(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2010-0131473
(43) 공개일자 2010년12월15일

(51) Int. Cl.
F41H 5/04 (2006.01) *B32B 27/06* (2006.01)
(21) 출원번호 10-2010-7022259
(22) 출원일자(국제출원일자) 2009년03월05일
심사청구일자 없음
(85) 번역문제출일자 2010년10월05일
(86) 국제출원번호 PCT/EP2009/052622
(87) 국제공개번호 WO 2009/109632
국제공개일자 2009년09월11일
(30) 우선권주장
08004144.5 2008년03월06일
유럽특허청(EPO)(EP)
09150308.6 2009년01월09일
유럽특허청(EPO)(EP)

(71) 출원인
데이진 아라미드 비.브이.
네덜란드 6824 베이엠 아른헴 펠페르버흐 76
(72) 발명자
빈클러르 에른스트 미하엘
네덜란드 엔엘-6824 예이익스 아르험 베를렝더 프뤼멜란 78
닌하위스 에릭 오스카
네덜란드 엔엘-7041 하에이 '에스-하이렌베르흐 한제페펄 34
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
장훈

전체 청구항 수 : 총 15 항

(54) 연신 바디들을 포함하는 방탄 물품

(57) 요 약

본 발명은 보강 연신 바디 및 유기 매트릭스 재료를 포함하는 시트들의 압축 스택을 포함하며, 상기 압축 스택 내의 연신 바디들의 방향은 단일 방향이 아니고, 상기 연신 바디는 폭이 2㎜ 이상이고 폭 대 두께 비가 10:1 이상인 테이프이고, 이때 상기 스택은 유기 매트릭스 재료를 0.2 내지 8중량% 포함하는, 방탄 성형품에 관한 것이다. 방탄 성형품의 제조방법이 또한 청구된다.

(72) 발명자

보벤스헌 손 요

네덜란드 엔엘-6812 데이에이 아른험 클링엘베이크 세버흐 176 아

뮈허 에도

네덜란드 엔엘-6604 헤데이 베이헌 살트스호프 2510

특허청구의 범위

청구항 1

방탄 성형품(ballistic-resistant moulded article)으로서,

상기 성형품은, 보강 연신 바디들(reinforcing elongate bodies) 및 유기 매트릭스 재료를 포함하는 시트들의 압축 스택(compressed stack)을 포함하며,

상기 압축 스택 내의 연신 바디들의 방향은 단일 방향이 아니고, 상기 연신 바디는 폭이 2㎜ 이상이고 두께 대 폭 비가 10:1 이상인 테이프이고, 이때 상기 스택은 유기 매트릭스 재료를 0.2 내지 8중량% 포함하는, 방탄 성형품.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 폭과 두께 사이의 상기 비가 20:1 초과, 더 특히 50:1 초과, 보다 더 특히 100:1 초과인, 방탄 성형품.

청구항 3

제1항 또는 제2항에 있어서, 본 발명에 사용된 상기 테이프의 폭이 10㎜ 이상, 더 특히 20㎜ 이상인, 방탄 성형품

청구항 4

제1항 내지 제3항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 시트들 내의 테이프들이 단일 방향으로 배향되고, 상기 시트 내의 테이프들의 방향이 인접한 시트 내의 테이프들의 방향에 대하여 회전되는, 방탄 성형품.

청구항 5

제1항 내지 제4항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 시트가 보강 테이프 및 0.2 내지 8중량%의 유기 매트릭스 재료를 포함하는, 방탄 성형품.

청구항 6

제1항 내지 제4항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 시트들 중 적어도 약간은 매트릭스 재료가 사실상 부재하고, 매트릭스 재료가 상기 시트들 사이에 존재하는, 방탄 성형품.

청구항 7

제1항 내지 제6항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 테이프들의 인장 강도가 1.0GPa 이상이고, 인장 모듈러스가 40GPa 이상이고, 파단 인장 에너지(tensile energy-to-break)가 15J/g 이상인, 방탄 성형품.

청구항 8

제1항 내지 제7항 중 어느 한 항에 있어서, 중량 평균 분자량이 500,000g/몰 이상, 더 특히 $1 * 10^6$g/몰 이상인 초고분자량 폴리에틸렌(UHMWPE: ultra-high molecular weight polyethylene)의 테이프가 사용되는, 방탄 성형품.

청구항 9

제1항 내지 제8항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 테이프들 중 적어도 약간은 중량 평균 분자량이 100,000g/몰 이상이고, Mw/Mn 비가 6 이하인 폴리에틸렌 테이프인, 방탄 성형품.

청구항 10

제9항에 있어서, 상기 폴리에틸렌 테이프들의 중량 평균 분자량이 300,000g/몰 이상, 특히 400,000g/몰 이상, 보다 더 특히 500,000g/몰 이상, 더 특히 $1 * 10^6$g/몰 이상이고, Mw/Mn 비가 5 이하, 특히 4 이하, 더 특히 3 이상, 보다 더 특히 2.5 이하, 또는 심지어 2 이하인, 방탄 성형품.

청구항 11

제9항 또는 제10항에 있어서, 상기 폴리에틸렌 테이프들의 200/110 단일평면상(uniplanar) 배향 파라미터가 3 이상인, 방탄 성형품.

청구항 12

제1항 내지 제11항 중 어느 한 항에 따르는 방탄 성형품의 제조에 사용하기에 적합한 압밀 시트 패키지(consolidated sheet package)로서,

상기 압밀 시트 패키지는 보강 테이프를 포함하는 시트 2 내지 8장, 및 유기 매트릭스 재료를 포함하고, 상기 시트 패키지 내의 테이프들의 방향은 단일 방향이 아니고, 상기 시트 패키지는 유기 매트릭스 재료를 0.2 내지 8중량% 포함하는 하는, 압밀 시트 패키지.

청구항 13

제1항 내지 제11항 중 어느 한 항에 따르는 방탄 성형품의 제조방법으로서,

상기 방법은,

보강 테이프를 포함하는 시트들을 제공하는 단계, 상기 압축 스택 내의 테이프들의 방향이 단일 방향이 되지 않게 하는 방법으로 시트들을 적층(stacking)하는 단계 및 0.5MPa 이상의 압력 하에서 상기 스택을 압축시키는 단계를 포함하며,

0.2 내지 8중량%의 유기 매트릭스 재료가 시트들 내, 시트들 사이, 또는 시트들 내와 시트들 사이 둘 다에 제공되는, 방법.

청구항 14

제13항에 있어서, 테이프들의 층을 제공하고 상기 테이프들을 부착시킴으로써 상기 시트들이 제공되는, 방법.

청구항 15

제14항에 있어서, 압축을 통해 테이프들을 부착시키는, 방법.

명 세 서

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0001] 본 발명은 연신 바디들(elongate bodies)을 포함하는 방탄 물품(ballistic resistant article) 및 이의 제조방법에 관한 것이다.

[0002] 연신 바디를 포함하는 방탄 물품은 당업계에 공지되어 있다.

[0003] 유럽 특허 제EP 833 742호는 단층들의 압축 스택(compressed stack)을 포함하며, 이때 각각의 단층은 단일 방향으로 배향된 섬유 및 유기 매트릭스 재료 30중량% 이하를 함유하는, 방탄 성형품을 개시한다.

[0004] 국제 공개 공보 제WO 2006/107197호는 코어-클래딩 타입의 중합체 테이프가 사용되며, 코어 재료가 클래딩 재료보다 더 높은 용융 온도를 갖는 중합체 테이프의 라미네이트의 제조방법으로서, 상기 중합체 테이프를 바이어싱하는 단계, 상기 중합체 테이프를 위치결정하는 단계 및 상기 중합체 테이프를 압밀(consolidating)하여 라미네이트를 생성하는 단계를 포함하는 방법을 개시한다.

[0005] 유럽 특허 제EP 1627719호는 서로에 대하여 비스듬히 크로스-플라이되고(cross-plied) 임의의 수지, 결합 매트릭스 등의 부재 하에서 서로 부착된, 복수의 단일 방향으로 배향된 폴리에틸렌 시트들을 포함하는, 초고분자량 폴리에틸렌으로 본질적으로 이루어진 방탄 물품을 개시한다.

[0006] 국제 공개 공보 제WO 89/01123호는 개선된 내충격성 복합재(impact-resistant composite) 및 이로 만든 헬멧을 개시한다. 당해 복합재는 중합체 매트릭스 내에 포매된 복수의 단일 방향의 동일 평면상의 섬유들을 포함하는 프리프레그 층들(prepreg layers)을 포함한다.

[0007] 미국 특허 제5,167,876호는 매트릭스 재료 내의 섬유들의 망상구조 층을 포함하는, 개선된 난연성을 갖는 방탄

물품을 개시한다. 섬유들이 매트릭스 재료의 연속상에 분산된 것으로 나타나 있다.

[0008] 위에 언급된 참조 문헌들은 적절한 특성을 갖는 방탄 재료를 개시하고 있지만, 여전히 개선의 여지가 있다. 더 특히, 높은 방탄 성능과 낮은 면적 중량 및 우수한 안정성, 특히 잘 제어된 탈층 특성(delamination property)을 겸하는 방탄 재료에 대한 필요성이 있다. 본 발명은 이러한 재료를 제공한다.

[0009] 따라서, 본 발명은 보강 연신 바디 및 유기 매트릭스 재료를 포함하는 시트들의 압축 스택을 포함하는 방탄 성형품에 관한 것으로, 상기 압축 스택 내의 상기 연신 바디들의 방향은 단일 방향이 아니고, 상기 연신 바디는 폭이 2㎜ 이상이고 두께 대 폭 비가 10:1 이상이고, 이때 상기 스택은 유기 매트릭스 재료를 0.2 내지 8중량% 포함한다.

