



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2023년08월10일  
(11) 등록번호 10-2565183  
(24) 등록일자 2023년08월04일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
C22C 21/10 (2006.01) B21B 3/00 (2006.01)  
C21D 1/18 (2006.01) C21D 1/60 (2006.01)  
C21D 8/02 (2006.01) C22F 1/053 (2006.01)
- (52) CPC특허분류  
C22C 21/10 (2013.01)  
B21B 3/00 (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2021-7015294
- (22) 출원일자(국제) 2020년01월09일  
심사청구일자 2021년05월21일
- (85) 번역문제출일자 2021년05월21일
- (65) 공개번호 10-2021-0078537
- (43) 공개일자 2021년06월28일
- (86) 국제출원번호 PCT/EP2020/050370
- (87) 국제공개번호 WO 2020/148140  
국제공개일자 2020년07월23일
- (30) 우선권주장  
19152546.8 2019년01월18일  
유럽특허청(EPO)(EP)
- (56) 선행기술조사문헌  
EP00863220 A1\*  
\*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

- (73) 특허권자  
노벨리스 코블렌츠 게엠베하  
독일 코블렌츠 카를-스파에터-슈트라쎬 10번지(우편번호 56070)
- (72) 발명자  
뷔르거 아힘  
독일 56070 코블렌츠 칼-슈패터-슈트라쎬 10 알레리스 로울드 프로덕츠 저머니 게엠베하 내  
코슬라 주닐  
독일 56070 코블렌츠 칼-슈패터-슈트라쎬 10 알레리스 로울드 프로덕츠 저머니 게엠베하 내  
(뒷면에 계속)
- (74) 대리인  
양영준, 노대웅

전체 청구항 수 : 총 22 항

심사관 : 김동국

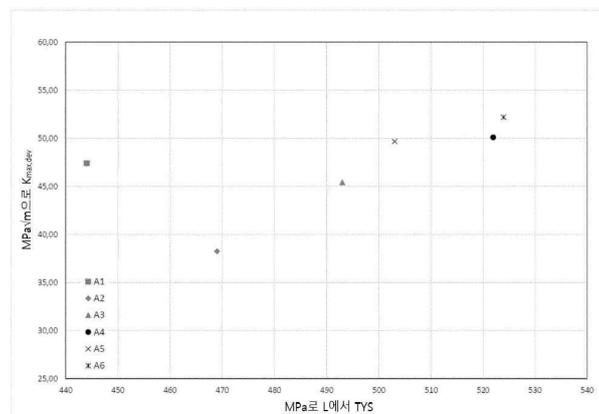
(54) 발명의 명칭 7xxx-시리즈 알루미늄 합금 제품

(57) 요약

본 발명은, 중량%로, Zn 6.40 내지 7.50, Mg 2.15 내지 2.75, Cu 1.20 내지 2.00, 여기서 Cu+Mg < 4.50, 및 여기서 Mg < 2.5 + 5/3(Cu - 1.2), Fe 최대 0.25, Si 최대 0.25, 그리고 선택적으로 (Zr 최대 0.3, Cr 최대 0.3, Mn 최대 0.45, Ti 최대 0.25, Sc 최대 0.5, Ag 최대 0.5)로 이루어지는 균으로부터 선택된 하나 이상의 원소,

(뒷면에 계속)

대표도 - 도1



알루미늄 및 불순물인 나머지를 포함하는 조성을 갖는, 그리고  $485-0.12*(t-100)$  MPa 초과 (t는 mm로 제품의 두께임)의 1/4 두께로 측정된 L-방향으로 측정된 (MPa로) 종래의 인장 항복 강도; 170 MPa의 짧은 횡단 (ST) 응력 수준으로 적어도 30 일의 ASTM G47-98에 따라 측정된 응력 부식 균열 (SCC)로 인해 실패 없이 최소 수명; 그리고 평균적으로 적어도 40 MPa√m의 CT 샘플에서 L-S 방향으로 ASTM E647-13e01에 따라 실온에 표준 분위기에서 테스트하는 균열 전파로 인해 균열 편차 없이 최소  $K_{max-dev}$  값을 달성하기 위해 숙성된 전신된 7xxx-시리즈 알루미늄 합금 제품에 관한 것이다.

(52) CPC특허분류

*C21D 1/18* (2013.01)

*C21D 1/60* (2013.01)

*C21D 8/0226* (2013.01)

*C21D 8/0236* (2013.01)

*C22F 1/053* (2013.01)

*B21B 2003/001* (2013.01)

(72) 발명자

**크레첵 크리스티안 게르하트**

독일 56070 코블렌츠 칼-슈페터-슈트라쎄 10 알레  
리스 로울드 프로덕츠 저머니 게엠베하 내

**슈팡엘 자비느 마리아**

독일 56070 코블렌츠 칼-슈페터-슈트라쎄 10 알레  
리스 로울드 프로덕츠 저머니 게엠베하 내

**마이어 필리프**

독일 56070 코블렌츠 칼-슈페터-슈트라쎄 10 알레  
리스 로울드 프로덕츠 저머니 게엠베하 내

**명세서**

**청구범위**

**청구항 1**

중량%로,

- Zn 6.50 내지 7.20,
- Mg 2.30 내지 2.60,
- Cu 1.30 내지 1.80,

여기서  $Cu+Mg < 4.50$ , 및 여기서  $Mg < 2.5 + 5/3(Cu - 1.2)$ ,

- Fe 최대 0.25,
- Si 최대 0.25

및, 선택적으로

- Zr 최대 0.3,
- Cr 최대 0.3,
- Mn 최대 0.45,
- Ti 최대 0.25,
- Sc 최대 0.5,
- Ag 최대 0.5

로 이루어지는 군으로부터 선택된 하나 이상의 원소,

알루미늄 및 불순물인 나머지

를 포함하는 조성을 갖는 전신된 7xxx-시리즈 알루미늄 합금 제품에 있어서,

상기 제품이:

- $485-0.12*(t-100)$  MPa 초과 (t는 mm로 제품의 두께임)의 1/4 두께로 측정된 L-방향으로 ASTM-B557-15 표준에 따라 측정된 (MPa로) 인장 항복 강도;
- 170 MPa의 짧은 횡단 (ST) 응력 수준으로 적어도 30 일의 ASTM G47-98에 따라 측정된 응력 부식 균열 (SCC) 로 인한 파손이 없는 최소 수명;
- 의도된 파단면으로부터 20° 초과 벗어나는 균열로서 정의된 균열 편차 및 하중 제어된 피로 테스트에서 테스트하는, 평균적으로 적어도  $40 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$ , 또는 평균적으로 적어도  $45 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$ 의 CT 샘플에서 L-S 방향으로 ASTM E647-13e01에 따라 실온에 표준 분위기에서 테스트하는 균열 전파로 인한 균열 편차가 없는 최소  $K_{\text{max-dev}}$  값

을 달성하기 위해 시효되는, 제품.

**청구항 2**

삭제

**청구항 3**

제 1 항에 있어서, 상기 Zn-함량이 적어도 6.60%인, 전신된 7xxx-시리즈 알루미늄 합금 제품.

**청구항 4**

제 1 항 또는 제 3 항에 있어서, 상기 Zn-함량이 최대 7.10%인, 전신된 7xxx-시리즈 알루미늄 합금 제품.

