



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2025년04월29일
(11) 등록번호 10-2800632
(24) 등록일자 2025년04월22일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
B29C 64/386 (2017.01) B22F 10/30 (2021.01)
B22F 3/093 (2006.01) B23K 20/12 (2006.01)
B29C 35/02 (2018.01) B29C 64/227 (2017.01)
B29C 64/321 (2017.01) B29C 64/393 (2017.01)
B29C 70/64 (2006.01) B33Y 40/00 (2020.01)
B33Y 40/20 (2020.01)
- (52) CPC특허분류
B29C 64/386 (2021.08)
B22F 10/30 (2023.08)
- (21) 출원번호 10-2020-7028915
(22) 출원일자(국제) 2019년03월12일
심사청구일자 2022년03월10일
(85) 번역문제출일자 2020년10월08일
(65) 공개번호 10-2021-0010980
(43) 공개일자 2021년01월29일
(86) 국제출원번호 PCT/US2019/021910
(87) 국제공개번호 WO 2019/178138
국제공개일자 2019년09월19일
- (30) 우선권주장
62/641,931 2018년03월12일 미국(US)
62/663,595 2018년04월27일 미국(US)
- (56) 선행기술조사문헌
US20150061170 A1*
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

- (73) 특허권자
멜드 매뉴팩처링 코포레이션
미국 24073 버지니아주 크리스찬스버그 테크놀로지 드라이브 200
- (72) 발명자
랄랑드, 프레드릭
미국, 버지니아 24060, 블랙스버그, 2270 마운트 타보 로드
가길로, 크리스토퍼
미국, 버지니아 24060, 블랙스버그, 아파트먼트 6, 614 워싱턴 스트리트 에스이
(뒷면에 계속)
- (74) 대리인
강철중

전체 청구항 수 : 총 20 항

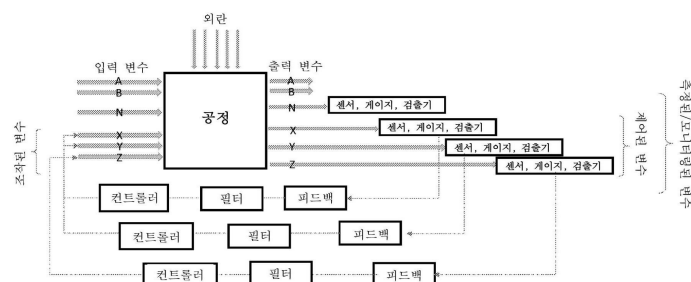
심사관 : 이태우

(54) 발명의 명칭 교체-상태 적응 가공 시스템의 공정 제어 방법, 공정 제어 시스템, 연속 공급 시스템, 및 소프트웨어 제어식 교체-상태 적응 가공 시스템으로 생산된 구조물

(57) 요약

접합, 적응 가공, 코팅, 보수 등 다양한 적응 공정을 수행할 수 있는 교체-상태 적응 가공 시스템의 공정 제어 시스템 및 공정 제어 방법이 개시된다. 공정 제어 시스템은 다수의 공정 변수, 즉 재료 온도, 액추에이터 하향력, 톨 힘(또는 톨크), 톨 위치, 톨 각속도 및 횡방향 속도, 스핀들 톨크(각속도), 필러 유량, 필러 조성, (뒷면에 계속)

대표도



트랙 폭, 불활성 가스 유량 등을 동시에 측정하고, 모니터링하고, 제어할 수 있다. 고체-상태 적층 가공 시스템에 필터 재료를 지속적으로 공급하기 위한 공급 시스템도 개시된다. 필터 재료는 분말, 과립, 브리켓, 비드, 플레이크, 와이어, 로드, 필름, 패 조각, 시트, 블록, 또는 이들의 조합의 형태일 수 있다. 공정 제어식 고체-상태 적층 가공 시스템을 사용하여 상이한 주기적 및 비주기적 구조물들 및 접합부를 생성하는 방법도 개시된다.

(52) CPC특허분류

B22F 3/093 (2013.01)
B23K 20/122 (2013.01)
B29C 35/02 (2013.01)
B29C 64/227 (2021.08)
B29C 64/321 (2017.08)
B29C 64/393 (2021.08)
B29C 70/64 (2013.01)
B33Y 40/00 (2023.05)
B33Y 40/20 (2023.05)

브로치, 아니타, 티.

미국, 버지니아 24073, 크리스티안스버그, 2045 더
 닙턴 코트

(72) 발명자

콕스, 체스

미국, 버지니아 24141, 래드포드, 9 히든 벨리 레
 인

하드윅, 낸시

미국, 버지니아 24060, 블랙스버그, 904 뷰캐넌 드
 라이브

명세서

청구범위

청구항 1

고체-상태 적층 가공 시스템의 공정 제어를 위한 방법으로서,

컨트롤러를 이용하여 고체-상태 적층 가공 공정에 대한 하나 이상의 공정 변수들의 세트를 식별하는 단계로서, 상기 하나 이상의 공정 변수들의 세트는 스핀들(spindle)로부터의 제1 공정 변수 및 툴링(tooling)으로부터의 제2 공정 변수를 포함하는, 단계;

하나 이상의 공정 제어 알고리즘을 제공하여 상기 제1 공정 변수를 이용하여 스핀들을 제어하고 상기 제2 공정 변수를 이용하여 툴링을 제어하는 단계를 포함하며, 상기 공정 제어 알고리즘은,

상기 제1 공정 변수 및 상기 제2 공정 변수 각각에 대한 공정 값 PV를 획득하고;

상기 제1 공정 변수 및 상기 제2 공정 변수 각각에 대한 설정점 SP를 생성하며;

상기 제1 공정 변수 및 상기 제2 공정 변수 각각에 대해 $D = SP - PV$ 를 계산하고;

D가 상기 제1 공정 변수 및 상기 제2 공정 변수에 대해 미리 결정된 범위를 초과하는지 결정하며; D가 상기 미리 결정된 범위를 초과하면;

상기 제1 공정 변수 및 상기 제2 공정 변수에 대한 피드백 제어 신호를 생성하도록 구성되며, 상기 피드백 제어 신호는 툴링으로부터 피가공물의 표면으로 고체 필러 재료를 소성 변형된(plastically deformed) 고체 필러 재료로서 추가하기 위해 툴링의 스로트(throat)를 통해 고체 필러 재료를 누르기 위한 하향력을 제공하도록 상기 스핀들 및 상기 툴링의 동작을 제어할 수 있는, 방법.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 하나 이상의 공정 제어 알고리즘은 하나 이상의 다중-변수 제어 루프에서 상기 제1 공정 변수 및 상기 제2 공정 변수를 제어하는, 방법.

청구항 3

제1항에 있어서, 상기 고체-상태 적층 가공 공정은 3D 구조물의 집합, 코팅, 표면 기능화, 수선 또는 적층 가공을 포함하는, 방법.

청구항 4

제1항에 있어서, 상기 컨트롤러는 벌집형 구조물, 샌드위치 구조물, 또는 반복 블록 구조물 중 하나 이상을 포함하는 선택된 마이크로구조물을 제공하도록 구성된, 방법.

청구항 5

제1항에 있어서, 상기 컨트롤러는 상기 피가공물의 표면으로의 소성 변형된 고체 필러 재료의 연속적인 추가를 허용하기 위해, 고체 필러 시스템으로부터의 수신된 제3 공정 변수를 이용하여 고체 필러 시스템으로의 고체 필러 재료의 연속적 로딩을 제어하도록 구성된, 방법.

청구항 6

제5항에 있어서, 상기 컨트롤러는 상기 수신된 제3 공정 변수를 이용하여 스핀들을 향하여 고체 필러 재료를 누르는 하향력을 제어하도록 구성된, 방법.

청구항 7

제1항에 있어서, 상기 컨트롤러는 수신된 제2 공정 변수를 이용하여 상기 피가공물의 표면으로의 소성 변형된 고체 필러 재료의 추가 동안 상기 툴링의 각속도를 제어하도록 구성된, 방법.

청구항 8

제1항에 있어서,

상기 컨트롤러는 수신된 제2 공정 변수를 이용하여 상기 피가공물의 표면으로의 소성 변형된 고체 필러 재료의 추가 동안 상기 툴링의 토크를 제어하도록 구성된, 방법.

청구항 9

제1항에 있어서,

상기 컨트롤러는 수신된 제2 공정 변수를 이용하고 폐쇄 루프 제어를 제공하여 상기 피가공물의 표면으로의 소성 변형된 고체 필러 재료의 추가 동안 상기 툴링과 상기 피가공물의 표면 사이의 마찰력을 제어하도록 구성된, 방법.

청구항 10

제1항에 있어서,

상기 컨트롤러는 수신된 제2 공정 변수를 이용하여 소성 변형된 고체 필러 재료가 상기 피가공물의 표면으로 추가되는 동안 상기 툴링의 횡방향 움직임을 제어하도록 구성된, 방법.

청구항 11

제1항에 있어서,

상기 컨트롤러는 수신된 제2 공정 변수를 이용하여 상기 피가공물의 표면 상에 추가된 소성 변형된 고체의 레이어링(layering)을 제어하도록 구성된, 방법.

청구항 12

제1항에 있어서,

상기 컨트롤러는 수신된 제2 공정 변수를 이용하여 상기 피가공물의 표면의 온도를 제어하도록 구성된, 방법.

청구항 13

제5항에 있어서, 상기 컨트롤러는 상기 수신된 제3 공정 변수를 이용하여 고체 필러 시스템 내의 고체 필러 재료의 온도를 제어하도록 구성되는, 방법.

청구항 14

제1항에 있어서, 상기 컨트롤러는 상기 피가공물의 표면에 추가된 고체 필러 재료의 두께 및 폭을 모니터링하도록 구성되고, 추가된 고체 필러 재료의 두께 및 폭이 달성되면 상기 컨트롤러는 상기 피가공물의 표면으로부터 상기 툴링을 후퇴시켜 상기 피가공물의 표면으로의 고체 필러 재료의 추가를 중단하도록 구성된, 방법.

청구항 15

제1항에 있어서, 상기 제1 공정 변수를 측정하도록 구성된 제1 센서를 이용하는 단계 및 상기 제2 공정 변수를 측정하도록 구성된 제2 센서를 이용하는 단계를 더 포함하되, 상기 제1 센서 및 상기 제2 센서는 각각 상기 컨트롤러에 전기적으로 결합된, 방법.

청구항 16

고체-상태 적층 가공 시스템을 이용하여 피가공물의 표면으로의 고체 필러 재료의 추가를 제어하기 위한 시스템으로서, 상기 시스템은:

고체 필러 재료를 수신하도록 구성된 스펀들;

상기 스펀들로부터 상기 고체 필러 재료를 수신하고 상기 고체 필러 재료를 피가공물의 표면에 추가하여 상기 피가공물의 표면 상에 선택된 마이크로구조물을 갖는 추가 고체 필러 재료를 제공하도록 구성된 툴링으로서, 상기 툴링은 상기 스펀들로부터 고체 필러 재료를 수신할 수 있는 스로트와 본체를 포함하고, 상기 스펀들은 상기

피가공물의 표면으로의 고체 필터 재료의 추가 동안 상기 툴링의 스로트를 통해 상기 고체 필터 재료를 누르기 위한 하향력을 제공하도록 구성된, 상기 툴링; 및

상기 스핀들 및 상기 툴링에 전기적으로 결합되어 상기 피가공물의 표면에 추가된 고체 필터 재료의 선택된 마이크로구조물을 제어하는 컨트롤러로서, 상기 컨트롤러는 상기 스핀들로부터 제1 공정 변수를 수신하고 상기 툴링으로부터 제2 공정 변수를 수신하도록 구성되고, 상기 컨트롤러는 수신된 제1 공정 변수를 이용하여 상기 스핀들을 독립적으로 제어하고 수신된 제2 공정 변수를 이용하여 상기 툴링을 제어하여 상기 툴링으로부터의 고체 필터 재료를 소성 변형된 고체 필터 재료로서 상기 피가공물의 표면에 추가하도록 구성되고, 상기 컨트롤러는 수신된 제2 공정 변수를 이용하여 상기 스핀들로부터의 제공된 하향력을 제어하도록 구성된, 상기 컨트롤러를 포함하는, 시스템.

청구항 17

제16항에 있어서, 상기 컨트롤러는 벌집형 구조물, 샌드위치 구조물, 또는 반복 블록 구조물 중 하나 이상을 포함하는 선택된 마이크로구조물을 제공하도록 구성된, 시스템.

청구항 18

제16항에 있어서, 상기 스핀들로 고체 필터 재료를 제공하도록 구성된 고체 필터 시스템을 더 포함하며, 상기 컨트롤러는 상기 피가공물의 표면으로의 소성 변형된 고체 필터 재료의 연속적인 추가를 허용하기 위해, 고체 필터 시스템으로부터의 수신된 제3 공정 변수를 이용하여 고체 필터 시스템으로의 고체 필터 재료의 연속적 로딩을 제어하도록 구성된, 시스템.

청구항 19

제18항에 있어서, 상기 컨트롤러는 상기 수신된 제3 공정 변수를 이용하여 상기 스핀들을 향하여 고체 필터 재료를 누르는 하향력을 제어하도록 구성된, 시스템.

청구항 20

제18항에 있어서, 상기 컨트롤러는 상기 수신된 제2 공정 변수를 이용하여 상기 피가공물의 표면의 온도를 제어하도록 구성된, 시스템.

청구항 21

삭제

청구항 22

삭제

청구항 23

삭제

청구항 24

삭제

청구항 25

삭제

청구항 26

삭제

청구항 27

삭제

청구항 28

삭제

청구항 29

삭제

청구항 30

삭제

청구항 31

삭제

청구항 32

삭제

청구항 33

삭제

청구항 34

삭제

청구항 35

삭제

청구항 36

삭제

청구항 37

삭제

청구항 38

삭제

청구항 39

삭제

청구항 40

삭제

청구항 41

삭제

청구항 42

삭제

청구항 43

삭제

청구항 44

삭제

청구항 45

삭제

청구항 46

삭제

청구항 47

삭제

청구항 48

삭제

청구항 49

삭제

청구항 50

삭제

청구항 51

삭제

청구항 52

삭제

청구항 53

삭제

청구항 54

삭제

청구항 55

삭제

청구항 56

삭제

청구항 57

삭제

청구항 58

삭제

청구항 59

삭제

청구항 60

삭제

청구항 61

삭제

청구항 62

삭제

청구항 63

삭제

청구항 64

삭제

청구항 65

삭제

청구항 66

삭제

청구항 67

삭제

청구항 68

삭제

청구항 69

삭제

청구항 70

삭제

청구항 71

삭제

청구항 72

삭제

청구항 73

삭제

청구항 74

삭제

청구항 75

삭제

청구항 76

삭제

청구항 77

삭제

청구항 78

삭제

청구항 79

삭제

청구항 80

삭제

청구항 81

삭제

청구항 82

삭제

청구항 83

삭제

청구항 84

삭제

청구항 85

삭제

청구항 86

삭제

청구항 87

삭제

청구항 88

삭제

청구항 89

삭제

청구항 90

삭제

청구항 91

삭제

청구항 92

삭제

청구항 93

삭제

청구항 94

삭제

청구항 95

삭제

청구항 96

삭제

청구항 97

삭제

청구항 98

삭제

청구항 99

삭제

청구항 100

삭제

청구항 101

삭제

청구항 102

삭제

청구항 103

삭제

청구항 104

삭제

청구항 105

삭제

청구항 106

삭제

청구항 107

삭제

청구항 108

삭제

청구항 109

삭제

청구항 110

삭제

청구항 111

삭제

청구항 112

삭제

청구항 113

삭제

청구항 114

삭제

청구항 115

삭제

청구항 116

삭제

청구항 117

삭제

청구항 118

삭제

청구항 119

삭제

청구항 120

삭제

청구항 121

삭제

청구항 122

삭제

청구항 123

삭제

청구항 124

삭제

청구항 125

삭제

청구항 126

삭제

청구항 127

삭제

청구항 128

삭제

청구항 129

삭제

청구항 130

삭제

청구항 131

삭제

청구항 132

삭제

청구항 133

삭제

청구항 134

삭제

청구항 135

삭제

청구항 136

삭제

청구항 137

삭제

청구항 138

삭제

청구항 139

삭제

청구항 140

삭제

청구항 141

삭제

청구항 142

삭제

청구항 143

삭제

청구항 144

삭제

청구항 145

삭제

청구항 146

삭제

청구항 147

삭제

청구항 148

삭제

청구항 149

삭제

청구항 150

삭제

청구항 151

삭제

청구항 152

삭제

청구항 153

삭제

청구항 154

삭제

청구항 155

삭제

청구항 156

삭제

청구항 157

삭제

청구항 158

삭제

청구항 159

삭제

청구항 160

삭제

청구항 161

삭제

청구항 162

삭제

청구항 163

삭제

청구항 164

삭제

발명의 설명

기술 분야

[0001] 관련 출원의 교차 참조

[0002] 본 출원은 2018년 3월 12일에 출원된 미국 임시 출원 제62/641,931호 및 2018년 4월 27일에 출원된 미국 임시 출원 제62/663,595호의 개시내용에 의존하며 이들의 우선권 및 이익을 주장하며, 이들의 개시내용은 그 전체가 본원에 인용되어 포함된다.

발명의 내용

[0003] 본 발명의 실시형태는 고체-상태 적층 가공 시스템을 위한 공정 제어 시스템, 및 고체-상태 적층 가공 기계에 의해 수행되는 다양한 관련 작업을 제공한다. 고체-상태 적층 가공 기계는 여러 가지 필러 재료, 즉 금속, 금속 합금, 금속 매트릭스 복합재(MMC), 폴리머, 플라스틱, 세라믹, 복합재, 혼성 재료, 및 다양한 구배 성분들을 적층시킬 수 있으며, 필러 재료는 로드(rod), 와이어, 과립, 분말, 분말 충전 튜브, 시트, 불규칙적 플레이크, 또는 이들의 조합의 형태로 존재하며 피가공물(workpiece) 위에 및/또는 내부에 적층된다. 고체-상태 적층 가공 기계로 재료를 적층하고 특정 공정 조건을 활용함으로써, 3D 및 4D 구조물의 코팅, 접합, 표면 기능화, 수선, 또는 제작을 포함한 고체-상태 적층 가공을 수행할 수 있다. 수행된 공정 및 공정 조건에 따라, 적층된 재료는 유입되는 필러 재료에 존재하는 구조와 비교하여 나노 및/또는 마이크로 레벨의 여러 구조들을 가질 수 있으며, 구배 구조 및/또는 조성, 다공성 구조, 다수의 나노/마이크로 구조들의 조합 등을 가질 수 있다. 고체-상태 적층 가공 공정에 사용되는 피가공물은 평면 또는 곡선 기판, 조인트(코너 조인트, 버트(butt) 조인트, 랩 조인트, 티 조인트, 및 에지 조인트를 포함하되 이에 국한되지 않음), 레일, 파이프, 창틀, 자동차 및 항공 우주 부품 및 구조물, 및 기타 많은 구조물을 포함하되 이에 제한되지 않는 거의 모든 형상 및/또는 크기일 수 있

거나 이를 포함할 수 있다.

- [0004] 3D 구조물 및 4D 구조물의 코팅, 집합, 표면 기능화, 수선, 또는 제작과 같은 공정 중 임의의 것을 수행할 수 있는 고체-상태 적층 가공 시스템은 당업계에 알려진 마찰 교반 시스템과는 본질적으로 상이하다. 공지된 기술과의 가장 큰 차이점은 고체-상태 적층 가공 시스템이, 필러 재료로 알려진 재료를 피가공물(들)에 적층하여 조인트를 생성하고, 결합이 있는 지점을 수선하고, 부품을 코팅하거나, 적층형 3D 또는 4D 구조물을 생성함으로써, 고체-상태 열역학적 적층 공정으로서의 적층 공정을 수행하고 있다는 것이다. 고체-상태 적층 가공 공정은 실제로 피가공물 상 또는 피가공물 내에 필러 재료를 적층하고, 가공된 영역에서 심한 마찰로 인해 발생하는 마찰 가열의 도움으로 재료(필러 재료 및 피가공물 재료)를 혼합 및 균질화하고, 필러 재료가 녹지 않으면서 적층된 재료와 피가공물 사이에 화학적 또는 물리적 결합을 생성하는 고체-상태 공정이다.
- [0005] 간단히 말해서, 이러한 고체-상태 적층 가공 공정의 기본은 다음을 포함한다: 1. 회전 톨과 피가공물 표면 사이의 마찰에 의해 열이 생성된다; 2. 발생한 열은 회전 톨 근처에서 상당한 양의 소성 변형을 가능하게 한다; 3. 피가공물 재료에 상당한 변형이 가해져 미세 구조가 정련된다; 4. 상기 톨에 인접한 재료가 연화되고 연화된 재료가 기계적으로 교반된다; 및/또는 5. 재료의 연화와 동시에 또는 이와 근접한 시간에, 연화된 재료는 톨 솔더에 의해 공급되는 기계적 압력을 사용하여 해당 톨의 통로를 통해 추가된 필러 재료와 혼합되고 결합된다.
- [0006] 이들 고체-상태 적층 가공 공정의 이점 중 일부는, 오직 그 일부만이 본 명세서에서 설명되어 있으며 다음과 같다: 1. 이들은 고체-상태 및 종종 단일 단계 공정이다; 2. 열에 민감하고 공기에 민감한 재료로 작업할 수 있는 가능성을 제공한다; 3. 사전 표면 처리가 필요하지 않다; 4. 우수한 치수 안정성을 제공한다(고체-상태에서 수행되기 때문에 부품의 왜곡 최소화); 4. 가공된 피가공물의 표면 깊이에 대한 우수한 제어를 가능하게 한다; 5. 마찰에 의해 열이 발생하기 때문에 에너지를 거의 소비하지 않으며, 따라서 재료의 소성 변형을 일으키는 외부 에너지가 필요하지 않다; 6. 기관(피가공물)과의 우수한 접착 특성을 실현한다; 7. 우수한 재현성을 가지고 있다; 그리고 8. 공정 자동화에 대한 잠재력을 제공한다. 따라서 고체-상태 적층 가공 시스템 및 관련 고체-상태 적층 가공 공정 및 기술은 주로 비교적 낮은 외부 에너지 비용으로 인해서 뿐만 아니라 공정에서 가혹한 화학 재료이 필요하지 않고 배기 가스 및 연기가 발생하지 않는다는 사실로 인해서, 환경 친화적인 것으로 간주된다.
- [0007] 본 발명은 금속 기관에 대한 소모성 금속의 마찰 가열 및 압축/전단 부하를 사용하여 금속 기관의 표면을 처리(disposing), 코팅, 수선, 또는 변경하기 위한 톨 및 방법에 관한 것이다. 보다 구체적으로, 본 발명의 실시형태는 스로트가 있는 비소모성 부재 및 스로트 내에 배치된 소모성 부재를 포함하는 고체-상태 적층 마찰 기반 가공 톨링을 포함하고, 여기서 소모성 필러 재료는 기관에 대한 이러한 필러 재료의 마찰 가열 및 압축/전단 부하를 사용하여 적층 동안 연속적인 방식으로 스로트에 도입될 수 있다.
- [0008] 본 발명자들은 마찰 기반 가공 톨과 같은 고체-상태 적층 가공 톨을 위한 새로운 적층 기술을 개발했다. 이러한 기술 및 톨링은 금속 기관과 같은 기관 상의 코팅의 수선, 결합, 및/또는 조성 변경, 및 적층을 효율적이고 간단한 방식으로 가능하게 한다. 예를 들어, 본 발명자들은 비소모성 본체, 및 압축 하중 및 마찰 가열을 사용하여 기관에 소모성 필러 재료를 전달하도록 한 형상으로 형성된 본체를 통과하는 길이 방향의 통로를 형성하는 스로트를 포함하는 톨을 개발했다. 이러한 톨은 기관과 필러 재료 사이에 고품질의 접착력을 제공할 수 있으며 고장에 더욱 강한 고강도 제품을 실현할 수 있다.
- [0009] 본 발명자들은 스프indle 내에서 소모성 재료의 축적으로 인한 기계의 중단 시간을 감소시키는 것을 포함하여, 스프indle에 고체-상태 재료를 공급함으로써 발생하는 기계적 문제들의 일부의 효과를 감소시키고, 톨에 소모성 재료를 지속적으로 도입하는 방법을 찾아서 적층 공정의 효율성을 개선하고, 적층 공정 중에 공급 재료의 조성에 변화를 도입하고 기능적으로 등급이 매겨진 기관을 단순화된 방식으로 준비하는 공정을 개발함으로써, 본 분야에 서 개선된 진보를 실현하였다.
- [0010] 이 분야에서의 이러한 발전으로 특수 합금의 디지털 가공이 가능해졌다. 금속 부품을 위한 최신 디지털 가공 기술은 분말 야금 및 용융 용접 기반 공정을 중심으로 발전했다. 이러한 가공 방법은 모두 동일한 조성의 가공 금속에 비해 기계적 및 물리적 특성이 열등한 부품을 생산한다. 또한, 가장 빠른 공정에서도 생산율은 비교적 낮으며(Ti의 경우 약 40lbs./hr) 부품 엔벨로프(part envelope)는 몇 입방 피트로 제한된다.
- [0011] 이러한 특정 가공 상의 어려움 중 일부를 해결하기 위해, 본 발명자들은 특수 고강도 강철 및 초미립 합금을 포함한 광범위한 범위의 합금으로부터 저렴하고, 전밀도, 거의 그물 모양의 부품 가공을 가능하게 할 수 있는 새로운 고속, 대용량 가공 금속 적층 기술을 개발했다. 복잡한 가공 합금 부품을 처음부터 신속하게 제조할 수 있는 능력은 디지털 가공 및 전략 준비에 있어서 도약을 제공할 것이다.

- [0012] 다양한 종류의 많은 공정을 수행하기 위한 고체-상태 적층 가공 시스템의 뛰어난 유연성은 복잡한 공정 제어 시스템을 필요로 한다. 이러한 공정의 복잡성 중 일부는 고체-상태 적층 가공 기계에 의해 적층될 수 있는 다양한 재료뿐만 아니라 적층 작업에 적용될 수 있는 다양한 기판, 구조물 및 부품에서 비롯된다. 고체-상태 적층 가공 기계에서 필러로서 적층될 수 있는 각 재료 범주는 서로 상당히 상이할 수 있으므로 제어된 공정 파라미터가 범주마다 매우 달라야 한다. 예를 들어, 필요한 하향력, 토크, 온도, 필러 유량 또는 생성된 마찰 및 관련 마찰 가열은 열가소성 폴리머 필러 재료와 강철 또는 알루미늄 필러 재료 간에 매우 상이하다. 또한, 적층될 재료의 형태(파우더, 펠릿, 로드, 시트, 와이어, 또는 불규칙한 플레이크, 또는 이들의 조합)는 특정 고체-상태 적층 가공 작업에 있어서 어느 파라미터가 중요하거나 제한적인 파라미터인지를 지시한다. 고체-상태 적층 가공 적층 작업을 받는 기판 또는 부품은 어느 파라미터가 면밀하게 측정, 모니터링 및 제어되어야 하는 파라미터인지와 대응하는 임계 값 범위를 추가로 지시한다.
- [0013] 틀 기하구조 및 크기의 편차는 공정 제어 시스템을 더욱 복잡하게 한다. 틀이 기판 표면에 제공하는 필러 재료 특성과 조합된 상이한 틀 기하구조 및 크기는 제어해야 하는 파라미터 값에 영향을 준다. 클래딩, 코팅, 표면 기능화, 수선, 공동 충전, 리브 적층 등과 같은, 소정의 고체-상태 적층 가공 기계를 사용하는 다양한 작업을 수행할 수 있으므로, 공정 제어 시스템이 유연해야 하고, 이용 가능한 모든 상이한 틀들 및 작업들을 수용할 수 있는 다른 요구 사항이 추가된다. 또한, 틀과 핀(있는 경우)은 솔더 및 스펀들의 속도와 비교하여, 동일하거나 상이한 속도로 동일하거나 반대 방향으로 회전할 수 있다. 핀(있는 경우)은 피가공물의 상이한 깊이들 내에서 관통하거나 핀(있는 경우)은 피가공물을 관통하지 않도록 배치될 수 있다.
- [0014] 고체-상태 적층 가공 공정을 더욱 복잡하게 만드는 것은 주요 공정을 수행하기 전, 도중 및 후에 수행해야 하는 보조 작업이 있으며 이러한 보조 작업은 엄격하게 제어되어야 하며 공정들 간에서 상이할 수 있다는 사실이다.
- [0015] 독립적 및 종속적인 모든 변수를 고려할 때, 관련 공정 변수의 값과 고체-상태 적층 가공 시스템 내에서 작동하는 모든 관련 기계 부품의 이동을 제어할 필요가 있다. 적절한 공정 제어 시스템은 관련 공정 변수를 측정, 감지 및 기록하고, 밀접하게 제어되는 변수들이 지정된 값 범위를 벗어나는 경우, 피드백, 즉 조치 또는 보정을 제공할 수 있다.
- [0016] 따라서, 다양한 적층 가공 공정 중에 측정 및/또는 모니터링해야 하는 다양한 변수 세트를 제어할 수 있어야 하면서 복잡한 고체-상태 적층 가공 기계 및 관련 부품을 제어할 수 있는 공정 제어 시스템에 대한 시급한 요구가 있다. 이러한 공정 제어 시스템은 공정 변수, 이들의 임계 값 및 허용된 공정 값 범위들의 마스터 세트, 및 엄격할 공정 제어를 요하지 않지만 모니터링 및 기록되어야 하는 공정 변수들의 세트를 제어하기 위한 컴퓨터 관독 가능 코드(즉, 소프트웨어)로 프로그래밍될 수 있다. 더욱이, 공정 제어 시스템 및 소프트웨어 제어식 고체-상태 적층 가공 기계는 지정된 변수들의 마스터 세트(보통 독립적인 공정 변수를 포함함)뿐만 아니라 이미 제어된 독립 공정 변수에 의존하는 공정 변수도 제어할 수 있다. 중첩 제어 변수라고도 하는 이러한 종속 변수는 일부 독립 변수와 밀접한 관련이 있으며, 폐쇄 루프 시스템에서 제어될 필요가 없고 개방 루프 제어 또는 변수들에 대한 모니터링만으로 충분하다. 예를 들어, 스펀들 및/또는 틀 각속도를 제어함으로써, 스펀들 및/또는 틀 토크에 영향을 미칠 수 있으며 피가공물에 적층되기 전과 도중에 필러 재료의 온도를 간접적으로 제어할 수 있다.
- [0017] 본 발명의 실시형태에 따르면, 공정 제어 시스템은 동작적으로-동기화된 다수의 개방 및 폐쇄 제어 루프들을 포함한다. 필러 재료 특성(밀도, 융점, 압축 강도, 인장 강도 등) 및 형태(분말, 파립, 로드)를 고려한 다음, 피가공물과의 만족스러운 결합을 제공하면서 적층된 층에서 원하는 재료 구조물을 생성하는 공정 변수를 제안함으로써, 공정 제어 시스템은 다양한 재료를 다루는 다양한 고체-상태 적층 가공 공정 및 작업을 수용하고 제어할 수 있다. 또한, 공정 제어 시스템은 단순하고 복잡한 기하구조들(예: 평면 기판, 파이프, 레일, 항공 우주 및 자동차 부품 등)의 다양한 피가공물을 다루는 고체-상태 적층 가공 기계를 제어할 수 있다.
- [0018] 실시형태에 따르면, 본 발명의 공정 제어 시스템은 고체-상태 적층 가공 공정 변수를 모니터링, 측정 및 관찰하기 위한 다수의 센서, 검출기 및 카메라를 포함한다. 센서들은 여러 위치에 배치될 수 있다. 예를 들어, 온도 센서는 공급 시스템 내부 또는 주변, 및/또는 스펀들 내부 또는 주변 및/또는 틀 내부 또는 주변 및/또는 피가공물 및/또는 지지 패널 등의 다양한 영역 또는 지점 내부 또는 주변에 위치할 수 있다. 각속도 센서는 스펀들 및 틀과 함께 사용할 수 있다(속도들이 상이한 경우). 위치 센서는 필러 로드의 위치, 틀 위치, 피가공물 위치 등을 감지하기 위해 여러 위치에서 사용할 수 있다.

[0019] 단지 예로서, 공정 제어 시스템의 통합 부품으로 사용되는 센서가 아래에 나열되어 있다.

공정 변수	센서
위치	홀 효과 센서, 전위차계, 인코더, 레이저
힘	힘 게이지
토크, 변형, 응력	응력 게이지
각속도	홀 효과 센서, 광학 게이트, 인코더
선형 속도	인코더
트랙 거칠기	프로파일로미터, 카메라
온도	고온계, 열전대, 온도계
트랙 두께	다이얼 표시기, 디지털 저울, 근접 센서

[0020]

[0021] 공정 제어 시스템은 수동 또는 자동으로 작동될 수 있다. 자동 작동은 특히 새로운 유형의 필러 재료가 도입되는 상황에서 각 공정 제어 시스템의 뛰어난 기능이다. 예를 들어, 고체-상태 적층 가공 기계를 사용하여 새로운 폴리머 재료를 코팅물로서 적층해야 한다고 가정한다. 폴리머는 필러 재료로서 도입되고, 그 재료 특성은 공정 제어 고체-상태 적층 가공 시스템의 일부로서의 알고리즘에 입력된다. 알고리즘은 마찰 계수, 압축 강도 등과 같은 폴리머의 하나 이상의 특성을 고려하며, 피가공물 상에 폴리머를 코팅하는 데 필요한 작업을 실행하기 위한, 필요한 누름 하향력, 스핀들의 필요한 토크, 및 소정의 작동 온도에서의 톨의 토크를 계산한다. 고체-상태 적층 가공 기계는 자동으로 제어되는 제어 시스템에 의해 그의 동작 및 서브 루틴을 수행하기 시작하지만, 작업자가 과도한 재료 가열 및 이로써 피가공물 표면에 재료가 흐르는 것을 감지하고 마찰 교반력이 충분하지 않다고 가정하기로 한다. 공정 제어 시스템은, 예를 들어, 필러 온도 및 적층 속도에 즉시 영향을 미칠, 톨 각속도 또는 톨 토크의 변화의 경우에, 명령을 수동으로 입력할 수 있는 기회를 작업자에게 제공한다. 또는, 고체-상태 적층 가공 기계 작업자가 부적절하게 조절된 톨 속도(회전, 횡방향 이동) 또는 톨 하향력으로 인해서 적층 공정 동안에 피가공물 표면 상에서의 필러 재료의 "플래싱(flash)" 거동을 인지하면, 작업자는 공정 제어에 개입하여 톨 속도 또는 톨 힘 또는 양자를 수동으로 조절할 수 있는 선택권을 갖는다.

[0022] 본 발명의 다양한 양태가 아래에서 제공된다. 그러나, 이는 제한적인 것으로 해석되어서는 안 된다.

[0023] 양태 A1. 다음 단계 중 적어도 하나를 포함하는 고체-상태 적층 가공 시스템의 공정 제어 방법:

- [0024] a) 특정 고체-상태 적층 가공 공정에 대한 측정, 제어 및 조작된 고체-상태 적층 가공 공정 변수들을 식별하는 단계;
- [0025] b) 고체-상태 적층 가공 변수들 및 시스템 부품들의 공정 제어를 위한 알고리즘을 생성하는 단계;
- [0026] c) 상기 제어된 고체-상태 적층 가공 공정 변수들에 대한 코드 및 상기 특정 고체-상태 적층 가공 공정과 관련된 상기한 고체-상태 적층 가공 시스템 부품들의 제어된 움직임에 대한 코드를 생성하는 단계;
- [0027] d) 상기 고체-상태 적층 가공 시스템 내에서의 중요(critical) 위치들에서 그리고 불연속 변수 측정을 위한 특정 기간에, 상기 제어된 공정 변수들 각각에 대한 공정 값 PV를 측정하고 기록하는 단계;
- [0028] e) 상기 제어된 공정 변수들 각각에 대한 차 Δ ($\Delta = SP - PV$)를 계산하는 단계 - 여기서 SP는 설정 값임 -;
- [0029] f) 상기 차(Δ)가 각각의 임계 범위 Δ 를 벗어난 경우, 상기 제어된 공정 변수들 각각에 대한 피드백 제어 신호를 생성하는 단계; 및/또는
- [0030] g) 관련 고체-상태 적층 가공 기계 부품들의 동작을 제어하는 코드를 컴퓨터로 실행하여 상기 관련 고체-상태 적층 가공 기계 부품의 움직임을 생성하는 단계.

[0031] 양태 A2. 양태 A1의 방법으로서, 상기 특정 고체-상태 적층 가공 공정은 3D 구조물의 접합, 코팅, 표면 기능화, 수선, 또는 적층 가공, 또는 이들의 조합 중 하나인, 방법.

[0032] 양태 A3. 양태 A1 또는 임의의 선행하는 양태의 방법으로서, 상기 측정된 변수는 측정이 완료된 변수이며, 다음 변수 중 적어도 하나를 포함하는 방법: 필러 재료 온도, 스핀들 온도, 톨 온도, 톨 위치, 하향력, 톨 압력, 스핀들 토크, 스핀들 각속도, 톨 토크, 톨 횡방향 속도, 톨 각속도, 필러 재료 유량, 가스 유량 및 진동.