[0010] 특정량의 매트릭스 재료의 사용과 조합하여, 청구된 범위의 폭 및 폭 대 두께 비를 갖는 테이프의 선택은, 매력적인 특성을 갖는 방탄 재료로 이어짐이 밝혀졌다. 더 특히, 특성들의 이러한 조합된 선택은 개선된 방탄 성능을 갖는 방탄 재료, 특히 개선된 방탄 성능, 우수한 박리 강도(peel strength), 낮은 면적 중량 및 우수한 탈층 특성을 갖는 재료가 되도록 한다. 당해 시스템에 존재하는 매트릭스 재료의 함량을 단순히 감소시키는 것에 의해서는 이러한 효과가 얻어질 수 없음이 주지되어 있는데, 이는 테이프 특성들의 적절한 선택 없이 매트릭스 재료의 함량의 감소는 허용되지 않는 탈층 특성 및 박리 강도를 갖는 재료로 이어질 것이기 때문이다.

[0011] 본 발명에 사용되는 테이프는 길이가 폭 및 두께보다 더 크며, 동시에 폭은 또한 두께보다 더 큰 물체이다. 본 발명에 사용되는 테이프에서, 폭과 두께 사이의 비는 10:1 초과, 특히 20:1 초과, 더 특히 50:1 초과, 보다 더 특히 100:1 초과이다. 폭과 두께 사이의 최대 비는 본 발명에서 중요하지 않다. 이것은 일반적으로 테이프 폭에 따라 1000:1 이하이다.

[0012] 본 발명에 사용되는 테이프의 폭은 2㎜ 이상, 특히 10㎜ 이상, 더 특히 20㎜ 이상이다. 테이프의 폭은 중요하지 않으며, 일반적으로 200㎜ 이하일 수 있다. 테이프의 두께는 일반적으로 8㎛ 이상, 특히 10㎛ 이상이다. 테이프의 두께는 일반적으로 150㎛ 이하, 더 특히 100㎛ 이하이다.

[0013] 본 발명에 사용되는 테이프의 길이와 폭 사이의 비는 중요하지 않다. 이것은 테이프의 폭 및 방탄 성형품의 크기에 좌우된다. 길이와 폭 사이의 비는 1 이상이다. 일반적인 값으로서, 1,000,000의 최대 길이 대 폭 비가 언급될 수 있다.

[0014] 본 명세서 내에서, 용어 시트는 테이프를 포함하는 개별 시트를 지칭하며, 이 시트는 개별적으로 다른 상응하는 시트들과 결합될 수 있다. 하기에 설명되겠지만, 시트는 매트릭스 재료를 포함하거나 포함하지 않을 수 있다.

[0015] 임의의 천연 또는 합성 테이프들이 본 명세서에서 원칙적으로 사용될 수 있다. 예를 들면, 금속, 반금속, 무기 재료, 유기 재료 또는 이들의 배합물로 만들어진 테이프가 사용될 수 있다. 방탄 성형 부품에 있어서의 테이프의 적용의 경우, 테이프 바디(tapes body)가 탄도학적으로 효과적인 것이 필수적이며, 이는 더 구체적으로는, 테이프체가 높은 인장 강도, 높은 인장 모듈러스 및 높은 파단 에너지(energy-to-break)에 반영되는 높은 에너지 흡수율을 가질 것을 필요로 한다. 테이프는 인장 강도가 1.0GPa 이상이고, 인장 모듈러스가 40GPa 이상이고, 파단 인장 에너지(tensile energy-to-break)가 15J/g 이상인 것이 바람직하다.

[0016] 한 양태에서, 테이프의 인장 강도는 1.2GPa 이상, 더 특히 1.5GPa 이상, 보다 더 특히 1.8GPa 이상, 더욱 더 특히 2.0GPa 이상이다. 인장 강도는 ASTM D882-00에 따라 측정된다.

[0017] 또 다른 양태에서, 테이프는 인장 강도가 50GPa 이상이다. 모듈러스는 ASTM D822-00에 따라 측정된다. 더 특히, 테이프는 인장 모듈러스가 80GPa 이상, 더 특히 100GPa 이상일 수 있다.

[0018] 또 다른 양태에서, 테이프는 파단 인장 에너지가 20J/g 이상, 특히 25J/g 이상이다. 파단 인장 에너지는 50%/분의 변형율을 사용하여 ASTM D882-00에 따라 측정된다. 이것은 응력-변형 곡선 아래의 단위 질량당 에너지를 적분함으로써 계산된다.

[0019] 높은 인장 강도를 갖는 적합한 무기 테이프는, 예를 들면, 탄소 섬유 테이프, 유리 섬유 테이프 및 세라믹 섬유 테이프이다. 높은 인장 강도를 갖는 적합한 유기 테이프는 아라미드로 만들어진 테이프, 액정 중합체로 만들어진 테이프, 및 폴리올레핀, 폴리비닐알코올 및 폴리아크릴로니트릴과 같은 고도로 배향된 중합체로 만들어진 테이프이다.

[0020] 본 발명에서는, 폴리에틸렌과 폴리프로필렌의 단독중합체 및 공중합체의 사용이 바람직하다. 이들 폴리올레핀은 소량의 하나 이상의 다른 중합체, 특히 다른 알켄-1-중합체를 함유할 수 있다.

[0021] 본 발명의 시트에 사용되는 테이프는 고분자량 선형 폴리에틸렌의 고도로 연신된 테이프인 것이 바람직하다. 본 명세서에서 고분자량은 400,000g/몰 이상의 중량 평균 분자량을 의미한다. 본 명세서에서 선형 폴리에틸렌은 100개의 C 원자당 1개 미만의 측쇄, 바람직하게는 300개의 C 원자당 1개 미만의 측쇄를 갖는 폴리에틸렌을 의미한다. 폴리에틸렌은 또한 이와 공중합가능한 5몰% 이하의 하나 이상의 다른 알켄, 예를 들면, 프로필렌, 부텐, 펜텐, 4-메틸펜텐, 옥텐을 함유할 수 있다.

[0022] 초고분자량 폴리에틸렌(UHMWPE), 즉 중량 평균 분자량이 500,000g/몰 이상인 폴리에틸렌의 테이프를 사용하는 것이 특히 바람직할 수 있다. 분자량이 $1 * 10^6$g/몰 이상인 테이프의 사용이 특히 바람직할 수 있다. 본 발명에 사용하기에 적합한 UHMWPE 테이프의 최대 분자량은 중요하지 않다. 일반적인 값으로서, $1 * 10^8$g/몰의 최대값이 언급될 수 있다. 분자량 분포 및 분자량 평균(Mw, Mn, Mz)은 용매로서 1,2,4-트리클로로벤젠(TCB)을 사용하여 160℃의 온도에서 ASTM D 6474-99에 따라 측정된다. 고온 샘플 전처리 장치(PL-SP260)를 포함한 적절한 크로마토그래피 장비(Polymer Laboratories로부터의 PL-GPC220)가 사용될 수 있다. 당해 시스템은 분자량 범위 $5 * 10^3$ 내지 $8 * 10^6$g/몰의 16 폴리스티렌 표준재료(Mw/Mn < 1.1)을 사용하여 보정된다.

[0023] 분자량 분포는 또한 용융물 유동측정(melt rheometry)을 사용하여 측정될 수 있다. 측정 전에, 열-산화 분해를 방지하기 위해서 0.5중량%의 산화방지제, 예를 들면, IRGANOX 1010이 첨가된 폴리에틸렌 샘플이, 먼저 50℃ 및 200bar에서 소결될 것이다. 소결된 폴리에틸렌으로부터 생성된 8mm 직경 및 1mm 두께의 디스크가 질소 분위기 하에서 레오미터 내에서 평형 용융 온도보다 충분히 높은 온도까지 급속히 가열된다(약 30℃/분). 일례로, 디스크를 2시간 이상 동안 180℃에서 유지하였다. 샘플과 레오미터 디스크 사이의 차이(slippage)는 오실로스코프의 도움으로 체크될 수 있다. 동적 실험 동안, 레오미터로부터의 2개의 출력 신호, 즉 사인파 변형(sinusoidal strain)에 상응하는 하나의 신호 및 그 결과 생성되는 응력 응답에 대한 다른 한 신호가 오실로스코프에 의해 연속적으로 모니터링된다. 낮은 값의 변형에서 달성될 수 있는 완전한 사인파 응력 응답은 샘플과 디스크 사이에 어떠한 차이도 없음을 나타내었다. 유동측정은 TA Instruments로부터의 Rheometrics RMS 800과 같은 플레이트-플레이트 레오미터를 사용하여 수행하였다. 중합체 용융물에 대하여 측정된 모듈러스 대 주파수 데이터로부터 몰 질량 및 몰 질량 분포를 측정하기 위해서, 미드(Mead) 알고리즘을 사용하는, TA Instruments에 의해 제공된 Orchestrator Software가 사용될 수 있다. 당해 데이터는 160 내지 220℃ 사이의 등온 조건 하에서 얻어진다. 우수한 피팅을 얻기 위해서는, 0.001 내지 100rad/s의 각주파수 영역 및 0.5 내지 2%의 선형 점탄성 영역 내의 일정 변형이 선택되어야 한다. 시간-온도 중첩이 190℃의 기준 온도에서 적용된다. 0.001주파수(rad/s) 미만에서 모듈러스를 측정하기 위해서, 응력 완화(stress relaxation) 실험이 수행될 수 있다. 응력 완화 실험에서는, 고정 온도에서 중합체 용융물에의 단일 순간 변형(single transient deformation)(스텝 변형(step strain))이 샘플에 적용되고 유지되고, 응력의 시간 의존성 감쇠가 기록된다.

