

**(19) 대한민국특허청(KR)**  
**(12) 공개특허공보(A)**

(51) . Int. Cl.<sup>7</sup>

C21D 7/04  
C21D 8/00  
C21D 8/02  
C21D 8/06

(11) 공개번호 10-2005-0086674  
(43) 공개일자 2005년08월30일

(21) 출원번호 10-2005-7008762

(22) 출원일자 2005년05월16일  
번역문 제출일자 2005년05월16일(86) 국제출원번호 PCT/US2003/036875  
국제출원일자 2003년11월18일(87) 국제공개번호 WO 2004/046400  
국제공개일자 2004년06월03일

(30) 우선권주장	10/645,833	2003년08월20일	미국(US)
	60/427,830	2002년11월19일	미국(US)

(71) 출원인 엠에프엑스 테크놀로지 코포레이션  
미국 캘리포니아주 92606 어바인 스윗 102 코포레이트 파크2

(72) 발명자 쿠진스키 그르제고르제 제이  
미국 캘리포니아주 92612 어바인 아파트먼트 에프215 비아 루카스트리트 30  
토마스 개레쓰  
프랑스 에프-13260 카시 에비뉴 드 레버랜드 폐레 제인 8

(74) 대리인 김진환  
김두규

**심사청구 : 없음****(54) 패킷-래스 마르텐사이트/오스테나이트 미세조직을 갖는냉간 가공 강****요약**

높은 인장 강도를 지닌 변형 경화된 강 합금(strain-hardened steel alloy)은, 마르텐사이트의 래스가 안정화된 오스테나이트의 박막과 교대로 배치되어 있는 결정립을 포함하는 미세조직을 갖는 합금을 냉간 가공함으로써 제공된다. 이러한 미세조직의 높은 전위(傳位) 밀도와, 마르텐사이트와 오스테나이트 상들 사이에서 이동하는 스트레인의 경향으로 인해, 냉간 가공에 의해 생성된 스트레인은 높은 인장 강도를 비롯한 독특한 기계적인 특성을 지닌 미세조직을 제공한다. 놀랍게도, 이는 단면 감소를 수반하는 냉간 가공 사이에 강의 중간 열처리(강선의 경우, 패턴팅)를 필요로 하지 않고 달성된다.

**대표도**

도 1

**명세서**

## 기술분야

본 발명은 중탄소강 및 저탄소강 합금, 특히 고강도와 고인성의 중탄소강 및 저탄소강 합금과, 이러한 합금의 냉간 성형성(cold formability)에 대한 기술 분야에 관한 것이다.

## 배경기술

고성능 강을 처리하는 과정 중에 중요한 단계는, 인발, 압출, 냉간 압조(cold heading) 혹은 압연 등의 공정에 의해 탈성되는 일련의 압축 및/또는 팽창으로 통상 이루어지는 냉간 가공(cold working)이다. 이 냉간 가공은 강의 소성 변형을 일으켜 궁극적으로 사용될 형상으로 강을 성형하는 동안 변형 경화(strain hardening)가 생성되도록 한다. 강선(鋼線; steel wire)의 경우에 신선(wire drawing)에 의해 실행되는 냉각 가공은 통상적으로 중간 열처리(강선의 경우 "패턴팅(patenting)"이라고 칭함)와 함께 연속적인 단계들에 걸쳐 실행된다.

고강도의 강선은 고성능의 강의 실례가 되며, 타이어 코드, 와이어 루프, 프리스트레스 콘크리트 보강을 위한 스트랜드(strand)를 포함한 다양한 엔지니어링 용례에 유리하다. 고강도 강선에 가장 보편적으로 사용된 강은 중탄소강 혹은 고탄소강이다. 상기 강선을 형성하기 위한 통상의 공정에 있어서, 펠라이트 미세조직을 지닌 열간 압연된 강봉이, 연속된 냉간 인발을 위해 펠라이트를 연화시키도록 중간의 패턴팅 처리를 수반하면서 여러 단계에 걸쳐 냉간 인발된다. 예컨대 약 5.5mm의 열간 압연 강봉은 약 3mm의 직경으로 여러 단계들에 걸쳐 거칠게 인발 가공될 수 있다. 그 다음에 패턴팅을 850~900°C에서 실시하여, 강의 오스테나이트화(austenitization)를 일으키고, 그 후 500~550°C에서 미세 펠라이트 엽상(lamellar)로 강을 변태시킨다. 이 강은 그 다음 예컨대, 패턴팅 동안 형성된 스케일을 제거하기 위해 염산에서 산세척(pickling) 되곤 한다. 산세척에 후속하여 약 1mm로 직경을 감소시키기 위해 여러 추가의 인발 단계들이 행해진 다음, 추가의 패턴팅과 산세척이 실시된다. 그 다음, 소망하는 특성, 특히 현저한 강도를 얻기 위해 최종적인 인발 가공이 최종의 희망하는 직경(예컨대 약 0.4mm)으로 여러 단계에 걸쳐 실시된다. 이것에 후속하여 최종적인 용도에 따라 스트랜딩(stranding) 등의 추가의 공정이 행해질 수 있다.

초기 패턴팅 처리의 목적은 낮은 변태점을 필요로 하는 미세 엽상 펠라이트 조직을 지닌 선재(線材; wire rod)를 생산하는데 있다. 희망하는 온도 제어를 달성하기 위해, 상기 공정은 용융된 연욕(lead bath)에서 통상적으로 실행된다. 계속되는 인발 단계들에 있어서, 상기 선재는 약 3,000MPa의 고강도 레벨을 얻기 위해 6~7의 진변형률(이하에 정의함)로 인발된다. 종래의 펠라이트 선재에 있어서, 이러한 높은 변형률 및 강도는 단지 일련의 패턴팅 처리를 적용함으로써 얻어질 수 있다. 이러한 패턴팅 처리 없이, 냉각 인발은 펠라이트 엽상의 전단 균열을 유발할 것이다. 용융된 연욕의 필요성으로 인해, 전체의 공정은 비싸지고 환경적인 문제를 야기할 우려가 있다.

냉간 가공은 또한 팽창할 수 있는 강철 배관, 즉 현장에서 그리고 몇몇 경우에는 지하에서 팽창할 수 있는 배관의 생산에 사용된다.

강 합금에 있어서 최근의 개발 형태는, 마르텐사이트가 오스테나이트의 박막에 의해 분리되는 래스(lath)로서 존재하게 되는 교대로 배치된 구조로 마르텐사이트 상과 오스테나이트 상 모두를 포함하는 미세조직의 형성이다. 이러한 미세조직은 융합된 결정립이고, 이러한 상태에서의 개개의 결정립은, 몇몇 경우에 오스테나이트 셀(shell)이 각 결정립을 에워싼 상태로 오스테나이트 박막에 의해 분리된 마르滕사이트의 여러 래스들을 포함한다. 이러한 조직을 "전위된 래스 마르텐사이트(dislocated lath martensite)" 조직 혹은 "패킷-래스(packet-lath)" 마르滕사이트/오스테나이트 조직이라고 칭한다. 이러한 미세조직을 개시하고 있는 특허 문헌은 다음과 같으며, 이를 각각의 특허 문헌은 본 명세서에 그 전체 내용을 참조로서 인용한다.