**청구항 5**

삭제

**청구항 6**

삭제

**청구항 7**

제 1 항 또는 제 3 항에 있어서,

Zn 6.75 내지 7.10,

Mg 2.35 내지 2.55,

Cu 1.35 내지 1.75

인, 전신된 7xxx-시리즈 알루미늄 합금 제품.

**청구항 8**

제 1 항 또는 제 3 항에 있어서,

Zn 6.75 내지 7.10,

Mg 2.45 내지 2.55,

Cu 1.35 내지 1.75

인, 전신된 7xxx-시리즈 알루미늄 합금 제품.

**청구항 9**

제 1 항 또는 제 3 항에 있어서, 상기 제품이 0.03% 내지 0.25%의 범위에서, 또는 0.05% 내지 0.18%의 범위에서 Zr-함량을 갖는, 전신된 7xxx-시리즈 알루미늄 합금 제품.

**청구항 10**

제 1 항 또는 제 3 항에 있어서, 상기 제품이 0.04% 내지 0.3%의 범위에서, 또는 0.04% 내지 0.25%의 범위에서 Cr-함량을 갖는, 전신된 7xxx-시리즈 알루미늄 합금 제품.

**청구항 11**

제 1 항 또는 제 3 항에 있어서, 상기 제품이 최대 0.05%, 또는 최대 0.03%의 Cr-함량을 갖는, 전신된 7xxx-시리즈 알루미늄 합금 제품.

**청구항 12**

제 1 항 또는 제 3 항에 있어서, 상기 제품이 0.05% 내지 0.4%의 범위에서, 또는 0.05% 내지 0.3%의 범위에서 Mn-함량을 갖는, 전신된 7xxx-시리즈 알루미늄 합금 제품.

**청구항 13**

제 1 항 또는 제 3 항에 있어서, 상기 제품이 최대 0.05%, 또는 최대 0.03%의 Mn 함량을 갖는, 전신된 7xxx-시리즈 알루미늄 합금 제품.

**청구항 14**

제 11 항에 있어서, 상기 제품이 Mn+Cr의 합계 최대 0.05%를 갖는, 전신된 7xxx-시리즈 알루미늄 합금 제품.

**청구항 15**

제 1 항 또는 제 3 항에 있어서, 상기 제품이 적어도 12.7 mm의 두께를 갖는, 전신된 7xxx-시리즈 알루미늄 합금 제품.

**청구항 16**

제 1 항 또는 제 3 항에 있어서, 상기 제품이 항공우주 제품인, 전신된 7xxx-시리즈 알루미늄 합금 제품.

**청구항 17**

제 1 항 또는 제 3 항에 있어서, 상기 제품이 T7 상태인, 전신된 7xxx-시리즈 알루미늄 합금 제품.

**청구항 18**

제 17 항에 있어서, 상기 제품이 T73, T74, T76, T77, 및 T79로 이루어지는 군으로부터 선택된, 또는 T7451, T7651, T7751, 및 T7951로 이루어지는 군으로부터 선택된 T7 상태인, 전신된 7xxx-시리즈 알루미늄 합금 제품.

**청구항 19**

제 1 항 또는 제 3 항에 있어서, 상기 제품이 적어도 25.4 mm, 또는 적어도 38.1 mm, 또는 적어도 76.8 mm, 또는 많아야 304.8 mm의 두께를 갖는, 전신된 7xxx-시리즈 알루미늄 합금 제품.

**청구항 20**

제 1 항 또는 제 3 항에 있어서, 상기 제품이 압연된, 압출된 또는 단조된 제품의 형태인, 전신된 7xxx-시리즈 알루미늄 합금 제품.

**청구항 21**

제 1 항 또는 제 3 항에 있어서, 상기 제품이 압연된 제품의 형태인, 전신된 7xxx-시리즈 알루미늄 합금 제품.

**청구항 22**

제 1 항 또는 제 3 항에 있어서, 상기 제품이:

- $500-0.12*(t-100)$  MPa ( $t$ 는 mm로 제품의 두께임) 초과, 또는  $510-0.12*(t-100)$  MPa 초과 1/4 두께로 측정된 L-방향으로 ASTM-B557-15 표준에 따라 측정된 (MPa로) 인장 항복 강도;
- 의도된 파단면으로부터 20° 초과 벗어나는 균열로서 정의된 균열 편차 및 하중 제어된 피로 테스트에서 테스트하는, 평균적으로 적어도  $50 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$ 의 CT 샘플에서 L-S 방향으로 ASTM E647-13e01에 따라 실온에 표준 분위기에서 테스트하는 균열 전파로 인한 균열 편차가 없는 최소  $K_{\text{max-dev}}$  값;
- 205 MPa의 짧은 횡단 (ST) 응력 수준, 또는 240 MPa의 짧은 횡단 (ST) 응력 수준으로, 적어도 30 일의 ASTM G47-98에 따라 측정된 응력 부식 균열 (SCC)로 인한 파손이 없는 최소 수명

중 하나 이상을 달성하기 위해 시효되는, 전신된 7xxx-시리즈 알루미늄 합금 제품.

**청구항 23**

제 1 항 또는 제 3 항에 있어서, 상기 전신된 제품이 항공기 구조 부품인, 전신된 7xxx-시리즈 알루미늄 합금 제품.

**청구항 24**

제 1 항 또는 제 3 항에 있어서, 상기 전신된 제품이 윙 스파, 윙 리브, 윙 스킨, 플로어 빔, 및 동체 프레임의 군으로부터 선택된 항공기 구조 부품인, 전신된 7xxx-시리즈 알루미늄 합금 제품.

**청구항 25**

적어도 12.7 mm의 게이지를 갖는, 제 1 항 또는 제 3 항에 따른 압연된 알루미늄 합금 제품의 제조 방법으로서,

- (a) 제 1 항 또는 제 3 항에 따른 조성을 갖는 잉곳을 주조하는 단계;

- (b) 상기 주조된 잉곳을 균질화하는 단계;
  - (c) 적어도 12.7 mm의 두께를 갖는 열간 압연된 제품에 상기 주조된 잉곳을 열간 압연하는 단계;
  - (d) 선택적으로 상기 열간 압연된 제품을 냉간 작업하는 단계;
  - (e) 상기 압연된 제품을 용액 열 처리하는 단계;
  - (f) 물 또는 기타 담금질 매체에서 침지 담금질 또는 분무 담금질 중 하나에 의해, 상기 용액 열 처리된 제품을 냉각시키는 단계;
  - (g) 이의 원래 길이의 0.5% 내지 6%의 범위에서, 상기 용액 열 처리된 및 냉각된 제품을 연신하는 단계; 및
  - (h) T7451, T7651, T7751, 및 T7951로 이루어지는 군으로부터 선택된, T7 상태로 인공적으로 시효시켜,
    - 485-0.12\*(t-100) MPa 초과 (t는 mm로 제품의 두께임)의 1/4 두께로 측정된 L-방향으로 ASTM-B557-15 표준에 따라 측정된 (MPa로) 인장 항복 강도;
    - 170 MPa의 짧은 횡단 (ST) 응력 수준으로 적어도 30 일의 ASTM G47-98에 따라 측정된 응력 부식 균열 (SCC) 로 인한 파손이 없는 최소 수명;
    - 의도된 파단면으로부터 20° 초과 벗어나는 균열로서 정의된 균열 편차 및 하중 제어된 피로 테스트에서 테스트하는, 평균적으로 적어도 40 MPa√m, 또는 평균적으로 적어도 45 MPa√m의 CT 샘플에서 L-S 방향으로 ASTM E647-13e01에 따라 실온에 표준 분위기에서 테스트하는 균열 전파로 인한 균열 편차가 없는 최소  $K_{max-dev}$  값을 달성하는 단계
- 를 포함하는, 방법.

