



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2012년09월27일
(11) 등록번호 10-1186458
(24) 등록일자 2012년09월20일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
C22C 47/08 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2006-7016178
(22) 출원일자(국제) 2005년01월03일
심사청구일자 2009년12월30일
(85) 번역문제출일자 2006년08월11일
(65) 공개번호 10-2006-0111696
(43) 공개일자 2006년10월27일
(86) 국제출원번호 PCT/US2005/000101
(87) 국제공개번호 WO 2005/083142
국제공개일자 2005년09월09일
(30) 우선권주장
10/779,438 2004년02월13일 미국(US)
(56) 선행기술조사문헌
US20030029902 A1

(73) 특허권자
쓰리엠 이노베이티브 프로퍼티즈 컴파니
미국 55133-3427 미네소타주 세인트 폴 피.오.박
스 33427 쓰리엠 센터
(72) 발명자
맥클로흐 콜린
미국 55133-3427 미네소타주 세인트 폴 피.오.박
스 33427 쓰리엠센터
데브 허브 이.
미국 55133-3427 미네소타주 세인트 폴 피.오.박
스 33427 쓰리엠센터
존슨 더글라스 이.
미국 55133-3427 미네소타주 세인트 폴 피.오.박
스 33427 쓰리엠센터
(74) 대리인
김영, 주성민

전체 청구항 수 : 총 4 항

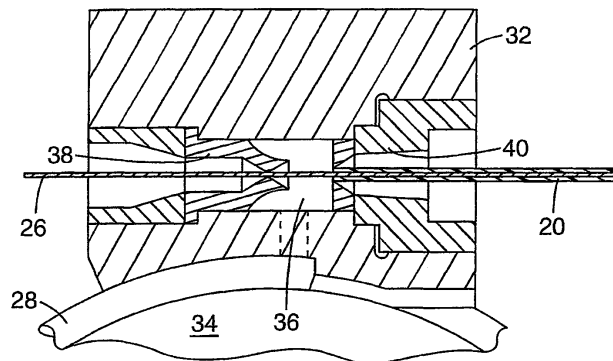
심사관 : 오준철

(54) 발명의 명칭 금속-피복 금속 매트릭스 복합 재료 와이어

(57) 요약

본 발명의 금속-피복 금속 매트릭스 복합 재료 와이어는 금속 매트릭스 내에 복수개의 연속이고 길이 방향으로 위치된 섬유를 포함하는 금속 매트릭스 복합 재료 와이어의 외부 표면과 결합된 열간 가공된 금속 피복을 포함한다.

대표도 - 도3



특허청구의 범위

청구항 1

복수개의 금속-피복 금속 매트릭스 복합 재료 와이어를 포함하고, 각 금속-피복 금속 매트릭스 복합 재료 와이어는

외부 표면을 갖고, 서로에 대해 길이 방향으로 배향되고 세라믹 또는 탄소 중 적어도 1개를 포함하는 복수개의 연속 섬유를 포함하는 적어도 1개의 토우와 금속 매트릭스를 포함하며 각각의 토우는 금속 매트릭스 내에 위치되는 금속 매트릭스 복합 재료 코어와;

금속 매트릭스 복합 재료 코어의 외부 표면을 덮고 1100℃ 이하의 용융점을 갖는 금속 피복을 포함하며,

각 금속-피복 금속 매트릭스 복합 재료 와이어는 적어도 0.95의 진원도 수치, 0.9% 이하의 진원도 균일성 수치 그리고 적어도 100 m의 길이에 대해 0.2% 이하의 직경 균일성 수치를 나타내는, 복합 재료 케이블.

청구항 2

제1항에 있어서, 금속 매트릭스는 알루미늄 매트릭스인, 복합 재료 케이블.

청구항 3

제2항에 있어서, 금속 매트릭스 복합 재료 코어는 복수개의 토우를 포함하고, 금속-피복 금속 매트릭스 복합 재료 와이어는 소성 변형 가능한, 복합 재료 케이블.

청구항 4

제1항에 있어서, 금속 매트릭스 복합 재료 코어는 복수개의 토우를 포함하고, 금속-피복 금속 매트릭스 복합 재료 와이어는 소성 변형 가능한, 복합 재료 케이블.

청구항 5

삭제

청구항 6

삭제

청구항 7

삭제

청구항 8

삭제

청구항 9

삭제

청구항 10

삭제

청구항 11

삭제

청구항 12

삭제

청구항 13

삭제

청구항 14

삭제

청구항 15

삭제

청구항 16

삭제

청구항 17

삭제

청구항 18

삭제

청구항 19

삭제

청구항 20

삭제

청구항 21

삭제

청구항 22

삭제

청구항 23

삭제

청구항 24

삭제

청구항 25

삭제

청구항 26

삭제

청구항 27

삭제

청구항 28

삭제

청구항 29

삭제

청구항 30

삭제

청구항 31

삭제

청구항 32

삭제

청구항 33

삭제

청구항 34

삭제

청구항 35

삭제

청구항 36

삭제

청구항 37

삭제

청구항 38

삭제

청구항 39

삭제

청구항 40

삭제

청구항 41

삭제

청구항 42

삭제

청구항 43

삭제

청구항 44

삭제

청구항 45

삭제

청구항 46

삭제

청구항 47

삭제

명세서

기술분야

[0001] 일반적으로, 금속 매트릭스 복합 재료(MMC: metal matrix composite)가 공지되어 있다. MMC는 전형적으로 입자상 물질(particulate), 침상 결정(whisker), 짧은 섬유 또는 긴 섬유 중 하나로 강화된 금속 매트릭스를 포함한다. 금속 매트릭스 복합 재료의 예는 알루미늄 매트릭스 복합 재료 와이어(예컨대, 알루미늄 매트릭스 내에 깊숙이 박혀진 실리콘 탄화물, 탄소, 붕소 또는 다정질 알파 알루미나 섬유), 티타늄 매트릭스 복합 재료 테이프(예컨대, 티타늄 매트릭스 내의 실리콘 탄화물 섬유) 및 구리 매트릭스 복합 재료 테이프(예컨대, 구리 매트릭스 내에 깊숙이 박혀진 실리콘 탄화물 또는 붕소 섬유)를 포함한다. 특히 흥미로운 금속 매트릭스 복합 재료 와이어의 하나의 용도는 가공되지 않은 가공 송전 케이블(bare overhead electrical power transmission cable) 내에서의 강화 부재 및 전기 전도체로서의 용도이다. 새로운 케이블에 대한 하나의 전형적인 필요성은 기존의 송전 기반 시설의 송전 용량을 증가시켜야 하는 필요성에 의해 압박된다.

배경기술

[0002] 가공 송전을 위한 케이블에 대한 바람직한 성능 요건은 비교적 높은 탄성 계수, 낮은 밀도, 낮은 열팽창 계수, 높은 전기 전도도 및/또는 높은 강도뿐만 아니라 내식성, 환경 내구성(예컨대, UV 및 습기), 고온에서의 강도의 손실에 대한 저항성, 크리프 저항성을 포함한다. 알루미늄 매트릭스 복합 재료 와이어를 포함하는 가공 송전 케이블이 공지되어 있지만, 일부의 분야에 대해 예컨대 개선된 변형 대 파괴(strain to failure) 수치 및/또는 크기 균일성을 갖는 알루미늄 매트릭스 복합 재료 와이어에 대한 지속적인 요망이 있다.

[0003] 또 다른 관점에서, 종래의 금속 매트릭스 복합 재료 와이어는 가해진 힘이 파괴를 유발시킬 정도로 충분한 크기일 때까지 탄성 변형을 경험한다. 종래의 금속 매트릭스 복합 재료 와이어는 일반적으로 종래의 금속 와이어에서 흔히 보이는 바와 같이 소성 변형을 나타내지 않는다. 종래의 금속 매트릭스 복합 재료 와이어는 영구 변형을 일으키지 않으므로, 추가의 수단이 케이블 가설 상태에서 와이어를 유지하는 데 채용되어야 한다. 소성 변형을 경험할 수 있는 연속 금속 매트릭스 복합 재료 와이어에 대한 당업계에서의 필요성이 있다.

[0004] 나아가, 일부의 실시예에서, 금속 매트릭스 복합 재료 와이어의 치수(직경, 진원도 및 그 균일성)를 제어하는 것이 바람직하다. 종래의 금속 매트릭스 복합 재료 와이어는 예컨대 드로잉(drawing) 등의 종래의 고체-상태 금속 가공 기술을 사용하는 데 있어서의 어려움으로 인해 높은 수준의 치수 공차까지 가공하기 어려울 수 있다. 높은 치수 정밀도를 갖지만 하중-지지 능력의 열화가 없이 제조되는 연속 금속 매트릭스 복합 재료 와이어에 대한 당업계에서의 필요성이 있다.

발명의 상세한 설명

[0005] 본 발명은 금속-피복(예컨대, 알루미늄 및 그 합금) 금속(예컨대, 알루미늄 및 그 합금) 매트릭스 복합 재료 와이어에 관한 것이다. 본 발명의 실시예는 금속 매트릭스 복합 재료 와이어의 외부 표면과 결합된 열간 가공된 금속 피복을 갖는 금속 매트릭스 복합 재료 와이어에 관한 것이다. 본 발명에 따른 금속-피복 금속 매트릭스 복합 재료는 탄성 계수, 밀도, 열팽창 계수, 전기 전도도, 강도, 변형 대 파괴 및/또는 소성 변형에 대해 바람직한 성질을 나타내는 와이어로서 형성된다.

[0006] 본 발명은 금속 매트릭스 내에 복수개의 연속이고 길이 방향으로-위치된 섬유를 포함하는 적어도 1개의 토우(전형적으로, 복수개의 토우)를 갖는 금속 매트릭스 복합 재료 위에 금속 피복을 포함하는 금속-피복 금속 매트릭스 복합 재료 와이어를 제공한다. 금속 피복의 재료는 1100℃ 이하(전형적으로, 1000℃ 이하, 900℃, 800℃ 이하 또는 심지어 700℃ 이하일 수 있음)의 용융점을 갖는다. 전형적으로, 금속-피복 금속 매트릭스 복합 재료 와이어는 적어도 100 m(일부의 실시예에서, 적어도 300 m, 적어도 400 m, 적어도 500 m, 적어도 600 m, 적어도 700 m, 적어도 800 m, 적어도 900 m 또는 심지어 적어도 1000 m)의 길이를 갖는다. 금속-피복 금속 매트릭스 복합 재료 와이어는 또한 적어도 0.95(일부의 실시예에서, 적어도 0.97, 적어도 0.98 또는 심지어 적어도 0.99)의 진원도 수치, 0.9% 이하(일부의 실시예에서, 0.5% 이하 또는 심지어 0.3% 이하)의 진원

도 균일성 수치 그리고 적어도 100 m(일부의 실시예에서, 적어도 300 m, 적어도 400 m, 적어도 500 m, 적어도 600 m, 적어도 700 m, 적어도 800 m, 적어도 900 m 또는 심지어 적어도 1000 m)의 길이에 대해 0.2% 이하의 직경 균일성 수치를 나타낸다.

- [0007] 또 다른 태양에서, 본 발명은 예컨대 일부의 실시예에서 적어도 100 m, 적어도 300 m, 적어도 400 m, 적어도 500 m, 적어도 600 m, 적어도 700 m, 적어도 800 m, 적어도 900 m 또는 심지어 적어도 1000 m의 길이에서 소성 변형의 성질을 나타내는 금속-피복 금속 매트릭스 복합 재료 와이어를 제공한다. 소성 변형의 성질은 와이어가 와이어를 휨으로써 영구 변형을 일으킨다는 것을 의미한다.
- [0008] 또 다른 태양에서, 본 발명은 예컨대 일부의 실시예에서 적어도 100 m, 적어도 300 m, 적어도 400 m, 적어도 500 m, 적어도 600 m, 적어도 700 m, 적어도 800 m, 적어도 900 m 또는 심지어 적어도 1000 m의 길이가 1차 파괴를 경험할 때 되감김 효과(recoil effect)를 감소시키고 2차 파괴를 방지하는 데 효과적인 금속-피복 금속 매트릭스 복합 재료 와이어를 제공한다.
- [0009] 또 다른 태양에서, 본 발명은 금속 피복이 없을 때의 금속 매트릭스 복합 재료 와이어에 의해 나타나는 변형 대 파괴에 비교될 때 큰 변형 대 파괴를 나타내는 금속-피복 금속 매트릭스 복합 재료 와이어를 제공한다.
- [0010] 또 다른 태양에서, 본 발명은 본 발명에 따른 적어도 1개의 금속-피복 금속 매트릭스 복합 재료 와이어를 포함하는 케이블을 제공한다.
- [0011] 여기에 사용된 바와 같이, 다음의 용어는 여기에서 특정되지 않으면 지시된 바와 같이 정의된다.
- [0012] "연속 섬유(continuous fiber)"는 평균 섬유 직경에 비교될 때 비교적 무한한 길이를 갖는 섬유를 의미한다. 전형적으로, 이것은 섬유가 적어도 1×10^5 (일부의 실시예에서, 적어도 1×10^6 또는 심지어 1×10^7)의 종횡비(즉, 섬유의 평균 직경에 대한 섬유의 길이의 비율)를 갖는다. 전형적으로, 이러한 섬유는 적어도 50 m의 정도의 길이를 갖고, 심지어 km 이상의 정도의 길이를 가질 수 있다.
- [0013] "길이 방향으로 위치된(longitudinally positioned)"은 섬유가 와이어의 길이와 동일한 방향으로 와이어의 길이에 대해 배향되는 것을 의미한다.
- [0014] 와이어의 단면 형상이 원의 원주에 가까워지는 근접 정도의 측정치인 "진원도 수치(roundness value)"는 아래의 예에서 기술되는 바와 같이 와이어의 특정한 길이에 대한 개별 측정된 진원도 수치에 의해 정의된다.
- [0015] 와이어의 특정한 길이에 대한 측정된 단일의 진원도 수치의 변동 계수인 "진원도 균일성 수치(roundness uniformity value)"는 아래의 예에서 기술되는 바와 같이 개별 측정된 진원도 수치의 평균에 의해 나뉘진 개별 측정된 진원도 수치의 표준 편차의 비율이다.
- [0016] 와이어의 특정한 길이에 대한 와이어의 개별 측정된 직경의 평균의 변동 계수인 "직경 균일성 수치(diameter uniformity value)"는 아래의 예에서 기술되는 바와 같이 측정된 개별 직경의 평균에 의해 나뉘진 측정된 개별 직경의 평균의 표준 편차의 비율에 의해 정의된다.
- [0017] 종래의 금속 매트릭스 복합 재료 와이어는 1차 파괴를 경험한 후 2차 파괴를 나타낼 수 있다. 이들 경우에, 제1 파괴에 이어서 급속한 2차 파괴를 유도할 수 있는 와이어의 되감김이 후속된다. 결국, 2차 파괴에 저항하는 연속 금속 매트릭스 복합 재료 와이어에 대한 필요성이 있다. 본 발명의 금속-피복 금속 매트릭스 복합 재료 와이어의 실시예는 이러한 필요성을 다루고 있다.

