



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2024년08월30일
(11) 등록번호 10-2700452
(24) 등록일자 2024년08월26일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
B21D 3/14 (2006.01) B21D 3/02 (2006.01)
B21D 53/92 (2006.01)
(52) CPC특허분류
B21D 3/14 (2013.01)
B21D 3/02 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2016-0106687
(22) 출원일자 2016년08월23일
심사청구일자 2021년08월23일
(65) 공개번호 10-2017-0049378
(43) 공개일자 2017년05월10일
(30) 우선권주장
14/925,458 2015년10월28일 미국(US)
(56) 선행기술조사문헌
US06532786 B1*
(뒷면에 계속)

(73) 특허권자
더 보잉 컴파니
미국, 일리노이스 60606, 시카고, 100 노스 리버
사이드 플라자
(72) 발명자
하오 장
미국, 97230, 오리건 주, 포틀랜드, 19000 엔이
샌디 블루버드
라이언 폴 켈베르그
미국, 97230, 오리건 주, 포틀랜드, 19000 엔이
샌디 블루버드
(74) 대리인
강철중, 김윤배

전체 청구항 수 : 총 9 항

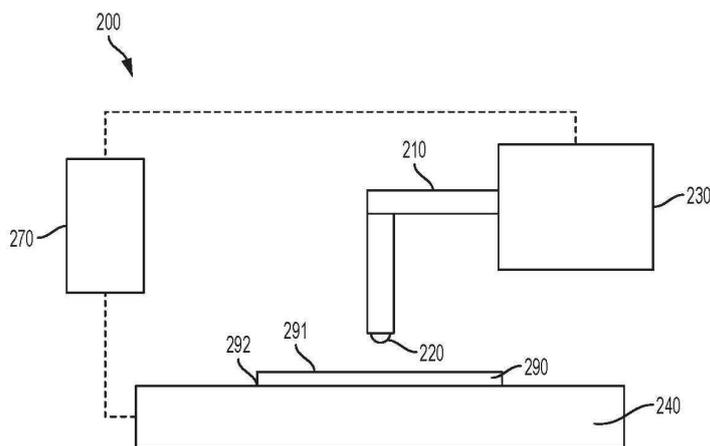
심사관 : 김선락

(54) 발명의 명칭 딥 롤링 성형

(57) 요약

딥 롤링을 사용하여 윤곽 구조물을 형성하는 방법 및 시스템이 개시되어 있다. 방법은 작업물에 불록한 윤곽을 형성하도록 작업물의 하나 이상의 부분들에 소성변형을 도입하도록 딥 롤링을 사용하는 것을 포함한다. 작업물, 그리고 뒤이어 형성된 윤곽 구조물은 금속 또는 복합재료일 수 있다. 개시된 딥 롤링 시스템 및 방법들은 예를 들어 윤곽 항공기 패널을 형성하고, 반면에 생산 후 표면 처리보다는 보다는 성형 공정 동안에 피로강도 개선 및 낮은 레벨의 가공 경화를 또한 제공한다.

대표도 - 도2



(52) CPC특허분류
B21D 53/92 (2013.01)

(56) 선행기술조사문헌
US20140366600 A1
US20050155203 A1
US07389666 B2
US05072606 A
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

명세서

청구범위

청구항 1

작업물로부터 윤곽 구조물을 성형하기 위한 성형 방법에서,

상기 방법은:

제1 측면 및 제2 측면을 포함하는 작업물을 제공하고, 상기 작업물은 2인치 이하의 두께를 가지고;

작업물의 제1 측면이 딥 롤링 공구에 접근 가능하게 고정장치에 작업물을 위치시키고;

딥 롤링 공구를 가지고 작업물의 제1 측면에 압축력을 적용시키고;

작업물의 제1 부분에 작업물의 표면에 국부적인 잔류 압축 응력을 도입하도록 압축력을 계속하여 적용하는 동안에 작업물에 대해 딥 롤링 공구를 이동시키고;

작업물의 제2 부분과 접촉하도록 딥 롤링 공구를 조정하고, 작업물의 제2 부분에 작업물의 표면에 국부적인 잔류 압축 응력을 도입하도록 작업물에 대해 딥 롤링 공구를 이동시키고; 그리고

상기 작업물의 하나 이상의 추가적인 부분들을 접촉시키기 위하여 딥 롤링 공구를 조정하고, 작업물에 1인치 내지 300 피트의 반경을 가지는 볼록한 윤곽을 도입하기 위하여 그리고 작업물의 하나 이상의 추가적인 부분들의 표면에 국부적인 잔류 압축 응력을 도입하기 위하여 딥 롤링 공구를 상기 작업물에 대하여 이동시키는 것을 포함하는 성형 방법.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 딥 롤링 공구는 0.05 인치 내지 1인치의 직경을 가지는 구형 볼 또는 각각 직경 0.1 인치, 길이 0.25 인치에서 직경 3.0인치 길이 12인치의 치수를 가지는 하나 이상의 실린더를 포함하는 성형 방법.

청구항 3

제 1 항에 있어서,

작업물의 제1 부분, 제2 부분, 및 추가적인 부분들은 각각 (a) 인접한 라인 세그먼트, 및 (b) 작업물의 제1 정사각형 또는 직사각형 형상의 영역의 적어도 하나를 포함하는 성형 방법.

청구항 4

제 1 항에 있어서,

작업물의 부분들에 딥 롤링 공구에 의해 적용된 압축력의 양은 0.1ksi 내지 30ksi범위인, 성형 방법.

청구항 5

제 1 항에 있어서,

작업물에 대한 딥 롤링 공구의 이동은 0.01 인치/초 내지 10인치/초의 속도로 딥 롤링 공구를 이동하는 것을 포함하고; 그리고

작업물의 제1 부분, 제2 부분, 또는 하나 이상의 추가적인 부분들의 표면에 국부적인 잔류 압축 응력을 도입하도록 작업물에 대해 딥 롤링 공구를 이동하는 것은 1 내지 10회 작업물의 같은 부분 위에 딥 롤링 공구를 이동하는 것을 포함하는 성형 방법.

청구항 6

제 1 항에 있어서,

딥 롤링 공구에 의해 잔류 압축 응력의 도입 후의 윤곽 구조물의 제1 측면의 표면 조도는 딥 롤링 공구의 잔류 압축 응력 도입 전의 작업물의 제1 측면의 표면 조도와 같거나 또는 작게 있는 성형 방법.

청구항 7

제 1 항에 있어서,
작업물은 금속 또는 복합재료를 포함하는 성형 방법.

청구항 8

제 1 항에 있어서,
작업물의 제1 부분에 잔류 압축 응력을 도입하기 위하여 딥 롤링 공구에 의해 적용된 힘의 양은 변하는 성형 방법.

청구항 9

제 1 항에 있어서,
작업물의 제1 측면의 부분의 표면에 국부적인 잔류 압축 응력을 도입하기 위하여 제2 딥 롤링 공구로 작업물의 제2 측면에 또 다른 압축력을 적용하는 것을 더 포함하고; 그리고
제2 측면에 또 다른 압축력을 적용하는 것은 압축력이 제1 측면에 적용되는 것과 동시에 일어나는 성형 방법.

