(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2022-0035127
(43) 공개일자 2022년03월21일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
C22C 21/00 (2006.01) *B21C 37/06* (2021.01)
B21D 53/06 (2006.01) *F28F 1/06* (2006.01)
F28F 21/08 (2006.01)
(52) CPC특허분류
C22C 21/00 (2021.01)
B21C 37/06 (2021.01)
(21) 출원번호 10-2022-7001500
(22) 출원일자(국제) 2019년11월21일
심사청구일자 없음
(85) 번역문제출일자 2022년01월14일
(86) 국제출원번호 PCT/IB2019/060038
(87) 국제공개번호 WO 2021/014203
국제공개일자 2021년01월28일
(30) 우선권주장
201910661744.0 2019년07월22일 중국(CN)

(71) 출원인
하이드로 프리시젼 튜빙 (쑤저우) 씨오., 엘티디.
중국 215024 지앙수 쑤저우 쑤저우 인더스트리얼 파크 쏭베이 로드 넘버 236
(72) 발명자
리 민시아
중국 215024 지앙수 쑤저우 쑤저우 인더스트리얼 파크 쏭베이 로드 넘버 236
에스페달 아르비드
덴마크 8320 마슬렛 옵스트루퍼젠 5
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
김태홍, 김진희

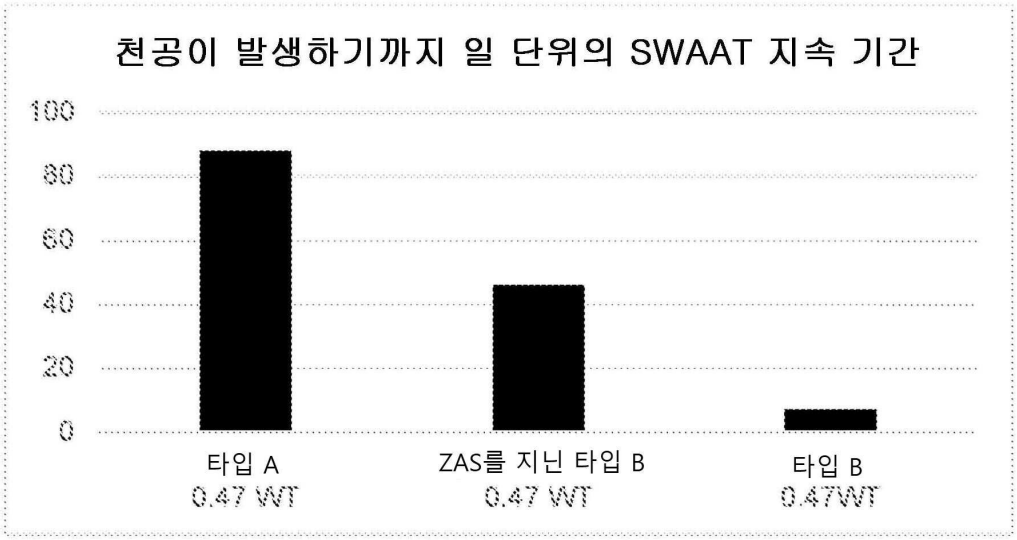
전체 청구항 수 : 총 10 항

(54) 발명의 명칭 **내식성이 높은 장수명 알루미늄 합금 및 이 합금으로 제조되고 나선형 홈을 갖는 튜브**

(57) 요 약

내식성이 높은 장수명 알루미늄 합금 및 이 합금으로 제조되고 나선형 홈을 갖는 튜브가 제공된다. 알루미늄 합금은 바람직하게는 1.0 내지 1.5 wt% Mn, 최대 0.1 wt% Mg, 최대 0.3 wt% Si, 최대 0.3 wt% Fe, 최대 0.1 wt% Cu, 최대 0.25 wt% Cr, 최대 0.1 wt% Ni, 최대 0.3 wt% Zn, 최대 0.1 wt% Ti, 최대 0.2 wt% Zr, 및 각각 최대 0.05 wt%이고, 총량이 최대 0.15 wt%인 불가피 불순물, 잔부 알루미늄을 포함한다. 열교환기는 알루미늄 튜브로 형성된 튜브 및 핀을 포함한다.