실시예

- [0029] 본 발명은 금속-피복 섬유 강화 금속 매트릭스 복합 재료를 포함하는 와이어 및 케이블을 제공한다. 본 발명의 금속-피복 금속 매트릭스 복합 재료 와이어는 금속 매트릭스 복합 재료 와이어의 외부 표면과 결합된 열간 가공된 연성 금속 피복을 포함한다. 이론에 의해 나타낼 수 없지만, 본 발명의 일부의 실시예가 상당히 개선된 성질을 갖는 와이어를 제공하는 것으로 믿어진다. 본 발명에 따른 적어도 1개의 금속-피복 금속 매트릭스 복합 재료 와이어가 케이블(예컨대, 송전 케이블)로 결합될 수 있다.
- [0030] 본 발명의 방법에 따라 제조된 전형적인 금속-피복 섬유 강화 금속 매트릭스 복합 재료 와이어(20)의 단면도가 도1에 제공되어 있다. 금속-피복 섬유 강화 금속 매트릭스 복합 재료 와이어(20)[이하, 금속-피복 복합 재료 와이어 또는 MCCW(metal-cladded composite wire)]는 금속 매트릭스 복합 재료 와이어(26)의 외부 표면(24)과 결합된 연성 금속 피복(22)을 포함한다. 금속 매트릭스 복합 재료 와이어(26)는 또한 코어 와이어(26)로서 호칭된다. 연성 금속 피복(22)은 두께(t)를 갖는 대략 환형의 형상을 갖는다. 일부의 실시예에서,

금속 매트릭스 복합 재료 와이어(26)는 MCCW(20) 내에 길이 방향으로 중심 설정된다.

- [0031] 본 발명의 방법은 금속 매트릭스 복합 재료 와이어(26)에 피복을 결합시킨다. 금속 매트릭스 복합 재료 와이어(26)는 후술되고 도2 및 도3에 도시된 방법을 이용함으로써 금속-피복 복합 재료 와이어(MCCW)(20)를 형성하도록 피복될 수 있다.
- [0032] 도2를 참조하면, 코어 와이어(26)에는 피복 기계(30)[예컨대, 모델 350; 영국 잉글랜드 애시포드에 소재한 BWE 리미티드로부터 상표 지정명 "콘클래드" 하에서 입수 가능함]를 이용하여 MCCW(20)를 형성하도록 연성 금속 공급 원료(28)가 피복될 수 있다. 피복 기계(30)는 압출 휠(34) 위의 또는 그에 인접한 슈(shoe)(32)를 포함한다. 슈(32)는 하나의 단부 상의 입구 안내 다이(38)에 의해 접근되는 다이 챔버(36)(도3 참조) 그리고 다른 단부 상의 출구 압출 다이(40)를 포함한다. 압출 휠(34)은 다이 챔버(36) 내로 급송되는 적어도 1개의 주연 홈(42)(전형적으로, 2개의 주연 홈)을 포함한다.
- [0033] 일부의 실시예에서, 피복 기계(30)는 접선 방식으로 작동한다. 도2에 도시된 바와 같은 접선 방식에서, 제품 중심선[즉, MCCW(20)]은 피복 기계(30)의 압출 휠(34)에 접선 방향으로 연장한다. 이것은 코어 와이어(26)가 와이어를 파괴시킬 정도로 충분한 임의의 작은 반경 휨을 경험하지 않아야 하므로 바람직할 수 있다. 전형적으로, 코어 와이어(26)는 직선 경로를 따를 것이다.
- [0034] 코어 와이어(26)는 와이어의 탄성 한계를 초과하는 코어 와이어(26)의 휨을 방지할 정도로 충분한 직경의 스풀(도시되지 않음) 상에서 피복 기계(30)로 공급된다. 제동부를 구비한 권취 해제 시스템(pay off system with braking)이 스풀에서의 코어 와이어(26)의 장력을 제어하는 데 사용된다. 코어 와이어(26)의 장력은 코어 와이어(26)의 스풀이 권취 해제되는 것을 방지할 정도로 충분한 수준까지 최소로 유지된다. 코어 와이어(26)는 전형적으로 장비를 통과하기 전에 예열되지 않지만, 이것은 일부의 실시예에서 바람직할 수 있다. 선택적으로, 코어 와이어(26)는 공급 원료(28)에 대해 후술되는 것과 유사한 방법을 사용하여 피복 전에 세척될 수 있다.
- [0035] 코어 와이어(26)는 압출 휠(34) 위의 또는 그에 인접한 슈(32)에서 피복 기계(30) 내로 통과될 수 있다. 슈(32)의 세부 단면도가 도3에 제공되어 있다. 슈(32)는 입구 안내 다이(38), 다이 챔버(36) 및 출구 압출 다이(40)를 포함한다. 코어 와이어(26)는 입구 안내 다이(38)를 통해 진입되고 피복이 일어나는 다이 챔버(36)를 통과하고 출구 압출 다이(40)에서 배출됨으로써 슈(32)(즉, 압출 공구)를 직접적으로 통과한다. 출구 다이(40)는 피복 두께(t)를 수용하도록 코어 와이어(26)보다 크다. MCCW(20)는 슈(32)의 먼 쪽에서 배출된 후 권취 드럼(도시되지 않음)에 부착된다.
- [0036] 피복 기계(30) 내로의 도입 전에, 연성 금속 피복을 위한 공급 원료(28)가 표면 오염을 제거하도록 선택적으로 세척된다. 하나의 적절한 세척 방법은 BWE 리미티드로부터 입수 가능한 파오비탈 세척 시스템(parorbital cleaning system)이다. 이것은 연한 알칼리성 세척 용액(예컨대, 희석 수성 소듐 수산화물), 그 다음에 산성 중화제(예컨대, 수용액 내의 희석 아세트산 또는 다른 유기산) 그리고 최종적으로 물 행금을 사용한다. 파오비탈 시스템에서, 세척 유체는 뜨겁고 유체 내에서 교반되는 와이어를 따라 고속으로 유동한다. 화학적 세척과 조합된 초음파 세척이 또한 적절하다.
- [0037] 피복 기계(30)의 작동은 도2 및 도3을 참조하여 다음과 같이 기술되고, 전형적으로 연속 공정으로서 운영된다. 우선, 코어 와이어(26)는 전술된 바와 같이 피복 기계(30) 내로 통과될 수 있다. 공급 원료(28)는 일부의 실시예에서 주연 주위에 트윈 홈(42)을 포함하는 회전 압출 휠(34)에 일부의 실시예에서 2개의 로드로서 도입된다. 각각의 홈(42)은 공급 원료(28)의 로드를 수용한다.
- [0038] 압출 휠(34)은 회전하고, 그에 의해 다이 챔버(36) 내로 공급 원료(28)를 가압한다. 압출 휠(34)의 작용은 공급 원료(28)를 가소화하기 위해 다이 챔버(36)의 열과 협력하여 충분한 압력을 공급한다. 다이 챔버(36) 내에서의 공급 원료 재료의 온도는 전형적으로 재료의 용융 온도보다 낮다. 재료는 변형 동안에 재결정화가 일어나게 하는 온도 및 변형률에서 소성 변형되도록 열간 가공된다. 용융점보다 낮게 공급 원료 재료 온도를 유지함으로써, 공급 원료(28)로부터 형성된 피복(22)은 공급 원료가 용융된 형태로 가해진 것보다 큰 경도를 갖는다. 예컨대, 대략 500℃의 온도가 대략 660℃의 용융점을 갖는 알루미늄 공급 원료를 위해 전형적이다.
- [0039] 공급 원료(28)는 코어 와이어(26) 주위에서 공급 원료(28)의 압력 및 유동을 균등화하는 것을 돕기 위해 코어 와이어(26)의 2개의 측면 상에서 다이 챔버(36) 내로 진입된다. 압출 휠(34)의 작용은 슈(32)에 의한 공급 원료(28)의 방향-변화 및 변형으로 인해 다이 챔버(36)에 가소화된 공급 원료(28)를 충전한다. 피복 기계(30)는 14 내지 40 kg/mm²의 범위 내에서 슈(32) 내의 전형적인 작동 압력을 갖는다. 코어 와이어(26)의 성공

적인 피복을 위해, 슈(32)의 내부측의 압력은 전형적으로 작동 범위의 하한을 향할 것이고 압출 휠(34)의 속도를 조정함으로써 작동 동안에 맞춰진다. 휠(34)의 속도는 가소화된 공급 원료(28)가 코어 와이어(26)에 대한 손상이 일어나기 쉬운 압력에 도달하지 않고 코어 와이어(26) 주위의 출구 다이(40)의 외부로 압출되도록 된 조건이 다이 챔버(36) 내에서 도달될 때까지 조정된다. (휠 속도가 너무 낮으면, 공급 원료는 출구 다이(40)로부터 압출되지 않거나 출구 다이(40)로부터 압출된 공급 원료(28)가 출구 다이(40)를 통해 외부로 코어 와이어(26)를 견인하지 못한다. 휠 속도가 너무 높으면, 코어 와이어(26)는 전단 및 절단된다.)

[0040] 추가로, 챔버(36) 내의 온도 및 압력은 전형적으로 코어 와이어(26)에 대한 피복 재료[가소화된 공급 원료(28)]의 접합을 가능케 하도록 제어되고, 동시에 또한 더 취성인 코어 와이어(26)에 대한 손상을 방지할 정도로 충분히 낮다. 가소화된 공급 원료(28) 내에 코어 와이어(26)를 중심 설정하기 위해 다이 챔버(36) 내로 진입하는 공급 원료(28)의 압력을 균형화하는 것이 또한 유리하다. 다이 챔버(36) 내에 코어 와이어(26)를 중심 설정함으로써, 가소화된 공급 원료(28)는 코어 와이어(26) 주위에 동심 환형부를 형성한다.

[0041] 피복 기계(30)로부터 배출되는 MCCW(20)의 선속도의 예는 대략 50 m/분이다. 압출된 공급 원료(28)가 피복 기계(30)를 통해 그와 더불어 코어 와이어(26)를 견인하므로 장력이 필요하지 않고 전형적으로 제품[즉, MCCW(20)]을 수집하는 권취 드럼에 의해 공급되지 않는다. 기계로부터 배출된 후, MCCW(20)는 냉각을 위해 물의 트로프(trough)(도시되지 않음) 내로 통과되고, 그 다음에 권취 드럼 상에 권취된다.

[0042] 피복 재료

[0043] 금속 피복(22)은 연성을 나타내는 임의의 금속 또는 금속 합금을 포함할 수 있다. 일부의 실시예에서, 금속 피복(22)은 코어 와이어(26)의 재료 성분(즉, 섬유 및 매트릭스 재료)과 화학적으로 상당히 반응하지 않는 금속 합금을 포함하는 연성 금속 재료로 선택된다.

[0044] 금속 피복(22)을 위한 전형적인 연성 금속 재료는 알루미늄, 아연, 주석, 마그네슘, 구리 및 그 합금(예컨대, 알루미늄 및 구리의 합금)을 포함한다. 일부의 실시예에서, 금속 피복(22)은 알루미늄 및 그 합금을 포함한다. 알루미늄 피복 재료에 대해, 일부의 실시예에서, 피복(22)은 적어도 99.5 중량%의 알루미늄을 포함한다. 일부의 실시예에서, 유용한 합금은 1000, 2000, 3000, 4000, 5000, 6000, 7000 및 8000 시리즈 알루미늄 합금(알루미늄 협회 지정명)이다. 적절한 금속이 상업적으로 입수 가능하다. 예컨대, 알루미늄 및 알루미늄 합금은 예컨대 미국 펜실베이니아주 피츠버그에 소재한 알코아로부터 입수 가능하다. 아연 및 주석은 예컨대 미국 미네소타주 세인트 폴에 소재한 메탈 서비시즈("순수 아연"; 99.999% 순도 그리고 "순수 주석"; 99.95% 순도)로부터 입수 가능하다. 예컨대, 마그네슘은 잉글랜드 맨체스터에 소재한 마그네슘 일렉트론으로부터 상표 지정명 "퓨어" 하에서 입수 가능하다. 마그네슘 합금(예컨대, WE43A, EZ33A, AZ81A 및 ZE41A)은 예컨대 미국 콜로라도주 덴버에 소재한 티멧으로부터 얻어질 수 있다. 구리 및 그 합금은 미국 조지아주 캐롤톤의 사우스 와이어로부터 입수 가능하다.

