



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2014년09월23일
(11) 등록번호 10-1440671
(24) 등록일자 2014년09월04일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
B23K 26/38 (2014.01) B23K 26/14 (2014.01)
B23K 26/04 (2014.01)
(21) 출원번호 10-2011-7002204
(22) 출원일자(국제) 2009년06월26일
심사청구일자 2012년08월24일
(85) 번역문제출일자 2011년01월27일
(65) 공개번호 10-2011-0038073
(43) 공개일자 2011년04월13일
(86) 국제출원번호 PCT/DE2009/000911
(87) 국제공개번호 WO 2009/155910
국제공개일자 2009년12월30일
(30) 우선권주장
10 2008 030 783.1 2008년06월28일 독일(DE)
(56) 선행기술조사문헌
JP05057470 A*
KR1020030014755 A*
JP08500060 A*
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
트럼프 베르크초이그마쉬넨 게엠베하 + 코. 카게
독일 71254 디트즈잉겐 요한-마우스-슈트라세 2
(72) 발명자
세프 플로리안
독일 86972 알텐스타트 주그스피츠스트라세 9
메츠쉬 볼케르
독일 74379 인게르스하임 마르크스트라세 9
(74) 대리인
김태홍

전체 청구항 수 : 총 13 항

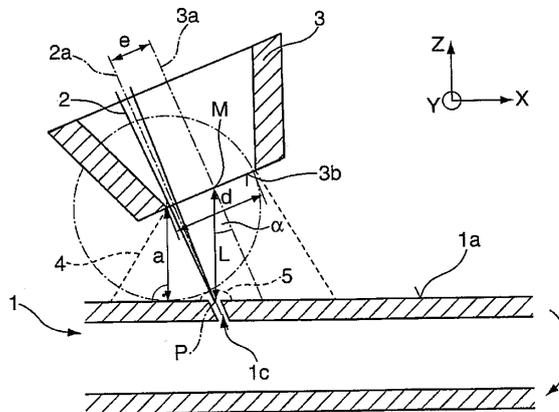
심사관 : 우귀애

(54) 발명의 명칭 **노즐 축선에 대해 레이저 절단 비임을 편심되게 배향시켜 경사 절단하는 방법, 이에 상응하는 레이저 가공 헤드 및 레이저 가공 기계**

(57) 요약

본 발명은 공작물(1)을 경사 레이저 비임 절단하는 방법에 관한 것으로서, 절단 가스 노즐(3)로부터 배출되는 초음속 절단 가스 흐름(4)을 공작물 표면(1a)에 대해 경사 절단각(α)으로 배향시키고, 경사 레이저 비임 절단 작업 중에 상기 공작물(1)과 레이저 절단 비임(2)을 서로에 대해 상대 이동시키되, 상기 경사 절단각(α)은 이송 방향(Y)에 대해 직교하게 연장하는 것인 경사 레이저 비임 절단 방법에 관한 것이다. 상대 이동 중에 공작물 표면(1a) 상에서의 레이저 절단 비임(2)의 위치(P)를, 레이저 절단 비임(2)이 초음속 절단 가스 흐름(4) 내에 형성된 고압 영역(5)에서 공작물 표면(1a)을 타격하도록 조절한다. 본 발명은 또한 그러한 방법을 수행하는 레이저 가공 기계에 관한 것이다.

대표도 - 도1b



특허청구의 범위

청구항 1

공작물(1)을 경사 레이저 비임 절단하는 방법으로서, 절단 가스 노즐(3)로부터 배출되는 초음속 절단 가스 흐름(4)을 공작물 표면(1a)에 대해 경사 절단각(α)으로 배향시키고, 경사 레이저 비임 절단 작업 중에 상기 공작물(1)과 레이저 절단 비임(2)을 서로에 대해 상대 이동시키되, 상기 경사 절단각(α)은 이송 방향(Y)에 직교하는 평면을 따라 연장하는 것인 경사 레이저 비임 절단 방법에 있어서,

상대 이동 중에 상기 공작물 표면(1a) 상에서의 레이저 절단 비임(2)의 위치(P)를, 레이저 절단 비임(2)이 초음속 절단 가스 흐름(4) 내에서 정체 지점을 중심으로 형성되고 주변 영역보다 압력이 높은 영역(5)에서 공작물 표면(1a)을 타격하도록 조절하고,

상기 레이저 절단 비임(2)의 위치(P)는 절단 가스 노즐(3)과 공작물 표면(1a) 사이의 간격(a)과 노즐 개구(3b)의 직경(d)에 따라 결정하는 것을 특징으로 하는 경사 레이저 비임 절단 방법.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 레이저 절단 비임(2)의 위치(P)를 조절하기 위해, 절단 가스 노즐(3)과 공작물(1) 사이의 간격(a)을 경사 레이저 비임 절단 작업 중에 결정하는 것을 특징으로 하는 경사 레이저 비임 절단 방법.

청구항 3

제2항에 있어서, 상기 간격(a)을 결정하기 위해, 상기 절단 가스 노즐(3)과 공작물(1) 사이의 전기 용량을 측정하고, 이 전기 용량에 대한 경사 절단각(α)의 영향을 간격(a)의 결정 시에 고려하는 것을 특징으로 하는 경사 레이저 비임 절단 방법.

청구항 4

제1항 내지 제3항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 레이저 절단 비임(2)과 절단 가스 노즐(3)의 노즐 축선(3a)은 서로 평행하게 배향되고, 상기 공작물 표면(1a)에서의 레이저 절단 비임(e)의 위치는 레이저 절단 비임(2)과 노즐 축선(3a) 사이의 간격(e)을 변경함으로써 조절되는 것인 경사 레이저 비임 절단 방법.

청구항 5

제1항 내지 제3항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 레이저 절단 비임(2)과 절단 가스 노즐(3)의 노즐 축선(3a)은 평행하지 않게 배향되며, 상기 공작물 표면(1a)에서의 레이저 절단 비임(2)의 위치(P)는 레이저 절단 비임(2)을 비스듬하게 집속(skewed focusing)함으로써 조절되는 것인 경사 레이저 절단 방법.

청구항 6

제5항에 있어서, 상기 레이저 절단 비임(2)의 비스듬한 집속을 위해, 집속 소자(13) 및 레이저 절단 비임(2)의 비임 경로에서 집속 소자(13)의 상류측에 배치된 방향 전환 거울(12a) 중 하나 이상을 기울이는 것을 특징으로 하는 경사 레이저 비임 절단 방법.

청구항 7

제1항 내지 제3항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 레이저 절단 비임(2)은 공작물의 상면(1a) 아래로 공작물(1)의 두께(D)의 50%보다 큰 간격만큼 떨어져 집속되는 것을 특징으로 하는 경사 레이저 비임 절단 방법.