대 표 도 - 도1



(52) CPC특허분류
B21D 53/06 (2013.01)
F28F 1/06 (2013.01)
F28F 21/084 (2013.01)
F28F 2255/16 (2013.01)
(72) 발명자
조빈다라이 나가라이 비나야잠
덴마크 6270 퇴네르 스트럭살레 15,2
엠머호프 올레 요하네스
노르웨이 4260 토르바스타드 룬데베겐 33
펑추앙 구오
중국 215024 지앙수 쑤저우 쑤저우 인더스트리얼 파크 쏭베이 로드 넘버 236
수 징후이
중국 215024 지앙수 쑤저우 쑤저우 인더스트리얼 파크 쏭베이 로드 넘버 236
수 홍핑
중국 215024 지앙수 쑤저우 쑤저우 인더스트리얼 파크 쏭베이 로드 넘버 236

명 세 서

청구범위

청구항 1

알루미늄 합금으로서, 바람직하게는 1.0 내지 1.5 wt% Mn, 최대 0.1 wt% Mg, 최대 0.3 wt% Si, 최대 0.3 wt% Fe, 최대 0.1 wt% Cu, 최대 0.25 wt% Cr, 최대 0.1 wt% Ni, 최대 0.3 wt% Zn, 최대 0.1 wt% Ti, 최대 0.2 wt% Zr, 및 각각 최대 0.05 wt%이고, 총량이 최대 0.15 wt%인 불가피 불순물, 잔부 알루미늄을 포함하는 알루미늄 합금.

청구항 2

제1항에 있어서, 알루미늄 합금은 0.08 % 미만의 Mg를 포함하는 것인 알루미늄 합금.

청구항 3

제1항 또는 제2항에 있어서, 알루미늄 합금은 1.0 내지 1.2 wt% Mn, 최대 0.1 wt% Mg, 0.10 내지 0.15 wt% Si, 최대 0.3 wt% Fe, 최대 0.05 wt% Cu, 최대 0.03 내지 0.2 wt% Cr, 최대 0.05 wt% Ni, 최대 0.2 내지 0.3 wt% Zn, 최대 0.1 wt% Ti, 최대 0.2 wt% Zr, 및 각각 최대 0.05 wt%이고, 총량이 최대 0.15 wt%인 불가피 불순물, 잔부 알루미늄을 포함하는 것인 알루미늄 합금.

청구항 4

제1항 내지 제3항 중 어느 한 항에 있어서, 알루미늄 합금은 1.0 내지 1.1 wt% Mn, 최대 0.05 wt% Mg, 0.10 내지 0.15 wt% Si, 최대 0.3 wt% Fe, 최대 0.05 wt% Cu, 0.05 내지 0.1 wt% Cr, 바람직하게는 0.0 내지 최대 0.05 wt% Ni, 0.2 내지 0.25 wt% Zn, 최대 0.05 wt% Ti, 최대 0.05 wt% Zr, 및 각각 최대 0.05 wt%이고, 총량이 최대 0.15 wt%인 불가피 불순물, 잔부 알루미늄을 포함하는 것인 알루미늄 합금.

청구항 5

제1항 내지 제4항에 따른 합금으로 제조된 알루미늄 튜브.

청구항 6

제5항에 있어서, 홈이 형성된 내면을 갖는 것인 알루미늄 튜브.

청구항 7

제5항 또는 제6항에 있어서, 상기 홈은 적어도 0.05 mm의 높이를 갖는 것인 알루미늄 튜브

청구항 8

제5항에 따른 알루미늄 튜브로 형성된 튜브 및 핀을 포함하는 열교환기.

청구항 9

제8항에 있어서, 상기 튜브는 멀티포트 압출 튜브에 의해 형성되는 것인 열교환기.

