



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2017년06월12일  
(11) 등록번호 10-1745743  
(24) 등록일자 2017년06월02일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
C21D 9/42 (2006.01) C22C 38/00 (2006.01)  
C22C 38/04 (2006.01) F41H 5/00 (2006.01)  
(21) 출원번호 10-2012-7008500  
(22) 출원일자(국제) 2010년10월08일  
심사청구일자 2015년09월09일  
(85) 번역문제출일자 2012년04월02일  
(65) 공개번호 10-2012-0103563  
(43) 공개일자 2012년09월19일  
(86) 국제출원번호 PCT/US2010/051884  
(87) 국제공개번호 WO 2011/049755  
국제공개일자 2011년04월28일  
(30) 우선권주장  
12/581,497 2009년10월19일 미국(US)  
(56) 선행기술조사문헌  
WO2009018522 A1\*  
GB0874488 A  
WO2009018522 A1\*  
\*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자  
에이티아이 프로퍼티즈 엘엘씨  
미국, 오레곤 97321-0580, 알바니, 1600 엔.이.  
우드 살렘 로드  
(72) 발명자  
베일리, 로널드, 이.  
미국, 펜실베이니아 15216, 피츠버그, 오크 포레스  
트 드라이브 313  
스위아텍, 글렌, 제이.  
미국, 일리노이 60463, 팔로스 헤이즈, 사우스 7  
8번째 코트 13035  
파레이일, 토마스, 알.  
미국 펜실베이니아 15608, 뉴 켄싱턴, 페퍼트리 드  
라이브 103  
(74) 대리인  
강명구, 이경민

전체 청구항 수 : 총 22 항

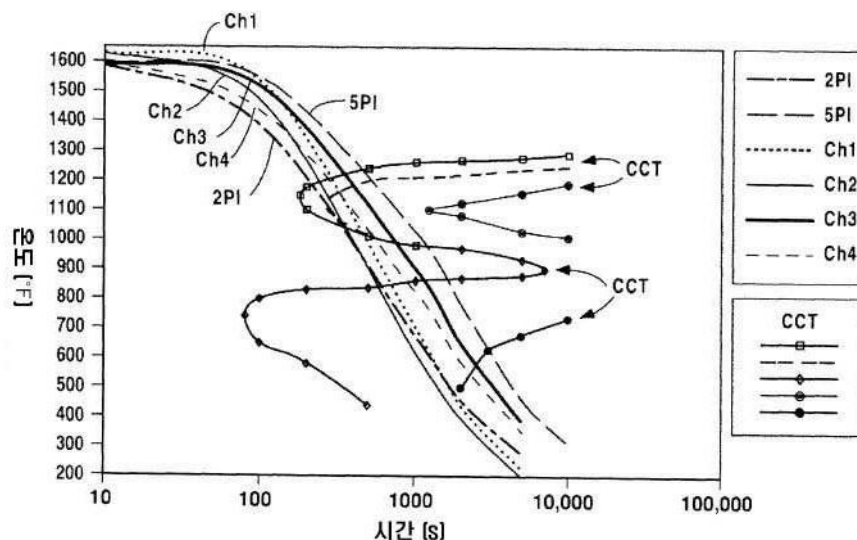
심사관 : 최정식

(54) 발명의 명칭 고경도, 고인성 철계 합금들과 이의 제조 방법

(57) 요약

본 발명의 특징은 군용 철갑 응용예들에 적합한 일정 레벨의 탄도 충격 성능을 부여하는 균열 전파성이 낮거나 없는 유익한 레벨의 다중-충돌 탄소 저항력과 고경도를 보이는 저합금강에 대한 것이다. 본 발명에 따른 다양한 실시예들의 강철은 550 BHN을 초과하는 경도를 갖고 종래의 군용 사양서에 비해 높은 레벨의 탄도 관통 저항력을 보인다.

대표도



## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

다음 단계를 포함하는 합금 물품 제조 방법:

합금 물품을 적어도 788℃(1450°F)의 온도에서 적어도 15 분의 최소 노 시간(minimum furnace time) 동안 가열하여 합금 물품을 오스테나이트화하는 단계, 합금은 총 합금 중량을 기준으로 한 중량 백분율로 다음을 포함함:

0.40 내지 0.53 탄소;

0.15 내지 1.00 망간;

0.15 내지 0.45 규소;

0.95 내지 1.70 크롬;

3.30 내지 4.30 니켈;

0.35 내지 0.65 몰리브덴;

0.0002 내지 0.0050 붕소;

0.001 내지 0.015 세륨;

0.001 내지 0.015 란탄;

0 초과이면서 0.002 이하의 황;

0 초과이면서 0.015 이하의 인;

0 초과이면서 0.011 이하의 질소;

잔부 철; 및

불가피한 불순물;

합금 물품을 정체 공기 중에서 오스테나이트화 온도로부터 냉각하는 단계; 및

정체 공기 중의 냉각 직후, 합금 물품을 121℃(250°F) 내지 260℃(500°F)의 온도에서 450 분 내지 650 분 동안 뜨임(tempering)하고, 이에 의하여 570 BHN 이상의 경도를 보이는 뜨임된 합금 물품을 제공하는 단계.

#### 청구항 2

제1항에 있어서, 합금 물품을 163 내지 177℃(325°F 내지 350°F)의 온도에서 480 분 내지 600 분 동안 뜨임하고, 이에 의하여 뜨임된 합금 물품을 제공하는 것을 포함하는 합금 물품 제조 방법.

#### 청구항 3

제1항에 있어서, 뜨임된 합금 물품은 570 BHN 이상 675 BHN 이하의 경도를 보이는 합금 물품 제조 방법.

#### 청구항 4

제1항에 있어서, 뜨임된 합금 물품은 600 BHN 이상 675 BHN 이하의 경도를 보이는 합금 물품 제조 방법.

#### 청구항 5

제1항에 있어서, 뜨임된 합금 물품은 규격 MIL-DTL-32332(Class 1) 하의 최소  $V_{50}$  탄도 한계값보다 큰  $V_{50}$  탄도 한계값을 보이는 합금 물품 제조 방법.

#### 청구항 6

제1항에 있어서, 뜨임된 합금 물품은 규격 MIL-DTL-32332(Class 1) 하의 최소  $V_{50}$  탄도 한계값을 적어도 15.2 m/s (50 ft/s)만큼 초과하는  $V_{50}$  탄도 한계값을 보이는 합금 물품 제조 방법.

#### 청구항 7

제1항에 있어서, 뜨임된 합금 물품은 규격 MIL-DTL-32332(Class 2) 하의 요구  $V_{50}$  탄도 한계보다 45.7 m/s (150 ft/s) 작은  $V_{50}$  탄도 한계 이상인  $V_{50}$  탄도 한계값을 보이는 합금 물품 제조 방법.

#### 청구항 8

제1항에 있어서, 뜨임된 합금 물품은 규격 MIL-DTL-32332(Class 2) 하의 요구  $V_{50}$  탄도 한계보다 30.5 m/s(100 ft/s) 작은  $V_{50}$  탄도 한계 이상인  $V_{50}$  탄도 한계값을 보이는 합금 물품 제조 방법.

#### 청구항 9

삭제

#### 청구항 10

제1항에 있어서, 뜨임된 합금 물품은 라스 마텐자이트 상 및 하부 베이나이트 상 중 적어도 하나를 포함하는 미세구조를 갖는 합금 물품 제조 방법.

#### 청구항 11

제1항에 있어서, 뜨임된 합금 물품은 4.78-7.62 mm(0.188-0.300 인치) 범위의 두께를 갖는 판을 포함하는 합금 물품 제조 방법.

#### 청구항 12

제1항에 있어서, 뜨임된 합금 물품은 장갑 판 또는 장갑 시트를 포함하는 합금 물품 제조 방법.

#### 청구항 13

제1항에 있어서, 합금은 다음을 포함하는 합금 물품 제조 방법:

0.49 내지 0.51 탄소;

0.2 내지 0.8 망간;

0.2 내지 0.40 규소;

1.00 내지 1.50 크롬;

3.75 내지 4.25 니켈;

0.40 내지 0.60 몰리브덴;

0.0010 내지 0.0030 붕소;

0.003 내지 0.010 세륨;

0.002 내지 0.010 란탄;

0 초과이면서 0.002 이하의 황;

0 초과이면서 0.015 이하의 인;

0 초과이면서 0.011 이하의 질소;

잔부 철; 및

불가피한 불순물.

#### 청구항 14

다음 단계를 포함하는 합금 물품 제조 방법:

합금 물품을 적어도 788℃(1450°F)의 온도에서 작동하는 노에서 가열하여 합금 물품을 오스테나이트화하는 단계, 합금은 총 합금 중량을 기준으로 한 중량 백분율로 다음을 포함함:

0.40 내지 0.53 탄소;

0.15 내지 1.00 망간;

0.15 내지 0.45 규소;

0.95 내지 1.70 크롬;

3.30 내지 4.30 니켈;

0.35 내지 0.65 몰리브덴;

0.0002 내지 0.0050 붕소;

0.001 내지 0.015 세륨;

0.001 내지 0.015 란탄;

0 초과이면서 0.002 이하의 황;

0 초과이면서 0.015 이하의 인;

0 초과이면서 0.011 이하의 질소;

잔부 철; 및

불가피한 불순물;

합금 물품을 정제 공기 중에서 오스테나이트화 온도로부터 냉각하는 단계; 및

합금 물품을 121℃(250°F) 내지 260℃(500°F)의 온도에서 450 분 내지 650 분 동안 뜨임하여 뜨임된 합금 물품을 제공하는 단계;

여기서 상기 방법은 냉각과 뜨임 사이에 액체 담금질(quench)을 포함하지 않음.

#### 청구항 15

제14항에 있어서, 뜨임은 합금 물품을 163℃(325°F) 내지 177℃(350°F)의 온도에서 480 분 내지 600 분 동안 뜨임하는 것을 포함하는 합금 물품 제조 방법.

#### 청구항 16

제14항에 있어서, 뜨임된 합금 물품은 라스 마텐자이트 상 및 하부 베이나이트 상 중 적어도 하나를 포함하는 미세구조를 갖는 합금 물품 제조 방법.

#### 청구항 17

제14항에 있어서, 뜨임된 합금 물품은 570 BHN 이상 675 BHN 이하의 경도를 보이는 합금 물품 제조 방법.

#### 청구항 18

제14항에 있어서, 뜨임된 합금 물품은 600 BHN 이상 675 BHN 이하의 경도를 보이는 합금 물품 제조 방법.

#### 청구항 19

제14항에 있어서, 뜨임된 합금 물품은 4.78-7.62 mm(0.188-0.300 인치) 범위의 두께를 갖는 판을 포함하는 합금 물품 제조 방법.

#### 청구항 20

제14항에 있어서, 뜨임된 합금 물품은 장갑 판 및 장갑 시트 중 하나를 포함하는 합금 물품 제조 방법.

#### 청구항 21

제14항에 있어서, 뜨임된 합금 물품은 규격 MIL-DTL-32332(Class 1) 하의 최소  $V_{50}$  탄도 한계값을 적어도 15.2 m/s(50 ft/s)만큼 초과하는  $V_{50}$  탄도 한계값을 보이는 합금 물품 제조 방법.

#### 청구항 22

제14항에 있어서, 뜨임된 합금 물품은 규격 MIL-DTL-32332(Class 2) 하의 요구  $V_{50}$  탄도 한계보다 30.5 m/s (100 ft/s) 작은  $V_{50}$  탄도 한계 이상인  $V_{50}$  탄도 한계값을 보이는 합금 물품 제조 방법.

#### 청구항 23

삭제

#### 청구항 24

제14항에 있어서, 합금은 총 합금 중량을 기준으로 한 중량 백분율로 다음을 포함하는 합금 물품 제조 방법:

0.40 내지 0.53 탄소;

0.15 내지 1.00 망간;

0.15 내지 0.45 규소;

0.95 내지 1.70 크롬;

3.30 내지 4.30 니켈;

0.35 내지 0.65 몰리브덴;

0.0002 내지 0.0050 붕소;

0.001 내지 0.015 세륨;

0.001 내지 0.015 란탄;

0 초과이면서 0.002 이하의 황;

0 초과이면서 0.015 이하의 인;

0 초과이면서 0.011 이하의 질소;

잔부 철; 및

불가피한 불순물.

#### 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

## 발명의 설명

### 기술 분야

[0001] 관련 출원들에 대한 상호-참조

[0002] 본 출원은 2008년 8월 1일 출원된 미국 특허출원 제 12/184,573호의 일부계속출원이다. 미국 특허출원 제 12/184,573호는 35 U.S.C. § 119(e) 하에 2007년 8월 1일 출원된 미국 임시특허출원 제 60/953,269호의 우선권을 주장한다. 미국 특허출원 제 12/184,573호와 제 60/953,269호는 본원에 참고문헌으로서 포함된다.

[0003] 기술분야

[0004] 본원은 550 BHN(브리넬 경도 지수) 이상의 경도를 갖고 표준 탄도 충격 시험에서 상당하고 예상외의 관통 저항력과 균열 저항력을 보이는 철계 합금에 대한 것이다. 또한 본원은 상기 합금들을 포함하는 장갑 및 다른 물품의 제조와 관련된 것이다. 또한, 본원은 탄 관통 및 균열에 대한 저항력을 개선하기 위해 다양한 철계 합금을 가공하는 방법들에 대한 것이다.

### 배경 기술

[0005] 장갑 판, 시트, 및 바(bar)는 일반적으로 강제 사출된 발사체들에 대해 구조물들을 보호하기 위해 제공된다. 비록 장갑 판, 시트, 및 바가 전형적으로 그 안의 사람과 자산을 보호하는 수단, 예를 들어, 차량들과 기계화 무기로서 군용 응용예들에서 사용되지만, 이 제품들은 다양한 민간 용도들도 갖는다. 이러한 용도들에는 예를 들어, 민간용 장갑차들용 외벽(sheathing)과 폭발-강화(blast-fortified) 특성 외피들이 포함될 수 있다. 장갑은 예를 들어, 중합체, 세라믹 및 금속 합금을 포함하는 다양한 재료로부터 제조되었다. 장갑이 종종 이동 물품 상에 장착되기 때문에, 장갑 중량은 전형적으로 중요한 요소이다. 또한, 장갑을 제조하는 것에 관련한 비용도 상당할 수 있고, 특히 신형 장갑 합금, 세라믹 및 특수 중합체에 관해 그러하다. 이와 같이, 목표는 저비용이면서 또한 기존의 장갑을 효과적인 대안을, 원하는 레벨의 탄도 충격 성능(관통 저항 및 균열 저항)을 달성하는데 필요한 장갑의 중량을 크게 증가시키지 않으면서 제공하는 것이었다.

[0006] 또한, 계속-증가하는 대-장갑 위협들에 대응하여, 미군은 수년간 탱크와 다른 전투 차량들에 사용되는 장갑의 양을 증가시켰고, 그 결과 차 중량을 크게 증가시켰다. 이러한 경향이 계속되는 것은 수송성, 이동식 다리-건널 성능, 및 장갑 전투 차량의 조정성에 극적으로 악영향을 미칠 수 있다. 지난 십년 내에 미군은 필요가 발생함에 따라 세계의 어느 영역으로든 전투차량들과 다른 장갑 장비들을 매우 빠르게 이동시킬 수 있는 전략을 채택했다. 따라서, 전투 차량 중량을 증가시키는 것에 대한 우려는 주목의 대상이 되었다. 이와 같이, 미군은 특정한 티타늄 합금, 세라믹, 및 하이브리드 세라믹 타일/고분자 복합재료들(polymer-matrix composites; PMCs)과 같은, 다수의 가능한 대안, 경량 장갑 재료들을 조사했다.

[0007] 일반적인 티타늄 합금 장갑들의 예들에는 Ti-6Al-4V, Ti-6Al-4V ELI, 및 Ti-4Al-2.5V-Fe-0가 포함된다. 티타늄 합금은 많은 종래의 균질 압연 강 장갑에 대해 많은 장점들을 제공한다. 티타늄 합금은 넓은 범위의 탄도 충격 위협들에 걸쳐 균질 압연 강과 알루미늄 합금에 비해 높은 질량 효율을 갖고 또한 양호한 다중-타격 탄도 관통 저항 성능을 제공한다. 또한 티타늄 합금들은 일반적으로 높은 강도-대-중량 비, 및 상당한 부식 저항을 보여,

전형적으로 낮은 장비 유지보수 비용이 든다. 티타늄 합금들은 기존의 제조 설비로 쉽게 제조될 수 있고, 티타늄 고철(scrap)과 밀 리버트(mill revert)는 다시 녹여 상업적 규모로 재활용될 수 있다. 그럼에도 불구하고, 티타늄 합금은 단점들을 갖는다. 예를 들어, 파쇄방지용 라이너(spall liner)가 전형적으로 필요하고, 티타늄 장갑 판을 생산하고 재료로부터 제품들을 제조하는데 관련한 비용(예를 들어, 기계가공 및 용접 비용)이 균질 압연강 장갑들보다 상당히 높다.

[0008] 비록 PMC들이 몇몇 장점들(예를 들어, 화학적 위협에 대한 파쇄로부터 자유롭고, 조용한 조작자 환경, 및 불과 파편 탄도 충격 위협들에 대한 높은 질량 효율)을 제공하지만, 이들은 다수의 단점을 또한 겪는다. 예를 들어, PMC 구성요소들을 제조하는 비용은 균질 압연강 또는 티타늄 합금으로부터 구성요소를 제조하는 비용에 비해 높고, PMC는 기존 생산 설비로 쉽게 제조될 수 없다. 또한, PMC 재료들의 비-파괴 시험은 합금 장갑들의 시험에서 만큼 잘 진전되지 않을 수 있다. 또한, PMC의 다중-타격 탄도 관통 저항 성능과 자동 부하-지지 성능은 초기 발사체 타격의 결과로 일어나는 구조적 변화에 의해 악영향을 받을 수 있다. 부가적으로, PMC 장갑이 덮인 전투 차량의 내부의 탑승자들에게 화염과 매연 위험이 있을 수 있고, PMC 상업적 제조 및 재활용 성능은 잘 정립되어 있지 않다.

[0009] 금속 합금은 종종 장갑 재료를 선택할 때 선택 재료이다. 금속 합금은 상당한 다중-타격 보호를 제공하고, 전형적으로 신형 세라믹, 중합체, 및 복합체에 대해 생산하기에 저렴하고, 장갑 전투 차량과 이동형 무기 시스템을 위한 구성요소들로 쉽게 제조될 수 있다. 종래에는 더 높은 경도 재료들과 충돌할 때 발사체들이 조각나기 더 쉬운 장갑 응용예들에 매우 높은 경도들을 갖는 재료들을 사용하는 것이 유익하다고 생각되었다. 장갑 응용예에 사용되는 특정한 금속 합금은 전형적으로 합금을 매우 고온으로부터 담금질하여, 높은 경도로 쉽게 가공될 수 있다.

[0010] 균질 압연강 합금이 일반적으로 티타늄 합금보다 저렴하고, 탄도 충격 성능의 한층 증가하는 개선이 상당히 때문에 장갑 응용예에 사용되는 기존의 균질 압연강의 조성 및 가공 수정에 상당한 노력이 집중되었다. 예를 들어, 개선된 탄도 충격 위협 성능은 기능 손실없이 장갑 도금 두께를 감소시킬 수 있게 하였고, 그로인해 장갑 시스템의 총 중량을 감소시킬 수 있게 한다. 비록 높은 시스템 중량이 예를 들어, 중합체와 세라믹 장갑들에 대한 금속 합금 시스템들의 주요 단점이지만, 탄도 충격 위협 성능을 개선하는 것은 신형 장갑 시스템에 대해 합금 장갑을 보다 경쟁력있게 할 수 있다.

[0011] 지난 25년에 걸쳐, 비교적 경량의 클래드(clad)와 복합 강철 장갑들이 개발되어 왔다. 이러한 복합 장갑들 중 특정한 것은 예를 들어, 강한, 인성을 갖고, 관통 저항을 갖는 강철 기본(base) 층에 야금학적으로 접합된 고-경도 강철의 전방을 향하는 층을 조합한다. 고강도 강철 층은 발사체를 파괴하고자 하는 것이고, 강인한 하층은 장갑이 균열되거나, 산산조각나거나, 부스러지는 것을 방지하기 위한 것이다. 이러한 타입의 복합 장갑을 형성하는 종래의 방법들은 두 강철 타입의 판들을 적층 압연 접합하는 것을 포함한다. 복합 장갑의 일례는 미국 펜실베이니아주 피츠버그 소재의 ATI Allegheny Ludlum으로부터 입수가능한 K12® 장갑판이고, 이는 이중 경도, 압연-접합 복합 장갑판이다. K12® 장갑판은 고강도 전면과 연성의 배면을 포함한다. K12®의 두 면들 모두 Ni-Mo-Cr 합금강이지만, 전면은 후면보다 더 많은 탄소 함유량을 포함한다. K12®는 종래의 균질 장갑판에 비해 우수한 탄도 충격 성능 특성을 갖고 다수의 정부, 군, 및 민간 장갑 응용예에 대한 탄도 충격 요구조건들을 만족 또는 뛰어넘는다. 비록 클래드와 복합 강철 장갑이 다수의 장점을 제공하지만, 클래딩과 압연 접합 가공에 관련한 추가적인 가공은 필수적으로 장갑 시스템들의 비용을 증가시킨다.

[0012] 비교적 저렴한 저합금강 강철들도 특정 장갑 응용예들에 사용된다. 탄소, 크롬, 몰리브덴, 및 다른 원소들과 합금하고, 적절한 가열, 담금질, 및 뜨임 단계들을 사용한 결과, 특정한 저합금강 장갑이 550 BHN 이상의, 매우 높은 경도 특성으로 생산될 수 있다. 이러한 고경도 강들은 일반적으로 600 BHN 강으로 알려져 있다. 표 1은 장갑 응용예들에 사용될 수 있는 600 BHN 강들의 몇가지 예들에 대한 보고된 조성들 및 기계적 특성들을 제공한다. MARS 300과 MARS 300 Ni+는 프랑스 회사 Arcelor가 제조한다. ARMOX 600T 장갑은 스웨덴 SSAB Oxelosund AB로부터 입수가능하다. 비록 고강도의 600 BHN 강철 장갑이 발사체를 파괴 또는 납작하게 만드는데 매우 효과적이지만, 이러한 강철의 큰 단점은 이들이 비교적 취성이고 예를 들어, 장갑 관통 발사체들에 대해 탄도 충격 시험될 때 쉽게 균열되는 경향이 있다는 것이다. 재료들의 균열은 다중-타격 탄도 저항 성능을 제공하는데 문제가 될 수 있다.