1977. 8. 24일자로 출원되어 1979. 10. 9일자로 특허 허여된 미국 특허 제4,170,497호(Gareth Thomas, Bangaru V.N. Rao 명의),

1977. 8. 24일자의 전술한 출원의 계속 출원으로서 1978. 9. 14일자로 출원되어 1979. 10. 9일자로 특허 허여된 미국 특허 제4,170,499호(Gareth Thomas, Bangaru V.N. Rao 명의),

1985. 10. 11일자로 출원되어 1987. 6. 9일자로 특허 허여된 미국 특허 제4,671,827호(Gareth Thomas, Nack J. Kim, Ramamoorthy Ramesh 명의),

2000. 3. 28일자로 출원되어 2001. 8. 14일자로 특허 허여된 미국 특허 제6,273,968B1호(Gareth Thomas 명의).

이들 미세조직은 소정의 성능에 있어서의 장점, 특히 높은 내부식성을 제공하지만, 전술한 미세조직이 존재하는 경우에 강 합금에 통상적으로 사용된 처리 단계들을 단순화 혹은 생략할 수 있는지가 지금까지는 알려지지 않았다.

본 발명의 또 다른 잠재적인 관련 기술로는 패턴팅처리 없는 강봉 및 강선의 냉간 가공을 개시하고 있는 아래의 2개의 미국 특허가 있다.

1982. 12. 9일자로 출원되어 1986. 9. 23일자로 특허 허여된 미국 특허 제4,613,385(Gareth Thomas, Alvin H. Nakagawa 명의).

1984. 8. 6일자의 전술한 출원의 계속 출원으로서 1984. 11. 29일자로 출원되어 1986. 10. 28일자로 특허 허여된 미국 특허 제4,619,714호(Gareth Thomas, Jae-Hwan Ahn, Nack-Joon Kim 명의).

이들 특허도 마찬가지로 그 전체 내용을 참조로서 본 명세서에 인용한다. 전술한 2개의 특허의 강의 미세조직은 첫 번째의 4개의 특허의 강의 미세조직과 현저하게 다르다.

### 발명의 상세한 설명

페킷-래스 마르텐사이트/오스테나이트 미세조직은 결정학적인 특성들에 있어서 독특하고, 또 이들 특성들이 냉각 가공에서 미세조직이 어떻게 반응하게 하는 가에 대해서는 오늘날에 이르러 발견되었다. 이러한 미세조직에서 전위 밀도가 높고, 그 미세조직에서의 스트레인이 마르텐사이트 상과 오스테나이트 상 사이에서 용이하게 이동할 수 있기 때문에, 냉각 가공은 높은 인장 강도를 비롯한 독특한 기계적 특성을 지닌 미세조직을 제공한다. 그 결과, 이들 합금은 중간 열처리를 수반한 냉각 가공에 의해 처리해 왔던 종래의 강 합금의 인장 강도에 필적하는 인장 강도를 여전히 얻으면서도 중간 열처리 없이 냉간 가공될 수 있다. 패킷-래스 마르滕사이트/오스테나이트 미세조직을 지닌 강선의 경우, 본 발명은 냉간 인발이 중간 패턴팅 처리 없이 실행될 수 있다는 발견에 집중된다. 따라서 본 발명에 따르면, 패킷-래스 마르滕사이트/오스테나이트 미세조직을 지닌 탄소강 합금, 즉 그 미세조직이 잔류 오스테나이트의 박막과 교대로 배치된 마르滕사이트의 래스를 포함하는 탄소강 합금은 약 1,085MPa 이상("MPa"는 메가파스칼, 즉 제곱 밀리미터 당 뉴턴을 나타냄)과 동등한 약 150ksi 이상("ksi"는 제곱 인치당 킬로-파운드-힘을 나타냄)의 인장 강도를 얻기에 충분한 단면 감소율로, 바람직하게는 중간 열처리 없이 냉간 성형된다. 2,000MPa(290ksi) 이상의 인장 강도를 달성하는 냉간 가공이 특히 중요하며, 실제로 3,000MPa(435ksi) 그리고 4,000MPa(580ksi) 정도로 높은 인장 강도가 본 발명의 실시에 의해 달성될 수 있다. 이러한 값들은 근사치이며, 1000분의 1의 자리수로 반올림한 단위 환산율은 6.895MPa가 1ksi로 된다.

본 발명의 장점은 페라이트를 포함하지 않거나 혹은 불충분한 양의 페라이트를 포함하는 단순한 패킷-래스 마르滕사이트/오스테나이트 미세조직과, 페라이트 결정립과 융합된 패킷-래스 결정립을 포함하는 미세조직과, 그 패킷-래스 결정립이 오스테나이트 셀에 의해 에워싸여 있는 조직, 상간(interphase) 탄화물 석출이 없는 조직 및 오스테나이트 막이 균일한 배향을 지닌 조직을 비롯한 전술한 조직의 변형례로 확대된다. 이러한 방법으로 패킷-래스 마르滕사이트/오스테나이트 미세조직이 냉간 가공에 반응할 수 있는 능력을 가지고 있다는 발견은 전술한 미국 특허 제4,613,385호 및 제4,619,714호에 개시된 것과 의외로 연관성이 있는데, 그 이유는 이들 특허의 미세조직에서 페라이트는 마르滕사이트보다 더 낮은 항복 강도를 지니기 때문이다. 그 결과, 페라이트 상이 마르滕사이트의 항복 강도보다 높은 레벨로 가공 경화될 때까지 마르滕사이트는 냉간 가공에 반응하지 않는 반면에, 페라이트는 냉각 가공에 의해 야기된 스트레인을 우선적으로 흡수할 것이다. 본 발명에서 언급된 미세조직에 있어서, 페라이트의 비교적 낮은 레벨 혹은 페라이트가 존재하지 않을 때 그것의 부재는 마르滕사이트가 냉간 가공 공정의 초기 단계에서 스트레인을 흡수하도록 유발할 것이다. 마르滕사이트와 페라이트는 결정 조직 및 경화 거동에 있어서 서로 구별되게 상이하다.

전술한 특징 및 다른 특징, 본 발명의 목적, 장점 및 실시예들은 아래의 설명으로부터 더 양호하게 이해될 것이다.

### 도면의 간단한 설명

도 1은 중간 열처리 없이 본 발명에 따른 냉간 가공이 행해졌을 때 2상의 패킷-래스 마르滕사이트/오스테나이트 미세조직을 갖는 2가지의 강 합금들에 대한 인장 강도 대 총 진변형률(true total strain)의 관계를 나타낸 그래프이다.

도 2는 중간 열처리 없이 본 발명에 따른 냉간 가공이 행해졌을 때 3상의 패킷-래스 마르滕사이트/오스테나이트/페라이트 미세조직을 갖는 3가지의 강 합금과, 패킷-래스 마르滕사이트/오스테나이트 미세조직을 갖는 하나의 강 합금에 대한 인장 강도 대 총 진변형율의 관계를 나타낸 그래프이다.