청구항 10

제8항에 있어서, 상기 튜브는 플레이트의 구멍에 삽입되어 열교환기의 핀을 형성하는 것인 열교환기.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 열교환기를 위한 튜브에서 사용하기 위한 알루미늄 합금과, 이 합금으로 제조된 튜브에 관한 것이다. 튜브는 바람직하게는 내측 나선형 홈이나 내측 직선형 홈 또는 직선형 홈 및 나선형 홈의 조합을 갖는다. 본 발

명은 또한 튜브를 포함하는 열교환기에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 열교환기를 위한 열전달 튜브를 제조하는 경우, 튜브의 효율적인 열전달 성능을 보장하는 것이 중요하다. 열교환 튜브에서 그 내면 상에 교호하는 홈을 마련하는 것이 알려져 있다. 홈들은 튜브 내에서 이송되는 물과 같은 유체 열전달 매체의 난류를 증대시키도록 협동한다. 이러한 난류는 튜브 내면에 가까운 유체 혼합을 증가시켜, 튜브의 내면에 근접한 유체 매체의 경계층 조성 - 튜브의 열전달 저항을 증가시킬 수 있음 - 을 줄이거나 실제적으로 제거한다. 홈과 릿지(ridge)도 또한 추가의 열교환을 위한 추가 표면적을 제공한다.

[0003] 나선형 홈을 갖는 튜브(이하, HG 튜브)가 가정용 및 상업용 에어 컨디셔너의 열교환기, 히트 펌프, 온수기 등에 널리 적용된다. 열교환기 튜브 내부에 홈을 형성하는 방법이, 예컨대 EP1866119로부터 공지되어 있다. 시중의 HG 튜브를 위해 사용되는 합금은 주로 AA3003 또는 보다 우수한 내식성을 위해 아연 아크 분사 코팅을 갖는 AA3003이다. 내식성 열교환기에 대한 요구가 있으며, 많은 어플리케이션에서 요건을 충족하기 위해 소위 “장수명” 합금이 사용된다. 그러나, 기존의 장수명 합금은 인발가공성 및 인장 강도에서의 한계로 인해 나선형 홈을 갖는 튜브에 적용할 수 없다. AA3003 합금 HG 튜브는 시중의 내식성 요건을 충족하지 않지만, 우수한 인발가공성 및 높은 인장 강도와, 거친 나선형 홈 가공 프로세스에 대한 우수한 내구성을 갖는다. 내식성은 튜브에 Zn 코팅을 분사하는 것에 의해 향상될 수 있다. 그러나, 아연 아크 분사를 추가하는 것에 의해 AA3003 HG 튜브의 내식성을 향상시키면, 아연 아크 분사와 아연 확산 어닐링 프로세스로 인해 비용히 훨씬 높아질 것이다. 따라서, 나선형 홈을 갖는 튜브를 제조하기에 적합한 장수명 합금이 필요하다.

발명의 내용

[0004] 전술한 문제를 해결하기 위해, 본 발명의 일양태는 바람직하게는 1.0 내지 1.5 wt% Mn, 최대 0.1 wt% Mg, 최대 0.3 wt% Si, 최대 0.3 wt% Fe, 최대 0.1 wt% Cu, 최대 0.25 wt% Cr, 최대 0.1 wt% Ni, 최대 0.3 wt% Zn, 최대 0.1 wt% Ti, 최대 0.2 wt% Zr, 및 각각 최대 0.05 wt%이고, 총량이 최대 0.15 wt%인 불가피 불순물, 잔부 알루미늄을 포함하는 알루미늄 합금에 관한 것이다.

[0005] 본 발명의 다른 양태는 본 발명에 따른 합금으로 제조된 알루미늄 튜브에 관한 것이다.

[0006] 본 발명의 또 다른 양태는 본 발명에 따른 알루미늄 튜브로 형성된 튜브 및 핀을 포함하는 열교환기에 관한 것이다.

[0007] 본 발명에 따른 합금은 열교환기를 위한 내식성 튜브 제조에 적합하다. 특히, 해당 합금은 내식성 특성과 함께 기계적 강도 및 성형성으로 인해 나선형 홈을 갖는 튜브 제조에 적합하다. 열교환기 튜브는 통상적으로, 자동차 및 HVAC&R 분야에서 사용되는 장비, 예컨대 증발기, 응축기, 냉각기 및 히터에서 사용된다. 다양한 열전달 매체가 이러한 어플리케이션에서 사용될 수 있으며, 이러한 매체로는 제한하는 것은 아니지만, 순수(純水), 물 글리콜 혼합물, 임의의 타입의 냉매(예컨대, R-22, R-134a, R-123, R410a 등), 암모니아, 석유 화학 유체 및 다른 혼합물이 있다.

