(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2024-0051135
(43) 공개일자 2024년04월19일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
B23P 23/02 (2006.01) *B21C 35/02* (2006.01)
B21D 7/024 (2006.01) *B21D 7/12* (2006.01)
B21D 7/14 (2006.01) *B21J 5/00* (2006.01)
B21J 5/08 (2006.01) *B21J 9/02* (2006.01)
B23P 17/04 (2006.01) *B23P 23/04* (2006.01)
B23P 25/00 (2006.01)
(52) CPC특허분류
B23P 23/02 (2013.01)
B21C 35/023 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2024-7005991
(22) 출원일자(국제) 2022년07월22일
심사청구일자 없음
(85) 번역문제출일자 2024년02월21일
(86) 국제출원번호 PCT/US2022/038076
(87) 국제공개번호 WO 2023/004155
국제공개일자 2023년01월26일
(30) 우선권주장
63/224,773 2021년07월22일 미국(US)

(71) 출원인
스코패스트 엘엘씨
미국, 워싱턴 98382, 세큄, 워싱턴 스트릿, 1400
(72) 발명자
페이드, 크레이그 에프.
미국 워싱턴주 98382, 이스트 워싱턴 스트릿 세큄 1400, 스코패스트 엘엘씨 내
그림스, 크리스토퍼 지.
미국 워싱턴주 98382, 이스트 워싱턴 스트릿 세큄 1400, 스코패스트 엘엘씨 내
(74) 대리인
특허법인원전

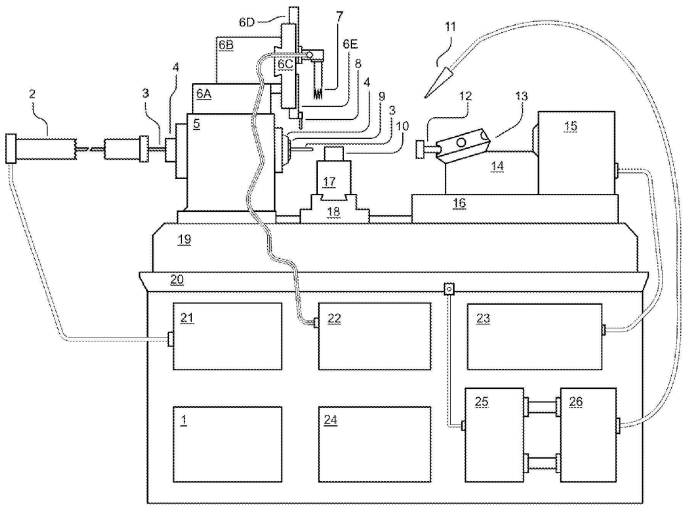
전체 청구항 수 : 총 20 항

(54) 발명의 명칭 **단일 기계장치에서 비슷하지 않은 작업을 수행하기 위한 시스템 및 방법**

(57) 요 약

제조를 위한 공간적으로 일관된 기계는 일례에서 작업물을 고정하도록 구성된 작업 홀더, 가공 도구를 사용하여 작업물에 절삭 가공 작업을 수행하도록 구성된 적어도 하나의 동작 제어 축을 갖춘 도구 홀더, 작업물에 가열 작업을 수행하도록 구성된 가열 요소 및 작업물에 가열 작업을 수행하는 성형 요소, 및 작업물 재료의 소성 성형을 야기하는 양으로 작업물에 힘이 가해지는 성형 작업을 수행하도록 구성된 성형 요소를 포함한다. 작업 홀더는 가열, 성형 및 절삭 작업 중에 작업물을 고정하므로, 성형 및 절삭 작업이 공간적으로 일관된 방식으로 수행되도록 한다.

대 표 도 - 도3a



(52) CPC특허분류
B21D 7/024 (2013.01)
B21D 7/12 (2013.01)
B21D 7/14 (2013.01)
B21J 5/002 (2013.01)
B21J 5/08 (2013.01)
B21J 9/02 (2013.01)
B23P 17/04 (2013.01)
B23P 23/04 (2013.01)
B23P 25/003 (2013.01)

명 세 서

청구범위

청구항 1

다음을 포함하는 공간적으로 일관된 제조 기계(spatially coherent machine):

작업물(workpiece)을 고정하도록 구성된 작업 홀딩 요소(workholding element);

가공 도구를 사용하여 상기 작업물에 절삭 가공 작업을 수행하도록 구성된 적어도 하나의 모션 제어 축을 갖춘 도구 홀딩 요소(toolholding element);

상기 작업물의 열에너지를 상기 작업물 재료의 항복강도를 감소시키는 수준까지 상승시키는 가열 작업을 수행하도록 구성된 가열 요소; 그리고

단조 다이(forging die)의 일부가 상기 작업물을 상기 작업 홀딩 요소에 대해 상기 작업물을 가압하여 상기 작업물 재료의 소성 성형을 유발하여 상기 단조 다이의 형상에 일치하도록 하는 단조 작업을 수행하도록 구성된 단조 요소를 포함하고,

상기 작업 홀딩 요소는 상기 가열, 성형 및 절삭 작업(the heating, forming, subtractive operations) 동안 상기 작업물을 고정하고; 그리고

상기 모든 작업들은 상기 성형 및 절삭 작업이 공간적으로 일관된 방식으로 수행되도록 기계 제어 하에 수행되는 시스템.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 작업 홀딩 요소는 상기 단조 다이의 한 면으로 역할을 하는 시스템.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 단조 작업의 종료와 상기 가공 작업의 시작 사이의 간격은 약 0.1초 내지 약 10초 범위인 시스템.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 단조 작업 시작과 후속 가공 작업 시작 사이의 작업물의 절대 온도 강하는 약 1% 내지 약 50% 범위인 시스템.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 가공 요소와 상기 단조 요소는 공통 축을 공유하고 동일한 모션 액츄에이터에 의해 구동되는 시스템.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 단조 요소는 약 1000 lbs-force 내지 약 10000 lbs-force 범위의 힘을 발휘하는 시스템.

청구항 7

가공 작업 전에 작업물의 항복 강도를 감소시키기에 충분하도록 작업물을 가열하도록 구성된 가열 요소와 함께 절삭 가공 요소를 포함하는 터닝, 밀링 및/또는 밀링-터닝 기계로서, 각 요소는 상기 기계 내에서 공간적으로

일관된 방식으로 기계 제어 하에서 작업하도록 구성된 기계.

청구항 8

티타늄 부품에 유리한 물리적 및/또는 화학적 재료 변형을 제공하는 방법으로서,

상기 부품을 약 500℃ 내지 약 1500℃ 범위의 온도로 가열하는 단계; 및

올레산(약 50~85%), 리놀레산(약 3~25%), 팔미트산(약 7~25%), 스테아르산(약 0.1~10%) 및 리놀렌산(약 0~2%)으로 구성된 트리아실글리세롤로 주로 구성된 천연 오일 혼합물을 포함하는 강화액(toughening fluid)으로 가열된 부품을 처리하는 단계;를 포함하고,

트리아실 조합의 주요 유행은 일반적으로 OOO, POO, OOL, POL, SOO, SOL이고; 하이드록시티로솔 및 티로솔을 포함하는 폴리페놀을 포함하는 선택적인 추가 성분을 갖고; 그리고 15.5° C에서 약 0.90 - 0.93kg/m^3의 비중, 20° C에서 약 78 - 88mPa.s의 점도, 20° C에서 약 1.75 - 2.05(J/g.°)의 비열, 20° C에서 약 0.165 - 0.180(W/m.K)의 열 전도도, 20° C에서 약 3.0 - 3.2의 유전 상수, 20° C에서 약 900 - 930kg/m^3의 밀도, 20° C에서 약 4 - 12 x10^{-8} m^2/s의 열 확산율, 약 298 - 300° C의 해수면에서 끓는점, 약 190 - 215° C의 발연점을 포함한 물리적 특성을 갖는 방법.

청구항 9

제8항에 있어서,

상기 부품은 약 800℃ 내지 약 1100℃ 범위의 온도로 가열되는 방법.

청구항 10

제8항에 있어서,

상기 부품은 약 850℃ 내지 약 950℃ 범위의 온도로 가열되는 방법.

청구항 11

제8항에 있어서,

상기 비중이 15.5℃에서 약 0.915-0.925 kg/m^3인 방법.

청구항 12

제8항에 있어서,

상기 점도가 20℃에서 약 80~86mPa.s인 방법.

청구항 13

제8항에 있어서,

상기 점도가 20℃에서 약 84mPa.s인 방법.

청구항 14

제8항에 있어서,

상기 비열은 약 1.97~2.02(J/g · ℃)인 방법.

청구항 15

제8항에 있어서,

상기 비열은 약 2.0(J/g · ℃)인 방법.

청구항 16

제8항에 있어서,

상기 열전도도는 약 0.17(W/m.K)인 방법.

청구항 17

제8항에 있어서,

상기 유전 상수는 약 3.1인 방법.

청구항 18

제8항에 있어서,

상기 밀도가 약 913 - 919 kg/m^3인 방법.

청구항 19

제8항에 있어서,

상기 밀도가 약 916 kg/m^3인 방법.

청구항 20

제8항에 있어서,

상가 열확산율은 약 5.3~8.3 x10-$8m^2$/s인 방법.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 관련 출원에 대한 상호 참조

[0002] 본 출원은 2021년 7월 22일에 출원된 미국 가출원 번호 63/224,773의 이익을 주장하며, 그 전체 내용이 참조로 본 명세서에 포함된다.

[0003] 본 발명은 단일 기계에서 뚜렷하게 다른 유형의 작업들을 수행하는 것에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0004] 많은 적층(additive), 절삭, 성형 및 변형 기술이 부품 제조 분야에 알려져 있다. 그러나 현재까지는 동일한 기계에서 특정 작업들을 함께 수행하는 것이 불가능했다. 예를 들어, 단조 요소와 가공 요소가 필요한 부품의 경우 단조 작업은 단조 기계에서 수행되어야 하고 가공 작업은 선반, 밀 또는 기타 가공 센터에서 수행되어야 한다. 주조 요소와 가공 요소가 필요한 부품은 주조 작업을 주조소나 주조 기계에서 수행한 다음 터닝, 밀링 또는 턴-밀 장비로 옮겨 가공해야 했다.

[0005] 유사하게, 단조 요소와 3D 프린팅 요소가 필요한 부품은 3D 프린팅 작업이 적층 제조 기계에서 수행되고 단조 작업이 단조 기계에서 수행되어야 했다. 열처리 등 변형작업과 단조 등 성형작업, 가공 등 절삭가공이 필요한 부품은 단조는 단조기계에서, 절삭가공은 가공센터에서, 열처리는 목적에 맞는 별도의 오븐에서 수행해야 한다.

[0006] 두 가지 작업을 두 개의 서로 다른 기계에서 수행해야 할 때마다 한 기계에서 부품을 제거하고, 부품을 다른 기계로 운반하고, 로드하고, 위치를 찾아 정렬하고, 2차 작업을 수행해야 하기 때문에 추가 인건비와 장비 비용이 발생한다. 추가 기계 작업자가 필요한 경우 인건비가 크게 증가할 수 있다.

[0007] 또한, 1차 기계의 정렬과 정확히 일치하도록 2차 기계의 작업물 및 툴링의 적절한 공간 정렬을 설정하는 어려움과 관련된 큰 비용이 있다. 부품 재배치가 필요한 각 추가 작업은 재배치 후 부품을 찾고 정렬할 때 발생하는 작은 오류로 인해 달성 가능한 부품 공차를 줄인다. 한 기계의 다양한 동작 축이 다른 기계의 다양한 동작 축과 완벽하게 정렬되지 않기 때문에 또 다른 오류 원인이 발생한다. 부품을 처리해야 할 때마다 오류 가능성이 높아지고 낭비로 인한 가치 손실과 품질 측정 실패도 그에 따라 증가한다. 특정 부품은 두 번째 기계에서 재배치,

재정렬 및 작업 홀딩을 허용하기 위해 특별한 기준 기능을 추가하거나 때로는 후속 제거가 필요할 수 있다. 이런 방식으로 기계에서 기계로 이동하는 것만으로는 다른 부품을 만들 수 없다. 공간적 일관성(여러 작업에 걸쳐 지정된 공차 내에서 3차원 정렬 유지 및 부품 등록)을 설정할 수 있더라도 필요한 공차 내에서 올바른 정렬 및 등록을 다시 설정하고 유지하려면 비용과 어려움을 추가하는 이국적인 기술(exotic techniques)이 필요할 수 있다. 실제적인 의미에서 서로 다른 두 기계에서 수행되는 두 작업 간에 완벽한 동축성을 달성하는 것은 불가능하다.

[0008] 제조에 열 에너지가 관련되는 경우, 한 기계에서 다른 기계로 부품을 이동하려면 냉각이 필요할 수 있으며, 이는 두 번째 작업을 수행하기 전에 고려해야 하는 치수 및 정렬의 변경을 초래하여 복잡성, 비용과 낭비를 가중시킬 수 있다. 다른 기계로 이동하기 전에 부품을 식혀야 한다는 요구 사항으로 인해 다른 문제가 발생할 수 있다. 예를 들어, 특정 재료의 경우 냉각 공정으로 인해 경화가 발생하여 후속 가공이 어렵고 비용이 많이 들 수 있다.

[0009] 공간적 일관성의 손실 또는 저하로 인한 오류가 발생하면 올바른 것처럼 보이지만 후속 정밀 검사를 통과하지 못한 부품으로 나타날 수 있다. 즉, 해당 부품을 다시 제조해야 하며 계획한 것에 비해 두 배의 시간, 노동력 및 재료를 소비해야 하는 것을 의미한다. 이 문제는 높은 인성(toughness)과 높은 작업 경화 경향으로 인해 가공이 매우 어려운 고가치 합금으로 작업할 때 더욱 복잡해진다. 작업 실행이 완료된 후에 오류가 감지되면 완전히 새로운 시스템 설정이 필요할 수 있으며, 이로 인해 예약된 다른 작업이 중단되고 상당한 경제적 영향을 미칠 수 있는 파급 효과가 발생할 수 있다.

[0010] 단조에 사용되는 기계는 일반적으로 단조 및 압력과 같은 전용 장비를 수용하기 위해 상당한 양의 바닥 공간을 필요로 하며, 이러한 기계 사이의 뜨거운 금속 부품의 이동에는 종종 특별한 안전 조치 및 격리 거리가 필요하다. 따라서 가공 작업 플로우나 3D 프린팅 작업 플로우에 이러한 기존 장비와 조치를 추가하면 추가 비용이 발생하고 기존 작업 플로우가 중단된다.

[0011] 이러한 모든 어려움은 두 가지 다른 유형의 작업 사이의 교대를 요구하는 여러 단계를 수행해야 할 때 또는 추가 작업으로 인해 발생하는 요소를 갖는 부품이 단조 및 가공도 필요로 하는 경우와 같이 두 가지 이상의 유형의 작업을 수행해야 할 때 더욱 복잡해진다. 많은 시나리오에서 이러한 어려움으로 인해 원하는 부품을 단일 구성 요소로 제조하는 것이 엄청나게 비싸거나 불가능할 수도 있다.

[0012] 단일 작업물에 대해 근본적으로 다른 유형의 다중 작업을 수행해야 하는 필요성은 비용, 위험 및 복잡성을 증가시키고 원하는 제품의 제조를 방해할 수 있는 중요한 요소이다.

발명의 내용

[0013] **일반 설명**

[0014] 가열 요소는 사물(thing)을 가열한다. 가공 요소는 사물을 형성한다. 가공요소는 사물을 가공한다. 적층요소는 사물을 추가한다. 일반적으로 이렇게 뚜렷하게 다른 작업은 별도의 기계에서 별도로 수행된다. 여기에 공간적으로 일관성 있는 방식으로 함께 작업하도록 구성된 두 개 이상의 요소의 조합이 독립적인 요소가 별도의 기계에서 독립적으로 작동을 수행하는 결과와는 새롭고 유용하며 명백히 다른 결과를 생성하는 시스템 및 방법을 개시한다.

[0015] 일 실시예는 열간 또는 냉간 단조와 같은 소성 성형을 통한 작업물(workpiece) 또는 그 일부를 원하는 형상 또는 조건으로 성형하기 위해 힘 및/또는 에너지를 가하는 것을 포함하는 첫번째 작업("성형 작업")과 함께 가공 및 3D 프린팅, 과 같은 절삭 및/또는 적층 가공 작업을 포함하는 작업 그룹에서 선택된 두번째 작업("비성형 작업")을 단일 기계에서 수행하기 위한 시스템 및 방법으로, 작업물의 공간적 정렬 및 등록(“공간적 일관성”)과 기계 내 모든 동작 축이 작업 간 및 작업 전반에 걸쳐 유지되어 작업 전반에 걸쳐 공간적, 시간적, 환경적 일관성이 발생하여 별도의 기계에서 이러한 작업을 수행하는 것과 관련된 지연, 비용, 낭비 및 어려움을 줄이거나 제거하는 동시에 새롭고 유용한 결과를 생성한다. 가열, 냉각, 성형, 절삭 및 적층 작업의 수는 임의의 조합 및 순서로 수행될 수 있으며, 동일한 기계에 통합하는 것이 유리한 기타 작업과 함께 작업물을 찾기/정렬, 인덱싱, 측정, 검사 또는 테스트하는 작업(“LIMIT 작업”)뿐만 아니라 작업물의 물리적, 화학적 또는 생물학적 속성의 변형(“변형 작업”) 과 관련된 작업을 포함하는 추가 작업이 동일한 기계 내에서 결합될 수 있다. 이러한 동작들이 수행되는 단일 기계는 모듈 간 공간적 일관성이 확립되고 유지되는 다중 모듈 기계일 수 있다.

[0016] 개시된 시스템 및 방법은 임의의 순서로 여기에 제시된 기술의 임의의 조합을 사용하여 제조 및 제조 활동에 사

용하도록 의도된다. 특정 애플리케이션이 설명되고 특정 기술 및 구성이 예시로 제공되며, 예시로 제공된 것 외에 많은 추가 기술 및 애플리케이션이 존재하며 미래에 발생하는 새로운 애플리케이션도 시스템 및 방법으로부터 이익을 얻을 것이라는 것이 인식된다. 통상의 기술자는 일반적으로 작업물이 여기에 제시되거나 제시되지 않은 임의의 기존 기술에 의해 변경될 수 있다는 것과 새로운 기술이 미래에 나타날 것이며 이러한 다양한 기술을 다른 기술과 결합할 수 있는 능력이 있다는 것을 이해할 것이다. 개시된 시스템 및 방법에 따른 동일한 기계는 많은 상황에서 유리할 것이다.

[0017] 추가로, 처리 유체("강화액")의 조성 및 용도, 그리고 티타늄 합금 및 기타 재료로 제조된 부품이 제조 중 특정 지점에서 처리 유체의 적용을 통해 개선될 수 있는 시스템 및 방법이 여기세 개시되어 있다. .

[0018] 추가로, 작업물을 가열하는 동안 작업물에 적용되는 유체가 기화되고 생성된 증기가 작업물에 가깝게 갇히게 되어 이전에 작업물을 둘러싸던 가스 혼합물을 대체하는 시스템 및 방법이 여기에 개시되어 있다.

[0019] 본 출원의 배경 기술 및 기술 분야 섹션에 나타나는 자료는 본 발명의 설명의 일부로서 참조로 포함된다. 본 출원은 2021년 7월 22일에 출원된 미국 가출원 번호 63224773의 이익을 주장하며, 이는 본 발명의 서면 설명의 일부로서 전체 내용이 참조로 포함된다.

[0020] **관찰**

[0021] 본 명세서 전반에 걸쳐, 선택적 변형 작업 및 기타 많은 선택적 작업과 함께 적층 및 절삭 작업을 포함하는 작업 그룹에서 선택된 적어도 하나의 추가 작업과 결합하여 하나 이상의 성형 작업의 단일 기계에서의 성능을 통합하고 구현하는 기계의 다양한 측면에 대한 여러 예가 제공되고, 모든 작업은 공간적으로 일관된 방식으로 수행된다. 이렇게 구성된 일반적인 종류의 기계(즉, 본 명세서에 개시된 물질을 사용하는 모든 기계의 종류)는 모두 동일한 기계 내에서 공간적으로 일관된 형성, 적층, 절삭 및 변형(SCOFAST) 작업들의 일부 조합을 수행하며, 여기서는 SCOFAST 기계로 알려져 있다. SCOFAST 기계에는 기계의 기본 단위뿐만 아니라 모든 도구,이스, 지그, 기타 기계의 작동에 필요하거나 기계와 결합하여 사용되는 장치와 함께 기계를 제어, 조절 또는 작동하는 데 사용되거나 필요한 모든 장치와 를 포함하여 기계 작업을 완수하는 데 필요한 부속물 또는 부착물도 포함된다. .

[0022] SCOFAST 기계는 오래된 장치를 단순히 병치한 것이 아니며 각각은 새로운 것을 생산하지 않고도 그 자체 효과를 발휘한다. SCOFAST 기계의 제품은 다양한 작업이 별도의 장치에서 별도로 수행되는 여러 결과들의 집합과 비교할 때 명백히 새롭고 다르며 더 좋다. 향상된 시간적 제어, 열적 일관성 및 환경적 일관성과 함께 이전에는 사용할 수 없었던 작업물 및 시스템의 임시 상태 동안 추가 작업을 수행할 수 있는 새로운 기능을 통해 공간적 일관성을 유지함으로써 개선이 이루어졌다.

[0023] 예를 들어, 터닝 작업에 이어 연삭 작업을 수행하는 SCOFAST 기계는 두 작업에 걸쳐 공간적 일관성을 유지하므로 고도로 동심인 표면 마감(highly concentric surface finish)을 생성한다. 그러나 동일한 작업물이 첫 번째 기계에서 동일한 터닝 작업을 거친 후 두 번째 기계로 옮겨져 동일한 연삭 작업을 수행하는 경우 공간적 일관성이 불가피하게 손실되므로 표면 마감에서 높은 동심도(high degree of concentricity)를 얻는 것이 사실상 불가능하다. 기능이 표면 효과에 따라 달라지는 응용 분야에서는 공간적 일관성이 유지되는 단일 기계가 아닌 별도의 기계에서 두 작업을 수행할 때 요구되는 사양을 충족하는 것이 불가능할 수 있다.

[0024] 하나의 기계에서 제1차 작업이 수행된 후 부품은 시간이 지남에 따라 변화하는 상태에 있을 수 있다. 다른 기계에서 제2차 작업을 수행해야 하는 경우 부품이 첫 번째 기계에서 제거되고 두 번째 기계로 이동되어 재고정되고 재정렬 및 재등록되는 동안 2차 작업을 수행할 수 없는 기간(손실된 시간 세그먼트)이 있다. 이러한 시간 세그먼트의 손실은 제2차 작업이 제1차 작업 직후에 일시적으로 변경되는 상태를 활용하는 것을 방지한다.

[0025] 특정 티타늄 합금을 포함한 많은 재료의 경우, 열 이력 및 이력 온도 곡선을 따라 다양한 지점에서 유발된 변형 이력은 초구조 및 재료 특성의 중요한 결정 요인이다. 제1차 작업 직후에 제2차 작업을 수행할 수 없으면 최종 부품에 부정적인 영향을 미칠 수 있다. 어떤 경우에는 부품 제조의 비용과 어려움이 증가하고 어떤 경우에는 특정 부품이 제조되지 않을 수도 있다. 특히 손실된 시간 동안 되돌릴 수 없는 변형이 발생하는 경우 더욱 그렇다.

[0026] 제1차 작업 시 발생하여 짧은 시간 동안만 지속되는 임시 상태의 수명 동안 제2차 작업을 수행할 수 있는 능력은 단일 SCOFAST 기계 내에서 다양한 작업을 수행할 때 발생하는 중요한 장점이다. 손실된 시간 세그먼트 내에 존재하는 손실된 물질 상태를 다시 캡처하는 것은 다양한 유형의 작업을 단일 SCOFAST 기계에 통합한 결과로 나타나는 특징이다.

[0027] 여기에 설명된 모든 이유와 통상의 기술자에게 명백할 다른 이유로 인해, SCOFAST 기계 내에서 공간적으로 일관된 방식으로 함께 작동하도록 결합되고 구성된 작동의 결과는 다음과 동일하지 않다. 여러 개의 개별 기계에서 독립적으로 수행된 동일한 작업의 결과이다. 더욱이, 이러한 SCOFAST 기계의 성능은 개별적으로 작동하는 여러 기계의 성능과 질적, 양적으로 다르다.

[0028] 본 명세서에 개시된 특정 예는 SCOFAST 기계 부류 내의 종, 속, 과 또는 목의 예를 나타내고; 본 명세서에 제시된 임의의 종 예는 속을 예시하는 단일 종 또는 다중 종이 본 명세서에서 예시로 제시되었는지 여부에 따라 특성화되는 속을 나타내기 위한 것이다.

[0029] 마찬가지로, 형성, 적층, 절삭 및 변형(FAST) 작업 이외의 추가 작업이 FAST 작업과 함께 유리하게 사용될 수 있다는 것이 통상의 기술자에게 자명할 것이다. 예를 들어, 위치 지정/정렬, 인덱싱, 측정, 검사 및 테스트(LIMIT) 작업이 종종 SCOFAST 기계에 통합될 것으로 고려된다. 본 명세서에서 SCOFAST 기계에 대한 언급은 LIMIT 연산 및/또는 공간적으로 일관된 방식으로 FAST 연산과 함께 수행되기를 바랄 수 있는 다른 추가 연산을 실행하도록 구성된 요소를 선택적으로 추가로 포함하는 SCOFAST 기계를 의미해야 한다.

[0030] SCOFAST 기계의 작업은 본 명세서의 어떤 부분이나 참조로 통합된 어떠한 문서에 나타난 방법 및 기술 중 어느 것이든 포함할 수 있으며, 해당 분야에 숙련된 사람들이 알고 있는 추가적인 방법 및 기술과 미래에 발견되거나 발명될 수 있는 추가적인 방법 및 기술을 포함할 수 있다.

[0031] 개시된 시스템 및 방법은 다양한 분야에 적용되며, 이러한 적용은 필연적으로 여러 다른 분야의 개념과 기술을 통합한다. 한 분야에서 통상의 기술자는 개시된 시스템 및 방법의 임의의 특정 적용에 대한 의미를 충분히 이해하기 위해 다른 분야에서 필요한 기술을 갖지 못할 수도 있다. 개시된 시스템 및 방법을 이해하고, 사용하고, 실행하고자 하는 사람은 해당 분야에서 필요한 기술을 가진 사람의 조언을 받는 것이 필요하다. 따라서 본 명세서는 단일 기술에 대한 일반적인 기술을 가진 개인을 대상으로 하는 것이 아니라 다양한 분야와 관련된 교육 및 경험을 통해 얻은 일반적인 기술을 가진 구성원으로 구성된 설계 및 엔지니어링 팀을 대상으로 한다. 그렇게 구성된 팀은 여기에 사용된 모든 기술 용어를 쉽게 이해할 것이며 여기에 개시된 교시, 기술, 시스템 및 방법의 폭넓은 적용 가능성을 인식할 것이다.

[0032] 모든 분야의 기계 공학, 그리고 음향 공학, 제조 공학, 열 공학, 메카트로닉스 공학, 소프트웨어 공학, 계측 공학, 재료 공학, 양자 공학, 나노 공학, 광산 공학, 생물 공학, 응용 공학, 산업 공학, 신뢰성 공학, 시스템 공학, 부품 공학, 제조 공학, 컴퓨터 비전, 산업용 로봇 공학, 전기 공학 및 기타 분야를 포함하는 응용 분야에 대한 실시예가 고려된다.

[0033] 본 명세서 전반에 걸쳐 다수의 미국 특허가 참조되며, 그 중 다수는 SCOFAST 기계의 일부 필수 또는 선택적 구성요소 또는 수행될 수 있는 일부 동작을 설명, 구성, 예시 또는 설명할 수 있는 예시적인 기술을 설명한다. SCOFAST 기계에서. 본 출원에서 참조된 모든 미국 특허는 서면 설명의 일부로서 전체 내용이 참조로 포함된다.

도면의 간단한 설명

[0034] 본 발명은 SCOFAST 기계의 다양한 요소가 예시되고 그 사용이 설명되는 첨부 도면을 참조하여 단지 예시의 방식으로 추가로 설명된다.

도 1A: SCOFAST 기계의 주요 기능 모듈.

도 1B: 형성, 변형 및 CCC 요소.

도 1C: CCC 모듈 상호작용.

도 2: SCOFAST 예: "포친(Forchine)"에서 공간적으로 일관된 단조 및 가공.

도 3A: 포친 정면도.

도 3B: 인덱싱 작업 동안 특정 요소를 보여주는 포친 평면도.

도 3C: 작업물을 가열하기 위한 위치에 있는 코일을 보여주는 포친 전면 상세도.

도 3D: 단조 작업 시작 시 가열 후의 포친 평면도.

도 3E: 부품 절단 및 회수 슬라이드를 보여주는 포친의 정면도.

도 4A: 단일 가열로 제조된 Ti-6Al-4V 볼트.

도 4B: 이중 가열로 제조된 Ti-6Al-4V 볼트.

도 5A: 포친 주축대의 절단면.

도 5B: 확대 전의 스핀들 베어링 지지대.

도 5C: 두 가지 유형의 보강을 갖춘 스핀들 베어링 지지대.

도 6: 내부 인서트를 보여주는 유도 가열 코일의 세부사항.

도 7A: 다중 도구 홀더로서 단자 부속물을 갖춘 로봇 팔.

도 7B: 스프레이 용접기로서 단자 부속물을 갖춘 로봇 팔.

도 7C: 성형 압력으로서 단자 부속물을 갖춘 로봇 팔.

도 7D: 도구 교환기로서 단자 부속물을 갖춘 로봇 팔.

도 8A: 바스톡을 굽히기 위한 활성 도구. 바스톡을 향한 Z축 보기: 벤딩 작업 전.

도 8B: 바스톡을 굽히기 위한 활성 도구. 바스톡을 향한 Z축 보기: 벤딩 작업 후.

도 9A: SCOFAST 기계의 이중 종방향 베드 레일 캐리지 툴링의 평면도.

도 9B: SCOFAST 기계의 종방향 오버헤드 갠트리 툴링의 X축 도면.

도 9C: SCOFAST 기계의 횡방향 오버헤드 갠트리 툴링의 Z축 도면.

도 10: 이중 다축 회전 활성 도구 홀더 및 도구 교환 타워를 갖춘 SCOFAST 기계.

도 11: SCOFAST 기계에서의 주조, 단조 및 밀링.

도 12: SCOFAST 기계에서의 압출, 단조 및 밀링.

도 13: SCOFAST 기계에서의 펀치 성형 및 가공.

도 14A: 수평 가공 센터 축.

도 14B: 수직 가공 센터 축.

도 15A: 선형 Z 축의 포지셔닝 오차 성분.

도 15B: 회전 C 축의 포지셔닝 오차 성분.

도 16: 단조되고, 가공되고, 구부러진 특징을 갖는 후크; 측면과 정면 모습.

도 17: 온도 및 변형율 $\dot{\varepsilon}$에 따라 Ti-6Al-4V 합금에 대해 측정된 응력-변형 곡선.

도 18: 초당 25의 높은 변형률에서 변형된 Ti-6246에 대해 측정된 응력-변형 곡선.

도 19: 재료에 대한 응력-변형 다이어그램.

도 20: 단조의 장비 변수 및 공정 변수.

도 21: 축이 라벨링된 예시적인 대체 SCOFAST 포친 지오메트리.

도 22: 필라멘트 압출 메커니즘.

도 23: 일반적인 베어링 유형의 예.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0035] **개념 및 정의**

[0036] 전체 명세서 전반에 걸쳐, 다양한 용어 및 개념이 본 명세서에 제시된 의미로 사용된다. 본 명세서 전반에 걸쳐 추가적인 용어가 정의될 수 있으며, 그러한 정의는 마치 여기에 정의된 것처럼 본 명세서 전체 및 각 부분에 적용되는 것으로 간주된다. 본 명세서에서 사용된 용어 중 명시적이거나 묵시적으로 정의되지 않은 용어는 해당

기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 그 의미가 공지될 기술 용어이다. 특히, 그러한 용어는 본 명세서에서 이루어진 개시 및 교시를 이용할 수 있는 사람들에게 친숙할 것이다. 본 명세서에서 언급되거나 기술된 모든 작업은 SCOFAST 기계 내에서 수행될 수 있다. 본 명세서에 언급된 다양한 작동 및/또는 바람직할 수 있는 추가 작동을 가능하게 하는 기계 요소를 통합한 SCOFAST 기계의 다양한 실시예에 대한 설계 요구사항은 통상의 기술자에 의해 이해될 것이다.