청구항 10

삭제

청구항 11

삭제

청구항 12

삭제

청구항 13

삭제

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 일반적으로 윤곽 구조물(contoured structures)을 성형하는 것에 관한 것으로, 좀 더 구체적으로 윤곽 구조물을 성형하기 위하여 딥 롤링(deep rolling)을 사용하는 것에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 현대 항공기는, 외판(skins), 접근 패널(access panels), 날개 플랩(wing flaps), 및 동체 섹션(fuselage sections)을 포함하는 다양한 적용분야에 윤곽 구조물, 예를 들어 굽은 금속 패널들을 사용한다. 윤곽 금속 패널을 성형하기 위한 종래의 방법은 쇼트 피닝(shot peening) 및 레이저 충격 피닝(laser shock peening)을 포함한다. 쇼트 피닝 성형(shot peen forming)에서, 금속, 유리(glass), 또는 세라믹 쇼트(ceramic shot)의 유동이 잔류 압축 응력(a residual compressive stress)처럼 분명하게 나타내는 그 표면을 탄성적으로 및 소성적으로 스트레치하도록 국소의 낮은 소성변형(local low plastic deformation)을 진행하도록 금속 작업물의 표면(a surface of a metal work piece)에 충돌한다. 탄성과 소성 스트레칭(elastic and plastic stretching) 및 압축 응력 생성(compressive stress generation)의 조합은 금속 패널을 쇼트 피닝된 측면에 오목한 곡률(a concave curvature)을 발전시키도록 초래한다. 문제점들이 공정 가변성(process variability) 때문에 쇼트 피닝과 함께 일어난다. 또한, 쇼트 피닝은 전형적으로 종종 부서져 주기적 교체를 요구하는 주철(cast iron), 절단된 강선(cut wire steel), 유리(glass) 또는 세라믹(ceramics)으로 만들어진 소형 쇼트(small shot)를 사용한다. 교체

된 쇼트의 취급 및 처리는 환경적 문제들을 야기할 수 있다.

[0003] 레이저 충격 피닝은 쇼트 피닝과 유사하게 작동하고, 그러나 작업물에 충돌시키도록 강철 또는 세라믹 편(steel or ceramic pieces)들 대신에 펄스 레이저(a pulsed laser)를 사용한다. 그러나 레이저 충격 피닝은 값비싼 장비와 성형 전후 시간 소비 마스킹/마스킹을 벗기는 단계(masking/unmasking steps)를 요구한다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0004] 이들 방법들은 또한 작업물의 표면 조도(the surface roughness)를 증가시키고, 그것에 의해 윤곽들이 금속 패넬에 도입되어진 후 추가적인 시간 소비 및 비용이 드는 표면 처리를 요구한다. 윤곽 금속 패넬을 성형하기 위한 개선된 방법이 바람직하다.

과제의 해결 수단

[0005] 다음은 본 발명의 하나 이상의 실시 예들의 일부 측면들의 기본적 이해를 제공하도록 단순화된 요약을 나타낸다. 이 요약은 광범한 개요가 아니고, 또한 발명의 주요 또는 임계 요소들을 인정하기 위하여 의도되어 있지 않고, 또한 발명의 범위를 기술하도록 의도된 것도 아니다. 오히려, 그것의 기본적인 목적은 후에 나타나는 발명의 상세한 설명에 대한 서두로서 단순화된 형태로 하나 이상의 개념들을 단지 나타내는 것이다.

[0006] 일 측면에서, 작업물로부터 윤곽 구조물을 성형하기 위한 방법이 제공된다. 방법은 제1 측면 및 제2 측면을 포함하는 작업물을 제공하는 것을 포함하고, 작업물은 약 2인치 이하의 두께를 가지고 있다. 작업물은 작업물의 제1 측면이 딥 롤링 공구(a deep rolling tool)에 접근 가능하게 되어 있게 고정장치(a fixture)에 위치될 수 있다. 딥 롤링 공구는 작업물의 제1 측면에 압축력(a compressive force)을 적용할 수 있다. 딥 롤링 공구는 작업물의 제1 부분에 소성변형을 도입하도록 압축력을 계속하여 적용하는 동안에 작업물에 대해 이동할 수 있다. 딥 롤링 공구는 작업물의 제1 측면에 볼록한 윤곽(a convex contour)을 도입하도록 금속 물품(the metal piece)의 하나 이상의 추가적인 부분들에 소성변형을 도입하도록 그때 조정될 수 있다.

[0007] 또 다른 측면에서, 운반수단에 사용하기 위한 패넬이 제공된다. 패넬은 2인치 이하의 두께, 1 피트 이상의 길이, 및 0.5 피트 이상의 폭을 가질 수 있다. 패넬의 제1 측면은 약 1인치에서 약 300 피트의 반경을 가진 볼록한 윤곽을 포함할 수 있고, 제1 측면 위의 볼록한 윤곽은 딥 롤링 공정(a deep rolling process)에 의해 도입되었다. 볼록한 윤곽을 가진 패넬의 제1 측면은 표면 조도 값 Ra₁보다 작거나 또는 같은 표면 조도 값 Ra₂를 포함하고, 여기서 Ra₁은 딥 롤링 공정 전의 패넬의 표면 조도이고, Ra₂는 딥 롤링 후 어떤 표면 처리 전의 표면 조도이다.

[0008] 또 다른 측면에서, 작업물로부터 윤곽 구조물을 성형하기 위한 시스템이 제공된다. 시스템은 작업물의 제1 측면에 0.1ksi 내지 30ksi의 힘을 적용할 수 있는 공구 구성요소(a tool element)를 포함하는 제1 딥 롤링 공구 및 작업물을 위치시키는 고정장치를 포함할 수 있다. 시스템은 제1 딥 롤링 공구에 부착된 제1 컴퓨터 수치 제어 기계(a first computer numerically controlled (CNC) machine)를 포함하고, 제1 CNC 기계는 작업물에 대해 0.01 인치/초 내지 10 인치/초의 속도로 제1 딥 롤링 공구의 이동을 제어한다. 제1 CNC 기계는 제1 딥 롤링 공구에 의해 작업물의 제1 측면으로 윤곽의 도입을 또한 제어할 수 있고, 윤곽은 약 1인치 내지 300피트의 변경을 가진다.

도면의 간단한 설명

[0009] 본 명세서에 반영되어 한 부분을 구성하는 첨부된 도면들은 발명의 상세한 설명과 함께 본 발명의 실시 예들을 나타내고, 본 발명의 원리를 설명하는데 기여한다.

도 1a 및 1b는 다양한 윤곽 금속 패넬들을 포함하고 항공기를 도시하고 있다.

도 2는 본 발명에 따른 작업물로부터 윤곽 구조물을 성형하기 위한 예시적인 시스템을 도시하고 있다.

도 3a-b는 본 발명에 따른 예시적인 딥 롤링 공구 구성요소들을 도시하고 있다.

도 4는 본 발명에 따른 윤곽 구조물을 생성하도록 딥 롤링을 사용하기 위한 예시적인 방법을 도시하고 있다.

도 5a-c는 본 발명에 따른 작업물에서 윤곽의 성형 동안에 딥 롤링 공구의 경로들 및 금속 작업물의 예시적인

딥 롤링된 부분들을 도시하고 있다.

도 6은 본 발명에 따른 딥 롤링에 의해 성형된 윤곽 금속 구조물을 개략적으로 도시하고 있다.

도 7은 본 발명에 따른 작업물로부터 윤곽 구조물을 성형하기 위한 또 다른 예시적인 시스템을 도시하고 있다.

도 8은 딥 롤링 전후 7075 알루미늄 샘플에서 측정된 표면 조도를 도시하고 있다.

도 9는 가공되고, 딥 롤링되고, 그리고 쇼트 피닝된 7075 알루미늄 샘플에 대해 측정된 잔류 응력 프로파일(measured residual stress profiles)을 도시하고 있다.