청구항 8

공작물(1)을 경사 레이저 비임 절단하는 레이저 가공 기계(7)로서,

공작물 표면(1a)에 대해 경사 절단각(α)으로 배향되어 초음속 절단 가스 흐름(4)을 생성할 수 있는 절단 가스 노즐(3),

이송 방향(Y)에 직교하는 평면을 따라 연장하는 경사 절단각(α)으로 공작물(1)과 레이저 절단 비임(2)을 서

로에 대해 상대 이동시키는 이동 수단, 및

상기 공작물 표면(1a) 상의 위치(P)에 레이저 절단 비임(2)을 위치 설정하는 레이저 가공 헤드(9)

를 포함하는 레이저 가공 기계(7)에 있어서,

초음속 절단 가스 흐름(4)에 대한 공작물 표면(1a) 상에서의 레이저 절단 비임(2)의 위치(P)를 조절하는 조절 장치, 및

상기 레이저 절단 비임(2)이 상대 이동 중에 초음속 절단 가스 흐름(4) 내에서 정체 지점을 중심으로 형성되고 주변 영역보다 압력이 높은 영역(5) 내에 유지되도록 공작물 표면(1a)에서의 레이저 절단 비임(2)의 위치(P)를 조절하도록 구성된 제어 장치(16)를 더 포함하고,

상기 제어 장치(16)는 절단 가스 노즐(3)과 공작물 표면(1a) 사이의 간격(a)과 노즐 개구(3b)의 직경(d)에 따라 상기 레이저 절단 비임(2)의 위치(P)를 결정하도록 구성되는 것을 특징으로 하는 레이저 가공 기계.

청구항 9

제8항에 있어서, 절단 가스 노즐(3)과 공작물(1) 사이의 간격(a)을 측정하는 간격 측정 장치(6)를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 레이저 가공 기계.

청구항 10

제9항에 있어서, 상기 간격 측정 장치(6)는 절단 가스 노즐(3)과 공작물(1) 간의 전기 용량을 측정하고, 이 전기 용량에 대한 경사 절단각(α)의 영향을 고려하여 상기 간격(a)을 결정하도록 구성되는 것을 특징으로 하는 레이저 가공 기계.

청구항 11

제8항 내지 제10항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 조절 장치는 절단 가스 노즐(3)의 노즐 축선(3a)과, 이 노즐 축선(3a)에 대해 평행하게 배향된 레이저 절단 비임(2) 간의 간격(e)을 변경함으로써 공작물 표면(1a)에서의 레이저 절단 비임(2)의 위치(P)를 조절하는 변위 장치(15)를 구비하는 것을 특징으로 하는 레이저 가공 기계.

청구항 12

제8항 내지 제10항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 조절 장치는 비스듬한 집속에 의해 공작물 표면(1a)에서의 레이저 절단 비임(2)의 위치(P)를 조절하도록 집속 소자(13) 및 레이저 절단 비임(2)의 비임 경로에서 집속 소자(13)의 상류측에 배치된 방향 전환 거울(12a) 중 하나 이상을 기울이는 틸팅 장치(17)를 구비하는 것을 특징으로 하는 레이저 가공 기계.

청구항 13

제8항에 따른 레이저 가공 기계(7)의 제어 장치(16)에서 실행될 때에 제1항에 따른 경사 레이저 절단 방법을 모두 수행하도록 된 가공 프로그램을 설치하는 인코딩 수단을 구비하는 컴퓨터 프로그램을 포함하는 컴퓨터 판독 가능 저장 매체.

청구항 14

삭제

청구항 15

삭제

명세서

기술분야

[0001] 본 발명은, 공작물을 경사 레이저 비임 절단(oblique laser beam cutting)하는 방법으로서, 절단 가스 노즐로부터 배출되는 초음속 절단 가스 흐름을 공작물 표면에 대해 경사 절단각으로 배향시키고, 경사 레이저 비임

절단 작업 중에 공작물과 레이저 절단 비임을 서로에 대해 상대 이동시키되, 경사 절단각은 이송 방향에 대해 직교하게 연장하는 것인 경사 레이저 비임 절단 방법에 관한 것이다. 본 발명은, 공작물을 경사 레이저 비임 절단하는 레이저 가공 기계로서, 공작물 표면에 대해 경사 절단각으로 배향되어 초음속 절단 가스 흐름을 생성할 수 있는 절단 가스 노즐, 이송 방향에 대해 직교하게 연장하는 경사 절단각으로 공작물과 레이저 절단 비임을 서로에 대해 상대 이동시키는 이동 수단, 및 공작물 표면 상의 소정 위치에서 레이저 절단 비임을 위치 설정하는 레이저 가공 헤드를 포함하는 레이저 가공 기계에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 2개의 공작물, 특히 관형 공작물을 서로 연결하여 예를 들어 90°의 앵글을 이루도록 하기 위해서는 공작물을 먼저 45°의 각도로 경사지게 분리한 후에 이들을 절단 가장자리에서 서로에 용접할 수 있다. 이러한 용접 작업에서, 절단 가장자리는 가능한 한 최대한 편평하게 서로에 맞대어져야 하지만, 이는 절단 작업 중에 레이저 절단 비임이 공작물 표면의 법선에 직교하게 배향되는 경우에 분리 중에 흰 절단면이 생성되기 때문에 불가능하다. 이를 방지하기 위해, 소위 경사 레이저 비임 절단 중에, 레이저 절단 비임 및 레이저 절단을 촉진시키는 초음속 절단 가스 흐름이 법선에 대해 소정 각도, 소위 경사 절단각으로 경사지게 된다. 경사 절단각이 절단 작업 중에 변한다면, 관의 경사 절단의 경우라도 편평한 절단면을 생성하여 절단 가장자리의 용접을 상당히 간단하게 할 수 있을 것이다. 물론, 경사 절단 작업은 관형 공작물에서만뿐만 아니라 특히 두꺼운 플레이트형 공작물에서도 수행되어, 경사 절단 작업 중에 형성된 경사 절단 가장자리에서 공작물을 보다 용이하게 용접할 수 있도록 할 수 있다.

[0003] 그러나, 전술한 바와 같은 경사 레이저 비임 절단 작업은 아직 결코 완벽하게 숙달되지 않았는데, 다시 말해 공작물 표면에 대해 직교하게 배향된 레이저 절단 비임을 사용한 통상의 레이저 비임 절단에 비해 상당한 이송 속도 감소(45°의 경사 절단각에서 70%에 상당)와 상당한 품질 감소를 고려해야 한다. 특히, 경사 레이저 비임 절삭 작업 중에 생성된 절단 가장자리들은 경사 절단각에 따라 변화하는 상이한 표면 품질, 한쪽 절단 가장자리에서 관찰될 수 있는 상당한 버어(burr) 형성, 및 다른 쪽 절단 가장자리에서의 거친 표면 구조를 갖는다.

[0004] 논문 "Melt Expulsion by a Coaxial Gas Jet in Trepanning of CMSX-4 with Microsecond Nd:YAG Laser Radiation"(J. Willach 등, Proceedings of the SPIE, Vol. 5063, 페이지 435-440)으로부터, 터빈 블레이드에 미세구멍들을 트레파닝 가공(trepanning)하는 경우, 공작물에 대해 경사 절단각으로 배향된 레이저 절단 비임과, 이와 평행하게 배향된 초음속 절단 가스 흐름 또는 절단 가스 노즐을 서로 측방향으로 변위시켜 구멍 바로 위에 초음속 절단 가스 흐름의 정체 지점 또는 고압 영역을 배치하도록 하는 것이 공지되어 있다. 이러한 식으로, 가스 압력 및 경화된 용융물의 두께가 가스 흐름과 레이저 비임 축선을 동축으로 배향한 경우와 같이 구멍의 벽을 따라 주기적으로 변하는 것이 방지될 것이다. 측방향 변위로 인해, 그러한 변동이 방지되고 구멍을 통과하는 가스 흐름이 증가하여 구멍의 아래쪽에서의 용융물의 용이한 배출이 달성될 것이다. 트레파닝 가공에 의해 얻어지는 구멍의 크기를 증가시키기 위해, 그 구멍 바로 옆에 겹쳐지게 추가적인 구멍을 배치하는 데, 구멍들 간에 50% 내지 80% 범위의 오버랩이 특히 유리한 것으로 확인되었다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0005] 본 발명의 목적은 고품질의 절단이 높은 이송 속도로 이루어질 수 있게 하는 방식으로 행하는 경사 레이저 비임 절단 방법 및 이 방법을 수행하는 레이저 가공 장치를 개발하는 데에 있다.

