



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2016-0117210
(43) 공개일자 2016년10월10일

- | | |
|---|---|
| <p>(51) 국제특허분류(Int. Cl.) C22C 9/06 (2006.01) B21B 1/02 (2006.01) C22C 1/02 (2006.01) C22F 1/08 (2006.01)</p> <p>(52) CPC특허분류 C22C 9/06 (2013.01) B21B 1/024 (2013.01)</p> <p>(21) 출원번호 10-2016-0034476 (22) 출원일자 2016년03월23일 심사청구일자 2016년03월23일</p> <p>(30) 우선권주장 JP-P-2015-069033 2015년03월30일 일본(JP) JP-P-2016-045525 2016년03월09일 일본(JP)</p> | <p>(71) 출원인 제이엑스금속주식회사 일본 도쿄도 지요다쿠 오테마치 1초메 1방 2고</p> <p>(72) 발명자 구와가키 히로시 일본 이바라키켄 히타치시 시로가네쵸 1-1-2 제이엑스 킨조쿠 가부시키키가이샤 기쥬즈가이하츠센타나이</p> <p>(74) 대리인 특허법인코리아나</p> |
|---|---|

전체 청구항 수 : 총 4 항

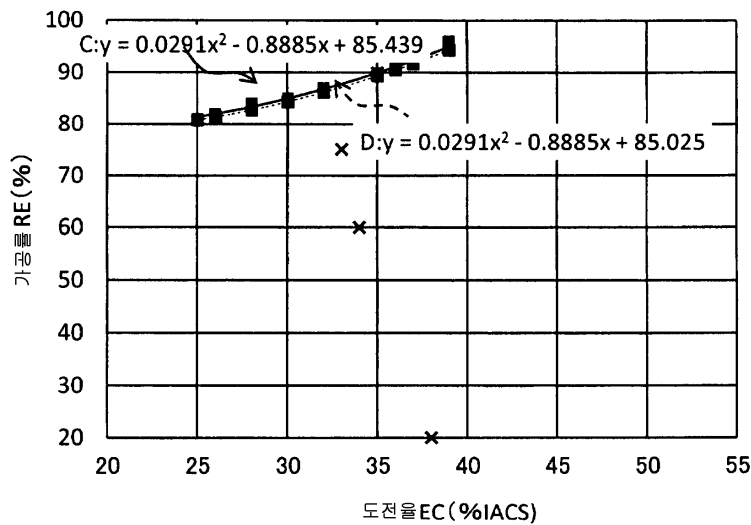
(54) 발명의 명칭 Cu-Ni-Si 계 압연 구리 합금 및 그 제조 방법

(57) 요약

[과제] 강도, 도전율 및 피로 특성이 모두 우수한 Cu-Ni-Si 계 압연 구리 합금을 제공한다.

[해결 수단] 질량% 로, Ni 와 Co 의 균에서 선택되는 적어도 1 종 이상을 총량으로 3.0 ~ 4.5 %, Si : 0.6 ~ 1.0 % 함유하고, 잔부가 Cu 및 불가피 불순물로 이루어지고, 압연 직각 방향의 0.2 % 내력 YS 가 1040 MPa 이상인 Cu-Ni-Si 계 압연 구리 합금이다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

C22C 1/02 (2013.01)

C22F 1/08 (2013.01)

명세서

청구범위

청구항 1

질량% 로, Ni 와 Co 의 군에서 선택되는 적어도 1 종 이상을 총량으로 3.0 ~ 4.5 %, Si : 0.6 ~ 1.0 % 함유하고, 잔부가 Cu 및 불가피 불순물로 이루어지고,

압연 직각 방향의 0.2 % 내력 YS 가 1040 MPa 이상인 Cu-Ni-Si 계 압연 구리 합금.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

추가로, Mg, Mn, Sn, Zn 및 Cr 의 군에서 선택되는 적어도 1 종 이상을 총량으로 0.005 ~ 2.5 질량% 함유하는 Cu-Ni-Si 계 압연 구리 합금.

청구항 3

제 1 항에 있어서,

추가로, P, B, Ti, Zr, Al, Fe 및 Ag 의 군에서 선택되는 적어도 1 종 이상을 총량으로 0.005 ~ 1.0 질량% 함유하는 Cu-Ni-Si 계 압연 구리 합금.