[0024] 위에 나타낸 바와 같이, 본 발명의 방탄 성형품은 보강 테이프 및 0.2 내지 8중량%의 유기 매트릭스 재료를 포함하는 시트들의 압축 스택을 포함한다. 용어 "매트릭스 재료"는 테이프들 및/또는 시트들을 함께 결합시키는 재료를 의미한다.

[0025] 본 발명의 한 양태에서, 매트릭스 재료는 시트 그 자체 내에 제공되며, 여기서 이것은 테이프를 서로 부착시키는 역할을 한다.

[0026] 본 발명의 또 다른 양태에서, 매트릭스 재료는 시트 상에 제공되며, 여기서 이것은 시트를 스택 내의 다른 시트들에 부착시키는 글루(glue) 또는 결합제로서 작용한다. 명백히, 이들 두 양태의 조합이 또한 예상된다.

[0027] 본 발명의 한 양태에서, 시트 그 자체는 보강 테이프와 매트릭스 재료를 함유한다.

[0028] 이러한 타입의 시트는, 예를 들면, 다음과 같이 제조될 수 있다. 제1 단계에서, 테이프들을 하나의 층으로 제공하고, 이어서 상기 매트릭스 재료가 상기 테이프들을 서로 부착시키게 하는 조건 하에서 매트릭스 재료를 상기 층 상에 제공한다. 이 양태는 매트릭스 재료가 필름의 형태인 경우에 특히 매력적이다. 한 양태에서, 테이프들은 병렬 배열로 제공된다.

[0029] 이러한 타입의 시트는, 추가의 예로, 테이프들의 층이 제공되고, 매트릭스 재료의 층이 테이프들 상에 도포되고, 테이프들의 추가의 층이 상기 매트릭스의 상부 상에 도포되는 방법에 의해 또한 제조될 수 있다. 한 양태에서, 테이프들의 제1 층은 병렬로 배열된 테이프들을 포함하고, 테이프들의 제2 층은 제1 층 내의 테이프들에 대해 병렬이기는 하나 이들에 대해 옵셋(offset) 배열된다. 또 다른 양태에서, 테이프들의 제1 층은 병렬로 배열되고, 테이프들의 제2 층은 테이프들의 제1 층 상에 횡방향으로 배열된다.

[0030] 한 양태에서, 매트릭스 재료의 제공은 매트릭스 재료의 하나 이상의 필름들을 테이프들의 면(plane)의 표면, 바닥 또는 양면에 도포한 다음, 상기 필름들을 테이프들에 부착시킴으로써, 예를 들면, 상기 필름들을 상기 테이프들과 함께, 가열된 가압 롤로 통과시킴으로써 달성된다. 그러나, 본 발명에 사용된 소량의 매트릭스 재료는 이 방법을 덜 바람직하게 하는데, 이는 이것이 매우 얇은 중합체 필름의 사용을 필요로 할 것이기 때문이다.

[0031] 본 발명의 바람직한 양태에서, 테이프 층은 유기 매트릭스 재료를 함유하는 일정량의 액체 재료를 갖고 있다. 이것의 잇점은 테이프의 더 빠르고 더 우수한 함침이 달성된다는 것이다. 액체 재료는, 예를 들면, 유기 매트릭스 재료의 용액, 분산액 또는 용융물일 수 있다. 시트의 제조에 매트릭스 재료의 용액 또는 분산액이 사용될 경우, 당해 방법은 또한 용매 또는 분산제를 증발시키는 단계를 포함한다. 이는, 예를 들면, 시트의 제조에서 테이프를 함침시키는 데 있어서 매우 낮은 점도의 유기 매트릭스 재료를 사용함으로써 성취될 수 있다. 그렇게 하기를 원한다면, 매트릭스 재료는 진공 내에서 도포될 수 있다.

[0032] 시트 그 자체가 매트릭스 재료를 함유하지 않는 경우, 시트는 테이프들의 층을 제공하는 단계 및 필요할 경우, 열 및 압력의 인가에 의해 테이프들을 함께 부착시키는 단계에 의해 제조될 수 있다.

[0033] 이 양태의 한 양태에서, 테이프들은 서로 적어도 부분적으로 겹쳐지고, 이어서 압축되어 서로 부착된다.

[0034] 이어서, 매트릭스 재료가 방탄 재료의 제조 동안 시트 상에 도포되어 시트들을 서로 부착시킬 것이다. 매트릭스 재료는 테이프 그 자체 상에의 도포에 대하여 위에 논의된 바와 같이, 필름의 형태로 또는, 바람직하게는, 액체 재료의 형태로 도포될 수 있다.

[0035] 본 발명의 한 양태에서, 매트릭스 재료는 웹(web)의 형태로 도포되는데, 여기서 웹은 불연속 중합체 필름, 즉 구멍을 갖는 중합체 필름이다. 이는 낮은 중량의 매트릭스 재료의 제공을 가능하게 한다. 웹은 시트의 제조 동안 도포될 수 있지만, 시트들 사이에도 도포될 수 있다.

[0036] 본 발명의 또 다른 양태에서, 매트릭스 재료는 중합체 재료의 스트립, 얀(yarn) 또는 섬유의 형태로 도포되며, 후자는, 예를 들면, 섬유 웹 또는 다른 중합체 섬유질 웨프트(weft)의 직사(woven yarn) 또는 부직사(non-woven yarn)의 형태로 도포된다. 역시, 이는 낮은 중량의 매트릭스 재료의 제공을 가능하게 한다. 스트립, 얀 또는 섬유는 시트의 동안 도포될 수 있지만, 시트들 사이에도 도포될 수 있다.

[0037] 본 발명의 추가의 양태에서, 매트릭스 재료는 위에 기재된 바와 같이 액체 재료의 형태로 도포되는데, 여기서 액체 재료는 경우에 따라, 연신 바디면(elongate body plane) 또는 시트의 표면 전체에 걸쳐 균일하게 도포될 수 있다. 그러나, 경우에 따라, 연신 바디면 또는 시트의 표면에 걸쳐 불균일하게 액체 재료의 형태로 매트릭스 재료를 도포하는 것도 가능하다. 예를 들면, 액체 재료는 도트 또는 줄무늬 형태로, 또는 임의의 다른 적합한 패턴으로 도포될 수 있다.

[0038] 위에 기재된 각종 양태에서, 매트릭스 재료는 시트에 걸쳐 불균일하게 분포된다. 본 발명의 한 양태에서, 매트릭스 재료는 압축 스택 내에 불균일하게 분포된다. 이 양태에서, 압축 스택이 스택 특성에 유해한 영향을 미칠 수 있는 외부로부터 가장 큰 영향에 직면해 있다면, 더 많은 매트릭스 재료가 제공될 수 있다.

[0039] 유기 매트릭스 재료는 중합체 재료로 전부 또는 부분적으로 이루어질 수 있으며, 이는 임의로 중합체에 통상적으로 사용되는 충전제를 함유할 수 있다. 중합체는 열경화성 재료 또는 열가소성 재료 또는 이들 둘 다의 혼합물일 수 있다. 바람직하게는, 연성 플라스틱이 사용되며, 특히, 유기 매트릭스 재료로는 (25℃에서의) 인장 모듈러스가 41MPa 이하인 탄성중합체인 것이 바람직하다. 비-중합체 유기 매트릭스 재료의 사용이 또한 예상된다. 매트릭스 재료의 목적은 필요할 경우, 테이프들 및/또는 시트들을 함께 부착시키도록 돕는 것이며, 이 목적을 이루는 임의의 매트릭스 재료가 매트릭스 재료로서 적합하다.

[0040] 바람직하게는, 유기 매트릭스 재료의 파단 신도(elongation to break)는 보강 테이프의 파단 신도보다 더 크다. 매트릭스의 파단 신도는 바람직하게는 3 내지 500%이다. 이들 값은 최종 방탄 물품 내의 매트릭스 재료에 그대로 적용된다.

[0041] 시트에 적합한 열경화성 재료 및 열가소성 재료는, 예를 들면, 유럽 특허 제EP 833742호 및 국제 공개 공보 제WO-A-91/12136호에 열거되어 있다. 바람직하게는, 열경화성 중합체의 그룹으로부터의 매트릭스 재료로서는 비닐에스테르, 불포화 폴리에스테르, 에폭사이드 또는 페놀 수지가 선택된다. 통상적으로 이들 열경화성 재료는, 방탄 성형품의 압축 동안 시트들의 스택이 경화되기 전에, 부분적으로 경화된 상태(이른바 B 스테이지)로 시트 내에 있다. 열가소성 중합체의 그룹으로부터는 폴리우레탄, 폴리비닐, 폴리아크릴레이트, 폴리올레핀 또는 열가소성, 탄성중합체성 블록 공중합체, 예를 들면, 폴리이소프렌-폴리에틸렌부틸렌-폴리스티렌 또는 폴리스티렌-

폴리이소프렌폴리스티렌 블록 공중합체가 매트릭스 재료로서 바람직하게 선택된다.

[0042] 위에 나타낸 바와 같이, 매트릭스 재료는, 테이프 및 유기 매트릭스 재료의 총합을 기준으로 계산하여 0.2 내지 8중량%의 양으로 압축 스택에 존재한다. 8중량% 초과의 매트릭스 재료를 사용하면 동일한 면적 중량에서 패널의 방탄 성능의 감소를 초래한다.

[0043] 또한, 박리 강도는 추가로 증가시키지 않으면서, 단지 방탄 재료의 중량을 증가시킬 뿐임이 확인되었다.

