn이다. 이와 같은 선택적 범위로, 이는 ≤ 10.0의 Mn 대 N의 범위, 바람직하게는 ≥ 2.85 및 ≤ 10.0를 얻는다. 더 바람직하게는, 상기 고망간합금의 Mn 대 N의 비율은 ≥ 2.85 및 ≤ 7.50, 더 바람직하게는 ≥ 2.85 및 ≤ 6.25이다.

[0051] **인 (Phosphorus, P)**

[0052] 상기 304LM4N 스테인리스강 중의 인 함량은 ≤ 0.030 wt% P 되도록 조절된다. 바람직하게는, 상기 304LM4N 합금은 ≤ 0.025 wt% P, 더 바람직하게는 ≤ 0.020 wt% P이다. 더욱더 바람직하게는, 상기 합금은 ≤ 0.015 wt% P, 가장 바람직하게는 ≤ 0.010 wt% P를 갖는다.

[0054] **황 (Sulphur, S)**

[0055] 제1 구현예의 304LM4N 스테인리스강의 황 함량은 ≤ 0.010 wt% S를 포함한다. 바람직하게는, 상기 304LM4N은 ≤ 0.005 wt% S, 더 바람직하게는 ≤ 0.003 wt% S, 더욱더 바람직하게는 ≤ 0.001 wt% S를 포함한다.

[0057] **산소 (Oxygen, O)**

[0058] 상기 304LM4N 스테인리스강 중에서 산소의 함량은 가능한 낮게 조절되고, 상기 제1 구현예에서, 상기 304LM4N은 ≤ 0.070 wt% O를 갖는다. 바람직하게는, 상기 304LM4N 합금은 ≤ 0.050 wt% O, 더 바람직하게는 ≤ 0.030 wt% O를 갖는다. 더욱더 바람직하게는, 상기 합금은 ≤ 0.010 wt% O, 더욱더 바람직하게는 ≤ 0.005 wt% O를 갖는다.

[0060] **실리콘 (Silicon, Si)**

[0061] 304LM4N 스테인리스강 중의 실리콘 함량은 ≤ 0.75 wt% Si이다. 바람직하게는, 상기 합금은 ≥ 0.25 wt% Si 및 ≤ 0.75 wt% Si이다. 더 바람직하게는, 상기 범위는 ≥ 0.40 wt% Si 및 ≤ 0.60 wt% Si이다. 그러나, 개선된 산화 저항성이 요구되는 더 높은 특정 온도 적용에 관련해서, 상기 실리콘 함량은 ≤ 0.75 wt% Si 및 ≤ 2.00 wt% Si일 수 있다.

[0063] **크롬 (Chromium, Cr)**

[0064] 제1 구현예의 304LM4N 스테인리스강 중 크롬 함량은 ≥ 17.50 wt% Cr 및 ≤ 20.00 wt% Cr이다. 바람직하게는, 상기 합금은 ≥ 18.25 wt% Cr을 갖는다. 바람직하게는, 상기 합금은 ≥ 18.25 wt% Cr를 가진다.

[0066] **니켈 (Nickel, Ni)**

[0067] 상기 304LM4N 스테인리스강 중에 니켈의 함량은 ≥ 8.00 wt% Ni 및 ≤ 12.00 wt% Ni이다. 바람직하게는, 상기 합금 중 Ni의 상한 (upper limit)은 ≤ 11 wt% Ni, 더 바람직하게는 ≤ 10 wt% Ni이다.

[0069] **몰리브덴 (Molybdenum, Mo)**

[0070] 상기 304LM4N 스테인리스강 합금 중 몰리브덴의 함량은 ≤ 2.00 wt% Mo이고, 하지만, 바람직하게는 ≥ 0.50 wt% Mo 및 ≤ 2.00 wt% Mo이다. 더 바람직하게는, 상기 Mo의 하한 (lower limit)은 ≥ 1.0 wt% Mo이다.

[0072] **질소 (Nitrogen, N)**

[0073] 상기 304LM4N 스테인리스강 중의 질소 함량은 ≤ 0.70 wt% N이고, 그러나, 바람직하게는 ≥ 0.40 wt% N 및 ≤ 0.70 wt% N이다. 더 바람직하게는, 상기 304LM4N 합금은 ≥ 0.40 wt% N 및 ≤ 0.60 wt% N이고, 더욱더 바람직하게는 ≥ 0.45 wt% N 및 ≤ 0.55 wt% N이다.

[0075] **PRE_N**

[0076] 내공식성지수 (PITTING RESISTANCE EQUIVALENT, PRE_N)는 다음의 식으로 계산된다:

[0077] PRE_N = % Cr + (3.3 × % Mo) + (16 × % N)

[0078] 상기 304LM4N 스테인리스강은 다음의 조성을 갖도록 특별히 제조된다:

[0079] (i) ≥ 17.50 wt% Cr 및 ≤ 20.00 wt% Cr의 크롬함량, 그러나, 바람직하게는 ≥ 18.25 wt% Cr;

[0080] (ii) ≤ 2.00 wt% Mo의 몰리브덴 함량, 그러나, 바람직하게는 ≥ 0.50 wt% Mo 및 ≤ 2.00 wt% Mo, 더 바람직하게는 ≥ 1.0 wt% Mo;

[0081] (iii) ≤ 0.70 wt% N의 질소 함량, 그러나, 바람직하게는 ≥ 0.40 wt% N 및 ≤ 0.70 wt% N, 더 바람직하게는 ≥ 0.40 wt% N 및 ≤ 0.60 wt% N, 더욱더 바람직하게는 ≥ 0.45 wt% N 및 ≤ 0.55 wt% N

[0083] 고수준의 질소로, 상기 304LM4N 스테인리스강은 ≥ 25의 PRE_N, 바람직하게는 PRE_N ≥ 30를 획득한다. 이는, 상기 합금이 공정 환경의 광범위한 범위 내에서 전면 부식 및 국소 부식 (공식 부식 및 틈새 부식)에 대한 좋은 저항성을 갖는 것을 보장한다. 또한, UNS S30403 및 UNS S30453과 같은 통상적인 오스테나이트계 스테인리스강과 비교할 때, 상기 304LM4N 스테인리스강은 염화물을 포함하는 환경 내에서 응력부식 균열에 대한 개선된 저항성도 더 갖는다. 상기 식이 공식 부식 또는 틈새 부식에 의한 패시비티의 쇠약 (breakdown)에 대한 미세구조인자 (microstructural factors) 효과를 무시한다는 것이 강조될 수 있다.

[0085] 상기 304LM4N 스테인리스강의 화학적 조성은, 전형적으로 1100 ℃ 내지 1250 ℃의 범위 내에서 수행되고 이어서 수냉이 이루어지는 용액 열처리 이후에, 상기 베이스 물질 내에서 오스테나이트 미세구조를 주로 획득하기 위해서, Schoefer[6]을 따르고, [Ni] 당량 (equivalent)을 나눈 [Cr]당량의 비율이 > 0.40 및 < 1.05, 그러나, 바람직하게는 > 0.45 및 < 0.95의 범위 내에 있는 것을 보장하도록 상기 용융 단계에서 최적화된다. 용액 열처리된 상태 (solution heat treated condition), 뿐만 아니라 용접된 상태의 용접 금속 및 용접의 열영향부 내에서 상기 베이스 물질의 미세 구조는, 상기 합금이 오스테나이트인 것으로 확실하게 보장하기 위해서, 오스테나

이트 형성 원소 및 페라이트 형성 원소 간의 밸런스를 최적화하여 조절된다. 그러므로, 상기 합금은 상기 비자성 상태 (Non-Magnetic condition)로 공급되고 제조될 수 있다.

[0087] 상기 304LM4N 스테인리스강은 또한, 잔여부로서 주로 철 (Fe)을 포함하고, 다음에 따른 중량 백분율로 붕소, 세륨, 알루미늄, 칼슘 및/또는 마그네슘과 같은 매우 소량의 다른 원소들을 더 포함할 수 있다.

[0089] **붕소 (Boron, B)**

[0090] 상기 304LM4N 스테인리스 갓은 상기 합금에 의도적으로 (intentionally) 첨가된 붕소를 포함할 수 없고, 그 결과, 붕소의 수준은, 전형적으로, 열 (heats)에 붕소를 의도적으로 주입하는 것을 선호하지 않는 밀 (mills)용으로, ≥ 0.0001 wt% B 및 ≤ 0.0006 wt% B이다. 또한, 상기 304LM4N 스테인리스강은 특히, ≤ 0.010 wt% B을 포함하도록 제조될 수 있다. 바람직하게는, 붕소의 범위는 ≥ 0.001 wt% B 및 ≤ 0.010 wt% B, 더 바람직하게는 ≥ 0.0015 wt% B 및 ≤ 0.0035 wt% B이다. 즉, 붕소는 특히, 상기 스테인리스강의 제조 동안에 첨가되지만, 이와 같은 수준을 획득하도록 조절된다.

[0092] **세륨 (Cerium, Ce)**

[0093] 제1 구현예의 304LM4N 스테인리스강은 ≤ 0.10 wt% Ce을 더 포함할 수 있고, 그러나, 바람직하게는 ≥ 0.01 wt% Ce 및 ≤ 0.10 wt% Ce이다. 더 바람직하게는, 세륨의 함량은 ≥ 0.03 wt% Ce 및 ≤ 0.08 wt% Ce이다. 만약, 상기 스테인리스강이 세륨을 포함한다면, 희토류 금속 (REM, Rare Earth Metals)이 미슈메탈 (Mischmetal)로 스테인리스강 제조자에게 매우 빈번하게 공급되므로, 란탄 (Lanthanum)과 같은 다른 희토류 금속 (REM)을 더 포함하는 것이 가능하다. 희토류 금속은 본 발명에서 특정화된 Ce의 수준을 만족하는 REMs의 전체 함량을 제공하도록 미슈메탈로서, 함께 또는 개별적으로 이용될 수 있음을 유념해야한다.

[0095] **알루미늄 (Aluminium, Al)**

[0096] 제1 구현예의 304LM4N 스테인리스강은 ≤ 0.050 wt% Al, 그러나 바람직하게는 ≥ 0.005 wt% Al 및 ≤ 0.050 wt% Al, 더 바람직하게는 ≥ 0.010 wt% Al 및 ≤ 0.030 wt% Al를 더 포함할 수 있다.

[0098] **칼슘 (Calcium, Ca) / 마그네슘 (Magnesium, Mg)**

[0099] 상기 304LM4N 스테인리스강은 ≤ 0.010 wt%의 Ca 및/또는 Mg를 더 포함할 수 있다. 바람직하게는, 상기 스테인리스강은 ≥ 0.001 wt% Ca 및/또는 Mg 및 ≤ 0.010 wt% Ca 및/또는 Mg, 더 바람직하게는 ≥ 0.001 wt% Ca 및/또는 Mg 및 ≤ 0.005 wt% Ca 및/또는 Mg 및 잔여물 수준으로 통상적으로 존재하는 다른 불순물을 포함할 수 있다.

[0101] 상기 언급된 특징으로 기반으로 하여, 상기 304LM4N 스테인리스강은, 상기 로트 버전 (wrought version) 용으로 55 ksi 또는 380 MPa의 최소 항복강도 (minimum yield strength)를 갖는다. 더 바람직하게는, 62 ksi 또는 430 MPa의 최소 항복강도는 상기 로트 버전용으로 획득될 수 있다. 상기 캐스트 버전은 41 ksi 또는 280 MPa의 최소 항복강도를 갖는다. 더 바람직하게는 48 ksi 또는 330 MPa의 최소 항복강도는 캐스트 버전용으로 획득될 수 있다. 바람직한 강도 값을 기반으로 하여, 304LM4N 스테인리스강의 로트 (wrought)기계적 강도 특성과 표 2의 UNS S30403의 로트 (wrought) 기계적 강도 특성의 비교는, 상기 304LM4N 스테인리스강의 최소 항복강도가, UNS S30403로 특정화된 것에 비하여 2.5 배 더 높을 수 있음을 제시한다. 이와 유사하게, 신규하고, 획기적인 304LM4N 스테인리스강의 로트 기계적 강도 특성과 표 2의 UNS S30453 것의 비교는, 상기 304LM4N 스테인리스강의 최소 항복강도가 UNS S30453으로 특정화된 것에 비하여 2.1 배 높을 수 있다는 것으로 제시한다.

[0103] 제1 구현예의 304LM4N 스테인리스강은 로트 버전용의 102 ksi 또는 700 MPa의 최소인장강도를 갖는다. 더 바람

직하게는, 109 ksi 또는 750 MPa의 최소인장강도는 로트 버전용으로 획득될 수 있다. 캐스트 버전 (cast version)은 95 ksi 또는 650 MPa의 최소인장강도 (tensile strength)를 갖는다. 더 바람직하게는, 102 ksi 또는 700 MPa의 최소인장강도는 캐스트 버전용으로 획득될 수 있다. 바람직한 값을 기반으로 하여, 신규하고 획기적인 304LM4N 스테인리스강의 로트 기계적 강도 특성과 표 2의 UNS S30403의 것과의 비교는, 304LM4N 스테인리스강의 최소인장강도가 UNS S30403으로 특정화된 것에 비하여 1.5 배 이상 더 높다는 것을 제안할 수 있다. 이와 유사하게, 신규하고 획기적인 304LM4N 오스테나이트계 스테인리스강의 로트 기계적 강도 특성과 표 2의 UNS S30453과의 비교는, 상기 304LM4N 스테인리스강의 최소인장강도가 UNS S30453으로 특정화된 것에 비하여 1.45 배 더 높을 수 있음을 보여준다. 즉, 신규하고 획기적인 304LM4N 스테인리스강의 로트 기계적 강도 특성이 표 2의 22 Cr 듀플렉스 스테인리스강의 로트 기계적 강도 특성과 비교된다면, 그 결과, 상기 304LM4N 스테인리스강의 최소인장강도는 특정화된 S31803의 것에 비하여 1.2 배 더 높은 영역 내에 있고, 특정화된 25 Cr 슈퍼 듀플렉스 스테인리스강과 유사한 것을 보여줄 수 있다. 그러므로, 상기 304LM4N 스테인리스강의 최소 기계적 강도 특성은, UNS S30403 및 UNS S30453과 같은 통상적인 오스테나이트계 스테인리스강과 비교하여 상당히 개선되었고, 상기 인장 강도 특성은 22 Cr 듀플렉스 스테인리스강으로 특정화된 것보다 좋고, 25 Cr 슈퍼 듀플렉스 스테인리스강으로 특정화된 것과 유사하다.

[0105] 이는, 상기 로트 (wrought)304LM4N 스테인리스강을 이용하는 적용이 감소된 벽두께 (reduced wall thicknesses)로 대부분 설계될 수 있다는 것을 의미하고, 이로써, 최소허용설계응력 (minimum allowable design stresses)이 현저하게 더 높기 때문에, 특정 304LM4N 스테인리스강이 UNS S30403 및 S30453와 같은 통상적인 오스테나이트계 스테인리스강과 비교되는 경우에, 현저한 무게 감소를 유도한다. 사실, 상기 로트 304LM4N 스테인리스강의 최소허용설계응력은 22 Cr 듀플렉스 스테인리스강보다 더 높을 수 있고, 25 Cr 슈퍼 듀플렉스 스테인리스강과 유사할 수 있다.

[0107] 특정 적용에 관련해서, 304LM4N 스테인리스강의 다른 변종은, 구리, 텅스텐 및 바나듐과 같은 특정 수준의 다른 합금 원소를 포함하여 제조되도록 의도적으로 구성되었다. 상기 304LM4N 스테인리스강의 다른 변종의 최적 화학적 조성 범위는 선택적이고, 다음에 따른 중량 백분율의 화학적 조성의 합금에 의해서 특징 되어 결정되었다.

[0109] **구리 (Cu)**

[0110] 상기 304LM4N 스테인리스강의 구리 함량은, 낮은 구리 범위 합금을 위해, ≤ 1.50 wt% Cu, 그러나, 바람직하게는 ≥ 0.50 wt% Cu 및 ≤ 1.50 wt% Cu, 더 바람직하게는 ≤ 1.00 wt% Cu이다. 높은 구리 범위 합금을 위해, 상기 구리 함량은 ≤ 3.50 wt%, 그러나, 바람직하게는 ≥ 1.50 wt% Cu 및 ≤ 3.50 wt% Cu 및 더 바람직하게는 ≤ 2.50 wt% Cu를 포함할 수 있다.

[0111] 상기 구리는, 상기 합금의 전체적 부식 거동 (corrosion performance)을 더 개선시키기 위해서, 개별적으로, 또는 텅스텐, 바나듐, 티타늄, 및/또는 니오븀 및/또는 니오븀 플러스 탄탈과 같은 원소들의 모든 다양한 조합으로 함께 첨가될 수 있다. 구리는 비용이 높고, 따라서, 상기 합금의 경제성을 최적화하고, 상기 합금의 연성, 인성 및 부식 거동을 최적화하도록 의도적으로 제한된다.

[0113] **텅스텐 (W)**

[0114] 상기 304LM4N 스테인리스강 중의 텅스텐의 함량은, ≤ 2.00 wt% W, 그러나, 바람직하게는 ≥ 0.50 wt% W 및 ≤ 1.00 wt% W 및 더 바람직하게는 ≥ 0.75 wt% W이다. 텅스텐을 포함하는 304LM4N 스테인리스강의 변형에 관련해서, 내공식성지수는 하기의 식으로 계산된다:

[0115] PRE_{NW} = % Cr + [3.3 × % (Mo + W)] + (16 × % N)

[0116] 상기 304LM4N 스테인리스강의 변형을 포함하는 이러한 텅스텐은 다음에 따른 조성을 갖도록 특별히 구성된다:

[0117] (i) 크롬함량 ≥ 17.50 wt% Cr 및 ≤ 20.00 wt% Cr, 그러나, 바람직하게는 ≥ 18.25 wt% Cr;

[0118] (ii) 몰리브덴 함량 ≤ 2.00 wt% Mo, 그러나 바람직하게는 ≥ 0.50 wt% Mo 및 ≤ 2.00 wt% Mo 및 더 바람직하

게는 ≥ 1.0 wt% Mo;

[0119] (iii) 질소 함량 ≤ 0.70 wt% N, 그러나, 바람직하게는 ≥ 0.40 wt% N 및 ≤ 0.70 wt% N, 및 더 바람직하게는 ≥ 0.40 wt% N 및 ≤ 0.60 wt% N, 및 더욱더 바람직하게는 ≥ 0.45 wt% N 및 ≤ 0.55 wt% N; 및

[0120] (iv) 텅스텐 함량 ≤ 2.00 wt% W, 그러나, 바람직하게는 ≥ 0.50 wt% W 및 ≤ 1.00 wt% W 및 더 바람직하게는 ≥ 0.75 wt% W.

[0122] 텅스텐을 포함하는 상기 304LM4N 스테인리스강의 변형은, 특정 고수준의 질소 및 PRE_{NW} ≥ 27, 그러나 바람직하게는 PRE_{NW} ≥ 32를 포함한다. 이러한 식이 공식 부식 또는 틈새 부식에 의해서 패시비티의 쇠락에 대한 미세구조 인자의 효과를 무시한다는 것이 강조될 수 있다. 텅스텐은, 상기 합금의 전체적 부식 거동을 더 개선시키기 위해서, 구리, 바나듐, 티타늄 및/또는 니오븀 및/또는 니오븀 플러스 탄탈과 같은 이들 원소의 모든 다양한 조합으로 함께, 또는 개별적으로 첨가될 수 있다. 텅스텐은 매우 고가이므로, 상기 합금의 경제성을 최적화하고, 이와 동시에, 상기 합금의 연성, 인성 및 부식 거동을 최적화하도록 의도적으로 제한된다.

[0124] **바나듐 (V)**

[0125] 상기 304LM4N 스테인리스강 중의 바나듐 함량은 ≤ 0.50 wt% V, 그러나 바람직하게는 ≥ 0.10 wt% V 및 ≤ 0.50 wt% V, 더 바람직하게는 ≤ 0.30 wt% V이다. 바나듐은, 상기 합금의 전체적 부식 거동을 더 개선 시키기 위해서, 구리, 텅스텐, 티타늄; 및/또는 니오븀 및/또는 니오븀 플러스 탄탈과 함께 이러한 원소들의 모든 다양한 조합으로 첨가되거나, 또는 개별적으로 첨가될 수 있다. 바나듐은 가격이 비싸고, 이에 상기 합금의 경제성을 최적화하고, 이와 동시에, 상기 합금의 부식 거동, 인성 및 연성을 최적화하기 위해서 의도적으로 제한된다.

[0127] **탄소 (C)**

[0128] 특정 적용을 위해서, 고수준의 탄소를 포함하여 제조되도록 특별히 구성되는, 상기 304LM4N 고강도 오스테나이트계 스테인리스강의 다른 변종이 적절하다. 보다 구체적으로, 상기 304LM4N 스테인리스강의 탄소 함량은 ≥ 0.040 wt% C 및 < 0.10 wt% C, 그러나, 바람직하게는 ≤ 0.050 wt% C, 또는 > 0.030 wt% C 및 ≤ 0.08 wt% C, 그러나, 바람직하게는 < 0.040 wt% C일 수 있다. 상기 304LM4N 고강도 오스테나이트계 스테인리스강의 특정 변종은 각각, 304HM4N 또는 304M4N 버전과 관련될 수 있다.

[0130] **티타늄 (Ti)/니오븀 (Nb)/니오븀 (Nb) 플러스 탄탈 (Ta)**

[0131] 더욱이, 특정 적용에 관련해서, 더 높은 탄소 수준을 포함하여 제조되도록 특별히 구성되어진 304HM4N 또는 304M4N 스테인리스강의 다른 안정화되 (stabilised) 변종이 바람직하다. 특히, 탄소의 함량은 ≥ 0.040 wt% C 및 < 0.10 wt% C, 그러나 바람직하게는 ≤ 0.050 wt% C, 또는 > 0.030 wt% C 및 ≤ 0.08 wt% C, 그러나 바람직하게는 < 0.040 wt% C일 수 있다.

[0132] (i) 이는, 일반적인 304LM4N 스테인리스강 버전과 비교하도록 304HM4NTi 또는 304M4NTi로 나타내어지는 상기 티타늄 안정화 버전을 포함한다. 상기 티타늄 함량은 다음의 식에 따라 조절된다:

[0133] 상기 합금의 티타늄 안정화된 유도체를 갖기 위해서, 각각, Ti 4 × C min, 0.70 wt% Ti max, 또는 Ti 5 × C min, 0.70 wt% Ti max

[0134] (ii) 여기서, 또한, 상기 니오븀 함량이 다음의 식에 따라 조절되는, 상기 니오븀 안정화된 버전, 304HM4NNb 또는 304M4NNb 버전이 존재한다:

[0135] 상기 합금의 니오븀 안정화된 유도체를 갖기 위해서, 각각, Nb 8 × C min, 1.0 wt% Nb max, 또는 Nb 10 × C min, 1.0 wt% Nb max

[0136] (iii) 추가로, 상기 합금의 다른 변형은, 또한, 니오븀 플러스 탄탈이 다음의 식에 따라 조절되는 니오븀 플러스 탄탈 안정화된 버전, 304HM4NNbTa 또는 304M4NNbTa 버전을 포함하도록 제조될 수 있다:

[0137] Nb + Ta 8 × C min, 1.0 wt% Nb + Ta max, 0.10 wt% Ta max, 또는 Nb + Ta 10 × C min, 1.0 wt% Nb + Ta max, 0.10 wt% Ta max.

[0139] 상기 합금의 티타늄 안정화된, 니오븀 안정화된 및 니오븀 플러스 탄탈 안정화된 변종은 초기 액 열처리 온도보다 더 낮은 온도에서 안정화 열처리 (stabilisation heat treatment)가 이루어질 수 있다. 티타늄 및/또는 니오븀 및/또 니오븀 플러스 탄탈은, 더 높은 탄소 함량 (higher Carbon contents)이 바람직한 특정적용을 위한 합금을 최적화하도록, 구리, 텅스텐 및 바나듐과 함께 이들 원소들의 모든 다양한 조합으로 첨가되거나 또는 개별적으로 첨가될 수 있다. 이러한 합금 원소는, 합금의 전체적 부식 거동을 더 개선시키고, 특정 적용을 위해 스테인리스강을 조정하도록 (tailor), 상기 원소들의 모든 다양한 조합으로 또는 개별적으로 활용될 수 있다.

[0141] 본 발명의 구현예들 및 다른 변형들에 따른 상기 304LM4N 스테인리스강의 로트 및 캐스트 버전은, 일반적으로 용액 어닐링 상태 (solution annealed condition)로 공급된다. 그러나, 제조된 구성요소 (components), 모듈 및 제조물의 용접은, 일반적으로, 적절한 용접법 시험 (Weld Procedure Qualifications)이 각각의 표준 및 설명서 (standards and specifications)에 부합하여 사전심사 (prequalified)된다면, 용접된 상태 (as-welded condition)로 공급된다. 특정 적용에 관련해서, 로트 버전들은, 또한, 냉각 가공 조건 (cold worked condition)으로 공급될 수 있다.

[0143] **제안된 합금 원소 (alloying Elements) 및 이들의 조성의 효과**

[0144] 스테인리스강의 가장 중요한 특징 중 하나는 이들의 통상적인 부식 저항성이며, 대부분의 경우에 이들의 기계적 특성이 보다 저렴한 물질과 매치될 수 있으므로, 부식저항성이 없는, 몇몇의 산업적 적용을 발견할 수 있다. 흥미로운 부식 저항 특징 (corrosion resistant characteristics)을 성립하도록 적절한 합금 원소 구성의 변화는 스테인리스강의 야금분야 (metallurgy)에 뚜렷한 효과를 가질 수 있다. 결과적으로, 이는 실질적으로 사용될 수 있는 물질적 및 기계적 특징에 영향을 줄 수 있다. 고강성, 연성 및 인성과 같은 특정 바람직한 특성의 성립은 미세구조의 조절에 의존하고, 이는 획득가능한 부식 저항성을 제한할 수 있다. 침전물 주위에 크롬 및 몰리브덴 열화된 영역을 제공하여 침전할 수 있는 다양한 상 (various phases), 고용체 (solid solution) 내의 합금 원소 및 황화 망간개재물 (Manganese Sulphide inclusions)은, 패시비티의 쇠약 (breakdown of passivity) 또는 유지 (maintenance), 합금의 기계적 특성 및 미세구조 모두에 대한 상당한 영향을 가질 수 있다.

[0146] 그러므로, 상기 합금이 좋은 기계적 강도 특성, 우수한 연성 및 인성 외에 좋은 용접성, 및 전면 및 국소 부식에 대한 저항성을 갖기 위해서, 상기 합금의 원소의 최적 조합을 유도하는 것은 매우 힘든 것이다. 이것은, 특별히, 합금 조성물 (alloy composition)을 이루는 금속학적 변수 (metallurgical variables)의 컴플렉스 어레이 (complex array) 및 각 변수가 패시비티, 미세구조 및 기계적 특성에 영향을 미치는 정도에 관련된다. 또한, 새로운 합금 개발 프로그램, 제조 및 열처리스케줄 (heat treatment schedules)에 이러한 지식을 결합시키는 것이 필요하다. 다음의 구절에서, 상기 합금의 각 원소가 어떻게 상기 언급된 특성을 달성하기 위해서 최적화되는 지에 대해 논의된다.

[0148] **크롬의 효과**

[0149] 스테인리스강은 크롬과의 합금에 따른 이의 패시브 특징 (passive characteristics)을 유도한다. 크롬과 철의 합금화하는 것는 활성 방향 (active direction) 내에서 최초 패시베이션 포텐셜 (primary passivation potential)을 이동시킨다. 이어서, 이는 패시브 전류 밀도 (passive current density) i_{pass}를 감소시키고, 패시브 포텐셜 범위를 확장시킨다. 염산용액 (Chloride solutions) 내에서, 스테인리스강의 크롬 함량의 증가는 공식 전위 (pitting potential) E_P를 상승시키고, 그 결과, 패시브 포텐셜 범위를 확장시킨다. 그러므로, 크롬은 전면 부식 (general corrosion) 뿐만 아니라 국소 부식 (공식 부식 및 틈새 부식)에 대한 저항성을 증가시킨

다. 페라이트 형성 원소 (Ferrite forming element)인 크롬의 증가는, 오스테나이트의 미세구조를 주로 유지하기 위해서 질소, 탄소 및 망간과 같은 다른 오스테나이트 형성 원소 및 니켈에 대한 증가에 의해서 밸러스가 맞추어질 수 있다. 그러나, 몰리브덴 및 실리콘과 조합된 크롬은 유해한 침전물 및 금속간 상의 침전으로의 경향을 증가시킬 수 있다는 것이 발견되었다. 그러므로, 결과적으로 합금의 연성, 인성 및 부식 거동의 감소를 일으킬 수 있는, 후막부 (thick sections) 내의 금속간 상 (intermetallic phase)의 형성 비율을 높이지 않고 증가 될 수 있는 실질적인 크롬 수준의 최대 한계가 있다. 이러한 304LM4N 스테인리스강은, 최적 결과를 성취하도록 크롬함량 ≥ 17.50 wt% Cr 및 ≤ 20.00 wt% Cr를 포함하도록 특별히 구성되었다. 바람직하게는, 상기 크롬 함량은 18.25 wt%이다.

[0151] **니켈의 효과**

[0152] 니켈이 불활성 방향 (noble direction)에 공식 전위 E_P를 이동시키고, 그 결과, 패시브 포텐셜 범위를 확장시키고, 또한 패시브 전류 밀도 i_{pass}를 감소시키는 것을 발견하였다. 그러므로, 니켈은 오스테나이트계 스테인리스강에서 국소 부식 및 전면 부식에 대한 저항성을 증가시킨다. 니켈은 오스테나이트 형성 원소이고, 니켈, 망간, 탄소 및 질소의 수준은 오스테나이트의 미세구조를 주로 유지하는 크롬, 몰리브덴 및 실리콘과 같은 페라이트 형성 원소의 밸런스를 맞추기 위해서 제1 구현예에서 최적화된다. 니켈은 매우 고가이므로, 상기 합금의 경제성을 최적화하고 이와 동시에 상기 합금의 연성, 인성 및 부식 거동을 최적화하도록 의도적으로 제한된다. 이러한 304LM4N 스테인리스강은, 니켈 함량 ≥ 8.00 wt% Ni 및 ≤ 12.00 wt% Ni, 그러나 바람직하게는 ≤ 11.00 wt% Ni 및 더 바람직하게는 ≤ 10.00 wt% Ni를 갖도록 특별히 구성되었다.

[0154] **몰리브덴의 효과**

[0155] 특정 수준의 크롬 함량에서, 오스테나이트계 스테인리스강의 패시비티에 강한 긍정적 영향을 가지는 것을 발견하였다. 몰리브덴의 추가는 더 불활성 방향으로 공식전위를 이동시키고, 이어서, 패시브 포텐셜 범위를 확장한다. 또한, 증가한 몰리브덴 함량은 i_{max}를 더 낮추고, 그 결과, 몰리브덴은 염화물 환경에서 전면 부식 및 국소 부식 (공식 부식 및 틈새 부식)에 대한 저항성을 개선한다. 또한, 몰리브덴은 염화물을 포함하는 환경 내의 염화물 (Chloride) 응력부식 균열에 대한 저항성을 개선한다. 몰리브덴은 페라이트 형성 원소이고, 크롬 및 실리콘과 함께 몰리브덴의 수준은 오스테나이트의 미세구조를 주로 유지하기 위해 니켈, 망간, 탄소 및 질소와 같은 오스테나이트 형성 원소들의 밸런스를 맞추도록 최적화된다. 그러나, 크롬 및 실리콘과 조합된 몰리브덴은 금속간 상의 침전 및 유해한 침전 (deleterious precipitates)으로의 경향을 증가시킬 수 있다. 몰리브덴의 더 높은 수준에서, 금속간 상 및 유해한 침전물과 같은 키네틱스 (kinetics)를 더 증가시킬 수 있고, 특히, 캐스팅 (castings) 및 1차 제품 (primary products)에서 고분자분리 (macro-segregation)가 나타날 수 있다. 때론, 텅스텐과 같은 다른 원소들은 합금에서 요구되는 몰리브덴의 상대적 함량을 더 낮추기 위해서 열 내로 도입될 수 있다. 그러므로, 실질적으로, 상기 합금의 연성, 인성 및 부식 거동의 감소를 결과적으로 일으킬 수 있는 후막부에 금속간 상 형성 비율을 높이지 않고, 증가될 수 있는 몰리브데의 수준에 대한 최대 한계가 있다. 이러한 304LM4N 스테인리스강은, 몰리브덴 함량 ≤ 2.00 wt% Mo, 그러나 바람직하게는 ≥ 0.50 wt% Mo 및 ≤ 2.0 wt% Mo, 더 바람직하게는 ≥ 1.0 wt% Mo를 갖도록 특별히 구성되었다.

[0157] **질소의 효과**

[0158] 제1 구현예 (및 다음의 구현예들)에서, 오스테나이트계 스테인리스강의 국소 부식 거동에 대한 가장 현저한 개선점 중에 하나는, 질소 수준의 증가에 의해서 획득된다. 질소는 공식 전위 E_p를 상승시키고, 이로써, 패시브 포텐셜 범위를 확장한다. 질소는, 패시비티 쇠락에 대한 보호를 개선하도록 패시브 보호 필름 (passive protective)를 조절한다 (modify). 고질소 농도는 오제 전자분광 (Auger electron spectroscopy)을 사용하여 금속-패시브 필름 인터페이스 (metal-passive film interface)의 금속면에 관찰되는 것이 보고되었다. 질소는 탄소와 함께 매우 강한 오스테나이트 형성 원소이다. 유사하게, 망간 및 니켈은 더 적은 부분이지만, 오스테나이트 형성 원소이다. 질소 및 탄소뿐만 아니라 망간 및 니켈과 같은 오스테나이트 형성 원소의 수준은, 오스테나이트의 미세구조를 주로 유지하기 위해 크롬, 몰리브덴 및 실리콘과 같은 페라이트 형성 원소의 밸런스를 맞추도록 이러한 구현예에서 최적화된다. 결과적으로, 확산율 (diffusion rates)이 오스테나이트 내에서 매우 더

느리므로, 질소는 금속간 상을 형성하는 성향을 직적접으로 제한한다. 이로써, 금속간 상의 형성 키네틱스가 감소된다. 또한, 오스테나이트가 질소에 대한 좋은 용해도를 가진다는 것은, 용접 사이클 (welding cycles) 동안, 용접의 열영향부 및 용접 금속 (weld metal)에서 $M_{23}C_6$ 카바이드 (carbides) 뿐만 아니라 M_2X (카르보-나이트라이드 (carbo-nitrides), 질화물 (nitrides), 붕소화물 (borides), 보로-나이트라이드 (boro-nitrides) 또는 보로-카바이드 (boro-carbides))와 같은 유해한 침전물의 형성에 대한 가능성을 감소시킨다는 것을 의미한다. 고용체 내에서 질소는, 오스테나이트의 미세구조가 상기 합금의 연성, 인성 및 부식 거동을 최적화하는 것을 보장하는 동안, 상기 304LM4N 스테인리스강의 기계적 강도 특성을 개선시키는 주된 책임이 있다. 그러나, 질소는 고용체 (solid solution) 및 용융 단계 둘 다에서 제한된 용해도를 가진다. 이러한 304LM4N 스테인리스강은, 질소 함량 ≤ 0.70 wt% N, 그러나, 바람직하게는 ≥ 0.40 wt% N 및 ≤ 0.70 wt% N, 더 바람직하게는 ≥ 0.40 wt% N 및 ≤ 0.60 wt% N, 더욱더 바람직하게는 ≥ 0.45 wt% N 및 ≤ 0.55 wt% N를 갖도록 특별히 구성되었다.

[0160] **망간의 효과**

[0161] 망간은 오스테나이트 형성 원소이고, 망간, 니켈, 탄소 및 질소의 수준은, 본 구현예에서, 오스테나이트의 미세구조를 주로 유지하도록, 크롬, 몰리브덴 및 실리콘과 같은 페라이트 형성 원소의 균형을 잡도록 최적화된다. 그러므로, $M_{23}C_6$ 카바이드뿐만 아니라, M_2X (카르보-나이트라이드, 질화물, 붕소화물, 보로-나이트라이드 또는 보로-카바이드)와 같은 유해한 침전물의 위험을 최소화하기 위해서, 더 높은 망간 수준은, 용융 단계 및 고용체 둘 다에서 탄소 및 질소의 더 높은 용해도를 직접적으로 이룬다. 그러므로, 질소의 고체 용해도를 개선하기 위한 특정 수준으로의 망간 농도의 증가는, 오스테나이트계 스테인리스강의 국소 부식 거동에서의 개선을 제공한다.

[0162] 또한, 망간은 니켈보다 더 비용 효율이 높은 원소이고, 합금에 활용되는 니켈의 함량을 제한하기 위해서 특정 수준까지 이용될 수 있다. 그러나, 이는 피트 개시 (pit initiation)에 대한 유리한 위치 (favourable sites)이고, 오스테나이트계 스테인리스강의 국소 부식 거동에 불리한 영향을 주는 황화 망간 개재물 (nclusions)의 형성을 유도하므로, 성공적으로 사용될 수 있는 망간 수준의 한계가 있다. 또한, 망간은 유해한 침전물뿐만 아니라 금속간 상의 침전으로의 경향을 증가시킨다. 그러므로, 실질적으로, 상기 합금의 연성, 인성 및 부식 거동의 감소를 결과적으로 유도할 수 있는 후막부 내에 금속간 상 형성 비율을 높이지 않고 증가 될 수 있는 망간의 수준에 대한 최대한계치가 있다. 이러한 304LM4N 스테인리스강은, 망간 함량 ≥ 1.00 wt% Mn 및 ≤ 2.00 wt% Mn를 갖도록, 그러나 바람직하게는, 망간 함량 ≥ 1.20 wt% Mn 및 ≤ 1.50 wt% Mn으로 특별히 구성되었다. 상기 망간 함량은, 망간 대 질소 비율이 ≤ 5.0, 및 바람직하게는 ≥ 1.42 및 ≤ 5.0이 되도록 조절될 수 있다. 더 바람직하게는, 더 낮은 망간 범위 합금을 위해, 상기 비율은 ≥ 1.42 및 ≤ 3.75이다. 상기 망간 함량은, ≤ 10.0, 바람직하게는 ≥ 2.85 및 ≤ 10.0인 Mn 대 N의 비율과 함께, ≥ 2.0 wt% Mn 및 ≤ 4.0 wt% Mn, 그러나 바람직하게는 ≤ 3.0 wt% Mn, 더 바람직하게는 ≤ 2.50 wt% Mn를 포함하는 합금에 의해서 특징될 수 있다. 더 바람직하게는, 더 높은 망간 범위 합금을 위해, 상기 비율은 ≥ 2.85 및 ≤ 7.50, 더욱더 바람직하게는 ≥ 2.85 및 ≤ 6.25이다.

[0164] **황, 산소 및 인의 영향**

[0165] 황, 산소 및 인과 같은 불순물은 오스테나이트계 스테인리스강에서 국소 부식 (공식 및 틈새 부식) 및 전면 부식에 대한 저항성 및 기계적 특성상에 부정적 영향 (negative influence)을 가질 수 있다. 이는, 특정 수준에서 망간과 조합된 황으로 인하여, 황화 망간 개재물의 형성을 촉진한다. 추가로, 특정 수준에서 알루미늄 또는 실리콘과 조합된 산소는 Al_2O_3 또는 SiO_2와 같은 산화 개재물 (oxide inclusions)을 촉진한다. 이러한 개재물은 피트 개시에 대한 유리한 위치이므로, 오스테나이트계 스테인리스강의 연성, 인성 및 국소 부식 거동 (performance)에 불리한 영향을 미친다. 이와 마찬가지로, 인은 합금의 공식 부식 및 틈새 부식 저항성에 불리한 영향을 미칠 뿐 아니라, 이의 연성 및 인성을 감소시키는, 피트 개시를 위한 유리한 위치인 유해한 침전물의 형성을 촉진한다. 추가로, 황, 산소 및 인은 로트 오스테나이트계 스테인리스강의 열간 가공성 (hot workability)에 불리한 영향; 및 특히, 오스테나이트계 스테인리스강 내에 용접물의 용접 금속 (weld metal of weldment) 및 캐스팅 (castings) 내에서 고온균열 (hot cracking) 및 저온균열 (cold cracking)에 대한 민감도를 갖는다. 특정 수준에서 산소는 오스테나이트계 스테인리스강 캐스팅에서 공극 (porosity)을 일으킬 수

있다. 이는 높은 주기적 로드 (high cyclical loads)를 일으키는 캐스트 구성요소 내에 잠재적 균열 개시 부위를 발생시킬 수 있다. 그러므로, 일렉트릭 아크 용해 (electric arc melting), 유도 용해 (induction melting)와 같은 현대적 용해법; 및 일렉트로 슬래그 재용해 (Electro Slag Remelting) 또는 진공 아크 재용해 (Vacuum Arc Remelting)와 같은 다른 2차 재용해 기술 (secondary remelting techniques) 뿐만 아니라 다른 미세화 기술 (refining techniques)과 조합된 진공 산소 탈탄 또는 아르곤 산소 탈탄 (decarburisation)은, 로드 스테인리스강 (wrought Stainless Steel)의 열간 가공성을 개선시키고, 특히, 용접물의 용접 금속 및 캐스팅 내에서 공극율, 및 고온균열 및 저온균열에 대한 민감도 (sensitivity)를 줄이기 위해서, 극히 낮은 황, 산소 및 인 함량이 획득되는 것을 보장하기 위해서 이용된다. 또한, 현대적 용융 기술은 개재물의 수준 감소를 일으킨다. 이는 오스테나이트계 스테인리스강의 청결 (cleanness) 및 이와 마찬가지로 연성 및 인성 뿐만 아니라 전체적 부식 거동을 개선한다. 이러한 304LM4N 스테인리스강은 황 함량 ≤ 0.010 wt% S, 그러나 바람직하게는 ≤ 0.005 wt% S, 더 바람직하게는 ≤ 0.003wt% S, 더욱더 바람직하게는 ≤ 0.001 wt% S의 황 함량을 갖도록, 특별히 구성되었다. 상기 산소 함량은 가능한 낮으며, ≤ 0.070 wt% O, 그러나 바람직하게는 ≤ 0.050 wt% O, 더 바람직하게는 ≤ 0.030 wt% O, 더욱더 바람직하게는 ≤ 0.010 wt% O 및 가장 바람직하게는 ≤ 0.005 wt% O로 조절된다. 상기 인 함량은 ≤ 0.030 wt% P, 그러나 바람직하게는 ≤0.025 wt% P, 더 바람직하게는 ≤ 0.020 wt% P, 더욱더 바람직하게는 ≤ 0.015 wt% P, 가장 더 바람직하게는 ≤ 0.010 wt% P로 조절된다.

[0167] **실리콘의 효과**

[0168] 실리콘은 불활성 방향 내로 공식 전위를 이동시키고, 이로써, 패시브 포텐셜 범위를 확장한다. 또한, 실리콘은 스테인리스강의 제조과정 중에 용융의 유동성을 향상시킨다. 이와 마찬가지로, 용접 사이클 동안에 고온 용접 금속의 유동성을 개선시킨다. 실리콘은 페라이트 형성 원소이고, 크롬 및 몰리브덴에 따른 실리콘의 수준은, 오스테나이트의 미세구조를 주로 유지하도록 니켈, 망간, 탄소 및 질소와 같은 오스테나이트 형성 원소들의 균형을 맞추기 위해 최적화된다. 0.75 wt% Si 내내지 2.00 wt% Si의 범위 내의 실리콘 함량은 더 높은 온도 적용에 대한 산화 저항성을 개선시 킬 수 있다. 그러나, 크롬 및 몰리브덴과 조합되고, 대략 1.0 wt% Si 초과의 실리콘 함량은 금속간 상의 침전 및 유해한 침전물으로의 경향을 증가시킬 수 있다. 그러므로, 실질적으로, 상기 합금의 연성, 인성 및 부식 거동의 감소를 결과적으로 일으킬 수 있는, 후막부 내에 금속간 상 형성 비율을 높이지 않으면서 증가될 수 있는, 실리콘 수준의 최대 한계치가 있다. 이러한 304LM4N 스테인리스강은 ≤ 0.75 wt% Si, 그러나, 바람직하게는 ≥ 0.25 wt% Si 및 ≤ 0.75 wt% Si, 더 바람직하게는 ≥ 0.40 wt% Si 및 ≤ 0.60 wt% Si의 실리콘 함량을 갖도록 특별히 구성되었다. 상기 실리콘 함량은 개선된 산화 저항성이 요구되는 더 높은 특정 온도의 적용을 위해서 ≥ 0.75 wt% Si 및 ≤ 2.00 wt% Si를 포함하는 합금으로 특징될 수 있다.