도면의 간단한 설명

[0008] 도 1은 본 발명에 따른 합금 A로 이루어진 튜브와, Zn 코팅이 있는 합금 B 및 Zn 코팅이 없는 합금 B로 형성된 튜브가 천공되기까지 걸리는 시간을 보여준다.

도 2a는 7일의 SWAAT 시험 후의 합금 B로 이루어진 튜브로부터의 누설 튜브의 단면을 보여준다.

도 2b는 118일의 SWAAT 시험 후의 본 발명에 따른 합금 A로 이루어진 비천공튜브의 단면을 보여준다.

도 3은 나선형 홈 가공 툴 박스를 보여준다.

도 4는 본 발명에 따른 압출 성형 튜브와 합금 B로 형성된 튜브의 기계적 특성을 보여준다.

도 5는 인라인 어닐링 후의 본 발명에 따른 나선형 홈을 갖는 튜브의 기계적 특성을 합금 B로 형성된 튜브와 비교하여 보여준다.

도 6은 나선형 홈을 갖는 튜브를 위한 인발 프로세스의 개요를 보여준다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0009] 표 1의 합금은 열교환기 튜브를 제조하기 위한 본 발명에 따른 장수명 합금의 상세이다. 화학적 조성은 1.0 내지 1.5 wt% Mn, 최대 0.1 wt% Mg, 바람직하게는 0.08 wt% Mn, 최대 0.3 wt% Si, 최대 0.3 wt% Fe, 최대 0.1 wt% Cu, 최대 0.25 wt% Cr, 최대 0.1 wt% Ni, 최대 0.3 wt% Zn, 최대 0.2 wt% Ti, 최대 0.2 wt% Zr, 및 각각 최대 0.05 wt%이고, 총량이 최대 0.15 wt%인 불가피 불순물, 잔부 알루미늄을 포함한다.

[0010] 바람직하게는, 본 발명은 1.0 내지 1.2 wt% Mn, 최대 0.1 wt% Mg, 바람직하게는 0.08 wt% Mg, 0.10 내지 0.15 wt% Si: 최대 0.3 wt% Fe, 최대 0.05 wt% Cu, 0.03 내지 0.2 wt% Cr, 최대 0.05 wt% Ni, 최대 0.2 내지 0.3 wt% Zn, 최대 0.1 wt% Ti, 최대 0.2 wt% Zr, 및 각각 최대 0.05 wt%이고, 총량이 최대 0.15 wt%인 불가피 불순물, 잔부 알루미늄을 포함하는 알루미늄 합금에 관한 것이다.

[0011] 가장 바람직하게는, 본 발명은 1.0 내지 1.1 wt% Mn, 최대 0.05 wt% Mg, 0.10 내지 0.15 wt% Si, 최대 0.3 wt% Fe, 최대 0.05 wt% Cu, 0.05 내지 0.1 wt% Cr, 바람직하게는 0.0 내지 최대 0.05 wt% Ni, 0.2 내지 0.25 wt% Zn, 최대 0.05 wt% Ti, 최대 0.05 wt% Zr, 및 각각 최대 0.05 wt%이고, 총량이 최대 0.15 wt%인 불가피 불순물, 잔부 알루미늄을 포함하는 알루미늄 합금에 관한 것이다.

[0012] 본 발명은 또한 상기한 알루미늄 합금으로 제조된 알루미늄 튜브, 특히 홈이 있는 내면을 갖는 튜브에 관한 것이다. 내부 홈은 바람직하게는 적어도 0.05 mm의 높이를 갖는다.

[0013] 본 발명은 또한 본 발명의 알루미늄 튜브로 형성된 튜브와 핀을 포함하는 열교환기에 관한 것으로, 이 열교환기는 바람직하게는 플레이트에 있는 구멍에 튜브를 삽입하여 열교환기의 핀을 형성함으로써 제조된다.