[0044] 한편, 매트릭스 재료가 전혀 사용되지 않을 경우, 성형품의 탈층 특성이 허용되지 않을 것임이 확인되었다. 더 특히, 어떠한 매트릭스 재료도 사용되지 않을 경우, 성형품은 총탄 충격시 국소적으로 탈층될 것이다. 이는 후면 변형(back face signature)(즉, 허용되는 값을 초과하는 물품의 후방에서의 벌지(bulge))를 초래한다. 극단적인 경우, 성형품은 심지어는 산산조각날 수수도 있다.

[0045] 매트릭스 재료는 1중량% 이상의 양으로, 더 특히 2중량% 이상의 양으로, 일부 경우에는 2.5중량% 이상의 양으로 존재하는 것이 바람직할 수 있다. 몇몇 양태에서, 매트릭스 재료는 7중량% 이하, 때때로 6.5중량% 이하의 양으로 존재하는 것이 바람직할 수 있다.

[0046] 본 발명의 방탄 물품 내의 스택의 낮은 매트릭스 함량은 고도로 방탄성인 낮은 중량 재료의 제공을 가능하게 한다. 본 발명의 압축 시트 스택은 NIJ 표준 - 0101.04 P-BFS 성능 시험의 클래스 II의 요건을 충족시켜야 한다. 바람직한 양태에서는, 상기 표준의 클래스 IIIa의 요건이 충족되며, 더욱 더 바람직한 양태에서는, 클래스 III의 요건, 또는 더욱 더 높은 클래스의 요건이 충족된다.

[0047] 이러한 방탄 성능은 바람직하게는 낮은 면적 중량, 특히 19kg/m^2 이하, 더 특히 16kg/m^2 이하의 면적 중량을 수반한다. 몇몇 양태에서, 스택의 면적 중량은 15kg/m^2 정도로 낮을 수 있다. 스택의 최소 면적 중량은 필요한 최소 방탄성에 의해 주어진다.

[0048] 본 발명에 따른 방탄 재료는 바람직하게는, 100mm/분의 헤드 속도가 사용된 것을 제외하고는 ASTM-D 1876-00에 따라 측정된 박리 강도가 5N 이상, 더 특히 5.5N 이상이다.

[0049] 개별 시트의 최종 용도와 두께에 따라, 본 발명에 따른 방탄 물품에서 스택 내의 시트의 개수는 일반적으로 2개 이상, 특히 4개 이상, 더 특히 8개 이상이다. 시트의 개수는 일반적으로 500개 이하, 특히 400개 이하이다.

[0050] 본 발명에서, 압축 스택 내의 테이프들의 방향은 단일 방향이 아니다. 이는 전체로서의 스택 내에서, 테이프들이 상이한 방향으로 배향됨을 의미한다.

[0051] 본 발명의 한 양태에서, 시트 내의 테이프들은 단일 방향으로 배향되고, 시트 내의 테이프들의 방향이 스택 내의 다른 시트들의 테이프들의 방향에 대하여, 더 특히 인접한 시트들 내의 테이프들의 방향에 대하여 회전된다. 스택 내의 전체 회전이 45도 이상에 이를 때 우수한 결과가 달성된다. 바람직하게는, 스택 내의 전체 회전이 약 90도에 이른다. 본 발명의 한 양태에서, 스택은 한 시트 내의 테이프들의 방향이 인접한 시트들 내의 테이프들의 방향에 수직인 인접한 시트들을 포함한다.

[0052] 본 발명은 또한 폭이 2mm 이상이고 폭 대 두께 비가 10:1 이상인 보강 테이프를 포함하는 시트들을 제공하는 단계, 압축 스택 내의 테이프의 방향이 단일 방향이 되지 않게 하는 방법으로 시트들을 적층(stacking)하는 단계 및 0.5MPa 이상의 압력 하에서 상기 스택을 압축시키는 단계를 포함하며, 0.2 내지 8중량%의 유기 매트릭스 재료가 시트들 내에 중합체 필름으로서 제공되거나, 시트들 사이의 중합체 필름으로서 제공되거나, 상기 제공 방식의 조합으로서 제공되는, 방탄 성형품의 제조방법에 관한 것이다.

[0053] 이 방법의 한 양태에서, 시트는 테이프들의 층을 제공하고 상기 테이프 바디들을 부착시킴으로써 제공된다. 이는 매트릭스 재료의 제공에 의해, 또는 테이프 바디들을 그대로 압축시킴으로써 행해질 수 있다. 후자의 양태에서, 매트릭스 재료는 적층 전에 시트 상에 도포될 것이다.

[0054] 인가될 압력은 적절한 특성을 갖는 방탄 성형품의 형성을 확보하는 것을 목적으로 한다. 압력은 0.5MPa 이상이다. 50MPa 이하의 최대 압력이 언급될 수 있다.

[0055] 필요한 경우, 매트릭스가 테이프들 및/또는 시트들을 서로 접착시키도록 돕게 할 필요가 있다면, 압축 동안의 온도는 매트릭스 재료가 이의 연화점 또는 융점보다 높은 온도가 되도록 선택된다. 승온에서의 압축은 성형품이 유기 매트릭스 재료의 연화점 또는 융점보다 높고 테이프의 연화점 또는 융점보다 낮은 압축 온도에서 특정 압축 시간 동안 주어진 압력에 처해지는 것을 의미하고자 한다.

[0056] 필요한 압축 시간 및 압축 온도는 테이프 및 매트릭스 재료의 성질 및 성형품의 두께에 좌우되며, 당업자에 의해 용이하게 결정될 수 있다.

[0057] 압축이 승온에서 수행될 경우, 압축된 재료의 냉각을 가압 하에 발생시키는 것도 바람직할 수 있다. 가압 하에서의 냉각은, 적어도 성형품의 구조가 대기압 하에서 더 이상 완화될 수 없을 정도로 낮은 온도에 도달할 때까지 냉각시키는 동안 주어진 최소 압력이 유지됨을 의미하고자 한다. 이 온도를 개개의 경우에 따라 결정하는 것은 당업자의 범주 내에 있다. 적용가능한 경우, 주어진 최소 압력에서의 냉각은 유기 매트릭스 재료가 대체로 또는 완전히 경화되거나 결정화되는 온도로, 그리고 보강 테이프의 완화 온도 미만으로 낮추는 것이 바람직하다. 냉각 동안의 압력은 고온에서의 압력과 같아야 할 필요는 없다. 냉각 동안, 압력은 적절한 압력 값을 유지하여 성형품 및 프레스(press)의 수축으로 인한 압력 감소를 보상하도록 모니터링되어야 한다.

[0058] 매트릭스 재료의 성질에 따라, 시트 내의 보강 테이프가 고분자량 선형 폴리에틸렌의 고도로 연신된 테이프인 방탄 성형품의 제조에 있어서, 압축 온도는 바람직하게는 115 내지 135℃이고, 70℃ 미만으로의 냉각이 일정 압력에서 달성된다. 본 명세서 내에서, 재료의 온도, 예를 들면, 압축 온도는 성형품의 두께의 절반에서의 온도를 지칭한다.

[0059] 본 발명의 방법에서, 스택은 성긴(loose) 시트로부터 출발하여 만들어질 수 있다. 그러나 성긴 시트는 그것이 테이프의 방향으로 쉽게 찢어진다는 점에서 취급이 어렵다. 따라서, 2 내지 8개, 보통 2개, 4개 또는 8개를 함유하는 압밀 시트 패키지(consolidated sheet package)로부터 스택을 만드는 것이 바람직하다. 시트 패키지 내의 시트들의 배향에 대해서는, 압축 스택 내의 시트들의 배향에 대해서 위에 기술된 것을 참조한다.

[0060] 압밀은 시트들이 서로 단단히 부착됨을 의미하고자 한다. 시트 패키지 역시 압축될 경우에는 매우 우수한 결과가 달성된다. 시트들은 당업계에 공지된 바와 같이, 열 및/또는 압력의 인가에 의해 압밀될 수 있다.

[0061] 본 발명의 바람직한 양태에서, 고분자량 및 좁은 분자량 분포를 갖는 폴리에틸렌 테이프가 사용된다. 특히 이 재료의 경우, 0.2 내지 8중량%의 매트릭스 재료의 사용이 특히 유리하다고 밝혀졌다. 고분자량 및 좁은 분자량 분포를 갖는 폴리에틸렌 테이프를 어떠한 매트릭스 재료도 사용하지 않고서 적합한 특성을 갖는 방탄 재료로 변환시키는 것은 어려울 것으로 여겨진다. 8중량% 이하의 매트릭스 재료의 사용은 이 폴리에틸렌의 유리한 방탄 특성이 충분히 활용되는 방탄 재료를 초래한다. 더 특히, 좁은 분자량 분포를 갖는 재료의 선택은 균일한 결정 구조를 갖는 재료의 형성 및 그와 함께, 개선된 기계적 특성 및 파괴 인성을 초래한다.

[0062] 본 발명의 이 양태에서, 테이프의 적어도 약간은 중량 평균 분자량이 100,000g/몰 이상이고 Mw/Mn 비가 6 이하인 폴리에틸렌 테이프이다.

[0063] 이 양태 내에서, 방탄 성형품에 존재하는 테이프의 총 중량을 기준으로 계산하여 바람직하게는 20중량% 이상, 특히 50중량% 이상, 더 특히, 75중량% 이상, 보다 더 특히 85중량% 이상 또는 95중량% 이상이 이들 요건을 충족시킨다. 한 양태에서, 방탄 성형품에 존재하는 모든 테이프는 이들 요건을 충족시켜야 한다.