**발명의 설명**

**기술 분야**

[0001] 본 발명은 전신된 Al-Zn-Mg-Cu 알루미늄 유형 (또는 알루미늄 협회에 의해 지정된 바와 같은 7000- 또는 7xxx- 시리즈 알루미늄 합금)에 관한 것이다. 더욱 구체적으로, 본 발명은 개선된 균열 편차 저항을 갖는 속성-경화성, 고 강도, 고도로 응력 부식 저항성 알루미늄 합금, 그리고 그 알루미늄 합금으로 만들어진 제품에 관한 것이다. 이 합금으로부터 만들어진 제품은 항공우주 응용에 매우 적합하지만 그것에 제한되지 않는다. 알루미늄 합금은 다양한 제품 형태, 예를 들면 박판, 후판, 압출된 또는 단조된 제품으로 가공될 수 있다.

**배경 기술**

[0002] 알루미늄-아연-마그네슘-구리 계를 기반으로 하는 고 강도 알루미늄 합금은 수많은 응용에서 사용된다. 전형적으로, 이들 합금의 특성 프로파일은 응용에 미세조정될 필요가 있고 다른 특성에 악영향을 미치지 않고 하나의 특성을 개선하는 것은 어렵다. 예를 들어, 강도 및 부식 저항은 가장 적합한 템퍼를 목표 응용에 적용함으로써 균형될 필요가 있다. 관련성의 또 다른 특성은 균열 편차에 대한 내성이고, 여기에서 민감한 합금이 L-S 샘플에서 사전 균열에 관한 피로 하중을 받을 때 재료에서의 균열 경로 편차는 발생할 수 있다. 이 현상은 특정 조건 하에서 구조적 무결성이 영향받을 수 있으므로 부품 제조업체에게 도전일 수 있다. 균열 편차에 대한 민감성은 고 강도 알루미늄 합금을 함유하는 Zn에서 특히 관찰되어 왔다. 그러므로, 고 강도를 양호한 SCC 부식 저항과 조합하고 동시에 균열 편차에 대한 저항이 증가하는 알루미늄 합금이 필요하다.

[0003] 유럽 특허 EP-0863220-B2는 자동차 산업에서 사용을 위하여 그리고 압출을 통해 AlZnMgCu 합금으로 만들어진 스크류 또는 리벳을 개시하고, 여기서 상기 AlZnMgCu 합금은, 중량%로, 6.0-8.0% Zn, 2.0-3.5% Mg, 바람직하게는 2.6-2.9% Mg, 1.6-1.9% Cu, 0.05-0.30% Zr, 최대 0.10% Cr, 최대 0.50% Mn, 최대 0.10% Ti, 최대 0.20% Si, 최대 0.20% Fe, 기타 원소 각각 최대 0.05%, 총 최대 0.15%, 나머지 알루미늄 및 불가피한 불순물로 이루어진다.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

[0004] 본원에서 인식될 바와 같이, 달리 명시되는 경우를 제외하고, 알루미늄 합금 지정 및 템퍼 지정은, 2018년 알루미늄 협회에 의해 발표된 바와 같이, 알루미늄 표준 및 데이터 및 등록 기록에서 알루미늄 협회 지정을 지칭하

고 당업자에게 널리 공지된다. 템퍼 지정은 유럽 표준 EN515에서 규정된다.

- [0005] 합금 조성 또는 바람직한 합금 조성의 임의의 설명의 경우, 백분율에 대한 모든 참조는 달리 표시되지 않는 한 중량% 기준이다.
- [0006] 본원에 사용된 바와 같이, 용어 "약"은 합금화 첨가의 양 또는 조성 범위를 설명하는데 사용된 경우 합금화 첨가의 실제 양이 당업자에 의해 이해된 바와 같이 인자 예컨대 표준 가공 변동으로 인해 명목상의 의도된 양과 상이할 수 있다는 것을 의미한다.
- [0007] 용어 "최대" 및 "최대 약"은, 본원에 이용된 바와 같이, 비제한적으로, 그것이 지칭하는 특정한 합금화 성분의 0 중량%의 가능성을 명시적으로 포함한다. 예를 들어, 최대 0.5% Sc는 Sc가 없는 알루미늄 합금을 포함할 수 있다.
- [0008] 고 강도, 고 SCC 저항의 개선된 균형을 갖고 균열 편차에 대한 개선된 저항을 갖는 전신된 7xxx-시리즈 알루미늄 합금 제품을 제공하는 것이 본 발명의 목적이다.
- [0009] 이러한 및 기타 목적 그리고 추가 이점은 전신된 7xxx-시리즈 알루미늄 합금 제품을 제공하고, 바람직하게는 적어도 12.7 mm (0.5 인치)의 게이지를 갖고, 중량%로,
- [0010] Zn 6.40% 내지 7.50%,
- [0011] Mg 2.15% 내지 2.85%,
- [0012] Cu 1.20% 내지 2.00%,
- [0013] 단 Cu- 및 Mg-함량에 대하여  $Cu+Mg < 4.50\%$  및  $Mg < 2.5 + 5/3(Cu - 1.2)$ 임,
- [0014] Fe 최대 0.25%, 바람직하게는 최대 0.15%,
- [0015] Si 최대 0.25%, 바람직하게는 최대 0.15%,
- [0016] 및 선택적으로 하기:
- [0017] Zr 최대 0.3%,
- [0018] Cr 최대 0.3%,
- [0019] Mn 최대 0.45%,
- [0020] Ti 최대 0.25%, 바람직하게는 최대 0.15%,
- [0021] Sc 최대 0.5%,
- [0022] Ag 최대 0.5%
- [0023] 로 이루어지는 군으로부터 선택된 하나 이상의 원소,
- [0024] 알루미늄 및 불순물인 나머지
- [0025] 를 포함하는 조성을 갖는 본 발명에 의해 충족되거나 초과된다. 전형적으로, 그와 같은 불순물은 각각 <0.05% 및 총 <0.15% 존재하고, 상기 제품은
- [0026] -  $485-0.12*(t-100)$  MPa (t는 mm로 제품의 두께임) 초과와 1/4 두께로 측정된 L-방향으로 ASTM-B557-15 표준에 따라 측정된 (MPa로) 종래의 인장 항복 강도. 바람직한 구현예에서 인장 항복 강도는  $>500-0.12*(t-100)$  MPa, 및 더욱 바람직하게는  $>510-0.12*(t-100)$  MPa이다.
- [0027] - 170 MPa의 짧은 횡단 (ST) 응력 수준. 바람직한 구현예에서 205 MPa, 및 더욱 바람직하게는 240 MPa의 짧은 횡단 (ST) 응력 수준으로 적어도 30 일의 ASTM G47-98에 따라 측정된 응력 부식 균열 (SCC)로 인해 실패 없이 최소 수명.
- [0028] - 의도된 파단면으로부터 20° 초과 벗어나는 균열로서 정의된 균열 편차 및 하중 제어된 피로 테스트에서 테스트하는, 평균적으로 적어도 40 MPa√m, 바람직하게는 평균적으로 적어도 45 MPa√m, 더욱 바람직하게는 평균적으로 적어도 50 MPa√m의 CT 샘플에서 L-S 방향으로 ASTM E647-13e01에 따라 실온에 표준 분위기에서 테스트하는 균열 전파로 인해 균열 편차 없이 최소  $K_{max-dev}$  값을 갖도록 숙성된다. 본원에 사용된 바와 같이, "균열 편차