[0014] 열교환기는 또한, 그 사이에 파형 알루미늄 핀이 브레이징되는 평행 멀티포트 압출 성형 튜브에 의해 형성된 사행형 열교환기일 수도 있다.

표 1

[0015]

원소	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Zr	Ti	기타 각각	기타 총
합금 A wt%	≤0.3	≤0.3	≤0.1	1.00-1.50	<0.1	≤0.25	≤0.1	≤0.3	0.2	≤0.2	≤0.05	≤0.15

[0016] 본 발명의 합금은 내측 홈을 지닌 열교환기 튜브에 특히 적합한 특성을 제공하는 범위로 신중하게 선택된 원소들의 조합이다.

[0017] Mn은 합금 강도 향상을 위한 주요 첨가 원소이며, Mn 함량이 1.0 wt% 미만인 경우, 합금의 강도는 나선형 홈 가공 처리를 하기에는 불충분하고, 튜브 파손을 유발할 수 있다. Mn 함량이 1.5 wt%를 초과하면, 재료가 너무 경질이 되고, 튜브를 확대하는 데 더 많은 힘이 필요하여, 튜브 내부의 핀이 붕괴되기 때문에 튜브 확대가 어려워지고, 튜브는 확대하는 동안 핀과 빌렛 사이의 높은 마찰로 인해 굴곡될 위험이 있으며, 이는 브레이징 후 튜브 내식성에 영향을 줄 것이다. Mn의 바람직한 함량은 1.0 내지 1.2 wt%, 바람직하게는 1.0 내지 1.1 wt%이다.

[0018] Mg는 노콜록 플럭스(Nocolok flux) 어플리케이션에 의해 열교환기의 우수한 브레이징을 얻기 위해 0.1 wt% 이하, 바람직하게는 0.08 wt% 이하, 가장 바람직하게는 0.05 wt% 이하이어야만 한다.

[0019] Si 및 Fe는 내식성을 향상시키기 위해 각각 0.3 wt% 이하로 제어된다. Si 함량은 바람직하게는 내식성 성능을 향상시키기 위해 0.10 내지 0.15 wt%이어야만 한다.

[0020] Cr은 결정립 구조 미세화와 합금 강도 및 내식성 향상을 위해 첨가되지만, 나선형 홈 가공 프로세스 동안의 우수한 압출성 및 성형성을 위해 0.25 wt% 이하, 바람직하게는 0.05 내지 0.2 wt%, 더 바람직하게는 0.05 내지 0.1 wt%로 제어될 필요가 있다.

[0021] Cu는 0.1 wt% 이하이어야만 하며, 바람직하게는 Cu 함량은 튜브의 우수한 내식성을 위해 0.05 wt% 이하이어야만 한다.

[0022] Zn은 내공식성(pit corrosion resistance)을 향상시키고, 튜브 표면 주위에 균일한 부식을 유도하기 위해 최대 0.3 wt%까지 첨가되는 중요한 원소이다. 바람직하게는, Zn 함량은 0.1 wt% 내지 0.3 wt%, 바람직하게는 0.2 내지 0.3 wt%, 보다 바람직하게는 0.25 내지 0.3 wt%이다.

[0023] Fe는 최대 0.3 wt%로 제어되는데, 그 이유는 Fe 함량이 더 높으면 내식성에 부정적인 영향을 줄 수 있기 때문이다. 높은 Fe-함유 입자는 애노드 환경을 용해하는 캐소드로서 작용한다.

[0024] Ni는 입계 내식성에 매우 해로운 것으로 알려져 있으며, 0.1 wt% 이하, 바람직하게는 0.05 wt% 이하로 제한되어야만 한다.

[0025] Ti는 주로 결정립 미세화를 위해 사용되지만, 내식성을 향상시키는 데에도 사용된다. Ti 함량은 0.2 wt% 이하, 0.1 wt% 이하, 바람직하게는 0.05 wt% 이하로 제한되어야만 한다.