[0037] 둘 이상의 목록에 적용되는 경우, "및" 및 "또는"이라는 용어는 달리 명시적으로 언급되지 않는 한 "및/또는"을 의미하는 것으로 간주된다. "참조로 포함된"이라는 용어는 "여기에 전체 내용이 참조로 포함된"을 의미한다.

[0038] 기타(Miscellaneous)

[0039] *작업물*

[0040] 제조 시, 작업물은 완성된 부품이 되기 위해 어떤 방식으로든 조작될 재료 객체이다. 절삭 가공에서 작업물은 표준 형태의 원자재의 양으로 시작되는 경우가 많지만, 작업물은 이전 작업으로 인해 미리 형성된 재료의 양으로 시작될 수도 있다. 적층 제조에서 작업물은 추가된 재료가 증착되는 미리 형성된 기판으로 존재할 수 있거나, 첫 번째 재료가 작업 홀더에 추가될 때 존재한다고 말할 수 있다.

[0041] *가공 센터*

[0042] 가공 센터는 작업물을 고정하고 기계 제어 하에 절삭 가공 작업의 일부 조합을 수행할 수 있는 컴퓨터 제어 기계이다. 가공 센터에서는 밀링, 드릴링, 보링, 태핑 및 기타 여러 작업과 함께 터닝(선반) 작업을 선택적으로 수행할 수 있다. 종종 가공 센터는 작업물에 다양한 도구를 사용할 수 있으므로 작업물의 부착을 방해하지 않고 여러 작업을 수행할 수 있다. CNC 선반, CNC 밀링 기계, CNC 턴밀 기계는 모두 가공 센터라고 할 수 있다.

[0043] *설정*

[0044] 기계 설정은 작업에 대한 첫 번째 작업이 시작되기 전에 수행되어야 하는 모든 작업을 포함한다. 여기에는 구성, 작업 계획 생성, 도구 선택, 고정 장치, 작업 홀딩 및 작업을 완료하는 데 필요한 모든 도구, 도구 홀더 및 재료가 포함된다. 밀링 작업의 경우 설정에는 도구 위치, 높이 오프셋, 커터 보정, 직경, 플루트 길이, 홀더 길이, 오프셋 등과 같은 구성 요소가 포함된다. 설치 시간은 제조 수익성에 영향을 미칠 수 있는 중요한 제약 조건이다.

[0045] 작업

[0046] 작업이라는 용어는 작업물이나 기계 또는 그 작업 환경에 적용되는 액션들의 임의 조합을 의미한다.

[0047] *별도로 수행되는 작업*

[0048] 작업물에 적용되는 작업이나 방법은 작업물이 이동에 의해 달성되는지 여부에 관계없이 두 작업 또는 방법 사이의 기계 공간을 기준으로 작업물이 재배치될 때 다른 작업 또는 방법과 별도로 수행되거나 적용되는 것으로 간주된다. 기계의 한 영역에서 해당 기계의 다른 영역으로 부품을 전송하고 축의 원점이나 기계의 동적 동작을 변경하도록 기계 구성을 변경함으로써 두 개의 서로 다른 기계 사이의 작업물(예를 들어, 가공 헤드를 수동으로 변경) 또는 기계의 수치 제어 시스템에 사용되는 이동 보상 테이블이 변경되거나 해당 테이블이 더 이상 원래 구성에서 기계 동작을 반영하지 못하게 하는 기타 변경을 통해 발생한다.

[0049] *공차(Tolerance)*

[0050] 부품 공차는 특히 기계 또는 부품의 치수에서 특정 수량의 허용 가능한 변동량이다. 일반적으로 공차는 측정 ± 공차, 즉 2.0" ± 0.1"의 형태로 제공된다. 공차가 높을수록 원하는 측정에서 허용되는 편차가 커진다. 표 I과 표 II는 ISO-286 표준에서 국제표준화기구(International Standards Organization)가 정의한 표준 공차 등급을 보여준다.

[0051]

표 I: ISO 286 - 공차 IT01 - IT11														
크기(Nominal size)		국제 공차 등급(International tolerance grade)												
>	Â	IT01	IT0	IT1	IT2	IT3	IT4	IT5	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11
mm		공차(tolerance in ㎛)												
0	3	0.3	0.5	0.8	1.2	2.0	3	4	6	10	14	25	40	60
3	6	0.4	0.6	1.0	1.5	2.5	4	5	8	12	18	30	48	75
6	10	0.4	0.6	1.0	1.5	2.5	4	6	9	15	22	36	58	90
10	18	0.5	0.8	1.2	2.0	3	5	8	11	18	27	43	70	110
18	30	0.6	1.0	1.5	2.5	4	6	9	13	21	33	52	84	130
30	50	0.6	1.0	1.5	2.5	4	7	11	16	25	39	62	100	160
50	80	0.8	1.2	2.0	3	5	8	13	19	30	46	74	120	190
80	120	1.0	1.5	2.5	4	6	10	15	22	35	54	87	140	220
120	180	1.2	2	3.5	5	8	12	18	25	40	63	100	160	250
180	250	2.0	3	4.5	7	10	14	20	29	46	72	115	185	290
250	315	2.5	4	6	8	12	16	23	32	52	81	130	210	320
315	400	3	5	7	9	13	18	25	36	57	89	140	230	360
400	500	4	6	8	10	15	20	27	40	63	97	155	250	400
500	630			9	11	16	22	32	44	70	110	175	280	440
630	800			10	13	18	25	36	50	80	125	200	320	500
800	1,000			11	15	21	28	40	56	90	140	230	360	560
1,000	1,250			13	18	24	33	47	66	105	165	260	420	660
1,250	1,600			15	21	29	39	55	78	125	195	310	500	780
1,600	2,000			18	25	35	46	65	92	150	230	370	600	920
2,000	2,500			22	30	41	55	78	110	175	280	440	700	1,100
2,500	3,150			26	36	50	68	96	135	210	330	540	860	1,350

[0052]

표 II: ISO 286 - 공차 IT12 - IT18																			
크기(Nominal size)		국제 공차 등급(International tolerance grade)																	
>	Â	IT12		IT13		IT14		IT15		IT16		IT17		IT18					
mm		공차(tolerance in mm)																	
0	3	0	.10	0	.14	0	.25	0	.40	0	.60	1	.00	1.40					
3	6	0	.12	0	.18	0	.30	0	.48	0	.75	1	.20	1.80					
6	10	0	.15	0	.22	0	.36	0	.58	0	.90	1	.50	2.20					
10	18	0	.18	0	.27	0	.43	0	.70	1	.10	1	.80	2.70					
18	30	0	.21	0	.33	0	.52	0	.84	1	.30	2	.10	3.30					
30	50	0	.25	0	.39	0	.62	1	.00	1	.60	2	.50	3.90					
50	80	0	.30	0	.46	0	.74	1	.20	1	.90	3	.00	4.60					
80	120	0	.35	0	.54	0	.87	1	.40	2	.20	3	.50	5.40					
120	180	0	.40	0	.63	1	.00	1	.60	2	.50	4	.00	6.30					
180	250	0	.46	0	.72	1	.15	1	.85	2	.90	4	.60	7.20					
250	315	0	.52	0	.81	1	.30	2	.10	3	.20	5	.20	8.10					
315	400	0	.57	0	.89	1	.40	2	.30	3	.60	5	.70	8.90					
400	500	0	.63	0	.97	1	.55	2	.50	4	.00	6	.30	9.70					
500	630	0	.70	1	.10	1	.75	2	.80	4	.40	7	.00	11.00					
630	800	0	.80	1	.25	2	.00	3	.20	5	.00	8	.00	12.50					
800	1,000	0	.90	1	.40	2	.30	3	.60	5	.60	9	.00	14.00					
1,000	1,250	1	.05	1	.65	2	.60	4	.20	6	.60	10	.50	16.50					
1,250	1,600	1	.25	1	.95	3	.10	5	.00	7	.80	12	.50	19.50					
1,600	2,000	1	.50	2	.30	3	.70	6	.00	9	.20	15	.00	23.00					
2,000	2,500	1	.75	2	.80	4	.40	7	.00	11	.00	17	.50	28.00					
2,500	3,150	2	.10	3	.30	5	.40	8	.60	13	.50	21	.00	33.00					

[0053] *진원도(Roundness)*

[0054] 진원도 또는 원형도는 원통, 구 또는 원뿔의 단면이 수학적으로 완벽한 원에 얼마나 가까운지를 제어하는 2D 공차이다. 평평한 표면을 따라 구르는 것이 목적인 원통을 생각해 보자. 실린더 OD에 작은 평면이 있으면 샤프트가 원활하게 회전하는데 방해가 될 수 있다. 평평한 지점이 너무 커서 샤프트가 전혀 회전하지 못할 수도 있다. 이 경우 평면은 매우 정확하게 측정할 수 있는 완벽한 원과의 편차를 나타낸다. 더 복잡한 진원도 오류의 예로는 센터리스 연삭 작업에서 발생하는 의도하지 않은 형태 오류인 *로빙(lobing)*이 있다. 진원도는 부품의 단면

위치와 관련이 없으므로 도면의 진원도 속성 표시기(Roundness callouts)는 자료를 참조하지 않는다.

[0055] *원통도*

[0056] 원통도는 진원도의 3D 버전이다. 이는 물체가 완벽한 원통형에 얼마나 가까운지 평가한다. 즉, 물체가 둥글 뿐만 아니라 축을 따라 직선임을 의미한다. 원통형의 필요성을 보여주는 가장 간단한 예는 직경 공차가 엄격한 보어(bores)를 완전히 통과해야 하는 핀이다. 핀의 직경을 검사하여 허용 오차 내에 있는 것으로 확인될 수 있다. 그러나 핀이 구부러지면 원통도를 잃어 보어를 통과하지 못할 수 있다. 원통도 측정은 측정되는 요소의 전체 길이를 따라 동일한 직경을 갖도록 의도된 요소 또는 요소 섹션에 사용된다.

[0057] *동축성*

[0058] 동축성은 한 실린더의 축이 다른 실린더에 얼마나 가깝게 정렬되어 있는지에 대한 공차이다. 예를 들어 두 개의 직경을 갖는 샤프트 또는 하우징의 반대쪽에 위치한 두 개의 보어가 있다. 두 경우 모두 한 요소의 중심은 두 번째 요소와 동일한 축을 따라야 한다. 각 요소는 축으로 평가되므로 동축성은 3D 측정이다.

[0059] *동심도*

[0060] 동심도는 2개의 특징이 동일한 단면 평면에서 측정되어 2D 측정이 될 때 발생하는 동축성의 특별한 경우이다. 간단한 예는 중공 샤프트나 튜브에서 ID와 OD를 서로 비교하는 것이다. 엔지니어링 도면은 일반적으로 어떤 요소가 측정된 표면이고 어떤 요소가 데이타 표면인지 나타낸다.

[0061] *런아웃*

[0062] 런아웃은 축 방향 또는 반경 방향에서 취할 수 있는 2D 측정이다. 방사형 방향으로 측정할 때 런아웃은 진원도 및 동심도 오류를 하나의 복합 측정으로 결합한다. 부품이 완벽하게 둥글면 런아웃은 동심도와 같고, 완벽하게 동심이면 런아웃은 진원도 오류와 같다. 기본적으로 런아웃은 축 오프셋과 축을 중심으로 회전하는 객체의 진원도를 모두 고려한다.

[0063] *총 런아웃*

[0064] 총 런아웃은 부품의 전체 표면을 고려하는 3D 측정이다. 런아웃이 축을 기준으로 한 단면만 측정하는 경우 총 런아웃은 전체 부품을 고려하며 전체 표면의 모든 변형은 특정 공차 내에 속해야 한다.

[0065] *인덱싱*

[0066] 인덱싱은 기계 컨트롤러에 의해 알려진 위치 및 방향으로 이동되는 도구 또는 부품을 의미한다.

[0067] *위치 지정 및 정렬*

[0068] 위치 지정과 정렬은 모두 기계 좌표계를 기준으로 작업물의 위치, 방향 및 범위를 찾는 공정을 의미한다. 재배치 및 재정렬은 기계 제어를 받지 않는 일부 액션으로 작업물이 이동되거나 교란된 후 기계 좌표계를 기준으로 작업물의 위치, 방향 및 범위를 다시 설정하는 것을 의미한다.

[0069] *포지셔닝 공차*

[0070] 축에 대한 포지셔닝 공차는 기계 좌표계에 정의된 위치와 실제 작업물이 존재하는 실제 좌표계에서 측정된 위치 사이에서 해당 축을 따라 예상되는 최대 편차를 나타내는 제조업체가 지정한 양이다. 기계 컨트롤러가 기계 요소(예: 도구)를 축의 정의된 위치로 이동할 때 요소 위치는 해당 축의 포지셔닝 공차만큼 벗어날 수 있다. 포지셔닝 공차는 각 축에 대해 별도로 정의된다. 축의 포지셔닝 공차는 다른 축을 따라 모든 위치에서 동일할 수도 있고 기계 작업 공간 내의 다른 위치에서 다를 수도 있다.

[0071] *반복성 공차*

[0072] 축에 대한 반복성 공차는 해당 축의 동일한 위치로 이동하는 여러 인스턴스 사이에서 측정된 최대 편차이다. 반복성 공차는 각 축에 대해 별도로 정의된다. 반복성 공차는 기계 제어 하에서 동일한 작업을 사용하여 만들어진 두 부품 간의 최대 편차를 결정한다.

[0073] **공간적 일관성, 위치 및 방향**

[0074] 공간적 일관성

[0075] 공간적 일관성은 시스템이 시간이 지남에 따라 진화하고 서로 다른 물체가 서로 다른 위치를 차지함에 따라 다

물체 시스템의 여러 지점 사이에서 공간 및 운동 관계를 유지하는 것과 관련된다.

[0076] 기계 작업 분야 내에서 공간적 일관성을 정의하여 여러 작업 및 하위 작업에 걸쳐 작업물을 기준으로 다양한 도구를 배치하고 이동할 수 있는 정확성과 정밀도를 설명한다. 공간적으로 일관된 작업은 공통 작업 공간을 기준으로 작업물과 도구의 제로 위치, 방향, 경로 및 좌표계가 정의되고 모든 기계 요소와 모든 작업에 걸쳐 균일한 작업 세트이다(좌표계 변형 허용).

[0077] 작업물의 위치와 방향은 불변일 수도 있고 작업이 수행되는 시스템의 제어에 따라 결정론적으로 변형될 수도 있다.

[0078] "공간적으로 일관된 방식으로(in a spatially coherent manner)" 수행되는 작업은 공통 작업 공간에서 수행되므로 각 작업의 영점, 축, 위치, 방향 및 이동 경로가 공통 작업 공간을 기준으로 정의된다. 기계 참조(예: 영점 및 축)의 고정 변형(예: 회전, 변형, 반사 및 배율 변경)에 의해서만 달라지는 위치, 방향 및 범위는 공간적으로 일관된다. 일련의 작업에 걸친 공간적 일관성은 하나의 작업과 관련하여 정의된 모든 위치, 범위, 방향 또는 경로가 각 작업과 관련하여 정의된다는 것을 의미한다.

[0079] 공간적 일관성은 정량적이다. 물리적 구조 시스템 내의 모든 점, 위치, 범위, 방향, 제약 조건(예: 평행도, 직각도, 동선성, 동축성, 동일 평면성) 및 경로가 전체 제조 수명 동안 어떠한 편차도 없이 공간 관계를 유지하도록 보정된 경우 작업물, 그 제조 공정은 완벽한 공간적 일관성을 갖게 될 것이다. 작업 간 공간 관계의 편차가 클수록 공간적 일관성은 낮아진다.

[0080] 공간적 일관성은 완벽한 정밀도로 물리적 공간에서 물리적 지점을 찾는 것이 불가능하고 지오메트리적 오류의 모든 원인을 제거하는 것이 불가능하기 때문에 절대적이지 않다. 대신, 수행될 작업에 사용할 수 있는 기계 정밀도를 기준으로 공간적 일관성이 평가된다. 기계 내 공간적 일관성은 작업물이 작업홀더에 처음 고정되고 기계 내에서 위치 및 정렬될 때 설정되며, 작업물이 작업홀더에 고정되어 있고 기계의 모든 이동 및 작업이 기계 제어 하에 수행되는 한 유지되므로 각 축의 이동 및 반복성에 대해 정의된 기계 공차가 작업물과 관련하여 계속 충족되도록 한다. 언제든지 실제 작업물 위치/방향/범위를 컨트롤러의 작업물 위치/방향/범위에 대한 내부 추적과 비교할 수 있다. 둘 사이의 편차가 모든 축의 반복성에 대한 기계 공차보다 커지면 후속 작업은 이전 작업과 관련하여 공간적으로 일관되지 않다. 이는 일반적으로 기계 제어를 받지 않는 사람이나 다른 에이전트에 의해 작업물이 방해를 받는 경우에만 발생한다.

[0081] 기계 도구의 지오메트리적 오차에 대한 설명은 기계 도구를 다양한 선형 축과 회전 축의 운동학적 구성으로 보는 관점에 기초한다. 다양한 축의 지오메트리적 오류로 인해 도구와 작업물 사이에 상대 변위가 발생한다. 다양한 오류가 어떻게 합산되는지는 축 배열과 수행할 작업에 따라 다르다.

[0082] 작업물이 두 기계 간에 이송될 때 발생하는 공간적 일관성 손실은 1차원, 2차원 또는 3차원의 정적 작업물 위치에 대한 절대 정밀도의 단순한 손실이 아니라는 점을 인식하는 것이 중요하다. 위치 오류는 서로 다른 축 작업 사이의 위치, 방향 및 범위의 편차로 정의된다. 예를 들어, 두 기계의 두 선형 축 이동 사이에 평행도 또는 직각도 편차가 존재할 수 있다. 작업물 좌표계의 공칭 위치에서 로터리 축의 오프셋은 두 기계 간에 다를 수 있다. 이러한 위치 오류는 종종 축당 단일 매개변수로 설명될 수 있지만 작업 공간에서 각 매개변수가 유발하는 편차는 동축이 되도록 의도된 두 축 사이에 각도 편차가 존재할 때와 같이 위치에 따라 달라질 수 있다. 공간적 일관성의 손실은 선형 치수, 평행도, 직각도, 진원도, 원통도, 동축도, 동심도, 런아웃 및/또는 전체 런아웃의 공차 손실로 나타날 수 있다.

[0083] 선형 축은 일반적으로 공간에서 가능한 각 자유도에 대해 하나씩 6개의 구성 요소 오류를 가질 수 있다. 예를 들어, 간단한 선형 Z 축의 6개 구성 요소 오류는 그림 15A에 다음과 같이 표시된다: EXZ: X 방향에서 Z의 직선성(수평 직선성); EYZ: Y 방향 Z의 직진도(수직 직진도); EZZ: Z의 포지셔닝; EAZ: X 주위의 Z 기울기 동작(피치); EBZ: Y를 중심으로 Z의 기울기 동작(Yaw); 및 ECZ: Z의 롤. 각 기계 요소의 모든 선형 운동 축은 전체 위치 오류에 유사한 오류 구성 요소를 제공한다.

[0084] 마찬가지로, 각 회전 운동 축은 공간에서 가능한 각 자유도에 대해 하나씩, 6개의 추가 오류 구성 요소에 기여한다. 예를 들어, 간단한 회전 C 축의 6개 구성 요소 오류는 그림 15B에 다음과 같이 표시된다: EXC: X 방향에서 C의 반경 방향 동작; EYC: Y 방향에서 C의 방사형 모션; EZC: C의 축방향 운동; EAC: X를 중심으로 C의 기울기 동작; EBC: Y 주위의 C의 기울기 운동; 및 ECC: C의 각도 포지셔닝 오류.

[0085] 순 지오메트리적 오류는 관련된 축의 수에 따라 증가하므로 서로 다른 기계에서 완벽한 작업물 정렬이 가능하더라도 작업물이 각각 고유한 동작 세트를 가진 두 개의 서로 다른 기계 작업 공간에서 각각 고유한 모션 축

(motion axes)을 가지고 작업을 수행하면 순 지오메트리적 오류가 증가한다. 독립적으로 수행되는 작업 수가 많을수록(각각 고유한 지오메트리적 오류가 있는 자체 기계 공간에서) 전체 결과에 영향을 미치는 순 지오메트리적 오류도 커진다. 한 세트의 축과 다른 축 세트의 편차(동일하게 의도된 경우)는 더 많은 수의 축으로 인해 단순 누적 오류보다 훨씬 더 큰 추가 지오메트리적 오류를 발생시킨다. 이러한 오차는 비선형적으로 전파될 수 있으며, 누적 오차는 전체 제조 공정에서 충족할 수 있는 사양을 변형하는 중요한 요소이다.

[0086] 대신 작업이 SCOFAST 기계에 통합되면 기계 요소와 모든 작업이 단일 기계 작업 공간과 공통으로 정의된 축 세트를 공유한다. 공통 작업 공간에 대한 교정 및 정렬과 더 적은 총 축 수로 축 간 포지셔닝 오류 구성 요소의 크기가 줄어든다. 특정 기계 요소와 모션 축(예: 작업홀더 및 스핀들)이 여러 작업에서 공유되므로 순 지오메트리적 오류는 필연적으로 줄어든다. 남아 있는 오류는 일관되게 유지된다. 이는 작업물을 한 기계에서 제거하고 다른 기계에 배치할 때마다 발생하는 새롭고 변형되지 않은 오류 없이 기계 교정만으로 발생하기 때문이다. 기계 내 각 동작 축에 허용되는 지오메트리적 오류의 한계는 제조업체의 기계 공차로 정의되며 정렬 및 교정 절차를 통해 유지된다. 일련의 작업에 대한 총 지오메트리적 오류는 해당 작업과 관련된 다양한 모션(축)의 함수이므로 달성될 수 있는 정밀도와 공차를 정의하는 일련의 작업과 관련된 모든 모션 축의 결합된 지오메트리적 오류이다.

[0087] 다양한 유형의 작업에서 공간적 일관성을 달성하는 가장 간단한 방법은 다양한 작업을 수행하는 기계 요소를 공통 기계에 통합하고, 공통 작업 공간 내에서 모든 요소를 함께 보정하고, 기계 제어 하에서 여러 작업을 실행하는 것이다. 공통 작업 공간 내 공통 축의 공통 작업 홀더에 고정된 작업물에. 공간적 일관성을 통해 부품의 정밀도는 기계의 공차 사양에 따라 결정된다. 이는 작업 홀더, 도구 홀더, 힘 소스, 변형 요소, 동작 축 및 기타 기계 요소의 공간 통합 및 기계 제어에서 발생한다.

[0088] 두 작업 전반에 걸쳐 동일한 절대 위치와 방향을 갖는 작업 홀더에 고정된 작업물에 대해 기계 제어 하에서 두 작업이 수행되는 경우 두 작업은 공간적으로 일관성이 있다. 또한 여기서는 단일 시스템에서 발생한 것으로 정의된다. 이러한 작업으로 만들어진 부품의 정밀도와 반복성은 작업을 수행하는 기계의 포지셔닝 및 반복성 공차에 의해 정의된다.

[0089] 작업물이 첫 번째 작업 공간의 첫 번째 작업 홀더에서 제거되고 두 번째 작업 공간의 두 번째 작업 홀더에 배치된 경우, 두 번째 작업 공간에 대한 위치 및 방향을 설정하기 위해 위치/정렬이 필요하다. 이 경우, 첫번째 작업 공간에 대해 수행되는 작업은 두번째 작업 공간에 대해 수행되는 작업과 공간적으로 일관성이 없다.

[0090] 작업물을 담고 있는 작업홀더가 첫 번째 작업공간에서 제거되어 두 번째 작업공간에 설치되어, 두 번째 작업공간에 대한 작업물의 위치와 방향이 작업홀더 위치/정렬에 따라 달라지는 경우, 그에 대한 작업이 수행된다. 첫 번째 작업 공간에 대한 작업은 두 번째 작업 공간과 관련하여 수행되는 작업과 공간적으로 일관성이 없다.

[0091] 한 기계에서 다른 기계로 또는 기계의 한 영역에서 다른 기계로 작업물을 이동하기 위해 컨베이어나 로봇 팔을 사용하는 경우, 두 번째 기계 컨트롤러에 의한 기계 제어 하에 전송이 수행되는 경우에도 일반적으로 공간적 일관성이 상실된다. 이는 일반적으로 컨베이어와 로봇 팔이 기계 작동에 필요한 공차를 유지할 수 없기 때문이다. 최종 편차(즉, 작업물의 실제 위치/방향/범위와 작업물 위치/방향/범위에 대한 기계 컨트롤러의 내부 표현 사이의 편차)는 거의 항상 두 번째 기계 또는 영역에 대한 공차 사양을 초과하므로 공간적 일관성은 상실된다.

[0092] 두 번째 기계에서 부품을 운반하고 재배치/재정렬하면 오류, 불확실성, 지연 및 비용이 불가피하게 발생한다. 그러나 특정 작업을 공간적으로 일관된 방식으로 결합하는 것의 가치는 극도로 정확한 동축성/동심성이 필요한 경우, 첫 번째 기계에서 부품을 제거할 때 뒤틀림이나 스프링백이 발생하는 경우, 부품이 자연 신탁(atural fiduciaries)이 없는 다축 복합 곡선으로 주로 정의된 경우, 2차 작업 홀더가 어려운 경우(예: 유기적인 모양의 작업물을 첫 번째 작업 중 작업물을 고정하는 데 사용된 연속 바피드 재료에서 분리해야 하는 경우)와 같이 재배치/재정렬이 부정확하고 느릴 뿐만 아니라 어렵거나 심지어 불가능한 경우에서 특히 분명하다.

[0093] 공간적 일관성은 부품 제조에서 달성 가능한 최대 지정 정밀도를 제어하는 중요한 요소 중 하나를 측정하는 것이다. 공간적 일관성이 상실되면 사용할 수 있는 작업 종류와 달성할 정확도 수준이 변형된다. 첫 번째 작업이 첫 번째 기계에서 수행되고 이어서 작업물이 제거된 다음 두 번째 작업이 수행되는 두 번째 기계에 설치 및 위치/정렬되면 공간적 일관성이 완전히 상실된다. 두 작업은 완전히 다른 맥락에서 발생한다. 제조 공정에서 달성되는 전반적인 정확도는 두 번째 기계에서 작업물을 정확하게 찾고 정렬하는 것에 따라 달라지며, 또한 두대의 기계들에서 작업물에 대한 상대적인 위치, 범위, 방향, 축 정렬 및 도구 이동 경로 간의 차이에 따라 달라진다. 공간적 일관성이 상실되어 특정 기능을 이러한 방식으로 제조할 수 없다. 예를 들어, 두 개의 서로 다른 독립적

인 기계 사이에서 이동된 작업물에 대해 두 가지 작업이 수행되면 생성된 작업물 형상은 비례적으로 누적되는 각도 오류 및 기타 지오메트리적 오류와 함께 동심도, 동축성 및 공선성의 손실을 변함없이 나타낸다. 관련된 축의 수에 따라 달라진다. 하나의 회전 기계에서 작업물을 꺼내어 두 번째 회전 기계로 이동할 때 두 중심 사이의 동축 편차를 0.01㎜로 유지하고 중심 중 하나에 고정된 작업물 끝의 반경 방향 운동 오차가 0.0016㎜에 불과한 경우 그러면 결과적인 각도 위치 지정/정렬 편차는 호의 +/- 5분이다. [Lou, Z. et al. (2018) 'An Analysis of Angular Indexing Error of a Gear Measuring Machine', Applied Sciences, 8, p. 169. doi: 10.3390/app8020169, 이는 참조로 여기에 포함됨] (Lou et al., 2018).

[0094] 대신 작업이 SCOFAST 기계에 통합되면 기계 요소는 공통 작업 공간 내에서 교정되고 해당 작업 공간 내의 결정적인 위치와 방향에서 공통 작업 홀더에 고정된 작업물에 작용한다. 후자의 경우 결과는 작업 전반에 걸쳐 충족될 수 있는 정밀도가 다르다는 것이 보장된다. 무엇보다도 동축성이 보장되므로 동심도 오차를 최소화할 수 있다. 측정 및 검사는 SCOFAST 기계 내에 통합된 작업으로 만들어진 부품과 별도로 수행된 독립적인 작업으로 만들어진 부품을 구별할 수 있다.

[0095] 예를 들어, 작업물을 터닝하는 데 사용된 기계 및 작업대에서 작업물을 제거하지 않고 터닝된 작업물에 연삭 작업을 수행하면 공간적 일관성이 유지되고 고도로 동심원인 표면 마감이 달성될 수 있다. 연삭을 위해 첫 번째 기계에서 다른 기계로 작업물을 이동하면 공간적 일관성이 상실되어 표면 마감에서 동일한 정도의 동심도를 얻는 것이 사실상 불가능해진다. 일부 적용에서는 이는 미용상 좋지 않은 결과이다. 기능이 미세한 표면 효과(예: 생체 가공, 광학 또는 나노 전자 공학)에 따라 달라지는 응용 분야에서는 이러한 작업 간의 공간적 일관성이 아주 조금만 상실되어도 작업의 기능적 결과에 큰 영향을 미칠 수 있다.

[0096] 공간적 일관성을 가져오는 기계 요소의 통합은 또한 위치, 방향, 범위, 동심도, 동축성, 평행도 및 직각도와 같은 공간 속성을 포함하여 작업 간 상태의 특정 속성과 함께 덜 분명한 다른 속성을 보존하는 것으로 이어진다. 예를 들어, 작업 고정이 변하지 않기 때문에 클램핑력과 관련된 응력 및 변형도 변하지 않다. 공간적 일관성이 작업 간의 지연 시간을 줄이면서 작업을 수행할 수 있음을 의미한다면 열 및 화학적 상태는 작업 전반에 걸쳐 특정 범위 내에서 유지될 수 있다. 대부분의 공간적 일관성 조건에서 유지되지만 부품이 한 기계에서 제거되어 다른 기계에 배치될 때 종종 달라지는 추가 속성에는 온도, 습도, 가스 또는 증기 구성, 빛의 충돌 파장, 광자 플로우, 전자기장, 화학 노출 및 기타와 같은 환경 요인이 포함된다.

[0097] 단일 SCOFAST 기계에서 여러 작업을 수행하는 것의 중요한 유익한 효과 중 하나는 이전에 사용할 수 없었던 작업물 상태에 대한 액세스이다. 이는 화학적 및 열적 변형과 같이 되돌릴 수 없거나 불완전하게 가역적인 상태 진행을 다룰 때 특히 중요하다. 예를 들어, 특정 재료와 구성요소로 구성된 작업물은 손상되지 않고 단 한 번, 잠깐 동안 가열될 수 있다. 그러한 작업물이 가열되어 첫 번째 기계에서 수행되는 첫 번째 작업을 받은 다음, 작업물을 첫 번째 기계에서 제거하고 두 번째 작업을 수행하기 전에 재배치/재정렬해야 하는 두 번째 기계로 이동하는 경우, 첫 번째 작업 직후에 존재하는 열 상태는 두 번째 작업에서는 액세스할 수 없다. 두 작업을 단일 SCOFAST 기계에 통합하면 이전에 접근할 수 없었던 열 상태를 갑자기 두 번째 작업 수행에 사용할 수 있게 된다. 재료를 두 번 가열할 수 없기 때문에 이러한 공간적으로 일관된 통합을 통해 다른 방법으로는 제작할 수 없는 부품을 제작할 수 있다.

[0098] 이전에 별도의 기계가 필요했던 작업이 단일 SCOFAST 기계 내에서 대신 수행되는 경우, 결과는 수행할 수 있는 작업의 종류, 수행할 수 있는 방식, 작업의 결과, 달성할 수 있는 정밀도 및 결과 부품의 특정 중요한 속성과 관련하여 새롭고 다를 수 있다.