저항"은, "Standard Test Method for Measurement of Fatigue Crack Growth Rates" ("ASTM E647") 제목으로, ASTM E647-13e01에 따라 적어도 삼중 C(T) 표본을 준비함으로써 결정된다. 적어도 삼중 C(T) 표본은 재료의 폭 /3과 2폭/3 사이에서 L-S 방향으로 채집되고, 여기에서 T/2 위치에서 채집된, 표본의 "B" 치수는 6.35 mm (0.25 인치)이고 표본의 "W" 치수는 적어도 25 mm (0.98 인치)이다. 테스트 표본은, 실온에서,  $R = 0.1$  ( $P_{min}/P_{max}$  상당), 주변 또는 고 습도 공기로, ASTM E647의 일정 하중 진폭 테스트 방법에 따라 테스트된다. 사전-균열은 ASTM E647의 모든 유효성 요건을 충족시켜야 하고, 사전-균열화는 ASTM E647에서 요구시 수행되어야 한다. 테스트는  $K_{max} > 10 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$ , ( $9.098 \text{ ksi}\sqrt{\text{인치}}$ )를 사용하여 개시되고, 개시력은 ASTM E647 C(T) 표본 유효성 요건  $((W-a) \geq (4/\pi)*(K_{max-dev}/TYS)^2)$ 이 테스트에 더 이상 충족되기 전에 균열 편차가 발생하는 만큼 충분히 커야 한다. 테스트는 균열 편차의 지점까지 ASTM E647에 따라 유효해야 한다. C(T) 표본의 균열이 임의의 방향으로 (예를 들면, 20-110° 만큼) 의도된 파단면으로부터 실질적으로 벗어나는 경우 균열은 "편차하고", 편차는 의도되지 않은 파단면을 따라 표본 분리로 이어진다. 편차에서의 평균 균열 길이 ( $a_{dev}$ )는 2개 표면 값 (전면 및 후면 값)의 평균을 사용함으로써 유래된다.  $K_{max-dev}$ 는 C(T) 표본에 대하여 ASTM E647 A1.5.1.1에 따라 편차에서의 평균 균열 길이 ( $a_{dev}$ ), 최대 적용된 힘 ( $P_{max}$ ), 및 응력-세기 인자 표현을 사용함으로써 계산된 최대 응력-세기 인자이다 (주해:  $\Delta K$  및  $\Delta P$ 는, ASTM E6473.2.14에서 정의된 바와 같이 응력 비 관계식  $R = K_{min}/K_{max}$  및  $\Delta K = K_{max} - K_{min}$ 에 따라,  $K_{max-dev}$  및  $P_{max}$ , 각각으로 대체될 수 있다).

- [0029] 알루미늄 합금에서 특히 Zn, Cu 및 Mg 수준의 주의깊은 제어로, 그리고 특히 T7 상태로 숙성된 경우, 전신된 7xxx-시리즈 알루미늄 합금 제품은 그래서 양호한 균열 편차 저항과 조합으로 고 강도, 고 SCC 저항의 개선된 균형을 제공한다.
- [0030] 한 구현예에서, 전신된 알루미늄 합금 제품은 최대 7.30%, 및 바람직하게는 최대 7.10%의 Zn-함량을 갖는다. 바람직한 최소 Zn-함량은, 충분한 강도를 획득하기 위해, 6.50%, 더욱 바람직하게는 6.60%, 및 가장 바람직하게는 6.75%이다.
- [0031] 한 구현예에서, 전신된 알루미늄 합금 제품은 최대 1.90%, 및 바람직하게는 최대 1.80%, 및 더욱 바람직하게는 최대 1.75%, 및 가장 바람직하게는 최대 1.70%의 Cu-함량을 갖는다. 바람직한 최소 Cu-함량은, 균열 편차 없이 높은 최소  $K_{max-dev}$  값과 조합으로 충분한 강도를 제공하기 위해, 1.30%, 및 더욱 바람직하게는 1.35%이다.
- [0032] 한 구현예에서, 전신된 알루미늄 합금 제품은, 균열 편차 없이 증가된 최소  $K_{max-dev}$  값과 조합으로 충분한 강도를 제공하기 위해, 적어도 2.25%, 및 바람직하게는 적어도 2.30%, 더욱 바람직하게는 적어도 2.35%, 및 가장 바람직하게는 적어도 2.45%의 Mg-함량을 갖는다. 한 구현예에서 전신된 알루미늄 합금 제품은 최대 2.75%, 바람직하게는 최대 2.60%, 및 더욱 바람직하게는 최대 2.55%의 Mg-함량을 갖는다.
- [0033] 바람직한 구현예에서, 전신된 알루미늄 합금 제품은 Zn 6.40% 내지 7.30%, Mg 2.25% 내지 2.75%, 및 Cu 1.25% 내지 1.90%를 갖고, 단  $Cu+Mg < 4.45$  및  $Mg < 2.55 + 2(Cu - 1.25)$ 이다.
- [0034] 더욱 바람직한 구현예에서, 전신된 알루미늄 합금 제품은 Zn 6.50% 내지 7.20%, Mg 2.30% 내지 2.60%, 및 Cu 1.30% 내지 1.80%를 갖는다.
- [0035] 더욱 바람직한 구현예에서, 전신된 알루미늄 합금 제품은 Zn 6.75% 내지 7.10%, Mg 2.35% 내지 2.55%, 및 Cu 1.35% 내지 1.75%를 갖는다.
- [0036] 가장 바람직한 구현예에서, 전신된 알루미늄 합금 제품은 Zn 6.75% 내지 7.10%, Mg 2.45% 내지 2.55%, 및 Cu 1.35% 내지 1.75%를 갖는다.
- [0037] 본 발명에 따른 전신된 알루미늄 합금 제품에 대하여 바람직한 Zn, Cu 및 Mg 범위의 개요는 아래 표 1에서 주어진다.

표 1. 본 발명에 따른 전신된 7xxx-시리즈 알루미늄 합금 제품에서 바람직한 Zn, Cu 및 Mg 범위의 개요.

	Zn	Mg	Cu	단서
광범위	6.40-7.50	2.15-2.85	1.20-2.00	Cu+Mg<4.50 & Mg < 2.5 + 5/3*(Cu-1.2)
바람직함	6.40-7.30	2.25-2.75	1.25-1.90	Cu+Mg<4.45 & Mg < 2.55 + 2*(Cu-1.25)
더욱 바람직함	6.50-7.20	2.30-2.60	1.30-1.80	-
더욱 바람직함	6.75-7.10	2.35-2.55	1.35-1.75	-
가장 바람직함	6.75-7.10	2.45-2.55	1.35-1.75	-

[0038]

[0039]

한 구현예에서, 전신된 알루미늄 합금 제품은 V, Ni, Co, Nb, Mo, Ge, Er, Hf, Ce, Y, Dy, 및 Sr의 군으로부터 선택된 최대 0.3%의 하나 이상의 원소를 추가로 포함한다.