[0026] Zr은 금속간화합물의 크기에 긍정적인 영향을 주기 때문에 부식에 긍정적인 것으로 간주되며, 최대 0.2 wt%까지 첨가될 수 있다. 형성된 금속간화합물 Al_3Zr은 부식성 환경에서 활성적이지 않은 것으로 알려져 있으며, 이에 따라 내식성에 해롭지 않다. Zr을 0.2 wt% 넘게 첨가하면, Zr이 고가의 원소이기 때문에 합금 비용이 높아질 것이다. 0.2 wt%가 넘는 Zr을 포함하는 합금은 또한 재활용하기가 더 어렵고 성형성이 더 낮을 것이다.

[0027] 본 발명에 따른 합금 A의 내식성을, Si, Fe 및 Ti 함량은 약간 높지만, Zn 및 Cr 함량은 더 낮은 합금 B와 비교하는 테스트를 수행하였다. 본 발명에 따른 합금 내의 아연, Si 및 Fe의 조합된 함량은 우수한 내식성의 주요 원인이다. Cr은 합금 강도를 증가시키고, 낮은 Si 및 Fe 함량으로 인해 손실된 강도를 일부 보상한다. 합금 A 및 B(Zn 코팅, "ZAS"가 있는 것 및 없는 것)로 이루어진, 나선형 홈을 갖는 튜브의 테스트로부터의 SWAAT 결과를 보여주는 도 1 및 도 2에서 볼 수 있다시피, 합금 A의 내식성이 합금 B 튜브의 내식성보다 훨씬 높다. 합금 B로 이루어진 Zn 비코팅 튜브는 단지 7일의 노출 후에 누설이 있었다.

표 2

[0028]

원소	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Ti	기타 원소, 각각
합금 A	0.126	0.185	0.003	1.127	0.01	0.066	0.006	0.22	0.013	-
합금 B	0.175	0.564	0.076	1.119	0.004	0.003	-	0.018	0.018	-

[0029] 도 2a는 SWAAT에서 7일의 테스트 후에 이미 누설을 보였던 합금 B로 형성된 튜브 단면의 사진이다. 부식 모드는 공식(pit corrosion)이며, 합금 A 튜브의 단면에 관한 도 2b에서는 보다 균일한 부식이 발생하였고, 합금 A 튜브는 단지 118일의 SWAAT 후에 누설이 있었다.

[0030] 나선형 홈을 갖는 튜브의 제조 장치가 도 3에 도시되어 있다.

[0031] 합금 빌렛은 압출 프레스에서 베이스 튜브(1)를 형성하도록 압출되고, 베이스 튜브는 연속 인발 기계에 의해 튜브(8) 크기로 인발된다. 튜브는 강제 샤프트(5) 연결에 의해 고정식 플러그(3) 위치에서 인발 스테이션에 진입한 다음 고정식 나선형 홈 가공 플러그(4)로 이동한다. 튜브는 튜브의 확대 없이 튜브 내부에 나선형 홈을 형성하기 위한 나선형 홈 가공 플러그(4)에 의해 인발된다. 플러그 - 튜브 내부에 위치함 - 가 튜브를 원하는 내경으로 성형한다. 나선형 홈 가공 중에, 기어 박스(6) 내에 튜브를 둘러싸는 강제 볼(7)이 마련되고, 이 볼은 고속으로 스핀하는 모터에 의해 구동되어 알루미늄을 나선형 홈 가공을 위한 다이 내로 압박한다. 외경은 기어박스 크기와 튜브 주위에서 회전하는 강제 볼 직경의 조립 치수에 의해 결정된다. 홈 가공 프로세스를 통과하기 위해서, 합금은 우수한 성형성 및 높은 강도를 가져야만 한다.

[0032] 나선형 홈 가공 후, 튜브(1)는 볼 마크를 가질 것이고, 외면을 매끄럽게 하기 위해 인발 다이와 인발 플러그를 포함하는 싱크 인발 유닛을 통과해 최종 튜브 크기를 얻을 수 있다.

[0033] 도 4는 EN 755-2에 따라 테스트된 튜브의 인장 강도를 보여준다.