## 실시예

본 발명의 실시예에 따른 냉간 가공은 다른 강 합금 및 미세조직에 적용한 종래 기술에 따른 냉간 가공을 위해 사용해왔던 방법 및 장치를 사용하여 실시될 수 있다. 블룸(bloom), 빌렛, 바아, 슬래브 혹은 시트 형태의 합금에 있어서, 냉간 가공은 강의 두께를 감소시키고 그 강을 연신시키기 위해 롤러들 사이에서 혹은 다른 압축 수단들 사이에서 강을 압연하는 것에 의해 이루어질 수 있다. 냉간 가공이 압연에 의해 행해질 때, 복수 회의 단면 감소는 압연 기계를 복수 회 통과시킴으로써 달성된다. 봉 모양 혹은 와이어 모양의 공작물에 있어서, 냉간 가공은 다이를 통한 냉간 인발 혹은 압출로 이루어질 수 있다. 복수 회의 단면 감소를 위해, 상기 공작물은 일련의 연속적인 소형 다이를 통해 압출된다. 배관은 다이 내측에 맨드렐이 있는 링 모양 다이를 통해 강을 인발 가공함으로써 얻어진다. 복수 회의 통과를 위해, 이미 인발 가공된 배관을 그 배관 내에 맨드렐을 배치한 상태로 보다 작은 링 모양의 다이를 통해 추가로 인발 가공한다.

냉간 가공은 재결정이 발생하는 최저 온도 아래의 온도에서 실시된다. 따라서 적절한 온도는 강 내에 어떠한 상 변화를 유발하지 않는 온도이다. 탄소강의 경우, 재결정은 통상적으로 대략 1,000°C(1,832°F)에서 일어나기 때문에 본 발명에 따른 냉간 가공은 이러한 온도 아래에서 양호하게 실행된다. 바람직하게는, 상기 냉간 가공은 약 500°C(932°F) 이하의 온도, 보다 바람직하게는 100°C(212°F) 이하, 가장 바람직하게는 약 25°C의 상온에서 실행된다.

냉간 가공은 1회의 통과 혹은 연속적인 통과로 실행될 수 있다. 어느 쪽이든, 중간 열처리(강선의 경우 "패턴팅"이라고 칭함)가 추가적인 특성 향상을 위해 실행될 수 있지만, 냉간 가공 단독으로부터 얻어지는 특성들은, 중간 열처리를 필요로 하지 않으며 바람직하게는 중간 열처리를 실행하지 않은 정도로 충분하게 향상된다. 비록 단면 감소율은 강이 약간의 총 단면 감소를 겪은 이후 쉽게 파괴될 수 있을 만큼 강이 경화하는 것을 방지하기에 충분해야 하지만, 1회의 통과 당 단면 감소 정도는 본 발명에서는 중요하지 않고 광범위하게 변할 수 있다. 대부분의 경우, 바람직한 단면 감소는 1회의 통과 당 적어도 약 20%, 보다 바람직하게는 1회 통과 당 적어도 약 25%, 가장 바람직하게는 1회 통과 당 약 25% 내지 약 50%이다. 1회 통과 당 단면 감소는 적어도 부분적으로는 다이 각도와 인발 효율 계수 등과 같은 요인들에 의해 결정된다. 다이 각도가 더 커질수록, 중앙의 파열 크래킹을 피하기 위해 요구되는 최소 단면 감소율은 더 커진다. 그러나 인발 효율 계수가 더 낮아질수록 소정 변형 경화 지수를 갖는 강에 대한 최대 단면 감소율이 더 작아진다. 절충점은 통상적으로 이들 2가지의 경합하는 고려 대상들 사이에서 얻게 된다. 최종 제품의 인장 강도의 측면에서는, 냉간 가공은 약 150ksi 내지 500ksi 범위내의 인장 강도로 양호하게 실행될 것이다.

본 발명의 공정은 2001. 12. 15일자 출원된 공동 계류 중인 미국 특허 출원 제10/017,847호(발명자 Kusinski, G.J., Pollack, D., Thomas, G., 제목 "3상 나노-복합강")과 2001. 12. 14일자 출원된 공동 계류 중인 미국 특허 출원 제10/017,879호(발명자 Kusinski, G.J., Pollack, D., Thomas, G., 제목 "나노-복합 마르텐사이트강") 뿐만 아니라 (이들 특허는 그 전체 내용이 참조로서 본 명세서에 인용됨) 전술한 특허에 개시된 것과 같은 패킷-래스 마르텐사이트/오스테나이트 미세조직을 지닌 탄소강 합금에 적용할 수 있다. 패킷-래스 마르滕사이트/오스테나이트 미세조직의 형성을 허용하기 위해, 합금 조성은 통상적으로 약 300°C 이상, 바람직하게는 350°C 이상의 마르滕사이트 변태 개시 온도( $M_s$ )를 갖는다. 합금 원소들은 주로  $M_s$ 에 영향을 미치지만,  $M_s$ 에 가장 강하게 영향을 끼치는 합금 원소는 탄소이며, 300°C 이상의  $M_s$ 를 지닌 합금은 그 합금의 탄소 함량을 최대 0.35중량%로 제한함으로써 얻어질 수 있다. 본 발명의 양호한 실시예에 따르면, 탄소 함량은 약 0.03중량% 내지 0.35중량% 범위에 속하며, 보다 양호한 실시예들에서의 그 범위는 약 0.05중량% 내지 약 0.33중량%이다. 몰리브덴, 티타늄, 니오븀, 알루미늄 등의 추가의 합금 원소들은 또한 미세 결정립의 형성을 위한 성장핵(nucleation site)으로서 역할하기에 충분한 양이지만, 그러한 원소의 존재에 의해 완성된 합금의 특성이 영향을 받는 것을 피하기에 충분히 낮은 농도로 존재할 수 있다. 이러한 농도는 또한 강을 조기에 쉽게 파괴되게 할 수 있는 개재물 및 기타 대형 석출물의 형성을 피하도록 충분히 낮아야 한다. 본 발명의 특정 실시예들에 따르면, 하나 또는 그 이상의 오스테나이트 안정화 원소, 예컨대 질소, 망간, 니켈, 구리 및 아연을 포함하는 것이 유리할 것이다. 이들 원소들 중 망간과 니켈이 특히 바람직하다. 니켈이 존재할 때, 니켈 농도는 약 0.25% 내지 약 5%의 범위에 속하는 것이 바람직하고, 망간이 존재할 때 망간 농도는 약 0.25% 내지 약 6% 범위에 속하는 것일 바람직하다. 크롬은 또한 본 발명의 많은 실시예들에 포함되며, 이 크롬이 존재할 때 크롬의 농도는 약 0.5% 내지 약 12%인 것이 바람직하다. 본 명세서에서 언급하고 있는 농도는 모두 중량을 기준으로 한 것이다.

본 발명의 특정 실시예들은 패킷-래스 마르滕사이트/오스테나이트 결정립에 추가하여 페라이트 상을 포함하는 합금(3상 합금)에 관한 것이지만, 나머지는 패킷-래스 마르滕사이트/오스테나이트 결정립을 포함하고 페라이트 상은 포함하지 않는 합금(2상 합금)에 관한 것이다. 일반적으로 페라이트 상의 존재 유무는 초기 오스테나이트화 단계에서의 열처리의 태입에 의해 결정된다. 온도를 적절하게 선택함으로써, 강은 단일의 오스테나이트 상으로 변태될 수 있거나 또는 오스테나이트와

페라이트 양자를 포함하는 2상 조직으로 변태될 수 있다. 추가적으로, 상기 합금 조성은 합금의 초기 냉각 동안 오스테나이트 상으로부터 페라이트 형성을 야기하거나, 혹은 냉각 중에 페라이트 형성을 피하도록, 즉 오스테나이트를 더 냉각시켜 패킷-래스 미세조직이 형성되기 이전에 페라이트 결정립이 형성되는 것을 피하도록 선택되거나 조절될 수 있다.