[0040]

철 및 규소 함량은 상당히 낮게, 예를 들어 약 0.15% Fe를 초과하지 않고, 바람직하게는 0.10% Fe 미만으로, 그리고 약 0.15% Si를 초과하지 않고 바람직하게는 0.10% Si 이하로 유지되어야 한다. 임의의 경우에, 양쪽 불순물의 더욱 약간 더 높은 수준, 많아야 약 0.25% Fe 및 많아야 약 0.25% Si가, 본원에 덜 바람직한 기준이어도, 용인될 수 있는 것으로 생각된다.

[0041]

전신된 알루미늄 합금 제품은 Zr 최대 0.3%, Cr 최대 0.3%, Mn 최대 0.45%, Ti 최대 0.25%, Sc 최대 0.5%로 이루어지는 군으로부터 선택된 담금질 민감도 및 그레인 구조를 제어하기 위해 하나 이상의 분산질 형성하는 원소를 선택적으로 포함한다.

[0042]

Zr 수준에 대하여 바람직한 최대는 0.25%이다. Zr 수준의 적당한 범위는 약 0.03% 내지 0.25%, 및 더욱 바람직하게는 약 0.05% 내지 0.18%, 및 가장 바람직하게는 약 0.05% 내지 0.13%이다. Zr은 본 발명에 따른 알루미늄 합금 제품에서 바람직한 분산질 형성하는 합금화 원소이다.

[0043]

Sc의 첨가는 바람직하게는 약 0.5% 이하 및 더욱 바람직하게는 약 0.3% 이하, 및 가장 바람직하게는 약 0.25% 이하이다. Sc 첨가에 대하여 바람직한 하한은 0.03%, 및 더욱 바람직하게는 0.05%이다. 한 구현예에서, Zr과 조합된 경우, Sc+Zr의 합계는 0.35% 미만, 바람직하게는 0.30% 미만이어야 한다.

[0044]

기타 분산질 형성제와 또는 단독으로, 첨가될 수 있는 또 다른 분산질 형성하는 원소는 Cr이다. Cr 수준은 바람직하게는 0.3% 미만, 및 더욱 바람직하게는 최대 약 0.25%, 및 가장 바람직하게는 최대 약 0.22%이어야 한다. Cr에 대하여 바람직한 하한은 약 0.04%일 것이다.

[0045]

본 발명에 따른 알루미늄 합금 전신된 제품의 또 다른 구현예에서 Cr이 없고, 실제적 면에서 이것은 불순물 및 Cr-함량이 최대 0.05%, 및 바람직하게는 최대 0.04%, 및 더욱 바람직하게는 겨우 최대 0.03%인 것으로 간주되는 것을 의미할 것이다.

[0046]

Mn은 단일 분산질 형성제로서 또는 기타 언급된 분산질 형성제 중 어느 하나와 조합으로 첨가될 수 있다. Mn 첨가에 대하여 최대는 약 0.4%이다. Mn 첨가에 대하여 실제적 범위는 약 0.05% 내지 0.4%의 범위, 및 바람직하게는 약 0.05% 내지 0.3%의 범위이다. Mn 첨가에 대하여 바람직한 하한은 약 0.12%이다. Zr과 조합된 경우, Mn 더하기 Zr의 합계는 약 0.4% 미만, 바람직하게는 약 0.32% 미만이어야 하고, 적당한 최소는 약 0.12%이다.

[0047]

본 발명에 따른 알루미늄 합금 전신된 제품의 또 다른 구현예에서 Mn이 없고, 실제적 면에서 이것은 불순물 및 Mn-함량이 최대 0.05%, 및 바람직하게는 최대 0.04%, 및 더욱 바람직하게는 겨우 최대 0.03%인 것으로 간주되는 것을 의미할 것이다.

[0048]

또 다른 구현예에서 각각의 Cr 및 Mn은 알루미늄 합금 전신된 제품에서 불순물 수준으로만 존재한다. 바람직하게는 Cr 및 Mn의 조합된 존재는 겨우 최대 0.05%, 바람직하게는 최대 0.04%, 및 더욱 바람직하게는 최대 0.02%

이다.

- [0049] 최대 0.5%의 범위에서 은 (Ag)은 숙성 동안 강도를 추가로 향상시키기 위해 의도적으로 첨가될 수 있다. 의도적 Ag 첨가에 대하여 바람직한 하한은 약 0.05% 및 더욱 바람직하게는 약 0.08%일 것이다. 바람직한 상한은 약 0.4%일 것이다.
- [0050] 한 구현예에서 Ag는 불순물 원소이고 최대 0.05%, 및 바람직하게는 최대 0.03% 존재할 수 있다.
- [0051] 한 구현예에서 전신된 7xxx-시리즈 알루미늄 합금 제품, 바람직하게는 적어도 12.7 mm (0.5 인치)의 게이지를 갖는 것은, 중량%로,
- [0052] Zn 6.40% 내지 7.50%,
- [0053] Mg 2.15% 내지 2.85%,
- [0054] Cu 1.20% 내지 2.00%,
- [0055] 단  $Cu+Mg < 4.50$  및  $Mg < 2.5 + 5/3(Cu - 1.2)$ ,
- [0056] Fe 최대 0.25%,
- [0057] Si 최대 0.25%,
- [0058] 및 선택적으로
- [0059] Zr 최대 0.3%,
- [0060] Cr 최대 0.3%,
- [0061] Mn 최대 0.45%,
- [0062] Ti 최대 0.25%,
- [0063] Sc 최대 0.5%,
- [0064] Ag 최대 0.5%
- [0065] 로 이루어지는 군으로부터 선택된 하나 이상의 원소,
- [0066] 알루미늄 및 불순물 각각 <0.05%, 총 <0.15%인 나머지, 그리고 본원에 기재되고 청구된 바와 같이 바람직한 더 협소한 조성 범위로 이루어지는 조성을 갖는다.
- [0067] 또 다른 구현예에서 전신된 7xxx-시리즈 알루미늄 합금 제품, 바람직하게는 적어도 12.7 mm (0.5 인치)의 게이지를 갖는 것은, 중량%로,
- [0068] Zn 6.40% 내지 7.50%,
- [0069] Mg 2.15% 내지 2.85%,
- [0070] Cu 1.20% 내지 2.00%,
- [0071] 단  $Cu+Mg < 4.50$  및  $Mg < 2.5 + 5/3(Cu - 1.2)$ ,
- [0072] Fe 최대 0.25%, 바람직하게는 최대 0.15%,
- [0073] Si 최대 0.25%, 바람직하게는 최대 0.15%,
- [0074] Zr 0.05% 내지 0.18%, 바람직하게는 0.05% 내지 0.13%,
- [0075] Ti 최대 0.25%, 바람직하게는 최대 0.15%,
- [0076] 알루미늄 및 불순물 각각 <0.05%, 총 <0.15%인 나머지, 그리고 본원에 기재되고 청구된 바와 같이 바람직한 더 협소한 조성 범위로 이루어지는 조성을 갖는다.
- [0077] 강도, SCC 저항에서의 최상 균형 및 개선된 균열 편차 저항을 제공하기 위해 전신된 제품은 바람직하게는 과-성숙된 T7 상태에서 제공된다. 더욱 바람직하게는 T73, T74, T76, T77, 및 T79로 이루어지는 군으로부터 선택된 T7 상태.