청구항 4

제 1 항 내지 제 3 항 중 어느 한 항에 기재된 Cu-Ni-Si 계 압연 구리 합금의 제조 방법으로서,

질량% 로, Ni 와 Co 의 군에서 선택되는 적어도 1 종 이상을 총량으로 3.0 ~ 4.5 %, Si : 0.6 ~ 1.0 % 함유하고, 추가로 필요에 따라 Mg, Mn, Sn, Zn 및 Cr 의 군에서 선택되는 적어도 1 종 이상을 총량으로 0.005 ~ 2.5 질량% 함유하고, 및/또는 P, B, Ti, Zr, Al, Fe 및 Ag 의 군에서 선택되는 적어도 1 종 이상을 총량으로 0.005 ~ 1.0 질량% 함유하고, 잔부가 Cu 및 불가피 불순물로 이루어지는 주괴를 열간 압연, 냉간 압연, 용체화 처리, 시효 처리, 시효 후 냉간 압연, 변형 제거 어닐링의 순서로 실시하고,

상기 시효 후 냉간 압연의 가공률 RE 를 80 % 이상으로 하고,

상기 시효 후 냉간 압연 후이고 상기 변형 제거 어닐링 전의 압연 직각 방향의 도전율 EC (%IACS) 를 25 % 이상 40 % 미만으로 하고, 또한 식 1 : $RE \geq 0.0291 \times (EC)^2 - 0.8885 \times (EC) + 85.025$

를 만족하도록 상기 가공률 RE 를 설정하고,

상기 변형 제거 어닐링을 200 ~ 500 °C 에서 1 ~ 1000 초간 실시하는 Cu-Ni-Si 계 압연 구리 합금의 제조 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은, 예를 들어 커넥터, 단자, 릴레이, 스위치 등의 도전성 스프링재에 바람직한 Cu-Ni-Si 계 압연 구리 합금 및 그 제조 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 종래부터, 단자나 커넥터의 재료로서, 고용 강화형 합금인 황동이나 인청동이 사용되어 왔다. 그런데, 전자 기기의 경량화 및 소형화에 수반하여, 단자나 커넥터는 박육화, 소형화되고, 이들에 사용되는 재료에는 고강도, 고굽힘성 및 우수한 피로 특성이 요망되고 있다.

[0003] 특히 단자나 커넥터 등에 요구되는 피로 특성으로서, S-N 곡선에 있어서의 비교적 반복 횟수가 적고, 반복 응력

이 높은 영역에서의 피로 수명의 향상을 들 수 있다. 이것은, 커넥터의 저배화(低背化)에 수반하여, 큰 변위, 즉 응력이 높아지는 설계가 되는 경우가 많아지고 있기 때문이다.

[0004] 일반적으로 합금의 강도를 높이면 피로 강도가 향상되는 것이 알려져 있고, 석출 강화에 의해 강도를 향상시킨 Cu-Ni-Si 계 구리 합금(코르손 구리 합금)이 개발되어 있다(특허문헌 1). 또, 합금 중에 압연 등에 의해 압축 잔류 응력을 부여함으로써, 피로 크랙의 발생을 억제하여 피로 수명을 증대시킨 Cu-Ni-Si 계 구리 합금이 개발되어 있다(특허문헌 2). 또한, Cube 방위 {001} <100>의 비율을 5 ~ 50 %로 높임으로써, 크랙의 발생을 억제하여 피로 수명을 증대시킨 Cu-Ni-Si 계 구리 합금이 개발되어 있다(특허문헌 3).

선행기술문헌

특허문헌

- [0005] (특허문헌 0001) 국제공개공보 W02011/068134호 (표 1)
- (특허문헌 0002) 일본 특허공보 제4255330호
- (특허문헌 0003) 일본 공개특허공보 2011-12321호

발명의 내용

해결하려는 과제

[0006] 그러나, Cu-Ni-Si 계 구리 합금의 고강도화와, 그것에 따른 피로 특성의 개선에는 한계가 있었다. 예를 들어, 특허문헌 1에는 Cu-Ni-Si 계 구리 합금의 강도(0.2 % 내력)로서 최대 1000 MPa의 예가 기재되어 있는 하지만(특허문헌 1의 표 1), 이것을 초과하는 강도는 얻어지지 않았다. 또, 단자나 커넥터 등의 전자 재료는, 자신의 길이 방향이 구리 합금조의 압연 직각 방향에 평행이 되도록 타발되어 제조되는 경우가 많아, 압연 직각 방향의 강도의 향상이 중요한데, 이 점에 대해 주목한 기술은 보이지 않는다.