표 1

| 합금           | C           | Mn        | P(최대) | S(최대) | Si        | Cr          | Ni        | Mo        | 항복강도(MPa)   | 인장강도(MPa)   | 연신율(%) | BHN(최소)   |
|--------------|-------------|-----------|-------|-------|-----------|-------------|-----------|-----------|-------------|-------------|--------|-----------|
| Mars 300     | 0.45 - 0.55 | 0.3 - 0.7 | 0.012 | 0.005 | 0.6 - 1.0 | 0.4(최대)     | 4.5(최대)   | 0.3 - 0.5 | ≥1,300      | ≥2,000      | ≥6%    | 578 - 655 |
| Mars 300 Ni+ | 0.45 - 0.55 | 0.3 - 0.7 | 0.01  | 0.005 | 0.6 - 1.0 | 0.01 - 0.04 | 3.5 - 4.5 | 0.3 - 0.5 | ≥1,300      | ≥2,000      | ≥6%    | 578 - 655 |
| ArmoX 600    | 0.47(최대)    | 1.0(최대)   | 0.010 | 0.005 | 0.1 - 0.7 | 1.5(최대)     | 3.0(최대)   | 0.7(최대)   | 1,500 (전형적) | 2,000 (전형적) | ≥7%    | 570 - 640 |

[0014] 상술한 것을 비취볼 때, 600 BHN 범위 내의 경도를 갖고 감소된 균열 전파와 함께 상당한 다중-타격 탄도 저항력을 갖는 개선된 강철 장갑 재료를 제공하는 것이 유익하다.

### 발명의 내용

### 과제의 해결 수단

[0015] 본 발명의 다양한 비-제한적 실시예들에 따라, 양호한 다중-타격 탄도 저항력, 550 BHN 이상의 경도를 갖고, 총 합금 중량에 기반한 중량%로; 0.40 내지 0.53 탄소; 0.15 내지 1.00 망간; 0.15 내지 0.45 규소; 0.95 내지 1.70 크롬; 3.30 내지 4.30 니켈; 0.35 내지 0.65 몰리브덴; 0.0002 내지 0.0050 붕소; 0.001 내지 0.015 세륨; 0.001 내지 0.015 란탄; 0.002 이하의 황; 0.015 이하의 인; 0.011 이하의 질소; 철; 및 불가피 불순물을 포함하는 철계 합금이 제공된다.

[0016] 본 발명의 다양한 다른 비-제한적 실시예들에 따라, 550 BHN 이상의 경도를 갖고, 총 합금 중량에 기반한 중량%로; 0.40 내지 0.53 탄소; 0.15 내지 1.00 망간; 0.15 내지 0.45 규소; 0.95 내지 1.70 크롬; 3.30 내지 4.30 니켈; 0.35 내지 0.65 몰리브덴; 0.0002 내지 0.0050 붕소; 0.001 내지 0.015 세륨; 0.001 내지 0.015 란탄; 0.002 이하의 황; 0.015 이하의 인; 0.011 이하의 질소; 철; 및 불가피 불순물을 포함하는 예를 들어, 판, 봉(bar), 또는 시트와 같은 합금 밀(alloy mill) 제품이 제공된다.

[0017] 본 발명의 다양한 다른 비-제한적 실시예들에 따라, 규격 MIL-DTL-46100E 하의 성능 요구조건을 만족 또는 초과하는 V<sub>50</sub> 탄도 한계(보호)값 및 550 BHN 이상의 경도를 갖는, 장갑 판, 장갑 봉(bar) 및 장갑 시트로부터 선택된 장갑 밀 제품이 제공된다. 다양한 실시예들에서 이 장갑 밀 제품은 감소된 또는 최소의 균열 전파와 함께 적어도 규격 MIL-A-46099C 하의 성능 요구조건보다 150ft/s 작은 V<sub>50</sub> 탄도 한계값만큼 큰 V<sub>50</sub> 탄도 한계값을 또한 갖는다. 이 밀 제품은 총 합금 중량에 기반한 중량%로; 0.40 내지 0.53 탄소; 0.15 내지 1.00 망간; 0.15 내지 0.45 규소; 0.95 내지 1.70 크롬; 3.30 내지 4.30 니켈; 0.35 내지 0.65 몰리브덴; 0.0002 내지 0.0050 붕소; 0.001 내지 0.015 세륨; 0.001 내지 0.015 란탄; 0.002 이하의 황; 0.015 이하의 인; 0.011 이하의 질소; 철; 및 불가피 불순물을 포함하는 합금이다.

[0018] 본 발명의 다양한 다른 비-제한적 실시예들에 따라, 규격 MIL-DTL-32332 하의 Class 1 성능 요구조건을 만족하거나 뛰어넘는 V<sub>50</sub> 탄도 한계(보호)값과 550 BHN 이상의 경도를 갖는, 장갑 판, 장갑 봉 및 장갑 시트로부터 선택된 장갑 밀 제품이 제공된다. 다양한 실시예들에서 이 장갑 밀 제품은 적어도 규격 MIL-DTL-32332 하의 Class 2 성능 요구조건보다 150ft/s 작은 V<sub>50</sub> 탄도 한계값만큼 큰 V<sub>50</sub> 탄도 한계값을 또한 갖는다. 이 밀 제품은 총 합금 중량에 기반한 중량%로; 0.40 내지 0.53 탄소; 0.15 내지 1.00 망간; 0.15 내지 0.45 규소; 0.95 내지 1.70 크롬; 3.30 내지 4.30 니켈; 0.35 내지 0.65 몰리브덴; 0.0002 내지 0.0050 붕소; 0.001 내지 0.015 세륨; 0.001 내지 0.015 란탄; 0.002 이하의 황; 0.015 이하의 인; 0.011 이하의 질소; 철; 및 불가피 불순물의 합금이다.

[0019] 본 발명의 다양한 실시예들은, 감소된 또는 최소의 균열 전파와 함께 양호한 다중-타격 탄도 저항력, 550 BHN 이상의 경도를 갖는 합금을 제조하는 방법에 대한 것이고, 여기서 상기 밀 제품은 총 합금 중량에 기반한 중량%로; 0.40 내지 0.53 탄소; 0.15 내지 1.00 망간; 0.15 내지 0.45 규소; 0.95 내지 1.70 크롬; 3.30 내지 4.30 니켈; 0.35 내지 0.65 몰리브덴; 0.0002 내지 0.0050 붕소; 0.001 내지 0.015 세륨; 0.001 내지 0.015 란탄;

0.002 이하의 황; 0.015 이하의 인; 0.011 이하의 질소; 철; 및 불가피 불순물을 포함하는 합금이다. 이 합금은 적어도 788℃(1450°F)의 온도로 합금을 가열하여 오스테나이트화된다. 그 다음에 이 합금은 합금이 종래의 방식으로 냉각되면 곡선이 취하는 경로에 대해 합금의 냉각 곡선의 경로를 바꾸고 오스테나이트화 온도로부터 장갑 합금을 냉각하는 종래의 방식과는 상이한 방식으로 오스테나이트화 온도로부터 냉각된다. 오스테나이트화 온도로부터 합금을 냉각하는 것은 규격 MIL-DTL-32332(Class 1) 하의 다양한 실시예들에서, 그리고 규격 MIL-DTL-46100E 하의 필요  $V_{50}$  탄도 한계값을 만족하거나 초과하는  $V_{50}$  탄도 한계값으로 합금을 제공할 수 있다.

[0020] 다양한 실시예들에서, 오스테나이트화 온도로부터 합금을 냉각하는 것은 감소된 또는 최소 균열 전파와 함께, 다양한 실시예들에서 규격 MIL-DTL-32332(Class 2) 및 규격 MIL-A-46099C 하의 필요  $V_{50}$  탄도 한계값보다 150ft/s 작은 값보다 작지 않은  $V_{50}$  탄도 한계값을 갖는 합금을 제공한다. 달리 말해,  $V_{50}$  탄도 한계값은 감소된 또는 최소 균열 전파와 함께, 다양한 실시예들에서 규격 MIL-DTL-32332(Class 2), 그리고 규격 MIL-A-46099C 하의 필요  $V_{50}$  탄도 한계값보다 150ft/s 작은  $V_{50}$  탄도 한계값만큼 적어도 크다.

[0021] 본 발명에 따른 방법의 다양한 비-제한적 실시예들에 따라, 합금의 냉각 단계는 판들을 서로 접촉하게 배치한 여러 판의 합금을 오스테나이트화 온도로부터 동시에 냉각하는 것을 포함한다.

[0022] 다양한 실시예들에서, 합금 물품은 적어도 788℃(1450°F)의 온도로 합금 물품을 가열하여 오스테나이트화된다. 그 다음에 상기 합금 물품은 오스테나이트화 온도로부터 합금강을 냉각하는 종래 방식으로 오스테나이트화 온도로부터 냉각된다. 그 다음에 냉각된 합금이 121℃(250°F) 내지 260℃(500°F) 범위의 온도에서 뜨임된다. 오스테나이트화 온도로부터 합금을 냉각하고 뜨임하는 것은 다양한 실시예들에서 규격 MIL-DTL-32332(Class 1), 그리고 규격 MIL-DTL-46100E 하의 필요  $V_{50}$  탄도 한계값을 만족하거나 초과하는  $V_{50}$  탄도 한계값으로 합금을 제공할 수 있다.

[0023] 다양한 실시예들에서, 오스테나이트화 온도로부터 합금 물품의 종래의 냉각과 뜨임은 감소된, 최소의, 또는 제로(zero) 균열 전파로, 규격 MIL-DTL-32332(Class 2) 하에서 다양한 실시예들에서, 및 규격 MIL-A-46099C 하의 필요  $V_{50}$  탄도 한계값보다 150ft/s 작은 값보다 작지 않은  $V_{50}$  탄도 한계값을 갖는 합금 물품을 제공한다. 달리 말해,  $V_{50}$  탄도 한계값은 규격 MIL-DTL-32332(Class 2) 하에서 다양한 실시예들에서, 그리고 규격 MIL-A-46099C 하의 필요  $V_{50}$  탄도 한계값보다 150ft/s 작은  $V_{50}$  탄도 한계값만큼 적어도 크다.

[0024] 다양한 실시예들에서, 합금 물품은 합금 판 또는 합금 시트일 수 있다. 합금 시트 또는 합금 판은 장갑 시트 또는 장갑 판일 수 있다. 본 발명의 다른 실시예들은 본 발명에 따른 합금과 합금 물품들의 실시예들을 포함하는 제조 물품들에 대한 것일 수 있다. 이러한 제조 물품들에는 예를 들어, 장갑차, 장갑 외피, 및 이동형 장갑 장비의 물품들이 포함된다.

[0025] 본원에 공개 및 설명되는 본 발명은 본 요약에 공개하는 실시예들에 한정되지 않음을 이해할 것이다.

## 도면의 간단한 설명

[0026] 본원에 공개 및 설명하는 비-제한적 실시예들의 다양한 특징들은 첨부하는 도면들을 참조하여 더 잘 이해될 것이다.

도 1은 하기에 설명하는 바와 같이 처리되는 특정한 실험적 판 샘플들에 대한 오스테나이트화 처리 가열 온도의 함수인 HRC 경도의 도표;

도 2는 하기에 설명하는 바와 같이 처리되는 특정한 비-제한적인 실험적 판 샘플들에 대한 오스테나이트화 처리 가열 온도의 함수인 HRC 경도의 도표;

도 3은 하기에 설명하는 바와 같이 처리되는 특정한 비-제한적인 실험적 판 샘플들에 대한 오스테나이트화 처리 가열 온도의 함수인 HRC 경도의 도표;

도 4, 도 5 및 도 7은 오스테나이트화 온도로부터 냉각 중에 사용되는 시험 샘플들의 배치 개략도들;

도 6은 특정 시험 샘플들에 대한 뜨임 실시의 함수인 필요 최소  $V_{50}$  속도(MIL-A-46099C에 따른)에 대한  $V_{50}$  속도의 도표;

도 8 및 도 9는 오스테나이트화 온도로부터 특정 시험 샘플들의 냉각 단계들 중에 시간에 대한 샘플 온도의 도

표들;

도 10 및 도 11은 오스테나이트화 온도로부터 냉각 중에 사용되는 시험 샘플들의 배치들의 개략도들;

도 12 내지 도 14는 본원에서 설명하는 바와 같이, 오스테나이트화 온도로부터 냉각되는 몇개의 실험 샘플들의 시간에 대한 샘플 온도를 작도한 그래프들;

도 15 내지 도 20은 본원에 공개 및 설명되는 고경도 합금으로부터 형성되는 탄도 충격 시험 패넌의 사진들.

독자는 본 발명에 따른 합금, 물품, 및 방법들의 다양한 비-제한적 실시예들의 하기의 상세한 설명을 고려하여 상술한 세부사항들, 및 다른 것을 이해할 것이다. 또한 독자는 본원에서 설명하는 합금, 물품, 및 방법들을 사용하거나 실시할 때의 부가적인 세부사항들을 이해할 수 있을 것이다.

### 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0027] 공개되는 실시예들의 다양한 설명은 명확성을 위해 다른 특징값, 특징, 양태 등을 제거하고, 공개하는 실시예들의 명확한 이해에 관련한 요소, 특징, 및 양태들만을 예시하도록 간략화된 것임을 이해해야 한다. 해당 기술분야의 통상의 기술자는 공개하는 실시예들의 본 설명을 고려하여 다른 특징값, 특징, 양태 등이 공개한 실시예들의 특정한 실시 또는 응용예에서 바람직할 수 있음을 인식할 것이다. 그러나, 이러한 다른 특징값, 특징, 양태 등이 공개한 실시예들의 본 설명을 고려하여 해당 기술분야의 통상의 기술자가 쉽게 알아내고 실시할 수 있고 따라서 공개한 실시예들의 완전한 이해에 불필요하므로, 이러한 특징값, 특징, 양태 등의 설명은 본원에 제공하지 않는다. 이와 같이, 본원에 제시하는 설명은 공개하는 실시예들의 단순한 예 및 예시이고 청구범위에 의해서만 한정되는 본 발명의 범위를 한정하고자 하는 것이 아님을 이해해야 한다.

[0028] 본원에서, 달리 지시하지 않으면, 양 또는 특징값들을 표현하는 모든 숫자는 용어 "약"으로 모든 예들에서 앞에 쓰고 수정될 수 있다고 이해되어야 한다. 따라서, 반대로 지시되지 않는 한, 하기의 설명에 제시되는 임의의 수치 변수들은 본원에 따른 조성들 및 방법들에서 얻고자 하는 원하는 특징들에 따라 변할 수 있다. 최소한으로 그리고 청구범위에 대한 균등론의 응용을 제한하고자 하는 것이 아닌, 본 설명에서 설명되는 각각의 수치 변수는 일반적인 반올림 기술을 적용하여 보고된 중요한 숫자들의 수의 관점에서 적어도 해석되어야 한다.

[0029] 또한, 본원에서 인용하는 임의의 수치 범위는 그 안에 포함되는 모든 하위-범위를 포함하는 것을 의도한다. 예를 들어, "1 내지 10"의 범위는 인용한 1의 최소값과 인용한 10의 최대값 사이의(그리고 포함하는), 즉, 1이상의 최소값과 10이하의 최대값을 갖는, 모든 하위-범위들을 포함하고자 한다. 본원에서 인용하는 임의의 최대 수치 제한은 그 안에 포괄되는 모든 더 낮은 수치 제한을 포함하고자 하고 본원에서 인용하는 임의의 최소 수치 제한은 그 안에 포괄되는 모든 더 높은 수치 제한을 포함하고자 한다. 따라서, 출원인들은 본원에서 명시적으로 인용하는 범위들 내에 포괄되는 임의의 하위-범위를 명시적으로 인용하도록, 청구범위를 포함하여, 본원을 수정할 권리를 보유한다. 이러한 모든 범위들은 이러한 임의의 하위-범위들을 명시적으로 인용하도록 수정하는 것이 35 U.S.C. § 112, 첫번째 구와, 35 U.S.C. § 132(a)의 요구조건을 준수하도록 본원에 고유하게 공개하고자 한다.

[0030] 문법적 관사들 "하나(one, a, an)"와 "그(the)"는 본원에 사용될 때, 달리 지시하지 않는 한, "적어도 하나" 또는 "하나 이상"을 포함하는 것을 의도한다. 그러므로, 관사들은 관사의 문법적 대상들의 하나 이상(즉, 적어도 하나)을 의미하도록 본원에 사용된다. 예로서, "하나의 구성요소"는 하나 이상의 구성요소를 의미하고, 따라서, 가능하다면, 하나 이상의 구성요소가 고려되고 설명한 실시예들의 실시예 채용 또는 사용될 수 있다.

[0031] 본원에 참고문헌으로서 포함되는 것으로 언급하는, 임의의 특허, 공보, 또는 다른 공개 자료, 전체 또는 일부는 본원에 그 전체가 포함되지만 본원에 명시적으로 제시하는 기존의 정의, 진술, 또는 다른 공개 자료와 상충하지 않는 정도까지만이다. 이와 같이, 그리고 필요한 정도까지, 본원에 제시하는 분명한 공개는 참고문헌으로서 본원에 포함되는 임의의 상충하는 자료를 대체한다. 본원에 참고문헌으로서 포함되는 것으로 언급되지만, 본원에 제시된 기존의 정의, 진술, 또는 다른 공개 자료와 상충하는 임의의 자료 또는 그 일부는 포함되는 자료와 기존의 공개 자료 사이에 충돌이 발생하지 않는 정도까지만 포함된다. 출원인들은 본원에 참고문헌으로서 포함되는 임의의 관련 문제를 명시적으로 인용하도록 본원을 수정할 권리를 보유한다.

[0032] 본원은 다양한 실시예들의 설명들을 포함한다. 본원에 설명하는 모든 실시예들은 예시적이고 비-제한적으로 이해되어야 한다. 그러므로, 본 발명은 다양한 예시적, 및 비-제한적 실시예들의 설명에 의해 한정되지 않는다. 오히려, 본 발명은 청구범위에 의해서만 정의되고, 이는 명시적으로 또는 고유하게 설명되는 임의의 특징들을 인용하게 수정될 수 있거나 또는 본원에 의해 달리 명시적으로 또는 고유하게 지지된다.

- [0033] 본원은, 부분적으로, 감소된, 최소의, 또는 제로(zero) 균열 및/또는 균열 전파를 갖고 상당한 경도를 갖고 기대하지 않은 상당한 레벨의 다중-타격 탄도 저항을 보이는 저합금강에 대한 것이고, 이는 예를 들어, 군용 장갑 응용에 적합한 레벨의 탄도 관통 저항력을 부여한다. 본 발명에 따른 다양한 실시예의 강철은 550 BHN을 초과하는 경도를 보이고 MIL-DTL-46100E에 따라 평가될 때, 및 MIL-A-46099C에 따라 평가될 때 상당한 레벨의 탄도 관통 저항력을 보인다. 본 발명에 따른 다양한 실시예의 강철은 570 BHN을 초과하는 경도를 보이고 MIL-DTL-32332, Class 1 또는 Class 2에 따라 평가될 때 상당한 레벨의 탄도 관통 저항력을 보인다. 미군 규격 "MIL-DTL-46100E", "MIL-A-46099C", "MIL-DTL-32332"는 본원에 참고문헌으로서 포함된다.
- [0034] 특정한 기존의 600 BHN 강철 장갑판 재료들에 대해, 본 발명에 따른 다양한 실시예의 합금은 장갑 관통("AP") 발사체들에 대해 시험될 때 균열 및 관통이 크게 적어지는 경향이 있다. 또한 다양한 실시예들의 합금은 예를 들어, K-12® 장갑판과 같은, 고합금 장갑 재료들의 성능에 비교할 수 있는 탄도 충격 성능을 입증한다. 본 발명의 다양한 실시예들에 따른 강철 합금의 탄도 충격 성능은, 예를 들어, 종래의 600 BHN 강철 장갑 재료와 비교하여, 합금의 비교적 보통의 경도와 합금의 낮은 합금 함량가가 전혀 기대하지 않게 주어졌다.
- [0035] 보다 상세하게는, 비록 다양한 실시예의 본 발명에 따른 합금이 비교적 중간 경도(종래의 속도 또는 비교적 느린 냉각속도에서 오스테나이트화 온도로부터 합금을 냉각시켜 제공될 수 있음)를 보이지만, 합금들의 샘플들은 상당한 탄도 충격 성능을 보였고, 이는 K-12® 장갑판의 성능에 적어도 비교될 수 있는 것들이 예상외로 관찰되었다. 이러한 놀랍고 자명하지 않은 발견은 강철 장갑판 재료의 경도를 증가시키는 것이 탄도 충격 성능을 개선한다는 믿음에 바로 역행하는 것이다.
- [0036] 다양한 실시예의 본 발명에 따른 강철은 낮은 레벨의 잔류 원소 황, 인, 질소, 및 산소를 포함한다. 또한, 강철의 다양한 실시예들에서 일정 농도의 하나 이상의 세륨, 란탄, 및 다른 희토류 금속을 포함할 수 있다. 특정 작동 이론에 묶이지 않고, 본 발명자들은 희토류 추가가 합금에 존재하는 일정 부분의 황, 인, 및/또는 산소와 결합하여 작용하여 이러한 잔류 물질이 입자 경계에서 덜 집중되게 하고 재료의 다중-타격 탄도 저항을 감소시킬 수 있다고 생각한다. 또한 강철의 입자 경계들 내의 황, 인 및/또는 산소를 집중시키는 것은 고속 충돌시 입자 간 분리를 촉진시켜, 재료 파열, 균열 전파를 일으키고, 충돌하는 발사체에 의한 관통을 일으킬 수 있다고 생각된다. 본 발명에 따른 다양한 실시예의 강철은 비교적 강한 기질(matrix)을 제공하기 위해 비교적 높은 니켈 함량, 예를 들어, 3.30 내지 4.30 중량%를 또한 포함하여, 탄도 충격 성능을 상당히 개선한다. 다양한 실시예들에서, 니켈 함량은 본원에 공개하는 강철의 3.75 내지 4.25 중량%를 포함할 수 있다.
- [0037] 다양한 실시예들에서, 본원에 공개하는 강철 합금은 (총 합금 중량에 기반한 중량%) 0.40 내지 0.53 탄소; 0.15 내지 1.00 망간; 0.15 내지 0.45 규소; 0.95 내지 1.70 크롬; 3.30 내지 4.30 니켈; 0.35 내지 0.65 몰리브덴; 0.002 이하의 황; 0.015 이하의 인; 0.011 이하의 질소; 철; 및 불가피 불순물을 포함할 수 있다. 다양한 실시예들에서, 강철 합금은 0.0002 내지 0.0050 붕소; 0.001 내지 0.015 세륨; 및/또는 0.001 내지 0.015 란탄을 포함할 수도 있다.
- [0038] 다양한 실시예들에서, 탄소 함량은 예를 들어, 0.48 내지 0.52 중량% 또는 0.49 내지 0.51 중량%와 같이, 0.40 내지 0.53 중량% 내의 임의의 하위-범위를 포함할 수 있다. 망간 함량은 예를 들어, 0.20 내지 0.80 중량%와 같은 0.15 내지 1.00 중량% 내의 임의의 하위-범위를 포함할 수 있다. 실리콘 함량은 예를 들어, 0.20 내지 0.40 중량%와 같은 0.15 내지 0.45 중량% 내의 임의의 하위-범위를 포함할 수 있다. 크롬 함량은 예를 들어, 1.00 내지 1.50 중량%와 같이, 0.95 내지 1.70 중량% 내의 임의의 하위-범위를 포함할 수 있다. 니켈 함량은 예를 들어, 3.75 내지 4.25 중량%와 같이, 3.30 내지 4.30 중량% 내의 임의의 하위-범위를 포함할 수 있다. 몰리브덴 함량은 예를 들어, 0.40 내지 0.60 중량%와 같이, 0.35 내지 0.65 중량% 내의 임의의 하위-범위를 포함할 수 있다.
- [0039] 다양한 실시예들에서, 황 함량은 0.001 중량% 이하의 함량을 포함할 수 있고, 인 함량은 0.010 중량% 이하의 함량을 포함할 수 있고, 및/또는 질소 함량은 0.010 중량% 이하의 함량을 포함할 수 있다. 다양한 실시예들에서, 붕소 함량은 예를 들어, 0.008 내지 0.0024, 0.0010 내지 0.0030, 또는 0.0015 내지 0.0025 중량%와 같이, 0.0002 내지 0.0050 중량% 내의 임의의 하위-범위를 포함할 수 있다. 세륨 함량은 예를 들어, 0.003 내지 0.010 중량%와 같이, 0.001 내지 0.015 중량% 내의 임의의 하위-범위를 포함할 수 있다. 란탄 함량은 예를 들어, 0.002 내지 0.010 중량%와 같이, 0.001 내지 0.015 중량% 내의 임의의 하위-범위를 포함할 수 있다.
- [0040] 독특한 합금 시스템을 개발하는 것에 추가하여, 본 발명자들은 후술하는 바와 같이, 공지된 군 규격 MIL-DTL-46100E, MIL-A-46099C, 및 MIL-DTL-32332에 따라 평가될 때 경도 및 탄도 충격 성능을 개선하기 위해 본원 내의 강철을 어떻게 처리할지 결정하기 위해 연구들을 또한 수행했다. 강철 내의 유익한 정도의 균질성을 만들고 확산을 허용하고 강철 내의 카바이드 입자들을 용해하고자 다양한 온도들에 본 발명에 따른 강철의 샘플들을 처

했다. 이 시험의 목적은 과도한 침탄을 생성하지 않거나 또는 재료 인성을 감소시켜 탄도 충격 성능을 열화시키는, 과도하고 허용할 수 없는 입자 성장을 일으키지 않는 열처리 온도를 판정하는 것이었다. 다양한 처리들에서, 강철 판들이 일정 정도의 등방성을 제공하도록 크로스 압연(cross roll)되었다.