과제의 해결 수단

[0006] 이러한 목적은 본 발명에 따르면 서두에 언급한 형태의 방법에서, 상대 이동 중에 공작물 표면 상에서의 레이저 절단 비임의 위치를, 레이저 절단 비임이 초음속 절단 가스 흐름 내에서 정체 지점을 중심으로 형성되고 주변 영역보다 압력이 높은 영역, 즉 고압 영역에서 공작물 표면을 타격하도록 조절함으로써 달성된다. 초음속 절단 가스 흐름 내의 고압 영역의 위치는 레이저 절단 작업 중에 변경될 수 있는 경사 절단각에 좌우된다. 이 경우, 공작물 표면에 대해 레이저 절단 비임이 직교하게 배향되지 않는 각도에 따라 공작물 표면에서의 고압 영역 및 이에 따른 레이저 절단 비임의 위치가 초음속 절단 가스 흐름의 중심에 상응하는 절단 가스 노즐의 노즐 축선에 대해 변위된다.

[0007] 본 발명자들은 레이저 절단 비임과 초음속 절단 가스 흐름의 중심 간의 변위가 구멍의 생성(트레파닝 가공)시

에 뿐만 아니라, 경사 레이저 비임 절단 작업 중에, 즉 공작물과 레이저 절단 비임 간의 이송 이동 중에도 유리하다는 점을 인지하였는데, 그러한 절단 작업의 경우에 절단 가스의 동적 작용(dynamics)이 제한 인자를 이루기 때문으로, 절단 가스의 대부분이 초음속 절단 가스 흐름에 대해 경사지게 연장하는 공작물 표면 위에서 멀어지게 흘러 절단 작업에 더 이상 이용할 수 없게 되고, 이로 인해 절단 간극 내에 생성되는 정압 수준이 너무 낮아지게 되기 때문이다.

[0008] 레이저 절단 비임과 초음속 절단 가스 흐름의 중심 간의 원하는 변위(편심도)를 생성함으로써, 유체역학적 측면에서 보다 바람직한 영역으로의 절단 간극의 변위가 달성될 수 있다. 레이저 절단 비임 또는 절단 간극의 변위는 이송 방향에 대해 직교하게, (가변적인) 경사 절단각에 좌우되는 정해진 값만큼 이루어진다. 이와 같이 절단 간극 내에서의 초음속 절단 가스 흐름의 개선된 커플링은 절단 간극에서의 정압 수준을 다수개의 자릿수만큼 증가시키게 된다. 예시적인 수치적 유동 계산에서는 종래의 방법의 실시예에 비해 약 350%만큼의 증가를 제공하였다. 절단 간극에서의 정압 수준의 증가는 용융물의 배출을 개선하고 나아가서는 금속 용융물의 축적으로 인한 절단 간극의 과열을 방지하는 것으로 확인되었다. 따라서, 이러한 식으로 최적화된 용융물 배출 능력은 바로 증가된 이송 속도로 전환될 수 있다. 달성되는 이송 속도는 종래의 레이저 비임 절단에 의해 얻어질 수 있는 금속 시트 두께에 좌우되는 이송 속도와는 전혀 다르다. 또한, 양쪽의 절단 가장자리에서 수직 레이저 비임 절단의 경우에 필적하는 가장자리 및 표면 품질을 생성할 수 있다.

[0009] 경사 절단각의 변화는 특히 관의 경사 절단의 경우에 필요한데, 이는 관의 45° 부분에서 편평한 절단면을 생성하기 위해서는 이송 방향에 대해 직교하는 경사 절단각을 예를 들면 -45° 와 45° 사이에서 변화시켜야 하기 때문이다. 공작물의 직교 배향(경사 절단각이 0°)의 경우에 공작물 상에서의 고압 영역은 초음속 절단 가스 흐름의 중심에 있고, 비(非)수직 배향의 경우에 고압 영역의 위치가 그 중심으로부터 벗어나 경사 절단각에 따라 변하여, 레이저 비임이 경사 절단 작업 중에 고압 영역 내에 유지되도록 보장하기 위해 공작물에서의 레이저 비임의 위치를 따라가도록 해야 한다.

[0010] 바람직한 변형예에서, 레이저 절단 비임의 위치를 조절하기 위해, 절단 가스 노즐과 공작물 사이의 간격이 레이저 비임 절단 작업 중에 결정된다. 절단 가스 노즐과 공작물 사이의 간격은 대체로 경사 절단 작업 중에 경사 절단각을 변경함으로써 변경된다. 공작물 상에서의 고압 영역의 위치는 또한 절단 가스 노즐과 공작물 사이의 간격에도 좌우되기 때문에, 경사 절단 작업 중에 간격을 가능한 한 연속적으로 확인하고, 확인된 간격을 이용하여 레이저 절단 비임의 위치를 조절 또는 조정하는 것이 유리하다.

[0011] 유리한 실시예에서, 간격을 결정하기 위해, 절단 가스 노즐과 공작물 사이의 전기 용량이 측정되고, 이 전기 용량에 대한 경사 절단각의 영향을 간격 결정 시에 고려한다. 절단 가스 노즐과 공작물 사이의 간격의 전기 용량적 측정은 기본적으로 공지된 것으로, 본 출원인 명의의 EP 0 873 813 B1 또는 EP 1 684 046 A1에 개시된 바와 같이 수행될 수 있으며, 이와 관련하여 그 특허 문헌들 참조로서 본 명세서에 인용된다. 경사 절단각을 변경하는 경우, 공작물에 대해 절단 가스 노즐의 배향이 변경되고, 이는 절단 가스 노즐과 공작물 사이의 전기력선을 변경하고 이에 따라 동일한 간격의 경우라도 전기 용량을 변경하게 된다. 따라서, 경사 절단각에 따른 전기 용량의 변화가 각각의 경우에 있어서의 해당 경사 절단각에 대한 정확한 간격 값을 얻기 위해 간격 측정에 고려되어야 한다.

[0012] 유리한 변형예에서, 레이저 절단 비임의 위치는 절단 가스 노즐과 공작물 표면 사이의 간격 a와 노즐 개구의 직경 d에 따라 결정된다. 초음속 절단 가스 흐름의 중심과 이 초음속 절단 가스 흐름에 대해 평행하게 배향된 레이저 절단 비임(이상적인 절단 간극 위치에서 고압 영역의 중심에 배치됨) 사이의 간격 e는 3개의 매개 변수 a, a 및 d에 따라 아래와 같이 결정될 수 있다.