[0007] 본 발명은 상기의 과제를 해결하기 위하여 이루어진 것으로, 강도, 도전율 및 피로 특성이 모두 우수한 Cu-Ni-Si 계 압연 구리 합금의 제공을 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

[0008] 본 발명자는, Cu-Ni-Si 계 압연 구리 합금의 압연 직각 방향의 강도를 향상시키기 위해서는 최종 어닐링인 변형 제거 어닐링에서의 강도의 향상이 중요하고, 그러기 위해서는 변형 제거 어닐링의 직전의 시효 후 냉간 압연의 가공률을 가능한 한 높게 하는 것이 필요하다. 또, 시효 후 냉간 압연시의 석출의 정도에 따라라도 필요로 하는 최저한의 가공률은 변화하므로, 석출의 정도에 따라 가공률을 설정할 필요가 있는 것을 알아냈다. 그리고, 이 석출의 정도로서 압연 직각 방향의 도전율을 지표로 하여, 상기 도전율로부터 산출되는 관계식으로 필요한 가공률을 규정함으로써, 합금의 강도를 안정적으로 향상시키는 것에 성공하였다.

[0009] 상기의 목적을 달성하기 위하여, 본 발명의 Cu-Ni-Si 계 압연 구리 합금은, 질량%로, Ni와 Co의 군에서 선택되는 적어도 1종 이상을 총량으로 3.0 ~ 4.5 %, Si : 0.6 ~ 1.0 % 함유하고, 잔부가 Cu 및 불가피 불순물로 이루어지고, 압연 직각 방향의 0.2 % 내력 YS가 1040 MPa 이상이다.

[0010] 추가로, Mg, Mn, Sn, Zn 및 Cr의 군에서 선택되는 적어도 1종 이상을 총량으로 0.005 ~ 2.5 질량% 함유하는 것이 바람직하다.

[0011] 추가로, P, B, Ti, Zr, Al, Fe 및 Ag의 군에서 선택되는 적어도 1종 이상을 총량으로 0.005 ~ 1.0 질량% 함유하는 것이 바람직하다.

[0012] 본 발명의 Cu-Ni-Si 계 압연 구리 합금의 제조 방법은, 상기 Cu-Ni-Si 계 압연 구리 합금의 제조 방법으로서, 질량%로, Ni와 Co의 군에서 선택되는 적어도 1종 이상을 총량으로 3.0 ~ 4.5 %, Si : 0.6 ~ 1.0 % 함유하고, 추가로 필요에 따라 Mg, Mn, Sn, Zn 및 Cr의 군에서 선택되는 적어도 1종 이상을 총량으로 0.005 ~ 2.5 질량% 함유하고, 및/또는 P, B, Ti, Zr, Al, Fe 및 Ag의 군에서 선택되는 적어도 1종 이상을 총량으로 0.005 ~ 1.0 질량% 함유하고, 잔부가 Cu 및 불가피 불순물로 이루어지는 주괴를 열간 압연, 냉간 압연, 용체화 처리, 시효 처리, 시효 후 냉간 압연, 변형 제거 어닐링의 순서로 실시하고, 상기 시효 후 냉간 압연의 가공

를 RE 를 80 % 이상으로 하고, 상기 시효 후 냉간 압연 후이고 상기 변형 제거 어닐링 전의 압연 직각 방향의 도전율 EC (%IACS) 를 25 % 이상 40 % 미만으로 하고, 또한 식 1 : $RE \geq 0.0291 \times (EC)^2 - 0.8885 \times (EC) + 85.025$ 를 만족하도록 상기 가공률 RE 를 설정하고, 상기 변형 제거 어닐링을 200 ~ 500 °C 에서 1 ~ 1000 초간 실시한다.

발명의 효과

[0013] 본 발명에 의하면, 강도, 도전율 및 피로 특성이 모두 우수한 Cu-Ni-Si 계 압연 구리 합금이 얻어진다.

도면의 간단한 설명

[0014] 도 1 은 시효 후 냉간 압연 후이고 변형 제거 어닐링 전의 압연 직각 방향의 도전율과, 시효 후 냉간 압연의 가공률 RE 의 상관을 나타내는 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0015] 이하, 본 발명의 실시형태에 관련된 Cu-Ni-Si 계 압연 구리 합금에 대해 설명한다. 또한, 본 발명에 있어서 % 란, 특별히 언급하지 않는 이상, 질량% 를 나타내는 것으로 한다.

[0016] (조성)

[0017] [Ni, Co 및 Si]

[0018] 구리 합금 중의 Ni 와 Co 의 균에서 선택되는 적어도 1 종 이상을 총량으로 3.0 ~ 4.5 %, Si : 0.6 ~ 1.0 % 함유하고, Si : 0.6 ~ 1.0 % 함유한다. Ni, Co 및 Si 는, 적당한 열처리를 실시함으로써 금속간 화합물을 형성하고, 도전율을 열화시키지 않고 강도를 향상시킨다.