전술한 바와 같이, 몇몇 경우에 있어서 비록 결정학적 배향이 변할 수 있지만 단일의 패킷-래스 결정립 내의 오스테나이트 막이 대략적으로 모두 동일한 배향으로 되어 있거나, 또는 단일의 패킷-래스 결정립 내의 오스테나이트 막이 동일한 결정면 방향을 갖는 패킷-래스 마르텐사이트/오스테나이트 미세조직을 지닌 합금을 사용하는 것이 유리할 것이다. 후자는 결정립의 크기를 10미크론 이하로 제한함으로써 얻어질 수 있다. 이들 경우의 결정립의 크기는 약 1미크론 내지 약 10미크론 범위 내에 속하는 것이 바람직하며, 약 5미크론 내지 약 9미크론이 가장 바람직하다.

페라이트를 포함하지 않는 패킷-래스 마르텐사이트/오스테나이트 미세조직(즉, "2상"의 미세조직)의 마련은 합금 성분들의 선택과, 이들 성분들을 전술한 바와 같이 적절한 비율로 조합함으로써 시작된다. 그 다음 조합된 성분들은 모든 원소 및 성분들이 고용체 상태로 있는 균질 오스테나이트 조직을 얻기 위해 충분한 온도 및 시간 동안에 균질화["균열 처리(soaking)"] 된다. 상기 온도는 오스테나이트 재결정화 온도 이상으로 될 것이지만 매우 미세한 결정립이 형성되도록 하는 소정의 수준이 되게 하는 것이 바람직하다. 오스테나이트 재결정화 온도는 통상 합금의 조성에 따라 변하며, 이는 당업자들에게 잘 알려져 있다. 대부분의 경우, 최상의 결과는 800°C 내지 1,150°C의 범위에 속하는 온도에서 균열 처리함으로써 얻어질 것이다. 이러한 온도에서 상기 합금에 대해 압연, 단조 혹은 이들 양자가 선택적으로 행해진다.

일단 균질화가 완료되면, 합금은 전술한 바와 같이 변할 수 있는 소망의 결정립의 크기로의 결정립 미세화(grain refinement) 및 냉각 과정을 겪게 된다. 결정립 미세화는 여러 단계들에서 실행될 수 있지만, 최종 결정립 미세화는 일반적으로 오스테나이트 재결정화 온도보다 높지만 그 온도에 근사한 중간 온도에서 이루어진다. 상기 합금은 동적 재결정(dynamic recrystallization)을 달성하기 위해 먼저 균질화 온도에서 압연된 다음, 중간 온도로 냉각되고 추가의 동적 재결정을 위해 재차 압연된다. 상기 중간 온도는 오스테나이트 재결정화 온도와, 이 오스테나이트 재결정화 온도보다 약 50°C 높은 온도와의 사이의 온도이다. 오스테나이트 재결정화 온도가 약 900°C인 합금 조성에 있어서, 그 합금이 냉각될 중간 온도는 약 900°C 내지 약 950°C가 바람직하며, 약 900°C 내지 925°C가 가장 바람직하다. 오스테나이트 재결정화 온도가 약 820°C인 합금 조성에 있어서, 양호한 중간 온도는 약 850°C이다. 동적 재결정은 또한 단조 혹은 당업자들에게 공지된 다른 수단에 의해 달성될 수 있다. 동적 재결정은 10% 이상의 결정립 크기의 감소를 일으키며, 많은 경우에서 약 30% 내지 약 90%의 결정립 크기의 감소를 일으킨다.

일단 원하는 결정립 크기를 얻게 되면, 상기 합금은 오스테나이트 재결정화 온도 이상의 온도에서 마르텐사이트 변태 개시 온도( $M_s$ ) 아래로 냉각시켜, 오스테나이트 결정이 패킷-래스 마르텐사이트/오스테나이트 미세조직으로 전환되도록 마르텐사이트 변태 영역을 통과하게 함으로써 담금질된다. 페라이트 결정이 오스테나이트 결정들 중에 존재할 때, 전술한 전환은 오스테나이트 결정에서만 일어난다. 최적의 냉각 속도는 화학적 조성, 나아가 합금의 경화능에 따라 달라질 수 있다. 그 결과로 생긴 패킷들은 압연 단계 동안 생성된 오스테나이트 결정립과 대략 동일한 작은 크기를 갖지만, 이들 결정립 내에 잔류하는 오스테나이트만이 박막으로 존재하고 몇몇 경우에는 각각의 패킷-래스 결정립을 에워싸는 셀로 존재한다. 오스테나이트 박막들이 결정 배향에서 단일의 변형(single variant)으로 될 때, 이것은 50미크론 미만의 결정립 크기를 얻도록 상기 공정을 제어함으로써 달성된다.

동적 재결정에 대한 변형례로서, 소망의 결정립 크기로의 결정립 미세화는 열처리 단독에 의해 달성될 수 있다. 이러한 방법을 사용하기 위해, 상기 합금은 이전의 단락에서 언급한 바와 같이 담금질된 다음 대략 오스테나이트 재결정화 온도와 동일하거나 약간 낮은 온도로 재가열되고, 그 후 패킷-래스 마르텐사이트/오스테나이트 미세조직을 얻기 위해 또는 그 미세조직으로 복귀하도록 한 번 더 담금질 된다. 상기 재가열 온도는, 예컨대 870°C의 오스테나이트 재결정 온도의 약 50°C 범위에 속하는 것이 바람직하다.

합금 조성물을 오스테나이트 상으로 가열하는 단계, 원하는 감소와 결정립 크기를 얻기 위해 제어된 압연 혹은 단조를 행하면서 합금을 냉각시키는 단계, 패킷-래스 미세조직을 얻기 위해 마르텐사이트 변태 영역을 통해 오스테나이트 결정립을 담금질하는 단계 등과 같은 처리 단계들은 해당 분야에 공지된 방법에 따라 실행된다. 이러한 방법들은, 주조, 열처리, 그리고 단조 혹은 압연을 행하고 이어서 최적의 결정립 미세화를 위한 제어된 온도에서 마감질 처리를 행하는 등의 열간 가공을 포함한다. 제어된 압연은 균질한 오스테나이트 결정 상을 형성하도록 합금 원소의 확산을 보조하고, 결정립 내에 스트레인 에너지의 저장을 보조하는 것을 비롯한 여러 가지 기능을 한다. 상기 공정의 담금질 단계에 있어서, 제어된 압연은 새로 형성되는 마르滕사이트 상을 잔류 오스테나이트의 박막에 의해 분리된 마르滕사이트 래스의 패킷-래스 배열로 유도한다. 압연에 의한 단면 감소의 정도는 달라질 수 있고, 이는 당업자들에게 잘 알려져 있다. 담금질은 펠라이트 및 베이나이트를 비롯한 유해한 미세조직의 형성을 피하고, 또 입자 혹은 석출물, 특히 원하지 않는 탄화물 및 탄질화물의 형성을 포

함하는 상간 석출 혹은 입자 형성을 피하기에 충분히 빠르게 행해지는 것이 바람직하다. 패킷-래스 마르텐사이트/오스테나이트 결정립에 있어서, 잔류 오스테나이트 박막들은 미세조직의 약 0.5체적% 내지 약 15체적%, 양호하게는 약 3체적% 내지 약 10체적%, 가장 양호하게는 최대 약 5체적%로 구성될 것이다.