도면의 일부 상세한 부분들은 단순화되고, 엄격한 구조적 정확성, 상세 및 크기를 유지하기보다는 본 발명의 이해를 용이하게 하도록 그려져 있는 것에 특히 주의하여야 합니다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0010] 기준은 본 발명의 예시적인 실시 예들에 대해 상세히 지금 이루어질 것이고, 예들은 첨부된 도면에 예시되어 있다. 어디든 가능하고, 같은 도면 번호는 같거나 또는 유사한 부품들을 참조하도록 도면을 통하여 계속 사용되어 질 것이다.
- [0011] 딥 롤링은 예를 들어 주조(casting), 단조(forging) 등에 의해 미리 형성된 금속 부품들의 피로강도(fatigue strength)를 개선하기 위하여 사용되어진 기계적 표면처리(a mechanical surface treatment)이다. 미리 형성된 금속 부품들은 전형적으로 개선된 피로강도를 요구하는 볼트, 차축, 휠 림(wheel rims) 및 다른 부품들을 포함한다. 딥 롤링에서, 구형 볼 또는 실린더 같은 공구 구성요소는 같은 시간에 차축의 표면에 압축력을 적용하는 동안에 예를 들어 차축의 표면 위를 이동한다. 이것은 차축의 표면 가까이 위치된 낮은 소성 변형을 초래하여 부품의 개선된 피로성능의 결과가 된다. 그러나 딥 롤링의 사용은 미리 형성된 금속 부품들의 피로성능을 개선하는데 제한되어 있다.
- [0012] 본 발명의 시스템 및 방법들은 평평하고 굽은 작업물로부터 윤곽 구조물을 형성하기 위하여 딥 롤링을 사용한다. 시스템 및 방법의 사용은 금속 작업물로부터 윤곽 구조물을 성형하는데 제한되지 않고, 그리고 예를 들어 복합재료에 사용될 수 있다. 여기에 개시된 예시적인 딥 롤링 시스템 및 방법들은 쇼트 피닝 및 레이저 충격 피닝과 관련된 공정 가변성, 값비싼 장비, 및 후속하는 표면 조도 처리(subsequent surface roughness treatments)를 피하는 것이다. 또한, 여기에 개시된 예시적 시스템 및 방법들은 생산 후 표면처리(a post production surface treatment)로서 보다는 성형 공정 동안에 피로강도 개선 및 낮은 레벨의 가공 경화(low level of work hardening)를 제공한다.
- [0013] 도 1a는 항공기 외판(aircraft skins), 접근 패널(access panels), 날개 플랩(wing flaps), 날개 외판(wingskins) 및 동체 섹션(fuselage sections)과 같은 다수의 윤곽 금속 구조물을 포함하는 항공기(100)를 도시하고 있다. 도 1b에 도시된 알루미늄 외판 패널(an aluminum skin panel)(110)은 공기역학적 이유들로 윤곽을 나타내고 있는 금속 구조물의 예이다. 아래의 설명은 예시적인 방법들을 나타내기 위하여 예로서 항공기용 금속 외판 패널을 참고로 표시하고, 그러나 관련 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자는 다른 운반수단에 사용된 금속 구조물들이 고려되고, 그리고 알루미늄 외에 다른 타입의 금속들을 포함하여 고려되고, 티타늄(titanium), 강(steeels), 탄소-섬유-강화 고분자 복합재(carbon-fiber-reinforced polymer composites), 다른 고분자/ 플라스틱 매트릭스 복합재(polymer/plastic matrix composites), 금속 매트릭스 복합재(metal matrix composites), 및 세라믹 매트릭스 복합재(ceramic matrix composites)로 제한되지 않는다는 것을 이해할 것이다.
- [0014] 도 2는 작업물로부터 윤곽 구조물을 성형하기 위하여 사용되는 예시적인 딥 롤링 시스템(an exemplary deep rolling system)(200)을 도시하고 있다. 여기에 사용된 바와 같이, 용어 "작업물(work piece)"은 딥 롤링이 윤곽 구조물, 예를 들어 항공기의 금속 외판 패널(a metal skin panel for an aircraft)을 형성하도록 윤곽 또는 윤곽들을 도입하는 초기 구조물(an initial structure), 예를 들어 금속 패널 또는 플레이트를 언급한다. 작업물은 평평하거나 또는 이미 윤곽들을 포함할 수 있다. 여기에 사용된 바와 같이, 용어 "윤곽 구조물(contoured structure)"은 딥 롤링이 하나 이상의 커브/곡률들을 도입한 작업물을 언급한다. 딥 롤링 시스템은 고정장치(a fixture)(240), 딥 롤링 공구(a deep rolling tool 210) 및 컴퓨터 수치제어 기계(a computer numerically controlled (CNC) machine)(230)를 포함할 수 있다. 딥 롤링 시스템(200)은 현장에서 공정 변수를 모니터, 제어, 및 기록하는 예를 들어, 수압펌프(a hydraulic pressure pump), 계기장치(instruments), 및 센서들을 포함하는 제어 시스템(270)을 더 포함할 수 있다. 제어 시스템(270)은 고정장치(240), 딥 롤링 공구(210), 및/또는 CNC 기계(230)에 연결될 수 있다. 고정장치(240)는 한 측면이 딥 롤링 공구(210)에 접근 가능하게 있도록 작업

물(290)을 위치시킬 수 있다. 고정장치(240) 및 딥 롤링 공구(210)는 하나가 이동하고, 다른 하나는 정지 상태에 있도록 구성되어질 수 있다. 다른 예에서, 고정장치(240) 및 딥 롤링 공구(210)는 양쪽이 이동할 수 있도록 구성될 수 있다.