[0170] **탄소의 효과**

[0171] 카본은 질소와 함께 매우 강한 오스테나이트 형성 원소이다. 이와 유사하게, 망간 및 니켈도 또한, 보다 적은 부분이지만, 오스테나이트 형성 원소이다. 망간 및 니켈뿐만 아니라, 탄소 및 질소와 같은 오스테나이트 형성 원소의 수준은 오스테나이트의 미세구조를 주로 유지하도록 크롬, 몰리브덴 및 실리콘과 같은 페라이트 형성 원소의 균형을 맞추기 위해 최적화된다. 결과적으로, 탄소는 확산율이 오스테나이트 내에서 더 느리기 때문에 금속간 상을 형성하는 성향을 직접적으로 한정한다. 그러므로, 상기 금속간 상의 형성 키네틱스는 감소된다. 또한, 오스테나이트가 탄소에 대한 좋은 용해도를 가진다는 점에서, 이것은 용접 사이클 동안에, 용접 금속 및 용접의 열영향부에서 $M_{23}C_6$ 카바이드뿐만 아니라, M_2X (카르보-나이트라이드, 질화물, 붕소화물, 보로-나이트라이드 또는 보로-카바이드)와 같은 유해한 침전물의 형성 가능성이 줄어든다는 것을 의미한다. 오스테나이트의 미세구조가, 상기 합금의 연성, 인성 및 부식 거동을 최적화하는 것을 보장하는 것에 반하여, 고용체 내에서 탄소 및 질소는 304LM4N 스테인리스강의 기계적 강도를 증가시키는 것에 주로 관여한다. 상기 탄소 함량은, 로트 오스테나이트계 스테인리스강의 특성을 최적화하고 또는 좋은 열간 가공성을 보장하기 위해서 0.030 wt% C maximum으로 정상적으로 제한된다. 이러한 304LM4N 스테인리스강은 ≤ 0.030 wt% C maximum, 그러나 바람직하게는 ≥ 0.020 wt% C 및 ≤ 0.030 wt% C, 더 바람직하게는 ≤ 0.025 wt% C의 탄소 함량을 갖도록 특별히 구성되었다. 특정 적용에 관련해서, 더 높은 탄소 함량 ≥ 0.040 wt% C 및 < 0.10 wt% C, 그러나 바람직하게는 ≤ 0.050 wt% C, 또는 > 0.030 wt% C 및 ≤ 0.08 wt% C, 그러나 바람직하게는 < 0.040 wt% C이 바람직하고, 304LM4N 스테인리스강의 특정 변종, 즉, 각각의 304HM4N 또는 304M4N이 의도적으로 구성되었다.

[0173] **붕소, 세륨, 알루미늄, 칼슘 및 마그네슘의 효과**

[0174] 스테인리스강의 열간 가공성은, 붕소 또는 세륨과 같은 다른 원소들의 개별 함량 (discrete amounts)을 도입하여 개선된다. 상기 스테인리스강이 세륨을 포함한다면, 미슈메탈로서 스테인리스강 제조자에서 매우 빈번하게 공급되므로, 란탄과 같은 다른 희토류 금속 (REM)을 가능한 더 포함할 수 있다. 일반적으로, 스테인리스강 내에 존재하는 붕소의 전형적인 잔류 수준 (residual level)은 열에 붕소를 의도적으로 첨가하는 것을 선호하지 않는 밀 (mills)에 관련해서, ≥ 0.0001 wt% B 및 ≤ 0.0006 wt% B이다. 상기 304LM4N 스테인리스강은 붕소의 첨가 없이 제조될 수 있다. 그 대신에, 상기 304LM4N 스테인리스강은, 특별히 ≥ 0.001 wt% B 및 ≤ 0.010 wt% B, 그러나 바람직하게는 ≥ 0.0015 wt% B 및 ≤ 0.0035 wt% B의 붕소 함량을 갖도록 제조될 수 있다. 열간 가공성 상에서 붕소의 이로운 효과는, 붕소가 공용체 내에서 유지되는 것을 보장하게 한다. 그러므로, M_2X (붕소화물, 보로-나이트라이드 또는 보로-카바이드)와 같은 유해한 침전물이, 용접 사이클 중의 용접된 상태의 용접 금속 및 용접의 열영향부 내에, 또는 열처리사이클 및 제조 중에 베이스 물질의 그레인 경계 (grain boundaries)의 미세구조 내에 침전하지 않는 것을 보장할 필요가 있다.

[0176] 상기 304LM4N 스테인리스강은, 특별히, ≤ 0.10 wt% Ce, 그러나 바람직하게는 ≥ 0.01 wt% Ce 및 ≤ 0.10 wt% Ce, 더 바람직하게는 ≥ 0.03 wt% Ce 및 ≤ 0.08 wt% Ce의 세륨 함량을 갖도록 제조될 수 있다. 세륨은 열간 가공성을 개선하도록 스테인리스강 내에 세륨 산황화물 (oxysulphides)을 형성하고, 그러나, 특정 수준에서, 이들은 물질의 부식 저항성에 불리하게 영향을 미치지 않는다. 특정 적용을 위해, ≥ 0.04 wt% C 및 < 0.10 wt% C, 그러나 바람직하게는 ≤ 0.050 wt% C, 또는 > 0.030 wt% C 및 ≤ 0.08 wt% C, 그러나 바람직하게는 < 0.040 wt% C의 더 높은 탄소함량이 선호되며, 또한, 304LM4N 스테인리스강의 변종은, 특별히, ≤ 0.010 wt% B, 그러나 바람직하게는 ≥ 0.001 wt% B 및 ≤ 0.010 wt% B, 더 바람직하게는 ≥ 0.0015 wt% B 및 ≤ 0.0035 wt% B의 붕소 함량, 또는 ≤ 0.10 wt% Ce, 그러나 바람직하게는 ≥ 0.01 wt% Ce 및 ≤ 0.10 wt% Ce, 더 바람직하게는 ≥ 0.03 wt% Ce 및 ≤ 0.08 wt% Ce의 세륨 함량을 갖도록 제조될 수 있다. 희토류 금속들은 본 발명에서 구체화된 Ce의 수준에 적합한 REMs의 전체 함량을 제공하도록 미슈메탈로서 단독 또는 함께 이용될 수 있다는 점에 유념해야 한다. 상기 304LM4N 스테인리스강은 알루미늄, 칼슘 및/또는 마그네슘을 특별히 포함하도록 제조될 수 있다. 이러한 원소들은 물질의 열간 가공성뿐만 아니라 청결도를 개선하기 위해서 스테인리스강을 탈황하고 및/또는 산소를 제거 (deoxidise)하는데 첨가될 수 있다. 적절한 알루미늄 함량은, 질화물의 침전을 억제하기 위해서, ≤ 0.050 wt% Al, 그러나 바람직하게는 ≥ 0.005 wt% Al 및 ≤ 0.050 wt% Al, 더 바람직하게는 ≥ 0.010 wt% Al 및 ≤ 0.030 wt% Al의 알루미늄 함량을 갖도록 전형적으로 조절된다. 이와 마찬가지로, 상기 칼슘 및/또는 마그네슘 함량은, 금속 내에서 슬래그 생성 (slag formation) 함량을 제한하기 위해서, ≤ 0.010 wt% Ca 및/또는 Mg, 그러나 바람직하게는 ≥ 0.001 wt% Ca 및/또는 Mg, 및 ≤ 0.010 wt% Ca 및/또는 Mg, 더 바람직하게는 ≥ 0.001 wt% Ca 및/또는 Mg, 및 ≤ 0.005 wt% Ca 및/또는 Mg의 Ca 및/또는 Mg 함량을 갖도록 전형적으로 조절된다.

[0178] **다른 변형**

[0179] 특정 적용을 위해서, 상기 304LM4N 스테인리스강의 다른 변종은, 구리, 텅스텐 및 바나듐과 같은 다른 합금 원소의 특정 수준을 포함하여 제조되도록 구성될 수 있다. 이와 유사하게, 특정 적용을 위해서, ≥ 0.040 wt% C 및 < 0.10 wt% C, 그러나 바람직하게는 ≤ 0.050 wt% C, 또는 > 0.030 wt% C 및 ≤ 0.08 wt% C, 그러나 바람직하게는 < 0.040 wt% C의 더 높은 탄소 함량이 선호되고, 304LM4N 스테인리스강의 특정 변종, 일반적으로 각각의 304HM4N 또는 304M4N은 의도적으로 구성되었다. 더욱이, 특정 적용을 위해서, ≥ 0.040 wt% C 및 < 0.10 wt% C, 그러나 바람직하게는 ≤ 0.050 wt% C, 또는 > 0.030 wt% C 및 ≤ 0.08 wt% C 그러나 바람직하게는 < 0.040 wt% C의 더 높은 탄소 함량이 선호되며, 304HM4N 또는 304M4N 스테인리스강의 특정 변종, 일반적으로 티타늄 안정화된, 304HM4NTi 또는 304M4NTi, 니오븀 안정화된, 304HM4NNb 또는 304M4NNb 및 니오븀 플러스 탄탈 안정화된, 304HM4NNbTa 또는 304M4NNbTa 합금은 의도적으로 더 구성되었다. 티타늄 안정화된, 니오븀 안정화된 및 니오븀 플러스 탄탈 안정화된 합금의 변종은 초기 (initial) 용액 열처리 온도보다 더 낮은 온도에서 안정화 열처리를 제공할 수 있다. 티타늄 및/또는 니오븀 및/또는 니오븀 플러스 탄탈은, 더 높은 탄소 함량이 선호되는 특정 적용을 위한 합금을 최적화하기 위해서, 구리, 텅스텐 및 바나듐과 같은 이러한 원소들의 모든 다양한

조합으로 함께 또는 개별적으로 첨가될 수 있다. 이러한 합금 원소는 상기 합금의 전체적 부식 거동을 더 개선시키고, 특정 적용을 위한 스테인리스강을 조정하도록 (tailor), 상기 원소들의 모든 다양한 조합으로 또는 개별적으로 활용될 수 있다.

[0181] **구리의 효과**

[0182] 비산화성 매체 (non-oxidising media) 내에서 스테인리스강의 부식 저항성에 대한 구리 첨가의 유익한 효과 (beneficial effect)는 이미 알려져 있다. 대략 0.50 wt%의 구리가 첨가된다면, 끓는 염산 (boiling Hydrochloric Acid) 내의 활성 용해속도 (active dissolution rate)와 염산용액 내의 틈새 부식 손실 (crevice corrosion loss) 둘다 감소 된다. 황산에서 전면 부식 저항성은 1.50 wt% Cu까지의 구리 첨가로 개선되는 것을 발견하였다[2]. 구리는 니켈, 망간, 탄소 및 질소처럼 오스테나이트 형성 원소이다. 그러므로, 구리는 스테인리스강의 국소 부식 및 전면 부식 거동을 개선할 수 있다. 구리 및 다른 오스테나이트 형성 원소의 수준은 오스테나이트의 미세구조를 주로 유지하도록, 크롬, 몰리브덴 및 실리콘과 같은 페라이트 형성 원소의 균형을 맞추기 위해 최적화된다. 그러므로, 304LM4N 스테인리스강의 변형은, 더 낮은 구리 범위의 합금을 위해서 구리 함량 ≤ 1.50 wt% Cu, 그러나 바람직하게는 ≥ 0.50 wt% Cu 및 ≤ 1.50 wt% Cu, 더 바람직하게는 ≤ 1.00 wt% Cu를 갖도록 특별히 구성되었다. 상기 304LM4N의 구리 함량은, 더 높은 구리 범위의 합금을 위해서, ≤ 3.50 wt% Cu, 그러나 바람직하게는 ≥ 1.50 wt% Cu 및 ≤ 3.50 wt% Cu, 더 바람직하게는 ≤ 2.50 wt% Cu를 포함하는 합금으로 특징될 수 있다.

[0184] 구리는, 상기 합금의 전체적 부식 거동을 더 개선시키기 위해서, 텅스텐, 바나듐, 티타늄 및/또는 니오븀 및/또는 니오븀 플러스 탄탈과 같은 이러한 원소들의 모든 다양한 조합으로 함께 또는 개별적으로 첨가될 수 있다. 구리는 가격이 고가이므로, 상기 합금의 경제성을 최적화하고, 이와 동시에, 상기 합금의 부식 거동, 인성 및 연성을 최적화하도록 의도적으로 제한된다.

[0186] **텅스텐의 효과**

[0187] 텅스텐 및 몰리브덴은 주기율표 상에 비슷한 위치에 있고, 국소 부식 (공식 부식 및 틈새 부식)에 대한 저항성에 영향을 주고, 유사한 효력을 가진다. 특정 크롬 및 몰리브덴 함량의 수준에서, 텅스텐은 오스테나이트계 스테인리스강의 패시비티에 매우 유익한 영향력을 가진다. 텅스텐 첨가는 더 불활성 방향 내에서 공식 전위를 이동시키고, 이로써, 패시브 포텐셜 범위를 확정한다. 또한, 증가한 텅스텐 함량은 패시브 전류 밀도 i_{pass}를 감소시킨다. 텅스텐은 패시브층 (passive layer) 내에 존재하고, 산화상태의 변형 없이 흡착된다[3]. 산성의 염산용액에서, 텅스텐은 아마도, 용해, 다음으로 흡착 공정 (adsorption process)을 통하는 것보다, 물과의 상호작용에 의해서 금속에서 패시브 필름 내로 이동하고, 불용성 WO_3를 형성한다. 중성의 염산용액, 베이스 금속 (base metal)과 산화물층의 향상된 결합 및 향상된 안정성을 제공하는 텅스텐의 유익한 효과는, 다른 산화물과 WO_3 간의 상호 작용에 의해서 설명된다. 텅스텐은 염화물 환경 내에서 전면 부식 및 국소 부식 (공식 및 틈새 부식)에 대한 저항성을 개선시킨다. 또한, 텅스텐은 염화물을 포함하는 환경에서 염화물 응력부식 균열에 대한 저항성을 개선시킨다. 텅스텐은 페라이트 형성 원소이고, 크롬, 몰리브덴 및 실리콘과 함께 텅스텐의 수준은 오스테나이트의 미세구조를 주로 유지도록 니켈, 망간, 탄소 및 질소와 같은 오스테나이트 형성 원소의 균형을 맞추기 위해서 최적화된다. 그러나, 크롬, 몰리브덴 및 실리콘과 조합된 텅스텐은 금속간 상의 침전 및 유해한 침전물으로의 경향을 증가시킬 수 있다. 그러므로, 실질적으로, 즉, 상기 합금의 연성, 인성 및 부식 거동의 감소를 유도할 수 있는, 후막부 내에서 금속간 상 형성 비율이 높아지지 않고 증가될 수 있는 텅스텐의 수준에 대한 최대 한계치가 있다. 그러므로, 이러한 304LM4N 스테인리스강의 변형은, ≤ 2.00 wt% W, 그러나 바람직하게는 ≥ 0.50 wt% W 및 ≤ 1.00 wt% W, 더 바람직하게는 ≥ 0.75 wt% W의 텅스텐 함량을 포함하도록 특별히 구성되었다. 텅스텐은, 상기 합금의 전체적 부식 거동을 더 개선시키기 위해서, 이러한 원소들의 모든 다양한 조합 내에서 구리, 바나듐, 티타늄 및/또는 니오븀 및/또는 니오븀 플러스 탄탈과 함께, 또는 개별적으로 첨가될 수 있다. 텅스텐은 매우 고가이므로, 상기 합금의 경제성을 최적화하고, 이와 동시에, 상기 합금의 부식 거동, 인성 및 연성을 최적화하기 위해서 의도적으로 제한된다.

[0189] **바나듐의 효과**

[0190] 크롬 및 몰리브덴 함량의 특정 수준에서, 바나듐은 오스테나이트계 스테인리스강의 패시비티에 대한 매우 유익한 영향을 가진다. 바나듐의 첨가는 더 불활성 방향으로 공식전위를 이동시키므로, 패시브 포텐셜 범위를 확장시킨다. 또한, 바나듐 함량의 증가는 i_{max}를 낮추고, 이에, 몰리브덴과 조합된 바나듐은, 염화물 환경 내에서 전면 부식 및 국소 부식 (공식 및 틈새 부식)에 대한 저항성을 개선시킨다. 몰리브덴와 조합된 바나듐은 염화물을 포함하는 환경에서 염화물 응력부식 균열에 대한 저항성을 개선시 킬 수 있다. 그러나, 크롬, 몰리브덴 및 실리콘과 조합된 바나듐은 유해한 침전물 및 금속간 상의 침전으로의 경향성을 증가시킬 수 있다. 바나듐은, M_2X (카르보-나이트라이드, 질화물, 붕소화물, 보로-나이트라이드 또는 보로-카바이드)뿐만 아니라 $M_{23}C_6$ 카바이드와 같은 유해한 침전물을 형성하는 경향을 강하게 가진다. 그러므로, 실질적으로, 후막부 내에서 금속간 상 형성 비율의 증대 없이 증가 될 수 있는 바나듐의 수준에 대한 최대 한계치가 있다. 또한, 바나듐은, 용접 사이클 동안에, 용접 금속 및 용접의 열영향부에서 유해한 침전물과 같은 것을 형성하는 성향(propensity)을 증가킬 수 있다. 즉, 이러한 금속간 상 및 유해한 상 (deleterious phases)은, 상기 합금의 연성, 인성 및 부식 거동의 감소를 일으킬 수 있다. 그러므로, 이러한 304LM4N 스테인리스강의 변형은, ≤ 0.50 wt% V, 그러나, 바람직하게는 ≥ 0.10 wt% V 및 ≤ 0.50 wt% V, 더 바람직하게는 ≤ 0.30 wt% V의 바나듐 함량을 갖도록 특별히 구성되었다. 바나듐은, 상기 합금의 전체적 부식 거동을 더 개선시키기 위해서, 구리, 텅스텐, 티타늄 및/또는 니오븀 및/또는 니오븀 플러스 탄탈과 같은 이러한 원소들의 모든 다양한 조합 내에서 함께, 또는 개별적으로 첨가될 수 있다. 바나듐은 가격이 고가이므로, 상기 합금의 경제성을 최적화하고, 이와 동시에, 상기 합금의 부식 거동, 인성 및 연성을 최적화하도록 의도적으로 제한되고 있다.

[0192] **티타늄, 니오븀 및 니오븀 플러스 탄탈의 효과**

[0193] ≥ 0.040 wt% C 및 < 0.10 wt% C, 그러나, 바람직하게는 ≤ 0.050 wt% C, 또는 > 0.030 wt% C 및 ≤ 0.08 wt% C, 그러나, 바람직하게는 < 0.040 wt% C의 더 높은 탄소 함량이 선호되는, 특정 적용을 위해서, 상기 304HM4N 또는 304M4N 스테인리스강의 특정 변종, 일반적으로, 304HM4NTi 또는 304M4NTi는, 하기의 식에 따른 티타늄 함량을 갖도록 의도적으로 구성되었다: 티타늄 안정화된 상기 합금의 유도체를 갖기 위해서, 각각, Ti 4 x C min, 0.70 wt% Ti max, 또는 Ti 5 x C min, 0.70 wt% Ti max. 티타늄 안정화된 상기 합금의 변종은, 초기 용액 열처리 온도보다 더 낮은 온도에서 안정화 열처리가 제공될 수 있다. 티타늄은, 합금의 연성, 인성 및 부식 거동을 최적화하기 위해서, 원소들의 모든 다양한 조합 내에서 구리, 텅스텐, 바나듐 및/또는 니오븀 및/또는 니오븀 플러스 탄탈과 조합되어 첨가되거나 또는 개별적으로 첨가될 수 있다.

[0195] 또한, ≥ 0.040 wt% C 및 < 0.10 wt% C, 그러나 바람직하게는 ≤ 0.050 wt% C, 또는 > 0.030 wt% C 및 ≥ 0.08 wt% C, 그러나 바람직하게는 < 0.040 wt% C의 더 높은 탄소 함량이 선호되는, 특정 적용을 위해서, 상기 304HM4N 또는 304M4N 스테인리스강의 특정 변종, 일반적으로 304HM4NNb 또는 304M4NNb는 하기에 식에 따르는 니오븀 함량을 갖도록 의도적으로 구성되었다:

[0196] 니오븀 안정화된 합금의 유도체를 갖도록, 각각, Nb 8 x C min, 1.0 wt% Nb max, 또는 Nb 10 x C min, 1.0 wt% Nb max

[0197] 추가적으로, 합금의 다른 변종은, 니오븀 플러스 탄탈의 함량이 다음의 식에 따라 조절되는, 니오븀 플러스 탄탈 안정화된, 304HM4NNbTa 또는 304M4NNbTa 버전을 포함하도록 제조될 수 있다: Nb + Ta 8 x C min, 1.0 wt% Nb + Ta max, 0.10 wt% Ta max, 또는 Nb + Ta 10 x C min, 1.0 wt% Nb + Ta max, 0.10 wt% Ta max. 니오븀 안정화된 및 니오븀 플러스 탄탈 안정화된 합금의 변종은 초기 용액 열처리 온도보다 더 낮은 온도에서 안정화 열처리를 제공할 수 있다. 니오븀 및/또는 니오븀 플러스 탄탈은, 합금의 연성, 인성 및 부식 거동을 최적화하기 위해서, 원소들의 모든 다양한 조합으로 구리, 텅스텐, 바나듐 및/또는 티타늄과 함께 첨가되거나 또는 개별적으로 첨가될 수 있다.

[0199] **내공식성지수**

[0200] 스테인리스강 내의 다수의 합금 원소가 불활성 방향 내로 공식 전위를 이동하는 전술한 내용으로부터 명확해진다. 이러한 유익한 효과는 복합적 (complex) 및 상호적 (interactive)이고, 시도 (attempts)는 공식 저항성 인덱스 (pitting resistance indices)에 대한 복합적으로 유도된 실증적 관계 (empirical relationships)를 사용하도록 하였다. 내공식성지수를 계산하는데 사용된 가장 통상적으로 허용된 식:

[0201] PRE_N = % Cr + (3.3 x % Mo) + (16 x % N)

[0203] 40 미만의 PRE_N 값을 갖는 본 발명에서 기술된 합금이 "오스테나이트" 스테인리스강으로 분류될 수 있다는 것으로 일반적으로 이해된다. 반면에, 40 이상의 PRE_N 값을 갖는 본 발명에서 기술된 합금은, 이들의 매우 우수한 전면 및 국소 부식 저항성을 반영하는 "슈퍼 오스테나이트" 스테인리스강으로 분류될 수 있다. 이러한 304LM4N 스테인리스강은 다음의 조성을 갖도록 특별히 구성되어왔다:

[0204] (i) 크롬함량 ≥ 17.50 wt% Cr 및 ≤ 20.00 wt% Cr, 그러나 바람직하게는 ≥ 18.25 wt% Cr,

[0205] (ii) 몰리브덴 함량 ≤ 2.00 wt% Mo, 그러나 바람직하게는 ≥ 0.50 wt% Mo 및 ≤ 2.0 wt% Mo, 더 바람직하게는 ≥ 1.0 wt% Mo

[0206] (iii) 질소 함량 ≤ 0.70 wt% N, 그러나 바람직하게는 ≥ 0.40 wt% N 및 ≤ 0.70 wt% N, 더 바람직하게는 ≥ 0.40 wt% N 및 ≤ 0.60 wt% N, 더욱더 바람직하게는 ≥ 0.45 wt% N 및 ≤ 0.55 wt% N

[0208] 상기 304LM4N 스테인리스강은, PRE_N ≥ 25, 그러나 바람직하게는 PRE_N ≥ 30 및 특정된 고수준 질소를 갖는다. 결과적으로, 상기 304LM4N 스테인리스강은, 전면 및 국소 부식에 대한 좋은 용접성 및 좋은 저항성과 함께, 우수한 연성 및 인성을 갖는 고기계적 강도 특성의 독특한 조합을 포함한다. 전제적 고립 (total isolation)에서 이와 같은 식의 활용에 관한 의구심 (reservation)은 있다. 상기 식은 공식거동 (pitting performance)을 개선시키는 텅스텐과 같은 다른 원소의 유익한 효과의 이유를 제시하지 않는다. 텅스텐을 포함하는 304LM4N 스테인리스강의 변종에 관련해서, 내공식성지수는 하기의 식을 사용하여 계산된다:

[0209] PRE_{NW} = % Cr + [3.3 x % (Mo + W)] + (16 x % N)

[0211] 40 미만의 PRE_{NW} 값을 갖는 본 발명에 기술된 합금은 "오스테나인" 스테인리스강으로 분류될 수 있는 것으로 일반적으로 이해된다. 반면에, 40 이상의 PRE_{NW} 값을 가진 본 발명에 기술된 합금은, 이들의 매우 우수한 전면 및 국소 부식 저항성을 반영하는 "슈퍼오스테나인" 스테인리스강으로 분류될 수 있다. 상기 304LM4N 스테인리스강의 이러한 텅스텐을 포함하는 변형은 다음의 조성을 가지도록 특별히 구성된다:

[0212] (i) 크롬함량 ≥ 17.50 wt% Cr 및 ≤ 20.00 wt% Cr, 그러나 바람직하게는 ≥ 18.25 wt% Cr,

[0213] (ii) 몰리브덴 함량 ≤ 2.00 wt% Mo, 그러나 바람직하게는 ≥ 0.50 wt% Mo 및 ≤ 2.0 wt% Mo, 더 바람직하게는 ≥ 1.0 wt% Mo,

[0214] (iii) 질소 함량 ≤ 0.70 wt% N, 그러나 바람직하게는 ≥ 0.40 wt% N 및 ≤ 0.70 wt% N, 더 바람직하게는 ≥ 0.40 wt% N 및 ≤ 0.60 wt% N, 더욱더 바람직하게는 ≥ 0.45 wt% N 및 ≤ 0.55 wt% N

[0215] (iv) 텅스텐 함량 ≤ 2.00 wt% W, 그러나 바람직하게는 ≥ 0.50 wt% W 및 ≤ 1.00 wt% W, 더 바람직하게는 ≥ 0.75 wt% W

[0216] 텅스텐을 포함하는 상기 304LM4N 스테인리스강의 변형은 PRE_{NW} ≥ 27, 그러나 바람직하게는 PRE_{NW} ≥ 32이고, 특정된 높은 질소 수준을 갖는다. 이러한 식은 공식 부식 또는 틈새 부식에 의한 패시비티의 쇠약에 대한 미세구조 인자의 효과를 무시하는 것이 강조될 수 있다.

[0218] **오스테나이트의 미세구조**

[0219] 제1 구현예의 304LM4N 스테인리스강의 화학적 조성은, 전형적으로 1100 ℃ 내지 1250 ℃의 범위에서 수행되고 이어서 수냉되는 용액 열처리 이후에, 베이스 물질 내에 오스테나이트의 미세구조를 주로 보장하도록 용융 단계에서 조절된다. 용접된 상태의 용접 금속 및 용접의 열영향부와 함께, 용액 열처리된 상태에서 304LM4N 베이스 물질의 미세 구조는, 상기 합금이 오스테나이트인 것을 주로 보장하기 위해서, 상기 언급된 바와 같은, 오스테나이트 형성 원소 및 페라이트 형성원소 간에 밸런스를 최적화하여 조절된다. 상기 페라이트 및 오스테나이트 상 (austenite phases)을 안정화하는 원소의 상대적 효율 (relative effectiveness)은 이들의 [Cr] 및 [Ni] 당량이라는 용어로 나타낼 수 있다. [Cr] 및 [Ni] 당량 이용의 컨조인트 효과 (conjoint effect)는 용접 금속의 구조를 예측하기 위한 Schaeffler[4]에 의해 제시된 방법을 이용하여 나타내어진다. 상기 Schaeffler[4] 다이아그램은 오로지 용접 또는 칠캐스팅 (chill castings)과 같이 냉각된 합금 및 신속한 캐트스에만 적용가능하다. 그러나, 상기 Schaeffler[4] 다이아그램은 또한, 모재 물질의 상 균형의 지표 (indication)을 제공할 수 있다. 상기 Schaeffler[4]은 이의 [Cr] 및 [Ni] 당량 이라는 용어로 표시되는 이들의 화학적 조성에 따라 신속하게 냉각하여 형성된 스테인리스강 용접 금속의 구조를 예측하였다. 상기 Schaeffler[4] 다이아그램은 하기의 식에 따라 [Cr] 및 [Ni] 당량을 이용하였다:

[0220] [Cr] 당량 = wt% Cr + wt% Mo + 1.5 x wt% Si + 0.5 x wt% Nb (1) [Ni] 당량 = wt% Ni + 30 x wt% C + 0.5 x wt% Mn (2)

[0221] 그러나, 상기 Schaeffler[4] 다이아그램은 안정화된 오스테나이트에서 질소의 중요한 영향을 설명할 수 없었다. 그러므로, 상기 Schaeffler[4] 다이아그램은 오스테나이트 형성 원소로서 질소의 중요한 영향력을 포함하도록 DeLong[5] 에 의해서 수정되었다. 상기 DeLong[5] 다이아그램은 공식 (1)에서 Schaeffler[4]에 의해 이용되는 것과 동일한 [Cr] 당량식이 이용되었다. 그러나, 상기[Ni] 당량은 하기의 식에 따라 변형되었다:

[0222] [Ni] 당량 = wt% Ni + 30 x wt% (C + N) + 0.5 x wt% Mn (3)

[0223] 이러한 DeLong[5] 다이아그램은 "Welding Research Council (WRC) 페라이트수 (Ferrite number)" 및 "자기적으로 결정된 페라이트 함량 (magnetically determined Ferrite content)" 이라는 용어로서, 페라이트 함량 (content)을 보여준다. 상기 페라이트수 및 페라이트 백분율 (즉, > 6 % 페라이트 값)의 차이점은 자기 측정이 이용된 WRC 보정 공정 (calibration procedures) 및 보정곡선 (calibration curves)에 관련된다. 상기 Schaeffler[4] 다이아그램과 상기 DeLong[5] 변형된 Schaeffler[4] 다이아그램의 비교는, 제시된 [Cr] 당량 및 [Ni] 당량에 관련해서, 상기 DeLong[5] 다이아그램이 더 높은 페라이트 함량 (즉,대략 5 % 더 높은)을 예측하는 것이 밝혀 졌다. 그러나, 상기 Schaeffler[4] 다이아그램 및 상기 DeLong[5] 다이아그램은 주로 용접(weldments)에 관련해서 연구되어 왔으므로, 오로지 모재 물질에만 적용가능하지 않다. 그러나, 이들은, 존재할 것 같은 상의 좋은 지표 (indication)를 제공하고, 다른 합금 원소들의 상대적 영향에 대한 가치있는 정보를 제공한다. Schoefer[6]는 Schaeffler[4] 다이아그램의 변형된 버전은 캐스팅 (castings) 내에 페라이트 수를 설명하기 위해 사용될 수 있음을 나타낸다. 이는, A800/A800M-10[7] 내의 ASTM에 의해 도입된 바와 같이, Schaeffler[4] 다이아그램 좌표를 수평축 상의 페라이트수 또는 부피백분율 페라이트 (Volume Percent Ferrite) 중 어느 하나로 변형시켜 이루어진다. 수직축은 [Ni] 당량으로 나눈 [Cr] 당량의 비율로 표현된다. 또한, Schoefer[6]은, 하기의 식에 따라 [Cr] 당량 및 [Ni] 당량 인자를 변형하였다:

[0225] [Cr] 당량 = wt% Cr + 1.5 x wt% Si + 1.4 x wt% Mo + wt% Nb - 4.99 (4)

[0226] [Ni] 당량 = wt% Ni + 30 x wt% C + 0.5 x wt% Mn + 26 x wt% (N - 0.02) + 2.77 (5)

[0227] 또한, 페라이트안정제 (stabiliser)인 다른 원소는 또한, Schoefer[6]으로 도입된 공식의 변형을 제공하도록, 상기 [Cr] 당량 인자에 영향을 줄 수 있음을 제시한다. 이는, 본 발명에서 포함된 합금의 변종에 관련될 수 있는 각각의 [Cr] 당량 인자에 지정된 다음의 원소들을 포함한다:

[0228] 원소 [Cr] 당량 인자

[0229] 텅스텐 0.72

[0230] 바나듐 2.27

[0231] 티타늄 2.20

[0232] 탄탈 0.21

[0233] 알루미늄 2.48

[0235] 이와 마찬가지로, 또한, 오스테나이트 안정제 (Austenite stabilisers)인 다른 원소는 또한, Schoefer[6]에 의해 도입된 이와 같은 공식의 변형을 제공하도록 상기 [Ni] 당량 인자에 영향을 줄 수 있다. 이는, 본 발명에 포함되는 합금의 변종에 관련될 수 있는 각각의 [Ni] 당량 인자에 지정된 다음의 원소들을 포함한다:

[0237] 원소 [Ni] 당량 인자

[0238] 구리 0.44

[0240] 그러나, ASTM A800/A800M - 10[7], 상기 Schoefer[6] 다이아그램이, 단지 다음에 따른 특정 범위에 따른 중량 백분율의 합금원소를 포함하는 스테인리스강 합금에만 적용가능하다는 것을 명시한다:

	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	Nb	N
MIN				17.00	4.00			
MAX	0.20	2.00	2.00	28.00	13.00	4.00	1.00	0.20

[0242]

[0244] 상기 언급한 내용으로, 304LM4N 스테인리스강의 질소함량은 ≤ 0.70 wt% N, 그러나 바람직하게는 ≥ 0.40 wt% N 및 ≤ 0.70 wt% N, 더 바람직하게는 ≥ 0.40 wt% N 및 ≤ 0.60 wt% N, 더욱더 바람직하게는 ≥ 0.45 wt% N 및 ≤ 0.55 wt% N인 것으로 예상될 수 있다. 이는, ASTM A800/A800M - 10[7]에 의해 도입된 Schoefer[6] 다이아그램 최대 한정치를 초과한다. 이러한 사실에도 불구하고, 상기 Schoefer[6] 다이아그램은 오스테나이트계 스테인리스강을 포함하는 더 높은 질소 내의 페라이트수 또는 부피백분율 페라이트 존재의 상대적 비교를 제공할 수 있다.

[0246] 질소는 탄소와 같이, 매우 강한 오스테나이트 형성 원소이다. 이와 유사하게, 망간 및 니켈 또한, 보다 적은 부분이지만 오스테나이트 형성 원소이다. 질소 및 탄소뿐만 아니라, 망간 및 니켈과 같은 오스테나이트 형성 원소의 수준은, 오스테나이트의 미세구조를 주로 유지하도록 크롬, 몰리브덴 및 실리콘과 같은 페라이트 형성 원소의 균형을 맞추기 위해서 최적화된다. 결과적으로, 질소는 확산율이 오스테나이트 내에서 더 느리기 때문에, 금속간 상을 형성하는 성향을 직접적으로 제한한다. 그러므로, 상기 금속간 상의 형성 키네틱스는 감소된다. 또한, 오스테나이트가 질소에 대한 좋은 용해도를 갖는 점을 고려하면, 이는, 용접 사이클 동안에, 용접 금속 및 용접의 열영향부에서 $M_{23}C_6$ 카바이드뿐만 아니라, M_2X (카르보-나이트라이드, 질화물, 붕소화물, 보로-나이트라이드 또는 보로-카바이드)와 같은 유해한 침전물을 형성하는 잠재성을 감소시키는 것을 의미한다. 스테인리스강의 다른 변종에 대해 이미 논의된 바와 같이, 텅스텐, 바나듐, 티타늄, 탄탈, 알루미늄 및 구리와 같은 원소들을 더 포함할 수 있다.

[0247]

[0248] 그러므로, 상기 304LM4N 스테인리스강은 용접된 상태의 용접 금속 및 용접의 열영향부와 함께, 용액 열처리된 상태에서 베이스 물질의 미세 구조가 오스테나이트로 되는 것을 주로 보장하기 위해서 특별히 개발되어 왔다. 이는 오스테나이트 형성 원소 및 페라이트 형성원소들 간에 밸런스를 최적화하여 조절된다. 그러므로, 상기 304LM4N 스테인리스강의 화학적 분석은, Schoefer[6]에 따라, [Ni] 당량에 의해 나누어진 [Cr]당량의 비율이 범위 > 0.40 및 < 1.05, 그러나 바람직하게는 > 0.45 및 < 0.95 내에 있도록 보장하기 위해서 용융단계에서 최적화된다. 결과적으로, 상기 304LM4N 스테인리스강은 주위 온도에서 고강도 및 연성의 독특합 조합을 나타냄과 동시에, 주위 온도 및 초저온 (cryogenic temperatures)에서 우수한 인성을 보장한다. 더욱이, 상기 합금은 비자성 상태로 공급되고, 제조될 수 있다

[0250] **최적 화학적 조성**

[0251] 앞서 언급한 것에 대한 결과로서, 상기 304LM4N 스테인리스강의 최적 화학적 조성 범위는 선택적이고, 다음에 따른 중량 백분율로 포함되어 결정되었다:

[0252] (i) ≤ 0.030 wt% C 최대, 그러나 바람직하게는 ≥ 0.020 wt% C 및 ≤ 0.030 wt% C, 더 바람직하게는 ≤ 0.025 wt% C;

[0254] (ii) 더 낮은 망간범위의 합금을 위해, ≤ 5.0, 바람직하게는 ≥ 1.42 및 ≤ 5.0, 그러나 더 바람직하게는 ≥ 1.42 및 ≤ 3.75의 Mn 대 N 비율을 갖고, ≤ 2.0 wt% Mn, 그러나 바람직하게는 ≥ 1.0 wt% Mn 및 ≤ 2.0 wt% Mn, 더 바람직하게는 ≥ 1.20 wt% Mn 및 ≤ 1.50 wt% Mn;

[0255] (iii) ≤ 0.030 wt% P, 그러나 바람직하게는 ≤ 0.025 wt% P, 더 바람직하게는 ≤ 0.020 wt% P, 더욱더 바람직하게는 ≤ 0.015 wt% P, 더욱더 바람직하게는 ≤ 0.010 wt% P;

[0256] (iv) ≤ 0.010 wt% S, 그러나 바람직하게는 ≤ 0.005 wt% S, 더 바람직하게는 ≤ 0.003 wt% S, 더욱더 바람직하게는 ≤ 0.001 wt% S;

[0257] (v) ≤ 0.070 wt% O, 그러나 바람직하게는 ≤ 0.050 wt% O, 더 바람직하게는 ≤ 0.030 wt% O, 더욱더 바람직하게는 ≤ 0.010 wt% O, 더욱더 바람직하게는 ≤ 0.005 wt% O;

[0258] (vi) ≤ 0.75 wt% Si, 그러나 바람직하게는 ≥ 0.25 wt% Si 및 ≤ 0.75 wt% Si, 더 바람직하게는 ≥ 0.40 wt% Si 및 ≤ 0.60 wt% Si;

[0259] (vii) ≥ 17.50 wt% Cr 및 ≤ 20.00 wt% Cr, 그러나 바람직하게는 ≥ 18.25 wt% Cr;

[0260] (viii) ≥ 8.00 wt% Ni 및 ≤ 12.00 wt% Ni, 그러나 바람직하게는 ≤ 11 wt% Ni, 더 바람직하게는 ≤ 10 wt% Ni;

[0261] (ix) ≤ 2.00 wt% Mo, 그러나 바람직하게는 ≥ 0.50 wt% Mo 및 ≤ 2.00 wt% Mo, 더 바람직하게는 ≥ 1.0 wt% Mo;

[0262] (x) ≤ 0.70 wt% N, 그러나 바람직하게는 ≥ 0.40 wt% N 및 ≤ 0.70 wt% N, 더 바람직하게는 ≥ 0.40 wt% N 및 ≤ 0.60 wt% N, 더욱더 바람직하게는 ≥ 0.45 wt% N 및 ≤ 0.55 wt% N.

[0264] 상기 304LM4N 스테인리스강은, 특정된 높은 수준의 질소를 갖고, PRE_N ≥ 25, 그러나 바람직하게는 PRE_N ≥ 30를 갖는다. 상기 304LM4N 스테인리스강의 화학적 조성은, Schoefer[6]에 따라, [Ni] 당량으로 나눈 [Cr] 당량의 비율이 > 0.40 및 < 1.05, 그러나 바람직하게는 > 0.45 및 < 0.95의 범위 내에 있도록 보장하기 위해서 용융 단계에서 최적화된다. 또한, 상기 304LM4N 스테인리스강은 잔여부로서 Fe를 주로 더 포함하고, 잔류수준으로 존재할 수 있는 다른 불순물뿐만 아니라 붕소, 세륨, 알루미늄, 칼슘 및/또는 마그네슘과 같은 소량의 다른 원소를 더 포함할 수 있다. 상기 304LM4N 스테인리스강은 붕소의 추가 없이 제조될 수 있고, 붕소의 잔류수준은 열에 붕소를 의도적으로 주입하는 것을 선호하지 않는 밀(mills)용으로 전형적으로 ≥ 0.0001 wt% B 및 ≤ 0.0006 wt% B이다. 또한, 상기 304LM4N 스테인리스강은, ≥ 0.001 wt% B 및 ≤ 0.010 wt% B, 그러나 바람직하게는 ≥ 0.0015 wt% B 및 ≤ 0.0035 wt% B의 붕소 함량을 특별히 갖도록 제조될 수 있다. 세륨은 ≤ 0.10 wt% Ce, 그

러나 바람직하게는 ≥ 0.01 wt% Ce 및 ≤ 0.10 wt% Ce, 더 바람직하게는 ≥ 0.03 wt% Ce 및 ≤ 0.08 wt% Ce의 세륨 함량으로 첨가될 수 있다. 상기 스테인리스강이 세륨을 포함한다면, REMs가 미슈메탈로서 스테인리스강제조자에 매우 빈번하게 제공되므로, 란탄과 같은 다른 희토류 금속 (REMs)을 가능한 더 포함할 수 있다. 희토류 금속은, 본 발명에서 특정화된 Ce의 수준에 적합한 REMs의 전체 함량을 제공하는 미슈메탈과 함께 또는 개별적으로 이용될 수 있다. 알루미늄은 ≤ 0.050 wt% Al, 그러나 바람직하게는 ≥ 0.005 wt% Al 및 ≤ 0.050 wt% Al, 더 바람직하게는 ≥ 0.010 wt% Al 및 ≤ 0.030 wt% Al의 알루미늄 함량으로 첨가될 수 있다. 칼슘 및/또는 마그네슘은 ≥ 0.001 및 ≤ 0.01 wt% Ca 및/또는 Mg, 그러나 바람직하게는 ≤ 0.005 wt% Ca 및/또는 Mg의 Ca 및/또는 Mg 함량으로 첨가될 수 있다.

[0265] 상기 언급한 것으로부터, 상기 로트 304LM4N 스테인리스강을 이용한 적용은 줄어든 벽두께(reduced wall thicknesses)로 대부분 고안될 수 있고, 이는, 최소허용설계응력이 월등하게 더 높기 때문에 특정화된 304LM4N 스테인리스강과, UNS S30403 및 S30453와 같은 통상적인 오스테나이트계 스테인리스강을 비교할 경우에, 월등한 무게 감량을 유도할 수 있다. 사실, 상기 로트 304LM4N 스테인리스강에 대한 최소허용설계응력은 22 Cr 듀플렉스 스테인리스강 (Duplex Stainless Steels)보다, 더 높고, 25 Cr 슈퍼 듀플렉스 스테인리스강과 유사하다.

[0267] 만약, 로트 304LM4N 스테인리스강이 특정화되고 이용된다면, 더 얇은 벽 (thinner wall) 구성요소가 고안될 수 있고, 이는 더 적은 제조시간이 필요하고 다루는데 더 용이하기 때문에, 제조 및 건설비용을 전체적으로 절약할 수 있음을 이해될 수 있다. 그러므로, 304LM4N 스테인리스강은, 구조 건전성 (structural integrity) 및 부식 저항성이 요구되고, 특히, 오프쇼어 (offshore) 및 온쇼어 (onshore) 오일과 가스 적용에 적합한 광범위한 산업 적용으로 활용될 수 있다.

[0269] 로트 304LM4N 스테인리스강은, 즉, 월등한 비용 절감을 유도하는, 월등한 무게 감량 및 제조시간 절약이 달성될 수 있으므로, 오프쇼어 부유식 액화천연가스 (FLNG)베슬용으로 이용되는 제조된 모듈 및 탑사이드 파이핑시스템 (topside piping systems)과 같은 다양한 시장 및 산업 분야의 광범위한 적용 범위에 활용하는데 적절하다.