3상 합금은 2가지 형태의 결정립, 즉 페라이트 결정립과 연속한 덩어리로 서로 융합된 패킷-래스 마르滕사이트/오스테나이트 결정립으로 이루어진 미세조직을 지닌다. 2상 합금과 마찬가지로, 개개의 결정립 크기는 중요하지 않으며 광범위하게 변할 수 있다. 최상의 결과를 위해, 결정립의 크기는 일반적으로 약 2미크론 내지 약 100미크론의 범위에 속하고, 양호하게는 약 5미크론 내지 약 30미크론의 범위에 속하는 입경(다른 적절한 특징적 직선의 치수)을 지닌다. 마르滕사이트-오스테나이트 상에 대한 페라이트의 양은 변할 수 있다. 그러나 대부분의 경우, 최상의 결과는 마르滕사이트/오스테나이트 결정립이 3상 조직의 약 5중량% 내지 약 95중량%, 양호하게는 약 15중량% 내지 약 60중량%, 가장 양호하게는 약 20중량% 내지 약 40중량%로 구성될 때 얻어지게 될 것이다.

상기 3상 합금은, 전술한 2상 합금을 마련하는 경우와 마찬가지로 소망하는 조성의 합금을 형성하기에 필요한 적절한 성분들을 먼저 조합한 다음 모든 원소 및 성분들이 고용체 상태로 있는 균질한 오스테나이트 조직을 얻기 위해 균열 처리함으로써 마련된다. 양호한 균열 처리 온도 범위는 약 900°C 내지 1,170°C이다. 오스테나이트 상이 일단 형성되면, 합금의 조성물은 임계간 영역 내의 온도로 냉각되는데, 이 임계간 영역은 오스테나이트와 페라이트 상이 평형 상태로 공존하는 영역으로 정의된다. 따라서 냉각은 오스테나이트의 일부가 페라이트 결정립으로 변태하도록 하며, 나머지는 오스테나이트로 남게 만든다. 평형 상태로 있는 2가지 상들의 각각의 상대량은 전술한 단계에서 상기 조성물이 냉각될 온도와, 그리고 합금 원소의 수준에 따라 변한다. 2가지 상 간의(또한 평형 상태에서) 탄소의 분포는 또한 온도에 따라 변한다. 2가지 상의 상대량은 본 발명에서 중요하지 않으며, 변할 수 있다. 조성물이 2상의 페라이트-오스테나이트 조직을 얻기 위해 냉각되는 온도는 약 800°C 내지 약 1,000°C 범위 내에 속하는 것이 바람직하다.

일단 페라이트 및 오스테나이트 결정들이 형성되면(즉, 일단 임계간 상의 선택된 온도에서 평형 상태를 얻게 되면), 합금은 마르滕사이트 변태 영역을 통과해 냉각되어 오스테나이트 결정에서 패킷-래스 마르滕사이트/오스테나이트 미세조직으로 전환되도록 신속히 담금질된다. 이러한 변태 동안 사용된 냉각 속도는 페라이트 상으로의 어떠한 변화를 실질적으로 피하고 또 바람직하지 못한 오스테나이트 분해를 피할 수 있을 만큼 충분히 높다. 합금의 조성 및 그 합금의 경화능(hardenability)에 따라, 어떤 합금에 있어서는 공랭만으로 충분하지만 요구되는 냉각 속도를 얻기 위해 수냉을 필요로 할 수 있다. 몇몇 합금, 특히 6%의 Cr을 함유하는 3상 합금에 있어서, 요구되는 냉각 속도는 공랭을 사용할 수 있을 정도로 낮다. 2상 합금과 관련하여 전술한 고려 대상들은 또한 여기서도 적용된다.

양호한 2상 합금 조성은 약 0.04중량% 내지 약 0.12중량%의 탄소, 0 내지 약 11중량%의 크롬, 0 내지 약 2.0중량%의 망간, 0 내지 약 2.0중량%의 규소, 잔부는 철을 함유하는 것이다. 양호한 3상 합금 조성은 약 0.02중량% 내지 약 0.14중량%의 탄소, 0 내지 약 3.0중량%의 규소, 0 내지 약 1.5중량%의 망간, 0 내지 약 1.5중량%의 알루미늄, 잔부는 철을 함유하는 것이다.

냉각시에 미세조직 내에 석출물 혹은 다른 작은 입자들이 형성하는 것을 통틀어 "오토텁퍼링(autotempering)"이라고 일컫는다. 본 발명의 특정 용례에 있어서, 2상 혹은 3상 합금에 상관없이, 오토텁퍼링은 비교적 빠른 냉각 속도를 이용함으로써 의도적으로 피할 수 있을 것이다. 오토텁퍼링을 피하게 될 최소 냉각 속도는 그 합금에 대한 변태-온도-시간 선도로부터 명백해진다. 통상의 선도에서, 수직축은 온도를 수평축은 시간을 나타내는 한편, 그 선도에서의 곡선은 각각의 상이 홀로 혹은 다른 상(들)과 조합된 상태로 존재하게 되는 영역을 나타낸다. 통상적인 이러한 선도는 전술한 미국 특히 제6,273,968B1호(Thomas 명의)에 도시되어 있다. 이러한 선도에서, 최소 냉각 속도는 C 모양의 곡선 좌측에 접하게 되는, 시간에 걸쳐 온도가 감소하는 직선이다. 곡선의 우측 영역은 탄화물의 존재를 나타내며, 따라서 탄화물 형성을 피하는 냉각 속도는 곡선의 좌측에 남아 있는 직선들에 의해 제시된다. 이 곡선에 접하는 직선은 가장 작은 경사를 나타내며, 따라서 탄화물 형성을 여전히 피하면서 사용될 수 있는 가장 낮은 속도이다.

본 명세서에서 사용된 용어 "상간 석출(interphase precipitation)"과 "상간 석출물(interphase precipitates)"은 마르滕사이트와 오스테나이트 상 사이, 즉 래스와 이 래스를 분리시키는 박막 사이의 소정 위치에서 작은 합금 입자가 형성하는 것을 의미한다. "상간 석출물"은 오스테나이트 박막 자체를 언급하는 것은 아니다. 상간 석출물은 마르滕사이트 래스와 오스테나이트 박막 사이의 계면들을 따라 위치하기 보다는 마르滕사이트 래스 내에 위치한 석출물인 "상내 석출물(intraphase precipitates)"과 구별되어야 한다. 직경이 약 500Å 이하인 상내 석출물은 인성에 유해한 것이 아니며, 실제로는 인성을 향상시킬 수 있다. 따라서 만약 오토텁퍼링이 상내 석출에 한정되고 상간 석출을 초래하지 않는다면 오토텁퍼링이 반드시 유해한 것은 아니다. 본 명세서에서 사용된 문구 "실질적으로 탄화물이 없다"는 어떤 탄화물이 존재하더라도, 이러한 탄화물의 분포 및 양은, 완성된 합금의 성능 특성, 특히 부식 특성에 무시할 수 있을 정도의 영향을 미칠 정도임을 의미하는 것이다.