- [0033] 양태 A4. 양태 A1 또는 임의의 선행하는 양태의 방법으로서, 상기 제어된 공정 변수는 상기 고체-상태 적층 가공 기계로의 그들의 입력에 영향을 미침으로써 조정되는 변수이며, 다음 변수 중 적어도 하나를 포함하는, 방법: 필터 재료 온도, 스핀들 온도, 톨 온도, 톨 위치, 하향력, 톨 압력, 스핀들 토크, 스핀들 각속도, 톨 토크, 톨 횡방향 속도, 톨 각속도, 필터 재료 유량, 가스 유량 및 진동.
- [0034] 양태 A5. 양태 A1 또는 임의의 선행하는 양태의 방법으로서, 상기 조작된 변수는 그들의 입력이 조정되어서 고체-상태 적층 가공 공정으로 입력되는 변수이며 다음 변수 중 적어도 하나를 포함하는 방법: 필터 재료 온도, 스핀들 온도, 톨 온도, 톨 위치, 하향력, 톨 압력, 스핀들 토크, 스핀들 각속도, 톨 토크, 톨 횡방향 속도, 톨 각속도, 필터 재료 유량, 가스 유량 및 진동.
- [0035] 양태 A6. 양태 A1 또는 임의의 선행하는 양태의 방법으로서, 특정 컴퓨터의 코드 실행은 특정 고체-상태 적층 가공 기계 부품의 움직임을 제어할 수 있으며, 상기 제어된 고체-상태 적층 가공 기계 부품은 공급 시스템, 스핀들, 톨, 및 피가공물 중 적어도 하나인, 방법.
- [0036] 양태 A7. 양태 A1 또는 임의의 선행하는 양태의 방법으로서, 특정 컴퓨터의 코드 실행은 특정 기계 부품의 회전 및/또는 횡방향 이동을 제어할 수 있는, 방법.
- [0037] 양태 A8. 양태 A7 또는 임의의 선행하는 양태의 방법으로서, 컴퓨터의 코드 실행은 필터 로드를 누르는 액추에이터의 횡방향 이동을 제어하는, 방법.
- [0038] 양태 A9. 양태 A7 또는 임의의 선행하는 양태의 방법으로서, 컴퓨터의 코드 실행은 분말형 또는 과립형 필터 재료의 움직임을 제어하는, 방법.
- [0039] 양태 A10. 양태 A7 또는 임의의 선행하는 양태의 방법으로서, 컴퓨터의 코드 실행은 스핀들의 회전 운동을 제어하는, 방법.
- [0040] 양태 A11. 양태 A7 또는 임의의 선행하는 양태의 방법으로서, 컴퓨터의 코드 실행은 톨의 횡방향 이동을 제어하는, 방법.
- [0041] 양태 A12. 양태 A7 또는 임의의 선행하는 양태의 방법으로서, 컴퓨터의 코드 실행은 톨의 회전 운동을 제어하는, 방법.
- [0042] 양태 A13. 양태 A7 또는 임의의 선행하는 양태의 방법으로서, 컴퓨터의 코드 실행은 피가공물의 횡방향 이동을 제어하는, 방법.
- [0043] 양태 A14. 양태 A1 또는 임의의 선행하는 양태의 방법으로서, 상기 방법은 호퍼의 온도를 모니터링하고 제어할 수 있으며, 분말 또는 과립, 또는 이들의 조합 형태의 필터 재료가 공급되는, 방법.
- [0044] 양태 A15. 양태 A1 또는 임의의 선행하는 양태의 방법으로서, 상기 방법은 공급 시스템의 온도를 모니터링 및 제어할 수 있으며, 상기 필터 재료는 로드, 과립, 분말, 또는 이들의 조합 형태로 첨가되는, 방법.
- [0045] 양태 A16. 피가공물의 온도를 모니터링하고 제어할 수 있는 양태 A1 또는 선행하는 양태의 방법.
- [0046] 양태 A17. 스핀들의 온도를 모니터링하고 제어할 수 있는 양태 A1 또는 임의의 선행하는 양태의 방법.
- [0047] 양태 A18. 톨의 온도를 모니터링하고 제어할 수 있는 양태 A1 또는 임의의 선행하는 양태의 방법.
- [0048] 양태 A19. 피가공물 플랫폼의 온도를 모니터링하고 제어할 수 있는 양태 A1 또는 선행하는 양태의 방법.
- [0049] 양태 A20. 스핀들의 진동을 모니터링하고 제어할 수 있는 양태 A1 또는 임의의 선행하는 양태의 방법.
- [0050] 양태 A21. 피가공물 위의 톨의 위치를 모니터링하고 제어할 수 있는 양태 A1 또는 선행하는 양태의 방법.
- [0051] 양태 A22. 공급 시스템에서 필터로드의 위치를 모니터링하고 제어할 수 있는 양태 A1 또는 임의의 선행하는 양태의 방법.
- [0052] 양태 A23. 공급 시스템에서 필터 분말 또는 과립 재료의 유량을 모니터링하고 제어할 수 있는 양태 A1 또는 임의의 선행하는 양태의 방법.
- [0053] 양태 A24. 공급 섹션에서 하향력을 모니터링하고 제어할 수 있는 양태 A1 또는 임의의 선행하는 양태의 방법.
- [0054] 양태 A25. x, y, z 방향에서 톨 힘을 모니터링하고 제어할 수 있는 양태 A1 또는 임의의 선행하는 양태의 방법.

- [0055] 양태 A26. 스핀들 토크를 모니터링하고 제어할 수 있는 양태 A1 또는 임의의 선행하는 양태의 방법.
- [0056] 양태 A27. 톨 토크를 모니터링하고 제어할 수 있는 양태 A1 또는 임의의 선행하는 양태의 방법.
- [0057] 양태 A28. 스핀들 각속도를 모니터링하고 제어할 수 있는 양태 A1 또는 임의의 선행하는 양태의 방법.
- [0058] 양태 A29. 톨 각속도를 모니터링하고 제어할 수 있는 양태 A1 또는 선행하는 양태의 방법.
- [0059] 양태 A30. 평균 트랙 두께를 모니터링하고 제어할 수 있는 양태 A1 또는 임의의 선행하는 양태의 방법.
- [0060] 양태 A31. 평균 트랙 폭을 모니터링하고 제어할 수 있는 양태 A1 또는 임의의 선행하는 양태의 방법.
- [0061] 양태 A32. 적층된 층에서의 밀도를 모니터링하고 제어할 수 있는 양태 A1 또는 임의의 선행하는 양태의 방법.
- [0062] 양태 A33. 필터 재료에서의 농도를 모니터링하고 제어할 수 있는 양태 A1 또는 임의의 선행하는 양태의 방법.
- [0063] 양태 A34. 적층된 층에서의 그레인 구조를 모니터링하고 제어할 수 있는 양태 A1 또는 임의의 선행하는 양태의 방법.
- [0064] 양태 A35. 적층된 층에서의 기계적 특성을 모니터링하고 제어할 수 있는 양태 A1 또는 임의의 선행하는 양태의 방법.
- [0065] 양태 A36. 양태 A1 또는 임의의 선행하는 양태의 방법으로서, 상기 알고리즘과 코드는 폐쇄 루프에서 액추에이터 누름 하향력 Fact의 공정 제어를 위해 작성된, 방법.
- [0066] 양태 A37. 모터에서 공급되는 전력을 조작하여 상기 액추에이터 누름 하향력을 제어할 수 있는, 양태 A36 또는 선행하는 양태의 알고리즘 및 코드.
- [0067] 양태 A38. 양태 A1 또는 임의의 선행하는 양태의 방법으로서, 상기 알고리즘과 코드는 폐쇄 루프에서 필터 재료 유량 Qf의 공정 제어를 위해 작성된, 방법.
- [0068] 양태 A39. 모터에서 공급되는 전력을 조작하여 필터 재료 유량 Qf를 제어할 수 있는, 양태 A38 또는 임의의 선행하는 양태의 알고리즘 및 코드.
- [0069] 양태 A40. 양태 A1 또는 임의의 선행하는 양태의 방법으로서, 상기 알고리즘과 코드는 폐쇄 루프에서 톨과 피가공물 사이의 마찰력 Ff의 공정 제어를 위해 작성된, 방법.
- [0070] 양태 A41. 양태 A1 또는 임의의 선행하는 양태의 방법으로서, 상기 알고리즘과 코드는 폐쇄 루프에서 톨과 피가공물 사이의 마찰 계수 Kf의 공정 제어를 위해 작성된, 방법.
- [0071] 양태 A42. 액추에이터 하향력 Fact를 조절하여 마찰력 Ff를 제어할 수 있는 양태 A40 또는 임의의 선행하는 양태의 알고리즘 및 코드.
- [0072] 양태 A43. 스핀들 토크를 조절하여 마찰력 Ff를 제어할 수 있는 양태 A40 또는 선행하는 양태의 알고리즘 및 코드.
- [0073] 양태 A44. 톨 토크를 조절하여 마찰력 Ff를 제어할 수 있는 양태 A40 또는 임의의 선행하는 양태의 알고리즘 및 코드.
- [0074] 양태 A45. 액추에이터 하향력 Fact를 조절하여 마찰 계수 Kf를 제어할 수 있는 양태 A41 또는 임의의 선행하는 양태의 알고리즘 및 코드.
- [0075] 양태 A46. 스핀들 토크를 조절하여 마찰 계수 Kf를 제어할 수 있는 양태 A41 또는 선행하는 양태의 알고리즘 및 코드.
- [0076] 양태 A47. 톨 토크를 조절하여 마찰 계수 Kf를 제어할 수 있는 양태 A41 또는 임의의 선행하는 양태의 알고리즘 및 코드.
- [0077] 양태 A48. 양태 A1 또는 임의의 선행하는 양태의 방법으로서, 상기 알고리즘과 코드는 폐쇄 루프에서 피가공물 표면 온도 Tf의 공정 제어를 위해 작성된, 방법.
- [0078] 양태 A49. 액추에이터 하향력 Fact를 조절하여 피가공물 표면 온도 Tf를 제어할 수 있는 양태 A48 또는 임의의 선행하는 양태의 알고리즘 및 코드.
- [0079] 양태 A50. 스핀들 토크를 조절하여 피가공물 표면 온도 Tf를 제어할 수 있는 양태 A48 또는 임의의 선행하는 양태의 방법.

태의 알고리즘 및 코드.

- [0080] 양태 A51. 톨 토크를 조절하여 피가공물 표면 온도 Tf를 제어할 수 있는 양태 A48 또는 임의의 선행하는 양태의 알고리즘 및 코드.
- [0081] 양태 A52. 고체-상태 적층 가공 시스템을 위한 공정 제어 시스템으로서,
- [0082] 누름 액추에이터(push down actuator) 및
- [0083] 적층 가공 공정을 제어하기 위한 다중-변수 제어 루프들을 구성하기 위한 구축 부품들로서, 센서, 검출기, 게이 지, 카메라, 필터, 액추에이터, 및 컨트롤러 중 적어도 하나를 포함하는, 구축 부품들, 및
- [0084] 개별 고체-상태 적층 가공 기계 부품들의 동작을 제어하고 공정 변수를 제어하는 코드를 실행하는 프로그램 가 능 컴퓨터를 포함하는, 공정 제어 시스템.
- [0085] 양태 A53. 양태 A52 또는 임의의 선행하는 양태의 공정 제어 시스템으로서, 상기 공정 변수는 개방 제어 루프, 폐쇄 제어 루프, 및 이들의 임의의 조합에서 제어할 수 있는, 공정 제어 시스템.
- [0086] 양태 A54. 양태 A52 또는 임의의 선행하는 양태의 공정 제어 시스템으로서, 피가공물 상에 적층될 필터 재료에 필요한 누름 하향력을 제공할 수 있는 누름 액추에이터를 포함하는, 공정 제어 시스템.
- [0087] 양태 A55. 로드 필터 재료를 제어된 속도로 아래로 누를 수 있는 양태 A54 또는 임의의 선행하는 양태의 액추에 이터.
- [0088] 양태 A56. 분말 필터 재료를 제어된 유량으로 아래로 누를 수 있는 양태 A54 또는 임의의 선행하는 양태의 액추 에이터.
- [0089] 양태 A57. 과립형 필터 재료를 제어된 유량으로 아래로 누를 수 있는 양태 A54 또는 임의의 선행하는 양태의 액 추에이터.
- [0090] 양태 A58. 분말, 과립 및 로드 형태의 필터 재료들의 임의의 조합을 제어된 유량으로 아래로 누를 수 있는 양태 A54 또는 임의의 선행하는 양태의 액추에이터.
- [0091] 양태 A59. 모터에 의해 공급되는 전력에 의해 직접 제어되는 양태 A54 또는 선행하는 양태의 액추에이터.
- [0092] 양태 A60. 양태 A52 또는 임의의 선행하는 양태의 공정 제어 시스템으로서, 상기 공정 제어 시스템은 특정 고체 -상태 적층 가공 공정과 관련된 공정 변수를 모니터링, 측정 및 감지하도록 설계된, 공정 제어 시스템.
- [0093] 양태 A61. 양태 A52 또는 임의의 선행하는 양태의 공정 제어 시스템으로서, 상기 공정 제어 시스템은 폐쇄 루프 에서 제어되는 변수에 대한 변수 보정(피드백)을 제공할 수 있는, 공정 제어 시스템.
- [0094] 양태 A62. 양태 A52 또는 임의의 선행하는 양태의 공정 제어 시스템으로서, 상기 공정 제어 시스템은 고체-상태 적층 가공 기계 부품의 횡방향 이동 또는 각 운동을 생성하기 위한 적어도 하나의 액추에이터를 포함하는, 공정 제어 시스템.
- [0095] 양태 A63. 양태 62A 또는 임의의 선행하는 양태의 공정 제어 시스템으로서, 상기 시스템은 스핀들, 톨 및 피가 공물과 같은 고체-상태 적층 가공 기계 부품들 중 적어도 하나의 움직임 제어할 수 있는 적어도 하나의 액추 에이터를 포함하는, 공정 제어 시스템.
- [0096] 양태 A64. 양태 A52 또는 임의의 선행하는 양태의 공정 제어 시스템으로서, 상기 시스템은 스핀들의 진동을 모 니터링하기 위한 하나 이상의 센서를 포함하는, 공정 제어 시스템.
- [0097] 양태 A65. 양태 A52 또는 임의의 선행하는 양태의 공정 제어 시스템으로서, 상기 시스템은 필터 재료의 온도를 모니터링하기 위한 적어도 하나의 검출기를 포함하는, 공정 제어 시스템.
- [0098] 양태 A66. 양태 A52 또는 임의의 선행하는 양태의 공정 제어 시스템으로서, 상기 시스템은 스핀들의 온도를 감 지하기 위한 적어도 하나의 온도 감지기를 포함하는, 공정 제어 시스템.
- [0099] 양태 A67. 양태 A52 또는 임의의 선행하는 양태의 공정 제어 시스템으로서, 상기 시스템은 톨의 온도를 감지하 기 위한 적어도 하나의 온도 감지기를 포함하는, 공정 제어 시스템.
- [0100] 양태 A68. 양태 A52 또는 임의의 선행하는 양태의 공정 제어 시스템으로서, 상기 시스템은 피가공물의 온도를 검출하기 위한 적어도 하나의 온도 검출기를 포함하는, 공정 제어 시스템.

- [0101] 양태 A69. 양태 A52 또는 임의의 선행하는 양태의 공정 제어 시스템으로서, 상기 시스템은 스핀들 토크를 측정하기 위한 적어도 하나의 검출기를 포함하는, 공정 제어 시스템.
- [0102] 양태 A70. 양태 A52 또는 임의의 선행하는 양태의 공정 제어 시스템으로서, 상기 시스템은 톨 토크를 측정하기 위한 적어도 하나의 검출기를 포함하는, 공정 제어 시스템.
- [0103] 양태 A71. 양태 A52 또는 임의의 선행하는 양태의 공정 제어 시스템으로서, 상기 시스템은 스핀들 각속도를 측정하기 위한 적어도 하나의 검출기를 포함하는, 공정 제어 시스템.
- [0104] 양태 A72. 양태 A52 또는 임의의 선행하는 양태의 공정 제어 시스템으로서, 상기 시스템은 톨 각속도를 측정하기 위한 적어도 하나의 검출기를 포함하는, 공정 제어 시스템.
- [0105] 양태 A73. 양태 A52 또는 임의의 선행하는 양태의 공정 제어 시스템으로서, 상기 시스템은 하향력 측정을 위한 적어도 하나의 검출기를 포함하는, 공정 제어 시스템.
- [0106] 양태 A74. 양태 A52 또는 임의의 선행하는 양태의 공정 제어 시스템으로서, 상기 시스템은 x, y 및 z 방향으로 톨 힘을 측정하기 위한 하나 이상의 검출기를 포함하는, 공정 제어 시스템.
- [0107] 양태 A75. 양태 A52 또는 임의의 선행하는 양태의 공정 제어 시스템으로서, 상기 시스템은 트랙 폭을 측정하기 위한 적어도 하나의 검출기를 포함하는, 공정 제어 시스템.
- [0108] 양태 A76. 양태 A52 또는 임의의 선행하는 양태의 공정 제어 시스템으로서, 상기 시스템은 트랙 두께를 측정하기 위한 적어도 하나의 검출기를 포함하는, 공정 제어 시스템.
- [0109] 양태 A77. 양태 A52 또는 임의의 선행하는 양태의 공정 제어 시스템으로서, 상기 시스템은 트랙 그레인 구조를 모니터링하기 위한 하나 이상의 광학 검출기를 포함하는, 공정 제어 시스템.
- [0110] 양태 A78. 양태 A52 또는 임의의 선행하는 양태의 공정 제어 시스템으로서, 상기 시스템은 적층된 층에서의 기계적 특성을 측정하기 위한 적어도 하나의 검출기를 포함하는, 공정 제어 시스템.
- [0111] 양태 A79. 양태 A52 또는 임의의 선행하는 양태의 공정 제어 시스템으로서, 상기 시스템은 필터의 유량을 측정하기 위한 적어도 하나의 검출기를 포함하는, 공정 제어 시스템.
- [0112] 양태 A80. 양태 A52 또는 임의의 선행하는 양태의 공정 제어 시스템으로서, 상기 시스템은 필터 재료의 농도를 측정하기 위한 적어도 하나의 검출기를 포함하는, 공정 제어 시스템.
- [0113] 양태 A81. 양태 A52 또는 임의의 선행하는 양태의 공정 제어 시스템으로서, 상기 시스템은 적층된 층에서의 밀도를 검출하기 위한 적어도 하나의 검출기를 포함하는, 공정 제어 시스템.
- [0114] 양태 A82. 양태 A52 또는 임의의 선행하는 양태의 공정 제어 시스템으로서, 상기 시스템은 교체-상태 적층 가공 공정을 모니터링하기 위한 적어도 하나의 카메라를 포함하는, 공정 제어 시스템.
- [0115] 양태 A83. 양태 A52 또는 임의의 선행하는 양태의 공정 제어 시스템으로서, 상기 시스템은 x, y 및 z 방향으로 톨 및 피가공물의 이동을 제어하기 위한 하나 이상의 구동부로 구성되는, 공정 제어 시스템.
- [0116] 양태 A84. 양태 A52 또는 임의의 선행하는 양태의 공정 제어 시스템으로서, 상기 시스템은 스핀들과 톨의 회전 운동을 위한 적어도 하나의 구동부를 포함하는, 공정 제어 시스템.
- [0117] 양태 A85. 양태 A52 또는 임의의 선행하는 양태의 공정 제어 시스템으로서, 상기 시스템은 적층된 층의 표면 마감(거칠기)에 대한 적어도 하나의 검출기를 포함하는, 공정 제어 시스템.
- [0118] 양태 A86. 톨과 피가공물 표면 사이의 마찰력을 측정하기 위한 검출기를 더 포함하는, 양태 A52 또는 임의의 선행하는 양태의 공정 제어 시스템.
- [0119] 양태 A87. 소프트웨어 제어식 교체-상태 적층 가공 공정으로 구조물을 생성하는 방법.
- [0120] 양태 A88. 양상 A87의 방법으로서, 상기 생성된 구조물은 하나의 반복되는 구축 블록(셀)으로 구성되는, 방법.
- [0121] 양태 A89. 육각형 벌집형 셀인, 양태 A88 또는 임의의 선행하는 양태의 생성된 구조물의 구축 블록.
- [0122] 양태 A90. 삼각형 벌집형 셀인, 양태 A88 또는 임의의 선행하는 양태의 생성된 구조물의 구축 블록.
- [0123] 양태 A91. 정방형 벌집형 셀인, 양태 A88 또는 임의의 선행하는 양태의 생성된 구조물의 구축 블록.

- [0124] 양태 A92. 양태 A87 또는 임의의 선행하는 양태의 방법으로서, 상기 생성된 구조물은 적어도 두 개의 반복되는 구축 블록(셀)으로 구성된, 방법.
- [0125] 양태 A93. 양태 A87 또는 임의의 선행하는 양태의 방법으로서, 상기 생성된 구조물은 주기적인 셀 구조물인, 방법.
- [0126] 양태 A94. 양태 A87 또는 임의의 선행하는 양태의 방법으로서, 상기 생성된 구조물은 비주기적 셀 구조물인, 방법.
- [0127] 양태 A95. 양태 A87 또는 임의의 선행하는 양태의 방법으로서, 상기 생성된 구조물은 구배형 셀 구조물인, 방법.
- [0128] 양태 A96. 양태 A87 또는 임의의 선행하는 양태의 방법으로서, 상기 생성된 구조물은 중첩된 이중 또는 삼중 구조물인, 방법.
- [0129] 양태 A97. 양태 A87 또는 임의의 선행하는 양태의 방법으로서, 상기 생성된 구조물은 계층형 구조물인, 방법.
- [0130] 양태 A98. 양태 A87 또는 임의의 선행하는 양태의 방법으로서, 상기 생성된 구조물은 주기적 셀 구조물과 비주기적 셀 구조물의 조합인, 방법.
- [0131] 양태 A99. 양태 A87 또는 임의의 선행하는 양태의 방법으로서, 상기 생성된 구조물은 주기적 구조물, 비주기적 구조물, 중첩형 구조물 및 계층형 구조물의 조합인, 방법.
- [0132] 양태 A100. 양태 A87 또는 임의의 선행하는 양태의 방법으로서, 상기 생성된 구조물은 하나의 재료 유형으로 이루어진, 방법.
- [0133] 양태 A101. 양태 A87 또는 임의의 선행하는 양태의 방법으로서, 상기 생성된 구조물은 최소한 두 가지 재료 유형으로 이루어진, 방법.
- [0134] 양태 A102. 양태 A87 또는 임의의 선행하는 양태의 방법으로서, 상기 생성된 구조물은 금속, MMC, 금속 합금, 복합재, 플라스틱, 폴리머, 블렌드, 또는 이들의 조합 중 하나 이상으로 이루어진, 방법.
- [0135] 양태 A103. 양태 A87 또는 임의의 선행하는 양태의 방법으로서, 상기 생성된 구조물은 형상 기억 재료로 이루어진, 방법.
- [0136] 양태 A104. 소프트웨어 제어식 가공 시스템을 사용하는 3D 프린팅 방법인 양태 A87 또는 임의의 선행하는 양태의 방법.
- [0137] 양태 A105. 소프트웨어 제어식 가공 시스템을 사용한 4D 프린팅 방법인 양태 A87의 방법 또는 임의의 선행하는 양태.
- [0138] 양태 A106. 양태 A87 또는 임의의 선행하는 양태의 방법으로서, 상기 생성된 구조물은 형상이 가역적으로 변화 가능한, 방법.
- [0139] 양태 A107. 양태 A87 또는 임의의 선행하는 양태의 방법으로서, 상기 생성된 구조물은 초기에 형성된 구조물의 교체-상태 적층 가공 공정 및 후속하는 제어된 변형의 산물인, 방법.
- [0140] 양태 A108. 양태 A87 또는 임의의 선행하는 양태의 방법으로서, 상기 생성된 구조물은 초기 형성된 구조물의 교체-상태 적층 가공 공정 및 후속 열처리의 산물인, 방법.
- [0141] 양태 A109. 양태 A87 또는 임의의 선행하는 양태의 방법으로서, 상기 생성된 구조물은 적어도 하나의 벌집형 구조화된 층을 포함하는 다층 구조물인, 방법.
- [0142] 양태 A110. 접착제 층을 포함하지 않는 양태 A109 또는 임의의 선행하는 양태의 구조물.
- [0143] 양태 A111. 양태 A87 또는 임의의 선행하는 양태의 방법으로서, 상기 생성된 구조물은 벌집형 중간층을 포함하는 샌드위치 구조물인, 방법.
- [0144] 양태 A112. 접착제 층을 포함하지 않는 양태 A111 또는 임의의 선행하는 양태의 구조물.
- [0145] 양태 A113. 다음 단계들 중 하나 이상을 추가로 포함하는 양태 A1의 방법:
- [0146] h) 상기 특정 교체-상태 적층 가공 공정에 대한 독립적 및 종속적인 교체-상태 적층 가공 공정 변수들을 식별하

는 단계;

- [0147] i) 공정 제어 전략 및 공정 제어 설계 구조를 선택하는 단계;
- [0148] j) 소정의 공정 변수들이 모니터링 및/또는 측정되어야 하는, 상기 고체-상태 적층 가공 시스템 내의 중요 지점들을 식별하는 단계;
- [0149] k) 각 변수 측정의 연속성을 결정하는 단계로서, 불연속 측정의 경우에는 각 변수 측정의 빈도를 결정하는, 단계;
- [0150] l) 상기 공정 변수를 제어하고 특정 공정 실행과 관련된 적층-가공된 부분들을 제어하도록 생성된 코드를 사용하여 컴퓨터를 프로그래밍하는 단계;
- [0151] m) 상기 특정 고체-상태 적층 가공 공정에서 상기 제어된 공정 변수들 각각 대해 목표 설정점 SP를 생성하는 단계; 및/또는
- [0152] n) 상기 차 Δ 에 대한 임계 범위를 식별하는 단계로서, Δ 는 제어된 공정 변수 각각에 대해 $\Delta = SP - PV$ 로 계산되며, Δ 값이 상기 임계 범위 내에 있는 경우에는 특정 변수를 보정할 필요가 없는, 단계.
- [0153] 양태 B1은 고체-상태 적층 가공 시스템의 공정 제어를 위한 방법이며, 이 방법은 고체-상태 적층 가공 공정에 대한 하나 이상의 공정 변수들의 세트를 식별하는 단계; 상기 하나 이상의 공정 변수를 제어할 수 있는 하나 이상의 공정 제어 알고리즘을 제공하는 단계를 포함하며, 상기 공정 제어 알고리즘은, 각 공정 변수에 대한 공정 값 PV를 획득하고; 각 공정 변수에 대한 설정점 SP를 생성하고; 각 공정 변수에 대해 $\Delta = SP - PV$ 를 계산하고; Δ 가 하나 이상의 (또는 각각의) 공정 변수에 대해 미리 결정된 범위를 초과하는지를 결정하고; Δ 가 상기 미리 결정된 범위를 초과하면, 하나 이상의 (또는 각각) 공정 변수에 대한 피드백 제어 신호를 생성하도록 구성되고, 상기 피드백 제어 신호는 하나 이상의 공정 변수와 관련된 하나 이상의 고체-상태 적층 가공 기계 구성요소의 동작을 제어할 수 있다.
- [0154] 양태 B2는 임의의 다른 양태의 방법이고, 하나 이상의 공정 제어 알고리즘은 하나 이상의 다중-변수 제어 루프에서 공정 변수를 제어할 수 있다.
- [0155] 양태 B3은 임의의 다른 양태의 방법이며, 고체-상태 적층 가공 공정은 3D 구조물의 집합, 코팅, 표면 기능화, 수선 및/또는 적층 가공, 또는 이러한 공정들의 임의 조합을 포함한다.
- [0156] 양태 B4는 임의의 다른 양태의 방법이고, 하나 이상의 공정 변수는 측정된 변수, 제어된 변수 및 조작된 변수에서 선택된다.
- [0157] 양태 B5는 임의의 다른 양태의 방법이고, 상기 측정된 변수, 제어된 변수 또는 조작된 변수는 필터 재료 온도, 스핀들 온도, 톨 온도, 톨 위치, 하향력, 톨 압력, 스핀들 토크, 스핀들 각속도, 톨 토크, 톨 횡방향 속도, 톨 각속도, 필터 재료 유량, 가스 유량 및/또는 진동 중 하나 이상으로부터 선택된다.
- [0158] 양태 B6은, 공급 시스템, 스핀들, 톨 및 피가공물(들)로부터 선택된 하나 이상의 기계 구성 요소의 동작을 제어하는 단계를 더 포함하는 임의의 다른 양태의 방법이다.
- [0159] 양태 B7은 하나 이상의 기계 구성 요소의 회전 및/또는 횡방향 이동을 제어하는 단계를 더 포함하는 임의의 다른 양태의 방법이다.
- [0160] 양태 B8은 임의의 다른 양태의 방법이며, 상기 방법은 필터 재료 또는 로드를 누르는 액추에이터의 횡방향 이동을 제어하고/하거나 분말형 또는 과립 형 필터 재료의 이동을 제어하고/하거나 스핀들의 회전 운동을 제어하고/하거나 톨의 횡방향 이동을 제어하고/하거나 톨의 회전 운동을 제어하고/하거나 피가공물(들)의 횡방향 이동을 제어하는 단계를 더 포함한다.
- [0161] 양태 B9는 임의의 다른 양태의 방법이며, 상기 방법은 호퍼의 온도, 및/또는 공급 시스템 온도, 및/또는 하나 이상의 피가공물의 온도, 및/또는 스핀들의 온도, 및/또는 톨의 온도, 및/또는 하나 이상의 피가공물 플랫폼의 온도, 및/또는 스핀들의 진동, 및/또는 피가공물에 대한 톨의 위치, 및/또는 공급 시스템에서 필터 재료의 위치, 및/또는 공급 시스템에서 필터 재료의 유량, 및/또는 공급 섹션에서의 하향력, 및/또는 x, y 및/또는 z 방향의 톨 힘, 및/또는 스핀들 토크, 및/또는 톨 토크, 및/또는 스핀들 각속도, 및/또는 톨 각속도 및/또는 트랙 두께 및/또는 트랙 폭, 및/또는 하나 이상의 적층된 층의 밀도, 및/또는 필터 재료의 농도, 및/또는 하나 이상의 적층된 층의 그레인 구조, 및/또는 하나 이상의 적층된 층의 기계적 특성을 모니터링 및/또는 제어하는 단

계를 추가로 포함한다.

- [0162] 양태 B10은 임의의 다른 양태의 방법이며, 상기 방법은, 모터로부터 공급되는 전력을 조작함으로써 액추에이터 누름 하향력 F_{act} ; 및/또는 액추에이터 누름 하향력; 및/또는 필터 재료 유량 Q_f ; 및/또는 필터 재료 유량 Q_f 를 제어하는 단계; 및/또는 액추에이터 하향력 F_{act} 를 조절함으로써, 스핀들 토크를 조절함으로써, 톨 토크를 조절함으로써, 및/또는 액추에이터 하향력 F_{act} 를 조절함으로써, 톨과 피가공물 사이의 마찰력 F_f ; 및/또는 톨과 피가공물 사이의 마찰 계수 K_f , 및/또는 마찰력 F_f 를 제어하는 단계; 및/또는 스핀들 토크를 조절하고/하거나 톨 토크를 조절함으로써 마찰 계수 K_f 를 제어하는 단계; 및/또는 액추에이터 하향력 F_{act} 를 조절하고, 스핀들 토크를 조절하고, 및/또는 톨 토크를 조절함으로써 피가공물 표면 온도 T_f ; 및/또는 피가공물 표면 온도 T_f 를 조절하는 단계를 더 포함한다.
- [0163] 양태 B11은 고체-상태 적층 가공 시스템을 위한 공정 제어 시스템이며, 상기 공정 제어 시스템은 다음과 같은 기계 구성 요소를 포함하는 적층 가공 기계: 소모성 필터 재료를 수용할 수 있는 본체 및 스토트를 갖는 비소모성 부재; 소모성 필터 재료에 하향력을 제공할 수 있는 누름 액추에이터; 하나 이상의 공정 변수에 대한 공정 값 PV를 얻을 수 있는 하나 이상의 센서, 검출기, 필터, 카메라 또는 게이지; 하나 이상의 기계 구성 요소의 동작을 제어할 수 있는 하나 이상의 액추에이터, 모터 또는 컨트롤러; 하나 이상의 프로세서; 하나 이상의 액추에이터, 모터, 또는 컨트롤러에 의해서, 하나 이상의 기계 구성 요소의 동작을 제어하도록 하나 이상의 프로세서에 지시할 수 있는 하나 이상의 공정 제어 알고리즘을 갖는 비일시적 컴퓨터 판독 가능 저장 매체를 포함한다.
- [0164] 양태 B12는 임의의 다른 양태의 공정 제어 시스템이며, 하나 이상의 공정 제어 알고리즘은 하나 이상의 다중-변수 제어 루프에서 하나 이상의 공정 변수를 제어할 수 있다.
- [0165] 양태 B13은 임의의 다른 양태의 공정 제어 시스템이며, 하나 이상의 다중-변수 제어 루프는 개방 제어 루프, 폐쇄 제어 루프 또는 임의의 조합을 포함한다.
- [0166] 양태 B14는 임의의 다른 양태의 공정 제어 시스템이며, 필터 재료는 로드 필터 재료, 분말 필터 재료, 과립형 필터 재료, 또는 이들의 조합이다.
- [0167] 양태 B15는 임의의 다른 양태의 공정 제어 시스템이며, 상기 공정 제어 시스템은 피가공물 상에 적층될 필터 재료에 대해 하향 누름력을 공급하는 누름 액추에이터를 더 포함한다.
- [0168] 양태 B16은 임의의 다른 양태의 공정 제어 시스템이며, 상기 누름 액추에이터는 로드 필터 재료를 밀어 내리기 위한 제어된 속도를 제공할 수 있다.
- [0169] 양태 B17은 제어된 유량으로 분말 필터 재료에 누름 하향력을 제공할 수 있는 임의의 다른 양태의 공정 제어 시스템이다.
- [0170] 양태 B18은 제어된 유량으로 과립형 필터 재료에 누름 하향력을 제공할 수 있는 임의의 다른 양태의 공정 제어 시스템이다.
- [0171] 양태 B19는 제어된 유량으로 분말, 과립 및 로드 형태의 필터 재료들의 임의의 조합에 누름 하향력을 제공할 수 있는 임의의 다른 양태의 공정 제어 시스템이다.
- [0172] 양태 B20은 임의의 다른 양태의 공정 제어 시스템이고, 상기 액추에이터는 모터가 공급하는 전력으로 제어된다.
- [0173] 양태 B21은 특정 고체-상태 적층 가공 공정에 관련된 하나 이상의 공정 변수를 모니터링, 측정 및 감지할 수 있는, 임의의 다른 양태의 공정 제어 시스템이다.
- [0174] 양태 B22는 폐쇄 루프에서 제어되는 하나 이상의 공정 변수에 대한 변수 보정(피드백)을 제공할 수 있는 임의의 다른 양태의 공정 제어 시스템이다.
- [0175] 양태 B23은 임의의 다른 양태의 공정 제어 시스템이며, 상기 공정 제어 시스템은 적층 가공 기계 구성 요소 중 하나 이상의 구성 요소의 횡방향 이동 또는 각운동을 생성하는 하나 이상의 액추에이터를 더 포함한다.
- [0176] 양태 B24는 임의의 다른 양태의 공정 제어 시스템이며, 상기 공정 제어 시스템은 스핀들, 톨 및/또는 피가공물 중 적어도 하나를 포함하는 하나 이상의 기계 구성 요소의 움직임을 제어할 수 있는 적어도 하나의 액추에이터를 더 포함한다.

- [0177] 양태 B25는 스핀들 진동을 모니터링하기 위한 적어도 하나의 센서를 더 포함하는 임의의 다른 양태의 공정 제어 시스템이다.
- [0178] 양태 B26은 필터 재료의 온도를 모니터링하기 위한 적어도 하나의 검출기를 추가로 포함하는 임의의 다른 양태의 공정 제어 시스템이다.
- [0179] 양태 B27은 스핀들 온도를 검출하기 위한 적어도 하나의 온도 검출기를 추가로 포함하는 임의의 다른 양태의 공정 제어 시스템이다.
- [0180] 양태 B28은 톨 온도를 검출하기 위한 적어도 하나의 온도 검출기를 추가로 포함하는 임의의 다른 양태의 공정 제어 시스템이다.
- [0181] 양태 B29는 피가공물 온도를 검출하기 위한 적어도 하나의 온도 검출기를 추가로 포함하는 임의의 다른 양태의 공정 제어 시스템이다.
- [0182] 양태 B30은 스핀들 토크를 측정하기 위한 적어도 하나의 검출기를 추가로 포함하는 임의의 다른 양태의 공정 제어 시스템이다.
- [0183] 양태 B31은 톨 토크를 측정하기 위한 적어도 하나의 검출기를 추가로 포함하는 임의의 다른 양태의 공정 제어 시스템이다.
- [0184] 양태 B32는 스핀들 각속도를 측정하기 위한 적어도 하나의 검출기를 추가로 포함하는 임의의 다른 양태의 공정 제어 시스템이다.
- [0185] 양태 B33은 톨 각속도를 측정하기 위한 적어도 하나의 검출기를 추가로 포함하는 임의의 다른 양태의 공정 제어 시스템이다.
- [0186] 양태 B34는 임의의 다른 양태의 공정 제어 시스템으로서, 하향력을 측정하기 위한 적어도 하나의 검출기를 추가로 포함한다.
- [0187] 양태 B35는 임의의 다른 양태의 공정 제어 시스템으로서, x-, y- 및/또는 z- 방향에서 톨 힘을 측정하기 위한 적어도 하나의 검출기를 더 포함한다.
- [0188] 양태 B36은 트랙 폭을 측정하기 위한 적어도 하나의 검출기를 추가로 포함하는 임의의 다른 양태의 공정 제어 시스템이다.
- [0189] 양태 B37은 트랙 두께를 측정하기 위한 적어도 하나의 검출기를 추가로 포함하는 임의의 다른 양태의 공정 제어 시스템이다.
- [0190] 양태 B38은 트랙 그레이н 구조를 모니터링하기 위한 적어도 하나의 광학 검출기를 추가로 포함하는 임의의 다른 양태의 공정 제어 시스템이다.
- [0191] 양태 B39는 하나 이상의 적층된 층의 기계적 특성을 측정하기 위한 적어도 하나의 검출기를 추가로 포함하는 임의의 다른 양태의 공정 제어 시스템이다.
- [0192] 양태 B40은 필터 재료 유량을 측정하기 위한 적어도 하나의 검출기를 추가로 포함하는 임의의 다른 양태의 공정 제어 시스템이다.
- [0193] 양태 B41은 필터 재료의 농도를 측정하기 위한 적어도 하나의 검출기를 추가로 포함하는 임의의 다른 양태의 공정 제어 시스템이다.
- [0194] 양태 B42는 하나 이상의 적층된 층의 밀도를 검출하기 위한 적어도 하나의 검출기를 추가로 포함하는 임의의 다른 양태의 공정 제어 시스템이다.
- [0195] 양태 B43은 고체-상태 적층 가공 공정을 모니터링하기 위한 적어도 하나의 카메라를 더 포함하는 임의의 다른 양태의 공정 제어 시스템이다.
- [0196] 양태 B44는 임의의 다른 양태의 공정 제어 시스템으로서, x, y 및/또는 z 방향으로 톨 및 피가공물의 제어된 이동을 위한 적어도 하나의 구동부를 더 포함한다.
- [0197] 양태 B45는 스핀들 및 톨의 회전 운동을 위한 적어도 하나의 구동부를 더 포함하는 임의의 다른 양태의 공정 제어 시스템이다.