[0064] 이러한 양태에 사용되는 테이프는 중량 평균 분자량(Mw)이 100,000g/몰 이상, 특히 300,000g/몰 이상, 더 특히 400,000g/몰 이상, 보다 더 특히 500,000g/몰 이상, 특히 1.10^6g/몰 내지 1.10^8g/몰이다.

[0065] 이러한 양태에 사용되는 테이프의 분자량 분포는 상대적으로 좁다. 이는 6 이하의 Mw(중량 평균 분자량)/Mn(수평균 분자량) 비로 표현된다. 더 특히, Mw/Mn 비는 5 이하, 보다 더 특히 4 이하, 더욱 더 특히 3 이하이다. 2.5 이하, 또는 심지어 2 이하의 Mw/Mn 비를 갖는 재료의 사용이 특히 예상된다.

[0066] 분자량 및 Mw/Mn 요건 이외에, 테이프는 높은 인장 강도, 높은 인장 모듈러스 및 높은 파단 에너지에 반영되는 높은 에너지 흡수율을 갖는 것이 바람직하다.

[0067] 한 양태에서, 이들 테이프의 인장 강도는 2.0GPa 이상, 특히 2.5GPa 이상, 더 특히 3.0GPa 이상, 보다 더 특히 4GPa 이상이다. 인장 강도는 ASTM D882-00에 따라 측정된다.

[0068] 또 다른 양태에서, 이들 테이프는 인장 모듈러스가 80GPa 이상, 더 특히 100GPa 이상, 보다 더 특히 120GPa 이상, 더욱 더 특히 140GPa 이상 또는 150GPa 이상이다. 모듈러스는 ASTM D822-00에 따라 측정된다.

[0069] 또 다른 양태에서, 테이프는 파단 인장 에너지가 30J/g 이상, 특히 35J/g 이상, 더 특히 40J/g 이상, 보다 더 특히 50J/g 이상이다. 파단 인장 에너지는 50%/min의 변형율을 사용하여 ASTM D882-00에 따라 측정된다. 이것은 응력-변형 곡선 아래의 단위 질량당 에너지를 적분함으로써 계산된다.

[0070] 본 발명의 바람직한 양태에서, 고분자량 및 규정된 좁은 분자량 분포를 갖는 폴리에틸렌 테이프는 이들의 XRD 회절 패턴에 의해 입증되는 바와 같이, 고분자 배향을 갖는다.

[0071] 본 발명의 한 양태에서, 테이프는 200/110 단일평면상(uniplanar) 배향 파라미터 Φ가 3 이상이다. 200/110 단일평면상 배향 파라미터 Φ는 반사 기하형태(reflection geometry)로 측정될 때, 테이프 샘플의 X-선 회절(XRD) 패턴에서 200과 110 피크 면적 사이의 비로 정의된다.

[0072] 광각 X-선 산란(wide angle X-ray scattering, WAXS)은 재료의 결정 구조에 대한 정보를 제공하는 기술이다. 이 기술은 구체적으로 광각에서 산란된 브랙(Bragg) 피크들의 분석을 지칭한다. 브랙 피크는 장거리 구조 질서(long-range structural order)로부터 생성된다. WAXS 측정은 회절 패턴, 즉 회절각 2Θ(이것은 회절빔과 1차 빔 사이의 각도이다)의 함수로서의 세기를 생성한다.

[0073] 200/110 단일평면상 배향 파라미터는 테이프 표면에 대하여 200 및 110 결정면의 배향 정도에 대한 정보를 제공한다. 높은 200/110 단일평면상 배향을 갖는 테이프 샘플의 경우, 200 결정면은 테이프 표면에 대해 고도로 평행하게 배향된다. 높은 단일평면상 배향은 일반적으로 높은 인장 강도 및 높은 파단 인장 에너지를 수반함이 밝혀졌다. 랜덤하게 배향된 결정자를 갖는 시험편에 대한 200과 110 피크 면적 사이의 비는 약 0.4이다. 그러나, 본 발명의 한 양태에서 우선적으로 사용되는 테이프의 경우, 지수 200을 갖는 결정자는 우선적으로 필름 표면에 대해 평행하게 배향되며, 그 결과 더 높은 값의 200/110 피크 면적 비, 그리고 따라서 더 높은 값의 단일평면상 배향 파라미터를 갖는다.

[0074] 200/110 단일평면상 배향 파라미터에 대한 값은 X-선 회절기를 사용하여 측정될 수 있다. Cu-Kα 방사선(K 파장 = 1.5418Å)을 생성하는 집속 다층 X-선 광학 장치(괴벨(Gobel) 미러)를 구비한 Bruker-AXS D8 회절기가 적합하다. 측정 조건: 2mm 확산 방지 슬릿, 0.2mm 검출기 슬릿 및 발생기 설정 40kV, 35mA. 테이프 시험편을, 예를 들면, 어떤 양면 실장 테이프를 사용하여 샘플 홀더 상에 장착시킨다. 테이프 샘플의 바람직한 치수는 15mm x 15mm (l x w)이다. 샘플이 완벽하게 편평하게 유지되고 샘플 홀더에 대해 정렬되도록 주의해야 한다. 이어서, 테이프 시험편을 갖는 샘플 홀더가 (고니오미터(goniometer)에 대해 수직이고 샘플 홀더에 대해 수직인 테이프의 법선을 갖는) 반사 기하형태에서 D8 회절기 내로 위치시킨다. 회절 패턴에 대한 주사 범위는 5° 내지 40° (2Θ)이며, 이때 스텝 크기는 0.02° (2Θ)이고, 계수 시간은 스텝당 2초이다. 측정 동안, 샘플 홀더를 테이프의 법선 둘레로 15rpm으로 회전시켜, 추가의 샘플 정렬이 필요하지 않게 한다. 이어서, 회절각 2Θ의 함수로서 세기가 측정된다. 표준 프로파일 피팅 소프트웨어, 예를 들면, Bruker-AXS로부터의 Topas를 사용하여 200 및 110 반사의 피크 면적이 측정된다. 200 및 110 반사는 단일 피크이기 때문에, 피팅 과정은 간단하며, 적절한 피팅 절차를 선택하고 수행하는 것은 당업자의 범주 내에 있다. 200/110 단일평면상 배향 파리미터는 200과 110 피크 면적 사이의 비로 정의된다. 이 파라미터는 200/110 단일평면상 배향의 정량적 척도이다.

[0075] 본 발명에 따른 방탄 재료의 한 양태에 사용되는 좁은 분자량 분포를 갖는 UHMWPE 테이프는 200/110 단일평면상 배향 파라미터가 3 이상이다. 이 값은 4 이상, 더 특히 5 이상 또는 7 이상인 것이 바람직할 수 있다. 10 이상 또는 심지어 15 이상의 값과 같은 더 높은 값이 특히 바람직할 수 있다. 이 파라미터에 대한 이론상의 최대값은 피크 면적 110이 0과 같다면 무한이다. 200/110 단일평면상 배향 파라미터에 대한 높은 값은 흔히 강도 및 파단 에너지에 대한 높은 값을 수반한다.

[0076] 본 발명의 한 양태에서, UHMWPE 테이프, 특히 Mw/Mn 비가 6 이하인 UHMWPE 테이프는 DSC 결정도가 74% 이상, 더 특히 80% 이상이다. DSC 결정도는, 예를 들면, Perkin Elmer DSC7 상에서 시차 주사 열량측정법(DSC)을 사용하여 다음과 같이 측정될 수 있다. 따라서, 기지의 중량(2mg)의 샘플을 10℃/분으로 30℃로부터 180℃로 가열하고, 5분 동안 180℃에서 유지하고, 이어서 10℃/분으로 냉각시킨다. DSC 주사의 결과가 온도(x-축)에 대하여 열 유량(mW 또는 mJ/s; y-축)의 그래프로서 플롯팅될 수 있다. 상기 주사의 가열 부분의 데이터를 사용하여 결정도를 측정한다. 결정 용융 전이(crystalline melt transition)에 대한 융해 엔탈피 ΔH(단위: J/g)를 주요 용융 전이(흡열)의 시작 바로 아래에서 측정된 온도로부터 융해가 완료된 것으로 관측된 점 바로 위의 온도까지의 그래프 아래의 면적을 측정함으로써 계산한다. 이어서, 계산된 ΔH를 약 140℃의 용융 온도에서 100% 결정질 PE에 대하여 측정된 이론상의 융해 엔탈피(ΔH_c 293J/g)와 비교한다. DSC 결정도 지수는 백분율, 100($\Delta H/\Delta H_c$)으로 표현된다. 한 양태에서, 본 발명에 사용된 테이프는 DSC 결정도가 85% 이상, 더 특히 90% 이상이다.

[0077] 본 발명의 이러한 양태에 사용된 폴리에틸렌은 에틸렌의 단독중합체이거나, 에틸렌과 또 다른 알파-올레핀 또는 사이클릭 올레핀 - 둘 다 일반적으로 3 내지 20개의 탄소원자를 가짐 - 인 공단량체와의 공중합체일 수 있다. 예는 프로펜, 1-부텐, 1-펜텐, 1-헥센, 1-헵텐, 1-옥텐, 사이클로헥센 등을 포함한다. 20개 이하의 탄소원자를

갖는 디엔의 사용이 또한 가능하며, 예를 들면, 부타디엔 또는 1-4 헥사디엔이다. 본 발명에 따른 방법에 사용되는 에틸렌 단독중합체 또는 공중합체 내의 비-에틸렌 알파-올레핀의 양은 바람직하게는 10몰% 이하, 바람직하게는 5몰% 이하, 더 바람직하게는 1몰% 이하이다. 비-에틸렌 알파-올레핀이 사용될 경우, 이것은 일반적으로 0.001몰% 이상, 특히 0.01몰% 이상, 보다 더 특히 0.1몰% 이상의 양으로 존재한다. 비-에틸렌 알파-올레핀이 사실상 부재한 재료의 사용이 바람직하다. 본 명세서의 내용 내에서, 비-에틸렌 알파-올레핀이 사실상 부재하다는 표현은, 중합체에 존재하는 비-에틸렌 알파-올레핀의 양은 단지 합리적으로 피할 수 없이 존재하는 양일 뿐임을 의미하고자 한다.