[0099] *열 일관성*

[0100] 공간적 일관성과 함께 다양한 작업을 통합하면 작업물을 한 기계에서 다른 기계로 이동할 필요가 없어져 작업 간 지연이 최소화된다. 환경으로부터의 열 에너지 이득 또는 손실은 시간의 함수이기 때문에 공간적 일관성은 작업 간 열 에너지 이득 또는 손실을 최소화하여 열 일관성을 향상시키는 데 도움이 된다. 예를 들어, 작업물을 가열한 후 특정 온도에서 첫 번째 작업을 수행한 후 시간이 지남에 따라 작업물의 열에너지가 감소한다. 냉각 과정 중에 특정 온도 범위에서 두 번째 작업을 수행해야 하는 경우 두 번째 작업을 수행할 수 있는 기회가 좁아질 수 있다. 지연을 최소화함으로써 공간적 일관성은 지정된 작업이 필요한 시간 및 온도 범위 내에서 성공적으로 수행될 가능성을 높여 새롭고 유용한 결과를 이끌어낸다.

[0101] 작업이 열 기회의 창에 의존하지 않는 경우에도 공통 작업 공간에 작용하는 환경 열 효과가 해당 작업 공간 내에서 수행되는 모든 작업에 영향을 미치기 때문에 향상된 열 일관성을 가져오는 공간적으로 일관된 작업이 유익

할 수 있다. 대조적으로, 서로 다른 기계에서 독립적으로 수행되는 작업은 작업물, 도구 및 기계 요소의 크기, 모양 및 재료 특성에 영향을 미칠 수 있는 서로 다른 열 효과를 받게 되므로 SCOFAST 기계 내에서 공간적으로 일관된 방식으로 결합된 작업과 비교하여 다른 결과를 생성한다.

[0102] *시간적 제어*

[0103] 작업 전반에 걸친 공간적 일관성은 부품을 제조할 수 있는 정밀도 이상의 다른 이익과 연관되어 있다. 여러 개의 서로 다른 작업이 단일 기계에 통합되면 높은 수준의 시간 제어를 수행하고 동일한 기계 내에서 수행되는 작업 간의 지연을 최소화하는 것이 가능해진다. 작업 간 타이밍은 CNC 제어의 간단한 기능으로 관리되며 가능한 타이밍 범위에는 여러 작업에서 기계 간 이동이 필요한 경우 사용할 수 없는 매우 빠른 시퀀스가 포함된다. 향상된 상호 작업 타이밍은 일련의 별도 기계에서 동일한 순서로 수행되는 독립적 작업과 비교하여 SCOFAST 기계 내에서 결합된 작업에서 새롭고 향상된 결과를 얻는 독립적인 이유이다.

[0104] 어떤 실용적인 의미에서 거리는 시간이다. 동일한 기계의 작업물에 대해 첫 번째 작업과 두 번째 작업이 수행되는 경우("결합된 시나리오") 첫 번째 작업이 끝나고 두 번째 작업이 시작될 때까지 걸리는 시간이 최소화될 수 있다. 그러나 첫 번째 작업이 첫 번째 기계에서 수행되고 두 번째 작업이 어느 정도 떨어져 있는 독립적인 두 번째 기계에서 수행되는 경우("독립 시나리오") 작업물을 제거하는 과정에서 어느 정도 추가 지연이 불가피하다. 첫 번째 기계에서 두 번째 기계로 이동하고 두 번째 기계에서 작업물을 재배치/재정렬하면 첫 번째 작업과 두 번째 작업 사이에 반드시 추가 시간 지연이 발생한다.

[0105] 분자 규모의 SCOFAST 기계의 경우, 작업 사이의 시간은 나노초 정도일 수 있다. 척도의 반대쪽 끝에서는 작업 간 시간이 수백 초 정도일 수 있다. 그러나 각 경우에 달성 가능한 최소 시간 지연은 작업물을 한 기계에서 제거하거나 다른 기계로 옮기지 않고 현장에서 작동할 수 있을 때 향상된다. 두 작업 사이에 지연이 발생하면 시간이 지남에 따라 변하는 작업물 또는 환경의 속성은 두 작업이 동일한 기계에서 빠른 순서로 수행되는지 아니면 두개의 독립된 기계들에서 시간 지연이 추가되는지에 따라 다른 효과를 발휘한다. 시변 속성의 이러한 시간적 차이로 인해 독립 운영 시나리오와 비교하여 결합 시나리오의 결과가 완전히 다를 수 있다.

[0106] 이는 특히 시간이 지남에 따라 변하는 작업물의 속성이 되돌릴 수 없는 경우에 해당된다. 예를 들어 가교 및 기타 촉매 과정은 되돌릴 수 없다. 많은 화학 반응은 효과적으로 되돌릴 수 없다. 많은 재료는 한 번만 또는 변형된 횟수만 가열하고 냉각할 수 있다. 특정 재료는 재가열되면 오염 물질 분자가 결합되어 부서지기 쉽다. 다른 것들은 재가열될 때 표면 반응을 겪다. 다른 재료는 재가열하면 형태가 변형될 수 있다. 다른 재료는 경화, 연화 또는 강화와 같은 원치 않는 물리적 변화를 겪을 수 있다.

[0107] 특정 시나리오에서는 SCOFAST 기계의 두 가지 작업을 조합하면 모든 유형의 되돌릴 수 없게 변경되는 속성을 갖는 작업물에 대해 작업이 빠르게 연속적으로 수행될 수 있다는 것이 명백할 것이다. 한 가지 실제적인 결과는 특정 열 상태를 요구하는 여러 개의 개별 작업이 단일 가열 및 냉각 사이클 동안 빠르게 연속적으로 수행될 수 있다는 것이다. 그렇지 않으면 그렇게 하는 것이 불가능하다. 이는 재료를 두 번 가열할 수 없는 경우 매우 중요하다. 이러한 상황의 한 예는 본 명세서의 뒷부분에 설명된 "포친(Forchine)" 실시예에 설명 및 예시되어 있으며, 여기서 등급 5 티타늄 볼트는 단조 작업 후 몇 초 이내에 시작되어야 하는 기계 작업으로 제조된다. 단조 작업과 가공 작업 모두 고온에서 이루어져야 하기 때문에 동일한 볼트를 별도의 작업으로 만들 수 없으며, 소재를 두 번 가열하면 나사산이 부서지기 쉽고 부스러지기 쉽다.

[0108] 단일 SCOFAST 기계에서 여러 작업을 결합하면 다른 방법으로는 쉽게 제조할 수 없는 많은 부품을 제작할 수 있다. 예를 들어, 일 실시예에서 제작될 부품은 정밀하게 연마된 내부와 고도로 특정된 정밀 나사산을 갖는 투명한 세라믹 컵이다. 부품을 만드는 데 있어 첫 번째 작업은 가열, 두 번째 작업은 열간 압력 성형, 세 번째 작업은 나사 절삭, 네 번째 작업은 정밀 연삭이다. 나사산 절단은 열간 성형된 세라믹이 냉각되고 정확한 농도로 경화된 후에 수행되어야 한다. 세라믹이 너무 뜨거우면 재료가 절단되지 않고 옆으로 밀려나게 된다. 재료가 너무 차가우면 나사 절단을 시도할 때 재료가 부서진다. 나사산을 자르기 전에는 컵이 너무 부드러워서 원래 작업 홀더에서 제거하고 변형 없이 다시 장착할 수 없다. 컵이 변형되거나 부서지고 산소 취성이 발생하기 때문에 경화 및 냉각 후 컵을 다시 가열하는 것은 불가능하다. 이 세라믹 컵은 연마 마감이 나사산과 동심원이 되어야 한다는 요구 사항과 함께 광학 응용 분야에 사용된다. 성형과 나사 절단은 단일 열 주기로 수행되어야 하고 나사는 임계 온도에서 절단되어야 하기 때문에 나사 절단의 시간적 정렬이 중요하다는 것은 명백하다. 마찬가지로, 연삭 마감은 컵 벽에 절단된 나사산과 완벽하게 동심원을 이루어야 하기 때문에 성형, 나사 가공 및 연삭 작업의 공간적 정렬이 중요하다는 것이 분명하다. SCOFAST 기계 내에서 수행되고 공간적으로 일관된 방식으로 결합된 작업 결과는 원하는 부품을 생산한다. 별도의 기계에서 별도로 수행되는 작업 결과는 공간적 일관성 손실과

이에 따른 시간 및 열 제어 손실로 인해 원하는 부품을 생산하지 못한다.

[0109] SCOFAST 기계에서 결합된 작업에서 발생하는 새롭고 개선된 결과의 또 다른 예는 촉매 공정이 사용되는 제조 공정이다. 이러한 일 실시예에서, 에폭시와 같은 촉매화된 수지가 정밀 다이에 주입되어 정의된 경도로 경화된다. 다이를 열고 작업 가능한 경도 범위를 유지하면서 작업물의 노출된 부분에 정밀 가공 작업을 수행한다. 가공 작업을 너무 일찍 시도하면 작업물이 너무 부드러워지고 변형된다. 가공 작업을 너무 늦게 시도하면 작업물이 너무 단단해져 부서지거나 부스러질 수 있다. 에폭시는 다시 액화될 수 없으며 재료가 가공에 충분히 부드러운 상태에서 고정 장치에서 제거하고 다른 장치에 재배치/재정렬하면 작업물의 모양이 손실된다. SCOFAST 기계에서 수지 주조와 가공을 결합하면 수지 주조와 가공 작업이 서로 다른 기계에서 별도로 수행될 때 얻은 결과와 다른 결과가 생성된다.

[0110] *단일 기계*

[0111] SCOFAST/LIMIT 작업을 담당하는 기계 요소가 기계 지지 요소 및 작업 홀딩 요소와 결합되고 각 요소가 각 축의 위치, 방향, 동작 경로, 교정 및 오류 범위와 같은 방식으로 정렬 및 구성되는 경우 각 기계 요소는 모두 공통 작업 공간 측면에서 정의되고 보정되며 공통 기계 공차 세트를 사용하여 기계 제어 하에서만 작동하며 단일 SCOFAST 기계("단일 기계")에 통합된 것으로 간주된다.

[0112] 공간적 일관성 확립

[0113] 기계 내에서, 작업물은 처음에 작업대에 배치되고, 기계의 좌표계에 대한 작업물의 위치, 방향 및 범위는 작업물의 위치 및 정렬 공정을 통해 결정된다. 이 공정에는 작업물의 위치나 방향을 조정하는 작업이 포함될 수 있다(예: 척의 중심 맞춤). 또한 작업물의 표면을 정의된 범위에 맞게 만드는 절삭 작업이 포함될 수도 있다. 작업물의 위치가 완전히 지정/정렬되고 범위가 완전히 정의되면 기계 컨트롤러 내에서 정의된 위치, 방향 및 범위와 실제 세계에서 측정된 작업물의 물리적 위치, 방향 및 범위 사이의 편차 각 축의 포지셔닝에 대해 정의된 기계 공차 내에 있어야 한다. 이 시점부터 기계 제어 하에 기계 내에서 수행되는 모든 작업은 공간적으로 서로 일관성을 갖게 된다.

[0114] 작업물이 기계의 직접적인 제어를 받지 않는 방식으로 이동할 때마다 공간적 일관성이 상실된다. 나중에 작업물을 재배치/재정렬하더라도 원래 위치 및 방향과 일치할 수 없으며 후속 작업은 작업물 교란 이전에 수행된 작업과 공간적으로 일관성이 없다. 이는 동축성이 필요한 두 가지 작업이 공간적 일관성을 상실한 채 수행될 때 쉽게 볼 수 있다. 즉, 작업물이 설정 시 방해받지 않는 한 유지될 수 있는 밀접한 부품 공차(크랭크 샤프트를 따라 있는 타원형 형상의 동심도 등)는 아무리 조심스럽게 작업물을 재배치/재정렬하더라도 작업물을 수동으로 이동하면 달성될 수 없다.

[0115] 공간적 일관성 결정

[0116] 다음 세 가지 요건 중 어느 하나라도 만족하면 첫번째 작업과 두번째 작업이 공간적으로 일관성 있게 수행된다.

[0117] 1. 두 작업은 첫 번째 작업 시작부터 두 번째 작업이 끝날 때까지 움직이지 않는 작업홀더에 지속적으로 고정된 작업물에 대해 기계 제어 하에 수행된다.

[0118] 2. 두 작업은 작업홀더에 지속적으로 고정된 작업물에 대한 기계 제어 하에 수행되므로 작업물의 모든 움직임은 두 작업을 수행하는 기계 컨트롤러의 제어를 완전히 받는다.

[0119] 3. 첫번째 작업은 제1 기계 컨트롤러에 의해 제1 기계에서 수행되고, 두번째 작업은 제2 기계 컨트롤러에 의해 제2 기계에서 수행된다.

[0120] 여기서, 제1 기계와 제2 기계는 동일한 기계일 수 있고; 그리고

[0121] 제1 기계 컨트롤러와 제2 기계 컨트롤러는 동일한 컨트롤러일 수 있으며; 그리고

[0122] 여기서 제1 기계 컨트롤러와 제2 기계 컨트롤러는 작업물의 위치, 방향 및 범위를 포함하는 작업물 속성에 대해 항상 일치한다(좌표계 변형 허용). 그리고

[0123] 여기서 작업 홀더, 작업물 및 각 기계의 다른 모든 요소의 모든 움직임은 항상 기계 제어 하에 있다. 그리고

[0124] 여기서, 두번째 작업의 시작 시, 제2 컨트롤러에 의해 정의된 작업물 속성과 실제 세계에서 측정된 작업물 속성 사이의 편차는 두 번째 기계의 각 축을 따른 포지셔닝 및 반복성에 대해 정의된 제2 기계의 공차 내에 있다.

[0125] 반대로, 세 가지 조건 중 어느 것도 충족되지 않으면 두 작업은 서로 공간적으로 일관성이 없다.

[0126] 공간적 일관성과 관련된 기타 이익(benefit)

[0127] *환경 일관성*

[0128] 공간적 일관성과 관련된 또 다른 이익은 환경적 일관성으로 인한 새롭거나 향상된 결과이다. 이러한 이익은 작업 결과가 작업이 수행되는 환경에 따라 어느 정도 달라지며 해당 환경의 여러 측면이 공간과 시간(시공간적으로)에 따라 달라질 수 있으며 때로는 상대적으로 작은 공간 및/또는 시간 차이에서도 크게 달라질 수 있다는 사실에서 비롯된다. 주변 온도는 기계 요소의 열팽창 및 수축으로 인해 기계 보상이 필요한 중요한 환경 속성이다. 기타에는 정전기장, 자기장, 전기장, 전자기장(가시광선, 적외선, 자외선, 무선 주파수 에너지, 마이크로파 에너지 및 전자기 스펙트럼의 다른 모든 부분 포함)이 포함된다. 특정 필드의 편광은 상당한 시공간적 변화를 나타낼 수 있다. 시공간적으로 변할 수 있는 다른 속성에는 충돌 방사선(주변 또는 방사성 동위원소 작업으로 인한 결과), 모든 종류의 미립자 물질, 에어로졸, 화학 증기, 곰팡이, 박테리아, 바이러스, 습도, 기압, 가스 부분 압력, 온도, 음향 에너지, 진동, 공기 플로우, 대류, 열 복사, 열 전도성, 전기 전도도, 전기 화학적 효과, 대기 pH, 조임력, 중력 및 기타 속성과 같은 요소의 유형, 분포 및 강도가 포함된다. 또한 환경은 유사 중력, 원심력 및 구심력, 코리올리 및 에오트보스 힘 등과 같은 유사 힘의 효과와 관련하여 시공간적으로 다양하다.

[0129] 환경 속성 효과의 크기는 작업이 수행되는 특정 환경에 따라 달라질 수 있다. 예를 들어, 지구의 자전은 편향의 방향과 크기가 지구 상의 물체의 위치와 경로에 따라 달라지는 코리올리/에오트보스 효과를 생성한다. 이 편향 벡터가 두 위치와 방향 사이에서 충분히 달라서 작업이 수행되는 위치에 따라 작업 결과를 변경하는 시나리오는 흔하지 않다. 그러나 원심 분리기나 회전하는 우주 정거장과 같이 각속도가 더 높은 영역에서 수행되는 작업의 경우 코리올리스/에오트보스 효과는 훨씬 더 커질 수 있으며 작은 거리와 경로 방향의 작은 변화에 따라 크게 달라질 수 있다. .

[0130] SCOFAST 기계에 작업을 통합하면 각 작업이 위치 또는 시공간적 환경 변동성과 무관하더라도 기계 간에 일반적으로 달라지는 일부를 포함하여 공통된 통합 기계 속성 세트를 경험할 수 있다. 예를 들어, 독립 기계는 열 및 전기 기준선과 전도성, 정전기장, 전기화학적 효과, 기류, 대류 플로우, 전류, 자기장, 조임력, 가속 프로필, 진동 모드, 감쇠, 강성, 고조파, 힘에 대한 편향, 미립자 및 다른 많은 속성들 측면에서 다양할 수 있다.

[0131] *작업물 이동 감소*

[0132] 일부 시나리오에서는 단순히 SCOFAST 기계의 작업 결합으로 작업물 이동이 제거되기 때문에 새롭고 향상된 결과가 발생할 수 있다. 예를 들어 수플레 또는 기타 섬세한 폼을 작업 사이에 이동해야 하는 경우 동작 자체로 인해 또는 환경 일관성 손실(예: 열충격)로 인해 붕괴가 발생할 수 있다.

[0133] *생태학적 일관성*

[0134] 생화학적 또는 생물학적 지향 기계에서는 작업 결과에 영향을 미칠 수 있는 속성의 수가 훨씬 더 많다. 기계 생태, 무균성, 미량 원소, 촉매 강화제 또는 억제제, 상태 이력, 광 스펙트럼 및 기타 여러 요인이 작은 차이에 반응하여 상당한 영향을 미칠 수 있다. 공간적으로 일관된 운영 전반에 걸친 공통 공유 생태계는 다양한 변동성의 원인을 제거할 수 있다. 예를 들어, 한 실시예에서 생물 제조 공정은 생물학적 활성 물질이 증착되고, 거친 형태(제1 형상)로 가압되고, (생물학적으로 또는 화학적으로) 에칭되고, 성장되고, 기계적으로 다음 모양으로 가공되는 일련의 작업들을 포함하는 다중 사이클을 필요로 한다. 여러 주기 후에 통합 SCOFAST 기계에 통합된 결합 작업으로 수행될 때 이러한 작업의 결과는 서로 다른 생태를 갖고 단계 간 핸들링 및 운송이 필요한 여러 기계에서 독립적으로 수행되는 작업 결과와 뚜렷이 다를 것으로 예상된다. 생물학적 시스템에서 각 기계 간 전송은 핸들링, 최적이 아닌 전이 공간에 대한 노출, 물리적 힘, 열충격, 오염 및 기타 피할 수 없는 공정 요소로 인해 중단될 위험이 있다.

[0135] *안전*

[0136] SCOFAST 기계 내에서 작업을 결합하면 안전성이 향상되어 결과가 향상될 수 있다. 왜냐하면 별도의 장치에서 작업을 수행하기 위해 전송이 필요할 때 위험 물질의 노출 또는 방출 위험이 더 높기 때문이다. 작업은 SCOFAST 기계에 통합되어 있으며 운송이나 핸들링이 필요하지 않다. 이곳 저곳으로 이동하기 위험할 수 있는 물질에는 고온의 부품, 반응성이 높은 원소, 강산 및 강염기, 산화 및 환원제, 방사성 물질, 감염성 물질, 폭발물, 독성 물질 및 기타 위험 물질이 포함된다. 감염성 또는 유해 물질을 사용하여 의료 또는 약리학적 제품을 제조하는

경우 해당 물질을 운송하기 위해 취급할 때마다 생물학적 위험이 배가된다. 단일 SCOFAST 기계에서 이동 없이 수행되는 여러 작업은 재료를 수동으로 전송해야 하는 다른 기계에서 수행되는 작업보다 본질적으로 더 안전하다. 작업을 저하시키는 물질 오염의 위험도 각 이동마다 증가한다. 이는 2021년 SARS-CoV2에 대한 백신 제조에서 입증되었다. 작업을 위해 재료를 다른 기계에서 수행할 때 우발적인 오염으로 인해 5천만 회 이상의 백신이 파괴되었을 때이다.

[0137] CNC 축

[0138] 작업 공간 내 임의의 객체의 위치 및 방향은 직사각형, 원형, 구형 또는 기타 유형의 일부 축 세트에 대한 좌표로 정의될 수 있다. 좌표계는 어떤 목적으로든 정의할 수 있으며 위치와 방향은 모든 축 시스템에서 다른 축 시스템으로 자유롭게 변형될 수 있다.

[0139] 모든 종류의 컴퓨터 수치 제어(CNC) 기계의 성능을 설명할 때 종종 편리한 축 좌표계 세트를 사용하여 위치, 방향 및 작업물의 모션, 도구, 장 또는 에너지 형태에 사용할 수 있는 자유도를 설명한다. 이러한 설명은 가공 및 3D 프린팅 분야에서 일반적으로 사용되지만 모든 물체, 힘 또는 작업에도 동일하게 적용될 수 있다. 특히, CNC 기계는 도구 및/또는 작업물의 제어된 이동이 동시에 발생할 수 있는 축의 수로 식별되는 경우가 있다. 일반적으로 최대 12개의 축이 설명되지만 기계 설계에 따라 임의의 축을 추가할 수 있다. 3축 기계는 3차원 선형 포지셔닝을 제공하지만 각도 포지셔닝은 제공하지 않다. 5축 기계는 3차원 선형 포지셔닝과 두 축을 중심으로 회전하는 각도 포지셔닝을 동시에 제어한다. 9축 기계는 3개의 축을 따라 선형 포지셔닝과 각 축 주위의 각도 포지셔닝을 동시에 제어하며, 3개의 추가 선형 축을 동시에 제어하여 동일한 작업 공간에서 터닝과 밀링을 모두 가능하게 한다. 12축 기계에는 일반적으로 3개의 보조 선형 축 각각을 중심으로 선형 위치와 각도 회전을 동시에 제어하는 추가 헤드가 갖추고 있어 핀치 밀링, 다성분 적층 제조, 다양한 유형의 동시 작업 및 통상의 기술자에게 명백한 그렇지 않으면 어렵거나 불가능한 작업과 같은 작업이 가능하다.

[0140] CNC 축에 라벨을 붙일 때, 처음 3개 축은 일반적으로 X, Y, Z 선형 축이다. 수평 가공 센터에서 Z축은 일반적으로 그림 14A와 같이 스핀들과 정렬되고 Y축은 국부 중력장의 축과 정렬되며 X 및 Z축은 기계 베드와 평행하다. 수직형 가공 센터에서 Z축은 일반적으로 그림 14B와 같이 기계 스핀들과 일직선을 이루며 X축과 Y축은 작업 테이블 표면과 평행하다. 각각의 경우 두 번째 3개 축은 오른손 법칙에 따라 각각 X, Y, Z축을 중심으로 회전하는 A, B, C 회전축이다. 이러한 축을 따라 작업물과 도구가 이동하면 도구와 작업물이 서로 다른 각도와 위치에서 상대적으로 방향을 잡을 수 있다. 이는 특정 도구를 사용할 수 있는 작업의 수와 다양성을 증가시켜 필요한 도구 변경 횟수를 줄인다. 일반적으로 참조되는 세 번째 축 세트는 X2, Y2 및 Z2 축이다. 이 축은 각각 X, Y 및 Z 축과 평행하고 CNC 기계에서 별도의 명령으로 관리되는 보조 선형 축이다. U축이라고 하는 또 다른 편의 프로그래밍 축은 선반과 같은 터닝 기계에서 스핀들의 회전 축을 기준으로 정의된다. 이 축은 기계 스핀들에 수직인 움직임을 정의하므로 U축의 움직임은 부품의 가공 직경을 제어한다. 네 번째 축 세트는 각각 X2, Y2 및 Z2 축을 중심으로 회전하는 A2, B2 및 C2 회전 축이다. 전술한 내용에도 불구하고 각 기계 제조업체는 각 특정 기계에 대한 축을 정의하고 이름을 지정하며 많은 이름 지정 및 제어 변형이 존재한다.

[0141] SCOFAST 기계 내에서 임의의 수의 작업물 및 툴링 축이 제어될 수 있으며 작업은 임의의 축을 따라 수행될 수 있다.

[0142] **추가 마감 작업**

[0143] AF(적층 가공) 작업은 분자적, 야금학적, 화학적, 미세 구조, 초미세 구조, 구조적, 기계적 및/또는 기타 벌크, 층, 표면 및/또는 적층 작업 중에 증착된 재료의 마감 특성을 변경하여 적층 가공(AM) 작업을 완료하거나 향상시키기 위해 수행되는 보충 작업이다. 적층 가공 작업을 통해 생성되거나 보강된 작업물의 치수는 적층 가공 작업의 결과로 변경될 수 있지만 작업물을 초기 형상에서 새로운 형상으로 변경하는 것은 적층 가공 작업의 주요 목적이 아니다.

[0144] 추가 마감 작업은 다공성, 밀도, 층 접착력, 입자 응집력, 응력 패턴, 경도, 인성, 연성, 강도, 피로 강도, 탄성 계수, 파단 연신율, 파단 압축, 항복 강도, 응력, 변형 곡선, 열 전도도, 전기 전도도, 내식성, 거칠기 또는 기타 재료 특성 또는 위 항목의 조합을 변경하는 역할을 할 수 있다. 볼링, 다공성, 균열, 분말 응집, 열 응력, 불완전 융합, 수축 다공성, 가스 다공성, 액화 균열 및 기타와 같은 내부 및/또는 표면 결함을 개선하기 위해 추가 마감 작업을 사용할 수 있다.

[0145] 첨가제 마감 작업의 예로는 탈지, 소결, 레이저 소결, 압축 소결, 지향성 에너지 증착, 열 처리(HT), 용체화 열처리(SHT), 열간 등압 가압(HIT), 냉간 등압 가압, 압축, 치밀화, 가열, 냉각, 어닐링, 전자기 노출, 광자

노출, 피닝, 해머링, 피닝, 블라스팅, 비드 블라스팅, 쇼트 블라스팅, 가압, 롤 가압, 연마, 레이저 연마, 레이저 피닝, 레이저 쇼트 피닝, 레이저 쇼크 피닝, 롤링, 링 압연, 정형 압연, 링 단조, 심냉간 압연, 단조, 압출, 초음파 피닝, 기계적 피닝, 쇼트 피닝, 해머 피닝, 가스 노출, 용체화 처리, 용체화 열처리 등이 포함된다. 여기서 적층 마감 작업은 성형 작업 및 변형 작업과 구별되는 것으로 간주되며, 적층 마감 작업의 일부로 분류된 활동은 정의에 따라 성형 또는 변형 작업 범주에서 제외된다. 얻은 결과는 사용된 적층 공정에 따라 정의된다. 적층 작업물에 적용하면 적층 작업을 보완한다.

[0146] 첨가제 마감 작업은 층 증착 동안, 또는 첨가제 증착의 각 층 후에, 또는 추가 작업 또는 일련의 추가 작업 동안 주기적으로, 또는 추가 작업 또는 일련의 추가 작업이 완료된 후, 또는 전술한 것들의 임의의 조합을 통해 수행될 수 있다. 적층 마감 작업은 적층 제조 작업(예: SCOFAST 기계 내)과 밀접하게 통합되거나 적층 작업 자체와 별도로 수행되는 후처리 활동의 일부로 수행될 수 있다.

[0147] 예비 형태로 적층 제조된 작업물에 적층 마감 작업을 수행하는 데 유용한 특정 기술은 X. Peng, L. Kong, J. Y. H. Fuh, and H. Wang, "A Review of Post-Processing Technologies in Additive Manufacturing," *Journal of Manufacturing and Materials Processing*, vol. 5, no. 2, Art. no. 2, Jun. 2021, doi: 10.3390/jmmp5020038 (Peng et al., 2021)(여기에 참조로 포함됨) 및 미국 특허 US10220434B2(여기에 참조로 포함됨)에 나와 있다.

[0148] *조형작업/성형*

[0149] 성형은 에너지 함량을 변경하거나 변경하지 않고 작업물에 힘을 가하여 작업물의 형태를 변경하는 공정으로, 소성 성형을 일으켜 초기 형상(잘 정의되었거나 무정형)을 원하는 새로운 모양으로 만든다. 단조나 주조 후에 플래시가 제거되는 경우와 같이 성형 중에 재료가 손실될 수 있지만 성형에는 주로 재료 제거가 포함되지 않는다. 여기에 정의된 성형 및 성형 작업은 별도로 분류되는 추가 마감 작업을 제외한다. 추가 마감 작업으로 인해 발생하는 작업물 형태 또는 특성의 변경은 추가 마감 작업 중에 힘이 가해졌는지 및/또는 소성 성형이 발생했는지 여부에 관계없이 여기에 정의된 성형의 증거가 아니다.

[0150] 성형 작업은 재료의 소성 성형을 유도하기에 충분한 힘을 가하거나 활용하여 작업물의 형상 및 기타 특성을 변경시킨다. 작업물의 에너지 함량은 성형 전이나 성형 중에 변경될 수 있으므로 형상 변경을 유도하는 데 필요한 힘을 줄일 수 있을 만큼 작업물을 충분히 소성화하거나 플로우적으로 만들 수 있다. 성형 작업은 외부 힘을 가할 필요 없이 내부 힘이나 주변 힘에 반응하여 소성 성형 또는 액화(용융) 및 플로우 변형을 겪을 정도로 작업물의 에너지 함량을 충분히 변경함으로써 진행될 수 있다. 예를 들어, 연화되거나 용융된 물질의 모양과 움직임은 지구 중력장 내에서 녹을 때 주변 중력의 영향을 받다. 미세 중력 환경에서는 표면 장력이나 주변 자기장과 같은 다른 힘이 지배적인 효과를 발휘할 수 있다. 연화되거나 용융된 재료의 모양과 움직임을 유도, 변형 또는 변경하기 위해 외부 힘이 적용될 수도 있다. 컨테이너(다이 또는 몰드)는 최종 모양을 변형할 수 있다.

[0151] 소성 성형을 통해 재료의 형상 변화가 발생하는 경우 단조, 스탬핑, 압력 성형, 딥 인발(deep drawing), 코이닝, 펀칭, 벤딩, 컬링, 롤링, 익스팬딩, 헤밍, 시밍, 플랜징, 피어싱, 업세팅, 압축, 망치질, 스웨이징, 절단, 회전, 엠보싱, 압출, 몰딩 및 기타 성형 작업 등 다양한 방법으로 수행될 수 있다. SCOFAST 기계에 통합될 수 있는 압연 기술에는 단조 압연, 열간 압연, 냉간 압연, 롤 단조, 롤 벤딩, 롤 성형, 평면 압연, 링 압연, 구조적 형상 압연 등이 포함되지만 이에 국한되지는 않다.

[0152] 작업물의 형상을 변경하는 것 외에도, 성형 작업은 종종 작업물 재료의 미세 구조를 변경하고 재료 특성을 변경하는 데 사용될 수 있다.

[0153] 성형에 대한 많은 논의가 금속 성형과 관련된 예에 초점을 맞추고 있지만, 다양한 비금속 재료가 주조 및/또는 변형을 통해 유사하게 형성될 수 있으며 많은 금속 가공 기술이 비금속 재료와 관련된 작업에 적용될 수 있다. 특정 재료의 특정 특성 및 거동에 대한 세부 정보를 제외하고, 특정 금속 또는 비금속 재료에 대한 각 참조는 소성 성형 또는 용융이 가능한 금속 및 비금속 재료에 대한 일반적인 참조로 간주되어야 한다.