- [0015] 딥 롤링 공구(210)는 딥 롤링 헤드(220)를 포함한다. 딥 롤링 헤드(220)는 작업물(290)의 표면에 국부적인 낮은 소성변형을 도입하도록 작업물(290)의 표면과 접촉하도록 형상에서 전형적으로 구형 또는 실린더형 구성요소를 포함한다. 도 3a는 볼 축반이통(a ball retainer)(324)에 의해 유체정력학적으로 매달려 있는 구형 볼 구성요소(a spherical ball element)(322)를 포함하는 예시적인 헤드(320)를 도시하고 있다. 공동(a cavity)(326)은 냉각제(a coolant) 또는 기름(oil)같은 가압 액체(pressurized liquid)를 유지할 수 있다. 구형 볼(322)은 볼 축반이통(324) 내에서 어떤 방향으로 회전할 수 있다. 구형 볼(322)은 예를 들어, 약 0.05인치에서 약 1인치까지의 직경을 가질 수 있다.
- [0016] 딥 롤링 공구는 대안적으로 실린더 형상 구성요소를 포함할 수 있다. 도 3b는 축(325)로 도시된 고정 축 주위를 회전할 수 있는 실린더형 구성요소(321)를 도시하고 있다. 실린더형 구성요소(321)는 예를 들어, 0.25 인치 길이의 0.1 인치 직경에서 12인치 길이의 3.0인치 직경의 치수를 가질 수 있다.
- [0017] 딥 롤링 시스템(200)은 컴퓨터 수치제어 기계(a computer numerically controlled (CNC) machine)(230)를 포함할 수 있다. 여기에서 CNC기계로 언급되어 있을지라도, 관련 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자는 CNC기계(230)는 종래의 기계는 물론 다축 CNC기계를 포함할 수 있다는 것을 이해할 것이다. CNC기계(230)는 예를 들어, 선삭기계(a turning machine), 드릴링 기계(drilling machine), 밀링기계(milling machine), 기계가공 센터(machining centers), 또는 재래식 공작기계(a conventional machine tool)일 수 있다. CNC 기계(230)는 작업물(290)의 표면에 가하는 딥 롤링 공구(210)의 위치 및 힘을 제어할 수 있다.
- [0018] 도 4는 본 발명에 따른 윤곽 구조물을 성형하기 위한 예시적인 방법(400)을 도시하고 있다. 예시적인 방법(400)이 금속 작업물로부터 윤곽 금속 구조물을 성형하는 것을 기재하고 있을지라도 다른 작업물 및 윤곽 구조물들은 복합재료 작업물 및 윤곽 복합재료 구조물들을 포함하여 고려된다. 단계 410에서, 금속 작업물이 윤곽 금속 구조물로 성형되어지게 제공된다. 도 5a에 도시된 금속 작업물(290)은 항공기 같은 운반수단에 사용하기 위해 윤곽 금속 구조물로 성형되어지는 알루미늄, 티타늄, 강철 또는 다른 금속들로 만들어진 금속 구조물일 수 있다. 금속 작업물은 평평하거나 또는 윤곽/커브들을 포함할 수 있다. 이것은 예를 들어, 개구부, 창 및 그와 유사한 것과 같은 다른 구조적 구성요소들을 또한 포함할 수 있다. 도 2에서 측면도로 도시된 금속 작업물(290)은 제1 측면(a first side)(291) 및 제2 측면(a second side)(292)을 포함할 수 있다. 제1 측면(291)은 도 2에서 상부면에 대응하고, 제2 측면(292)은 고정장치(240)와 마주하는 하부면에 대응한다. 금속 작업물(290)은 약 2인 이하의 두께, 약 1피트 이상의 길이, 및 약 0.5 피트 이상의 폭을 가질 수 있다. 항공기 날개 구조물로 성형되는 예시적인 작업물은 약 150피트까지의 길이 및 약 40피트까지의 폭을 가질 수 있다.
- [0019] 도 4의 단계 420에서, 금속 작업물은 한 측면이 딥 롤링 공구에 접근 가능하게 있도록 고정장치에 위치되어질 수 있다. 예를 들어, 도 2를 다시 참조하면, 고정장치(240)는 딥 롤링 공구(210)가 작업물(290)의 상부면(291)과 물리적으로 접촉할 수 있도록 작업물(290)을 위치시킬 수 있다.
- [0020] 단계 430에서, 딥 롤링 공구는 작업물의 표면에 압축력을 적용하는 것에 의해 작업물에 소성변형을 도입할 수 있다. 도 2를 다시 참조하면, CNC기계(230)는 딥 롤링 공구(210)가 작업물(290)의 제1 표면(291)에 0.05ksi 내지 150ksi 범위의 압축력을 적용하도록 프로그램되어질 수 있다. 예를 들어, 0.1ksi 내지 15ksi의 압축력이 알루미늄 금에 적용될 수 있거나 또는 0.1ksi 내지 30ksi의 압축력이 티타늄 합금에 적용될 수 있다.
- [0021] 소성변형은 압축력을 계속하여 적용하는 동안에 작업물에 대해 딥 롤링 공구를 이동시키는 것에 의해 작업물의 제1 부분에 도입될 수 있다. 다른 변수들 사이에서, 표면에 딥 롤링 공구에 적용된 힘 및 표면을 따라 이동하는 딥 롤링 공구의 경로를 제어하는 것에 의해, 윤곽이 윤곽 구조물을 형성하도록 작업물에 도입될 수 있다. 예를 들어, CNC기계(230)는 표면(291)에 압축력을 계속하여 적용하는 동안에 작업물(290)에 대해 딥 롤링 공구(210)를 이동하도록 프로그램되어질 수 있다. 예를 들어, 딥 롤링 공구(210)는 작업물(290)에 대해 0.01인치/초 내지 20인치/초의 속도로 이동할 수 있다.
- [0022] CNC기계(230)는 제1 표면(291)을 따라 이동하기 때문에 딥 롤링 공구(210)의 경로를 제어하도록 프로그램되어질 수 있다. 예를 들어, CNC기계는 소성변형이 작업물의 하나 이상의 부분들에 도입될 수 있도록 딥 롤링 공구의 이동을 제어할 수 있다. 여기에 사용된 바와 같이, 용어 '부분(portion)'은 딥 롤링을 받는 작업물의 한 부분을 언급한다. 예를 들어, 한 부분은 작업물 위의 원형 또는 다각형 형상 영역일 수 있다. 한 부분은 또한 딥 롤링

공구가 이동하는 라인 세그먼트(line segment) 또는 라인 세그먼트들일 수 있다. 도 5a-c는 작업물(290)의 제1 표면(291)의 평면도이다. 제1 표면(291) 위의 다수의 예시적인 경로(510, 520, 530)가 도시되어 있다. 예들의 각각은 작업물의 표면의 부분들에 소성변형을 도입하는 딥 롤링 공구의 경로를 나타내고 있다. 도 5a는 다수의 경로(510a, 510b, 510c... 510n)를 도시하고 있고, 각 경로는 작업물의 한 부분에 대응한다. 예를 들어, 제1 부분(first portion)(515a), 제2 부분(second portion)(515b), 및 제3 부분(third portion)(515c)은 소성변형이 도입되는 작업물(290)의 부분들을 나타낸다. 각각의 부분(515a, 515b, 515c)들은 경로(510a, 510b, 510c)들에 각각 대응한다. 예를 들어, 소성변형은 경로(510a)를 따라 딥 롤링 공구를 이동하는 동안에 압축력을 적용하는 것에 의해 작업물(290)의 제1 부분(515a)으로 도입된다.

[0023] 도 5b는 또 다른 예의 경로(520)를 도시하고 있다. 단일 경로로 도시되어 있어도 딥 롤링 공구(210)는 작업물(290)의 다수의 부분들을 처리하도록 그것의 방향 및/또는 위치를 변경하도록 조정된다. 도 5c는 이제 또 다른 경로를 도시하고 있다. 경로(530a, 530b, 530c)들은 직사각형 형상으로 작업물(290)의 각각을 처리하는 개별적 부분들이다. 관련 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자는 다른 형상의 경로, 예를 들어 원형 또는 나선형 경로들이 고려되고, 요구된 윤곽, 재료의 형태, 작업물의 크기, 고정장치에서 작업물의 방향, 및 윤곽 구조물을 위한 특별한 적용을 포함하는 많은 요소들에 종속한다는 것을 이해할 것이다. 예를 들어, 다른 경로들이 작업물의 같은 윤곽을 도입하기 위하여 사용될 수 있다.

[0024] 딥 롤링 공구(210)는 한번 이상, 예를 들어 1 내지 10번, 압축 응력을 적용하는 동안에 같은 경로를 따라 이동할 수 있다. 또한, 딥 롤링 공구(210)에 의해 적용된 압축력의 양은 경로를 따라 이동하기 때문에 변화할 수 있다.

[0025] 도 4의 단계 440에서, 딥 롤링 공구는 압축력이 작업물의 제2 부분에 적용되도록 조정될 수 있다. 도 5a를 참조하면, 한번 이상 경로(510a)를 따라 이동하는 딥 롤링 공구(210)에 뒤이어서, 한번 이상 경로(510b)를 따라 이동하는 동안에 압축력을 적용하도록 조정되어진다. 이것은 금속 작업물(290)의 제2 부분(515b)에 소성변형을 도입한다. 앞에서 논의된 바와 같이, 딥 롤링 공구(210)에 의해 적용된 압축응력은 경로(510b)를 따라 이동하기 때문에 일정하거나 변화될 수 있다. 경로(510b)를 따라 이동하기 때문에 딥 롤링 공구(210)에 의해 적용된 압축응력은 경로(510a)를 따라 적용된 압축응력과 같거나 또는 다를 수 있다. 평행한 경로들로서 도시되는 동안에, 관련 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자는 경로들의 방향은 요구된 윤곽에 종속하여 변화할 수 있다는 것을 이해할 것이다.