[0041] 본 발명에 따른 다양한 실시예의 가공 방법은 강철 합금에 특정한 미세구조를 부여한다고 생각된다. 예를 들어, 다양한 실시예에서, 본 발명의 강철은 마텐자이트를 형성하기 위해 오스테나이트화 온도로부터 냉각된다. 냉각된 합금은 상당한 양의 쌍정형 마텐자이트(twinned martensite)와 다양한 양의 잔류 오스테나이트(retained austenite)를 포함할 수 있다. 본원에 설명하는 다양한 실시예에 따라 냉각된 합금을 뜨임하면 잔류 오스테나이트를 하부 베이나이트 및/또는 라스 마텐자이트로 변형시킬 수 있다. 이는 경질의 쌍정형 마텐자이트 미세구조와 인성, 연성이 높은 하부 베이나이트 및/또는 라스 마텐자이트의 상승 조합을 갖는 강철 합금이 되게 할 수 있다. 경도, 인성, 및 연성의 상승 조합은 우수한 탄도 관통 및 균열 저항 특성들을 본원에서 설명하는 합금에 부여할 수 있다.

[0042] 오스테나이트화 온도로부터 상이한 속도로 냉각된, 따라서 상이한 경도를 갖는 샘플들의 탄도 충격 성능을 평가하는 시험들도 수행되었다. 본 발명자들의 시험은 균열 전파를 감소, 최소화, 또는 없애면서 다중-타격 탄도 저항력을 어떻게 가장 잘 촉진할지 평가하고자 뜨임 시험들과 냉각 시험들도 포함한다. 샘플들은 7.62mm(.30 구경 M2, AP) 발사체들을 사용하여 MIL-DTL-46100E, MIL-A-46099C, 및 MIL-DTL-32332에 따라 다양한 시험 샘플들의 V<sub>50</sub> 탄도 한계값들을 측정하여 평가되었다.

### [0043] 1. 실험 합금판들의 준비

[0044] 저합금강 장갑을 위한 신규한 조성이 배합되었다. 본 발명자들은 이러한 합금 조성이 바람직하게는 비교적 높은 니켈 함량과 낮은 레벨의 황, 인, 및 질소 잔류 원소들을 포함하고, 균질성을 촉진하는 방식으로 판 형태로 가공되어야 한다고 결론지었다. 표 2에 도시한 실험적 화학성질을 갖는 합금의 몇 개의 잉곳(ingot)이 아르곤-산화-탈탄화("AOD") 또는 AOD와 일렉트로슬래그(electroslag) 재용해("ESR")에 의해 준비되었다. 표 2는 바람직한 최소 및 최대, 선호되는 최소 및 선호되는 최대(존재한다면), 그리고 합금 원소들의 공칭 목표 레벨, 및 생산되는 합금의 실제 화학성질을 나타낸다. 합금의 나머지는 철과 불가피 불순물을 포함했다. 불가피 불순물로서 존재할 수 있는 원소들의 비제한적 예들에는 구리, 알루미늄, 티타늄, 텅스텐, 및 코발트가 포함된다. 출발 재료들로부터 및/또는 합금 가공을 통해 유도될 수 있는, 다른 잠재적 불가피 불순물은 야금학의 통상의 기술자에게 공지되어 있다. 합금 조성들이 표 2에 보고되어 있고, 보다 일반적으로는 달리 지시되지 않는 한 총 합금 중량에 기반한 중량%로서 본원에 보고되어 있다. 또한, 표 2에서, "LAP"는 "가능한 한 적은"을 의미한다.

표 2

|            | C   | Mn   | P    | S     | Si  | Cr   | Ni   | Mo  | Ce   | La   | V   | W   | Ti   | Co  | Al   | N    | B     |
|------------|-----|------|------|-------|-----|------|------|-----|------|------|-----|-----|------|-----|------|------|-------|
| 최소         | .40 | .15  | -    | -     | .15 | .95  | 3.30 | .35 | .001 | .001 | -   | -   | -    | -   | -    | -    | .0002 |
| 최대         | .53 | 1.00 | .015 | .002  | .45 | 1.70 | 4.30 | .65 | .015 | .015 | .05 | .08 | .05  | .05 | .020 | .010 | .0050 |
| 선호되는<br>최소 | .49 | .20  | -    | -     | .20 | 1.00 | 3.75 | .40 | .003 | .002 | -   | -   | -    | -   | -    | -    | .0010 |
| 선호되는<br>최대 | .51 | .80  | .010 | .001  | .40 | 1.50 | 4.25 | .60 | .010 | .010 | -   | -   | -    | -   | -    | -    | .0030 |
| 목표         | .50 | .50  | LAP  | LAP   | .30 | 1.25 | 4.00 | .50 | -    | -    | LAP | LAP | LAP  | LAP | LAP  | LAP  | .0016 |
| 실제*        | .50 | .53  | .01  | .0006 | 0.4 | 1.24 | 4.01 | .52 | -    | .003 | .01 | .01 | .002 | .02 | .02  | .007 | .0015 |

[0046] 분석은 이 조성이 0.09 구리, 0.004 니오븀, 0.004 주석, 0.001 지르코늄과, 92.62 철을 또한 포함했음을 밝혔다.

[0047] 잉곳 표면들은 종래의 방법들을 사용하여 연마되었다. 그 다음에 잉곳들은 약 1300°F(704°C)로 가열되고, 평균화되고, 이 제 1 온도에서 6 내지 8시간 유지되고, 약 200°F/h(93°C/h)로 약 2050°F(1121°C)까지 가열되고, 인치 두께당 약 30-40분 동안 이 제 2 온도에서 유지되었다. 그 다음에 잉곳들은 6-7인치(15.2-17.8cm) 두께로 열간 압연되었고, 끝이 잘렸고(end cropped), 필요하다면, 약 1.50-2.65인치(3.81-6.73cm)두께의 리-슬래브(re-slab)로 이후에 추가 열간 압연되기 전에 1-2시간 동안 약 2050°F(1121°C)로 재가열되었다. 이 리-슬래브들은

종래의 방법들을 사용하여 응력 제거 풀림되었고, 그 다음에 슬래브 표면들은 블래스트 클리닝되었고 약 0.188 인치(4.8mm) 내지 약 0.310인치(7.8mm) 범위의 완성된 게이지 두께를 갖는 긴 판들로 마무리 압연되었다. 그 다음에 이 긴 판들은 여러 개개의 판들을 형성하도록 완전히 풀림, 블래스트 클리닝, 평탄화, 및 전단되었다.

[0048]

특정 경우들에서, 리-슬래브들이 마무리된 게이지를 달성하는데 필요한 최종 압연 단계 직전에 압연 온도로 재가열되었다. 보다 상세하게는, 특정한 판 샘플들은 표 3에 도시된 바와 같이 최종 압연되었다. 시험들은 표면 경도와 탄도 충격 성능 특성들을 최적화하는 가능한 열처리 변수들을 평가하기 위해 표 3에 도시된 바와 같이 최종 압연된 0.275 내지 0.310인치(7 내지 7.8mm) 게이지(공칭) 판들의 샘플들에서 수행되었다.

표 3

[0049]

| 대략적 두께, 인치(mm) | 열간 압연 공정 변수들                           |
|----------------|----------------------------------------|
| 0.275<br>(7)   | 마무리 게이지로 압연하기 전에 약 10분간 0.5에서 재가열된 슬래브 |
| 0.275<br>(7)   | 마무리 게이지로 압연하기 직전에 재가열하지 않음             |
| 0.310<br>(7.8) | 마무리 게이지로 압연하기 전에 약 30분간 0.6에서 재가열된 슬래브 |
| 0.310<br>(7.8) | 마무리 게이지로 압연하기 직전에 재가열하지 않음             |

[0050]

## 2. 경도 시험

[0051]

위의 섹션 1에서와 같이 생산된 판들은 오스테나이트화 처리와 경화 단계를 거쳐, 추가 시험을 위한 샘플들을 형성하기 위해 1/3로 절단되고, 선택적으로 뜨임 처리 되었다. 오스테나이트화 처리는 일정온도에서 40분간 1550-1650°F(843-899°C)로 샘플들을 가열하는 것을 포함했다. 경화는 샘플들을 공냉시키거나 또는 샘플들을 오스테나이트화 처리 온도로부터 실온("RT")으로 오일에서 담금질하는 것을 포함했다.

[0052]

본원에서 사용될 때, 용어 "일정 온도에서 시간"은 물품의 적어도 표면이 그 온도에 도달한 후 특정 온도에서 물품이 유지되는 지속시간을 의미한다. 예를 들어, 구 "일정온도에서 40분간 899°C(1650°F)로 샘플을 가열"하는 것은 샘플이 899°C(1650°F)의 온도로 가열되고 일단 샘플이 899°C(1650°F)에 도달하면, 샘플이 899°C(1650°F)에서 40분간 유지됨을 의미한다. 지정된 일정온도에서 시간이 경과한 후, 물품의 온도는 지정된 온도로부터 변할 수 있다. 본원에서 사용될 때, 용어 "최소 노(furnace) 시간"은 물품이 지정된 온도로 가열된 노에 위치되는 최소 지속시간을 의미한다. 예를 들어, "40분의 최소 노 시간동안 899°C(1650°F)로 샘플을 가열"이라는 구절은 샘플이 40분간 899°C(1650°F) 노에 배치된 다음에 899°C(1650°F) 노로부터 제거됨을 의미한다.

[0053]

각각 오스테나이트화되고 경화된 판으로부터의 3개의 샘플중 하나가 시험을 위해 경화된 상태에서 유지되었다. 각각 오스테나이트화되고 경화된 판으로부터 절단된 나머지 두 샘플들은 90분의 일정온도시간 동안 250°F(121°C) 또는 300°F(149°C)에서 유지되어 뜨임 풀림되었다. 샘플 경도를 평가하는데 필요한 시간을 줄이기 위해, 모든 샘플이 브리넬 경도 시험이 아닌 록웰 C(HRC) 시험(Rockwell C test)을 사용하여 초기에 시험되었다. 경화된 상태에서 최고 HRC 값들을 보이는 두 샘플들은 경화된 상태에서(즉, 임의의 뜨임 처리 전) 브리넬 경도(BHN) 또한 측정하도록 시험되었다. 표 4는 250°F(121°C) 또는 300°F(149°C) 중 어느 하나에서 뜨임되는 샘플들에 대한 오스테나이트화 처리 온도, 담금질 타입, 게이지, 및 HRC 값들을 열거한다. 표 4는 시험에 사용되는 판들이 최종 게이지로 압연하기 직전에 재가열되는지를 나타낸다. 부가적으로, 표 4는 경화된 조건에서 최고 HRC 값들을 보이면서 뜨임되지 않은, 경화된 샘플들에 대한 BHN 경도를 열거한다.

표 4

[0054]

| 오스테나이트<br>풀림<br>온도(°F) | 냉각 타입 | 재가열 | 게이지   | 경화된<br>HRC | 경화된<br>BHN | 121°C(250<br>°F)풀림 후의<br>HRC | 149°C(300<br>°F)풀림 후의<br>HRC |
|------------------------|-------|-----|-------|------------|------------|------------------------------|------------------------------|
| 1550                   | 공냉    | 아니오 | 0.275 | 50         | -          | 54                           | 54                           |
| 1550                   | 공냉    | 아니오 | 0.310 | 53         | -          | 58                           | 57                           |
| 1550                   | 공냉    | 예   | 0.275 | 50         | -          | 53                           | 56                           |
| 1550                   | 공냉    | 예   | 0.310 | 50         | -          | 55                           | 57                           |

|                        |       |     |       |                        |            |                                          |                                          |
|------------------------|-------|-----|-------|------------------------|------------|------------------------------------------|------------------------------------------|
| 1550                   | 오일    | 아니오 | 0.275 | 48                     | -          | 54                                       | 56                                       |
| 1550                   | 오일    | 아니오 | 0.310 | 53                     | -          | 58                                       | 58                                       |
| 1550                   | 오일    | 예   | 0.275 | 59                     | 624        | 52                                       | 53                                       |
| 1550                   | 오일    | 예   | 0.310 | 59                     | -          | 55                                       | 58                                       |
| 1600                   | 공냉    | 아니오 | 0.275 | 53                     | 587        | 54                                       | 57                                       |
| 1600                   | 공냉    | 아니오 | 0.310 | 48                     | -          | 56                                       | 57                                       |
| 1600                   | 공냉    | 예   | 0.275 | 54                     | -          | 56                                       | 57                                       |
| 1600                   | 공냉    | 예   | 0.310 | 50                     | -          | 57                                       | 58                                       |
| 1600                   | 오일    | 아니오 | 0.275 | 53                     | -          | 54                                       | 57                                       |
| 1600                   | 오일    | 아니오 | 0.310 | 52                     | -          | 55                                       | 58                                       |
| 1600                   | 오일    | 예   | 0.275 | 51                     | -          | 51                                       | 58                                       |
| 1600                   | 오일    | 예   | 0.310 | 53                     | -          | 53                                       | 58                                       |
| 1650                   | 공냉    | 아니오 | 0.275 | 46                     | -          | 54                                       | 56                                       |
| 1650                   | 공냉    | 아니오 | 0.310 | 46                     | -          | 53                                       | 56                                       |
| 오스테나이트<br>풀림<br>온도(°F) | 냉각 타입 | 재가열 | 게이지   | 경화된<br>HR <sub>c</sub> | 경화된<br>BHN | 121℃ (250<br>°F)풀림 후의<br>HR <sub>c</sub> | 149℃ (300<br>°F)풀림 후의<br>HR <sub>c</sub> |
| 1650                   | 공냉    | 예   | 0.275 | 48                     | -          | 53                                       | 57                                       |
| 1650                   | 공냉    | 예   | 0.310 | 48                     | -          | 54                                       | 56                                       |
| 1650                   | 오일    | 아니오 | 0.275 | 47                     | -          | 52                                       | 55                                       |
| 1650                   | 오일    | 아니오 | 0.310 | 46                     | -          | 54                                       | 57                                       |
| 1650                   | 오일    | 예   | 0.275 | 46                     | -          | 55                                       | 54                                       |
| 1650                   | 오일    | 예   | 0.310 | 47                     | -          | 57                                       | 58                                       |

[0055] 표 5는 90분의 일정온도시간동안, 250°F(121℃) 또는 300°F(149℃) 중 어느 하나에서 뜨임 풀림 후 및 경화된 상태에서 표 4에 포함된 샘플들에 대한 평균 HRC 값들을 제공한다.

### 표 5

| 오스테나이트<br>풀림<br>온도(°F) | 경화된<br>평균 HR <sub>c</sub> | 121℃ (250°F)풀림 후의<br>HR <sub>c</sub> | 149℃ (300°F)풀림 후의<br>HR <sub>c</sub> |
|------------------------|---------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| 1550                   | 52                        | 55                                   | 56                                   |
| 1600                   | 52                        | 55                                   | 57                                   |
| 1650                   | 47                        | 54                                   | 56                                   |

[0057] 일반적으로, 브리넬 경도는 규격 ASTM E-10에 따라 샘플의 표면에 특정 부하 하에 특정 직경의 경질 강철 또는 카바이드 구 형태의 압입기를 밀어 시험 후에 남은 압입 직경을 측정하여 판정된다. 브리넬 경도 지수 또는 "BHN"은 사용되는 압입기 부하(kg)를 실제 압입 표면적(제곱 밀리미터)으로 나눠 얻어진다. 그 결과가 압력 측정값이지만, 단위는 BHN 값들이 보고될 때 드물게 진술된다.

[0058] 강철 장갑 샘플들의 브리넬 경도 지수를 평가시, 데스크탑 장치가 시험 시편의 표면에 10mm 텅스텐 카바이드 구형 압입기를 누르는데 사용된다. 이 장치는 3000kg의 부하를 일반적으로 10초 동안 가한다. 볼이 후퇴된 후, 그 결과인 둥근 자국의 직경이 측정된다. BHN 값은 하기의 수학적식에 따라 계산된다.

### 수학적식 1

$$BHN = 2P / [\pi D (D - (D^2 - d^2)^{1/2})]$$

[0060] 여기서 BHN = 브리넬 경도 지수; P = kg단위의 부과된 부하; D = mm 단위의 구형 압입기의 직경; 및 d = 그 결과인 mm 단위의 압입기 자국의 직경이다.

[0061] 몇번의 BHN 시험들이 장갑판의 표면 영역 상에서 실시될 수 있고 각각의 시험은 약간 상이한 경도 지수가 될 수

있다. 이 정도의 편차는 심지어 균질한 장갑들도 절대적으로 균일하지는 않기 때문에 판의 미세구조와 국지적 화학조성의 사소한 편차로 인한 것일 수 있다. 온도 측정값의 작은 편차는 시편의 압입기 자국의 직경의 측정시 오차에 기인한 것일 수 있다. 임의의 단일 시편에서 온도 측정값들의 기대 편차가 주어질 때, BHN 값들은 단일 별개의(discrete) 값들로서가 아니라, 범위들로서 종종 제공된다.

[0062] 표 4에 도시된 바와 같이, 샘플들에 대해 측정된 최고 브리넬 경도들은 624와 587이었다. 이러한 특정한 경화된 샘플들은 1550°F(843°C)(BHN 624) 또는 1600°F(871°C)(BHN 587)에서 오스테나이트화되었다. 두 샘플들 중 하나는 오일 담금질되었고(BHN 624), 다른 하나는 공냉되었고, 두 샘플들 중 하나만(BHN 624)이 최종 게이지로 압연하기 전에 재가열되었다.

[0063] 일반적으로, 샘플 경도를 증가시키는 경향이 있는 뜨임 풀림을 사용하면, 300°F(149°C) 뜨임 온도로 각각의 오스테나이트화 온도에서 더 큰 온도 증가가 이루어짐이 관찰되었다. 또한, 오스테나이트화 온도를 증가시키면 일반적으로 달성되는 최종 경도를 감소시키는 경향이 있음이 관찰되었다. 이러한 상관관계는 도 1에 예시되어 있고, 이는 경화된 상태("시효N")의 또는 250°F(121°C)("시효25") 또는 300°F(149°C)("시효30")에서 뜨임 후의 0.275인치(7mm) 샘플들(좌측 패널)과 0.310인치(7.8mm) 샘플들(우측 패널)에 대한 오스테나이트화 온도의 함수로서 평균 HR<sub>c</sub> 경도를 도시한다.

[0064] 도 2와 도 3은 0.275 및 0.310인치(7 및 7.8mm) 공칭 최종 게이지로 압연하기 전에 리-슬래브가 재가열되는지 여부와 담금질 타입의 타입에 대한 효과를 고려한다. 도 2는 경화된 상태("시효N")의 또는 250°F(121°C)("시효25") 또는 300°F(149°C)("시효30")에서 뜨임 후의 재가열되지 않은 0.275인치(7mm) 샘플들(좌상측 패널)과 재가열된 0.275인치(7mm) 샘플들(좌하측 패널)과 재가열되지 않은 0.310인치(7.8mm) 샘플들(우상측 패널)과 재가열된 0.310인치(7.8mm) 샘플들(우하측 패널)에 대한 오스테나이트화 온도의 함수로서 평균 HR<sub>c</sub> 경도를 도시한다. 유사하게, 도 3은 경화된 상태("시효N")의 또는 250°F(121°C)("시효25") 또는 300°F(149°C)("시효30")에서 뜨임 후의, 공냉된 0.275인치(7mm) 샘플들(좌상측 패널)과 오일-담금질된 0.275인치(7mm) 샘플들(좌하측 패널)과 공냉된 0.310인치(7.8mm) 샘플들(우상측 패널)과 오일-담금질된 0.310인치(7.8mm) 샘플들(우하측 패널)에 대한 오스테나이트화 온도의 함수로서 평균 HR<sub>c</sub> 경도를 도시한다. 각각의 오스테나이트화 온도들에서 처리되고 도 2와 도 3의 각각의 패널들에 관한 조건을 만족하는 샘플들의 평균 경도가 정사각형 데이터 점으로서 각각의 패널에 도시되어 있고, 각각의 패널에서 각각의 이러한 데이터 점은 경향을 보다 잘 시각화하기 위해 점선들로 연결되어 있다. 도 2와 도 3의 각각의 패널에서 고려되는 모든 샘플들의 총 평균 경도가 다이아몬드 형상 데이터 점으로서 각각의 패널에 작도되어 있다.

[0065] 도 2를 참조하면, 최종 게이지로 압연 전의 재가열의 온도 효과가 미미하였고 다른 변수들의 효과에 비해 명백하지 않음이 일반적으로 관찰되었다. 예를 들어, 2개의 최고 브리넬 경도를 갖는 샘플들 중 하나만이 최종 게이지로 압연 전에 재가열되었다. 도 3을 참조하면, 오스테나이트화 열처리 후 오일 담금질 대 공냉을 사용한 것으로 인한 임의의 온도 차이는 최소였음이 일반적으로 관찰되었다. 예를 들어, 2개의 최고 브리넬 경도를 갖는 샘플들 중 하나만이 최종 게이지로 압연 전에 판 평태로 재가열되었다.