[0154] 성형 작업에 유용한 일부 기술은 미국 특허 US4260346A(개선된 분말 압력), US7021401B2(에어 쿠션이 있는 전기 해머), US10343227B2(압착 도구), US1211193A(중공 몸체를 만들기 위한 단조 기계), US1545364A(못 및 그 제조 방법), US2771850A(유압 스탬핑 압력), US3342051A(증분 다이리스 성형), US3357218A(유압 압력), US3496619A(롤러 베어링 레이스), US5068779A(유압 압력용 디지털 제어), US5806362A(수압 압력용 휴대용 도구) US6520077B1(스크류 압력), US6722270B2(유압 압력), US6973780B2(유압 압력), US7102316B2(기계 압력), US7191848B2(롤링 해머 드릴), US7353686B2(압력), US7908963B2(유압) ic 압력), US8522636B2(직선 운동 US8844436B2(유압식 압력 장치), US9044913B2, US9889621B2, US10786847B2, US10238120B2(반죽 성형 압착판),

US20050126246A1(고형 압출 장치), US20080141668A1(전자 유압식 인발 압력 드라이브) 및 US20090131235A1 (스핀들 터닝 장치용 볼 베어링)에 제시되어 있고, 이들 각각은 여기에 참조로 포함된다.

[0155] SCOFAST 성형 작업에 유용한 추가적인 예시적인 시스템 및 방법은 미국 이외의 특허 CN102049461B(금속 소성 성형을 위한 다방향 수치 제어 유압 압력) 및 CN111215898A(전기 아크 첨가제 동기식 초음파 열간 압연 및 급속 냉각)에 설명되어 있으며, 이들 각각은 여기에 참조로 포함되어 있다.

[0156] SCOFAST 형성 작업에 유용한 추가적인 예시적인 시스템 및 방법은 다음의 비특허 문서에 제시되어 있으며, 이들 각각은 참고로 여기에 포함된다: K. Osakada, K. Mori, T. Altan, and P. Groche, "Mechanical servo press technology for metal forming," CIRP Annals, vol. 60, no. 2, pp. 651-672, Jan. 2011, doi: 10.1016/j.cirp.2011.05.007; and Marciniak, Z., Duncan, J. L. and Hu, S. J. (2005) Mechanics of sheet metal forming. 2. ed., transferred to digital print. Oxford: Butterworth-Heinemann.

[0157] *변형*

[0158] 변형(Deformation)이란 물체의 크기나 형태가 변하는 것을 말한다. 변위(Displacements)는 물체 위의 점 위치의 절대적인 변화이다. 편향(Deflection)은 물체의 외부 변위의 상대적인 변화이다. 변형(Strain)은 무한히 작은 재료 입방체 모양의 상대적 내부 변화이며 입방체의 길이 또는 왜곡 각도의 무차원 변화로 표현될 수 있다. 변형(Strain)은 응력-변형 곡선을 통해 큐브에 작용하는 힘(응력이라고 함)과 관련된다. 도 19에 표시된 일반적인 응력-변형 곡선에서 수직 축은 수평 축에서 신장 또는 압축(변형)을 생성하는 데 필요한 힘(응력)이다. 이 도면에서 P는 응력-변형 곡선이 선형인 응력의 최대값을 나타내는 비례 한계이다. E는 영구 변형이 없는 최대 응력 값을 나타내는 탄성 한계이다. 곡선이 비례 한계와 탄성 한계 사이에서 선형이 아니더라도 재료는 이 영역에서 여전히 탄성을 가지며 이 지점 이하에서 하중이 제거되면 시편은 원래 길이로 돌아간다. Y는 응력의 함수로서 변형이 크게 증가하기 시작하는 응력 값을 나타내는 항복점이다. 항복점에서의 응력을 항복강도라고 한다. 잘 정의된 항복점이 없는 재료의 경우 일반적으로 변형 값 0.002에서 x축과 교차하는 곡선의 선형 부분에 평행한 선이 그려지는 0.2% 오프셋 방법을 사용하여 정의된다. 선이 응력-변형 곡선과 교차하는 지점을 항복점으로 지정한다. U는 응력-변형 다이어그램에서 응력의 최대값인 극한 강도에 해당한다. 극한강도는 인장강도라고도 한다. 극한 응력에 도달한 후 연성 재료의 시편은 넥킹을 나타내며 시편의 국부적인 영역의 단면적이 크게 감소한다. F는 파단점 또는 파손점으로, 재료가 파손되어 두 조각으로 분리되는 지점이다. 응력과 변형 사이의 관계는 일반적으로 항복점까지 거의 선형이고 가역적(탄성 변형)이다. 항복점 이상에서는 하역 후에도 어느 정도 영구적인 왜곡이 남아 있다. 이러한 왜곡을 소성 성형이라고 한다. 고체 물체 전체의 응력 및 변형은 재료의 강도 분석 분야와 구조 분석을 통한 구조의 분야에서 결정된다.

[0159] *탄성변형*

[0160] 탄성 변형은 가해진 힘에 반응하여 물체가 가역적으로 변형되는 현상이다. 힘이 제거되면 물체는 원래의 크기와 모양으로 돌아간다. 탄성 변형은 SCOFAST 기계에서 다양한 시나리오로 사용될 수 있다. 예를 들어 작업물의 일부가 탄성 변형되어 그렇지 않으면 접근할 수 없거나 접근하기 어려운 영역에 접근할 수 있는 경우이다.

[0161] *소성변형*

[0162] 소성 성형은 가해진 힘에 반응하여 물체가 영구적으로 변형되는 현상이다. 힘이 제거되면 물체는 원래 크기와 모양으로 돌아가지 않는다. 소성 성형은 고체 재료를 한 모양에서 다른 모양으로 변형시킨다. 단순할 수 있는 초기 형상(예: 로드, 빌렛 또는 시트 블랭크)은 도구(예: 해머 또는 다이)에 의해 가해지는 힘에 반응하여 소성 성형을 겪어 다양한 지오메트리와 종종 다른 재료 특성을 갖는 작업물을 생성한다. 일련의 이러한 공정을 사용하여 단순한 지오메트리에서 복잡한 형상으로 재료를 점진적으로 형성할 수 있다. 변형 공정은 원재료에서 완성된 부품까지 원하는 대로 변경하기 위해 주조, 가공, 연삭, 열처리 등의 다른 작업과 함께 자주 사용된다. 이러한 일련의 작업이 별도의 공간적으로 비일관적인 기계가 아닌 SCOFAST 기계에서 수행될 때, 장점은 상당하며 통상의 기술자에게는 즉시 명백해질 것이다. 금속에서 변형 과정은 주로 금속 플로우를 포함하며 장기적인 야금 속도 과정에 의존하지 않다.

[0163] *상당한 소성 성형*

[0164] 실질적인 소성 성형은 약 1 mm 이상의 선형 치수의 길이 변화 또는 약 0.01 라디안 이상의 각도 치수의 변화를 초래하는 작업물의 소성 성형이다.

[0165] *벌크 성형 vs 시트 성형*

[0166] 성형(변형) 공정은 2개의 넓은 그룹, 즉 벌크 성형 공정과 시트 성형 공정으로 편리하게 분류될 수 있다. 벌크 성형 공정에서 초기 작업물은 빌렛, 로드 또는 슬래브와 같이 표면적 대 부피 비율이 낮다. 시트 성형 공정에서 초기 작업물은 표면적 대 부피(시트 재료)의 비율이 높다. 표 III에는 벌크 성형과 시트 성형을 구별하는 몇 가지 속성이 나열되어 있다.

[0167] 벌크 성형(벌크 변형)은 부피에 대한 표면적의 비율이 낮은 원료 또는 작업물(벌크 재료)을 사용하는 것을 말한다. 압연, 단조, 압출 및 인발은 벌크 성형 공정의 예이다. 벌크 성형에서는 표면적 대 부피 비율이 크게 증가할 수 있다. 이에 반해, 시트 성형(시트 변형)은 표면적 대 부피 비율이 높은 원료 또는 작업물(시트 재료)을 사용하는 것을 의미한다. 벤딩, 접기, 신장, 플랜징, 인발 및 윤곽 형성은 일반적인 시트 형성 공정의 예이지만 이러한 형성 공정은 벌크 재료에도 동일하게 적용될 수 있다. 시트를 형성할 때 부피에 대한 표면적의 비율은 크게 변하지 않다.

[0168] 두 가지 유형의 공정 사이의 주요 차이점은 벌크 성형이 소성 성형을 통해 고체 재료의 한 모양을 다른 모양으로 변경하여 초기에 낮은 표면적 대 부피 비율이 눈에 띄게 증가한다는 것이다. 대조적으로, 시트 성형은 재료의 지오메트리를 변경하기 위해 힘을 가하지만 일반적으로 그 모양을 눈에 띄게 변경하지 않으며 초기에 표면적 대 부피의 높은 비율을 눈에 띄게 변경하지 않다. 벌크 성형에서는 일반적으로 탄성 대 소성 성형의 비율이 낮은 반면, 시트 성형에서는 탄성 변형량이 소성 성형과 같거나 그 이상인 경우가 있다. 벌크 성형에서 투입 재료는 일반적으로 부피 대비 표면적 비율이 낮은 형태(예: 빌렛, 로드, 와이어, 바, 슬래브 또는 표면적 대 부피 비율이 낮은 부분적으로 형성된 작업물)이다. 벌크 성형 공정에서는 표면 대 부피 비율이 상당히 증가한다. 시트 성형에서 부피에 대한 표면적 비율이 높은 시트 블랭크는 일반적으로 전체 시트 두께와 표면 특성에 큰 변화가 없고 면적 대 부피 비율의 큰 증가 없이 더 복잡한 3차원 구성으로 소성 성형된다.

[0169] ASTM 표준에서는 판재를 두께가 5.00㎜ 이상, 너비가 250㎜ 이상인 재료로 정의한다. 시트 재료는 두께가 5.00㎜ 미만이고 너비가 600㎜ 이상인 재료이다. 스트립은 두께가 5.00㎜ 미만이고 너비가 600㎜ 미만인 냉간 압연 시트 재료이다. 막대에는 모든 크기의 원형, 정사각형 및 육각형뿐만 아니라 지정된 두께가 5㎜를 초과하고 지정된 폭이 150㎜를 초과하지 않는 평면과 지정된 두께가 6㎜를 초과하는 평면(지정된 너비가 150~200㎜ 포함)이 포함된다.

[0170]

표 III: 벌크 성형과 시트 성형의 속성(Attributes of bulk forming vs sheet forming)	
벌크 성형(Bulk deformation)	시트 성형(Sheet forming)
공작물은 초기에 부피 대비 면적 비율이 낮다.	작업물은 초기에 높은 면적 대 부피 비율을 갖는다.
적용된 성형 응력은 3차원일 수 있다.	적용된 성형 응력은 평면이다.
소성 변형을 통해 형태가 크게 변경된다. 지오메트리도 변경될 수 있다.	시트의 지오메트리는 힘에 따라 변형되지만 형태에는 큰 변화가 없다.
면적 대 부피 비율이 크게 증가한다.	면적 대 부피 비율이 크게 증가하지 않음.
면적 대 부피 비율이 낮은 빌렛, 봉, 슬래브, 선재 및 기타 형태.	시트.
형태와 재료 단면 모두에서 눈에 띄는 변화.	시트 형태나 재료 단면에 큰 변화가 없음.
탄성변형보다 훨씬 큰 소성변형.	소성 변형과 탄성 변형은 비슷한 크기이다.

[0171] *윤활제*

[0172] 마찰과 마모를 줄이고, 작업물에서 다이으로의 열 전달을 줄이는 열 장벽 역할을 하며, 부품이 다이에 달라붙는 것을 방지하는 이형 화합물 역할을 하기 위해 성형 시 윤활제가 사용된다. 윤활제는 액체, 고체 또는 분말 고체일 수 있다. 성형에 사용되는 고체 윤활제의 예로는 흑연, 몰리브덴 화합물, 질화붕소 등이 있다. 액체 윤활제의 예로는 물, 절삭유, 석유 제품, 합성 유체 및 올리브유, 홍화유 또는 기타 생물학적 유래 오일과 같은 천연 자원에서 추출한 오일이 있다. 액체질소와 같은 냉각제도 윤활제 역할을 할 수 있다. 윤활제가 기화하면 반응성 또는 불활성 대기의 원인이 되어 산소 및 이산화탄소와 같은 주변 가스를 대체할 수도 있다. 액체 또는 증기 형태의 윤활제는 선택된 재료 변형을 위한 원하는 결합 재료의 소스 역할을 할 수도 있다.

[0173] 성형력

[0174] 플로우 응력은 재료의 지속적인 소성 성형을 유도하거나 유지하기 위해 적용되어야 하는 단위 면적당 힘을 측정한 것이다. 적용된 힘(네킹 없는 단축 인장 및 팽창 없는 단축 압축)이 적용 조건에서 재료에 대한 항복 응력 또는 플로우 응력 값에 도달하면 재료가 플로우(소성 성형)되기 시작한다. 플로우 응력(Y)은 온도(T), 변형

(strain, ε) 및 변형율(strain rate, $\dot{\varepsilon}$)의 함수로 표현될 수 있다.

[0175] $Y=f(T,\varepsilon,\dot{\varepsilon})$

[0176] 금속이 재료의 재결정 온도보다 높은 온도에서 형성되면 플로우 응력에 대한 절대 변형의 영향은 작고 변형률의 영향은 높다. 재료의 플로우 응력은 일반적으로 변형, 변형률 및 온도 조건의 원하는 조합에 대해 실험적으로 결정된다. 발표된 응력-변형 곡선이 이미 존재하는 경우 원하는 변형률 및 온도에 대한 응력-변형 곡선에서 필요한 힘을 직접 추정할 수 있다. 가장 일반적으로 사용되는 상업용 티타늄 합금인 Ti-6Al-4V의 응력-변형 곡선은 도 17에 나와 있다. 티타늄 합금 6246은 열처리가 가능하고 고온 경화가 가능한 또 다른 알파-베타 티타늄 합금으로, 뛰어난 기계적 강도와 사용시 최대 460° C의 우수한 속성 유지력을 가지고 있어 항공기 엔진과 같은 고온 서비스 환경에 유용하다. 티타늄 합금 Ti-6246에 대해 측정된 응력-변형 곡선은 도 18에 나와 있다. 응력-변형 곡선은 수많은 금속, 금속 합금, 세라믹, 플라스틱, 유리 및 기타 재료에 대해 알려져 있다.

[0177] 플로우 응력(Y)은 소성 성형에 필요한 총 성형력(F)을 결정하는 가장 큰 요인이다. 그러나 단조 작업과 같이 금속이 다이로 유입되어야 하는 경우 마찰을 통해 필요한 힘이 증가한다. 더 큰 마찰 표면과 더 복잡한 다이 모양은 모두 더 큰 마찰을 초래한다. 그러면 F는 다음과 같이 추정될 수 있다.

[0178] $F = Y*A*K$

[0179] 여기서 Y는 원하는 단조 온도 및 변형률에서 재료의 소성 성형을 유도하거나 유지하는 데 필요한 플로우 응력(단위 면적당 힘)이고, A는 단조품의 투영 면적(플래시 포함)이며, K는 모양 복잡성에 맞게 조정된 마찰 계수이다. 플래시(flash)가 없는 단순한 모양의 경우 K의 범위는 1~5이다. 플래시가 있으면 K가 1~3포인트 더 증가할 수 있다. 더 복잡한 모양의 경우 K의 범위는 8~12일 수 있다.

[0180] 항복 강도는 도 19: 재료에 대한 응력-변형 다이어그램에 표시된 대로 응력-변형 곡선의 항복점 Y에 해당하는 완전한 탄성 회복이 더 이상 발생하지 않고 소성 성형이 시작되는 플로우 응력이다.

[0181] SCOFAST 기계 내에서 소성 성형을 초래하는 작업을 수행하는 각 도구는 원하는 성형의 온도 및 변형률에서 작업물 재료의 면적에 가해진 재료의 항복 강도보다 큰 총 성형력 F를 적용하거나 수신해야 한다. 이는 마찰 효과에 대한 조정이 되어 있다.

[0182] 원하는 온도에서 특정 금속 재료의 공칭 항복 강도(nominal yield strength)는 표 IV에서 도시된 바와 같이, 재료의 비열과 두 온도에서의 탄성 영률 측정값을 고려하여 임의의 다른 온도에서 알려진 항복 강도로부터 추정할 수 있다.

[0183] 표 IV: 온도 T에서 재료 항복 강도 추정

$$\sigma_y(T) = \left[\frac{E_T}{E_0}\left(1-\frac{\int_{T_0}^{T} C_p(T)dT}{\int_{T_0}^{T_M} C_p(T)dT}\right)\right]^{0.5}\sigma_y(T_0)$$

$\sigma_y(T)$ 온도 T에서 재료의 알려지지 않은 항복 강도
$\sigma_y(T_0)$ 온도 T_0에서 재료의 알려지지 않은 항복 강도
$C_p(T)$ 온도 T에서 재료의 비열
E_T 온도 T에서 재료의 영률
E_{T0} 온도 T_0에서 재료의 영률
T_M 물질의 융점
T_0 항복 강도가 알려진 시작 온도

[0184] 이 방정식의 유도는 W. Li, X. Zhang, H. Kou, R. Wang, and D. Fang, "Theoretical prediction of temperature dependent yield strength for metallic materials," *International Journal of Mechanical Sciences*, vol. 105, pp. 273-278, Jan. 2016, doi: 10.1016/j.ijmecsci.2015.11.017 (Li et al., 2016)에서 알 수 있고, 이는 여기에 참조로 포함된다.

[0185] 영률은 어떤 온도에서도 쉽게 측정할 수 있고, 재료의 비열도 쉽게 찾아내거나 측정할 수 있어 어떤 온도에서든 예상 항복강도를 쉽게 추정할 수 있다. 일부 일반적인 재료에 대한 실온에서의 실험적 항복 강도는 표 V에 나와 있다.

표 V: 실온에서 선택된 재료의 항복 강도			
재료	합금	최고 항복 강도S_{TS}(psi)	항복 강도 S_{YP}(psi)
초고강도강	AISI 4340	287,000	270,000
스테인레스강(시효 경화 가능)	AM 350	206,000	173,000
고탄소강	AISI 1095[2]	200,000	138,000
흑연-에폭시 복합재	-	200,000	-
티타늄	Ti-6AI-4V	150,000	128,000
세라믹	티타늄 카바이트(본딩됨)	134,000	-
니켈 기반 합금	Inconel 601	102,000	35,000
중탄소강	AISI 1060(HR)[3]	98,000	54,000
	AISI 1060(CD)[4]	90,000	70,000
저탄소, 저합금강	AISI 4620(HR)	87,000	63,000
	AISI 4620(CD)	101,000	85,000
스테인레스강(오스테나이트계)	AISI 304(어닐링됨)	85,000	35,000
황동(Yellow brass)	C26800(hard)	74,000	60,000
상업용 청동	C22000(hard)	61,000	54,000
저탄소(mild) 강	AISI 1020(CD)	61,000	51,0000
	AISI 1020(어닐링됨)	57,000	43,000
	AISI 1020(HR)	55,000	24,000
인청동()	C52100(어닐링됨)	55,000	24,000
회색 주철(gray cast iron)	ASTM A-48(class 50)	50,000[5]	-
회색 주철(gray cast iron)	ASTM A-48(class 40)	40,000	-
알루미늄(단조)	2024-T3(열처리됨)	70,000	50,000
알루미늄(단조)	2024(어닐링됨)	27,000	11,000
알루미늄(파머(perm), 몰드주조)	356.0(sol,n. 처리: 시효화)	38,000	27,000
마그네슘(압출)	ASTM AZ80A-T5	50,000	35,000
마그네슘(주조)	ASTM AZ30A	29,000	14,000
열경화성 폴리머	에폭시(유리 강화)	-	10,000
열가소성 폴리머	아크릴(주조)	-	7,000

[0186]

[0187] SCOFAST 기계 작동에서 적용되고 수용되어야 하는 실제 힘은 존재할 수 있는 변형률 및 마찰 효과에 따라 달라지는 양만큼 재료의 공칭 항복 강도보다 클 것이다.

[0188] 티타늄 성형

[0189] 느린 변형 속도는 더 낮은 변형 속도에 대응하기 때문에 티타늄 및 기타 특수 합금을 성형할 때 느린 변형 속도가 유리할 수 있다. 특정 티타늄 등급 또는 합금이 주어진 온도에서 형성될 수 있는 정도는 해당 온도에서의 인장 시험에서 균일한 신장률에 반영된다. 균일한 연신율은 합금이 파손되지 않고 견딜 수 있는 최대 신축성뿐만 아니라 최소 벤딩 반경도 결정한다. 이러한 점에서 어닐링된 Grade 1, Grade 11 및 Grade 17은 최대 성형성을 나타낸다. 그 다음에는 등급 2, 7, 16, 3, 12, 4 및 5가 있다. ASTM 사양(B265)에 정의된 시트 및 판 제품 형태의 이러한 합금에 대한 벤딩 반경이 표 VI에 나와 있다.

표 VI: 어닐링된 티타늄 시트 및 플레이트의 실온 벤딩 반경		
ASTM 등급	벤딩 반경(Bend Radius)	
	0.070" 두께(thick)	0.070" to 3/8" 두께(thick)
1	3T	4T
17	3T	4T
11	3T	4T
2	4T	5T
16	4T	5T
7	4T	5T
3	4T	5T
12	4T	5T
4	5T	6T
5	9T	10T

[0190]

[0191] 재료 항복 강도를 감소시키고 입자 플로우를 개선하기 위해 가열함으로써 더 작은 반경이 달성될 수 있다. 특정 등급의 티타늄에 대한 최소 벤딩 반경은 해당 등급에 대해 ASTM에서 지정한 벤딩 반경의 약 절반이다.

[0192] 상온에서 성형할 경우, 성형 후 티타늄의 스프링백으로 인해 벤딩 각도가 15~25도 정도 손실될 것으로 예상된다. 합금의 강도가 높을수록 예상되는 스프링백 정도도 커진다. 스프링백에 대한 보상은 오버성형을 통해 이루어진다. 냉간 성형된 티타늄 합금 부품의 열간 크기 조정도 사용될 수 있다. 뜨거운 사이징 온도가 응력 완화를 허용할 만큼 충분히 높다면 뜨거운 사이징은 사실상 스프링백을 제거할 수 있다.

[0193] 다른 금속과 마찬가지로 티타늄의 연성은 온도에 따라 증가하므로 실온에서는 불가능한 높은 온도에서의 성형 작업이 가능하다. 어닐링된 등급 5 시트의 벤딩 반경에 대한 상승된 온도의 영향이 표 VII에 나와 있다.

표 VII: 5등급 티타늄의 최소 벤딩 반경에 대한 온도의 영향E(ffect of temperature on minimum bend radius of grade 5 titanium)	
온도 F(C)	최소 벤딩 반경(Minimum Bend Radius)
70 (21)	9T
400 (204)	8T
600 (316)	8T
800 (427)	8T
1000 (538)	6T
1200 (649)	5T
1400 (760)	3T
1500 (816)	2T

[0194]

[0195] 약 625° C - 675° C에서 등급 5를 성형할 때 스프링백이 사실상 제거되며 중요한 기계적 특성은 해당 온도에서 부정적인 영향을 받지 않다. 표면 산화는 약 550° C를 초과하는 온도에서 요인이 될 수 있으므로 보호 유체, 가스 또는 증기 보호 또는 후속 스케일 제거가 필요하다. 열간 성형을 위한 가열은 유도 코일, 용광로, 복사 가열, 직접 화염 충돌, 레이저 또는 기타 방법을 통해 수행할 수 있다. 표면 검사 및 내부 응력을 방지하기 위해 가열된 금속을 균일하게 냉각할 수 있는 공급이 필요할 수 있다. 온간 성형 또는 열간 성형 부품의 열 수축을 조정해야 할 수도 있다.

[0196] *인발 윤활제*

[0197] 기존의 성형 윤활제는 일반적으로 티타늄과 함께 사용할 경우 효과적이지 않다. 효과적인 윤활제에는 건식 필름 또는 박리 가능한 형태의 폴리에틸렌 또는 폴리프로필렌, 질화붕소, 고압 그리스 오일, PTFE와 이황화 몰리브덴을 함유한 트리클로로에틸렌에 아크릴 수지 현탁액이 포함된다.

[0198] 티타늄을 뜨겁게 인발함으로써 완성된 부품의 더 깊은 인발, 더 낮은 하중 및 더 적은 왜곡(distortion)을 얻을 수 있다. 비합금 티타늄의 경우 200° -325° C 범위의 온도가 선호될 수 있다. 연성이 낮고 실온에서 인발하기 어려운 5등급과 같은 티타늄 합금은 종종 480° -650° C 범위에서 고온으로 인발될 수 있다. 열간 성형 윤활제는 흑연, 이황화 몰리브덴, 질화 붕소 또는 기타 적합한 재료를 함유할 수 있으며 인산아연 컨버전 코팅 위에 적용될 수 있다.

[0199] 단조

[0200] 단조는 힘을 가하여 작업물의 대량 소성 성형을 제어하는 것을 의미한다. 단조 공정에서 재료는 인발(길이 증가 및 단면적 감소), 뒤집기(길이 감소 및 단면적 증가) 또는 개방형 또는 폐쇄형 압축 다이(다방향 플로우)로 가압되거나 압착될 수 있다. 단조품은 일반적으로 동일한 재료의 주조 부품에 비해 중량 대비 강도 비율이 더 높다. 이는 단조가 더 조밀한 미세 구조, 더 정의된 입자 패턴, 감소된 다공성으로 이어져 이러한 부품이 주조보다 훨씬 더 강해지기 때문이다. 따라서 단조된 후 가공되는 부품은 주조품으로 가공되는 부품에 비해 성능 한계가 더 좋다. SCOFAST 기계 내에서 주조되거나 3D 프린팅된 부품은 이후에 단조 및/또는 가공되는 것이 유리할 수 있다.

[0201] 단조 작업은 열에너지를 추가하거나 제거하지 않고 수행될 수 있다. 단조 공정은 다양한 온도에서 수행될 수 있다. 그러나 일반적으로 금속 온도가 단조되는 재료의 재결정 온도보다 높은지 낮은지에 따라 분류된다. 온도가 재료의 재결정 온도보다 높으면 열간 단조로 간주된다. 온도가 재료의 재결정 온도보다 낮으나 켈빈 척도와 같은 절대 단위로 재결정 온도의 30%를 초과하는 경우 온간 단조라고 한다. 온도가 절대값으로 재결정 온도의 30% 미만이면 냉간 단조로 간주된다.

[0202] 단조는 동등한 주조 또는 가공 부품보다 더 강한 조각을 생산할 수 있다. 단조 과정에서 금속이 성형됨에 따라 내부 입자 질감이 부품의 일반적인 모양을 따르도록 변형된다. 결과적으로 질감 변화가 부품 전체에 걸쳐 연속되어 강도 특성이 향상된 부품이 생성된다. 많은 재료가 냉간 단조될 수 있지만 철, 강철, 티타늄과 같은 더 강한 금속은 열간 단조되는 경우가 더 많다. 열간 단조는 냉간 성형에 비해 훨씬 적은 힘이 필요하고 가공 경화가 훨씬 적어 후속 가공 작업이 용이한다. 경화가 필요한 경우 가열 후 일시적으로 제어되는 냉각과 같은 다른 경화 방법을 사용할 수 있다.

[0203] SCOFAST 기계 내에서 단조 작업을 수행하기 위한 특정 기계 요소의 설계는 도 20에 도시된 바와 같이 많은 요인에 따라 달라진다: 단조의 장비 변수 및 공정 변수. SCOFAST 기계에 유리하게 통합될 수 있는 단조 요소의 설계, 선택 및 통합의 많은 측면이 Altan, T. 및 Shirgaokar, M. '단조 장비 선택'(Altan 및 Shirgaokar)에 제시되어 있으며, 이는 여기에 참조로 통합된다.

[0204] *실질적인 단조*

[0205] 실질적인 단조란 작업물의 치수가 약 1mm 이상 변하는 단조를 말한다.

[0206] *5등급 티타늄 빌렛 단조 시험*

[0207] 5등급 티타늄 빌렛 단조 시험은 직경 0.5인치, 길이 0.75인치인 5등급 티타늄 원통형 빌렛을 먼저 가열한 다음 업셋 단조하는 것으로 구성된다. 테스트에서 유도 가열기는 빌렛의 온도를 약 900C까지 올리고 단조 압력는 빌렛을 약 0.5인치의 최종 길이로 단조하는 데 충분한 힘을 가한다.

[0208] *다이 단조*

[0209] 다이 단조는 다이 사이의 재료의 압축 변형이다. 포친(Forchine)에서 메인 스핀들 콜릿의 면은 닫힌 다이의 한 면 역할을 할 수 있다.

[0210] *냉간단조*

[0211] 냉간 단조는 절대 규모로 재결정 온도의 30% 미만의 온도에서 금속의 소성 성형을 유도하기 위해 힘을 가하는 것이다. 냉간 성형은 대부분 주변 온도에서 수행된다. 냉간 단조는 인장 강도, 항복 강도 및 경도를 증가시키는 동시에 연성을 감소시킨다. 연성을 향상시키고 잔류 표면 응력을 줄이기 위해 냉간 단조 후에 작업물을 열처리할 수 있다.

[0212] *온간단조*

[0213] 재결정 온도 이하이지만 재결정 온도의 30% 이상(절대 규모로)으로 증가된 성형 온도는 소성 성형을 달성하는 데 필요한 힘을 감소시킬 수 있으며 또한 성형 중에 작업물이 경화되는 정도에 영향을 미칠 수 있다.

[0214] *열간단조*

[0215] 열간 단조는 작업물을 재결정 온도 이상으로 가열한 후 힘을 가하여 원하는 형상으로 변형시키는 방법으로 수행된다. 공정 전체의 열 프로파일이 새로 단조된 부품의 야금학적 및 구조적 특성에 큰 영향을 미칠 수 있고 온도가 다이 수명, 윤활 필요성 및 부품 품질에 큰 영향을 미치기 때문에 온도 제어가 중요할 수 있다. 원하는 결과

를 얻기 위해 일반적으로 시작 재료 온도, 다이 입구 온도, 다이 온도, 공정 중 온도(성형 공정 중 금속 또는 기타 재료의 온도) 등 여러 온도를 측정하고 제어한다.

[0216] 열간 단조를 위한 최적의 온도는 모재, 단조되는 부품의 지오메트리, 사용 가능한 단조력 및 원하는 변형률에 따라 달라진다. 최상의 결과를 얻으려면 일정량의 반복 테스트가 필요하다. 다양한 금속 단조에 대한 공칭 온도 범위가 표 VIII에 나와 있다.

표 VIII: 일반 금속의 공칭 단조 온도(Nominal forging temperatures for common metals)

재료(Material)	섭씨온도(Degrees Celsius)
탄소강 - 탄소 함량 0.50%(Carbon steel - 0.50% carbon content)	1230
스테인레스강(비자성)(Stainless steel (Nonmagnetic))	1150
스테인레스강(자성)(Stainless steel (Magnetic))	1095
니켈(Nickel)	1095
티타늄(Titanium)	955
구리(Copper)	900
황동(구리와 아연의 비율이 다양한 합금 유형)(Brass (many alloy types with varying ratios of copper and zinc))	815
상업용 청동(구리 90% 및 주석 10%)(Commercial bronze (90% copper and 10% tin))	900 - 419.53
알루미늄(Aluminum)	300 - 480
아연(Zinc)	419.53
납(Lead)	327.46
주석(Tin)	231.93

[0217]

[0218] 특정 재료에 대한 열간 가공 온도의 하한은 대략 재결정 온도에 의해 결정되며, 이는 일반적으로 절대 온도 규모에서 해당 재료의 용융 온도의 약 60%이다. 열간 가공의 상한은 산화, 입자 성장 또는 바람직하지 않은 상 변형과 같은 다양한 야금학적 요인에 의해 결정된다. 실제로 재료는 일반적으로 플로우 응력을 최대한 줄이고 열간 가공에 사용할 수 있는 시간을 최대화하기 위해 먼저 상한까지 가열된다. 열간 단조는 작업물 표면의 산화 및 기타 원치 않는 반응을 최소화하거나 표면 처리와 같은 원하는 반응을 촉진하기 위해 제어된 분위기에서 수행될 수 있다.