[0019] Ni, Co 및 Si 의 함유량이 상기 범위 미만이면, 강도의 향상 효과가 얻어지지 않고, 상기 범위를 초과하면 도전성이 저하됨과 함께 열간 가공성이 저하된다.

[0020] [다른 첨가 원소]

[0021] 합금 중에, 추가로 Mg, Mn, Sn, Zn 및 Cr 의 균에서 선택되는 적어도 1 종 이상을 총량으로 0.005 ~ 2.5 질량% 함유해도 된다.

[0022] Mg 는 강도와 내응력 완화 특성을 향상시킨다. Mn 은 강도와 열간 가공성을 향상시킨다. Sn 은 강도를 향상시킨다. Zn 은 땀납 접합부의 내열성을 향상시킨다. Cr 은, Ni 와 마찬가지로 Si 와 화합물을 형성하기 때문에, 석출 경화에 의해 도전율을 열화시키지 않고 강도를 향상시킨다.

[0023] 또, 합금 중에, 추가로 P, B, Ti, Zr, Al, Fe 및 Ag 의 균에서 선택되는 적어도 1 종 이상을 총량으로 0.005 ~ 1.0 질량% 함유해도 된다. 이들 원소를 함유하면, 도전율, 강도, 응력 완화 특성, 도금성 등의 제품 특성이 개선된다.

[0024] 또한, 상기한 각 원소의 총량이 상기 범위 미만이면 상기한 효과가 얻어지지 않고, 상기 범위를 초과하면 도전율의 저하를 초래하는 경우가 있다.

[0025] [강도]

[0026] Cu-Ni-Si 계 압연 구리 합금의 압연 직각 방향의 0.2 % 내력 YS 가 1040 MPa 이상이다. 합금의 강도를 높이면 피로 강도가 향상되는 점에서, YS 가 1040 MPa 이상이면 피로 강도도 우수하다. 여기서, 상기 서술한 바와 같이, 단자나 커넥터 등에는, S-N 곡선에 있어서의 반복 횟수가 적고, 반복 응력이 높은 영역에서의 피로 수명의 향상이 필요하다. 본 발명자는, 이 영역으로서, S-N 곡선에 있어서의 반복 횟수가 10⁴ 회를 초과하였을 때의 반복 응력 (부하 응력) 이 750 MPa 이상인 조건이 상당하고, 이 조건을 만족하는 YS 가 1040 MPa 이상인 것을 알아냈다.

[0027] 따라서, YS 가 1040 MPa 미만이면, S-N 곡선에 있어서의 반복 횟수가 10⁴ 회를 초과했을 때의 반복 응력이 750 MPa 미만으로 저하되고, 피로 특성이 떨어진다.

[0028] 또한, YS 는, JIS-Z 2241 에 따라 인장 시험하여 구한다.