[0045] MCCW(20)는 1개 이상의 금속[예컨대, 고순도(예컨대, 99.95% 초과)의 원소 알루미늄 또는 구리 등의 다른 원소와 순수 알루미늄의 합금]을 포함하는 매트릭스 내에 캡슐화된 세라믹(예컨대, 알루미늄나 계열) 강화 섬유 등의 복수개의 연속적이고 길이 방향으로 위치된 섬유를 포함하는 적어도 1개의 토우(tow)를 종종 포함하는 코어 와이어(26) 상에 형성될 수 있다. 일부의 실시예에서, 금속 매트릭스 복합 재료 와이어(26) 내의 섬유의 개수 기준으로 적어도 85%(일부의 실시예에서, 적어도 90% 또는 심지어 적어도 95%)가 연속이다. 본 발명의 MCCW(20)에서 사용하기 위해 적절한 금속 매트릭스 복합 재료 와이어(26)에 대한 섬유 및 매트릭스 선택이 후술된다.

[0046] 섬유

[0047] 본 발명의 MCCW(20)에서 사용하기 위해 적절한 금속 매트릭스 복합 재료 제품(26)을 제조하는 연속 섬유는 금속 산화물(예컨대, 알루미늄나) 섬유 등의 세라믹 섬유, 붕소 섬유, 붕소 질화물 섬유, 탄소 섬유, 실리콘 탄화물 섬유 그리고 이들 섬유 중 임의의 섬유의 조합을 포함한다. 전형적으로, 세라믹 산화물 섬유는 결정질 세라믹 및/또는 결정질 세라믹 및 유리의 혼합물이다(즉, 섬유는 결정질 세라믹 및 유리 상을 함유할 수 있음). 전형적으로, 이것은 섬유가 적어도 1×10^5 (일부의 실시예에서, 적어도 1×10^6 또는 심지어 적어도 1×10^7)의 중형비(즉, 섬유의 평균 직경에 대한 섬유의 길이의 비율)를 갖는다는 것을 의미한다. 전형적으로, 이러한 섬유는 적어도 50 m의 정도의 길이를 갖고, 심지어 km 이상의 정도의 길이를 가질 수 있다. 전형적으로, 연속 강화 섬유는 약 5 μm 의 평균 섬유 직경 내지 대략 50 μm 이하의 평균 섬유 직경을 갖는다. 더 전형적으로, 평균 섬유 직경은 25 μm 이하이고, 가장 전형적으로는 8 μm 내지 20 μm 의 범위 내에 있다.

- [0048] 일부의 실시예에서, 세라믹 섬유는 적어도 1.4 GPa, 적어도 1.7 GPa, 적어도 2.1 GPa 및/또는 심지어 적어도 2.8 GPa의 평균 인장 강도를 갖는다. 일부의 실시예에서, 탄소 섬유는 적어도 1.4 GPa, 적어도 2.1 GPa, 적어도 3.5 GPa 또는 심지어 5.5 GPa의 평균 인장 강도를 갖는다. 일부의 실시예에서, 세라믹 섬유는 70 GPa 초과 내지 대략 1000 GPa 이하 또는 심지어 420 GPa 이하의 탄성률을 갖는다. 인장 강도 및 계수를 시험하는 방법은 예에 주어져 있다.
- [0049] 일부의 실시예에서, 코어 와이어(26)를 제조하는 데 사용되는 연속 섬유의 적어도 일부가 토우로 되어 있다. 토우는 섬유 업계에서 공지되어 있고 조방사(roving)와 같은 형태로 수집된 복수개의 (개별) 섬유(전형적으로, 적어도 100개의 섬유, 더 전형적으로 적어도 400개의 섬유)를 말한다. 일부의 실시예에서, 토우는 토우당 적어도 780개의 개별 섬유, 일부의 경우에, 토우당 적어도 2600개의 개별 섬유를 포함한다. 세라믹 섬유의 토우는 300 m, 500 m, 750 m, 1000 m, 1500 m, 1750 m 및 그 이상을 포함하는 다양한 길이로 입수 가능하다. 섬유는 원형 또는 타원형인 단면 형상을 가질 수 있다.
- [0050] 알루미늄 섬유는 예컨대 미국 특허 제4,954,462호(우드 등) 및 제5,185,29호(우드 등)에 기재되어 있다. 일부의 실시예에서, 알루미늄 섬유는 다정질 알파 알루미늄 섬유이고 알루미늄 섬유의 총 중량을 기초로 하여 99 중량% 초과와 Al_2O_3 그리고 0.2 내지 0.5 중량%의 SiO_2 를 이론적인 산화물 기준으로 포함한다. 또 다른 태양에서, 일부의 바람직한 다정질 알파 알루미늄 섬유는 1 μm 미만(또는 심지어, 일부의 실시예에서, 0.5 μm 미만)의 평균 입자 크기를 갖는 알파 알루미늄을 포함한다. 또 다른 태양에서, 일부의 실시예에서, 다정질 알파 알루미늄 섬유는 적어도 1.6 GPa(일부의 실시예에서, 적어도 2.1 GPa, 또는 심지어, 적어도 2.8 GPa)의 평균 인장 강도를 갖는다. 전형적인 알파 알루미늄 섬유는 미국 미네소타주 세인트 폴에 소재한 3M 컴퍼니에 의해 상표 지정명 "넥스텔 610" 하에서 시판되어 있다.
- [0051] 알루미늄실리케이트 섬유는 예컨대 미국 특허 제4,047,965호(카르스트 등)에 기재되어 있다. 전형적인 알루미늄실리케이트 섬유는 미국 미네소타주 세인트 폴에 소재한 3M 컴퍼니에 의해 상표 지정명 "넥스텔 440", "넥스텔 550" 및 "넥스텔 720" 하에서 시판되어 있다.
- [0052] 알루미늄보로실리케이트 섬유는 예컨대 미국 특허 제3,759,524호(소우맨)에 기재되어 있다. 전형적인 알루미늄보로실리케이트 섬유는 3M 컴퍼니에 의해 상표 지정명 "넥스텔 312" 하에서 시판되어 있다.
- [0053] 전형적인 붕소 섬유는 예컨대 미국 매사추세츠주 로웰에 소재한 텍스트론 스페셜티 파이버즈, 인코포레이티드로부터 상업적으로 입수 가능하다.
- [0054] 붕소 질화물 섬유는 예컨대 미국 특허 제3,429,722호(이코노미) 및 제5,780,154호(오까노 등)에 기재된 바와 같이 제조될 수 있다.
- [0055] 전형적인 실리콘 탄화물 섬유는 예컨대 500개의 섬유의 토우로 된 상표 지정명 "니칼론" 하에서 미국 캘리포니아주 샌디에이고에 소재한 COI 세라믹에 의해, 상표 지정명 "티란노" 하에서 일본에 소재한 우베 인더스트리즈로부터 그리고 상표 지정명 "실라믹" 하에서 미국 미시간주 미들랜드에 소재한 다우 코닝으로부터 시판되어 있다.
- [0056] 전형적인 탄소 섬유는 예컨대 2000, 4000, 5,000 및 12,000개의 섬유의 토우로 된 상표 지정명 "도넬 카본" 하에서 미국 조지아주 알파레타에 소재한 아모코 케미컬즈에 의해, 상표 지정명 "파이로필" 하에서 미국 캘리포니아주 새크라멘토에 소재한 그래필, 인코포레이티드(미쓰비시 레이온 컴퍼니의 자회사)로부터의 미국 코네티컷주 스탬포드에 소재한 헥셀 코퍼레이션에 의해, 상표 지정명 "도레이카" 하에서 일본 도쿄의 도레이에 의해, 상표 지정명 "베스파이트" 하에서 일본 도호 레이온 리미티드에 의해, 상표 지정명 "패넥스" 및 "파이론" 하에서 미국 미주리주 세인트루이스에 소재한 졸텍 코퍼레이션에 의해 그리고 상표 지정명 "12K20" 및 "12K50" 하에서 미국 뉴저지주 와이코프에 소재한 인코 스페셜 프로덕츠(니켈 코팅된 탄소 섬유)에 의해 시판되어 있다.
- [0057] 전형적인 그래파이트 섬유는 예컨대 1000, 3000 및 6000개의 섬유의 토우로 된 상표 지정명 "T-300" 하에서 미국 조지아주 알파레타에 소재한 BP 아모코에 의해 시판되어 있다.
- [0058] 전형적인 실리콘 탄화물 섬유는 예컨대 500개의 섬유의 토우로 된 상표 지정명 "니칼론" 하에서 미국 캘리포니아주 샌디에이고에 소재한 COI 세라믹에 의해, 상표 지정명 "티란노" 하에서 일본에 소재한 우베 인더스트리즈로부터 그리고 상표 지정명 "실라믹" 하에서 미국 미시간주 미들랜드에 소재한 다우 코닝으로부터 시판되어 있다.

- [0059] 상업적으로 입수 가능한 섬유는 전형적으로 취급 동안에 윤활성을 제공하고 섬유 스트랜드를 보호하기 위해 제조 동안에 섬유에 첨가되는 유기 사이징 재료(organic sizing material)를 포함한다. 사이징은 예컨대 섬유로부터 사이징을 용해 또는 연소시킴으로써 제거될 수 있다. 전형적으로, 금속 매트릭스 복합 재료 와이어(26)를 형성하기 전에 사이징을 제거하는 것이 바람직하다.
- [0060] 섬유는 섬유와 용융된 금속 매트릭스 재료 사이의 반응을 감소시키거나 방지하기 위해 예컨대 섬유의 침윤성을 향상시키는 데 사용되는 코팅을 가질 수 있다. 이러한 코팅 그리고 이러한 코팅을 제공하는 기술은 섬유 및 금속 매트릭스 복합 재료 업계에 공지되어 있다.
- [0061] 매트릭스
- [0062] 전형적으로, 금속 매트릭스 복합 재료 와이어(26)의 금속 매트릭스는 매트릭스 재료가 예컨대 섬유 외부 상에 보호 코팅을 제공할 필요성을 제거하기 위해 섬유 재료와 화학적으로 상당히 반응하지 않도록(즉, 섬유 재료에 대해 비교적 화학적으로 비활성이도록) 선택된다. 매트릭스 재료를 위해 선택된 금속은 피복(22)과 동일한 재료일 필요가 없지만, 피복(22)과 화학적으로 상당히 반응하지 않아야 한다. 전형적인 금속 매트릭스 재료는 알루미늄, 아연, 주석, 마그네슘, 구리 및 그 합금(예컨대, 알루미늄 및 구리의 합금)을 포함한다. 일부의 실시예에서, 매트릭스 재료는 바람직하게는 알루미늄 및 그 합금을 포함한다.
- [0063] 일부의 실시예에서, 금속 매트릭스는 적어도 98 중량%의 알루미늄, 적어도 99 중량%의 알루미늄, 99.9 중량% 초과 알루미늄 또는 심지어 99.95 중량% 초과 알루미늄을 포함한다. 전형적인 알루미늄 및 구리의 알루미늄 합금은 적어도 98 중량%의 Al 그리고 2 중량%까지의 Cu를 포함한다. 일부의 실시예에서, 유용한 합금은 1000, 2000, 3000, 4000, 5000, 6000, 7000 및/또는 8000 시리즈 알루미늄 합금(알루미늄 협회 지정명)이다. 더 높은 순도의 금속이 더 높은 인장 강도의 와이어를 제조하는 데 바람직한 경향이 있지만, 덜 순수한 형태의 금속이 또한 유용하다.
- [0064] 적절한 금속이 상업적으로 입수 가능하다. 예컨대, 알루미늄은 미국 펜실베이니아주 피츠버그에 소재한 알코아로부터 상표 지정명 "수퍼 퓨어 알루미늄; 99.99% Al" 하에서 입수 가능하다. 알루미늄 합금[예컨대, Al-2 중량%의 Cu(0.03 중량%의 불순물)]은 예컨대 미국 뉴욕주 뉴욕에 소재한 벨몬트 메탈즈로부터 얻어질 수 있다. 아연 및 주석은 예컨대 미국 미네소타주 세인트 폴에 소재한 메탈 서비시즈("순수 아연"; 99.999% 순도 그리고 "순수 주석"; 99.95% 순도)로부터 입수 가능하다. 예컨대, 마그네슘은 잉글랜드 맨체스터에 소재한 마그네슘 일렉트론으로부터 상표 지정명 "퓨어" 하에서 입수 가능하다. 마그네슘 합금(예컨대, WE43A, EZ33A, AZ81A 및 ZE41A)은 예컨대 미국 콜로라도주 덴버에 소재한 티멧으로부터 얻어질 수 있다.
- [0065] 본 발명의 MCCW(20)를 위해 적절한 금속 매트릭스 복합 재료 와이어(26)는 섬유 및 매트릭스 재료의 총 조합 체적을 기초로 하여 적어도 15 체적%의 섬유(일부의 실시예에서, 적어도 20, 25, 30, 35, 40, 45 또는 심지어 50 체적%)를 포함하는 것을 포함한다. 전형적으로, 본 발명의 방법에서 사용하는 코어 와이어(26)는 섬유 및 매트릭스 재료의 총 조합 체적을 기초로 하여(즉, 피복과 무관하게) 40 내지 70(일부의 실시예에서, 45 내지 65) 체적%의 범위 내의 섬유를 포함한다.
- [0066] 코어 와이어(26)의 평균 직경은 전형적으로 대략 0.07 mm(0.003 인치) 내지 대략 3.3 mm(0.13 인치) 사이에 있다. 일부의 실시예에서, 코어 와이어(26)의 평균 직경은 바람직하게는 적어도 1 mm, 적어도 1.5 mm 또는 심지어 대략 2.0 mm(0.08 인치)까지이다.
- [0067] 코어 와이어의 제조
- [0068] 전형적으로, 연속 코어 와이어(26)는 예컨대 연속 금속 매트릭스 침투 공정(continuous metal matrix infiltration process)에 의해 제조될 수 있다. 하나의 적절한 공정이 예컨대 미국 제6,485,796호(카펜터 등)에 기재되어 있다.
- [0069] 본 발명의 MCCW(20)에서 사용하는 연속 금속 매트릭스 와이어(26)를 제조하는 전형적인 장치의 개략도가 도4에 도시되어 있다. 연속 세라믹 및/또는 탄소 섬유(44)의 토우는 공급 스펀(46)로부터 공급되고, 원형 다발로 평행하게 되고 세라믹 섬유에 대해, 튜브 퍼니스(48)를 통과하는 동안에 가열-세척된다. 섬유(44)는 그 다음에 금속 매트릭스 재료의 용융체(54)(이하, "용융된 금속")를 담은 도가니(52) 내로 진입하기 전에 진공 챔버(50) 내에서 진공화된다. 섬유는 캐터풀러(caterpuller)(56)에 의해 공급 스펀(46)로부터 견인된다. 초음파 프로브(58)가 토우(44) 내로 용융체(54)를 침투시키는 것을 돕기 위해 섬유의 부근에서 용융체(54) 내에 위치된다. 와이어(26)의 용융된 금속은 배출 다이(60)를 통해 도가니(52)로부터 배출된 후 냉각 및 응고되지만, 일부의 냉각은 와이어(26)가 도가니(52)로부터 완전히 배출되기 전에 일어날 수 있다. 와이어(26)의 냉

각은 와이어(26) 상에 충돌하는 가스 또는 액체(62)의 스트림에 의해 향상된다. 와이어(26)는 스폴(64) 상으로 수집된다.