[0219] 단조가 이루어지는 온도는 재료와 용도에 따라 다르다. 예를 들어 강철의 냉간 성형은 종종 0~650℃의 온도에서 수행된다. 이 공정은 주로 저탄소 강철에 유용하며 회전 형상에 적용될 때 가장 효과적이다. 강철의 온간 단조는 종종 650C - 950C의 온도에서 수행된다. 온간 단조는 모든 강철에 사용할 수 있지만 축 대칭 형상에 적용할 때 가장 효과적이다. 950C 이상의 온도에서 열간 단조는 모든 강철에 사용될 수 있으며 모든 형상에 효과적이다. 이러한 작업 중 일부 또는 전부는 SCOFAST 시스템에서 수행될 수 있다.

[0220] 특정 재료 및 특정 부품의 경우 부품이 두 번 이상 가열되고 단조될 수 있으며 해당 공정에서 여러 개의 다이가 사용될 수 있다. 예를 들어, 작업물은 원재료에서 최종 형태까지 진행되는 일련의 다이를 사용하여 단조될 수 있으며, 각 인상(impression)은 나중에 공동의 필요에 따라 금속이 거친 모양으로 흐르게 한다("가장자리", "풀러링", 또는 "벤딩"). 조각은 연속적인 다이 캐비티("차단" 캐비티)를 통해 최종 제품과 더욱 유사한 모양으로 점진적으로 가공된다.

[0221] 열적 저하는 도구 수명에 중요한 요소이다. 단조 속도가 빨라지면 접촉 시간이 단축되고 도구 가열이 줄어들어 도구 수명이 두 배로 늘어난다. 반대로, 등온 단조에서는 단조 중 부품의 표면 냉각을 피하기 위해 다이가 대략 빌렛의 온도까지 가열된다. 표면 냉각에 매우 민감한 초합금 및 기타 특정 금속을 단조하려면 등온 단조가 필요하다.

[0222] 전형적인 단조 성형 작업 플로우에는 단조 후 부품의 유도 가열, 공급, 포지셔닝, 조작 및 열처리가 포함되는 경우가 많다. 이러한 단계는 SCOFAST 기계에서 쉽게 수행되며, 이 경우 여기에 설명된 대로 가공 작업 및 기타 SCOFAST-LIMIT 작업이 선행되거나 뒤따를 수 있다.

[0223] 개방형 단조와 폐쇄형 단조가 구별된다. 개방형 단조에서는 금속이 다이에 의해 불완전하게 구속된다. 폐쇄 다이 단조(인상 단조, "플래시 없는 단조" 또는 "진정한 폐쇄 다이 단조")에서 금속은 다이 반쪽 사이에 구속되고 다이 캐비티는 완전히 닫혀 단조된 작업물이 폐기물 플래시를 형성하는 것을 방지한다.

[0224] 다이 단조의 변형에는 액체 금속으로 단조 프리폼을 주조하는 것이 포함된다. 주조물이 응고된 후(아직 뜨거운

상태에서) 가공 및 기타 마감 작업 전에 거의 최종 형태로 다이에서 단조된다. 단조는 재료의 기계적 특성을 향상시키고 주조하기 어려운 기능을 추가할 수 있다. 다이 단조의 또 다른 변형에는 단조 전에 원하는 프리폼 모양이 만들어지는 모양의 수집기에 금속 방울을 분사하여 프리폼을 만드는 것이 포함된다.

[0225] 임의의 고체 금속 또는 합금이 단조될 수 있다. 각 재료의 특성은 단조의 난이도와 결과에 큰 영향을 미친다. 가장 쉽게 단조되는 일반적인 재료는 알루미늄, 구리, 마그네슘이다. 강철, 니켈, 티타늄 합금을 단조하려면 더 많은 힘이 필요하다. 주요 요소에는 재료의 분자 구성, 결정 구조 및 단조가 발생하는 온도 범위 내의 기계적 특성이 포함된다. 예를 들어, 단조에 필요한 힘은 페라이트에서 더 연성이 있는 오스테나이트로의 전이를 촉진할 만큼 강철을 충분히 가열하면 크게 감소한다.

[0226] *충격단조*

[0227] 충격 단조(예를 들어, 낙하 단조 또는 해머 단조)에서는 변형에 필요한 에너지가 해머와 같은 질량체의 급격한 감속을 통해 작업물에 전달된다. 임팩트 다이 단조에서는 다이에 반복적인 타격을 가하면 작업물 재료가 점차 다이 형태로 흘러 들어가게 된다. 폐쇄 다이 단조에서는 다이 반쪽이 결국 만날 때까지 타격이 계속된다. 충격 질량(해머)은 한 번 이상의 타격을 가하여 재료를 점진적으로 변형시키고 다이를 닫는다. 충격 단조 장치는 충격 후에도 어느 정도의 힘을 계속해서 가할 수 있다.

[0228] 압력*단조*

[0229] 압력 단조는 낙하 단조(드롭 해머 단조)에서 충격력을 빠르게 적용하는 것과 대조적으로 지속적인 압력이나 힘을 천천히 적용하여 작동한다. 단조 다이는 단일 고압 스트로크로 닫힌다. 힘은 스크류 드라이브, 유압 실린더 또는 기타 수단을 통해 생성될 수 있다. 압력 단조에서는 힘을 천천히 가하면 변형률이 낮아지고 해머 단조에 비해 부품 내부가 더 고르게 가공되는 경향이 있다. 성형 시간은 30msec에서 몇 초까지이다. 압력는 초기 충격과 뒤따르는 더 중요한 정적 힘을 통해 일정량의 에너지를 전달할 수 있다.

[0230] 이중 압력에는 반대쪽 램이 있고, 듀얼 이중 액션 압력(dual double-action press)에는 반대쪽 램이 있으며, 각 램에는 내부 플런저 쌍이 함께 모여 작업물을 제자리에 고정하도록 구성된 추가 내부 플런저가 있고 외부 플런저 쌍은 이후에 작동되어 누르는 힘을 제공한다. 상부 및 하부 이중 액션을 갖는 유압 압력의 요소는 여기에 참고로 포함된 미국 특허 US8082771B2에 설명되어 있다. 측면 압출에 유용한 유압 압력의 요소는 여기에 참고로 포함된 미국 특허 US20040129053A1에 설명되어 있다.

[0231] SCOFAST 기계 내에 통합되면 듀얼 이중 액션 유압 압력는 수직으로 계속 정렬되거나 임의의 각도로 회전될 수 있다. 왜냐하면 작업물이 수평 베드에서 중력에 의해 유지되기보다는 제 위치에 고정되기 때문이다. 이러한 방식으로 사용하면 플런저의 내부 쌍이 이미 작업 홀더에 고정된 작업물에 안착하도록 확장되어 작업물의 포지셔닝 지지대 역할을 하기보다는 위치 지정자 역할을 한다. 외부 플런저가 활성화되면 힘은 작업물에 대해 동심원이 되며, 작업 홀더와 가공 센터를 통해 전달되지 않고 압력 모듈의 구조 부재에 의해 완전히 수용된다.

[0232] SCOFAST 기계 내에서 압력는 가공 센터 및 작업물에 대한 기계 제어 하에 이동할 수 있다.

[0233] 다른 관점에서 볼 때, 밀링 센터의 기능 요소들은 가압 기계에 추가되어 가압 기능과 밀링 기능을 모두 갖는 SCOFAST 기계를 형성할 수 있으며, 가공 작업 홀더가 압력의 가압(포장(baling)) 구획 내에서 작업물을 고정할 수 있도록 요소가 배열되고, 모든 가공 도구가 그 안의 작업물을 지탱할 수 있다. 이러한 압력는 일반적으로 분말 제품 성형, 플라스틱 제품 성형, 압출 금속 성형(냉간 또는 열간), 시트 인발, 가로 가압, 벤딩, 침투(penetration) 및 교정 공정(penetration)에 사용된다. 따라서 압력에서 수행될 수 있는 모든 작업은 이렇게 구성된 SCOFAST 기계에서 수행될 수 있으며, 일반적으로 압력에서 수행되는 작업과 가공 센터에서 일반적으로 수행되는 작업의 조합을 허용한다.

[0234] *업셋 단조*

[0235] 업셋 단조는 작업물의 길이를 압축하여 작업물의 직경을 늘리는 공정으로, 이를 통해 직경이 작은 바의 길이가 직경이 큰 바의 짧은 길이로 변형될 수 있다. 업셋 공정에서 망치나 램은 막대나 줄기의 끝에 힘을 가하여 끝의 모양을 넓히고 변경한다. 이 기술은 부품이 작은 직경의 막대보다 더 큰 특정 특징을 가질 때 작은 직경의 막대로 부품을 제조하는 데 적합하다. 엔진 밸브, 커플링, 볼트, 나사 및 기타 패스너는 이 기술을 사용하여 쉽게 생산되는 부품의 예이다.

[0236] 업셋 단조는 일반적으로 수직 또는 수평으로 정렬되지만 임의의 방향으로 정렬될 수 있는 크랭크 압력 또는 유압 압력에서 종종 수행된다. 작업물은 모든 크기의 와이어, 로드 또는 스톡 바이며 작업물의 직경에 따라 업셋

에 필요한 힘이 증가한다. 일련의 혼란스러운 작업에서는 여러 개의 캐비티를 포함하는 분할 다이를 사용할 수 있으며, 다이는 열리고 작업물은 한 캐비티에서 다른 캐비티로 이동하여 순차적 작업을 통해 원하는 형태를 단계별로 생성할 수 있다.

[0237] SCOFAST 기계에서 작업으로 업셋 단조를 수행할 때 특정 고려 사항이 중요하다. 손상을 주는 버클링 없이(without injurious buckling) 한 번의 타격으로 업셋할 수 있는 지지되지 않은 금속의 길이는 막대 직경의 3배로 추정된다. 직경의 3배보다 긴 스톡의 길이는 지지대 없이 성공적으로 업셋할 수 있다. 단, 업셋 부분의 직경은 스톡 직경의 1.5배를 넘지 않아야 한다. 스톡 길이가 스톡 직경의 3배보다 크고 캐비티 직경이 스톡 직경의 1.5배를 넘지 않는 상황에서 다이 표면을 넘어 지지되지 않는 금속의 길이는 일반적으로 막대의 직경을 초과해서는 안된다. 긴 볼트에 볼트 헤드를 형성할 때 볼트 샤프트를 지지하는 다이를 사용할 수 있다. 업셋 단조 후 최종 직경은 원래 바스톡 직경보다 몇 배 더 클 수 있다.

[0238] *낙하 해머 단조*

[0239] 낙하 해머 단조는 금속을 단조하거나 스탬핑하기 위해 올려진 다음 금속 위에 떨어뜨리는 해머와 정렬된 앤빌(anvil) 또는 베이스를 사용하여 단조하는 것이다. 이 공정은 소성 성형성을 높이기 위해 금속을 가열하는 데 가장 자주 사용된다.

[0240] *다방향 단조*

[0241] 다방향 단조는 압력의 힘 축이 작업물의 주요 면에 의해 정의된 축 이외의 임의의 축을 따라 힘을 가하기 위해 작업물에 대해 각도를 이루는 기술이다.

[0242] *롤 단조*

[0243] 롤 단조는 가열된 봉, 빌렛, 플레이트 등의 단면적을 줄이는 동시에 형상을 변화시키는 공정이다. 작업물은 반대쪽 롤을 통과하여 금속 부품을 형성한다. 롤 단조와 롤 성형 모두 롤을 사용하여 재료의 형태를 변형하지만, 롤 단조는 벌크 재료의 치수를 변경하는 금속 단조 공정인 반면, 롤 성형은 작업물의 치수를 크게 변경하지 않고 작업물의 형상을 변경하는 금속 성형 공정이다. 이 용어들은 때때로 같은 의미로 사용된다.

[0244] 롤 단조는 성형된 홈을 갖는 두 개의 원통형 또는 반원통형 롤 사이에 작업물을 통과시킨다. 이러한 홈의 정확한 모양의 지오메트리는 부품을 지정된 치수로 단조한다. 롤 단조에서는 작업물의 두께가 줄어들고 길이가 늘어난다. 이 공정에서 발생하는 결정립 정렬로 인해 롤 단조는 다른 많은 공정을 통해 얻은 것보다 우수한 기계적 특성을 가진 부품을 생산할 수 있다.

[0245] *압연 링 단조*

[0246] 압연 링 성형은 베어링 레이스 및 대형 링 기어와 같은 이음매 없는 원형 부품을 제작하는 공정이다.

[0247] 네트형 단조

[0248] 네트형 단조(Net-shape forging)는 최종 형상을 얻기 위해 추가적인 가공이 필요 없이 단조를 통해 형상이 완전히 생성된 최종 조각을 생산하는 것이다.

[0249] *니어네트형 단조*

[0250] 니어네트형 단조는 최종 부품의 형태와 유사한 형태의 작업물을 생산하는 것이다. 최종 형상을 얻기 위해 단조된 작업물을 변경하려면 추가 작업이 필요하다. 공간적 일관성 유지 및 핸들링 감소로 인해 SCOFAST 기계에서 이러한 작업을 수행하는 것이 특히 유리한다.

[0251] 성형

[0252] *롤 성형*

[0253] 롤-성형(roll-forming) 또는 롤 성형(rollforming)이라고도 하는 롤 성형(roll forming)은 재료의 두께를 크게 변경하지 않고 재료를 원하는 단면으로 연속적으로 굽히는 것을 포함하는 압연 유형이다. 롤 성형은 롤 단조와 구별된다. 롤 단조와 롤 성형 모두 롤을 사용하여 재료의 형태를 변경하지만 롤 단조는 벌크 재료의 치수를 변경하는 반면 롤 성형은 작업물의 치수를 크게 변경하지 않고 형상을 변경한다. 이 용어들은 때때로 같은 의미로 사용된다. 롤 성형과 롤 단조 모두 SCOFAST 기계에 쉽게 통합된다.

[0254] 롤 성형에서 재료는 하나 이상의 연속적인 롤 세트를 통과하거나 각 패스에 대해 약간 다른 롤 지오메트리를 갖

는 동일한 롤을 여러 번 통과하며, 각 패스는 원하는 프로파일이 획득될 때까지 원하는 벤딩 패턴의 증분 부분을 수행한다. 기하학적 가능성은 넓으며 단면이 균일한 한 닫힌 모양을 포함할 수 있다. 롤 성형의 목적은 작업물의 치수를 변경하는 것이 아니지만 우연히 치수가 변경될 수 있으며 롤 성형은 가공 경화, 미세 균열 또는 굴곡 시 얇아짐을 유발하여 작업물의 재료 특성을 변화시킬 수 있다.

[0255] *롤 벤딩*

[0256] 롤 벤딩은 바, 튜브, 시트 또는 기타 작업물을 원형 호로 구부리도록 구성된 일련의 롤러를 통해 재료가 통과되는 공정이다. 간단한 롤 벤딩 지그 내에서 세 개의 롤러는 균일한 수평 간격으로 배열된 세 개의 평행 축을 중심으로 자유롭게 회전한다. 두 개의 외부 롤러가 재료 바닥을 받치고 내부 조정 가능한 롤러가 재료의 위쪽에 힘을 가한다.

[0257] 작업물이 롤러를 통해 이동함에 따라 내부 롤러가 낮아지고 작업물에 힘을 가해 바가 소성 성형과 탄성 변형을 모두 겪게 된다. 롤러 사이의 막대 부분은 원호에 가까운 3차 다항식 형태를 취한다. 작업물이 전진함에 따라 각 지점의 롤러 사이에 있는 바 부분은 바의 인접한 섹션에 의해 부과된 최종 조건에 의해 변경된 입방체 곡선의 형태를 취한다. 바의 양쪽 끝에 도달하면 중앙 롤러에 가해지는 힘이 증가하고 롤러의 방향이 반전되어 작업물이 롤러를 통해 반대 방향으로 이동한다. 공정이 계속되면 작업물은 점차 완전한 원호가 된다.

[0258] *스레드 롤링과 널링*

[0259] 스레드 롤링은 특수 다이를 사용하여 소성 성형에 의해 스레드를 형성하는 것이며, 널링은 매끄러운 표면에 파지 질감을 제공하기 위해 표면 홈을 형성하는 것이다.

[0260] *인발*

[0261] 인발은 인장력을 사용하여 금속, 유리, 세라믹 또는 플라스틱과 같은 변형 가능한 재료를 늘리는 금속 가공 공정이다. 소재가 연신할 수록 얇아진다. 시트 재료를 인발할 때 곡선 축이나 표면에 소성 성형을 생성하기 위해 힘이 가해진다. 와이어, 막대 또는 튜브를 인발할 때 감소 다이를 통해 재료를 끌어당겨 직경을 줄이고 길이를 늘리는 데 장력이 사용된다. 인발은 뜨겁거나 차갑게 수행될 수 있다. 인발 제조 예로는 딥 인발, 샬로우 인발, 바 인발, 튜브 인발, 와이어 인발, 열간 인발 및 섬유 인발이 포함되지만 이에 국한되지는 않는다.

[0262] *스웨이징*

[0263] 스웨이징은 품목이 강제로 들어가는 압축 다이를 사용하여 작업물의 치수를 변경하는 공정이다. 스웨이징은 한 요소를 다른 요소 내부 또는 주변으로 압축하여 함께 고정하는 데 사용될 수 있다. 스웨이징 제조 예로는 튜브 스웨이징, 로터리 스웨이징(롤러 스웨이징), 맞대기 스웨이징 및 열 스웨이징이 포함되지만 이에 국한되지는 않는다.

[0264] *하이드로성형*

[0265] 하이드로성형(Hydroforming)은 고압 유압 유체를 사용하여 작업 재료를 다이에 밀어넣는 특수 유형의 다이 성형이다. 하이드로성형의 일부 변형에서 액체는 블래더(굴곡성형)에 국한되거나 하이드로압력 성형에서와 같이 탄성 블랭킷 뒤에 격리된다. 하이드로성형에 유용한 일부 기술은 여기에 참고로 포함된 미국 특허 US2713314A에 설명되어 있다.

[0266] *연신 성형*

[0267] 연신 성형은 가열된 금속 시트를 몰드 위로 늘인 다음 몰드의 모양을 유지하면서 냉각시키는 열간 또는 온간 성형 기술이다.

[0268] *고무패드 성형*

[0269] 고무 패드 성형은 종종 폴리우레탄으로 만들어진 하나 이상의 탄성 패드와 다이 사이에 시트 재료를 가압하는 금속 가공 공정이다. 탄성 패드를 시트 재료에 밀어넣기 위해 압력이 가해지며, 시트 재료는 다이 안으로 들어가고 다이 윤곽에 맞게 강제되어 원하는 부품을 형성한다. 탄성 패드는 일반적인 용도의 모양을 가질 수도 있고 가공하여 탄성 다이 또는 펀치를 형성할 수도 있다.

[0270] *폭발성형*

[0271] 폭발 성형은 폭발물을 사용하여 성형력을 생성하는 금속 가공 기술이다.

[0272] *전자기 성형*

[0273] 전자기 성형(EM 성형 또는 마그네성형)은 전기 전도성 금속, 가장 일반적으로 구리 및 알루미늄에 대한 일종의 고속 냉간 성형 공정이다. 작업물의 모양은 작업물에 전류를 유도하는 고강도 펄스 자기장과 이에 대응하는 척력 자기장에 의해 변형되어 작업물의 일부를 밀어낸다. 작업물은 도구와 접촉하지 않고도 모양을 바꿀 수 있지만 어떤 경우에는 조각이 다이나 포머에 눌릴 수도 있다. 이 기술은 고속 성형 또는 전자기 펄스 기술이라고도 한다.

[0274] 특수 무거운 작업 코일을 금속 작업물 근처에 배치하여 전자기 형성을 수행하기 위해 시스템은 강렬한 전류 펄스를 방출하고 코일의 다양한 전류가 다양한 자기장을 생성한다. 변화하는 자기장은 전자기 유도를 통해 근처의 전도성 작업물 내에서 순환 전류를 유도한다. 도체에 유도된 전류는 도체 주위에 상응하는 자기장을 생성한다. 렌츠의 법칙으로 인해 도체와 작업 코일 내에 생성된 자기장은 서로 강하게 반발한다. 이 반발력은 작업물을 다이 안으로 밀어 넣는 역할을 한다. 성형하는 동안 자기 펄스와 극도의 변형 속도는 금속을 재료의 기본 강도에 직접적인 영향을 주지 않고 성형성을 증가시키는 점소성 상태로 변형시킨다. 높은 작업 코일 전류(일반적으로 수만 또는 수십만 암페어)는 금속 작업물의 항복 강도를 쉽게 극복하는 초강력 자기력을 생성하여 영구 변형을 유발한다. 금속 성형 공정은 매우 빠르게(일반적으로 수십 마이크로초) 진행되며, 큰 힘으로 인해 작업물의 일부는 최대 300m/s의 속도에 도달하는 높은 가속도를 받는다.

[0275] *열간 금속 가스 성형*

[0276] 열간 금속 가스 성형(HMGF)은 금속 튜브를 융점에 가깝지만 융점 이하인 유연한 상태로 가열한 후 내부에 가스로 가압하여 튜브 외부를 둘러싸는 다이 캐비티에 의해 정의된 모양으로 성형하는 다이 성형 방법이다. 고온에서는 금속이 파열되지 않고 늘어나게 된다.

[0277] <u>벤딩</u>

[0278] *벤딩*

[0279] 벤딩에 유용한 일부 예시적인 시스템 및 방법은 미국 특허 US4309600A, US4356718A, US4979385A, US5007264A, US6434993B1 및 US6446482B1에 제시되어 있으며, 이들 각각은 여기에 참고로 포함된다.

[0280] *2점 벤딩*

[0281] 2점 벤딩은 2개의 다이 사이의 재료에 힘을 가하는 제조 공정으로, 가장 흔히 연성 재료의 직선 축을 따라 V자형, U자형 또는 채널 모양 벤딩을 생성한다. 두 다이의 길이는 적어도 벤딩 바닥을 형성하는 재료의 치수만큼 길다. 하나의 다이("펀치")에는 굴곡의 내부 반경이 형성되는 굴곡의 바닥을 따라 작업물과 접촉하는 반경이 있는 팁이 있다. 다른 다이("다이")에는 굴곡의 외부 반경이 형성되는 V, U 또는 채널 모양을 형성하는 노치가 있다.

[0282] *에어벤딩*

[0283] 에어 벤딩(Air Bending)은 펀치를 작업물에 밀어넣어 외부 다이의 상단 가장자리와 접촉하고 펀치에 의해 다이 안으로 강제로 들어가지만 작업물이 결코 접촉하지 않는 벤딩 기술이다. 외부 다이의 바닥. 벤딩의 모양은 작업물의 장력, 재료의 연성, 펀치 반경의 모양, 다이의 간격 너비 및 펀치가 눌려지는 깊이에 의해 정의되지만 다음과 같은 요소에 의해 정의되지는 않다. 다이 바닥의 모양. 하단 다이 채널 모양은 벤딩 모양에 영향을 주지 않기 때문에 하단 다이에는 V자형 또는 사각형 개구부를 사용할 수 있다. 에어 벤딩은 다른 관련 벤딩 기술보다 벤딩 힘이 덜 필요하다.

[0284] *바텀밍*

[0285] 바텀밍(Bottoming)는 펀치가 바닥 다이의 개구부 바닥에 작업물을 밀어넣는 벤딩 기술이다. 펀치와 다이는 펀치가 바닥에 닿고 작업물이 완전히 성형되었을 때 작업물의 두께를 수용할 수 있도록 정밀하게 모양이 만들어진다.

[0286] *코이닝*

[0287] 코이닝은 바닥 형성과 유사하다. 재료는 높은 힘으로 하단 다이에 강제로 들어가 시트 전체에 소성 성형을 일으키고 탄성 회복이 최소화된다. 코이닝은 매우 좁은 반경을 생성할 수 있다.

[0288] *3점 벤딩*

[0289] 3점 벤딩은 0.25도 정확도의 벤딩 각도를 달성하기 위해 높이 조절이 가능한 바닥 도구가 있는 다이를 사용하는 매우 정밀한 기술이다.

[0290] *폴딩*

[0291] 폴딩시, 클램핑 빔은 시트 재료의 한 면을 잡고 고정된 도구 주위로 시트를 접어서 벤딩 프로파일을 생성하여 양수 및 음수 벤딩 각도를 가진 부품을 제작할 수 있도록 이동한다. 와이핑(wiping)은 벤딩과 유사하지만 고정된 클램프와 움직이는 도구를 사용하여 수행된다.

[0292] *로터리 벤딩*

[0293] 로터리 벤딩은 최종 성형 형상이 절단된 자유롭게 회전하는 실린더와 일치하는 바닥 다이로 구성된 도구를 사용한다. 시트와 접촉하면 성형 공정에서 시트가 구부러지면서 도구가 회전한다.

[0294] *엘라스토머 벤딩*

[0295] 엘라스토머 벤딩은 바닥 다이 대신 변형 가능한 패드를 사용한다.

[0296] *교정(Straightening)*

[0297] 교정은 재료의 굴곡을 제거하여 재료의 축이 최대한 직선이 되도록 하는 과정이다. 교정을 위해 사용되는 한 가지 방법은 "범핑(bumping)"이다. 이는 다이를 사용하여 약간 구부러진 막대에 힘을 가하여 막대의 단면을 변형시켜 막대의 긴 길이에 걸쳐 점차적으로 작은 양의 곡률을 만들어 내는 공정이다. 구부러진 바를 교정하는 또 다른 방법은 막대를 열간 스트레칭하여 곡률을 제거하는 것이다. 교정의 또 다른 방법은 직선 롤러와 오목 롤러 사이의 각도로 롤링하여 바가 불균일한 응력에 대응할 만큼 충분히 구부러지고, 회전하여 잔류 응력이 균일해지고, 전진하여 전체 바가 롤러를 통과하도록 하는 것이고, 끝에서 끝까지 곧게 펴진다. 잔류 응력을 극복하는 데 필요한 항복 강도를 줄이기 위해 바를 가열할 수도 있다.

[0298] 교정에 유용한 일부 예시적인 시스템 및 방법은 미국 특허 US3047046A, US6077369A 및 US8834653B2에 제시되어 있으며, 이들 각각은 여기에 참고로 포함되어 있다.

[0299] 기타성형

[0300] 압력 *브레이크 성형*

[0301] 압력 브레이크 성형은 두 번째 섹션과 섹션을 구분하는 선을 따라 벤딩 변형을 유도하면서 시트 재료의 첫 번째 섹션을 고정하는 장치를 사용하여 시트를 성형하여 두 번째 섹션이 시트 재료에 대해 첫 번째 섹션에 대해 180도 이외의 각도를 취하도록 한다.

[0302] *플로우 성형*

[0303] 플로우 성형(Flow Forming)은 압력을 사용하여 하나 이상의 롤러에 의해 금속 디스크 또는 튜브가 맨드릴 위에 형성되는 증분 금속 성형 기술이다. 롤러는 작업물을 변형시켜 작업물을 맨드릴에 밀어넣고 축 방향으로는 늘리면서 반경 방향으로는 얇아지게 한다. 플로우 성형 튜브에 대한 일부 기술은 미국 특허 US7601232B2에 제시되어 있고, 이를 여기에 참고로 포함된다.

[0304] *엠보싱*

[0305] 엠보싱은 시트 재료를 얕게 함몰시켜 늘어나게 하는 방법이다.

[0306] *코이닝*

[0307] 코이닝(Coining)은 패턴을 재료에 압축하거나 압착하는 방법이다.

[0308] 인발

[0309] 인발은 인장 하에서 제어된 재료 플로우를 통해 재료의 단면을 다른 모양으로 늘리는 방법이다. SCOFAST 기계 내에서 유리하게 수행될 수 있는 인발 기술에는 바 인발, 딥 인발, 섬유 인발, 열간 인발, 샬로우 인발, 튜브 인발, 와이어 인발 및 본 명세서에 설명된 추가 예가 포함되지만 이에 국한되지는 않다. 관련 기술 분야의 기술을 가진 사람에게 알려질 유사한 요소와 아직 발명되지 않은 다른 요소도 함께 포함된다.

[0310] *신장(Stretching)*

[0311] 신장은 시트 재료 섹션의 모서리를 고정하고 인장력을 표면에 적용하여 고정된 모서리의 안쪽 이동 없이 표면적을 증가시키는 방법이다.

[0312] *다림질(Ironing)*

[0313] 다림질은 시트재의 단면을 압착하여 두께를 줄이는 방법이다.

[0314] *리듀싱(Reducing)*

[0315] 리뷰싱(넥킹이라고도 함)은 압축력을 가하여 용기 또는 튜브의 개방된 끝 부분의 직경을 점차적으로 줄이는 방법이다.

[0316] *컬링*

[0317] 컬링은 시트 재료의 단면이 문 경첩과 같은 관형 프로파일로 변형되는 방법이다.

[0318] *헤밍*

[0319] 헤밍은 시트 재료의 가장자리를 접어서 가장자리를 따라 두께를 추가하는 방법이다.

[0320] *전단*

[0321] 전단은 칩을 형성하지 않고 재료를 기계적으로 절단하는 것이다. 이는 0.025~20mm(.001~0.8인치) 사이의 재료를 준비하는 데 자주 사용된다. 절단 날이 직선인 경우 이 과정을 전단이라고 한다.

[0322] *피어싱 & 블랭킹*

[0323] 피어싱 및 블랭킹은 도구가 시트 재료의 지지된 부분을 통과하여 재료에 구멍을 만드는 방법이다. 피어싱 작업에서 펀치아웃은 스크랩이고 남은 스트립은 작업물인 반면, 블랭킹 작업에서는 펀치아웃을 작업물로 간주한다. 두 작업 모두 일반적으로 일부 형태의 기계식 압력에서 수행된다.

[0324] *그로브 성형*

[0325] 그로브 성형에서, 중공(hollow) 또는 주요 캐비티를 갖는 미리 형성된 작업물은 초기에 예비성형품에서 발견되지 않는 표면 특징을 갖는 꼭 맞는 도구 맨드릴 주위에 고정된다. 맨드릴을 향한 롤러(일반적으로 양쪽에 쌍으로 배열될 필요는 없음)는 각각 하나의 축을 중심으로 회전하여 지오메트리 및 도구 맨드릴(mandrel)의 지오메트리에 따라 프리폼에 변형력을 가하고 원의 가장 바깥쪽 지점을 접촉하여 작업물의 소성 성형을 일으킨다. 맨드릴은 회전하는 롤러의 회전에 비해 일정 주기와 동시에 회전하여 롤러가 작업물과 접촉하고 일련의 순차적 각도 변위로 작업물 위에서 축 방향으로 굴러간다. 회전 운동과 동시에 맨드릴과 롤러 사이의 축 관계가 변경되어 롤러가 회전할 때마다 작업물이 축 방향의 스트로크로 형성된다.

[0326] *스핀 용접*

[0327] 스핀 용접은 성형 작업과 추가 작업을 결합한다. 첫 번째 부분은 두 부분을 함께 누르는 힘의 적용과 두 부분 사이의 마찰로 인한 상대 운동을 통해 두 번째 부분에 결합되어 부품에 열과 소성 성형이 발생하고 직접 접촉 영역에서 용융되어 두 부품을 함께 용접한다. 종종 한 부분은 고정되고 다른 부분은 회전하여 고정된 구성 요소에 표면 마찰과 마모(abrasive wear)를 유발한다. 두 구성 요소 사이의 마찰로 인해 열이 발생하고 접촉 표면이 변형되어 녹게 된다. 동작이 멈추면 용접 조인트는 압력을 받아 다시 굳어진다. 이 기술은 금속, 세라믹, 유리, 열가소성 수지 등 다양한 재료에 적용할 수 있다. 이 기술은 유도 가열과 같은 마찰 이외의 수단으로 이전에 가열된 두 재료를 결합하는 데 사용될 수 있으므로 스핀 용접에 필요한 힘과 속도가 감소된다.