- [0029] 또, 피로 시험은, JCBA-T308-2002 에 따라 실시한다.
- [0030] <제조 방법>
- [0031] 본 발명의 Cu-Ni-Si 계 압연 구리 합금은, 통상적으로 잉곳을 열간 압연, 냉간 압연, 용체화 처리, 시효 처리, 시효 후 냉간 압연, 변형 제거 어닐링의 순서로 실시하여 제조할 수 있다. 용체화 처리 전의 냉간 압연이나 재결정 어닐링은 필수는 아니며, 필요에 따라 실시해도 된다. 또, 용체화 처리 후이고 시효 처리 전에 냉간 압연을 필요에 따라 실시해도 된다.
- [0032] 여기서, 시효 후 냉간 압연의 가공률 RE 를 80 % 이상으로 한다. Cu-Ni-Si 계 압연 구리 합금의 압연 직각 방향의 강도를 향상시키기 위해서는, 최종 어닐링인 변형 제거 어닐링에서의 강도의 향상이 중요하고, 그러기 위해서는 변형 제거 어닐링의 직전의 시효 후 냉간 압연의 가공률을 가능한 한 높게 할 필요가 있다. 이것은, 시효 후 냉간 압연에 의해 조직 중에 압연 변형을 도입하면, 그 후의 변형 제거 어닐링에서 고용 원소가 이 변형에 고착되고, 전이 장해가 되어 강화되기 때문인 것으로 생각된다. 따라서, 가공률 RE 가 80 % 미만이면, 합금의 강도가 향상되지 않는다. 또한, 가공률 RE 는, 시효 후 냉간 압연의 전후에서의 합금의 판 두께의 변화의 비율 (%) 이다.
- [0033] 또, 시효 후 냉간 압연시의 합금의 석출 강화 (고용) 의 정도에 따라서도 필요로 하는 최저한의 가공률은 변화하므로, 고용의 정도에 따라 가공률을 설정할 필요가 있다. 그리고, 이 고용의 정도로서, 시효 후 냉간 압연 후이고 변형 제거 어닐링 전의 압연 직각 방향의 도전율 EC (%IACS) 를 지표로 하여, 상기 도전율로부터 산출되는 식 1 로 필요한 가공률을 규정함으로써, 합금의 강도를 안정적으로 향상시킬 수 있다.
- [0034] 여기서, 상기 도전율 EC (%IACS) 를 25 % 이상 40 % 미만으로 함으로써, 시효 처리와 변형 제거 어닐링의 조건이 모두 적절해져, 어느 처리에 있어서도 강도가 상승하고, 결과적으로 높은 강도가 얻어진다. 도전율 EC 가 40 % 이상이 되면 시효 처리에서 강도는 상승하지만, 고용량이 적어지기 때문에, 가공률 RE 를 높게 해도 변형 제거 어닐링에서 강도가 충분히 상승하지 않아, 원하는 강도가 얻어지지 않는 경우가 있다. 한편, 도전율 EC 가 25 % 미만이면, 변형 제거 어닐링에서 강도는 상승하지만, 시효 처리에서 강도가 상승하지 않아, 원하는 강도가 얻어지지 않는 경우가 있다.
- [0035] 또한, 변형 제거 어닐링 후의 최종 제품의 도전율 EC (%IACS) 는, 25 ~ 45 % 정도이다.
- [0036] 그리고, 도전율 EC 가 높을수록 고용량이 적기 때문에, 가공률 RE 를 보다 높게 하여 압연 변형을 보다 다수 도입하지 않으면, 변형 제거 어닐링에서 필요한 강도의 향상을 도모할 수 없다. 그래서,
- [0037] 식 1 : $RE \geq 0.0291 \times (EC)^2 - 0.8885 \times (EC) + 85.025$ 를 만족하도록 가공률 RE 를 설정하면 바람직하다. 이 식 1 은, 실험으로부터 도 1 에 나타내는 바와 같이 하여 구한 것이다. 구체적으로는, 후술하는 각 실시예 1 ~ 17 에 대해, 가공률 RE 와 도전율 EC 의 관계를 도 1 에 플롯하고, 최소 이송법에 의해, 각 실시예 1 ~ 17 의 플롯을 통과하는 2 차 곡선 (C) 을 구하면, $C : RE \geq 0.0291 \times (EC)^2 - 0.8885 \times (EC) + 85.439$ 가 얻어진다. 또, 가공률 RE 의 조건이 본원발명의 적합 범위로 부터 벗어나는 비교예 8 ~ 10 에 대해, 가공률 RE 와 도전율 EC 의 관계를 동일하게 도 1 에 플롯한다.
- [0038] 그렇게 하면, 도 1 로부터, 2 차 곡선 C 보다 가공률 RE 가 높아지면, 비교예 8 ~ 10 을 포함하지 않는 바람직한 범위인 것을 알 수 있다. 단, 도 1 의 각 실시예 1 ~ 17 의 플롯 중, 실시예 17 의 플롯은 2 차 곡선 C 보다 가장 y 축 하방으로 떨어져, 2 차 곡선 C 를 통과하지 않는다. 그래서, 2 차 곡선 C 를 y 축 하방으로 평행 이동하여 실시예 17 의 플롯이 통과하는 2 차 곡선 D 로 하면, y 절편은 85.025 가 된다. 따라서, 식 1 : $RE \geq 0.0291 \times (EC)^2 - 0.8885 \times (EC) + 85.025$ 로 한다.
- [0039] 가공률 RE 가 식 1 을 만족하지 않는 경우에는, 고용량에 대해 가공률 RE 가 지나치게 작아, 변형 제거 어닐링에서 필요한 강도의 향상을 도모할 수 없는 경우가 있다.
- [0040] 그 후, 변형 제거 어닐링을 200 ~ 500 °C 에서 1 ~ 1000 초간 실시한다. 변형 제거 어닐링의 온도 또는 어닐링 시간이 상기 범위 미만이면, 변형 제거 어닐링이 불충분해져, 변형 제거 어닐링에서의 강도의 향상을 도모할 수 없다. 변형 제거 어닐링의 온도 또는 어닐링 시간이 상기 범위를 초과하면, 변형 제거 어닐링이 과도해져 합금이 연화되고, 강도의 향상을 도모할 수 없다.
- [0041] 실시예