[0013]
$$e = \sin(a) (a + (d/2) \sin(a))$$

[0014] 이에 대해서는 아래에서 보다 상세하게 설명한다. 현재의 경사 절단각 a, 노즐 직경 d, 및 간격 a(선택적으로는 간격 측정을 통해 알게 됨)이 기계 제어 시스템에 알려지기 때문에, 그 방법을 수행하는 레이저 가공 기계는 경사 레이저 비임 절단 작업 중에 그 자신의 편심도 e를 결정하여 적절한 방식으로 그 편심도를 조절할 수 있다. 특히, 필요한 모든 변수는 수치 제어 시스템의 기계 코드에서 미리 결정될 수 있다. 물론, 노즐 직경을 원형의 노즐 개구의 직경으로 이해할 필요는 없고, 그 대신에 예를 들면 타원 형상의 노즐 개구와 같은 기타 기하학적 형상을 갖는 절단 가스 노즐이 선택적으로 이용될 수도 있다. 이 경우, 노즐 개구의 직경은 이송 방향에 대해 직교하는 방향에서의 현재 (최대) 크기를 지칭한다.

[0015] 바람직한 변형예에서, 레이저 절단 비임과 절단 가스 노즐의 노즐 축선은 서로 평행하게 배향되고, 공작물 표면에서의 레이저 절단 비임의 위치는 레이저 절단 비임과 노즐 축선 사이의 간격을 변경함으로써 조절된다.

이는 절단 가스 노즐(고정)에 대해 레이저 비임이 있는 렌즈 튜브를 변위시키거나, 고정된 레이저 비임에 대해 절단 가스 노즐을 변위시키거나, 이러한 두 가지 이동을 중첩시켜 행할 수 있다. 어느 경우든, 편심도 e 를 결정하기 위해 상기한 식이 이용될 수 있고, 이는 또한 선택적으로는 (일정한) 수정 인자의 추가에 의해 특정 작동 조건에 맞춰질 수도 있다.

[0016] 특히 유리한 변형예에서, 레이저 절단 비임과 절단 가스 노즐의 노즐 축선은 평행하게 배향되지 않으며, 공작물 표면에서의 레이저 절단 비임의 위치는 바람직하게는 레이저 절단 비임을 비스듬하게 집속(skewed focusing)함으로써 조절된다. 본 발명자들은 반드시 레이저 절단 비임을 노즐 축선에 대해 평행하게 배향시킨다거나, 레이저 절단 비임을 전체적으로 노즐 개구에 대해 변위시켜 공작물 표면에서의 변위를 생성할 필요가 없다는 점을 인식하였다. 대신에, 본 발명에 대해 요구되는 비교적 작은 비임 변위는 또한 예를 들면 레이저 절단 비임을 비스듬하게 집속함으로써 달성될 수 있는 데, 다시 말해 레이저 절단 비임은 다른 경우에서와 같이 집속 소자에 실질적으로 수직한 방식으로 충돌하는 것이 아니라, 그 광축이 집속 소자에 대해 경사져 레이저 절단 비임이 집속 소자에서 방향 전환되고, 이에 의해 노즐 축선에 대한 측방향 변위가 또한 달성된다.

[0017] 바람직한 실시예에서, 레이저 절단 비임의 비스듬한 집속을 위해, 집속 소자 및/또는 레이저 절단 비임의 비임 경로에서 집속 소자의 상류측에 배치된 방향 전환 거울이 기울어진다. 방향 전환 거울 또는 집속 소자(렌즈)의 비교적 작은 방향 변경도 공작물 상에서의 레이저 가공 비임의 비교적 큰 편심도를 달성하기에 충분하다. 특히, 방향 전환 거울이 기울어지는 경우에, 그 조절 장치는 실제 작동 위치로부터 충분히 멀리 떨어져 있게 되어 혼란에 덜 민감하도록 된다.

[0018] 특히 유리한 변형예에서, 레이저 절단 비임은 공작물의 상면 아래로 공작물의 두께의 50%보다 큰 간격, 바람직하게는 70%보다 큰 간격만큼 떨어져 집속된다. 본 발명자들은, 초점이 공작물 표면이나 공작물의 상측 1/3 부분 또는 상측 절반부에 집속되어 깔때기형 절단 간극을 형성하는 종래의 레이저 절단 작업과는 달리, 본 발명의 적용시에 공작물의 하측 절반부에 선택적으로는 심지어 공작물의 하면 아래에 집속하면 레이저 절단 작업의 고품질을 보장하는 데에 유리하다는 점을 확인하였다.

[0019] 절단 가스로서 불활성 가스, 특히 질소를 선택할 수도 있다. 초음속 절단 가스 흐름은 일반적으로 불활성 가스에 의해 이루어지는 데, 다시 말해 예를 들면 산소와 같은 반응 가스에 의한 추가적인 에너지 부담이 발생하지 않는다. 이 경우, 절단 가스는 10 bar 보다 높은 고압, 통상 약 15 bar, 선택적으로는 심지어 20 bar 이상의 고압이다.

[0020] 본 발명은 또한 서두에 언급한 형태의 레이저 가공 기계에서, 추가로, 초음속 절단 가스 흐름에 대한 공작물 표면 상에서의 레이저 절단 비임의 위치를 조절하는 조절 장치, 및 레이저 절단 비임이 상대 이동 중에 초음속 절단 가스 흐름 내에 형성된 고압 영역 내에 유지되도록 공작물 표면에서의 레이저 절단 비임의 위치를 조절하도록 구성된 제어 장치를 구비하는 레이저 가공 기계로서 구현된다. 이 레이저 가공 기계는 특히 관형 공작물을 레이저 비임 절단하도록 구성될 수 있다. 그러나, 경사 절단 작업은 다른 공작물, 특히 경사 절단 각이 경사 레이저 비임 절단 작업 중에 일정하게 유지될 수 있는 플레이트형 공작물에서도 이루어질 수 있다는 점은 자명할 것이다.

[0021] 바람직한 실시예에서, 레이저 가공 기계는 절단 가스 노즐과 공작물 사이의 간격을 측정하는 간격 측정 장치를 구비한다. 간격 측정은 예를 들면 광학적 또는 기계적으로 수행될 수 있다. 간격 측정 장치를 이용하여, 그 간격이, 한편으로는 절단 가스 노즐과 공작물 또는 이로부터 돌출한 부분과의 접촉을 방지하기에는 충분히 크고, 다른 한편으로는 공작물에서 절단 가스 비임의 양호한 커플링을 가능하게 하기에는 충분히 작도록 조절될 수 있다.

[0022] 특히 유리한 실시예에서, 간격 측정 장치는 절단 가스 노즐과 공작물 간의 전기 용량을 측정하고, 이 전기 용량에 대한 경사 절단각의 영향을 고려하여 절단 가스 노즐과 공작물 표면 간의 간격을 결정하도록 구성된다. 이를 위해, 간격 측정 장치에는 각각의 경사 절단각(예를 들면, 0° , 15° , 30° , 45° 등)에서의 전기 용량과 간격 간의 관계를 규정하는 특성선이 저장될 수 있다. 이 특성선은 절단 가스 노즐과 공작물 표면 사이의 간격(기지의 간격)을 일정한 경사 절단각에 대해 변화시키는 캘리브레이션 측정(calibration measurement)에 의해 얻어질 수 있다.