- [0198] 양태 B46은 하나 이상의 적층된 층의 표면 마감(거칠기)을 위한 하나 이상의 검출기를 추가로 포함하는 임의의 다른 양태의 공정 제어 시스템이다.
- [0199] 양태 B47은 톨과 피가공물 표면 사이의 마찰력을 측정하기 위한 검출기를 더 포함하는 임의의 다른 양태의 공정 제어 시스템이다.
- [0200] 양태 C1은 반복되는 구축 블록 및/또는 셀을 포함하는 3D 구조물이다.
- [0201] 양태 C2는 임의의 다른 양태의 3D 구조물이고, 상기 구축 블록 및/또는 셀은 육각형 벌집형 셀, 삼각형 벌집형 셀, 및 정사각형 벌집형 셀 중 하나 이상, 또는 이들의 조합을 포함한다.
- [0202] 양태 C3은 적어도 2개의 반복 구축 블록/셀을 포함하는 임의의 다른 양태의 3D 구조물이다.
- [0203] 양태 C4는 임의의 다른 양태의 3D 구조물로서, 주기적 셀 구조물, 비주기적 셀 구조물, 구배형 셀 구조물, 중첩된 이중 또는 삼중 구조물, 및 계층형 구조물 중 하나 이상, 또는 이들의 조합을 포함하거나, 주기적 셀 구조물 및 비주기적 셀 구조물의 조합, 및/또는 주기적, 비주기적, 중첩형 및 계층형 구조물들의 조합을 포함한다.
- [0204] 양태 C5는 하나의 재료 유형으로 구성된 임의의 다른 양태의 3D 구조물이다.
- [0205] 양태 C6은 적어도 2개의 재료 유형으로 이루어진 다른 양태의 3D 구조물이다.
- [0206] 양태 C7은 금속, MMC, 금속 합금, 복합재, 플라스틱, 폴리머, 블렌드, 또는 이들의 임의의 조합 중 적어도 하나로 이루어진 임의의 다른 양태의 3D 구조물이다.
- [0207] 양태 C8은 형상 기억 재료로 이루어진 임의의 다른 양태의 3D 구조물이다.
- [0208] 양태 C9는 형태의 가역적 변화가 가능한 다른 양태의 3D 구조물이다.
- [0209] 양태 C10은 초기 형성된 구조물의 고체-상태 적층 가공 공정 및 후속 제어된 변형의 생성물인 임의의 다른 양태의 3D 구조물이다.
- [0210] 양태 C11은 초기 형성된 구조물의 고체-상태 적층 가공 공정 및 후속 열처리의 생성물인 임의의 다른 양태의 3D 구조물이다.
- [0211] 양태 C12는 임의의 다른 양태의 3D 구조물이며, 상기 구조물은 적어도 하나의 벌집형 구조화 층을 포함하는 다층 구조물이다.
- [0212] 양태 C13은 접착층을 포함하지 않는 임의의 다른 양태의 3D 구조물이다.
- [0213] 양태 C14는 임의의 다른 양태의 3D 구조물로서, 벌집형 중간층을 포함하는 샌드위치 구조물이다.
- [0214] 양태 C15는 접착층을 포함하지 않는 임의의 다른 양태의 3D 구조물이다.
- [0215] 양태 C16은 소프트웨어 제어식 가공 시스템을 사용하는 3D 프린팅 방법으로 제조된 임의의 다른 양태의 3D 구조물이다.
- [0216] 양태 C17은 소프트웨어 제어식 적층 가공 시스템을 갖는 4D 프린팅 방법으로 제조된 임의의 다른 양태의 3D 구조물이다.
- [0217] 양태 C18은 기관 상에 배치된 벌집형 구조물을 포함하는 3차원 구조물이고, 상기 벌집형 구조물은 적층 재료를 포함한다.
- [0218] 양태 C19는 단일 기관 상에 배치된 2개의 중첩된 벌집형 구조물을 포함하는 3차원 구조물이다.
- [0219] 양태 C20은 제1 층 및 제2 층을 포함하는 3차원 구조물이고, 제1 층은 2개의 중첩된 벌집형 구조물을 포함하고 제2 층은 계층형 벌집형 구조물을 포함한다.
- [0220] 양태 C21은 하나 이상의 벌집형 중간층을 포함하고 접착층은 포함하지 않는 다층 구조물이다.
- [0221] 양태 C22는 기관 상에 배치된 벌집형 층을 포함하는 3차원 구조물이고, 상기 벌집형 층은 제1 재료를 포함하는 프레임 및 제2 재료를 포함하며 상기 프레임 내에 배치된 필러를 포함한다.
- [0222] 양태 C23은 기관 상에 배치된 벌집형 층을 포함하는 3차원 구조물이고, 상기 벌집형 층은 인접한 벌집형 셀들 사이에 배치된 하나 이상의 보강 리브를 갖는다.

- [0223] 양태 C24는 하나 이상의 열가소성 층 및/또는 금속 층과 프리프레그 층(prepreg layer)을 포함하는 라미네이트 구조물이고, 상기 라미네이트 구조물은 접착층을 포함하지 않는다.
- [0224] 양태 D1은 다공성 구조물을 생성하기 위한 공정으로서, 상기 공정은 기관 상에 혼성 재료를 적층하는 단계로서, 상기 혼성 재료는 저 용점 성분 및 고 용점 성분을 포함하는, 상기 적층하는 단계; 및 적층된 혼성 재료를 후처리하여 상기 저 용점 성분을 소각하여 다공성 구조물을 생성하는 단계를 포함한다.
- [0225] 양태 D2는 임의의 다른 양태의 공정이며, 상기 후처리는 열 처리, 어닐링 및/또는 소결 중 하나 이상을 포함한다.
- [0226] 이들 및 다른 양태, 실시형태, 및 그 특징 및 이점은 전술한 상세한 설명에서 명백할 것이다.

도면의 간단한 설명

- [0227] 첨부된 도면은 본 발명의 실시형태의 특정 양태들을 예시하고 있는데, 본 발명을 제한하는 데 사용되어서는 안 된다. 서면 설명과 함께 도면은 본 발명의 특정 원리를 설명하는 역할을 한다.
- 도 1은 본 발명의 일 실시형태에 따른 다중 개방 및 폐쇄 제어 루프를 포함하는 고체-상태 적층 가공 시스템을 위한 복잡한 공정 제어 시스템의 블록도이다.
- 도 2는 본 발명의 일 실시형태에 따른 피드백으로서 변수 설정점 SP 및 변수 공정 값 PV를 갖는 고체-상태 적층 가공 공정을 위한 폐쇄 루프 제어 시스템의 블록도이다.
- 도 3a는 본 발명의 일 실시형태에 따른 적층 가공 공정에서 변수 액추에이터 하향력에 대한 피드백 제어 시스템의 블록도이다.
- 도 3b는 본 발명의 일 실시형태에 따른 적층 가공 공정에서 액추에이터 하향력 및 필터 유량의 공정 제어의 흐름도이다.
- 도 3c는 본 발명의 일 실시형태에 따른 고체-상태 적층 가공 공정에서 마찰력 및 피가공물 표면 온도의 공정 제어의 흐름도이다.
- 도 4는 본 발명의 일 실시형태에 따른 고체-상태 적층 가공 공정에서 변수 스핀들 토크를 위한 피드백 제어 시스템의 블록도이다.
- 도 5는 본 발명의 일 실시형태에 따른 고체-상태 적층 가공 공정에서 변수 톨 각속도에 대한 피드백 제어 시스템의 블록도이다.
- 도 6은 본 발명의 일 실시형태에 따른 고체-상태 적층 가공 공정에서 변수 공급부 온도에 대한 피드백 제어 시스템의 블록도이다.
- 도 7은 본 발명의 일 실시형태에 따른 고체-상태 적층 가공 공정에서 변수 톨 온도를 위한 피드백 제어 시스템의 블록도이다.
- 도 8은 본 발명의 일 실시형태에 따른 고체-상태 적층 가공 공정에서 변수 톨 온도에 대한 피드백 제어 시스템의 블록도이다.
- 도 9a는 폐쇄 루프 제어 시스템에서 제어되지 않지만 특정 상황에서 고체-상태 적층 가공 공정에서 중요할 수 있는 변수들을 모니터링하기 위해서 부과되는 상한 및 하한을 보여주는 그래프이다. 공정 제어 시스템은 변수 값이 해당 범위를 벗어날 때 한계치 내로 변수 값을 가져 오기 위해 알려진 전략을 부과할 수 있다.
- 도 9b는 알루미늄으로 이루어진 다수의 층들을 적층하는 동안 시간에 따른 토크 변화 그래프이다. 소프트웨어 제어식 고체-상태 적층 공정의 결과는, 토크가 층 적층 동안 제어되어 일정하게 유지될 때 표시된다.
- 도 9c는 알루미늄으로 이루어진 다수의 층들을 적층하는 동안 시간에 따른 토크 변화 그래프이다. 소프트웨어 제어식 고체-상태 적층 공정의 결과는 스핀들 속도가 층 적층 동안 제어되어 일정하게 유지될 때 표시된다.
- 도 9d는 알루미늄으로 이루어진 다수의 층들을 적층하는 동안의 토크 맵(x-z 평면에서 임)이며, (층들은 톨의 전-후 병진 이동에 의해 수직으로 적층됨), 여기서 토크는 적층 동안에 제어된다.
- 도 9e는 알루미늄으로 이루어진 다수의 층들을 적층하는 동안 토크 맵(x-z 평면에서 임)이며, (층들은 톨의 전-후 병진 이동에 의해 수직으로 적층됨), 여기서 스핀들 속도는 적층 동안에 제어된다.

도 9f는 스핀들 토크의 증가로 이어지는 스핀들 속도의 감소를 보여주는 그래픽 표현이다.

도 9g는 액추에이터 힘의 증가로 이어지는 액추에이터 속도의 증가를 보여주는 그래픽 표현이다.

도 10은 본 발명의 일 실시형태에 따라 상이한 적층 가공 작업들을 실행하고 이들의 공정 변수를 모니터링 및 제어하기 위한 컴퓨터 제어식 교체-상태 적층 가공 시스템의 블록도이다.

도 11a 내지 도 11d는 본 발명의 실시형태에 따라 3D 구조물을 생성하고(도 11a) 삼각형, 정사각형 및 육각형 벌집형 구조물들(도 11b 내지 도 11d)를 생성하는 코드 제어식 교체-상태 적층 가공 공정을 보여주는 개략도이다.

도 12a는 본 발명의 일 실시형태에 따른 컴퓨터 제어식 교체-상태 적층 가공 공정에 의해 생성된 단일 기관 상의 이중 중첩 육각형 벌집형 구조물의 개략도이다.

도 12b는 본 발명의 일 실시형태에 따른 컴퓨터 제어식 교체-상태 적층 가공 공정에 의해 생성된 단일 기관 상에 구축된 계층형 육각형 벌집형 구조물의 개략도이다.

도 13a 내지 도 13b는 본 발명의 실시형태에 따라 구조물이 동일한 셀 높이(도 13a) 및 상이한 셀 높이(도 13b)를 갖는 이중 중첩 벌집형 구조물들의 개략도이다. 셀 벽 두께는 두 개의 벌집형 구조물들 간에 같거나 상이할 수 있다.

도 14a는 본 발명의 일 실시형태에 따라 각각의 기관 상에 벌집형 구조물을 적층함으로써 구축된 라미네이트 구조물의 개략도이다. 각각의 후속 벌집형 구조물은 아래의 벌집형 구조물과 겹치거나 밑에 있는 벌집형 구조물에 대해서 변위될 수 있다. 기관 재료와 벌집형 구조물 재료는 서로 다를 수 있거나 동일할 수 있다. 또한, 각각의 후속 기관/벌집형 구조물은 이전 층과 동일한 재료 또는 상이한 재료로 이루어질 수 있다. 벌집형 층과 기관 사이에는 접착층이 사용되지 않는다.

도 14b는 본 발명의 일 실시형태에 따른 상이한 기관들 상에 다수의 벌집형 구조물을 포함하는 다층 구조물의 개략도이다. 이중 개재 중첩된 육각형 벌집형 구조물을 갖는 제1 기관은 제2 기관으로 덮이며, 상기 제2 기관 상에, 하부 기관 상의 더 큰 벌집형 구조물과 겹치는 제2 벌집형 구조물이 적층된다. 제2 벌집형 구조물은 또한 밑에 있는 벌집형 구조물에 대해서 변위될 수 있다. 추가 기관들의 표면 상에 구축된 벌집형 구조물들이 적층되어 다층 벌집형 구조물을 생성할 수 있다.

도 14c는 본 발명의 일 실시형태에 따라 두 기관 사이에 벌집형 구조물을 적층함으로써 구축된 샌드위치 구조물의 개략도이다. 기관 재료와 벌집형 구조물 재료는 서로 다를 수 있거나 동일할 수 있다. 벌집형 층과 기관 사이에는 접착층이 사용되지 않는다. 여러 개의 샌드위치 구조물의 스택도 가능하다.

도 15a는 본 발명의 일 실시형태에 따른 컴퓨터 제어식 교체-상태 적층 가공 공정에 의해 생성된 재료 B로 채워진 개별 셀을 갖는 재료 A로 이루어진 육각형 벌집형 구조물의 개략도이다.

도 15b는 본 발명의 일 실시형태에 따른 컴퓨터 제어식 교체-상태 적층 가공 공정에 의해 생성된 보강 리브로 추가로 보강된 생성된 벌집형 구조물의 개략도이다.

도 16a는 본 발명의 일 실시형태에 따른 코드 제어 시스템을 사용하여 두 재료 A 및 B의 혼합을 보여주는 개략도이다.

도 16b는 본 발명의 일 실시형태에 따라 양호하게 제어된 재료 A/B 비율을 갖는 적층된 층을 보여주는 개략도이다.

도 16c는 본 발명의 일 실시형태에 따른 재료 B로 채워지며 재료 A로 제조된 중공 바(또는 로드) 형태의 필터 재료의 개략도이다.

도 16d는 본 발명의 일 실시형태에 따른 재료 A로 제조되고 재료 B의 플레이크로 채워진 중공 바(또는 로드) 형태의 필터 재료의 개략도이다.

도 16e 내지 도 16f는 본 발명의 실시형태에 따른 코드 제어식 교체-상태 적층 가공 시스템에 의해 생성된, 적층 길이(도 16e) 및 층 두께(도 16f)를 따른 농도 구배의 개략도이다.

도 17a 내지 도 17d는 본 발명의 실시형태에 따른 동일하거나 유사하거나 상이한 재료들로 이루어진 두 부분들을 결합하는 과정의 개략도이며, 여기서 도 17a는 교체-상태 적층 가공 기계가 접합해야 하는 부품들 간에 양호

한 결합을 제공하는 강화된 또는 비강화된 재료를 적층하는 것을 보여주며, 도 17b는 함께 결합된 두 부분을 보여주고, 도 17c 및 도 17d는 배판의 제거 후에 결합 영역에 대해 추가 강화/보강 구조물이 적층된 것을 보여준다.

도 18a 내지 도 18c는 본 발명의 실시형태에 따라 동일하거나, 유사하거나, 상이한 재료들로 이루어진 두 부분을 결합하는 과정을 보여주는 개략도이며, 도 18a는 적층 가공 기계가 두 부분을 제자리에서 유지하는 강화된 또는 비강화된 재료를 적층하는 것을 나타내고, 도 18b 및 도 18c는 강화 구조물로 함께 결합된 두 부분을 나타낸다.

도 19a 내지 도 19d는 본 발명의 실시형태에 따라 동일하거나, 유사하거나, 상이한 재료들로 이루어진 두 부분을 결합하는 과정의 개략도이며, 도 19a는 적층 가공 기계가 결합되어야 하는 부분들 간에 양호한 결합을 제공할 강화된 또는 비강화된 재료를 적층하는 것을 나타내고, 도 19b는 함께 결합된 두 부분을 나타내고, 도 19c 및 도 19d는 접합 구역에 추가된 추가 강화/보강 구조물을 도시한다.

도 20a 내지 도 20e는 본 발명의 실시형태에 따른 동일하거나, 유사하거나, 상이한 재료들로 이루어진 두 부분을 결합하는 과정의 개략도이며, 도 20a는 고체-상태 적층 가공 기계가 두 부분을 제자리에서 유지하는 강화된 또는 비강화된 재료를 적층하는 것을 보여주며, 도 20b 내지 도 20e는 보강 구조물로 함께 결합된 두 부분의 실시형태를 보여준다.

도 21a 및 도 21b는 본 발명의 실시형태에 따라 동일하거나, 유사하거나, 상이한 재료들로 이루어진 두 부분을 결합하는 과정의 개략도이며, 도 21a는 적층 가공 기계가 두 부분을 제자리에서 유지하는 강화된 또는 비강화된 재료를 적층하는 것을 보여주며, 도 21b는 보강 구조물로 함께 결합된 두 부분을 도시한다.

도 22a 내지 도 22c는 본 발명의 실시형태에 따른 프리프레그 중간층을 포함하는 샌드위치형 열가소성 중합체 구조물을 제조하는 공정의 개략도이며, 도 22a는 제1 열가소성 중합체 층의 적층을 도시하고, 도 22b는 사전 제조된 프리프레그의 배치를 도시하고, 도 22c는 제2 열가소성 중합체 층의 적층을 도시한다.

도 23a 내지 도 23d는 본 발명의 실시형태에 따른 프리프레그 중간층을 포함하는 샌드위치형 금속 구조물을 제조하는 공정의 개략도이며, 도 23a는 제1 금속, 금속 합금 또는 MMC 층의 적층을 나타내고, 도 23b는 사전 제조된 프리프레그 층의 배치를 나타내고, 도 23c는 제2 금속, 금속 합금 또는 MMC 층의 적층을 나타내고, 도 23d는 더 나은 결합을 제공하기 위해 프리프레그 중간층 주위에 열가소성 층의 적층을 도시한다.

도 24a는 본 발명의 일 실시형태에 따른 맹공(blind hole) 및 다양한 표면 균열/결함을 수선하는 고체-상태 적층 공정의 개략도이다.

도 24b는 본 발명의 일 실시형태에 따른 배판을 사용하여 구멍 및 균열/결함을 수선하는 공정의 개략도이다.

도 25a 및 25b는 실시형태에 따른 고체-상태 적층 가공 기계에 로드형 필러 재료를 연속적으로 공급하기 위한 구동 휠 시스템의 개략도이며, 도 25a는 한 세트의 롤러를 갖는 구동 휠 시스템을 나타내고, 도 25b는 3 개의 세트의 롤러를 갖는 구동 휠 시스템을 도시한다.

도 25c 및 25d는 실시형태에 따른 고체-상태 적층 가공 기계에 로드형 필러 재료를 연속적으로 공급하기 위한 구동 휠 시스템의 개략도이며, 도 25c는 다수의 롤러 세트를 갖는 구동 휠 시스템을 도시하며, 여기서 롤러들은 특정 롤러 표면 특징부(feature) 또는 질감을 가질 수 있으며, 도 25d는 롤러들 사이에 가변 갭을 갖는 여러 세트의 롤러가 있는 구동 휠 시스템을 도시한다.

도 25e는 롤러들 사이의 갭이 스프링에 의해 한정되는 롤러 세트를 도시한다.

도 25f는 일 실시형태에 따른 고체-상태 적층 가공 기계에 로드형 필러 재료를 연속적으로 공급하기 위한 구동 휠 시스템의 개략도이다. 도시된 구동 휠 시스템은 피가공물 표면에서 필러 로드를 재-추적(풀-어웨이(pull-away))하기 위해 제공된 롤러 세트를 갖는다.

도 26a 내지 도 26e는 실시형태에 따른 상이한 유형의 공급 롤러들의 단면도를 도시하는 개략도이다.

도 27a는 일 실시형태에 따른 필러 재료 블록으로부터 조각을 절단하기 위한 초승달 블레이드(또는 나이프형 블레이드)를 갖는 공급 롤러를 나타내는 개략도이다.

도 27b는 브리켓(briquette), 찹(chop), 플레이크, 파립 또는 분말을 고체-상태 적층 가공 시스템에 공급하기 위한 패들형 블레이드가 있는 공급 롤러의 개략도이다.

도 27c는 고체-상태 적층 가공 시스템의 공급 시스템에 도입될 수 있고 필터 재료로 사용될 수 있는 금속 캔을 보여주는 개략도이다.

도 27d는 고체-상태 적층 가공 시스템의 공급 시스템에 도입될 수 있고 필터 재료로 사용될 수 있는 플라스틱 병을 보여주는 개략도이다.

도 28a는 실시형태에 따른 상이한 단면들을 갖는 필터 재료 로드들을 도시하는 개략도이다.

도 28b는 일 실시형태에 따른 고체-상태 적층 가공 기계로의 로드 공급을 안정화하기 위한 홈(채널)을 갖는 공급 롤러를 도시하는 개략도이다.

도 28c는 일 실시형태에 따른 고체-상태 적층 가공 기계에 다수의 필터 로드를 공급하기 위한 다수의 홈을 갖는 공급 롤러를 도시하는 개략도이다. 로드는 필터 재료가 피가공물에 도달하기 전에 MMC, 합금, 블렌드, 및 복합재의 현장(in-situ) 형성을 가능하게 하는 다양한 재료로 이루어질 수 있다.

도 28d는 일 실시형태에 따른 플레이트, 시트 및/또는 필름 형태의 필터를 연속적으로 공급하기 위한 구동 휠 시스템의 개략도이다.

도 28e는 일 실시형태에 따른 상이한 재료로 제조된 시트의 연속 공급 및 MMC, 블렌드, 합금 및/또는 복합재의 현장 형성을 위한 구동 휠 시스템의 개략도이다.

도 29a 및 도 29b는 분말, 비드, 플레이크 및/또는 과립형 필터 재료를 전달하기 위한 오거 스크류(auger screw)를 갖는 여러 공급 시스템의 개략도이며, 도 29a는 일 실시형태에 따른 호퍼의 오거 스크류를 나타내고, 도 29b는 일 실시형태에 따른 스피들의 오거 스크류를 도시한다. 실시형태에서, 시스템은 호퍼와 스피들 모두에 하나 이상의 오거 스크류를 가질 수 있다.

도 29c는 일 실시형태에 따라 호퍼로부터 스피들을 통해 중공 튜로 연장되는 오거 스크류를 도시하는 개략도이다.

도 30은 실시형태에 따른 분말 및/또는 과립형 필터 재료의 연속 공급에 사용되는 다양한 오거 스크류 설계를 보여주는 개략도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0228] 이제 본 발명의 다양한 예시적인 실시형태에 대한 참조가 상세하게 이루어질 것이다. 예시적인 실시형태에 대한 다음의 논의는 본 발명에 대한 제한으로서 의도되지 않음을 이해해야 한다. 오히려, 독자에게 본 발명의 특정 양태 및 특징에 대한보다 상세한 이해를 제공하기 위해 다음 논의가 제공된다.

[0229] 본 발명의 실시형태는 고체-상태 적층 가공을 위한 필터 재료 공급 시스템과 관련된 선행 기술에 대한 신규하고 비자명한 개선사항들을 제공한다. 이러한 선행 기술은 미국 특허 출원 공개 번호 2014/0174344에 설명되어 있으며, 이 특허문헌은 본 발명을 실현가능하게 하는 개시내용을 보완하는 효율적인 방법을 제공하기 위해 그 전체 내용이 본원에서 참고로 개별적으로 인용된다. 본 발명은 또한 미국 특허 제8,893,954호(2014/0134325 참조), 제8,636,194호(2010/0285207 참조), 제9,643,279호(2016/0107262 참조), 제9,943,929호(2017/0216962 참조), 제9,205,578호(2014/0130736 참조), 제8,632,850호(2012/0009339 참조), 제8,875,976호(2012/0279441 참조), 제8,397,974호(2012/0279442 참조), 제9,862,054호(2016/0074958 참조), 제9,266,191호(2015/0165546 참조), 제9,511,446호(2016/0175982 참조), 제9,511,445호(2016/0175981 참조), 및 미국 특허 출원 공개 2008/0041921호, 2013/014012호, 2017/0043429호, 2017/0057204호, 2018/0085849호, 및 국제 특허 출원 공개 W02013/002869호에서 제공된 개시내용들과 관련되며, 이들은 각각 그 전체 내용이 본원에 인용되어 포함된다.

[0230] 본 명세서에서 사용되는 바와 같이(명세서 및 도면 모두 내에서), 용어 "코드"는 컴퓨터 판독 가능 코드, 컴퓨터 판독 가능 명령어, 컴퓨터 실행 가능 명령어, 또는 "소프트웨어"로서 당업계에 알려진 것을 지칭한다. 본 명세서에 설명되거나 도면에 묘사된 임의의 알고리즘, 방법, 프로세스, 흐름도 및/또는 루틴은 그러한 코드에서 프로그래밍되거나 구현될 수 있다. 컴퓨터에서 읽을 수 있는 명령어는 JavaScript, C, C #, C ++, Java, Python, Perl, Ruby, Swift, Visual Basic 및 Objective C를 포함한 임의의 적절한 프로그래밍 언어로 프로그래밍할 수 있다. 이러한 프로그래밍에 의해, 컴퓨터 판독 가능 명령어, 코드, 또는 소프트웨어는 프로세서에 본 명세서에서 설명된 새로운 공정 제어 시스템 및 방법의 동작 및 명령을 수행하라는 지시를 한다.

[0231] 숙련된 기술자는 본 개시에 비추어 본 발명이 소프트웨어 외에, 하드웨어 또는 펌웨어를 사용하여 어떻게 구현

될 수 있는지를 더 이해할 것이다. 예를 들어, 하드웨어는 본 명세서에 설명된 특정 동작, 프로세스, 명령, 방법, 알고리즘, 또는 상이한 동작을 수행하기 위한 회로이거나 이를 포함할 수 있다. 이와 같이, 본 명세서에 개시된 공정 제어 시스템 및 방법은 소프트웨어, 하드웨어 또는 펌웨어의 임의의 조합을 포함하는 시스템에서 구현될 수 있다.

- [0232] 본 명세서에서 사용된 바와 같이, "코팅 재료"라는 용어는 "필러 재료"와 상호 교환적으로 사용되는데, 둘 다 본 개시내용에 기술된 바와 같이 회전하는 교반 툴의 스포트를 통해 공급되는 적층 재료에 관련된 것이다. 적층 재료는 또한 본 개시에서 "소모성" 재료와 상호 교환적으로 지칭될 수 있다.
- [0233] 본 명세서에 사용된 용어 "벌집" 또는 "벌집형 구조물"은 동일 형상 및 동일 크기의 셀들이 서로 병치되거나 인접하는 열들을 갖는 인공 3차원 구조물을 지칭한다. 셀은 삼각형, 정사각형, 직사각형, 육각형, 팔각형 등을 포함한 임의의 직선 형상이 될 수 있다. 셀들은 또한 중첩될 수 있으며, 층들 간에 상이한 기하학적 구조를 가질 수 있는 하나 이상의 추가 층을 가질 수 있다. 따라서, 이러한 구조물은 엄격하게는 육각형 셀들을 갖는 천연 벌집 모양을 닮거나 도면에 표시된 예와 같이 상이한 직선 변형을 가질 수 있다.
- [0234] 실시형태들에서, 본 발명은 (a) 고체-상태 적층 가공 시스템 및 고체-상태 적층 가공 시스템으로 수행되는 관련 적층 가공 공정을 위한 새로운 공정 제어 시스템, (b) 적층 가공 시스템을 사용하여 상이한 공정들을 실행하고 제어하기 위한 공정 제어 방법, (c) 소프트웨어 제어식 가공 시스템으로 생성될 수 있는 다양한 적층 구조물, 및 (d) 고체-상태 적층 가공 기계에 필러 재료를 지속적으로 공급하기 위한 다양한 공급 시스템 설계를 제공한다.
- [0235] 실시형태에서, 소프트웨어 제어식 고체-상태 적층 가공 시스템은 수많은 관련 부품들 및 툴들(예를 들어, 이러한 툴들은 폴리머 필러, 금속 필러, 블렌드, 복합재를 포함하는 서로 상이한 재료 유형들을 처리하기 위한 동일하거나 상이한 툴 형상을 가진 다양한 툴들을 포함하며, 상기 부품들은 클램프, 스핀들, 스핀들용 베어링, 모터, 발전기, 구동부, 불활성 가스 공급부, 실드, 기계 커버 등을 포함함)을 갖춘 고체-상태 적층 가공 기계, 및 다수의 제어 디바이스, 센서, 모니터링 디바이스 및/또는 이미징 디바이스, 구동 유닛, 모터 및 액추에이터를 포함한다. 고체-상태 적층 가공 시스템의 동기화되고 성공적인 동작은 특정 고체-상태 적층 가공 공정 동안 공정 변수 및 기계 부품들의 움직임을 제어할 수 있는 신뢰할 수 있는 공정 제어 시스템 구성을 사용함으로써 가능하다. 공정 제어 시스템은 소프트웨어로 동작되는 고체-상태 적층 가공 기계와, 소정의 고체-상태 적층 가공 공정의 특정 동작 및 루틴의 제어 및 실행을 위해 고체-상태 적층 가공 시스템 내의 단일 또는 여러 위치에 위치한 수많은 감지기, 카메라, 게이지, 액추에이터(컨트롤러)를 포함하며, 상기 소정의 고체-상태 적층 가공 공정은 접합, 코팅, 수선, 표면 기능화, 또는 소프트웨어 제어식 고체-상태 적층 가공 시스템으로 제작된 3D 적층 구조물일 수 있다.
- [0236] 일 실시형태에서, 소정의 고체-상태 적층 가공 공정, 예를 들어 코팅을 실행하기 위해 다수의 동작 및/또는 루틴이 필요하다. 공정 제어 시스템은 이하의 것들 중 하나 이상, 또는 이들의 임의의 조합 또는 하위 조합을 포함하는 프로세스 단계들 및 관련 동작들의 전부 또는 일부를 제어할 수 있다(하기의 것들은 특정 순서로 나열되지 않으며, 이러한 단계들 및 동작들 중 일부는 동시에 발생하거나 나열된 순서와 상이한 순서로 발생할 수 있음):
- [0237] - 필러 재료(분말, 과립, 로드) 적재,
- [0238] - 필러를 스핀들을 향해서 밀어 내리는 충분한 하향력(필러 유형에 따라 다름) 제공,
- [0239] - 목표 스핀들 각속도 및 토크 달성,
- [0240] - 목표 툴 각속도 및 토크 달성,
- [0241] - 목표 필러 재료 온도 달성,
- [0242] - 피가공물 클램핑 제공,
- [0243] - 목표 피가공물 온도 달성,
- [0244] - 작업 영역으로 불활성 가스 퍼지 진행,
- [0245] - 회전 툴을 피가공물에 근접 위치시킴,
- [0246] - 고정된 스핀트 교반 및 필러 적층 진행,

- [0247] - 필터가 여전히 적층되는 동안 횡방향 톨 이동을 진행함,
- [0248] - 목표 적층된 층(코팅) 두께를 얻기 위해 톨의 전후 횡방향 이동을 통해 층의 후속 구축을 진행함,
- [0249] - 목표 적층 층(코팅) 폭을 얻기 위해 톨 측방향 이동 및 톨 전후 이동 수행,
- [0250] - 적층된 층 두께와 너비가 달성되면 스핀들 및 톨 각속도와 토크를 0으로 감소시킴,
- [0251] - 피가공물로부터 톨을 후퇴시킴.
- [0252] 또한, 실시형태는 고체-상태 적층 가공 시스템의 공정 제어 방법을 제공한다. 일 실시형태에서, 공정 제어식 고체-상태 적층 가공 시스템을 위한 방법은 다음 단계들 중 적어도 하나 또는 이들의 임의의 조합 또는 하위 조합을 포함한다:
- [0253] - 특정 고체-상태 적층 가공 공정에 대한 측정된, 제어된 및 조작된 공정 변수들을 식별하는 단계;
- [0254] - 소정의 고체-상태 적층 가공 공정에 대한 독립 및 종속 공정 변수들을 식별하는 단계;
- [0255] - 공정 제어 전략 및 공정 제어 설계 구조를 선택하는 단계;
- [0256] - 소정의 공정 변수들이 모니터링 및/또는 측정되어야 하는, 고체-상태 적층 가공 시스템 내의 중요 지점들을 식별하는 단계;
- [0257] - 각 변수 측정의 연속성을 결정하는 단계로서, 불연속 측정의 경우, 각 변수 측정의 빈도를 결정하는, 상기 결정하는 단계;
- [0258] - 고체-상태 적층 가공 공정 중에 제어 및 조작해야 하는 변수들의 공정 제어를 위한 알고리즘을 생성하는 단계;
- [0259] - 제어 가능하고 조작된 공정 변수에 대한 컴퓨터 판독 가능 코드를 생성하는 단계;
- [0260] - 소정의 공정과 관련된 상이한 기계 부품들의 제어된 움직임을 위한 컴퓨터 판독 가능 코드를 생성하는 단계;
- [0261] - 소정의 고체-상태 적층 가공 공정의 실행과 관련하여, 공정 변수를 제어하고 기계 부품을 제어하기 위해 상기 생성된 컴퓨터 판독 가능 코드를 사용하여 컴퓨터를 프로그래밍하는 단계;
- [0262] - 소정의 공정에서 제어되는 각 공정 변수에 대해 목표 설정점 "SP"를 생성하는 단계;
- [0263] - 고체-상태 적층 가공 시스템의 중요한 위치들에서 그리고 불연속 변수 측정을 위한 특정 기간에서, 상기 제어된 각 공정 변수에 대한 공정 값 "PV"를 측정하고 기록하는 단계;
- [0264] - 차 Δ 에 대한 임계 범위를 식별하는 단계로서, Δ 는 제어된 각 공정 변수에 대해서 $\Delta = SP - PV$ 로서 계산되고, Δ 값이 상기 임계 범위 내에 있으면, 특정 변수를 보정할 필요가 없는, 단계;
- [0265] - 상기 제어된 각 공정 변수에 대한 차 Δ ($\Delta = SP - PV$)를 계산하는 단계;
- [0266] - 공정 변수를 제어하는 컴퓨터 판독 가능한 코드의 컴퓨터 실행에 의해 상기 제어된 공정 변수 각각에 대한 피드백 제어 신호를 생성하는 단계;
- [0267] - 상기 차(Δ)가 소정의 공정 변수에 대한 임계 범위를 벗어난 경우, 상기 제어된 공정 변수를 보정하는 단계;
- [0268] - 고체-상태 적층 가공 기계 부품의 동작을 제어하는 컴퓨터 판독 가능한 코드의 컴퓨터 실행으로 관련 고체-상태 적층 가공 기계 부품의 움직임을 생성하는 단계.
- [0269] 소프트웨어 제어식 고체-상태 적층 가공 시스템으로 미리 정의된 다양한 적층 구조물이 생성될 수 있는데, 그러한 시스템은 고체-상태 열역학적 적층(예를 들어, 층별 적층) 가공 공정을 수행할 수 있기 때문이다. 적층 구조물, 주기적 및 비주기적 구조물, 중첩형 및 계층형 구조물들 중 일부는 아래 실시형태에서 설명된다.
- [0270] 고체-상태 적층 가공 공정 및 가공 시스템은 도 1에서 A, B, ..., N, ..., X, Y, Z로 지정된 많은 입력 공정 변수들 및 많은 공정 외란들에 영향을 받는다. 도 1에서 볼 수 있듯이, 특정 고체-상태 적층 가공 공정에 대한 관련성에 따라서, 선택된 공정 변수들은 폐쇄 루프에서 제어될 수 있다. 이러한 경우, 공정 변수 값은 해당 공정에 대한 피드백으로 제공되고 해당 공정에 "조작된 변수"로 입력된다(도 1). 폐쇄 루프 공정 제어의 필터는 변수에 보정이 필요한지 여부를 결정하는 반면, 컨트롤러는 변수가 미리 결정된 범위를 벗어나고 보정이 필요한 경우, 해당 공정에 입력되어 영향을 미치는 하나 이상의 입력 변수를 조절함으로써, 조치를 취한다. 그 다음,

폐쇄 루프 제어 사이클은 해당 공정을 떠난 대응하는 출력 변수를 측정하는 하나 이상의 센서, 게이지 또는 검출기로부터 수신된 피드백에 의해 다시 시작된다. 추가적으로, 하나 이상의 출력 변수의 값에 영향을 미칠 수 있는 하나 이상의 장애가 해당 공정에 입력될 수 있다. 모니터링되고 측정된 변수들(예: X-, Y- 및 Z- 변수들) 모두가 폐쇄 루프 제어 시스템으로 제어되는 것은 아니다. 예를 들어, 도 1의 N-변수는 측정 또는 모니터링되지만 폐쇄 루프 제어되지 않는다. 그러나, 일부 실시형태에서, N- 변수 값이 해당 범위를 벗어나면, 폐쇄 루프 공정 제어 시스템을 통해 제어되고 N-변수와 밀접하게 관련된 다른 변수들 중 일부를 통해 조치가 취해질 수 있거나, 작업자가 해당 공정에 수동으로 개입할 수 있다. 도 1의 변수 A와 B는 고체-상태 적층 가공 공정 중에 모니터링되거나 측정되지 않는다.