[0066] 실험 합금 샘플들은 오스테나이트화 풀림 후 최고 농도의 잔류 오스테나이트를 포함했음이 측정되었다. 판 두께가 두꺼울수록 그리고 오스테나이트화 처리 온도가 높을수록 높은 잔류 오스테나이트 레벨을 생성하는 경향이 있었다. 또한, 오스테나이트의 적어도 일부가 뜨임 풀림 중에 마텐자이트로 변형되었음이 관찰되었다. 뜨임 풀림 처리 후에 존재하는 임의의 뜨임되지 않은 마텐자이트는 최종 재료의 인성을 낮게 만들 수 있다. 최적 인성을 보다 잘 보장하기 위해, 추가 뜨임 풀림이 임의의 잔류 오스테나이트를 마텐자이트로 추가 변환하는데 사용될 수 있음이 결론지어졌다. 본 발명자들의 관찰에 근거하여, 적어도 약 1500°F(815°C), 보다 바람직하게는 적어도 약 1550°F(843°C)의 오스테나이트화 온도가 고 경도를 달성하는데 관해 평가된 물품들에 대해 만족스러운 것으로 보인다.

### [0067] 3. 탄도 충격 성능 시험

[0068] 0.275인치(7mm)의 공칭 두께를 갖는 몇개의 18×18인치(45.7×45.7cm) 시험 패널이 상기 섹션 1에 설명된 바와 같이 준비된 다음, 후술하는 바와 같이 추가 처리되었다. 그 다음에 패널들은 후술하는 바와 같이 탄도 충격 성능 시험을 받았다.

[0069] 섹션 1에 설명한 바와 같이 제조된 8개의 시험 패널이 하기와 같이 추가 처리되었다. 8개의 패널은 35분(±5

분)동안 1600°F(871℃)에서 오스테나이트화되고, 실온에서 공냉되고, 경도 시험되었다. 1600°F(871℃)에서 오스테나이트화된 8개 패널 중 하나의 BHN 경도는 오스테나이트화되고, 뜨임되지 않은("경화된") 조건에서 공냉된 후 측정되었다. 경화된 패널은 약 600 BHN의 경도를 보였다.

[0070] 1600°F(871℃)에서 오스테나이트화되고 공냉된 8개 패널 중 6개는 2개씩 3세트로 나뉘었고, 각각의 세트는 90분(±5분)동안 250°F(121℃), 300°F(149℃), 350°F(177℃)에서 뜨임되고, 실온으로 공냉되고, 경도 시험되었다. 뜨임된 패널들 중 각각의 3 세트중 하나의 패널(총 3개의 패널)이 한쪽으로 치워졌고, 나머지 3개의 뜨임된 패널들이 그 원래 250°F(121℃), 300°F(149℃), 350°F(177℃) 뜨임 온도에서 90분(±5분)동안 다시-뜨임되고, 실온으로 공냉되고, 경도 시험되었다. 이러한 6개 패널들은 하기의 표 6에서 샘플 ID 1 내지 6으로 식별되어 있다.

[0071] 1600°F(871℃)에서 오스테나이트화되고 공냉된 8개 패널 중 하나는 약 15분간 32°F(0℃) 얼음물에 잠긴 다음에 제거되고 경도 시험되었다. 그 다음에 패널은 90분(±5분)동안 300°F(149℃)에서 뜨임되고, 실온으로 공냉되고, 약 15분간 32°F(0℃) 얼음물에 잠긴 다음에 제거되고 경도 시험되었다. 그 다음에 샘플은 90분(±5분)동안 300°F(149℃)에서 다시-뜨임되고, 실온으로 공냉되고, 다시 약 15분간 32°F(0℃) 얼음물에 배치된 다음에 다시 제거되고 경도 시험되었다. 이 패널은 표 6에서 ID 번호 7로 표기되어 있다.

[0072] 상기 섹션 1에 설명된 바와 같이 준비된 3개의 추가 시험 패널들이 하기와 같이 추가 처리된 다음에 탄도 충격 성능 시험을 받았다. 각각이 3개의 패널은 35분(±5분)동안 1950°F(1065℃)에서 오스테나이트화되고, 실온으로 공냉되고, 경도 시험되었다. 각각의 3개의 패널은 다음에 90분(±5분)동안 149℃(300°F)에서 뜨임되고, 실온으로 공냉되고, 경도 시험되었다. 뜨임되고, 공냉된 패널 3개들 중 2개는 다시 90분(±5분)동안 300°F(149℃)에서 뜨임되고, 공냉되고, 경도 시험되었다. 다시-뜨임된 패널들 중 하나는 다음에 -120°F(-84℃)로 극저온 냉각되었고, 실온으로 덩혀지고, 경도 시험되었다. 이러한 3개 패널들은 표 6에서 ID 번호 9-11로 식별되어 있다.

[0073] 표 6에 식별된 11개 패널은 MIL-DTL-46100E에 따라 7.62mm(.30 구경 M2, AP) 발사체들을 사용하여 V<sub>50</sub> 탄도 한계(보호)를 평가하여 탄도 충격 성능에 대해 개별적으로 평가되었다. V<sub>50</sub> 탄도 한계값은 발사체가 장갑 시험 패널을 관통할 확률이 50%인 계산된 발사체 속도이다.

[0074] 보다 정확하게는, 미군 규격 MIL-DTL-46100E("장갑, 판, 강철, 가공된, 고 경도"), MIL-A-46099C("장갑 판, 강철, 압연-접합된, 이중 경도(0.187인치 내지 0.700인치 포함)"), MIL-DTL-32332("장갑 판, 강철, 가공, 초고경도") 하에서, V<sub>50</sub> 탄도 한계(보호)값은 완전 관통한 3개의 최저 발사체 속도와 부분 관통한 3개의 최고 발사체 속도를 포함하는 6개의 바른 충돌 속도의 평균 속도이다. V<sub>50</sub> 탄도 한계값들을 판정함에 있어서 사용되는 최저 및 최고 속도들 간에 150ft/s(fps)의 최대 차이(spread)가 허용된다.

[0075] 최저 완전 관통 속도가 최고 부분 관통 속도보다 150fps이상만큼 낮은 경우에, 탄도 한계는 10개의 속도(완전 관통한 5개 최저 속도와 부분 관통한 5개의 최고 속도)에 근거한다. 10회 과다 차이 탄도 한계가 사용될 때, 속도 차이는 최저 부분 레벨까지 감소되어야 하고, 가능한 한 150fps에 근접해야 한다. 통상적인 상하 발사 방법이 V<sub>50</sub> 탄도 한계(보호)값들을 판정하는데 사용되고, 모든 속도는 충돌 속도로 수정된다. 계산된 V<sub>50</sub> 탄도 한계값이 필요한 최소값 이상의 30fps보다 작고 30fps 이상의 갭(낮은 완전 관통 속도 아래의 높은 부분 관통 속도)이 존재하면, 발사체 발사는 25fps 이하로 갭을 줄이도록 필요한 만큼 계속된다.

[0076] 시험 패널에 대해 판정된 V<sub>50</sub> 탄도 한계값들은 시험 패널의 특정 두께에 대한 필요 최소 V<sub>50</sub> 탄도 한계값들과 비교될 수 있다. 시험 패널에 대한 계산된 V<sub>50</sub> 탄도 한계값들이 필요 최소 V<sub>50</sub> 탄도 한계값들을 초과하면, 시험 패널이 필요 탄도 충돌 성능 기준을 "통과"했다고 말할 수 있다. 장갑판에 대한 최소 V<sub>50</sub> 탄도 한계값들은 MIL-DTL-46100E, MIL-A-46099C, 및 MIL-DTL-32332를 포함하는 다양한 미군 규격들에 제시되어 있다.

[0077] 표 6은 각각의 11개 충돌 시험 패널에 대한 하기의 정보를 열거한다: 샘플 ID 번호; 오스테나이트화 온도; 오스테나이트화 처리로부터 실온으로의 냉각 후 BHN 경도("경화된"); 뜨임 처리 변수들(사용되면); 뜨임 온도로부터 실온으로 냉각 후의 BHN 경도; 재-뜨임 처리 변수들(사용되면); 재-뜨임 온도로부터 실온으로의 냉각 후의 BHN 경도; MIL-DTL-46100E, MIL-A-46099C에 따른 패널의 계산된 V<sub>50</sub> 탄도 한계값과 필요 최소 V<sub>50</sub> 탄도 한계값 간의 fps의 차이. 표 6에서 양의 V<sub>50</sub> 탄도 한계값들(예를 들어, "+419")은 패널에 대한 계산된 V<sub>50</sub> 탄도 한계값이 지시된 양만큼 필요 V<sub>50</sub>을 초과했음을 나타낸다. 음의 차이값들(예를 들어, "-44")은 패널에 대한 계산된 V<sub>50</sub> 탄도

한계값이 지시된 양만큼 지시된 군 규격에 따른 필요  $V_{50}$  탄도 한계값보다 작았음을 나타낸다.

표 6

[0078]

| ID | 오스테나이트화 온도 (°F) | 경화된 정도 (BHN) | 뜨임 (분@°F) | 뜨임 후 정도 (BHN) | 재-뜨임 (분@°F)             | 재-뜨임 후 정도 (BHN) | 재-뜨임 (분@°F)             | 재-뜨임 후 정도 (BHN) | $V_{50}$ 대 46100E (fps) | $V_{50}$ 대 46099C (fps) |
|----|-----------------|--------------|-----------|---------------|-------------------------|-----------------|-------------------------|-----------------|-------------------------|-------------------------|
| 1  | 1600            | 600          | 90@250    | 600           | NA                      | NA              | NA                      | NA              | +419                    | +37                     |
| 2  | 1600            | 600          | 90@250    | 600           | 90@250                  | 600             | NA                      | NA              | +341                    | -44                     |
| 3  | 1600            | 600          | 90@300    | 600           | NA                      | NA              | NA                      | NA              | +309                    | -74                     |
| 4  | 1600            | 600          | 90@300    | 600           | 90@300                  | 600             | NA                      | NA              | +346                    | -38                     |
| 5  | 1600            | 600          | 90@350    | 578           | NA                      | NA              | NA                      | NA              | +231                    | -153                    |
| 6  | 1600            | 600          | 90@350    | 578           | 90@350                  | 578             | NA                      | NA              | +240                    | -144                    |
| 7  | 1600            | 600          | 15@32     | 600           | 90@300<br>+AC+<br>15@32 | 600             | 90@300<br>+AC+<br>15@32 | 600             | +372                    | -16                     |
| 8  | 1950            | 555          | 90@300    | 555           | NA                      | NA              | NA                      | NA              | +243                    | -137                    |
| 9  | 1950            | 555          | 90@300    | 555           | 90@300                  | 555             | NA                      | NA              | +234                    | -147                    |
| 10 | 1950            | 555          | 90@300    | -             | 90@300                  | -               | -120                    | -               | -                       | -                       |

[0079]

실험 합금으로 구성된, 12-19번의, 8개의 추가적인 18×18인치(45.7×45.7cm) (공칭) 시험 패널이 상기 섹션 1에 설명된 바와 같이 준비되었다. 각각의 패널은 공칭적으로 0.275인치(7mm) 또는 0.320인치(7.8mm) 두께 중의 어느 하나였다. 각각의 8개 패널은 35분(±5분)동안 1600°F(871°C)로 가열되어 오스테나이트화 처리된 다음에 실온으로 공냉되었다. 패널 12는 7.62mm(.30 구경) M2, AP 발사체들에 대해 경화된 상태(냉각되고 뜨임 처리되지 않은)에서 탄도 충격 성능에 대해 평가되었다. 패널 13-19는 표 7에 열거된 개개의 뜨임 단계들을 받고, 실온으로 공냉되고, 상기 패널 1-11에서와 같은 방식으로 탄도 충격 성능에 대해 평가되었다. 표 7에 열거된 각각의 뜨임 시간은 근사치들이고 실제로는 열거된 지속시간의 ±5분 내에 있다. 표 8은 표 7에 열거한 특정 패널 두께에 대한 MIL-DTL-46100E에 따른 및 MIL-A-46099C에 따른 필요 최소  $V_{50}$  탄도 한계값과 함께, 각각의 시험 패널 12-19의 계산된  $V_{50}$  탄도 충격 한계(성능)값을 열거한다.

표 7

[0080]

| ID | 게이지 (인치) | 뜨임 없음 | 60분간 79°C (175°F)에서 뜨임 | 60분간 93°C (200°F)에서 뜨임 | 60분간 107°C (225°F)에서 뜨임 | 30분간 121°C (250°F)에서 뜨임 | 60분간 121°C (250°F)에서 뜨임 | 90분간 121°C (250°F)에서 뜨임 | 120분간 121°C (250°F)에서 뜨임 |
|----|----------|-------|------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|
| 12 | 0.282    | X     |                        |                        |                         |                         |                         |                         |                          |
| 13 | 0.280    |       | X                      |                        |                         |                         |                         |                         |                          |
| 14 | 0.281    |       |                        | X                      |                         |                         |                         |                         |                          |
| 15 | 0.282    |       |                        |                        | X                       |                         |                         |                         |                          |
| 16 | 0.278    |       |                        |                        |                         | X                       |                         |                         |                          |
| 17 | 0.278    |       |                        |                        |                         |                         | X                       |                         |                          |
| 18 | 0.285    |       |                        |                        |                         |                         |                         | X                       |                          |
| 19 | 0.281    |       |                        |                        |                         |                         |                         |                         | X                        |

표 8

[0081]

| 샘플 ID | 계산된 $V_{50}$ 탄도 한계(fps) | MIL-DTL-46100E에 따른 최소 $V_{50}$ 탄도 한계(fps) | MIL-A-46099C에 따른 최소 $V_{50}$ 탄도 한계(fps) |
|-------|-------------------------|-------------------------------------------|-----------------------------------------|
| 12    | 2936                    | 2426                                      | 2807                                    |
| 13    | 2978                    | 2415                                      | 2796                                    |
| 14    | 3031                    | 2421                                      | 2801                                    |
| 15    | 2969                    | 2426                                      | 2807                                    |
| 16    | 2877                    | 2403                                      | 2785                                    |
| 17    | 2915                    | 2403                                      | 2785                                    |

|    |      |      |      |
|----|------|------|------|
| 18 | 2914 | 2443 | 2823 |
| 19 | 2918 | 2421 | 2801 |

[0082] 예를 들어, 판, 봉, 및 시트 형태의 밀 제품들이 합금의 경도 및 충돌 성능을 최적화하도록 고려한 상술한 결론과 관찰로 형성된 단계들을 포함하는 가공에 의해 본 발명에 따른 합금으로부터 만들어질 수 있다. 통상의 기술자들이 이해하듯이, "판" 제품은 적어도 3/16인치의 공칭 두께와 적어도 10인치의 폭을 갖고, "시트" 제품은 3/16인치 이하의 공칭 두께와 적어도 10인치의 폭을 갖는다. 통상의 기술자는 판, 시트, 및 봉과 같은 다양한 종래의 밀 제품들 간의 차이를 쉽게 이해할 것이다.

#### [0083] 4. 냉각 시험

##### [0084] a. 시험 1

[0085] 표 2에 도시된 실제 화학성질을 갖는  $0.275 \times 18 \times 18$ 인치 샘플들의 그룹들이 35분 $\pm$ 5분동안 1600 $\pm$ 10°F(885°C(1625°F) $\pm$ 6°C)에서 샘플들을 가열하여 오스테나이트화 사이클을 통해 처리된 다음에, 냉각 경로에 영향을 미치도록 상이한 방법들을 사용하여 실온으로 냉각되었다. 그 다음에, 냉각된 샘플들은 정해진 시간 동안 뜨임되었고, 실온으로 공냉되었다. 샘플들은 브리넬 경도 시험되었고 탄도 충격 시험되었다. 규격 MIL-DTL-46100E 하의 요구조건들을 만족하는 탄도  $V_{50}$  값들이 바람직했다. 바람직하게는, 탄도  $V_{50}$  값에 의해 평가될 때 탄도 충격 성능은 MIL-A-46099C 하에서 요구되는  $V_{50}$  값들보다 150fps미만으로 작지 않았다. 일반적으로, MIL-A-46099C는 MIL-DTL-46100E 하에서 요구되는 것보다 일반적으로 300-400fps 더 큰, 상당히 높은  $V_{50}$  값을 요구한다.

[0086] 표 9는 샘플들 사이에 1인치 간격을 갖는 냉각 랙 상에 샘플들을 수직으로 배치하고 샘플들이 실온 환경에서 정적인 공기 중에서 실온으로 냉각되게 하여 오스테나이트화 온도로부터 냉각된 샘플들에 대한 경도와  $V_{50}$  결과값들을 열거한다. 도 4는 이러한 샘플들을 위한 적층 배치를 개략적으로 예시한다.

[0087] 표 10은 표 9의 샘플들의 동일한 수직 샘플 랙(racking) 배치와 동일한 일반적인 냉각 조건들을 사용하여 오스테나이트화 온도로부터 냉각된 샘플들에 대한 경도 및  $V_{50}$  결과값들을 제공하지만, 여기서 냉각 팬이 샘플들 둘레에 실온 공기를 순환시켰다. 그러므로, 표 10에 열거된 샘플들이 오스테나이트화 온도로부터 냉각되는 평균 속도는 표 9에 열거된 샘플들의 속도를 초과한다.

[0088] 표 11은 샘플들이 오스테나이트화 온도로부터 냉각되는 속도에 영향을 미치도록 인접한 샘플들과 접촉하게 적층되고 냉각 랙 상에 수평으로 배치된 정적으로 공냉된 샘플들에 대한 경도 및  $V_{50}$  결과값들을 열거한다. 표 11에 포함된  $V_{50}$  값들은 도 6에 뜨임 실시의 함수로서 도시되어 있다. 4개의 상이한 적층 배치들이 표 11의 샘플들에 대해 사용되었다. 도 5의 상부 부분에 도시된, 하나의 배치에서, 2개의 샘플들이 서로 접촉하게 배치되어 있다. 도 5의 하부 부분에 도시된, 다른 배치에서, 3개의 샘플들이 서로 접촉하게 배치되어 있다. 도 8은 도 5의 상부 및 하부 부분들에 도시된 바와 같이 적층된 샘플들에 대한 냉각 곡선들의 도표이다. 도 7은 오스테나이트화 온도로부터 냉각되는 동안 4개 판(상부 부분) 또는 5개 판(하부 부분)이 서로 접촉하게 배치된 2개의 부가적인 적층 배치들을 도시한다. 도 9는 도 7의 상부 및 하부 부분들에 도시된 바와 같은 적층된 샘플들에 대한 냉각 곡선들의 도표이다.

[0089] 도 11에 열거된 각각의 샘플에 대해, 표의 제 2 행은 적층 배치에 관한 샘플들의 총 개수를 보인다. (정체 공기 냉각에 대해) 샘플들 주위에 공기를 순환시키고 표 9, 표 10, 및 표 11의 샘플들에서와 같이, 서로 접촉하는 상이한 개수의 샘플을 배치하면 다양한 샘플들에 대한 냉각 곡선의 형상에 영향을 끼친다고 기대된다. 달리 말해, 냉각 곡선들에 따른 특정 경로들(즉, 곡선들의 "형상들")이 표 9, 표 10, 및 표 11의 샘플들의 다양한 배치들에 대해 상이할 것으로 기대된다. 예를 들어, 냉각 곡선의 하나 이상의 영역에서 다른 샘플들과 접촉하여 냉각되는 샘플은 냉각 속도가 동일한 냉각 곡선 영역에서 수직으로 랙에 배치되어 이격된 샘플에 대한 냉각 속도보다 작을 수 있다. 샘플들의 냉각의 차이는 후술하는 바와 같이, 샘플들의 탄도 관통 저항에 예상외로 영향을 미치는 샘플들의 미세구조 차이에서 기인한다고 생각된다.

[0090] 표 9 내지 표 11은 이들 표에 열거된 각각의 샘플과 함께 사용되는 뜨임 처리를 식별한다. 표 9 내지 표 11의  $V_{50}$  결과들은 규격 MIL-A-46099C 하에서 특정한 시험 샘플 사이즈에 대한 필요 최소  $V_{50}$  탄도 한계값에 대한

ft/s(fps)의 차이로 열거되어 있다. 예를로서, "-156"의 값은 7.62mm(.30 구경 M2, AP) 탄약을 사용하여 군 규격에 따라 평가된 샘플에 대한  $V_{50}$  탄도 한계값이, 군 규격 하의 필요값보다 156fps 작았음을 의미하고, "+82"의 값은  $V_{50}$  탄도 한계값이 필요값을 82fps만큼 초과했음을 의미한다. 그러므로, 큰 양의 차이값은 이들이 군 규격 하의 필요  $V_{50}$  탄도 한계값을 초과하는 탄도 관통 저항력을 반영하므로 가장 바람직하다. 표 9에 보고된  $V_{50}$  값들은 목표 판들이 탄도 충격 시험 중에 균열(열화)되었기 때문으로 추정되었다. 표 9와 표 10에 열거된 샘플들의 탄도 충격 결과들은 더 높은 균열 발생정도를 나타냈다.