- [0042] 대기 용해로 중에서 전기 구리를 용해시키고, 표 1 에 나타내는 첨가 원소를 소정량 투입하고, 용탕을 교반하였다. 그 후, 주입(鑄入) 온도 1200 °C 에서 주형에 출탕하여, 표 1 에 나타내는 조성의 구리 합금 잉곳을 얻었다. 잉곳을 열간 압연, 면삭 후, 제 1 냉간 압연, 용체화 처리, 시효 처리, 시효 후 냉간 압연의 순서로 실시하여, 판두께 0.2 mm 의 시료를 얻었다. 시효 후 냉간 압연 후에 표 1 에 나타내는 조건으로 변형 제거 어닐링을 실시하였다.
- [0043] 또한, 열간 압연은 1000 °C 에서 3 시간 실시하고, 시효 처리는 400 °C ~ 550 °C 에서 1 ~ 15 시간 실시하였다.
- [0044] <평가>
- [0045] 얻어진 시료에 대해 이하의 항목을 평가하였다.
- [0046] [도전율]
- [0047] 시효 후 냉간 압연 후이고 변형 제거 어닐링 전의 압연 직각 방향의 시료, 및 변형 제거 어닐링 후의 최종 제품의 압연 직각 방향의 시료에 대해, JIS H 0505 에 준거하여, 더블 브릿지 장치를 사용한 4 단자법에 의해 구한 체적 저항률로부터 도전율 (%IACS) 을 산출하였다.
- [0048] [강도]
- [0049] 변형 제거 어닐링 후의 최종 제품에 대해, 인장 방향이 압연 방향과 직각이 되도록, 프레스기를 사용하여 JIS 13B 호 시험편을 제작하였다. JIS-Z 2241 에 따라 이 시험편의 인장 시험을 실시하고, 0.2 % 내력을 측정하였다. 인장 시험의 조건은, 시험편 폭 12.7 mm, 실온(15 ~ 35 °C), 인장 속도 5 mm/min, 게이지 길이 50 mm 로 한다.
- [0050] [피로 시험]
- [0051] JCBA-T308-2002 에 준거하여, 양(兩) 진동 평면 굽힘의 피로 시험을 실시하였다. 폭 10 mm 의 단책형(短冊形) 시료를, 시료의 길이 방향이 압연 방향과 직각이 되도록 채취하였다. 시료 표면에 부가하는 최대 응력(σ), 진폭(f) 및 지지점과 응력 작용점과의 거리(L) 가,
- [0052] $L = \sqrt{(3tEf/(2\sigma))}$ (t : 시료 두께, E : 영률은 JCBA-T312-2002 에 준거하여 측정함) 의 관계가 되도록 시험 조건을 설정하였다. 시료가 파단될 때까지의 반복 횟수가 10^4 회를 초과하기까지의 부하 응력을 측정하였다. 측정은 4 회 실시하고, 4 회의 측정에서의 평균치를 구하였다.
- [0053] 얻어진 결과를 표 1 에 나타낸다. 표 1 의 「0.5 Zn」 은, Zn 을 0.5 질량% 함유하는 것을 의미한다.