[0271] 상기 304LM4N 스테인리스강은, 또한, 특정화되고, 상오 및 초저온에서 우수한 인성뿐만 아니라, 고기계적 강도 특성 및 연성을 갖는다는 점에서, 오프쇼어FLNG 베슬 및 온쇼어 LNG 플랜트에 이용되는 파이핑 시스템 (piping systems)과 같은 오프쇼어 및 온쇼어 적용 둘 다에 활용되는 파이핑 시스템용으로 이용될 수 있다.

[0272] 304LM4N 오스테나이트계 스테인리스강 외에, 추가로 또한, 본 기술 내용에서 316LM4N으로 적절하게 나타내는 제 2 구현예가 제안된다.

[0274] **316LM4N**

[0275] 상기 316LM4N 고강도 오스테나이트계 스테인리스강은 PRE_N ≥ 30, 그러나 바람직하게는 PRE_N ≥ 35의 특정 내공식성지수 및 더 높은 수준의 질소를 포함한다. PRE_N로 지정된 내공식성지수는 다음의 식에 따라 계산된다:

[0276] PRE_N = % Cr + (3.3 x % Mo) + (16 x % N)

[0277] 상기 316LM4N 스테인리스강은, 전면 및 국소 부식에 대한 좋은 저항성 및 좋은 용접성과 더불어, 우수한 연성 및 인성과 고기계적 강도 특성의 독특한 조합을 포함하도록 구성된다. 상기 316LM4N 스테인리스강의 화학적 조성은 선택적이고, 다음과 같이, 중량 백분율의 합금의 화학적 원소에 의해서 특징된다: 0.030 wt% C max, 2.00 wt% Mn max, 0.030 wt% P max, 0.010 wt% S max, 0.75 wt% Si max, 16.00 wt% Cr - 18.00 wt% Cr, 10.00 wt% Ni - 14.00 wt% Ni, 2.00 wt% Mo - 4.00 wt% Mo, 0.40 wt% N - 0.70 wt% N.

[0278] 상기 316LM4N 스테인리스강은 또한, 잔여부로서 대부분 Fe를 포함하고, 0.010 wt% B max, 0.10 wt% Ce max, 0.050 wt% Al max, 0.01 wt% Ca max 및/또는 0.01 wt% Mg max와 같은 매우 소량의 다른 원소들 및 잔류수준으로 정상적으로 존재하는 다른 불술물을 더 포함할 수 있다. 상기 316LM4N 스테인리스강의 화학적 조성은, 전형적으로 1100 ℃ 내지 1250 ℃의 범위에 수행되고 다음으로 수냉되는 용액 열처리 이후에, 베이스 물질 내에서 오스테나이트의 미세구조를 주로 보장하기 위해서 용융 단계에서 최적화된다. 용접된 상태의 용접 금속 및 용

접의 열영향부와 더불어, 용액 열처리된 상태 내에서 베이스 물질의 미세구조는 상기 합금이 오스테나이트인 것을 주로 보장하기 위해서 오스테나이트 형성 원소 및 페라이트 형성 원소 사이에 밸런스를 최적화하여 조절된다. 결과적으로, 상기 316LM4N 스테인리스강은 주위 온도에서 고강도 및 연성의 독특한 조합을 나타내고, 이와 동시에, 주위 온도 및 초저온에서 우수한 인성을 보증한다. 상기 316LM4N 스테인리스강의 화학적 분석이 $PRE_N \geq 30$, 그러나 바람직하게는 $PRE_N \geq 35$을 보장하도록 조정된다는 점을 고려한다면, 이는 물질이, 공정 환경 내의 광범위한 범위 내에서 전면 부식 및 국소 부식 (공식 및 틈새 부식)에 대한 좋은 저항성을 더 갖는 것을 보장한다. 또한, 상기 316LM4N 스테인리스강은 UNS S31603 및 UNS S31653과 같은 통상적인 오스테나이트계 스테인리스강과 비교할 때, 염화물을 포함하는 환경 내에 응력부식 균열에 대한 저항성을 개선하였다.

[0280] 상기 316LM4N 스테인리스강의 최적 화학적 조성 범위는 제2 구현예에 기반으로 하여 다음에 따른, 중량 백분율의 다음의 화학적 원소를 포함하도록 신중하게 선택적된다.

[0282] **탄소 (C)**

[0283] 상기 316LM4N 스테인리스강의 탄소 함량은 ≤ 0.030 wt% C 최대, 그러나 바람직하게는 ≥ 0.020 wt% C 및 ≤ 0.030 wt% C, 더 바람직하게는 ≤ 0.025 wt% C이다.

[0285] **망간 (Mn)**

[0286] 제2 구현예의 316LM4N 스테인리스강은 두 가지 변형에 관련될 수 있다: 저망간 또는 고망간.

[0288] 저망간 합금에 관련해서, 상기 316LM4N 스테인리스강의 망간 함량은 ≤ 2.0 wt% Mn, 그러나 바람직하게는 ≥ 1.0 wt% Mn 및 ≤ 2.0 wt% Mn, 더 바람직하게는 ≥ 1.20 wt% Mn 및 ≤ 1.50 wt% Mn이다. 이와 같은 조정으로, 이는 ≤ 5.0, 바람직하게는, ≥ 1.42 및 ≤ 5.0의 최적 Mn 대 N 비율을 획득한다. 더 바람직하게는, 상기 비율은 ≥ 1.42 및 ≤ 3.75이다.

[0290] 고망간 합금에 관련해서, 상기 316MN4N의 망간 함량은 ≤ 4.0 wt% Mn이다. 바람직하게는, 상기 망간 함량은 ≥ 2.0 wt% Mn 및 ≤ 4.0 wt% Mn, 더 바람직하게는 상한은 ≤ 3.0 wt% Mn이다. 더욱더 바람직하게는, 상기 상한은 ≤ 2.50 wt% Mn이다. 이러한 선택적 범위로, 이는 ≤ 10.0, 바람직하게는 ≥ 2.85 및 ≤ 10.0의 Mn 대 N 비율을 획득한다. 더 바람직하게는, 고망간 합금에 대한 상기 Mn 대 N 비율은 ≥2.85 및 ≤ 7.50, 더욱더 바람직하게는 ≥ 2.85 및 ≤ 6.25이다.

[0292] **인 (P)**

[0293] 상기 316LM4N 스테인리스강의 인함량은 ≤ 0.030 wt% P이 되도록 조절된다. 바람직하게는, 상기 316LM4N 합금은 ≤ 0.025 wt% P, 더 바람직하게는 ≤ 0.020 wt% P를 갖는다. 더욱더 바람직하게는, 상기 합금은 ≤ 0.015 wt% P, 더욱더 바람직하게는 ≤ 0.010 wt% P를 갖는다.

[0295] **황 (S)**

[0296] 상기 316LM4N 스테인리스강의 황 함량은 ≤ 0.010 wt% S이다. 바람직하게는, 상기 316LM4N은 ≤ 0.005 wt% S, 더 바람직하게는 ≤ 0.003 wt% S, 더욱더 바람직하게는 ≤ 0.001 wt% S를 갖는다.

[0298] **산소 (O)**

[0299] 상기 316LM4N 스테인리스강의 산소 함량은 가능한 낮게 조절되고, 제2 구현예에서, 상기 316LM4N은 ≤ 0.070

wt% O를 갖는다. 바람직하게는, 상기 316LM4N은 ≤ 0.050 wt% O, 더 바람직하게는 ≤ 0.030 wt% O를 갖는다. 더욱더 바람직하게는, 상기 합금은 ≤ 0.010 wt% O, 더욱더 바람직하게는 ≤ 0.005 wt% O를 갖는다.

[0301] **실리콘 (Si)**

[0302] 상기 316LM4N 스테인리스강의 실리콘 함량은 ≤ 0.75 wt% Si 갖는다. 바람직하게는, 상기 합금은 ≥ 0.25 wt% Si 및 ≤ 0.75 wt% Si이다. 더 바람직하게는, 상기 범위는 ≥ 0.40 wt% Si 및 ≤ 0.60 wt% Si이다. 그러나, 개선된 산화 저항성이 요구되는 더 높은 온도 적용에 관련해서, 상기 실리콘 함량은 ≥ 0.75 wt% Si 및 ≤ 2.00 wt% Si이다.

[0304] **크롬 (Cr)**

[0305] 상기 316LM4N 스테인리스강의 크롬 함량은 ≥ 16.00 wt% Cr 및 ≤ 18.00 wt% Cr 이다. 바람직하게는, 상기 합금은 ≥ 17.25 wt% Cr를 갖는다.

[0307] **니켈 (Ni)**

[0308] 상기 316LM4N 스테인리스강의 니켈 함량은 ≥ 10.00 wt% Ni 및 ≤ 14.00 wt% Ni이다. 바람직하게는, 상기 합금의 Ni의 상한은 ≤ 13.00 wt% Ni, 더 바람직하게는 ≤ 12.00 wt% Ni이다.

[0310] **몰리브덴 (Mo)**

[0311] 상기 316LM4N 스테인리스강의 몰리브덴 함량은 ≥ 2.00 wt% Mo 및 ≤ 4.00 wt% Mo이다. 바람직하게는, 하한은 ≥ 3.0 wt% Mo이다.

[0313] **질소 (N)**

[0314] 상기 316LM4N 스테인리스강의 질소함량은 ≤ 0.70 wt% N, 그러나 바람직하게는 ≥ 0.40 wt% N 및 ≤ 0.70 wt% N이다. 더 바람직하게는, 상기 316LM4N은 ≥ 0.40 wt% N 및 ≤ 0.60 wt% N, 더욱더 바람직하게는 ≥ 0.45 wt% N 및 ≤ 0.55 wt% N일 수 있다.

[0316] **PRE_N**

[0317] 내공식성지수 (PRE_N)은 하기의 식을 이용하여 계산된다:

[0318] PRE_N = % Cr + (3.3 x % Mo) + (16 x % N)

[0319]

[0320] 상기 316LM4N 스테인리스강은 다음의 조성을 갖도록 특별히 구성된다:

[0321] (i) 크롬함량 ≥ 16.00 wt% Cr 및 ≤ 18.00 wt% Cr, 그러나 바람직하게는 ≥ 17.25 wt% Cr,

[0322] (ii) 몰리브덴 함량 ≥ 2.00 wt% Mo 및 ≤ 4.00 wt% Mo, 그러나 바람직하게는 ≥ 3.0 wt% Mo,

[0323] (iii) 질소 함량 ≤ 0.70 wt% N, 그러나 바람직하게는 ≥ 0.40 wt% N 및 ≤ 0.70 wt% N, 더 바람직하게는 ≥ 0.40 wt% N 및 ≤ 0.60 wt% N, 더욱더 바람직하게는 ≥ 0.45 wt% N 및 ≤ 0.55 wt% N.

[0325] 고수준의 질소로, 상기 316LM4N 스테인리스강은 PRE_N ≥ 30, 그러나 바람직하게는 PRE_N ≥ 35를 획득한다. 이는, 상기 합금이 공정 환경의 광범위한 범위 내에서 전면 부식 및 국소 부식 (공식 및 틈새 부식)에 대한 좋은 저항성을 갖는 것을 보장한다. 또한, 상기 316LM4N 스테인리스강은, UNS S31603 및 UNS S31653와 같은 통상적

인 오스테나이트계 스테인리스강과 비교할 경우에, 염화물을 포함하는 환경 내에 응력부식 균열에 대한 저항성을 개선하였다. 이러한 식들은 공식 부식 또는 틈새 부식에 의한 패시비티의 쇠약에 대한 미세구조 인자의 효과를 무시할 수 있다.

[0327] 상기 316LM4N 스테인리스강의 화학적 조성은, Schoefer[6]에 따라, [Ni] 당량으로 나눈 [Cr] 당량의 비율은, 전형적으로 1100 ℃ 내지 1250 ℃ 범위 내에서 수행되고, 이어서 수냉되는 용액 열처리 이후에 베이스 물질 내에 오스테나이트의 미세구조를 주로 획득하기 위해서, > 0.40 및 < 1.05, 그러나 바람직하게는 > 0.45 및 < 0.95의 범위 내에 있도록 보장하기 위해서 용융 단계에서 최적화된다. 용접된 상태의 용접 금속 및 용접의 열영향부와 더불어, 용액 열처리된 상태에서 상기 베이스 물질의 미세 구조는, 상기 합금이 오스테나이트인 것을 주로 보장하기 위해서, 오스테나이트 형성 원소 및 페라이트 형성 원소 간의 밸런스를 최적화하여 조절된다. 그러므로, 상기 합금은 비자성 상태로 공급되고 제조될 수 있다.

[0329] 또한, 상기 316LM4N 스테인리스강은 잔여부로서 Fe를 주로 포함하고, 중량 백분율로 붕소, 세륨, 알루미늄, 칼슘 및/또는 마그네슘과 같은 매우 소량의 다른 원소들를 더 포함할 수 있고, 이러한 원소들의 조성은 304LM4N의 것과 동일하다. 다른 면에서, 304LM4N에 대한 이러한 원소들에 관련된 구절은 또한, 여기서 적용가능하다.

[0331] 제2 구현예에 따른 상기 316LM4N 스테인리스강은 로트 버전을 위한 55 ksi 또는 380 MPa 최소항복강도를 갖는다. 더 바람직하게는, 62 ksi 또는 430 MPa의 최소항복강도는 로트 버전을 위해 달성될 수 있다. 상기 캐스트 버전은 41 ksi 또는 280 MPa의 최소항복강도를 갖는다. 더 바람직하게는, 48 ksi 또는 330 MPa의 최소항복강도는 캐스트 버전을 위해서 달성될 수 있다. 바람직한 값을 기반으로 하여, 상기 316LM4N 스테인리스강의 로트 기계적 강도 특성과 UNS S31603 것과의 비교는 상기 316LM4N 스테인리스강의 최소항복강도가, UNS S31603에 대해 특정화된 것에 비하여 2.5 배 더 높을 수 있다는 것을 제시할 수 있다. 이와 유사하게, 신규하고 획기적인 316LM4N 스테인리스강의 로트 기계적 강도 특성과 UNS S31653의 것과의 비교는, 상기 316LM4N 스테인리스강의 최소항복강도가 UNS S31653에 대해 특정화된 것에 비하여 2.1 배 더 높다는 것을 제시할 수 있다.

[0333] 상기 제2 구현예에 따른 316LM4N 스테인리스강은 상기 로트 버전을 위한 102 ksi 또는 700 MPa의 최소인장강도를 갖는다. 더 바람직하게는, 109 ksi 또는 750 MPa의 최소인장강도는 로트 버전을 위해서 달성될 수 있다. 상기 캐스트 버전은 95 ksi 또는 650 MPa의 최소인장강도를 가질 수 있다. 더 바람직하게는, 102 ksi 또는 700 MPa의 최소인장강도는 캐스트 버전을 위해 달성될 수 있다. 바람직한 값을 기반으로 하여, 상기 316LM4N 스테인리스강의 로트 기계적 강도 특성과 UNS S31603의 것의 비교는, 상기 316LM4N 스테인리스강의 최소인장강도가 UNS S31603에 대해 특정화된 것에 비하여 1.5 배 이상으로 더 높다는 것을 제시할 수 있다. 이와 유사하게, 상기 316LM4N 스테인리스강의 로트 기계적 강도 특성과 UNS S31653의 것의 비교는, 316LM4N 스테인리스강의 최소인장강도가 UNS S31653에 대해 특정화된 것이 비하여 1.45 배 더 높을 수 있다는 것을 제시할 수 있다. 사실, 상기 신규하고 획기적인 316LM4N 스테인리스강의 로트 기계적 강도 특성이 22 Cr 듀플렉스 스테인리스강의 것과 비교된다면, 그 결과, 상기 316LM4N 스테인리스강의 최소인장강도는, 25 Cr 슈퍼 듀플렉스 스테인리스강에 대해 특정화된 것과 유사하고, S31803에 대해 특정화된 것보다 1.2 배 더 높은 범위 내에 있는 것을 확인할 수 있다. 그러므로, 상기 316LM4N 스테인리스강의 최소 기계적 강도 특성은 UNS S31603 및 UNS S31653과 같은 통상적인 오스테나이트계 스테인리스강과 비교하여 월등하게 개선되고, 인장 강도특성은 22 Cr 듀플렉스 스테인리스강에 대해 특정화된 것보다 더 좋아지고, 25 Cr 슈퍼 듀플렉스 스테인리스강에 대해 특정화된 것과는 유사하다.

[0335] 이는, 로트316LM4N 스테인리스강을 사용하는 적용은 대부분 줄어든 벽두께로 고안될 수 있고, 따라서, 상기 최소허용설계응력이 월등하게 더 높기 때문에, 특정화된 316LM4N 스테인리스강과, UNS S31603 및 S31653과 같은 통상적인 오스테나이트계 스테인리스강과 비교될 때, 월등하게 중량 감소를 유도한다는 것을 의미한다. 즉, 상기 로트 316LM4N 스테인리스강에 대한 최소허용설계응력은 22 Cr 듀플렉스 스테인리스강의 것에 비하여 더 높고, 25 Cr 슈퍼 듀플렉스 스테인리스강과 유사하다.

[0337] 특정 적용을 위해서, 상기 316LM4N 스테인리스강의 다른 변종은 구리, 텅스텐 및 바나듐과 같은 다른 합금 원소의 특정 수준을 포함하여 제조되도록 의도적으로 구성되었다. 316LM4N 스테인리스강의 다른 변종의 최적 화학적 조성의 범위는 선택적이고, 구리 및 바나듐의 조성은 304LM4N 것과 동일하다. 다른 면에서, 304LM4N에 대한 이러한 원소들에 관련된 구절은 316LM4N에 관련해서 적용가능하다.

[0339] **텅스텐 (W)**

[0340] 상기 316LM4N 스테인리스강의 텅스텐 함량은 ≤ 2.00 wt% W, 그러나 바람직하게는 ≥ 0.50 wt% W 및 ≤ 1.00 wt% W, 더 바람직하게는 ≥ 0.75 wt% W일 수 있다. 텅스텐을 포함하는 316LM4N 스테인리스강 변종에 관련해서, 내공식성지수는 하기의 식을 이용하여 계산된다:

[0341] PRE_{NW} = % Cr + [3.3 x % (Mo + W)] + (16 x % N)

[0343] 이러한 텅스텐 함유 316LM4N 스테인리스강 변형은 다음의 조성을 갖도록 특별히 구성된다:

[0344] (i) 크롬함량 ≥ 16.00 wt% Cr 및 ≤ 18.00 wt% Cr, 그러나 바람직하게는 ≥ 17.25 wt% Cr;

[0345] (ii) 몰리브덴 함량 ≥ 2.00 wt% Mo 및 ≤ 4.00 wt% Mo, 그러나 바람직하게는 ≥ 3.0 wt% Mo;

[0346] (iii) 질소 함량 ≤ 0.70 wt% N, 그러나 바람직하게는 ≥ 0.40 wt% N 및 ≤ 0.70 wt% N, 더 바람직하게는 ≥ 0.40 wt% N 및 ≤ 0.60 wt% N, 더욱더 바람직하게는 ≥ 0.45 wt% N 및 ≤ 0.55 wt% N; 및

[0347] (iv) 텅스텐 함량 ≤ 2.00 wt% W, 그러나 바람직하게는 ≥ 0.50 wt% W 및 ≤ 1.00 wt% W, 더 바람직하게는 ≥ 0.75 wt% W.

[0349] 상기 316LM4N 스테인리스강의 텅스텐을 포함하는 변형은 특정화된 더 높은 수준의 질소 및 PRE_{NW} ≥ 32, 그러나 바람직하게는 PRE_{NW} ≥ 37를 갖는다. 이러한 식들은 공식 부식 또는 틈새 부식에 의한 패시비티의 쇠약(breakdown of passivity)에 대한 미세구조 인자의 효과를 무시함을 강조될 수 있다. 텅스텐은, 상기 합금의 전체적 부식 거동을 더 개선하도록, 원소들의 모든 다양한 조합 내로 구리, 바나듐, 티타늄 및/또는 니오븀 및/또는 니오븀 플러스 탄탈과 함께 또는 개별적으로 첨가될 수 있다. 텅스텐은 매우 고가이므로, 상기 합금의 경제성을 최적화하고, 이와 동시에 상기 합금의 연성, 인성 및 부식 거동의 최적화하도록 의도적으로 제안된다.

[0351] **탄소 (C)**

[0352] 특정 적용을 위해서, 상기 316LM4N 스테인리스강의 다른 변종이 선호되고 이는, 더 높은 탄소 수준을 포함하여 제조되도록 특별히 구성된다. 특히, 상기 316LM4N 스테인리스강의 탄소 함량은 ≥ 0.040 wt% C 및 < 0.10 wt% C, 그러나 바람직하게는 ≤ 0.050 wt% C, 또는 > 0.030 wt% C 및 ≤ 0.08 wt% C, 그러나 바람직하게는 < 0.040 wt% C일 수 있다. 316LM4N 스테인리스강의 이러한 특정 변종은 각각 316HM4N 또는 316M4N 버전으로 관련될 수 있다.

[0354] **티타늄 (Ti) /니오븀 (Nb) /니오븀 (Nb) 플러스 탄탈 (Ta)**

[0355] 더욱이, 특정 적용을 위해서, 상기 316HM4N 또는 316M4N 스테인리스강의 다른 안정화된 변종이 선호되고, 이는 더 높은 탄소 수준을 포함하여 제조되도록 특별히 구성된다. 특히, 상기 탄소의 함량은 ≥ 0.040 wt% C 및 < 0.10 wt% C, 그러나 바람직하게는 ≤ 0.050 wt% C, 또는 > 0.030 wt% C 및 ≤ 0.08 wt% C, 그러나 바람직하게는 < 0.040 wt% C일 수 있다.

[0356] (i) 이는, 일반적 316LM4N 스테인리스강 버전과 비교하기 위해서, 316HM4NTi 또는 316M4NTi으로 나타내어지는 티타늄 안정화된 버전를 포함한다. 티타늄 함량은 하기의 식에 따라 조절된다:

[0357] 상기 합금의 티타늄 안정화된 유도체를 갖기 위해서, 각각, Ti 4 x C min, 0.70 wt% Ti max, 또는 Ti 5 x C

min, 0.70 wt% Ti max.

[0358] (ii) 또한, 니오븀 함량은 하기의 식에 따라 조절되는 니오븀 안정화된, 316HM4NNb 또는 316M4NNb 버전이 있다:

[0359] 상기 합금의 니오븀 안정화된 유도체를 갖기 위해서, 각각

[0360] Nb 8 x C min, 1.0 wt% Nb max, 또는 Nb 10 x C min, 1.0 wt% Nb max

[0361] (iii) 추가로, 상기 합금의 다른 변종은, 상기 니오븀 플러스 탄탈 함량이 하기의 식에 따라 조절되는, 니오븀 플러스 탄탈 안정화된, 316HM4NNbTa 또는 316M4NNbTa 버전을 포함하여 제조될 수 있다:

[0362] Nb + Ta 8 x C min, 1.0 wt% Nb + Ta max, 0.10 wt% Ta max, 또는 Nb + Ta 10 x C min, 1.0 wt% Nb + Ta max, 0.10 wt% Ta max.

[0364] 상기 합금의 티타늄 안정화된, 니오븀 안정화된 및 니오븀 플러스 탄탈 안정화된 변종은, 초기 용액 열처리 온도보다 더 낮은 온도에서 안정화 열처리가 이루어진다. 티타늄 및/또는 니오븀 및/또는 니오븀 플러스 탄탈은, 더 높은 탄소 함량이 선호되는 특정 적용을 위한 상기 합금을 최적화하도록, 원소들의 모든 다양한 조합으로 구리, 텅스텐 및 바나듐과 함께, 또는 개별적으로 첨가될 수 있다. 이러한 합금 원소들은 상기 합금의 전체적 부식 거동을 더 개선시키고, 특정 적용을 위해 스테인리스강을 조절하도록 상기 원소들의 모든 다양한 조합으로 또는 개별적으로 이용될 수 있다.

[0366] 다른 변형 및 본 발명에서 기술된 구현예와 더불어, 상기 316LM4N 스테인리스강의 로트 및 캐스트 버전은, 용액 어닐링 상태에서 일반적으로 공급된다. 그러나, 제조된 구성요소, 모듈 및 구조체 (fabrications)의 용접은 일반적으로, 적절한 용접법 시험이 각각 설계 명세서 및 표준에 따라 사전인정 (prequalified)되었다면, 용접 상태대로 공급되어 진다. 특정 적용을 위해서, 상기 로트 버전은, 또한, 냉각 가공 조건으로 공급될 수 있다.

[0368] 304LM4N에 관련해서 기술된 바와 같은 다양한 원소 및 이들의 조성의 효과는, 또한, 최적 화학적 조성이 어떻게 316LM4N 스테인리스강 (및 나머지 구현예들)을 위해 획득되는지 이해하도록 316LM4N (및 하기에 기술된 구현예)에 적용가능하다는 것이 이해될 수 있다.

[0370] 304LM4N 및 316LM4N 오스테나이트계 스테인리스강뿐만 아니라, 또한, 317L57M4N로서 적절하게 나타내어지는 제안된 추가 변형이 있고, 이는 본 발명의 제3 구현예를 형성한다.

[0372] **[317L57M4N]**

[0373] 317L57M4N 고강도 오스테나이트계 스테인리스강은, 고수준의 질소 및 특정화된 내공식성지수 $PRE_N \geq 40$, 그러나 바람직하게는 $PRE_N \geq 45$를 갖는다. PRE_N로 지정되는 상기 내공식성지수는 다음의 식에 따라 계산된다:

[0374] PRE_N = % Cr + (3.3 x % Mo) + (16 x % N)

[0376] 상기 317L57M4N 스테인리스강은, 전면 및 국소 부식에 대한 좋은 저항성 및 좋은 용접성과 더불어, 우수한 연성 및 인성과 고기계적 강도 특성의 독특한 조합을 갖도록 구성되어졌다. 상기 317L57M4N 스테인리스강의 화학적 조성은 선택적이고, 하기와 같이, 중량 백분의 합금의 화학적 원소에 의해서 특징된다: 0.030 wt% C max, 2.00 wt% Mn max, 0.030 wt% P max, 0.010 wt% S max, 0.75 wt% Si max, 18.00 wt% Cr - 20.00 wt% Cr, 11.00 wt% Ni - 15.00 wt% Ni, 5.00 wt% Mo - 7.00 wt% Mo, 0.40 wt% N - 0.70 wt% N.

[0378] 상기 317L57M4N 스테인리스강은, 또한, 잔여부로서 주로 Fe를 포함하고, 0.010 wt% B max, 0.10 wt% Ce max,

0.050 wt% Al max, 0.01 wt% Ca max 및/또는 0.01 wt% Mg max와 같은 매우 소량의 다른 원소들 및 잔류수준으로 정상적으로 존재하는 다른 불순물을 더 포함할 수 있다.

[0380] 상기 317L57M4N 스테인리스강의 화학적 조성은 전형적으로 1100 ℃ 내지 1250 ℃의 범위에서 수행되고 이어서 수냉하는 용액 열처리 이후에, 베이스 물질 내의 오스테나이트의 미세구조를 주로 보장하도록 용융 단계에서 최적화된다. 용접된 상태의 용접 금속 및 용접의 열영향부와 더불어 용액 열처리된 상태에서 베이스 물질의 미세구조는 상기 합금이 오스테나이트인 것을 주로 보장하도록 오스테나이트 형성 원소와 페라이트 형성 원소 간의 밸런스를 최적화하여 조절된다. 결과적으로, 상기 317L57M4N 스테인리스강은 주위온도에서 연성과 고강도의 독특한 조합을 나타내고, 이와 동시에, 주위 온도 및 초저온에서 우수한 인성을 달성한다. 상기 317L57M4N 스테인리스강의 화학적 분석이 $PRE_N \geq 40$, 그러나 바람직하게는 $PRE_N \geq 45$로 달성하도록 조정된다는 점을 고려한다면, 이는, 상기 물질이, 또한, 광범위한 범위의 공정 환경에서 전면 부식 및 국소 부식 (공식 및 틈새 부식)에 대한 좋은 저항성을 갖는 것을 보장한다. 상기 317L57M4N 스테인리스강은, 또한, UNS S31703 및 UNS S31753과 같은 통상적인 오스테나이트계 스테인리스강과 비교할 경우에 염화물을 포함하는 환경 내에 응력부식균열에 대한 저항성을 개선한다.

[0382] 317L57M4N 스테인리스강의 최적 화학적 조성 범위는, 제3 구현예를 기반하는 하기에 따라, 중량 백분율의 하기의 화학적 원소를 포함하도록 신중하게 선택되어 결정된다.

[0384] **탄소 (C)**

[0385] 상기 317L57M4N 스테인리스강의 탄소 함량은 ≤ 0.030 wt% C 최대치이다. 바람직하게는, 상기 탄소의 함량은 ≥ 0.020 wt% C 및 ≤ 0.030 wt% C, 더 바람직하게는 ≤ 0.025 wt% C일 수 있다.

[0387] **망간 (Mn)**

[0388] 상기 제3 구현예의 317LM57M4N 스테인리스강은 두 가지 변형에 관련될 수 있다: 저망간 또는 고망간.

[0390] 저망간 합금에 관련해서, 상기 317L57M4N 스테인리스강의 망간 함량은 ≤ 2.0 wt% Mn이다. 바람직하게는, 상기 범위는 ≥ 1.0 wt% Mn 및 ≤ 2.0 wt% Mn, 더 바람직하게는 ≥ 1.20 wt% Mn 및 ≤ 1.50 wt% Mn이다. 이와 같은 조성으로, 이는, ≤ 5.0, 바람직하게는 ≥ 1.42 및 ≤ 5.0의 최적 Mn 대 N 비율을 달성한다. 더 바람직하게는, 상기 비율은 ≥ 1.42 및 ≤ 3.75이다.

[0392] 고망간 합금에 관련해서, 상기 317L57M4N의 망간 함량은 ≤ 4.0 wt% Mn이다. 바람직하게는, 상기 망간 함량은 ≥ 2.0 wt% Mn 및 ≤ 4.0 wt% Mn이고, 더 바람직하게는, 상한은 ≤ 3.0 wt% Mn이다. 더욱더 바람직하게는, 상기 상한은 ≤ 2.50 wt% Mn이다. 이러한 선택적 범위로, 이는 ≤ 10.0, 바람직하게는 ≥ 2.85 및 ≤ 10.0의 Mn 대 N 비율를 획득한다. 더 바람직하게는, 고망간 합금에 대한 상기 Mn 대 N 비율은 ≥ 2.85 및 ≤ 7.50, 더욱더 바람직하게는 ≥ 2.85 및 ≤ 6.25이다.

[0394] **인 (P)**

[0395] 상기 317L57M4N 스테인리스강의 인 함량은 ≤ 0.030 wt% P가 되도록 조절된다. 바람직하게는, 상기 317L57M4N 합금은 ≤ 0.025 wt% P, 더 바람직하게는 ≤ 0.020 wt% P를 갖는다. 더욱더 바람직하게는, 상기 합금은 ≤ 0.015 wt% P, 더욱더 바람직하게는 ≤ 0.010 wt% P를 갖는다.

[0397] **황 (S)**

[0398] 제3 구현예의 상기 317L57M4N 스테인리스강의 황 함량은 ≤ 0.010 wt% S를 포함한다. 바람직하게는, 상기 317L57M4N는 ≤ 0.005 wt% S, 더 바람직하게는 ≤ 0.003 wt% S, 더욱더 바람직하게는 ≤ 0.001 wt% S를 갖는다.

[0400] **산소 (O)**

[0402] 상기 317L57M4N 스테인리스강의 산소 함량은 가능한 낮게 조절되고, 제3 구현예에서, 상기 317L57M4N는 ≤ 0.070 wt% O를 더 포함한다. 바람직하게는, 상기 317L57M4N 합금은 ≤ 0.050 wt% O, 더 바람직하게는 ≤ 0.030 wt% O를 갖는다. 더욱더 바람직하게는, 상기 합금은 ≤ 0.010 wt% O, 더욱더 바람직하게는 ≤ 0.005 wt% O를 갖는다.

[0404] **실리콘 (Si)**

[0405] 상기 317L57M4N 스테인리스강의 실리콘 함량은 ≤ 0.75 wt% Si이다. 바람직하게는, 상기 합금은 ≥ 0.25 wt% Si 및 ≤ 0.75 wt% Si를 갖는다. 더 바람직하게는, 상기 범위는 ≥ 0.40 wt% Si 및 ≤ 0.60 wt% Si이다. 그러나, 개선된 산화 저항성이 요구되는 더 높은 특정 온도 적용에 관련해서, 상기 실리콘 함량은 ≥ 0.75 wt% Si 및 ≤ 2.00 wt% Si일 수 있다.

[0407] **크롬 (Cr)**

[0408] 상기 317L57M4N 스테인리스강의 크롬 함량은 ≥ 18.00 wt% Cr 및 ≤ 20.00 wt% Cr 이다. 바람직하게는, 상기 합금은 ≥ 19.00 wt% Cr를 갖는다.

[0410] **니켈 (Ni)**

[0411] 상기 317L57M4N 스테인리스강의 니켈 함량은 ≥ 11.00 wt% Ni 및 ≤ 15.00 wt% Ni이다. 바람직하게는, 상기 합금의 Ni의 상한은, 낮은 니켈 범위의 합금에 관련해서, ≤ 14.00 wt% Ni, 더 바람직하게는 ≤ 13.00 wt% Ni 이다. 더 높은 니켈 범위의 합금에 관련해서, 상기 317L57M4N 스테인리스강의 니켈 함량은 ≥ 13.50 wt% Ni 및 ≤ 17.50 wt% Ni를 가질 수 있다. 바람직하게는, 더 높은 니켈 범위의 합금에 관련해서, 상기 Ni의 상한은 ≤ 16.50 wt% Ni, 더 바람직하게는 ≤ 15.50 wt% Ni이다.

[0413] **몰리브덴 (Mo)**

[0414] 상기 317L57M4N 스테인리스강 합금의 몰리브덴 함량은 ≥ 5.00 wt% Mo 및 ≤ 7.00 wt% Mo, 그러나 바람직하게는 ≥ 6.00 wt% Mo이다. 다른 면에서, 상기 몰리브덴은 최대 7.00 wt% Mo를 갖는다.

[0416] **질소 (N)**

[0417] 상기 317L57M4N 스테인리스강의 질소함량은 ≤ 0.70 wt% N, 그러나 바람직하게는 ≥ 0.40 wt% N 및 ≥ 0.70 wt% N이다. 더 바람직하게는, 상기 317L57M4N은 ≥ 0.40 wt% N 및 ≤ 0.60 wt% N, 더욱더 바람직하게는 ≥ 0.45 wt% N 및 ≤ 0.55 wt% N를 갖는다.

[0419] **PRE_N**

[0420] 내공식성지수는 하기의 식을 이용하여 계산된다:

[0421] PRE_N = % Cr + (3.3 x %Mo) + (16 x % N)

[0422] 317L57M4N 스테인리스강은 다음의 조성을 갖도록 특별히 구성된다:

[0424] (i) 크롬함량 ≥ 18.00 wt% Cr 및 ≤ 20.00 wt% Cr, 그러나 바람직하게는 ≥ 19.00 wt% Cr;

[0425] (ii) 몰리브덴 함량 ≥ 5.00 wt% Mo 및 ≤ 7.00 wt% Mo, 그러나 바람직하게는 ≥ 6.00 wt% Mo;

[0426] (iii) 질소 함량 ≤ 0.70 wt% N, 그러나 바람직하게는 ≥ 0.40 wt% N 및 ≤ 0.70 wt% N, 더 바람직하게는 ≥ 0.40 wt% N 및 ≤ 0.60 wt% N, 더욱더 바람직하게는 ≥ 0.45 wt% N 및 ≤ 0.55 wt% N.

[0428] 더 높은 수준의 질소로, 상기 317L57M4N 스테인리스강은 PRE_N ≥ 40, 및, 바람직하게는 PRE_N ≥ 45를 달성한다. 이는, 광범위한 범위의 공정 환경에서 전면 부식 및 국소 부식 (공식 및 틈새 부식)에 대한 좋은 저항성을 갖는 것을 보장한다. 상기 317L57M4N 스테인리스강은, 또한, UNS S31703 및 UNS S31753와 같은 통상적인 오스테나이트계 스테인리스강과 비교할 경우에, 염화물을 포함하는 환경 내에 응력부식 균열에 대한 저항성을 개선하였다. 이러한 식들은 공식 부식 또는 틈새 부식에 의한 패시비티의 쇠약 상의 미세구조 인자의 효과를 무시할 수 있다. 상기 317L57M4N 스테인리스강의 화학적 조성은, Schoefer[6]에 따라, [Ni] 당량으로 나눈 [Cr] 당량의 비율은, 전형적으로 1100 ℃ 내지 1250 ℃ 범위 내에 수행되고, 이어서 수냉하는 용액 열처리 이후에 베이스 물질 내의 오스테나이트의 미세구조를 주로 획득하기 위해서, > 0.40 및 < 1.05, 그러나 바람직하게는 > 0.45 및 < 0.95 범위 내에 있는 것을 보장하도록 용융 단계에서 최적화된다. 용접된 상태의 용접 금속 및 용접의 열영향부와 더불어, 상기 용액 열처리된 상태에서 베이스 물질의 미세 구조는 상기 합금이 오스테나이트인 것을 주로 보장하도록, 오스테나이트 형성 원소와 페라이트 형성 원소 간의 밸런스를 최적화하여 조절된다. 그러므로, 상기 합금은 비자성 상태로 공급되고 제조될 수 있다.

[0430] 317L57M4N 스테인리스강은 또한, 잔여부로서 Fe를 주로 포함하고, 중량 백분율로 붕소, 세륨, 알루미늄, 칼슘 및/또는 마그네슘과 같은 매우 소량의 다른 원소들을 더 포함할 수 있고, 이러한 원소들의 조성은 304LM4N 것과 동일하다. 다른 면에서, 304LM4N에 대한 이러한 원소들에 관련된 구절은 여기서 적용가능하다.

[0432] 제3 구현예에 따른 317L57M4N 스테인리스강은 로트 버전을 위한 55 ksi 또는 380 MPa의 최소항복강도를 포함한다. 더 바람직하게는, 최소항복강도의 62 ksi 또는 430 MPa는 로트 버전을 위해 달성될 수 있다. 상기 캐스트 버전은 41 ksi 또는 280 MPa의 최소항복강도를 갖는다. 더 바람직하게는, 48 ksi 또는 330 MPa의 최소항복강도는 상기 캐스트 버전을 위해서 달성될 수 있다. 바람직한 값을 기반으로 하여, 신규하고 획기적인 317L57M4N 스테인리스강의 로트 기계적 강도 특성과, UNS S31703 것과의 비교는, 상기 317L57M4N 스테인리스강의 최소항복강도가 UNS S31703에 대해 특정화된 것보다 2.1 배 더 높을 수 있다는 것을 제시한다. 이와 유사하게, 상기 317L57M4N 스테인리스강의 로트 기계적 강도 특성과 UNS S31753의 것의 비교는, 상기 317L57M4N 스테인리스강의 최소항복강도가 UNS S31753에 대해 특정화된 것에 비하여 1.79 배 더 높을 수 있음을 제시한다.

[0434] 제3 구현예에 따른 317L57M4N 스테인리스강은 로트 버전을 위한 102 ksi 또는 700 MPa의 최소인장강도를 갖는다. 더 바람직하게는, 109 ksi 또는 750 MPa의 최소인장강도는 상기 로트 버전을 위해 달성될 수 있다. 상기 캐스트 버전은 95 ksi 또는 650 MPa의 최소인장강도를 포함한다. 더 바람직하게는, 102 ksi 또는 700 MPa의 최소인장강도는 상기 캐스트 버전을 위해서 달성될 수 있다. 바람직한 값을 기반으로 하여, 상기 317L57M4N 스테인리스강의 로트 기계적 강도 특성과 UNS S31703 것과의 비교는, 상기 317L57M4N 스테인리스강의 최소인장강도가, UNS S31703에 대해 특정화된 것보다 1.45 배 더 높을 수 있다는 것을 제시한다. 이와 유사하게, 신규하고 획기적인 317L57M4N 스테인리스강의 로트 기계적 강도 특성과 UNS S31753 것과의 비교는, 상기 317L57M4N 스테인리스강의 최소인장강도가, UNS S31753에 대해 특정화된 것보다 1.36 배 더 높을 수 있다는 것을 제시한다. 즉, 상기 317L57M4N 스테인리스강의 로트 기계적 강도 특성이 표 2의 22 Cr 듀플렉스 스테인리스강의 것과 비교한다면, 그 결과, 상기 317L57M4N 스테인리스강의 최소인장강도는, S31803에 대해 특정화된 것에 비하여 1.2 배 더 높은 영역에 있고, 25 Cr 슈퍼 듀플렉스 스테인리스강에 대해 특정화된 것과 유사하게 나타낼 수 있다. 그러므로, 상기 317L57M4N 스테인리스강의 최소 기계적 강도 특성은, UNS S31703 및 UNS S31753과

같은 통상적인 오스테나이트계 스테인리스강와 비교하여 월등하게 개선되고, 상기 인장 강도 특성은 22 Cr 듀플렉스 스테인리스강에 대해 특정화된 것보다 더 좋고, 25 Cr 슈퍼 듀플렉스 스테인리스강에 대해 특정화된 것과 유사하다.

[0436] 이는, 로트317L57M4N 스테인리스강을 이용하는 적용이 줄어든 벽두께로 대부분 고안될 수 있으므로, 최소허용설계응력이 월등하게 더 높기 때문에, 특정화된 317L57M4N 스테인리스강과 UNS S31703 및 S31753와 같은 통상적인 오스테나이트계 스테인리스강의 비교에서 월등한 무게 감량을 유도하는 것을 의미한다. 즉, 상기 로트 317L57M4N 스테인리스강의 최소허용설계응력은 22 Cr 듀플렉스 스테인리스강의 것보다 더 높고, 25 Cr 슈퍼 듀플렉스 스테인리스강과 유사하다.

[0438] 특정 적용을 위해서, 상기 317L57M4N 스테인리스강의 다른 변종은, 구리, 텅스텐 및 바나듐과 같은 다른 합금 원소의 특정 수준을 포함하여 제조되도록 의도적으로 구성되어졌다. 317L57M4N 스테인리스강의 다른 변종의 최적 화학적 조성 범위는 선택적이고, 구리 및 바나듐의 조성은 304LM4N의 것과 동일하게 결정되어 졌다. 다른 면에서, 304LM4N에 대한 이러한 원소들에 관련된 구절은, 또한, 여기서 317L57M4N에 적용가능하다.

[0440] **텅스텐 (W)**

[0441] 상기 317L57M4N 스테인리스강의 텅스텐 함량은 ≤ 2.00 wt% W, 그러나 바람직하게는 ≥ 0.50 wt% W 및 ≤ 1.00 wt% W, 더 바람직하게는 ≥ 0.75 wt% W이다. 텅스텐을 포함하는 317L57M4N 스테인리스강의 변종에 관련해서, 내공식성지수는 하기의 식을 이용하여 계산된다:

[0442] PRE_{NW} = % Cr + [3.3 x % (Mo + W)] + (16 x % N)

[0443] 상기 317L57M4N 스테인리스강의 텅스텐 함유 변형은 다음의 조성을 갖도록 특별히 구성된다:

[0444] (i) 크롬함량 ≥ 18.00 wt% Cr 및 ≤ 20.00 wt% Cr, 그러나 바람직하게는

[0445] ≥ 19.00 wt% Cr;

[0446] (ii) 몰리브덴 함량 ≥ 5.00 wt% Mo 및 ≤ 7.00 wt% Mo, 그러나 바람직하게는 ≥6.00 wt% Mo,

[0447] (iii) 질소 함량 ≤ 0.70 wt% N, 그러나 바람직하게는 ≥ 0.40 wt% N 및 ≤ 0.70 wt% N, 더 바람직하게는 ≥ 0.40 wt% N 및 ≤ 0.60 wt% N, 더욱더 바람직하게는 ≥ 0.45 wt% N 및 ≤ 0.55 wt% N; 및

[0448] (iv) 텅스텐 함량 ≤ 2.00 wt% W, 그러나 바람직하게는 ≥ 0.50 wt% W 및 ≤ 1.00 wt% W, 더 바람직하게는 ≥ 0.75 wt% W.

[0450] 상기 317L57M4N 스테인리스강의 텅스텐을 포함하는 변형은, 특정화된 더 높은 수준의 질소 및 PRE_{NW} ≥ 42, 그러나 바람직하게는 PRE_{NW} ≥ 47를 포함한다. 이러한 식들은 공식 부식 또는 틈새 부식에 의한 패시비티의 쇠약에 대한 미세구조 인자의 효과를 무시하는 것을 강조될 수 있다. 텅스텐은 상기 합금의 전체적 부식 거동을 더 개선시키기 위해서, 원소들의 모든 다양한 조합으로 구리, 바나듐, 티타늄 및/또는 니오븀 및/또는 니오븀 플러스 탄탈과 함께, 또는 개별적으로 첨가될 수 있다. 텅스텐은 매우 고가이므로, 상기 합금의 경제성을 최적화하고, 이와 동시에 상기 합금의 연성, 인성 및 부식 거동의 최적화하도록 의도적으로 제안된다.