표 9

[0091]

정체 공기 냉각된, 1인치 간격으로 수직으로 랙에 배치된 샘플들

| 샘플        | 뜨임 처리<br>(°F온도/일정온도시간<br>/냉각) | $V_{50}$<br>(46099C)<br>(fps) | 오스테나이트화 후 평<br>균 경도<br>(BHN) | 뜨임 후 평균 경도<br>(BHN) |
|-----------|-------------------------------|-------------------------------|------------------------------|---------------------|
| 79804AB1  | 200/60/AC                     | -                             | 712                          | 712                 |
| 79804AB2  | 200/60/AC+                    | -                             | 712                          | 712                 |
|           | 350/60/AC                     | +3                            | 712                          | 640                 |
| 79804AB3  | 200/60/AC                     | -                             | 712                          | 704                 |
| 79804AB4  | 200/60/AC                     | -                             | 712                          | 712                 |
| 79804AB5  | 225/60/AC                     | -                             | 712                          | 712                 |
| 79804AB6  | 225/60/AC                     | -                             | 712                          | 704                 |
| 79804AB7  | 225/60/AC                     | -                             | 712                          | 712                 |
| 79804AB8  | 400/60/AC                     | -155                          | 712                          | 608                 |
| 79804AB9  | 500/60/AC                     | -61                           | 712                          | 601                 |
| 79804AB10 | 600/60/AC                     | -142                          | 712                          | 601                 |

표 10

[0092]

팬 냉각된, 1인치 간격으로 수직으로 랙에 배치된 샘플들

| 샘플       | 뜨임 처리<br>(°F온도/<br>일정온도시간/냉각) | $V_{50}$<br>(추정)<br>(46099C)<br>(fps) | 오스테나이트화 후 평<br>균 경도<br>(BHN) | 뜨임 후 평균 경도<br>(BHN) |
|----------|-------------------------------|---------------------------------------|------------------------------|---------------------|
| 79373AB1 | 200/60/AC                     | -95                                   | 712                          | 675                 |
| 79373AB2 | 200/120/AC                    | -47                                   | 712                          | 675                 |
| 79373AB3 | 225/60/AC                     | +35                                   | 712                          | 668                 |
| 79373AB4 | 225/120/AC                    | -227                                  | 712                          | 682                 |
| 79373AB5 | 250/60/AC                     | +82                                   | 712                          | 682                 |
| 79373AB6 | 250/120/AC                    | +39                                   | 712                          | 682                 |
| 79373AB7 | 275/60/AC                     | +82                                   | 712                          | 682                 |
| 79373AB8 | 275/120/AC                    | +13                                   | 712                          | 675                 |
| 79373AB9 | 3500/60/AC                    | -54                                   | 712                          | 675                 |

표 11

[0093]

정체 공기 냉각된, 적층된 샘플들

| 샘플       | 적층<br>(샘플 판들의<br>개수) | 뜨임 처리(°F온도<br>/일정온도시간/냉<br>각) | $V_{50}$<br>(46099C)<br>(fps) | 오스테나이트화<br>후 평균 경도<br>(BHN) | 뜨임 후 평균 경<br>도<br>(BHN) |
|----------|----------------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|-------------------------|
| 79804AB3 | 2                    | 225/60/AC                     | +191                          | 653                         | 653                     |
| 79804AB4 | 2                    | 225/60/AC                     | +135                          | 653                         | 653                     |
| 79804AB1 | 3                    | 225/60/AC                     | +222                          | 640                         | 627                     |
| 79804AB5 | 3                    | 225/60/AC                     | +198                          | 640                         | 640                     |

|          |   |           |      |     |     |
|----------|---|-----------|------|-----|-----|
| 79804AB6 | 3 | 225/60/AC | +167 | 627 | 627 |
| 79804AB7 | 4 | 225/60/AC | +88  | 646 | 646 |
| 79373DA1 | 4 | 225/60/AC | +97  | 601 | 601 |
| 79373DA2 | 4 | 225/60/AC | -24  | 601 | 601 |
| 79373DA3 | 4 | 225/60/AC | +108 | 620 | 607 |
| 79373DA4 | 5 | 225/60/AC | +114 | 627 | 614 |
| 79373DA5 | 5 | 225/60/AC | +133 | 627 | 601 |
| 79373DA6 | 5 | 225/60/AC | +138 | 620 | 601 |
| 79373DA7 | 5 | 225/60/AC | +140 | 620 | 614 |
| 79373DA8 | 5 | 225/60/AC | +145 | 614 | 621 |

- [0094] 표 11에 열거된 샘플들에 대한 경도값들이 표 9와 표 10의 샘플들에 대한 것보다 상당히 작았다. 이러한 차이는 오스테나이트화 온도로부터 샘플들을 냉각할 때 서로 접촉하게 샘플들을 배치한 결과로 생각되고, 이는 표 9와 표 10 및 도 4를 참조하여 "공기 담금질된" 샘플들에 대한 샘플들의 냉각 곡선을 수정했다. 또한 표 11의 샘플들에 사용된 더 느린 냉각은 오스테나이트화 온도로부터 실온으로 냉각 중에 재료를 자동-뜨임하게 작용한다고 생각된다.
- [0095] 상술한 바와 같이, 종래의 믿음은 강철 장갑의 경도를 증가시키면 장갑의 충돌하는 발사체를 파열시키는 능력을 개선하여, 예를 들어,  $V_{50}$  탄도 한계값 시험에 의해 평가될 때 탄도 충격 성능을 개선한다는 것이었다. 표 9와 표 10의 샘플들은 오스테나이트화 온도로부터 냉각하는 방식을 제외하고 조성적으로 표 11의 것과 동일하였고, 대체로 동일한 방식으로 처리되었다. 그러므로, 강철 장갑 재료의 제조에서의 통상의 기술자는 표 11의 샘플들의 감소된 표면 경도가 탄도 관통 저항력에 부정적 영향을 미치고 표 9와 표 10의 샘플들보다 낮은  $V_{50}$  탄도 한계값이 될 것을 예측한다.
- [0096] 대신에, 본 발명자들은 표 11의 샘플들이 양의  $V_{50}$  값을 유지하면서 균열 발생정도가 적고, 예상외로 크게 개선된 관통 저항력을 보임을 발견했다. 오스테나이트화 온도로부터 냉각 후 강철을 뜨임할 때 실험 시험들에서 탄도 충격 특성들의 명백한 개선을 고려할 때, 밀-규모 운용의 다양한 실시예들에서 오스테나이트화 온도로부터 냉각 후 121-232°C (250-450°F)에서, 바람직하게는 약 191°C (375°F)에서, 약 1시간 동안 뜨임하는 것이 유익하다고 생각된다.
- [0097] 표 11의 평균  $V_{50}$  탄도 한계값은 MIL-A-46099C 하에서 샘플들에 대한 필요  $V_{50}$  탄도 한계값보다 119.6fps 큰 값이다. 따라서, 표 11의 실험 데이터는 본 발명에 따른 강철 장갑의 실시예들이 MIL-A-46099C 하의 필요값에 근접하거나 초과하는  $V_{50}$  속도를 가짐을 보인다. 대조적으로, 고속으로 냉각된 샘플들에 대한 표 10에 열거된 평균  $V_{50}$  탄도 한계값은 규격의 필요값보다 2fps만 컸고, 샘플들은 허용할 수 없는 다중-타격 균열 저항력을 겪었다. MIL-A-46099C의  $V_{50}$  탄도 한계값 요구조건이 규격 MIL-DTL-46100E보다 약 300-400fps 크다고 주어지면, 본 발명에 따른 다양한 강철 장갑 실시예들은 MIL-A-46100E의 필요값들도 근접하거나 만족한다. 비록 본원에서 본 발명을 제한하고자 하는 것은 아니지만,  $V_{50}$  탄도 한계값은 바람직하게는 MIL-A-46099C의 필요값보다 150fps 이상 작지 않다. 달리 말해,  $V_{50}$  탄도 한계값은 바람직하게는 최소 균열 전파로 적어도 규격 MIL-A-46099C의 필요  $V_{50}$  값보다 150fps 작은 값만큼 크다.
- [0098] 표 11의 실시예들의 평균 관통 저항 성능은 상당히 특정한 더 고가의 고합금 장갑 재료들, 또는 K-12<sup>®</sup> 이중 경도 장갑판에 적어도 비견할 수 있다고 생각된다. 요약하면, 비록 표 11의 강철 장갑 샘플들이 표 9와 표 10의 샘플들보다 훨씬 낮은 표면 경도를 갖지만, 이들은 특정한 고가의 고합금 장갑 합금의 탄도 저항에 비할 수 있는, 감소된 균열 전파 정도와 함께, 예상외로 상당히 큰 탄도 관통 저항력을 보였다.
- [0099] 어떤 특정 이론에 묶이고자 하는 것은 아니지만, 본 발명자들은 본 발명에 따른 강철 장갑들의 독특한 조성과 오스테나이트화 온도로부터 장갑들을 냉각시키는 신규한 접근법은 예상외의 높은 관통 저항력을 갖는 강철 장갑을 제공하는데 중요하다고 생각한다. 본 발명자들은 표 11의 샘플들의 상당한 탄도 충격 성능이 표 9와 표 10의 샘플들에 대해 샘플들의 낮은 경도의 함수만이 아님을 관찰했다. 사실상, 하기의 표 12에 보인 바와 같이, 표 9의 샘플 중 일부는 표 11의 샘플의 뜨임-후 경도와 실질적으로 같은 뜨임-후 경도를 가졌지만, 표 9 및 표 10의 샘플들과는 오스테나이트화 온도로부터 상이하게 냉각된 표 11의 샘플들은 낮은 균열 정도를 갖는 상당히 높은

V<sub>50</sub> 탄도 한계값을 가졌다. 그러므로, 어떤 특정 이론에 묶이고자 하는 것은 아니지만, 표 11의 관통 저항력의 상당한 개선은 실온으로 냉각 중에 재료가 부가적으로 자동-뜨임되게 하고 신규한 냉각 방식 중에 발생하는 기대하지 않은 큰 미세구조 변화에 기인할 수 있다고 생각된다.

[0100] 본 발명의 시험에서 냉각 곡선이 냉각 랙 상에서 수평 배향으로 서로 접촉하게 샘플들을 배치하여 종래의 공기 담금질 단계로부터 수정되었지만, 본원에서 설명한 본 발명자들의 관찰에 근거하여 종래의 냉각 곡선을 수정하는 다른 수단이 본 발명에 따른 합금들의 탄도 충격 성능에 유익하게 영향을 미치는데 사용될 수 있다고 생각된다. 합금들의 냉각 곡선을 유익하게 수정할 수 있는 방식들의 예들에는 오스테나이트화 온도로부터 합금을 냉각하는 단계의 일부 또는 전부 중에, 예를 들어, Kaowool 재료와 같은 열 절연 재료로 합금을 덮거나 제어된 냉각 영역에서 오스테나이트화 온도로부터 냉각이 포함된다.

표 12

[0101]

| 표 9-선택된 샘플들         |                                      | 표 11-선택된 샘플들        |                                      |
|---------------------|--------------------------------------|---------------------|--------------------------------------|
| 뜨임 후 평균 경도<br>(BHN) | V <sub>50</sub><br>(46099C)<br>(fps) | 뜨임 후 평균 경도<br>(BHN) | V <sub>50</sub><br>(46099C)<br>(fps) |
| 640                 | +3                                   | 640                 | +198                                 |
| 608                 | -155                                 | 607                 | +108                                 |
| 601                 | -61                                  | 601                 | +97                                  |
| 601                 | -142                                 | 601                 | -24                                  |
|                     |                                      | 601                 | +133                                 |
|                     |                                      | 601                 | +138                                 |

[0102] 장갑 응용예에서 고 경도에 의해 얻어지는 장점들의 관점에서, 본 발명에 따른 저합금강은 적어도 550BHN의 경도를 가질 수 있고, 다양한 실시예들에서 적어도 570 BHN 또는 600BHN의 경도를 가질 수 있다. 상술한 시험 결과들과 본 발명자들의 관찰에 근거하여, 본 발명에 따른 강철은 550 BHN이상 및 700 BHN이하인 경도를 가질 수 있고, 다양한 실시예들에서 적어도 550 또는 570 BHN 이상 및 675 BHN이하인 경도를 가질 수 있다. 다양한 다른 실시예들에 따라, 본 발명에 따른 강철은 적어도 600 BHN이고 675 BHN 이하인 경도를 갖는다. 경도는 탄도 충격 성능을 설정하는데에서도 중요한 역할을 한다. 그러나, 본 방법들에 따라 제조된 실험 장갑 합금은 샘플들을 냉각하는 신규한 방식에 기인한 미세구조 변화로부터 예상외의 상당한 관통 저항력을 유도하고, 이는 공기중에서 오스테나이트화 온도로부터 샘플들을 냉각하는 종래의 단계를 특징으로 하는 곡선으로부터 샘플의 냉각 곡선을 수정한다.

[0103] b. 시험 2

[0104] 본 발명에 따라 합금의 탄도 관통 저항의 예상외의 개선에 대해 적어도 부분적인 역할이 있을 수 있는 오스테나이트화 온도로부터 냉각된 합금들의 냉각 곡선들에 대한 특정 변화들을 조사하기 위해 실험 시험이 수행되었다. 표 2에 보인 실제 화학성질을 갖는 3개의 0.310인치 샘플 판들의 2개의 그룹이 35분±5분동안 1600±10°F(871±6°C) 오스테나이트화 온도로 가열되었다. 이 그룹들은 오스테나이트화 온도로부터 샘플들의 냉각 곡선에 영향을 주기 위해 2개의 상이한 배치로 노 트레이(furnace tray) 상에 정리되었다. 도 10에 예시한 제 1 배치에서, 3개의 샘플(DA-7, DA-8, 그리고 DA-9)이 샘플들 간에 최소 1인치 간격으로 수직으로 랙에 배치되었다. 제 1 열전대("채널 1"로 불림)가 랙에 배치된 샘플들의 중간 샘플(DA-8)의 면 상에 배치되었다. 제 2 열전대(채널 2)가 외측 판(DA-7)의 외측면(즉, 중간 판을 마주하지 않는) 상에 배치되었다. 도 11에 보인, 제 2 배치에서, 3개의 샘플들이 서로 수평으로 접촉하여 적층되어 있고, 샘플 DA-10이 하부, 샘플 BA-2가 상부, 샘플 BA-1이 중간이다. 제 1 열전대(채널 3)가 하부 샘플의 상부 표면에 배치되었고, 제 2 열전대(채널 4)가 상부 샘플의 하부 표면(중간 샘플의 상부 표면 반대쪽)에 배치되었다. 샘플들의 각각의 배치가 오스테나이트화 온도로 가열되고 유지된 후, 샘플 트레이가 노에서 제거되고 샘플이 300°F(149°C) 이하일 때까지 정체 공기 중에 냉각되었다.

[0105] 경도(BHN)는 오스테나이트화 온도로부터 실온으로 샘플을 냉각시킨 후, 다시 각각의 오스테나이트화된 샘플이 225°F(107°C)에서 60분간 뜨임된 후, 각각의 샘플의 모서리 위치들에서 평가되었다. 결과들이 표 13에 보인다.

표 13

[0106]

| 샘플들        | 오스테나이트화 온도로부터 냉각 후 샘플 모서리들에서 경도(BHN) |     |     |     | 뜨임 처리 후 샘플 모서리들에서 경도(BHN) |     |     |     |
|------------|--------------------------------------|-----|-----|-----|---------------------------|-----|-----|-----|
| 수직 적층      |                                      |     |     |     |                           |     |     |     |
| DA-7       | 653                                  | 601 | 653 | 653 | 653                       | 627 | 601 | 627 |
| DA-8       | 627                                  | 601 | 653 | 627 | 653                       | 627 | 653 | 653 |
| DA-9       | 653                                  | 653 | 653 | 627 | 601                       | 627 | 601 | 627 |
| 수평 적층      |                                      |     |     |     |                           |     |     |     |
| DA-10 (하부) | 653                                  | 653 | 627 | 627 | 653                       | 627 | 601 | 653 |
| BA-1 (중간)  | 653                                  | 653 | 653 | 653 | 682                       | 682 | 653 | 653 |
| BA-2 (상부)  | 712                                  | 653 | 653 | 653 | 653                       | 653 | 653 | 653 |

[0107]

도 12에 도시된 냉각 곡선은 약 200-400°F(93-204°C) 범위의 온도에 도달할 때까지 오스테나이트화 노로부터 샘플들이 제거된 직후의 시간으로부터 각각의 채널 1-4에서 기록된 샘플 온도를 도시한다. 도 12는 합금에 대한 가능한 연속 냉각 변환(CCT) 곡선을 또한 보이고, 이는 고온으로부터 냉각될 때 합금에 대한 다양한 상 영역들을 보여준다. 도 13은 채널 1-4에 대한 각각의 냉각 곡선들이 이론적 CCT 곡선과 교차하는 영역을 포함하는 도 11의 냉각 곡선의 일부분의 상세도를 보인다. 유사하게, 도 14는 500-900°F(260-482°C) 샘플 온도 범위에서, 도 12에 보인 CCT 곡선들과 냉각 곡선의 일부를 보인다. 채널 1과 2(수직으로 랙에 배치된 샘플들)에 대한 냉각 곡선들은 채널 3과 4(적층된 샘플들)에 대한 곡선들과 유사하다. 그러나, 채널 1과 2에 대한 곡선들은 채널 3과 4에 대한 곡선들과 상이한 경로들을 따르고, 특히 (냉각 단계 시작 중에) 냉각 곡선들의 초기 부분에서 그러하다.

[0108]

이후에, 채널 1과 2에 대한 곡선들의 형상들은 채널 3과 4에 대한 것보다 빠른 냉각 속도를 반영한다. 예를 들어, 개개의 채널 냉각 곡선들이 CCT 곡선과 먼저 교차하는 냉각 곡선의 영역에서, 채널 1과 2(수직으로 랙에 배치된 샘플들)에 대한 냉각 속도는 약 136°F/min(75.6°C/min)이었고, 채널 3과 4(적층된 샘플들)에 대해 각각 약 98°F/min(54.4°C/min)과 약 107°F/min(59.4°C/min)이었다. 기대한 바와 같이, 채널 3과 4에 대한 냉각 속도들은 상술한 2개의 적층된 판(111°F/min(61.7°C/min))과 5개 적층된 판(95°F/min(52.8°C/min))에 관한 냉각 시험들에 대해 측정된 냉각 속도들 사이에 든다. 2개의 적층된 판("2PI")과 5개의 적층된 판("5PI") 냉각 시험들에 대한 냉각 곡선들도 도 12-도 14에 도시되어 있다.

[0109]

채널 1-4에 대한 도 12-도 14에 도시된 냉각 곡선들은 모든 냉각 속도들이 크게 다르지 않음을 보여준다. 그러나, 도 12와 도 13에 도시된 바와 같이, 각각의 곡선은 처음에 상이한 지점들에서 CCT 곡선과 교차하며, 상이한 전이양(amounts of transition)을 나타내고, 이는 샘플들의 상대적 미세구조에 크게 영향을 미칠 수 있다. CCT 곡선의 교차점에서의 편차는 샘플이 고온에 있을 때 발생하는 냉각 정도에 의해 대부분 정해진다. 그러므로, 샘플이 노에서 제거된 비교적 직후의 기간에서 발생하는 냉각량은 샘플들의 최종 미세구조에 크게 영향을 미칠 수 있고, 이는 본원에서 설명하는 탄도 관통 저항력의 예상외의 개선을 결국 제공하거나 기여할 수 있다. 그러므로, 실험 시험은 샘플이 오스테나이트 온도로부터 냉각되는 방식이 합금 미세구조에 영향을 미칠 수 있고, 이는 본 발명에 따른 장갑 합금의 개선된 탄도 충격 성능에 대해 적어도 부분적으로 역할이 있음을 확인한다.

[0110]

# 5. 종래의 냉각 및 뜨임 시험들

[0111]

탄도 충격 시험 패넌들이 상기 표 2에 보인 실험 화학성질을 갖는 합금으로부터 준비되었다. 합금 잉곳들은 전기 아크로에서 용융되고 AOD 또는 AOD와 ESR을 사용하여 정련되어 준비되었다. 잉곳 표면들은 종래의 방법에 따라 연마되었다. 그 다음에 잉곳들은 약 1300°F(704°C)로 가열되고, 균질화되고, 이 제 1 온도에서 6 내지 8시간 동안 유지되고, 약 2050°F(1121°C)까지 200°F/hour(93°C/hour)로 가열되고, 인치 두께당 약 30-40분간 이 제 2 온도에서 유지되었다. 그 다음에 잉곳들은 녹-제거되고 6-7인치 슬래브(15.2-17.8cm)로 열간 압연되었다. 슬래브들은 약 6-7인치 두께, 38-54인치(96.5-137.2cm) 길이, 및 36인치(91.4cm) 폭의 치수를 갖는 슬래브를 형성

하도록 열간 전단되었다.

[0112] 슬래브들은 약 1.50-2.65인치(3.81-6.73cm) 두께의 리-슬래브로 이후에 추가 열간 압연하기 전에 1-2시간동안 약 2050°F(1121°C)(일정온도에서의 시간)로 재가열된다. 리-슬래브는 종래의 방법에 따라 응력 제거 풀림되었다. 그 다음에 리-슬래브는 블래스트 클리닝되고 에지들과 단부들이 연마되었다.

[0113] 리-슬래브는 약 1800°F(982°C)로 가열되고 인치 두께당 20분간 일정 온도에서 유지되었다. 그 다음에 슬래브는 약 0.188인치(4.8mm) 내지 약 0.300인치(7.6mm) 범위의 최종 게이지 두께를 갖는 긴 판들로 마무리 압연되었다.

[0114] 그 다음에 판들은 판들의 표면들이 오스테나이트화 온도의 10°F 내에 도달할 때 시작하여, 60분(±5분)간 788°C(1450°F) 내지 899°C(1650°F)(±10°F)의 범위의 온도로 가열하여 구조용 강철 합금을 오스테나이트화하도록 노에 배치된다. 판들은 60분의 일정온도시간 후에 노에서 제거되고 종래 방식으로 정체 공기중에서 실온으로 냉각된다. 실온으로 냉각된 후, 판들은 청소 및 녹제거를 위해 블래스트 샷된다.

[0115] 그 다음에 판들은 121°C(250°F) 내지 260°C(500°F)(±5°F)의 범위의 온도로 450분 내지 650분(±5분)의 일정온도에서의 시간동안 뜨임된다. 뜨임된 판들은 0.188-0.300인치 범위의 다양한 마무리된 게이지 두께를 갖는 12인치×12인치(30.5×30.5cm)로 절단된다. 6개의 12인치×12인치 판들이 경도 시험 및 탄도 관통 저항 시험을 위해 선택되었다. 각각의 뜨임된 판의 BHN은 ASTM E-10에 따라 측정되었다. 각각의 판에 대한 V<sub>50</sub> 탄도 한계(보호)값은 미군 규격(예를 들어, MIL-DTL-46100E, MIL-A-46099C, MIL-DTL-32332)에 따라 .30 구경 M2, AP 발사체를 사용하여 측정되었다.

[0116] 모두 6개 판들이 뜨임 온도 및 압연된 마무리 게이지를 제외하고 일반적으로 동일한 방법들을 사용하여 처리되었다. 각각의 판에 대해 결정된 판 두께, 뜨임 파라미터, 및 뜨임되었을 때의 BHN은 표 14에 제공되어 있고 탄도 충격 시험의 결과들은 표 15에 제공되어 있다.

표 14

[0117]

| 판        | 공칭 게이지<br>(인치) | 평균 두께<br>(인치) | 뜨임 온도<br>(°F) | 일정온도 시간<br>(분) | BHN |
|----------|----------------|---------------|---------------|----------------|-----|
| 1005049A | 0.188          | 0.192         | 350           | 480            | 578 |
| 1005049B | 0.236          | 0.240         | 350           | 480            | 601 |
| 1005049C | 0.250          | 0.254         | 350           | 480            | 601 |
| 1005049G | 0.188          | 0.195         | 335           | 480            | 578 |
| 1005049H | 0.236          | 0.237         | 335           | 480            | 601 |
| 1005049I | 0.250          | 0.252         | 335           | 480            | 601 |

표 15

[0118]

| 판        | 측정된 V <sub>50</sub> 탄도<br>한계<br>(fps) | MIL-DTL-46100E에<br>따른 최소 V <sub>50</sub> 탄도<br>한계<br>(fps) | MIL-A-46099C에 따<br>른 최소 V <sub>50</sub> 탄도<br>한계<br>(fps) | MIL-DTL-<br>32332(Class 1)<br>에 따른 최소 V <sub>50</sub><br>탄도 한계<br>(fps) | MIL-DTL-<br>32332(Class 2)에<br>따른 최소 V <sub>50</sub> 탄<br>도 한계<br>(fps) |
|----------|---------------------------------------|------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|
| 1005049A | 2246                                  | 1765                                                       | 2280                                                      | 2103                                                                    | 2303                                                                    |
| 1005049B | 2565                                  | 2162                                                       | 2574                                                      | 2445                                                                    | 2645                                                                    |
| 1005049C | 2613                                  | 2258                                                       | 2653                                                      | 2520                                                                    | 2720                                                                    |
| 1005049G | 2240                                  | 1793                                                       | 2299                                                      | 2129                                                                    | 2329                                                                    |
| 1005049H | 2562                                  | 2140                                                       | 2557                                                      | 2428                                                                    | 2628                                                                    |
| 1005049I | 2703                                  | 2245                                                       | 2642                                                      | 2510                                                                    | 2710                                                                    |

[0119] 도 15-도 20은 미군 규격에 따른 탄도 충격 시험 후에 취한, 판 1005049A-C와 1005049G-I 각각의 사진들이다. 사진들에 보이듯이, 판들은 여러 번의 .30 구경 AP 발사체 충돌로 인해 어떠한 관측가능한 균열 또는 균열 전파도 보이지 않았다. 상기 표 14에 보인 바와 같이, 각각의 판은 570 BHN을 초과했고, 6개 판 중 4개가 600 BHN을 초과했다.