[0070] 전술된 바와 같이, 세라믹 섬유의 가열-세척은 사이징, 흡수된 물 그리고 섬유의 표면 상에 존재할 수 있는 다른 탈출성 또는 휘발성 재료의 양을 제거 또는 감소시키는 것을 돕는다. 전형적으로, 섬유의 표면 상에서의 탄소 함량이 22% 면적 분률 미만일 때까지 세라믹 섬유를 가열-세척하는 것이 바람직하다. 전형적으로, 튜브 퍼니스(54)의 온도는 그 온도에서 적어도 수 초 동안 적어도 300℃, 더 전형적으로, 적어도 1000℃이지만, 특정한 온도(들) 및 시간(들)은 예컨대 사용될 특정한 섬유의 세척 필요성에 의존할 수 있다.

[0071] 일부의 실시예에서, 이러한 진공의 사용이 건조 섬유를 갖는 국부 영역(즉, 매트릭스의 침투가 없는 섬유 영역) 등의 결함의 형성을 감소시키거나 제거하는 경향이 있는 것으로 관찰되므로, 섬유(44)는 용융체(54) 내로 진입하기 전에 진공화된다. 전형적으로, 섬유(44)는 일부의 실시예에서 20 토르 이하, 10 토르 이하, 1 토르 이하 그리고 0.7 토르 이하의 진공 내에서 진공화된다.

[0072] 전형적인 적절한 진공 시스템(50)이 섬유(44)의 다발의 직경과 일치하는 크기로 된 입구 튜브이다. 입구 튜브는 예컨대 스테인레스강 또는 알루미늄 튜브이고, 전형적으로 적어도 30 cm의 길이이다. 적절한 진공 챔버(50)는 전형적으로 2 cm 내지 20 cm의 범위 내의 직경 그리고 5 cm 내지 100 cm의 범위 내의 길이를 갖는다. 진공 펌프의 용량은 일부의 실시예에서 적어도 0.2 내지 0.4 m³/분이다. 진공화된 섬유(44)는 금속 욕을 관통하는 진공 시스템(50) 상의 튜브를 통해 용융체(54) 내로 삽입되지만, 용융체(54)는 전형적으로 대기 압력에 있다. 출구 튜브의 내경은 기본적으로 섬유 다발(44)의 직경과 일치한다. 출구 튜브의 일부가 용융된 금속 내에 침지된다. 일부의 실시예에서, 튜브의 0.5 내지 5 cm가 용융된 금속 내에 침지된다. 튜브는 용융된 금속 재료 내에서 안정하도록 선택된다. 전형적으로 적절한 튜브의 예는 실리콘 질화물 및 알루미늄 튜브를 포함한다.

[0073] 섬유(44) 내로의 용융된 금속(54)의 침투는 전형적으로 초음파의 사용에 의해 향상된다. 예컨대, 진동 혼(58)이 섬유(44)에 밀접하도록 용융된 금속(54) 내에 위치된다. 일부의 실시예에서, 섬유(44)는 혼 팁의 2.5 mm 내에(일부의 실시예에서, 1.5 mm 내에) 있다. 혼 팁은 일부의 실시예에서 니오브 또는 95 중량% Nb-5 중량% Mo 및 91 중량% Nb-9 중량% Mo 등의 니오브의 합금으로 제조되고, 예컨대 미국 펜실베이니아주 피츠버그에 소재한 PMTI로부터 얻어질 수 있다. 금속 매트릭스 복합 재료 제품을 제조하기 위한 초음파의 사용에 대한 추가적인 세부 사항에 대해, 예컨대, 미국 특허 제4,649,060호(이시카와 등), 제4,779,563호(이시카와 등), 제4,877, 643호(이시카와 등), 제6,180,232호(맥컬로프 등), 제6,245,425호(맥컬로프 등), 제6,336,495호(맥컬로프 등), 제6,329,056호(디브 등), 제6,344,270호(맥컬로프 등), 제6,447,927호(맥컬로프 등), 제6,460,597호(맥컬로프 등), 제6,485,796호(카펜터 등) 및 제6,544,645호(맥컬로프 등); 2000년 7월 14일자로 출원된 미국 특허 출원 제09/616,741호; 그리고 2002년 1월 24일자로 공개된 PCT 출원 공개 제W002/06550호를 참조하기 바란다.

[0074] 전형적으로, 용융된 금속(54)은 침투 동안에 및/또는 전에 탈기[예컨대, 용융된 금속(54) 내에 용해된 가스(예컨대, 수소)의 양을 감소시킴]된다. 용융된 금속(54)을 탈기하는 기술은 금속 처리 업계에서 주지되어 있다. 용융체(54)의 탈기는 와이어 내의 기공성을 감소시키는 경향이 있다. 용융된 알루미늄에 대해, 용융체(54)의 수소 농도는 일부의 실시예에서 0.2 미만, 0.15 미만 또는 심지어 0.1 cm³/100 g의 알루미늄 미만이다.

[0075] 배출 다이(60)는 원하는 와이어 직경을 제공하도록 구성된다. 전형적으로, 그 길이를 따라 균일하게 둥근 와이어를 가질 것이 요망된다. 배출 다이(60)의 직경은 대개 와이어(26)의 직경보다 약간 작다. 예컨대, 50 체적%의 알루미늄 섬유를 함유하는 알루미늄 복합 재료 와이어를 위한 실리콘 질화물 배출 다이의 직경은 와이어(26)의 직경보다 3% 작다. 일부의 실시예에서, 배출 다이(60)는 바람직하게는 실리콘 질화물로 제조되지만, 다른 재료가 또한 유용할 수 있다. 당업계에서 배출 다이로서 사용된 다른 재료는 종래의 알루미늄을 포함한다. 그러나, 실리콘 질화물 배출 다이가 종래의 알루미늄 다이보다 상당히 적게 마모되므로, 특히 긴 길이의 와이어에 걸쳐 원하는 직경 및 형상의 와이어를 제공하는 데 더 유용하다는 것이 본 발명의 출원인에 의해 밝혀졌다.

[0076] 전형적으로, 와이어(26)는 액체(예컨대, 물) 또는 가스(예컨대, 질소, 아르곤 또는 공기)(62)와 와이어(26)를 접촉시킴으로써 배출 다이(60)로부터 배출된 후 냉각된다. 이러한 냉각은 바람직한 진원도 및 균일성 특성 그리고 공극(void)으로부터의 자유를 제공하는 것을 돕는다. 와이어(26)는 스폴(64) 상에서 수집된다.

[0077] 금속간 상; 건조 섬유; 예컨대 수축 또는 내부 가스(예컨대, 수소 또는 수증기) 공극의 결과로서의 다공성; 등의 금속 매트릭스 복합 재료 와이어 내의 불완전성의 존재가 와이어(20) 강도 등의 감소된 성질을 유도할

수 있다는 것이 공지되어 있다. 그러므로, 이러한 특성의 존재를 감소 또는 최소화시키는 것이 바람직하다.

[0078] 금속-피복 금속 매트릭스 복합 재료 와이어(MCCW)

[0079] 본 발명의 피복 방법은 피복되지 않은 와이어(26)에 비교될 때 개선된 성질을 나타내는 전형적인 금속-피복 금속 매트릭스 복합 재료 와이어(20)를 제조한다. 대체로 원형의 단면 형상을 갖는 코어 와이어(26)에 대해, 결과적인 와이어의 단면 형상은 전형적으로 완벽한 원이 아니다. 본 발명의 피복 방법은 비교적 원형의 금속-피복 제품[즉, MCCW(20)]을 생성시키기 위해 불규칙한 형상의 코어 와이어(26)를 보상한다. 피복(22)의 두께(t)는 코어 와이어(26)의 형상의 비일관성을 보상하도록 변동될 수 있으며, 이 방법은 코어 와이어(26)를 중심 설정하고, 그에 의해 MCCW(20)의 직경 및 진원도 등의 세부 사항 및 공차를 개선시킨다. 일부의 실시예에서, 본 발명에 따른 대체로 원형의 단면 형상을 갖는 MCCW(20)의 평균 직경은 적어도 1 mm, 적어도 1.5 mm, 2 mm, 2.5 mm, 3 mm 또는 심지어 3.5 mm이다.

[0080] MCCW(20)의 최소 및 최대 직경의 비율(완벽하게 둥근 와이어에 대해 1의 수치를 갖는 진원도 수치 시험 참조)은 전형적으로 적어도 100 m의 MCCW(20)의 길이에 대해 적어도 0.9, 일부의 실시예에서, 적어도 0.92, 적어도 0.95, 적어도 0.97, 적어도 0.98 또는 심지어 적어도 0.99이다. 진원도 균일성(아래의 진원도 균일성 시험 참조)은 전형적으로 적어도 100 m의 MCCW(20)의 길이에 대해 0.9% 이하, 일부의 실시예에서, 0.5% 이하 또는 심지어 0.3% 이하이다. 직경 균일성(아래의 직경 균일성 시험 참조)은 전형적으로 적어도 100 m의 MCCW(20)의 길이에 대해 0.2% 이하이다.

[0081] 본 발명의 방법에 의해 제조된 MCCW(20)는 바람직하게는 1차 파괴가 장력 인가 시에 일어날 때 미세-좌굴(micro-buckling) 및 통상의 좌굴(general buckling) 등의 2차 파괴 모드에 저항한다. MCCW(20)의 금속 피복(22)은 금속 매트릭스 복합 재료 와이어(26)의 급속한 되감김(recoil)을 방지하도록 작용하고 1차 파괴 동안에 또는 그에 후속하여 2차 파괴를 유발시키는 압축 충격파를 억제한다. 금속 피복(22)은 소성 변형되고 와이어 코어(26)의 급속한 재권취를 감소시킨다. MCCW(20)가 2차 파괴의 억제를 나타낼 것이 요구되는 곳에서, 금속 피복(22)은 바람직하게는 압축 충격파를 흡수 또는 억제할 정도로 충분한 두께(t)를 가질 것이다. 0.07 mm 내지 3.3 mm 사이의 추정 직경을 갖는 코어 와이어(26)에 대해, 피복 두께(t)는 바람직하게는 0.2 mm 내지 6 mm의 범위 내에 또는 더 바람직하게는 0.5 mm 내지 3 mm의 범위 내에 있을 것이다. 예컨대, 대략 0.7 mm의 추정 벽 두께(t)를 갖는 금속 피복(22)은 2.1 mm의 공칭 직경을 갖는 알루미늄 복합 재료 와이어(26)를 위해 적절하고, 그에 의해 3.5 mm(0.14 인치)의 추정 직경을 갖는 MCCW(20)를 형성한다.

[0082] 본 발명에 따라 제조된 MCCW(20)는 또한 바람직하게는 소성 변형될 수 있는 능력을 나타낸다. 종래의 금속 매트릭스 복합 재료 와이어는 전형적으로 탄성 휨 모드를 나타내고 소성 변형을 나타내면 반드시 재료 파괴를 또한 경험한다. 유익하게도, 본 발명의 MCCW(20)는 휘었다가 후속적으로 해제될 때 어떤 휨(즉, 소성 변형)의 양을 보유한다. 소성 변형될 수 있는 능력은 복수개의 와이어가 케이블로 꼬이거나 코일형으로 감겨야 되는 분야에서 유용하다. MCCW(20)는 케이블로 제작될 수 있고 테이프 또는 접착제 등의 추가의 보유 수단을 요구하지 않고도 휨 구조체를 보유할 것이다. MCCW(20)가 영구 변형(즉, 소성 변형)을 일으킬 것이 요구되는 곳에서, 피복(22)은 초기의(휘지 않은) 상태로의 코어 와이어(26)의 복귀력에 대항할 정도로 충분한 두께(t)를 가질 것이다. 0.07 mm 내지 3.3 mm 사이의 추정 직경을 갖는 코어 와이어(26)에 대해, 피복 두께(t)는 바람직하게는 0.5 mm 내지 대략 3 mm의 범위 내에 있을 것이다. 예컨대, 대략 0.7 mm의 추정 벽 두께를 갖는 금속 피복은 2.1 mm의 공칭 직경을 갖는 알루미늄 복합 재료 와이어(26)를 위해 적절하고, 그에 의해 3.5 mm(0.14 인치)의 추정 직경을 갖는 MCCW(20)를 형성한다.