[0271] 도 2는 단일 일반 기계 변수에 대한 폐쇄 루프 변수 제어 공정의 블록도를 나타내며, 여기서 변수 공정 값 PV 정보가 해당 시스템에 지속적으로 공급되고 목표 변수 값(설정 값, SP)과 비교되며, 결과적으로, 필터가 차 Δ 가 임계 범위를 벗어났다고 판단하는 경우 컨트롤러에 의해 조작된다. 다시 말하지만, 시스템의 출력은 하나 이상의 센서, 감지기 및 카메라에 의해 측정되며 이러한 출력은 하나 이상의 공정 장애에 의해 영향을 받을 수 있다. 폐쇄 루프 제어된 변수에 대한 제어 공정의 구체적인 예는 도 3a 및 도 4 내지 도 8에 제공되며, 이 도면들은 각각 액추에이터 하향력, 스핀들 토크, 톨 각속도, 공급부 온도, 톨 온도 및 횡방향 속도 폐쇄 루프 제어 공정들에 대한 블록도와 관련이 있다.

[0272] 일부 실시형태에서, 액추에이터 하향력은 폐쇄 제어 루프에서 제어되고, 결과적으로, 필터 재료 유량(즉, 피가공물에 대한 필터 재료 공급)도 제어된다. 이것은 본 발명의 공정 제어 시스템의 고유한 특징이며 용접 공정에 필터 재료가 추가되지 않는 공정 제어 시스템으로부터 본 공정 제어 시스템을 구별시킨다. 액추에이터 하향력 F_{act} 및 필터 유량 Q_f 의 공정 제어 흐름도는 도 3b에 제공된다. 필터 재료의 하나 이상의 파라미터인 필터 재료의 성질, 즉 금속, 금속 합금, MMC, 폴리머, 세라믹 또는 복합재, 그리고 필터 형태, 즉 분말, 과립 또는 로드에 대한 초기 정보가 재료에 대한 컴퓨터 제어 코드를 위한 입력으로 제공되며, 소정의 고체-상태 적층 가공 공정 동안 사용될 수 있는, 스핀들 및 톨의 토크 및 각속도, 스핀들 및 톨의 온도 등과 같은 하나 이상의 스핀들 및 톨의 파라미터도 또한 각각의 컴퓨터 제어 코드에 입력으로서 입력된다. 액추에이터 누름 하향력 F_{act} 는 폐쇄 루프 시스템에서 제어되며, 상기 제어 시스템에는 종속 변수인 필터 유량 Q_f 도 포함될 수 있다. 그런 다음, 두 변수에 대한 경계 조건이 F_{act} 및 Q_f 에 대한 최대 및 최소 허용 값들(즉, $F_{act,max}$ 및 $F_{act,min}$) 및 (즉, $Q_{f,max}$ 및 $Q_{f,min}$)으로서 부과된다. F_{act} 가 최대 F_{act} 값과 최소 F_{act} 값($F_{act,max}$ 와 $F_{act,min}$) 사이로 한정된 허용 범위를 벗어나면, 고체-상태 적층 가공 시스템의 소프트웨어 제어를 위해서 사용되는 컴퓨터 모니터 상에 " F_{act} 가 범위 밖에 있음"이라는 알람 메시지가 나타난다. 이러한 경우, 액추에이터 하향력을 제어하는 컴퓨터 코드는 측정된 F_{act} 에 따라 (즉, 해당 값이 $F_{act,min}$ 미만이거나 $F_{act,max}$ 를 초과하는 경우에) 전력을 추가하거나 감소시키도록 전력 공급 장치를 가동시킨다. F_{act} 값이 $F_{act,max}$ 와 $F_{act,min}$ 사이로 한정된 허용 범위 내에 있는 경우, 코드는 주로 액추에이터 누름 하향력 F_{act} 에 의해 영향을 받지만 스핀들 온도 및 토크와 같은 다른 공정 파라미터의 영향을 받을 수도 있는 필터 재료 유량 Q_f 를 확인한다. Q_f 가 $Q_{f,min}$ 과 $Q_{f,max}$ 사이로 한정된 허용 범위를 벗어나면, " Q_f 가 범위를 이탈함"이라는 경고 메시지가 컴퓨터 모니터 상에 나타나고 전력 공급을 추가하거나 줄임으로써 조치가 취해지며 이는 액추에이터 하향력 F_{act} 에 직접 영향을 미치고 따라서 필터 유량 Q_f 에 영향을 준다. 액추에이터 하향력 F_{act} 및 필터 유량 Q_f 가 기록된 후 제어 공정을 중지 또는 재개하기 위한 결정이 내려진다.

[0273] 다른 실시형태에서, 톨 솔더와 피가공물 표면 간의 마찰력 F_f 는 폐쇄 루프 제어 시스템에서 제어된다. 이 마찰력은 일반적으로 피가공물 표면을 포함하여 영향을 받는 작업 영역에서 발생하는 마찰에 의해 생성되는 열에 직접 영향을 미치기 때문에, 피가공물 표면 온도 T_f 는 마찰력 F_f 에 의해 직접 영향을 받는다. 마찰력 F_f 는 도 3c에 제시된 바와 같이 폐쇄 루프 공정 제어 시스템에서 제어된다. 액추에이터 하향력 F_{act} 및 필터 재료 유량 Q_f 와 같은 입력 파라미터 및 스핀들 및 톨 파라미터는 고체-상태 적층 가공 공정을 관리하는 알고리즘을 구현하는 컴퓨터 소프트웨어/코드에 입력된다. F_f 에 대한 경계 조건(즉, $F_{f,max}$ 및 $F_{f,min}$) 및 T_f 에 대한 경계 조건(즉, $T_{f,max}$ 및 $T_{f,min}$)이 부과된다. 일단 공정이 시작되면 F_f 가 자세히 기록된다. F_f 가 $F_{f,max}$ 와 $F_{f,min}$ 사이로 한정된 범위 내에 있는 경우, 코드는 주로 마찰력 F_f 의 영향을 받지만 다른 파라미터의 영향도 받을 수 있는 피가공물 표면의 온도 T_f 를 계속 기록한다. F_f 가 상기 한정된 범위를 벗어나면, 컴퓨터 모니터 상에 " F_f 가 범위를 이탈함"이라는 알람

메시지가 나타나고, 실제 F_f 값에 따라, (즉, 해당 값이 F_f 에 대한 허용 범위 미만이거나 초과하는 경우에), 액추에이터 누름력 및/또는 스핀들 토크를 증가시키거나 감소시키는 조치를 취한다. 결과적으로, 마찰의 영향을 주로 받는 피가공물 표면 온도 T_f 도 제어할 수 있다. 마찰력 F_f 및 피가공물 표면 온도 T_f 가 기록된 다음, 제어 공정을 중지하거나 다시 시작하기 위한 결정이 내려진다.

[0274] 또 다른 실시형태에서, 마찰 계수는 도 3c에 제시된 마찰력 F_f 제어에 대한 흐름도와 매우 유사한 흐름도에 기초하여 폐쇄 루프에서 제어된다.

[0275] 다른 실시형태에서, 고체-상태 적층 가공 기계를 위한 본 개시된 공정 제어 시스템은, 해당 공정 변수 값이 목표 범위 밖에 있으면, 개방 루프 제어 시스템에서 상기 모니터링된 공정 변수를 처리하기 위한 하나 이상의 알려진 전략을 실행할 수 있다(도 9a).

[0276] 일 실시형태에서, 단지 예로서, 적층된 재료에 인가되는 토크는 각 층 적층 동안 제어되고 일정하게 유지되거나 좁은 범위 내에서 유지될 수 있다(도 9b). 톨이 전후로 병진 이동하여 여러 층을 서로 위에 적층할 수 있다. 고체-상태 적층 공정의 시작을 제외하고는, 전방-후방 이동에 의해 서로의 상부에 적층되는 적층된 재료(이 경우, 알루미늄)의 각 층에서의 토크는, 스핀들로의 구동 전류를 조절함으로써 제어되는 스핀들 속도를 조절함으로써 일정하게 유지된다.

[0277] 다른 실시형태에서, 톨의 전방-후방 병진 이동에 의해 서로의 상부에 (알루미늄의) 다층 층을 적층하는 동안, 스핀들 속도는 각 층 적층 동안 일정하게 유지된다. 이 경우, 적층된 재료에 인가되는 토크는 층들의 적층 동안 가변된다(도 9c).

[0278] 다른 예에서, 토크는 다층 적층 동안 일정하게 유지된다(또는 좁은 범위에서 변함). 이러한 토크 제어식 고체-상태 적층 가공 공정에서 도 9d에 표시된 토크 맵은 다층 적층 동안 달성된 좁은 범위의 토크 값을 도시한다. 반대로, 스핀들 속도가 일정하게 유지되는, 다층 적층 공정을 위한 비-토크 제어식(no-torque-controlled) 공정에서는, 단일 층 적층 중 토크 편차 및 상이한 층들 간의 편차가 예상된다(도 9e). 토크 제어식 공정과 비-토크 제어식 고체-상태 적층 가공 공정 간의 토크 값 차로 인해, 적층된 층들에서 생성되는 미세 구조들은 적층 동안 달성되는 상이한 재료 온도로 인해 상이하며, 이러한 재료 온도는 인가된 토크와 직접 관련된다.

[0279] 공정 독립 및 종속 변수들이 제어될 수 있다. 제어는 재료 특성 및 적층된 재료의 적층 속도에 영향을 주는 데 유용하다. 표면 거칠기, 기계적 특성, 내마모성, 피로 저항 등과 같은 특성들은 하나 이상의 공정 변수를 변경하거나 일정하게 유지함으로써 소정의 재료에 대해 수정될 수 있다. 도 9b에서, 공정 제어 시스템은 각 층의 길이에 걸쳐서 그리고 층들 간에 일정한 수준의 토크를 유지한다. 공정 제어 시스템은 토크 안정성을 생성하기 위해 다른 파라미터들을 조절한다. 조절할 수 있는 다른 파라미터로는 톨의 회전 속도, 필터 공급 속도, 횡방향 속도, 추가된 재료의 온도, 기판 온도, 주변 온도 등이 있다.

[0280] 일정하게 유지할 파라미터로서 토크를 선택하지 않아서, 토크는 일정하지 않을 것임을 도 9c에서 알 수 있다. 도 9c에서, 스핀들 속도(톨의 회전 속도)는 일정하게 유지된다. 결과적으로, 여러 층들에 걸친 성공적인 동작에 필요한 토크는 감소한다. 이 두 도면들은 다층 적층에 대한 데이터를 보여주며 토크의 급격한 감소는 톨이 새 층을 시작하기 위해 수직 축에서 위쪽으로 이동하는 것을 나타낸다.

[0281] 도 9d는 제어 시스템이 층 길이에 걸쳐 토크 값을 유지하도록 지시되는 토크 제어를 위한 공정 데이터를 도시한다. 이 데이터는 도 9b와 같이, 제어 시스템이 값을 성공적으로 유지하는 능력을 도시한다.

[0282] 도 9e는 토크가 제어를 위해 선택되지 않은 경우, 토크에 대한 영향을 보여준다. 도 9c와 유사하게, 이는 스핀들 속도를 일정하게 유지할 변수로서 선택하면, 토크 변동이 발생함을 도시한다.

[0283] 가설적으로, 제어 변수의 변화의 영향은 6xxx 시리즈 알루미늄 합금에 대해 다음과 같은 결과를 초래할 수 있다:

변수/파라미터	값 범위	제어 값	영향	관계
스핀들 속도	100-600 RPM	500	내마모성 증가, UTS 증가	토크에 영향을 미침
병진 속도	0.5-30 IPM	21 IPM	표면 마감 거칠기 감소	공급 속도 증가로 인해 증가
공급 속도	1-25 IPM	20 IPM	증가된 피로 저항성	증가된 병진 속도로 증가
주변 온도	45-300 F	70 F	잔류 응력 감소	토크에 영향을 미침
토크	60-100 ft-lb	9 ft-lb	YS 증가	스핀들 속도 증가에 따라 감소
구축물 온도			증가된 UTS, YS, 연성	온도 증가에 따라 감소
층 높이	0.01-0.06"	0.04"	공정 효율성	토크에 영향을 미침
트랙 폭	0.35-2.10"	1.70"	공정 효율성	토크에 영향을 미침
온도 제어	0-400F	200F	증가된 UTS	토크에 영향을 미침
트랙 중첩	0-100%	25%	전밀도	토크에 영향을 미침

[0284]

[0285]

공정 제어 시스템은 결과에 대한 공정 변수의 반복성 및 예측 가능성으로 인해 자동화된 품질 제어를 가능하게 한다. 실험은 차트의 변수 변화가 적층된 재료의 특성과 상태에 영향을 미친다는 것을 나타낸다.

실험	항복 응력(MPa)	U.T.S. (MPa)	연신율(%)
1	74.3	133	24%
2	72.9	137.2	23%
3	73	137-5	22%
4	76.1	134.7	23%
5	77.9	136.3	24%
6	76	130.8	22%
7	77	120.4	11%
8	77.5	135.9	17%
9	73.6	133	25%
10	77.2	131.2	17%
11	77.3	127.3	14%

[0286]

[0287]

도 9f는 스핀들 토크의 증가로 이어지는 스핀들 속도의 감소를 그래픽으로 나타낸 것이다.

[0288]

도 9g는 액추에이터 힘의 증가로 이어지는 액추에이터 속도의 증가를 그래픽으로 나타낸 것이다.

[0289]

일부 실시형태에서, 공정 제어 알고리즘은 각각의 제어 가능한 공정 변수에 대해 생성된 흐름도에 기초한다. 공정 제어 시스템을 위해 구성된 많은 흐름도 중 두 개가 도 3b와 도 3c에 제공된다.

[0290]

일부 실시형태에서, 알고리즘은 컴퓨터 판독 가능한 코드로 변환되고 특정 고체-상태 적층 가공 공정에서 상기 제어된 공정 변수 각각에 대해 상이한 제어 전략을 부과할 수 있는 실행 가능한 소프트웨어로 컴파일된다(도 10). 소프트웨어는 다양한 재료 특성, 공정 파라미터 등을 고려하는 여러 컴퓨터 판독 가능 코드를 포함한다. 예를 들어, 필러 재료 특성(예: 용점 T_m , 마찰 계수, 압축 강도), 필러 형태(예: 분말, 과립, 로드, 플레이크, 시트), 피가공물 재료 특성(예: T_m , 강도, 마찰 계수), 피가공물 형상 및 크기, 틀 재료 강도 및 형상, 목표 트랙 두께 및 트랙 폭은 스핀들의 필요한 각속도와 틀의 각속도(상이한 경우), 피가공물에 대한 틀의 이송 속도,

틀이 피가공물 표면을 넘어가는 횟수, 및 소정의 고체-상태 적층 가공 공정을 실행하는 데 필요한 하향력을 계산하기 위해 소프트웨어 제어식 시스템에서 고려된다. 소프트웨어 제어식 시스템은 하나 이상의 센서, 카메라 및 측정 장치로부터의 입력을 추가로 수신하고, 액추에이터, 톨, 스핀들, x, y, z 모션 컨트롤러, 피가공물, 파일러 및 클램핑 시스템과 같은 기계 구성 요소를 제어하는 다양한 구동부에 출력을 제공함으로써, 하나 이상의 공정 변수에 영향을 준다.

[0291] 또한, 일부 실시형태에서, 각각의 컴퓨터 판독 가능 코드는 소정의 공정에 특정된 실행 가능한 소프트웨어를 생성하기 위해 다른 코드와 쉽게 결합될 수 있는 방식으로 기록된다; 예를 들어, 이러한 소프트웨어는 접합용 소프트웨어, 코팅용 소프트웨어, 수선용 소프트웨어 등이 있다.

[0292] 일부 실시형태에서, 고체-상태 적층 가공 소프트웨어는 기계 조작자가 필요하다면 수동으로 공정 변수 공정을 변경할 수 있게 한다. 예를 들어, 변수 공정 값은 화면이나 다른 컴퓨터 디스플레이 상에 실시간으로 표시될 수 있으며, 소프트웨어를 통해 작업자가 수동으로 변수 공정 값을 입력하고 특정 공정 변수, 등과 관련된 다양한 기계 톨을 조작할 수 있다.

[0293] 다른 실시형태에서, 금속, MMC 및 금속 합금과 같은 특정 필터 재료 유형의 경우, 알고리즘 또는 코드는 적층된 층에서 소정의 미세 구조(들)를 생성할 수 있는 공정 변수 SP를 예측한다; 매우 자주, 고체-상태 적층 가공 공정에서 이러한 재료를 다룰 때, 유입되는 재료 그레인 구조와 비교되는 정제된 그레인 구조가 바람직하다.

[0294] 다른 실시형태에서, 톨 회전을 제어하는 코드는 스핀들 회전을 제어하는 코드와 밀접하게 상호 작용하고 있으며, 이 두 부품인 스핀들과 톨은 동일하거나 상이한 각속도로 회전할 수 있지만 성공적인 공정 실행을 위해 양호하게 동기화되어야 한다.

[0295] 다른 실시형태에서, 스핀들의 온도를 제어하기 위해 코드가 사용되며, 이러한 스핀들의 온도는 스핀들 토크에 의존하며, 스핀들 토크는 스핀들 각속도에 의존한다. 공정 제어 시스템에는 스핀들 각속도의 폐쇄 제어 루프가 포함되어 있으며 스핀들 온도는 스핀들 각속도 및 스핀들 토크에 따라 중첩된 변수로서 처리된다.

[0296] 또 다른 실시형태에서, 필터 재료 온도를 조절하는 코드가 공정 제어 시스템에 사용된다. 이 코드는 공급부 온도, 스핀들 온도 및 톨 온도를 조절하는 코드에 의존하며, 후자의 두 변수는 스핀들과 톨의 해당 각속도 및 토크에 의존한다.

[0297] 다른 실시형태에서, 공정 제어식 고체-상태 적층 가공 시스템은 복잡한 윤곽 부분 및 구조물, 주기적 및 비주기적 구조물들, 즉 벌집형 구조물, 계층형 구조물, 중첩 구조물, 구배형 구조물, 및 다축 운동이 가능한 플랫폼을 사용하는 기타 구조물을 제조할 수 있다.

[0298] 일 실시형태에서, 코드는 적층 공정 동안에 분사되는 필터 재료 유량 및 불활성 가스 유량을 제어함으로써 적층된 재료의 밀도 및/또는 다공성을 제어한다.

[0299] 일 실시형태에서, 컴퓨터로 제어되는 고체-상태 적층 가공 기계는 벌집형 구조물과 같은 주기적인 셀 구조물을 생성할 수 있다. 샌드위치된 기하구조를 갖는 벌집형 구조물은 다양한 하중 지지 및 에너지 흡수 응용 분야를 위한 경량 구조물을 제공하므로, 이러한 구조물은 다른 많은 셀 구조물보다 우수한 것으로 알려져 있다. 그러나, 벌집형 코어가 있는 샌드위치 구조물을 만드는 대부분의 전통적인 공정은 여러 단계를 포함하며, 대부분의 경우, 벌집형 코어를 샌드위치 구조물의 외부 시트에 접착하기 위해 접착층을 도포해야 한다. 본 발명의 고체-상태 적층 가공 공정 및 시스템의 실시형태는 접착층 없이도 복잡한 벌집형 구조물을 제조할 수 있다.

[0300] 컴퓨터 제어식 고체-상태 적층 가공 시스템으로, 여전히 우수한 중량 대 중량 비율을 제공하는 향상된 기계적 성능 및 특히 압축 성능을 위한 다양한 벌집형 구조물이 가능하다. 또한, 컴퓨터로 제어되는 고체-상태 적층 가공 기계는 모든 방향(x, y 또는 z 방향)에서의 맞춤형 기계적 성능 또는 맞춤형 등방성 기계적 성능을 위한 셀 하위 구조물을 포함하는 복잡한 셀 구조물을 구축할 수 있다.

[0301] 일 실시형태에서, 컴퓨터 제어식 고체-상태 적층 가공 공정은, 톨의 회전 운동을 제어하는 것 이외에, 비주기적 또는 주기적, 예를 들어, 벌집형 구조물을 제어하면서, 피가공물의 표면에 대한 톨의 미리 결정된 xy 이동을 제어한다(도 11a). 소프트웨어 제어식 고체-상태 적층 가공 시스템은 금속, MMC, 금속 합금, 플라스틱, 세라믹, 폴리머, 강화 섬유 또는 입자를 포함하는 복합 재료 등과 같은 임의의 선택 재료로 셀 구조물을 구축할 수 있다. 적층 재료(즉, 필터 재료)(1101)는 기관(또는 배관)(1103) 상의 중공 회전 톨(1102)를 통과한다. 톨 회전 운동 및 병진 이동 모두에 따라, 특정 트랙 폭 및 두께를 갖는 적층물(1104)이 기관 또는 배관(1103) 상에 형성된다.

- [0302] 일부 실시형태에서, 고체-상태 적층 가공 공정 제어 시스템은, 예컨대 삼각형 셀 구조물(도 11a), 정사각형 셀 구조물(도 11c), 육각형 벌집형 구조물(도 11d) 및 기타 구조물, 또는 이들의 조합 등이지만 이에 제한되지 않는, 임의의 셀 구조물(1104)을 기판(1103) 상에 구축할 수 있다.
- [0303] 또 다른 실시형태에서, 구배(등급화된)된 벌집형 구조물이 생성되어 최종 적층된 구조물 내에서 특정 특성 또는 기능을 갖는 구배를 생성할 수 있다. 예를 들어, 강성, 강도 및 에너지 흡수의 향상이 양의 평면-내 셀 구배 방향에서 가능하다는 것이 도시된다.
- [0304] 또 다른 실시형태에서, 소프트웨어 제어식 고체-상태 적층 가공 공정 제어 시스템은 주기적, 비주기적 셀 구조물, 구배형 셀 구조물, 중첩된 구조물(이중, 삼중 구조물), 계층형 구조물, 복합 구조물 및 기타 복잡한 셀 구조물, 또는 이들의 조합을 생성할 수 있으며; 이들 중 일부는 도 12a 및 도 12b에 제시된다. 도 12a는 컴퓨터 제어식 고체-상태 적층 가공 공정에 의해 생성된 단일 기판(1203) 상의 중첩된 육각형 벌집형 구조물(1204)의 개략도이다. 이러한 구조물은 최종 부분의 강도와 강성을 개선하기 위해 제안되었다. 도 12b는 결합된 이중 중첩된 벌집형 구조물(1204A) 및 계층형 벌집형 구조물(1204B)의 개략도이며, 계층형 벌집형 구조물(1204B)은 하부의 벌집형 구조물(1204A) 중 하나와 매칭되며, 이중 중첩 구조물의 상부에 적층되고, 이들 모두는 단일 기판(1203) 상에 구축된다.
- [0305] 일부 실시형태에서, 소프트웨어 제어식 고체-상태 적층 가공 공정으로 제조된 주기적 및 비주기적 구조물들(예를 들어, 벌집형 구조물들)은 양호하게 구획된 또는 랜덤한 셀 구조물로 생성될 수 있으며, 셀들의 벽 두께와 높이는 동일하거나 상이하게 제조할 수 있다(도 13a 및 도 13b). 도 13a는 고체-상태 적층 가공 공정에 의해 생성된 셀 구조물(1304A 및 1304B)의 개략도이며, 여기서 도 13b에서 상기 생성된 셀들(1304A 및 1304B)은 상이한 높이를 갖는 반면, 도 13a에서 상이한 셀들이 동일한 높이를 갖는다.
- [0306] 다른 실시형태에서, 컴퓨터 제어식 적층 가공 시스템은 맞춤형 탄성/강성 성능, 에너지 흡수, 손상 내성 및/또는 음향 및 열 제어가 필요한 응용 분야를 위해서, 다중 기판 상에 단순, 복합, 중첩 및 계층형 셀 구조물들을 제조할 수 있다(도 14a 내지 도 14c).
- [0307] 구체적으로, 일 실시형태에서, 주기적 구조물(1404A 및 1404B)은 도 14a에 제시된 바와 같이 2개 이상의 기판(1403A, 1403B) 상에 생성된다. 각 층의 셀 재료는 동일하거나 다를 수 있다. 상기 구조물을 상이한 유형의 공정으로 제조된 다른 벌집형 구조물과 구별시키는 주요 차이점은 상기 구조물에는 접착층이나 층들이 포함되어 있지 않다는 것이다. 벌집형 구조물 층(들)은 고체-상태 적층 가공 공정을 통해 기판 상에 직접 적층되며, 이로써 접착층이 사용되고 일반적으로 전체 구조물에서 가장 약한 지점을 제공하는 종래의 벌집형 구조물에 비해 더 강력한 최종 구조물을 생성한다.
- [0308] 기판(1403A) 상에 적층된 이중 중첩 벌집형 셀 구조물(1404A) 및 후속 기판(1403B) 상에 적층되고 그 아래의 중첩된 구조물 중 하나와 매칭되는 후속하는 또 다른 벌집형 구조물(1404B)에 관한 또 다른 실시형태가 도 14b에 제시된다. 다시 말하지만, 도시된 구조물을 종래의 단순하고 중첩된 벌집형 구조물과 구별시키는 것은 접착층을 사용하지 않다는 것이다.
- [0309] 또 다른 실시형태에서, 벌집형 구조물의 중간층(1404)을 갖는 2개의 기판(1403A 및 1403B)의 샌드위치 구조물이 도 14c에 도시되어 있다. 이 구조물은 벌집형 셀과 기판 간에 접착층 또는 층들을 포함하지 않으므로 접착층을 사용하는 기존 방법으로 생성된 유사한 구조물보다 본질적으로 강하다.
- [0310] 다른 실시형태에서, 벌집형 구조화된 중간층을 갖는 2개 이상의 샌드위치 구조물의 스택은 컴퓨터 제어식 고체-상태 적층 가공 시스템에 의해 제조될 수 있다.
- [0311] 다른 실시형태에서, 컴퓨터 제어식 고체-상태 적층 가공 공정은 둘 이상의 재료를 사용하여 셀 구조물을 제조할 수 있는데, 예를 들어, 재료 A로 제조된 셀 구조물(1504A)의 셀은 상이한 재료 B로 충전될 수 있으며(1504B), 모든 재료는 15a에 도시된 바와 같이 기판(1503) 상에 적층된다. 이러한 방식으로, 추가 강성, 강도 및/또는 음향 제어를 위해 내장된 벌집형 구조물을 포함하는 고체 층이 적층 가공 공정으로 적층될 수 있다.
- [0312] 다른 실시형태에서, 기판(1503) 상에 적층된 셀 구조물(1504A)은 도 15b에 도시된 바와 같이, 소프트웨어 제어식 고체-상태 적층 가공 시스템을 사용하여 셀 구조물과 함께 동시에 적층될 수 있는 보강 리브(1504B)에 의해 추가로 강화된다. 보강 리브(1504B)는 셀(1504A)과 동일한 재료 또는 상이한 재료로 제조될 수 있다.
- [0313] 또 다른 실시형태에서, 제1 기판 상에 생성된 주기적 또는 비주기적 구조물은 다음 층 또는 구조물을 적층하는 후속 단계에 의해 변형된다(제어된 형상 변화를 받는다).

- [0314] 다른 실시형태에서, 컴퓨터 제어식 적층 가공 시스템은 접착 층을 사용하지 않고, 전체 샌드위치형 구조물(백킹 패널 상의 외측 바닥 층, 코어 셀 구조물 및 상부 층)을 제조할 수 있다.
- [0315] 일부 실시형태에서, 본 개시된 공정 제어 고체-상태 적층 가공 시스템은 다양한 기관, 부분 및 복잡한 구조물을 수선할 수 있다. 때로는, 손상된 구조물과 부분이 금속, MMC, 복합재 또는 샌드위치형 및 라미네이트된 구조물로 이루어질 질 때, 종래 수선 방법들 중 선택된 방법은 매우 제한적이며 시간이 많이 걸리거나 비용 측면에서 비효율적이다. 고체-상태 적층 기술의 유연성은 종래의 방법으로는 불가능했던 복잡한 기하구조를 수선하는 고 유한 방법을 제공한다.
- [0316] 다른 실시형태에서, 컴퓨터 제어식 적층 가공 시스템에 의해 제조된 미리 정의된 적층 구조물은 3D 프린팅 유사 공정을 통해 생성된다.
- [0317] 다른 실시형태에서, 컴퓨터 제어식 적층 가공 시스템에 의해 제조된 미리 정의된 적층 구조물은, 실제로 3D 프린팅과 4차원으로서의 시간의 조합인 4D 프린팅 유사 공정을 통해 생성된다. 구체적으로, 컴퓨터로 제어되는 적층 가공 기계는 형상 기억 재료("스마트" 재료라고도 함)로 제조된 사전 정의된 3D 구조물을 적층한다. 형상 기억 재료로 이루어진 적층된 3D 구조물은, 주변 환경에 적응하는 동안에 및/또는 특정 외부 자극(예: 전기장, 자기장, 부하, 빛, 열 등)을 받을 때에, 시간이 지남에 따라 형상(치수)을 변경할 수 있다.
- [0318] 또 다른 실시형태에서, 형상 기억 재료로 제조되고 개시된 컴퓨터 제어식 고체-상태 적층 가공 기계로 적층된 3D 구조물은 그 형상(및 치수)에서 가역적 변화가 가능하다.
- [0319] 일부 실시형태에서, 고체-상태 적층 가공 시스템은 구리, 청동, 황동, Ag-함유 합금 및 Ag-이온 및 Cu-이온이 풍부한 스테인리스 강과 같이 항균성 및 항진균 성으로 알려진 재료를 적층할 수 있다. 이러한 재료는 해수와 지속적으로 접촉하는 선박 구조물과 같은 응용 분야에 매우 유용하며, 이러한 구조물에서는, 항-바이오필름/슬라임(slime) 방지 기능이 있는 코팅이 선호된다.
- [0320] 더욱이, 일 실시형태에서, 소프트웨어 제어식 고체-상태 적층 가공 시스템은 고체-상태 적층 가공 시스템의 공급 장치에 둘 이상의 재료가 첨가되는 경우, 유입되는 필터 재료들의 농도(또는 부피비)를 조절하기 위한 컴퓨터 관독 가능 코드를 포함한다. 예를 들어, 두 개의 분말 또는 입상 재료, 재료 A 및 재료 B를 독립적으로 공급부로 가져와 잘 혼합한다. 최종 필터 재료(1601) 내에서 재료 A에 있는 재료 B의 체적 비율 또는 농도는 공급부에서 재료 A와 재료 B의 공급 흐름을 제어하는 코드에 의해 규제될 수 있으며, 그 후, 잘 혼합된 필터가 기관(1603) 상에 적층될 수 있다(도 16a). 예를 들어, 알루미늄(Al) 분말과 스틸 분말은 공급부에 독립적으로 도입되고 특정 비율(코드에 의해 규제됨)로 혼합되어, 기관(1603) 상의 최종 적층된 층(1604) 내에 필요한 스틸 농도를 제공할 수 있다(도 16b). 더욱이, 다른 실시형태에서, 그러한 적층된 층(예를 들어, 스틸이 혼합된 Al)은, 적층물(1604)에 추가 기능, 즉 내마모성, 자가 세정, 항-바이오필름, 또는 항균 기능들을 제공할 수 있는 바람직한 표면 마이크로 및/또는 나노 구조물을 생성하기 위해 추가로 후처리될 수 있다.
- [0321] 다른 실시형태에서, 필터 재료(1601)는 도 16c 및 16d에 제시된 바와 같이, 다른 재료(재료 B)로 채워진 중공 튜브 또는 중공 로드(재료 A로 이루어짐)의 형태로 제조될 수 있다.
- [0322] 일부 실시형태에서, 코드는 시간에 따라, 즉 적층된 층의 수에 따라 필터 재료의 비율(농도 또는 조성)을 변경할 수 있으며, 따라서 적층된 층에서 재료 농도 구배를 가능하게 할 수 있다. 일 실시형태에서, 재료 조성 구배는 도 16e에 제시된 바와 같이 기관(1603) 상에 적층된 층 길이(1604)를 따라 달성될 수 있다. 다른 실시형태에서, 재료 조성 구배는 도 16f에 제시된 바와 같이 층의 두께(적층물 두께)를 따라 달성될 수 있으며, 여기서 적층된 층들(1604A, 1604B 및 1604C)은 그 조성이 점차적으로 변화한다. 또 다른 실시형태에서, 조성(농도) 구배는 적층 길이 및 적층 두께를 따라 양방향으로 가능하다.
- [0323] 일부 실시형태에서, 컴퓨터 제어식 고체-상태 적층 가공 기계는 필터 재료(1701)가 두 부분들(1705A 및 1705B) 간의 조인트로 도입될 수 있는 방식으로 배관(1703) 상에 배치된 상기 부분들을 결합시키는 데 사용되며(도 17a), 이로써 도 17b에 제시된 최종 구조물을 산출하고, 여기서 두 부분(1705A 및 1705B) 간의 조인트는 적층물(1704)로 채워진다. 도 17a의 필터 재료(1701)는 도 17b의 최종 조인트(1704)를 강화하기 위해 강화 입자, 섬유, CNT 및 기타를 함유할 수 있다. 또 다른 실시형태에서, 2개의 부분(1705A 및 1705B) 간의 조인트(1704) 외에, 1704A 및/또는 1704B와 같은 추가적인 보강(강화) 구조물이 적층될 수 있다(도 17c 및 17d).
- [0324] 일부 실시형태에서, 2개의 부분(1805A 및 1805B)은 이들 부분을 충분히 근접하게 배치하고 보강 구조물(1804A 및/또는 1804B)로서 필터를 적층함으로써, 2개의 부분들 간의 공간(조인트)으로 필터 재료(1801)를 도입하지 않

고서, 함께 결합될 수 있다(도 18a 내지 도 18c). 접합 공정에 사용되는 필러 재료는 조인트에 강도를 더하기 위한 탄소 또는 유리 섬유, 탄소 나노 튜브(CNT), 금속 입자 및 기타 강화 입자로 강화될 수 있다.

[0325] 일부 실시형태에서, 두 부분들 간의 공간(조인트)에 필러를 도입함으로써 달성되는 필러(1901)와 두 부분(1905A 및 1905B)의 코너 접합이 도 19a에 제시되며, 이로써, 도 19b에 제시된 바와 같이 적층물(1904)을 갖는 조인트 부분을 생성한다. 다른 실시형태에서, 코너 조인트는 도 19c 및 19d에 제시된 바와 같이 보강 구조물(1904A, 1904B 및/또는 1904C)을 적층함으로써 추가로 보강(강화)될 수 있다.

[0326] 다른 실시형태에서, 코너 조인트는 결합될 두 부분(2005A와 2005B) 간의 공간에 필러(2001)를 도입하지 않고서 고체-상태 적층 가공 시스템에 의해 제조되며, 대신에 대신 보강 구조물(2004A, 2004B, 2004C 및/또는 2004D)만 추가된다(도 20a 내지 도 20e).

[0327] 다른 실시형태에서, 두 부분(2105A 및 2105B)의 T-조인트는 필러(2101)를 적층함으로써 제조되며, 이로써 도 21a 및 21b에 제시된 바와 같이, 적층된 강화 구조물(2104A, 2104B, 2104C 및/또는 2104D)을 갖는 최종 구조물을 생성한다. 또 다른 실시형태에서, 필러 재료는 T-조인트를 통해 결합될 두 부분 간의 공간에 적층되고 이어져서 강화 구조물로 강화될 수 있다.

[0328] 다른 실시형태에서, 고체-상태 적층 가공 시스템은 단순하거나 복잡한 기하학적 구조를 갖는 2개의 부분들 또는 구조물들을 결합하기 위해 사용된다. 이러한 부분들은 동일하거나 유사하거나 상이한 재료로 이루어질 수 있다. 이종 재료들을 접합하는 경우, 사용 가능한 통상적인 접합 공정의 수가 제한되고/되거나 이러한 통상적인 접합 공정에 심각한 제한이 있다는 점은 주목할 가치가 있다.

[0329] 일 실시형태에서, 프리프레그 중간층(2206)은 도 22a 내지 도 22c에 제시된 바와 같이 2개의 열가소성 플레이트(2204A 및 2204B) 간의 적층 구조물 내에 통합된다. 플레이트(2204A 및 2204B)는 미리 제작된 플레이트일 수 있으며, 이 경우에, 기계가 톨(2202)에 의해 제공되는 심한 열-기계적(마찰) 작용에 의해 두 개의 플레이트 간에서 프리프레그 층을 결합한다. 다른 실시형태에서, 열가소성 플레이트는 톨에 의해 제공되는 심한 열-기계적 작용에 의해 프리프레그 중간층으로의 결합에 더하여, 중공 톨(2202)를 통해 필러 재료(2201)를 공급함으로써 기계와 함께 적층될 수 있다.

[0330] 프리프레그 중간층은 열가소성 또는 열경화성 중합체가 함침된 단일 층 프리프레그일 수 있거나 다층 프리프레그(소위 프리프레그 라미네이트)일 수 있다. 프리프레그는 일반적으로 단일축 배향 섬유 또는 이축 배향 섬유 또는 다축 배향 섬유를 포함하며, 여기서 섬유는 탄소 섬유, 유리 섬유, 금속 와이어 등이 될 수 있다.

[0331] 다른 실시형태에서, 플레이트(2304A 및 2304B)는 금속, 금속 합금 또는 금속-매트릭스-복합체(MMC) 또는 임의의 다른 복합물로 제조되고 프리프레그 중간층(2306)은 도 23a 내지 도 23c에 제시된 바와 같이 접착층을 사용하지 않고 적층된다. 금속 플레이트로의 우수한 결합을 위해, 프리프레그 층 주변에 얇은 열가소성 중간층(2304C 및 2304D)을 적층할 수 있다(도 23d). 이미 제조된 금속 플레이트(2304A 및 2304B)가 사용되거나 톨(2302)를 통해 동시에 적층될 수 있다.

[0332] 다른 실시형태에서, 소프트웨어 제어식 고체-상태 적층 가공 시스템은 도 24a에 제시된 바와 같이 결합이 있는 기관 또는 맹공, 표면 균열 및 기타 결함(2407B)을 갖는 부분(2407A)을 수선할 수 있다. 결함은 중공 회전 톨(2402)를 통해 공급되는 필러 재료(2401)로 채워진다. 다른 실시형태에서, 구멍 및 균열(2407B)이 결합이 있는 기관 또는 구조물(2407A) 내에서 더 깊이 있을 때, 배판(2403)이 수선 공정 동안 사용된다(도 24b).