[0034] 본 발명에 따른 합금 A로 형성된 튜브의 인장 강도는 모두가 합금 B로 형성된 튜브의 경우보다 약간 더 낮지만, 강도는 나선형 홈가공 프로세스에 의한 신뢰성 있는 제조를 보장하기에 충분할만큼 우수하다.

[0035] 도 5에는, 인발 속도를 200 m/min으로 한 인발 중에 튜브를 섭씨 450 내지 550도로 가열하는 것에 의한 인라인 어닐링 후의 나선형 튜브의 기계적 특성이 도시되어 있다.

[0036] 인발 공정 중에 인발 스테이션을 상이한 패스 회수로 통과한 후 튜브 치수의 감소가 도 6에 도시되어 있다, 테스트된 튜브의 튜브 크기는 외경(OD) = 7 mm, 벽 두께(WT) = 0.47 mm, 핀 높이(FH) = 0.25 mm, 및 홈 개수(FN) = 50개이다. 인발 테스트는 도 6에 개략적으로 도시되어 있다. 그래프에서 기둥은 각각의 인발에서의 치수 감소 %를 보여준다. 튜브의 총 인발 변형은 81 %였다.

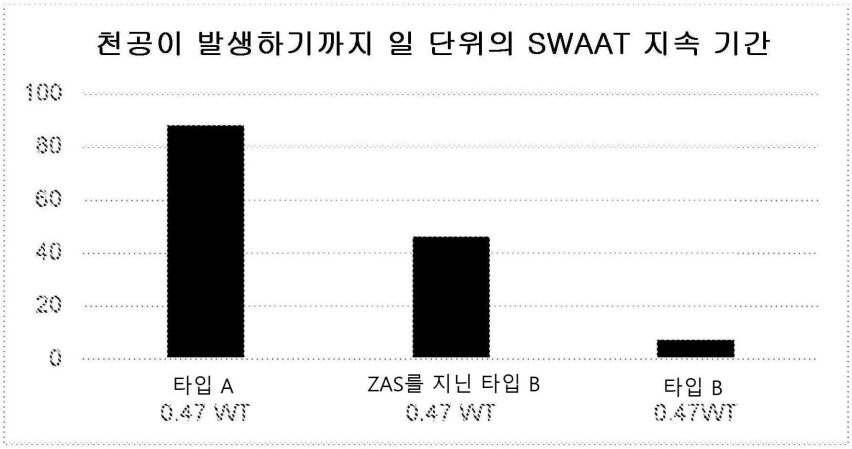
[0037] 본 발명에 따른 합금으로 형성된 튜브의 인발가공성에 기초하여, 외경은 5 내지 10 mm, 벽 두께는 0.35 내지 0.7 mm, 핀 높이는 최대 0.35 mm, 그리고 핀 개수는 최대 50개일 수 있다.

[0038] 열교환 성능이 증대된 열교환기는 튜브 내부에 내측 홈 - 이 내측 홈은 알루미늄 열 소산 핀(소위 핀 및 튜브 타입 열교환기)으로 개방된 삽입 구멍 내에 삽입됨 - 을 형성한 다음, 튜브를 열교환 튜브의 내경보다 큰 외경을 갖도록 확대하기 위해 맨드릴에 삽입하는 것에 의해 제조되고, 열교환 튜브의 외주면은 알루미늄 열 소산 핀의 삽입 구멍과 밀접한다.

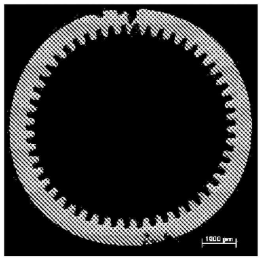
[0039] 본 발명에 따른 합금은 또한 통상의 라운드형 튜브를 제조하고 미세 채널 플랫 튜브(MPE)를 압출하는 데 사용될 수 있다. 매끄러운 튜브를 위한 바람직한 치수는 5 내지 30 mm의 직경 및 0.3 mm가 넘는 벽 두께이다. MPE를 위한 바람직한 치수는 폭이 최소 8 mm, 최소 높이가 1 mm, 그리고 벽 두께가 0.15 mm를 넘는다.