[0026] 단계 450에서, 딥 롤링 공구는 압축력이 작업물의 하나 이상의 추가적인 부분들에 적용되도록 조정될 수 있다. 도 5c를 참조하면, 딥 롤링 공구(210)는 한번 이상 경로(510c)를 따라 이동하는 동안에 압축력을 적용하도록 조정될 수 있다. 이것은 금속 작업물(290)의 제3 부분(515c)에 소성변형을 도입한다. 관련 기술분야의 통상의 지식을 가진 자는 부분들의 수, 경로의 위치, 각 경로를 따라가는 통과 수, 그리고 압축응력이 요구된 윤곽 또는 윤곽들을 형성하도록 변화될 수 있는 이해할 것이다.

[0027] 작업물의 제1, 제2, 그리고 하나 이상의 추가적인 부분들에 압축력의 적용 다음에 윤곽이 도입된다. 도 6에 도시된 바와 같이, 윤곽 금속 구조물(600)이 금속 작업물(290)로부터 형성된다. 작업물의 제1 표면(291)은 금속 구조물(600)의 볼록한 윤곽 표면(691)에 대응한다. 다른 말로 하면, 작업물(290)의 제1 표면(291)에서 어떤 범위로 압축력의 적용이 금속 구조물(600)에서 볼록한 윤곽의 결과를 낳는다. 볼록한 윤곽은 약 1인치 내지 약 300피트, 또는 약 5인치 내지 200피트, 또는 약 12인치 내지 약 50피트의 반경을 가질 수 있다. 딥 롤링은 2인치 이상의 폭, 약 1피트 이상의 길이, 그리고 0.5 피트 이상의 폭을 가지는 윤곽 구조를 형성하기 위하여 사용될 수 있다.

[0028] 도 7은 작업물의 양 측면에 동시에 압축 잔류 응력을 도입하도록 두 개의 공구를 포함하는 또 다른 딥 롤링 시스템을 도시하고 있다. 예시적인 딥 롤링 시스템(an exemplary deep rolling system)(700)은 현장에서 공정 변수들을 모니터, 제어, 그리고 기록하는, 예를 들어, 수압 펌프(a hydraulic pressure pump), 계기 장치(instruments), 그리고 센서들을 포함하는 제1 구성요소(a first element)(720), 제1 컴퓨터 수치제어 기계(a first computer numerically controlled (CNC) machine)(730), 및 제1 제어 시스템(a first control system)(770)을 구비하는 제1 딥 롤링 공구(a first deep rolling tool)(710)를 포함할 수 있다. 딥 롤링 시스템(700)은 현장에서 공정 변수들을 모니터, 제어, 그리고 기록하는, 예를 들어, 수압 펌프(a hydraulic pressure pump), 계기 장치(instruments), 그리고 센서들을 포함하는 제2 구성요소(a second element)(722), 제2 컴퓨터 수치제어 기계(a second computer numerically controlled (CNC) machine)(732), 및 제2 제어 시스템(a second control system)(772)을 구비하는 제2 딥 롤링 공구(a second deep rolling tool)(712)를 포함할

수 있다.

[0029] 딥 롤링 시스템(700)은 제1 측면(a first side)(791)이 제1 딥 롤링 공구(710)에 접근 가능하고, 그리고 제2 측면(a second side)(792)은 제2 딥 롤링 공구(712)에 접근 가능하도록 작업물(790)을 위치시킬 수 있는 고정장치(740)를 포함할 수 있다. 수직 구성으로 도시되어 있을지라도 관련 기술분야의 통상의 지식을 가진 자는 다른 구성들이 고려되는 것을 이해할 것이다. 딥 롤링 시스템(700)은 제1 및 제2 측면(791, 792)에 동시에 또는 연속적으로 압축 잔류 응력을 도입하는 것에 의해 작업물(790)에 윤곽 또는 윤곽들을 형성하기 위하여 사용될 수 있다. 다른 예에서, 윤곽들은 제1 측면(791)에 맨 먼저, 그런 다음 제2 측면(792), 그리고 요구에 따라 반복하여 압축 잔류 응력을 대안적으로 도입하는 것에 의해 작업물(790)에 형성될 수 있다.

[0030] 개시된 딥 롤링 시스템은, 예를 들어, 항공기 외관으로서 사용하기 위한 금속 패널과 같은 윤곽 구조물들을 제조하기 위한 기존 작업 흐름에 반영될 수 있다. 도 4 및 6을 다시 참조하면, 딥 롤링 방법(400)을 사용하여 윤곽 구조물을 성형하는 것은 추가적인 이점들을 제공할 수 있다. 예를 들어, 윤곽 구조물(600)의 표면 조도는 딥 롤링 전의 표면 조도와 비교하여 동일하게 유지하거나 또는 개선될 수 있다. 도 8은 7050 알루미늄의 딥 롤링 전후의 표면 조도 측정들의 결과들을 도시하고 있다. 표면 조도는 딥 롤링 전, 번호가 붙은 1 내지 4, 4개의 샘플에서 측정되었다. 측정들은 4개의 다른 위치에서 행해졌다. 딥 롤링 전 표면 조도는, 도 8의 왼쪽 측에 도시된 바와 같이 약 70-130 마이크로-인치(micro-inch)에서 변했다. 표면 조도를 바꾸는 어떤 표면 처리 전과 딥 롤링 후, 측정들이 동일한 4개의 위치에서 이루어졌다. 도 8의 오른쪽 측에 도시된 바와 같이, 표면 조도는 약 30-55 마이크로-인치로 감소했다. 그에 반해서, 쇼트 피닝 또는 레이저 충격 피닝에 의해 굽은 구조물을 성형하는 것은 상당히 표면 조도를 증가시켜 제조 작업 흐름에서 다음 단계로 이동하기 전에 표면 조도를 감소시키는 후속 표면 처리를 요구한다.

[0031] 윤곽 구조물 등을 성형하기 위하여 딥 롤링을 사용하는 것은 더 높고 더 깊은 잔류 응력을 또한 제공할 수 있다. 이것은 윤곽 성형의 생산성 및 효율성을 개선시키고 더 넓은 범위의 윤곽 곡물들의 형성을 허용한다. 피로 특성들이 더 깊고 더 높은 잔류 응력에 의해 또한 향상되어진다. 도 9는 가공되고, 쇼트 피닝되고, 그리고 딥 롤링된 7050 알루미늄 샘플들에 대한 잔류 응력 프로파일을 도시하고 있다. 딥 롤링된 샘플들에 대해 측정된 잔류 응력은 더 높고 가공 및 쇼트 피닝과 비교한 샘플로 더 확장되어진다. 0.7ksi에서 딥 롤링된 샘플들에 대해, 잔류 응력은 샘플의 표면으로부터 0.02인치의 깊이에서 약 -10ksi 이상 이었다. 1.5ksi에서 딥 롤링된 샘플들에 대해, 잔류 응력은 샘플의 표면으로부터 0.02인치의 깊이에서 약 -20ksi 이상 이었다. 그와 반대로, 가공 및 쇼트 피닝된 샘플들은 0.02인치의 깊이에서 약 -5ksi보다 작은 잔류 응력을 나타냈다.