합금의 조성에 따라, 탄화물 형성 혹은 오토텁퍼링을 방지하기에 충분히 높은 냉각 속도는 일반적으로 공랭을 이용하여 달성할 수 있는 속도이거나 또는 수냉을 필요로 하는 것일 수 있다. 공랭으로 오토텁퍼링을 피할 수 있는 합금 조성에 있어서, 공랭은 소정의 합금 원소들의 양이 감소하는 경우, 만약 다른 합금 원소들의 양이 증가한다면 여전히 행해질 수 있다. 예컨대, 탄소, 크롬 혹은 규소의 양의 감소는 망간의 레벨을 상승시킴으로써 보상될 수 있다.

전술한 미국 특허에 개시된 공정 및 조건들, 특히 열처리, 결정립 미세화, 실시간 단조(on-line forging), 그리고 등근형상, 판재 형상 및 기타 형상을 위한 압연 기계의 사용은, 오스테나이트 상으로 합금 조성물을 가열하고, 3상 합금의 경우 오스테나이트 상에서 임계간 상으로 합금을 냉각시키고, 이어서 마르텐사이트 변태 영역을 통과해 냉각시키기 위해 본 발명을 실시하는 데에 적용될 수 있다. 압연은 예를 들면 오스텐나이트화 및 제1 단계 냉각 공정 중에 하나 또는 그 이상의 단계로 제어된 방식으로 수행하여, 균질한 오스테나이트 결정상을 형성하도록 합금 원소의 확산을 보조하고, 나아가 결정립을 변형시키고 결정립 내의 스트레인 에너지를 저장하는 한편, 제2 단계 냉각에서의 압연은 새로이 형성되는 마르텐사이트 상이 잔류 오스테나이트의 박막에 의해 분리된 마르텐사이트 래스의 패킷-래스 배열로 되게 유도하는 기능을 한다. 압연에서의 단면 감소 정도는 달라질 수 있으며, 당업자라면 쉽게 알 수 있을 것이다. 패킷-래스 마르텐사이트/오스테나이트 결정에 있어서, 잔류 오스테나이트 막은 미세조직의 부피 중 약 0.5% 내지 약 15%, 양호하게는 약 3% 내지 약 10%, 가장 양호하게는 최대 약 5%를 구성한다. 전체 3상 미세조직에 대한 오스테나이트의 비율은 최대 약 5%일 것이다. 단일의 잔류 오스테나이트 막의 실제 폭은 바람직하게는 약 50Å 내지 약 250Å의 범위내이며, 보다 바람직하게는 약 100Å이다. 전체 3상 미세조직에 대한 오스테나이트의 비율은 일반적으로 최대 약 5%일 것이다. 본 단락에서 논의한 압연은 2상 조직 혹은 3상 조직의 일부에 상관없이 패킷-래스 마르滕사이트/오스테나이트 미세조직 형성된 이후 본 발명에 따라 실행되는 냉각 가공과는 구별된다.

아래의 예들은 단지 예시를 위해 제공된 것이다.

## 예 1

예 1은 본 발명에 따라 99%의 단면 감소률로 냉간 인발 공정에 의해 발생된, 패킷-래스 마르滕사이트/오스테나이트 미세조직을 지닌 탄소강 봉의 변형을 예시한 것이다.

본 예에서 보고된 실험은 직경이 6mm 인 강봉에 대해 실행되었는데, 이 강봉은, 0.1중량%의 탄소, 2.0중량%의 규소, 0.5중량%의 크롬, 0.5중량%의 망간, 잔부는 철로 이루어진 합금 조성을 지니고, 그리고 약 50 미크론의 입경을 갖는 결정립들로 이루어진 미세조직을 가지며, 각 결정립은 페라이트 상은 없이 약 10nm 두께의 오스테나이트 박막과 교대로 배치된 약 100nm의 두께의 마르滕사이트의 래스로 구성되고, 또 각 결정립은 약 10nm 두께의 오스테나이트 셀에 의해 에워싸여 있다. 전술한 2001. 12. 14일자로 출원한 공동 계류 중인 미국 특허 출원 제10/017,879호에 개시된 방법에 따라 상기 강봉을 마련하였다.

피복되지 않은 강봉을 표면 세척하고 윤활한 다음 윤활된 다이를 통해 25°C의 온도에서 15회에 걸쳐 0.0095인치(0.024cm)의 직경이 되도록 냉간 인발하였다. 99%의 전체 단면 감소률을 나타내는 0.0105인치(0.027cm) 직경의 최종 강선에서 있어서, 인장 강도는 390ksi(2,690MPa)였다.

## 예 2

예 2는 본 발명에 따른 패킷-래스 마르滕사이트/오스테나이트 미세조직을 지닌 탄소강봉의 냉간 가공의 다른 예를 나타낸다. 이 예에서는, 약 50 미크론의 입경을 지닌 결정립들로 이루어진 미세조직을 지니며, 각 결정립은 페라이트 상은 별로 없이 약 10nm 두께의 오스테나이트 박막과 교대로 배치된 약 150nm의 두께의 마르滕사이트의 래스로 구성되고, 또 각 결정립은 약 10nm 두께의 오스테나이트 셀에 의해 에워싸여 있는 2가지의 상이한 합금, 즉 Fe/8Cr/0.05C 및 Fe/2Si/0.1C를 사용하였다.

상기 강봉의 직경을 6mm였고, 그 강봉을 표면 세척하고 윤활한 다음, 윤활된 다이를 통해 25°C의 온도에서 일련의 회수의 통과에 의해 냉간 인발하였다. 표 1에 나타낸 인발 스케줄을 Fe/8Cr/0.05C 합금을 위해 사용하였고, 이와 유사한 인발 스케줄을 Fe/2Si/0.1C 합금을 위해 사용하였다. 표 1에 있어서, A<sub>0</sub>은 초기 강봉의 직경을 나타내고 A는 특정 회수의 통과 이후 강봉의 직경을 나타낸다.

표 1.

실질적으로 페라이트가 없는 패킷-래스 마르텐사이트 미세조직을 지닌 Fe/8Cr/0.05C에 대한 인발 스케줄

통과 회수	직경(mm)	총 진변형률 ( $\ln(A/A_0)$ )	1회 통과시 단면 감소율(%)	총 단면 감소율(%)
(초기)	6.000	0.0	0.0	0.0
1	4.3	0.7	48.2	48.2
2	3.4	1.1	37.0	67.3
3	2.7	1.6	37.1	79.4
4	2.2	2.0	34.0	86.4
5	1.8	2.5	36.6	91.4
6	1.4	2.9	38.5	94.7
7	1.0	3.5	45.4	97.1

강봉의 인장 강도와 매 1회의 통과 이후의 인장 강도를 측정하였으며, 그 결과를 도 1에서 총 진변형률에 대한 그래프로 나타내었으며, 이 그래프에서 정사각형은 Fe/8Cr/0.05C 합금을 나타내고, 다이아몬드는 Fe/2Si/0.1C 합금을 나타낸다. 이 도면에 따르면, 양자 합금의 인장 강도는 97%의 총 단면 감소율로 전체의 인발 과정을 종료함으로써 약 2,000MPa에 이른다는 것을 알 수 있다.