[0083] 본 발명의 방법에 따라 제조된 MCCW(20)는 적어도 100 m, 적어도 200 m, 적어도 300 m, 적어도 400 m, 적어도 500 m, 적어도 600 m, 적어도 700 m, 적어도 800 m 또는 심지어 적어도 900 m의 길이를 갖는다.

[0084] 금속-피복 금속 매트릭스 복합 재료 와이어의 케이블

[0085] 본 발명에 따라 제조된 금속-피복 금속 매트릭스 복합 재료 와이어는 가공 송전 케이블을 포함하는 다양한 분야에서 사용될 수 있다.

[0086] 본 발명에 따라 제조된 금속-피복 금속 매트릭스 복합 재료 와이어를 포함하는 케이블은 도7에서와 같이 균질[즉, MCCW(20) 등의 와이어만 포함함]할 수 있거나 도5 및 도6에서와 같이 불균질(즉, 금속 와이어 등의 복수개의 2차 와이어를 포함함)할 수 있다. 불균질한 케이블의 예로서, 케이블 코어는 예컨대 도5에 도시된 바와 같이 복수개의 2차 와이어(예컨대, 알루미늄 와이어)를 포함하는 외피를 갖는 본 발명에 따라 제조된 복수개의 금속-피복 및 금속 매트릭스 복합 재료 와이어를 포함할 수 있다.

- [0087] 본 발명에 따라 제조된 금속-피복 금속 매트릭스 복합 재료 와이어를 포함하는 케이블은 꼬일 수 있다. 꼬인 케이블은 전형적으로 중심 와이어 그리고 중심 와이어 주위에 나선형으로 꼬인 제1 층의 와이어를 포함한다. 일반적으로, 케이블 꼬임은 와이어의 개별 스트랜드가 최종 케이블을 제조하기 위해 나선형 배열로 결합되는 공정이다[예컨대, 미국 특허 제5,171,942호(파워즈) 및 제5,554,826호(젠티리) 참조]. 결과적인 나선형으로 꼬인 와이어 로프는 동등한 단면적의 중실 로드로부터 입수 가능한 것보다 훨씬 큰 가요성을 제공한다. 나선형 배열은 또한 케이블이 취급, 설치 및 사용 시 힘의 영향을 받을 때 그 전체적인 등근 단면 형상을 유지하기 때문에 유리하다. 나선형으로 권취된 케이블은 3개 정도의 개별 스트랜드 내지 50개 이상의 스트랜드를 포함하는 더 혼한 구조체까지 포함할 수 있다.
- [0088] 본 발명에 따라 제조된 금속-피복 금속 매트릭스 복합 재료 와이어를 포함하는 하나의 전형적인 케이블이 도5에 도시되어 있으며, 여기에서 케이블(66)은 복수개의 개별 알루미늄 또는 알루미늄 합금 와이어(74)의 제킷(72)에 의해 둘러싸인 복수개의 개별 금속-피복 복합 재료 금속 매트릭스 와이어(70)를 포함하는 케이블 코어(68)일 수 있다. 임의의 적절한 개수의 금속-피복 금속 매트릭스 복합 재료 와이어(70)가 임의의 층 내에 포함될 수 있다. 추가로, 와이어 종류(예컨대, 금속-피복 금속 매트릭스 복합 재료 와이어 및 금속 와이어)가 임의의 층 또는 케이블 내에서 혼합될 수 있다. 나아가, 2개 초과와 층이 요망되면 꼬인 케이블(66) 내에 포함될 수 있다. 다수개의 대체예 중 하나의 대체예에서, 도6에 도시된 바와 같은 케이블(76)은 다중 개별 금속-피복 금속 매트릭스 복합 재료 와이어(84)의 제킷(82)에 의해 둘러싸인 복수개의 개별 금속 와이어(80)의 케이블 코어(78)일 수 있다. 개별의 케이블은 함께 꼬인 7개의 케이블을 포함하는 와이어 로프 등의 와이어 로프 구조체로 결합될 수 있다.
- [0089] 도7은 본 발명에 따른 꼬인 케이블(86)의 또 다른 실시예를 도시하고 있다. 이러한 실시예에서, 꼬인 케이블은 케이블 내의 모든 와이어가 본 발명에 따라 제조된 금속-피복 금속 매트릭스 복합 재료 와이어(88)이도록 균질하다. 임의의 적절한 개수의 금속-피복 금속 매트릭스 복합 재료 와이어(88)가 포함될 수 있다.
- [0090] 본 발명에 따라 제조된 금속-피복 금속 매트릭스 복합 재료 와이어를 포함하는 케이블은 가공되지 않은 케이블로서 사용될 수 있거나 큰 직경의 케이블의 케이블 코어로서 사용될 수 있다. 또한, 본 발명에 따른 금속-피복 금속 매트릭스 복합 재료 와이어를 포함하는 케이블은 유지 수단이 복수개의 와이어 주위에 있는 복수개의 와이어의 꼬인 케이블일 수 있다. 유지 수단은 예컨대 접착제가 있거나 없는 테이프 오버랩(tape overlap) 또는 바인더(binder)일 수 있다.
- [0091] 본 발명에 따른 금속-피복 금속 매트릭스 복합 재료 와이어를 포함하는 꼬인 케이블은 많은 분야에서 유용하다. 이러한 꼬인 케이블은 비교적 낮은 중량, 높은 강도, 양호한 전기 전도도, 낮은 열팽창 계수, 높은 사용 온도 및 내식성의 그 조합으로 인해 가공 송전 케이블에서 사용하는 데 특히 바람직한 것으로 믿어진다.
- [0092] 피복된 금속 매트릭스 복합 재료 와이어에 대한 추가의 세부 사항이 예컨대 2004년 2월 13일자로 출원된 동시 계속 중인 미국 특허 출원 제10/778488호에서 찾아볼 수 있다.
- [0093] 본 발명의 장점 및 실시예는 다음의 예에 의해 추가로 설명되지만, 이들 예에서 인용된 그 특정한 재료 및 양 그리고 다른 조건 및 세부 사항은 본 발명을 부당하게 제한하도록 해석되지 않아야 한다. 모든 중량 관련 단위는 별도로 지시되지 않으면 중량부 및 중량%이다.
- [0094] 예
- [0095] 시험 방법
- [0096] 와이어 인장 강도
- [0097] MCCW(20)의 인장 성질은 기본적으로 데이터 획득 시스템(미국 매사추세츠주 캔톤에 소재한 인스트론 코포레이션으로부터 상표 지정명 "인스트론"; 모델 No. 8000-074 하에서 얻어짐)에 의해 구동되는 기계식 정렬 고정구(인스트론 코포레이션으로부터 상표 지정명 "인스트론"; 모델 No. 8000-072 하에서 얻어짐)가 끼워진 인장 시험기(인스트론 코포레이션으로부터 상표 지정명 "인스트론"; 모델 No. 8562 하에서 얻어짐)를 사용하여 ASTM E345-93에 기재된 바와 같이 결정된다.
- [0098] 시험은 시험 장치에 의한 확실한 파지를 가능케 하기 위해 와이어의 단부 상에 1018 연강 튜브 탭이 끼워진 2개의 상이한 게이지 길이; 즉 하나는 3.8 cm(1.5 인치)이며 다른 하나는 63 cm(25 인치)인 게이지 길이 샘플을 사용하여 수행된다. 와이어 샘플의 실제의 길이는 웨지 파지부의 설치부를 수용하기 위해 샘플 게이지 길이보다 긴 20 cm(8 인치)이다. 2.06 mm(0.081 인치) 이하의 직경을 갖는 금속-피복 금속 매트릭스 복합 재료

와이어에 대해, 튜브는 15 cm(6 인치)의 길이이며, 이 때 OD(외경: outside diameter)가 6.35 mm(0.25 인치)이며 ID(내경: inside diameter)가 2.9 내지 3.2 mm(0.11 내지 0.13 인치)이다. ID 및 OD는 가능하면 동심이어야 한다. 3.45 mm(0.14 인치)의 직경을 갖는 금속-피복 금속 매트릭스 복합 재료 와이어에 대해, 튜브는 15 cm(6 인치)의 길이이며, 이 때 OD가 7.9 mm(0.31 인치)이며 ID가 4.7 mm(0.187 인치)이다. 강철 튜브 및 와이어 샘플은 알코올로 세척되며 10 cm(4 인치)의 거리가 파지기 튜브의 적절한 위치 설정이 3.8 cm(1.5 인치) 또는 63 cm(25 인치)의 원하는 게이지 길이를 성취하게 하도록 와이어 샘플의 각각의 단부로부터 표시된다. 각각의 파지기 튜브의 보어에는 플라스틱 노즐(미국 미네소타주 브룩클린 센터에 소재한 테크니컬 레진 패키징, 인코포레이티드로부터 얻어짐)이 갖춰진 실런트 건(sealant gun)(테크니컬 레진 패키징, 인코포레이티드로부터 상표 지정명 "샘코", 모델 250 하에서 얻어짐)을 사용하여 에폭시 접착제(3M 컴퍼니로부터 상표 지정명 "스카치-웰드 2214 하이-플렉스", 고연성 접착제, 파트 no. 62-3403-2930-9 하에서 입수 가능함)가 충전된다. 과도한 에폭시 수지는 와이어 상의 마크까지 튜브 그리고 튜브 내로 삽입된 와이어로부터 제거된다. 와이어가 파지기 튜브 내로 삽입되면, 추가의 에폭시 수지가 튜브가 수지로 채워지는 것을 보장하도록 소정 위치에 와이어를 보유한 상태로 튜브 내로 주입된다. (수지는 와이어가 소정 위치에 유지된 상태로 에폭시가 게이지 길이의 기부에서 와이어 주위까지 압착될 때까지 튜브 내로 다시 충전된다.) 양쪽 모두의 파지기 튜브가 와이어 상에 적절하게 위치될 때, 샘플은 에폭시 경화 사이클 동안에 파지기 튜브 및 와이어의 적절한 동심 정렬을 유지하는 탭 정렬 고정구 내로 위치된다. 조립체는 후속적으로 에폭시를 경화시키기 위해 90분 동안 150℃로 유지되는 경화 오븐 내에 위치된다.

[0099] 시험 프레임은 원하는 정렬을 성취하기 위해 시험 프레임 상에 기계식 정렬 장치를 사용하여 인스트론 시험기 내에 주의하여 정렬된다. 시험 동안에, 파지기 튜브의 외부 5 cm(2 인치)만 대략 14 내지 17 MPa(2. 내지 2.5 ksi)의 기계 클램핑 압력을 사용하여 톱니형 V-노치 유압 조(jaw)에 의해 파지된다.

[0100] 0.01 cm/cm(0.01 인치/인치)의 변형률이 위치 제어 모드에서 사용된다. 변형은 동적 변형 게이지 신장계(인스트론 코포레이션으로부터 상표 지정명 "인스트론", 모델 No. 2620-824 하에서 얻어짐)를 사용하여 감시된다. 신장계 나이프 날들 사이의 거리는 1.27 cm(0.5 인치)이며 게이지는 게이지 길이의 중심에 위치되고 고무 밴드로 고정된다. 와이어 직경은 와이어를 따른 3개의 위치에서 마이크로미터 측정을 사용하거나 단면적을 측정하고 동일한 단면적을 제공하기 위해 유효 직경을 계산하는 것 중 하나로부터 결정된다. 인장 시험으로부터의 출력은 샘플에 대한 하중 대 파괴, 인장 강도, 인장 탄성률 그리고 변형 대 파괴 데이터를 제공한다. 10개의 샘플이 시험되며, 그로부터 평균, 표준 편차 및 변동 계수가 계산될 수 있다.

[0101] 섬유 강도

[0102] 섬유 강도는 인장 시험기(미국 매사추세츠주 캔톤에 소재한 인스트론 코포레이션으로부터 상표 지정명 "인스트론 4201" 하에서 상업적으로 입수 가능함) 그리고 ASTM D 3379-75(높은 탄성률의 단일-필라멘트 재료에 대한 인장 강도 및 영률을 위한 표준 시험 방법)에 기재된 시험을 사용하여 측정된다. 시험 게이지 길이는 25.4 mm(1 인치)이며, 변형률은 0.02 mm/mm이다. 섬유 토우의 인장 강도를 정하기 위해, 10개의 단일 섬유 필라멘트가 섬유의 토우로부터 무작위로 선택되고 각각의 필라멘트는 그 파괴 하중을 결정하기 위해 시험된다.

[0103] 섬유 직경은 1000× 배율로 광학 현미경(미국 매사추세츠주 로렌스에 소재한 돌란-제너 인터스트리즈, 인코포레이티드로부터 상표 지정명 "돌란-제너 메저-라이트 비디오 마이크로미터 시스템", 모델 M25-0002 하에서 상업적으로 입수 가능함)으로의 부착물을 사용하여 광학적으로 측정된다. 이 장치는 보정된 대물 마이크로미터(stage micrometer)로 반사광 관찰을 사용한다. 각각의 개별 필라멘트의 파괴 응력은 단위 면적당 하중으로서 계산된다.