[0032] 본 발명의 넓은 범위를 제시하는 수치 범위 및 매개 변수들이 근사치로 있는 것임에도 불구하고, 특정 예들에 제시된 수치 값들은 가능한 한 정확하게 보고되었다. 그러나 어떤 수치 값은 본래 그들의 각자의 시험 측정들에서 발견된 표준 편차의 결과로부터 필수적으로 어떤 오차를 포함한다. 또한, 여기에 개시된 모든 범위들은 거기에 포함된 어떠한 그리고 모든 부분-범위(any and all sub-ranges)를 포함하는 것으로 이해된다. 예를 들어 "10 이하(less than 10)"의 범위는 최소값 0과 최대값 10(포함하여) 사이에 어떠한 그리고 모든 부분-범위를 포함하고, 즉 어떠한 그리고 모든 부분-범위는 0과 같거나 또는 더 큰 최소값 및 10과 같거나 10보다 작은 최대값을 가지고, 예를 들어, 1 내지 5의 범위를 가진다. 어떤 경우들에서, 매개 변수로서 설명된 것처럼 수치 값들은 음의 값(negative values)들을 가질 수 있다. 이 경우에, "10 이하(less than 10)"로 서술된 범위의 예의 값은 음의 값들, 예를 들어, -1, -2, -3, -10, -20, -30 등을 추정할 수 있다. 본 발명이 하나 이상의 구현들에 대해 예시되는 동안에 변경 및/또는 수정들이 첨부된 청구항들의 기술사상 및 범위로부터 이탈하는 것 없이 예시된 예들에 대해 만들어질 수 있다. 예를 들어, 공정이 일련의 행위나 사건들로 기재되는 동안에 본 발명은 그러한 행위나 사건들의 순서에 의해 제한되지 않는다. 일부 행위는 여기에 기재된 것들과 떨어진 다른 행위나 사건들과 다른 순서 및/또는 동시에 함께 일어난다. 또한, 모든 공정 단계들이 본 발명의 하나 이상의 측면 또는 실시 예들에 따른 방법론을 구현하도록 요구되어진다. 구조적 구성요소 및/또는 고정 단계들이 추가되거나 또는 기존의 구조적 구성요소 및/또는 고정 단계들이 제거되거나 또는 수정될 수 있는 것이 평가될 것이다. 더구나 여기에 기재된 하나 이상의 행위들은 하나 이상의 개별 행위 및/또는 단계들로 이행된다. 또한, 용어 "포함하는(including)", "포함한다(includes)", "가지는(having)", "가진다(has)", "가진(with)" 또는 그것의 변형들이 상세한 설명 및 청구항들에 사용되는 범위까지, 그러한 용어들은 용어 "포함하는(comprising)"과 유사한 방법으로 포함되는 것으로 의도되어 있다. 용어 "적어도 하나(at least one of)"는 나열된 항목의 하나 이상이 선택될 수 있는 것을 의미하기 위하여 사용되어진다. 또한, 여기의 논의 및 청구항들에서, 두 개의 물질들에 사용된 용어 "에(on)", 한쪽이 다른 쪽 "에(one "on" the other)"는 물질들 사이에서 적어도 부분적 접촉을 의미하고, 반면에 용어 "위(over)"는 물질들이 근접(in proximity)하고 있는 것을 의미하고, 그러나 접촉이 가능하지만 요구

되지 않도록 하나 이상의 추가적인 매개 물질을 갖는 것이 가능하다는 것을 의미한다. 용어 "에(on)" 또는 "위(over)"는 여기에 사용된 것처럼 어떤 방향성을 나타내는 것은 아니다. 의미하지는 모두 포함하지 않는다. 용어 "등각(conformal)"은 내부 재료(the underlying material)의 각도들이 등각 재료에 의해 유지되는 코팅 재료(a coating material)를 말한다. 용어 "약(about)"은 변경이 예시된 실시 예에 공정 또는 구조물의 불일치의 결과가 아닌 한, 나열된 값이 어느 정도 변경될 수 있는 나타낸다. 마지막으로, 용어 "예시적인(exemplary)"은 이것이 이상적인 것을 의미하기보다는 설명이 하나의 예로서 사용되는 것을 나타낸다. 본 발명의 다른 실시 예들은 여기에서 본 발명의 실무 및 명세서의 검토로부터 관련 기술분야의 통상의 지식을 가진 자에게 분명하게 될 것이다. 명세서 및 예들은 아래의 청구항들에 나타난 본 발명의 실제 청구범위 및 기술사상을 가지고, 단지 본보 기로서 고려되어지는 것으로 의도되어 있다.

- [0034] 또한, 본 발명은 아래의 항목에 따른 실시 예들을 포함한다:
- [0036] 항목 1.
- [0037] 작업물로부터 윤곽 구조물을 성형하기 위한 방법에서,
- [0038] 상기 방법은:
- [0039] 제1 측면 및 제2 측면을 포함하는 작업물을 제공하고, 상기 작업물은 약 2인치 이하의 두께를 가지고;
- [0040] 작업물의 제1 측면이 딥 롤링 공구에 접근 가능하게 고정장치에 작업물을 위치시키고;
- [0041] 딥 롤링 공구를 가지고 작업물의 제1 측면에 압축력을 적용시키고;
- [0042] 작업물의 제1 부분에 소성변형을 도입하도록 압축력을 계속하여 적용하는 동안에 작업물에 대해 딥 롤링 공구를 이동시키고;
- [0043] 작업물의 제2 부분과 접촉하도록 딥 롤링 공구를 조정하고, 작업물의 제2 부분에 소성변형을 도입하도록 작업물 에 대해 딥 롤링 공구를 이동시키고; 그리고
- [0044] 작업물의 제1 측면에 불룩한 윤곽을 도입하도록 작업물의 하나 이상의 추가적인 부분들에 소성변형을 도입하도 록 딥 롤링 공구를 조정하는 것을 포함한다.
- [0046] 항목 2.
- [0047] 항목 1의 방법에서,
- [0048] 불룩한 윤곽은 약 1인치 내지 300 피트의 반경을 가진다.
- [0050] 항목 3.
- [0051] 항목 1의 방법에서,
- [0052] 작업물의 제1 부분, 제2 부분, 및 추가적인 부분들은 각각 인접한 라인 세그먼트들을 포함한다.
- [0054] 항목 4.
- [0055] 항목 1의 방법에서,
- [0056] 작업물의 제1 부분, 제2 부분, 및 추가적인 부분들은 각각 작업물의 제1 측면에 정사각형 또는 직사각형 형상 의 영역을 포함한다.
- [0058] 항목 5.
- [0059] 항목 1의 방법에서,
- [0060] 딥 롤링 공구는 0.05 인치 내지 1인치의 직경을 가지는 구형 볼 또는 각각 직경 0.1 인치, 길이 0.25 인치에서 직경 3.0인치 길이 12인치의 치수를 가지는 하나 이상의 실린더를 포함한다.
- [0062] 항목 6.
- [0063] 항목 1의 방법에서,
- [0064] 작업물의 부분들에 딥 롤링 공구에 의해 적용된 압축력의 양은 0.1ksi 내지 30ksi범위이다.
- [0066] 항목 7.