[0451]

[0452] **탄소 (C)**

[0453] 특정 적용을 위해서, 더 높은 탄소 수준을 포함하여 제조되도록 특별히 구성되어진 상기 317L57M4N 스테인리스강의 다른 변종이 선호된다. 특히, 상기 317L57M4N 스테인리스강의 상기 탄소 함량은 ≥ 0.040 wt% C 및 < 0.10 wt% C, 그러나 바람직하게는 ≤0.050 wt% C, 또는 > 0.030 wt% C 및 ≤ 0.08 wt% C, 그러나 바람직하게는 < 0.040 wt% C일 수 있다. 상기 317L57M4N 스테인리스강의 이러한 특정 변종은 각각, 317H57M4N 또는 31757M4N 버전일 수 있다.

[0454]

[0455] **티타늄 (Ti) /니오븀 (Nb) /니오븀 (Nb) 플러스 탄탈 (Ta)**

[0456] 더욱이, 특정 적용을 위해서, 상기 317H57M4N 또는 31757M4N 스테인리스강의 다른 안정화된 변종이 선호되고, 이는 더 높은 탄소 수준을 포함하여 제조되도록 특별히 구성된다. 특히, 상기 탄소는 ≥ 0.040 wt% C 및 < 0.10 wt% C, 그러나 바람직하게는 ≤ 0.050 wt% C, 또는 > 0.030 wt% C 및 ≤ 0.08 wt% C, 그러나 바람직하게는 < 0.040 wt% C일 수 있다.

[0457] (i) 이들은, 일반적 317L574N강 버전과 비교하기 위해 317H57M4NTi 또는 31757M4NTi으로 나타내어지는, 티타늄 안정화된 버전을 포함한다. 티타늄 함량은 하기의 식에 따라 조절된다:

[0458] 상기 합금의 티타늄 안정화된 유도체를 갖기 위해서, 각각,

[0459] Ti 4 x C min, 0.70 wt% Ti max, 또는 Ti 5 x C min, 0.70 wt% Ti max

[0460] (ii) 니오븀 함량은 하기의 식에 따라 조절되는, 니오븀 안정화된, 317H57M4NNb 또는 31757M4NNb 버전이 있다.

[0461] 상기 합금의 니오븀 안정화된 유도체를 갖기 위해서, 각각, Nb 8 x C min, 1.0 wt% Nb max, 또는 Nb 10 x C min, 1.0 wt% Nb max

[0462] (iii) 추가로, 상기 합금의 다른 변종은, 또한, 상기 니오븀 플러스 탄탈 함량이 하기의 식에 따라 조절되는 니오븀 플러스 탄탈 안정화된, 317H57M4NNbTa 또는 31757M4NNbTa 버전를 포함하도록 제조될 수 있다:

[0463] Nb + Ta 8 x C min, 1.0 wt% Nb + Ta max, 0.10 wt% Ta max, 또는 Nb + Ta 10 x C min, 1.0 wt% Nb + Ta max, 0.10 wt% Ta max

[0465] 상기 합금의 티타늄 안정화된, 니오븀 안정화된 및 니오븀 플러스 탄탈 안정화된 변종은 초기 용액 열처리 온도보다 더 낮은 온도에서 안정화 열처리가 이루어진다. 티타늄 및/또는 니오븀 및/또는 니오븀 플러스 탄탈은, 더 높은 탄소 함량이 선호되는 특정 적용을 위한 상기 합금을 최적화하도록 이러한 원소들의 모든 다양한 조합으로, 구리, 텅스텐 및 바나듐와 함께 또는 개별적으로 첨가될 수 있다. 이러한 합금 원소들은 상기 합금의 전체적 부식 거동을 더 개선 시키고, 특정 적용을 위한 스테인리스강을 조정하도록 상기 원소들의 모든 다양한 조합으로 또는 개별적으로 이용될 수 있다.

[0466]

[0467] 다른 변형에 따른 317L57M4N 스테인리스강의 로트 및 캐스트 버전은 이미 언급된 구현예와 동일한 방식 내에서 일반적으로 공급된다.

[0468]

[0469] 더욱이, 본 발명의 제4 구현예이고, 317L35M4N 고강도 오스테나이트계 스테인리스강으로 적절하게 나타내는 추가 변형이 제안된다. 상기 317L35M4N 스테인리스강은, 사실상 몰리브덴 함량을 제외한, 317L57M4N 스테인리스강과 동일한 화학적 조성을 가진다. 이에, 다양한 화학적 조성의 반복 대신에, 단지 차이점만 기술된다.

[0471] **[317L35M4N]**

[0472] 상기 언급된 바와 같이, 상기 317L35M4N은 몰리브덴 함량을 제외한, 제3 구현예, 317L57M4N 스테인리스강과 정확하게 동일한 wt%의 탄소, 망간, 인, 황, 산소, 실리콘, 크롬, 니켈 및 질소 함량을 갖는다. 상기 317L57M4N 스테인리스강, 몰리브덴 수준은 5.00 wt% 내지 7.00 wt% Mo이다. 반면에, 상기 317L35M4N 스테인리스강의 몰리브덴 함량은 3.00 wt% 내지 5.00% Mo이다. 다른면에서, 상기 317L35M4N은 상기 317L57M4N 스테인리스강의 더 낮은 몰리브덴 버전으로 이해될 수 있다.

[0474] 상기 317L57M4N에 관련된 구절은, 또한, 몰리브덴 함량을 제외하고, 여기서 허용가능한 것으로 이해될 수 있다.

[0476] **몰리브덴 (Mo)**

[0477] 상기 317L35M4N 스테인리스강의 몰리브덴 함량은 ≥ 3.00 wt% Mo 및 ≤ 5.00 wt% Mo, 그러나 바람직하게는 ≥ 4.00 wt% Mo일 수 있다. 다른 면에서, 상기 317L35M4N의 몰리브덴 함량은 최대 5.00 wt% Mo를 갖는다.

[0479] **PRE_N**

[0480] 상기 317L35M4N에 대한 내공식성지수는, 317L57M4N와 같은 동일한 식을 사용하여 계산되고, 몰리브데 함량 차이 때문에, PRE_N은 ≥ 35, 그러나 바람직하게는 PRE_N ≥ 40이다. 이는, 상기 물질이 또한, 광범위한 범위의 공정 환경에서 전면 부식 및 국소 부식 (공식 및 틈새 부식)에 대한 좋은 저항성을 갖도록 보장한다. 또한, 상기 317L35M4N 스테인리스강은 UNS S31703 및 UNS S31753과 같은 통상적인 오스테나이트계 스테인리스강과 비교할 경우에, 염화물을 포함하는 환경 내에서 응력부식 균열에 대한 개선된 저항성을 가진다. 이러한 식이 공식 부식 또는 틈새 부식에 의한 패시비티의 쇠약에 대한 미세구조 인자의 효과를 무시함을 강조될 수 있다.

[0481] 상기 317L35M4N 스테인리스강의 화학적 조성은, Schoefer[6]에 따라, [Ni] 당량으로 나눈 [Cr] 당량의 비율은, 전형적으로 1100 ℃ 내지 1250 ℃ 범위에서 수행되고 이어서 수냉하는, 용액 열처리 이후에 베이스 물질 내의 오스테나이트의 미세구조를 주로 획득하기 위해서, > 0.40 및 < 1.05, 그러나 바람직하게는 > 0.45 및 < 0.95 범위 내에 있는 것을 보장하도록 용융 단계에서 최적화된다. 용접된 상태의 용접 금속 및 용접의 열영향부와 더불어, 용액 열처리된 상태에서 베이스 물질의 미세 구조는 상기 합금이 오스테나이트인 것을 주로 보장하도록 오스테나이트 형성 원소와 페라이트 형성 원소 간의 밸런스를 최적화하여 조절된다. 결과적으로, 상기 317L35M4N 스테인리스강은 주위온도에서 연성과 고강도의 독특한 조합을 나타내고, 이와 동시에, 주위 온도 및 초저온에서 우수한 인성을 보증한다. 그러므로, 상기 합금은 비자성 상태로 공급되고 제조될 수 있다.

[0483] 317L57M4N 구현예와 같이, 상기 317L35M4N 스테인리스강은 또한, 대부분 잔여부로서 Fe를 포함하고, 중량 백분율로 붕소, 세륨, 알루미늄, 칼슘 및/또는 마그네슘과 같은 소량의 다른 원소들을 더 포함할 수 있고, 이러한 원소들의 조성은, 317L57M4N의 것과 동일하고, 따라서, 304LM4N의 것과도 동일하다.

[0485] 제4 구현예의 317L35M4N 스테인리스강은, 317L57M4N 스테인리스강의 것과 유사하고, 비교가능 (comparable)한 최소항복강도 및 최소인장강도를 갖는다. 또한, 상기 317L35M4N의 로트 및 캐스트 버전의 강도 특성은, 또한, 상기 317L57M4N 것과 비교가능 하다. 그러므로, 특정 강도 값은 반복되지 않고, 참조는 317L57M4N에 대한 이전의 구절로 이루어진다. 통상적인 오스테나이트계 스테인리스강 UNS S31703 것과 317L35M4N; 및 UNS S31753의 것과 317L35M4N 사이의 로트 기계적 강도 특성의 비교, 317L57M4N에서 확인할 수 있는 것과 동일한 크기의 인장강도 및 더 강한 항복 강도를 제시한다. 이와 유사하게, 317L35M4N의 인장 특성의 비교는, 이들이 22 Cr 듀플렉스 스테인리스강에 대해 특정화된 것보다 더 좋은 결과를 나타내고, 317L57M4N와 마찬가지로, 25 Cr 슈퍼 듀플렉스 스테인리스강에 대해 특정화된 것과 유사하다.

[0487] 이는, 상기 로트317L35M4N 스테인리스강을 이용하는 적용이 줄어든 벽두께로 대부분 고안될 수 있으므로, 최소허용설계응력이 월등하게 더 높기 때문에, 특정화된 317L35M4N 스테인리스강과, UNS S31703 및 S31753와 같은 통상적인 오스테나이트계 스테인리스강이 비교될 때, 월등한 무게 감량을 유도하는 것을 의미한다. 사실, 상기 로트317L35M4N 스테인리스강에 대한 최소허용설계응력은 22 Cr 듀플렉스 스테인리스강 보다 더 높고, 25 Cr 슈퍼 듀플렉스 스테인리스강과 유사하다.

[0489] 특정 적용을 위해서, 상기 317L35M4N 스테인리스강의 다른 변종은 구리, 텅스텐 및 바나듐과 같은 다른 합금 원소의 특정 수준을 포함하여 제조되도록 의도적으로 구성된다. 상기 317L35M4N 스테인리스강의 다른 변종의 최적 화학적 조성 범위는 선택적이고, 구리 및 바나듐의 조성은 317L57M4N 및 304LM4N의 것과 동일하게 결정되었다. 다른면에서, 304LM4N에 대한 이러한 원소들에 관련된 구절은 또한, 여기서, 317L35M4N에 적용가능하다.

[0491] **텅스텐 (W)**

[0492] 상기 317L35M4N 스테인리스강의 텅스텐 함량은 317L57M4N 것과 유사하고, 몰리브덴 함량의 차이로 인하여, 317L57M4N에 대해 상기 언급된 바와 같이, 동일한 식을 이용하여 계산된 317L35M4N의 내공식성지수, PRE_{NW}은 ≥ 37, 바람직하게는PRE_{NW} ≥ 42이다. 317L57M4N에 대한 텅스텐의 효과 및 용도에 관련된 구절은 또한, 317L35M4N에 적용가능한 것으로 이해될 수 있다. 더욱이, 상기 317L35M4N은, 이전에 언급된 317H57M4N 및 31757M4N과 각각 대응하는 317H35M4N 및 31735M4N으로 나타내어지는 더 높은 수준의 탄소를 가질 수 있고, 이미 언급된 상기 탄소 wt% 범위는, 또한, 317H35M4N 및 31735M4N에 적용가능하다.

[0494] **티타늄 (Ti) / 니오븀 (Nb) / 니오븀 (Nb) 플러스 탄탈 (Ta)**

[0495] 더욱이, 특정 적용을 위해서, 더 높은 탄소 수준을 포함하여 제조되도록 특별히 구성되어진 상기 317H35M4N 또는 31735M4N 스테인리스강의 다른 안정화된 변종이 선호된다. 특히, 상기 탄소의 함량은 ≥ 0.040 wt% C 및 < 0.10 wt% C, 그러나 바람직하게는 ≤ 0.050 wt% C, 또는 > 0.030 wt% C 및 ≤ 0.08 wt% C, 그러나 바람직하게는 < 0.040 wt% C이다.

[0496] (i) 이들은, 일반적 317L35M4N과 대조되는 317H35M4NTi 또는 31735M4NTi로서 나타내어지는 티타늄 안정화된 버전을 포함한다. 티타늄 함량은 하기의 식에 따라 조절된다:

[0497] 상기 합금의 티타늄 안정화된 유도체를 갖기 위해서, 각각, Ti 4 x C min, 0.70 wt% Ti max, 또는 Ti 5 x C min, 0.70 wt% Ti max

[0498] (ii) 또한, 이는 니오븀 함량은 하기의 식에 따라 조절되는 니오븀 안정화된, 317H35M4NNb 또는 31735M4NNb 버전이다:

[0499] 상기 합금의 니오븀 안정화된 유도체를 갖기 위해서, 각각, Nb 8 x C min, 1.0 wt% Nb max, 또는 Nb 10 x C min, 1.0 wt% Nb max

[0500] (iii) 추가로, 상기 합금의 다른 변종은, 니오븀 플러스 탄탈 함량은 하기의 식에 따라 조절되는 니오븀 플러스 탄탈 안정화된, 317H35M4NNbTa 또는 31735M4NNbTa 버전을 포함하여 더 제조될 수 있다:

[0501] Nb + Ta 8 x C min, 1.0 wt% Nb + Ta max, 0.10 wt% Ta max, 또는 Nb + Ta 10 x C min, 1.0 wt% Nb + Ta max, 0.10 wt% Ta max.

[0503] 상기 합금의 티타늄 안정화된, 니오븀 안정화된 및 니오븀 플러스 탄탈 안정화된 변종은 초기 용액 열처리 온도보다 더 낮은 온도에서 안정화 열처리가 이루어진다. 티타늄 및/또는 니오븀 및/또는 니오븀 플러스 탄탈은 더 높은 탄소 함량이 선호되는 특정 적용을 위한 합금을 최적화하도록, 원소들의 모든 다양한 조합으로 구리, 텅스텐 및 바나듐과 함께, 또는 개별적으로 첨가될 수 있다. 이러한 합금 원소는 상기 합금의 전체적 부식 거동을 더 개선 시키고, 특정 적용을 위해 스테인리스강을 조절하기 위해서 상기 원소들의 모든 다양한 조합으로, 또는 개별적으로 이용될 수 있다.

[0505] 상기 317L35M4N 스테인리스강의 로트 및 캐스트 버전과 더불어, 다른 변형은 이전의 구현예와 동일한 방식으로 제공된다.

[0507] 더욱이, 제5의 본 발명의 구현예에서, 본 기술 내용에서 312L35M4N으로 적절하게 나타내는 제안된 추가 변형이 있다.

[0509] **[312L35M4N]**

[0510] 상기 312L35M4N 고강도 오스테나이트계 스테인리스강은 고수준의 질소 및 PRE_N ≥ 37, 그러나 바람직하게는

$PRE_N \geq 42$의 특정화된 내공식성지수를 갖는다. PRE_N로 지정된 내공식성지수는 다음의 식에 따라 계산된다:

[0511] $PRE_N = \%\ Cr + (3.3 \times \%\ Mo) + (16 \times \%\ N)$

[0512] 상기 312L35M4N 스테인리스강은 전면 및 국소 부식에 대한 좋은 저항성 및 좋은 용접성과 더불어, 우수한 연성 및 인성과 고기계적 강도 특성과의 독특한 조합을 갖도록 구성된다. 상기 312L35M4N 스테인리스강의 화학적 조성은 선택적이고, 다음과 같은 중량 백분율로 합금의 화학적 분석에 의해서 특징된다: 0.030 wt% C max, 2.00 wt% Mn max, 0.030 wt% P max, 0.010 wt% S max, 0.75 wt% Si max, 20.00 wt% Cr - 22.00 wt% Cr, 15.00 wt% Ni - 19.00 wt% Ni, 3.00 wt% Mo - 5.00 wt% Mo, 0.40 wt% N - 0.70 wt% N.

[0514] 상기 312L35M4N 스테인리스강은, 또한, 잔여부로서 Fe을 주로 포함하고, 0.010 wt% B max, 0.10 wt% Ce max, 0.050 wt% Al max, 0.01 wt% Ca max 및/또는 0.01 wt% Mg max와 같은 매우 소량의 다른 원소들 및 잔류수준으로 정상적으로 존재하는 다른 불순물을 더 포함할 수 있다.

[0516] 상기 312L35M4N 스테인리스강의 화학적 조성은, 전형적으로 1100 ℃ 내지 1250 ℃의 범위로 수행되고 이어서 수냉하는 용액 열처리 이후에 베이스 물질 내에 오스테나이트의 미세구조를 주로 보장하도록 용융 단계에서 최적화된다. 용접된 상태의 용접 금속 및 용접의 열영향부와 더불어, 용액 열처리된 상태에서 베이스 물질의 미세구조는 상기 합금이 오스테나이트인 것을 주로 보장하기 위해서, 오스테나이트 형성 원소와 페라이트 형성 원소 간의 밸런스를 최적화하여 조절된다. 결과적으로, 상기 312L35M4N 스테인리스강은 주위 온도에서 연성과 고강도의 독특한 조합을 나타내고, 이와 동시에, 주위 온도 및 초저온에서 우수한 인성을 보증한다. 상기 312L35M4N 스테인리스강의 화학적 조성이 $PRE_N \geq 37$, 그러나 바람직하게는 $PRE_N \geq 42$를 달성하기 위해서 조정된다는 사실을 고려한다면, 이는, 또한, 광범위한 범위의 공정 환경 내에서 전면 부식 및 국소 부식 (공식 및 틈새 부식)에 대한 좋은 저항을 갖는 것을 보장한다. 또한, 상기 312L35M4N 스테인리스강은, UNS S31703 및 UNS S31753과 같은 통상적인 오스테나이트계 스테인리스강과 비교할 경우에, 염화물을 포함하는 환경 내에 응력부식 균열에 대한 저항성을 개선하였다.

[0518] 상기 312L35M4N 스테인리스강의 최적 화학적 조성 범위는 다음의 제5 구현예를 기반하여 중량 백분율의 다음의 화학적 원소를 포함하도록 신중하게 선택된다.

[0520] **탄소 (C)**

[0521] 상기 312L35M4N 스테인리스강의 탄소 함량은 최대 ≤ 0.030 wt% C이다. 바람직하게는, 상기 탄소의 함량은 ≥ 0.020 wt% C 및 ≤ 0.030 wt% C, 더 바람직하게는 ≤ 0.025 wt% C이다.

[0523] **망간 (Mn)**

[0524] 상기 제5 구현예의 312L35M4N 스테인리스강은 두 가지 변형에 관련된다: 저망간 또는 고망간

[0526] 저망간합금에 관련해서, 상기 312L35M4N 스테인리스강의 망간 함량은 ≤ 2.0 wt% Mn이다. 바람직하게는, 상기 범위는 ≥ 1.0 wt% Mn 및 ≤ 2.0 wt% Mn, 더 바람직하게는 ≥ 1.20 wt% Mn 및 ≤ 1.50 wt% Mn이다. 이와 같은 조성으로, 이는 ≤ 5.0, 바람직하게는 ≥ 1.42 및 ≤ 5.0의 최적 Mn 대 N 비율을 달성한다. 더 바람직하게는, 상기 비율은 ≥ 1.42 및 ≤ 3.75이다.

[0527] 고망간 합금에 관련해서, 상기 312L35M4N의 망간 함량은 ≤ 4.0 wt% Mn이다. 바람직하게는, 상기 망간 함량은 ≥ 2.0 wt% Mn 및 ≤ 4.0 wt% Mn, 더 바람직하게는, 상한은 ≤ 3.0 wt% Mn이다. 더욱더 바람직하게는, 상기 상한은 ≤ 2.50 wt% Mn이다. 이러한 선택적 범위로, ≤ 10.0, 바람직하게는 ≥ 2.85 및 ≤ 10.0의 Mn 대 N 비율을 달성한다. 더 바람직하게는, 고망간 합금에 대한 Mn 대 N 비율은 ≤ 2.85 및 ≥ 7.50, 더욱더 바람직하게는 ≥ 2.85 및 ≤ 6.25이다.

[0529] **인 (P)**

[0530] 상기 312L35M4N 스테인리스강의 인 함량은 ≤ 0.030 wt% P가 되도록 조절된다. 바람직하게는, 상기 317L57M4N 합금은 ≤ 0.025 wt% P, 더 바람직하게는 ≤ 0.020 wt% P를 갖는다. 더욱더 바람직하게는, 상기 합금은 ≤ 0.015 wt% P, 더욱더 바람직하게는 ≤ 0.010 wt% P를 갖는다.

[0532] **황 (S)**

[0533] 제5 구현예의 312L35M4N 스테인리스강의 황 함량은 ≤ 0.010 wt% S를 포함한다. 바람직하게는, 상기 312L35M4N은 ≤ 0.005 wt% S, 더 바람직하게는 ≤ 0.003 wt% S, 더욱더 바람직하게는 ≤ 0.001 wt% S를 포함한다.

[0535] **산소 (O)**

[0536] 상기 312L35M4N 스테인리스강의 산소 함량은 가능한 낮게 조절되어지고, 제5 구현예에서, 상기 312L35M4N은 ≤ 0.070 wt% O를 갖는다. 바람직하게는, 상기 312L35M4N는 ≤ 0.050 wt% O, 더 바람직하게는 ≤ 0.030 wt% O를 갖는다. 더욱더 바람직하게는, 상기 합금은 ≤ 0.010 wt% O, 더욱더 바람직하게는 ≤ 0.005 wt% O를 갖는다.

[0538] **실리콘 (Si)**

[0539] 상기 312L35M4N 스테인리스강의 실리콘 함량은 ≤ 0.75 wt% Si이다. 바람직하게는, 상기 합금은 ≥ 0.25 wt% Si 및 ≤ 0.75 wt% Si를 갖는다. 더 바람직하게는, 상기 범위는 ≥ 0.40 wt% Si 및 ≤ 0.60 wt% Si를 갖는다. 그러나, 개선된 산화 저항성이 요구되는, 특정의 더 높은 온도 적용에 관련해서, 상기 실리콘 함량은 ≥ 0.75 wt% Si 및 ≤ 2.00 wt% Si일 수 있다.

[0541] **크롬 (Cr)**

[0542] 상기 312L35M4N 스테인리스강의 크롬 함량은 ≥ 20.00 wt% Cr 및 ≤ 22.00 wt% Cr이다. 상기 합금은 ≥ 21.00 wt% Cr이다.

[0544] **니켈 (Ni)**

[0545] 상기 312L35M4N 스테인리스강의 니켈 함량은 ≥ 15.00 wt% Ni 및 ≤ 19.00 wt% Ni이다. 바람직하게는, 상기 합금의 상기 Ni의 상한은 ≤ 18.00 wt% Ni, 더 바람직하게는 ≤ 17.00 wt% Ni이다.

[0547] **몰리브덴 (Mo)**

[0548] 상기 312L35M4N 스테인리스강 합금의 몰리브덴 함량은 ≥ 3.00 wt% Mo 및 ≤ 5.00 wt% Mo, 그러나 바람직하게는 ≤ 4.00 wt% Mo이다. 다른 면에서, 본 구현예에서 몰리브덴은 최대 5.00 wt% Mo를 갖는다.

[0550] **질소 (N)**

[0551] 상기 312L35M4N 스테인리스강의 질소함량은 ≤ 0.70 wt% N, 그러나 바람직하게는 ≥ 0.40 wt% N 및 ≤ 0.70 wt% N이다. 더 바람직하게는, 상기 312L35M4N은 ≥ 0.40 wt% N 및 ≤ 0.60 wt% N, 더욱더 바람직하게는 ≥ 0.45 wt% N 및 ≤ 0.55 wt% N를 갖는다.

[0553] **PRE_N**

[0554] 내공식성지수는 하기의 식을 이용하여 계산된다:

[0555] PRE_N = % Cr + (3.3 x %Mo) + (16 x % N)

[0556] 상기 312L35M4N 스테인리스강은 다음의 조성을 갖도록 특별히 구성된다:

[0557] (i) 크롬함량 ≥ 20.00 wt% Cr 및 ≤ 22.00 wt% Cr, 그러나 바람직하게는 ≥ 21.00 wt% Cr;

[0558] (ii) 몰리브덴 함량 ≥ 3.00 wt% Mo 및 ≤ 5.00 wt% Mo, 그러나 바람직하게는 ≥ 4.00 wt% Mo;

[0559] (iii) 질소 함량 ≤ 0.70 wt% N, 그러나 바람직하게는 ≥ 0.40 wt% N 및 ≤ 0.70 wt% N, 더 바람직하게는 ≥ 0.40 wt% N 및 ≤ 0.60 wt% N, 더욱더 바람직하게는 ≥ 0.45 wt% N 및 ≤ 0.55 wt% N.

[0561] 고수준의 질소로, 상기 312L35M4N 스테인리스강은 PRE_N ≥ 37, 바람직하게는PRE_N ≥ 42를 달성한다. 이는, 상기 합금이 광범위한 범위의 공정 환경의 전면 부식 및 국소 부식 (공식 및 틈새 부식) 에 대한 좋은 저항성을 갖는 것을 보장한다. 또한, 상기 312L35M4N 스테인리스강은 UNS S31703 및 UNS S31753와 같은 통상적인 오스테나이트계 스테인리스강과 비교해서, 염화물을 포함하는 환경 내에서 응력부식 균열에 대한 저항성이 개선된다. 이러한 식들은 공식 부식 또는 틈새 부식에 의한 패시비티의 쇠약에 대한 미세구조 인자의 효과는 무시함을 강조한다.

[0563] 상기 312L35M4N 스테인리스강의 화학적 조성은, 전형적으로 1100 ℃ 내지 1250 ℃ 범위에서 수행되고 이어서 수냉하는 용액 열처리 이후에 베이스 물질 내의 오스테나이트의 미세구조를 주로 획득하기 위해서, Schoefer[6]에 따른, [Ni] 당량으로 나눈 [Cr] 당량의 비율이, 범위 > 0.40 및 < 1.05, 그러나 바람직하게는 > 0.45 및 < 0.95 범위 내에 있도록 보장하기 위해서 용융 단계에서 최적화된다. 용접된 상태의 용접 금속 및 용접의 열영향부와 더불어, 용액 열처리된 상태에서 베이스 물질의 미세 구조는 상기 합금이 오스테나이트인 것을 주로 보장하도록 오스테나이트 형성 원소와 페라이트 형성 원소 간의 밸런스를 최적화하여 조절된다. 그러므로, 상기 합금은 비자성 상태로 공급되고 제조될 수 있다.

[0565] 상기 312L35M4N 스테인리스강은 또한, 잔여부로서 Fe를 주로 포함하고, 중량 백분율로 붕소, 세륨, 알루미늄, 칼슘 및/또는 마그네슘과 같은 매우 소량의 다른 원소들을 더 포함할 수 있다. 이러한 원소들의 조성은 304LM4N 것과 동일하다. 다른 면에서, 또한, 304LM4N에 대한 이러한 원소들에 관련된 구절은 여기서 적용가능하다.

[0567] 제5 구현예에 따른 상기 312L35M4N 스테인리스강은 로트 버전을 위해 55 ksi 또는 380 MPa의 최소항복강도를 갖는다. 더 바람직하게는, 62 ksi 또는 430 MPa의 최소항복강도는 로트 버전을 위해서 달성될 수 있다. 상기 캐스트 버전은 41 ksi 또는 280 MPa의 최소항복강도를 갖는다. 더 바람직하게는, 48 ksi 또는 330 MPa의 최소항복강도는 캐스트 버전을 위해서 달성될 수 있다. 바람직한 값을 기반으로 하여, 신규하고 획기적인 312L35M4N 스테인리스강의 로트 기계적 강도 특성과 UNS S31703의 것과의 비교는, 상기 312L35M4N 스테인리스강의 최소항복강도가 UNS S31703의 특정화된 것보다 2.1 배 더 높을 수 있다는 것을 제시한다. 이와 유사하게, 상기 312L35M4N 스테인리스강의 로트 기계적 강도 특성과 UNS S31753 것과의 비교는, 상기 312L35M4N 스테인리스강의 최소항복강도가 UNS S31753의 특정화된 것보다 1.79 배 더 높을 수 있음을 제시한다. 또한, 상기 312L35M4N 스테인리스강의 로트 기계적 강도 특성과 UNS S31254 것과의 비교는, 상기 312L35M4N 스테인리스강의 최소항복강도가 UNS S31254의 특정화된 것보다 1.38 배 더 높을 수 있음을 제시한다.

[0569] 제5 구현예에 따른 상기 312L35M4N 스테인리스강은 로트 버전를 위해 최소인장강도 102 ksi 또는 700 MPa를 갖는다. 더 바람직하게는, 109 ksi 또는 750 MPa의 최소인장강도는 상기 로트 버전를 위해 달성될 수 있다. 캐스트 버전은 95 ksi 또는 650 MPa의 최소인장강도를 갖는다. 더 바람직하게는, 102 ksi 또는 700 MPa의 최소인장강도는 상기 캐스트 버전을 위해 달성될 수 있다. 바람직한 값을 기반으로 하여, 상기 312L35M4N 스테인리스

강의 로트 기계적 강도 특성과 UNS S31703 것과의 비교는, 상기 312L35M4N 스테인리스강의 최소인장강도가 UNS S31703에 대해 특정화된 것보다 1.45 배 이상 더 높을 수 있다는 것을 제시한다. 이와 유사하게, 상기 312L35M4N 스테인리스강의 로트 기계적 강도 특성과 UNS S31753 것과의 비교는, 상기 312L35M4N 스테인리스강의 최소인장강도가 UNS S31753에 대해 특정화된 것보다 1.36 배 더 높을 수 있다는 것을 제시한다. 또한, 상기 312L35M4N 스테인리스강의 로트 기계적 강도 특성과 UNS S31254의 것과 비교는, 상기 312L35M4N 스테인리스강의 최소인장강도가 UNS S31254의 특정화된 것보다 1.14 배 더 높을 수 있다는 것을 제시한다. 즉, 상기 312L35M4N 스테인리스강의 로트 기계적 강도 특성이 22 Cr 듀플렉스 스테인리스강의 것과 비교한다면, 그 결과, 상기 312L35M4N 스테인리스강의 최소인장강도가, S31803의 특정화된 것보다 1.2 배 더 높은 영역에 있고, 25 Cr 슈퍼 듀플렉스 스테인리스강의 특정화된 것과 유사하다는 것을 확인할 수 있다. 그러므로, 상기 312L35M4N 스테인리스강의 최소 기계적 강도 특성은, UNS S31703, UNS S31753 및 UNS S31254와 같은 통상적인 오스테나이트계 스테인리스강과 비교하여 월등하게 개선하였고, 인장 강도 특성은 22 Cr 듀플렉스 스테인리스강에 대해 특정화된 것보다 더 좋고, 25 Cr 슈퍼 듀플렉스 스테인리스강의 특정화된 것과 유사하다.

[0571] 이는, 로트312L35M4N 스테인리스강을 이용하는 적용은 줄어든 벽두께로 대부분 고안될 수 있으므로, 최소허용설계응력이 월등하게 더 높기 때문에, UNS S31703, S31753 및 S31254와 같은 통상적인 오스테나이트계 스테인리스강과 특정화된 312L35M4N 스테인리스강의 비교시, 월등한 무게 감량을 유도하는 것을 의미한다. 즉, 상기 로트 312L35M4N 스테인리스강에 대한 상기 최소허용설계응력은 22 Cr 듀플렉스 스테인리스강보다 더 높고, 25 Cr 슈퍼 듀플렉스 스테인리스강과 유사하다.

[0573] 특정 적용을 위해서, 상기 312L35M4N 스테인리스강의 다른 변종은, 구리, 텅스텐 및 바나듐와 같은 합금 원소의 특정화된 수준을 포함하여 제조되도록 의도적으로 구성된다. 상기 312L35M4N 스테인리스강의 다른 변종의 최적화학적 조성 범위는 선택적이고, 구리 및 바나듐의 조성은 304LM4N 것과 동일하게 선택된다. 다른 면에서, 304LM4N의 이러한 원소에 대한 구절은 또한, 312L35M4N에 적용된다.

[0575] **텅스텐 (W)**

[0576] 상기 312L35M4N 스테인리스강의 텅스텐 함량은 ≤ 2.00 wt% W, 그러나 바람직하게는 ≥ 0.50 wt% W 및 ≤ 1.00 wt% W, 더 바람직하게는 ≥ 0.75 wt% W이다. 텅스텐을 포함하는 312L35M4N 스테인리스강 변종에 관련해서, 내공식성지수는 하기의 식을 이용하여 계산된다:

[0577] PRE_{NW} = % Cr + [3.3 x % (Mo + W)] + (16 x % N)

[0578] 상기 312L35M4N 스테인리스강의 이러한 텅스텐 함유 변형은 다음의 조성을 갖도록 특별히 구성된다:

[0579] (i) 크롬함량 ≥ 20.00 wt% Cr 및 ≤ 22.00 wt% Cr, 그러나 바람직하게는 ≥ 21.00 wt% Cr;

[0580] (ii) 몰리브덴 함량 ≥ 3.00 wt% Mo 및 ≤ 5.00 wt% Mo, 그러나 바람직하게는 ≥ 4.00 wt% Mo;

[0581] (iii) 질소 함량 ≤ 0.70 wt% N, 그러나 바람직하게는 ≥ 0.40 wt% N 및 ≤ 0.70 wt% N, 더 바람직하게는 ≥ 0.40 wt% N 및 ≤ 0.60 wt% N, 더욱더 바람직하게는 ≥ 0.45 wt% N 및 ≤ 0.55 wt% N; 및

[0582] (iv) 텅스텐 함량 ≤ 2.00 wt% W, 그러나 바람직하게는 ≥ 0.50 wt% W 및 ≤ 1.00 wt% W, 더 바람직하게는 ≥ 0.75 wt% W.

[0584] 상기 312L35M4N 스테인리스강의 텅스텐을 포함하는 변형은, 특정화된 더 높은 수준의 질소 및 PRE_{NW} ≥ 39, 그러나 바람직하게는 PRE_{NW} ≥ 44를 갖는다. 이러한 식들은 공식 부식 또는 틈새 부식에 의한 패시비티의 쇠약에 대한 미세구조 인자의 효과를 무시함을 강조될 수 있다. 텅스텐은, 상기 합금의 전체적 부식 거동을 더 개선하기 위해서, 이러한 원소들의 모든 다양한 조합으로 구리, 바나듐, 티타늄 및/또는 니오븀 및/또는 니오븀 플러스 탄탈과 함께, 또는 개별적으로 첨가될 수 있다. 텅스텐은 매우 고가이므로, 상기 합금의 경제성을 최적화하고, 이와 동시에 상기 합금의 연성, 인성 및 부식 거동의 최적화하도록 의도적으로 제안된다.

[0586] **탄소**

[0587] 특정 적용을 위해서, 상기 312L35M4N 스테인리스강의 다른 변형이 선호되고, 이는 더 높은 탄소 수준을 포함하여 제조되도록 특별히 구성된다. 특히, 상기 312L35M4N 스테인리스강의 탄소 함량은 ≥ 0.040 wt% C 및 < 0.10 wt% C, 그러나 바람직하게는 ≤ 0.050 wt% C, 또는 > 0.030 wt% C 및 ≤ 0.08 wt% C, 그러나 바람직하게는 < 0.040 wt% C일 수 있다. 상기 312L35M4N 스테인리스강의 이러한 특정 변종은 각각 312H35M4N 또는 31235M4N 버전이다.

[0588]

[0589] **티타늄 (Ti) /니오븀 (Nb) / 니오븀 (Nb) 플러스 탄탈 (Ta)**

[0590] 더욱이, 특정 적용을 위해서, 더 높은 탄소 수준을 포함하여 제조되도록 특별히 구성되어진, 상기 312H35M4N 또는 31235M4N 스테인리스강의 다른 안정화된 변형이 선호된다. 특히, 상기 탄소는 ≥ 0.040 wt% C 및 < 0.10 wt% C, 그러나 바람직하게는 ≤ 0.050 wt% C, 또는 > 0.030 wt% C 및 ≤ 0.08 wt% C, 그러나 바람직하게는 < 0.040 wt% C일 수 있다.

[0592] (i)이는, 일반적 312L35M4N강 버전과 비교하기 위해, 312H35M4NTi 또는 31235M4NTi으로 나타내어지는 티타늄 안정화된 버전를 포함한다. 티타늄 함량은 하기의 식에 따라 조절된다:

[0593] 상기 합금의 티타늄 안정화된 유도체를 갖기 위해서, 각각, Ti 4 x C min, 0.70 wt% Ti max, 또는 Ti 5 x C min, 0.70 wt% Ti max

[0594] (ii) 또한, 니오븀 함량은 하기의 식에 따라 조절되는 니오븀 안정화된, 312H35M4NNb 또는 31235M4NNb 버전이 있다:

[0595] 상기 합금의 니오븀 안정화된 유도체를 갖기 위해서, 각각, Nb 8 x C min, 1.0 wt% Nb max, 또는 Nb 10 x C min, 1.0 wt% Nb max

[0596] (iii) 추가로, 상기 합금의 다른 변종은, 또한, 상기 니오븀 플러스 탄탈 함량이 하기의 식에 따라 조절되는, 니오븀 플러스 탄탈 안정화된, 312H35M4NNbTa 또는 31235M4NNbTa을 포함하여 제조될 수 있다:

[0597] Nb + Ta 8 x C min, 1.0 wt% Nb + Ta max, 0.10 wt% Ta max, 또는 Nb + Ta 10 x C min, 1.0 wt% Nb + Ta max, 0.10 wt% Ta max.

[0599] 상기 합금의 티타늄 안정화된, 니오븀 안정화된 및 니오븀 플러스 탄탈 안정화된 변종은, 초기 용액 열처리 온도보다 더 낮은 온도에서 안정화 열처리가 이루어질 수 있다. 티타늄 및/또는 니오븀 및/또는 니오븀 플러스 탄탈은, 더 높은 탄소 함량이 선호되는 특정 적용을 위한 상기 합금을 최적화하도록 이러한 원소들의 모든 다양한 조합으로 구리, 텅스텐 및 바나듐과 함께, 또는 개별적으로 첨가될 수 있다. 이러한 합금 원소들은, 상기 합금의 전체적 부식 거동을 더 개선 시키고, 특정 적용을 위해 스테인리스강을 조절하도록 상기 원소들의 모든 다양한 조합으로 또는 개별적으로 이용될 수 있다.

[0601] 다른 변형과 더불어, 상기 312L35M4N 스테인리스강의 로트 및 캐스트 버전은, 이전의 구현예와 동일한 방식으로 제공된다.

[0603] 더욱이, 본 발명의 제6 구현예와 같이, 312L57M4N 고강도 오스테나이트계 스테인리스강으로 적절하게 나타내어지는 제안된 추가 변형이 있다. 상기 312L57M4N 스테인리스는 실질적으로, 몰리브덴 함량을 제외하고, 312L35M4N 스테인리스강과 동일한 화학적 조성을 갖는다. 이에, 다양한 화학적 조성의 반복 대신에, 단지 차이점만 기술된다.

[0605] [312L57M4N]

[0606] 상기 언급된 바와 같이, 상기 312L57M4N은 몰리브덴 함량을 제외한, 제5 구현예, 312L35M4N 스테인리스강과 정확하게 동일한 wt%의 탄소, 망간, 인, 황, 산소, 실리콘, 크롬, 니켈 함량을 갖는다. 상기 312L35M4N에서, 상기 몰리브덴 함량은 3.00 wt% 내지 5.00 wt%이다. 반면에, 상기 312L57M4N 스테인리스강의 몰리브덴 함량은 5.00 wt% 내지 7.00 wt%이다. 다른면에서, 상기 312L57M4N은 더 높은 몰리브덴 버전의 상기 312L35M4N 스테인리스강으로 이해될 수 있다. 312L35M4N에 관련된 구절은, 또한, 몰리브덴 함량을 제외한, 여기서 허용가능하다는 것이 인식될 수 있다.

[0607] _

[0608] 몰리브덴 (Mo)

[0609] 상기 312L57M4N 스테인리스강의 몰리브덴 함량은 ≥ 5.00 wt% Mo 및 ≤ 7.00 wt% Mo, 그러나 바람직하게는 ≥ 6.00 wt% Mo이다. 다른 면에서, 상기 312L57M4N의 몰리브덴 함량은 최대 7.00 wt% Mo를 갖는다.

[0611] PRE_N

[0612] 상기 312L57M4N에 대한 내공식성지수는 312L35M4N와 동일한 식을 이용하여 계산되고, 몰리브덴 함량의 차이 때문에, PRE_N은 ≥ 43, 그러나 바람직하게는 PRE_N ≥ 48이다. 이는, 상기 물질이 또한, 광범위한 범위의 공정 환경에서 전면 부식 및 국소 부식 (공식 및 틈새 부식)에 대한 좋은 저항성을 갖는 것을 보장한다. 312L57M4N 스테인리스강은, 또한, UNS S31703 및 UNS S31753와 같은, 통상적인 오스테나이트계 스테인리스강과 비교할 경우에, 염화물을 포함하는 환경 내에 응력부식 균열에 대한 저항성을 개선하였다. 이러한 식들이 공식 부식 또는 틈새 부식에 의한 패시비티의 쇠약 상에서 미세구조 인자의 효과를 무시함을 강조될 수 있다.

[0613]

[0614] 상기 312L57M4N 스테인리스강의 화학적 조성은, Schoefer[6]에 따라, [Ni] 당량으로 나눈 [Cr] 당량의 비율이, 전형적으로 1100 ℃ 내지 1250 ℃ 범위에서 수행되고 이어서 수냉하는 용액 열처리 이후에, 베이스 물질 내의 오스테나이트의 미세구조를 주로 획득하기 위해서, > 0.40 및 < 1.05, 그러나 바람직하게는 > 0.45 및 < 0.95의 범위 내에 있는 것을 보장하도록 용융 단계에서 최적화된다. 용접된 상태의 용접 금속 및 용접의 열영향부와 더불어, 상기 용액 열처리된 상태에서 베이스 물질의 미세 구조는, 상기 합금이 오스테나이트인 것을 주로 보장하도록 오스테나이트 형성 원소와 페라이트 형성 원소 간의 밸런스를 최적화하여 조절된다. 그러므로, 상기 합금은 비자성 상태로 공급되고 제조될 수 있다.

[0616] 상기 312L35M4N 구현예와 같이, 상기 312L57M4N 스테인리스강은, 또한, 잔여부로서 주로 Fe를 포함하고, 중량 백분율의 붕소, 세륨, 알루미늄, 칼슘 및/또는 마그네슘과 같은 매우 소량의 다른 원소들을 더 포함할 수 있고, 이러한 원소들의 조성은 312L35M4N, 또한, 304LM4N 것과 동일하다.

[0618] 제6 구현예의 312L57M4N 스테인리스강은 상기 312L35M4N 스테인리스강의 것과 유사하고, 또는 비교가능(comparable)한 최소항복강도 및 최소인장강도를 갖는다. 또한, 상기 312L57M4N의 로트 및 캐스트 버전의 강도 특성은, 또한, 312L35M4N 것과 비교가능하다. 이에, 특정 강도 값은 여기서 반복되지 않고, 참조는 312L35M4N에 대한 이전 구절로 이루어진다. 312L57M4N 및 통상적인 오스테나이트계 스테인리스강 UNS S31703 간의 로트 기계적 강도 특성 비교; 및 312L57M4N 및 UNS S31753/UNS S31254 간의 로트 기계적 강도 특성 비교는, 312L35M4N에 발견되는 것과 유사한 크기의 인장 강도 및 더 강한 항복강도를 제시한다. 이와 유사하게, 312L57M4N의 인장 특성의 비교는 22 Cr 듀플렉스 스테인리스강에 대해 특정화된 것보다 더 좋고, 312L35M4N와 마찬가지로, 25 Cr 슈퍼 듀플렉스 스테인리스강에 대해 특정화된 것과 유사함을 나타낸다.