[0333] 또한, 실시형태는 고체-상태 적층 가공 시스템에 필러 재료를 연속적으로 공급하기 위한 공급 시스템 및 관련 부품들의 다양한 설계를 포함한다.

[0334] 일 실시형태에서, 한 쌍의 구동 롤러(2508)(또는 구동 휠)는 도 25a에 제시된 바와 같이 고체-상태 적층 가공 시스템에 필러 로드 재료(2501)를 연속적으로 공급하기 위해 사용된다.

[0335] 다른 실시형태에서, 2 쌍, 3 쌍 또는 다중 쌍의 구동 휠(2508A, 2508B, 2508C 등)(공급 롤러라고도 함)이, 도 25b에 제시된 바와 같이 필러 재료 로드와 같은 필러 재료(2501)를 고체-상태 적층 가공 시스템에 연속적으로 공급하기 위해 사용된다.

[0336] 일부 실시형태에서, 구동 휠은 매끄러운 표면 마감을 갖는 반면, 다른 실시형태에서, 하나 이상의 롤러는 텍스처링된 표면을 가질 수 있거나 하나 이상의 홈 및/또는 채널, 및/또는 거칠기 또는 특정 특징부를 갖는 표면을 포함할 수 있다. 예를 들어, 도 25c는 3 쌍의 롤러(2508A, 2508B 및 2508C)가 있는 공급 시스템을 도시하며, 여기서 한 쌍의 롤러(2508C)는 피가공물 표면 상에서의 후속적인 더 용이한 마찰 교환을 위해 유입 필러 재료

(2501)의 형상에 영향을 주는 표면 특징부를 갖는다.

- [0337] 일부 실시형태에서, 롤러들은 상이한 형상을 가질 수 있다. 다른 실시형태에서, 롤러들은 동일한 형상을 가질 수 있다.
- [0338] 다른 실시형태에서, 하나 이상의 롤러는 주위 온도에서 유지되거나 상이한 온도(T1, T2, T3)로 가열되어, 필러 재료의 밀도를 연화 및/또는 감소시킬 수 있으며, 따라서 피가공물 표면 상에서의 더 용이한 교반을 실현한다(도 25c).
- [0339] 일부 실시형태에서, 롤러 세트들이 위치하는 구획부들은 상이한 온도로 가열된다. 도 25c의 온도 T1, T2 및 T3은 사용되는 공급 재료에 따라 다르거나 같을 수 있다. 일반적으로, $T1 < T2 < T3$ 이지만, 상이한 온도 프로파일을 사용할 수 있다.
- [0340] 다른 실시형태에서, 롤러들 사이의 갭은 도 25d에 제시된 바와 같이 가변적이며, 이는 롤러들(2508A, 2508B 및 2508C) 간에 압착되며 피가공물 또는 평평한 기관 상에 적층 구조물을 제조하기 위한 좁은 재료 스트림으로서 도입되는 대형 플라스틱 블록(2501) 또는 대형 더미의 재료(2501A)와 같은 필러 재료를 취급할 때 특히 유용하다.
- [0341] 일부 실시형태에서, 롤러들(2508) 사이의 가변 갭은 롤러들을 서로를 향해 밀고, 따라서 재료를 피가공물을 향해서 밀어 내리면서 재료의 "압착" 또는 압축을 제공하는 스프링(2509)(도 25E)에 의해 제공된다. 재료 압축은 한쪽에서의 스프링의 탄성뿐만 아니라 다른 쪽에서의 압축되는 필러 재료의 탄성 및 압축 강도에 따라 달라진다.
- [0342] 다른 실시형태에서, 롤러들 사이의 가변 갭은 나사 또는 다른 수단에 의해 수동으로 조절된다. 실시형태들에서, 가변 갭은 예를 들어 스프링에 의해 수동 및/또는 자동으로 조절될 수 있다.
- [0343] 또 다른 실시형태에서, 필러 바에 대한 힘은 롤러들 사이의 갭을 조절함으로써 현장에서 쉽게 조절된다.
- [0344] 일부 실시형태에서, 롤러는 필러 바 치수들 중 하나 이상의 측정치를 제공할 수 있으며, 이러한 측정치는 롤러의 정확한 변위를 통해 적층되는 재료의 부피를 추정하는 데 유용하다.
- [0345] 특정 실시형태에서, 상이한 세트들의 롤러들이 상이한 속도로 작동될 수 있으며, 이는 재료딩 타이밍 지연에 도움이 된다.
- [0346] 일부 실시형태에서, 필러 로드 재료(2501)는 도 25f에 제시된 바와 같이 롤러들(2508) 사이에 체결(도 25a에 제시된 바와 같이 아래로 눌림)되거나 체결 해제될 수 있다. 롤러 회전 방향과 롤러 속도를 제어함으로써, 필러 재료 또는 로드가 피가공물 쪽으로 눌리거나 피가공물에서 후퇴된다(당겨진다).
- [0347] 일부 실시형태에서, 롤러들(2608)은 도 26a 내지 도 26e에 제시된 바와 같이 상이한 표면 구조물들을 갖는다. 표면 구조물들 중 일부는 롤러 표면 내에 매립되어 있으며, 예를 들어, 도 26a에 제시된 것과 같이 상이한 단면 형상(삼각형, 정사각형, 직사각형)을 갖는 홈들이 그러하다. 이러한 표면 특징부들 중 일부는 공급 중에 로드형 필러 재료에 안정성을 제공하는 데 특히 유용하다.
- [0348] 다른 실시형태에서, 표면 특징부들은 롤러 표면 위에 제공되며, 이러한 특징부들은 예를 들어, 도 26b 내지 도 26e에 제시된 바와 같이 초승달 블레이드(나이프형), 패들형 블레이드 등이 있다. 이러한 유형의 롤러는 필러 유형 및 형태에 따라 필러 재료에 하나 이상의 영향을 미칠 수 있다. 예를 들어, 롤러(2708A) 상의 초승달형/나이프형 블레이드는 도 27a에 제시된 바와 같이 재료의 큰 블록(2701A)으로부터의 필러 재료를 작은 필러 재료 조각(2701B)으로 절단하는 데 사용될 수 있다. 롤러(2708B) 상의 패들형 연장부는 도 27b에 제시된 바와 같이, 과립형 재료, 분말, 브리켓, 절단된 재료 또는 임의의 다른 형태의 필러 재료(2701C)를 고체-상태 적층 가공 기계에 공급하는 데 사용될 수 있다.
- [0349] 일부 실시형태에서, 공급 롤러는 고체-상태 적층 가공 시스템의 스핀들 내부에 위치하는 반면, 다른 실시형태에서, 공급 롤러는 스핀들 하우징 외부에 위치한다.
- [0350] 일 실시형태에서, 고체-상태 적층 가공 기계는 패 금속 조각, 예를 들어 기계 가공 칩, 부스러기, 패 금속, 플라스틱 패 조각 또는 플레이트 등을 재활용하고 이들을, 피가공물 표면 상에 예를 들어 연속 층으로 적층하는 데 사용된다(도 27b).
- [0351] 다른 실시형태에서, 패 금속 조각은 먼저 고체 바로 압착되고 압착된 바는 고체-상태 적층 가공 기계에 필러 재

료로서 공급된다.

- [0352] 또 다른 실시형태에서, 폐 금속 조각은 먼저 분말, 과립으로 만들어 지거나 브리켓으로 압축된 다음 고체-상태 적층 가공 기계에 필러로서 공급된다.
- [0353] 또한, 탄피 및 산탄총 탄피 및/또는 기타 탄피와 같은 사용된 금속 조각이 본 발명의 공급 시스템에서 필러 재료로 사용될 수 있다. 사용된 금속 조각은 먼저 작은 조각으로 잘린 다음 공급 시스템에 공급될 수 있거나 또는 공급 시스템에는 큰 조각을 작은 조각으로 자르거나 잘게 자르는 섹션이 있을 수 있다.
- [0354] 일 실시형태에서, 폐 금속 조각은 고체-상태 적층 가공 시스템의 공급 섹션에서 초승달 모양의 블레이드(2708A)를 갖는 롤러로 파쇄되거나 절단될 수 있는 사용된 캔(2701A)(도 27c)이며, 이는 결과적으로 필러 재료로 사용된다(2701B).
- [0355] 다른 실시형태에서, 공급 시스템은 초승달 블레이드(2708A)를 갖는 공급 롤러에 의해서, 사용된 플라스틱 물체, 예를 들어 병(2701A)(도 27d)을 파쇄할 수 있으며, 그러한 파쇄된 재료(2701B)는 고체-상태 적층 가공 공정에서 필러 재료로 사용될 수 있다.
- [0356] 일부 실시형태에서, 고체-상태 적층 가공 기계에 공급될 필러 재료는 로드형 재료이다. 로드는 예를 들어 정사각형, 원형, 삼각형 또는 직사각형 단면을 갖는 상이한 형상을 가질 수 있으며, 그 예가 도 28a에서 2801A, 2801B 및 2801C로 도시된다.
- [0357] 일 실시형태에서, 공급 롤러는 정사각형 단면 형상(2801)(도 28b)을 갖는 로드 필러 재료의 연속적이고 안정적인 공급을 위한 하나의 홈(채널)(2808A)을 갖는다.
- [0358] 또 다른 실시형태에서, 롤러는 그 표면(2808B)에 2개 이상의 채널(홈)을 가지며, 이러한 채널은 필러 재료들(2801A, 2801B 및 2801C) 중 2개 이상의 로드의 연속적이고 안정적인 공급을 제공할 수 있다(도 28c). 로드들은 동일한 재료 또는 상이한 재료로 이루어질 수 있으며, 가열된 롤러를 통과할 때 압밀되어 MMC, 합금, 블렌드, 또는 복합 재료를 현장에서 산출하고, 이로써 다성분 재료가 피가공물에 적층될 수 있다.
- [0359] 일부 실시형태에서, 롤러 세트(2808C)는 필러 재료(2801D)의 플레이트, 필름 및 시트를 연속적으로 수용하고 밀어 내릴 수 있다(도 28d). 예를 들어, 많은 플라스틱은 플레이트, 시트 또는 필름의 형태로 제공된다. 펠릿 또는 과립을 만들거나 시트를 로드로 자르는 것과 같은 사전 준비없이, 필러 재료를 사용할 수 있는 두께에 따라 특정 플레이트/시트/필름을 수용하여 밀어 내릴 수 있도록 롤러들 사이의 갭이 조절될 수 있다.
- [0360] 다른 실시형태에서, 동일하거나 상이한 필러 재료들(2801D, 2801E 및 2801F) 중 둘 이상의 시트 또는 필름이 가열된 롤러(2808C)를 통해 연속적으로 공급되고, 이 롤러에서 그 시트 또는 필름은 단일 블렌드, 혼합물, 합금, 복합 재료로 압밀된 다음, 이와 같이 현장 제조된 복합 재료 또는 혼성 재료로서 고체-상태 적층 가공 기계로 공급된다(도 28e).
- [0361] 일부 실시형태에서, 필러 재료는 분말 형태 또는 과립형, 비드, 플레이크, 펠릿, 브리켓, 절단된 섬유 또는 절단된 와이어의 형태로 공급된다. 하나 또는 여러 유형의 재료(2901A 및 2901B)가 공급 포트(2910A 및 2910B)를 통해 공급될 수 있다. 특정 포트(2911)를 통해 첨가제 또는 액체를 추가(주입)할 수 있다. 양호하게 혼합된 필러 성분들의 연속적인 공급을 제공하기 위해, 도 29a에 제시된 바와 같이, 오거 스크류(2917) 및 교반기 암(2916)을 갖는 교반기(2915)가 공급 섹션, 즉 호퍼(2913) 내에 포함될 수 있다. 커버(2914)는 선택 사항적이며 휘발성 화합물과 먼지가 주변 환경으로 방출되는 것을 억제하는 데 사용된다. 시작 필러 성분의 더 나은 혼합을 가능하게 하기 위해, 히터(2918)가 호퍼에 또는 그 벽을 따라 추가될 수 있다. 최종 재료 스트림(2901C)은 공급/호퍼 섹션 내에서 혼합되어 고체-상태 적층 가공 시스템의 후속 섹션(즉, 스핀들)에 공급되는 필러 재료 역할을 한다(도 29a).
- [0362] 또 다른 실시형태에서, 공급 섹션의 구동 휠은 필러의 연속적인 공급을 제공할 뿐만 아니라 초기 필러의 혼합, 압축, 압밀, 압착/혼련, 절단 또는 파쇄에도 사용된다.
- [0363] 일부 실시형태에서, 공급 섹션은 도 29a에 제시된 바와 같이 액체(첨가제) 주입용 포트(2911) 및 벤팅(또는 탈기)용 포트(2912)와 같은 다중 포트(2910A 및 2910B)를 구비한다.
- [0364] 특정 실시형태에서, 오거 스크류(2917) 및 교반기 암(2916)을 갖는 교반기(2915)가 공급 시스템으로 도입된다(도 29a). 하나, 둘 이상의 재료(2901A, 2901B) 등이 필러 재료 포트(2910A, 2910B) 등을 통해 공급되고 공급 시스템의 입구 섹션(호퍼)(2913)에서 잘 혼합된다. 또한, 윤활제, 가소제, UV-안정제, 오존 안정제 또는 열 안

정제 등과 같은 다양한 첨가제(고체 또는 액체 형태)가 특별히 설계된 포트(또는 주입 포트)(2911)를 통해 상기 섹션에서 공급될 수 있거나, 첨가제는 필터가 공급 시스템에 들어가기 전에 필터 재료와 함께 혼합될 수 있다.

- [0365] 또 다른 실시형태에서, 공급 섹션에는 교반기(2915) 및 교반기 암(2916)이 장착되고, 오거 스크류(2917)는 도 29b에 제시된 바와 같이 스펀들(2919) 내에 위치된다. 히터 유닛(2918A 및 2918B)은 각각 호퍼(2913) 및 스펀들(2919)에 추가될 수 있다.
- [0366] 공급 섹션으로부터의 오거 스크류(2917)는 도 29c에 제시된 바와 같이, 고체-상태 적층 가공 시스템의 다른 섹션, 예를 들어 스펀들(2919) 및 툴(2902)로 연장될 수 있다.
- [0367] 일부 실시형태에서, 공급 섹션에는 임의의 유형의 열교환기, 벽 히터 등일 수 있는 히터(2918)가 장착된다. 특정 실시형태에서, 호퍼는 그의 캐비티 내부에서 또는 호퍼 벽의 표면 가열에 의해 가열될 수 있다.
- [0368] 다른 실시형태에서, 필터 재료를 더 잘 혼합하고 고체-상태 적층 가공 시스템의 다음 섹션에 이를 공급할 수 있도록 고체-상태 적층 가공 시스템의 호퍼 및/또는 다른 섹션에 진동이 제공된다.
- [0369] 특정 실시형태에서, 호퍼에는, 분말, 과립, 비드, 펠릿, 플레이크 및/또는 브리켓 형태, 또는 이들의 조합의 형태인 필터 재료를 첨가제(윤활제, 가소제, 안정제)와 함께 혼합하기 위한 교반기(2915) 및 교반기 암(2916)이 장착되어 있다. 그 다음, 오거 스크류(2917)가 있는 스펀들(2919)을 사용하여 혼합된 재료를 더 혼합하여서 고체-상태 적층 가공 시스템의 다음 섹션에 공급한다(도 29b).
- [0370] 다른 실시형태에서, 교반기에 추가하여, 오거 스크류가 호퍼에서 사용되며, 이는 스펀들 및 중공 툴에서도 연장된다(도 29c). 오거 스크류(2917)는 3 개의 섹션, 즉 호퍼(2913), 스펀들(2919) 및 툴(2902) 모두에서 동일한 설계를 가질 수 있거나, 한 섹션에서 다른 섹션으로 연장됨에 따라 직경 및 피치가 변할 수 있다.
- [0371] 다른 실시형태에서, 필터 재료의 연속적인 공급을 위한 오거 스크류는 중공 툴(2902)에서만 사용된다. 이러한 특별한 설계는 피가공물 상에서의 필터의 유량을 빠르게 변경할 수 있다.
- [0372] 분말, 과립형, 펠릿, 비드, 브리켓, 플레이크 및 기타 형태의 재료를 지속적으로 공급하기 위해 사용되는 오거 스크류의 설계는 다양할 수 있으며 본 발명의 실시형태에서 사용되는 몇 가지 예가 도 30에 도시되어 있다. 예를 들어, 일정한 피치, 가변 피치, 가변 깊이, 가변 피치 및 깊이, 또는 가변 직경을 갖는 오거 스크류, 특정한 단부를 갖는 오거 스크류, 트윈 또는 더블 오거 스크류의 예가 도 30에 나와 있다. 공급해야 하는 재료 유형 또는 형태에 따라 풀 피치, 하프 피치 세그먼트, 테이퍼형 또는 리본형 세그먼트가 있는 오거 스크류도 사용할 수 있다. 패들 형 블레이드 또는 초승달 형 블레이드가 있는 스크류도 특정 실시형태에서 사용될 수 있다.
- [0373] 일부 실시형태에서, 오거 스크류는 10 인치 내지 0.1 인치 범위, 보다 바람직하게는 2 인치 내지 0.2 인치, 가장 바람직하게는 1 인치 내지 0.3 인치 범위의 피치를 갖는다.
- [0374] 일부 실시형태에서, 오거 스크류는 나사산의 마모를 감소시키는 특정 설계를 갖는 나사산을 갖는다. 예를 들어, 일 실시형태에서, 나사산의 앞면은 오거 스크류 축에 수직하도록 설계된다. 또 다른 실시형태에서, 나사산의 후면은 오거 스크류 축에 대해 10 도와 50도 간, 보다 바람직하게는 20 도와 30도 간의 각도를 갖도록 구성되어 있다.
- [0375] 다른 실시형태에서, 무샤프트 플라이트 또는 단면 플라이트(개별 턴, 나선형 플라이트, 랩)는 더 큰 필터 재료(예를 들어, 잘게 잘린 플라스틱 병, 사용된 탄피), 끈적 끈적한 재료, 덩어리 등을, 특히 공급 시스템의 입구 부분에서, 이동시키는 데 사용된다.
- [0376] 일부 실시형태에서, 공급 시스템은 비드, 과립, 펠릿, 브리켓, 플레이크, 섬유(잘게 잘리거나, 연속적임), 불규칙하거나 규칙적인 모양의 입자 및 이들의 조합의 형태로 필터 재료를 공급할 수 있다.
- [0377] 또 다른 실시형태에서, 필터 재료 외에, 공급 시스템은 윤활제(분말, 액체, 겔), 가소제, 안정제(UV-, 오존-, 열 안정제), 강화제, 필터, 등등과 같은 첨가제를 고체-상태 적층 가공 기계에 공급할 수 있다.
- [0378] 본 발명의 시스템(들)은 본 발명의 컴퓨터 실행 가능 명령어를 수행하기 위한 적어도 하나 이상의 컴퓨터 프로세서(들)를 포함할 수 있다. 추가적으로, 또는 대안적으로, 시스템(들)은 하나 이상의 프로세서(들), 메모리, 하드 드라이브, 그래픽 처리 장치(GPU) 및 디스플레이, 키보드 및 마우스와 같은 입력/출력 장치와 같은 구성 요소를 가진 통상적인 컴퓨터 또는 특수 컴퓨터를 포함할 수 있다. 이러한 컴퓨터는 본 명세서에서 기술한 상기한 액추에이터 또는 임의의 다른 액추에이터, 모터 또는 컨트롤러와 같은 고체-상태 적층 가공 기계의 다양한 구성 요소에 명령을 내리기 위해, 유선 또는 무선 연결을 통해 고체-상태 적층 가공 기계와 통신할 수 있다. 또

한, 그러한 컴퓨터는 본 발명의 방법을 수행하기 위한 임의의 소프트웨어, 펌웨어 또는 하드웨어에 입력을 제공하기 위해 본 명세서에서 설명된 임의의 센서, 게이지 또는 검출기와 유선 또는 무선 통신할 수 있다. 프로세서 또는 컴퓨터는 본 기계와 분리되어 있거나 본 기계와 통합될 수 있다(예를 들어, 하우징을 공유함).

[0379] 시스템은 또한 프로세서가 본 개시에서 설명된 임의의 방법을 수행하도록 지시하기 위한 컴퓨터 실행 가능 명령어 세트(소프트웨어)를 저장하는 RAM과 같은 비일시적 컴퓨터 저장 매체를 포함할 수 있다. 본 명세서의 맥락에서 사용되는 바와 같이, "비일시적 컴퓨터 판독 가능 매체(또는 매체들)"는 자기 저장 매체, 광학 저장 매체, 비 휘발성 메모리 저장 매체 및 휘발성 메모리를 포함하는 임의의 종류의 컴퓨터 메모리를 포함할 수 있다. 비일시적 컴퓨터 판독 가능 저장 매체의 비 제한적인 예에는 플로피 디스크, 자기 테이프, 통상적인 하드 디스크, CD-ROM, DVD-ROM, BLU-RAY, 플래시 ROM, 메모리 카드, 광학 드라이브, 솔리드 스테이트 드라이브, 플래시 드라이브, 지울 수 있는 프로그래밍 가능 읽기 전용 메모리(EPROM), 전기적으로 지울 수 있는 프로그래밍 가능 읽기 전용 메모리(EEPROM), 비휘발성 ROM 및 RAM을 포함한다. 비일시적 컴퓨터 판독 가능 매체는 본 발명의 방법을 구현하기 위해서, 컴퓨터 실행 가능 명령어 세트 또는 소프트웨어뿐만 아니라 운영 체제를 제공하기 위한 컴퓨터 실행 가능 명령어 세트를 포함할 수 있다.

[0380] 실시형태들에 따르면, 고체-상태 적층 가공 기계는 미국 출원 공개 2010/0285207호, 2012/0279441호, 2015/0165546호, 2017/0216962호에 기술 또는 도시된 임의의 톨일 수 있거나 이를 포함할 수 있으며, 이 특허 문헌들은 그 전체가 본원에 원용되어 포함된다. 일 실시형태에 따르면, 본 기계는 다음을 포함하는 마찰 기반 가공 톨을 포함한다: 마찰 가열 및 압축 하중을 받을 때 변형에 저항할 수 있는 재료로 형성된 비소모성 본체와 본체, 및 상기 본체를 통해서 길이 방향의 통로를 형성하고 본체의 회전 중에 스로트 내의 재료에 수직 힘을 가하도록 성형화된 스로트.

[0381] 다른 실시형태에 따르면, 본 기계는 본체와 스로트를 갖는 비소모성 부재를 포함하며, 상기 스로트는 기관에 대해 코팅 재료의 마찰 가열을 부과하기에 충분한 속도로 회전될 때 본체로부터의 코팅 재료에 회전을 부여하도록 그 내부에 배치된 소모성 재료에 수직 힘을 가하도록 형성되며; 상기 본체는 스로트로부터 기관으로의 소모성 재료의 분배 및 압축 로딩을 위한 하향힘 액추에이터와 작동 가능하게 연결되고 상기 기관에 대해 본체를 회전 및 병진시킬 수 있는 하나 이상의 액추에이터 또는 모터에 작동가능하게 연결되며; 상기 본체는 본체와 기관 간의 공간 내에 기관에 적재된 소모성 재료를 포획하고 기관 상의 코팅물의 표면을 형성하고 진단할 수 있는 표면을 포함한다.

[0382] 다른 특정 실시형태는 다음을 포함하는 마찰 기반 가공 톨을 포함한다: (a) 기관 상에 적층되기 전에 그 내부에 배치된 소모성 코팅 또는 필터 재료를 수용할 수 있는 중공 내부를 포함하는 스핀들 부재로서, 상기 스핀들의 내부는 스핀들의 회전 중에 소모성 재료를 회전시키기 위해 그 내부에 배치된 소모성 재료에 수직 힘을 가하도록 형상화된, 상기 스핀들 부재; (b) 스핀들과 작동 가능하게 연통하여 스핀들에서 기관으로의 소모성 재료를 분배하고 압축 로딩할 수 있으며, 하나 이상의 모터 또는 액추에이터와 작동 가능하게 연통하여 스핀들을 회전 및 병진 이동시키는 하향 힘 액추에이터; 상기 스핀들은 평평한 표면 기하형상을 가진 솔더 표면 또는 적재된 소모성 재료의 기계적 교반을 향상시킬 수 있는 구조물을 가진 표면 기하구조를 포함하며, 상기 솔더 표면은 적재된 소모성 재료를 솔더와 기관 간의 공간에 포획하고 기관 상에 코팅물의 표면을 형성하고 진단하도록 작동 가능하게 구성된다.

[0383] 일부 실시형태에서, 스로트는 비원형 단면 형상을 갖는다. 또한, 소모성 고체, 분말 또는 분말 충전된 튜브 유형 코팅 재료들을 포함하는 임의의 필터 재료를 소모성 재료로서 사용할 수 있다. 분말형 코팅 재료의 경우, 분말은 톨의 내부 스로트 내에 느슨하게 또는 조밀하게 패키징될 수 있으며, 조밀하게 패키징된 분말 필터 재료에 수직 힘이 보다 효율적으로 가해진다. 분말 필터 재료의 패키징은 코팅 공정 전 또는 도중에 이루어질 수 있다.

[0384] 또한, 본 개시내용에 설명된 임의의 구성을 포함하는 톨링 구성, 또는 본 명세서에서 설명된 본 발명에 따른 방법을 구현하는 데 필요한 임의의 구성이 소모성 필터 재료 부재와 조합되어 제공된다. 따라서, 본 발명의 톨링 실시형태는 비소모성 부분(열 및 압력 하에서의 변형에 저항함)을 단독으로 또는 소모성 코팅 재료 또는 소모성 필터 재료와 함께 포함한다(예를 들어, 그러한 소모성 재료는 비소모성 부분이 노출되는 열과 압력의 양하에서, 변형, 용융 또는 가스화되는 것들을 포함한다).

[0385] 본 발명의 또 다른 양태는 손상된 표면을 수선하고, 상이한 두께를 갖는 기관을 얻기 위해 표면을 구축하고, 둘 이상의 기관을 함께 결합하고, 또는 기관 표면 내의 구멍을 채우는 것과 같이, 기관 상에 표면 층을 형성하는 방법을 제공하는 것이다. 이러한 방법은 본 개시 내용에 기재된 톨링을 사용하여 기관 상에 코팅 또는 필터 재료를 적층하고, 선택 사양적으로, 상기 적층된 코팅 재료를 마찰 교반하는 단계를 포함할 수 있으며, 이러한 마

찰 교반은 예를 들어, 적층된 코팅 재료를 기관의 재료와 결합하여 보다 균질한 코팅-기관 계면을 형성하는 기계적 수단을 포함한다. 적층 및 교반은 동시에 수행될 수 있으며, 또는 그들 간에 소정의 시간이 있거나 없이 순차적으로 수행될 수 있다. 적층 및 교반은 동일하거나 상이한 단일 툴 또는 별도의 툴들을 사용하여 수행할 수도 있다.

[0386] 특정 방법은 기관에 대한 코팅 재료의 마찰 가열 및 압축 로딩을 사용하여 기관 상에 코팅물을 적층하는 단계를 포함하며, 여기서 툴은 마찰 가열 및 압축 로딩 동안 코팅 재료를 지지하고 코팅 표면을 형성하고 전단하도록 작동 가능하게 구성된다.

[0387] 실시형태들에서, 툴 및 소모성 재료는 바람직하게는 기관에 대해 회전한다. 툴은 소모성 재료에 부착될 수 있으며 선택 사양적으로 코팅 재료 상에 툴을 다시 포지셔닝할 수 있는 방식으로 부착될 수 있다. 이러한 실시형태는 사용 중에 코팅 재료와 툴 간의 회전 속도에 차가 없도록 구성될 수 있다. 이와 달리, 소모성 재료 및 툴은 툴의 스로트를 통해 소모성 재료를 연속 또는 반연속 공급 또는 적층할 수 있도록 부착되지 않을 수도 있다. 이러한 설계에서는 사용 중에, 적층하는 동안 소모성 재료와 툴 간의 회전 속도 차이가 있을 수 있다. 유사하게, 실시형태는 소모성 재료가 툴과 독립적으로 또는 종속적으로 회전되도록 하게 한다.

[0388] 바람직하게는, 소모성 재료는 툴의 스로트를 통해 그리고 선택 사양적으로 소모성 재료를 스로트를 통해 당기거나 밀어서 전달된다. 실시형태에서, 소모성 재료는 외측 표면을 갖고 툴은 내측 표면을 가지며, 외측 표면 및 내측 표면은 열쇠-자물쇠 형태의 체결을 가능하게 하도록 서로 상보적이다. 선택 사양적으로, 툴의 스로트와 소모성 재료는 길이 방향으로 슬라이드 가능한 체결이 가능하다. 더욱이, 툴의 스로트는 내경을 가질 수 있고 소모성 재료는 내경과 동심인 원통형 로드일 수 있다. 또한, 툴은 내측 표면이 있는 스로트를 가질 수 있고 소모성 재료는 외측 표면을 가질 수 있으며, 상기 표면들은 맞물리거나 체결되어서 툴로부터 소모성 재료에 회전 속도를 제공할 수 있다. 바람직한 실시형태에서, 소모성 필러 또는 코팅 재료는 연속적으로 또는 반연속적으로 공급되고/되거나 툴의 스로트를 통해 및/또는 내로 전달된다. 기관의 새로운 표면을 형성하기 위한 임의의 적층된 소모성 재료의 전달은 바람직하게는 기관 상에 임의의 산화물 장벽 코팅을 분산시키는 방식으로 수행된다.

[0389] 본 발명의 또 다른 양태는 기관 내의 홀을 채우는 단계를 포함하는, 기관 상에 표면층을 형성하는 방법을 제공하는 것이다. 이 방법은 필러 재료 분말을 구멍(들)에 배치하고 마찰 가열 및 압축 부하를 구멍의 필러 재료 분말에 가하여 필러 재료를 압밀하는 단계를 포함한다.

[0390] 또 다른 실시형태에서, 본 기계는 본 명세서에 설명된 툴을 포함하는 것 외에도, 기관을 포함한다. 소모성 필러 재료 또는 기관(들)으로서 기능할 수 있는 재료는 금속 및 금속성 재료, 폴리머 및 폴리머성 재료, 세라믹 및 기타 강화 재료뿐만 아니라 이러한 재료의 조합을 포함할 수 있다. 실시형태들에서, 필러 재료는 기관 재료(들)의 재료와 유사하거나 상이한 재료 일 수 있다. 필러 재료 및 기관(들)은 중합체 재료 또는 금속 재료를 포함할 수 있으며, 제한없이 금속-금속 조합, 금속 매트릭스 복합재, 중합체, 중합체 매트릭스 복합재, 폴리머-폴리머 조합, 금속-폴리머 조합, 금속-세라믹 조합 및 폴리머-세라믹 조합을 포함한다.

[0391] 하나의 특정 실시형태에서, 기관(들) 및/또는 필러 재료는 금속 또는 금속성이다. 필러 재료 또는 기관(들)은 예를 들어 Al, Ni, Cr, Cu, Co, Au, Ag, Mg, Cd, Pb, Pt, Ti, Zn, Fe, Nb, Ta, Mo, W를 포함하는 임의의 금속, 또는 이들 금속 중 하나 이상을 포함하는 합금으로부터 독립적으로 선택될 수 있다. 실시형태에서, 기관(들) 및/또는 필러 재료는 중합체 재료이다. 필러 재료로서 유용한 중합체 재료의 비제한적인 예는 폴리올레핀, 폴리에스테르, 나일론, 비닐, 폴리비닐, 아크릴, 폴리아크릴, 폴리카보네이트, 폴리스티렌, 폴리우레탄 등을 포함한다.

[0392] 또 다른 실시형태에서, 필러 재료는 하나 이상의 금속 재료 및 하나 이상의 중합체 재료를 포함하는 복합 재료이다. 다른 실시형태에서, 계면에서 복합재를 생성하기 위해 다수의 재료 조합이 사용될 수 있다.

[0393] 필러 재료는 다음을 포함하지만 이에 제한되지 않는 여러 형태일 수 있다: 1) 단일 조성의 금속 분말 또는 로드; 2) 혼합 매트릭스 금속 및 강화 분말; 또는 3) 튜브 또는 기타 중공 실린더 유형 구조물을 생성하기 위해 천공되고 강화 분말, 또는 금속 매트릭스 복합재와 강화 재료의 혼합물로 채워진 매트릭스의 고체 로드. 후자의 경우, 매트릭스와 보강재의 혼합이 가공 공정 중에 더 발생할 수 있다. 실시형태에서, 필러 재료는 고체 금속 로드일 수 있다. 일 실시형태에서, 필러 재료는 알루미늄이다.

[0394] 실시형태에 따르면, 필러 재료 및/또는 기관(들)은 플라스틱, 호모 폴리머, 코 폴리머, 또는 폴리 에스테르, 나일론, 폴리 염화 비닐(PVC)과 같은 폴리비닐, 폴리 아크릴, 폴리에틸렌테레프탈레이트(PET 또는 PETE), 폴리락타이드, 폴리 카보네이트, 폴리스티렌, 폴리 우레탄 및/또는 고밀도 폴리에틸렌(HDPE), 저밀도 폴리에틸렌

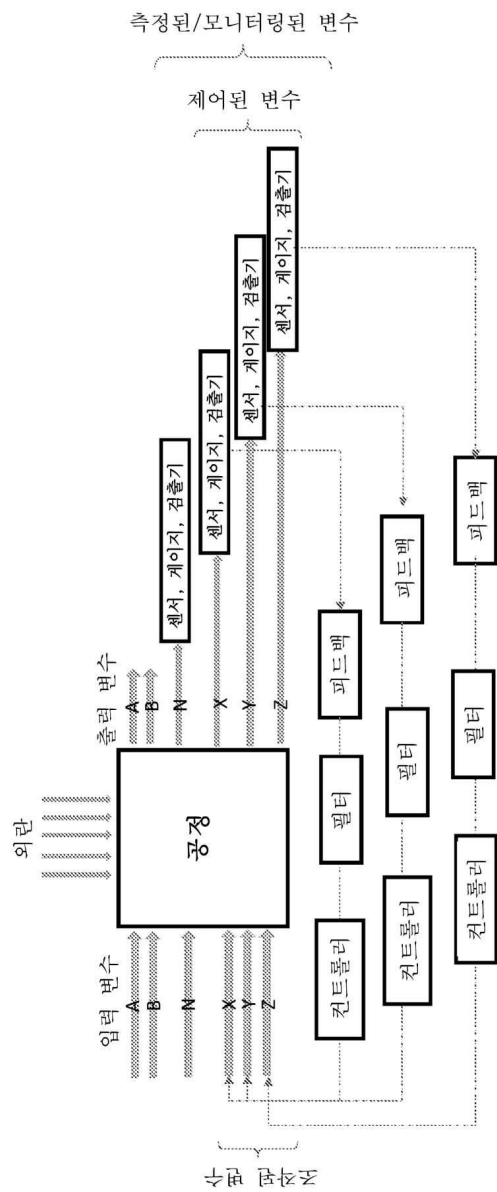
(LDPE), 폴리 프로필렌과 같은 폴리올레핀을 포함하는 중합체 재료들, 복합재, 혼합물, 강화 재료 또는 금속 매트릭스와 세라믹 상을 포함하는 금속 매트릭스 복합재로부터 독립적으로 선택되며, 금속 매트릭스는 금속, 금속 합금 또는 금속간 화합물 중 하나 이상을 포함하고, 세라믹 상은 세라믹을 포함하고, 상기 필러 재료 및/또는 기판(들)은 금속성 재료, 금속 매트릭스 복합재(MMC), 세라믹, SiC, TiB₂ 및/또는 Al₂O₃와 같은 세라믹 재료, 스틸, Al, Ni, Cr, Cu, Co, Au, Ag, Mg, Cd, Pb, Pt, Ti, Zn, Fe, Nb, Ta, Mo, W를 포함하는 금속, 또는 이들 금속 중 하나 이상을 포함하는 합금, 및 이들 재료의 임의의 조합으로부터 독립적으로 선택된다.

[0395] 본 발명은 다양한 특징을 갖는 특정 실시형태를 참조하여 설명되었다. 상기 제공된 개시 내용에 비추어 볼 때, 본 발명의 범위 또는 사상을 벗어나지 않고 본 발명의 실시에서 다양한 수정 및 변경이 이루어질 수 있음이 당업자에게 명백할 것이다. 당업자는 개시된 특징이 임의의 조합으로 단독으로 사용될 수 있거나 소정의 응용 또는 설계의 요구 사항 및 사양에 기초하여 생략될 수 있음을 인식할 것이다. 실시형태가 특정 특징을 "포함하는"을 지칭할 때, 실시형태는 임의의 하나 이상의 특징으로 대안적으로 "구성" 또는 "본질적으로 구성"될 수 있음을 이해해야 한다. 본 발명의 다른 실시형태는 본 발명의 명세서 및 실시를 고려하여 당업자에게 명백할 것이다.