[0078] 일반적으로, UHMWPE 테이프들, 특히 좁은 분자량 분포를 갖는 UHMWPE 테이프들은 중합체 용매 함량이 0.05중량% 미만, 특히 0.025중량% 미만, 더 특히 0.01중량% 미만이다.

[0079] 본 발명에 사용된 테이프, 특히 좁은 분자량 분포를 갖는 UHMWPE 테이프들은 높은 선밀도와 조합하여 높은 강도를 가질 수 있다. 본 출원에서, 선밀도는 dtex 단위로 표현된다. 이는 필름 10.000미터 중량(단위: g)이다. 한 양태에서, 본 발명에 따른 필름은 위에 명시된 바와 같이, 2.0GPa 이상, 특히 2.5GPa 이상, 더 특히 3.0GPa 이상, 보다 더 특히 3.5GPa 이상, 그리고 더욱 더 특히 4 이상의 강도와 조합하여, 데니어가 3000dtex 이상, 특히 5000dtex 이상, 더 특히 10000dtex 이상, 더욱 더 특히 15000dtex 이상, 또는 심지어 20000dtex 이상이다.

[0080] 본 발명의 한 양태에서, 좁은 분자량 분포를 갖는 폴리에틸렌 테이프는, 중량 평균 분자량이 100,000g/몰 이상이고, 160℃에서 용융시킨 직후에 측정된 탄성 전단 모듈러스 G^0_N가 1.4MPa 이하이고, Mw/Mn 비가 6 이하인 출발 폴리에틸렌을, 중합체의 가공 동안 어떠한 점에서도 이의 온도가 이의 융점보다 높은 값으로 상승되지 않도록 하는 조건 하에서, 컴팩팅 단계(compacting step) 및 연신 단계(stretching step)에 수행하는 것을 포함하는 방법에 의해 제조되는 테이프이다.

[0081] 상기 제조방법을 위한 출발 재료는 고도로 풀어진(disentangled) UHMWPE이다. 이는 중량 평균 분자량, Mw/Mn 비 및 탄성 모듈러스의 조합으로부터 알 수 있다. 출발 중합체의 분자량 및 Mw/Mn 비에 관한 추가의 설명 및 바람직한 양태에 대해서는, MwMn 테이프에 대하여 위에 기술된 것을 참조한다. 특히, 이 방법에서는, 출발 중합체가 중량 평균 분자량이 500,000g/몰 이상, 특히 1.10^6g/몰 내지 1.10^8g/몰인 것이 바람직하다.

[0082] 위에 나타낸 바와 같이, 출발 중합체는 160℃에서 용융시킨 직후에 측정된 탄성 전단 모듈러스 G^0_N가 1.4MPa 이하, 더 특히 1.0MPa 이하, 보다 더 특히 0.9MPa 이하, 더욱 더 특히 0.8MPa 이하, 그리고 더욱 더 특히 0.7 이하이다. "용융 직후에"라는 표현은 중합체가 융용되지마자, 특히 중합체가 용융된 후 15초 이내에 탄성 모듈러스가 측정되는 것을 의미한다. 이 중합체 용융물의 경우, 탄성 모듈러스가 통상적으로 수 시간 이내에 0.6MPa로부터 2.0MPa로 증가한다.

[0083] 160℃에서 용융시킨 직후의 탄성 전단 모듈러스는 중합체의 얽힘(entangledness) 정도에 대한 척도이다. G^0_N는 고무질 안정상태 영역(rubbery plateau region)에서의 탄성 전단 모듈러스이다. 이것은 얽힘(entanglement)들 사이의 평균 분자량 Me에 관련되어 있으며, 이는 또한 얽힘 밀도에 반비례한다. 얽힘들의 균일한 분포를 갖는 열역학적으로 안정한 용융물에서, Me는 화학식 $G^0_N = g_N \rho RT/M_e$ (여기서, g_N은 1로 설정된 수치 인자이고, ρ는 g/cm^3 단위의 밀도이고, R은 기체 상수이고, T는 K 단위의 절대 온도이다)를 통해 G^0_N로부터 계산될 수 있다. 따라서, 낮은 탄성 모듈러스는 얽힘들 사이의 중합체의 길게 뻗은 구간들(long stretches)을 의미하고, 따라서 낮은 얽힘 정도를 의미한다. 얽힘 형성에 관한 변화에 대한 조사를 위해 채택된 방법은 간행물(Rastogi, S., Lippits, D., Peters, G., Graf, R., Yefeng, Y. and Spiess, H., "Heterogeneity in Polymer Melts from Melting of Polymer Crystals", Nature Materials, 4(8), 1st August 2005, 635-641 and PhD thesis Lippits, D. R., "Controlling the melting kinetics of polymers; a route to a new melt state", Eindhoven University of Technology, dated 6th March 2007, ISBN 978-90-386-0895-2)에 기재된 것과 동일하다.

[0084] 이 양태에 사용하기 위한 출발 폴리에틸렌은, 임의로 위에 논의된 다른 단량체의 존재 하에서 에틸렌이, 중합체가 형성 즉시 결정화되도록 중합체의 결정화 온도보다 낮은 온도에서 단일-활성점 중합 촉매의 존재 하에서 중합되는 중합 공정에 의해 제조될 수 있다. 이는 Mw/Mn 비가 청구된 범위에 있는 재료를 초래할 것이다.

[0085] 특히, 반응 조건은 중합 속도가 결정화 속도보다 더 낮게 되도록 선택된다. 이들 합성 조건은 분자 쇄가 이들의 형성 즉시 결정화되게 하며, 이는 용액 또는 용융물로부터 생성된 것과는 사실상 상이한 다소 독특한 모폴로

지로 이어지게 한다. 촉매의 표면에 생성되는 결정 모폴로지는 중합체의 결정화 속도와 성장 속도 사이의 비에 크게 좌우될 것이다. 더욱이, 합성 온도 - 이는 이러한 특정 경우에서는 결정화 온도이기도 하다 - 는 수득한 UHMW-PE 분말의 모폴로지에 강력하게 영향을 줄 것이다. 한 양태에서, 반응 온도는 -50 내지 +50℃, 더 특히 -15 내지 +30℃이다. 일상적인 시행 착오를 거쳐 어떠한 촉매의 유형, 중합체 농도 및 당해 반응에 영향을 주는 다른 파라미터들과 조합하여 어떠한 반응 온도가 적절한지를 결정하는 것은 충분히 당업자의 범주 내에 있다. 고도로 풀어진 폴리에틸렌, 특히 UHMWPE를 생성하기 위해서는, 합성 동안 중합체 쇄의 얽힘을 방지할 정도로, 중합 부위들이 서로로부터 충분히 멀리 떨어져 있는 것이 중요하다. 이는 낮은 농도로 결정화 매질을 통해 균일하게 분산된 단일-활성점 촉매를 사용하여 행해질 수 있다. 더 특히, 반응 매질 1리터당 1.10^{-4}몰 촉매 미만, 특히 1.10^{-5}몰 촉매 미만의 농도가 적절할 수 있다. 형성 동안 중합체의 상당한 얽힘을 방지할 정도로 활성 부위들이 서로로부터 충분히 멀리 떨어져 있도록 주의를 기울이는 한, 지지된 단일 활성점 촉매가 또한 사용될 수 있다. 본 발명에 사용되는 폴리에틸렌을 제조하기에 적합한 방법은 당업계에 공지되어 있다. 예를 들면, 국제 공개 공보 제WO 01/21668호 및 미국 특허 출원 제20060142521호를 참조한다.

[0086] 본 발명에 사용될 수 있는 풀어진 UHMWPE의 벌크 밀도는 통상의 UWMWPE의 벌크 밀도보다 상당히 더 낮을 수 있다. 더 특히, 본 발명에 따른 방법에 사용된 UHMWPE는 벌크 밀도가 $0.25g/cm^3$ 미만, 특히 $0.18g/cm^3$ 미만, 보다 더 특히 $0.13g/cm^3$ 미만일 수 있다. 벌크 밀도는 ASTM-D1895에 따라 측정될 수 있다. 이 값의 양호한 근사는 다음과 같이 얻어질 수 있다. UHMWPE 분말의 샘플을 정확히 100㎖의 측정용 비커 내로 붓는다. 과잉량의 재료를 긁어낸 후, 비커의 내용물의 중량을 측정하고 벌크 밀도를 계산한다.

[0087] 중합체는 미립자 형태로, 예를 들면, 분말 형태로, 또는 임의의 다른 적합한 미립자 형태로 제공된다. 적합한 입자는 입자 크기가 5000㎛ 이하, 바람직하게는 2000㎛ 이하, 더 특히 1000㎛ 이하이다. 입자는 바람직하게는 입자 크기가 1㎛ 이상, 더 특히 10㎛ 이상이다. 입자 크기 분포는 다음과 같이 레이저 회절(PSD, Sympatec Quixel)에 의해 측정될 수 있다. 샘플을 계면활성제-함유 물 내로 분산시키고, 30초 동안 초음파 처리하여 응집체/얽힘을 제거한다. 샘플을 레이저 빔을 통하여 펌핑하고 산란된 광을 검출한다. 광 회절의 양은 입자 크기에 대한 척도이다.