[0620] 이는, 상기 로트312L57M4N 스테인리스강을 사용하는 적용이 줄어든 벽두께로 대부분 고안될 수 있으므로, 최소 허용설계응력이 월등하게 더 높기 때문에, 특정화된 312L57M4N 스테인리스강과, UNS S31703, S31753 및 S31254

와 같은, 통상적인 오스테나이트계 스테인리스강의 비교는 월등한 중량 감소를 유도하는 것을 의미한다.

[0622] 즉, 상기 로트312L57M4N 스테인리스강의 최소허용설계응력은 22 Cr 듀플렉스 스테인리스강보다 더 높고, 25 Cr 슈퍼 듀플렉스 스테인리스강과 유사하다. 특정 적용을 위해서, 상기 312L57M4N 스테인리스강의 다른 변종은 구리, 텅스텐 및 바나듐과 같은 다른 합금 원소의 특정 수준을 포함하여 제조되도록 의도적으로 구성된다. 상기 312L57M4N 스테인리스강의 다른 변종의 최적 화학적 조성 범위는 선택적이고, 구리 및 바나듐의 조성은 312L35M4N 및 304LM4N의 것과 동일하게 결정된다. 다른 면에서, 304LM4N에 대한 이러한 원소들에 관련된 구절은 또한, 여기서 312L57M4N에 적용가능하다.

[0624] **텅스텐 (W)**

[0625] 상기 312L57M4N 스테인리스강의 텅스텐 함량은 상기 312L35M4N의 것과 유사하고, 312L35M4N에 대해 상기 언급된 바와 같은 동일한 식을 이용하여 계산되는 312L57M4N의 내공식성지수, PRE_{NW}는, 몰리브덴 함량의 차이로 인하여, $PRE_{NW} \geq 45$, 바람직하게는 $PRE_{NW} \geq 50$이다. 312L35M4N에 대한 텅스텐의 효과 및 이용에 관련된 구절이, 또한, 312L57M4N에 적용가능함을 이해될 수 있다. 더욱이, 상기 312L57M4N은 이전에 언급된 312H35M4N 및 31235M4N와 각각 상응하는 312H57M4N 또는 31257M4N로 나타내어지는 더 높은 수준의 탄소를 포함할 수 있고, 이전에 언급된 상기 탄소 wt% 범위는 또한, 312H57M4N 및 31257M4N에 적용가능하다.

[0627] **티타늄 (Ti) / 니오븀 (Nb) / 니오븀 (Nb) 플러스 탄탈 (Ta)**

[0628] 더욱이, 특정 적용을 위해서, 더 높은 탄소 수준을 포함하여 제조되도록 특별히 구성되어진 상기 312H57M4N 또는 31257M4N 스테인리스강의 다른 안정화된 변종이 선호된다. 특히, 상기 탄소는 ≥ 0.040 wt% C 및 < 0.10 wt% C, 그러나 바람직하게는 ≤0.050 wt% C, 또는 > 0.030 wt% C 및 ≤ 0.08 wt% C, 그러나 바람직하게는 < 0.040 wt% C일 수 있다.

[0629] (i) 이는, 일반적 312L57M4N 스테인리스강 버전과 비교하기 위해 312H57M4NTi 또는 31257M4NTi로 나타내어지는 티타늄 안정화된 버전을 포함한다. 티타늄 함량은 하기의 식에 따라 조절된다:

[0630] 상기 합금의 티타늄 안정화된 유도체를 갖기 위해서, 각각, Ti 4 x C min, 0.70 wt% Ti max, 또는 Ti 5 x C min, 0.70 wt% Ti max

[0631] (ii) 또한, 니오븀 함량은 하기의 식에 따라 조절되는 니오븀 안정화된, 312H57M4NNb 또는 31257M4NNb 버전이 있다: 상기 합금의 니오븀 안정화된 유도체를 갖기 위해서, 각각, Nb 8 x C min, 1.0 wt% Nb max, 또는 Nb 10 x C min, 1.0 wt% Nb max

[0632] (iii) 추가로, 상기 합금의 다른 변종은, 니오븀 플러스 탄탈 함량이 하기의 식에 따라 조절되는 니오븀 플러스 탄탈 안정화된, 312H57M4NNbTa 또는 31257M4NNbTa 버전을 포함하여 제조될 수 있다:

[0633] Nb + Ta 8 x C min, 1.0 wt% Nb + Ta max, 0.10 wt% Ta max, 또는 Nb + Ta 10 x C min, 1.0 wt% Nb + Ta max, 0.10 wt% Ta max

[0635] 상기 합금의 티타늄 안정화된, 니오븀 안정화된 및 니오븀 플러스 탄탈 안정화된 변종은 초기 용액 열처리 온도보다 더 낮은 온도에서 안정화 열처리가 이루어질 수 있다. 티타늄, 및/또는 니오븀 및/또는 니오븀 플러스 탄탈은 더 높은 탄소 함량이 선호되는 특정 적용을 위한 상기 합금을 최적화하도록 구리, 텅스텐 및 바나듐과 같은 이러한 원소들의 모든 다양한 조합으로 함께, 또는 개별적으로 첨가될 수 있다. 이러한 합금 원소들은 상기 합금의 전체적 부식 거동을 더 개선 시키고, 특정 적용을 위해 스테인리스강을 조절하도록 상기 원소들의 모든 다양한 조합으로 또는 개별적으로 이용될 수 있다.

[0637] 다른 변형과 더불어, 상기 312L57M4N 스테인리스강의 로트 및 캐스트 버전은 이전의 구현예와 동일한 방식으로 제공된다.

[0639] 더욱이, 제7 본 발명의 구현예이고, 본 발명의 상세한 설명에서 320L35M4N으로 적절하게 나타내어지는 제안된 추가 변형이 있다.

[0641] [320L35M4N]

[0642] 상기 320L35M4N 고강도 오스테나이트계 스테인리스강은 고수준의 질소 및 $PRE_N \geq 39$, 그러나 바람직하게는 $PRE_N \geq 44$의 특정화된 내공식성지수를 갖는다. PRE_N으로 지정된 상기 내공식성지수는 다음의 식에 따라 계산된다:

[0643] $PRE_N = \% Cr + (3.3 \times \% Mo) + (16 \times \% N)$

[0644] 상기 320L35M4N 스테인리스강은 전면 및 국소 부식에 대한 좋은 저항성 및 좋은 용접성과 더불어, 우수한 연성 및 인성과 고기계적 강도 특성의 독특한 조합을 갖도록 구성된다. 상기 320L35M4N 스테인리스강의 화학적 조성은 선택적이고, 하기와 같이, 중량 백분율의 합금의 화학적 분석에 의해서 특징지어진다: 0.030 wt% C max, 2.00 wt% Mn max, 0.030 wt% P max, 0.010 wt% S max, 0.75 wt% Si max, 22.00 wt% Cr - 24.00 wt% Cr, 17.00 wt% Ni - 21.00 wt% Ni, 3.00 wt% Mo - 5.00 wt% Mo, 0.40 wt% N - 0.70 wt% N.

[0646] 상기 320L35M4N 스테인리스강은, 또한, 잔여부로서 주로 Fe를 포함하고, 0.010 wt% B max, 0.10 wt% Ce max, 0.050 wt% Al max, 0.01 wt% Ca max 및/또는 0.01 wt% Mg max와 같은 매우 소량의 다른 원소들 및 잔류수준으로 정상적으로 존재하는 다른 불순물을 더 포함할 수 있다.

[0648] 상기 320L35M4N 스테인리스강의 화학적 조성은 전형적으로 1100 ℃ 내지 1250 ℃ 범위에서 수행되고, 이어서 수냉하는 용액 열처리 이후에 베이스 물질 내의 오스테나이트의 미세구조를 주로 보장하도록 용융 단계에서 최적화된다. 용접된 상태의 용접 금속 및 용접의 열영향부와 더불어, 용액 열처리된 상태에서 베이스 물질의 미세구조는, 상기 합금이 오스테나이트인 것을 주로 보장하도록 오스테나이트 형성 원소와 페라이트 형성 원소 간의 밸런스를 최적화하여 조절된다. 결과적으로, 상기 320L35M4N 스테인리스강은 주위온도에서 연성과 고강도의 독특한 조합을 나타내고, 이와 동시에, 주위 온도 및 초저온에서 우수한 인성을 보장한다. $PRE_N \geq 39$, 그러나 바람직하게는 $PRE_N \geq 44$를 달성하도록 상기 320L35M4N 스테인리스강의 화학적 조성을 조정한다는 점을 고려한다면, 이는 상기 물질이 또한, 광범위한 범위의 공정 환경에서 전면 부식 및 국소 부식 (공식 및 틈새 부식)에 대한 좋은 저항성을 갖는 것을 보장한다. 상기 320L35M4N 스테인리스강은, 또한, UNS S31703 및 UNS S31753와 같은 통상적인 오스테나이트계 스테인리스강과 비교할 경우에 염화물을 포함하는 환경 내에 응력부식 균열에 대한 저항성을 개선하였다.

[0650] 상기 320L35M4N 스테인리스강의 최적 화학적 조성 범위는 제7 구현예를 기반으로 하는, 하기와 같은, 중량 백분율의 하기의 화학적 원소를 포함하도록 주의깊게 선택하여 결정된다.

[0652] 탄소 (C)

[0653] 상기 320L35M4N 스테인리스강의 탄소 함량은 최대 ≤ 0.030 wt% C일 수 있다. 바람직하게는, 상기 탄소의 함량은 ≥ 0.020 wt% C 및 ≤ 0.030 wt% C, 더 바람직하게는 ≤ 0.025 wt% C일 수 있다.

[0655] 망간 (Mn)

[0656] 제7 구현예의 상기 320L35M4N 스테인리스강은 두 가지 버전에 관한 것일 수 있다: 저망간 또는 고망간

[0657] 상기 저망간 합금에 관련해서, 상기 320L35M4N 스테인리스강의 망간 함량은 ≤ 2.0 wt% Mn이다. 바람직하게는,

상기 범위는 ≥ 1.0 wt% Mn 및 ≤ 2.0 wt% Mn, 더 바람직하게는 ≥ 1.20 wt% Mn 및 ≤ 1.50 wt% Mn이다. 이와 같은 조성으로, ≤ 5.0, 바람직하게는 ≥ 1.42 및 ≤ 5.0의 최적 Mn 대 N 비율을 획득한다. 더 바람직하게는, 상기 비율은 ≥ 1.42 및 ≤ 3.75이다.

[0659] 고망간 합금에 관련해서, 상기 320L35M4N의 망간 함량은 ≤ 4.0 wt% Mn이다. 바람직하게는, 상기 망간 함량은 ≥ 2.0 wt% Mn 및 ≤ 4.0 wt% Mn, 더 바람직하게는, 상한은 ≤ 3.0 wt% Mn이다. 더욱더 바람직하게는, 상기 상한은 ≤ 2.50 wt% Mn이다. 이러한 선택적 범위로, 이는 ≤ 10.0, 바람직하게는 ≥ 2.85 및 ≤ 10.0의 Mn 대 N 비율을 획득한다. 더 바람직하게는, 상기 고망간 합금에 대한 Mn 대 N 비율은 ≥ 2.85 및 ≤ 7.50, 더욱더 바람직하게는 ≥ 2.85 및 ≤ 6.25이다.

[0661] **인 (P)**

[0662] 상기 320L35M4N 스테인리스강의 인 함량은, ≤ 0.030 wt% P가 되도록 조절된다. 바람직하게는, 상기 320L35M4N 합금은 ≤ 0.025 wt% P, 더 바람직하게는 ≤ 0.020 wt% P를 갖는다. 더욱더 바람직하게는, 상기 합금은 ≤ 0.015 wt% P, 더욱더 바람직하게는 ≤ 0.010 wt% P일 수 있다.

[0664] **황 (S)**

[0665] 제7 구현예에서 상기 320L35M4N 스테인리스강의 황 함량은 ≤ 0.010 wt% S를 함유한다. 바람직하게는, 상기 320L35M4N은 ≤ 0.005 wt% S, 더 바람직하게는 ≤ 0.003 wt% S, 더욱더 바람직하게는 ≤ 0.001 wt% S를 갖는다.

[0667] **산소 (O)**

[0668] 상기 320L35M4N 스테인리스강의 산소 함량은 가능한 낮게 조절되고, 제7 구현예에서, 상기 320L35M4N은 ≤ 0.070 wt% O를 갖는다. 바람직하게는, 상기 320L35M4N은 ≤ 0.050 wt% O, 더 바람직하게는 ≤ 0.030 wt% O를 갖는다. 더욱더 바람직하게는, 상기 합금은 ≤ 0.010 wt% O, 더욱 바람직하게는 ≤ 0.005 wt% O를 갖는다.

[0670] **실리콘 (Si)**

[0671] 상기 320L35M4N 스테인리스강의 실리콘 함량은 ≤ 0.75 wt% Si이다. 바람직하게는, 상기 합금은 ≥ 0.25 wt% Si 및 ≤ 0.75 wt% Si를 가질 수 있다. 더 바람직하게는, 상기 범위는 ≥ 0.40 wt% Si 및 ≤ 0.60 wt% Si일 수 있다. 그러나, 개선된 산화 저항성이 요구되는 특정의 더 높은 온도의 관련해서, 상기 실리콘 함량은 ≥ 0.75 wt% Si 및 ≤ 2.00 wt% Si일 수 있다.

[0673] **크롬 (Cr)**

[0674] 상기 320L35M4N 스테인리스강의 크롬 함량은 ≥ 22.00 wt% Cr 및 ≤ 24.00 wt% Cr이다. 바람직하게는, 상기 합금은 ≥ 23.00 wt% Cr을 가질 수 있다.

[0676] **니켈 (Ni)**

[0677] 상기 320L35M4N 스테인리스강의 니켈 함량은 ≥ 17.00 wt% Ni 및 ≤ 21.00 wt% Ni이다. 바람직하게는, 상기 합금의 Ni의 상한은 ≤ 20.00 wt% Ni, 더 바람직하게는 ≤ 19.00 wt% Ni이다.

[0679] **몰리브덴 (Mo)**

[0680] 상기 320L35M4N 스테인리스강 합금의 몰리브덴 함량은 ≥ 3.00 wt% Mo 및 ≤ 5.00 wt% Mo, 그러나 바람직하게는

≥ 4.00 wt% Mo이다.

[0682] **질소 (N)**

[0683] 상기 320L35M4N 스테인리스강의 질소함량은 ≤ 0.70 wt% N, 그러나 바람직하게는 ≥ 0.40 wt% N 및 ≤ 0.70 wt% N이다. 더 바람직하게는, 상기 320L35M4N은 ≥ 0.40 wt% N 및 ≤ 0.60 wt% N, 더욱더 바람직하게는 ≥ 0.45 wt% N 및 ≤ 0.55 wt% N을 갖는다.

[0685] **PRE_N**

[0686] 내공식성지수는 하기의 식을 이용하여 계산된다:

[0687] PRE_N = % Cr + (3.3 x %Mo) + (16 x % N)

[0689] 상기 320L35M4N 스테인리스강은 다음의 조성을 갖도록 특별히 구성된다:

[0690] (i) 크롬함량 ≥ 22.00 wt% Cr 및 ≤ 24.00 wt% Cr, 그러나 바람직하게는 ≥ 23.00 wt% Cr;

[0691] (ii) 몰리브덴 함량 ≥ 3.00 wt% Mo 및 ≤ 5.00 wt% Mo, 그러나 바람직하게는 ≥ 4.00 wt% Mo;

[0692] (iii) 질소 함량 ≤ 0.70 wt% N, 그러나 바람직하게는 ≥ 0.40 wt% N 및 ≤ 0.70 wt% N, 더 바람직하게는 ≥ 0.40 wt% N 및 ≤ 0.60 wt% N, 더욱더 바람직하게는 ≥ 0.45 wt% N 및 ≤ 0.55 wt% N.

[0694] 더 높은 수준의 질소로, 상기 320L35M4N 스테인리스강은 PRE_N ≥ 39, 바람직하게는 PRE_N ≥ 44의 PRE_N를 달성한다. 이는, 상기 합금이, 광범위한 범위의 공정 환경에서 전면 부식 및 국소 부식 (공식 및 틈새 부식)에 대한 좋은 저항성을 갖는 것을 보장한다. 상기 320L35M4N 스테인리스강은, 또한, UNS S31703 및 UNS S31753와 같은 통상적인 오스테나이트계 스테인리스강과 비교할 경우에, 염화물을 포함하는 환경 내에서 응력부식 균열에 대한 저항성을 개선한다. 이러한 식들이 공식 부식 또는 틈새 부식에 의한 패시비티의 쇠약에서 미세구조 인자의 효과를 무시하는 것이 강조될 수 있다.

[0695]

[0696] 상기 320L35M4N 스테인리스강의 화학적 조성은, 전형적으로 1100 ℃ 내지 1250 ℃ 범위에서 수행되고 이어서 수냉하는 용액 열처리 이후에, 베이스 물질 내의 오스테나이트의 미세구조를 주로 획득하기 위해서, Schoefer[6]에 따른 [Ni] 당량으로 나눈 [Cr] 당량의 비율이 > 0.40 및 < 1.05, 그러나 바람직하게는 > 0.45 및 < 0.95 범위 내에 있는 것을 보장하도록 용융 단계에서 최적화된다. 용접된 상태의 용접 금속 및 용접의 열영향부와 더불어, 상기 용액 열처리된 상태에서 베이스 물질의 미세 구조는 상기 합금이 오스테나이트인 것을 주로 보장하도록 오스테나이트 형성 원소와 페라이트 형성 원소 간의 밸런스를 최적화하여 조절된다. 그러므로, 상기 합금은 비자성 상태로 공급되고 제조될 수 있다.

[0698] 상기 320L35M4N 스테인리스강은 또한, 잔여부로서 Fe를 주로 포함하고, 중량 백분율의 붕소, 세륨, 알루미늄, 칼슘 및/또는 마그네슘과 같은 매우 소량의 다른 원소들을 더 포함할 수 있고, 이러한 원소들의 조성은 304LM4N 것과 동일하다. 다른면에서, 304LM4N에 대한 이러한 원소들에 관련된 구절은 또한, 여기서, 적용 가능하다.

[0700] 제7 구현예의 320L35M4N 스테인리스강은 로트 버전을 위해 55 ksi 또는 380 MPa의 최소항복강도를 갖는다. 더 바람직하게는, 62 ksi 또는 430 MPa의 최소항복강도는 상기 로트 버전을 위해서 달성될 수 있다. 상기 캐스트 버전은 41 ksi 또는 280 MPa의 최소항복강도를 갖는다. 더 바람직하게는, 48 ksi 또는 330 MPa의 최소항복강도는 상기 캐스트 버전을 위해서 달성될 수 있다. 바람직한 값을 기반으로 하여, 상기 320L35M4N 스테인리스강의 로트 기계적 강도 특성과 UNS S31703의 것의 비교는 320L35M4N 스테인리스강의 최소항복강도가 UNS S31703에 대

해 특정화된 것보다 2.1 배 더 높을 수 있음을 제시한다. 이와 유사하게, 상기 320L35M4N 스테인리스강의 로트 기계적 강도 특성과 UNS S31753 것과의 비교는, 320L35M4N 스테인리스강의 최소항복강도가 UNS S31753에 대해 특정화된 것보다 1.79 배 더 높을 수 있음을 제시한다. 또한, 상기 320L35M4N 스테인리스강의 로트 기계적 강도 특성과 UNS S32053의 것의 비교는 320L35M4N 스테인리스의 최소항복강도가 UNS S32053에 대해 특정화된 것보다 1.45 배 더 높을 수 있음을 제시한다.

[0702] 제7 구현예에 따른 320L35M4N 스테인리스강은 로트 버전을 위해 102 ksi 또는 700 MPa의 최소인장강도를 갖는다. 더 바람직하게는, 109 ksi 또는 750 MPa의 최소인장강도는 상기 로트 버전에 대해 달성될 수 있다. 상기 캐스트 버전은 95 ksi 또는 650 MPa의 최소인장강도를 갖는다. 더 바람직하게는, 102 ksi 또는 700 MPa의 최소인장강도는 상기 캐스트 버전을 위해 달성될 수 있다. 바람직한 값을 기반으로 하여, 320L35M4N 스테인리스강의 로트 기계적 강도 특성과 UNS S31703 것과의 비교는, 320L35M4N 스테인리스강의 최소인장강도가 UNS S31703에 대해 특정화된 것보다 1.45 배 이상 더 높을 수 있음을 제시한다. 이와 유사하게, 320L35M4N 스테인리스강의 로트 기계적 강도 특성과 UNS S31753 것과의 비교는, 상기 320L35M4N 스테인리스강의 최소인장강도가 UNS S31753의 특정화된 것보다 1.36 배 더 높을 수 있음을 제시한다. 또한, 320L35M4N 스테인리스강에 대한 로트 기계적 강도 특성과 UNS S32053의 것의 비교는 320L35M4N 스테인리스강의 최소인장강도가 UNS S32053의 특정화된 것보다 1.17 배 더 높을 수 있음을 제시한다. 즉, 상기 320L35M4N 스테인리스강의 로트 기계적 강도 특성이 22 Cr 듀플렉스 스테인리스강의 것과 비교된다면, 그 결과, 320L35M4N 스테인리스강의 최소인장강도가 S31803에 대해 특정화된 것보다 1.2 배 이상의 영역 내에 있고, 25 Cr 슈퍼 듀플렉스 스테인리스강과 특정화된 것과 유사함을 나타낸다. 그러므로, 신규하고 획기적인 320L35M4N 스테인리스강의 최소 기계적 강도 특성은 UNS S31703, UNS S31753 및 UNS S32053와 같은 통상적인 오스테나이트계 스테인리스강과 비교하여 월등하게 개선되었고, 인장 강도 특성은 22 Cr 듀플렉스 스테인리스강에 대해 특정화된 것보다 더 좋고, 25 Cr 슈퍼 듀플렉스 스테인리스강에 대해 특정화된 것과 유사하다. 이는, 로트320L35M4N 스테인리스강을 이용하는 적용이, 줄어든 벽두께로 대부분 고안될 수 있으므로, 최소허용설계응력이 월등하게 더 높기 때문에, 특정화된 320L35M4N 스테인리스강과 UNS S31703, S31753 및 S32053와 같은 통상적인 오스테나이트계 스테인리스강의 비교시, 월등한 무게 감량을 유도하는 것을 의미한다. 즉, 상기 로트320L35M4N 스테인리스강의 최소허용설계응력은 22 Cr 듀플렉스 스테인리스강에 비하여 더 높고, 25 Cr 슈퍼 듀플렉스 스테인리스강과 유사하다.

[0704] 특정 적용을 위해서, 상기 320L35M4N 스테인리스강의 다른 변종은 구리, 텅스텐 및 바나듐과 같은 다른 합금 원소의 특정 수준을 포함하여 제조되도록 의도적으로 구성된다. 320L35M4N 스테인리스강의 다른 변종의 최적 화학적 조성 범위는 선택적이고, 구리 및 바나듐의 조성은 304LM4N 것과 동일하게 결정되어 진다. 다른 면에서, 304LM4N에 대한 이러한 원소들에 관한 구절은, 또한, 320L35M4N에 적용가능하다.

[0706] **텅스텐 (W)**

[0707] 상기 320L35M4N 스테인리스강의 텅스텐 함량은 ≤ 2.00 wt% W, 그러나 바람직하게는 ≥ 0.50 wt% W 및 ≤ 1.00 wt% W, 더 바람직하게는 ≥ 0.75 wt% W이다. 텅스텐을 포함하는 320L35M4N 스테인리스강 변종에 관련해서, 내공식성지수는 하기의 식을 이용하여 계산된다:

[0708] PRE_{NW} = % Cr + [3.3 x % (Mo + W)] + (16 x % N)

[0709] 상기 320L35M4N 스테인리스강의 이러한 텅스텐을 포함하는 변형은 하기의 조성을 갖도록 특별히 구성된다:

[0710] (i) 크롬함량 ≥ 22.00 wt% Cr 및 ≤ 24.00 wt% Cr, 그러나 바람직하게는 ≥ 23.00 wt% Cr;

[0711] (ii) 몰리브덴 함량 ≥ 3.00 wt% Mo 및 ≤ 5.00 wt% Mo, 그러나 바람직하게는 ≥ 4.00 wt% Mo;

[0712] (iii) 질소 함량 ≤ 0.70 wt% N, 그러나 바람직하게는 ≥ 0.40 wt% N 및 ≤ 0.70 wt% N, 더 바람직하게는 ≥ 0.40 wt% N 및 ≤ 0.60 wt% N, 더욱더 바람직하게는 ≥ 0.45 wt% N 및 ≤ 0.55 wt% N; 및

[0713] (iv) 텅스텐 함량 ≤ 2.00 wt% W, 그러나 바람직하게는 ≥ 0.50 wt% W 및 ≤ 1.00 wt% W, 더 바람직하게는 ≥ 0.75 wt% W.

[0715] 상기 320L35M4N 스테인리스강의 텅스텐을 포함하는 변형은, 특정화된 고수준의 질소 및 $PRE_{NW} \geq 41$, 그러나 바람직하게는 $PRE_{NW} \geq 46$를 포함한다. 이러한 식이, 공식 부식 또는 틈새 부식에 의한 패시비티의 쇠약 상의 미세구조 인자의 효과를 무시하는 것을 강조될 수 있다. 텅스텐은, 상기 합금의 전체적 부식 거동을 더 개선시키기 위해서, 원소들의 모든 다양한 조합 내로 구리, 바나듐, 티타늄 및/또는 니오븀 및/또는 니오븀 플러스 탄탈와 함께 첨가되거나 또는 개별적으로 첨가될 수 있다. 텅스텐은 매우 고가이므로, 상기 합금의 경제성을 최적화하고, 이와 동시에 상기 합금의 연성, 인성 및 부식 거동의 최적화하도록 의도적으로 제안된다.

[0717] **탄소 (C)**

[0718] 특정 적용을 위해서, 더 높은 탄소 수준을 포함하여 제조되도록 특별히 구성되어진 상기 320L35M4N 스테인리스강의 다른 변종이 선호된다. 특히, 상기 320L35M4N 스테인리스강의 탄소 함량은 ≥ 0.040 wt% C 및 < 0.10 wt% C, 그러나 바람직하게는 ≤ 0.050 wt% C, 또는 > 0.030 wt% C 및 ≤ 0.08 wt% C, 그러나 바람직하게는 < 0.040 wt% C일 수 있다. 320L35M4N 스테인리스강의 이러한 특정 변종은 각각 320H35M4N 또는 32035M4N일 수 있다.

[0719]

[0720] **티타늄 (Ti) / 니오븀 (Nb) / 니오븀 (Nb) 플러스 탄탈 (Ta)**

[0721] 더욱이, 특정 적용을 위해서, 더 높은 탄소 수준을 포함하여 제조되도록 특별히 구성되어진, 다른 안정화된 320H35M4N 또는 32035M4N 스테인리스강의 변종이 선호된다. 특히, 상기 탄소의 함량은 ≥ 0.040 wt% C 및 < 0.10 wt% C, 그러나 바람직하게는 ≤ 0.050 wt% C, 또는 > 0.030 wt% C 및 ≤ 0.08 wt% C, 그러나 바람직하게는 < 0.040 wt% C일 수 있다.

[0722] (i) 일반적 320L35M4N 버전과 비교하기 위한 320H35M4NTi 또는 32035M4NTi으로 나타내어지는 티타늄 안정화된 버전을 포함한다. 상기 티타늄 함량은 하기의 식에 따라 조절된다: 상기 합금의 티타늄 안정화된 유도체를 갖기 위해서, 각각, Ti 4 x C min, 0.70 wt% Ti max, 또는 Ti 5 x C min, 0.70 wt% Ti max

[0723] (ii)니오븀 함량이 하기의 식에 따라 조절되는 니오븀 안정화된, 320H35M4NNb 또는 32035M4NNb 버전이 더 있다:

[0724] 상기 합금의 니오븀 안정화된 유도체를 갖기 위해서, 각각, Nb 8 x C min, 1.0 wt% Nb max, 또는 Nb 10 x C min, 1.0 wt% Nb max

[0725] (iii) 추가로, 상기 합금의 다른 변종은, 또한, 니오븀 플러스 탄탈 함량이 하기의 식에 따라 조절되는 니오븀 플러스 탄탈 안정화된, 320H35M4NNbTa 또는 32035M4NNbTa 버전을 포함하여 제조될 수 있다:

[0726] Nb + Ta 8 x C min, 1.0 wt% Nb + Ta max, 0.10 wt% Ta max, 또는 Nb + Ta 10 x C min, 1.0 wt% Nb + Ta max, 0.10 wt% Ta max.

[0728] 상기 합금의 티타늄 안정화된, 니오븀 안정화된 및 니오븀 플러스 탄탈 안정화된 변종은 초기 용액 열처리 온도에 비하여 더 낮은 온도에서 안정화 열처리가 이루어질 수 있다. 티타늄 및/또는 니오븀 및/또는 니오븀 플러스 탄탈은 상기 합금을 최적하기 위해서, 이러한 원소들의 모든 다양한 조합 내에서 구리, 텅스텐 및 바나듐과 함께 첨가되거나 또는 개별적으로 첨가될 수 있다. 특정 적용을 위해서, 더 높은 탄소 함량이 선호된다. 이러한 합금 원소는 상기 합금의 전체적 부식 거동을 더 개선시키고, 특정 적용을 위한 스테인리스강을 조절하기 위해서 상기 원소들의 모든 다양한 조합으로 또는 개별적으로 이용될 수 있다.

[0730] 다른 변형과 함께, 320L35M4N 스테인리스강의 로트 및 캐스트 버전은 이전 구현예와 같은 방식으로 일반적으로 공급된다. 더욱이, 본 발명의 제8 구현예이며, 320L57M4N 고강도 오스테나이트계 스테인리스강으로 적절하게 나타내어지는 다른 변형이 제안된다. 실직적으로, 상기 320L57M4N 스테인리스강은 몰리브덴 함량을 제외하고, 320L35M4N과 같은 동일한 화학적 조성을 갖는다. 그러므로,다양한 화학적 조성의 반복 대신에, 단지, 차이점만 기술된다.

[0732] [320L57M4N]

[0733] 상기 언급된 바와 같이, 상기 320L57M4N은, 몰리브덴 함량을 제외하고, 320L35M4N 스테인리스강, 제7 구현예와 같이 정확하게 동일한 wt%의 탄소, 망간, 인, 황, 산소, 실리콘, 크롬, 니켈 및 질소를 갖는다. 상기 320L35M4N에서, 상기 몰리브덴 함량은 3.00 wt% 내지 5.00 wt% Mo이다. 반면에, 상기 320L57M4N 스테인리스강의 몰리브덴 함량은 5.00 wt% 내지 7.00 wt% Mo이다. 다른 면에서, 상기 320L57M4N은 상기 320L35M4N 스테인리스강의 더 높은 몰리브덴 버전으로 인식될 수 있다.

[0735] 몰리브덴 함량을 제외하고, 320L35M4N에 관련된 구절이 또한, 여기에 적용가능함이 인식될 수 있다.

[0737] **몰리브덴 (Mo)**

[0738] 상기 320L57M4N 스테인리스강의 몰리브덴 함량은 ≥ 5.00 wt% Mo 및 ≥ 7.00 wt% Mo, 그러나 바람직하게는 ≥ 6.00 wt% Mo일 수 있다. 다른 면에서, 상기 320L57M4N의 몰리브덴 함량은 최대 7.00 wt% Mo를 갖는다.

[0740] **PRE_N**

[0741] 상기 320L57M4N에 대한 내공식성지수는 320L35M4N과 동일한 식을 사용하여 계산되고, 상기 몰리브덴 함량으로 인하여, PRE_N은 ≥ 45, 그러나 바람직하게는 PRE_N ≥ 50이다. 이는 상기 물질이 또한, 광범위한 범위의 공정 환경에서 전면 부식 및 국소 부식 (공식 및 틈새 부식)에 대한 좋은 저항성을 갖는 것을 보장한다. 320L57M4N 스테인리스강은 또한, UNS S31703 및 UNS S31753과 같은 통상적인 오스테나이트계 스테인리스강과 비교하여, 염화물을 포함하는 환경 내에서 응력부식 균열에 대한 저항성을 개선한다. 이러한 식들이 공식 부식 또는 틈새 부식에 의한 패시비티의 쇠약 상에 미세구조 인자의 효과를 무시하는 것을 강조될 수 있다.

[0743] 상기 320L57M4N 스테인리스강의 화학적 조성은, 전형적으로 1100 ℃ 내지 1250 ℃ 범위에서 수행되고, 이어서 수냉하는 용액 열처리 이후에, 베이스 물질 내의 오스테나이트의 미세구조를 주로 획득하기 위해서, Schoefer[6] 에 따른 [Ni] 당량으로 나눈 [Cr] 당량의 비율이 > 0.40 및 < 1.05, 그러나 바람직하게는 > 0.45 및 < 0.95의 범위 내에 있는 것을 보장하도록 용융 단계에서 최적화된다. 용접된 상태의 용접 금속 및 용접의 열영향부와 더불어, 용액 열처리된 상태에서 베이스 물질의 미세 구조는 상기 합금이 오스테나이트인 것을 주로 보장하도록, 오스테나이트 형성 원소와 페라이트 형성 원소 간의 밸런스를 최적화하여 조절된다. 그러므로, 상기 합금은 비자성 상태로 공급되고 제조될 수 있다.

[0745] 320L35M4N 구현예와 같이, 상기 320L57M4N 스테인리스강은, 또한, 잔여부로서 주로 Fe를 포함하고 중량 백분율로 붕소, 세륨, 알루미늄, 칼슘 및/또는 마그네슘과 같은 매우 소량의 다른 원소들을 더 포함하고, 이러한 원소들의 조성은 320L35M4N 뿐만 아니라 304LM4N의 것과 동일하다.

[0746]

[0747] 제8 구현예의 상기 320L57M4N 스테인리스강은 상기 320L35M4N 스테인리스강의 것과 비교가능하고, 유사한 최소 항복강도 및 최소인장강도를 갖는다. 또한, 상기 320L57M4N의 로트 및 캐스트 버전의 상기 강도 특성은 또한, 상기 320L35M4N 것과 비교가능하다. 이에, 특정 강도값은 반복되지 않고, 참조는 320L35M4N의 이전 구절로 이루어진다. 통상적인 오스테나이트계 스테인리스강 UNS S31703과 320L57M4N 간의 로트 기계적 강도 특성 비교; 및 320L57M4N과 UNS S31753/UNS S32053 간의 로트 기계적 강도 특성 비교는, 320L35M4N에서 발견되는 것과 유사한 크기의 인장강도 및 더 강한 항복강도를 제시한다. 이와 유사하게, 320L57M4N의 인장 특성의 비교는, 22 Cr 듀플렉스 스테인리스강의 특정화된 것보다 더 좋고, 320L35M4N와 마찬가지로, 25 Cr 슈퍼 듀플렉스 스테인리스강에 대해 특정화된 것과 유사함을 나타낸다.

[0749] 이는, 상기 로트320L57M4N 스테인리스강를 이용하는 적용이 줄어든 벽두께로 대부분 고안될 수 있고, 이로써, 최소허용설계응력이 월등하게 더 높기 때문에, UNS S31703, S31753 및 S32053와 같은 통상적인 오스테나이트계 스테인리스강과 특정화된 320L57M4N 스테인리스강을 비교할 때, 월등한 중량 감소를 유도한다는 것을 의미한다. 즉, 상기 로트320L57M4N 스테인리스강의 최소허용설계응력은 22 Cr 듀플렉스 스테인리스강보다 더 높고, 25 Cr 슈퍼 듀플렉스 스테인리스강과 유사하다.

[0750]

[0751] 특정 적용을 위해서, 상기 320L57M4N 스테인리스강의 다른 변종은, 구리, 텅스텐 및 바나듐과 같은 다른 합금 원소의 특정 수준을 포함하여 제조되도록 의도적으로 구성되어졌다. 상기 320L57M4N 스테인리스강의 다른 변종의 최적 화학적 조성 범위는 선택적이고, 구리 및 바나듐의 조성은 320L35M4N 및 304LM4N 것과 동일하게 선택된다. 다른면에서, 304LM4N에 대한 이러한 원소들에 관련된 구절은, 또한, 여기서 320L57M4N에 대해 적용가능하다.

[0753] **텅스텐 (W)**

[0754] 상기 320L57M4N 스테인리스강의 텅스텐 함량은 상기 320L35M4N의 것과 유사하고, 몰리브덴 함량의 차이로 인하여, 320L35M4N에 대해 상기 언급된 바와 같이 동일한 식을 이용하여 계산되는 320L57M4N의 내공식성지수, PRE_{NW}은 $PRE_{NW} \geq 47$, 바람직하게는 $PRE_{NW} \geq 52$이다. 320L35M4N에 대한 텅스텐의 효과 및 이용에 관한 구절은 또한, 320L57M4N에 적용가능하다는 것을 이해될 수 있다.

[0756] 더욱이, 상기 320L57M4N은, 이전에 언급된 320H35M4N 및 32035M4N에 각각 상응하는 320H57M4N 또는 32057M4N로 나타낼 수 있는, 더 높은 수준의 탄소를 가질 수 있고, 이전에 언급된 상기 탄소 wt% 범위는 또한, 320H57M4N 및 32057M4N에 적용가능하다.

[0758] **티타늄 (Ti) / 니오븀 (Nb) / 니오븀 (Nb) 플러스 탄탈 (Ta)**

[0759] 더욱이, 특정 적용을 위해서, 더 높은 탄소 수준을 포함하여 제조되도록 특별히 구성되어진, 320H57M4N 또는 32057M4N 스테인리스강의 다른 안정화된 변종이 선호된다. 특히, 상기 탄소는 ≥ 0.040 wt% C 및 < 0.10 wt% C, 그러나 바람직하게는 ≤0.050 wt% C, 또는 > 0.030 wt% C 및 ≤ 0.08 wt% C, 그러나 바람직하게는 < 0.040 wt% C일 수 있다.

[0760] (i)이들은, 일반적 320L57M4N와 비교하기 위해 320H57M4NTi 또는 32057M4NTi로 나타내어지는 티타늄 안정화 버전을 포함한다. 상기 티타늄 함량은 하기의 식에 따라 조절된다:

[0761] 상기 합금의 티타늄 안정화된 유도체를 갖기 위해서, 각각, Ti 4 x C min, 0.70 wt% Ti max, 또는 Ti 5 x C min, 0.70 wt% Ti max

[0762] (ii)이들은, 상기 니오븀 함량이 하기의 식에 따라 조절되는 니오븀 안정화된, 320H57M4NNb 또는 32057M4NNb 버전을 더 포함한다:

[0763] 상기 합금의 니오븀 안정화된 유도체를 갖기 위해서, 각각, Nb 8 x C min, 1.0 wt% Nb max, 또는 Nb 10 x C min, 1.0 wt% Nb max

[0764] (iii) 추가로, 상기 합금의 다른 변종은 또한, 니오븀 플러스 탄탈의 함량이 하기의 식에 따라 조절되는 니오븀 플러스 탄탈 안정화된, 320H57M4NNbTa 또는 32057M4NNbTa 버전을 포함하기 위해 제조될 수 있다:

[0765] Nb + Ta 8 x C min, 1.0 wt% Nb + Ta max, 0.10 wt% Ta max, 또는 Nb + Ta 10 x C min, 1.0 wt% Nb + Ta max, 0.10 wt% Ta max

[0767] 상기 합금의 티타늄 안정화된, 니오븀 안정화된 및 니오븀 플러스 탄탈 안정화된 변종은 초기 용액 열처리 온도

보다 더 낮은 온도에서 안정화 열처리가 이루어진다. 티타늄 및/또는 니오븀 및/또는 니오븀 플러스 탄탈은, 더 높은 탄소 함량이 선호되는 특정 적용을 위한 상기 합금을 최적화하도록 이러한 원소들의 모든 다양한 조합으로, 구리, 텅스텐 및 바나듐와 함께 또는 개별적으로 첨가될 수 있다. 이러한 합금 원소들은, 상기 합금의 전체적 부식 거동을 더 개선시키고, 특정 적용을 위해 스테인리스강을 조절하도록 상기 원소들의 모든 다양한 조합으로, 또는 개별적으로 이용될 수 있다. 다른 변형과 더불어, 320L57M4N 스테인리스강의 로트 및 캐스트 버전은 이전의 구현예와 동일한 방식으로 제공된다.

[0769] 더욱이, 제9 구현예이며, 본 발명의 상세한 설명에서 326L35M4N로 적절하게 나타내어지는 추가 변형이 제안된다.

[0771] **[326L35M4N]**

[0772] 상기 326L35M4N 고강도 오스테나이트계 스테인리스강은 더 높은 수준의 질소를 포함하고, $PRE_N \geq 42$, 그러나 바람직하게는 $PRE_N \geq 47$의 특정화된 내공식성지수를 갖는다. PRE_N로 지정된 상기 내공식성지수는 다음의 식에 따라 계산된다:

[0773] $PRE_N = \%\ Cr + (3.3 \times \%\ Mo) + (16 \times \%\ N)$

[0774] 상기 326L35M4N 스테인리스강은, 전면 및 국소 부식에 대한 좋은 저항성 및 좋은 용접성과 더불어, 우수한 연성 및 인성과 고기계적 강도의 독특한 조합을 소유하도록 구성되어졌다.

[0775] 상기 326L35M4N 스테인리스강의 화학적 조성은 선택적이고, 하기에 따른 중량 백분율로의 합금의 화학적 분석에 의해 특정된다: 0.030 wt% C max, 2.00 wt% Mn max, 0.030 wt% P max, 0.010 wt% S max, 0.75 wt% Si max, 24.00 wt% Cr - 26.00 wt% Cr, 19.00 wt% Ni - 23.00 wt% Ni, 3.00 wt% Mo - 5.00 wt% Mo, 0.40 wt% N - 0.70 wt% N.

[0777] 상기 326L35M4N 스테인리스강은 또한, 잔여부로서 Fe를 주로 포함하고, 0.010 wt% B max, 0.10 wt% Ce max, 0.050 wt% Al max, 0.01 wt% Ca max 및/또는 0.01 wt% Mg max와 같은 매우 소량의 다른 원소들 및 잔류수준으로 정상적으로 존재하는 다른 불순물을 더 포함할 수 있다.

[0779] 상기 326L35M4N 스테인리스강의 화학적 조성은, 전형적으로 1100 ℃ - 1250 ℃의 범위에서 수행되고 이어서 수냉하는 용액 열처리 이후에 베이스 물질 내의 오스테나이트의 미세구조를 주로 보장하도록 용융 단계에서 최적화된다. 용접된 상태의 용접 금속 및 용접의 열영향부와 더불어, 용액 열처리된 상태에서 베이스 물질의 미세구조는, 상기 합금이 오스테나이트인 것을 주로 보장하도록 오스테나이트 형성 원소와 페라이트 형성 원소 간의 밸런스를 최적화하여 조절된다. 결과적으로, 상기 326L35M4N 스테인리스강은 주위온도에서 연성과 고강도의 독특한 조합을 나타내고, 이와 동시에 주위 온도 및 초저온에서 우수한 인성을 보증한다. 상기 326L35M4N 스테인리스강의 화학적 조성이 $PRE_N \geq 42$, 그러나 바람직하게는 $PRE_N \geq 47$를 달성하도록 조정된다는 점을 고려한다면, 이는, 상기 물질이 또한, 광범위한 범위의 공정 환경에서 전면 부식 및 국소 부식 (공식 및 틈새 부식)에 대한 좋은 저항성을 갖는 것을 보장한다. 상기 326L35M4N 스테인리스강은, 또한, UNS S31703 및 UNS S31753와 같은 통상적인 오스테나이트계 스테인리스강과 비교할 경우에 염화물을 포함하는 환경 내에 응력부식 균열에 대한 저항성을 개선하였다.

[0781] 상기 326L35M4N 스테인리스강의 최적 화학적 조성 범위는 제9 구현예를 기반으로 하여, 하기에 따라, 중량 백분율로 하기의 화학적 원소를 포함하도록 신중하게 선택되어 결정되어 졌다.

[0783] **탄소 (C)**

[0784] 상기 326L35M4N 스테인리스강의 탄소 함량은 ≤ 0.030 wt% C maximum이다. 바람직하게는, 상기 탄소의 함량은

≥ 0.020 wt% C 및 ≤ 0.030 wt% C, 더 바람직하게는 ≤ 0.025 wt% C일 수 있다.