[0104] 열팽창 계수(CTE: Coefficient of Thermal Expansion)

[0105] CTE는 1995년에 발행된 ASTM E-228에 따라 측정된다. 이 작업은 5.1 cm(2 인치)의 와이어 길이를 사용하여 팽창계(상표 지정명 "유니섬 1901" 하에서 얻어짐) 상에서 수행된다. 고정구가 6.4 mm(0.25 인치)의 내경까지 천공된 10.7 mm(0.42 인치)의 외경을 갖는 알루미늄의 2개의 실린더를 포함하는 샘플을 보유하는 데 사용된다. 샘플은 각각의 측면 상에 고정 나사에 의해 클램핑된다. 샘플 길이는 각각의 고정 나사의 중심으로부터 측정된다. 적어도 2개의 보정 런(calibration run)이 미국 표준 기술 연구소(NIST: National Institute of Standards and Technology)에 의해 인증된 용융된 실리카 보정 기준 샘플(미국 워싱턴 DC에 소재한 NIST로부터 상표 지정명 "퓨즈드 실리카" 하에서 얻어짐)로 각각의 온도 범위에 대해 수행된다. 샘플은 실험실 기압에서 5℃의 가열 상승물로 -75℃로부터 500℃까지의 온도 범위에 걸쳐 시험된다. 시험으로부터의 출력은

가열 동안에 50℃마다 또는 냉각 동안에 10℃마다 수집되는 치수 팽창 대 온도의 한 세트의 데이터이다. CTE는 온도에 따른 팽창의 변화율이므로, 데이터는 CTE에 대한 수치를 얻기 위한 처리를 요구한다. 팽창 대 온도 데이터는 그래픽 소프트웨어 패키지(미국 워싱턴주 레드몬드 소재한 마이크로소프트로부터 상표 지정명 "엑셀" 하에서 얻어짐)를 사용하여 작도된다. 2차 역함수(power function)가 곡선에 대한 방정식을 얻기 위해 소프트웨어에서 이용 가능한 표준 피팅 함수(standard fitting function)를 사용하여 데이터에 끼워 맞춰진다. 이러한 방정식의 도함수가 계산되고, 그에 의해 선형 함수를 얻어낸다. 이러한 방정식은 온도에 따른 팽창의 변화율을 나타낸다. 이러한 방정식은 CTE 대 온도의 그래픽 표현을 제공하기 위해 관심 온도 범위 예컨대 -75 내지 500 ℃에 걸쳐 작도된다. 방정식은 또한 임의의 온도에서 순간 CTE를 얻는 데 사용된다.

[0106] CTE는 방정식 $\alpha_{cl} = [E_f \alpha_f V_f + E_m \alpha_m (1 - V_f)] / [E_f V_f + E_m (1 - V_f)]$ [여기에서: V_f =섬유 체적 분률, E_f =섬유 인장 탄성률, E_m =매트릭스 인장 탄성률(소정 위치), α_{cl} =길이 방향으로의 복합 재료 CTE, α_f =섬유 CTE 그리고 α_m =매트릭스 CTE]에 따라 변화되는 것으로 추정된다.

[0107] 직경

[0108] 와이어의 직경은 와이어를 따른 4개의 지점에서 마이크로미터 눈금을 취함으로써 측정된다. 전형적으로, 와이어는 완벽한 원이 아니므로 길고 짧은 측면이 있다. 눈금은 길고 짧은 측면의 양쪽 모두가 측정되는 것을 보증하기 위해 와이어를 회전시킴으로써 취해진다. 직경은 길고 짧은 측면의 평균으로서 보고된다.

[0109] 섬유 체적 분률

[0110] 섬유 체적 분률은 표준 금속 현미경 기술(standard metallographic technique)에 의해 측정된다. 와이어 단면은 연마되며 섬유 체적 분률은 미국 국립 보건원(NIH: National Institute of Health)의 연구 서비스 지소에 의해 개발된 공개 화상-처리 프로그램인 NIH 이미지(버전 1.61)로 호칭되는 컴퓨터 프로그램의 도움으로 밀도 프로파일링 함수(density profiling function)를 사용함으로써 측정된다. 이러한 소프트웨어는 와이어의 대표 영역의 평균 계조 세기(average gray scale intensity)를 측정한다.

[0111] 와이어의 단편이 장착 수지(미국 일리노이주 레이크 블러프에 소재한 빌러 인코포레이티드로부터 상표 지정명 "에폭시큐어" 하에서 얻어짐) 내에 장착된다. 장착된 와이어는 종래의 연삭기/연마기(미국 오하이오주 웨스트 레이크에 소재한 스트루어즈로부터 얻어짐) 그리고 종래의 다이아몬드 슬러리를 사용하여 연마되며 이 때 최종의 연마 단계는 와이어의 연마된 단면을 얻기 위해 1 μ m의 다이아몬드 슬러리(스트루어즈로부터 상표 지정명 "다이아몬드 스프레이" 하에서 얻어짐)를 사용한다. 연마된 와이어 단면의 주사 전자 현미경(SEM: scanning electron microscope) 현미경 사진이 150 \times 에서 촬영된다. SEM 현미경 사진을 촬영할 때, 화상의 임계 레벨은 2치 화상(binary image)을 생성시키기 위해 0의 세기에서 모든 섬유를 갖도록 조정된다. SEM 현미경 사진은 NIH 이미지 소프트웨어로 분석되며, 섬유 체적 분률은 최대 세기에 의해 2치 화상의 평균 세기를 나눔으로써 얻어진다. 섬유 체적 분률을 결정하는 이러한 방법의 정확성은 +/- 2%인 것으로 믿어진다.

[0112] 진원도 수치

[0113] 와이어의 단면 형상이 원에 가까워지는 근접 정도의 측정치인 진원도 수치는 특정된 길이에 대한 단일의 진원도 수치의 평균에 의해 정의된다. 평균을 계산하기 위한 단일의 진원도 수치는 마이크로미터가 180°의 각각의 회전 동안에 100 msec 마다 와이어 직경을 기록하도록 설정된 회전 레이저 마이크로미터(상표 지정명 "ODAC 30J 로테이팅 레이저 마이크로미터"; 소프트웨어: "USYS-100", 버전 BARU13A3 하에서 미국 뉴욕주 마운트 키스조에 소재한 줌베치 일렉트로닉스 코포레이션으로부터 얻어짐)를 사용하여 다음과 같이 결정된다. 180°의 각각의 회전(sweep)은 완료하는 데 10초를 소요한다. 마이크로미터는 공정 데이터베이스로 각각의 180°회전으로부터의 데이터의 보고서를 보낸다. 보고서는 회전 사이클 동안에 수집된 100개의 데이터 지점의 최소, 최대 및 평균을 포함한다. 와이어 속도는 1.5 m/분(5 피트/분)이다. "단일의 진원도 수치"는 회전 사이클 동안에 수집된 100개의 데이터 지점에 대한 최소 직경 대 최대 직경의 비율이다. 진원도 수치는 이제 특정된 길이에 대한 측정된 단일의 진원도 수치의 평균이다. 단일의 평균 직경은 100개의 데이터 지점의 평균이다.

[0114] 진원도 균일성 수치

[0115] 특정된 길이에 대한 측정된 단일의 진원도 수치의 변동 계수인 진원도 균일성 수치는 측정된 단일의 진원도 수치의 평균에 의해 나뉜 측정된 단일의 진원도 수치의 표준 편차의 비율이다. 표준 편차는 다음의 방정식에 따라 결정된다:

$$(1) \text{ 표준 편차} = \sqrt{\frac{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2}{n(n-1)}}$$

여기에서 n은 모집단 내의 샘플의 개수이며(즉, 직경 균일성 수치를 결정하는 측정된 단일의 진원도 수치의 표준 편차를 계산하기 위해, n은 특정된 길이에 대한 측정된 단일의 진원도 수치의 개수임), x는 샘플 모집단의 측정된 수치이다(즉, 직경 균일성 수치를 결정하는 측정된 단일의 진원도 수치의 표준 편차를 계산하기 위해, x는 특정된 길이에 대한 측정된 단일의 진원도 수치임). 평균을 결정하는 측정된 단일의 진원도 수치는 진원도 수치에 대해 전술된 바와 같이 얻어진다.

직경 균일성 수치

특정된 길이에 대한 측정된 단일의 평균 직경의 변동 계수인 직경 균일성 수치는 측정된 단일의 평균 직경의 평균에 의해 나뉘진 측정된 단일의 평균 직경의 표준 편차의 비율에 의해 정의된다. 측정된 단일의 평균 직경은 진원도 수치에 대해 전술된 바와 같이 얻어진 100개의 데이터 지점의 평균이다. 표준 편차는 방정식 (1)을 사용하여 계산된다.

예 1

알루미늄 매트릭스 복합 재료 와이어가 1500 데니어의 "넥스텔 610" 알루미늄 세라믹 섬유 34개의 토우를 사용하여 준비된다. 섬유는 단면이 실질적으로 등글고 평균적으로 대략 11 내지 13 μm 의 범위 내에 있는 직경을 갖는다. (전술된 바와 같이 측정된) 섬유의 평균 인장 강도는 2.76 내지 3.58 GPa(400 내지 520 ksi)의 범위 내에 있다. 개별 섬유는 2.06 내지 4.82 GPa(300 내지 700 ksi)의 범위 내에 있는 강도를 갖는다. (다중 토우의 형태의) 섬유는 알루미늄의 용융 욕 내로 용융체의 표면을 통해 급송되고, 2개의 그래파이트 롤러 아래의 수평 평면 내에서 지나가고, 그 다음에 다이 본체가 위치되는 용융체의 표면을 통해 45°로 용융체의 외부로 그리고 그 다음에 [예컨대, 미국 특허 제6,336,495호(맥컬로프 등)의 도1에 기술된 바와 같은] 권취 스푼 상으로 후퇴된다. 알루미늄(미국 뉴욕주 뉴욕에 소재한 벨몬트 메탈즈로부터의 >99.95% 알루미늄)은 24.1 cm×31.3 cm×31.8 cm(9.5"×12.5"×12.5")의 치수를 갖는 알루미늄 도가니(미국 펜실베이니아 비버 폴즈에 소재한 베수비우스 맥다니엘로부터 얻어짐) 내에서 용융된다. 용융된 알루미늄의 온도는 대략 720°C이다. 95% 니오브 및 5% 폴리브텐의 합금(미국 펜실베이니아주 라지에 소재한 PMTI 인코포레이티드로부터 얻어짐)이 12.7 cm(5 인치)의 길이 × 2.5 cm(1 인치)의 직경의 치수를 갖는 실린더로 성형된다. 실린더는 20.06 내지 20.4 kPa의 진동 주파수까지 원하는 진동을 조정함(즉, 길이를 변화시킴으로써 조정됨)으로써 초음파 혼작동기로서 사용된다. 작동기의 진폭은 0.002 cm(0.0008 인치)를 초과한다. 작동기의 팁은 롤러들 사이의 거리가 <2.5 mm(<0.1 인치)이도록 롤러들 사이의 섬유에 평행하게 도입된다. 작동기는 초음파 변환기에 연결되는 티타늄 도파관에 연결된다. 섬유에는 그 다음에 비교적 균일한 단면 및 직경의 와이어를 형성하기 위해 매트릭스 재료가 침투된다. 이러한 공정에 의해 제조된 와이어는 2.06 mm(0.081 인치)의 직경을 갖는다.

출구측에 위치된 다이 본체는 붕소 질화물로부터 제조되고 용융체 표면에 45°로 경사져 있고 2 mm(0.08 인치)의 내경을 갖는 알루미늄 나사-안내부를 도입시키는 데 적절한 내경을 갖는 구멍을 포함한다. 나사 안내부는 알루미늄 페이스트를 사용하여 소정 위치에 부착된다. 다이로부터 배출 시, 와이어는 공정을 통해 와이어 및 섬유를 견인하는 고무 구동 롤러에 대한 손상 및 연소를 방지하기 위해 질소 가스로 냉각된다. 와이어는 그 다음에 플랜지형 목재 스푼 상으로 권취된다.

섬유의 체적%는 대략 45 체적%인 것으로 단면의 현미경 사진(200× 배율로)으로부터 평가된다.

와이어의 인장 강도는 1.03 내지 1.31 GPa(150 내지 190 ksi)이다.

실온에서의 신장률은 대략 0.7 내지 0.8%이다. 신장률은 신장계에 의해 인장 시험 동안에 측정된다.

알루미늄 복합 재료 와이어(ACW: aluminum composite wire)는 본 발명의 방법에 따른 피복을 위한 (도1 및 도2에서와 같은) 코어 와이어(26)로서 공급된다. 이것은 91.4 cm(36 인치) OD, 76.2 cm(30 인치) ID, 7.6 cm(3 인치) 폭의 스푼 상에서 공급되며, 스푼은 권취 해제 시스템 상에 위치된다. ACW(26)의 장력은 장력이 알루미늄 복합 재료 와이어의 스푼이 권취 해제되는 것을 방지할 정도로 적절하게 충분하도록 중단 시스템(breaking system)을 사용하여 최소로 유지된다. 피복될 ACW(26)는 피복 기계(30) 내로 통과되고 출구측 상의 권취 드럼에 부착되기 전에 표면 세척되지 않고 예열되지 않는다.

피복 기계(모델 350, 영국 잉글랜드 애시포드에 소재한 BWE 리미티드에 의해 상표 지정명 "콘클래드" 하에서

시판되어 있음)는 제품 중심선이 압출 휠(34)에 접선 방향으로 연장하는 것을 나타내는 접선 방식(도2 참조)으로 운영된다. 작동 시, 도2를 참조하면, 알루미늄 공급 원료(28)(EC137050; 9.5 mm 직경의 표준 로드, 프랑스에 소재한 페시네로부터 입수 가능함)가 회전 압출 휠(34) 즉 트윈 홈 표준형의 샤프트 없는 휠의 주연 홈(42) 내로 2개의 권취-해제 드럼(도시되지 않음)을 권취 해제한다. 공급 원료 알루미늄(28)은 사용 전에 표면 산화물, 필름, 오일, 그리스 또는 임의의 형태의 점성 표면 오염을 제거하기 위해 BWE 리미티드에서 개발된 표준 파오비탈 세척 시스템을 사용하여 표면 세척된다.