[0120] 표 16은 미군 규격(MIL-DTL-46100E, MIL-A-46099C, 그리고 MIL-DTL-32332)에 따른 최소 V<sub>50</sub> 탄도 한계값과 측정

된  $V_{50}$  탄도 한계값 간의 차이로서 탄도 충격 시험의 결과들을 열거한다. 예를 들어, "481"의 값은 특정한 판에 대한  $V_{50}$  값이 지시한 미군 규격 하의 최소 필요  $V_{50}$  한계값보다 481 ft/s만큼 초과했음을 의미한다. "-34"의 값은 그 특정한 판에 대한  $V_{50}$  값이 지시한 미군 규격 하의 최소 필요  $V_{50}$  한계값보다 34 ft/s만큼 작았음을 의미한다.

표 16

| 판        | 측정된 $V_{50}$ 탄도 한계 (fps) | MIL-DTL-46100E에 따른 최소 $V_{50}$ 과 측정된 $V_{50}$ 간의 차이 (fps) | MIL-A-46099C에 따른 최소 $V_{50}$ 과 측정된 $V_{50}$ 간의 차이 (fps) | MIL-DTL-32332(Class 1)에 따른 최소 $V_{50}$ 과 측정된 $V_{50}$ 간의 차이 (fps) | MIL-DTL-32332(Class 2)에 따른 최소 $V_{50}$ 과 측정된 $V_{50}$ 간의 차이 (fps) |
|----------|--------------------------|-----------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| 1005049A | 2246                     | 481                                                       | -34                                                     | 143                                                               | -57                                                               |
| 1005049B | 2565                     | 403                                                       | -9                                                      | 120                                                               | -80                                                               |
| 1005049C | 2613                     | 355                                                       | -40                                                     | 93                                                                | -107                                                              |
| 1005049G | 2240                     | 447                                                       | -59                                                     | 111                                                               | -89                                                               |
| 1005049H | 2562                     | 422                                                       | 5                                                       | 134                                                               | -66                                                               |
| 1005049I | 2703                     | 458                                                       | 61                                                      | 193                                                               | -7                                                                |

표 16에 보이듯이, 각각의 판들은 미군 규격 MIL-DTL-46100E, MIL-DTL-32332(Class 1)에 따른 최소  $V_{50}$  탄도 한계값을 초과했다. 6개 판 중 2개는 MIL-A-46099C에 따른 최소  $V_{50}$  탄도 한계값을 초과했다. 각각의 판들은 적어도 MIL-DTL-32332 하의 Class 2 성능 요구조건과 MIL-A-46099C 하의 성능 요구조건들보다 150fps 작은  $V_{50}$  탄도 한계값만큼 큰  $V_{50}$  탄도 한계값을 보였다. 사실상, 각각의 판은 적어도 MIL-DTL-32332 하의 Class 2 성능 요구조건보다 110fps 작은, 및 MIL-A-46099C 하의 성능 요구조건들보다 60 fps 작은  $V_{50}$  탄도 한계값만큼 큰  $V_{50}$  탄도 한계값을 보였다.

상술한 예상외의 놀라운 탄도 충격 성능 특성들은 탄도 충격 시험 중에 관측가능한 균열을 보이지 않는 600 BHN 근처 또는 600 BHN 이상의 초고경도 합금 강판으로 달성되었다. 이러한 특징값들은 오스테나이트화 열처리, 합금을 경화하기 위해 냉각, 상기 합금의 인성을 높이기 위한 뜨임 처리를 이용하여 달성되었다. 합금 추가, 예를 들어, 니켈, 크롬, 및 몰리브덴은 오스테나이트화 열처리 중에 형성되는 오스테나이트를 안정화시키는 경향이 있다고 생각된다. 오스테나이트의 안정화는 오스테나이트화 온도로부터 냉각 중에 오스테나이트의 다른 미세구조들로의 전이를 느리게 하는 경향이 있을 수 있다. 오스테나이트의 변이율의 감소는 페라이트와 세멘타이트가 풍부한 미세구조물을 형성하는 경향이 있는 더 느린 냉각 속도를 사용하여 마텐자이트를 형성할 수 있게 한다.

열팽창 측정은 상기 표 2에 보인 실험 화학성질을 갖는 합금에서 수행되었다. 열팽창 측정은 오스테나이트화 온도(788°C(1450°F)-899°C(1650°F))에서 시작하여 거의 실온까지의 냉각 범위에 걸쳐 수행되었다. 열팽창 측정은 온도 범위 149°C-302°C(300°F-575°F)에서 합금에 적어도 하나 이상의 상 전이가 일어남을 보인다. 상 전이는 오스테나이트 상으로부터 하부 베이나이트 상, 라스 마텐자이트 상, 또는 하부 베이나이트 및 라스 마텐자이트 모두의 조합으로라고 생각된다.

일반적으로, 표 2에 보인 실험 화학성질을 갖는 합금이 한계 냉각 속도(예를 들어, 정체 공기 중) 이상의 냉각 속도에서 오스테나이트화 온도로부터 냉각될 때, 오스테나이트 상은 비교적 경질의 쌍정형 마텐자이트 상과 잔류 오스테나이트로 변환한다. 잔류 오스테나이트는 시간에 걸쳐 뜨임되지 않은 쌍정형 마텐자이트로 변환될 수 있다. 관측가능한 상 전이 근처의 온도에서 공개되는 합금의 뜨임(예를 들어, 121°C(250°F)-260°C(500°F) 범위의 온도에서 뜨임)은 잔류 오스테나이트를 하부 베이나이트 및/또는 라스 마텐자이트로 변환할 수 있다고 생각된다. 하부 베이나이트와 라스 마텐자이트 미세구조들은 훨씬 경질인 쌍정형 마텐자이트 미세구조보다 상당히 더 연성과 인성이 높다.

결과적으로 본 발명의 다양한 실시예들에 따른 합금은 121°C(250°F)-260°C(500°F) 범위의 온도에서 뜨임 후에 쌍정형 마텐자이트, 라스 마텐자이트, 및/또는 하부 베이나이트를 포함하는 미세구조를 가질 수 있다. 이는 경질의 쌍정형 마텐자이트 미세구조와, 인성과 연성이 더 높은 하부 베이나이트 및/또는 라스 마텐자이트 미세구조의 상승 조합을 갖는 강철 합금이 될 수 있다. 경도, 인성, 및 연성의 상승 조합은 본원에서 설명하는 바와

같이 합금들에 우수한 탄도 관통 및 균열 저항 특성들을 부여할 수 있다.

- [0127] 다양한 실시예들에서, 본원에서 설명하는 바와 같은 합금을 포함하는 물품들은 합금 미세구조를 오스테나이트화 하도록 788℃(1450°F)-899℃(1650°F)의 온도로 가열될 수 있다. 다양한 실시예들에서, 합금 물품들은 합금을 오스테나이트화하기 위해 적어도 15분의 최소 노 시간, 적어도 18분의 최소 노 시간, 또는 적어도 21분의 최소 노 시간 동안 가열될 수 있다. 다양한 실시예들에서, 합금 물품들은 합금을 오스테나이트화하기 위해 15-60분 또는 15-30분의 최소 노 시간 동안 가열될 수 있다. 예를 들어, 0.188-0.225인치의 게이지 두께를 갖는 합금 판들이 788℃(1450°F)-899℃(1650°F)의 온도에서 적어도 18분의 최소 노 시간 동안 가열될 수 있고, 0.226-0.313인치의 게이지 두께를 갖는 합금 판들이 합금을 오스테나이트화하기 위해 788℃(1450°F)-899℃(1650°F)의 온도에서 적어도 21분의 최소 노 시간 동안 가열될 수 있다. 다양한 실시예들에서, 합금 물품들은 합금을 오스테나이트화하기 위해 15-60분 또는 15-30분의 최소 노 시간 동안 788℃(1450°F)-899℃(1650°F)에서 유지될 수 있다.
- [0128] 합금 물품들은 합금을 경화하기 위해 정체 공기 중에서 오스테나이트화 온도로부터 실온으로 냉각될 수 있다. 시트 또는 판을 포함하는 합금 물품들의 냉각 중에 물품에 기계적 힘을 가하여 평편해질 수 있다. 예를 들어, 물품들이 정체 공기 중에서 600 내지 700°F(316 내지 371℃)의 표면 온도로 냉각된 후, 판들은 평탄화/수평화 장치에서 평탄화될 수 있다. 평탄화 작업은 물품들의 주요 평면 표면에 기계적 힘을 가하는 것을 포함할 수 있다. 기계적 힘은 예를 들어, 압연 작업, 잡아당기는 작업, 및/또는 압축 작업을 사용하여 적용될 수 있다. 기계적 힘은 물품들의 게이지 두께가 평탄화 작업 중에 감소되지 않도록 적용된다. 물품들은 평탄화 작업 중에 계속 냉각되고, 이는 물품들의 표면 온도가 121℃(250°F) 아래로 떨어진 후에 중단될 수 있다. 물품들은 냉각되는 물품의 표면 온도가 93℃(200°F) 아래일 때까지 함께 적층되지 않는다.
- [0129] 다양한 실시예들에서, 합금 물품은 121℃(250°F) 내지 260℃(500°F) 범위의 온도에서 뜨임될 수 있다. 다양한 실시예들에서, 합금 물품은 149℃(300°F) 내지 204℃(400°F) 범위의 온도에서 뜨임될 수 있다. 다양한 실시예들에서, 합금 물품은 예를 들어, 163℃(325°F) 내지 191℃(375°F), 113℃(235°F) 내지 177℃(350°F), 또는 169℃(335°F) 내지 177℃(350°F) 범위의 온도에서 뜨임될 수 있다. 다양한 실시예들에서, 합금 물품은 일정 온도에서 450-650분의 시간동안 뜨임될 수 있다. 다양한 실시예들에서, 합금 물품은 일정 온도에서 480-600분의 시간동안 뜨임될 수 있다. 다양한 실시예들에서, 합금 물품은 일정 온도에서 450-500분의 시간동안 뜨임될 수 있다.
- [0130] 다양한 실시예들에서, 본원에서 설명하는 바와 같이 처리되는 합금 물품은 합금 시트 또는 합금 판을 포함할 수 있다. 다양한 실시예들에서, 합금 물품은 0.118-0.630인치(3-16mm)의 평균 두께를 갖는 합금 판을 포함할 수 있다. 다양한 실시예들에서, 합금 물품은 0.188-0.300인치의 평균 두께를 갖는 합금 판을 포함할 수 있다. 다양한 실시예들에서, 합금 물품은 550 BHN, 570 BHN, 또는 600 BHN 이상의 경도를 가질 수 있다. 다양한 실시예들에서 합금 물품은 700 BHN 또는 675 BHN 이하의 경도를 가질 수 있다. 다양한 실시예들에서, 합금 물품은 강철 장갑 판을 포함할 수 있다.
- [0131] 다양한 실시예들에서, 본원에 설명하는 바와 같이 처리된 합금 물품은 미군 규격 MIL-DTL-46100E와 MIL-DTL-32332(Class 1)에 따른 최소  $V_{50}$  탄도 한계값을 초과하는  $V_{50}$  값을 보일 수 있다. 다양한 실시예들에서, 본원에 설명하는 바와 같이 처리된 합금 물품은 규격 MIL-DTL-46100E에 따른 최소  $V_{50}$  탄도 한계값을 적어도 300, 적어도 350, 적어도 400, 또는 적어도 450fps만큼 초과하는  $V_{50}$  값을 보일 수 있다. 다양한 실시예들에서, 본원에 설명하는 바와 같이 처리된 합금 물품은 규격 MIL-DTL-32332(Class 1)에 따른 최소  $V_{50}$  탄도 한계값을 적어도 50, 적어도 100, 또는 적어도 150fps만큼 초과하는  $V_{50}$  값을 보일 수 있다. 다양한 실시예들에서, 본원에 설명하는 바와 같이 처리된 합금 물품은 여러 번의 장갑 관통 발사체 충돌로 발생하는 낮은, 최소의, 또는 제로 균열 또는 균열 전파를 보일 수 있다.
- [0132] 다양한 실시예들에서, 본원에 설명하는 바와 같이 처리된 합금 물품은 규격 MIL-A-46099C에 따른 최소  $V_{50}$  탄도 한계값을 초과하는  $V_{50}$  값을 보일 수 있다. 다양한 실시예들에서, 본원에 설명하는 바와 같이 처리된 합금 물품은 적어도 규격 MIL-A-46099C 및 MIL-DTL-32332(Class 2)의 성능 요구조건보다 150fps 작은  $V_{50}$  탄도 한계값만큼 큰  $V_{50}$  값을 보일 수 있다. 다양한 실시예들에서, 본원에 설명하는 바와 같이 처리된 합금 물품은 적어도 MIL-A-46099C의 성능 요구조건보다 100fps 또는 60fps 적은  $V_{50}$  탄도 한계값만큼 큰  $V_{50}$  값을 보일 수 있다. 다양한 실시예들에서, 본원에 설명하는 바와 같이 처리된 합금 물품은 적어도 MIL-DTL-32332(Class 2)의 성능 요구조건보다 125fps 또는 110fps 작은  $V_{50}$  탄도 한계값만큼 큰  $V_{50}$  값을 보일 수 있다. 다양한 실시예들에서, 본

원에 설명하는 바와 같이 처리된 합금 물품은 여러 번의 장갑 관통 발사체 충돌로 발생하는 낮은, 최소의, 또는 제로 균열 또는 균열 전파를 보일 수 있다.

[0133] 다양한 실시예들에서, 본원에 설명하는 바와 같이 처리된 합금 물품은 라스 마텐자이트와 하부 베이나이트 중 적어도 하나를 포함하는 미세구조를 가질 수 있다. 다양한 실시예들에서, 본원에 설명하는 바와 같이 처리된 합금 물품은 라스 마텐자이트와 하부 베이나이트를 포함하는 미세구조를 가질 수 있다.

## [0134] 6. 장갑관 제조 방법들

[0135] 하기의 예시적 및 비-제한적 예들은 본 발명의 범위를 제한하지 않고 본원에 제공되는 다양한 실시예들을 추가로 설명하고자 한다. 예들은 고경도, 고인성, 탄도 저항, 및 균열 저항 장갑관들을 제조하는데 사용될 수 있는 공정들을 설명한다. 당업자는 예들의 변형예들이 예를 들어, 본원에 다양하게 설명된 것과 상이한 조성, 시간, 온도, 및 치수들을 사용하여 가능함을 이해할 것이다.

### [0136] a. 예 1

[0137] 표 17에 제시된 화학성질을 갖는 히트(heat)가 준비된다. 적절한 공급 재료가 전기 아크 로에서 용융된다. 히트가 레이들(ladle)에 부어지고 여기서 적절한 합금 추가물들이 용융물에 추가된다. 이 히트는 레이들로 전달되고 AOD 용기로 부어진다. 히트가 종래의 AOD 작업을 사용하여 탈탄화된다. 탈탄화된 히트는 레이들에 전달되고 잉곳 주형에 부어지고 잉곳을 형성하도록 고체화되게 한다. 잉곳은 주형으로부터 제거되고 ESR 노에 전달되고 여기서 잉곳이 다시 녹여지고 정련된 잉곳을 형성하도록 재성형될 수 있다. ESR 작업은 선택적이고 잉곳은 ESR 없이 고체화, AOD-후에 처리될 수 있다. 잉곳은 4500lbs의 공칭 중량과 13×36인치의 직사각형 치수를 갖는다.

표 17

| C    | Mn   | P     | S      | Si   | Cr   | Ni   | Mo   | Ce    | La    | N     | B     |
|------|------|-------|--------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|
| 0.50 | 0.50 | 0.009 | 0.0009 | 0.30 | 1.25 | 4.00 | 0.50 | 0.007 | 0.006 | 0.005 | 0.002 |

[0139] 잉곳은 7시간(최소 노 시간) 동안 704℃(1300°F)에서 노에서 가열되고, 이후에 잉곳이 200°F/hour로 1121℃(2050°F)까지 가열되고 잉곳 인치 두께당 35분동안 1121℃(2050°F)에서 유지된다(13인치, 455분). 잉곳은 녹제거되고 6×36×길이 인치 슬래브를 형성하도록 110-인치 압연 밀(mi11) 상에서 1121℃(2050°F)에서 열간 압연된다. 슬래브는 1.5시간 최소 노 시간동안 1121℃(2050°F) 노에서 재가열된다. 슬래브는 2.65×36×길이 인치 리-슬래브를 형성하도록 110인치 압연 밀 상에서 1121℃(2050°F)에서 열간 압연된다. 리-슬래브는 2개의 2.65×36×54인치 리-슬래브를 형성하도록 열간 전단된다. 리-슬래브는 종래의 방법을 사용하여 노에서 응력 제거 풀림된다. 리-슬래브는 블래스트 클리닝되고, 모든 에지와 단부는 연마되고, 리-슬래브는 982℃(1800°F)로 가열되고 인치 두께당 20분동안 982℃(1800°F)에서 유지된다(2.65인치, 53분).

[0140] 리-슬래브는 녹-제거되고 0.313×54×300인치 판을 형성하도록 110인치 압연 밀 상에서 982℃(1800°F)에서 열간 압연된다. 리-슬래브는 1425°F 이하에서 압연 작업을 마무리하는 것을 피하기 위해, 필요에 따라, 압연 밀 상의 통과 사이에서 982℃(1800°F)로 재가열된다.

[0141] 0.313×54×300인치 판은 판을 오스테나이트화하기 위해 1625°F에서 21분(최소 노 시간)동안 가열된다. 노는 1625°F로 예열되고 온도가 1625°F에서 안정화된 후 21분동안 판이 삽입된다. 판이 21분의 최소 노 시간 동안 1600-1625°F의 온도에 도달한다고 생각된다.

[0142] 21분의 최소 노 시간 완료 후, 오스테나이트화된 판이 노에서 제거되고 정제 공기 중에서 538℃(1000°F)로 냉각된다. 판이 538℃(1000°F)로 냉각된 후, 판은 Cauffiel<sup>TM</sup> 평탄화기로 오버헤드 크레인을 통해 수송된다. 판이 600°F-700°F에 도달한 후, 판은 판들의 54×300인치 평면들에 기계적 힘을 가해 평탄화기 상에서 평탄화된다. 기계적 힘은 판의 게이지 두께가 평탄화 작업 중에 감소되지 않도록 가해진다. 판은 평탄화 작업 중에 계속 냉각되고, 이는 판의 온도가 121℃(250°F) 이하로 떨어진 후에 중단된다. 판은 냉각되는 판의 온도가 200°F 이하일 때까지 적층되지 않는다.

[0143] 냉각된 판은 블래스트 클리닝되고 절단 연삭 작업을 사용하여 다양한 길이-대-폭 치수로 절단된다. 절단된 판은

노에서 335°F(±5°F)로 가열되고, 판을 뜨임하기 위해 335°F(±5°F)에서 480-600분(±5분)(일정 온도에서의 시간)동안 유지되고, 정체 공기 중에서 실온으로 냉각된다. 뜨임된 판은 적어도 550 BHN의 경도를 보인다.

[0144] 뜨임된 판은 고경도, 고인성, 우수한 탄도 저항, 및 우수한 균열 저항을 보이는 장갑판으로서 용도를 찾을 수 있다. 뜨임된 판은 규격 MIL-DTL-32332(Class 1)의 최소  $V_{50}$  탄도 한계값보다 큰  $V_{50}$  탄도 한계값을 보인다. 또한 뜨임된 판은 적어도 규격 MIL-DTL-32332(Class 2)의 필요  $V_{50}$  탄도 한계값보다 150ft/s 작은  $V_{50}$  탄도 한계값만큼 큰  $V_{50}$  탄도 한계값을 또한 보인다.

[0145] b. 예 2

[0146] 표 18에 제공된 화학성질을 갖는 히트가 준비된다. 적절한 공급 재료가 전기 아크 노에서 녹는다. 히트는 레이들에 부어지고 여기서 적절한 합금 추가물들이 용융물에 추가된다. 히트는 레이들로 전달되고 AOD 용기에 부어진다. 히트는 종래의 AOD 작업을 사용해 탈탄화된다. 탈탄화된 히트는 레이들에 전달되고 잉곳 주형에 부어지게 되고 여기서 잉곳이 다시 녹여지고 정련된 잉곳을 형성하도록 재성형될 수 있다. ESR 작업은 선택적이고 잉곳은 ESR 없이 고체화, AOD-후에 처리될 수 있다. 잉곳은 4500 lbs의 공칭 중량과 13×36인치의 직사각형 치수를 갖는다.

표 18

[0147]

| C    | Mn   | P     | S      | Si   | Cr   | Ni   | Mo   | Ce    | La    | N     | B     |
|------|------|-------|--------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|
| 0.49 | 0.20 | 0.009 | 0.0009 | 0.20 | 1.00 | 3.75 | 0.40 | 0.003 | 0.002 | 0.005 | 0.001 |

[0148] 잉곳은 6시간(최소 노 시간) 동안 1300°F에서 노에서 가열되고, 이후에 잉곳이 200°F/hour로 1121°C(2050°F)까지 가열되고 잉곳 인치 두께당 30분동안 1121°C(2050°F)에서 유지된다(13인치, 390분). 잉곳은 녹-제거되고 6×36×길이 인치 슬래브를 형성하도록 110-인치 압연 밀 상에서 1121°C(2050°F)에서 열간 압연된다. 슬래브는 1.5 시간동안 1121°C(2050°F) 노에서 재가열된다. 슬래브는 1.75×36×길이 인치 리-슬래브를 형성하도록 110인치 압연 밀 상에서 1121°C(2050°F)에서 열간 압연된다. 리-슬래브는 2개의 1.75×36×38인치 리-슬래브를 형성하도록 열간 전단된다. 리-슬래브는 종래의 방법을 사용하여 노에서 응력 제거 풀립된다. 리-슬래브는 블래스트 클리닝되고, 모든 에지와 단부는 연마되고, 리-슬래브는 인치 두께당 20분동안 982°C(1800°F)에서 유지된다(1.75 인치, 35분).

[0149] 리-슬래브는 녹-제거되고 0.188×54×222인치 판을 형성하도록 110인치 압연 밀 상에서 982°C(1800°F)에서 열간 압연된다. 리-슬래브는 1425°F 이하에서 압연 작업을 마무리하는 것을 피하기 위해, 필요에 따라, 압연 밀 상의 통과 사이에서 982°C(1800°F)로 재가열된다.

[0150] 0.188×54×222인치 판은 판을 오스테나이트화하기 위해 1600°F에서 18분(최소 노 시간)동안 가열된다. 노는 1600°F로 예열되고 온도가 1600°F에서 안정화된 후 18분동안 판이 삽입된다. 판이 18분의 최소 노 시간 동안 1575-1600°F의 온도에 도달한다고 생각된다.