표 1

| No | 조성 (질량%) | | | | 시효 처리 | | 시효 후 냉간 압연 | | 변형 제거 어닐링 | | 최종 제품 | | |
|--------|----------|-----|------|---|---------|---------|------------|----------------|----------------------|--------|----------|----------------|-----------------------------|
| | Ni | Co | Si | 기타 | 온도 (°C) | 시간 (hr) | 가공률 RE (%) | 도전율 EC (%IACS) | 온도 (°C) | 시간 (초) | YS (MPa) | 도전율 EC (%IACS) | 피로 시험의 반복 응력 σ (MPa) |
| 실시예 1 | 3.0 | - | 0.68 | 0.5Zn,0.5Sn | 500 | 3 | 95 | 39 | 250 | 1000 | 1050 | 39 | 750 |
| 실시예 2 | 3.3 | - | 0.75 | | 500 | 3 | 96 | 39 | 300 | 100 | 1040 | 39 | 750 |
| 실시예 3 | 3.3 | - | 0.75 | 0.1Mg | 500 | 3 | 92 | 37 | 450 | 10 | 1060 | 37 | 800 |
| 실시예 4 | 3.3 | - | 0.75 | 0.1Mg,1.0Zn,0.5Sn | 500 | 3 | 90 | 35 | 400 | 30 | 1080 | 35 | 800 |
| 실시예 5 | 3.5 | - | 0.64 | 0.5Sn,0.5Zn | 500 | 3 | 90 | 35 | 400 | 30 | 1080 | 35 | 850 |
| 실시예 6 | 3.5 | - | 0.64 | 0.1Mg | 500 | 3 | 90 | 35 | 400 | 30 | 1080 | 35 | 800 |
| 실시예 7 | 3.8 | - | 0.80 | | 500 | 3 | 92 | 37 | 400 | 30 | 1040 | 37 | 800 |
| 실시예 8 | 3.8 | - | 0.80 | 0.1Mg,0.1Mn | 500 | 3 | 90 | 35 | 400 | 30 | 1090 | 35 | 900 |
| 실시예 9 | 3.8 | - | 0.80 | 0.05Cr,0.1Mg,0.1Mn | 500 | 3 | 91 | 36 | 400 | 30 | 1050 | 36 | 750 |
| 실시예 10 | 4.4 | - | 1.00 | | 500 | 3 | 82 | 26 | 400 | 30 | 1150 | 26 | 950 |
| 실시예 11 | 2.0 | 1.0 | 0.70 | 0.1Cr | 500 | 3 | 95 | 39 | 400 | 30 | 1060 | 39 | 800 |
| 실시예 12 | 3.0 | - | 0.68 | 0.01P,0.01B,0.01Ti,0.01Zr,0.01Al,0.02Fe,0.5Ag | 550 | 3 | 92 | 37 | 400 | 30 | 1050 | 37 | 750 |
| 실시예 13 | 3.8 | - | 0.80 | 0.1Mg,0.1Mn | 500 | 3 | 90 | 35 | 400 | 30 | 1120 | 35 | 900 |
| 실시예 14 | 3.8 | - | 0.80 | 0.1Mg,0.1Mn | 480 | 3 | 87 | 32 | 400 | 30 | 1100 | 32 | 900 |
| 실시예 15 | 3.8 | - | 0.80 | 0.1Mg,0.1Mn | 450 | 3 | 85 | 30 | 400 | 30 | 1070 | 30 | 850 |
| 실시예 16 | 3.8 | - | 0.80 | 0.1Mg,0.1Mn | 420 | 3 | 84 | 28 | 400 | 30 | 1050 | 28 | 750 |
| 실시예 17 | 3.8 | - | 0.80 | 0.1Mg,0.1Mn | 400 | 3 | 81 | 25 | 400 | 30 | 1040 | 25 | 750 |
| 비교예 1 | 2.3 | - | 0.20 | | 400 | 3 | 90 | 27 | 400 | 30 | 600 | 27 | 500 |
| 비교예 2 | 3.8 | - | 1.20 | | 500 | 3 | 85 | 22 | 400 | 30 | 1030 | 22 | 700 |
| 비교예 3 | 1.1 | - | 0.26 | | 500 | 3 | 90 | 50 | 400 | 30 | 650 | 50 | 550 |
| 비교예 4 | 4.7 | - | 1.00 | | | | | | 열간 압연으로 균열되었기 때문에 중지 | | | | |
| 비교예 5 | 3.8 | - | 0.80 | 0.5Mg,1.0Mn,1.2Zn | 500 | 3 | 90 | 20 | 400 | 30 | 970 | 20 | 700 |
| 비교예 6 | 3.8 | 1.0 | 0.80 | 0.5Sn,0.5Cr,0.2Mg | 500 | 3 | 90 | 21 | 400 | 30 | 990 | 21 | 700 |
| 비교예 8 | 3.8 | - | 0.80 | 0.1Mg,0.1Mn | 500 | 3 | 75 | 33 | 400 | 30 | 1030 | 33 | 700 |
| 비교예 9 | 3.8 | - | 0.80 | 0.1Mg,0.1Mn | 500 | 3 | 60 | 34 | 400 | 30 | 1000 | 34 | 700 |
| 비교예 10 | 3.8 | - | 0.80 | 0.1Mg,0.1Mn | 500 | 3 | 20 | 38 | 400 | 30 | 900 | 38 | 600 |
| 비교예 11 | 3.8 | - | 0.80 | 0.1Mg,0.1Mn | 600 | 3 | 85 | 44 | 400 | 30 | 960 | 44 | 650 |
| 비교예 12 | 3.8 | - | 0.80 | 0.1Mg,0.1Mn | 350 | 3 | 90 | 20 | 400 | 30 | 980 | 20 | 650 |
| 비교예 13 | 3.8 | - | 0.80 | 0.1Mg,0.1Mn | 500 | 3 | 90 | 35 | 150 | 30 | 1000 | 35 | 700 |
| 비교예 14 | 3.8 | - | 0.80 | 0.1Mg,0.1Mn | 500 | 3 | 90 | 35 | 550 | 30 | 960 | 36 | 650 |