[0128] ACW(26)가 슈(32)의 입구 다이(38)에서 피복 기계(30) 내로 도입된다. ACW(26)는 압출 공구[슈(32)]를 직접적으로 통과하고 출구 압출 다이(40)(추가로, 도3 참조)로부터 배출된다. 다이 챔버(36)는 BWE 타입 32(영국 잉글랜드 애시포드에 소재한 BWE 리미티드로부터 입수 가능함)이다. 2개의 알루미늄 급송 로드가 압력 및 급속 유동을 균등화하기 위해 코어 와이어(26)의 2개의 측면 상에서 다이 챔버(36) 내로 진입한다. 다이 챔버(36)는 대략 500℃로 알루미늄 온도를 제어하도록 가열된다. 압출 휠(36)의 작용 그리고 다이 챔버(36)에 의해 제공된 열은 다이 챔버(36)에 가소화된 알루미늄(28)을 충전한다. 알루미늄(28)은 ACW(26) 주위에서 소성적으로 유동되고 출구 다이(40)로부터 배출된다. 출구 다이(40)는 피복 두께를 수용하기 위해 3.45 mm의 내경에서의 ACW(26)보다 크다.

[0129] 압출 휠(36)의 속도는 알루미늄이 ACW(26) 주위에서 출구 다이(40)의 외부로 압출될 때까지 조정되며, 챔버 내의 압력은 피복(22)과 ACW(26) 사이에 일부의 부분적인 결합을 유발시킬 정도로 충분하다. 추가로, 압출된 알루미늄(28)은 MCCW(20) 제품을 수집하는 권취 드럼이 장력을 인가하지 않도록 배출 다이(40)를 통해 코어 와이어(26)를 견인한다. 기계로부터 배출되는 제품의 선속도는 대략 50 m/분이다. 기계로부터 배출된 후, 와이어는 냉각을 위해 물의 트로프를 통과하고, 그 다음에 권취 드럼 상에 권취된다. 피복 ACW의 샘플이 0.7 mm의 피복 벽 두께를 갖도록 [304 m(1000 ft)의 길이로] 제작된다.

[0130] MCCW(20)는 3.5 mm(0.140 인치)의 직경의 MCCW(20)를 생성시키기 위해 알루미늄 피복(22)과 함께 2.06 mm(0.081 인치)의 공칭 직경의 ACW(26)를 포함한다. ACW(26)의 불규칙한 형상은 극히 원형의 제품을 생성시키기 위해 피복(22) 내에서 보상된다. MCCW(20)의 면적 분율은 33% ACW 그리고 67% 알루미늄 피복이다. ACW(26) 내에서 45%의 섬유 체적 분율이 주어지면, MCCW(20)는 대략 15%의 정미 섬유 체적 분율을 갖는다.

[0131] 전술된 와이어 인장 강도 시험을 사용하여, 예 1에서 제조된 와이어가 [3.8 cm(1.5 인치 게이지 길이)]만큼 시험된다.

예 1의 MCCW(20)	예 1의 ACW(26)
하중=5080±53 N(1142±27 파운드) (COV=2.4%) 변형=0.87±0.04% 탄성률=97.9 GPa(14.2±1.7 Msi) 강도=515 MPa(74.7±1.8 ksi) 10회 시험	하중=4199±151 N(944±34 파운드) (COV=3.6%) 변형=0.75±0.05% 탄성률=이용 가능한 데이터 없음 강도=1260 MPa(183±7 ksi) 10회 시험

[0133] 예 1로부터의 MCCW(20)는 와이어의 축을 따라 열팽창 계수(CTE)를 측정하기 위해 시험된다. 결과는 도8의 CTE 대 온도의 그래프 내에 도시되어 있다. CTE는 -75℃ 내지 +500℃의 온도 범위에 걸쳐 ~14 내지 19 ppm/℃의 범위 내에 있다.

[0134] 예 1의 MCCW(20)는 와이어 진원도, 진원도 균일성 수치 및 직경 균일성 수치에 대해 측정된다.

[0135] 평균 직경=3.57 mm(0.141 인치)

[0136] 직경 균일성 수치=0.12%

[0137] 와이어 진원도=0.9926

[0138] 진원도 균일성 수치=0.29%

[0139] 와이어 길이=130 m(427 ft)

[0140] 예 2

[0141] 예 2는 코어 와이어(26)가 입구 안내 다이(38) 내로 삽입하기 전에 300℃(표면 코어 온도)까지 유도 가열을 사용하여 가열된다는 점을 제외하면 예 1에 기재된 바와 같이 준비된다. 이것은 304 m(1000 ft)의 길이 그리

고 0.70 mm(0.03 인치)의 피복 벽 두께의 피복 와이어[MCCW(20)]를 가져온다.

[0142] 전술된 와이어 인장 강도 시험을 사용하여, 예 2에서 제조된 피복 와이어[MCCW(20)]가 63.5 cm(25 인치) 길이 지 길이)만큼 시험된다.

예 2의 MCCW(20)	예 2의 ACW(26)
하중=4888±107 N(1099±24 파운드) (COV=2.2%) 변형=0.78±0.03% 탄성률=108 GPa(15.6±1.8 Msi) 강도=499 MPa(72.4±1.6 ksi) 10회 시험	하중=4066±147 N(914±33 파운드) (COV=3.6%) 변형=0.66±0.05% 탄성률=223 GPa(32.3±1.5 Msi) 강도=1220 MPa(177±6 ksi) 10회 시험

[0144] 예 2로부터의 피복 와이어[MCCW(20)]는 알루미늄 피복의 항복 강도를 결정하기 위해 분석된다. 예 2의 피복 와이어에 대한 응력-변형 거동의 그래프가 도9에 도시되어 있다. 알루미늄 피복의 항복과 관련되는 0.04 내지 0.06% 변형의 범위 내에서 경사의 변화가 있다. 코어 와이어 자체는 어떠한 이러한 항복 거동도 보여주지 않는다. 도9는 항복의 시작이 0.042% 변형에서 일어난다는 것을 암시한다. 이와 같이, 항복 강도는 항복 변형에 의해 곱해진 탄성률일 것이다. 순수한 알루미늄의 인장 탄성률은 69 GPa(10 Msi)이다. 그러므로, 항복 응력은 29.0 MPa(4.2 ksi)인 것으로 계산된다.

[0145] 비교예 1

[0146] 2.06 mm(0.081 인치)의 직경의 AMC 코어 와이어(26)(예 1에 기술된 바와 같이 준비됨)가 전술된 와이어 인장 강도 시험을 사용하여 인장 파괴에 대해 시험된다. 파괴의 개수는 시각 검사에 의해 시험 후 기록된다. 다수개의 파괴가 380 mm(15 인치) 이상의 게이지 길이를 갖는 와이어에 대해 관찰된다. 파괴의 개수는 전형적으로 635 mm(25 인치)까지의 게이지 길이에 대해 2 내지 4개 사이에서 변동된다. 고속 비디오 카메라[미국 뉴욕주 로체스터에 소재한 코닥에 의해 상표 지정명 "코닥" 하에서 시판됨(코닥 HRC 1000, 500 프레임/초; 샘플로부터 61 cm(2 피트)에 위치시킴)]가 파괴 기구를 문서화하는 데 사용된다. 비디오는 각각의 와이어 내의 파괴의 시퀀스를 보여주며; 1차(제1) 파괴는 사실상 인장이며, 모든 후속적인 파괴(즉, 2차 파괴)는 작동 기구 중 하나로서 일반적인 압축 좌굴을 보여준다. 다른 파괴 표면의 파괴 현미경 관찰(fractography)(SEM)이 또한 압축 미세-좌굴이 또 다른 2차 파괴 기구라는 것을 밝혀냈다.

[0147] 예 3

[0148] 0.7 mm(0.03 인치)의 알루미늄 피복(22)이 피복된 2.06 mm(0.081 인치) 직경의 AMC 코어 와이어(26)(예 1에 대해 기술된 바와 같음)가 인장 파괴에 대해 시험된다. 피복 와이어[MCCW(20)]는 635 mm(25 인치)의 게이지 길이를 갖는다. 피복 와이어는 1차 인장 파괴(파괴까지의 하중은 평균적으로 4900 N임) 후 2차 파괴를 나타내지 않는다. 2차 파괴의 부재는 파괴된 와이어[MCCW(20)]의 긴 단면을 재파괴하고 인장 상태에서 이들을 재시험함으로써 입증된다[게이지 길이는 여전히 38.1 cm(15 인치)를 초과함]. 재시험 시, 피복 와이어[MCCW(20)]는 파괴까지 약간 큰 하중(~5000N)을 나타낸다. 이러한 결과는 피복 와이어 내에 어떠한 감춰진 2차 파괴 지점도 없다는 것을 나타낸다. 하중-변위는 또한 도10의 그래프에 도시된 바와 같이 1차 인장 파괴가 일어날 때의 알루미늄 피복(22)의 역할을 명확하게 나타낸다. 하중의 급격한 강하는 ACW(26) 상에서의 1차 파괴와 관련되지만, 하중은 즉시 0으로 강하되지 않으며; 하중 중 일부가 화살표(90)로 그래프의 영역에 의해 도시된 바와 같이 인장되어 급격한 퇴각감을 감소시키는 알루미늄 피복(22)에 의해 보유된다.

[0149] 휨 보유 시험

[0150] 휨 보유 시험은 변형 후 와이어에 의해 보유된 휨의 양을 나타낸다. 어떠한 휨도 보유되지 않으면, 와이어는 완전히 탄성이다. 약간의 휨이 보유되면, 와이어 또는 와이어의 적어도 일부가 휨 형상부를 보유하도록 소성 변형된다. 휨 보유 시험은 전형적으로 시험되는 와이어의 파괴 강도보다 낮은 휨 각도 및 휨에서 수행된다.

[0151] (전술된 바와 같은) 소정 길이의 MCCW(20)가 도11의 도면에 도시된 바와 같이 코일형 샘플(92)을 형성하도록 원형 루프로 수동으로 코일형으로 감긴다. 코일형 샘플(92)은 원주가 대략 20.3 cm(8 인치) 내지 134.6 cm(53 인치)의 범위 내에 있는 특정한 직경의 패쇄된 원이다.

[0152] 각각의 코일형 샘플(92)에 대해, 코일형 샘플(100)의 현의 길이(L)가 측정된다. 현(L)에 직각이고 현(L)의 중앙 지점으로부터 코일형 샘플(92)의 모서리까지 연장하는 소정 길이의 선분 세그먼트(y)가 측정된다. 초기

의 휨 반경($R_{\text{초기}}$)은 방정식 (2)에 따라 각각의 샘플에 대해 계산되며, 여기에서 $x=\frac{1}{2}L$ 이다.

$$\frac{y^2 + x^2}{2y} = R \quad (2)$$

예 4 내지 예 3에 대한 L, y 및 $R_{\text{초기}}$ 의 수치는 아래의 표1에 주어져 있다.

표 1

예	L cm(인치)	y cm(인치)	$R_{\text{초기}}$ cm(인치)
4	91.29(35.94)	42.62(16.78)	45.75(18.01)
5	78.11(30.75)	52.07(20.50)	40.69(16.02)
6	29.85(11.75)	4.67(1.84)	26.16(10.30)
7	114.63(45.13)	32.39(12.75)	66.90(26.34)
8	18.77(7.39)	3.96(1.56)	13.11(5.16)
9	44.58(17.55)	12.29(4.84)	26.34(10.37)
10	69.85(27.50)	31.75(12.50)	35.08(13.81)
11	13.03(5.13)	2.46(0.97)	9.86(3.88)
12	42.14(16.59)	12.55(4.94)	23.95(9.43)
13	28.91(11.38)	11.40(4.49)	14.86(5.85)

코일형 샘플(92)의 단부는 그 다음에 해제되며 피복 와이어[MCCW(20)]는 최종의 곡선 형태로 이완되게 된다. 치수(Y' , L')가 이러한 이완 와이어에 대해 측정되며 최종의 휨 반경($R_{\text{최종}}$)이 계산된다. 다양한 예에 대한 결과가 아래의 표2에 제시되어 있다.

표 2

예	L' cm(인치)	Y' cm(인치)	$R_{\text{최종}}$ cm(인치)
4	124.46(49.00)	26.19(10.31)	87.04(34.27)
5	126.52(49.81)	23.98(9.44)	95.43(37.57)
6	88.27(34.75)	23.29(9.17)	53.47(21.05)
7	116.21(45.75)	31.70(12.48)	69.09(27.20)
8	48.90(19.25)	10.01(3.94)	32.33(12.73)
9	85.73(33.75)	25.10(9.88)	49.15(19.35)
10	93.98(37.00)	19.05(7.50)	67.49(26.57)
11	47.96(18.88)	10.80(4.25)	32.03(12.61)
12	49.53(19.50)	9.22(3.63)	37.87(14.91)
13	48.67(19.16)	10.01(3.94)	34.59(13.62)

이완 반경 대 휨 반경이 도12에 작도되어 있다.

2개의 이론적인 모델 즉 내경 모델(Inner Radius Model) 및 소성 힌지 모델(Plastic Hinge Model)이 33.0 cm (13.0 인치)의 변형을 보유하기 위해 MCCW에 대해 요구되는 피복의 두께를 예측하는 데 사용된다. 다음의 계산은 MCCW에 대한 ρ 의 최종의 이완 휨 반경을 유지하는 데 필요한 반경(r)을 갖는 코어 와이어 주위의 피복의 필요한 두께(t)를 계산한다. 모델은 피복 내의 연성 금속이 항복되는 방식에 있어서 상이하다.