[0328] *적층 작업들/응집(Additive Operations / Accreting)*

[0329] 적층 제조는 작업물을 새로 생성하거나 기존 작업물에 재료를 추가하는 등 재료 추가를 통해 작업물을 생성하는 공정이다. 여기에 정의된 추가 작업에는 추가 마감 작업이 포함된다. 제조 시 첨가제 및 관련 작업에 유용한 일부 기술은 미국 특허 US1934891A, US2871911A, US3556888A, US4066480A, US4575330A, US4665492A, US4752352A, US4818562A, US4842186A, US4857694A, US486353에 설명되어 있다. 8A, US4944817A, US4963627A, US5038014A, US5121329A, US5257657A, US5303141A , US5340433A, US5387380A, US5398193A, US5426964A, US5506046A, US5514232A, US5555176A, US5572431A, US5590454A, US5622216A, US5658520A, US5665439A, US5700406A, US5740051A, US5881796A, US5887640A, US5900207A, US6028410A, US6253116B1, US6274839B1, US6280784B1, US6280785B1, US6376148B1, US6405095B1, 미국 6519500B1 , US6827251B2, US7040377B2,

US7291364B2, US7917243B2, US7968626B2, US8066922B2, US8070473B2, US8132744B2, US8215371B2, US8383028B2, US8650926B2, 미국 8726802B2, US8765045B2, US8876513B2, US8888940B2, US9079337B2, US9085041B2, US9174388B2, US9215882B2, US9586298B2, US9596720B2, US9636941B2, US1001 6921B2, US10065241B2, US10166603B2 , US10421142B2, US10427352B2, US10456978B2, US10478897B2, US10518490B2, US10562227B2, US10688581B2, US10696034B2, US10875288B2, US20060006157A1 , US20070252305A1, US20090090161A1, US20100330144A1, US20110045115A1, US20120092105A1, US20150307385A1, US9215882B2, US20170129180A1 US20180065 208A1, US20180318934A1, US20180326547A1 및 US20200331062A1에 개시되어 있고, 이들 각각은 여기에서 참고로 포함된다.

[0330] 재료를 추가하여 작업물을 생성할 수 있는 많은 방법이 알려져 있다. ASTM F2792-12a는 일반적으로 적층 제조에 대한 7가지 공정 분류, 특히 바인더 분사, 직접 에너지 증착, 재료 압출, 재료 분사, 분말 베드 융합, 시트 적층 및 Vat 광중합을 정의한다. 그러나 이러한 광범위한 범주에는 다양한 변형이 존재하며, 이러한 범주 중 하나에 쉽게 들어맞지 않는 적층 공정도 존재한다. 일부 방법에서는 원료를 원하는 모양으로 압출하고, 다른 방법에서는 부어지거나, 주입하거나, 그 모양이 작업물의 모양을 정의하는 캐비티나 몰드에 흘러 들어가게 하며, 다른 방법에서는 적층(layering), 분무, 스퍼터링 또는 응고와 같은 반복적인 추가의 공정을 통해 추가한다. 새로운 재료를 작업물에 추가할 수 있는 임의의 방법은 압출, 인발성형, 붓기, 주조, 몰딩, 응고, 냉동, 용접, 브레이징, 융합, 수축 피팅, 접착, 3D 프린팅, 스프레이, 페인팅, 침지를 통한 재료 추가를 포함하여 SCOFAST 기계 내에서 작업으로 수행될 수 있고, 본 명세서에 설명된 추가 예는 통상의 기술자에게 알려질 유사한 요소와 아직 발명되지 않은 요소와 함께 제공된다.

[0331] 적층 가공에 사용되며 SCOFAST 기계에 사용하기에 적합한 기술의 예에는 압출 증착, 배트 중합(SLA & DLP), 분말층 융합(SLS, DMLS & SLM), 재료 분사(MJ), 바인더 분사(BJ), 직접 에너지 증착(DED, LENS, LBMD), 시트 라미네이션(LOM, UAM), 고체 지상 경화(SGC), 3차원(3D) 미세 가공, 액체 적층 제조(LAM), 레이저 금속 증착 와이어(LMD-W), 초음파 압밀(UC), 계산된 축 리소그래피, 연속 액체 인터페이스 생산(CLIP), 광조형(SLA), 전자빔 용해(EBM), 전자빔 자유형 제작(EBF3), 국부화 펄스 전착(L-PED), 융합 필라멘트 제조(FFF), 로보주조, MiG 용접 3D 프린팅, 직접 잉크 쓰기(DIW), 압출 기반 금속 적층 가공(EAM), 압출 기반 세라믹 적층 가공(EAC), 복합재 필라멘트 제조(CFF), 파우더 베드 및 잉크젯 헤드 3D 프린팅(3DP), 선택적 열 소결(SHS), 계산 축 리소그래피, 자기 보조 슬립 주조, 투영 마이크로 광 조형(PμSL), 화학 기상 증착(CVD), 바이오 프린팅, 및 관련 분야의 기술을 가진 자에게 알려질 유사한 요소들과 아직 발명되지 않은 다른 요소들과 함께 본 명세서 내에 설명된 추가적인 예들이 포함된다. SCOFAST 기계 내 적층 작업에는 거의 모든 재료를 사용할 수 있다.

[0332] 동일한 기계 내에서 절삭 가공 작업과 결합된 적층 가공 작업의 예는 미국 특허 US10377002B2에서 찾을 수 있고, 이는 여기에 참조로 포함된다.

[0333] *압출 적층 가공*

[0334] 재료 압출(ME), 융합 필라멘트 제조(FFF) 또는 융합 증착 모델링(FDM)으로도 불리는 압출 기반 적층 제조(EAM)는 필요한 경우 열가소성 물질을 녹일 수 있을 정도로 선택적으로 충분히 가열되는 압출기 헤드를 통해 변형 가능한 재료를 공급하는 3D 프린팅 공정이다. 작업물이 부착되는 헤드 및/또는 지지 구조("플랫폼")는 컴퓨터 제어에 따라 위치를 지정하고 서로 상대적으로 이동하며 재료는 최종 형태를 구축하기 위해 정확한 위치에 정밀한 층으로 증착된다. 각각의 연속적인 층을 기계적으로 형성하기 위해, 재료가 분배될 때 "X" 및 "Y" 축을 따른 움직임으로 표현될 수 있는 미리 결정된 패턴으로 베이스 부재와 분배 헤드를 서로에 대해 선택적으로 이동시키도록 구동 모터가 제어된다. "Z" 축을 따른 상대적 수직 이동은 또한 원하는 층 형상 및 두께를 달성하기 위해 각 층의 형성 전, 형성 중 및 형성 후에 수행될 수 있다.

[0335] 성형 가능한 재료는 필라멘트, 막대, 펠릿, 슬러리 또는 증착 직전이나 증착 중에 결합되는 재료의 조합 형태로 공급될 수 있다. 모든 압출 가능한 물질은 이러한 방식으로 사용될 수 있다. 이러한 목적으로 일반적으로 사용되는 단순한 열가소성 폴리머에는 아크릴로니트릴 부타디엔 스티렌(ABS), 폴리카보네이트(PC), 폴리락트산(PLA), 고밀도 폴리에틸렌(HDPE), PC/ABS, 폴리에틸렌 테레프탈레이트(PETG), 폴리페닐설폰(PPSU) 및 고충격 폴리스티렌(HIPS)이 포함된다. 고분자 매트릭스와 짧거나 긴 단단한 섬유, 세라믹 슬러리 및 점토, 세라믹 또는 금속 분말과 고분자 결합제의 녹색 혼합물, 식품 페이스트, 살아 있거나 죽은 세포를 포함하는 것(바이오프린팅)와 같은 생물학적 페이스트 등을 포함하는 복합 재료를 포함하여 압출 적층 제조에 수많은 다른 물질이 사용될 수 있다. 3-D 프린팅 공정에 유리하게 사용되는 재료의 예로는 본 명세서에 언급된 다른 재료 및 통상의 기술자에게 알려질 수 있거나 미래에 발명되거나 발견될 수 있는 추가 재료와 함께 PLA, ABS, ABSi,

HDPE, PPSF, PC, PETG, Ultem 9085, PTFE, PEEK, 재활용 플라스틱 등과 같은 열가소성 폴리머; GFRP, CFRP 등과 같은 고분자 매트릭스 복합재; 산화알루미늄, 지르코니아, 이산화지르코늄, 카올린 등과 같은 세라믹 슬러리 및 점토; 지르코니아, 인산칼슘 등과 같은 그린 세라믹/바인더 혼합물; 스테인레스 스틸, 티타늄, 인코넬 등과 같은 친환경 금속/바인더 혼합물; 스테인리스강, 철, 인산삼칼슘, 이트리아 안정화 지르코니아 등과 같은 녹색 금속/세라믹/결합제 혼합물; 초콜릿, 설탕, 단백질, 지방 등과 같은 식품 페이스트; 바이오잉크 세포 현탁액 및 기타와 같은 생물학적 재료; 카본블랙, 그래핀, 탄소나노튜브, 구리나노입자 등과의 복합체 등의 전도성 고분자 복합체를 포함한다.

[0336] 압출-적층 3차원 프린팅은 직물, 의류, 착용 가능 및/또는 이식형 장치와 같이 매우 유연한 작업물에 재료를 프린팅하거나 추가하는 데 사용될 수 있다. 유연한 재료를 프린팅하기 위한 일부 기술은 미국 특허 US10105246B2 및 US10696034B2에 제시되어 있으며, 이들 각각은 여기에 참조로 포함된다.

[0337] *열가소성 수지*

[0338] 열가소성 중합체는 적층 제조 재료의 가장 인기 있는 부류로 남아 있다. 아크릴로니트릴 부타디엔 스티렌(ABS), 폴리락트산(PLA) 및 폴리카보네이트(PC)는 각각 다양한 응용 분야에서 뚜렷한 장점을 제공한다. 수용성 폴리비닐 알코올(PVA)은 일반적으로 임시 지지 구조를 만드는 데 사용되며 나중에 용해된다.

[0339] *금속*

[0340] 귀금속(예: 금 및 은)부터 전략 금속(예: 스테인리스강 및 티타늄)에 이르기까지 다양한 금속 및 금속 합금이 적층 가공에 사용된다.

[0341] *세라믹*

[0342] 지르코니아, 알루미나 및 인산삼칼슘을 포함한 다양한 세라믹도 적층 가공에 사용되었다. 서로 다른 재료의 층을 융합하여 완전히 새로운 종류의 제품을 만들 수 있다.

[0343] *생화학물질*

[0344] 생화학적 의료 응용 분야에는 새로운 뼈 성장에 따라 뼈 구조를 지지하기 위해 규소, 인산칼슘 및 아연으로 만든 경화 물질을 사용하는 것이 포함된다. 줄기세포를 함유한 바이오 잉크는 생물학적 장기를 프린팅하는 데 사용될 수 있다.

[0345] *콘크리트*

[0346] 콘크리트와 시멘트 혼합물은 주택 및 기타 구조물의 적층 가공에 사용될 수 있다.

[0347] *용접*

[0348] 용접은 금속 작업물의 국부적인 영역에 에너지가 전도되는 속도보다 높은 속도로 열에너지를 가하여 발생하는 국부적으로 용융될 수 있을 만큼 작은 영역에서 온도를 충분히 높게 상승시키는 기술이다. 접촉된 두 금속 부품이 이러한 방식으로 동시에 가열되면 각 부품에서 용융이 발생하고 접합부에 용융된 재료 풀이 형성된다. 해당 부위가 냉각되면 금속이 응고되고 두 부분이 서로 결합된다.

[0349] 용접 풀이 형성되면, 와이어, 막대, 분말, 펠릿 또는 기타 형태의 추가 금속이 용융 풀에 추가되어 해당 영역에 질량이 추가될 수 있다. 이러한 방식으로 금속 물체를 추가로 변형하여 금속 층을 차례로 증착하여 원하는 형태를 얻을 수 있다. 열 에너지원과 이를 전달 및 제어하는 수단을 변경하고 추가 금속 전달 메커니즘을 변경함으로써 많은 유용한 변형이 달성된다. 금속 외에도 에너지 레벨 조작에 반응하여 고체와 액체 형태 사이에서 가역적인 상 변화를 겪는 특정 유리, 플라스틱 및 기타 물질과 같은 다른 물질을 용접할 수 있다.

[0350] 제조를 위한 용접 기술의 잘 알려진 예에는 "스틱 용접"이라고도 알려진 차폐 금속 아크 용접(SMAW), 텅스텐 불활성 가스(TIG) 용접이라고도 알려진 가스 텅스텐 아크 용접(GTAW), 금속 불활성 가스(MIG) 용접으로도 알려진 가스 금속 아크 용접(GMAW), 플럭스 코어드 아크 용접(FCAW), 서브머지드 아크 용접(SAW 또는 SubArc), 일렉트로슬래그 용접(ESW), 레이저 빔 용접, 레이저 - 하이브리드 용접, 전자빔 용접, 플라즈마 용접, 저항 용접, 단조 용접, 초음파 용접, 폭발 용접, 마찰 용접, 마찰 교반 용접, 자기 펄스 용접, 냉간 용접, 확산 접합, 발열 용접, 고주파 용접, 마이크로파 용접, 열간압착, 유도용접, 롤용접, 스폿용접, 맞대기용접, 플래쉬용접, 프로젝션용접, 업셋용접, 쇼트용접, 가스용접, 스프레이용접, 산소용접, 롤본딩, 용접에 의한 금속증착, 스퍼터링에 의한 금속증착, 소결을 통한 금속 증착 및 기타 형태의 적층 제조를 통한 금속 증착이 포함되지만 이에 국한되

지는 않는다. .

[0351] *브레이징*

[0352] 브레이징은 전통적으로 금속(세라믹과 같은 특정 다른 재료에도 적용 가능)에 적용되는 접합 공정으로, 용융된 필러(브레이징 합금)가 접합부로 흘러들어 각 표면과 결합을 형성한다. 용융된 용가재(molten filler metal)가 응고되면 접합부를 연결하고 양면을 연결하는 역할을 한다.

[0353] 브레이징을 사용하여 금속을 접합할 때 접합부는 용가재의 녹는점 이상으로 가열되지만 접합될 부품의 녹는점 이하로 유지된다. 이는 모재를 함께 녹이기 위해 고온을 사용하는 용접과 브레이징을 구별한다. 브레이징은 서로 용접할 수 없는 서로 다른 금속을 결합하는 데 사용될 수 있다. 브레이징은 또한 한 번 이상의 패스로 기판에 필러 금속을 증착하여 추가 공정으로 덩어리를 형성하는 데 사용될 수 있다. 용융 온도가 450C 미만인 필러 금속에 사용되는 브레이징 기술을 일반적으로 납땜이라고 한다.

[0354] 충전재 금속은 기판과의 호환성, 습윤성 및 융점을 위해 선택된 합금인 경우가 가장 많다. 일반적인 용가재에는 알루미늄-실리콘, 구리, 구리-은, 구리-아연(황동), 구리-주석(청동), 금-은, 니켈 합금, 은 및 니켈, 철, 구리, 실리콘, 붕소, 인 및 기타 재료의 조합을 사용하는 비정질 브레이징 포일이 포함된다.

[0355] 용가재는 녹는점보다 약간 높게 가열되는 동안 금속이 가열되는 동안 산화물이 형성되는 것을 방지하기 위해 종종 사용되는 플럭스(flux)인 적절한 분위기에 의해 보호될 수 있다. 플럭스는 또한 브레이징 표면에 남아 있는 오염 물질을 청소하는 역할도 한다. 플럭스는 플럭스 페이스트, 액체, 분말 또는 플럭스와 필러 금속 분말을 결합한 미리 만들어진 브레이징 페이스트를 포함하여 다양한 형태로 적용될 수 있다. 플럭스는 플럭스 코팅이 된 브레이징 로드 또는 플럭스 코어를 사용하여 도포할 수도 있다. 두 경우 모두, 플럭스는 가열된 접합부에 적용될 때 접합부로 흘러 들어가고 접합부에 들어가는 용융된 용가재에 의해 변위된다. 인 함유 브레이징 합금은 구리를 구리에 접합할 때 자체 플로우할 수 있다. 플럭스는 일반적으로 특정 기본 금속에서의 성능을 기준으로 선택된다. 효과적이려면 플럭스가 사용되는 모재 금속 및 용가재 모두와 화학적으로 호환 가능해야 한다. 브레이징 작업이 수행될 수 있는 대기에는 공기(보통 플럭스와 함께), 연소된 연료 가스, 암모니아, 질소, 수소, 희가스, 무기 증기 및 진공이 포함된다. 브레이징은 토치, 용광로 또는 유도 코일과 같은 충분한 열 에너지원을 사용하여 수행될 수 있다.

[0356] 건전한 브레이징된 접합을 달성하려면 충전재와 기판 재료가 야금학적으로 호환되어야 하며 접합 설계에는 용가제가 모세관 액션에 의해 끌어당겨지거나 분포될 수 있는 간격이 포함되어야 한다. 필요한 접합 간격은 브레이징 분위기와 모재 및 브레이징 합금의 구성을 비롯한 여러 요인에 따라 달라진다. 브레이징에 필요한 열은 토치, 퍼니스, 유도, 딥, 저항, 적외선, 블랭킷, 전자빔, 레이저 등을 포함한 원하는 수단으로 전달될 수 있다. 유도 브레이징은 SCOFAST 기계에서 브레이징을 수행할 때 특히 편리하다.

[0357] *수축 접합*

[0358] 수축 끼워 맞춤을 통해 요소를 함께 접합하는 것은 열팽창과 수축을 활용하는 추가 공정이다. 두 요소는 하나가 다른 요소에 대해 열팽창될 때 최소한의 간격으로 서로 맞춰질 수 있도록 치수로 제작된다. 두 개가 동일한 온도에 있을 때 약간의 음의 틈새가 존재하여 두 조각이 서로 접된다. 수축 끼워 맞춤 접합(Shrink-fit joining)은 성형, 가공 및 기타 작업과 함께 SCOFAST 기계에서 수행될 수 있다.

[0359] *주조*

[0360] 주조 작업은 금속이 용융되고 이어서 용융된 액체가 원하는 형상의 몰드 내에서 응고되는 적층 제조 작업이다. 주조 시 금속의 소성변형이 발생하지 않기 때문에 주조 시 결정립의 형상이나 방향을 제어하는 것은 불가능하나, 냉각속도 조절, 올바른 합금 선택, 열처리 등을 통해 결정립 크기를 제어할 수 있다. 주조를 위한 일부 방법 및 기술은 미국 특허 US1607677A, US3495650A, US4446907A, US4779665A, US6065526A, US6135196A, US3866666A, US7210517B2, US4142639A, US4832110A, US3495650A, US8434544B2, US6978823B2 및 US5579825A에서 제시되고,이들 각각은 여기에 참조로 여기에 포함된다.

[0361] 주조에 유용한 일부 추가의 예시적인 시스템 및 방법은 미국 이외의 특허 문서 CN201720411U에 제시되어 있고, 여기에 참고로 포함된다.

[0362] 주조용 금속, 유리 등의 재료를 녹이는 데 필요한 열을 외부에서 가해 용융된 재료를 원료로 공급하거나 SCOFAST 작업으로 현장에서 열에너지를 공급할 수도 있다. 열 에너지는 어떤 방법으로든 추가할 수 있지만 유도 가열을 통한 용융은 SCOFAST 기계 내에서 특히 편리하다. 왜냐하면 열이 재료나 도가니 자체에서 발생하고 따라

서 열이나 화염으로 인한 작업장 사고 가능성이 줄어들기 때문이다. 유도 용해는 연소 잔류물이 없기 때문에 불꽃으로 용해하는 것보다 깨끗하다. 유도 용해에 적용되는 에너지를 정밀하게 제어하면 균일한 품질의 재현 가능한 결과를 얻을 수 있다.

[0363] *회전 주조*

[0364] 회전 주조는 원심력을 생성하기 위해 회전을 사용하여 분포가 이루어지는 재료를 주조하는 공정이다. 회전 주조에 유용한 일부 예시적인 시스템 및 방법은 미국 특허 US7628604B2, US95071XA 및 US141119XA에 제시되어 있고, 이들 각각은 여기에 참조로 포함되고 미국 이외의 특허 문서 CH95071D에 제시되어 있고, 여기에 참조로 포함된다.

[0365] *유실물 주조(Lost-Material Casting)*

[0366] 유실물 주조는 주조할 부품의 모델 주위에 형성된 몰드에 재료를 주조하는 공정으로, 모델은 연소, 액화, 기화 또는 증발을 통해 제거될 수 있는 물질로 만들어진다. 주조 공정 전이나 도중의 변위. 폼, 왁스, 플라스틱 등 다양한 재료를 이러한 방식으로 사용할 수 있다.

[0367] 예를 들어, 가연성, 용융성 또는 기화성 희생재료를 사용하여 원하는 부분의 모형을 형성할 수 있다. 그런 다음 모델은 주조 석고 또는 경화가 허용되는 다른 내화 재료로 채워진 몰드 용기에 내장되기 전에 선택적으로 가공, 다듬기, 마감 또는 기타 변경될 수 있다. 그런 다음 몰드 용기를 충분히 가열하여 희생 모델을 녹이거나 기화하거나 태워버린 다음, 용융된 재료를 몰드에 붓거나 주입하고 냉각시킨다. 일부 실시예에서 용융된 재료 자체는 주조 공정 중에 희생 재료를 제거하는 데 필요한 열을 공급한다.

[0368] 원하는 부분의 희생 모델은 다양한 기술을 사용하여 만들어질 수 있다. 그 자체는 마스터 몰드에서 주조될 수 있다(예: 왁스 주조에 충분히 내구성이 있지만 금속을 직접 주조할 수 없는 3D 프린팅 및/또는 가공 몰드). 희생 모델 자체는 희생 재료를 사용하여 3D 프린팅 및/또는 가공될 수 있다.

[0369] SCOFAST 기계 내에서 사용하도록 조정될 수 있는 다른 주조 방법에는 모래 주조, 석고 몰드 주조, 쉘 몰딩, 인베스트먼트 주조, 증발 패턴 주조, 전체 몰드 주조, 소모성 몰드 주조, 비소모성 몰드 주조, 몰드 주조, 틱소성형(반고체금속주조), 원심주조, 연속주조, 스퀴즈주조, 냉주주조, 슬러시주조, 스핀주조, 원심고무 몰드 주조 등이 있다.

[0370] SCOFAST 기계 내에서 첨가제 주조 작업 및 후속 첨가제 마감 작업을 수행하는 것이 유리할 수 있다. 주조 후 적층 마감을 위한 특정 기술은 여기에 참고로 포함된 미국 특허 US3106002A에 제시되어 있다. 주조 후 최종 형상으로 성형하기 위한 특정 기술은 미국 특허 US10668529B1에 제시되어 있고, 여기에 참고로 포함된다.

[0371] *압출(Extrusion)*

[0372] 압출은 고정된 단면 프로파일을 갖는 물체를 생성하기 위해 원하는 단면 모양의 다이를 통해 재료를 강제로 통과시키는 성형 공정이다. 압출은 매우 복잡한 단면을 생성할 수 있으며, 압출된 재료는 압축 및 전단 응력만 받기 때문에 부서지기 쉬운 재료와 함께 사용할 수 있다. 일반적으로 압출되는 재료에는 금속, 폴리머, 세라믹, 콘크리트, 점토 및 식품이 포함된다. 압출 제품은 "압출물"로 지칭될 수 있다. 액체, 분말, 슬러리 또는 페이스트와 같이 압출 원료가 성형되지 않은 경우 압출은 적층 공정으로 간주될 수 있다. 압출에 사용되는 원료가 고체인 경우 소성 성형을 통해 재료를 압출하려면 높은 압축력이 필요할 수 있으므로 압출은 성형 공정으로 간주될 수 있다.

[0373] *홀 플랜징*

[0374] 홀 플랜징은 처음에 완전히 닫히지 않고 점차적으로 외부 특징을 함께 붕괴시켜 캐비티를 닫는 내부 캐비티를 위한 다이 지지를 제공하고 다이 끝의 내부 지지대로 압출물의 외부 지지를 제공하는, 점진적 압출 다이를 사용하여 내부 캐비티를 포함하는 압출물을 형성할 수 있는 특별한 유형의 압출이다.

[0375] SCOFAST 기계에서 유리하게 사용될 수 있는 압출 기술에는 열간 압출, 냉간 압출, 마찰 압출, 미세압출, 직접 압출, 간접 압출, 정수압 압출, 충격 압출, 등채널 각도 압출, 시트/필름 압출, 블로운 필름 압출, 오버재킷 압출, 홀 플랜징, 나선형 압출 등이 있다.

[0376] *소결*

[0377] 소결(프리타주)은 재료를 액화 지점까지 녹이지 않고 압력 및/또는 열을 가하여 개별 입자로부터 재료의 고체

덩어리를 압축하고 형성하는 공정이다. 소결은 적층 마감 작업으로 가장 자주 사용된다. 융합(fusion)은 물질의 원자가 입자의 경계를 넘어 확산되어 입자를 서로 융합시켜 단단한 조각을 만들 때 발생한다. 최종 제품의 밀도, 다공성 및 입자 구조는 소결 중에 제어될 수 있다. 소결 온도는 재료의 녹는점에 도달할 필요가 없기 때문에 텅스텐, 몰리브덴과 같이 녹는점이 매우 높은 재료의 경우 소결은 특히 중요한 공정이다. 소결은 금속, 세라믹, 플라스틱 및 기타 재료로 구성된 부품 제조에 일반적으로 사용된다. 소결 제조 예에는 액상 소결, 전류 보조 소결, 스파크 플라즈마 소결, 커패시터 방전 소결, 전기 소결 단조, 무압 소결, 마이크로파 소결, 선택적 레이저 소결, 직접 금속 레이저 소결 및 수소 소결이 포함되지만 이에 국한되지는 않는다. SCOFAST 기계 내에서는 소결 작업을 수행한 후 단조 및/또는 기타 성형 작업을 수행하는 것이 유리할 수 있다. 소결 후 성형을 위한 특정 기술은 미국 특허 US6599467B1에 제시되어 있고 여기에 참고로 포함된다.

[0378] *레이저 소결*

[0379] 레이저 소결에서 레이저는 열가소성 분말을 소결하여 입자가 서로 접착되도록 한다.

[0380] *직접 금속 레이저 소결*

[0381] DMLS(Direct Metal Laser Sintering)에서는 금속 분말의 각 층을 레이저로 소결하여 금속 입자가 서로 접착되도록 한다. DMLS 기계는 바람직한 표면 특징과 기계적 특성을 지닌 고해상도 물체를 생산한다.

[0382] *직접 금속 레이저 용융(DMLM) 및 전자빔 용융(EBM)*

[0383] DMLM 및 EBM 공정은 융합되는 재료가 완전히 녹기 때문에 소결과 구별된다. DMLM의 경우 레이저가 금속 분말의 각 층을 완전히 녹이는 반면, EBM은 고출력 전자빔을 사용하여 금속 분말을 녹이다. 두 기술 모두 밀도가 높고 다공성이 없는 물체를 제조하는 데 유리한다.

[0384] *분말 사출 몰딩*

[0385] "저압 분말 사출 몰딩"이라고도 하는 분말 사출 성형은 분말 형태의 원하는 재료를 결합제 재료와 혼합하여 "공급원료(feedstock)"를 생성한 후 사출 몰딩을 통해 성형(shaped) 및 고화시키는 변형된 소결 공정이다. 몰딩 공정을 통해 대량의 복잡한 부품을 단일 단계로 성형할 수 있다. 몰딩 후 부품은 컨디셔닝 작업을 통해 변형되어 바인더를 제거(탈지)하고 분말의 밀도를 높인다. 이 방법은 때때로 "열간 주조"라고도 하지만 반드시 열이 필요한 것은 아니다. 천연 광물, 산화물, 탄화물, 금속, 세라믹, 플라스틱, 다성분 복합재 합성 재료 및 그러한 재료들의 임의의 조합을 포함하되 이에 국한되지 않는 모든 고체 재료로 부품을 형성하는 데 사용할 수 있다. 사용된 분말 재료가 금속인 경우, 공정은 금속 사출 몰딩으로 지칭될 수 있다. 분말 사출 몰딩을 위한 방법 및 기술은 여기에 참고로 포함된 미국 특허 4,197,118에 설명되어 있다.

[0386] *액상 소결*

[0387] 액상 소결은 모든 요소가 아닌 적어도 하나의 요소가 액체 상태인 소결의 특별한 형태이다. 액상 소결은 초경합금 및 텅스텐 카바이드 부품 제조에 일반적으로 사용된다.

[0388] *사출 몰딩*

[0389] 사출 몰딩 제조 작업에는 금속 사출 몰딩, 얇은 벽 사출 몰딩, 반응 사출 몰딩, 열가소성 사출 몰딩, 오버몰딩, 인서트 몰딩, 콜드 러너 몰딩, 핫 러너 몰딩, 압출 블로우 몰딩, 사출 블로우 몰딩 및 스트레치 블로우 몰딩을 포함하나, 이에 변형되지 않는다.

[0390] *전기주조*

[0391] 전기주조(electroforming)는 맨드릴(mandrel)이라고 불리는 모형에 전착을 통해 부품을 제작하는 금속 성형 공정이다. 이 공정에는 전기주조되는 금속염을 함유한 전해질에 직류를 통과시키는 과정이 포함된다. 양극은 전기주조되는 고체 금속이고, 음극은 전기주조가 도금(증착)되는 맨드릴이다. 필요한 전기주조 두께가 달성될 때까지 공정이 계속된다. 그런 다음 맨드릴은 그대로 분리되거나, 녹이거나, 화학적으로 용해된다.

[0392] 전착이 시작되기 전에 전도성(금속) 맨드릴을 처리하여 기계적 분리층을 생성하거나 화학적으로 패시베이션하여 맨드릴에 대한 전기주형 접착을 변형하여 후속 분리를 허용한다. 비전도성(유리, 실리콘, 플라스틱) 맨드릴은 전착 전에 전도성 층을 증착해야 한다. 이러한 층은 화학적으로, 진공 증착 기술(예: 금 스퍼터링), 연소 증착 또는 기타 방법을 통해 증착될 수 있다. 맨드릴의 표면은 형태의 한 표면을 형성하며, 맨드릴에서 전해질 용액으로 성장하는 부분이다.

[0393] *바인더 분서*

[0394] 바인더 분사 공정은 프린트 헤드가 분말 재료와 액체 바인더의 교대로 층을 놓는 것을 제외하고는 재료 분사 공정과 동일하다.

[0395] *지향성 에너지 증착*

[0396] 지향성 에너지 증착(DED) 공정은 재료 압출 공정과 동일한 방식으로 수행되지만 폴리머, 세라믹 및 금속을 포함한 더 다양한 재료에 사용할 수 있다. 4축 또는 5축 팔에 장착된 전자빔 총이나 레이저는 와이어나 필라멘트 공급원료 또는 분말을 녹이다.

[0397] *와이어아크 적층가공*

[0398] DED-아크(Directed Energy Deposition-Arc)라고도 알려진 와이어 아크 적층 제조는 아크 용접 전원과 조작기를 사용하여 아크 증착을 통해 3D 형상을 만든다. 이 공정은 일반적으로 와이어를 재료 소스로 사용하고 미리 결정된 경로를 따라 원하는 모양을 만든다. 이 적층 제조 방법은 일반적으로 로봇 용접 장비를 사용하여 수행된다.

[0399] *재료 압출*

[0400] 재료 압출은 가장 잘 알려진 적층 가공 공정 중 하나이다. 스풀링된 폴리머는 이동식 팔에 장착된 가열 노즐을 통해 압출되거나 인출된다. 하나의 일반적인 지오메트리에서 노즐은 수평으로 두 축으로 이동하고 베드는 수직으로 이동하므로 용융된 재료를 층층이 쌓을 수 있다. 정확한 온도 조절이나 화학적 결합제의 사용을 통해 층간 적절한 접착이 이루어진다.

[0401] *재료 분사*

[0402] 재료 분사의 경우, 2D 잉크젯 프린터의 헤드와 마찬가지로 재료가 리시버를 향해 토출되는 동안 프린트 헤드가 앞뒤로 움직인다. 재료 분사에서 프린트 헤드는 일반적으로 x, y 및 z축으로 이동하여 3D 개체를 만든다. 층은 냉각되면서 경화되거나 자외선이나 다른 방법으로 경화된다.

[0403] *시트 적층(Sheet Lamination)*

[0404] LOM(적층체 제조) 및 UAM(초음파 적층 제조)은 두 가지 시트 적층 방법이다. LOM은 종이와 접착제를 교대로 사용하는 반면 UAM은 초음파 용접을 통해 결합된 얇은 금속 시트를 사용한다. LOM은 시각적 또는 미적 모델링에 이상적인 개체를 만드는 데 탁월하다. UAM은 티타늄, 스테인리스강, 알루미늄 등 다양한 금속에 사용되는 비교적 저온, 저에너지 공정이다.