[0023] 특히 바람직한 실시예에서, 제어 장치는 절단 가스 노즐과 공작물 표면 사이의 간격 및 노즐 개구의 직경에 따라 경사 절단각에 적합한 레이저 절단 비임의 위치를 결정하도록 구성된다. 이는 특히 상기한 식에 의해 간단한 방식으로 수행될 수 있다.

[0024] 다른 유리한 실시예에서, 조절 장치는 절단 가스 노즐의 노즐 축선과, 이 노즐 축선에 대해 평행하게 배향된 레이저 절단 비임 간의 간격을 변경함으로써 공작물 표면에서의 레이저 절단 비임의 위치를 조절하는 변위 장치를 포함한다. 변위 장치로서는 예를 들면 레이저 가공 헤드에 장착되어 레이저 가공 헤드에 대해 절단 가스 노즐을 통상 노즐 축선에 대해 직교하게 배향되는 공간 방향으로 이동시킬 수 있는 리니어 모터를 이용할 수 있다. 대안적으로, 또는 추가로, 렌즈 튜브 또는 광학 소자, 예를 들면 방향 전환 거울을 비임 가이드 내에서 변위시키거나 기울어지게 하여 노즐 개구에서의 레이저 절단 비임의 위치를 변경하고, 이에 의해 노즐 축선과 레이저 절단 비임 간의 측방향 변위를 달성할 수 있다.

[0025] 다른 유리한 실시예에서, 조절 장치는 비스듬한 집속에 의해 공작물 표면에서의 레이저 절단 비임의 위치를 조절하도록 집속 소자 및/또는 레이저 절단 비임의 비임 경로에서 집속 소자의 상류측에 배치된 방향 전환 거울을 기울이는 틸팅 장치를 포함한다. 비스듬한 집속에 의해, 레이저 절단 비임의 비임 변위 또는 편심도는 또한 공작물 표면 상에서 초음속 절단 가스 흐름에 대해, 그리고 본 예의 경우에 서로 평행하게 연장하지 않는 절단 가스 노즐의 노즐 축선과 레이저 절단 비임의 비임 축선에 대해 조절될 수 있다.

[0026] 물론, 레이저 절단 비임과 초음속 절단 가스 흐름 간의 측방향 변위를 생성하기 위한 전술한 가능성 외에도, 예를 들면 레이저 절단 비임을 특히 방사상으로 대칭을 이루지 않는 노즐 개구를 통해 비스듬하게 연장시키는 것과 같은 기타 가능성도 있으며, 노즐 본체를 회전시킴으로써 레이저 절단 비임과 초음속 절단 가스 흐름 간의 측방향 변위를 생성할 수도 있다.

[0027] 본 발명은 또한, 레이저 가공 기계의 제어 장치에서 실행될 때에 전술한 방법의 단계들을 모두 수행하도록 된 가공 프로그램을 설치하는 인코딩 수단을 구비하는 컴퓨터 프로그램 제품으로 구현된다. 이 컴퓨터 프로그램 제품은 적절한 작업면을 통해 사용자에게 의해 미리 결정될 수 있는 원하는 경사 절단 작업과 관련된 데이터(공작물의 종류, 그 윤곽의 종류 등)에 기초한 가공 프로그램을 설치하기에 적합한 인코딩 수단으로서 프로그램 코드가 저장된 예를 들면 디스크 또는 기타 데이터 매체일 수 있다. 가공 프로그램은 공작물을 가공하기 오래 전에 설치되어, 단지 가공 바로 전에 컴퓨터 판독 가능 매체 또는 다른 형태의 데이터 전송에 의해 제어 장치로 전송된다.

도면의 간단한 설명

[0028] 본 발명의 다른 이점은 상세한 설명 및 도면으로부터 드러날 것이다. 전술한 특징과 후술하는 특징은 개별적으로 이용되거나, 임의의 조합으로 함께 이용될 수 있다. 도시하고 설명하는 실시예들은 확정적인 기재로서 이해할 것이 아니라 본 발명을 설명하는 예시적인 성질을 갖는다.

도 1a 및 도 1b는, (a) 편평한 절단면의 45° 부분을 갖는 관형 공작물, 및 (b) 초음속 절단 가스 흐름에 대해 편심되게 배향된 레이저 절단 비임에 의해 그러한 부분을 생성하는 본 발명에 따른 경사 레이저 절단 방법을 개략적으로 도시하는 도면이며,

도 2a 내지 도 2c는 각각 0°, 30°, 45° 의 경사 절단각에서의 공작물과 절단 가스 노즐 사이의 전기장 세기를 개략적으로 나타내는 도면이고,

도 3a 및 도 3b는 관형 또는 플레이트형 공작물을 가공하기 위한 본 발명에 따른 레이저 가공 기계의 일부분을 개략적으로 나타내는 도면이며,

도 4a 및 도 4b는, (a) 레이저 절단 비임의 비스듬한 집속, 및 (b) 레이저 절단 비임과 초음속 절단 가스 흐름 간의 측방향 변위를 각각 생성하는 타원형 단면을 갖는 회전 절단 가스 노즐을 개략적으로 나타내는 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0029] 도 1a는 45° 부분에 편평한 절단면(1b)이 형성된 관형 공작물(1)을 도시하는 것으로, 그 편평한 절단면(1b)은 편평한 절단면을 갖는 추가적인 관형 공작물(도시 생략)에 용접되어 절단면들을 연결하는 얇은 용접 시임을 따라 90° 앵글을 형성할 수 있다. 편평한 절단면(1b)을 생성하기 위해서는 관형 공작물(1)에 경사 절단 작업을 수행하되, 그 경사 절단각(α)(도 1b 참조)은 일정한 경사 절단각(α)을 갖는 통상의 절단 작업에서는 공작물(1)에 흰 절단면이 생성될 수 있기 때문에 -45° 내지 45° 범위에서 변화시키면서 수행할 필요가 있다.

[0030] 도 1b에서는 레이저 절단 비임(2)의 비임 축선(2a)이 공작물 표면(1a)에 대한 법선에 대해 약 -20° 의 경사 절단각(α)으로 배향된 채로 관형 공작물(1)에 경사 레이저 비임 절단 작업을 수행하는 것을 개략적으로 도시

하고 있다. 초음속 절단 가스 흐름(4)을 배출하여 공작물 표면(1a) 상으로 보내는 절단 가스 노즐(3)의 노즐 축선(3a)이 레이저 절단 비임(2)에 대해 평행하게 배향되어 있다. 초음속 절단 가스 흐름(4)은 공작물 표면(1a) 상에 절단 가스 노즐(3)의 노즐 축선(3a)에 대해 오프셋된 고압 영역(5)을 형성하는데, 고압 영역의 노즐 축선(3a)에 대한 위치는 경사 절단각(α) 외에도 절단 가스 노즐(3)의 직경(d) 및 절단 가스 노즐(3)의 노즐 개구(3b)의 가장자리와 공작물 표면(1a) 사이의 간격(a)에 좌우된다.