[0786] **망간 (Mn)**

[0787] 제9의 구현예에서 326L35M4N 스테인리스강은 두 가지 변형에 관한 것일 수 있다: 저망간 또는 고망간

[0789] 상기 저망간 합금에 관해서, 상기 326L35M4N 스테인리스강의 망간 함량은 ≤ 2.0 wt% Mn이다. 바람직하게는, 상기 범위는 ≥ 1.0 wt% Mn 및 ≤ 2.0 wt% Mn, 더 바람직하게는 ≥ 1.20 wt% Mn 및 ≤ 1.50 wt% Mn이다. 이와 같은 조성으로, 이는 ≤ 5.0, 바람직하게는 ≥ 1.42 및 ≤ 5.0의 최적의 Mn 대 N 비율을 획득한다. 더 바람직하게는, 상기 비율은 ≥ 1.42 및 ≤ 3.75이다.

[0791] 고망간 합금에 관련해서, 상기 326L35M4N의 망간 함량은 ≤ 4.0 wt% Mn이다. 바람직하게는, 상기 망간 함량은 ≥ 2.0 wt% Mn 및 ≤ 4.0 wt% Mn, 더 바람직하게는, 상한은 ≤ 3.0 wt% Mn이다. 더욱더 바람직하게는, 상기 상한은 ≤ 2.50 wt% Mn이다. 이와 같은 선택적 범위로, 이는 ≤ 10.0, 바람직하게는 ≥ 2.85 및 ≤ 10.0의 Mn 대 N 비율을 획득한다. 더 바람직하게는, 상기 고망간 합금의 Mn 대 N 비율은 고망간 범위의 합금을 위해서, ≥ 2.85 및 ≤ 7.50, 더욱더 바람직하게는 ≥ 2.85 및 ≤ 6.25이다.

[0793] **인 (P)**

[0794] 상기 326L35M4N 스테인리스강의 인 함량은 ≤ 0.030 wt% P로 조절된다. 바람직하게는, 상기 326L35M4N 합금은 ≤ 0.025 wt% P, 더 바람직하게는 ≤ 0.020 wt% P를 갖는다. 더욱더 바람직하게는, 상기 합금은 ≤ 0.015 wt% P, 더욱더 바람직하게는 ≤ 0.010 wt% P이다.

[0796] **황 (S)**

[0797] 제9의 구현예에서 326L35M4N 스테인리스강의 황 함량은 ≤ 0.010 wt% S를 포함한다. 바람직하게는, 상기 326L35M4N은 ≤ 0.005 wt% S, 더 바람직하게는 ≤ 0.003 wt% S, 더욱더 바람직하게는 ≤ 0.001 wt% S이다.

[0799] **산소 (O)**

[0800] 상기 326L35M4N 스테인리스강의 산소 함량은 가능한 낮게 조절되고, 제9 구현예에서, 상기 326L35M4N는 ≤ 0.070 wt% O를 갖는다. 바람직하게는, 상기 326L35M4N는 ≤ 0.050 wt% O, 더 바람직하게는 ≤ 0.030 wt% O이다. 더욱더 바람직하게는, 상기 합금은 ≤ 0.010 wt% O, 더욱더 바람직하게는 ≤ 0.005 wt% O이다.

[0802] **실리콘 (Si)**

[0803] 상기 326L35M4N 스테인리스강의 실리콘 함량은 ≤ 0.75 wt% Si이다. 바람직하게는, 상기 합금은 ≥ 0.25 wt% Si 및 ≤ 0.75 wt% Si일 수 있다. 더 바람직하게는, 상기 범위는 ≥ 0.40 wt% Si 및 ≤ 0.60 wt% Si이다. 그러나, 개선된 산화 저항성이 요구되는 특정의 더 높은 온도 적용에 관련해서, 상기 실리콘 함량은 ≥ 0.75 wt% Si 및 ≤ 2.00 wt% Si일 수 있다.

[0805] **크롬 (Cr)**

[0806] 상기 326L35M4N 스테인리스강의 크롬 함량은 ≥ 24.00 wt% Cr 및 ≤ 26.00 wt% Cr이다. 바람직하게는, 상기 합금은 ≥ 25.00 wt% Cr이다.

[0808] **니켈 (Ni)**

[0809] 상기 326L35M4N 스테인리스강의 니켈 함량은 ≥ 19.00 wt% Ni 및 ≤ 23.00 wt% Ni이다. 바람직하게는, 상기 합금의 Ni의 상한은 ≤ 22.00 wt% Ni, 더 바람직하게는 ≤ 21.00 wt% Ni이다.

[0811] **몰리브덴 (Mo)**

[0812] 상기 326L35M4N 스테인리스강 합금의 몰리브덴 함량은 ≥ 3.00 wt% Mo 및 ≤ 5.00 wt% Mo, 그러나 바람직하게는 ≥ 4.00 wt% Mo이다.

[0814] **질소 (N)**

[0815] 상기 326L35M4N 스테인리스강의 질소 함량은 ≤ 0.70 wt% N, 그러나 바람직하게는 ≥ 0.40 wt% N 및 ≤ 0.70 wt% N이다. 더 바람직하게는, 상기 326L35M4N는 ≥ 0.40 wt% N 및 ≤ 0.60 wt% N, 더욱더 바람직하게는 ≥ 0.45 wt% N 및 ≤ 0.55 wt% N이다.

[0817] **PRE_N**

[0818] 내공식성지수는 하기의 식을 이용하여 계산된다:

[0819] PRE_N = % Cr + (3.3 x % Mo) + (16 x % N)

[0820] 상기 326L35M4N 스테인리스강은 다음의 조성을 갖도록 특별히 구성된다:

[0821] i) 크롬함량 ≥ 24.00 wt% Cr 및 ≤ 26.00 wt% Cr, 그러나 바람직하게는 ≥ 25.00 wt% Cr;

[0822] ii) 몰리브덴 함량 ≥ 3.00 wt% Mo 및 ≤ 5.00 wt% Mo, 그러나 바람직하게는 ≥ 4.00 wt% Mo;

[0823] iii) 질소 함량 ≤ 0.70 wt% N, 그러나 바람직하게는 ≥ 0.40 wt% N 및 ≤ 0.70 wt% N, 더 바람직하게는 ≥ 0.40 wt% N 및 ≤ 0.60 wt% N, 더욱더 바람직하게는 ≥ 0.45 wt% N 및 ≤ 0.55 wt% N.

[0825] 더 높은 수준의 질소로, 상기 326L35M4N 스테인리스 갓은 PRE_N ≥ 42, 그러나 바람직하게는 PRE_N ≥ 47를 달성한다. 이는, 상기 합금이 광범위한 범위의 공정 환경에서 전면 부식 및 국소 부식 (공식 및 틈새 부식)에 대한 좋은 저항성을 갖는 것을 보장한다. 상기 326L35M4N 스테인리스강은, 또한, UNS S31703 및 UNS S31753와 같은 통상적인 오스테나이트계 스테인리스강과 비교할 경우에 염화물을 포함하는 환경 내에 응력부식 균열에 대한 저항성을 개선한다. 이러한 식들은 공식 부식 또는 틈새 부식에 의한 패시비티의 쇠약 상에 미세구조 인자의 효과를 무시함을 강조될 수 있다.

[0827] 상기 326L35M4N 스테인리스강의 화학적 조성은, 전형적으로 범위 1100 ℃ 내지 1250 ℃에서 수행되고, 이어서 수냉하는 용액 열처리 이후의 베이스 물질 내의 오스테나이트의 미세구조를 주로 획득하기 위해서, Schoefer[6] 에 따라, [Ni] 당량으로 나눈 [Cr] 당량의 비율이 범위 > 0.40 및 < 1.05, 그러나 바람직하게는 > 0.45 및 < 0.95 내에 있도록 보장하도록 용융 단계에서 최적화된다. 용접된 상태의 용접 금속 및 용접의 열영향부와 더불어, 용액 열처리된 상태에서 베이스 물질의 미세 구조는 상기 합금이 오스테나이트인 것을 주로 보장하기 위해, 오스테나이트 형성 원소와 페라이트 형성 원소 간의 밸런스를 최적화하여 제조된다. 그러므로, 상기 합금은 비자성 상태로 공급되고 제조될 수 있다.

[0829] 상기 326L35M4N 스테인리스강은 또한, 잔여부로서 Fe를 주로 포함하고. 중량 백분율로 붕소, 세륨, 알루미늄, 칼슘 및/또는 마그네슘과 같은 매우 소량의 다른 원소들을 더 포함할 수 있다. 이러한 원소들의 조성은 304LM4N의 것과 동일하다. 다른 면에서, 304LM4N에 대한 이러한 원소들에 관련된 구절은 또한, 여기서 적용가능

하다.

[0831] 제9 구현예에 따른 326L35M4N 스테인리스강은, 로트 버전을 위해 55 ksi 또는 380 MPa의 최소항복강도를 갖는다. 더 바람직하게는, 62 ksi 또는 430 MPa의 최소항복강도는 상기 로트 버전에 대해 달성될 수 있다. 상기 캐스트 버전은 41 ksi 또는 280 MPa의 최소항복강도를 갖는다. 더 바람직하게는, 48 ksi 또는 330 MPa의 최소항복강도는 상기 캐스트 버전을 위해서 달성될 수 있다. 바람직한 값을 기반으로 하여, 상기 326L35M4N 스테인리스강의 로트 기계적 강도 특성과 UNS S31703의 것의 비교는 326L35M4N 스테인리스강의 최소항복강도가 UNS S31703에 대해 특정화된 것보다 2.1 배 더 높을 수 있음을 제시한다. 이와 유사하게, 상기 326L35M4N 스테인리스강의 로트 기계적 강도 특성과 UNS S31753의 것과는 비교는, 상기 326L35M4N 스테인리스강의 최소항복강도가, UNS S31753에 대해 특정화된 것보다 1.79 배 더 높을 수 있음을 제시한다. 또한, 상기 326L35M4N 스테인리스강의 로트 기계적 강도 특성과 UNS S32615 것과의 비교는, 상기 326L35M4N 스테인리스강의 최소항복강도가 UNS S32615에 대해 특정화된 것보다 1.95배 더 높을 수 있다.

[0833] 제9 구현예에 따른 상기 326L35M4N 스테인리스강은 로트 버전을 위한 102 ksi 또는 700 MPa의 최소인장강도를 갖는다. 더 바람직하게는 109 ksi 또는 750 MPa의 최소인장강도는 상기 로트 버전을 위해 달성될 수 있다. 상기 캐스트 버전은 95 ksi 또는 650 MPa의 최소인장강도를 갖는다. 더 바람직하게는 102 ksi 또는 700 MPa의 최소인장강도는 상기 캐스트 버전을 위해서 달성될 수 있다. 바람직한 값을 기반으로 하여, 상기 326L35M4N 스테인리스강의 로트 기계적 강도 특성과 UNS S31703의 것과는 비교는, 상기 326L35M4N 스테인리스강의 최소인장강도가 UNS S31703에 대해 특정화된 것보다 1.45 배 이상 더 높을 수 있음을 제시한다. 이와 유사하게, 상기 326L35M4N 스테인리스강의 로트 기계적 강도 특성과 UNS S31753 것과의 비교는, 326L35M4N 스테인리스강의 최소인장강도가 UNS S31753에 대해 특정화된 것보다 1.36 배 더 높을 수 있음을 제시한다. 또한, 326L35M4N 스테인리스강과 UNS S32615의 로트 기계적 강도 특성의 비교는, 326L35M4N 스테인리스강의 최소인장강도가 UNS S32615에 대해 특정화된 것보다 1.36 배 더 높을 수 있음을 제시한다. 즉, 상기 326L35M4N 스테인리스강의 로트 기계적 강도 특성이 22 Cr 듀플렉스 스테인리스강의 것과 비교된다면, 그 결과, 326L35M4N 스테인리스강의 최소인장강도가 S31803에 대해 특정화된 것보다 1.2 배 더 높은 영역에 있고, 25 Cr 슈퍼 듀플렉스 스테인리스강의 특정화된 것과 유사함을 나타낼 수 있다. 그러므로, 상기 326L35M4N 스테인리스강의 최소 기계적 강도 특성은 UNS S31703, UNS S31753 및 UNS S32615와 같은 통상적인 오스테나이트계 스테인리스강과 비교하여 월등하게 개선되어지고, 인장 강도 특성은 22 Cr 듀플렉스 스테인리스강의 특정화된 것보다 좋고, 25 Cr 슈퍼 듀플렉스 스테인리스강의 특정화된 것과 유사하다.

[0835] 이는, 상기 로트326L35M4N 스테인리스강을 이용하는 적용이 줄어든 벽두께로 대부분 고안될 수 있으므로, 최소 허용설계응력이 월등하게 더 높기 때문에, 특정화된 326L35M4N 스테인리스강이, UNS S31703, S31753 및 S32615와 같은 통상적인 오스테나이트계 스테인리스강과 비교될 때, 월등한 무게 감량을 유도하는 것을 의미한다. 즉, 상기 로트326L35M4N 스테인리스강의 최소허용설계응력은 22 Cr 듀플렉스 스테인리스강의 것보다 더 높고, 25 Cr 슈퍼 듀플렉스 스테인리스강과 유사하다.

[0837] 특정 적용을 위해서, 상기 326L35M4N 스테인리스강의 다른 변종은, 구리, 텅스텐 및 바나듐과 같은 다른 합금 원소의 특정 수준을 포함하여 제조되도록 의도적으로 구성된다. 상기 326L35M4N 스테인리스강의 다른 변종의 최적 화학적 조성 범위는 선택적이고, 구리 및 바나듐의 조성은 304LM4N의 것과 동일하게 결정된다. 다른면에서, 304LM4N의 이러한 원소에 관련된 구절은 또한, 320L35M4N에 적용가능하다.

[0839] **텅스텐 (W)**

[0840] 상기 326L35M4N 스테인리스강의 텅스텐 함량은 ≤ 2.00 wt% W, 그러나 바람직하게는 0.50 wt% W 및 ≤ 1.00 wt% W, 더 바람직하게는 ≥ 0.75 wt% W이다. 텅스텐을 포함하는 326L35M4N 스테인리스강의 변종에 관련해서, 내공식성지수는 하기의 식을 이용하여 계산된다:

[0841] PRE_{NW} = % Cr + [3.3 x % (Mo + W)] + (16 x % N)

[0842] 326L35M4N 스테인리스강의 이러한 텅스텐 함유 변형은 다음의 조성을 갖도록 특별히 구성되어 진다 .

[0843] (i) 크롬함량 ≥ 24.00 wt% Cr 및 ≤ 26.00 wt% Cr, 그러나 바람직하게는 ≥ 25.00 wt% Cr;

[0844] (ii) 몰리브덴 함량 ≥ 3.00 wt% Mo 및 ≤ 5.00 wt% Mo, 그러나 바람직하게는 ≥ 4.00 wt% Mo;

[0845] (iii) 질소 함량 ≤ 0.70 wt% N, 그러나 바람직하게는 ≥ 0.40 wt% N 및 ≤ 0.70 wt% N, 더 바람직하게는 ≥ 0.40 wt% N 및 ≤ 0.60 wt% N, 더욱더 바람직하게는 ≥ 0.45 wt% N 및 ≤ 0.55 wt% N; 및

[0846] (iv) 텅스텐 함량 ≤ 2.00 wt% W, 그러나 바람직하게는 ≥ 0.50 wt% W 및 ≤ 1.00 wt% W, 더 바람직하게는 ≥ 0.75 wt% W.

[0848] 상기 326L35M4N 스테인리스강의 텅스텐을 포함하는 변형은 특정화된 더 높은 수준의 질소 및 PRE_{NW} ≥ 44, 그러나 바람직하게는 PRE_{NW} ≥ 49를 갖는다. 이러한 식들은 공식 부식 또는 틈새 부식에 의한 패시비티의 쇠약에 대한 미세구조 인자의 효과를 무시하는 것을 강조될 수 있다. 텅스텐은, 상기 합금의 전체적 부식 거동을 더 개선시키고, 이러한 원소들의 모든 다양한 조합으로 구리, 바나듐, 티타늄 및/또는 니오븀 및/또는 니오븀 플러스 탄탈과 함께 또는 개별적으로 첨가될 수 있다. 텅스텐은 매우 고가이므로, 상기 합금의 경제성을 최적화하고, 이와 동시에 상기 합금의 연성, 인성 및 부식 거동을 최적화하도록 의도적으로 제안된다.

[0849]

[0850] <u>탄소 (C)</u>

[0851] 특정 적용을 위해서, 더 높은 탄소 수준을 포함하게 제조되도록 특별히 구성되어진, 상기 326L35M4N 스테인리스강의 다른 변종이 선호된다. 특히, 상기 320L35M4N 스테인리스강의 탄소 함량은 ≥ 0.040 wt% C 및 < 0.10 wt% C, 그러나 바람직하게는 ≤0.050 wt% C, 또는 > 0.030 wt% C 및 ≤ 0.08 wt% C, 그러나 바람직하게는 < 0.040 wt% C일 수 있다. 326L35M4N 스테인리스강의 이러한 특정 변종은 각각, 326H35M4N 또는 32635M4N 버전이다.

[0852]

[0853] <u>티타늄 (Ti) / 니오븀 (Nb) / 니오븀 (Nb) 플러스 탄탈 (Ta)</u>

[0854] 더욱이, 특정 적용을 위해서, 더 높은 탄소 수준을 포함하여 제조되도록 특별히 구성되어진, 상기 326H35M4N 또는 32635M4N 스테인리스강의 다른 안정화된 변형이 선호된다. 특히, 상기 탄소는 ≤ 0.040 wt% C 및 < 0.10 wt% C, 그러나 바람직하게는 ≤ 0.050 wt% C, 또는 > 0.030 wt% C 및 ≤ 0.08 wt% C, 그러나 바람직하게는 < 0.040 wt% C일 수 있다.

[0856] (i) 이는, 일반적 326L35M4N 버전과 비교하기 위해 326H35M4NTi 또는 32635M4NTi로 나타내어지는 티타늄 안정화된 버전을 포함한다. 티타늄 함량은 하기의 식에 따라 조절된다: 상기 합금의 티타늄 안정화된 유도체를 갖기 위해서, 각각, Ti 4 x C min, 0.70 wt% Ti max, 또는 Ti 5 x C min, 0.70 wt% Ti max

[0857] (ii) 또한, 니오븀 함량은 하기의 식에 따라 조절되는 니오븀 안정화된, 326H35M4NNb 또는 32635M4NNb 버전이 있다:

[0858] 상기 합금의 니오븀 안정화된 유도체를 갖도록, 각각, Nb 8 x C min, 1.0 wt% Nb max, 또는 Nb 10 x C min, 1.0 wt% Nb max

[0859] (iii) 추가로, 상기 합금의 다른 변종은, 또한, 니오븀 플러스 탄탈 함량이 하기의 식에 따라 조절되는 니오븀 플러스 탄탈 안정화된, 326H35M4NNbTa 또는 32635M4NNbTa을 포함하여 제조될 수 있다:

[0860] Nb + Ta 8 x C min, 1.0 wt% Nb + Ta max, 0.10 wt% Ta max, 또는 Nb + Ta 10 x C min, 1.0 wt% Nb + Ta max, 0.10 wt% Ta max.

[0862] 상기 합금의 티타늄 안정화된, 니오븀 안정화된 및 니오븀 플러스 탄탈 안정화된 변종은 초기 용액 열처리 온도

보다 더 낮은 온도에서 안정화 열처리가 이루어질 수 있다. 티타늄 및/또는 니오븀 및/또는 니오븀 플러스 탄탈은, 더 높은 탄소 함량이 선호되는 특정 적용을 위한 상기 합금을 최적화하기 위해서, 원소들의 모든 다양한 조합으로 구리, 텅스텐 및 바나듐과 함께 또는 개별적으로 첨가될 수 있다. 이러한 합금 원소들은 상기 합금의 전체적 부식 거동을 더 개선시키고, 특정 적용을 위해 스테인리스강을 조절하기 위해서 상기 원소들의 모든 다양한 조합으로 또는 개별적으로 이용될 수 있다. 다른 변형과 함께, 상기 326L35M4N 스테인리스강의 로트 및 캐스트 버전은 일반적으로 이전의 구현예와 동일한 방식으로 제공된다.

[0864] 더욱이, 제 10 본 발명의 구현예인, 326L57M4N 고강도 오스테나이트계 스테인리스강로 적절하게 나타내어지는 추가 변형이 제안된다. 326L57M4N 스테인리스강은 실질적으로, 몰리브덴 함량을 제외한, 326L35M4N 스테인리스강과 동일한 화학적 조성을 갖는다. 그러므로, 다양한 화학적 조성의 반복 대신에, 단지 차이점만 기술된다.

[0866] **[326L57M4N]**

[0867] 상기 언급된 바와 같이, 상기 326L57M4N은, 몰리브덴 함량을 제외한, 326L35M4N 스테인리스강, 제9 구현예와 정확하게 동일한 wt%의 탄소, 망간, 인, 황, 산소, 실리콘, 크롬, 니켈 및 질소의 함량을 갖는다. 상기 326L35M4N에서, 상기 몰리브덴 함량은 3.00 wt% 내지 5.00 wt% Mo 사이이다. 반면에, 상기 326L57M4N 스테인리스강의 몰리브덴 함량은 5.00 wt% 내지 7.00 wt% Mo이다. 다른 면에서, 상기 326L57M4N은 326L35M4N 스테인리스강의 더 높은 몰리브덴 버전으로 인정될 수 있다. 또한, 326L35M4N에 관련된 구절은 몰리브덴 함량을 제외하고, 여기서 적용가능함을 인식될 수 있다.

[0869] **몰리브덴 (Mo)**

[0870] 상기 326L57M4N 스테인리스강의 몰리브덴 함량은 ≥ 5.00 wt% Mo 및 ≤ 7.00 wt% Mo, 그러나 바람직하게는 ≥ 6.00 wt% Mo 및 ≤ 7.00 wt% Mo, 더 바람직하게는 ≥ 6.50 wt% Mo일 수 있다. 다른 면에서, 상기 326L57M4N의 몰리브덴 함량은 최대 7.00 wt% Mo를 갖는다.

[0872] **PRE_N**

[0874] 상기 326L57M4N의 내공식성지수는 326L35M4N과 동일한 식을 사용하여 계산되고, 그러나, 몰리브덴 함량으로 인하여, PRE_N은 ≥ 48.5, 그러나 바람직하게는 PRE_N ≥ 53.5이다. 이는, 상기 물질이 또한, 광범위한 범위의 공정 환경에서 전면 부식 및 국소 부식 (공식 및 틈새 부식)에 대한 좋은 저항성을 갖는 것을 보장한다. 상기 26L57M4N 스테인리스강은, 또한, UNS S31703 및 UNS S31753와 같은 통상적인 오스테나이트계 스테인리스강과 비교할 경우에 염화물을 포함하는 환경 내에 응력부식 균열에 대한 저항성을 개선한다. 이러한 식들은 공식 부식 또는 틈새 부식에 의한 패시비티의 쇠약 상에 미세구조 인자의 효과를 무시하는 것을 강조될 수 있다. Schoefer[6]에 따른 [Ni] 당량으로 나눈 [Cr] 당량의 비율이, 1100 ℃ 내지 1250 ℃ 범위에서 수행되고, 이어서 수냉하는 용액 열처리 이후에, 베이스 물질 내의 오스테나이트의 미세구조를 주로 획득하기 위해서, > 0.40 및 < 1.05, 그러나 바람직하게는 > 0.45 및 < 0.95 범위 내에 있는 것을 보장하도록 상기 326L57M4N 스테인리스강의 화학적 조성은 용융 단계에서 최적화된다. 용접된 상태의 용접 금속 및 용접의 열영향부와 더불어, 상기 용액 열처리된 상태에서 베이스 물질의 미세 구조는, 상기 합금이 오스테나이트인 것을 주로 보장하도록 오스테나이트 형성 원소와 페라이트 형성 원소 간의 밸런스를 최적화하여 조절된다. 그러므로, 상기 합금은 비자성 상태로 공급되고 제조될 수 있다.

[0876] 326L35M4N 구현예와 같이, 상기 326L57M4N 스테인리스강은, 또한, 잔여부로서 주로 Fe를 포함하고, 중량 백분율의 붕소, 세륨, 알루미늄, 칼슘 및/또는 마그네슘과 같은 매우 소량의 다른 원소를 더 포함하고, 이러한 원소들의 조성은 326L35M4N과 동일하고, 이에 304LM4N 것과도 동일하다.

[0878] 제10 구현예의 326L57M4N 스테인리스강은 326L35M4N 스테인리스강의 것과 유사하거나 비교가능한 최소 인장 및 최소 항복강도를 갖는다. 또한, 상기 326L57M4N의 로트 및 캐스트 버전의 강도 특성은, 또한, 326L35M4N의 것과 비교가능하다. 이에, 특정 강도값은 여기서 반복되지 않고, 참조는 326L35M4N의 이전의 구절로 이루어진다. 통상적인 오스테나이트계 스테인리스강 UNS S31703과 326L57M4N 간의 로트 기계적 강도 특성 비교 및 UNS S31753/UNS S32615와 326L57M4N 간의 로트 기계적 강도 특성의 비교는, 326L35M4N에 대해 발견되는 것과 유사한 크기의 인장 강도 및 더 강한 항복 강도를 제시한다. 이와 유사하게, 326L57M4N의 인장 강도 특성의 비교는 22Cr 듀플렉스 스테인리스강에 대해 특정화된 것보다 좋고, 326L35M4N와 마찬가지로, 25 Cr 슈퍼 듀플렉스 스테인리스강에 대해 특정화된 것과 유사한 것을 나타낸다.

[0880] 이는, 로트326L57M4N 스테인리스강을 이용하는 적용은 줄어든 벽두께로 대부분 고안될 수 있으므로, 최소허용설계응력이 월등하게 더 높기 때문에, 특정화된 326L57M4N 스테인리스강과, UNS S31703, S31753 및 S32615와 같은 통상적인 오스테나이트계 스테인리스강의 비교시, 월등한 중량 감소를 유도하는 것을 의미한다. 즉, 로트 326L57M4N 스테인리스강의 최소허용설계응력은 22 Cr 듀플렉스 스테인리스강의 것보다 더 높고, 25 Cr 슈퍼 듀플렉스 스테인리스강과 유사하다.

[0882] 특정 적용을 위해서, 상기 326L57M4N 스테인리스강의 다른 변종은, 구리, 텅스텐 및 바나듐과 같은 다른 원소들의 특정 수준을 포함하여 제조되도록 의도적으로 구성된다. 326L57M4N 스테인리스강의 다른 변종의 최적 화학적 조성 범위는 선택적이고, 구리 및 바나듐의 조성은 326L35M4N 및 304LM4N 것과 동일하게 결정된다. 다른면에서, 304LM4N에 대한 이러한 원소들에 관련된 구절은 또한, 여기서 326L57M4N에 적용가능하다.

[0884] **텅스텐 (W)**

[0885] 상기 326L57M4N 스테인리스강의 텅스텐 함량은 326L35M4N의 것과 유사하다. 상기 언급된 326L35M4N와 동일한 식을 이용하여 계산된 326L57M4N의 내공식성지수, PRE_{NW}, 몰리브덴 함량의 차이로 인하여, $PRE_{NW} \geq 50.5$, 바람직하게는 $PRE_{NW} \geq 55.5$이다. 326L35M4N에 대한 텅스텐의 효과 및 이용에 관련된 구절은 326L57M4N에 적용가능함을 이해될 수 있다. 더욱이, 상기 326L57M4N은 이미 언급된 326H35M4N 및 32635M4N와 각각 대응하는 326H57M4N 또는 32657M4N로 나타내어지는 더 높은 수준의 탄소를 포함할 수 있고, 이미 언급된 상기 탄소 wt% 범위는 또한, 326H57M4N 및 32657M4N에 적용가능하다.

[0887] **티타늄 (Ti) / 니오븀 (Nb) / 니오븀 (Nb) 플러스 탄탈 (Ta)**

[0888] 더욱이, 특정 적용을 위해서, 상기 326H57M4N 또는 32657M4N 스테인리스강의 다른 안정화된 변종이 선호되고, 이는 더 높은 탄소 수준을 포함하게 제조되도록 특별히 구성된다. 특히, 상기 탄소의 함량은 ≥ 0.040 wt% C 및 < 0.10 wt% C, 그러나 바람직하게는 ≤ 0.050 wt% C, 또는 > 0.030 wt% C 및 ≤ 0.08 wt% C, 그러나 바람직하게는 < 0.040 wt% C일 수 있다.

[0889] (i)이는, 일반적 326L57M4N과 비교하도록, 326H57M4NTi 또는 32657M4NTi로 나타내어지는 상기 티타늄 안정화된 버전을 포함한다. 티타늄 함량은 하기의 식에 따라 조절된다: 상기 합금의 티타늄 안정화된 유도체를 갖기 위해서, 각각, Ti 4 x C min, 0.70 wt% Ti max, 또는 Ti 5 x C min, 0.70 wt% Ti max

[0890] (ii) 또한, 니오븀 함량은 하기의 식에 따라 조절되는 니오븀 안정화된,326H57M4NNb 또는 32657M4NNb 버전이 있다: 상기 합금의 니오븀 안정화된 유도체를 갖기 위해서, 각각, Nb 8 x C min, 1.0 wt% Nb max, 또는 Nb 10 x C min, 1.0 wt% Nb max

[0891] (iii) 추가로, 상기 합금의 다른 변종은 또한, 상기 니오븀 플러스 탄탈 함량이 하기의 식에 따라 조절되는 니오븀 플러스 탄탈 안정화된, 326H57M4NNbTa 또는 32657M4NNbTa 버전을 포함하여 제조될 수 있다: Nb + Ta 8 x C min, 1.0 wt% Nb + Ta max, 0.10 wt% Ta max, 또는 Nb + Ta 10 x C min, 1.0 wt% Nb + Ta max, 0.10 wt% Ta max.

[0893] 상기 합금의 티타늄 안정화된, 니오븀 안정화된 및 니오븀 플러스 탄탈 안정화된 변종은 초기 용액 열처리 온도보다 더 낮은 온도에서 안정화 열처리가 이루어진다. 티타늄 및/또는 니오븀 및/또는 니오븀 플러스 탄탈은, 더 높은 탄소 함량이 선호되는 특정 적용을 위한 상기 합금을 최적화하도록, 이러한 원소들의 모든 다양한 조합으로 구리, 텅스텐 및 바나듐과 함께, 또는 개별적으로 첨가될 수 있다. 이러한 합금 원소들은 상기 합금의 전체적 부식 거동을 더 개선시키기 위해서 특정 적용을 위해 스테인리스강을 조절하도록 상기 원소들의 모든 다양한 조합으로 또는 개별적으로 이용될 수 있다. 다른 변형과 더불어, 상기 326L57M4N 스테인리스강의 로트 및 캐스트 버전은 이전의 구현예와 동일한 방식으로 공급된다.

[0895] 더욱이, 제7 본 발명의 구현예이며, 본 발명의 상세한 설명에서 351L35M4N로 적절하게 나타내는 제안된 추가변형이 있다.

[0897] **[351L35M4N]**

[0898] 상기 351L35M4N 스테인리스강은, 더 높은 수준의 질소 및 $PRE_N \geq 44$, 그러나 바람직하게는 $PRE_N \geq 49$의 특정화된 내공식성지수를 갖는다. PRE_N으로 나타내는 내공식성지수는 다음의 식에 따라 계산된다:

[0899] PRE_N = % Cr + (3.3 x % Mo) + (16 x % N)

[0900] 상기 351L35M4N 스테인리스강은, 전면 및 국소 부식에 대한 좋은 저항성 및 좋은 용접성과 더불어, 우수한 연성 및 인성과 고기계적 강도특성의 독특한 조합을 소유하도록 구성된다. 상기 351L35M4N 스테인리스강의 화학적 조성은 선택적이고, 하기에 따라, 중량 백분율의 합금의 화학적 분석에 의해서 특징된다: 0.030 wt% C max, 2.00 wt% Mn max, 0.030 wt% P max, 0.010 wt% S max, 0.75 wt% Si max, 26.00 wt% Cr - 28.00 wt% Cr, 21.00 wt% Ni - 25.00 wt% Ni, 3.00 wt% Mo - 5.00 wt% Mo, 0.40 wt% N - 0.70 wt% N.

[0902] 상기 351L35M4N 스테인리스강은 또한, 잔여부로서 Fe를 주로 포함하고, 0.010 wt% B max, 0.10 wt% Ce max, 0.050 wt% Al max, 0.01 wt% Ca max 및/또는 0.01 wt% Mg max와 같은 매우 소량의 다른 원소들 및 잔류수준으로 정상적으로 존재하는 다른 불순물을 더 포함할 수 있다.

[0904] 상기 351L35M4N 스테인리스강의 화학적 조성은, 전형적으로 1100 ℃ 내지 1250 ℃의 범위에서 수행되고, 이어서 수냉하는 용액 열처리 이후에 베이스 물질 내에 오스테나이트의 미세구조를 주로 보장하도록 용융 단계에서 최적화된다. 용접된 상태의 용접 금속 및 용접의 열영향부와 더불어, 용액 열처리된 상태에서 베이스 물질의 미세 구조는, 상기 합금이 오스테나이트인 것을 주로 보장하기 위해 오스테나이트 형성 원소와 페라이트 형성 원소 간의 밸런스를 최적화하여 조절된다. 결과적으로, 상기 351L35M4N 스테인리스강은 주위 온도에서 연성과 고강도의 독특한 조합을 나타내고, 이와 동시에, 주위 온도 및 초저온에서 우수한 인성을 보증한다. 상기 351L35M4N 스테인리스강의 화학적 분석이 $PRE_N \geq 44$, 그러나 바람직하게는 $PRE_N \geq 49$를 달성하도록 조절되다는 점을 고려한다면, 이는, 상기 물질이 또한, 광범위한 범위의 공정 환경에서 전면 부식 및 국소 부식 (공식 및 틈새 부식)에 대한 좋은 저항성을 갖는 것을 보장한다. 또한, 상기 351L35M4N 스테인리스강은, UNS S31703 및 UNS S31753와 같은 통상적인 오스테나이트계 스테인리스강과 비교할 경우에 염화물을 포함하는 환경 내에 응력부식 균열에 대한 저항성을 개선한다.

[0906] 상기 351L35M4N 스테인리스강의 최적 화학적 조성 범위는, 제11의 구현예를 기반으로 하여, 하기와 같이 중량 백분율의 하기의 화학적 원소를 포함하도록, 주의 깊게 선택되어 결정되어 진다.

[0908] **탄소 (C)**

[0909] 상기 351L35M4N 스테인리스강의 탄소 함량은 ≤ 0.030 wt% C 최대이다. 바람직하게는, 상기 탄소의 함량은 ≥ 0.020 wt% C 및 ≤ 0.030 wt% C, 더 바람직하게는 ≤ 0.025 wt% C일 수 있다.

[0911] **망간 (Mn)**

[0913] 제11 구현예의 351L35M4N 스테인리스강은 두 가지 변형에 관련될 수 있다: 저망간 또는 고망간.

[0915] 저망간합금에 관련해서, 상기 351L35M4N 스테인리스강의 망간 함량은 ≤ 2.0 wt% Mn이다. 바람직하게는, 상기 범위는 ≥ 1.0 wt% Mn 및 ≤ 2.0 wt% Mn, 더 바람직하게는 ≥ 1.20 wt% Mn 및 ≤ 1.50 wt% Mn이다. 이와 같은 조성으로, 이는 ≤ 5.0의 최대, 바람직하게는 ≥ 1.42 및 ≤ 5.0의 Mn 대 N 비율을 획득한다. 더 바람직하게는, 상기 비율은 ≥ 1.42 및 ≤ 3.75이다.

[0917] 상기 고망간 합금에 관련해서, 상기 351L35M4N의 망간 함량은 ≤ 4.0 wt% Mn이다. 바람직하게는, 상기 망간 함량은 ≥ 2.0 wt% Mn 및 ≤ 4.0 wt% Mn, 더 바람직하게는, 상기 상한은 ≤ 3.0 wt% Mn이다. 더욱더 바람직하게는, 상한은 ≤ 2.50 wt% Mn이다. 이러한 선택적 범위로, 이는, ≤ 10.0, 바람직하게는 ≥ 2.85 및 ≤ 10.0의 Mn 대 N의 비율을 획득한다. 더 바람직하게는, 고망간 합금에 대한 상기 Mn 대 N 비율은 ≥ 2.85 및 ≤ 7.50, 더욱더 바람직하게는 ≥ 2.85 및 ≤ 6.25이다.

[0919] **인 (P)**

[0920] 상기 351L35M4N 스테인리스강의 인 함량은 ≤ 0.030 wt% P이 되도록 조절된다. 바람직하게는, 상기 351L35M4N 합금은 ≤ 0.025 wt% P, 더 바람직하게는 ≤ 0.020 wt% P를 갖는다. 더욱더 바람직하게는, 상기 합금 ≤ 0.015 wt% P, 더욱더 바람직하게는 ≤ 0.010 wt% P를 갖는다.

[0922] **황 (S)**

[0923] 제11 구현예의 351L35M4N 스테인리스강의 황 함량은 ≤ 0.010 wt% S를 포함한다. 바람직하게는, 상기 351L35M4N은 ≤ 0.005 wt% S, 더 바람직하게는 ≤ 0.003 wt% S, 더욱더 바람직하게는 ≤ 0.001 wt% S를 갖는다.

[0925] **산소 (O)**

[0926] 상기 351L35M4N 스테인리스강의 산소 함량은 가능한 낮게 조절되고, 제11의 구현예에서, 상기 351L35M4N은 ≤ 0.070 wt% O를 갖는다. 바람직하게는, 상기 351L35M4N은 ≤ 0.050 wt% O, 더 바람직하게는 ≤ 0.030 wt% O를 갖는다. 더욱더 바람직하게는, 상기 합금은 ≤ 0.010 wt% O, 더욱더 바람직하게는 ≤ 0.005 wt% O를 갖는다.

[0928] **실리콘 (Si)**

[0929] 상기 351L35M4N 스테인리스강의 실리콘 함량은 ≤ 0.75 wt% Si이다. 바람직하게는, 상기 합금은 ≥ 0.25 wt% Si 및 ≤ 0.75 wt% Si이다. 더 바람직하게는, 상기 범위는 ≥ 0.40 wt% Si 및 ≤ 0.60 wt% Si이다. 그러나, 개선된 산화 저항성이 요구되는 특정의 더 높은 온도에 관련해서, 상기 실리콘 함량은 ≥ 0.75 wt% Si 및 ≤ 2.00 wt% Si일 수 있다.

[0931] **크롬 (Cr)**

[0933] 상기 351L35M4N 스테인리스강의 크롬 함량은 ≥ 26.00 wt% Cr 및 ≤ 28.00 wt% Cr이다. 바람직하게는, 상기 합금은 ≥ 27.00 wt% Cr를 갖는다.

[0935] **니켈 (Ni)**

[0936] 상기 351L35M4N 스테인리스강의 니켈 함량은 ≥ 21.00 wt% Ni 및 ≤ 25.00 wt% Ni 이다. 바람직하게는, 상기 합금의 Ni의 상한은 ≤ 24.00 wt% Ni, 더 바람직하게는 ≤ 23.00 wt% Ni이다.

[0938] **몰리브덴 (Mo)**

[0939] 상기 351L35M4N 스테인리스강의 몰리브덴 함량은 ≥ 3.00 wt% Mo 및 ≤ 5.00 wt% Mo, 그러나 바람직하게는 ≥ 4.00 wt% Mo이다.

[0941] **질소 (N)**

[0942] 상기 351L35M4N 스테인리스강의 질소함량은 ≤ 0.70 wt% N, 그러나 바람직하게는 ≥ 0.40 wt% N 및 ≤ 0.70 wt% N이다. 더 바람직하게는, 상기 351L35M4N은 ≥ 0.40 wt% N 및 ≤ 0.60 wt% N, 더욱더 바람직하게는 ≥ 0.45 wt% N 및 ≤ 0.55 wt% N를 갖는다.

[0944] **PRE_N**

[0945] 내공식성지수는 하기의 식을 이용하여 계산된다:

[0946] PRE_N = % Cr + (3.3 x % Mo) + (16 x % N)

[0947] 상기 351L35M4N 스테인리스강은 다음의 조성을 갖도록 특별히 구성된다:

[0948] (i) 크롬함량 ≥ 26.00 wt% Cr 및 ≤ 28.00 wt% Cr, 그러나 바람직하게는 ≥ 27.00 wt% Cr;

[0949] (ii) 몰리브덴 함량 ≥ 3.00 wt% Mo 및 ≤ 5.00 wt% Mo, 그러나 바람직하게는 ≥ 4.00 wt% Mo,

[0950] (iii) 질소 함량 ≤ 0.70 wt% N, 그러나 바람직하게는 ≥ 0.40 wt% N 및≤ 0.70 wt% N, 더 바람직하게는 ≥ 0.40 wt% N 및 ≤ 0.60 wt% N, 더욱더 바람직하게는 ≥ 0.45 wt% N 및 ≤ 0.55 wt% N.

[0952] 고수준의 질소로, 상기 351L35M4N 스테인리스강은, PRE_N ≥ 44, 그러나 바람직하게는 PRE_N ≥ 49를 달성한다. 이는, 상기 물질이 또한, 광범위한 범위의 공정 환경에서 전면 부식 및 국소 부식 (공식 및 틈새 부식)에 대한 좋은 저항성을 갖는 것을 보장한다. 상기 351L35M4N 스테인리스강은, 또한, UNS S31703 및 UNS S31753와 같은 통상적인 오스테나이트계 스테인리스강과 비교할 경우에 염화물을 포함하는 환경 내에 응력부식 균열에 대한 저항성을 개선하였다. 이는, 이러한 식들이, 공식 부식 또는 틈새 부식에 의한 패시비티의 쇠약 상에 미세구조 인자의 효과를 무시함이 강조될 수 있다.

[0954] 상기 351L35M4N 스테인리스강의 화학적 조성은, 전형적으로 1100 ℃ 내지 1250 ℃ 범위에서 수행되고 이어서 수냉하는 용액 열처리 이후에, 베이스 물질 내의 오스테나이트의 미세구조를 주로 획득하기 위해서, Schoefer[6]에 따른, [Ni] 당량으로 나눈 [Cr] 당량 비율이 > 0.40 및 < 1.05, 그러나 바람직하게는 > 0.45 및 < 0.95의 범위 내에 있는 것을 보장하도록 용융 단계에서 최적화된다. 용접된 상태의 용접 금속 및 용접의 열영향부와 더불어,용액 열처리된 상태에서 베이스 물질의 미세 구조는 상기 합금이 오스테나이트인 것을 주로 보장하도록, 오스테나이트 형성 원소와 페라이트 형성 원소 간의 밸런스를 최적화하여 조절된다. 그러므로, 상기 합금은 비자성 상태로 공급되고 제조될 수 있다.

[0956] 상기 351L35M4N 스테인리스강은, 또한, 잔여부로서 Fe를 주로 포함하고, 중량 백분율의 붕소, 세륨, 알루미늄, 칼슘 및/또는 마그네슘과 같은 매우 소량의 다른 원소들을 더 포함할 수 있다. 이러한 원소들의 조성은 304LM4N 것과 동일하다. 다른면에서, 304LM4N에 대한 이러한 원소들에 관련된 구절은, 또한, 여기서 적용가능하다.

[0958] 제11 구현예에 따른 상기 351L35M4N 스테인리스강은, 상기 로트 버전을 위한 55 ksi 또는 380 MPa의 최소항복강도를 포함한다. 62 ksi 또는 430 MPa의 더 바람직하게는 최소항복강도는 상기 로트 버전을 위해서 달성될 수 있다. 상기 캐스트 버전은 41 ksi 또는 280 MPa의 최소항복강도를 가질 수 있다. 더 바람직하게는, 48 ksi 또는 330 MPa의 최소항복강도는 상기 캐스트 버전을 위해 달성될 수 있다. 바람직한 값을 기반으로 하여, 상기 351L35M4N 스테인리스강의 로트 기계적 강도 특성과 UNS S31703 것의 비교는, 상기 351L35M4N 스테인리스강의 최소항복강도가 UNS S31703에 대해 특정화된 것보다 2.1 배 더 높을 수 있다는 것을 제시한다. 이와 유사하게, 상기 351L35M4N 스테인리스강의 로트 기계적 강도 특성과, UNS S31753 것의 비교는, 상기 351L35M4N 스테인리스강의 최소항복강도가, UNS S31753에 대해 특정화된 것보다 1.79 배 더 높을 수 있음을 제시한다. 또한, 상기 351L35M4N 스테인리스강의 로트 기계적 강도 특성과 UNS S35115 것의 비교는, 상기 351L35M4N 스테인리스강의 최소항복강도가 UNS S35115에 대해 특정화된 것보다 1.56 배 더 높을 수 있음을 제시한다.