도면

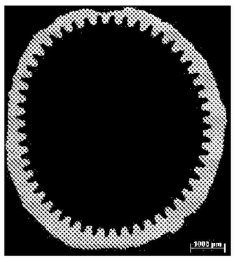
도면1



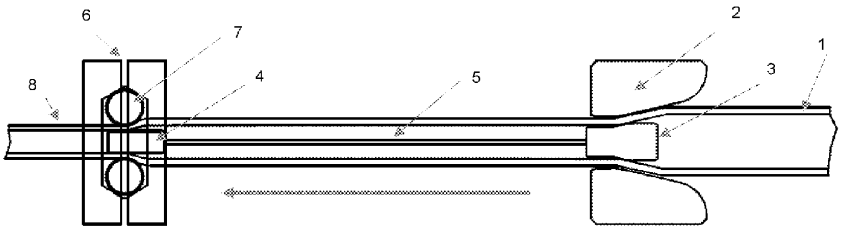
도면2a



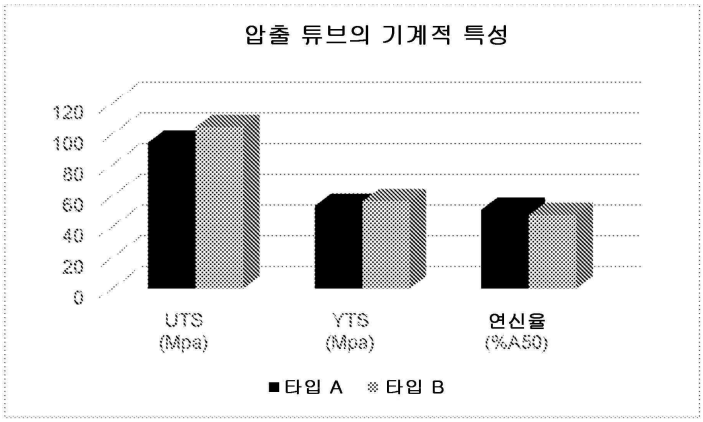
도면2b



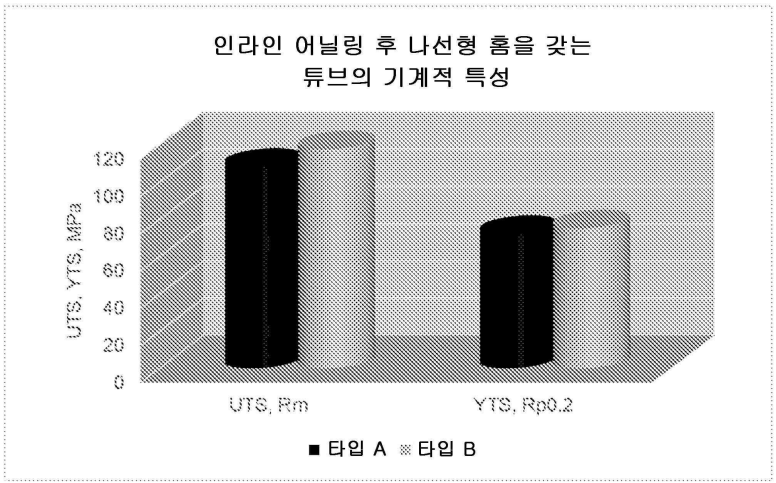
도면3



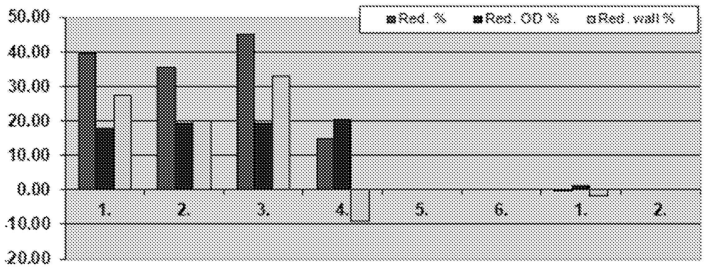
도면4



도면5



도면6


Red. %
Red. OD %
Red. wall %
50.00
40.00
30.00
20.00
10.00
0.00
-10.00
-20.00
1.
2.
3.
4.
5.
6.
1.
2.