[0031] 레이저 절단 비임(2)이 공작물 표면(1a) 상의 고압 영역(5) 내에 위치하도록 하기 위해, 경사 레이저 절단 작업 중에 레이저 절단 비임(2)의 비임 축선(2a) 및 그에 따른 절단 조인트(1c)를 노즐 축선(3a)에 대해 소정 간격(편심도)(e)만큼 변위시킨다. 매개변수(α , d, a)들에 따른 편심도(e)를 결정하기 위해, 아래에서는, 고압 영역(5)의 최고 압력 및 이에 따른 그 중심이 초음속 절단 가스 흐름(4)의 원자들이 실질적으로 수직하게 공작물 표면(1a)에 충돌하는 곳에 위치한다는 운동량 보존 법칙에 기초한 간단한 기하학적 모델을 이용한다. 가스 분자들이 노즐 개구(3b)로부터 실질적으로 동심으로 배출된다고 가정하면, 그 위치(P)는 노즐 개구(3b)의 중심점(M) 바로 아래에서 그로부터 길이(L)만큼 떨어져 공작물 표면(1a) 상에 위치하는 공작물 표면(1a) 상의 점으로 결정된다.

[0032] 도 1b에서 바로 확인할 수 있는 바와 같이 $e = L \sin(\alpha)$ 이다. 도 1b로부터 역시 바로 추측할 수 있는 바와 같이 길이 $L = a + d/2 \sin(\alpha)$ 이다. 따라서, 레이저 절단 비임(2)의 비임 축선(2a)과 레이저 가공 노즐(3)의 노즐 축선(3a) 사이의 편심도에 대해 아래와 같은 전체적인 관계가 얻어진다.

[0033]
$$e = \sin(\alpha) (a + (d/2) \sin(\alpha))$$

[0034] 상기한 식으로부터, 전체 경사 절단 작업 중에 일정한 주어진 노즐 직경(d), 절단 가스 노즐(3)과 공작물 표면(1a) 사이의 미리 결정할 수 있는 가변적인 간격(a), 및 경사 절단각(α)에 의해, 도 1b에서 화살표로 나타낸 바와 같이 경사 절단각(α)을 변화시키면서 관형 공작물(1)을 XYZ 좌표계의 이송 방향 Y를 중심으로 회전시킬 때 레이저 절단 비임(2)이 고압 영역(5) 내에 유지되도록 조절되어야 하는 편심도(e)를 결정할 수 있다. 그러한 이송은 관형 공작물(1)에 도 1a에 도시한 45° 부분이 형성될 수 있도록 하는 데에 필요하다. 따라서, 경사 절단각(α)이 X 방향으로, 즉 이송 방향 Y에 대해 직각 방향으로 -45° 내지 45° 범위에서 변화하는 경우, 레이저 절단 비임(2)의 위치(P)는 레이저 절단 비임(2)이 고압 영역(5) 내에 유지하도록 모니터링되어야 한다.

[0035] 이를 위해, 경사 절단 작업 중에 절단 가스 노즐(3)과 공작물(1) 사이의 간격(a)을 모니터링하고 선택적으로는 조절하는 것이 유리하다. 이를 위해, 도 2a 내지 도 2c에 도시한 바와 같이 도입부에 인용한 EP 1 684 046 A1 및 EP 0 873 813 B1에 개시된 바와 같이 구성될 수 있어 본 명세서에서는 그 작동 방식에 대한 상세한 설명을 생략하는 용량적 간격 측정 장치(6)를 제공할 수 있다. 이 간격 측정 장치(6)는 절단 가스 노즐(3)의 금속제 노즐 본체와 역시 금속으로 이루어진 공작물(1) 간의 전위차를 생성하여 이들 둘 사이에 전기장(E)을 생성하는데, 도 2a 내지 도 2c에는 0°, 30°, 및 45°의 경사 절단각(α)에 있어서의 전기력선이 도시되어 있다. 절단 가스 노즐(3)과 금속 공작물(1) 사이에서 측정되는 전기 용량에 따라 전기력선(E)의 위치 및 이에 따른 공작물(1)과 절단 가스 노즐(3) 사이의 전기 용량(3)이 변화한다. 소정의 경사 절단각(α)에 있어서의 전기 용량과 간격(a) 간의 관계를 확정하기 위해, 예를 들면 도 2a 내지 도 2c에 도시한 3가지 경사 절단각(α)에서 변화하는 기지의 간격에서의 전기 용량을 측정하여 일정한 경사 절단각에서의 전기 용량에 따른 간격에 대한 특성선을 구할 수 있다. 그러한 특성선이 결정되지 않은 경사 절단각(α)에서의 간격 측정을 위해서는 기지의 특성선들 간에 보간법을 수행할 수 있다. 이 경우, 용량적으로 측정된 간격(a')은 절단 가스 노즐(3)의 외측 가장자리와 공작물(1) 사이에서 결정되는 반면, 도 1b에 도시한 간격(a)은 노즐 개구(3b)의 가장자리와 공작물(1) 사이에 결정된다. 간격 측정 장치(6)에서 절단 가스 노즐(3)의 기하학적 형상을 알고 있기 때문에, 용량적으로 측정된 간격(a')에 대한 변환을 수행하여, 상기한 식에 대입하도록 노즐 개구(3b)의 가장자리와 공작물(1) 사이의 간격(a)을 제공할 수 있다는 점은 자명할 것이다.

[0036] 도 2a 내지 도 2c에서 확인할 수 있는 바와 같이, 레이저 절단 비임(2)의 비임 축선(2a)이 노즐 축선(3a)에 대해 다양한 간격(e)을 갖고 다양한 경사 절단각(α)으로 배향되어 절단 가스 비임(2)을 고압 영역(5) 내에 유지하게 된다. 게다가, 레이저 절단 비임(2)은 공작물 표면(1a)에 접촉되는 것이 아니라, 그 아래로 공작물(1)의 상면(1a)으로부터 공작물(1)의 두께의 50%보다 큰 간격만큼 떨어져 접촉된다. 이러한 접촉으로 인해, 경사 절단 작업에 의한 절단 가장자리의 품질이 더욱 향상될 수 있다. 이 경우, 접촉은 공작물(1)의 상면(1a)으로부터 공작물(1)의 두께의 70%보다 큰 간격만큼 떨어져 수행될 수도 있으며, 작업 조건에 따라서는 레이저 절단 비임(2)이 공작물(1)의 하면 아래에 접촉될 수도 있다.