[0960] 제11 구현예의 상기 351L35M4N 스테인리스강은 102 ksi 또는 700 MPa의 로트 버전의 최소인장강도를 갖는다. 더 바람직하게는, 109 ksi 또는 750 MPa의 최소인장강도는 상기 로트 버전을 위해 달성될 수 있다. 상기 캐스트 버전은 95 ksi 또는 650 MPa의 최소인장강도를 포함한다. 더 바람직하게는, 102 ksi 또는 700 MPa의 최소인장강도는 상기 캐스트 버전을 위해 달성될 수 있다. 바람직한 값을 기반으로 하여, 상기 351L35M4N 스테인리스강의 로트 기계적 강도 특성과 UNS S31703 것의 비교는, 상기 351L35M4N 스테인리스강의 최소인장강도가 UNS S31703에 대해 특정화된 것보다 1.45 배 이상 더 높을 수 있다. 이와 유사하게, 상기 351L35M4N 스테인리스강의 로트 기계적 강도 특성과, UNS S31753의 것의 비교는, 상기 351L35M4N 스테인리스강의 최소인장강도가 UNS S31753에 대해 특정화된 것보다 1.36 배 더 높을 수 있음을 제시한다. 또한, 상기 351L35M4N 스테인리스강의 로트 기계적 강도 특성과 UNS S35115의 것을 비교하여, 상기 351L35M4N 스테인리스강의 최소인장강도는 UNS S35115에 대해 특정화된 것보다 1.28 배 더 높을 수 있음을 제시한다. 즉, 상기 351L35M4N 스테인리스강의 로트 기계적 강도 특성이, 22 Cr 듀플렉스 스테인리스강의 것과 비교된다면, 그 결과, 상기 351L35M4N 스테인리스강의 최소인장강도는 S31803에 대해 특정화된 것보다 1.2 배 더 높은 영역이고, 25 Cr 슈퍼 듀플렉스 스테인리스강에 대해 특정화된 것과 유사하다는 것을 나타낼 수 있다. 그러므로, 상기 351L35M4N 스테인리스강의 최소 기계적 강도 특성은 UNS S31703, UNS S31753 및 UNS S35115와 같은 통상적인 오스테나이트계 스테인리스강과 비교하여 월등하게 개선되었고, 상기 인장 강도 특성은 22 Cr 듀플렉스 스테인리스강에 대해 특정화된 것보다 더 좋고, 25 Cr 슈퍼 듀플렉스 스테인리스강에 대해 특정화된 것과 유사하다.

[0962] 이는, 로트351L35M4N 스테인리스강을 이용하는 적용이 줄어든 벽두께로 대부분 고안될 수 있고, 이에, 최소허용설계응력이 월등하게 더 높기 때문에, 특정화된 351L35M4N 스테인리스강과, UNS S31703, S31753 및 S35115와 같은, 통상적인 오스테나이트계 스테인리스강의 비교에서 월등한 무게 감소를 유도하는 것을 의미한다. 즉, 상기 로트351L35M4N 스테인리스강에 대한 최소허용설계응력은 22 Cr 듀플렉스 스테인리스강보다 더 높고, 25 Cr 슈퍼 듀플렉스 스테인리스강과 유사하다.

[0964] 특정 적용을 위해서, 상기 351L35M4N 스테인리스강의 다른 변종은 구리, 텅스텐 및 바나듐과 같은 다른 합금 원소의 특정 수준을 포함하여 제조되도록 의도적으로 구성된다. 상기 351L35M4N 스테인리스강의 다른 변종의 최적 화학적 조성 범위는 선택적이고, 구리 및 바나듐의 조성은 304LM4N 것과 동일하게 결정된다. 다른면에서, 304LM4N에 대한 이러한 원소에 관련된 구절은 또한, 351L35M4N에 적용가능하다.

[0966] **텅스텐 (W)**

[0967] 상기 351L35M4N 스테인리스강의 텅스텐 함량은 ≤ 2.00 wt% W, 그러나 바람직하게는 ≥ 0.50 wt% W 및 ≤ 1.00 wt% W, 더 바람직하게는 ≥ 0.75 wt% W이다. 텅스텐 함유 351L35M4N 스테인리스강의 변종에 대해서, 내공식성

지수는 하기의 식을 이용하여 계산된다:

[0968] PRE_{NW} = % Cr + [3.3 x % (Mo + W)] + (16 x % N)

[0969] 이러한 텅스텐을 포함하는 상기 351L35M4N 스테인리스강의 변형은 다음의 조성을 갖도록 특별히 구성된다:

[0970] (i) 크롬함량 ≥ 26.00 wt% Cr 및 ≤ 28.00 wt% Cr, 그러나 바람직하게는 ≥ 27.00 wt% Cr;

[0971] (ii) 몰리브덴 함량 ≥ 3.00 wt% Mo 및 ≤ 5.00 wt% Mo, 그러나 바람직하게는 ≥ 4.00 wt% Mo,

[0972] (iii) 질소 함량 ≤ 0.70 wt% N, 그러나 바람직하게는 ≥ 0.40 wt% N 및 ≤ 0.70 wt% N, 더 바람직하게는 ≥ 0.40 wt% N 및 ≤ 0.60 wt% N, 더욱더 바람직하게는 ≥ 0.45 wt% N 및 ≤ 0.55 wt% N; 및

[0973] (iv) 텅스텐 함량 ≤ 2.00 wt% W, 그러나 바람직하게는 ≥ 0.50 wt% W 및 ≤ 1.00 wt% W, 더 바람직하게는 ≥ 0.75 wt% W.

[0975] 상기 351L35M4N 스테인리스강의 텅스텐을 포함하는 변형은, 특정화된 더 높은 수준의 질소 및 PRE_{NW} ≥ 46, 그러나 바람직하게는 PRE_{NW} ≥ 51를 갖는다. 이러한 식들은 공식 부식 또는 틈새 부식에 의한 패시비티의 쇠약에 대한 미세구조 인자의 효과를 무시함을 강조될 수 있다. 텅스텐은 상기 합금의 전체적 부식 거동을 더 개선하도록, 원소들의 모든 다양한 조합으로 구리, 바나듐, 티타늄 및/또는 니오븀 및/또는 니오븀 플러스 탄탈과 함께, 또는 개별적으로 첨가될 수 있다. 텅스텐은 매우 고가이므로, 상기 합금의 경제성을 최적화하고, 이와 동시에 상기 합금의 연성, 인성 및 부식 거동의 최적화하도록 의도적으로 제안된다.

[0977] **탄소 (C)**

[0978] 특정 적용을 위해서, 더 높은 탄소 수준을 포함하게 제조되도록 특별하게 구성되어진, 상기 351L35M4N 스테인리스강의 다른 변종이 선호된다. 특히, 상기 351L35M4N 스테인리스강의 탄소 함량은 ≥ 0.040 wt% C 및 < 0.10 wt% C, 그러나 바람직하게는 ≤ 0.050 wt% C, 또는 > 0.030 wt% C 및 ≤ 0.08 wt% C, 그러나 바람직하게는 < 0.040 wt% C일 수 있다. 상기 351L35M4N 스테인리스강의 이러한 특정 변종은 각각, 351H35M4N 또는 35135M4N 버전이다.

[0979]

[0980] **티타늄 (Ti) / 니오븀 (Nb) / 니오븀 (Nb) 플러스 탄탈 (Ta)**

[0981] 더욱이, 특정 적용을 위해서, 더 높은 탄소 수준을 포함하게 제조되도록 특별히 구성되어진, 상기 351H35M4N 또는 35135M4N 스테인리스강의 다른 안정화된 변종이 선호된다. 특히, 상기 탄소의 함량은 ≥ 0.040 wt% C 및 < 0.10 wt% C, 그러나 바람직하게는 ≤0.050 wt% C, 또는 > 0.030 wt% C 및 ≤ 0.08 wt% C, 그러나 바람직하게는 < 0.040 wt% C일 수 있다.

[0982] (i) 이들은, 일반적 351L35M4N과 비교하기 위한, 351H35M4NTi 또는 35135M4NTi에 관련되는 티타늄 안정화된 버전을 포함한다. 티타늄 함량은 하기의 식에 따라 조절된다: 상기 합금의 티타늄 안정화된 유도체를 갖기 위해서, 각각, Ti 4 x C min, 0.70 wt% Ti max, 또는 Ti 5 x C min, 0.70 wt% Ti max

[0983] (ii) 니오븀 함량이 하기의 식에 따라 조절되는 니오븀 안정화된, 351H35M4NNb 또는 35135M4NNb 버전이 더 있다: 상기 합금의 니오븀 안정화된 유도체를 갖도록, 각각, Nb 8 x C min, 1.0 wt% Nb max, 또는 Nb 10 x C min, 1.0 wt% Nb max

[0984] (iii) 추가로, 상기 합금의 다른 변종은, 상기 니오븀 플러스 탄탈함량이 하기의 식에 따라 조절되는 니오븀 플러스 탄탈 안정화된, 351H35M4NNbTa 또는 35135M4NNbTa 버전을 포함하도록 더 제조될 수 있다:

[0985] Nb + Ta 8 x C min, 1.0 wt% Nb + Ta max, 0.10 wt% Ta max, 또는 Nb + Ta 10 x C min, 1.0 wt% Nb + Ta max, 0.10 wt% Ta max.

[0987] 상기 합금의 티타늄 안정화된, 니오븀 안정화된 및 니오븀 플러스 탄탈 안정화된 변종은, 초기 용액 열처리 온도보다 더 낮은 온도에서 안정화 열처리가 이루어진다. 티타늄 및/또는 니오븀 및/또는 니오븀 플러스 탄탈은,

더 높은 탄소 함량이 선호되는 특정 적용을 위한 상기 합금을 최적화하도록 이러한 원소들의 모든 다양한 조합으로 구리, 텅스텐 및 바나듐과 함께, 또는 개별적으로 첨가될 수 있다.

[0989] 이러한 합금 원소들은, 상기 합금의 전체적 부식 거동을 더 개선시키고, 특정 적용을 위해 스테인리스강을 조절하도록 상기 원소들의 모든 다양한 조합으로 또는 개별적으로 이용될 수 있다.

[0991] 다른 변형과 더불어, 상기 351L35M4N 스테인리스강은, 로트 및 캐스트 버전은 이전의 구현예와 동일한 방식으로 제공된다.

[0993] 더욱이, 제12 본 발명의 구현예인, 351L57M4N 고강도 오스테나이트계 스테인리스강으로 적절하게 나타내어지는 제안된 추가 변형이 있다. 상기 351L57M4N 스테인리스강은, 실질적으로 몰리브덴 함량을 제외하고, 351L35M4와 동일한 화학적 조성을 갖는다. 그러므로, 다양한 화학적 조성의 반복 대신에, 단지 차이점만 기술된다.

[0995] **[351L57M4N]**

[0996] 상기 언급된 바와 같이, 상기 351L57M4N은, 몰리브덴 함량을 제외한, 351L35M4N 스테인리스강의 제11 구현예와 동일한 정확하게 wt%의 탄소, 망간, 인, 황, 산소, 실리콘, 크롬, 니켈 및 질소 함량을 갖는다. 상기 351L35M4N에서, 몰리브덴 함량은 3.00 wt% 내지 5.00 wt% Mo이다. 반면에, 상기 351L57M4N 스테인리스강의 몰리브덴 함량은 5.00 wt% 내지 7.00 wt% Mo이다. 다른 면에서, 상기 351L57M4N은 상기 351L35M4N 스테인리스강의 더 높은 몰리브덴 버전으로 이해될 수 있다. 351L35M4N에 관련된 구절은 몰리브덴 함량을 제외한, 여기서 허용가능하다는 것을 이해될 수 있다.

[0998] **몰리브덴 (Mo)**

[0999] 상기 351L57M4N 스테인리스강의 몰리브덴 함량은 ≥ 5.00 wt% Mo 및 ≤ 7.00 wt% Mo, 그러나 바람직하게는 ≥ 5.50 wt% Mo 및 ≤ 6.50 wt% Mo, 더 바람직하게는 ≥6.00 wt% Mo일 수 있다. 다른 면에서, 상기 351L57M4N의 몰리브덴 함량은 최대 7.00 wt% Mo를 가질 수 있다.

[1001] **PRE_N**

[1002] 상기 351L57M4N에 대한 내공식성지수는 351L35M4N와 동일한 식을 이용하여 계산된다. 그러나, 몰리브덴 함량 때문에, PRE_N은 ≥ 50.5, 그러나 바람직하게는 PRE_N ≥ 55.5이다. 이는, 상기 물질이 또한, 광범위한 범위의 공정 환경의 전면 부식 및 국소 부식 (공식 및 틈새 부식)에 대한 좋은 저항성을 갖는 것을 보장하다. 상기 351L57M4N 스테인리스강은, 또한, UNS S31703 및 UNS S31753와 같은 통상적인 오스테나이트계 스테인리스강과 비교할 경우에 염화물을 포함하는 환경 내에 응력부식 균열에 대한 저항성을 개선하였다. 이러한 식들이, 공식 부식 또는 틈새 부식에 의한 패시비티의 쇠약에 대한 미세구조 인자의 효과를 무시함을 강조될 수 있다.

[1003]

[1004] 상기 351L57M4N 스테인리스강의 화학적 조성은, 전형적으로 1100 ℃ 내지 1250 ℃ 범위에서 수행되고 이어서 수냉하는 용액 열처리 이후에, 베이스 물질 내의 오스테나이트의 미세구조를 주로 획득하기 위해서, Schoefer[6]에 따라, [Ni] 당량으로 나눈 [Cr] 당량의 비율이 > 0.40 및 < 1.05, 그러나 바람직하게는 > 0.45 및 < 0.95 범위 내에 있는 것을 보장하도록 용융 단계에서 최적화된다. 용접된 상태의 용접 금속 및 용접의 열영향부와 더불어, 용액 열처리된 상태에서 베이스 물질의 미세 구조는, 상기 합금이 오스테나이트인 것을 주로 보장하도록 오스테나이트 형성 원소와 페라이트 형성 원소 간의 밸런스를 최적화하여 조절된다. 그러므로, 상기 합금은 비자성 상태로 공급되고 제조될 수 있다.

[1006] 상기 351L35M4N 구현예와 같이, 상기 351L57M4N 스테인리스강은, 또한, 잔여부로서 Fe를 주로 포함하고, 중량 백분율로 붕소, 세륨, 알루미늄, 칼슘 및/또는 마그네슘의 매우 소량의 다른 원소들을 더 포함할 수 있고, 이러한 원소들의 조성은 351L35M4N 것과 동일하고, 이로써, 304LM4N 것과도 동일하다.

[1008] 제12 구현예의 상기 351L57M4N 스테인리스강은, 351L35M4N 스테인리스강의 것과 비교가능하거나 (comparable) 또는 유사한 최소 항복강도 및 최소인장강도를 갖는다. 또한, 상기 351L57M4N의 로트 및 캐스트 버전의 강도 특성은, 또한, 상기 351L35M4N 것과 비교가능하다. 이에, 상기 특정 강도값은 여기서, 반복되지 않고, 참조는 351L35M4N의 이전의 구절로 이루어진다. 351L57M4N과 통상적인 오스테나이트계 스테인리스강 UNS S31703의 로트 기계적 강도 특성의 비교 및 351L57M4N와 UNS S31753/UNS S35115 간의 로트 기계적 강도 특성의 비교는, 351L35M4N에 발견되는 것과 유사한 크기의 인장강도 및 더 강한 항복 강도를 제시한다. 이와 유사하게, 351L57M4N의 인장 특성 비교는, 상기 351L35M4N와 마찬가지로, 25 Cr 슈퍼 듀플렉스 스테인리스강에 대해 특정화된 것과 유사하고, 22 Cr 듀플렉스 스테인리스강에 대해 특정화된 것보다 더 좋다는 것을 나타낸다.

[1010] 이는, 상기 로트351L57M4N 스테인리스강은 줄어든 벽두께로 고안될 수 있으므로, 상기 최소허용설계응력이 월등하게 더 높기때문에 UNS S31703, S31753 및 S35115 와 같은 통상적인 오스테나이트계 스테인리스강과 특정화한 351L57M4N 스테인리스강이 비교될 경우에, 월등한 중량 감소를 유도한다는 것을 의미한다. 즉, 상기 로트 351L57M4N 스테인리스강의 최소허용설계응력은, 22 Cr 듀플렉스 스테인리스강 보다 더 높고, 25 Cr 슈퍼 듀플렉스 스테인리스강과 유사하다.

[1012] 특정 적용을 위해서, 상기 351L57M4N 스테인리스강의 다른 변종은 구리, 텅스텐 및 바나듐과 같은 다른 원소들의 특정 수준을 포함하도록 의도적으로 구성되어졌다. 상기 351L57M4N 스테인리스강의 다른 변종의 최적 화학적 조성 범위는 선택적이고, 구리 및 바나듐의 조성은 304LM4N 및 351L35M4N 것과 동일하게 결정된다. 다른면에서, 304LM4N에 대한 이러한 원소들에 관련된 구절은 또한, 여기서, 351L57M4N에 적용가능하다.

[1014] **텅스텐 (W)**

[1015] 상기 351L57M4N 스테인리스강의 텅스텐 함량은 상기 351L35M4N 것과 유사하고, 상기 351L35M4N에 대해 언급된 바와 같이 동일한 식으로 계산된, 상기 351L57M4N의 내공식성지수, PRE_{NW}은, 몰리브덴 함량의 차이로 인하여, $PRE_{NW} \geq 52.5$, 바람직하게는 $PRE_{NW} \geq 57.5$이다. 351L35M4N에 대한 텅스텐의 효과 및 이용에 관련된 구절은 또한, 351L57M4N에 적용가능함을 이해될 수 있다.

[1017] 더욱이, 상기 351L57M4N은, 이전에 언급된 351H35M4N 및 35135M4N에 각각 상응하고, 351H57M4N 또는 35157M4N로 나타내어지는 더 높은 수준의 탄소를 포함할 수 있고, 이전에 언급된 탄소 wt% 범위는, 또는, 351H57M4N 및 35157M4N에 적용가능하다.

[1019] **티타늄 (Ti) / 니오븀 (Nb) / 니오븀 (Nb) 플러스 탄탈 (Ta)**

[1020] 더욱이, 특정 적용을 위해서, 더 높은 탄소 수준을 포함하여 제조되도록 특별히 구성되어진, 상기 351H57M4N 또는 35157M4N 스테인리스강의 다른 안정화된 변종이 선호된다. 특히, 탄소의 함량은 ≥ 0.040 wt% C 및 < 0.10 wt% C, 그러나 바람직하게는 ≤ 0.050 wt% C, 또는 > 0.030 wt% C 및 ≤ 0.08 wt% C, 그러나 바람직하게는 < 0.040 wt% C일 수 있다.

[1021] (i) 이는 일반적 351L57M4N와 비교하기 위해 351H57M4NTi 또는 35157M4NTi로 나타내는 티타늄 안정화된 버전을 포함한다. 티타늄 함량은 하기의 식에 따라 조절된다: 상기 합금의 티타늄 안정화된 유도체를 갖기 위해서, 각각, Ti 4 x C min, 0.70 wt% Ti max, 또는 Ti 5 x C min, 0.70 wt% Ti max

[1022] (ii) 니오븀 함량은 하기의 식에 따라 조절되는 니오븀 안정화된, 351H57M4NNb 또는 35157M4NNb 버전이 더 있

다: 상기 합금의 니오븀 안정화된 유도체를 갖기 위해서, 각각, Nb 8 x C min, 1.0 wt% Nb max, 또는 Nb 10 x C min, 1.0 wt% Nb max

[1023] (iii) 추가로, 상기 합금의 다른 변종은, 니오븀 플러스 탄탈함량이 하기의 식에 따라 조절되는 니오븀 플러스 탄탈 안정화된, 351H57M4NNbTa 또는 35157M4NNbTa 버전를 포함하도록 더 제조될 수 있다:

[1024] Nb + Ta 8 x C min, 1.0 wt% Nb + Ta max, 0.10 wt% Ta max, 또는 Nb + Ta 10 x C min, 1.0 wt% Nb + Ta max, 0.10 wt% Ta max.

[1026] 상기 합금의 티타늄 안정화된, 니오븀 안정화된 및 니오븀 플러스 탄탈 안정화된 변종은, 초기 용액 열처리 온도보다 더 낮은 온도에서 안정화 열처리가 이루어질 수 있다. 티타늄 및/또는 니오븀 및/또는 니오븀 플러스 탄탈은, 더 높은 탄소 함량이 선호되는 특정 적용을 위한 상기 합금을 최적화하도록 이러한 원소들의 모든 다양한 조합 내로 구리, 텅스텐 및 바나듐와 함께, 또는 개별적으로 첨가될 수 있다. 이러한 합금 원소들은, 상기 합금의 전체적 부식 거동을 더 개선시키고, 특정 적용을 위해 스테인리스강을 조절하기 위해서, 상기 원소들의 모든 다양한 조합으로 또는 개별적으로 이용될 수 있다.

[1028] 다른 변형과 더불어, 상기 351L57M4N 스테인리스강의 로트 및 캐스트 버전은 이전의 구현예와 동일한 방식으로 공급된다.

[1030] 더욱이, 제13의 구현예이며, 본 발명의 상세한 설명에서 353L35M4N로 적절하게 나타내는, 제안된 추가변형이 있다.

[1032] **[353L35M4N]**

[1033] 상기 353L35M4N 스테인리스강은 더 높은 수준의 질소 및 $PRE_N \geq 46$, 그러나 바람직하게는 $PRE_N \geq 51$의 특정화된 내공식성지수를 갖는다. PRE_N으로 지정된 상기 내공식성지수는 다음의 식에 따라 계산된다:

[1034] PRE_N = % Cr + (3.3 x % Mo) + (16 x % N)

[1035] 상기 353L35M4N 스테인리스강은 전면 및 국소 부식에 대한 좋은 저항성 및 좋은 용접성과 더불어, 우수한 연성 및 인성과 고기계적 강도 특성의 독특한 조합을 소유하도록 구성된다. 상기 353L35M4N 스테인리스강의 화학적 조성은 선택적이고, 하기에 따른 중량 백분율로의 합금의 화학적 분석에 의해서 특징된다: 0.030 wt% C max, 2.00 wt% Mn max, 0.030 wt% P max, 0.010 wt% S max, 0.75 wt% Si max, 28.00 wt% Cr - 30.00 wt% Cr, 23.00 wt% Ni - 27.00 wt% Ni, 3.00 wt% Mo - 5.00 wt% Mo, 0.40 wt% N - 0.70 wt% N

[1037] 상기 353L35M4N 스테인리스강은, 또한, 잔여부로서 Fe를 주로 포함하고, 0.010 wt% B max, 0.10 wt% Ce max, 0.050 wt% Al max, 0.01 wt% Ca max 및/또는 0.01 wt% Mg max와 같은 매우 소량의 다른 원소들 및 잔류수준으로 정상적으로 존재하는 다른 불순물을 더 포함할 수 있다.

[1039] 상기 353L35M4N 스테인리스강의 화학적 조성은, 용액 열처리 전형적으로 1100 ℃ 내지 1250 ℃의 범위에서 수행되고, 수냉이 따르는 용액 열처리 이후에 베이스 물질 내의 오스테나이트의 미세구조를 주로 보장하도록 용융 단계에서 최적화된다. 용접된 상태의 용접 금속 및 용접의 열영향부와 더불어, 용액 열처리된 상태에서 베이스 물질의 미세 구조는 상기 합금이 오스테나이트인 것을 주로 보장하도록 오스테나이트 형성 원소와 페라이트 형성 원소 간의 밸런스를 최적화하여 조절된다. 결과적으로, 상기 353L35M4N 스테인리스강은 주위온도에서 연성과 고강도의 독특한 조합을 나타내고 주위 온도 및 초저온에서 우수한 인성을 보증한다. 상기 353L35M4N 스테인리스강의 화학적 분석은 $PRE_N \geq 46$, 그러나 바람직하게는 $PRE_N \geq 51$를 달성하도록 조정되는 것을 고려한다면, 이는, 상기 물질이 또한, 광범위한 범위의 공정 환경에서 전면 부식 및 국소 부식 (공식 및 틈새 부식)에 대한 좋은 저항성을 갖는 것을 보장하다. 상기 353L35M4N 스테인리스강은 또한, UNS S31703 및 UNS

S31753와 같은 통상적인 오스테나이트계 스테인리스강과 비교할 경우에 염화물을 포함하는 환경 내에 응력부식 균열에 대한 저항성을 개선하였다.

[1041] 상기 353L35M4N 스테인리스강의 최적 화학적 조성 범위는, 제13 구현예를 기반으로 하여, 하기에 따른 중량 백분율의 하기의 화학적 원소를 포함하도록 신중하게 선택되어 결정된다.

[1043] **탄소 (C)**

[1044] 상기 353L35M4N 스테인리스강의 탄소함량은 ≤ 0.030 wt% C maximum이다. 바람직하게는, 탄소의 함량은 ≥ 0.020 wt% C 및 ≤ 0.030 wt% C, 더 바람직하게는 ≤ 0.025 wt% C일 수 있다.

[1046] **망간 (Mn)**

[1047] 제13의 구현예의 353L35M4N 스테인리스강은 두 가지 버전으로 이루어질 수 있다: 저망간 또는 고망간.

[1049] 저망간 합금에 대해서, 353L35M4N 스테인리스강의 망간 함량은 ≤ 2.0 wt% Mn이다. 바람직하게는, 상기 범위는 ≥ 1.0 wt% Mn 및 ≤ 2.0 wt% Mn 및 더 바람직하게는 ≥ 1.20 wt% Mn 및 ≤ 1.50 wt% Mn이다. 이와 같은 조성으로, 이는 ≤ 5.0의 최적 Mn 대 N의 비율을 획득하고, 바람직하게는 ≥ 1.42 및 ≤ 5.0이다. 더 바람직하게는, 상기 비율은 ≥ 1.42 및 ≤ 3.75이다.

[1051] 고망간 합금에 대해서, 상기 353L35M4N의 망간 함량은 ≤ 4.0 wt% Mn이다. 바람직하게는, 상기 망간 함량은 ≥ 2.0 wt% Mn 및 ≤ 4.0 wt% Mn, 더 바람직하게는, 상한은 ≤ 3.0 wt% Mn이다. 더욱더 바람직하게는, 상기 상한은 ≤ 2.50 wt% Mn이다. 이와 같은 선택적 범위로, 이는 ≤ 10.0의 Mn 대 N 비율을 획득하고, 바람직하게는 ≥ 2.85 및 ≤ 10.0이다. 더 바람직하게는, 고망간 합금의 상기 Mn 대 N 비율은 ≤ 2.85 및 ≤ 7.50, 더욱더 바람직하게는 ≥ 2.85 및 ≤ 6.25이다.

[1054] **인 (P)**

[1055] 상기 353L35M4N 스테인리스강의 인 함량은 ≤ 0.030 wt% P가 되도록 조절된다. 바람직하게는, 상기 353L35M4N 합금은 ≤ 0.025 wt% P, 더 바람직하게는 ≤ 0.020 wt% P를 갖는다. 더욱더 바람직하게는, 상기 합금은 ≤ 0.015 wt% P 및 더욱더 바람직하게는 ≤ 0.010 wt% P를 갖는다.

[1057] **황 (S)**

[1059] 제13 구현예의 상기 353L35M4N 스테인리스강의 황 함량은 ≤ 0.010 wt% S를 포함한다. 바람직하게는, 상기 353L35M4N은 ≤ 0.005 wt% S, 더 바람직하게는 ≤ 0.003 wt% S, 더욱더 바람직하게는 ≤ 0.001 wt% S를 갖는다.

[1061] **산소 (O)**

[1062] 상기 353L35M4N 스테인리스강의 산소 함량은 가능한 낮게 조절되고, 제13 구현예에서, 상기 353L35M4N은 ≤ 0.070 wt% O를 갖는다. 바람직하게는, 상기 353L35M4N은 ≤ 0.050 wt% O, 더 바람직하게는 ≤ 0.030 wt% O. 더욱더 바람직하게는, 상기 합금은 ≤ 0.010 wt% O, 더욱 바람직하게는 ≤ 0.005 wt% O를 갖는다.

[1064] **실리콘 (Si)**

[1065] 상기 353L35M4N 스테인리스강의 실리콘 함량은 ≤ 0.75 wt% Si이다. 바람직하게는, 상기 합금은 ≥ 0.25 wt% Si 및 ≤ 0.75 wt% Si를 갖는다. 더 바람직하게는, 상기 범위는 ≥ 0.40 wt% Si 및 ≤ 0.60 wt% Si이다. 그러나, 개선된 산화 저항성이 요구되는 특정의 더 높은 온도의 적용은, 상기 실리콘 함량이 ≥ 0.75 wt% Si 및 ≤ 2.00 wt% Si일 수 있다.

[1067] **크롬 (Cr)**

[1068] 상기 353L35M4N 스테인리스강의 크롬 함량은 ≥ 28.00 wt% Cr 및 ≤ 30.00 wt% Cr이다. 바람직하게는, 상기 합금은 ≥ 29.00 wt% Cr를 갖는다.

[1070] **니켈 (Ni)**

[1071] 상기 353L35M4N 스테인리스강의 니켈 함량은 ≥ 23.00 wt% Ni 및 ≤ 27.00 wt% Ni이다. 바람직하게는, 상기 합금의 Ni의 상한은 ≤ 26.00 wt% Ni, 더 바람직하게는 ≤ 25.00 wt% Ni이다.

[1073] **몰리브덴 (Mo)**

[1074] 상기 353L35M4N 스테인리스강의 몰리브덴 함량은 ≥ 3.00 wt% Mo 및 ≤ 5.00 wt% Mo, 그러나 바람직하게는 ≥ 4.00 wt% Mo이다.

[1076] **질소 (N)**

[1078] 상기 353L35M4N 스테인리스강의 질소함량은 ≤ 0.70 wt% N, 그러나 바람직하게는 ≥ 0.40 wt% N 및 ≤ 0.70 wt% N이다. 더 바람직하게는, 상기 353L35M4N은 ≥ 0.40 wt% N 및 ≤ 0.60 wt% N, 더욱더 바람직하게는 ≥ 0.45 wt% N 및 ≤ 0.55 wt% N를 갖는다.

[1080] **PRE_N**

[1081] 내공식성지수는 하기의 식을 이용하여 계산된다:

[1082] PRE_N = % Cr + (3.3 x %Mo) + (16 x % N)

[1083] 상기 353L35M4N 스테인리스강은,

[1084] (i) 크롬함량 ≥ 28.00 wt% Cr 및 ≤ 30.00 wt% Cr, 그러나 바람직하게는 ≥ 29.00 wt% Cr;

[1085] (ii) 몰리브덴 함량 ≥ 3.00 wt% Mo 및 ≤ 5.00 wt% Mo, 그러나 바람직하게는 ≥ 4.00 wt% Mo;

[1086] (iii) 질소 함량 ≤ 0.70 wt% N, 그러나 바람직하게는 ≥ 0.40 wt% N 및 ≤ 0.70 wt% N, 더 바람직하게는 ≥ 0.40 wt% N 및 ≤ 0.60 wt% N, 더욱더 바람직하게는 ≥ 0.45 wt% N 및 ≤ 0.55 wt% N를 갖도록 특별히 구성된다.

[1088] 고수준의 질소로, 상기 353L35M4N 스테인리스강은 PRE_N ≥ 46, 그러나 바람직하게는 PRE_N ≥ 51를 달성한다. 이는, 상기 물질이 또한, 광범위한 범위의 공정 환경 내에서 전면 부식 및 국소 부식 (공식 및 틈새 부식)에 대한 좋은 저항성을 갖는 것을 보장한다. 또한, 상기 353L35M4N 스테인리스강은 UNS S31703 및 UNS S31753와 같은 통상적인 오스테나이트계 스테인리스강과 비교할 경우에 염화물을 포함하는 환경 내에 응력부식 균열에 대한 저

항성을 개선하였다. 이러한 식들은 공식 부식 또는 틈새 부식에 의한 패시비티의 쇠약에 대한 미세구조 인자의 효과를 무시함을 강조될 수 있다.

[1090] 상기 353L35M4N 스테인리스강의 화학적 조성은, 전형적으로 1100 ℃ 내지 1250 ℃의 범위에서 수행되고 이어서 수냉하는 용액 열처리 이후에, 베이스 물질 내에 오스테나이트의 미세구조를 주로 획득하기 위해서, Schoefer[6] 에 따라, [Ni] 당량으로 나눈 [Cr] 당량의 비율이 > 0.40 및 < 1.05의 범위 그러나 바람직하게는 > 0.45 및 < 0.95의 범위 내에 있는 것을 보장하도록 용융 단계에서 최적화된다. 용접된 상태의 용접 금속 및 용접의 열영향부와 더불어, 용액 열처리된 상태에서 베이스 물질의 미세 구조는 상기 합금이 오스테나이트인 것을 주로 보장하도록 오스테나이트 형성 원소와 페라이트 형성 원소 간의 밸런스를 최적화하여 조절된다. 상기 합금은 비자성 상태로 공급되고 제조될 수 있다.

[1092] 상기 353L35M4N 스테인리스강은 잔여부로서 Fe를 주로 더 포함하고, 중량 백분율로서 붕소, 세륨, 알루미늄, 칼슘 및/또는 마그네슘과 같은 매우 소량의 다른 원소들을 더 포함할 수 있고, 이러한 원소들의 조성은 304LM4N의 것과 동일하다. 다른면에서, 304LM4N에 대한 이러한 원소들에 관련된 구절은 또한, 여기서 적용 가능하다.

[1094] 제13 구현예에 따른 353L35M4N 스테인리스강은 로트 버전을 위해 55 ksi 또는 380 MPa의 최소항복강도를 갖는다. 더 바람직하게는, 62 ksi 또는 430 MPa의 최소항복강도는 상기 로트 버전을 위해 달성될 수 있다. 상기 캐스트 버전은 41 ksi 또는 280 MPa의 최소항복강도를 갖는다. 더 바람직하게는, 최소항복강도 48 ksi 또는 330 MPa는 캐스트 버전을 위해서 달성될 수 있다. 바람직한 값을 기반으로 하여, 상기 353L35M4N 스테인리스강의 로트 기계적 강도 특성과 UNS S31703 것과의 비교는, 상기 353L35M4N 스테인리스강의 최소항복강도가 UNS S31703에 대해 특정화된 것보다 2.1 배 더 높을 수 있다는 것을 제시한다. 이와 유사하게, 상기 353L35M4N 스테인리스강의 로트 기계적 강도 특성과 UNS S31753 것과의 비교는, 상기 353L35M4N 스테인리스강의 최소항복강도가 UNS S31753에 대해 특정화된 것보다 1.79 배 더 높을 수 있다는 것을 제시한다. 또한, 상기 353L35M4N 스테인리스강의 로트 기계적 강도 특성과 UNS S35315 것과의 비교는, 상기 353L35M4N 스테인리스강의 최소항복강도가 UNS S35315에 대해 특정화된 것보다 1.59 배 더 높을 수 있다는 것을 제시한다.

[1096] 제13 구현예에 따른 353L35M4N 스테인리스강은 로트 버전을 위한 102 ksi 또는 700 MPa의 최소인장강도를 갖는다. 더 바람직하게는, 109 ksi 또는 750 MPa의 최소인장강도는 상기 로트 버전을 위해 달성될 수 있다. 상기 캐스트 버전은 95 ksi 또는 650 MPa의 최소인장강도를 갖는다. 더 바람직하게는, 102 ksi 또는 700 MPa의 최소인장강도는 상기 캐스트 버전을 위해 달성될 수 있다. 바람직한 값을 기반으로 하여, UNS S31703 것과 상기 353L35M4N 스테인리스강의 로트 기계적 강도 특성의 비교는, 상기 353L35M4N 스테인리스강의 최소인장강도가 UNS S31703에 대해 특정화된 것보다 1.45 배 이상 더 높을 수 있다는 것을 제시한다. 이와 유사하게, UNS S31753 것과 상기 353L35M4N 스테인리스강의 로트 기계적 강도 특성의 비교는 상기 353L35M4N 스테인리스강의 최소인장강도가 UNS S31753에 대해 특정화된 것에 비하여 1.36 배 더 높을 수 있다는 것을 제시한다. 또한, 상기 353L35M4N 스테인리스강의 로트 기계적 강도 특성과 UNS S35315의 것과의 비교는, 상기 353L35M4N 스테인리스강의 최소인장강도가 UNS S35315에 대해 특정화된 것보다 1.15 배 더 높을 수 있음을 제시한다. 즉, 상기 353L35M4N 스테인리스강의 로트 기계적 강도 특성이 22 Cr 듀플렉스 스테인리스강의 것과 비교한다면, 그 결과, 상기 353L35M4N 스테인리스강의 최소인장강도가 S31803에 대해 특정화된 것보다 1.2 배 더 높은 영역 내에 있고, 25 Cr 슈퍼 듀플렉스 스테인리스강과 특정화된 것과 유사하다는 것을 나타낼 수 있다. 그러므로, 상기 353L35M4N 스테인리스강의 최소 기계적 강도특성은, UNS S31703, UNS S31753 및 UNS S35315와 같은 통상적인 오스테나이트계 스테인리스강과 비교하여 월등하게 개선되고, 상기 인장 강도 특정은 22 Cr 듀플렉스 스테인리스강에 대해 특정화된 것보다 더 좋고, 25 Cr 슈퍼 듀플렉스 스테인리스강에 대해 특정화된 것과 유사하다.

[1098] 이는, 로트353L35M4N 스테인리스강의 사용하는 적용이 줄어든 벽두께로 대부분 구성될 수 있으므로, 상기 최소 허용설계응력이 월등하게 더 높기 때문에 특정화된 353L35M4N 스테인리스강과 UNS S31703, S31753 및 S35315와 같은 통상적인 오스테나이트계 스테인리스강을 비교할 경우에, 월등한 중량 감소 (weight savings)를 유도한다

는 것을 의미한다. 사실, 상기 로트353L35M4N 스테인리스강의 최소허용설계응력은 22 Cr 듀플렉스 스테인리스강보다 더 높고, 25 Cr 슈퍼 듀플렉스 스테인리스강과 유사하다.

[1100] 특정 적용을 위해서, 상기 353L35M4N 스테인리스강의 다른 변종은, 구리, 텅스텐 및 바나듐과 같은 다른 합금 원소의 특정 수준을 포함하여 제조되기 위해서 의도적으로 구성된다. 청구항 1에 따른 상기 353L35M4N 스테인리스강의 다른 변종의 최적 화학적 조성 범위는 선택적이고, 구리 및 바나듐의 조성은 304LM4N 것과 동일하다. 다른 면에서, 304LM4N에 대한 이러한 원소에 관련된 구절은 또한, 353L35M4N에 적용가능하다.

[1102] **텅스텐 (W)**

[1103] 상기 353L35M4N 스테인리스강의 텅스텐 함량은 ≤ 2.00 wt% W, 그러나 바람직하게는 ≥ 0.50 wt% W 및 ≤ 1.00 wt% W, 더 바람직하게는 ≥ 0.75 wt% W일 수 있다.

[1104] 텅스텐 포함하는 353L35M4N 스테인리스강 변종에 관련해서, 내공식성지수는 하기의 식을 이용하여 계산된다:

[1105] PRE_{NW} = % Cr + [3.3 x % (Mo + W)] + (16 x % N)

[1106] 이러한 텅스텐 함유 상기 353L35M4N 스테인리스강의변형은 하기의 조성을 갖도록 특별히 구성되었다:

[1107] (i) 크롬함량 ≥ 28.00 wt% Cr 및 ≤ 30.00 wt% Cr, 그러나 바람직하게는 ≥ 29.00 wt% Cr;

[1108] (ii) 몰리브덴 함량 ≥ 3.00 wt% Mo 및 ≤ 5.00 wt% Mo, 그러나 바람직하게는 ≥ 4.00 wt% Mo;

[1109] (iii) 질소 함량 ≤ 0.70 wt% N, 그러나 바람직하게는 ≥ 0.40 wt% N 및 ≤ 0.70 wt% N, 더 바람직하게는 ≥ 0.40 wt% N 및 ≤ 0.60 wt% N, 더욱더 바람직하게는 ≥ 0.45 wt% N 및 ≤ 0.55 wt% N; 및

[1110] (iv) 텅스텐 함량 ≤ 2.00 wt% W, 그러나 바람직하게는 ≥ 0.50 wt% W 및 ≤ 1.00 wt% W, 더 바람직하게는 ≥ 0.75 wt% W.

[1112] 상기 353L35M4N 스테인리스강의 텅스텐을 포함하는 변형은 특정화된 더 높은 수준의 질소 및 PRE_{NW} ≥ 48, 그러나 바람직하게는 PRE_{NW} ≥ 53를 갖는다. 이러한 식들은 공식 부식 또는 틈새 부식에 의한 패시비티의 쇠약에 대한 미세구조 인자의 효과를 무시하는 것을 강조될 수 있다. 텅스텐은, 상기 합금의 전체적 부식 거동을 더 개선하기 위해서, 원소들의 모든 다양한 조합으로 구리, 바나듐, 티타늄 및/또는 니오븀 및/또는 니오븀 플러스 탄탈과 함께, 또는 개별적으로 첨가될 수 있다. 텅스텐은 매우 고가이고, 그러므로, 상기 합금의 경제성을 최적화하고, 이와 동시에 상기 합금의 연성, 인성 및 부식 거동의 최적화하기 위해서, 의도적으로 제안된다.

[1114] **탄소 (C)**

[1115] 특정 적용을 위해서, 더 높은 탄소 수준을 포함하여 제조되도록 특별히 구성되어진, 상기 353L35M4N 스테인리스강의 다른 변종이 선호된다. 특히, 상기 353L35M4N의 탄소 함량은 ≥ 0.040 wt% C 및 < 0.10 wt% C, 그러나 바람직하게는 ≤0.050 wt% C, 또는 > 0.030 wt% C 및 ≤ 0.08 wt% C, 그러나 바람직하게는 < 0.040 wt% C일 수 있다. 이러한 상기 353L35M4N 스테인리스강의 특정 변종은 각각, 353H35M4N 또는 35335M4N 버전이다.

[1117] **티타늄 (Ti) / 니오븀 (Nb) / 니오븀 (Nb) 플러스 탄탈 (Ta)**

[1118] 더욱이, 특정 적용을 위해서, 더 높은 탄소 수준을 포함하게 제조되도록 특별히 구성된, 상기 353H35M4N 또는 35335M4N 스테인리스강의 다른 안정화된 변종이 선호된다. 특히, 상기 탄소의 함량은 ≥ 0.040 wt% C 및 < 0.10 wt% C, 그러나 바람직하게는 ≤ 0.050 wt% C, 또는 > 0.030 wt% C 및 ≤ 0.08 wt% C, 그러나 바람직하게는 < 0.040 wt% C일 수 있다.

[1119] (i)이는, 일반적 353L35M4N와 비교하기 위해, 353H35M4NTi 또는 35335M4NTi로 나타내어지는 티타늄 안정화된 버전을 포함한다. 티타늄 함량은 하기의 식에 따라 조절된다: 상기 합금의 티타늄 안정화된 유도체를 갖기 위

해서,

[1120] 각각, Ti 4 x C min, 0.70 wt% Ti max, 또는 Ti 5 x C min, 0.70 wt% Ti max

[1121] (ii) 또한, 니오븀 함량은 하기의 식에 따라 조절되는 니오븀 안정화된, 353H35M4NNb 또는 35335M4NNb 버전이 있다: 상기 합금의 니오븀 안정화된 유도체를 갖기 위해서, 각각, Nb 8 x C min, 1.0 wt% Nb max, 또는 Nb 10 x C min, 1.0 wt% Nb max

[1123] (iii) 추가로, 상기 합금의 다른 변종은 니오븀 플러스 탄탈 함량이 하기의 식에 따라 조절되는 니오븀 플러스 탄탈 안정화된, 353H35M4NNbTa 또는 35335M4NNbTa 버전을 포함하기 위해 제조될 수 있다:

[1124] Nb + Ta 8 x C min, 1.0 wt% Nb + Ta max, 0.10 wt% Ta max, 또는 Nb + Ta 10 x C min, 1.0 wt% Nb + Ta max, 0.10 wt% Ta max.

[1126] 상기 합금의 티타늄 안정화된, 니오븀 안정화된 및 니오븀 플러스 탄탈 안정화된 변종은 초기 용액 열처리 온도보다 더 낮은 온도에서 안정화 열처리가 이루어질 수 있다. 티타늄 및/또는 니오븀 및/또는 니오븀 플러스 탄탈은, 더 높은 탄소 함량이 선호되는 특정 적용을 위한 상기 합금을 최적화하기 위해서, 원소들의 모든 다양한 조합으로 구리, 텅스텐 및 바나듐과 함께, 또는 개별적으로 첨가될 수 있다. 이러한 합금 원소들은, 상기 합금의 전체적 부식 거동을 더 개선시키고, 특정 적용을 위해 스테인리스강을 조절하기 위해서 상기 원소들의 모든 다양한 조합으로 또는 개별적으로 이용될 수 있다.