- [0078] 바람직한 구현예에서 전신된 제품은 T74 템퍼, 더욱 특히 T7451 템퍼, 또는 T76 템퍼, 더욱 특히 T7651 템퍼로 제공된다.
- [0079] 바람직한 구현예에서 전신된 제품은 T77 템퍼, 더욱 특히 T7751 템퍼, 또는 T79 템퍼, 더욱 특히 T7951 템퍼로 제공된다.
- [0080] 바람직한 구현예에서 본 발명에 따른 전신된 제품은 적어도 12.7 mm (0.5 인치)의 명목상 두께를 갖는다. 추가 구현예에서 두께는 적어도 25.4 mm (1.0 인치)이다. 더욱 추가 구현예에서 두께는 적어도 38.1 mm (1.5 인치), 및 바람직하게는 적어도 76.2 mm (3.0 인치)이다. 한 구현예에서, 최대 두께는 304.8 mm (12.0 인치)이다. 바람직한 구현예에서 최대 두께는 254 mm (10.0 인치) 및 더욱 바람직하게는 203.2 mm (8.0 인치)이다.
- [0081] 전신된 제품은 다양한 형태로, 특히 압연된 제품, 압출된 제품 또는 단조된 제품으로서 제공될 수 있다.
- [0082] 바람직한 구현예에서 전신된 제품은 압연된 제품으로서, 더욱 특히 압연된 판 제품으로서 제공된다.
- [0083] 한 구현예에서 전신된 제품은 항공우주 제품, 더욱 특히 항공기 부품, 예를 들면 윙 스파, 위 리브, 윙 스킨, 플로어 빔, 또는 동체 프레임이다.
- [0084] 특정한 구현예에서 전신된 제품은 38.4 mm (1.5 인치) 내지 307.2 mm (12.0 인치)의 범위에서 두께를 갖고, 본원에 기재되고 청구된 바와 같은 바람직한 더 협소한 범위를 가진 압연된 제품으로서, 이상적으로 항공기 구조 부품으로서 제공되고, T7 상태, 더욱 바람직하게는 T74 또는 T76 상태로 제공된다. 이러한 구현예에서 압연된 제품은 본원에 기재되고 청구된 특성을 갖는다.
- [0085] 특정한 구현예에서 전신된 제품은 38.1 mm (1.5 인치) 내지 304.8 mm (12.0 인치)의 범위에서 두께를 갖고, 본원에 기재되고 청구된 바와 같은 바람직한 더 협소한 범위를 가진 압연된 제품으로서, 이상적으로 항공기 구조 부품으로서 제공되고, T76 상태, 더욱 바람직하게는 T7651 상태로 제공된다. 이러한 구현예에서 압연된 제품은 본원에 기재되고 청구된 특성을 갖는다.
- [0086] 본 발명의 추가 양태에서 전신된 7xxx-시리즈 알루미늄 합금 제품, 바람직하게는 적어도 12.7 mm (0.5 인치)의 게이지를 갖는 제품의 생산 방법으로서,
- [0087] a. 본 발명에 따른 AA7000-시리즈 알루미늄 합금의 잉곳의 스톡을 주조하는 단계,
- [0088] b. 상기 주조된 스톡을 예열 및/또는 균질화하는 단계,
- [0089] c. 압연, 압출, 및 단조로 이루어지는 군으로부터 선택된 하나 이상의 방법으로 상기 스톡을 열간 작업하는 단계;
- [0090] d. 상기 열간 작업된 스톡을 선택적으로 냉간 작업하는 단계;
- [0091] e. 상기 열간 작업된 및 선택적으로 냉간 작업된 스톡을 용액 열 처리 ("SHT")하는 단계;
- [0092] f. 바람직하게는 물 또는 기타 담금질 매체에서 침지 담금질 또는 분무 담금질 중 하나에 의해, 상기 SHT 스톡을 냉각시키는 단계;
- [0093] g. 선택적으로 상기 냉각된 SHT 스톡을 연신되거나 압축된 또는 달리 상기 냉각된 SHT 스톡을 냉간 작업하여 응력을 완화하는 단계, 예를 들어 상기 냉각된 SHT 스톡을 평준화 또는 인발 또는 냉간 압연하는 단계;
- [0094] h. 상기 냉각된 및 선택적으로 연신되거나 압축된 또는 달리 냉간 작업된 SHT 스톡을 인공 숙성시켜 원하는 템퍼, 바람직하게는 T7 상태로 달성하는 단계
- [0095] 를, 그 순서대로, 포함하는 방법에 관한 것이다.
- [0096] 알루미늄 합금은 주조된 제품에 대하여 당업계에서 일반적인 주조 기법, 예를 들면 직접-냉각 (DC)-주조, 전기-자기-주조 (EMC)-주조, 전기-자기-교반 (EMS)-주조에 의해 적당한 전신된 제품으로 제조를 위하여 잉곳 또는 슬래브 또는 빌릿으로서 제공될 수 있다. 연속 주조에서 비롯하는 슬래브, 예를 들면 벨트 캐스터 또는 물 캐스터는 또한 사용될 수 있고, 이는 특히 더욱 얇은 게이지 최종 제품을 생산하는 경우 유리할 수 있다. 그레인 정제기 예컨대 티타늄 및 붕소, 또는 티타늄 및 탄소를 함유하는 것이 또한 당업계에 널리 공지된 바와 같이 사용될 수 있다. 알루미늄 합금에서 Ti-함량은 최대 0.25%, 및 바람직하게는 최대 0.15%, 및 더욱 바람직하게는 0.01% 내지 0.1%의 범위이다. 선택적으로 주조된 잉곳은, 예를 들어 약 350°C 내지 450°C의 범위에서 그것을 유지하고 이어서 주변 온도로 느리게 냉각시킴으로써 응력 완화될 수 있다. 합금 스톡을 주조시킨 후, 잉곳은 보통 스켈

핑되어 잉곳의 주조된 표면 근처 분리 구역을 제거한다.