### 예 3

예 3은 제3의 상(마르滕사이트 래스와 오스테나이트의 박막 외의 상, 즉 3상 미세조직)으로서 페라이트 결정을 포함하는 패킷-래스 마르滕사이트/오스테나이트 미세조직을 지닌 탄소강봉을 사용한 본 발명에 따른 냉간 가공을 예시한 것이다.

예 3에서, 합금은 전술한 예 1 및 예 2에서 설명한 것과 유사하게 마르滕사이트 래스와 오스테나이트 박막이 교대로 배치되어 있고 오스테나이트 셀에 에워싸인 패킷-래스 결정립과 융합된 페라이트로 이루어진 미세조직을 갖는 Fe/2Si/0.1C를 채택하였다. 미세조직의 70체적%의 페라이트 함량을 얻기 위해 950°C로의 재가열 온도를 사용하는, 전술한 2001. 12. 14 일자로 출원한 미국 특허 출원 제10/017,847호에 개시된 방법에 따라 상기 강봉을 마련하였다. 초기 강봉의 직경을 0.220 인치(5.59mm)로 하였고, 상기 냉간 가공은 강봉을 윤활된 다이를 통해 25°C의 온도에서 1회 통과 당 약 36%의 단면 감소율로 15회에 걸쳐 0.037인치(0.94cm)의 최종 직경이 되도록 냉간 인발시키는 것으로 구성하였다.

인발 스케줄을 표 2에 나타내었고, 이 표에서  $A_0$ 은 초기 강봉의 직경을 나타내고 A는 특정 회수의 통과 이후 강봉의 직경을 나타낸다.

표 2.  
3상 미세조직을 지닌 Fe/2Cr/0.1C에 대한 인발 스케줄

통과 회수	직경(mm)	총 진변형률 ( $\ln(A/A_0)$ )	1회 통과시 단면 감소율(%)	총 단면 감소율(%)
(초기)	6.050	0.00	0.00	0.00
1	4.580	0.56	42.69	42.69
2	3.650	1.01	36.49	63.60
3	2.910	1.46	36.44	76.86
4	2.320	1.92	36.44	85.29
5	1.870	2.35	35.03	90.45
6	1.660	2.59	21.20	92.47
7	1.320	3.04	36.77	95.24
8	1.090	3.43	31.81	96.75
9	0.910	3.79	30.30	97.74
10	0.756	4.16	30.98	98.44
11	0.624	4.54	31.87	98.94
12	0.526	4.89	28.94	99.24
13	0.437	5.26	30.98	99.48
14	0.390	5.48	20.35	99.58
15	0.359	5.65	15.27	99.65

최종 강선의 인장 강도는 2,760MPa(400ksi) 였다.

#### 예 4

예 4는 본 발명에 따른 패킷-래스 마르텐사이트/오스테나이트와 페라이트 결정으로 구성된 미세조직을 지닌 탄소강봉의 냉간 가공을 추가적으로 예시한 것이다.

예 4에서, 합금은 전술한 예 1 및 예 2에서 설명한 것과 유사하게, 마르텐사이트 래스가 오스테나이트 박막과 교대로 배치되어 있고 오스테나이트 셀에 에워싸인 패킷-래스 결정립과 융합된 페라이트로 이루어진 미세조직을 갖는 예 3과 같은 Fe/2Si/0.1C를 채택하였다. 전술한 2001. 12. 14일자로 출원한 미국 특허 출원 제10/017,847호에 개시된 방법에 따라 상기 조성의 강봉을 마련하였다. 이 경우, 이 강봉을 초기에 0.25인치(6.35mm)의 직경으로 열간 압연한 다음, 상기 조성물의 오스테나이트화를 위해 약 30분 동안 1,150°C로 가열하고, 그 다음 오스테나이트를 거의 100%의 마르텐사이트로 변태시키기 위해, 차게 한 소금물에서 담금질하고, 이어서 그 조직을 약 70%의 페라이트와 30%의 오스테나이트로 전환시키도록 신속하게 재가열하였다. 그 다음, 오스테나이트를 패킷-래스 마르滕사이트/오스테나이트 미세조직으로 전환하기 위해 상기 강봉을 차게 한 소금물에서 담금질하였다. 이어서, 상기 강봉을 1회 통과 당 약 36%의 단면 감소율로 7회에 걸쳐 0.055인치(1.40mm)의 최종 직경이 되도록 냉간 인발시켰으며, 그 결과 인장 강도가 1,875MPa(272ksi) 였다. 같은 목적의 실험에서, 동일한 방식으로 처리된 동일한 조성의 강봉을 1회 당 약 35%의 단면 감소율로 13회에 걸쳐 0.015인치(0.37mm)의 최종 직경이 되도록 냉간 인발시켰으며, 그 결과 인장 강도가 2,480MPa(360ksi) 였다.

#### 예 5

예 5는 본 발명에 따른 패킷-래스 마르滕사이트/오스테나이트와 페라이트 결정으로 구성된 미세조직을 지닌 탄소강봉의 냉간 가공을 더 추가적으로 예시한 것으로, 패킷-래스 마르滕사이트/오스테나이트와 페라이트의 상대량 변화의 효과를 보여준다.

강 합금은 예 3 및 예 4와 마찬가지로 Fe/2Si/0.1C를 채택하였고, 상기 강봉을 100체적%, 44체적%, 35체적% 및 25체적%의 패킷-래스 마르滕사이트/오스테나이트 함량에 해당하는 0체적%, 56체적%, 66체적% 및 75체적%의 페라이트 함량을 얻기 위해 상이한 재가열 온도를 사용하여 예 4에서 설명한 바와 같이 마련하였다. 표 2에 나타낸 것과 유사한 인발스케줄을 4가지 미세조직 모두에 대해 사용하였고, 그 결과로 얻은 인장 강도를 도 2에서 총 진변형률에 대한 그래프로 나타내었으며, 이 그래프에서 정사각형은 100%의 패킷-래스 합금을 나타내고, 삼각형은 44%의 패킷-래스 합금을 나타내며, 원은 34%의 패킷-래스 합금을 나타내고, 그리고 다이아몬드는 25%의 패킷-래스 합금을 나타낸다. 상기 그래프는 4가지 미세조직 모두가 2,000MPa를 초과하는 양호한 인장 강도를 얻었으며, 패킷-래스 마르滕사이트/오스테나이트 부분들이 25%를 초과하는 것들은 패킷-래스 부분이 25%였던 미세조직보다 더 높은 인장 강도를 생성하였다 것을 보여준다.

전술한 설명은 주로 예시를 위해 제공된 것이다. 합금 조성의 다양한 파라미터들과, 처리 절차들 및 조건들의 추가적인 수정 및 변형들은 본 발명의 기본 개념과 신규의 개념을 여전히 이용하여 이루어질 수 있다. 이는 당업자들에게 의해 용이하게 행해질 것이고 본 발명의 영역 내에 포함된다.

#### (57) 청구의 범위

##### 청구항 1.

고강도, 고연성의 탄소강 합금을 제조하는 방법으로서,

(a) 잔류 오스테나이트의 박막과 교대로 배치된 마르滕사이트의 래스를 포함하는 미세조직을 갖는 탄소강 합금을 형성하는 단계와;

(b) 적어도 약 150ksi의 인장 강도를 얻기에 충분한 단면 감소율로 상기 탄소강 합금을 냉간 가공하는 단계를 포함하는 것인 방법.