[1128] 다른 변형과 더불어, 상기 353L35M4N 스테인리스강의 로트 및 캐스트 버전은 이전의 구현예와 동일한 방식으로 제공된다.

[1130] 더욱이, 제14 본 발명의 구현예인, 353L57M4N 고강도 오스테나이트계 스테인리스강으로 적절하게 나타내어지는 추가 변형이 제안된다. 상기 353L57M4N 스테인리스강은, 실질적으로 (virtually), 몰리브덴 함량을 제외하고, 353L35M4N과 동일한 화학적 조성을 갖는다. 그러므로, 다양한 화학적 조성의 반복 대신에, 단지 차이점만 기술된다.

[1132] **[353L57M4N]**

[1133] 상기 언급된 바와 같이, 상기 353L57M4N은, 몰리브덴 함량을 제외한 제13 구현예, 353L35M4N 스테인리스강과 정확하게 동일한 wt%의 탄소, 망간, 인, 황, 산소, 실리콘, 크롬, 니켈 및 질소 함량을 갖는다. 상기 353L35M4N에서, 상기 몰리브덴 함량은 3.00 wt% 내지 5.00 wt% Mo이다. 반면에, 상기 353L57M4N 스테인리스강의 몰리브덴 함량은 5.00 wt% 내지 7.00 wt% Mo이다. 다른 면에서, 353L57M4N은 상기 353L35M4N 스테인리스강의 더 높은 몰리브덴 버전으로 인식될 수 있다. 몰리브덴 함량을 제외한 353L35M4N에 관련된 구절은, 또한, 여기서 허용가능함을 이해될 수 있다.

[1134]

[1135] **<u>몰리브덴 (Mo)</u>**

[1136] 상기 353L57M4N 스테인리스강의 몰리브덴 함량은, ≥ 5.00 wt% Mo 및 ≤ 7.00 wt% Mo, 그러나 바람직하게는 ≥ 5.50 wt% Mo 및 ≤ 6.50 wt% Mo, 더 바람직하게는 ≥ 6.00 wt% Mo일 수 있다. 다른 면에서, 상기 353L57M4N의 몰리브덴 함량은 최대 7.00 wt% Mo를 갖는다.

[1138] **<u>PRE_N</u>**

[1139] 상기 353L57M4N에 대한 내공식성지수는 353L35M4N과 동일한 식을 사용하여 계산되고, 몰리브덴 함량 때문에, PRE_N은 ≥ 52.5, 그러나 바람직하게는 PRE_N ≥ 57.5이다. 이는, 상기 물질이 또한, 광범위한 범위의 공정 환경에

서 전면 부식 및 국소 부식 (공식 및 틈새 부식)에 대한 좋은 저항성을 갖도록 보장한다. 상기 353L57M4N 스테인리스강은 또한, UNS S31703 및 UNS S31753와 같은 통상적인 오스테나이트계 스테인리스강과 비교할 경우에 염화물을 포함하는 환경 내에 응력부식 균열에 대한 저항성을 개선한다. 이러한 식들이 공식 부식 또는 틈새 부식에 의한 패시비티의 쇠약에 미세구조 인자의 효과를 무시한다는 것이 강조될 수 있다.

[1141] 상기 353L57M4N 스테인리스강의 화학적 조성은, 전형적으로 1100 ℃ 내지 1250 ℃ 범위에서 수행되고, 다음으로 수냉하는 용액 열처리 이후에 베이스 물질 내의 오스테나이트의 미세구조를 주로 획득하기 위해서, Schoefer[6] 에 따라, [Ni] 당량으로 나눈 [Cr] 당량의 비율이 범위 > 0.40 및 < 1.05, 그러나 바람직하게는 > 0.45 및 < 0.95 범위 내에 있는 것을 보장하기 위해서, 용융 단계에서 최적화된다. 용접된 상태의 용접 금속 및 용접의 열영향부와 더불어, 용액 열처리된 상태에서 베이스 물질의 미세 구조는, 상기 합금이 오스테나이트인 것을 주로 보장하도록 오스테나이트 형성 원소와 페라이트 형성 원소 간의 밸런스를 최적화하여 조절된다. 그러므로, 상기 합금은 비자성 상태로 공급되고 제조될 수 있다.

[1143] 상기 353L35M4N와 같이, 상기 353L57M4N 스테인리스강은 또한, 잔여부로서 Fe를 주로 포함하고, 중량 백분율로 붕소, 세륨, 알루미늄, 칼슘 및/또는 마그네슘과 같은 매우 소량의 다른 원소들을 더 포함할 수 있고, 이러한 원소들의 조성은, 353L35M4N 것과 유사하고, 이에 304LM4N 것과도 유사하다.

[1145] 제14 구현예의 상기 353L57M4N 스테인리스강은, 353L35M4N 스테인리스강의 것과 유사하거나 또는 비슷한(비교가능, comparable) 최소 항복강도 및 최소인장강도를 갖는다. 또한, 상기 353L57M4N의 로트 및 캐스트 버전의 강도 특성 (strength properties)는 또한, 상기 353L35M4N 것과 비슷하다. 그러므로, 특정 강도값 (specific strength values)은 반복되지 않고, 참조는 353L35M4N의 이전의 구절로 이루어진다. 통상적인 오스테나이트계 스테인리스강 UNS S31703 것과 353L57M4N; 및 353L57M4N와 UNS S31753/UNS S35315의 것 간의 로트 기계적 강도 특성의 비교는, 353L35M4N에 발견되는 것과 유사한 크기의 인장강도 및 더 강한 항복강도를 제시하다. 이와 유사하게, 353L57M4N의 인장 특성의 비교는, 상기 353L35M4N와 마찬가지로, 25 Cr 슈퍼 듀플렉스 스테인리스강에 대해 특정화된 것과 유사하고, 22 Cr 듀플렉스 스테인리스강에 대해 특정화된 것보다 더 좋다는 것을 나타낸다.

[1147] 이는, 상기 로트353L57M4N 스테인리스강을 사용하는 적용이 줄어든 벽두께로 대부분 고안될 수 있으므로, 최소 허용설계응력이 월등하게 더 높기 때문에, 특정화된 353L57M4N 스테인리스강과, UNS S31703, S31753 및 S35315와 같은 통상적인 오스테나이트계 스테인리스강을 비교할 경우에 월등한 중량 감소를 유도하는 것을 의미한다. 사실, 상기 로트353L57M4N 스테인리스강의 최소허용설계응력은 22 Cr 듀플렉스 스테인리스강의 것보다 더 높고, 25 Cr 슈퍼 듀플렉스 스테인리스강과 유사한다.

[1149] 특정 적용을 위해서, 상기 353L57M4N 스테인리스강의 다른 변종은, 구리, 텅스텐 및 바나듐과 같은 다른 합금 원소의 특정 수준을 포함하여 제조되기 위해서 의도적으로 구성된다. 상기 353L57M4N 스테인리스강의 다른 변종의 최적 화학적 조성 범위는 선택적이고, 구리 및 바나듐의 조성은 353L35M4N 및 304LM4N 것과 동일한 것으로 이루어진다. 다른 면에서, 304LM4N에 대해 이러한 원소들에 관련된 구절은 또한, 여기서 353L57M4N에 적용가능하다.

[1151] **텅스텐 (W)**

[1152] 상기 353L57M4N 스테인리스강의 텅스텐 함량은 상기 353L35M4N 것과 유사하고, 353L35M4N에 대해 상기 언급된 바와 같이 동일한 식을 사용하여 계산된 353L57M4N의 내공식성지수, PRE_{NW}는, 다른 몰리브덴 함량에 의해서, $PRE_{NW} \geq 54.5$, 및 바람직하게는 $PRE_{NW} \geq 59.5$이다. 353L35M4N에 대한 텅스텐 효과 및 용도에 관련된 구절은 또한, 353L57M4N에 적용가능한 것은 명백하다.

[1154] 더욱이, 상기 353L57M4N은, 이전에 언급된 353H35M4N 및 35335M4N과 각각 상응하는 353H57M4N 또는 35357M4로 나타내는, 더 높은 수준의 탄소를 가질 수 있고, 이전에 언급된 상기 탄소 wt% 범위도 353H57M4N 및 35357M4N에 적용가능하다.

[1156] **티타늄 (Ti) / 니오븀 (Nb) / 니오븀 (Nb) 플러스 탄탈 (Ta)**

[1157] 더욱이, 특정 적용을 위해서, 더 높은 탄소 수준을 포함하여 제조되도록 특별히 구성되어진, 상기 353H57M4N 또는 35357M4N 스테인리스강의 다른 안정화된 변종이 선호된다. 상기 탄소는 ≥ 0.040 wt% C 및 < 0.10 wt% C, 그러나 바람직하게는 ≤ 0.050 wt% C, 또는 > 0.030 wt% C 및 ≤ 0.08 wt% C, 그러나 바람직하게는 < 0.040 wt% C일 수 있다.

[1158] (i) 이는, 일반적 353L57M4N과 비교하기 위한, 353H57M4NTi 또는 35357M4NTi로서 나타내어지는 티타늄 안정화된 버전을 포함한다. 티타늄 함량은 하기의 식에 따라 조절된다:

[1159] 상기 합금의 티타늄 안정화된 유도체을 갖도록, 각각, Ti 4 x C min, 0.70 wt% Ti max, 또는 Ti 5 x C min, 0.70 wt% Ti max ,

[1160] (ii) 또한, 니오븀 함량은 하기의 식에 따라 조절되는 니오븀 안정화된, 353H57M4NNb 또는 35357M4NNb 버전이 있다:

[1161] 상기 합금의 니오븀 안정화된 유도체를 갖기 위해서, 각각, Nb 8 x C min, 1.0 wt% Nb max, 또는 Nb 10 x C min, 1.0 wt% Nb max

[1162] (iii) 추가로, 상기 합금의 다른 변종은 니오븀 플러스 탄탈 함량이 하기의 식에 따라 조절되는 니오븀 플러스 탄탈 안정화된, 353H57M4NNbTa 또는 35357M4NNbTa 버전을 포함하도록 더 제조될 수 있다:

[1163] Nb + Ta 8 x C min, 1.0 wt% Nb + Ta max, 0.10 wt% Ta max, 또는 Nb + Ta 10 x C min, 1.0 wt% Nb + Ta max, 0.10 wt% Ta max

[1164]

[1165] 상기 합금의 티타늄 안정화된, 니오븀 안정화된 및 니오븀 플러스 탄탈 안정화된 변종은, 초기 용액 열처리 온도보다 더 낮은 온도에서 안정화 열처리가 이루어질 수 있다. 티타늄 및/또는 니오븀 및/또는 니오븀 플러스 탄탈은, 더 높은 탄소 함량이 선호되는 특정 적용을 위한 상기 합금을 최적화하도록, 원소들의 모든 다양한 조합 내에서 구리, 텅스텐 및 바나듐과 함께 또는 개별적으로 첨가될 수 있다. 이러한 합금 원소들은 상기 합금의 전체적 부식 거동을 더 개선시키고, 특정 적용을 위한 스테인리스강을 조절하도록 상기 원소들의 모든 다양한 조합으로 또는 개별적으로 이용될 수 있다.

[1167] 다른 변형과 더불어, 상기 353L57M4N 스테인리스강의 로트 및 캐스트 버전은 이전의 구현예와 동일한 방식으로 제공된다.

[1169] 기술된 구현예는 한정적인 것으로 이해될 수 없고, 다른 것이 본 발명에서 기술된 것 외에 구성될 수 있다. 예를 들어, 합금 조성물의 모든 다른 형태에 따른 오스테나이트계 스테인리스강 시리즈 및 상기 언급된 구현예들 및 이들의 변형은 특정 적용을 위해 조정된 화학적 조성으로 제조될 수 있다. 하나의 예는, Schoefer[6] 에 제안된 공식에 따라 비례하는 함량 (pro rata amount)에 의해서 니켈 함량의 수준을 줄이기 위해서, > 2.00 wt% Mn 및 ≤ 4.00 wt% Mn의 더 높은 망간 함량의 이용이다. 이는, 니켈이 매우 고가이므로, 상기 합금의 전체적 비용을 줄일 수 있다. 그러므로, 상기 니켈 함량은 상기 합금의 경제성을 최적화하는데 의도적으로 제안될 수 있다.

[1171] 상기 기술된 구현예는 본 발명에서 이미 정의된 것과 다른 기준을 만족하도록 조절될 수 있다. 예를 들어, 망간 대 질소 비율 외에도, 구현예는 또한, 특정 망간 대 탄소 + 질소 비율을 갖도록 조절된다.

[1173] 저망간 범위의 합금의 "LM4N" 형에 관련해서, ≤ 4.76, 바람직하게는 ≥ 1.37 및 ≤ 4.76의 최적 Mn 대 C+N비율을 달성한다. 더 바람직하게는, 상기 Mn 대 C+N 비율은 ≥ 1.37 및 ≤ 3.57이다. 고망간 범위의 합금의 "LM4N" 형에 관련해서, 이는 ≤ 9.52, 바람직하게는 ≥ 2.74 및 ≤ 9.52의 최적 Mn 대 C+N 비율을 달성한다. 더 바람직하게는, 이러한 고망간 합금의 "LM4N" 형태의 Mn 대 C+N 비율은 ≥ 2.74 및 ≤ 7.14, 더욱더 바람직하게는 상기 Mn 대 C+N 비율은 ≥ 2.74 내지 ≤ 5.95이다. 현재의 구현예들은 하기를 포함한다: 304LM4N, 316LM4N, 317L35M4N, 317L57M4N, 312L35M4N, 312L57M4N, 320L35M4N, 320L57M4N, 326L35M4N 및 326L57M4N, 351L35M4N, 351L57M4N, 353L35M4N, 353L57M4N 형태의 합금 및 0.030 wt%까지의 탄소 최대치를 포함할 수 있는 이들의 변형.

[1175] "HM4N"에 관련해서, 저망간 범위의 합금의 형태로서, 이는, ≤ 4.55, 바람직하게는≥ 1.25 및 ≤ 4.55의 최적 Mn 대 C+N 비율 를 달성한다. 더 바람직하게는, 상기 Mn 대 C+N 비율은 ≥ 1.25 및 ≤ 3.41이다. 상기 고망간 범위의 합금의 "HM4N" 형태에 관련해서, 이는, ≤ 9.10, 바람직하게는 ≥ 2.50 및 ≤ 9.10의 최적 Mn 대 C+N 비율을 달성한다. 더 바람직하게는, 이러한 고망간 합금의 "HM4N" 형태의 Mn 대 C+N 비율은 ≥ 2.50 및 ≤ 6.82, 더욱더 바람직하게는 상기 Mn 대 C+N 비율은 ≥ 2.50 내지 ≤ 5.68이다. 현재의 구현예는 다음을 포함한다: 304HM4N, 316HM4N 317H57M4N, 317H35M4N, 312H35M4N, 312H57M4N, 320H35M4N, 320H57M4N, 326H35M4N, 326H57M4N, 351H35M4N, 351H57M4N, 353H35M4N 및 353H57M4N 형태의 합금 및 0.040 wt% 내지 0.10 wt% 의 탄소를 포함할 수 있는 이들의 변형.

[1177] 저망간 범위의 합금의 "M4N" 형태에 관련해서, 이는, ≤ 4.64, 바람직하게는 ≥ 1.28 및 ≤ 4.64의 최적 Mn 대 C+N 비율을 달성한다. 더 바람직하게는, 상기 Mn 대 C+N 비율은 ≥ 1.28 및 ≤ 3.48이다. 고망간 범위의 합금의 "M4N" 형태에 관련해서, 이는 ≤ 9.28, 바람직하게는 ≥ 2.56 및 ≤ 9.28의 최적 Mn 대 C+N 비율을 달성한다. 더 바람직하게는, 이러한 고망간 합금의 "HM4" 형태에 대한 상기 Mn 대 C+N 비율은 ≥ 2.56 및 ≤ 6.96, 더욱더 바람직하게는 상기 Mn 대 C+N 비율은 ≥ 2.56 내지 ≤ 5.80이다. 현재의 구현예는 다음을 포함한다: 304M4N, 316M4N 31757M4N, 31735M4N, 31235M4N, 31257M4N, 32035M4N, 32057M4N, 32635M4N, 32657M4N, 35135M4N, 35157M4N, 35335M4N 및 35357M4N 형태의 합금 및 0.030 wt% 내지 0.080 wt%의 탄소를 포함할 수 있는 이들의 변형.

[1179] 본 발명에서 언급된 다른 변형뿐 아니라, "LM4N", "HM4N" 및 "M4N" 형태의 합금을 포함하는 N'GENIUS ™ 고강도 오스테나이트계 및 슈퍼 오스테나이트계 스테인리스강의 시리즈는, 완성된 시스템을 위한 제품 패키지 및 제품의 범위로 활용되고 특정화될 수 있다.

[1181] 특정 합금 조성물 형태를 위한 하나의 원소 (예를 들어, 크롬, 니켈, 몰리브덴, 탄소 및 질소 등)에 대해 특정화된 화학 조성 범위 및 이들의 변형은, 또한, 다른 합금 조성물 형태 및 이의 변형 내의 원소에 적용가능할 수 있다.

[1183] **제품, 시장, 산업 부문 및 적용**

[1184] N'GENIUS ™ 고강도 오스테나이트계 및 슈퍼 오스테나이트계 스테인리스강의 제안된 시리즈는, 전면 및 국소 부식에 대한 좋은 저항성 및 좋은 용접성과 더불어, 상온 및 초저온에서 우수한 연성, 인성 및 고기계적 강도 특성면에서 오프쇼어 및 온쇼어 둘 다에 활용되는 제품 영역에 이용되고, 국제적 표준 및 규격으로 특정화될 수 있다.

[1186] **제품**

[1187] 제품은 하기와 같은 1차 및 2차 제품을 포함할 수 있고, 이에 제한하는 것은 아니다:

[1188] 잉곳 (Ingots), 연속주조슬라브 (Continuous Cast Slabs), 롤스켈프 (Rolled Skelps), 블룸 (Blooms), 빌릿 (Billet), 바 (Bar), 플랫바 (Flat Bar), 쉐이퍼 (Shapes), 로드 (Rod), 와이어 (Wire), 용접봉 (Welding wire), 용접재료 (Welding Consumables), 플레이트 (Plate), 시트 (Sheet), 스트립 (Strip) 및 코일 스트립 (Coiled Strip), 포어지징스 (Forgings), 고정 캐스팅 (Static Castings), 다이 캐스팅 (Die Castings), 원심 캐스팅 (Centrifugal Castings), 분말야금제품 (Powder Metallurgical Products), 고온등압압축성형 (Hot Isostatic Pressings), 심리스라인파이프 (Seamless Line Pipe), 심리스파이프 (Seamless Pipe) 및 튜브, 프릴 파이프 (Drill Pipe), 유정용강관 (Oil Country Tubular Goods), 캐스팅 (Casings), 응측 및 전열관 (Condenser and Heat Exchanger Tubes), 용접강관 (Welded Line Pipe), 용접관 및 튜브 (Welded Pipe and Tube), 관제품 (Tubular Products), 인덕션 벤드 (Induction Bends), 맞대기 용접 이음쇠 (Butt Welded Fittings), 심리스이음쇠 (Seamless Fittings), 잠금장치 (Fasteners), 추대 (Bolting), 나사 및 스터드 (Screws and Studs), 냉간 및 냉연 바 (Cold Drawn and Cold Reduced Bar), 로드 (Rod) 및 와이어 (Wire), 냉간 및 냉연 파이프 및 튜브 (Cold Drawn and Cold Reduced Pipe and Tube), 플랜지 (Flanges), 소형 플랜지 (Compact Flanges), 클램-락 커넥터 (Clamp-Lock Connectors), 단조 이음쇠 (Forged Fittings), 펌프 (Pumps), 밸브 (Valves), 분리기 (Separators), 베슬 (Vessels) 및 보조제품 (Ancillary Products). 또한, 상기 언급된 1차 및 2차 제품은, 금속학적 접합 제품 (Metallurgically Clad Products, 예를 들어, 열-금속학적결합 (Thermo-Mechanically Bonded), 열롤결합 (Hot Roll Bonded), 폭발성 결합 (Explosively Bonded) 등), 용접 오버레이접합 제품 (Weld Overlayed Clad Products), 기계적라이닝제품 (Mechanically Lined Products) 또는 유압식 라이닝 제품 (Hydraulically Lined Products) 또는 CRA 라이닝 제품 (CRA Lined Products)에 관련된다.

[1190] 상기 언급된 수많은 다른 합금 조성물로부터 이해될 수 있는 바와 같이, 제안된 N'GENIUS™ 고강도오스테나이트계 및 슈퍼 오스테나이트계 스테인리스강은, 광범위한 적용 범위 내에서 다양한 시장 및 산업 분야에 이용되고, 특정화될 수 있다. 월등한 무게 감소 및 제조 시간 절약은, 즉, 전체적 건설비에서 월등한 비용 절감을 유도하는 이러한 합금이 활용될 때 달성될 수 있다.

[1192] **시장, 산업 분야 및 적용**

[1193] 상류 및 하류의 오일 및 가스 산업 (온쇼어 및 오프쇼어 포함 천해, 심해 및 울트라 심해기술), 완제품 적용 (Finished Product Applications)은 다음을 포하고, 이에 제한하는 것은 아니다:

[1195] 온쇼어 및 오프쇼어 파이프라인은, 인필드파이프라인 (Interfield Pipelines) 및 유선 (Flowlines), 인필드파이프라인 및 유선, 버클피뢰기 (Buckle Arrestors), 염화물, CO_2 and H_2S, 및 다른 성분들을 포함하는 응축물, 가스 및 오일과 같은 다상의 유체 (multiphase fluids)용 고압고온파이프라인 (High Pressure and High Temperature, HPHT Pipelines)을 포함한다. 해수침투 (Seawater Injection) 및 지층수 투입 파이프라인 (Formation Water Injection Pipelines), 서브시생산시스템장치 (Subsea Production System Equipment), 매니폴드 (Manifolds), 점퍼 (Jumpers), 타이인 (Tie-ins), 스풀 (Spools), 피깅룹스 (Pigging Loops), 터뷸러 (Tubulars), OCTG 및 캐스팅, 스틸커티너리라이저 (Steel Catenary Risers), 라이저파이프 (Riser Pipes), 구조적스프래시존라이저파이프 (Structural Splash Zone Riser Pipes), 리버 (River) 및 수로크로싱 (Waterway Crossings), 밸브 (Valves), 펌프 (Pumps), 분리기 (Separators), 베슬 (Vessels), 여과시스템 (Filtration Systems), 포깅 (Forgings), 잠금장치 (Fasteners) 및 모든 관련된 보조 제품 및 장치.

[1197] 파이핑 패키지 시스템: 모든 형태의 온쇼어 및 오프쇼어 적용으로 활용할 수 있는, 프로세스시스템 (Process systems) 및 공익산업시스템 (Utilities systems), 해수냉각시스템 (Seawater Cooling systems) 및 화주 시스템 (Firewater systems). 오프쇼어 적용은, 프로세스플랫폼 (Process Platforms), 공익사업플랫폼 (Utilities Platforms), 웰헤드플랫폼 (Wellhead Platforms), 수직관플랫폼 (Riser Platforms), 압축 플랫폼 (Compression Platforms), FPSO's, FSO's, SPA 및 헐 기반시설 (Hull Infrastructure)와 같은 헐 (Hulls), SPA's, 부유 플랫폼 (Floating Platforms) 및 고정 플랫폼 (Fixed Platforms), 제작 (Fabrications), 제작된 모듈 (Fabricated Modules) 및 모든 관련된 보조 제품 및 장치를 포함하고, 이에 제한하는 것은 아니다.

[1199] 튜빙패키지시스템 (Tubing Package Systems): 엄빌리컬즈 (Umbilicals), 냉각기 (Condensers), 열교환기 (Heat Exchangers), 탈염 (Desalination), 탈황 (Desulphidation) 및 모든 관련된 보조 제품 및 장치.

[1201] **LNG 산업**

[1202] 완제품 적용은 다음의 기재사항을 포함하고, 이에 제한하는 것은 아니다:

[1203] 파이프라인 및 파이핑 패키지 시스템 사회기반시설, 구조물, 구조화된 모듈, 밸브, 베슬, 펌프, 여과시스템, 포깅, 잠금장치 및 초저온에서 액화천연가스 (LNG)의 운반, 저장 및 처리를 위한 터미널뿐만 아니라, 온쇼어 액화천연가스 (LNG)플래트, 선박 (Ships) 및 베슬 (Vessels) 또는 오프쇼어 부유식 액화천연가스 (FLNG) 베슬, FSRU's의 제작에 이용되는 모든 관련된 보조 제품 및 장치.

[1205] **화학 공정, 석유화학, GTL 및 정제산업**

[1206] 완제품 적용은 다음의 기재사항을 포함하고, 이에 제한하는 것은 아니다:

[1207] 전형적으로 수소화 처리를 하는 사람 (Hydro Treaters), 대기식 냉각탑 및 진공타워에서 발견되는 화학물을 포함하는 산, 알칼리 및 다른 부식성 액체뿐만 아니라, 화학적 공정, 석유화학, 지티엘 (Gas to Liquids) 및 정제 산업에 따른 부식 공격성액의 운송 및 처리를 위해 사용되는 레일 및 로드 화학적 운반선 (Rail and Road Chemical Tankers)에 포함되는,파이프라인 및 파이핑 패키지 시스템, 사회기반시설, 구조물, 구조화된 모듈, 밸브, 펌프, 베슬, 여과시스템, 포깅, 잠금장치 및 모든 관련된 보조 제품 및 장치.

[1209] **환경 보호 산업**

[1210] 완제품 적용은 다음의 기재사항을 포함하고, 이에 제한하는 것은 아니다:

[1211] 예를 들어, 연도가스 탈황, CO_2의 컨테인먼트 및 증기회수펌프와 같은 오염 조절, 화학공정 및 정제 산업에 따른 습식성 유독가스 및 폐기물에 이용되는 파이프라인 및 파이핑 패키지 시스템, 사회기반시설, 구조물, 구조화된 모듈, 밸브, 펌프, 베슬, 여과시스템, 포깅, 잠금장치 및 모든 관련된 보조 제품 및 장치.

[1214] **철광 산업**

[1215] 완제품 적용은 다음의 기재사항을 포함하고, 이에 제한하는 것은 아니다:

[1216] 철 및 강철의 처리 및 제조에 이용되는, 파이프라인 및 파이핑 패키지 시스템, 사회기반시설, 구조물, 구조화된 모듈, 밸브, 펌프, 베슬, 여과시스템, 포깅, 잠금장치 및 모든 관련된 보조 제품 및 장치.

[1218] **광업산업**

[1219] 완제품 적용은 다음의 기재사항을 포함하고, 이에 제한하는 것은 아니다:

[1220] 광물 탈수 (mine dewatering)뿐만 아니라 부식성 슬러리의 운송용 및 채광 및 미네랄 추출을 위해 이용되는, 파이프라인 및 파이핑 패키지 시스템, 사회기반시설, 구조물, 구조화된 모듈, 밸브, 펌프, 베슬, 여과시스템, 포깅, 잠금장치 및 모든 관련된 보조 제품 및 장치

[1222] **전력산업**

[1223] 완제품 적용은 다음의 기재사항을 포함하고, 이에 제한하는 것은 아니다:

[1224] 예를 들어, 화석연료, 가스 연료, 핵연료, 지열발전, 수력발전 및 모든 다른 형태의 전력 산업과 같은 전력 발전에 관련된 부식성 매체의 운송 및 전력 생성에 이용되는, 파이프라인 및 파이핑 패키지 시스템, 사회기반시설, 구조물, 구조화된 모듈, 밸브, 펌프, 베슬, 여과시스템, 포깅, 잠금장치 및 모든 관련된 보조 제품 및 장치.

[1226] **펄프 및 제지 산업**

[1227] 완제품 적용은 다음의 기재사항을 포함하고, 이에 제한하는 것은 아니다:

[1228] 펄프 표백 플랜트 내에 공격성 액체의 운송용 및 펄프 및 제지 산업에 이용되는, 파이프라인 및 파이핑 패키지 시스템, 사회기반시설, 구조물, 구조화된 모듈, 밸브, 펌프, 베슬, 여과시스템, 포깅, 잠금장치 및 모든 관련된 보조 제품 및 장치.

[1230] **담수화산업**

[1231] 완제품 적용은 다음의 기재사항을 포함하고, 이에 제한하는 것은 아니다:

[1232] 담수화산업 (Desalination Industries) 및 담수화 플랜트 내로 사용된 소금물 및 해수물의 수송에 이용되는, 파이프라인 및 파이핑 패키지 시스템, 사회기반시설, 구조물, 구조화된 모듈, 밸브, 펌프, 베슬, 여과시스템, 포깅, 잠금장치 및, 모든 관련된 보조 제품 및 장치.

[1234] **해양, 해군 및 방위 산업**

[1235] 완제품 적용은 다음의 기재사항을 포함하고, 이에 제한하는 것은 아니다:

[1236] 잠수함, 선박회사, 화학제품운반선을 위한 파이핑 시스템 설비 (utilities piping systems) 및 오염물질 (aggressive media)의 운송을 위한 해양해군 및 방위 산업에 이용되는, 파이프라인 및 파이핑 패키지 시스템, 구조물, 구조화된 모듈, 밸브, 펌프, 베슬, 여과시스템, 포깅, 잠금장치 및 모든 관련된 보조 제품 및 장치.

[1237]

[1238] **수도 및 하수 산업**

[1239] 완제품 적용은 다음의 기재사항을 포함하고, 이에 제한하는 것은 아니다:

[1240] 우물, 공익적 유통망, 하수망 및 관개 시스템을 위한 케이싱파이프 (Casing Pipe)를 포함하는 수도 및 하수 산업에 이용되는, 파이프라인 및 파이핑 패키지 시스템, 사회기반시설, 구조물, 구조화된 모듈, 밸브, 펌프, 베슬, 여과시스템, 포깅, 잠금장치 및 모든 관련된 보조 제품 및 장치.

[1242] **건축학적, 공학기술 및 건설 산업**

[1243] 완제품 적용은 다음의 기재사항을 포함하고, 이에 제한하는 것은 아니다:

[1244] 건축학적, 토목 및 기계공학; 및 건설산업에서 구조 건전성 및 장식적 적용에 활용되는, 파이프, 파이핑, 사회기반시설, 구조물, 포깅 및 잠금장치 및 모든 관련된 보조 제품 및 장치.

[1246] **식품 및 양조산업 (Brewing Industries)**

[1247] 완제품 적용은 다음의 기재사항을 포함하고, 이에 제한하는 것은 아니다:

[1248] 식품 및 음료 산업뿐만 아니라, 관련 소비재에 이용되는, 파이프라인 및 파이핑 패키지 시스템, 사회기반시설, 구조물, 구조화된 모듈, 밸브, 펌프, 베슬, 여과시스템, 포깅, 잠금장치 및 모든 관련된 보조 제품 및 장치.

[1250] **약학, 바이오-화학, 건강 및 메디컬 산업**

[1251] 완제품 적용은 다음의 기재사항을 포함하고, 이에 제한하는 것은 아니다:

[1252] 약학, 바이오-화학, 건강 및 메디컬 산업뿐만 아니라, 관련 소비재에 이용되는, 파이프라인 및 파이핑 패키지 시스템, 사회기반시설, 구조물, 구조화된 모듈, 밸브, 펌프, 베슬, 여과시스템, 포깅, 잠금장치 및 모든 관련된 보조 제품 및 장치.

[1254] **자동차산업**

[1255] 완성된 제품 적용은 다음을 포함하고, 이에 제한하는 것은 아니다:

[1256] 지표 및 지하 대량 수송 수단시스템뿐만 아니라 로드 및 레일 적용을 위한 교통수단의 제조를 포함하는 자동차 산업에서 사용되는, 파이프라인 및 파이핑 패키지 시스템, 사회기반시설, 구조물, 구조된 모듈, 밸브, 펌프, 베슬, 여과시스템, 포깅, 잠금장치, 부품 및 모든 관련된 보조 제품 및 장치.

[1258] **스페셜리스트 리서치 및 개발 산업**

[1259] 완성된 제품 적용은 다음을 포함하고, 이에 제한하는 것은 아니다:

[1260] 스페셜리스트 리서치 및 개발산업 (Development Industries)에서 이용되는, 파이프라인 및 파이핑 패키지 시스템, 사회기반시설 (Infrastructure), 구조물 (Fabrications), 구조된 모듈 (Fabricated modules), 밸브 (Valves), 펌프 (Pumps), 베슬 (Vessels), 여과시스템 (Filtration Systems), 포깅 (Forgings), 잠금장치 (Fasteners) 및 모든 관련된 보조 제품 및 장치.

[1262] 본 발명은 오스테나이트계 스테인리스강에 관련되고, 각각의 고안된 합금에 대한 최소규정 내공식성지수 및 고수준의 질소를 포함한다. PRE_N로 나타내어지는 상기 내공식성지수는 다음의 식에 따라 계산된다:

[1263] PRE_N = %Cr + (3.3 x %Mo) + (16 x %N); 및/또는

[1264] PRE_{NW} = %Cr + [3.3 x % (Mo + W)] + (16 x % N),

[1265] 이는, 상기 언급한 바와 같이, 각각의 고안된 합금 형태에 적용가능한다.

[1267] 오스테나이트계 스테인리스강 및/또는 슈퍼 오스테나이트계 스테인리스강의 다른 형태 또는 다른 구현예를 위한 저탄소 범위의 합금은, 304LM4N, 316LM4N, 317L35M4N, 317L57M4N, 312L35M4N, 312L57M4N, 320L35M4N, 320L57M4N, 326L35M4N, 326L57M4N, 351L35M4N, 351L57M4N, 353L35M4N 및 353L57M4N으로 나타낼 수 있고, 이들 중 다른 변형들은 개시되었다. 기술된 구현예에서, 오스테나이트계 스테인리스강 및/또는 슈퍼 오스테나이트계 스테인리스강은, 16.00 wt%의 크롬 내지 30.00 wt%의 크롬; 8.00 wt%의 니켈 내지 27.00 wt%의 니켈; 7.00 wt% 이하 (no more than)의 몰리브덴 및 0.70 wt%이하의 질소, 그러나 바람직하게는 0.40 wt%의 질소 내지 0.70 wt%의 질소를 포함한다. 더 낮은 탄소 범위의 합금에 대해서, 이는 0.030 wt%이하의 탄소를 포함한다. 더 낮은 망간 범위의 합금에 대해서, 이는 5.0 이하, 바람직하게는 최소 1.42 및 5.0 이하, 또는 더 바람직하게는 최소 1.42 및 3.75 이하로 조절되는 망간 대 질소 비율로, 2.00 wt% 이하의 망간을 포함한다. 더 높은 망간 범위의 합금에 대해서, 이는, 10.0 이하 및 바람직하게는 최소 2.85 및 10.0 이하; 또는 더 바람직하게는 2.85 최소 및 7.50 이하; 또는 더욱 바람직하게는 2.85 최소 및 6.25 이하; 또는 더욱더 바람직하게는 최소 2.85 및 5.0 미만; 또는 더욱더 바람직하게는, 최소 2.85 및 3.75 이하로 조절되는 망간 대 질소 비율을 갖는 4.00 wt% 이하의 망간을 포함한다. 인의 수준은 0.030 wt% 이하의 인이고, 가능한 낮게 조절되어 0.010 wt% 이하의 인일 수 있다. 황의 수준은 0.010 wt% 이하의 황이고, 가능한 낮게 조절되어 0.001 wt% 이하의 황일 수 있다. 합금 내에서 산소의 수준은 0.070 wt%의 산소 이하이고, 가능한 낮게 결정적으로 조절되어 0.005 wt%이하의 산소일 수 있다. 합금의 실리콘 수준은 개선된 산화 저항성이 요구되는 특정의 더 높은 온도 적용을 제외하고, 0.75 wt% 이하의 실리콘이며, 상기 실리콘 함량이 0.75 wt%의 실리콘 내지 2.00 wt%의 실리콘일 수 있다. 특정 적용을 위해서, 상기 스테인리스강 및 슈퍼 오스테나이트계 스테인리스강의 다른 변종은, 더 낮은 구리 범위의 합금을

위해 1.50 wt% 이하의 구리의 구리 및 더 높은 구리 범위의 합금을 위한 3.50 wt% 이하의 구리의 구리, 2.00 wt% 이하의 텅스텐의 텅스텐 및 0.50 wt% 이하의 바나듐의 바나듐과 같은 특정 수준의 다른 합금 원소들을 포함하여 제조되도록 의도적으로 구성된다. 또한, 상기 오스테나이트계 스테인리스강 및 슈퍼 오스테나이트계 스테인리스강은 주로 잔여부로서 Fe를 포함하고, 0.010 wt% 이하의 붕소, 0.10 wt% 이하의 세륨, 0.050 wt% 이하의 알루미늄 및 0.010 wt% 이하의 칼슘 및/또는 마그네슘과 같은 소량의 다른 원소를 더 포함할 수 있다. 상기 오스테나이트계 스테인리스강 및 슈퍼 오스테나이트계 스테인리스강은, 전면 및 국소 부식에 대한 좋은 저항성 및 좋은 용접성과 함께, 우수한 연성 및 인성을 갖는 높은 기계적 강도 특성과의 독특한 조합을 포함하도록 구성되어졌다. 상기 스테인리스강 및 슈퍼 오스테나이트계 스테인리스강의 화학적 분석은, 전형적으로 1100 ℃ - 1250 ℃ 범위 내에서 수행되고, 이어서 수냉되는 용액 열처리 이후 베이스 물질에서 오스테나이트의 미세구조를 주로 획득하기 위해서, Schoefer[6]에 따른 [Ni] 당량으로 나눈 [Cr] 당량 비율이 범위 > 0.40 및 < 1.05, 또는 바람직하게는 > 0.45 및 < 0.95의 범위에 있는 것을 보장하도록 용융 단계에서 최적화되어 특징지어진다. 용접된 상태의 용접 금속 및 용접의 열영향부와 함께, 용액 열처리된 상태에서 베이스 물질의 미세 구조는, 상기 합금이 오스테나이트인 것을 우선적으로 보장하도록 오스테나이트 형성 원소 및 페라이트 형성 원소들 간에 밸런스를 최적화하여 조절된다. 그러므로, 상기 합금이 비자성 상태로 제조되고, 공급될 수 있다. 신규하고 획기적인 스테인리스강 및 슈퍼 오스테나이트계 스테인리스강의 최소 규정 (minimum specified)기계적 강도 특성은, UNS S30403, UNS S30453, UNS S31603, UNS S31703, UNS S31753, UNS S31254, UNS S32053, UNS S32615, UNS S35115 및 UNS S35315와 같은 오스테나이트계 스테인리스강을 포함하는 각각의 비교대상과 비교하여 월등하게 개선되었다. 더욱이, 최소규정 인장 강도 특성은, 22 Cr 듀플렉스 스테인리스강 (UNS S31803)에 대해 규정된 것보다 좋고, 25 Cr 슈퍼 듀플렉스 스테인리스강 (UNS S32760)에 대해 규정된 것과 유사하다. 이는, 로트 스테인리스강을 이용하는 다른 적용을 위한 시스템 구성요소는 상기 합금이 대부분 줄어든 벽두께로 설계가능하도록 특징지어지고, 그 결과, 최소허용설계응력이 월등하게 더 높을 수 있기 때문에, 본 발명에서 구체적으로 기술된 것과 같은, 통상적인 오스테나이트계 스테인리스강과 특정화된 스테인리스강이 비교될 경우에, 월등한 무게 감소를 유도하는 것을 의미한다. 즉, 로트 오스테나이트계 스테인리스강의 최소허용설계응력은 22 Cr 듀플렉스 스테인리스강에 대해 규정된 것에 비하여 더 높고, 25 Cr 슈퍼 듀플렉스 스테인리스강에 대해 규정된 것과 유사할 수 있다.

[1269] 특정 적용을 위해서, 오스테나이트계 스테인리스강 및 슈퍼 오스테나이트계 스테인리스강의 다른 변종은 본 발명에서 이미 정의된 것에 비하여 더 높은 탄소 수준을 포함하여 제조되도록 특별히 구성되었다. 오스테나이트계 스테인리스강 및 슈퍼 오스테나이트계 스테인리스강의 다른 형태를 위한 더 높은 탄소 범위의 합금은, 304HM4N, 316HM4N, 317H35M4N, 317H57M4N, 312H35M4N, 312H57M4N, 320H35M4N, 320H57M4N, 326H35M4N, 326H57M4N, 351H35M4N, 351H57M4N, 353H35M4N 및 353H57M4N으로 나타내어지고, 이러한 합금 형태는 탄소 0.040 wt%에서 탄소 0.10 wt% 미만까지 포함한다. 반면에, 304M4N, 316M4N, 31735M4N, 31757M4N, 31235M4N, 31257M4N, 32035M4N, 32057M4N, 32635M4N, 32657M4N, 35135M4N, 35157M4N, 35335M4N 및 35357M4N형태의 합금은 0.030 wt% 이상의 탄소에서 0.080 wt%까지의 탄소를 포함한다.

[1271] 더욱이, 특정 적용을 위해서, 안정화된 버전으로 제조되도록 특별히 구성되어진 오스테나이트계 스테인리스강 및 슈퍼 오스테나이트계 스테인리스강을 위한 합금의 더 높은 탄소 범위의 다른 변종이 선호된다. 상기 오스테나이트계 스테인리스강 및 슈퍼 오스테나이트계 스테인리스강의 이러한 특정 변종은 티타늄 함량이 다음의 식에 따라 조절되는 티타늄 안정화된 "HM4NTi" 또는 "M4NTi" 형태의 합금이다: 상기 합금의 티타늄 안정화된 유도체를 갖도록, 각각, Ti 4 x C min, 0.70 wt% Ti max, 또는 Ti 5 x C min, 0.70 wt% Ti max 이다. 유사하게는, 니오븀 함량이 하기의 식에 따라 조절되는, 니오븀 안정화된 "HM4NNb" 또는 "M4NNb" 형태의 합금이 있다: 니오븀 안정화된 합금를 갖기 위해서, 각각 Nb 8 x C min, 1.0 wt% Nb max, 또는 Nb 10 x C min, 1.0 wt% Nb max 이다. 추가로, 상기 합금의 다른 변종은, 또한, 상기 니오븀 플러스 탄탈 함량이 다음의 식에 따라 조절되는 니오븀 플러스 탄탈 안정화된 "HM4NNbTa" 또는 "M4NNbTa" 형태의 합금을 포함하도록 제조될 수 있다: Nb + Ta 8 x C min, 1.0 wt% Nb + Ta max, 0.10 wt% Ta max, 또는 Nb + Ta 10 x C min, 1.0 wt% Nb + Ta max, 0.10 wt% Ta max. 티타늄 안정화된, 니오븀 안정화된 및 니오븀 플러스 탄탈 안정화된 상기 합금의 변종은 초기 용액 열처리 온도보다 더 낮은 온도에서 안정화 열처리가 이루어질 수 있다. 또한, 티타늄, 및/또는 니오븀 및/또는 니오븀 플러스 탄탈은, 더 높은 탄소 함량이 선호되는 특정 적용을 위한 합금을 최적하기 위해서, 구리, 텅스텐 및 바나듐과 같은 이러한 원소들의 모든 다양한 조합으로 조합하거나 또는 개별적으로 첨가될 수 있다. 이러한

합금 원소들은, 특정 적용을 위한 오스테나이트계 스테인리스강을 조절하고, 더욱이, 상기 합금의 전체적 부식 거동을 최적화하기 위해서, 원소들의 모든 다양한 조합으로 또는 개별적으로 이용될 수 있다.

[1273] 참조문헌

[1274] 1. A. J. Sedriks, Stainless Steels'84, Proceedings of Goeborg Conference, Book No 320. The Institute of Metals, 1 Carlton House Terrace, London SW1Y 5DB, p. 125, 1985.

[1275] 2. P. Guha and C.A. Clark, Duplex Stainless Steel Conference Proceedings, ASM Metals/Materials Technology Series, Paper (8201-018) p. 355, 1982.

[1276] 3. N. Bui, A. Irhzo, F. Dabosi and Y. Limouzin-Maire, Corrosion NACE, Vol. 39, p. 491, 1983.

[1277] 4. A. L. Schaeffler, Metal Progress, Vol. 56, p. 680, 1949.

[1278] 5. C. L. Long and W. T. DeLong, Welding Journal, Vol. 52, p. 281s, 1973.

[1279] 6. E. A. Schoefer, Welding Journal, Vol. 53, p. 10s, 1974.

[1280] 7. ASTM A800/A800M-10