- [0097] 균질화 열처리의 목적은 적어도 다음의 목표를 갖는다: (i) 용고 동안 형성된 거친 가용성 상을 가능한 한 많이 용해시키는 것, 및 (ii) 농도 구배를 감소시켜 용해 단계를 촉진시키는 것. 예열 처리는 또한 이들 목표의 일부를 달성한다.
- [0098] 보통 예열은 잉곳을 설정된 온도로 가열시키고 이 온도에서 설정된 시간 동안 소킹(soaking)시키고 이어서 약 그 온도에서 열간 압연을 개시하는 것을 지칭한다. 균질화는, 균질화 후 최종 온도가 주변 온도인 압연하는 잉곳에 적용된, 하나 이상의 소킹 단계를 가진 가열, 균열 및 냉각 사이클을 지칭한다.
- [0099] 본 발명에 따른 방법에서 사용된 AA7xxx-시리즈 합금에 대하여 전형적 예열 처리는 2 내지 50 시간의 범위, 더욱 전형적으로 2 내지 20 시간 동안 소킹 시간으로 390°C 내지 450°C의 온도일 것이다.
- [0100] 먼저, 합금 스톱에서 가용성 공용 상 및/또는 금속간 상 예컨대 S-상, T-상, 및 M-상은 정규 산업 실무를 사용하여 용해된다. 이것은 전형적으로, S-상 (Al<sub>2</sub>MgCu-상)이 AA7xxx-시리즈 합금에서 약 489°C의 용융 온도를 갖고 M-상 (MgZn<sub>2</sub>-상)이 약 478°C의 용점을 가짐에 따라, 500°C 미만의 온도로, 전형적으로 450°C 내지 485°C의 범위에서 스톱을 가열시킴으로써 실시된다. 이것은 상기 온도 범위에서 균질화 처리에 의해 달성될 수 있고 상기 열간 압연 온도로 냉각하게 될 수 있거나, 균질화 후 스톱은 후속적으로 냉각되고 열간 압연 전 재가열된다. 균질화 공정은 또한 원하는 경우 2개 이상의 단계에서 실시될 수 있고, 이는 전형적으로 AA7xxx-시리즈 합금에 대하여 430°C 내지 490°C의 온도 범위에서 실시된다. 특정 선호하는 구현예에서 2-단계 균질화 공정은 적용되고, 정확한 합금 조성에 의존하는 다양한 상의 용해 공정을 최적화하기 위해, 455°C와 470°C 사이 제 1 단계, 그리고 470°C와 485°C 사이 제 2 단계가 있다.
- [0101] 균질화 온도에서 소킹 시간은 1 내지 50 시간의 범위, 및 더욱 전형적으로 2 내지 20 시간 동안이다. 적용될 수 있는 가열 속도는 당업계에서 보통인 것들이다.
- [0102] 예열 및/또는 균질화 실무 이후 스톱은 압연, 압출, 및 단조로 이루어지는 군으로부터 선택된 하나 이상의 방법에 의해 열간 작업된다. 열간 압연의 방법이 본 발명에 바람직하다.
- [0103] 열간 작업, 및 열간 압연이 특히 바람직하게는 12.7 mm (0.5 인치) 이상의 최종 게이지로 수행될 수 있다.
- [0104] 한 구현예에서 판 재료는 제 1 열간 압연 단계에서 중간의 열간 압연된 게이지로 열간 압연되고, 이어서 중간 어닐링 단계 및 그 다음 제 2 열간 압연 단계에서 최종 열간 압연된 게이지로 열간 압연된다.
- [0105] 또 다른 구현예에서 판 재료는 제 1 열간 압연 단계에서 중간의 열간 압연된 게이지로 열간 압연되고, 이어서 SHT 온도 범위까지 온도로 재결정화 어닐링 처리 및 그 다음 제 2 열간 압연 단계에서 최종 열간 압연된 게이지로 열간 압연된다. 이것은 특성의 등방성을 개선할 수 있고 균열 편차에 대한 저항을 추가로 증가시킬 수 있다.
- [0106] 대안적으로, 열간 작업 단계는 중간 게이지에서 스톱을 제공하기 위해 수행될 수 있다. 그 이후, 중간 게이지에서 이 스톱은, 예를 들면 압연으로, 최종 게이지까지 냉간 작업될 수 있다. 냉간 작업의 양에 의존하여 중간 어닐은 냉간 작업 시행 동안 또는 전에 사용될 수 있다.
- [0107] 다음 가공 단계는 열간 작업된 및 선택적으로 냉간 작업된 스톱의 용액 열 처리 ("SHT")이다. 제품은 가열되어 모든 또는 실질적으로 모든 분율의 가용성 아연, 마그네슘 및 구리의 가능한 많이 용액으로 만들어져야 한다. SHT는 바람직하게는, 바람직한 더 협소한 범위와 함께, 본 설명에서 설정된 바와 같이 본 발명에 따른 균질화 처리와 동일한 온도 범위 및 시간 범위에서 실시된다. 하지만, 예를 들어 약 2 내지 180 분의 범위에서, 또한 더 짧은 소킹 시간이 여전히 매우 유용할 수 있다고 믿어진다. SHT는 배치 또는 연속 노에서 전형적으로 실시된다. SHT 후, 알루미늄 합금이, 2차 상, 예를 들면 Al<sub>2</sub>CuMg 및 Al<sub>2</sub>Cu, 및/또는 MgZn<sub>2</sub>의 제어되지 않은 침전을 방지 또는 최소화하기 위해, 175°C 이하의 온도까지, 바람직하게는 주변 온도까지 높은 냉각 속도로 냉각되는 것이 중요하다. 다른 한편으로 냉각 속도는 바람직하게는 제품에서 잔류 응력의 낮은 수준 및 충분한 평탄도를 허용하기에 너무 높지 않아야 한다. 적당한 냉각 속도는 물, 예를 들면 침수 또는 워터 젯트의 사용으로 달성될 수 있다.
- [0108] 스톱은, 예를 들어, 그 안에 잔류 응력을 완화시키고 제품의 평탄도를 개선하기 위해 이의 원래 길이의 약 0.5% 내지 8%의 범위로 연신시킴으로써 추가로 냉간 작업될 수 있다. 바람직하게는 연신은 약 0.5% 내지 6%, 더욱 바람직하게는 약 1% 내지 3%의 범위이다. 냉각 후 스톱은, 바람직하게는 T7 상태, 더욱 바람직하게는 T7x51 상태를 제공하기 위해 인공적으로 숙성된다.

[0109] 원하는 구조적 형상 또는 거의-그물 구조적 형상은 그 다음, 예를 들어 더욱 종종 일반적으로 인공 숙성 후, 이들 열-처리된 판 섹션으로부터 기계처리된다.

[0110] SHT, 담금질, 선택적 응력 완화 작업 및 인공 숙성은 또한 압출 또는 단조된 가공 단계에 의해 만들어진 섹션의 제조에서 뒤따른다.

[0111] 본 발명은 본 발명에 따른 비-제한 실시예를 참조로 이제 예시될 것이다.

[0112] 실시예 1.

[0113] 산업적 제조 규모로 6개 상이한 알루미늄 합금의 압연 잉곳은, 1260x440 mm의 치수를 가진 합금 A3을 제외하고, 수 미터의 길이 및 1470x440 mm의 치수로 DC-주조되었다. (중량%) 알루미늄 조성은 표 2에서 열거되고 이에 의해 합금 A1, A2 및 A3은 비교 합금이고 합금 A4, A5 및 A6은 본 발명에 따른다. 합금 A1은 AA7475의 조성 범위 내이고, 합금 A2는 AA7181 내이며 합금 A3은 AA7010 내이다. 잉곳은 당업계에 일반적이며 바와 같이 응력-완화되었고 이어서 2-단계 균질화 열 처리되었다. 합금 A1은 2 시간 동안 470°C에서 이어서 15 시간 동안 495°C에서 균질화되었고, 합금 A2 내지 A6은 12 시간 동안 470°C에서 이어서 25 시간 동안 475°C에서 각각 균질화되었다. 균질화 이후 물류상의 이유로 잉곳은 당업계에 일반적인 냉각 속도를 사용하여 주변 온도로 냉각되었고, 스킨핑되어 잉곳 평탄도를 개선하고 주조 표면을 제거하였고, 410°C로 재가열되었고 다음으로 다중 압연 단계에서 100 mm의 두께로 압연된 제품으로 열간 압연되었다. 하위-샘플은 열간 압연된 판 제품에서 채집되었고 24 시간 동안 470°C에 실험실 규모 노에서 용액 열-처리되었고 냉수 담금질되었다. 다음 샘플은 5 시간 동안 120°C에서 이어서 15 시간 동안 165°C에서 인공적으로 숙성되었다. 적용된 인공 숙성 실무는 압연된 제품을 T76 템퍼로 만든다. 인공적으로 숙성된 재료로부터 다음으로 하위-샘플은 관련한 기준에 따라 테스트하기 위한 치수로 관련한 위치에서 기계처리 채집되었다.