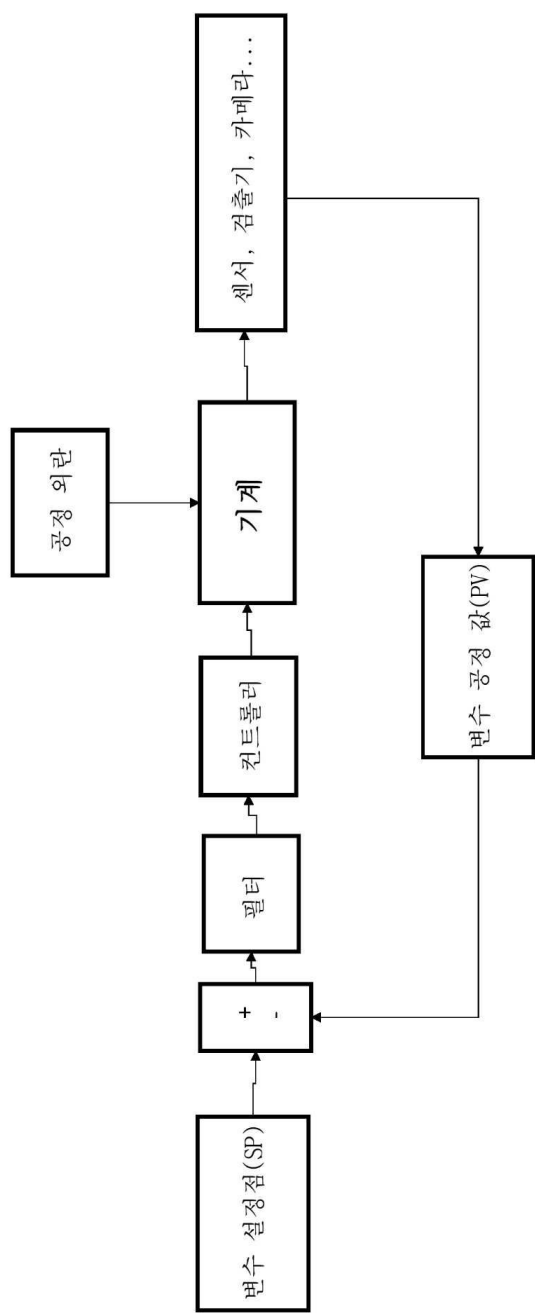
[0396] 특히, 본 명세서에서 값의 범위가 제공되는 경우, 그 범위의 상한과 하한 간의 각 값이 또한 구체적으로 개시된다는 점에 유의한다. 이러한 더 작은 범위의 상한 및 하한도 범위에 독립적으로 포함되거나 제외될 수 있다. 명사의 단수 형태는 문맥에서 달리 명시하지 않는 한 복수 형태를 포함한다. 명세서 및 실시형태는 본질적으로 예시적인 것으로 간주되고 본 발명의 본질에서 벗어나지 않는 변형이 본 발명의 범위 내에 포함되도록 의도된다. 또한, 본 개시에 인용된 모든 참고 문헌은 각각 전체가 본원에서 참고로 개별적으로 포함되고, 본 발명을 가능하게 하는 개시 내용을 보충하는 효율적인 방법을 제공할 뿐만 아니라 당업자의 수준을 상세히 설명하는 배경을 제공하기 위한 것이다.

도면

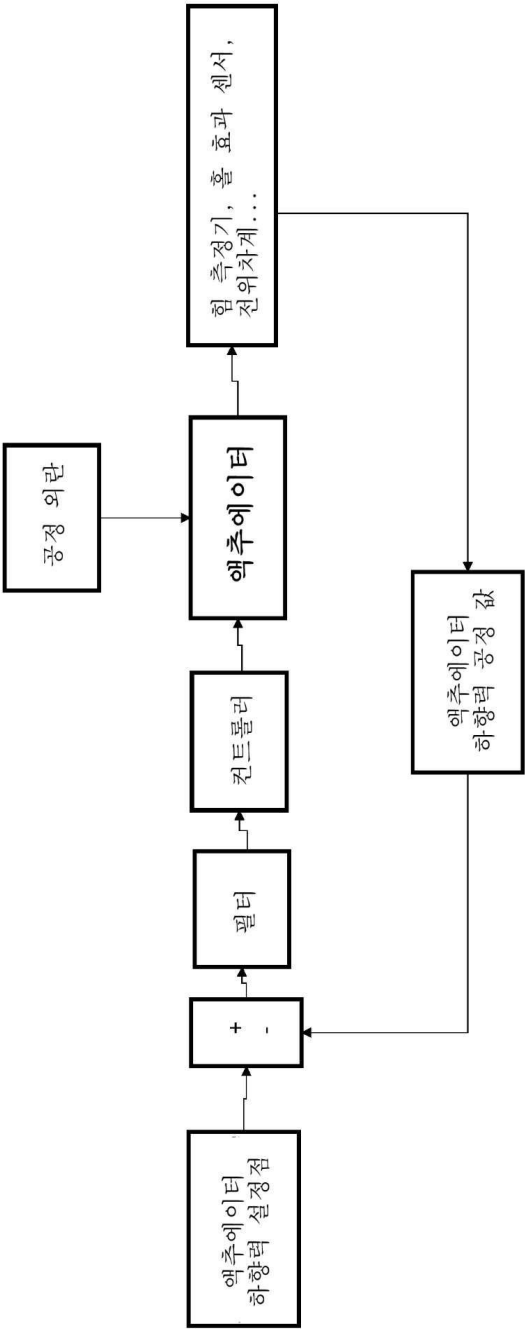
도면1



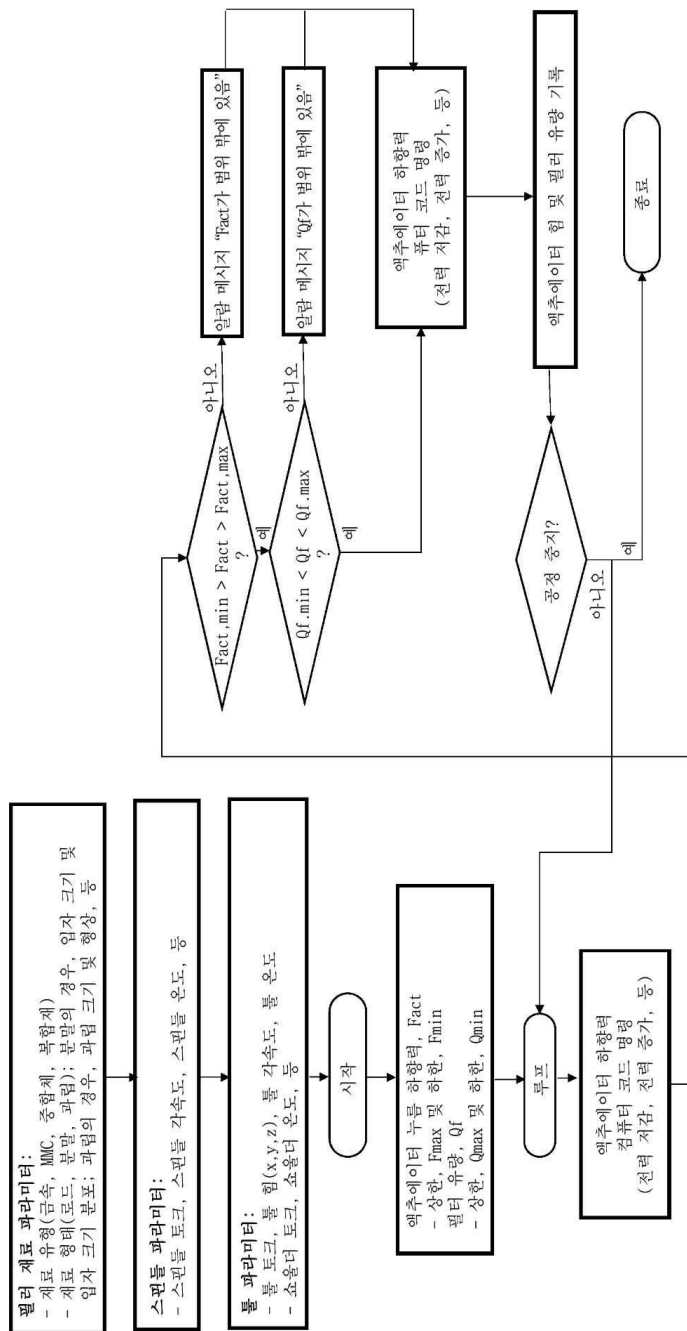
도면2



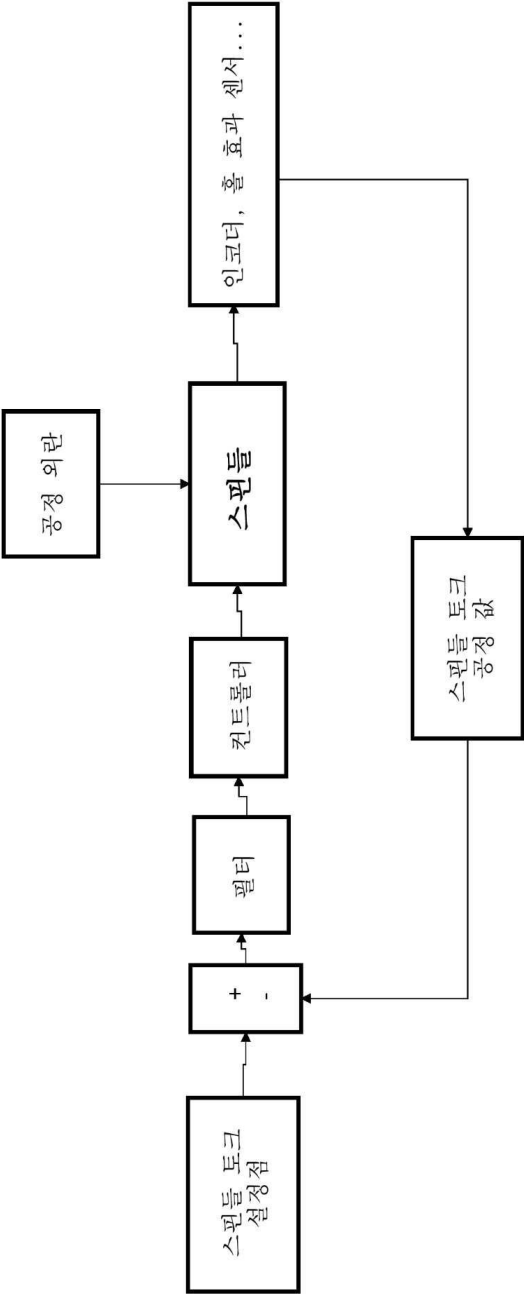
도면3a



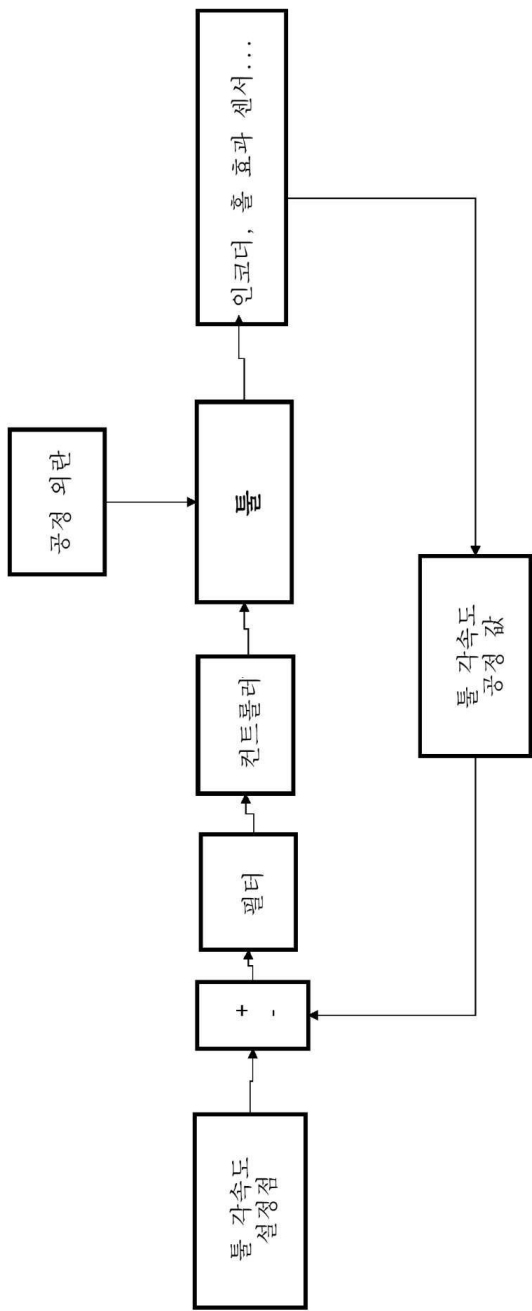
도면3b



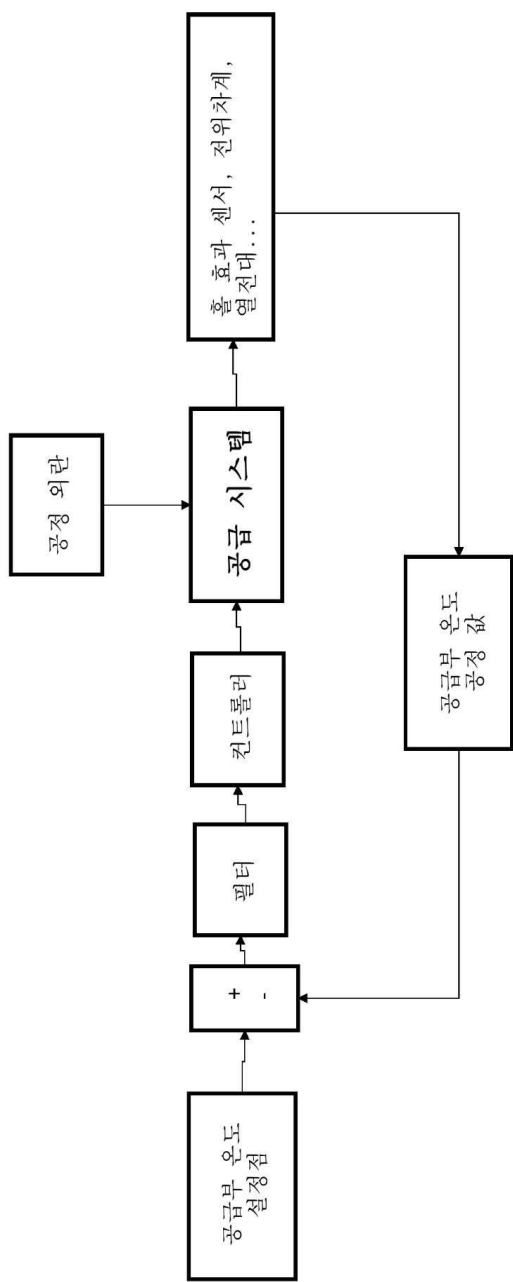
도면4



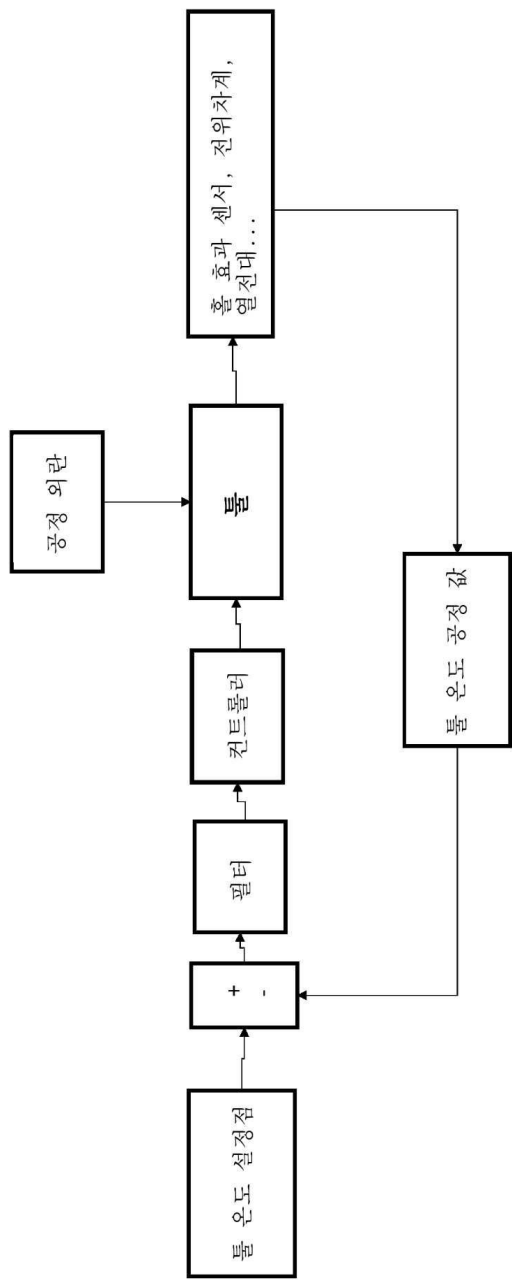
도면5



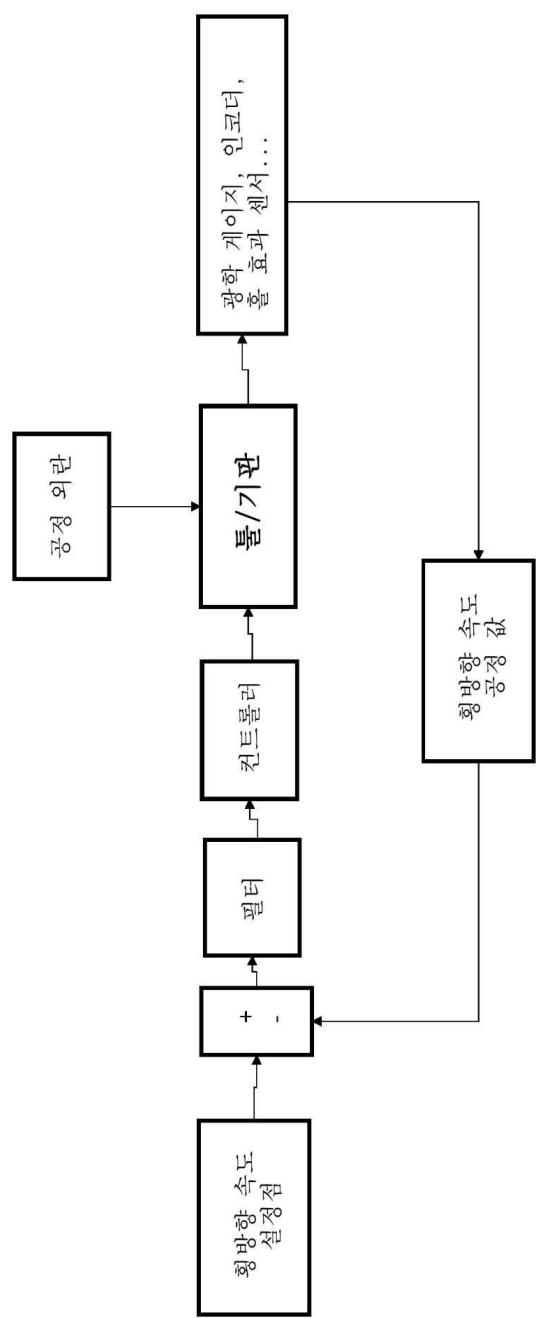
도면6



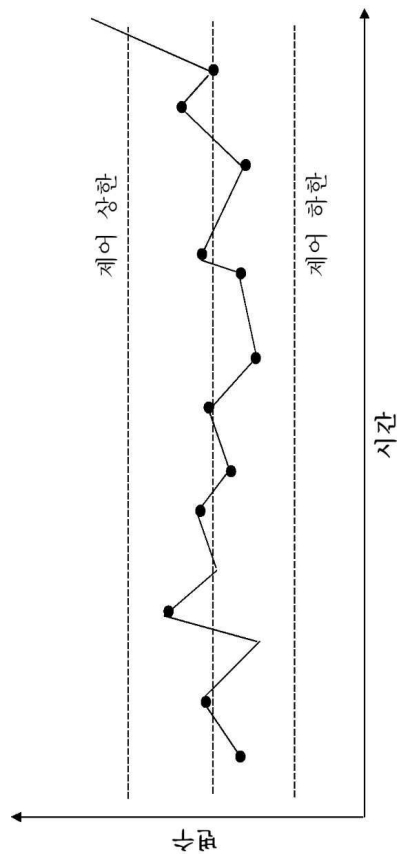
도면7



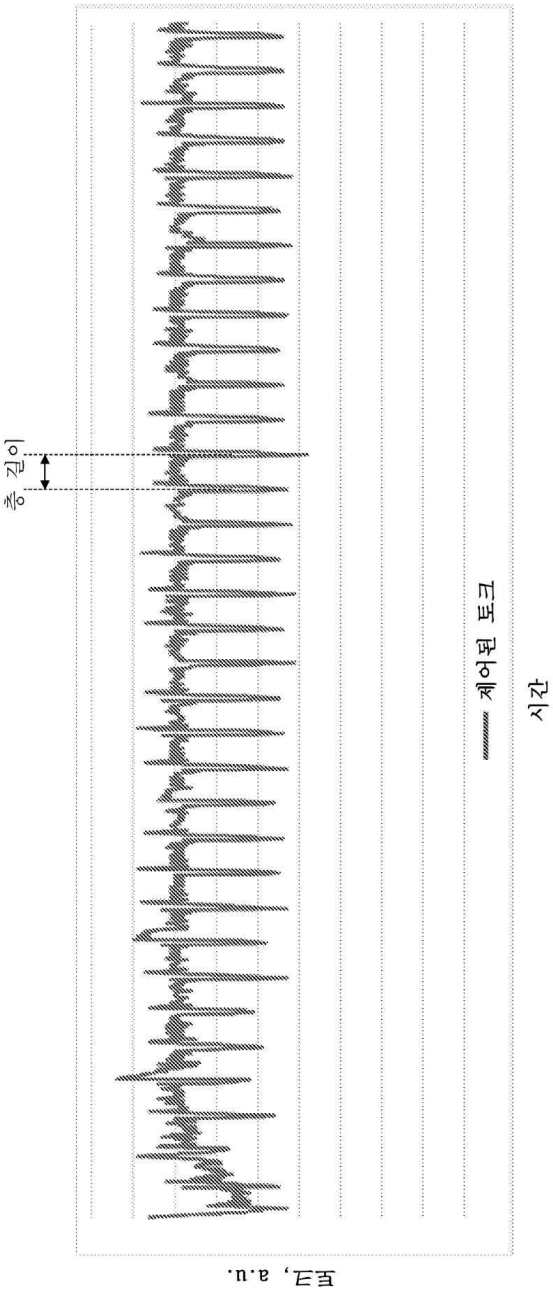
도면8



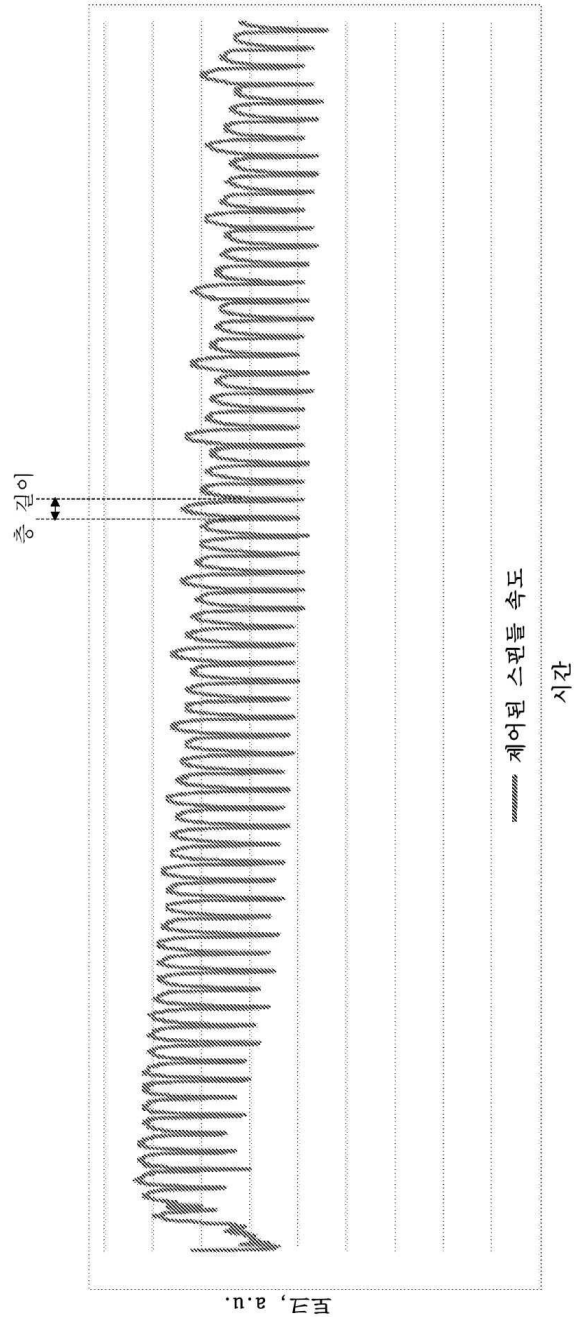
도면9a



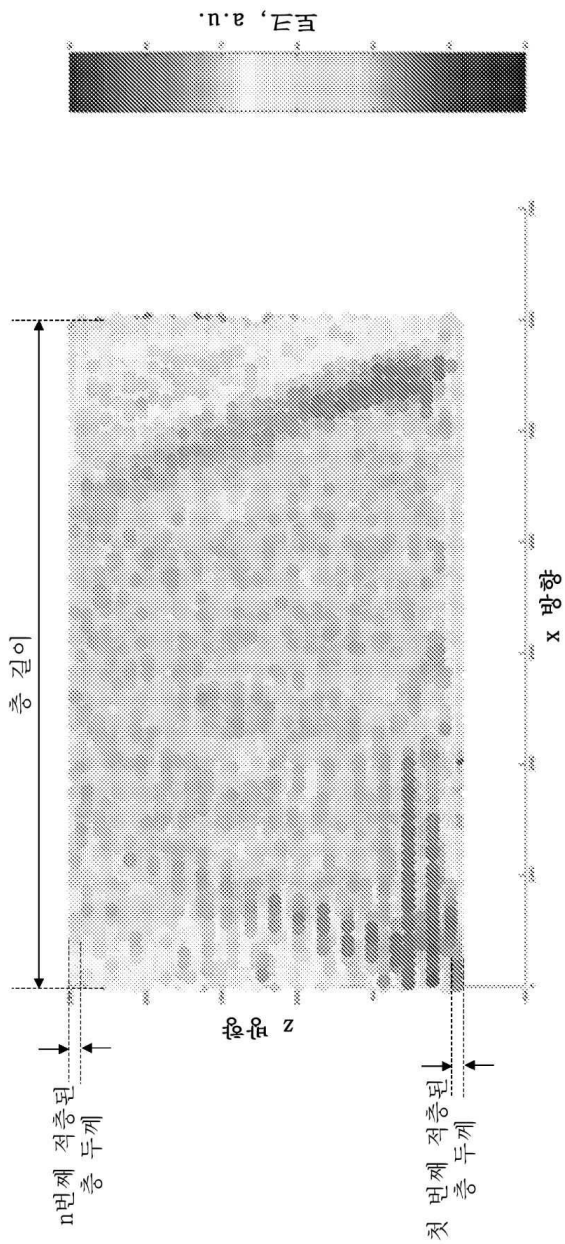
도면9b



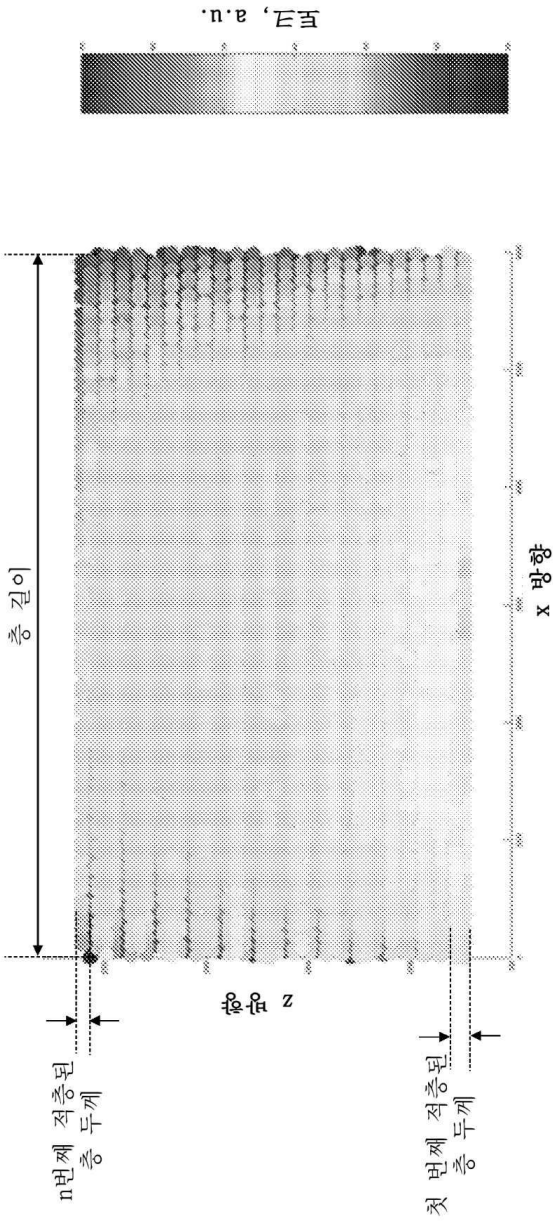
도면9c



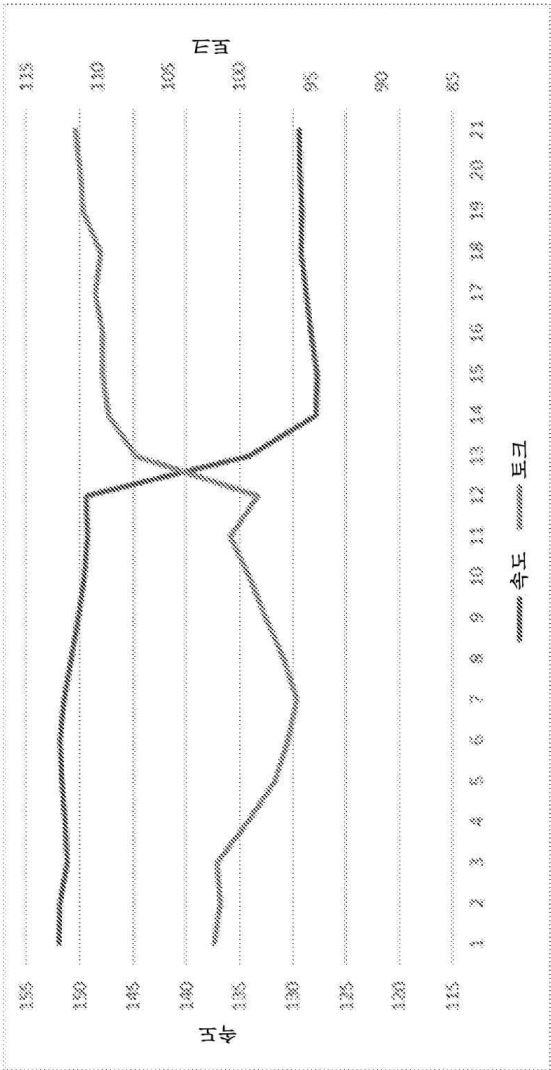
p6면도



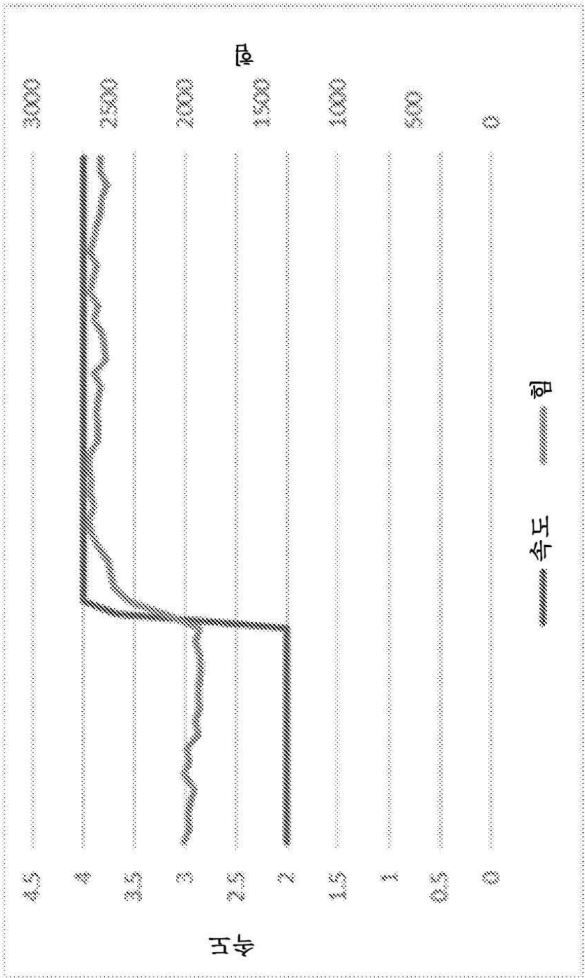
도면9e



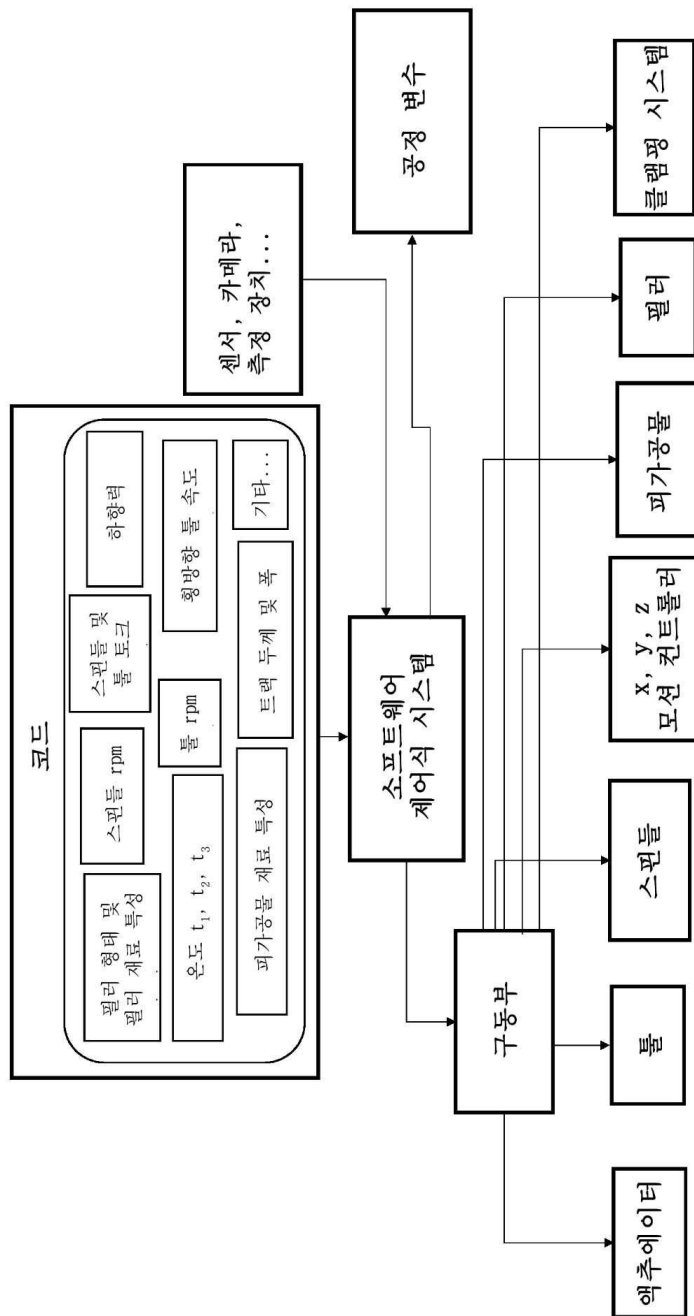
도면9f



도면9g

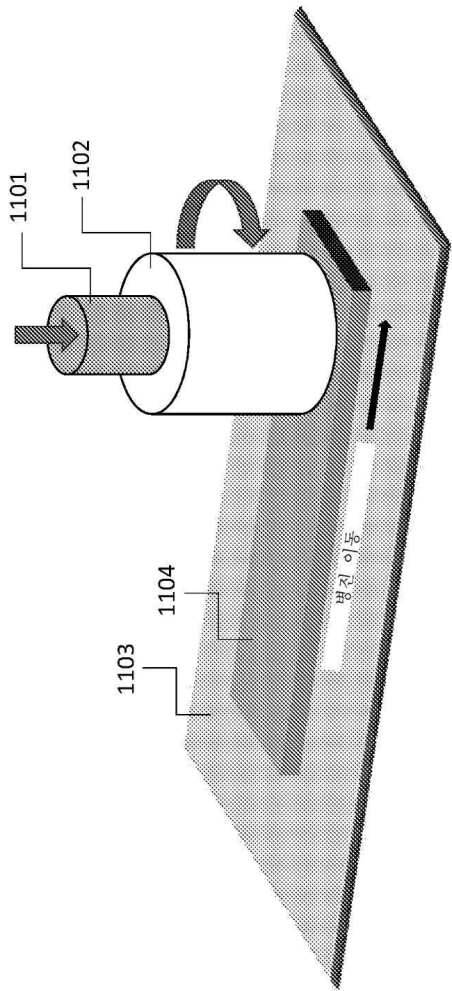


도면10

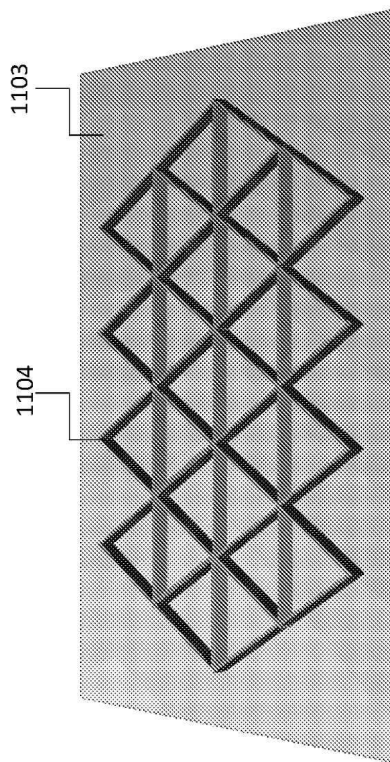


도면11a

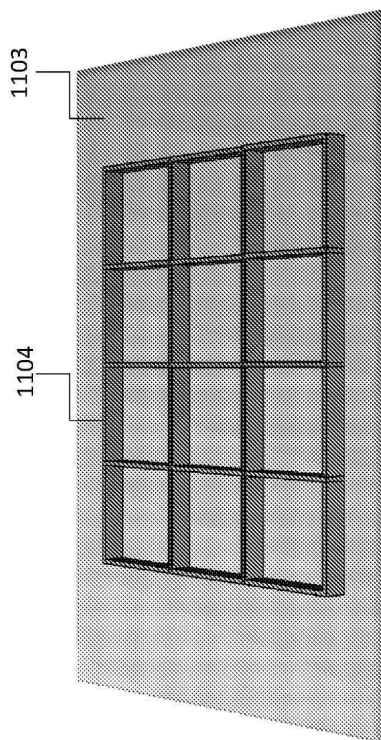
1101 - 적층/롤러 재료
1102 - 회전 중공 롤
1103 - 기반 또는 배판
1104 - 적층물