- [0067] 항목 1의 방법에서,
- [0068] 작업물에 대한 딥 롤링 공구의 이동은 0.01 인치/초 내지 10인치/초의 속도로 딥 롤링 공구를 이동하는 것을 포함한다.
- [0070] 항목 8.
- [0071] 항목 1의 방법에서,
- [0072] 작업물의 제1 부분, 제2 부분, 또는 하나 이상의 추가적인 부분들에 소성변형을 도입하도록 작업물에 대해 딥 롤링 공구를 이동하는 것은 1 내지 10회 작업물의 같은 부분 위에 딥 롤링 공구를 이동하는 것을 포함한다.
- [0074] 항목 9.
- [0075] 항목 1의 방법에서,
- [0076] 딥 롤링 공구에 의해 소성변형의 도입 후의 윤곽 구조물의 제1 측면의 표면 조도는 딥 롤링 공구의 소성변형 도입 전의 작업물의 제1 측면의 표면 조도와 같거나 또는 작다.
- [0078] 항목 10.
- [0079] 항목 1의 방법에서,
- [0080] 딥 롤링 공구에 의해 도입된 소성변형은 작업물의 표면에서 또는 가까이에 국부적인 잔류 압축 응력을 포함한다.
- [0082] 항목 11.
- [0083] 항목 1의 방법에서,
- [0084] 작업물은 금속 또는 복합재료를 포함한다.
- [0086] 항목 12.
- [0087] 항목 1의 방법에서,
- [0088] 작업물의 제1 부분에 소성변형을 도입하기 위하여 딥 롤링 공구에 의해 적용된 힘의 양은 변한다.
- [0090] 항목 13.
- [0091] 항목 1의 방법은:
- [0092] 작업물의 제1 측면의 부분에 소성변형을 도입하기 위하여 제2 딥 롤링 공구로 작업물의 제2 측면에 또 다른 압축력을 적용하는 것을 더 포함한다.
- [0094] 항목 14.
- [0095] 항목 13의 방법에서,
- [0096] 제2 측면에 또 다른 압축력을 적용하는 것은 압축력이 제1 측면에 적용되는 것과 동시에 일어난다.
- [0098] 항목 15.
- [0099] 운반수단에 사용하는 구조물은:
- [0100] 두께 2인치 이하, 길이 1피트 이상, 그리고 폭 0.5 피트를 가지는 패널; 및
- [0101] 상기 패널의 제1 측면은 약 1인치 내지 약 300피트의 반경을 가지는 볼록한 윤곽을 포함하고, 제1 측면의 볼록한 윤곽은 딥 롤링 공정에 의해 도입되어진 것을 포함하고;
- [0102] 볼록한 윤곽을 포함하는 상기 패널의 제1 측면은 표면 조도 값 Ra_1 보다 작거나 같은 Ra_2 를 포함하고, Ra_1 은 딥 롤링 공정 전의 패널의 표면 조도이고, 그리고 Ra_1 은 딥 롤링 후 표면 조도 값이다.
- [0104] 항목 16.
- [0105] 항목 15의 패널은, 잔류 응력이 패널의 표면으로부터 0.02 인치의 깊이에서 약 -10ksi 이상이다.

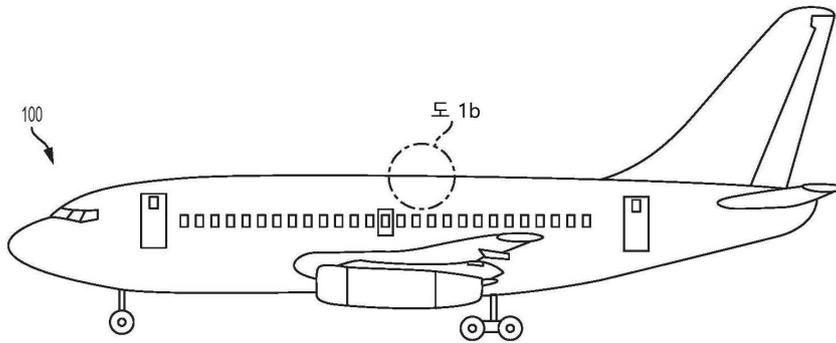
- [0107] 항목 17.
- [0108] 항목 15의 패널은, 잔류 응력이 패널의 표면으로부터 0.02 인치의 깊이에서 약 -20ksi 이상이다.
- [0110] 항목 18.
- [0111] 작업물로부터 윤곽 구조물을 성형하기 위한 시스템은:
- [0112] 작업물을 위치시키는 고정장치;
- [0113] 작업물의 제1 측면에 0.1ksi 내지 30ksi의 압축력을 적용할 수 있는 공구 구성요소를 포함하는 제1 딥 롤링 공구; 및
- [0114] 제1 딥 롤링 공구에 부착된 제1 컴퓨터 수치제어 기계(a first computer numerically controlled (CNC) machine)를 포함하고,
- [0115] 제1 CNC 기계는 작업물에 대해 0.01인치/초 내지 10인치/초의 속도로 제1 딥 롤링 공구의 이동을 제어하고, 그리고 제1 CNC 기계는 제1 딥 롤링 공구에 의해 작업물의 제1 측면으로 윤곽의 도입을 제어하고, 상기 윤곽은 약 1인치 내지 약 300 피트의 반경을 가진다.
- [0117] 항목 19
- [0118] 항목 18의 시스템에 있어서,
- [0119] 딥 롤링 공구 및 제2 CNC 기계를 더 포함하고, 제2 딥 롤링 공구는 작업물의 제2 측면에 제2 압축력을 적용하도록 위치된다.
- [0121] 항목 20.
- [0122] 항목 19의 시스템에 있어서,
- [0123] 제2 딥 롤링 공구가 작업물의 제2 측면에 제2 압축력을 적용할 때에 동시에 제1 딥 롤링 공구가 작업물의 제1 측면에 제1 압축력을 적용할 수 있다.
- [0125] 본 출원에 사용된 것처럼, 상대 위치의 용어는 작업물의 방향에 상관없이, 작업물의 일반적인 평면 또는 작업 표면에 평행한 평면에 기초하여 정의된다. 본 출원에 사용된 것처럼, 용어 "수평(horizontal)" 또는 "측면(lateral)"은 작업물의 방향에 상관없이, 작업물의 일반적인 평면 또는 작업 표면에 평행한 평면으로서 정의된다. 용어 "수직(vertical)"은 수평에 수직인 방향을 나타낸다. 용어 "에(on)", "측면(side)"(측면벽에서 처럼(as in "sidewall")), "더 높은(higher)", "더 낮은(lower)", "위에(over)", "상부(top)" 및 "아래(under)" 같은 용어들은 작업물의 방향에 상관없이, 작업물의 상부면에 있는 일반적인 평면 또는 작업 표면에 대해 정의되어진다.

부호의 설명

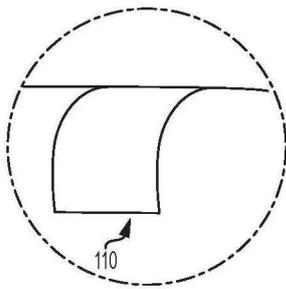
- [0126] 100: 항공기
- 110: 알루미늄 외관 패널
- 200: 딥 롤링 시스템
- 210: 딥 롤링 공구(a deep rolling tool)
- 220: 딥 롤링 헤드
- 230: 컴퓨터 수치제어(CNC)기계
- 240: 고정장치
- 270: 제어 시스템
- 290: 작업물