표 2. 테스트된 6 개 합금의 (중량%) 합금 조성. 나머지는 알루미늄 및

불가피한 불순물로 구성된다.

합금	Zn	Mg	Cu	Zr	Ti	Fe	Si	Cr
A1	5.87	2.40	1.62	-	0.03	0.06	0.04	0.20
A2	7.38	1.96	1.64	0.12	0.03	0.04	0.02	-
A3	6.37	2.33	1.76	0.12	0.03	0.05	0.03	-
A4	6.49	2.52	1.76	0.11	0.03	0.03	0.016	-
A5	6.57	2.30	1.76	0.11	0.03	0.03	0.016	-
A6	6.99	2.48	1.57	0.11	0.03	0.03	0.017	-

[0114]

[0115] L- 및 ST-방향으로 기계적 특성 (인장 항복 강도 (TYS), 최종 인장 강도 (UTS) 및 연신율  $A_{50mm}$ )은 적용가능한 기준 EN 2002-1에 따라 1/4-두께로 결정되었다. 3개 샘플에 대한 평균은 표 3에서 열거된다.

[0116] 170 MPa의 짧은 횡단 (ST) 응력 수준으로 ASTM G47-98에 따라 측정된 응력 부식 균열 (SCC)로 인해 실패 없이 (일로) 최소 수명은 테스트되었다. 그 결과는 또한 표 3에서 열거되고 모든 샘플은 30 일 초과 실패 없이 수명 시간을 가졌다.

[0117] 의도된 파단면으로부터 20° 초과 벗어나는 균열로서 정의된 균열 편차 및 하중 제어된 피로 테스트에서 테스트하는, CT 샘플에서 L-S 방향으로 ASTM E647-13e01에 따라 실온에 표준 분위기에서 테스트하는 균열 전파로 인해 균열 편차 없이 최소  $K_{max-dev}$  값에 대하여 또한 테스트되었다. 본원에 사용된 바와 같이, "균열 편차 저항"은, "Standard Test Method for Measurement of Fatigue Crack Growth Rates" ("ASTM E647") 제목으로, ASTM E647-13e01에 따라 적어도 삼중 C(T) 표본을 준비함으로써 결정된다. 적어도 삼중 C(T) 표본은 재료의 폭/3과 2 폭/3 사이 L-S 방향으로 채집되고, 여기에서 T/2 위치에서 채집된, 표본의 "B" 치수는 6.35 mm (0.25 인치)이고 표본의 "W" 치수는 적어도 25 mm (0.98 인치)이다. 테스트 표본은, 실온에서,  $R = 0.1$  ( $P_{min}/P_{max}$  상당), 주변 또는 고 습도 공기로, ASTM E647의 일정 하중 진폭 테스트 방법에 따라 테스트된다. 사전-균열은 ASTM E647의 모든 유효성 요건을 충족시켜야 하고, 사전-균열화는 ASTM E647에서 요구된 경우 수행되어야 한다. 테스트는  $K_{max}$

> 10 MPa√m. (9.098 ksi√인치)를 사용하여 개시되고, 개시력은 ASTM E647 C(T) 표본 유효성 요건 ((W-a) ≥ (4/π)\*(K<sub>max-dev</sub>/TYS)<sup>2</sup>)이 테스트에 더 이상 충족되기 전에 균열 편차가 발생하는 만큼 충분히 커야 한다. 테스트는 균열 편차의 지점까지 ASTM E647에 따라 유효해야 한다. C(T) 표본의 균열이 임의의 방향으로 (예를 들면, 20-110° 만큼) 의도된 과단면으로부터 실질적으로 벗어나는 경우 균열은 "편차하고", 편차는 의도되지 않은 과단면을 따라 표본 분리로 이어진다. 편차에서의 평균 균열 길이 (a<sub>dev</sub>)는 2개 표면 값 (전면 및 후면 값)의 평균을 사용함으로써 유래된다. K<sub>max-dev</sub>는 C(T) 표본에 대하여 ASTM E647 A1.5.1.1에 따라 편차에서의 평균 균열 길이 (a<sub>dev</sub>), 최대 적용된 힘 (P<sub>max</sub>), 및 응력-세기 인자 표현을 사용함으로써 계산된 최대 응력-세기 인자이다 (주해: ΔK 및 ΔP는, ASTM E6473.2.14에서 정의된 바와 같이 응력 비 관계식 R = K<sub>min</sub>/K<sub>max</sub> 및 ΔK = K<sub>max</sub> - K<sub>min</sub>에 따라, K<sub>max-dev</sub> 및 P<sub>max</sub>, 각각으로 대체될 수 있다).

표 3. 모든 6개 합금의 테스트 결과.

합금	인장 특성			SCC (일수)	Kmax-dev (MPa√m)
	TYS (MPa)	UTS (MPa)	A <sub>50mm</sub> (%)		
A1	444	517	14.47	>30	47.40
A2	469	523	15.40	>30	38.25
A3	493	540	13.37	>30	45.42
A4	522	573	11.60	>30	50.09
A5	503	551	12.67	>30	49.67
A6	524	572	12.03	>30	52.19

- [0118]
- [0119] 표 3의 결과로부터 모든 알루미늄 합금 제품이, 많은 항공우주 응용에서 사용을 위한 선결요건인, 양호한 SCC 저항을 갖는다는 것이 보여질 수 있다.
- [0120] 표 3의 결과로부터 합금 A1이 균열 편차에 대한 양호한 저항과 조합으로 매우 양호한 SCC 저항을 제공한다는 것이 보여질 수 있다. 하지만, L-방향으로 적어도 강도 수준은 매우 낮아 알루미늄 합금을 특히 구조적 항공우주 응용에 이상적 후보로 만들지 않는다.
- [0121] 합금 A2는 상당히 증가된 Zn-함량을 갖고 L-방향으로 더 높은 강도 수준을 제공한다. 하지만, 균열 편차에 대한 저항은 합금 A1 및 합금 A3에 비교하여 상당히 더 낮다.
- [0122] 합금 A1과 비교하여, 합금 A3은 적어도 더 높은 Zn-함량으로 인해 L-방향으로 더 높은 강도를 또한 갖는다. 균열 편차에 대한 저항은, 증가하는 강도로, 특히 증가하는 인장 항복 강도로, K<sub>max,dev</sub>가 감소할 것을 예상할 바와 같은 예상에 따르는, 합금 A1보다 약간 더 낮다. 본 발명에 따른 합금 A4, A5 및 A6은 양호한 SCC 저항, 증가된 강도 수준 및 균열 편차에 대한 증가된 저항의 선호하는 조합을 제공한다. 도 1에서, 테스트된 모든 합금에 대하여 L-방향으로 TYS에 대한 K<sub>max,dev</sub>가 작도된다. 이 도면으로부터, 합금 A6이 가장 선호하는 균형을 제공한다는 것이 보여질 수 있다.
- [0123] 본 발명은 이전에 기재된 구현예에 제한되지 않고, 첨부된 청구항에 의해 한정된 바와 같이 본 발명의 범위 내에서 널리 다양할 수 있다.

도면

도면1