[0151] 18분의 최소 노 시간 완료 후, 오스테나이트화된 판이 노에서 제거되고 정체 공기중에서 538°C(1000°F)로 냉각된다. 판이 538°C(1000°F)로 냉각된 후, 판은 Cauffiel<sup>TM</sup> 평탄화기로 오버헤드 크레인을 통해 수송된다. 판이 600°F-700°F에 도달한 후, 판은 판들의 54×222인치 평면들에 기계적 힘을 가해 평탄화기 상에서 평탄화된다. 기계적 힘은 판의 게이지 두께가 평탄화 작업 중에 감소되지 않도록 가해진다. 판은 평탄화 작업 중에 계속 냉각되고, 이는 판의 온도가 121°C(250°F) 이하로 떨어진 후에 중단된다. 판은 냉각되는 판의 온도가 200°F 이하일 때까지 적층되지 않는다.

[0152] 냉각된 판은 블래스트 클리닝되고 절단 연삭 작업을 사용하여 다양한 길이-대-폭 치수로 절단된다. 절단된 판은 노에서 325°F(±5°F)로 가열되고, 판을 뜨임하기 위해 325°F(±5°F)에서 480-600분(±5분)(일정 온도에서 시간)동안 유지되고, 정체 공기 중에서 실온으로 냉각된다. 뜨임된 판은 적어도 550 BHN의 경도를 보인다.

[0153] 뜨임된 판은 고경도, 고인성, 우수한 탄도 저항, 및 우수한 균열 저항을 갖는 장갑판으로서 용도를 찾을 수 있다. 뜨임된 판은 규격 MIL-DTL-32332(Class 1)의 최소  $V_{50}$  탄도 한계값보다 큰  $V_{50}$  탄도 한계값을 보인다. 뜨임된 판은 규격 적어도 MIL-DTL-32332(Class 2)의 필요  $V_{50}$  탄도 한계값보다 150ft/s 작은  $V_{50}$  탄도 한계값만큼 큰

V<sub>50</sub> 탄도 한계값을 또한 보인다.

[0154] c. 예 3

[0155] 표 19에 제공된 화학성질을 갖는 히트가 준비된다. 적절한 공급 재료가 전기 아크 노에서 녹는다. 히트는 레이들에 부어지고 여기서 적절한 합금 추가물들이 용융물에 추가된다. 히트는 레이들로 전달되고 AOD 용기에 부어진다. 히트는 종래의 AOD 작업을 사용해 탈탄화된다. 탈탄화된 히트는 레이들에 전달되고 잉곳 주형에 부어지고 잉곳을 형성하도록 고체화되게 한다. 잉곳은 주형으로부터 제거되고 ESR 노에 전달되고 여기서 잉곳이 다시 녹여지고 정련된 잉곳을 형성하도록 재성형될 수 있다. ESR 작업은 선택적이고 잉곳은 ESR 없이 고체화, AOD-후에 처리될 수 있다. 잉곳은 4500 lbs의 공칭 중량과 13×36인치의 직사각형 치수를 갖는다.

표 19

[0156]

| C    | Mn   | P     | S     | Si   | Cr   | Ni   | Mo   | Ce   | La   | N     | B     |
|------|------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|
| 0.51 | 0.80 | 0.010 | 0.001 | 0.40 | 1.50 | 4.25 | 0.60 | 0.01 | 0.01 | 0.007 | 0.003 |

[0157] 잉곳은 8시간(최소 노 시간) 동안 1300°F에서 노에서 가열되고, 이후에 잉곳이 200°F/hour로 1121°C(2050°F)까지 가열되고 잉곳 인치 두께당 40분동안 1121°C(2050°F)에서 유지된다(13인치, 520분). 잉곳은 녹-제거되고 6×36×길이 인치 슬래브를 형성하도록 110-인치 압연 밀 상에서 1121°C(2050°F)에서 열간 압연된다. 슬래브는 1.5 시간동안 1121°C(2050°F) 노에서 재가열된다. 슬래브는 1.75×36×길이 인치 리-슬래브를 형성하도록 110인치 압연 밀 상에서 1121°C(2050°F)에서 열간 압연된다. 리-슬래브는 2개의 1.75×36×50인치 리-슬래브를 형성하도록 열간 전단된다. 리-슬래브는 종래의 관행을 사용하여 노에서 응력 제거 풀립된다. 리-슬래브는 블래스트 클리닝되고, 모든 에지와 단부는 연마되고, 리-슬래브는 982°C(1800°F)로 가열되고 인치 두께당 20분동안 982°C(1800°F)에서 유지된다(1.75인치, 35분).

[0158] 리-슬래브는 녹-제거되고 0.250×54×222인치 판을 형성하도록 110인치 압연 밀 상에서 982°C(1800°F)에서 열간 압연된다. 리-슬래브는 1425°F 이하에서 압연 작업을 마무리하는 것을 피하기 위해, 필요에 따라, 압연 밀 상의 통과 사이에서 982°C(1800°F)로 재가열된다.

[0159] 0.250×54×222인치 판은 판을 오스테나이트화하기 위해 885°C(1625°F)에서 21분(최소 노 시간)동안 가열된다. 노는 885°C(1625°F)로 예열되고 온도가 885°C(1625°F)에서 안정화된 후 21분동안 판이 삽입된다. 판이 21분의 최소 노 시간 동안 871-885°C(1600-1625°F)의 온도에 도달한다고 생각된다.

[0160] 21분의 최소 노 시간 완료 후, 오스테나이트화된 판이 노에서 제거되고 정체 공기 중에서 538°C(1000°F)로 냉각된다. 판이 538°C(1000°F)로 냉각된 후, 판은 Cauffiel<sup>TM</sup> 평탄화기로 오버헤드 크레인을 통해 수송된다. 판이 600°F-700°F에 도달한 후, 판은 판들의 54×222인치 평면들에 기계적 힘을 가해 평탄화기 상에서 평탄화된다. 기계적 힘은 판의 게이지 두께가 평탄화 작업 중에 감소되지 않도록 가해진다. 판은 평탄화 작업 중에 계속 냉각되고, 이는 판의 온도가 121°C(250°F) 이하로 떨어진 후에 중단된다. 판은 냉각되는 판의 온도가 200°F 이하 일 때까지 적층되지 않는다.

[0161] 냉각된 판은 블래스트 클리닝되고 절단 연삭 작업을 사용하여 다양한 길이-대-폭 치수로 절단된다. 절단된 판은 노에서 350°F(±5°F)로 가열되고, 판을 뜨임하기 위해 350°F(±5°F)에서 480-600분(±5분)(일정 온도에서 시간)동안 유지되고, 정적 공기 중에서 실온으로 냉각된다. 뜨임된 판은 적어도 550 BHN의 경도를 보인다.

[0162] 뜨임된 판은 고경도, 고인성, 우수한 탄도 저항, 및 우수한 균열 저항을 갖는 장갑판으로서 용도를 찾을 수 있다. 뜨임된 판은 규격 MIL-DTL-32332(Class 1)의 최소 V<sub>50</sub> 탄도 한계값보다 큰 V<sub>50</sub> 탄도 한계값을 보인다. 뜨임된 판은 적어도 규격 MIL-DTL-32332(Class 2)의 필요 V<sub>50</sub> 탄도 한계값보다 150ft/s 작은 V<sub>50</sub> 탄도 한계값만큼 큰 V<sub>50</sub> 탄도 한계값을 또한 보인다.

[0163] d. 예 4

[0164] 표 20에 제공된 화학성질을 갖는 히트가 준비된다. 적절한 공급 재료가 전기 아크 노에서 녹는다. 히트는 레이

들에 부어지고 여기서 적절한 합금 추가물들이 용융물에 추가된다. 히트는 레이들로 전달되고 AOD 용기에 부어진다. 히트는 종래의 AOD 작업을 사용해 탈탄화된다. 탈탄화된 히트는 레이들에 전달되고 잉곳 주형에 부어지고 8×38×115인치 잉곳을 형성하도록 고체화되게 한다. 잉곳은 주형으로부터 제거되고 ESR 노에 전달되고 여기서 잉곳이 다시 녹여지고 정련된 잉곳을 형성하도록 재성형될 수 있다. 정련된 잉곳은 9500 lbs의 공칭 중량과 12×42인치의 직사각형 치수를 갖는다.

표 20

| C    | Mn   | P     | S      | Si   | Cr   | Ni   | Mo   | Ce    | La    | N     | B     |
|------|------|-------|--------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|
| 0.50 | 0.50 | 0.009 | 0.0009 | 0.30 | 1.25 | 4.00 | 0.50 | 0.007 | 0.006 | 0.005 | 0.002 |

[0165]

[0166]

12×42인치 정련된 잉곳은 2.7×42×63인치 슬래브로 변환된다. 슬래브는 1시간(최소 노 시간) 동안 982℃(1800°F)에서 노에서 가열되고, 이후에 슬래브는 잉곳 인치 두께당 부가적인 20분동안 982℃(1800°F)에서 유지된다(2.7인치, 추가 54분). 슬래브는 녹-제거되고 1.5×42×길이 인치 리-슬래브를 형성하도록 110-인치 압연 밀 상에서 982℃(1800°F)에서 열간 압연된다. 리-슬래브는 2개의 1.5×42×48인치 리-슬래브를 형성하도록 열간 전단된다. 리-슬래브는 종래의 관행을 사용하여 노에서 응력 제거 풀립된다. 리-슬래브는 블래스트 클리닝되고, 모든 에지와 단부는 연마되고, 리-슬래브는 인치 두께당 20분동안 982℃(1800°F)에서 가열된다(1.5인치, 30분).

[0167]

리-슬래브는 녹-제거되고 0.238×54×222인치 판을 형성하도록 110인치 압연 밀 상에서 982℃(1800°F)에서 열간 압연된다. 리-슬래브는 1425°F 이하에서 압연 작업을 마무리하는 것을 피하기 위해, 필요에 따라, 압연 밀 상의 통과 사이에서 982℃(1800°F)로 재가열된다.

[0168]

0.238×54×222인치 판은 판을 오스테나이트화하기 위해 885℃(1625°F)에서 21분(최소 노 시간)동안 가열된다. 노는 885℃(1625°F)로 예열되고 온도가 885℃(1625°F)에서 안정화된 후 21분동안 판이 삽입된다. 판이 21분의 최소 노 시간 동안 1600-1625°F의 온도에 도달한다고 생각된다.

[0169]

21분의 최소 노 시간 완료 후, 오스테나이트화된 판이 노에서 제거되고 정적 공기 중에서 538℃(1000°F)로 냉각된다. 판이 538℃(1000°F)로 냉각된 후, 판은 Cauffiel<sup>TM</sup> 평탄화기로 오버헤드 크레인을 통해 수송된다. 판이 600°F-700°F에 도달한 후, 판은 판들의 54×222인치 평면들에 기계적 힘을 가해 평탄화기 상에서 평탄화된다. 기계적 힘은 판의 게이지 두께가 평탄화 작업 중에 감소되지 않도록 가해진다. 판은 평탄화 작업 중에 계속 냉각되고, 이는 판의 온도가 121℃(250°F) 이하로 떨어진 후에 중단된다. 판은 냉각되는 판의 온도가 200°F 이하 일 때까지 적층되지 않는다.

[0170]

냉각된 판은 블래스트 클리닝되고 절단 연삭 작업을 사용하여 다양한 길이-대-폭 치수로 절단된다. 절단된 판은 노에서 335°F(±5°F)로 가열되고, 판을 뜨임하기 위해 335°F(±5°F)에서 480-600분(±5분)(일정 온도에서 시간)동안 유지되고, 정적 공기 중에서 실온으로 냉각된다. 뜨임된 판은 적어도 550 BHN의 경도를 보인다.

[0171]

뜨임된 판은 고경도, 고인성, 우수한 탄도 저항, 및 우수한 균열 저항을 갖는 장갑판으로서 용도를 찾을 수 있다. 뜨임된 판은 규격 MIL-DTL-32332(Class 1)의 최소 V<sub>50</sub> 탄도 한계값보다 큰 V<sub>50</sub> 탄도 한계값을 보인다. 뜨임된 판은 적어도 규격 MIL-DTL-32332(Class 2)의 필요 V<sub>50</sub> 탄도 한계값보다 150ft/s 작은 V<sub>50</sub> 탄도 한계값만큼 큰 V<sub>50</sub> 탄도 한계값을 또한 보인다.

[0172]

본 발명에 따른 강철 장갑은 상당한 값을 제공할 수 있는데 왜냐하면 이들이 예를 들어, 니켈, 몰리브덴, 크롬과 같은 상당히 낮은 레벨의 비싼 합금 성분들을 포함하면서 고가의 고합금 장갑 합금과 적어도 상응하는 탄도 충격 성능을 보이기 때문이다. 더욱이, 본 발명에 따른 강철 장갑은 예를 들어, MIL-A-46099C에 설명된 요구조건들과 같은, 이중 경도, 압연-접합된 재료에 대한 미군 규격 요구조건과 적어도 상응하는 탄도 충격 성능을 보인다. 주어진 본 발명에 따른 강철 장갑의 실시예들의 성능 및 비용 장점으로, 이러한 장갑은 많은 기존의 장갑 합금에 비해 매우 큰 진보한 것으로 생각된다.

[0173]

본 발명에 따라 만들어진 합금 판과 다른 밀 제품들은 종래의 장갑 응용예들에 사용될 수 있다. 이러한 응용예에는 예를 들어, 전투 차량을 위한 장갑 외피 및 다른 구성요소들, 무기, 장갑문과 외피, 및 발사체 충돌, 폭발 블래스트, 및 다른 고에너지 습격으로부터의 보호를 요구 또는 유용하는 다른 제조 물품이 포함된다. 본 발명에 따른 합금에 대한 가능한 응용들의 이러한 예들은 예로서만 제공되었고, 본 발명의 합금이 적용될 수 있는 한정된 모든 응용예들이 아니다. 통상의 기술자들은 본원을 읽어 본원에 설명된 합금에 대한 부가적인 응용예들을

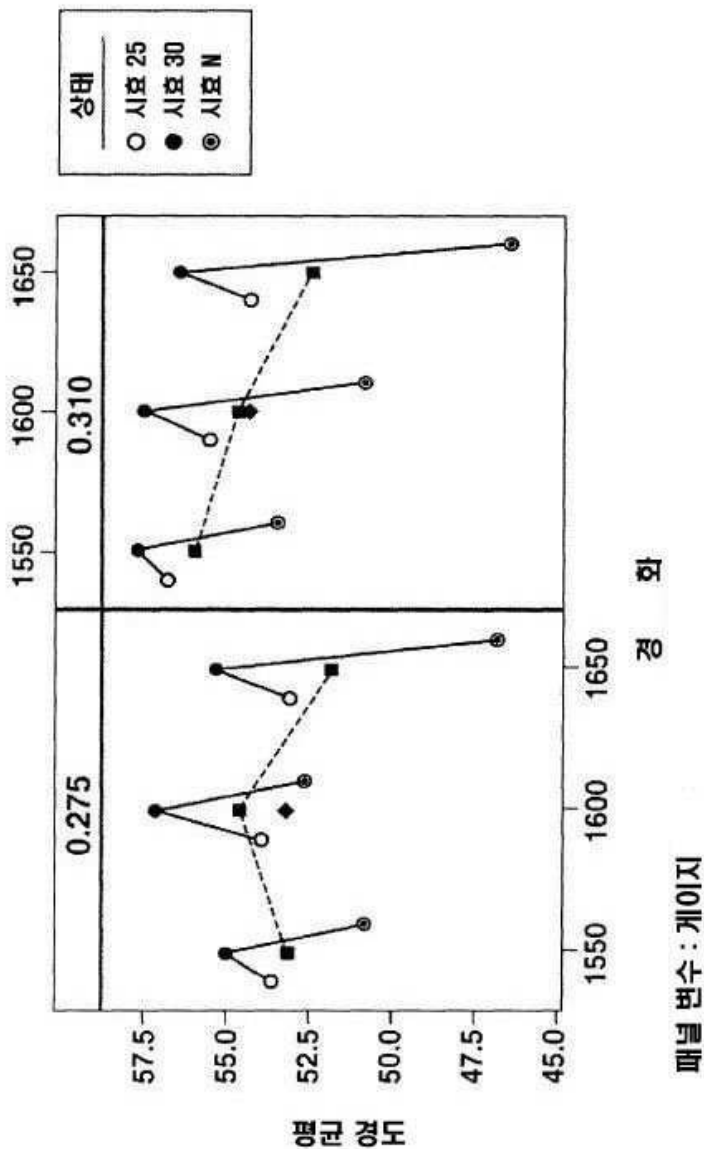
쉽게 인식할 것이다. 통상의 기술자들은 업계의 기존의 지식에 근거하여 본 발명에 따른 합금으로부터 이러한 모든 제조 물품을 제조할 수 있다고 생각된다. 따라서, 이러한 제조 물품에 대한 제조 절차들의 추가 설명은 여기서 불필요하다.

[0174]

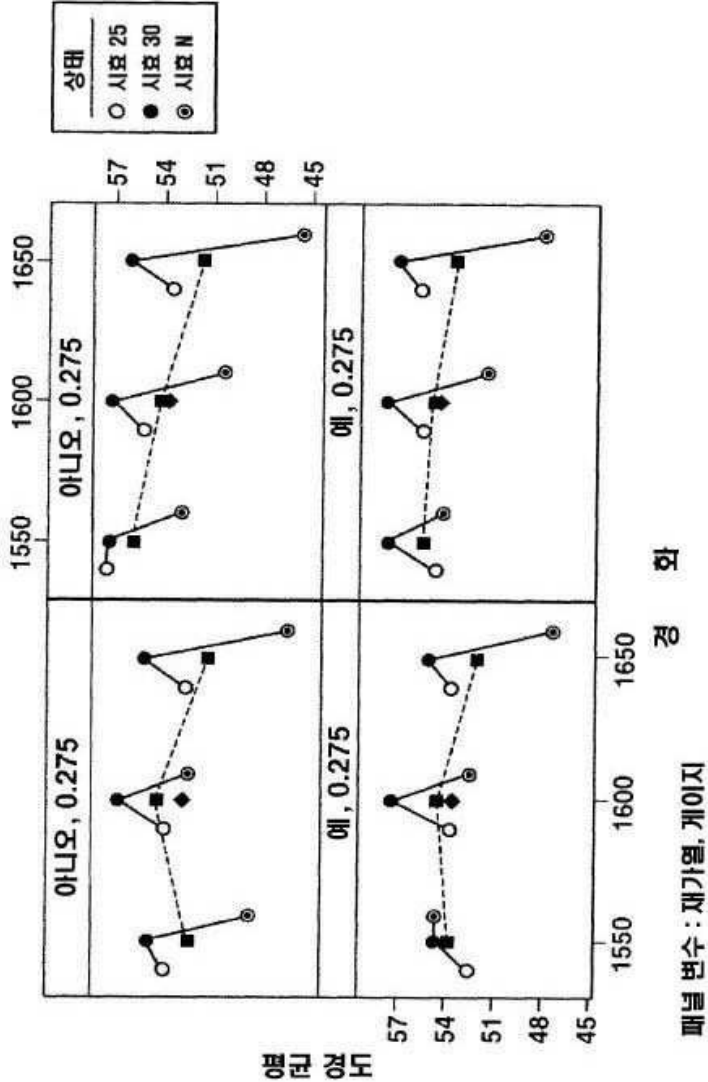
본원은 다양한 예시적, 비-제한적 실시예들을 참조하여 작성되었다. 그러나, 통상의 기술자는 공개한 실시예들 (또는 그 일부분들)의 다양한 치환, 수정, 또는 조합들이 본 발명의 청구범위에 의해 정해진 범위를 벗어나지 않고 이루어질 수 있음을 인식할 것이다. 그러므로, 본원은 본원에 명시적으로 제시되지 않은 부가적인 실시예들을 포괄하는 것으로 간주 및 이해되어야 한다. 이러한 실시예들은 예를 들어, 본원에서 설명하는 실시예들의 공개된 단계들, 성분들, 구성물, 구성요소들, 원소들, 특징들, 양태들 등 중 임의의 것을 조합, 수정, 또는 재조직하여 얻어질 수 있다. 따라서, 본원은 다양한 예시적, 설명하는, 및 비-제한적인 실시예들의 설명에 의해서가 아니라, 오히려 청구범위에 의해서만 정해진다. 이런 식으로, 출원인들은 본원에 다양하게 설명한 바와 같이 특징들을 추가하도록 계속(prosecution) 중에 청구범위를 수정할 권리를 보유한다.