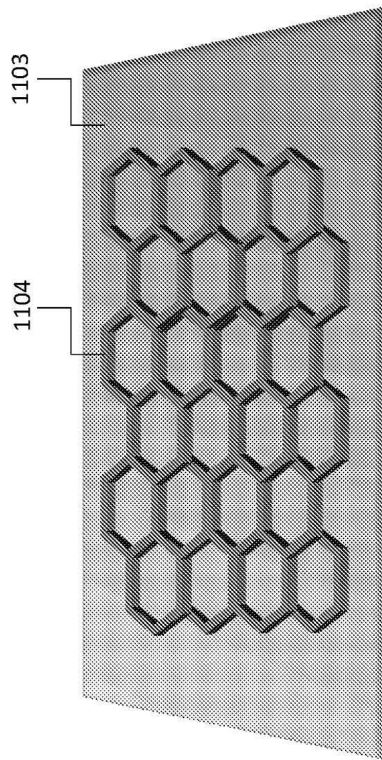
도면11b



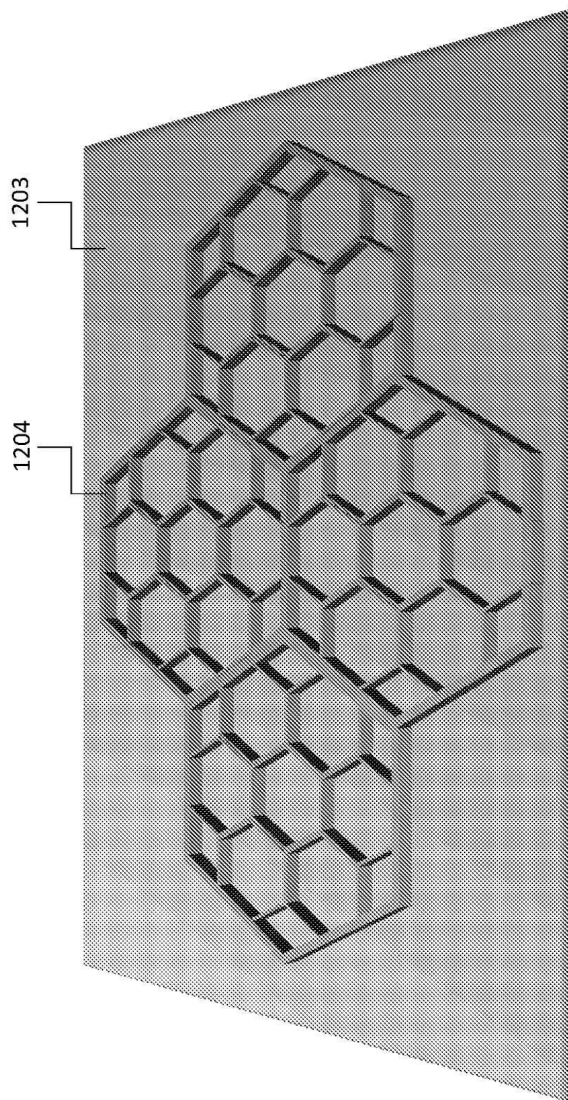
도면11c



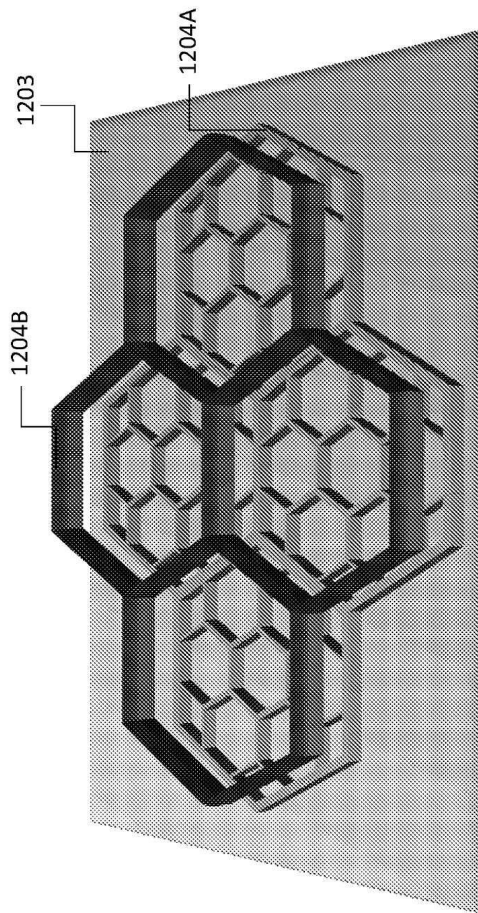
도면11d



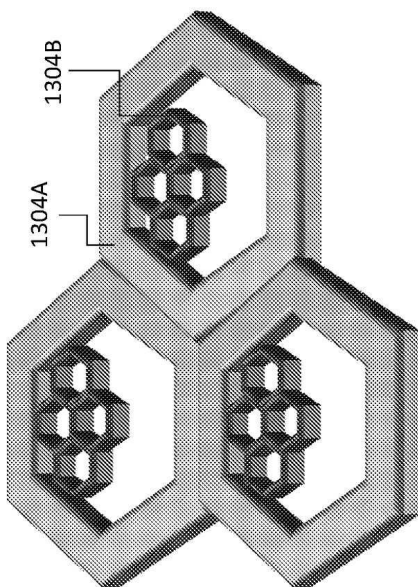
도면12a



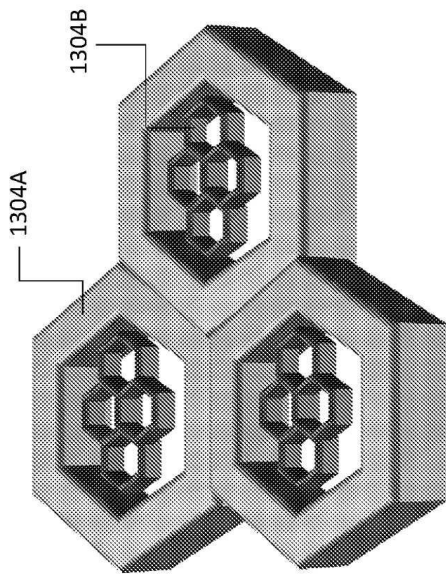
도면12b



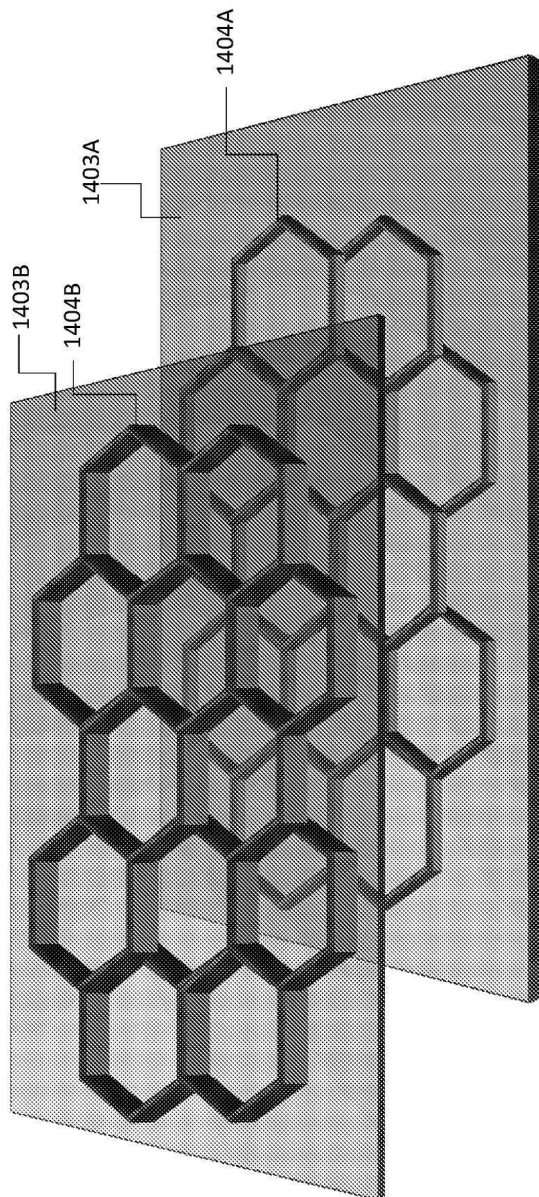
도면13a



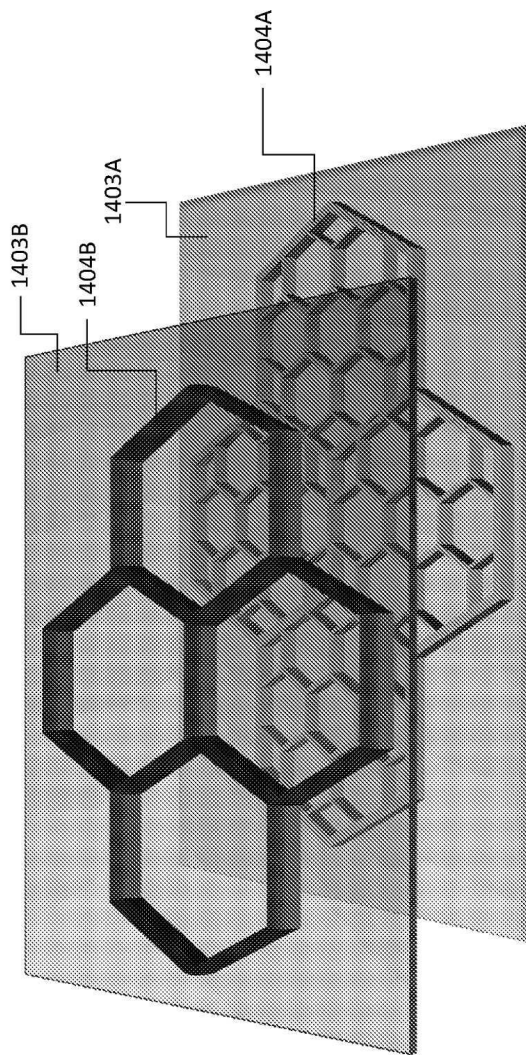
도면13b



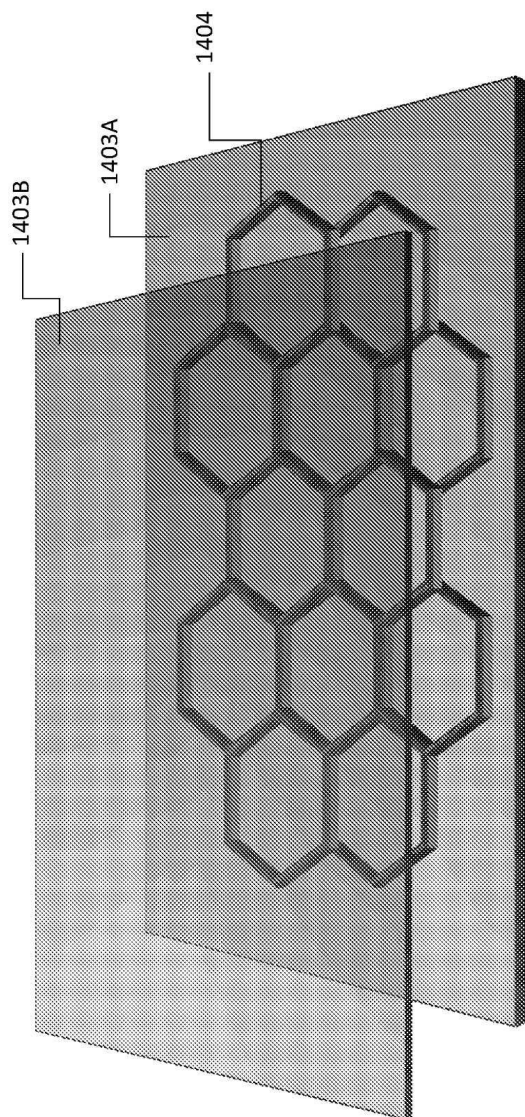
도면14a



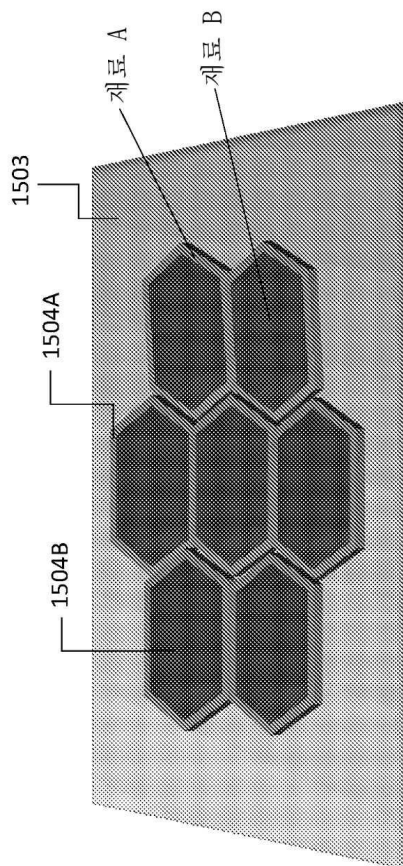
도면14b



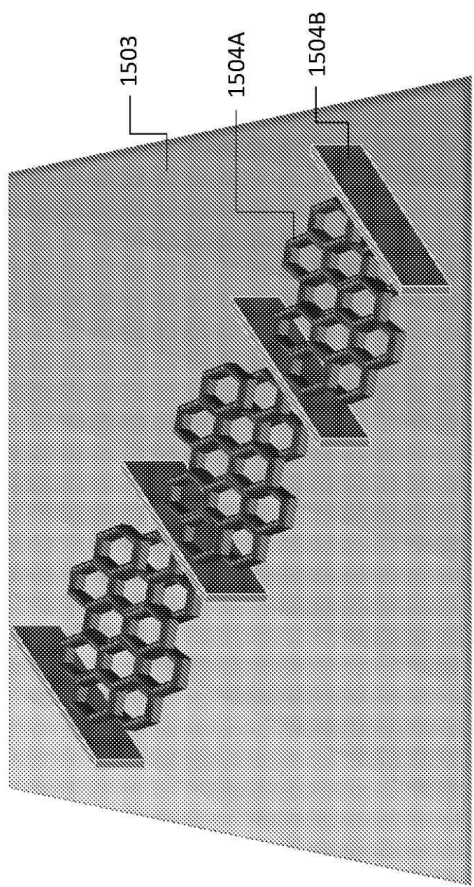
도면14c



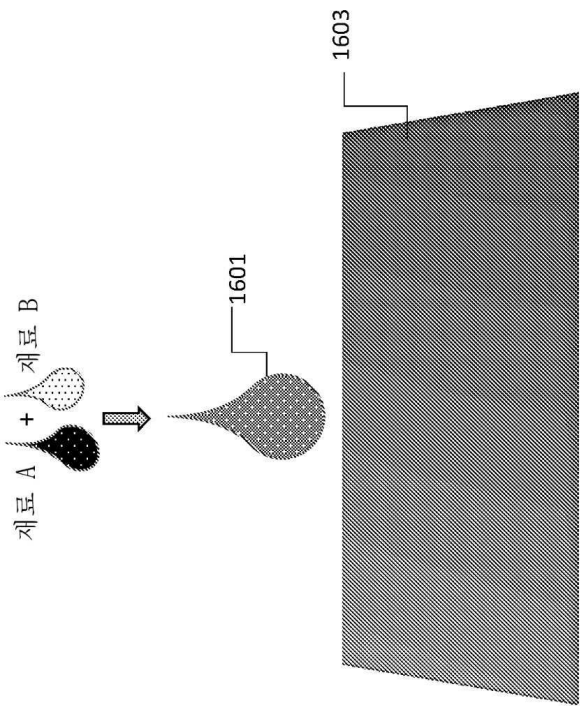
도면15a



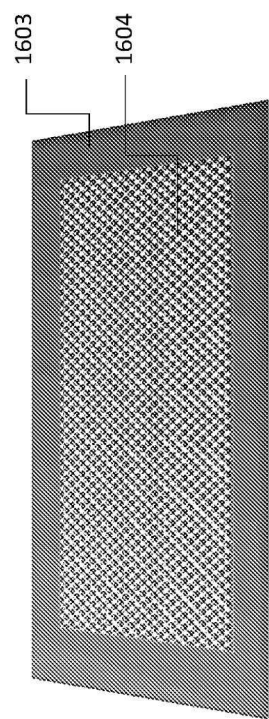
도면15b



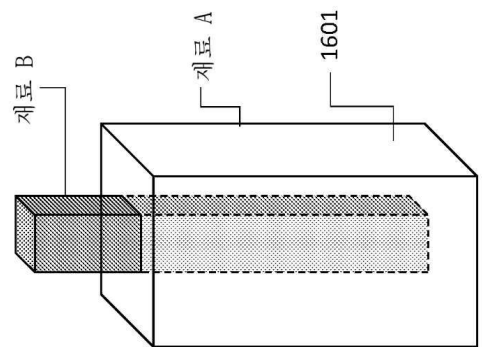
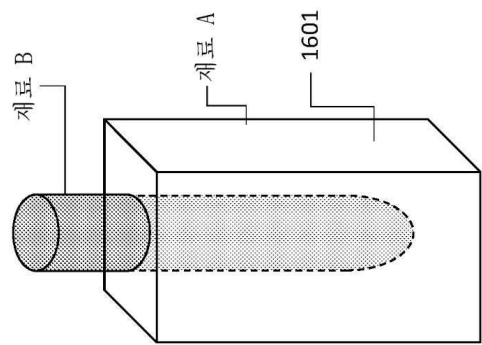
도면16a