[0088] 중합체 입자를, 예를 들면, 마더 시트(mother sheet) 형태의 단일 물체 내로 통합시키기 위해서 컴팩팅 단계가 수행된다. 중합체에 배향을 제공하고 최종 생성물을 제조하기 위해서 연신 단계가 수행된다. 이들 두 단계들은 서로에 대해 수직인 방향에서 수행된다. 이들 요소들을 단일 단계로 조합하거나, 상이한 단계들 - 이때, 각각의 단계는 컴팩팅 및 연신 요소 중 하나 이상을 수행한다 - 로 당해 방법을 수행하는 것은 본 발명의 범주 내에 있음이 주지되어 있다. 예를 들면, 본 발명에 따른 방법의 한 양태에서, 당해 방법은 중합체 분말을 컴팩팅하여 마더시트를 형성하는 단계, 상기 플레이트를 롤링하여 롤링된 마더시트를 형성하는 단계 및 상기 롤링된 마더시트를 연신 단계에 처하게 하여 중합체 필름을 형성하는 단계를 포함한다.

[0089] 본 발명에 따른 방법에 적용되는 컴팩팅력은 일반적으로 10 내지 $10000N/cm^2$, 특히 50 내지 $5000N/cm^2$, 더 특히 100 내지 $2000N/cm^2$이다. 컴팩팅 후 재료의 밀도는 일반적으로 0.8 내지 $1kg/dm^3$, 특히 0.9 내지 $1kg/dm^3$이다.

[0090] 본 발명에 따른 방법에서, 컴팩팅 및 롤링 단계는 일반적으로 중합체의 비제약 융점(unconstrained melting point) 보다 1℃ 이상 낮은, 특히 중합체의 비제약 융점보다 3℃ 이상 낮은, 보다 더 특히 비제약 융점보다 5℃ 이상 낮은 온도에서 수행된다. 일반적으로, 컴팩팅 단계는 중합체의 비제약 융점보다 40℃ 이하 낮은, 특히 중합체의 비제약 융점보다 30℃ 이하 낮은, 더 특히 10℃ 이하 낮은 온도에서 수행된다.

[0091] 본 발명에 따른 방법에서, 연신 단계는 일반적으로 공정 조건 하에서 중합체의 융점보다 1℃ 이상 낮은, 특히 공정 조건 하에서 중합체의 융점보다 3℃ 이상 낮은, 보다 더 특히 공정 조건 하에서 중합체의 융점보다 5℃ 이상 낮은 온도에서 수행된다. 당업자가 인식하는 바와 같이, 중합체의 융점은 중합체가 받는 압박에 좌우될 수 있다. 이는 공정 조건 하에서의 용융 온도가 경우에 따라 달라질 수 있음을 의미한다. 이것은 당해 방법에서 응력 인장이 급격하게 저하되는 온도로서 용이하게 결정될 수 있다. 일반적으로, 연신 단계는 공정 조건 하에서 중합체의 융점보다 30℃ 이하 낮은, 특히 공정 조건 하에서 중합체의 융점보다 20℃ 이하 낮은, 더 특히 15℃ 이하 낮은 온도에서 수행된다.

[0092] 본 발명의 한 양태에서, 연신 단계는 둘 이상의 개별 연신 단계들을 포함하며, 여기서 제1 연신 단계는 제2, 및 임의로 추가의 연신 단계보다 더 낮은 온도에서 수행된다. 한 양태에서, 연신 단계는 둘 이상의 개별 연신 단

계들을 포함하며, 여기서 각각의 추가의 연신 단계는 앞선 연신 단계의 온도보다 더 높은 온도에서 수행된다.

[0093] 당업자에게 명백하겠지만, 이 방법은 개별 단계들이, 예를 들면, 명시된 온도의 개별 핫 플레이트 위로 공급되는 필름의 형태로 확인될 수 있는 방법으로 수행될 수 있다. 당해 방법은 또한 연속 방법으로 수행될 수 있는데, 여기서 필름은 연신 공정의 시작시 더 낮은 온도에, 그리고 연신 공정의 종료시 더 높은 온도에 처해지게 되며, 이때 온도 구배가 그 사이에 적용된다. 이 양태는, 예를 들면, 필름을 온도 존(zone)들을 구비한 핫 플레이트 위로 안내함으로써 수행될 수 있는데, 여기서 압축 장치에 가장 가까운 핫 플레이트 말단에 있는 존은 압축 장치로부터 가장 먼 핫 플레이트 말단에 있는 존보다 더 낮은 온도를 갖는다.

[0094] 한 양태에서, 연신 단계 동안 적용되는 최저 온도와 연신 단계 동안 적용되는 최고 온도 사이의 차이는 3℃ 이상, 특히 7℃ 이상, 더 특히 10℃ 이상이다. 일반적으로, 연신 단계 동안 적용되는 최저 온도와 연신 단계 동안 적용되는 최고 온도 사이의 차이는 30℃ 이하, 특히 25℃ 이하이다.

[0095] 출발 중합체의 비제약 용융 온도는 138 내지 142℃이며, 당업자에 의해 용이하게 측정될 수 있다. 위에 나타낸 값들을 사용함으로써 적절한 작동 온도의 계산이 가능해진다. 비제약 융점은 +30 내지 +180℃의 온도 범위에 걸쳐, 그리고 10℃/분의 증가 온도 속도로 질소 내에서 DSC(시차 주사 열량측정)를 통해 측정될 수 있다. 80 내지 170℃에서의 최대 흡열 피크의 최대값이 본 명세서에서 융점으로서 평가된다.

[0096] UHMWPE의 통상적인 가공에서는, 중합체의 용융 온도에 매우 근접한 온도에서, 예를 들면, 중합체의 용융 온도로부터 1 내지 3도 이내에서 당해 공정을 수행하는 것이 필요하였다. 특정한 출발 UHMWPE의 선택은 선행 기술에서 가능했던 것보다 중합체의 융점보다 더 많이 낮은 온도에서 조작하는 것을 가능하게 함이 밝혀졌다. 이는 더 큰 온도 조작 창에 도움이 되며, 이는 더 우수한 공정 제어에 도움이 된다.

[0097] 또한, UHMWPE의 통상적인 가공과 비교하여, 강도가 2GPa 이상인 재료가 더 높은 변형율(deformation speed)로 제조될 수 있음이 밝혀졌다. 변형율은 설비의 생산 능력과 직접 관련되어 있다. 경제적인 이유로, 필름의 기계적 특성에 유해한 영향을 주지 않고서, 가능한 한 높은 변형율에서 생성하는 것이 중요하다. 특히, 1.5GPa로부터 2GPa 이상으로의 생성물의 강도 증가를 필요로 하는 연신 단계가 초당 4% 이상의 속도로 수행되는 공정에 의해 강도가 2GPa 이상인 재료를 제조하는 것이 가능함이 밝혀졌다. 통상적인 폴리에틸렌 가공에서는, 이 연신 단계를 이 속도로 수행하는 것이 불가능하다. 통상적인 UHMWPE 가공에서는, 말하자면, 1 또는 1.5GPa의 강도에 대하여 초당 4% 초과의 속도로 초기 연신 단계가 수행될 수 있지만, 필름의 강도를 2GPa 이상의 값으로 증가시킬 필요가 있는 최종 단계는 초당 4%보다 훨씬 낮은 속도로 수행되어야 한다 - 이는 그렇지 않으면 필름이 파단될 것이기 때문이다. 대조적으로, 본 발명에 따른 방법에서는, 강도가 1.5GPa인 중간 필름(intermediate film)을 초당 4% 이상의 속도로 연신시켜 강도가 2GPa 이상인 재료를 생성하는 것이 가능함이 밝혀졌다. 강도의 추가의 바람직한 값에 대해서는, 위에 기술된 것을 참조한다. 이 단계에 적용되는 속도는 초당 5% 이상, 초당 7% 이상, 초당 10% 이상, 또는 심지어 초당 15% 이상일 수 있음이 밝혀졌다.

[0098] 필름의 강도는 적용되는 연신비와 관련되어 있다. 따라서, 이 효과는 또한 다음과 같이 표현될 수 있다. 본 발명의 한 양태에서, 본 발명에 따른 방법의 연신 단계는 80의 연신비로부터 100 이상, 특히 120 이상, 더 특히 140 이상, 보다 더 특히 160 이상의 연신비로의 연신 단계가 위에 나타낸 연신 속도로 수행되는 방법으로 수행될 수 있다.

[0099] 또 다른 추가의 양태에서, 본 발명에 따른 방법의 연신 단계는 모듈러스가 60GPa인 재료로부터 모듈러스가 80GPa 이상, 특히 100GPa 이상, 더 특히 120GPa 이상, 140GPa 이상 또는 150GPa 이상인 재료로의 연신 단계가 위에 나타낸 속도로 수행되는 방법으로 수행될 수 있다.

[0100] 강도가 1.5GPa이고/이거나 연신비가 80이고/이거나 모듈러스가 60GPa인 중간 생성물이 고속 연신 단계가 시작될 때의 계산을 위한 출발점으로서 각각 사용됨이 당업자에게 명백할 것이다. 이는 출발 재료가 강도, 연신비 또는 모듈러스에 대하여 명시된 값을 갖는 별도로 확인가능한 연신 단계가 수행됨을 의미하지는 않는다. 이들 특성을 갖는 생성물은 연신 단계 동안 중간 생성물로서 형성될 수 있다. 이때, 연신비는 명시된 출발 특성을 갖는 생성물에 대하여 다시 계산될 것이다. 위에 기재된 높은 연신 속도는, 고속 연신 단계 또는 단계들을 비롯한 모든 연신 단계들이 공정 조건 하에서 중합체의 융점보다 낮은 온도에서 수행되는 요건에 좌우됨을 주의한다.