중심 코어 와이어의 휨 모멘트는:

$$M_{bw} = \frac{EI_{zzw}}{\rho} \quad (3)$$

중실 원형 단면에 대한 면적의 모멘트(I_{zzw})는:

$$I_{zzw} = \frac{\pi r^4}{4} \quad (4)$$

여기에서 r 은 코어 와이어의 반경이며, E 는 코어 와이어의 탄성 계수이며, ρ 는 MCCW의 휨 반경이다.

내경 모델은 피복의 내부 모서리에서의 피복 재료 내의 응력이 피복 재료의 항복 강도와 동일할 때 와이어의 평형 상태가 일어나는 것으로 예측한다. 즉, $\sigma_x = Y$ (여기에서 σ_x 는 피복 재료 내의 응력이며 Y 는 피복 재료의 항복 강도임).

이러한 상태에서의 와이어의 휨 모멘트(M_L)는:

$$M_L = - \frac{\sigma_x I_{zzC}}{r} \quad (5)$$

피복의 원형 링의 면적의 모멘트(I_{zzC})는 다음과 같이 정의된다:

$$I_{zzC} = \frac{\pi((r+t)^4 - r^4)}{4} \quad (6)$$

제2 모델인 소성 힌지 모델은 다음의 방정식을 사용한다:

평형에서의 휨 모멘트(M_P)는 다음과 같이 정의된다:

$$M_P = \frac{\sigma_x I_{zzP}}{(r+t)} \quad (7)$$

소성 힌지 모델에 대한 면적의 모멘트(I_{zzP})는:

$$I_{zzP} = \frac{\pi((r+t)^4 - r^4)}{2} \quad (8)$$

와이어의 이완된 최종 상태는 코어 와이어의 휨 모멘트가 MCCW의 휨 항복 모멘트와 동일한 지점으로서 결정된다.

내경 모델에 대해, 이것은 다음에서 일어난다:

$$M_{bw} = M_L \quad (9)$$

소성 힌지 모델에 대해, 이것은 다음에서 일어난다:

$$M_{bw} = M_P \quad (10)$$

방정식 (7) 및 방정식 (8)은 코어 와이어의 반경(r), 피복 재료의 항복 강도(Y), MCCW의 휨 반경 그리고 코어 와이어의 탄성 계수의 함수로서 피복 두께(t)에 대해 풀어질 수 있다.

다음의 파라미터는 다음의 예에 대해 사용된다:

코어 와이어 반경(r)=0.10 cm(.040 인치)

코어 와이어 탄성 계수(E)=24 MSI

MCCW 휨 반경(ρ)=33.0 cm(13 인치)

[0185] 피복 항복 응력(σ_x)=9,000 ksi

[0186] 이들은 와이어의 측정된 휨 반경(13.0 인치, 33.0 cm) 및 피복 재료의 추정 항복 강도(9 ksi)(62 MPa)가 주어지면 피복 두께에 대해 풀려진다.

[0187]

피복 두께	인치(cm)
계산됨(내경 모델)	0.030(0.076)
계산됨(소성 힌지 모델)	0.027(0.069)
측정됨	0.030(0.076)

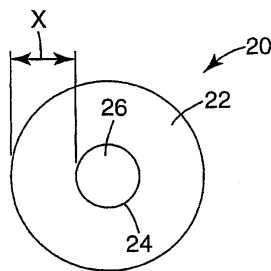
[0188] 본 발명의 다양한 변형 및 변경은 본 발명의 범주 및 사상으로부터 벗어나지 않고도 당업자에게 명확해질 것이며, 본 발명은 여기에 기재된 예시 실시예로 부당하게 제한되지 않아야 한다는 것이 이해되어야 한다.

도면의 간단한 설명

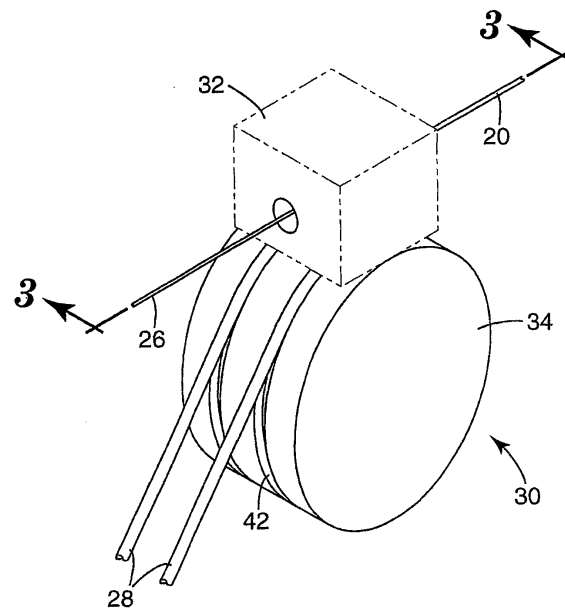
- [0018] 도1은 본 발명의 전형적인 금속-피복 금속 매트릭스 복합 재료 와이어의 개략 단면도이다.
- [0019] 도2는 본 발명에 따른 금속-피복 금속 매트릭스 복합 재료 와이어를 제조하도록 접선 방식으로 운영되는 전형적인 트윈 홈 피복 기계의 사시도이다.
- [0020] 도3은 본 발명에 따른 금속-피복 금속 매트릭스 복합 재료 와이어를 제조하는 피복 기계 내의 전형적인 공구 다이 배열의 개략 단면도이다.
- [0021] 도4는 본 발명에 따른 용융된 금속을 섬유에 침투시키는 데 사용되는 전형적인 초음파 장치의 개략도이다.
- [0022] 도5 및 도6은 본 발명에 따른 금속-피복 금속 매트릭스 복합 재료 와이어를 포함하는 가공 송전 케이블의 2개의 전형적인 실시예의 개략 단면도이다.
- [0023] 도7은 본 발명에 따라 제조된 금속-피복 금속 매트릭스 복합 재료 와이어를 포함하는 균질한 케이블의 개략 단면도이다.
- [0024] 도8은 예 1에서 제조된 금속-피복 금속 매트릭스 복합 재료 와이어에 대한 열팽창 계수의 그래프이다.
- [0025] 도9는 예 2에서 제조된 금속-피복 금속 매트릭스 복합 재료 와이어에 대한 응력-변형 거동의 그래프이다.
- [0026] 도10은 예 3에서 제조된 금속-피복 금속 매트릭스 복합 재료 와이어에 대한 변위 및 회복을 도시하는 그래프이다.
- [0027] 도11은 휨 보유 시험에서 사용되는 기하학적 구조체의 개략도이다.
- [0028] 도12는 본 발명에 따라 제조된 금속-피복 금속 매트릭스 복합 재료 와이어의 소성 변형을 도시하는 이완 반경 대 휨 반경의 전형적인 그래프이다.

도면

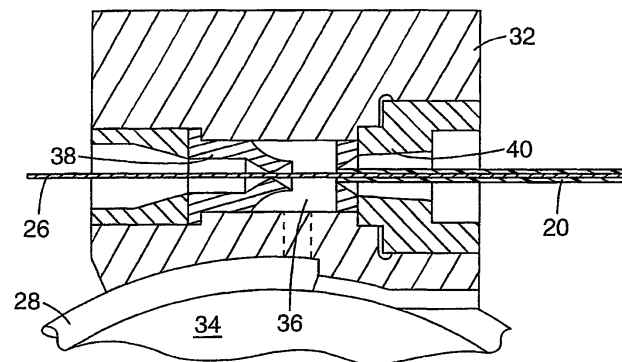
도면1



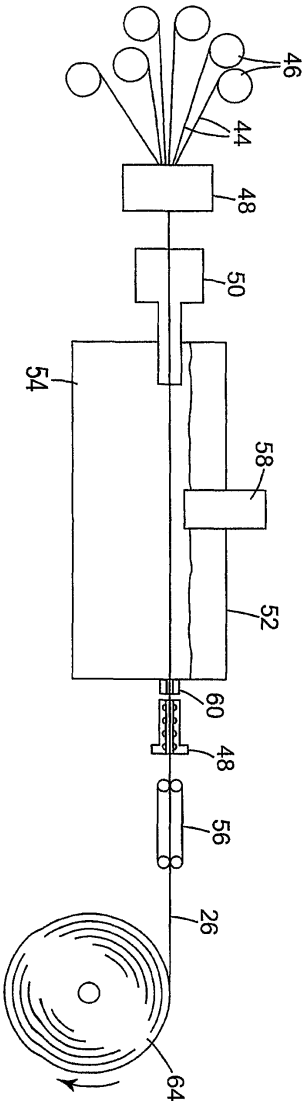
도면2



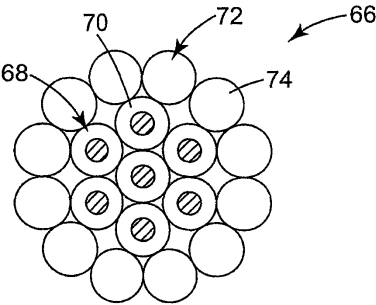
도면3



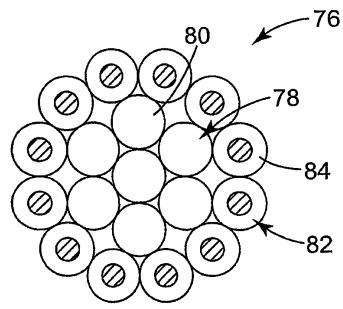
도면4



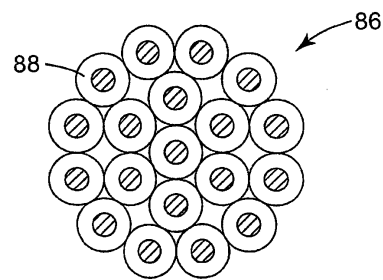
도면5



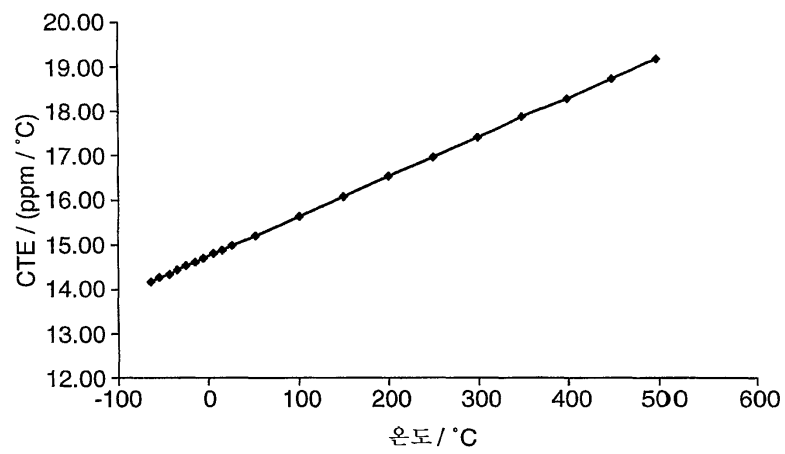
도면6



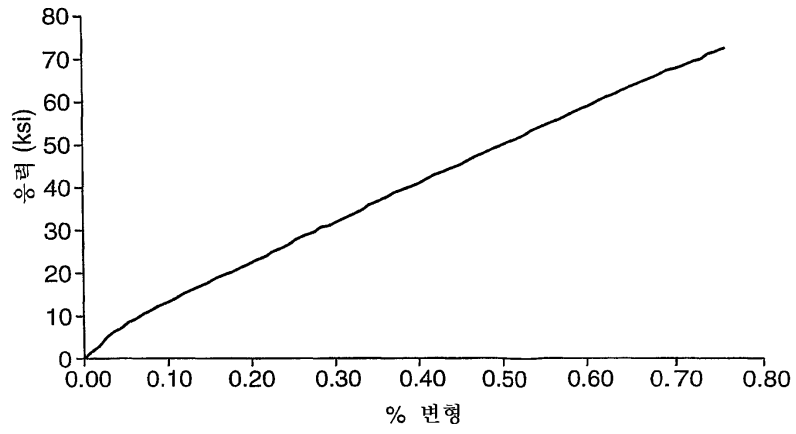
도면7



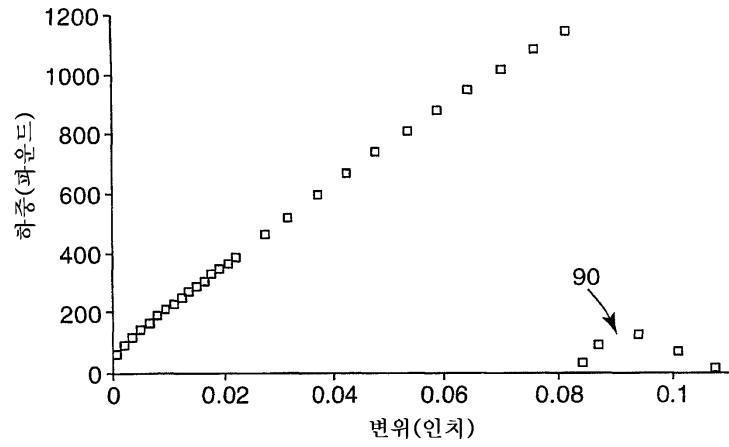
도면8



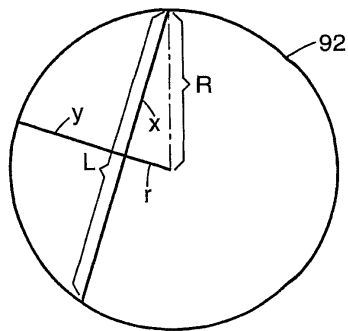
도면9



도면10



도면11



도면12