[0405] *배트 중합*

[0406] 광조형술(SLA)이라고도 알려진 배트 광중합에서는 액체 수지 광중합체 통에서 물체가 생성된다. 특정 수지 시스템에 대해 정의된 주파수 범위를 갖는 에너지 광자 소스에 노출되면 수지의 광중합이 유도되어 노출 제어 장치에 의해 정확하게 정의된 형상을 갖는 미세층이 경화된다.

[0407] *적층 마감*

[0408] 적층 마감 작업은 적층 가공에서 중요하고 종종 필수적인 부분이다. SCOFAST 기계 내에서 이러한 보충 작업은 추가 작업의 하위 집합으로 분류될 수 있다.

[0409] **절삭 작업들과 가공**

[0410] 절삭 작업은 원하는 모양을 만들기 위해 작업물에서 재료를 제거하는 작업이다. 절삭 가공이라는 용어는 전통적인 가공 기술과 3D 프린팅 및 기타 적층 제조 기술에 사용되는 기술을 구별하기 위해 사용되며, 이를 집합적으로 적층 제조(additive manufacturing)라고 한다. 작업물에서 재료를 제거하기 위해 일반적으로 사용되는 기술에는 AFM(연마 플로우 가공), AJM(연마 제트 가공), 비드 블라스팅, 생체 가공, 블랭킹, 블라스팅, 보링, 브로칭, 버닝, 버니싱, 조각, 화학적 가공, 화학적 스트리핑, 절단, 디버링, 드릴링, 전기 화학 가공(전기화학 가공, ECM), 방전 가공(EDM), 전자빔 가공(EBM), 에칭, 파일링, 화염 절단, 연삭, 호닝, 래핑, 레이저 어블레이션, 레이저 절단, 선반 터닝 , 밀링, 광화학 가공, 기획, 플라즈마 절단, 연마, 펀칭, 리밍, 샌드 블라스팅, 샌딩, 톱질, 가위질, 성형, 전단, 스탬핑, 태핑, 터닝, 초음파 가공, 워터젯 절단 등이 있다.

[0411] SCOFAST 기계 내에서 절삭 작업은 원재료를 포함하는 작업물로 시작될 수 있거나 하나 이상의 적층, 절삭 또는 성형 공정, 이들의 조합을 통해 부분적으로 실현된 부품으로 구성된 작업물에 절삭 작업을 수행하는 것이 유리

할 수 있다.

[0412] 절삭 작업에 유용한 일부 시스템 및 방법은 미국 특허 US4354305A, US4419912A, US4698480A, US4893440A, US5042126A, US5052089A, US5058261A, US5160824A, US5205806A, US5636949A, US에 제시되어 있다. 5775853A, US6558231B1, US6576858B1, US6593541B1, US6806435B2, US6868304B2, US6896143B2, US6904652B2, US7039992B2, US7101256B2, US7112121B2, US7134173B2, US7185412B2, US7237310B2, US7240412B2, US7473160B1, US7518329B2, US79 41240B2, US8020267B2, US8215211B2, US8887360B2, US9095954B2, US9156116B2, US9272385B2, US9339889B2, US9364912B2, US9902034B2, US9943920B2, US100652 41B2, US10137522B2, US10195649B2, US10596666B2, US10663947B2, US20020137611A1, US20050082165A1, US20070246372A1 및 US20140076115A1에 제시되어 있고, 이들 각각은 참조로 여기에 포함된다.

[0413] 절삭 작업에 유용한 추가의 예시적인 시스템 및 방법은 미국 이외의 특허 문서 CN109909746A, CN201579591U, DE102018108145A1 및 WO1993009901A1에 제시되어 있으며, 이들 각각은 여기에 참고로 포함된다.

[0414] 성형, 적층, 절삭 또는 변형 작업, 특히 레이저 액션과 관련된 작업에 유용한 일부 추가적인 예시 시스템 및 방법은 미국 특허 US5463200A(작업물 마킹), US4673795A(이미지를 이용한 레이저 처리), US5866870A(레이저 빔 용접), US6462306B1(다중 레이저 빔 제어), US6664507B2(레이저 및 가스 금속 아크 동시 용접), US6720519B2(레이저 드릴링), US6774338B2(분말 공급 레이저 융합 용접), US6856634B2(레이저 가공 컨트롤러), US7012216B2 (레이저 용접 완드), US7112761B2(레이저 용접 가스 렌즈), US7307237B2(피더 연장부가 있는 레이저 용접 노즐), US7947922B2(다중 빔 미세 가공), US7880117B2(레이저 드릴링 고밀도 서브미크론 캐비티), US8143552B2(레이저 가공 시스템), US8729424B2(다중 열원 용접), US8809734B2 열 레이저 처리 시스템), US9592571B2(레이저 용접) 및 US10730139B2(레이저 용접)에 제시되어 있고, 이들 각각은 여기에 참조로 포함된다.

[0415] *가공(Machining)*

[0416] 가공은 작업물에서 재료를 제거하기 위해 도구를 사용하는 공정이다. 작업을 수행하려면 도구와 작업물 사이에 상대 운동이 발생한다. 이러한 상대 동작은 대부분의 가공 작업에서 "절삭 속도"라고 하는 첫 번째 동작과 "피드"라고 하는 두 번째 동작을 통해 달성된다. 도구의 모양과 작업 표면으로의 침투가 이러한 동작과 결합되어 결과적인 작업 표면의 원하는 모양을 생성한다. 도구에는 단일 절삭날이 있을 수도 있고 다중 절삭날이 있을 수도 있다. 도구는 작업물에 대해 단순한 곡선 경로로 이동할 수도 있고 "액티브 툴링"이라고 알려진 공정에서 간단한 곡선 경로를 따라 이동하면서 회전, 진동 또는 요동할 수도 있다. 전통적인 가공 작업에는 선반, 셰이퍼, 대패, 드릴링 기계, 밀링 기계, 연삭기, 톱, 압력, 터렛 선반, 스크류 기계, 멀티 스테이션 기계, 갱 드릴, 생산 밀링 기계, 기어 절삭 기계 기어 셰이퍼, 기어호버, 브로칭기계, 로터리 브로칭기계, 래핑기계, 호닝기계, 보링기계, 다축가공센터 등에서 수행되는 작업이 포함된다.

[0417] *열간가공*

[0418] SCOFAST 기계 내에서 작업은 임의의 온도에서 수행될 수 있다. 열과 관련된 도구 마모 증가 및 뒤틀림을 방지하기 위해 가공 시 작업물을 가능한 한 차가운 상태로 유지해야 한다고 일반적으로 알려져 있다. 그러나 작업물을 냉각한 후보다는 가열한 후 가공을 수행하는 것이 유리한 경우도 있다. 이 가공 방법("고온 가공")의 장점은 상당할 수 있다. 높은 온도, 특히 작업물 재료의 절대 재결정 온도의 60%를 초과하는 높은 온도("열간 가공")에서 기계 도구는 동일한 재료를 절단하는 동일한 도구에 비해 크게 감소된 힘으로 작업물을 절단할 수 있다. 더 낮은 온도로 인해 떨림과 진동이 줄거나 제거되어 더 깨끗하고 일관된 가공 표면을 얻을 수 있을 뿐만 아니라 도구 마모도 줄어든다. 상온에서는 어렵거나 불가능한 가공 작업이 열간 가공 방법을 사용하면 훨씬 쉬워질 수 있다.

[0419] 온간(절대 재결정 온도의 30% - 60%) 또는 고온(절대 재결정 온도의 60% 이상) 성형 및 가공에 사용되는 도구는 그러한 고온에서 사용하기에 적합한 재료로 만들어져야 한다. 탄소 함량이 1~1.2%인 탄소강 도구는 단순히 고속 절삭 시 마찰로 인해 쉽게 발생하는 온도인 200℃ 이상의 온도에서 절삭 능력을 잃는 경향이 있다. 텅스텐 약 18%, 크롬 약 4%, 바나듐 약 1%, 탄소 약 0.5~0.8%를 함유한 강철 합금과 같은 고속 도구강을 사용하면 더 높은 온도 내성이 달성된다. 코발트, 크롬, 텅스텐을 함유한 특정 비철 합금으로 주조된 절삭 도구는 빨간색으로 빛날 때까지 가열해도 절삭 능력을 유지할 수 있다. 텅스텐 카바이드 도구는 특히 열간 가공에 사용된다. 특정 세라믹 산화물과 다이아몬드와 같은 특수 재료도 사용된다.

[0420] *가공 센터*

[0421] 가공 센터는 자동 도구 교환 시설이 장착되고 여러 축을 제어할 수 있는 밀링 또는 밀턴 기계 유형이다. 도구는 일반적으로 하나 이상의 매거진에 보관되며 기계 도구 프로그램의 명령으로 변경될 수 있다. 작업물을 제거하지 않고도 여러 작업을 조합하여 작업물의 다양한 면을 가공할 수 있다. 수평 터닝-밀링 가공 센터에는 기본 작업물 회전 축이 수평으로 정렬되어 있는 반면, 수직 터닝 밀링 가공 센터에는 기본 작업물 회전 축이 수직으로 정렬되어 있다. 수직 터닝 밀링 가공 센터의 예는 미국 특허 US8887361B2 및 US20140020524A1에 설명되어 있으며, 이들 각각은 여기에 참조로 포함된다.

[0422] *터렛 선반(Turret lathes)*

[0423] 터렛 선반은 엔진 선반과 구별되는 몇 가지 특징을 가지며 SCOFAST 기계에 유리할 수 있는 많은 요소를 포함한다. 첫 번째는 수평 엔진 선반의 심압대를 대신하는 도구 터렛이다. 다양한 터닝, 드릴링, 보링, 리밍 및 나사 절삭 도구가 하나 이상의 축을 중심으로 회전할 수 있는 도구 터렛에 고정될 수 있다. 터렛은 기계 스핀들 축 또는 평행 축을 따라 이동하여 도구가 기계 스핀들에 고정된 작업물을 지탱하게 된다. 터렛 선반의 두 번째 특징은 크로스 슬라이드에 추가 터렛이 장착되어 있다는 것이다. 이 터렛은 교차 슬라이드 평면에 수직인 축을 중심으로 회전할 수도 있고 선택적으로 다른 축을 중심으로 회전할 수도 있으며 다양한 터닝 도구를 사용할 수 있다. 추가적인 유사한 도구 홀더 또는 터렛이 크로스 슬라이드의 후면에 장착될 수 있으며, 평행 축, 직교 축 또는 임의 방향 축으로 슬라이딩되는 여러 크로스 슬라이드가 존재할 수 있다.

[0424] 터렛 선반은 때때로 바 기계(나사 기계) 또는 척킹 기계으로 설명된다. 바 기계는 기계 스핀들을 통해 공급되는 바 스톡에서 생성될 수 있는 작은 나사산 부품, 부싱 및 기타 작은 부품을 가공하도록 설계되었다. 자동 바 기계는 바 스톡을 기계 스핀들로 자동 교체하여 지속적으로 부품을 생산한다. 척킹 기계는 주로 주물, 단조품 또는 스핀들을 통해 지속적으로 공급할 수 없는 스톡 블랭크와 같은 대형 부품을 가공하기 위해 설계되었다.

[0425] *역처리(Back-Processing)*

[0426] 역처리는 작업 홀딩 콜릿(workholding collet)을 향하는 작업물의 측면에 대한 가공 접근을 얻는 데 사용되는 일련의 기술이다. 한 가지 기술은 1차 콜릿의 반대편에서 작업물을 고정할 수 있는 2차 콜릿을 공급하는 것이다. 작업물이 2차 콜릿에 의해 고정될 때, 1차 콜릿은 작업물을 해제할 수 있으며, 그런 다음 작업물은 1차 콜릿에서 멀리 이동되어 도구가 작업물의 "뒷면"에 접근할 수 있다. 또 다른 기술은 작업물을 잡고 콜릿에서 제거하고 끝에서 끝으로 회전시킨 후 콜릿에서 교체하도록 구성된 반전 도구를 사용하는 것이다. 기계 설계에 따라 이러한 작업으로 인해 전송 이전에 수행된 작업과 이후에 수행된 작업 간의 공간적 일관성이 손실될 수 있다.

[0427] *연마 플로우 가공*

[0428] 연마 플로우 디버링 또는 압출 호닝으로도 알려진 연마 플로우 가공은 작업물 주변이나 작업물을 통해 연마제가 포함된 유체를 흐르는 것을 특징으로 하는 내부 표면 마감 공정이다. 이 유체는 일반적으로 점성이 매우 높다. AFM은 거친 표면을 매끄럽게 하고 마감하며, 특히 내부 표면, 슬롯, 구멍, 캐비티 및 기타 접근이 어려운 지오메트리를 포함하는 것들과 같이 접근이 차단된 영역에서 버를 제거하고, 표면을 연마하고, 반경을 형성하고, 재료를 제거하는 데 사용된다. 연마 플로우 가공은 본 명세서에 참고로 포함된 미국 특허 US3521412에 설명되어 있다.

[0429] *연마 제트 가공*

[0430] 연마 마이크로-블라스팅, 펜슬 블라스팅 및 마이크로-연마 블라스팅으로도 알려진 연마 제트 가공은 작업물에서 재료를 침식하기 위해 고속 가스에 의해 추진되는 연마제를 사용하는 연마 블라스팅 가공 공정이다. 일반적인 용도로는 열에 민감하고 부서지기 쉽고 얇거나 단단한 재료를 절단하는 것, 특히 복잡한 모양을 자르거나 특정 가장자리 모양을 형성하는 것이 포함된다. 재료는 고속 유체 플로우에 의해 구동되는 모든 크기의 미세한 연마 입자에 의해 제거되지만 일반적으로 직경이 약 0.001인치(0.025mm)이다. 일반적인 가스는 공기 또는 불활성 가스이다. 가스 압력은 일반적으로 25~130psig(170~900kPa 또는 4bar) 범위이며 일반적으로 속도는 300m/s(1,000km/h)에 이른다. 연마 제트 가공에 유용한 일부 기술은 미국 특허 US4893440A, US8308525B2, US9108297B2, US9138863B2, US9586306B2, US20130267152A1 및 US20210237226A1에 설명되어 있으며, 이들 각각은 참조로 여기에 포함된다.

[0431] *생체 가공*

[0432] 생체 가공(Biomachining)은 생물학적 침출(bioleaching)이라고 알려진 활동을 통해 금속 부품에서 물질을 제거

하기 위해 암석 영양 박테리아를 사용하는 가공 공정이다. 생체 가공은 화학적 밀링과 같은 화학적 가공 방법과 터닝 및 밀링과 같은 물리적 가공 방법과 대조된다. 티오바실루스 페로옥시단스, 티오바실루스 티오옥시단스 등과 같은 특정 박테리아는 철, 구리 또는 기타 금속과 같은 금속의 산화로 인한 화학 에너지를 활용하여 공기 중 이산화탄소를 고정한다. 이러한 금속 대사 박테리아가 포함된 배양액에 노출된 금속 물체는 표면에서 물질이 제거된다. 생체 가공은 일반적으로 화학적 밀링과 동일한 방식으로 수행된다. 절단할 영역은 절단되지 않는 영역을 보호하는 불활성 마스크를 사용하여 네거티브 이미지로 표시된다. 그런 다음 부품은 생물학적 에칭제의 활성을 조정하는 데 사용되는 환경 및 플로우/혼합 제어를 통해 배양액에 노출된다. 생물학적 침출을 위한 일부 기술은 본 명세서에 참고로 포함된 미국 특허 US7837760B2에 설명되어 있다. 생체 가공을 통해 작업물을 밀링하는 일부 기술은 여기에 참조로 포함된 미국 특허 US20170341203A1에 설명되어 있다. 생체 가공 기술은 플라스틱, 목재, 복합재 및 해당 물질의 표면에서 물질을 연화하거나 제거할 수 있는 생물작용제를 찾거나 생성할 수 있는 기타 물질의 생체 밀링으로 쉽게 확장할 수 있다.

[0433] *연속 드레스 크리프 피드 연삭(CDCF)*

[0434] 연속 드레스 크리프 피드 연삭(CDCF)은 거친 재료에서 높은 재료 제거 속도를 제공하여 높은 도구 마모 밀링 및 디버링의 필요성을 제거하는 정밀 연삭 기술이다. CDCF에서 연삭 휠은 자동으로 조정되는 일정한 속도로 지속적으로 드레싱되므로 높은 재료 제거율과 높은 도구 예측 가능성이 가능하다.

[0435] *전자빔 가공*

[0436] 전자빔 가공(EBM)은 모든 재료에 미세한 구멍과 슬롯을 절단하는 데 사용되는 기술이다. 진공 챔버에서 고속 전자 빔이 작업물에 집중된다. 작업물에 부딪히면 전자의 운동 에너지가 열로 바뀌고, 이로 인해 미세한 양의 재료가 기화된다. 진공은 가스 분자와의 충돌로 인해 전자가 산란되는 것을 방지한다. EBM은 직경이 0.001인치(0.025mm)만큼 작은 구멍을 절단하거나 두께가 최대 0.250인치(6.25mm)인 재료에서 0.001인치만큼 좁은 슬롯을 절단하는 데 사용된다. EBM은 반도체 산업에서 광 광학 제조 방법의 대안으로도 사용된다. 전자는 빛보다 파장이 짧고 쉽게 초점을 맞출 수 있기 때문에 전자빔 방법은 특히 고해상도 리소그래피와 복잡한 집적 회로 제조에 유용한다. 용접은 전자빔으로도 수행할 수 있다.

[0437] *방전 가공*

[0438] 방전 가공(EDM)은 전극 역할을 하는 흑연이나 연금속 도구에서 고주파 전기 스파크 방전을 발생시켜 경화강이나 탄화물과 같은 전기 전도성 재료를 분해하는 작업이다. 전극과 작업물은 유전체 액체에 담그고 공급 메커니즘은 전극과 작업물 사이의 스파크 간격을 0.0005 ~ 0.020인치(0.013 ~ 0.5mm)로 유지한다. 스파크 방전이 작업물의 작은 입자를 녹이거나 기화시키면 입자가 씻겨 나가고 전극이 전진한다. 이 공정은 매우 정확하며 거의 모든 원하는 모양의 다이, 몰드, 구멍, 슬롯 및 캐비티를 가공하는 데 유리하게 사용된다.

[0439] *전기화학적 가공*

[0440] 전기화학 가공(ECM)은 역으로 전기도금과 유사하다. 이 공정에서 금속은 전해조에서 제어된 속도로 직류를 통해 작업물에서 용해된다. 작업물은 양극 역할을 하며 음극 역할을 하는 도구로부터 0.001 ~ 0.030인치(0.025 ~ 0.75mm)의 간격으로 분리된다. 일반적으로 염수용액인 전해질은 전극 간 간격을 통해 압력을 받아 펌핑되어 작업물에서 용해된 금속을 씻어낸다. 일정한 간격을 유지하기 위해 한 전극이 다른 전극을 향해 이동함에 따라 양극 작업물은 보완적인 모양으로 가공된다. ECM의 장점은 도구 마모가 적고 더 단단한 작업물을 가공하는 데 더 부드러운 음극 도구를 사용할 수 있다는 점이다. ECM의 응용 분야는 항공기 엔진 및 자동차 산업에서 찾아볼 수 있으며, 여기서 이 공정은 디버링, 작은 구멍 드릴링 및 극도로 단단한 터빈 블레이드 가공에 사용된다. ECM의 변형에는 약 90%의 ECM과 10%의 기계적 액션을 포함하는 전해 연삭; 수성 전해질의 제어된 아크가 빠른 속도로 물질을 제거하는 전기화학적 아크 가공(ECAM); 매우 미세한 구멍을 가공하기 위해 산성 전해질을 사용하는 모세관 드릴링을 포함한다.

[0441] *이온빔 가공*

[0442] 이온빔 가공(IBM)에서 아르곤과 같은 불활성 가스의 하전된 원자(이온) 플로우는 진공에서 높은 에너지에 의해 가속되어 고체 작업물로 향하게 된다. 빔은 물체 표면의 원자에 에너지와 운동량을 전달하여 작업물에서 원자를 제거한다. 원자가 작업물의 원자 클러스터와 충돌하면 작업물 재료에서 0.1~10개의 원자가 제거된다. IBM은 거의 모든 재료의 정확한 가공을 허용하며 반도체 산업 및 비구면 렌즈 제조에 사용된다. 이 기술은 결합을 강화하기 위해 표면을 텍스처링하고, 레이저 거울과 같은 장치에서 원자적으로 깨끗한 표면을 생성하고, 박막 및 멤

브레인의 두께를 변경하는 데에도 사용된다.

[0443] *레이저 가공*

[0444] 레이저 가공(LM)은 레이저에서 나오는 강한 광선을 이용하여 재료를 녹이고 기화시켜 금속이나 내화 재료를 절단하는 방법이다. 레이저 가공은 재료를 녹이고 기화하여 제거해야 하기 때문에 에너지 비용이 많이 든다. LM은 전통적인 방법으로 가공하기 어려운 재료에 작은 구멍(예: 0.005~0.05인치)을 절단해야 할 때 특히 유리한다. 유리한 응용 분야에는 다이아몬드, 세라믹, 집적 회로용 기판 등의 레이저 드릴링 및 절단이 포함된다. 레이저 가공은 SCOFAST 기계에서 가공과 결합될 수 있다. 결합된 기계 및 레이저 가공을 위한 일부 유용한 방법 및 장치는 여기에 참조로 포함된 미국 특허 US10220469B2에 논의되어 있다.

[0445] *레이저 보조 가공*

[0446] 레이저 보조 가공은 플로우 응력을 줄이고 칩 형성을 개선하기 위해 절단 공정 직전에 레이저 빔으로 작업물의 특정 영역을 가열하는 열 보조 가공 공정이다. 이 방법은 티타늄 합금과 같이 절삭이 어려운 재료를 가공할 때 특히 유리한다. 레이저의 출력과 움직임은 중요한 매개변수이다.

[0447] *순산소 절단*

[0448] 순산소 절단은 산소/연료 가스 불꽃을 사용하여 금속을 발화 온도까지 예열하는 절단 방법이다. 그런 다음 고출력 산소 제트가 금속을 향하여 산소와 금속 사이에 화학 반응을 일으켜 슬래그라고도 알려진 산화철을 형성한다. 고성능 산소 제트가 절단면에서 슬래그를 제거한다.

[0449] *플라즈마 아크 가공*

[0450] 플라즈마 아크 가공(PAM)은 플라즈마 아크나 텅스텐 불활성 가스 아크, 토치를 이용해 금속을 절단하는 방법이다. 토치는 작업물에서 재료를 녹이고 대체하여 절단하는 고온 이온화 가스(플라즈마)의 고속 제트를 생성한다. 플라즈마 영역에서 얻을 수 있는 온도 범위는 20,000° ~50,000° F(11,000° ~28,000° C)이다. 이 공정은 옥시아세틸렌 토치로는 효율적으로 절단할 수 없는 금속을 포함하여 대부분의 금속을 절단하는 데 사용할 수 있다.

[0451] *초음파 가공*

[0452] 초음파 가공(USM)에서는 진동 도구와 작업물 사이의 좁은 간격을 통해 순환하는 물 슬러리에서 고주파로 진동하는 연마 입자를 사용하여 작업물에서 재료가 제거된다. 생산할 캐비티 모양의 도구는 19,000~40,000Hz(초당 주기)에서 약 0.0005~0.0025인치(0.013~0.062mm)의 진폭으로 진동한다. 도구는 작업물 표면에 대해 연마 입자를 진동시켜 재료를 제거한다. 초음파 가공은 주로 전기 전도체나 절연체가 될 수 있는 단단하고 부서지기 쉬운 재료를 절단하는 데 사용된다. USM의 다른 일반적인 응용 분야로는 반도체 재료(예: 게르마늄) 절단, 조각, 유리에 미세한 구멍 뚫기, 세라믹 및 보석 가공 등이 있다. 변형은 초음파 도구가 연마 슬러리 없이 작업물에 대해 회전하는 초음파 트위스트 드릴링이다. 이 유형의 USM을 사용하면 80마이크로미터 또는 그보다 더 작은 구멍을 뚫을 수 있다.

[0453] *화학적 가공*

[0454] 화학적 가공(CM, CHM)에서는 제어된 화학적 액션을 통해 선택된 영역에서 금속이 제거된다. 마스킹 테이프를 사용하면 제거할 수 없는 부분을 보호할 수 있다. 이 방법은 금속 프린팅 및 조각판을 만드는 데 사용되는 공정과 관련이 있다. 화학적 가공 공정에는 얇은 금속 부품의 블랭크를 절단하는 데 사용되는 화학적 블랭킹과 금속 부품의 일부 또는 전체 영역에서 금속을 제거하는 데 사용되는 화학적 밀링이 있다.

[0455] *광화학 가공*

[0456] 광화학적 가공(PCM)은 일련의 광활성화 및 화학적 에칭 기술을 사용하여 금속으로 부품과 장치를 생산하는 CHM의 확장이다.

[0457] *워터젯 가공*

[0458] 워터젯 가공 공정에서 물이나 다른 유체는 매우 높은 압력으로 작은 노즐을 통해 폴리머, 벽돌, 종이와 같은 재료를 절단한다. 워터젯 가공은 다른 방법에 비해 여러 가지 장점이 있다. 열이 발생하지 않고, 가공 중에 작업물이 변형되지 않으며, 작업물의 어느 곳에서나 공정을 시작할 수 있고, 사전 가공 준비가 필요하지 않으며, 공정 중에 버가 거의 형성되지 않다. 특히 마감 작업에서 재료 제거 속도를 향상시키기 위해 유체에 연마제를 첨가할 수 있다. 이 공정을 워터젯 가공이라고 부르지만 어떤 유체라도 물을 대신할 수 있다. 가스 혼합물과 증기

는 단독으로 사용하거나 연마제와 함께 사용할 수도 있다.

[0459] *호닝*

[0460] 강성 또는 유연성 호닝 도구는 교차 구멍 디버링, 원통형 호닝, 표면 마감, 가장자리 블렌딩 및 청소와 같은 다양한 작업을 위해 절삭 도구 대신 사용될 수 있다. 가공 공정에 유연한 호닝을 통합함으로써 교차 드릴 구멍이 있는 복잡한 부품과 기타 접근하기 어려운 기능을 동일한 SCOFAST 기계 내에서 디버링, 호닝 및 표면 마감 처리할 수 있다.

[0461] **변형 작업/처리**

[0462] 변형 작업

[0463] 변형(변환, 변형, 처리) 작업은 어떤 형태의 처리를 통해 작업물의 물리적, 화학적 또는 기타 특성을 변경시키는 작업이다. 여기에 정의된 변형 작업 및 처리에는 적층 작업을 보완하는 유사한 적층 마감 작업이 제외된다. 이러한 작업은 특별한 목적으로 사용될 수 있고 적용되는 추가 공정에 의해 주로 정의되는 결과를 산출하기 때문에 추가 작업의 하위 집합으로 분류된다.

[0464] 물리적 처리는 화학적 결합이나 원자가의 변화를 일으키지 않으면서 물질의 상태나 물리적 속성을 일부 변경시키는 처리이다. 화학적 처리는 물질의 화학적 결합이나 원자가의 변화로 인해 물질의 화학적 특성에 변화를 가져오는 처리이다. 물리화학적 처리는 물질의 상태, 물리적 특성 및 특성에 비화학적 및 화학적 변화를 모두 가져오는 처리이다.

[0465] 변형 작업에는 열 처리, 물리적 처리, 화학적 처리, 광자 처리, 방사선 처리, 현재 알려져 있거나 미래에 발견될 수 있는 다른 유형의 처리 및 이들의 조합이 포함된다. 처리는 스트레스, 충격, 음향 에너지, 열, 냉기, 물질 상태와 어떤 온도 및 압력에서 원자 또는 분자 화합물, 진공, 자기장, 전기장, 전자기장 및/또는 중력장 또는 의사 중력장에 대한 노출을 통해 이루어질 수 있고, 이러한 노출은 임의의 수단, 임의의 조합 및/또는 순서로 수행된다. 변형은 또한 표면 코팅이 작업물 자체에서 비롯된 것인지 또는 외부 재료 소스를 통합했는지 여부(예: 적층되고 변형될 수 있는 스퍼터 코팅 또는 침탄과 같은 작업으로)로 작업물의 유효 특성을 변경하는 표면 코팅을 초래하는 처리를 의미할 수도 있다.

[0466] 변형 작업의 일부 예에는 경화, 표면 경화, 강인화, 템퍼링, 연화, 어닐링, 코팅, 패시베이션, 도금, 양극 산화처리, 자화, 탈자화, 에이징, 경화, 마킹, 에칭, 가교, 요리, 침탄, 탄화, 질화, 훈증, 기포 제거, 가스 제거, 발효, 끓이기, 튀김, 로스팅, 소테, 냉동, 수화, 탈수 등을 포함한다.

[0467] 변형 작업에 유용한 일부 예시적인 시스템 및 방법은 미국 특허 US3450606A, US3765994A, US4304978A, US4477292A, US4902580A, US5492263A, US5785777A, US5980723A, US6528123B1, US6620735B2, US6797147B2, US6896787B2, US6936349B2, US7011719B2, US7128985B2, US7166205B2, US7347924B1, US7580179B2, US7820300B2, US8021758B2, US8197892B2, US8663807B2, US8945366B2, US9034166B2, US9413861B2, US9420713B2, US95 06160B2, US9556068B2, US9617639B2, US9683305B2, US9970080B2, US9985345B2, US10099506B2, US10174436B2, US10330832B2, US10392718B2, US10626517B2, US1 0760176B2, US10782741B2, US20070026205A1, US20080274375A1, US20110083895A1, US20110089039A1, US20160289858A1, US20170253986A1, US20190062885A1, US20210022261A1 및 US20200198291A1에 제시되어 있고, 이들 각각은 여기에 참조로 포함된다.

[0468] 변형 작업에 유용한 추가의 예시적인 시스템 및 방법은 미국 이외의 특허 문서 KR100914858B1 및 WO2002038334A1에 제시되어 있으며, 이들 각각은 여기에 참조로 포함되어 있다.

[0469] 열처리

[0470] 열처리는 재료의 경화 또는 연화, 민감성 변경, 소성 성형을 유발하는 데 필요한 힘 변경 또는 기타 다른 목적을 위해 가열 또는 냉각을 사용하여 원하는 결과를 얻는다. 통상의 기술자에게 공지된 일반적인 열처리 기술에는 어닐링, 표면 경화, 석출 강화, 템퍼링, 붕화처리, 침탄, 탄질화(시안화), 산화물 강화, 정규화, 담금질, 열용액 처리 및 알루미늄, 구리, 크롬, 주석과 같은 원소를 사용한 확산 처리가 포함된다.

[0471] 열에너지는 작업물 전체, 작업물의 일부, 작업물에 추가되는 스톡 또는 부분적으로 형성된 부품, 작업 홀더 또는 도구, 작업물 주변 환경, 작업물에 흐르는 액체나 가스에 추가되거나 제거될 수 있다. SCOFAST 기계 내의 일부 요소에는 열 에너지가 추가되고 다른 요소에서는 제거될 수 있다.

[0472] *유도 가열*

[0473] 유도 가열에서, 하나 이상의 유도 코일은 작업물에 영향을 미치는 교류 자기장을 생성하는 데 사용된다. 이 자기장은 금속 작업물에 와전류를 생성하여 작업물을 원하는 온도까지 가열한다. 유도 가열은 유도 가열기의 전력, 주파수 및 지오메트리를 조정하여 매우 정밀하게 제어할 수 있다. 유도 가열의 짧은 가열 시간과 공간적으로 변형된 가열 제어 덕분에 SCOFAST 기계 내에서 수행되는 작업에 매우 적합하다. 거의 모든 재료는 유도 가열을 통해 가열될 수 있다. 비전도성 재료는 예를 들어 가열할 재료와 접촉하는 도가니 또는 전도성 액체를 가열하여 간접적으로 가열된다. 유도에 의해 쉽게 가열되는 금속에는 구리 및 구리 합금, 황동, 알루미늄, 철, 강철, 스테인레스 스틸, 텅스텐, 크롬, 니켈, 니켈 합금, 코발트, 탄소 섬유, 흑연, 실리콘, 백금, 은 및 금이 포함된다. 유도 가열에 대한 일부 예시적인 기술 및 관련 기술은 미국 특허 US7767941B2, US7652231B2, US4119825A, US9924567B2, US6555801B1, US3156807A, US2783351A 및 US2649529A에 개시되어 있으며, 이들 각각은 여기에 참고로 포함된다.