도면

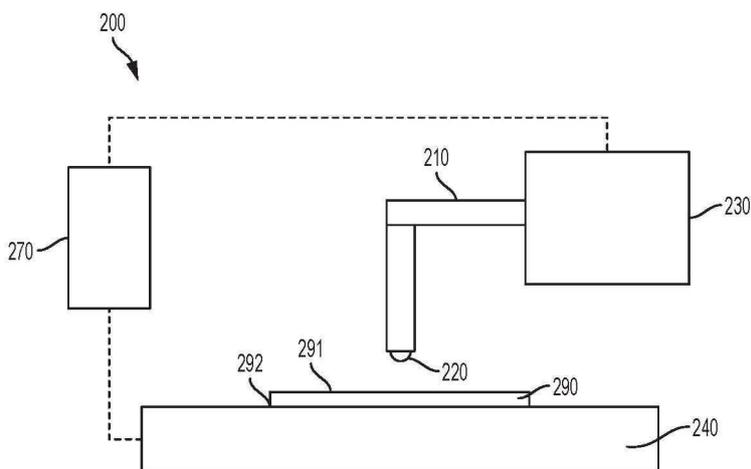
도면1a



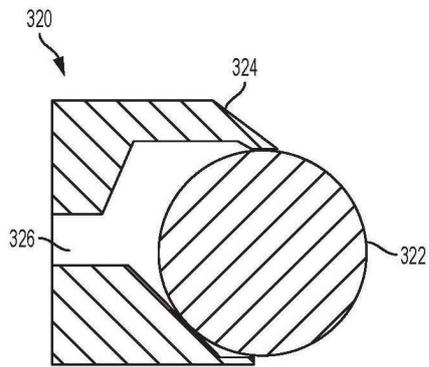
도면1b



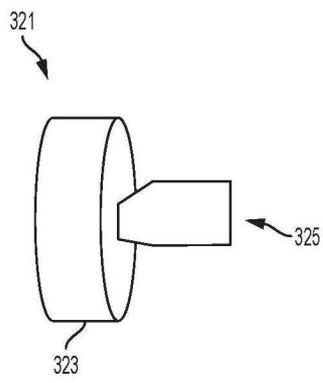
도면2



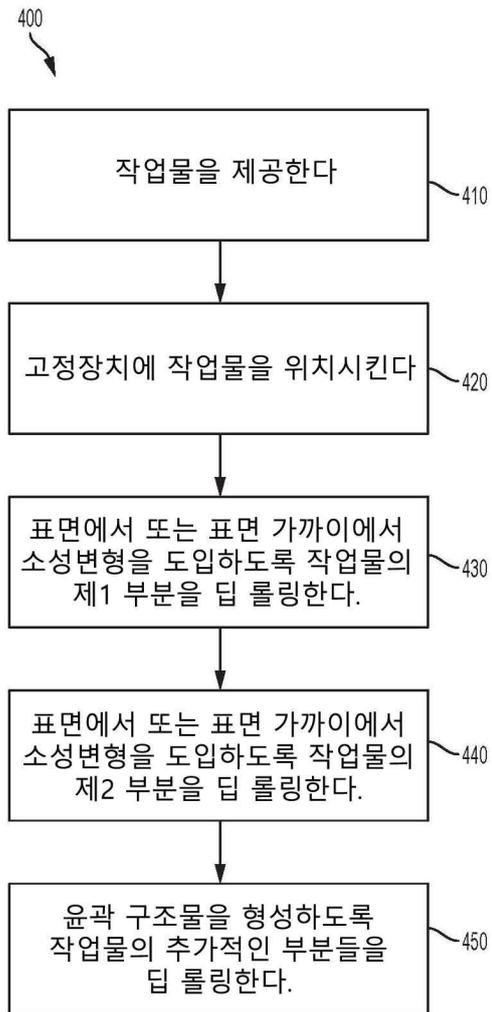
도면3a



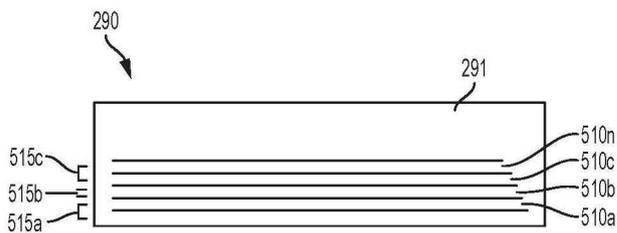
도면3b



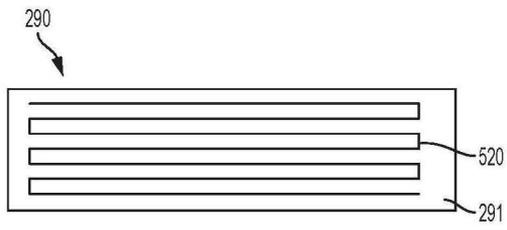
도면4



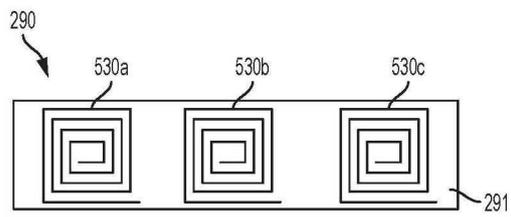
도면5a



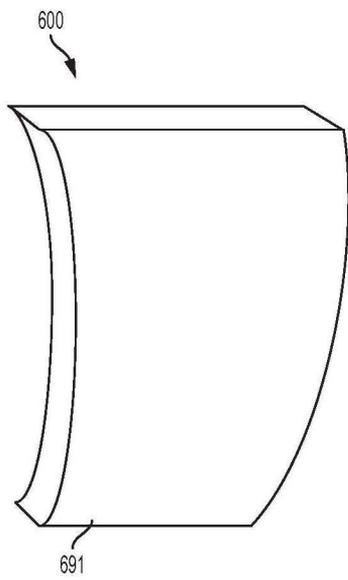
도면5b



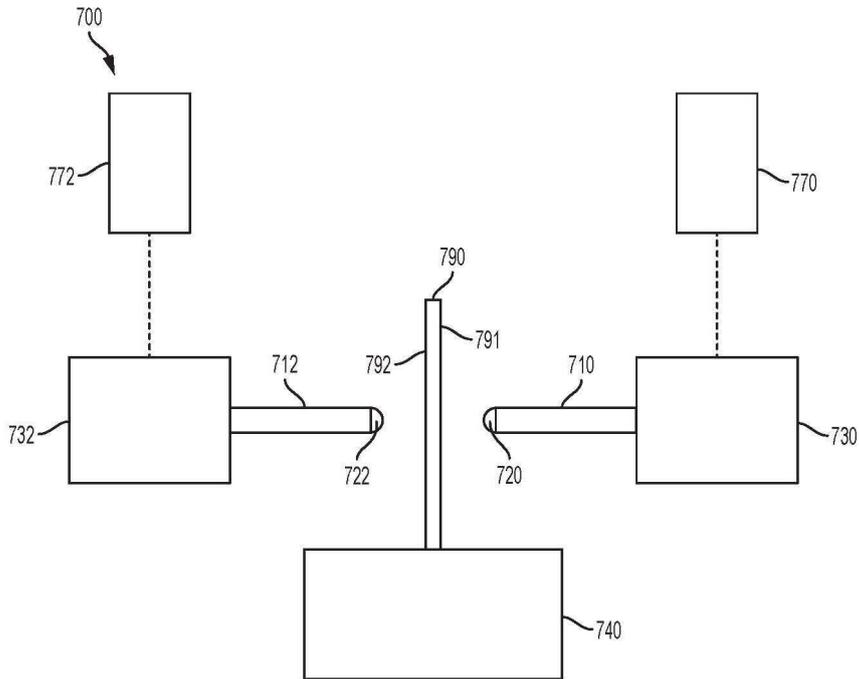
도면5c



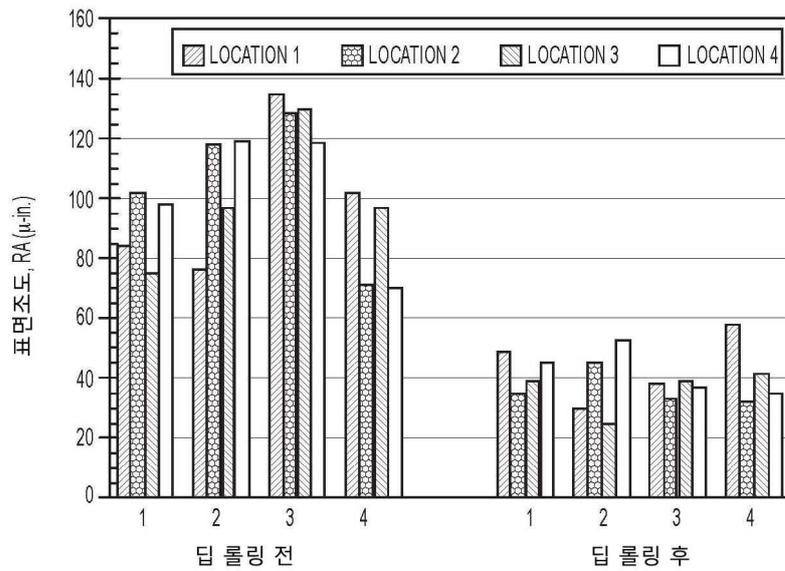
도면6



도면7



도면8



도면9