도면

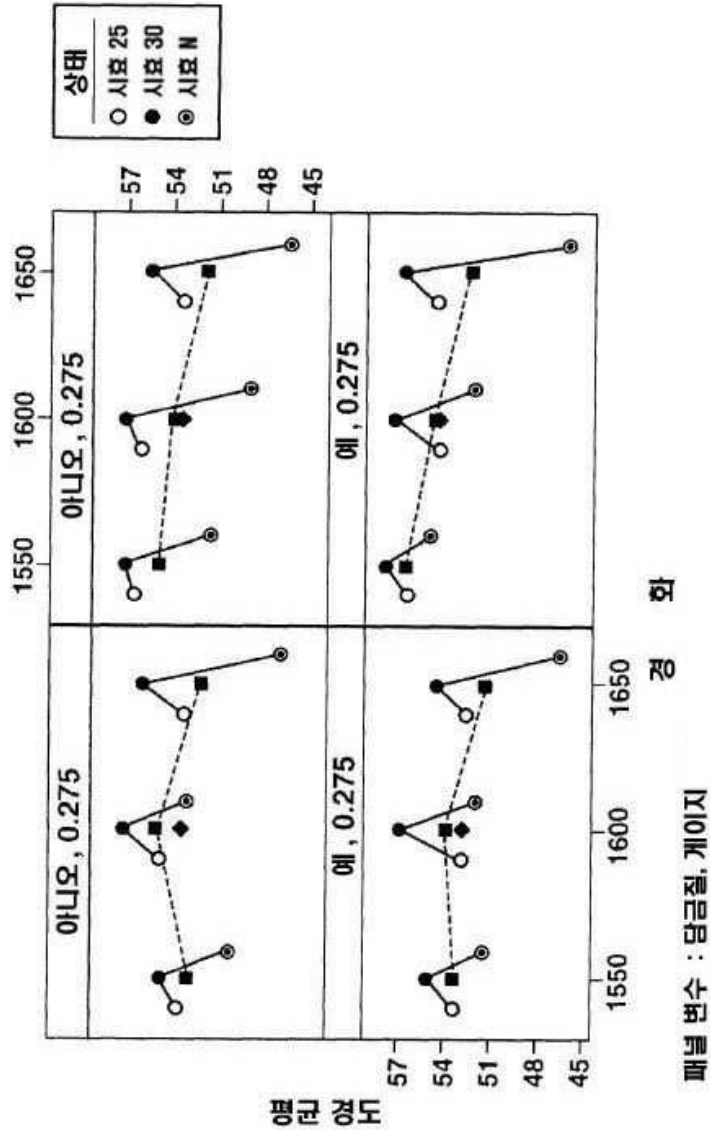
도면1



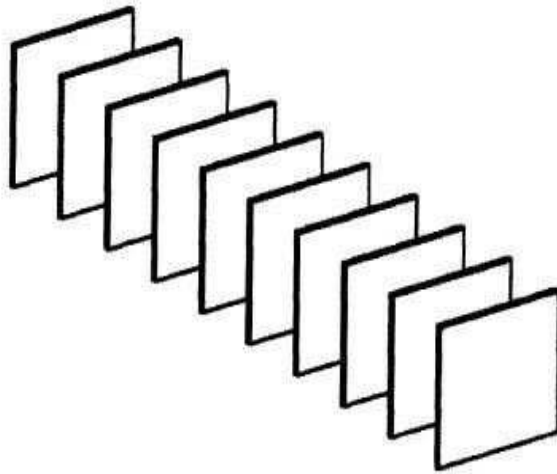
도면2



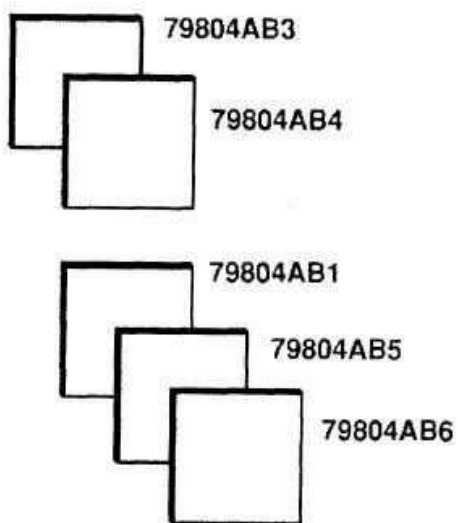
도면3



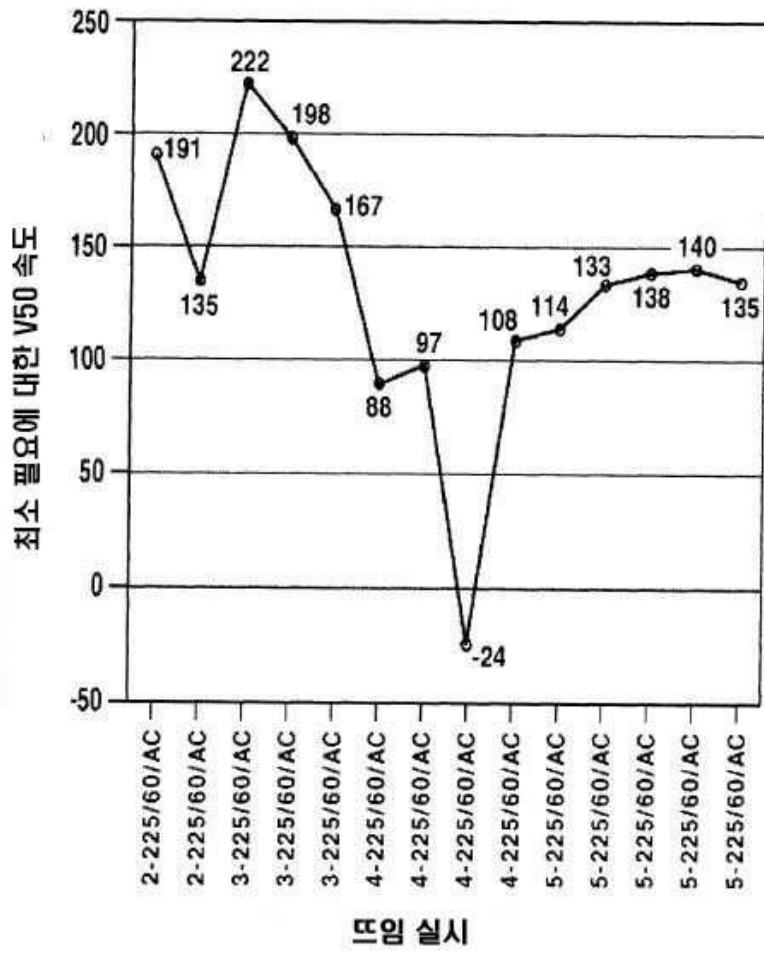
도면4



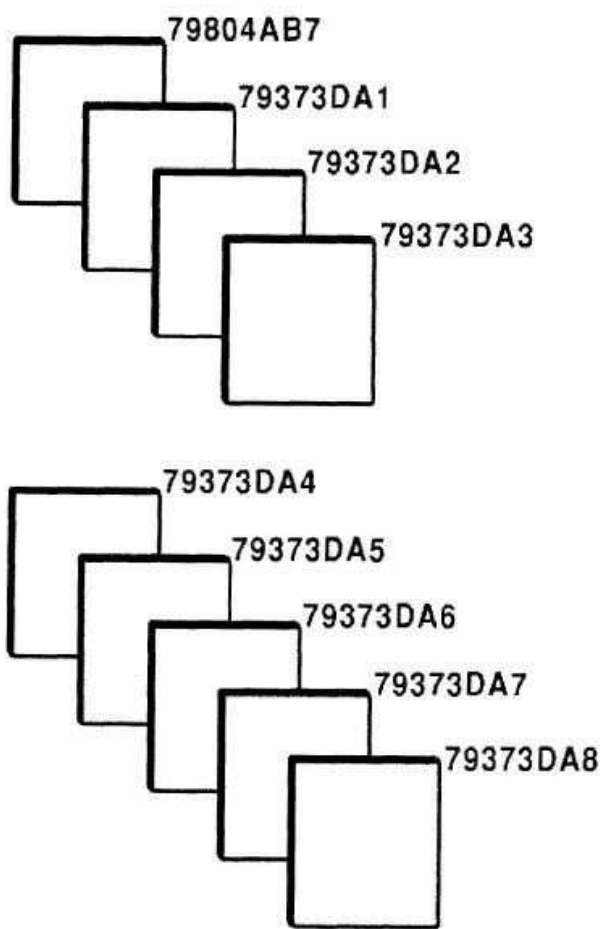
도면5



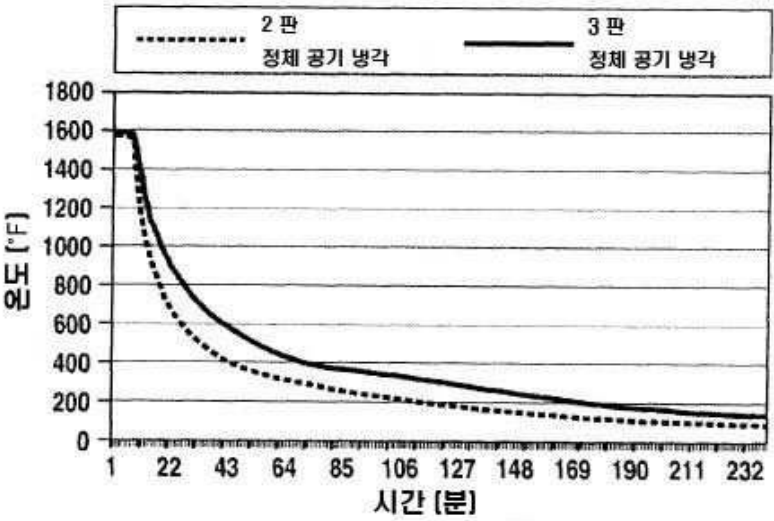
도면6



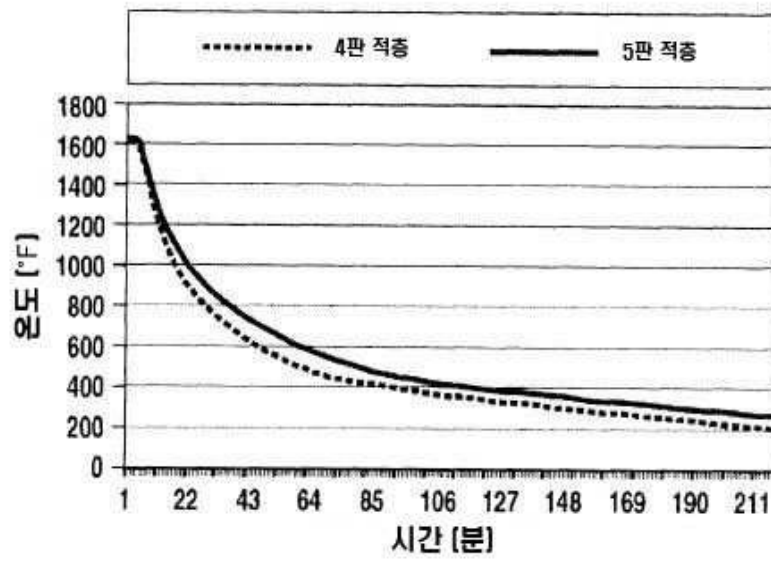
도면7



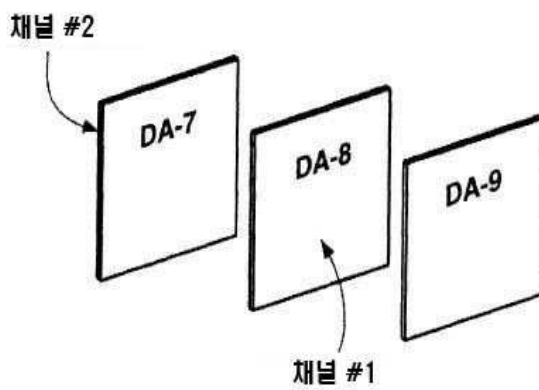
도면8



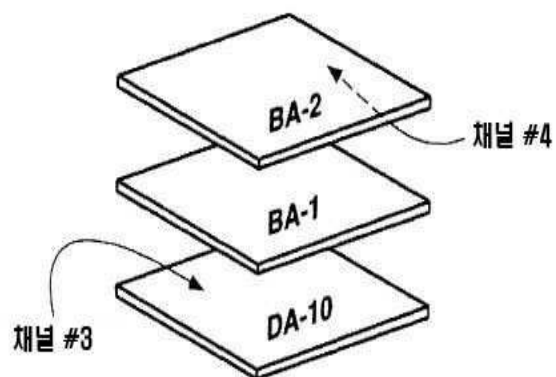
도면9



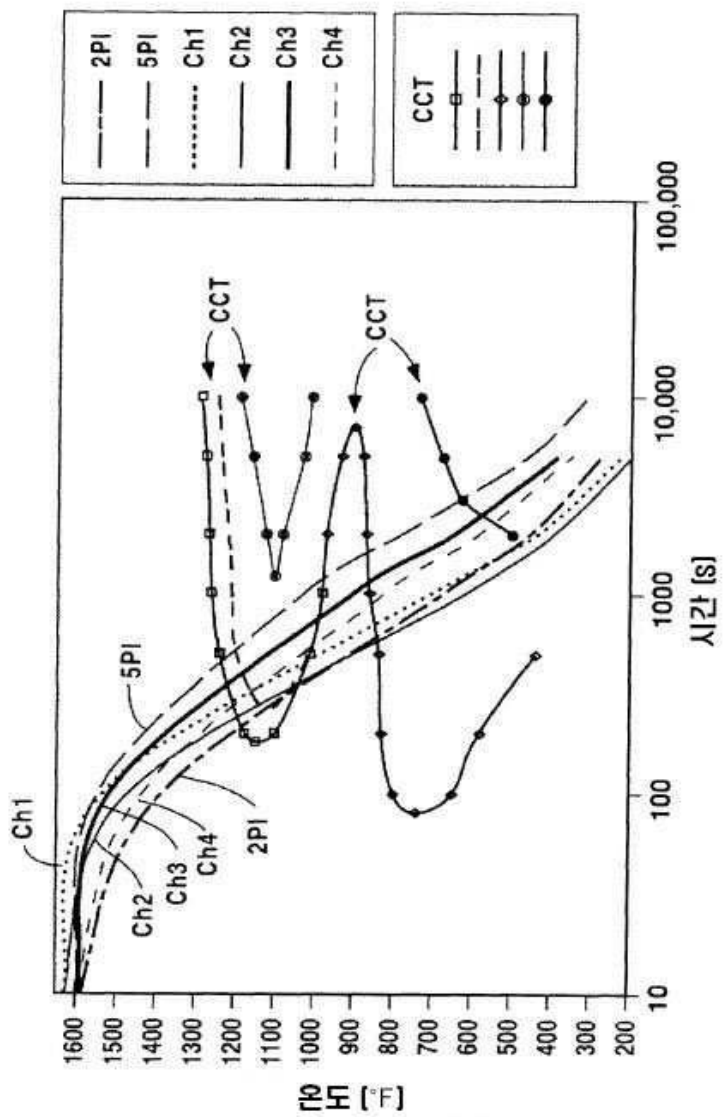
도면10



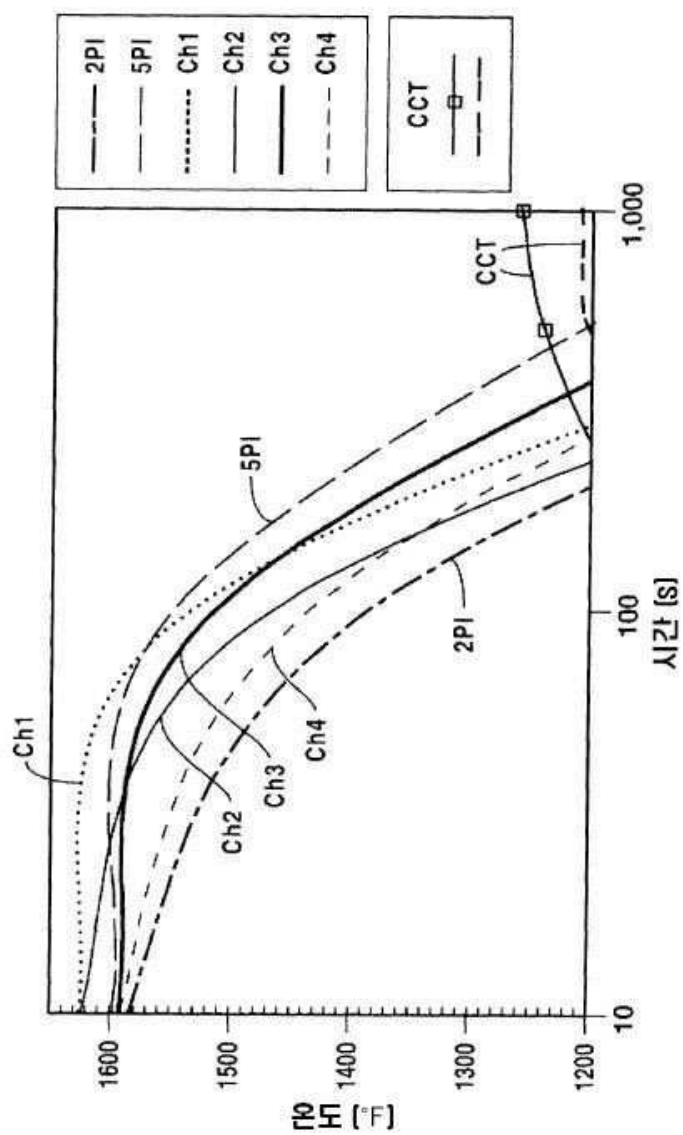
도면11



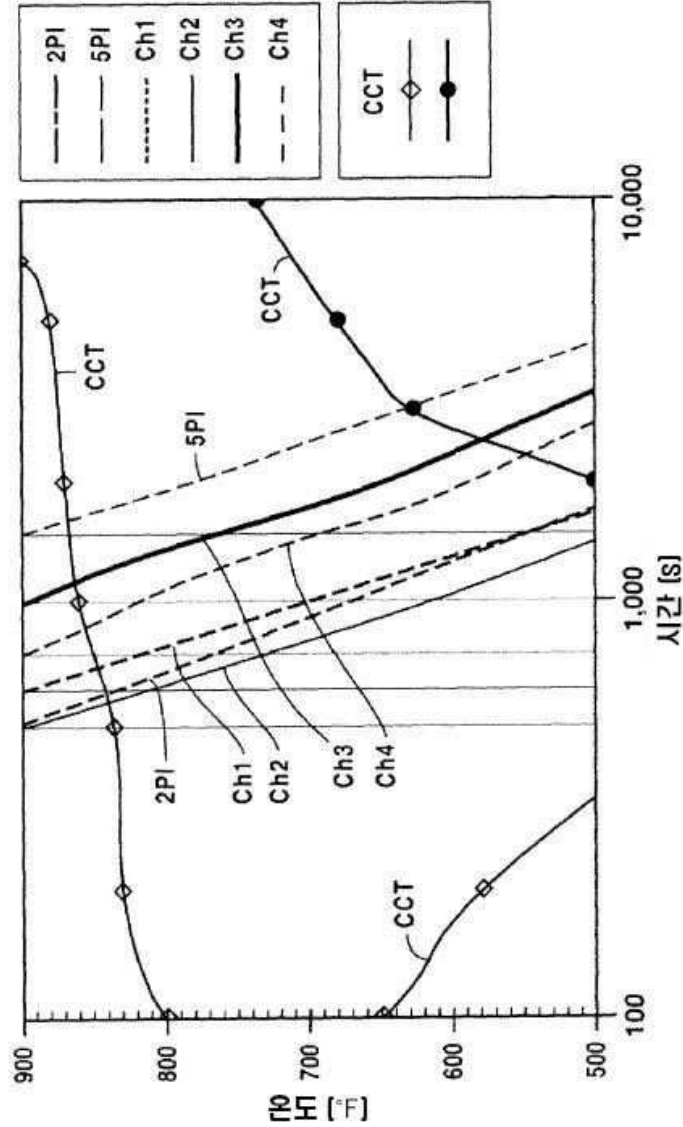
도면12



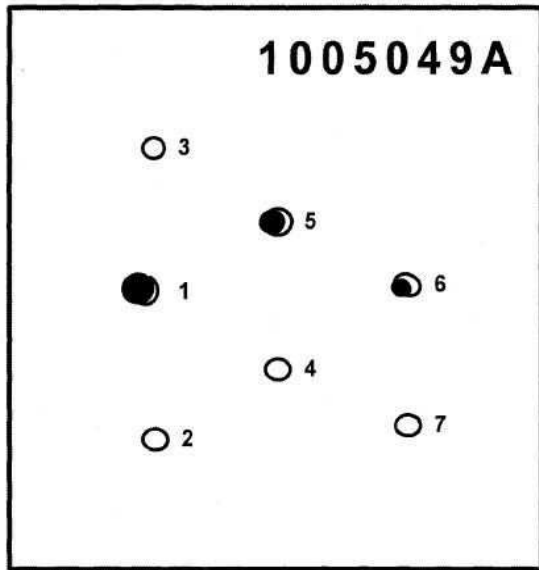
도면13



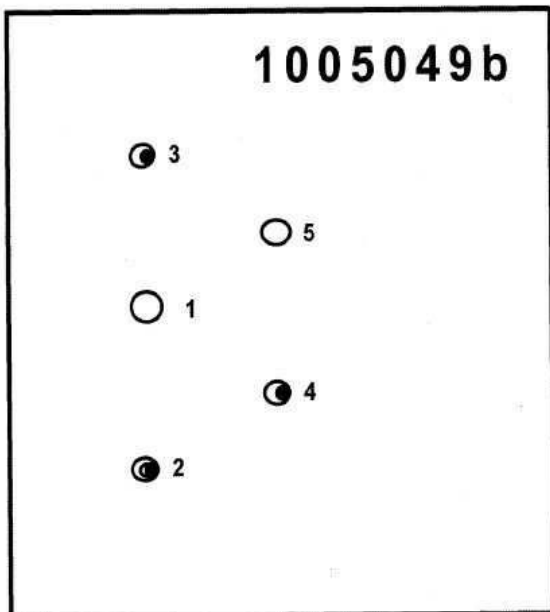
도면14



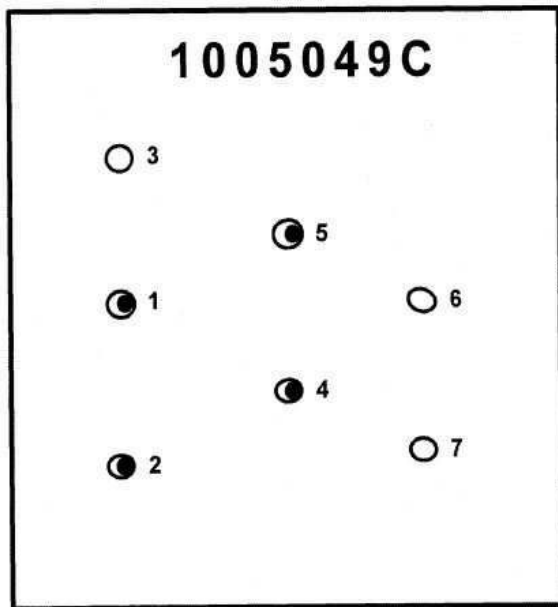
도면15



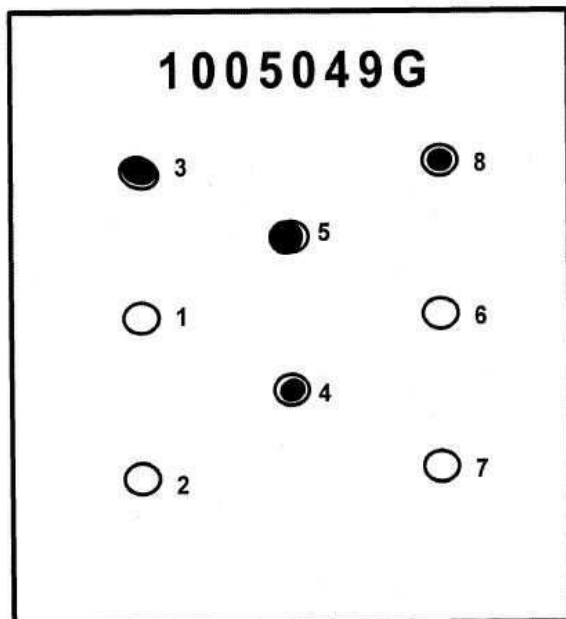
도면16



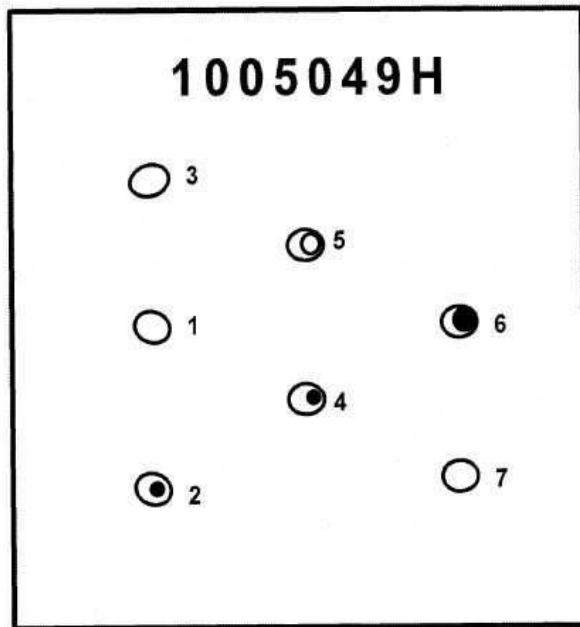
도면17



도면18



도면19



도면20