[0054]

[0055]

표 1로부터 분명한 바와 같이, 압연 직각 방향의 0.2 % 내력 YS 가 1040 MPa 이상인 각 실시예의 경우, 피로 시험의 반복 횟수가 10^4 회를 초과했을 때의 반복 응력이 750 MPa 이상으로서, 피로 특성이 우수하였다.

[0056]

한편, Ni 와 Co 의 합계 함유량이 3.1 % 미만인 비교예 1, 및 Si 가 0.6 % 미만인 비교예 3 의 경우, 이들 원소에 의한 석출 강화가 불충분해지고, 강도 및 피로 특성이 떨어졌다.

[0057]

Si 가 1.0 % 를 초과한 비교예 2 의 경우, 시효 후 냉간 압연 후이고 변형 제거 어닐링 전의 압연 직각 방향의 도전율이 25 % IACS 미만으로 저하되고, 강도 및 피로 특성이 떨어졌다.

[0058]

Ni 와 Co 의 합계 함유량이 4.5 % 를 초과한 비교예 4 의 경우, 열간 압연에서 균열이 발생하여, 합금을 제조할 수 없었다.

[0059]

Mg, Mn, Sn, Zn, Co 및 Cr 을 총량으로 2.5 % 를 초과하여 함유한 비교예 5 의 경우, Ni 와 Co 의 합계 함유량이 4.5 % 를 초과한 비교예 6 의 경우, 시효 후 냉간 압연 후이고 변형 제거 어닐링 전의 압연 직각 방향의 도전율이 25 % IACS 미만으로 저하되고, 강도 및 피로 특성이 떨어졌다. 또한, 비교예 6 은 비교예 4 와 마찬가지로 Ni 와 Co 의 합계 함유량이 지나치게 많지만, Mg, Mn, Sn, Zn, Co 및 Cr 중 어느 1 종 이상을 첨가했기 때문에, 열간 가공성이 향상되어, 열간 압연 균열이 발생하지 않은 것으로 생각된다.

[0060]

시효 후 냉간 압연의 가공률 RE 를 80 % 미만으로 한 비교예 8 ~ 10 의 경우도, 강도 및 피로 특성이 떨어졌다.

[0061]

시효 처리 온도가 각 실시예보다 높은 비교예 11 의 경우, 시효 처리 조건이 적절해지지 않았기 때문에, 시효 후 냉간 압연 후이고 변형 제거 어닐링 전의 압연 직각 방향의 도전율이 40 % IACS 를 초과하고, 강도 및 피로 특성이 떨어졌다.

[0062]

시효 처리 온도가 각 실시예보다 낮은 비교예 12 의 경우, 시효 처리 조건이 적절해지지 않았기 때문에, 시효 후 냉간 압연 후이고 변형 제거 어닐링 전의 압연 직각 방향의 도전율이 25 % IACS 미만으로 저하되고, 강도 및 피로 특성이 떨어졌다.

[0063]

변형 제거 어닐링의 온도가 200 °C 미만인 비교예 13 의 경우, 변형 제거 어닐링이 불충분해져, 변형 제거 어닐링에서의 강도의 향상을 도모할 수 없었기 때문에, 강도 및 피로 특성이 떨어졌다.

[0064]

변형 제거 어닐링의 온도가 500 °C 를 초과한 비교예 14 의 경우, 변형 제거 어닐링이 과도해져 합금이 연화되

고, 강도의 향상이 도모될 수 없었기, 강도 및 피로 특성이 떨어졌다.

[0065]

도 1 에, 각 실시예 및 비교예에 있어서의, 시효 후 냉간 압연 후이고 변형 제거 어닐링 전의 압연 직각 방향의 도전을 EC (%IACS) 와, 시효 후 냉간 압연의 가공률 RE (%) 의 상관관계를 나타낸다. 상기 서술한 바와 같이 하여 식 1 : $RE \geq 0.0291 \times (EC)^2 - 0.8885 \times (EC) + 85.025$ 를 구하였다. 식 1 을 만족하도록 가공률 RE 를 설정하면, 변형 제거 어닐링에서 강도가 충분히 향상되기 때문에 바람직하다.

도면

도면1