[0101] 이 제조 공정에서, 중합체는 미립자 형태로, 예를 들면, 분말 형태로 제공된다. 중합체 입자를, 예를 들면, 마더 시트 형태의 단일 물체 내로 통합시키기 위해서 컴팩팅 단계가 수행된다. 중합체에 배향을 제공하고 최종 생성물을 제조하기 위해서 연신 단계가 수행된다. 이들 두 단계들은 서로에 대해 수직인 방향에서 수행된다.

이들 요소들이 단일 단계로 조합될 수 있거나, 개별 단계들 - 이때, 각각의 단계는 압축 및 연신 요소 중 하나 이상을 수행한다 - 로 수행될 수 있음을 주의한다. 예를 들면, 한 양태에서, 당해 방법은 중합체 분말을 컴팩팅하여 마더시트를 형성하는 단계, 상기 플레이트를 롤링하여 롤링된 마더시트를 형성하는 단계 및 상기 롤링된 마더시트를 연신 단계에 처하게 하여 중합체 필름을 형성하는 단계를 포함한다.

[0102] 본 발명에 따른 방법에 적용되는 컴팩팅력은 일반적으로 10 내지 10000N/cm^2, 특히 50 내지 5000N/cm^2, 더 특히 100 내지 2000N/cm^2이다. 컴팩팅 후 재료의 밀도는 일반적으로 0.8 내지 1kg/dm^3, 특히 0.9 내지 1kg/dm^3이다.

[0103] 컴팩팅 및 롤링 단계는 일반적으로 중합체의 비제약 융점보다 1℃ 이상 낮은, 특히 중합체의 비제약 융점보다 3℃ 이상 낮은, 보다 더 특히 중합체의 비제약 융점보다 5℃ 이상 낮은 온도에서 수행된다. 일반적으로, 컴팩팅 단계는 중합체의 비제약 융점보다 40℃ 이하 낮은, 특히 중합체의 비제약 융점보다 30℃ 이하 낮은, 더 특히 10℃ 이하 낮은 온도에서 수행된다.

[0104] 연신 단계는 일반적으로 공정 조건 하에서 중합체의 융점보다 1℃ 이상 낮은, 특히 공정 조건 하에서 중합체의 융점보다 3℃ 이상 낮은, 보다 더 특히 공정 조건 하에서 중합체의 융점보다 5℃ 이상 낮은 온도에서 수행된다. 당업자가 인식하는 바와 같이, 중합체의 융점은 중합체가 받는 구속에 좌우될 수 있다. 이는 공정 조건 하에서의 용융 온도가 경우에 따라 달라질 수 있음을 의미한다. 이것은 당해 방법에서 응력 인장이 급격하게 떨어지는 온도로서 용이하게 결정될 수 있다. 일반적으로, 연신 단계는 공정 조건 하에서 중합체의 융점보다 30℃ 이하 낮은, 특히 공정 조건 하에서 중합체의 융점보다 20℃ 이하 낮은, 더 특히 15℃ 이하 낮은 온도에서 수행된다.

[0105] 이 양태에서 출발 중합체의 비제약 용융 온도는 138 내지 142℃이며, 당업자에 의해 용이하게 측정될 수 있다. 위에 나타낸 값들을 사용함으로써 적절한 작동 온도의 계산이 가능해진다. 비제약 융점은 +30 내지 +180℃의 온도 범위에 걸쳐, 그리고 10℃/분의 증가 온도 속도로 질소 내에서 DSC(시차 주사 열량측정)를 통해 측정될 수 있다. 80 내지 170℃에서의 최대 흡열 피크의 최대값이 본 명세서에서 융점으로서 평가된다.

[0106] 컴팩팅 단계를 수행하는 데 통상의 장치가 사용될 수 있다. 적합한 장치는 가열 롤, 엔들리스 벨트(endless belt) 등을 포함한다.

[0107] 중합체 필름을 제조하기 위해서 연신 단계가 수행된다. 연신 단계는 당업계의 통상의 방법으로 하나 이상의 단계로 수행될 수 있다. 적합한 방법은 필름을 하나 이상의 단계에서, 둘 다가 공정 방향으로 롤링하고 제2 롤은 제1 롤보다 더 빠르게 롤링하는 한 세트의 롤 위로 안내하는 단계를 포함한다. 연신은 핫 플레이트 위에서 또는 공기 순환 오븐 내에서 일어나게 할 수 있다.

[0108] 총 연신비는 80 이상, 특히 100 이상, 더 특히 120 이상, 보다 더 특히 140 이상, 더욱 더 특히 160 이상일 수 있다. 총 연신비는 컴팩팅된 마더시트의 단면의 면적을 이 마더시트로부터 생성된 연신 필름의 단면으로 나눈 값으로 정의된다.

[0109] 당해 방법은 고체 상태로 수행된다. 최종 중합체 필름은 중합체 용매 함량이 0.05중량% 미만, 특히 0.025중량% 미만, 더 특히 0.01중량% 미만이다.

[0110] 본 발명은 하기의 실시예에 의해 예시되며, 이때 그것으로 또는 그것에 의해 제한되지 않는다.

[0111] 실시예 1

[0112] 본 발명에 따른 방탄 재료를 다음과 같이 제조하였다.

[0113] 출발 재료는 폭이 25㎜이고 두께가 50㎛인 UHMW 폴리에틸렌 테이프로 이루어졌다. 테이프는 인장 강도가 1.84GPa이고, 인장 모듈러스가 146GPa이고, 밀도가 920kg/m^3였다. 폴리에틸렌은 분자량 Mw가 4.3 * 10^6g/몰이고 Mw/Mn 비가 9,79였다.

[0114] 테이프들을 병렬 정렬하여 제1 층을 형성하고, 테이프들의 하나 이상의 추가의 층을 제1 층 상에 제1 층 내의 테이프들에 대하여 병렬 및 옵셋 정렬하고, 테이프 층들을 열-가압하여 시트를 형성함으로써 시트를 제조하였다.

[0115] 매트릭스를 균일한 층으로 시트 상에 도포하였다. 사용된 매트릭스 재료는 Henkel로부터 구매가능한 Prinlin

B7137 AL이었다.

[0116] 시트를 크로스-플라이하여 스택을 형성하였다. 스택을 60bar의 압력에서, 136 내지 137℃의 온도에서 압축하였다. 재료를 냉각시키고, 프레스로부터 꺼내어 방탄 성형품을 형성하였다. 패널은 면적 중량이 19.2kg/m^2이고, 매트릭스 함량이 4.0중량%였다.

[0117] NIJ III 0.108.01(hard armour)에 따라 방탄 특성에 대하여 패널을 시험하였다. 패널은 시험을 통과하였다. 857m/s의 총탄 속도에 대해, 8.9㎜의 터널 길이가 얻어짐을 확인하였다. 터널 길이는 패널에서의 총탄의 진입점과 총탄이 분해되기 시작하여 벌룬을 형성하는 지점 사이의 터널의 길이이다.

[0118] 비교예 1

[0119] 더 높은 양의 매트릭스를 사용한 것을 제외하고는, 실시예 1에 기재된 것과 유사한 비교용 방탄 재료를 제조하였다. 생성된 패널은 면적 중량이 19.8kg/m^2이고, 매트릭스 함량이 9.3중량%였다.

[0120] NIJ III 0.108.01(hard armour)에 따라 방탄 성능에 대하여 이 플레이트를 또한 시험하였다. 패널은 시험을 통과하였다. 842m/s의 총탄 속도에 대해, 10.03㎜의 터널 길이가 얻어졌음을 확인하였다. 886m/s의 총탄 속도에 대해서는, 10.42㎜의 터널 길이가 얻어졌다.

[0121] 실시예 1의 본 발명에 따른 패널과 비교하여, 비교용 패널은, 심지어 더 낮은 총탄 속도에서조차도 더 긴 터널 길이를 보여준다. 이는 총탄이 패널의 후방에서 더 많이 분해되고, 이는 총탄이 패널을 통해 관통할 위험을 증가시킴을 의미한다.

[0122] 비교예 2

[0123] 매트릭스를 사용하지 않은 것을 제외하고는, 실시예 1에 기재된 것과 유사한 비교용 방탄 재료를 제조하였다. 생성된 패널은 면적 중량이 19.6kg/m^2이고, 매트릭스 함량이 0중량%였다.

[0124] 총탄 속도 849m/s로 NIJ III 0.108.01(hard armour)에 따라 방탄 성능에 대하여 이 플레이트를 또한 시험하였다. 패널이 총탄을 멈추기는 했지만, 이것은 시험을 실패하였다. 패널은 두 부분으로 탈층되었다. 후면 변형 깊이(back face signature depth)는 100㎜를 초과하였다. 후면 변형 깊이에 대하여 44㎜를 초과하는 값은 상업적인 관점에서 허용 불가능하다.

[0125] 실시예 2

[0126] 실시예 1에 기재된 것과 유사한 본 발명에 따른 방탄 재료를 제조하였다. 생성된 플레이트는 면적 중량이 3.5kg/m^2이고, 매트릭스 함량이 4중량%였다.

[0127] 총탄 속도 434m/s로 NIJ IIIA 0.101.04에 따라 방탄 성능에 대하여 이 플레이트를 시험하였다. 플레이트가 이 시험을 통과했음을 확인하였다.