## 청구항 2.

제1항에 있어서, 상기 단계 (b)는 약 150ksi 내지 약 500ksi의 인장 강도를 얻기에 충분한 단면 감소율로 상기 탄소강 합금을 냉간 가공하는 것을 포함하는 것인 방법.

## 청구항 3.

제1항에 있어서, 상기 단계 (b)는 1회 통과 당 단면 감소율이 적어도 약 20%로 되도록 상기 탄소강 합금을 냉간 가공하는 것을 포함하는 것인 방법.

## 청구항 4.

제1항에 있어서, 상기 단계 (b)는 1회 통과 당 단면 감소율이 적어도 약 25%로 되도록 상기 탄소강 합금을 냉간 가공하는 것을 포함하는 것인 방법.

## 청구항 5.

제1항에 있어서, 상기 단계 (b)는 1회 통과 당 단면 감소율이 약 25% 내지 약 50%로 되도록 상기 탄소강 합금을 냉간 가공하는 단계를 포함하는 것인 방법.

## 청구항 6.

제1항에 있어서, 상기 단계 (b)는 일련의 회수의 통과로 통과 간에 열처리 없이 상기 탄소강 합금을 냉간 가공하는 것을 포함하는 것인 방법.

## 청구항 7.

제1항에 있어서, 상기 단계 (b)는 약 100°C 이하의 온도에서 실행되는 것인 방법.

## 청구항 8.

제1항에 있어서, 상기 단계 (b)는 약 25°C의 상온 내에서 실행되는 것인 방법.

## 청구항 9.

제1항에 있어서, 상기 탄소강 합금은 봉 혹은 와이어의 형태이며, 상기 단계 (b)는 다이를 통해 상기 탄소강 합금을 인발하는 것을 포함하는 것인 방법.

## 청구항 10.

제1항에 있어서, 상기 탄소강 합금은 시트 형태이며, 상기 단계 (b)는 상기 탄소강 합금을 압연하는 것을 포함하는 것인 방법.

**청구항 11.**

제1항에 있어서, 상기 단계 (a)는,

- (i) 적어도 약 300°C의 마르텐사이트 변태 개시 온도를 갖는 탄소강 합금 조성물을 형성하는 단계와,
- (ii) 상기 탄소강 합금 조성물의 오스테나이트화를 일으켜, 모든 합금 원소들이 고용체 상태로 있는 균질한 오스테나이트상을 생성하기에 충분히 높은 온도에서 상기 탄소강 합금 조성물을 가열하는 단계와,
- (iii) 마르텐사이트의 래스와 잔류 오스테나이트의 박막 사이의 계면에서 탄화물이 형성되는 것을 실질적으로 피하면서 상기 미세조직을 얻기 위해 충분히 빠른 냉각 속도로 마르텐사이트 변태 영역을 통과해 상기 균질한 오스테나이트 상을 냉각하는 단계

를 포함하는 것인 방법.

**청구항 12.**

제11항에 있어서, 상기 탄소강 합금 조성물은 적어도 약 350°C의 마르텐사이트 변태 개시 온도를 갖는 것인 방법.

**청구항 13.**

제11항에 있어서, 상기 잔류 오스테나이트 필름은 균일한 배향을 갖는 것인 방법.

**청구항 14.**

제11항에 있어서, 상기 탄소강 합금 조성물은 철과, 약 0.04중량% 내지 약 0.12중량%의 탄소, 0 내지 약 11중량%의 크롬, 0 내지 약 2.0중량%의 망간, 0 내지 약 2.0중량%의 규소를 포함하는 합금 원소로 구성되는 것인 방법.

**청구항 15.**

제11항에 있어서, 단계 (ii)의 상기 온도는 약 800°C 내지 약 1150°C인 것인 방법.

**청구항 16.**

제1항에 있어서, 상기 단계 (a)는,

- (i) 적어도 약 300°C의 마르滕사이트 변태 개시 온도를 갖는 탄소강 합금 조성물을 형성하는 단계와,
- (ii) 상기 탄소강 합금 조성물의 오스테나이트화를 일으켜, 모든 합금 원소들이 고용체 상태로 있게 되는 균질한 오스테나이트 상을 생성하기에 충분히 높은 온도로 상기 탄소강 합금 조성물을 가열하는 단계와,
- (iii) 상기 오스테나이트 상의 일부를 페라이트 결정으로 변태시켜, 오스테나이트 결정과 융합된 페라이트 결정을 포함하는 2상 미세조직을 형성하도록 상기 균질한 오스테나이트 상을 냉각하는 단계와,
- (iv) 잔류 오스테나이트 박막과 교대로 배치된 마르滕사이트의 래스를 포함하는 미세조직으로 상기 오스테나이트 결정을 전환시키는 조건 하에서 상기 마르滕사이트 변태 영역을 통과해 상기 2상 미세조직을 냉각하는 단계

를 포함하는 것인 방법.

### 청구항 17.

제16항에 있어서, 단계 (iii)는 상기 균질한 오스테나이트상을 약 800°C 내지 약 1,000°C의 온도로 냉각하는 것을 포함하는 것인 방법.

### 청구항 18.

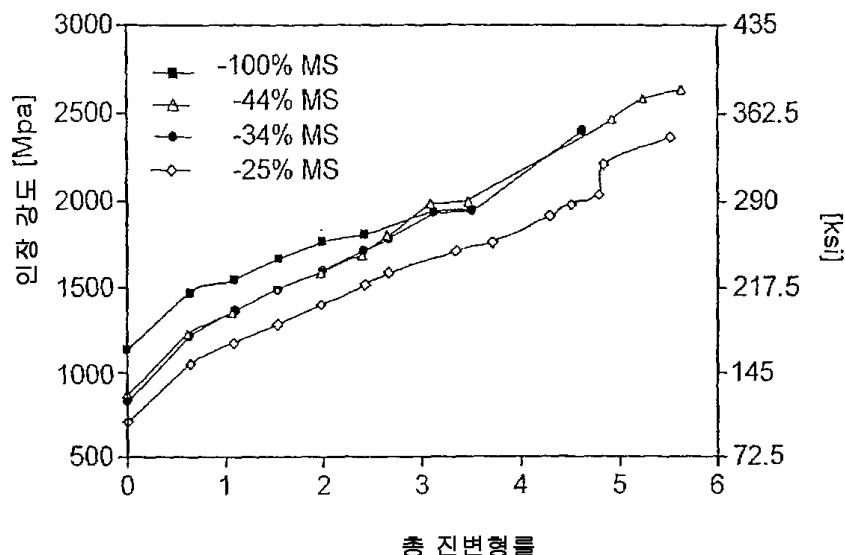
제16항에 있어서, 단계 (ii)는 상기 탄소강 합금 조성물을 약 1,050°C 내지 약 1,170°C의 온도로 가열하는 것을 포함하며, 단계 (iii)는 약 800°C 내지 1,000°C의 온도로 상기 균질한 오스테나이트상을 냉각하는 것을 포함하는 것인 방법.

### 청구항 19.

제16항에 있어서, 상기 탄소강 합금 조성물은 철과, 약 0.02중량% 내지 약 0.14중량%의 탄소, 0 내지 약 3.0중량%의 규소, 0 내지 약 1.5중량%의 망간, 0 내지 약 1.5중량%의 알루미늄을 포함하는 합금 원소들로 구성되는 것인 방법.

**도면**

도면1



## 도면2