- [0037] 도 3a에서는 관형 공작물(1)에 대해 전술한 방법을 수행하도록 구성된 레이저 가공 기계(7)의 세부 구조를 도시하고 있다. 레이저 가공 기계(7)에서, 레이저 절단 비임(2)은 비임 가이드(상세한 설명은 생략)에 의해 적응형 방향 전환 거울(8)로 안내된 후에, 레이저 가공 헤드(9)에 유입되고, 이 레이저 가공 헤드(9) 내에 배치된 다른 방향 전환 거울(10)에 의해 레이저 절단 비임(2)이 레이저 가공 헤드의 하우징 부분(11)으로 보내지며, 그 하우징 부분은 회전 장치(11a)에 의해 Y 방향으로 대해 평행한 축선을 중심으로 회전하여(양방향 화살표 참조), 공작물(1)에 대한 상이한 경사 절단각(α)을 조절할 수 있다. 회전 가능한 하우징 부분(11)에는 제1 및 제2 방향 전환 거울(12a, 12b)과, 레이저 절단 비임(2)을 공작물(1) 상에 또는 전술한 바와 같이 공작물 표면(1a) 아래에 집속하는 집속 렌즈(13)가 있다. 이 경우, 레이저 절단 비임(2)의 초점 위치는 예를 들면 압전 소자를 이용하거나 후방에 유체에 의해 압력을 가함으로써 형상이 적절히 변경될 수 있는 적응형 방향 전환 거울(8)에 의해 주어진 범위 내에서 변경될 수 있다. 레이저 가공 기계(7)는 공작물(1)을 ZY 평면에서 이동시키는 이동 장치로서 공작물(1)의 회전 운동을 생성하는 기능을 하는 클램핑 척(14)(화살표 참조)을 구비하는데, 클램핑 척(14)에 의해서는 X 방향으로의 공작물(1)의 이동도 동시에 이루어질 수 있어 도 1a에 도시한 45° 부분을 생성할 수 있게 된다. 물론, 레이저 가공 헤드(9)가 또한 선택적으로는 통상의 이송 유닛에 의해 X축 방향으로 이송되어, 공작물(1)에 도 1a에 도시한 45° 부분을 생성할 수도 있다.
- [0038] 레이저 가공 헤드(9)에 고정된 절단 가스 노즐(3)에 대해 레이저 절단 비임(2)의 편심을 생성하기 위해, 조절 장치로서 기능하는 통상의 리니어 구동 장치 형태의 변위 장치(15)에 의해 X 방향으로 이동시킬 수 있다. 이 경우, 제어 장치(16)는 레이저 절단 비임(2)이 초음속 절단 가스 흐름(4)(도 3에서는 도시 생략)에 대해 원하는 간격을 갖고 X 방향으로 배향되도록 변위 장치(15)를 제어하는 기능을 한다. 이 경우, 편심도(e)에 대한 상기한 식은 레이저 가공 기계(7)의 기계 제어 시스템 내에 저장되어, 제어 장치(16) 자체가 최적의 편심도를 계산할 수 있도록 할 수 있다.
- [0039] 또한, 도 3a의 레이저 가공 기계(7)가 이송 방향이 X 방향으로 연장하는 도 3b에 도시한 바와 같은 플레이트형 공작물(1)을 경사 절단하도록 구성될 수도 있다는 점은 자명할 것이다. 또한, 이 경우, 레이저 비임 축선(2a)과 노즐 축선(3a) 간의 편심도(e)는 전술한 바와 같은 방식이나 기타 방식으로 조절될 수 있다. 특히, 도 3b에 도시한 플레이트형 공작물을 절단하는 경우, 경사 절단각은 레이저 비임 절단 작업 중에 반드시 변경해야 할 필요는 없다. 대신에, 경사 절단각은 편평한 경사 절단 가장자리가 공작물(1)에 형성되도록 일정한 값을 취할 수도 있다. 2개의 플레이트형 공작물을 2개의 경사 절단 가장자리를 따라 예를 들면 90°의 각도로 연결하는 경우, 그 경사 절단 가장자리들은 서로 편평하게 맞대어져, 2개의 플레이트형 공작물을 용이하게 함께 용접할 수 있다. 물론, 레이저 비임 절단 작업 중에 경사 절단각의 수정을 필요로 하는 복잡한 기하학적 형상으로 플레이트형 공작물을 절단할 수도 있다.
- [0040] 또한, 레이저 절단 비임(2)의 비임 축선(2a)과 초음속 절단 가스 흐름(4) 또는 노즐 축선(3a) 간의 변위를 생성하기 위해, 예를 들면 방향 전환 거울(12a, 12b)과 같은 광학 소자를 변위시키거나 기울임으로써 원하는 편심도(e)를 생성하는 등의 다양한 가능성이 존재한다는 점은 자명할 것이다. 경사 절단 작업 중에 레이저 비임 축선(2a)이 반드시 노즐 축선(3a)과 평행하게 배향될 필요는 없기 때문에, 도 4a를 참조하여 아래에서 설명하는 바와 같이 집속 렌즈(13)에서의 비스듬한 집속에 의해 공작물 표면(1a) 상에 편심도(e)를 생성할 수도 있다.
- [0041] 비스듬한 집속을 위해, 제1 방향 전환 거울(12a)이 예를 들면 압전 액추에이터 형태로 된 도 3에 도시한 통상의 틸팅 장치(17)에 의해 기울어져, 레이저 절단 비임(2)이 집속 렌즈(13)에 수직하게 충돌하는 것이 아니라 Z 방향에 대해 각도 ϕ 로 충돌하고, 또한 레이저 비임 축선(2a)이 집속 렌즈(13)의 광축(13a)에 대해 간격(e_L)만큼 X 방향으로 오프셋 된 상태로 충돌하도록 될 수 있다. 이 경우, 공작물(1) 상에 원하는 편심도(e)를 생성하기 위해 필요한 그러한 기울임 각도(ϕ)는 간단한 기하학적 고찰에 의해 방향 전환 거울(12a)과 집속 렌즈(13) 사이의 간격과, 초점 거리(f)에 의해 결정될 수 있다. 물론, 전술한 과정에 대한 대안으로서, 집속 렌즈(13)를 기울여 레이저 절단 비임(2)과 노즐 축선(3a) 간의 원하는 축방향 변위를 달성할 수도 있다. 또한, 비스듬한 집속을 위해 집속 렌즈(13)의 광축(13a)과 레이저 비임 축선(2a) 간의 간격(e_L)을 생성하는 것이 반드시 필요한 것은 아니며, 레이저 비임 축선(2a)이 집속 렌즈(13)의 광축(13a)에서 집속 렌즈(13)의 중심과 이상적으로 교차할 수도 있다는 점은 자명할 것이다.
- [0042] 레이저 절단 비임(2)과 초음속 절단 가스 흐름 간의 축방향 변위를 생성하는 또 다른 가능성이 타원형 노즐 개구(3b)를 갖는 절단 가스 노즐(3)에 관한 도 4b에 도시되어 있다. 이 경우, 이송 방향 Y로 뒤에 절단 간극(18)을 형성하는 레이저 절단 비임(2)은 노즐 개구(3b)의 중심(M)이 아니라 그에 대해 축방향으로 오프셋된

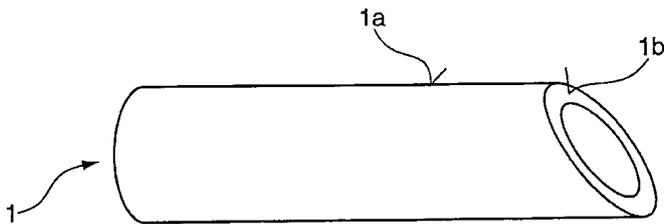
상태로 배치된다. 이 경우, 절단 가스 노즐(3)은 화살표로 나타낸 회전 장치(19)에 의해 레이저 절단 비임(2)의 비임 축선을 중심으로 회전할 수 있고, 이에 의해 X 방향에서 노즐 개구(3b)의 중심(M)의 위치가 변경되고 축방향 변위가 레이저 절단 비임(2)과 노즐 개구(3b)의 중심(M) 또는 초음속 절단 가스 흐름 사이에 생성된다. 물론, 이 경우에 절단 결과를 향상시키기 위해, 절단 가스 노즐을 회전시킴으로써 편심도를 동시에 조절하지 않고 추가로 레이저 절단 비임(2)을 절단 가스 노즐 내에서 전진(Y 방향)시킬 수도 있다.