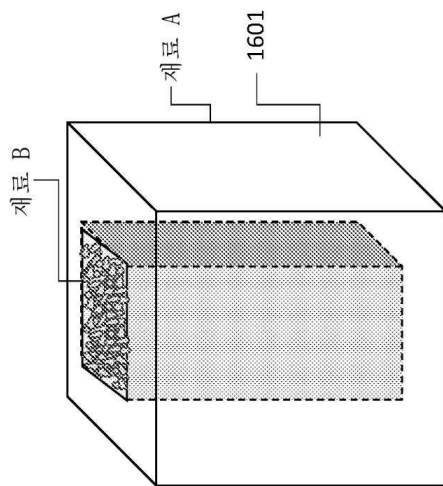
도면16b



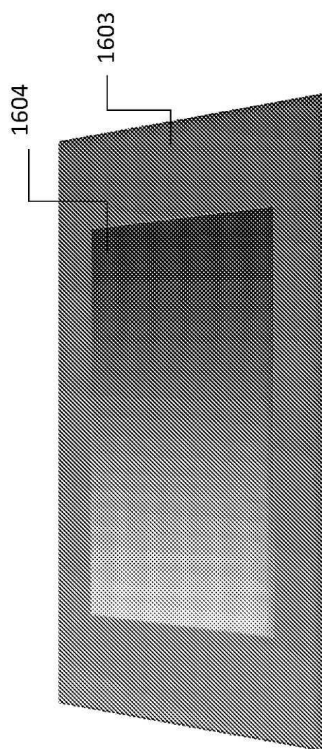
도면16c



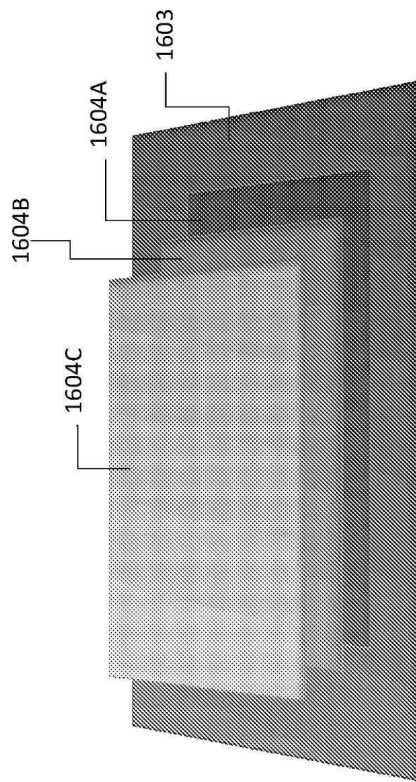
도면16d



도면16e

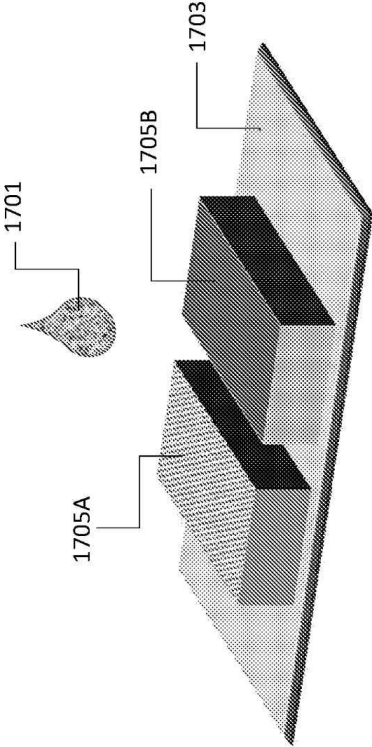


도면16f

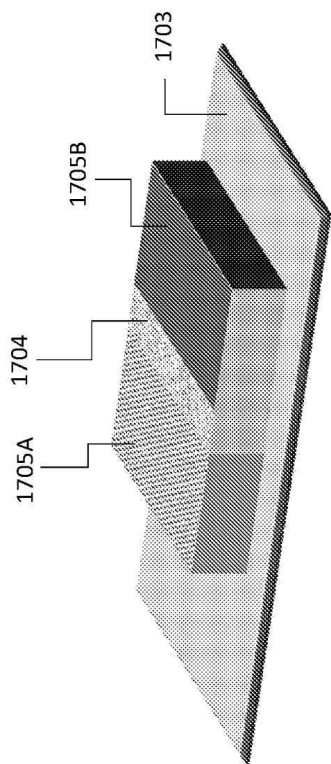


도면17a

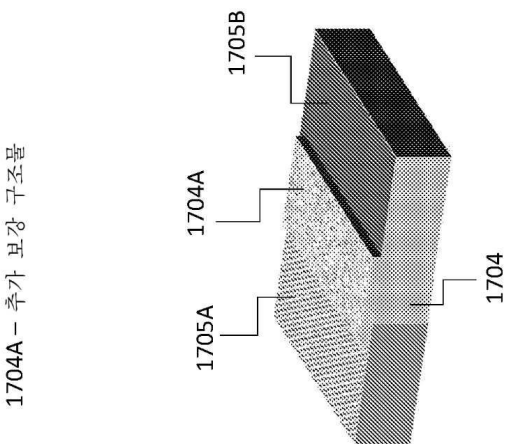
1705A, 1705B - 결합시킬 부분들



도면17b



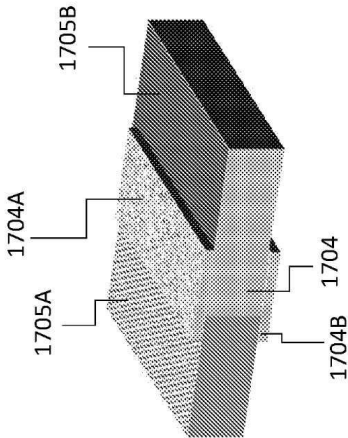
도면17c



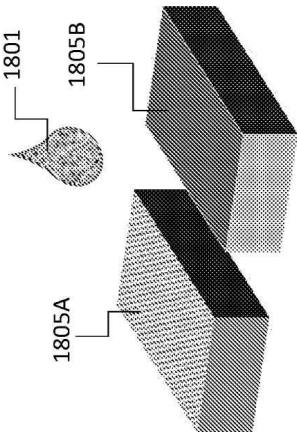
1704A - 추가 보강 구조물

도면17d

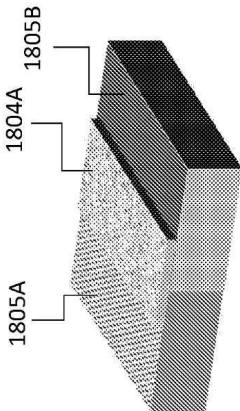
1704A - 추가 보강 구조물



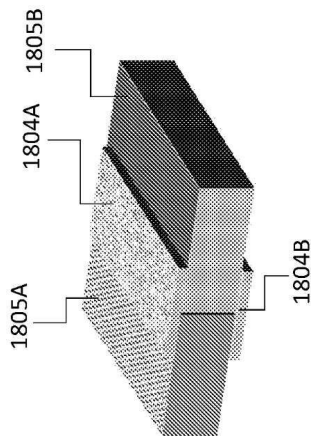
도면18a



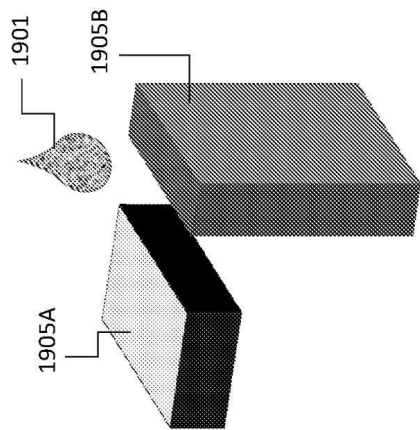
도면18b



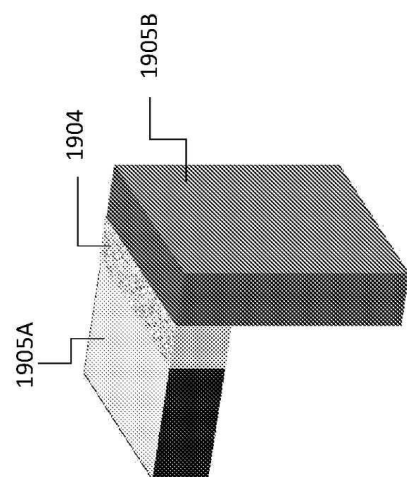
도면18c



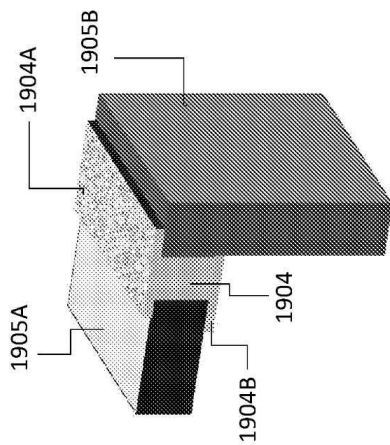
도면19a



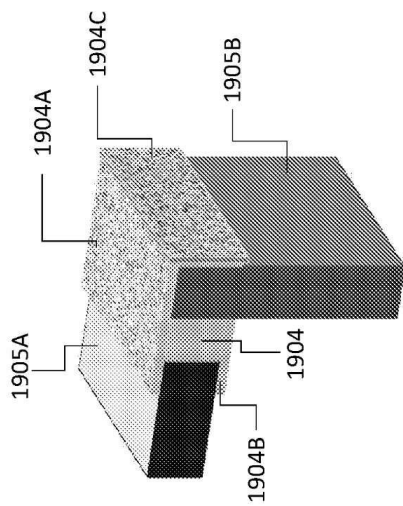
도면19b



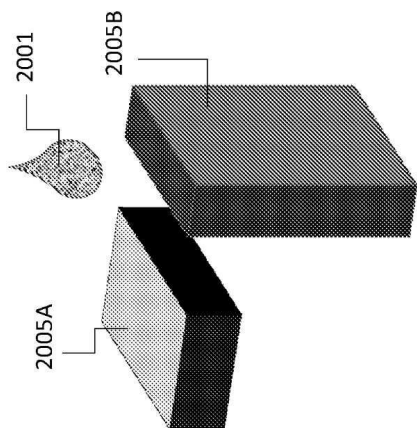
도면19c



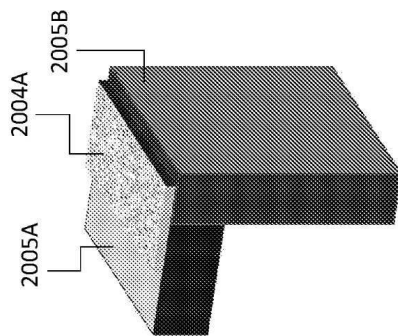
도면19d



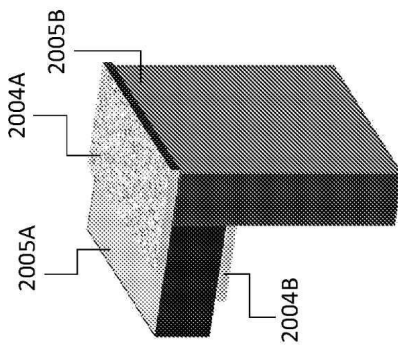
도면20a



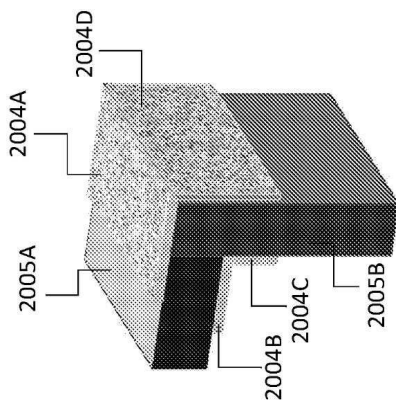
도면20b



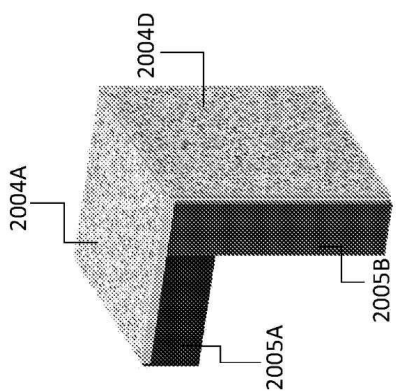
도면20c



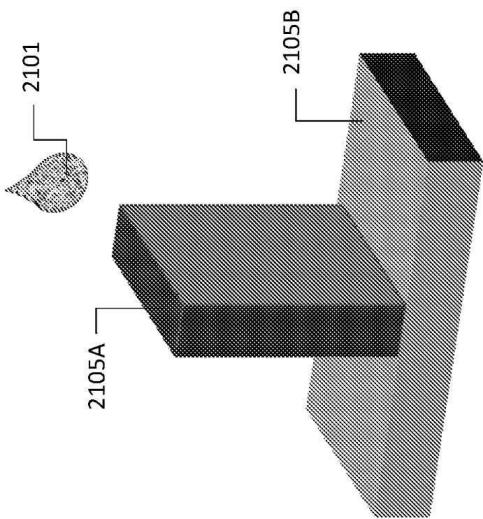
도면20d



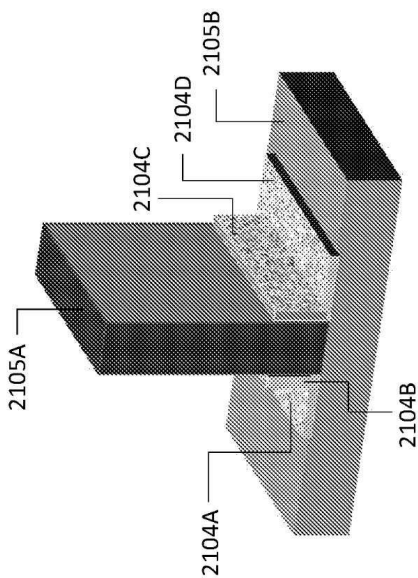
도면20e



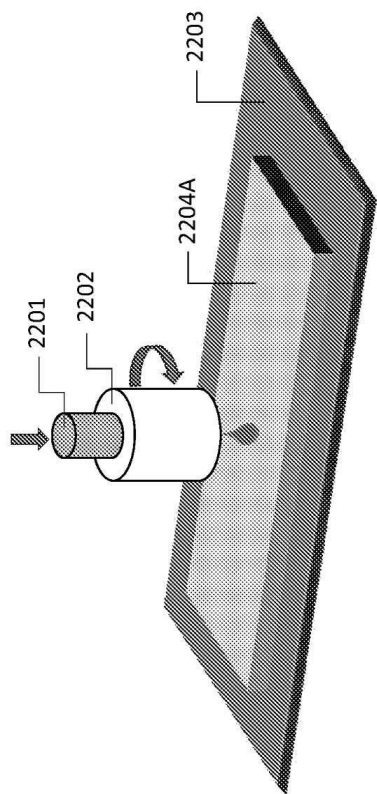
도면21a



도면21b

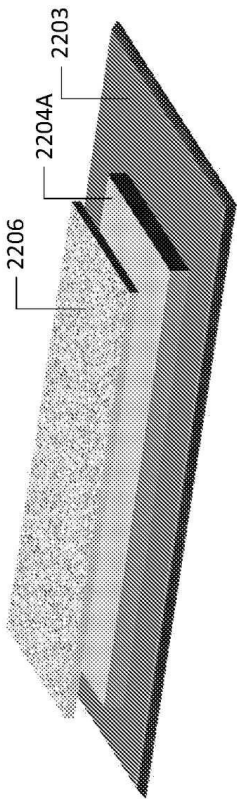


도면22a

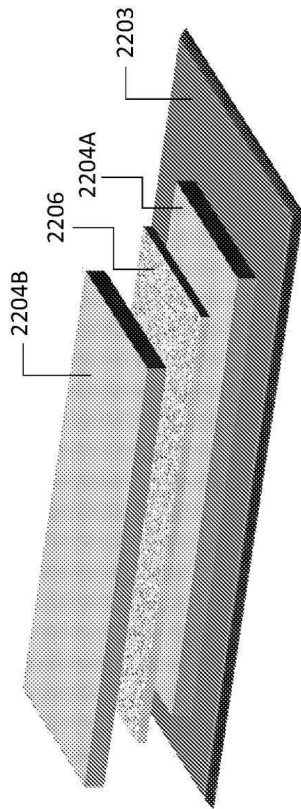


도면22b

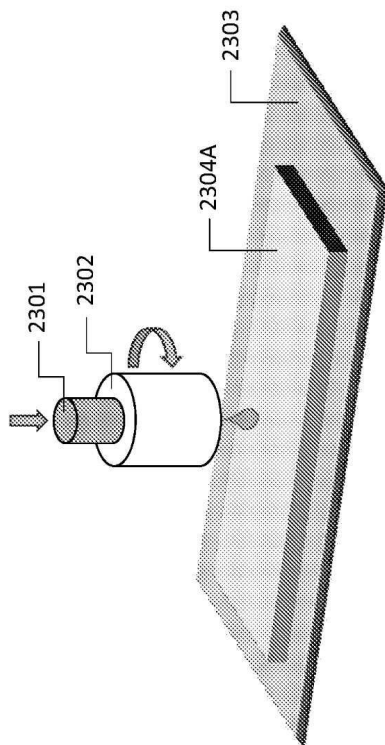
2206-프리프레그



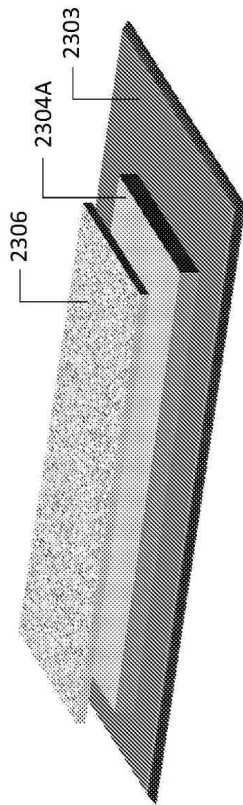
도면22c



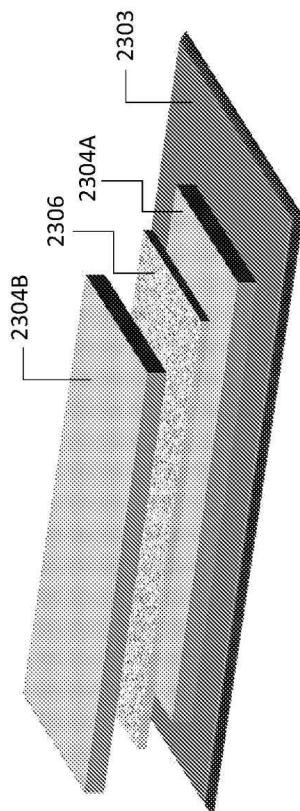
도면23a



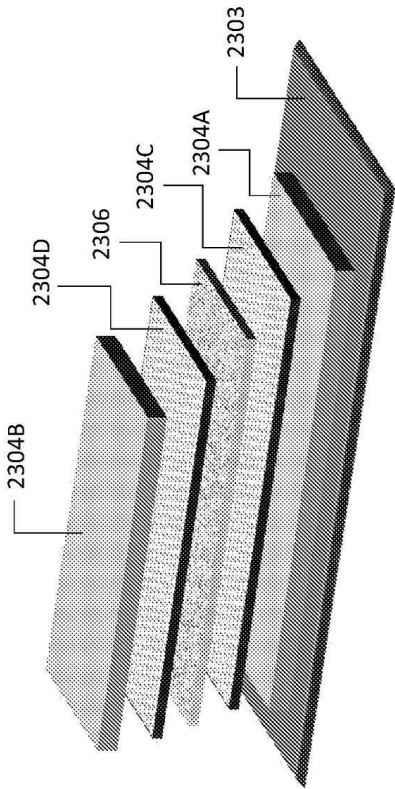
도면23b



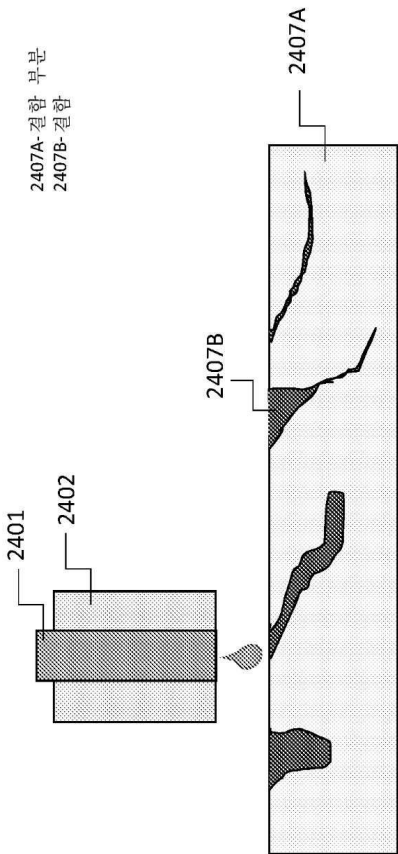
도면23c



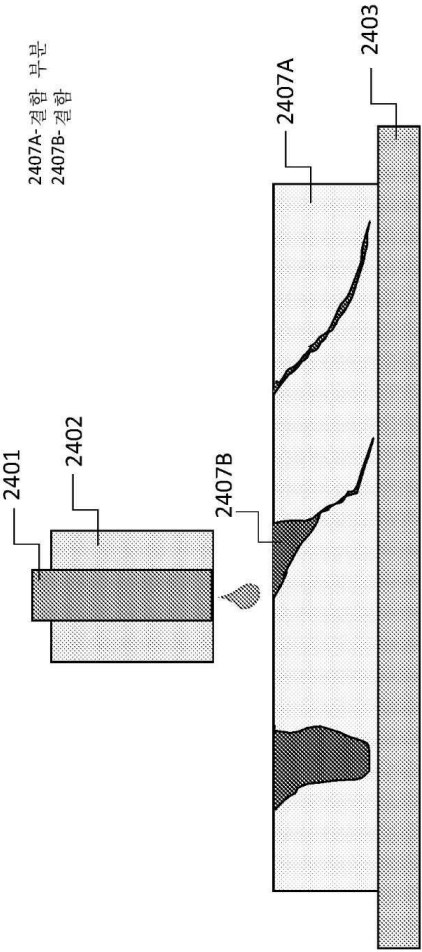
도면23d



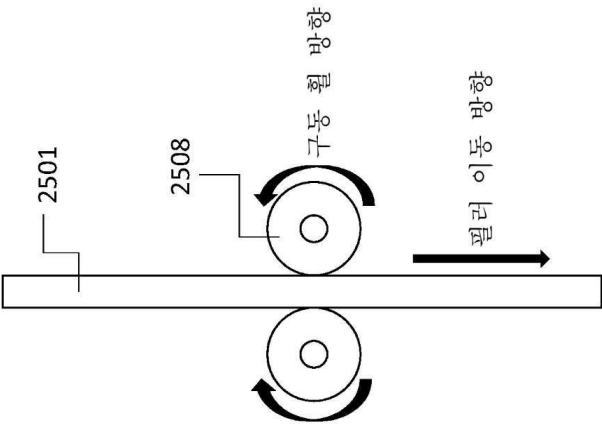
도면24a



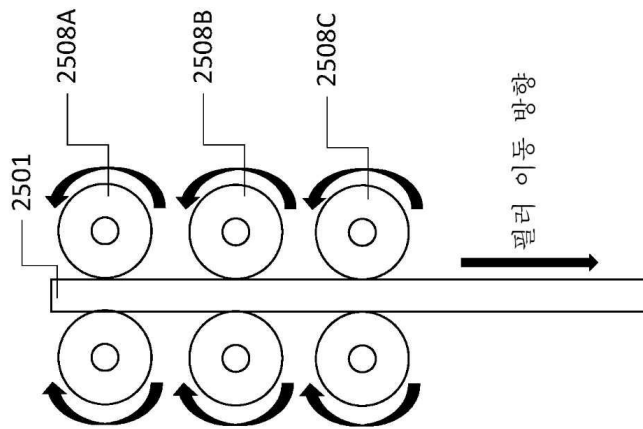
도면24b



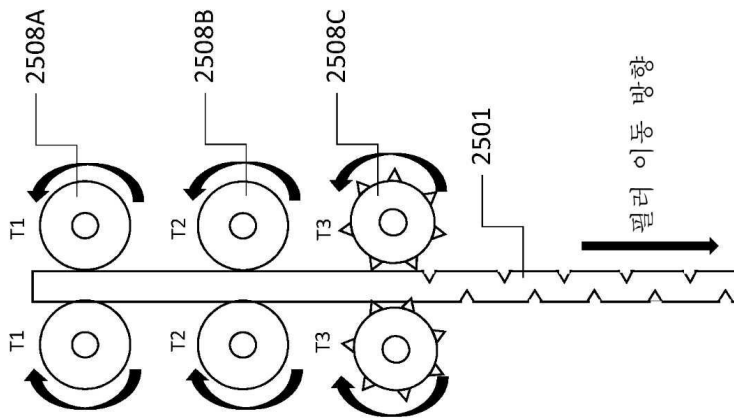
도면25a



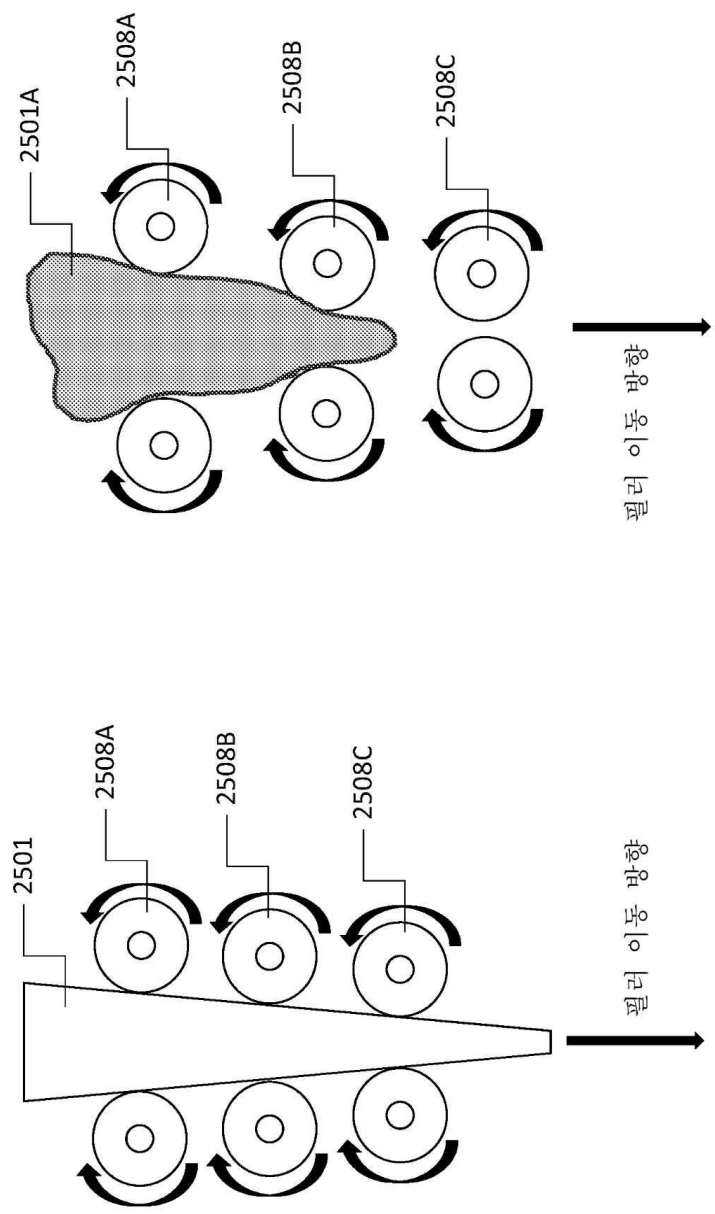
도면25b



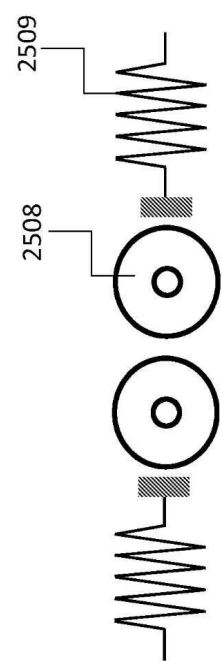
도면25c



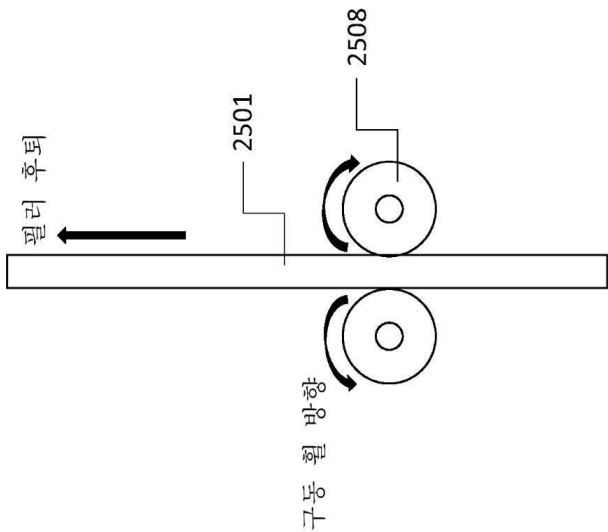
도면25d



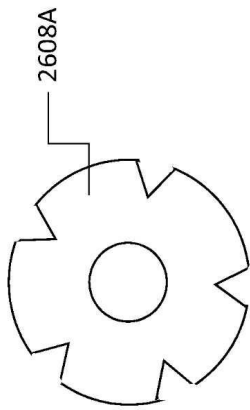
도면25e



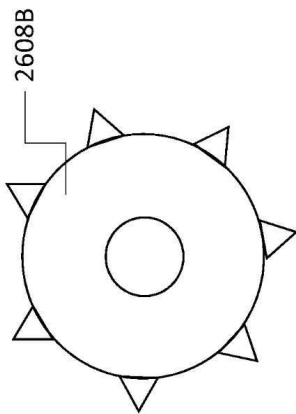
도면25f



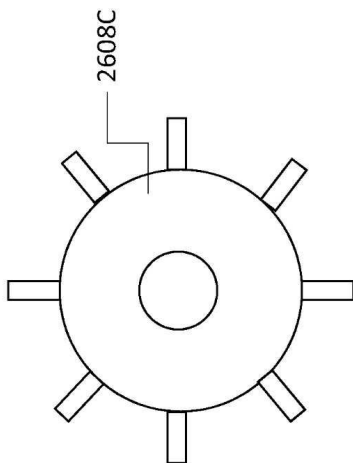
도면26a



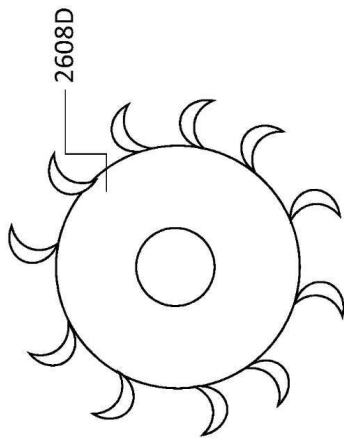
도면26b



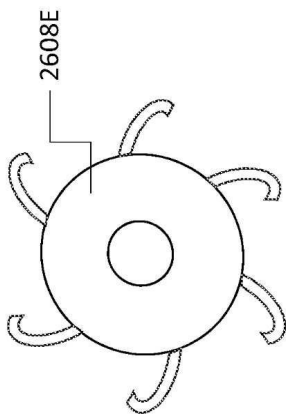
도면26c



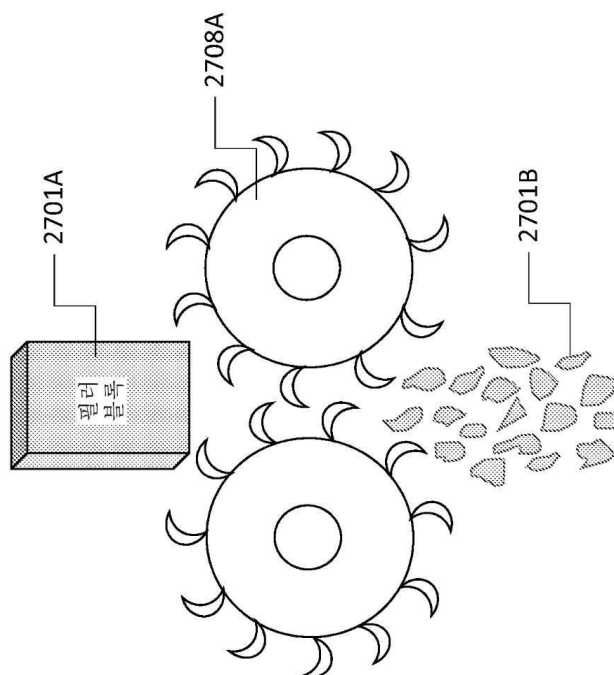
도면26d



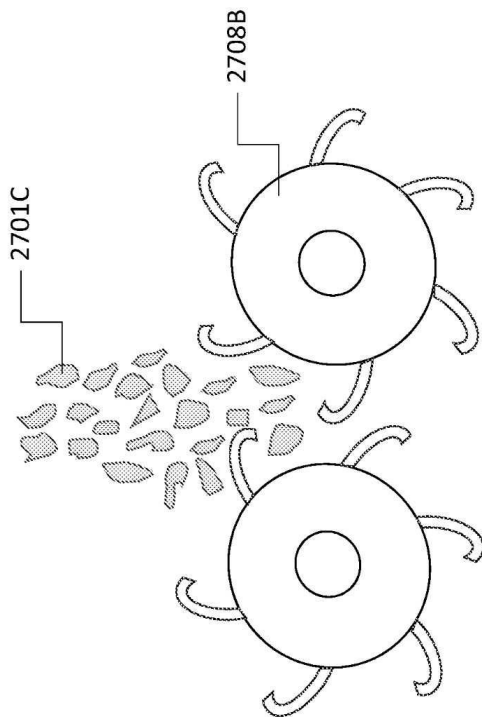
도면26e



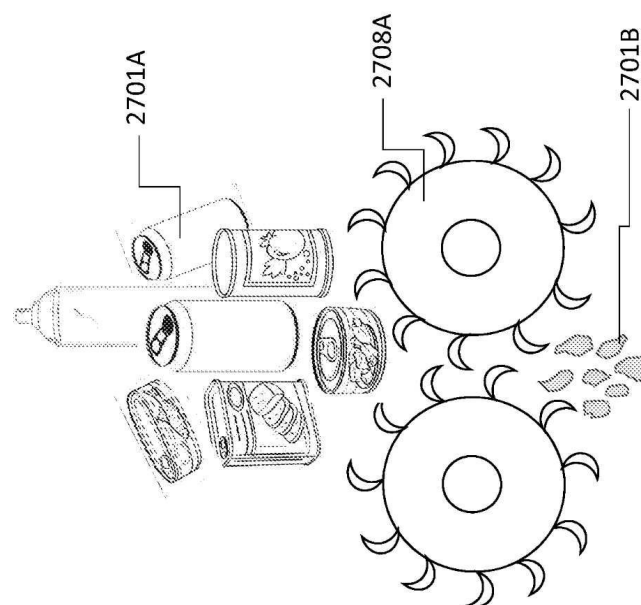
도면27a



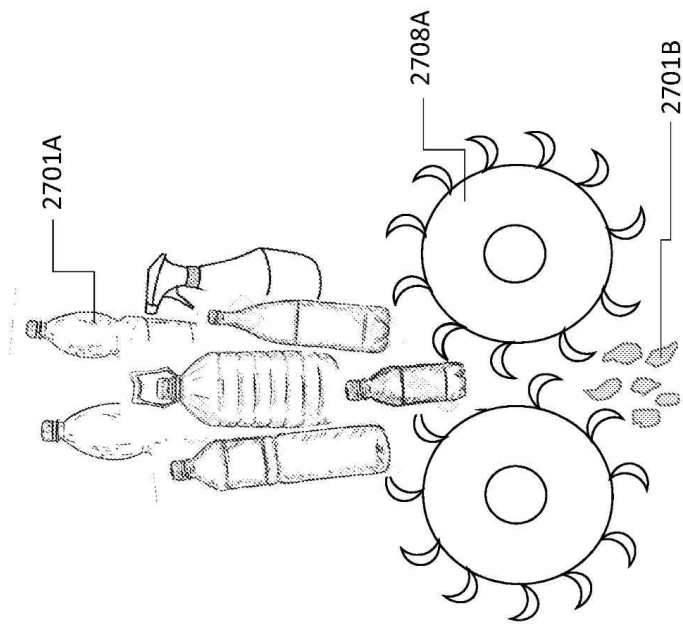
도면27b



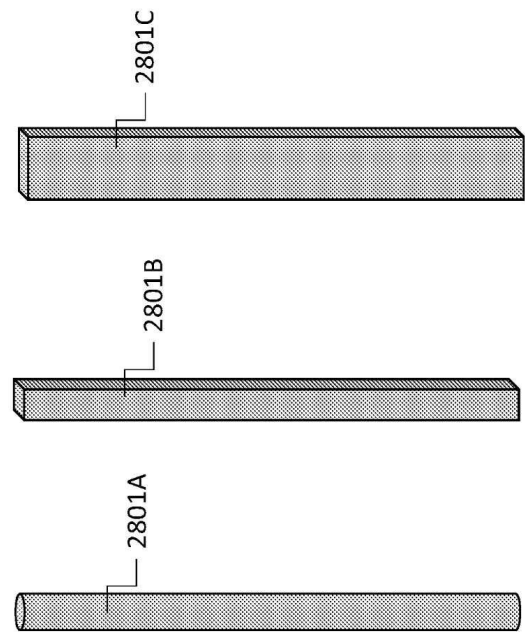
도면27c



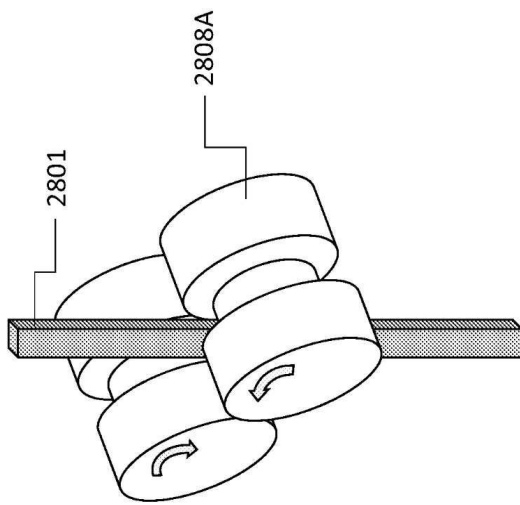
도면27d



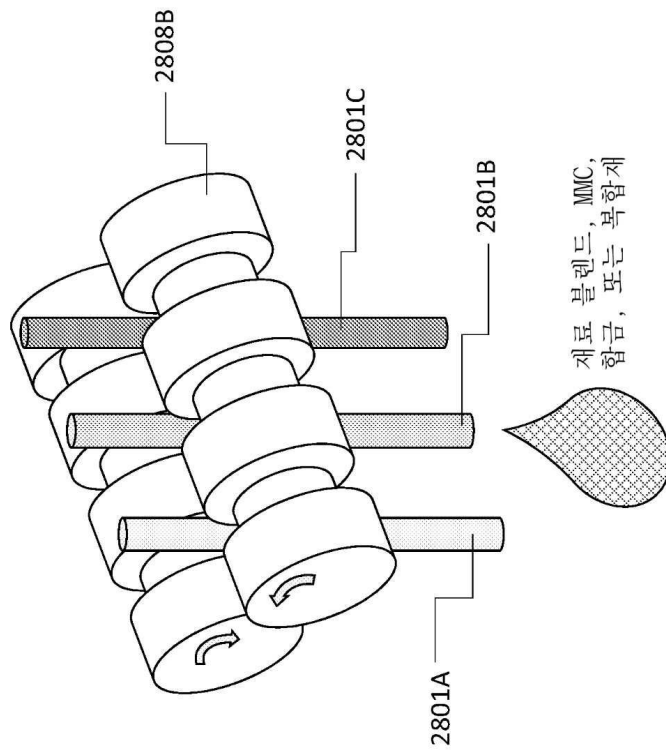
도면28a



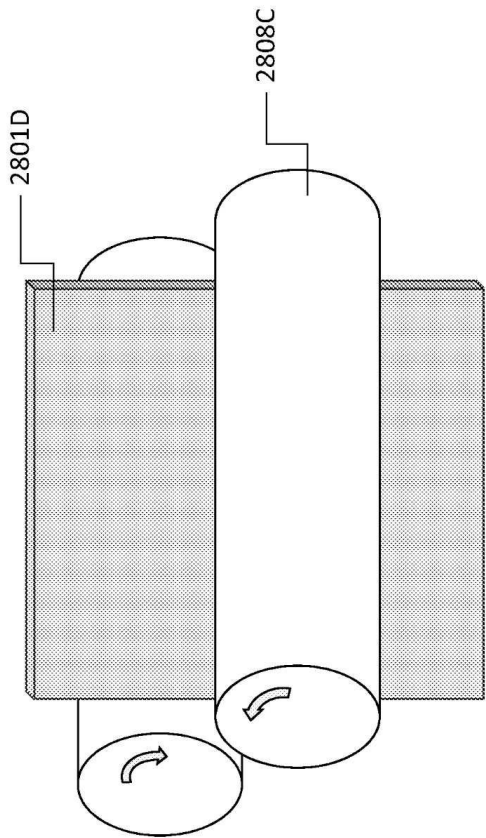
도면28b



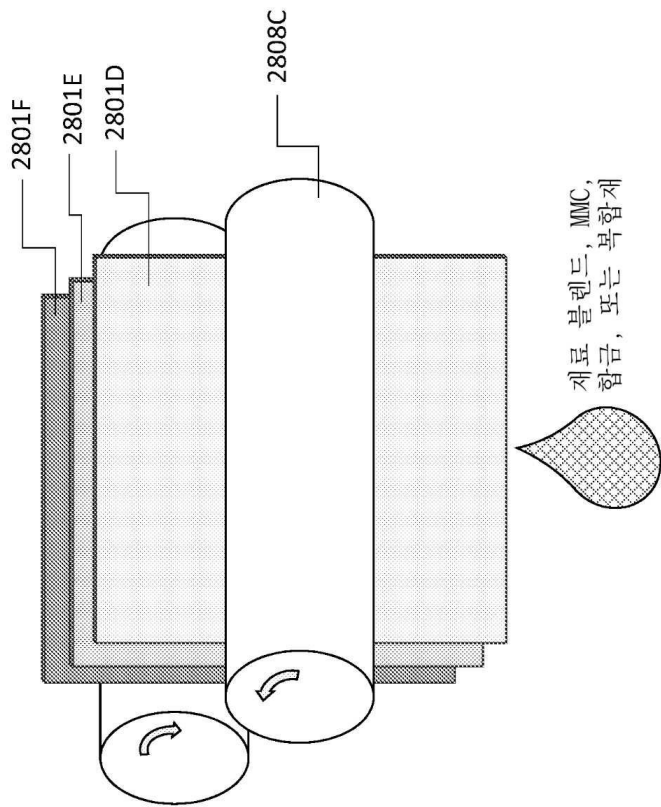
도면28c



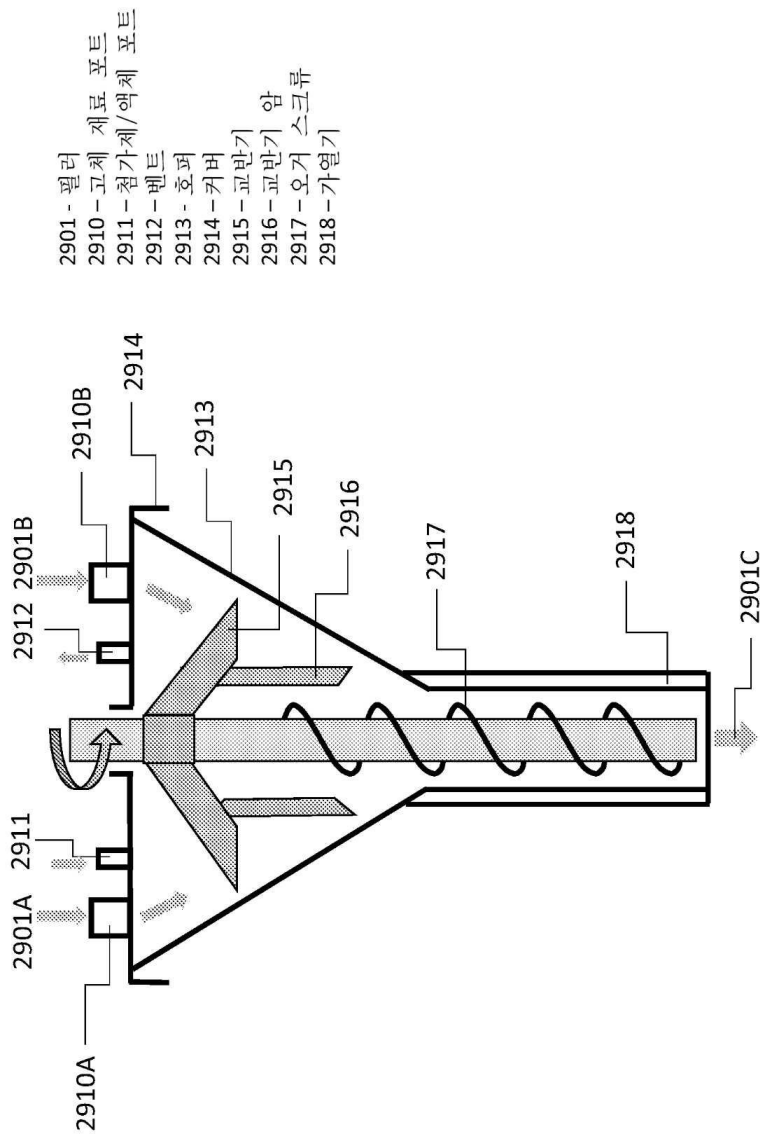
도면28d



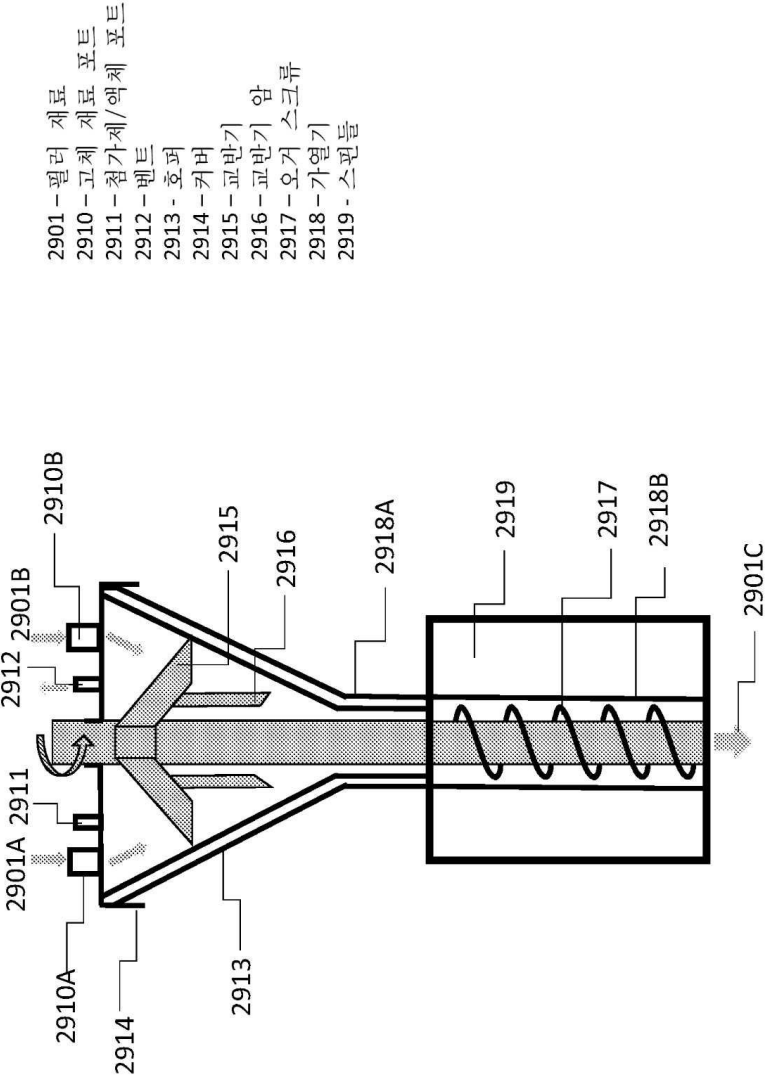
도면28e



도면 29a

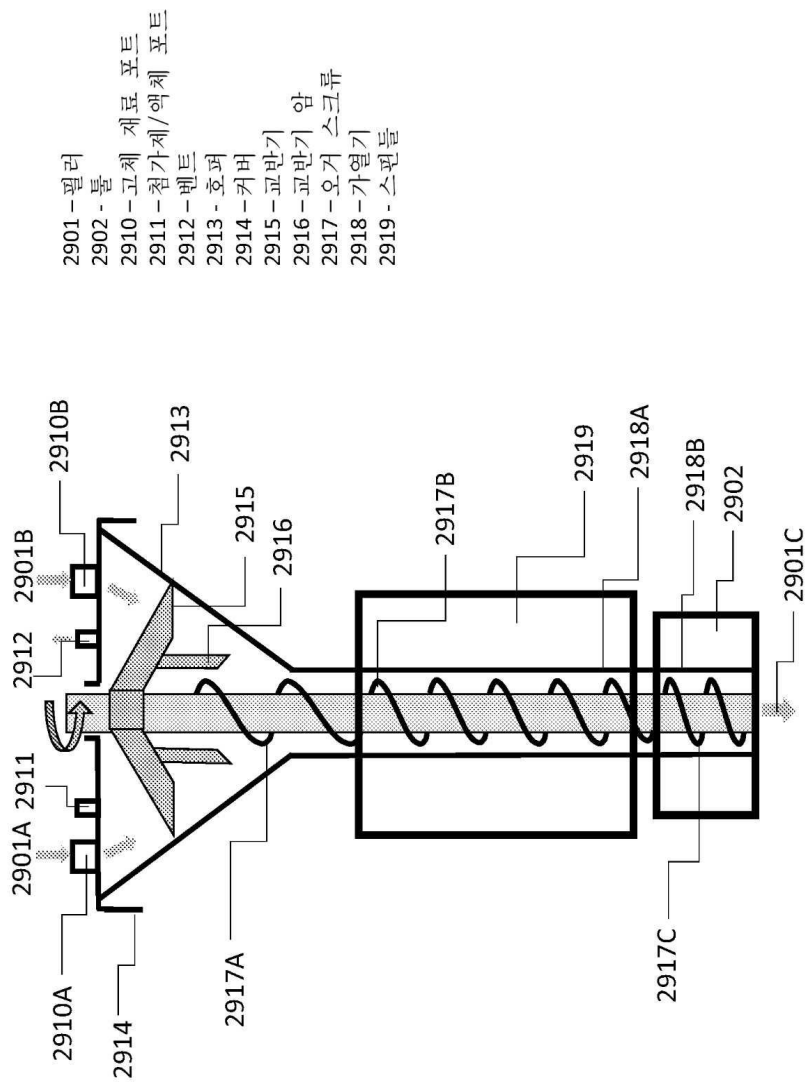


도면29b

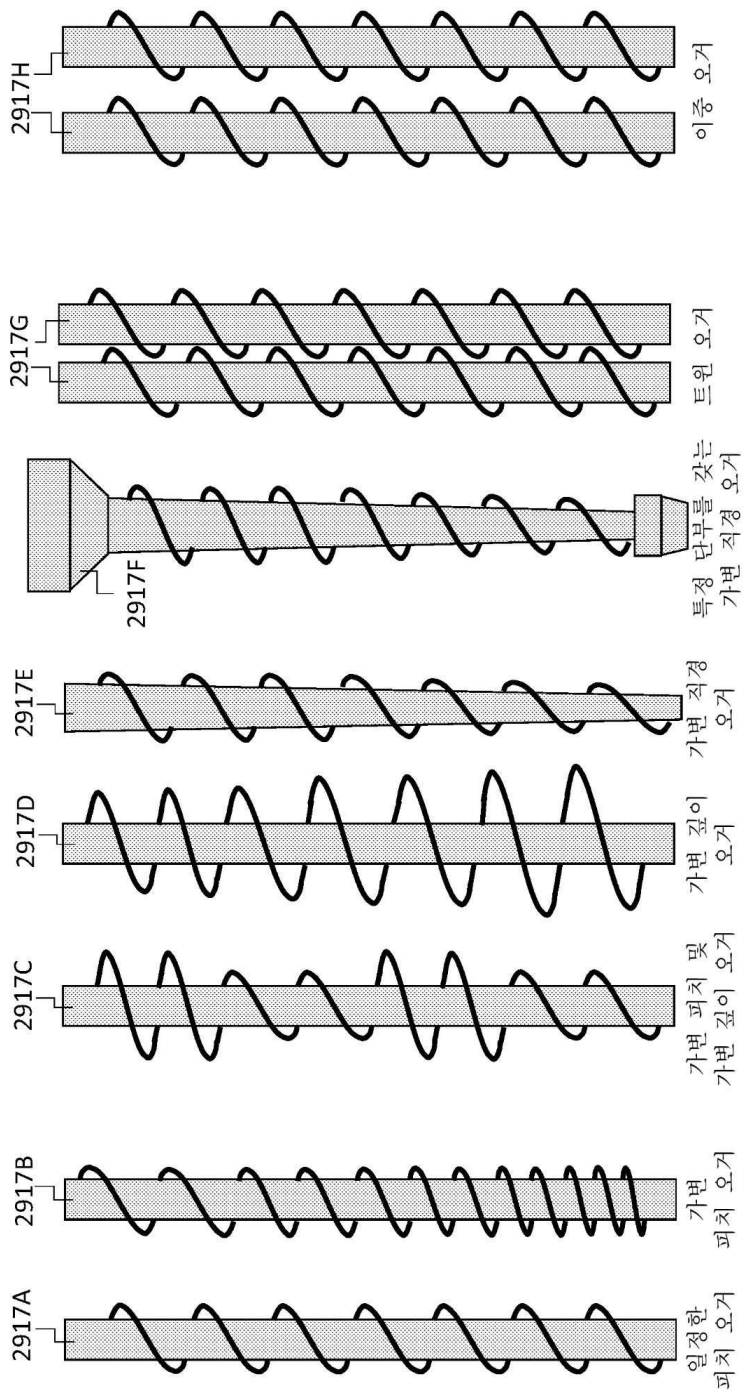


- 2901 - 펌프 재료
- 2910 - 고체 재료 포트
- 2911 - 첨가제/액체 포트
- 2912 - 밸브
- 2913 - 호퍼
- 2914 - 커버
- 2915 - 교환기
- 2916 - 교환기 암
- 2917 - 오거 스크류
- 2918 - 가열기
- 2919 - 스프링들

도면 29c



도면30



【심사관 직권보정사항】

【직권보정 1】

【보정항목】 청구범위

【보정세부항목】 청구항 16

【변경전】

고체-상태 적층 가공 시스템을 이용하여 피가공물의 표면으로의 고체 필러 재료의 추가를 제어하기 위한 시스템으로서, 상기 시스템은:

고체 필러 재료를 수신하도록 구성된 스핀들;

상기 스핀들로부터 상기 고체 필터 재료를 수신하고 상기 고체 필터 재료를 피가공물의 표면에 추가하여 상기 피가공물의 표면 상에 선택된 마이크로구조물을 갖는 추가 고체 필터 재료를 제공하도록 구성된 툴링으로서, 상기 툴링은 상기 스핀들로부터 고체 필터 재료를 수신할 수 있는 스로트와 본체를 포함하고, 상기 스핀들은 상기 피가공물의 표면으로의 고체 필터 재료의 추가 동안 상기 툴링의 스로트를 통해 상기 고체 필터 재료를 누르기 위한 하향력을 제공하도록 구성된, 상기 툴링; 및

상기 스핀들 및 상기 툴링에 전기적으로 결합되어 상기 피가공물의 표면에 추가된 고체 필터 재료의 선택된 마이크로구조물을 제어하는 컨트롤러로서, 상기 컨트롤러는 상기 스핀들로부터 제1 공정 변수를 수신하고 상기 툴링으로부터 제2 공정 변수를 수신하도록 구성되고, 상기 컨트롤러는 수신된 제1 공정 변수를 이용하여 상기 스핀들을 독립적으로 제어하고 수신된 제2 공정 변수를 이용하여 상기 툴링을 제어하여 상기 툴링으로부터의 고체 필터 재료를 소성 변형된 고체 필터 재료로서 상기 피가공물의 표면에 추가하도록 구성되고, 상기 컨트롤러는 수신된 제2 공정 변수를 이용하여 상기 스핀들로부터의 제공된 하향력을 제어하도록 구성된, 상기 컨트롤러를 포함하는, 시스템.

【변경후】

고체-상태 적층 가공 시스템을 이용하여 피가공물의 표면으로의 고체 필터 재료의 추가를 제어하기 위한 시스템으로서, 상기 시스템은:

고체 필터 재료를 수신하도록 구성된 스핀들;

상기 스핀들로부터 상기 고체 필터 재료를 수신하고 상기 고체 필터 재료를 피가공물의 표면에 추가하여 상기 피가공물의 표면 상에 선택된 마이크로구조물을 갖는 추가 고체 필터 재료를 제공하도록 구성된 툴링으로서, 상기 툴링은 상기 스핀들로부터 고체 필터 재료를 수신할 수 있는 스로트와 본체를 포함하고, 상기 스핀들은 상기 피가공물의 표면으로의 고체 필터 재료의 추가 동안 상기 툴링의 스로트를 통해 상기 고체 필터 재료를 누르기 위한 하향력을 제공하도록 구성된, 상기 툴링; 및

상기 스핀들 및 상기 툴링에 전기적으로 결합되어 상기 피가공물의 표면에 추가된 고체 필터 재료의 선택된 마이크로구조물을 제어하는 컨트롤러로서, 상기 컨트롤러는 상기 스핀들로부터 제1 공정 변수를 수신하고 상기 툴링으로부터 제2 공정 변수를 수신하도록 구성되고, 상기 컨트롤러는 수신된 제1 공정 변수를 이용하여 상기 스핀들을 독립적으로 제어하고 수신된 제2 공정 변수를 이용하여 상기 툴링을 제어하여 상기 툴링으로부터의 고체 필터 재료를 소성 변형된 고체 필터 재료로서 상기 피가공물의 표면에 추가하도록 구성되고, 상기 컨트롤러는 수신된 제2 공정 변수를 이용하여 상기 스핀들로부터의 제공된 하향력을 제어하도록 구성된, 상기 컨트롤러를 포함하는, 시스템.