[0043] 경사 절단 작업을 위한 적절한 작업 조건을 달성하기 위해, 예를 들면 질소와 같은 불활성 가스가 절단 가스로서 이용될 수 있는데, 이 절단 가스는 절단 가스 노즐(3)에 인접한 레이저 절단 헤드(9)의 압력 챔버(도시 생략)에서 통상 10 bar보다 큰 높은 절단 가스 압력으로 있다. 게다가, 절단 가스 노즐(3)과 공작물 표면(1a) 사이의 간격은 최적의 절단 결과를 달성하도록 가능한 한 작게 선택해야 한다. 또한, 예를 들면 45°의 큰 경사 절단각으로 경사 절단 작업을 행하는 경우, 도 4b에 도시한 바와 같이 반드시 둥근 노즐 단면을 선택할 필요는 없지만, 절단 가스 노즐(3)의 직경(내경)을 예를 들면 2 mm 또는 그 이상으로 크게 선택하는 것이 유리하다.

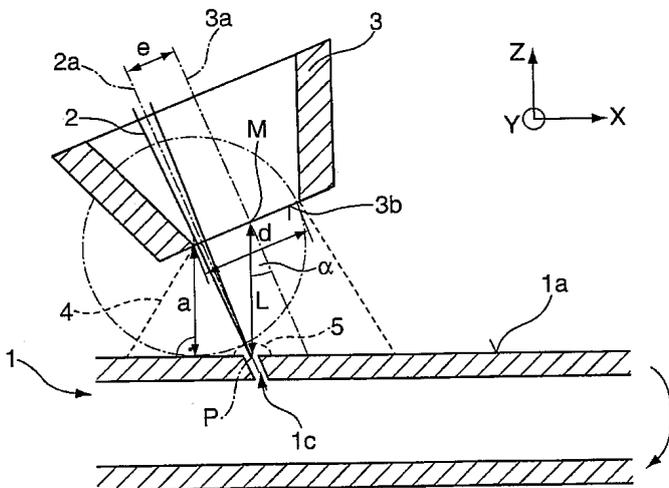
[0044] 경사 레이저 비임 절단에 대해 전술한 작업 조건은 가공되는 재료, 및 그 두께와는 실질적으로 무관하며, 특히 높은 등급의 강, 구조용 강, 또는 알루미늄을 절단하는 데에 이용될 수 있다. 물론, 경사 절단 작업은 관형 공작물의 절단 분리에만 한정되는 것이 아니라, 예를 들면 플레이트형 공작물에서의 임의의 윤곽이 레이저 절단 비임을 이용하여 전술한 방식으로 절단될 수도 있다. 어느 경우든, 절단 분리 중에 생성되는 고품질의 절단 가장자리와 유효 절단 깊이에 대해 수직 레이저 비임 절단에 필적하는 이송 속도를 모두 달성할 수 있다.

도면

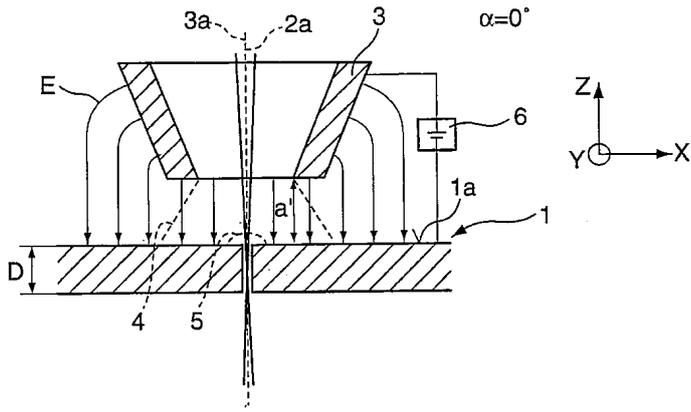
도면1a



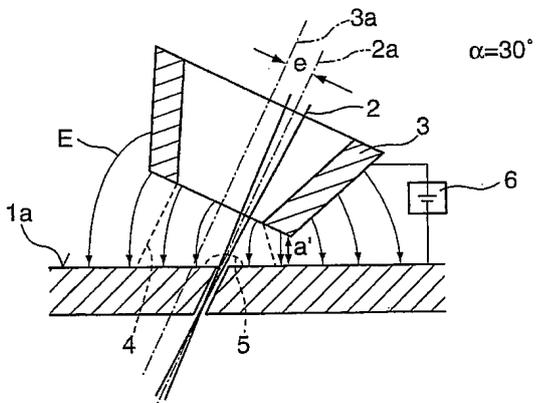
도면1b



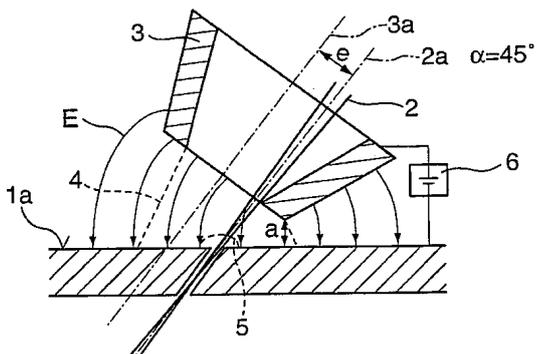
도면2a



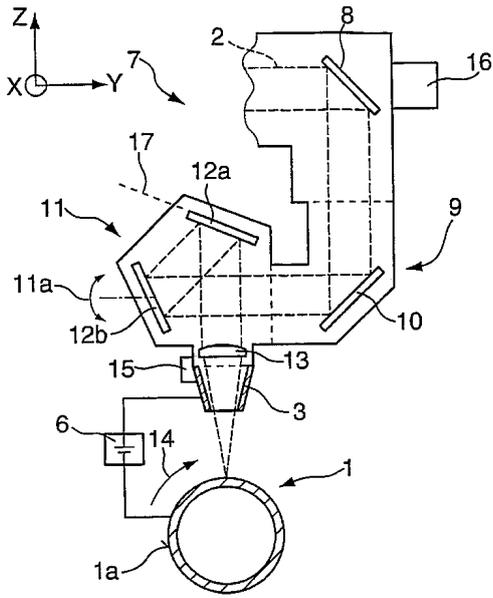
도면2b



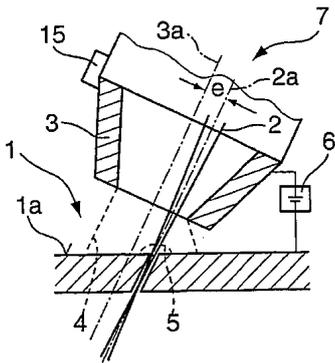
도면2c



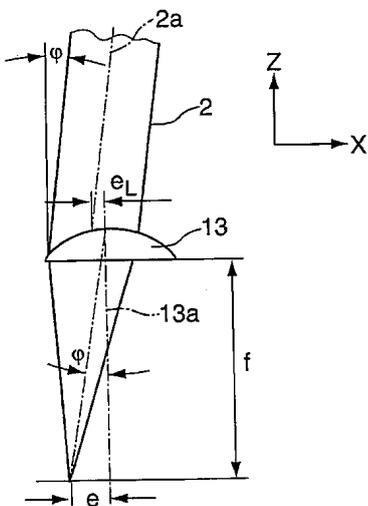
도면3a



도면3b



도면4a



도면4b