[0474] 유도 가열은 SCOFAST 기계 내에서 작업물을 가열하는 데 특히 편리한 방법인데, 그 이유는 부분적으로 금속 표면에서 표면 아래의 특정 지점까지 가열된 층의 두께가 적용된 교류의 주파수에 반비례하기 때문이다. 주파수가 높을수록 스킨이 더 얇아진다. 주파수는 저주파(0~7kHz), 중주파수(7~40kHz) 또는 고주파수(40~500kHz)로 간주된다. 500kHz 이상의 주파수는 초고주파이다. 유도 가열에는 여러 주파수를 동시에 사용할 수 있다. 각 주파수는 서로 다른 깊이의 작업물에 작용하기 때문에 복잡한 지오메트리를 가진 부품에서 더욱 균일한 가열을 촉진할 수 있다. 건설적 및 파괴적 장 간섭을 고려하면 정밀하게 배치된 여러 개의 유도 코일에 의해 생성된 중첩 장을 사용하여 공간적으로 집중된 에너지를 전달할 수 있다. 다양한 코일의 상대 진폭, 주파수, 위상 및 듀티 사이클을 조정하면 가열 속도, 깊이 및 정도가 변경된다.

[0475] *어닐링*

[0476] 어닐링은 왜곡된 냉간 가공된 격자 구조가 열 매개 이완을 거쳐 덜 변형되거나 변형이 없는 구조로 바뀌는 과정이다. 금속재료는 냉간가공을 하면 경도, 인장강도, 전기저항이 증가하고 연성은 감소한다. 또한 전위의 수가 크게 증가하고 결정 구조의 특정 평면이 심하게 왜곡된다. 금속을 냉간 가공하는 데 사용되는 대부분의 에너지는 열로 소산되지만, 해당 에너지 중 일부는 변형으로 인해 생성된 격자 결함과 관련된 내부 에너지로 결정 구조에 저장된다.

[0477] 어닐링 동안, 재료는 어닐링 온도까지 가열되고 일정 시간 동안 그 온도에서 유지된 후 점차적으로 실온으로 냉각된다. 어닐링 공정은 회복, 재결정화, 결정립 성장이라는 세 단계로 나눌 수 있다.

[0478] 회복 단계는 주로 저온 공정이며, 생성된 특성 변화는 미세 구조 또는 인장 강도, 항복 강도, 경도 및 연성과 같은 특성에 눈에 띄는 변화를 일으키지 않다. 회복의 주요 효과는 냉간 가공으로 인한 내부 응력의 완화이다. 탄성 변형에 이어 소성 성형을 일으키는 하중이 해제되면 탄성 변형이 모두 사라지는 것은 아니다. 이는 결정 격자의 공간적 방향으로 인해 발생하며, 일부 요소는 원래 위치로 돌아가는 것이 차단된다. 온도가 점진적으로 증가함에 따라 이러한 탄성 변위 요소의 대부분은 해제되어 원래 위치로 돌아가며 대부분의 내부 응력이 완화된다. 회복 중에 전기 전도성이 눈에 띄게 증가한다. 금속의 기계적 특성은 본질적으로 변하지 않기 때문에 회복 범위에서 가열하는 주요 목적은 냉간 가공된 합금의 응력 완화를 통해 응력 부식 균열을 방지하거나 잔류 응력으로 인한 변형을 최소화하는 것이다. 상업적으로 회복 범위의 저온 처리는 응력 완화 어닐링 또는 공정 어닐링으로 알려져 있다.

[0479] 재결정화는 물질의 재결정 온도에 도달하여 미세조직에 미세한 새로운 결정이 나타나는 단계이다. 이 새로운 결정은 원래의 변형되지 않은 입자와 동일한 구성과 격자 구조를 가지며 크기가 균일하다. 새로운 결정은 일반적으로 결정립의 가장 크게 변형된 부분(일반적으로 결정립 경계 및 미끄러짐 평면)에 나타난다. 새로운 알갱이가 형성되는 원자 클러스터를 핵이라고 한다. 재결정화는 변형 없는 입자의 핵 생성과 이러한 핵의 성장이 결합되어 냉간 가공된 재료 전체를 흡수함으로써 발생한다. 재결정화 동안에 인장 강도와 경도가 크게 감소하고 재료의 연성이 크게 증가한다.

[0480] 재결정 온도란 그 이하에서는 재결정이 일어나지 않는 일정한 온도를 말하는 것이 아니라, 냉간가공된 재료가 1시간 안에 완전히 재결정되는 대략적인 온도를 말한다. 다양한 결정립 형성이 혼합된 재료에는 다양한 재결정 온도가 존재한다.

[0481] 금속의 어닐링의 마지막 단계인 결정립성장에서는 결정립계가 서서히 원래의 결정립 크기로 성장하며, 재료의 인장강도와 경도는 더욱 감소한다.

[0482] 어닐링은 최적의 재료 특성을 얻기 위해 경도, 인성 및 내부 응력과 관련된 금속 특성을 변경하는 데 사용된다. 작업물을 어닐링하는 데는 모든 가열 방법을 사용할 수 있지만 SCOFAST 작업으로 어닐링을 수행하는 경우 유도 가열이 특히 유용한다. 그 이유는 열이 작업물에서 직접 생성되어 매우 정밀한 제어, 균일한 열 분포 및 작업물에 침투의 평평한 깊이가 가능하기 때문이다. 열경화와 달리 어닐링되는 작업물의 온도는 천천히 감소한다. 연화 어닐링은 성형 작업 전에 금속 경도를 낮추고 인성과 연성(ductility)을 높이기 위한 전처리로서 특히 중요하다. 응력 완화 어닐링은 낮은 온도를 사용하여 가공 또는 성형 중에 생성되는 응력을 최소화하거나 제거한다.

[0483] *치밀화*

[0484] 치밀화는 재료의 밀도를 증가시키는 물리적 처리이다. 치밀화는 관심 작업물 재료와 함께 2차 기체 또는 액체 재료 또는 고체 바인더 재료를 포함하는 기판을 사용하여 압출, 몰딩, 주조 또는 3D 프린팅을 통해 만들어진 거의 그물 모양의 작업물에 적용되는 경우가 많다. 2차 재료를 제거하면 제거된 2차 재료에 따라 기공이 크거나 단일 분자만큼 작을 수 있는 다공성 작업물이 남는다. 열 및/또는 힘을 가하면 기공이 붕괴되어 작업물의 밀도가 증가한다.

[0485] *경화*

[0486] 경화는 종종 열처리를 통해 달성되는 물리적 처리이며, 기계적 특성을 개선하고 경도를 증가시켜 더 강하고 더 내구성이 있는 부품을 만들기 위해 금속에 종종 적용된다. 열처리를 통해 재료는 임계 변태 온도 이상으로 가열된 다음 냉각된다. 공정은 금속의 미세 구조를 변경하며 공정 매개변수는 강도와 인성을 추가하는 미세 구조를 선택하기 위해 변경될 수 있다. 철 또는 강철을 표면 경화시키는 한 가지 방법은 집중 가열(예: 레이저 빔의 에너지 전달)을 통해 레데부라이트 또는 펄라이트의 접합된 대립 유전자에서 부드러운 층간 페라이트 영역으로 탄소의 확산을 유도하는 것이다.

[0487] *유도 경화*

[0488] 유도 경화는 작업물에 직접 열이 발생하는 경화 공정이다. 이러한 유형의 열처리의 주요 장점은 재료가 원하는 온도에 빠르게 도달한다는 것이다. 또 다른 장점은 화염이나 지속적인 가열 환경이 필요하지 않다는 것이다. 가열 후 부품은 열을 제거하기 위해 액체나 가스를 사용하는 담금질 공정을 거치며, 이로 인해 유리한 특성을 갖는 야금 구조가 개발된다.

[0489] 담금질 후, 금속 부품은 취성 및 경도를 감소시키지만 인성을 증가시키는 저온 열처리 공정인 템퍼링(tempering)을 거칠 수 있다. 경화와 템퍼링의 조합은 원하는 경도/인성 비율을 달성하도록 조정된다.

[0490] 유도 경화를 수행할 때, 유도 장치의 전력 출력, 인덕터 전류의 주파수, 인덕터 코일의 지오메트리, 인덕터 코일 요소의 결합 거리, 냉각수 및 윤활제의 유량 및 재료 특성, 장비 및 작동의 기타 속성을 조정하여 작업물의 경화 깊이를 제어할 수 있다. 표면 경화(케이스 경화)는 재료의 연성을 감소시키거나 부서지기 쉽게 만들지 않고 내마모성을 높일 수 있기 때문에 특히 중요하다.

[0491] *경화 스프링 강*

[0492] 열간 성형 후, 스프링 강은 약 640~700℃에서 아임계 어닐링되어 225BHN의 경도를 갖는다. 표준화는 약 850~880° C에서 수행된다. 오일 담금질은 약 830~860° C에서 이루어지며, 템퍼링은 필요한 기계적 특성에 따라 약 400~550° C에서 수행된다.

[0493] 극저온 처리(Cryogenic treatment)

[0494] 극저온 처리는 특정 재료에 상당한 변형 효과를 미칠 수 있다. 예를 들어 강철의 극저온 처리는 금속의 특정 잔류 오스테나이트 구조를 마르텐사이트로 전환한다. 마르텐사이트는 처음에는 매우 단단하고 부서지기 쉽지만 금속이 실온으로 돌아오면 더 나은 인성을 제공하도록 단련된다. 도구강과 같은 고합금강을 극저온 처리하면 강(steel)에 존재하는 더 큰 탄화물 입자 사이의 마르텐사이트 구조 내에 분산된 매우 작은 탄화물 입자가 형성된다. 이러한 작은 입자는 큰 골재로 만든 콘크리트와 매우 작은 골재로 만든 콘크리트와 유사한 방식으로 강철을 강화하는 역할을 한다. 골재가 작을수록 콘크리트 혼합물이 훨씬 강해지며, 마르텐사이트 매트릭스 내의 작고 단단한 탄화물 입자는 매트릭스를 지지하고 외부 입자의 침투를 방지하여 연마 마모를 줄인다.

[0495] 카바이드 인서트와 성형 도구는 극저온 처리로 인해 내마모성이 증가할 수도 있다. 이는 처리 냉각 단계에서 카바이드 인서트가 약간 수축하여 카바이드와 바인더 사이의 미세 공극 내에 약간의 소성 플로우가 생성되기 때문에 발생할 수 있다. 탄화물이 주변 온도로 되돌아오면 공극 표면에 압축 응력이 남는다. 이러한 압축 응력은 공

극으로 인한 국부적인 약화를 상쇄하는 경향이 있어 전반적인 내마모성이 향상된다.

[0496] 힘 처리(Force treatment)

[0497] *피닝(해머링)*

[0498] 피닝은 운동 에너지 전달을 사용하여 금속 응력을 줄이고 피로 및 응력 파괴 저항성을 향상시키는 냉간 가공 공정이다. 전통적인 피닝은 해머를 사용하여 부품 표면을 반복적으로 두드리는 방식으로 수행된다.

[0499] *쇼트 피닝*

[0500] 쇼트 블라스팅 또는 비드 블라스팅으로도 알려진 쇼트 피닝은 샷으로 알려진 비드를 사용하여 수행되는 피닝의 한 형태이다. 쇼트 피닝에서는 작은 구형 쇼트가 마감할 부품의 표면에 충격을 가한다. 샷은 핀 해머처럼 작용하여 표면을 움푹 패이고 딤플 아래에 압축 응력을 유발한다. 미디어가 부품에 계속 충돌하면 처리되는 금속 표면 전체에 걸쳐 여러 개의 겹치는 딤플이 형성된다. 표면 압축 응력은 금속을 강화시켜 완성된 부품이 피로 파괴, 부식 피로 및 균열, 캐비테이션으로 인한 마손 및 침식에 저항하도록 보장한다. 쇼트 피닝은 세라믹, 유리, 강철 또는 원하는 물리적 특성을 갖는 기타 재료의 비드를 사용하여 수행될 수 있다. 초음파 피닝은 액체 매질을 사용하여 충격을 전달하여 운동 에너지를 대상 물질로 전달하는 방법으로 수행할 수 있다.

[0501] *표면 처리*

[0502] SCOFAST 기계 내에서 유리하게 수행될 수 있는 표면 처리의 예에는 전기도금, 무전해 도금, 산화물 코팅, 양극산화, 패시베이션, 전해연마, 어닐링, 침탄, 질화, 석출 경화, 열 디버링, 브레이징, 습식 블라스팅, 증기 호닝, 호닝, 코팅, 분체 코팅, 페인팅, 염색, 인성 처리, 대기 플라즈마 처리, 탈지 화합물, 그릿 블라스팅, 레이저 제거, 표면 코팅, 연마, 왁싱, 탈왁싱 등이 포함된다.

[0503] *레이저 또는 전자빔에 의한 표면 합금화*

[0504] 레이저 또는 전자빔 표면 합금에서는 층 표면 재료가 용융되고 냉각 전에 두 번째 물질이 표면 재료와 혼합되어 작업물의 표면에 다른 합금이 형성된다.

[0505] *패시베이션*

[0506] 패시베이션은 화학적으로 더욱 안정해지고 바람직하지 않은 방식으로 다른 원소와 반응하는 경향이 적어지도록 표면 또는 바로 아래에 있는 금속의 화학 구조를 변경하는 것을 의미한다. 패시베이션의 이익에는 경도 증가, 부식 민감성 감소 및 외관 개선이 포함될 수 있다.

[0507] *컨버전 코팅*

[0508] 컨버전 코팅은 부품의 표면에 첨가된 다른 재료를 포함하는 코팅과 구별되는 바와 같이 부품의 기존 재료의 표면 화학이 변경되거나 "컨버전"되는 코팅이다.

[0509] *아노다이징*

[0510] 아노다이징은 알루미늄, 티타늄, 마그네슘 부품의 표면을 패시베이션하기 위한 컨버전 코팅 기술이다. 일반적으로 두께가 약 5미크론인 금속의 최상층을 세척하고 벗겨낸다(예: 물리적 처리, 용제, 세제, 강알칼리 용액 및 강산 용액을 조합하여 사용). 부품에는 양전하(양극산화의 "양극")가 부여되고 전해질이라고 하는 다른 액체에 노출된다. 부품은 전해질의 음전하 이온을 끌어당겨 금속 표면과 결합하여 부식, 마모 및 표면 긁힘에 더 강한 산화물 층을 생성한다. 유색 염료를 전해질에 첨가하여 산화물에 통합할 수 있다. 선택한 영역은 패턴 양극 산화 처리 또는 브러시 양극 산화 처리로 알려진 공정을 통해 양극 산화 처리될 수 있다.

[0511] *블루잉*

[0512] 블루잉(Bluing)은 철 금속에 사용될 수 있는 패시베이션 컨버전 코팅이다. 부품은 양극 산화 처리를 위해 세척된 후 일련의 화학 용액에 노출되어 자철광(Fe304)이 증착된다. 얇은 코팅에서는 총신에서 흔히 볼 수 있는 친숙한 파란색 표면처럼 보이다.

[0513] *블랙옥사이드 마감*

[0514] 블랙옥사이드 마감은 블루잉에 사용되는 마감재보다 색상이 더 두껍고 어두운 마그네타이트(Fe304)의 컨버전 코팅이다.

[0515] *콜드 블랙옥사이드*

[0516] 때때로 "콜드 블루잉(cold bluing)"이라고도 불리는 콜드 블랙옥사이드 마감은 자철석 컨버전 코팅과 유사해 보이지만 실제로는 컨버전 코팅이 아니라 오히려 구리 셀레늄 화합물의 증착된 층이다.

[0517] *구리용 블랙옥사이드*

[0518] 구리용 블랙옥사이드는 산화제2구리의 컨버전 코팅이다. 다른 "블랙옥사이드" 코팅은 다른 많은 금속에 사용할 수 있으며, 일부는 컨버전 코팅으로, 일부는 다른 물질의 증착 층으로 사용할 수 있다.

[0519] *파커라이징(Parkerizing)*

[0520] 파커라이징은 블루잉보다 더 견고한 무광택 회색 표면 컨버전 코팅이다.

[0521] *아연 도금*

[0522] 아연 도금은 부품을 희생 양극 물질, 가장 일반적으로 아연으로 코팅하는 것을 의미한다. 아연 도금은 침지, 스프레이, 전착 또는 기타 방법을 통해 수행될 수 있다. 용융 아연 도금은 강철이나 철 부품을 용융 아연에 담그는 것을 말한다. 아연 코팅은 철 금속에 대한 부식 방지 기능을 제공하는 물리적 장벽뿐만 아니라 희생 양극 역할도 한다.

[0523] *황아연 도금*

[0524] 황아연 도금(Yinc Plating)은 그 위에 전기도금된 크롬층이 있는 아연 도금층이다.

[0525] *크롬 도금*

[0526] 크롬 도금은 금속 및 금속화된 비금속 재료에 적용될 수 있는 일반적인 도금 공정이다. 크롬 도금에는 일반적으로 니켈과 크롬이 사용된다. 경질 크롬 도금은 더 두꺼운 크롬 층을 증착하여 로크웰 경도를 68C에서 72C 사이로 만드는 관련 공정이다.

[0527] *니켈 도금*

[0528] 니켈 도금은 장식 마감, 부식 방지, 표면 경도 및 내마모성을 높이기 위해 사용될 수 있다. 니켈은 나중에 크롬을 도포하기 위한 베이스 코팅으로도 사용된다. 니켈을 도금 재료로 사용하는 것은 크롬만큼 위험한 것으로 간주되지 않다.

[0529] *기타 코팅*

[0530] 코팅은 내마모성 증가, 산화 저항성 증가, 마찰 감소, 금속 피로 저항성 증가, 열충격 저항성 증가, 화학적 저항성 증가, 전도성 변경 및 기타 여러 목적으로 사용된다. 코팅은 균일하거나 복합적일 수 있으며 지오메트리적으로 단층, 다층, 나노층, 나노복합체 또는 구배로 특성화될 수 있다. 다층 구조는 여러 층의 단층 구조로 구성되며, 각 층은 잠재적으로 서로 다른 특성을 갖는다. 나노층 구조는 각 층의 두께가 원자 수준인 다층 구조이다. 나노복합체 코팅은 일반적으로 단단한 결합제 상(tough binder phase)과 단단한 결합 성분(예: 코발트와 탄화물)을 결합한다. 그라데이션 코팅은 일반적으로 깊이에서 탄성을 가지며 표면에 가까울수록 단단해지고 내마모성이 높아진다.

[0531] 코팅은 액체, 증기, 기체, 분말 또는 고체 형태, 용액에 용해된 물질, 현탁액에 있는 입자 물질 및 기타 형태로 적용될 수 있다.

[0532] 코팅은 담그기(침지), 브러싱, 롤링, 스프레이, 스핀 코팅, 플로우 코팅, 전착(electrodeposition), 정전 증착, 에어로졸 코팅, 분무 스프레이 코팅, 수욕 필름 코팅 및 기타 방법에 의해 도포될 수 있다.

[0533] 코팅 두께는 파괴적으로, 예측적으로, 또는 자기력, 자기 유도, 와전류, 굴절률, 소멸 계수, 투과율, 용량 및 기타 속성의 정량적 평가와 같은 비파괴 기술을 통해 검사될 수 있다. 기타 정량 기술로는 오거 전자 분광법, X선 형광, X선 분광법, 초음파 펄스 에코, 베타 후방 산란, 레이저 삼각측량 등이 있다.

[0534] *기상 증착*

[0535] 코팅은 화학 기상 증착(CVD) 방법에 의해 도포될 수 있다: 기판이 가열되고 가스 플로우(gas stream)에 노출된다. 가스는 뜨거운 기판에서 반응하거나 분해되어 최적의 층 접착력과 일관된 층 분포를 갖는 코팅층을 형성한다. 예: 사염화티타늄 + 뜨거운 표면을 둘러싼 수소 + 질소 => 질화티타늄 코팅 + HCL. 사용되는 온도는 일반적

으로 1000C 정도이다.

[0536] 대안적으로, 물리적 기상 증착(PVD) 방법은 부품을 진공 챔버에 배치하고 가열, 아크 방전, 음극 스퍼터 또는 기타 다른 수단과 같은 일부 수단에 의해 기화된 재료를 도입한다. 기화된 재료는 진공을 통해 퍼지며 기판과 접촉하는 모든 곳에 달라붙는다. 증착은 일반적으로 소스에서 타겟까지 가시선상에서 이루어진다. 예를 들어, 원하는 코팅이 개방형 중공 세라믹 용기의 내부 표면에 균일하게 분사된 다음 일부가 SCOFAST 기계의 용기 내에 매달린 다음 세라믹 용기가 보조 콜릿 플레이트에 대해 밀봉되고 진공 상태에 놓이는 경우 부품이 내부에 있고 유도 코일이 활성화되어 세라믹 용기의 전체 내용물을 코팅의 진공 기화에 충분한 온도로 가열한다. 그런 다음 코팅은 부품 주위 360도 분포로 기화되고 대칭 PVD 코팅은 발생하다. PVD 코팅에는 거의 모든 금속을 사용할 수 있다.

[0537] *화학적 표면처리*

[0538] 화학적 표면 처리는 작업물의 표면 또는 표면 근처에서 작업물 재료 특성을 변경시키는 물질에 작업물 표면을 노출시키는 것이다. 이러한 처리의 한 가지 예는 사염화티타늄, 수소 및 질소를 포함하는 분위기에서 재료를 가열하여 질화티타늄(가열된 재료의 표면에 증착됨)과 HCL의 화학적 형성을 초래하고 또한 벌크 재료의 가열 및 냉각으로 인해 발생하는 벌크 재료의 미세 구조의 물리적 변화뿐만 아니라 재료로의 수소 이동으로 인한 재료 특성의 변화도 포함된다.

[0539] *에너지 트리트먼트*

[0540] 변형 작업에는 모든 에너지원으로부터 어떤 형태로든 에너지 전달이 포함될 수 있다. 에너지 소스의 일부 예로는 방사선 소스, 광자 소스, 운동 소스, 전기 소스, 정전기력, 자기 소스, 전자기 소스, 중력 소스, 핵력 등이 있다.

[0541] *물리적, 화학적 및 물리화학적 처리*

[0542] 화학적 변화는 화학 결합이 변경되어 원래 물질과 다른 특성을 가진 새로운 물질이 생성되는 것이다. 물리적 변화는 물질 자체에 화학적 변화를 일으키지 않는 물질 상태의 변화이다. 물리화학적 변화는 물리적 변화와 화학적 변화를 모두 포함한다. SCOFAST 기계의 작동으로 인해 물리적, 화학적 또는 물리화학적 변화가 발생할 수 있다. SCOFAST 기계 내에서 처리는 흡열, 발열 또는 온열이 될 수 있거나 위의 조합을 포함하는 상태를 통해 진행될 수 있다.

[0543] 처리는 예를 들어 결정질 격자(순수하거나 어떤 방식으로 내부에 불순물이 분포되어 있는) 또는 유리 또는 무정형 고체와 같이 벌크 재료 내부 및 그 표면의 원자 및 분자와 원자 및 분자 그룹의 3차원 구조를 변경할 수 있다.

[0544] 진동은 작업물 내에서 진동 모드와 상대 응력 영역을 유발할 수 있으며, 여기서 재료의 물리적 특성은 서로 다른 영역에서 다르다. SCOFAST 기계 내에서 처리는 임의의 주파수에서 진동으로 이루어질 수 있다.

[0545] 재료의 특성을 변경하기 위해 에너지 함량을 조작하면 주어진 기계 내에서 수행할 수 있는 작업의 효율성(efficiency)과 효과(effectiveness)가 변경될 수 있다. 예를 들어, 절단 전에 도구 또는 재료를 가열하거나 냉각하면 도구 수명이 향상되고 절단 특성이 변경되거나 해당 금속을 효과적으로 가공할 수 없는 절단 도구에 재료가 취약해지게 된다. 에너지 조작을 사용하면 다른 방법으로는 불가능했을 새로운 작업도 가능해진다. 예를 들어, 재료를 가열하는 것은 다른 방법으로는 그러한 작업을 수행할 수 없는 기계에서, 또는 다른 방법으로는 불가능했을 방식으로 또는 그렇지 않으면 달성되었을 다른 결과로 해당 재료를 단조, 각인 또는 벤딩을 할 수 있다. 에너지 조작은 화학적 처리와 같은 다른 처리를 유발하거나 촉진할 수도 있다.

[0546] 금속과 관련하여, 원재료의 제조 및 그 생산에 사용되는 관례적인 심한 냉간 가공 단계(customary heavy coldworking processing steps)는 특정 종류의 분자 결함을 도입하며, 이는 경도, 표면 경도, 탄성, 변형 및 고장을 비롯한 특정 물리적 특성을 함께 가져오는 특성 분포를 갖는다. 추가 금속 가공 단계에서는 필연적으로 추가 결함이 발생하며, 종종 작업물 전체에 걸쳐 불균일한 공간 분포가 발생한다. 완제품의 최종 물리적 특성은 이러한 근본적이고 누적된 결함에 의해 큰 영향을 받을 수 있다. 이러한 결함은 특정 처리 공정을 통해 변경, 제거 또는 완화될 수 있다. 예를 들어, 티타늄-니오븀 합금에서 베타에서 오메가로의 변형은 단일 bcc 베타 상 장(single bcc beta phase field)의 급속 냉각이나 후속 등온 에이징(subsequent isothermal aging)를 통해 열적으로 발생할 수 있으며 베타 매트릭스 전체에 균일하게 분포되는 타원형 또는 입방체 오메가 입자를 생성한다. 베타에서 오메가로의 전이는 높은 변형률 압축 하중(충격 하중)을 통해 기계적으로 유도되어 불균일하게 분

포된 오메가 플레이트를 생성할 수도 있다. 일 실시예에서, 여기에 설명된 것과 같은 처리(예를 들어, 베타에서 오메가로의 변형이 유도될 수 있는 처리)는 SCOFAST 기계 내 작업으로 수행된다.

[0547] 기타 SCOFAST 작업

[0548] *위치 지정 이미징 측정 인덱싱 테스트(LIMIT)*

[0549] 위치 지정, 이미징, 측정, 인덱싱 및 테스트(LIMIT) 작업에는 기계 상태를 정량화하고 관리하는 데 사용되는 작업과 작업물에 대해 수행되는 작업 관리에 사용되는 작업이 포함된다. 자동 측정, 인덱싱 및 위치 지정은 교정된 측정 프로브 및/또는 측정 대상과 접촉하는 기타 장치를 사용하거나 이미징, 간섭계, 시간- 비행 계산, 지오메트리적 분석 및 통상의 기술자에게 알려지거나 미래에 개발되거나 발견될 수 있는 기타 기술을 사용하는 비접촉 방법을 통해 수행될 수 있다. LIMIT 기술 및 작업의 다른 예로는 육안 검사, 기계 비전 애플리케이션, 패턴 인식, 적외선 온도 측정, 미량 원소 감지, 적외선 이미징, 비율 고온 측정, 초음파 이미징, 초음파 측정, 레이저 이미징, 레이저 측정, 방사선 검사 기술, 누출 테스트, 인장 시험, 좌표 측정, 분광 분석 및 현재 알려져 있거나 향후 개발될 수 있는 기타 여러 기술을 포함한다. 많은 실시예에서, LIMIT 작업은 SCOFAST 기계 내에서 유리하게 수행된다.

[0550] 가공 후 그리고 기계에서 부품을 제거하기 전에 부품이 사양 내인지 아니면 사양 외인지 여부를 감지함으로써 많은 유리한 결과를 얻을 수 있다. 도구 마모나 움직임을 즉시(그리고 지속적으로) 교정할 수 있어 낭비가 줄어든다. 사양을 충족하지 못하는 부품을 다시 가공하여 문제를 해결할 수도 있고, 다른 사양으로 가공하거나 완전히 다른 부품으로 가공할 수도 있다. 예를 들어, 샤프트 끝 부분의 사양을 벗어난 긴 볼트는 현장에서 더 짧은 볼트로 변형될 수 있다. 극도로 정밀한 공차를 요구하는 더 큰 부품을 생산하도록 작업을 설정하면 더 완화된 공차를 갖는 작은 부품과 결합하여 상대적으로 높은 거부율을 얻을 수 있다. 통과하지 못한 모든 큰 부품은 추가 핸들링 비용을 들이지 않고도 더 작은 부품으로 다시 가공될 수 있다.

[0551] 기계에서 제거되기 전에 부품을 분류하는 LIMIT 작업을 통해 처음부터 양호한 부품과 불량 부품을 분리할 수 있어 검사 및 분류 비용이 절감된다. 두 가지 다른 공차로 배송될 수 있는 부품은 현장에서 검사하고, 어느 공차를 충족하는지 스탬프 또는 레이저로 표시하고, 기계에서 나올 때 분리하는 모든 작업을 단일 작업으로 수행할 수 있다.

[0552] 기계 비전은 가공된 표면이 밝고 반사되는 경우 공차 측정에 어려움을 겪는 경우가 많다. 이러한 이유로 접촉 프로브(때때로 수십 또는 수백 개의 프로브)를 사용하는 별도의 측정 스테이션이 사용되는 경우가 많다. 측정을 위해 부품을 전달, 분류 및 정렬하는 데 로봇 핸들링이 사용되는 경우에도 추가 비용과 복잡성이 너무 높기 때문에 설정 비용은 균일한 부품의 대규모 생산 실행에서만 정당화될 수 있다.

[0553] SCOFAST 기계 내에서 가공된 부품은 이미지 검사 전에 표면의 색상 및/또는 반사율을 변경하도록 처리될 수 있으며, 표면 처리는 이후에 여기에 설명된 처리 방법이나 다른 방법을 통해 제거되고, 그 부품은 정확히 알려진 위치에서 정확히 알려진 정렬로 전체 시간을 유지한다. 또한 부품의 각 특징은 이미지 프로세서를 혼란스럽게 하는 이후 요소 없이 부품이 생성되자마자 이미지화되고 측정될 수 있다.

[0554] 부품의 위치와 정렬이 이미 높은 정확도로 알려져 있기 때문에 부품이 제자리에 있는 동안 이미징은 본질적으로 더 정확할 것이다. 기준 특징 감지(detection of fiducial features) 및 부품 자체에 대한 측정(measurements of the part relative to itself.)에 의존하기보다는 기계의 고정 위치를 참조하여 측정을 수행할 수 있다.

[0555] 위치 지정, 이미징, 측정, 인덱싱 및 테스트에 유용한 일부 예시적인 시스템 및 방법은 미국 특허 US4819195A, US4974165A, US5390128A, US7321841B2, US7587082B1, US7623036B2, US8411929B2, US8731719B2, US918897에 제시되어 있다. 3B2, US9420205B2, US9863751B2, US9869623B2, US9958854B2, US10328411B2, US10401144B2 및 US20200025561A1에 제시되어 있고, 이들 각각은 여기에 참조로 포함된다.

[0556] 기계 상태를 평가, 정량화 및 완화하는 데 유용한 일부 예시적인 기술은 미국 특허 US7525443B2, US8393836B2, US8924003B2, US9176003B2, US9223304B2, US10514676B2, US10525550B2, US10838392B2 및 US20170355005A1에 제시되어 있고, 각각은 여기에 참조로 포함된다.

[0557] 모션

[0558] 모션은 일부 기준 프레임에 대한 선형 또는 각도 위치의 변화이다. 모터는 힘을 가하거나 에너지를 전달하여 운동을 일으키는 장치이다. 일부 시나리오에서는 모터가 이펙터 또는 액추에이터라고도 알려져 있다. SCOFAST 기계 내의 모션은 전기, 자기, 전자기, 공압 및/또는 플로우, 수압 및/또는 플로우, 내부 연소, 외부 연소, 열 전

달, 화학 반응, 스프링 작용, 생체 역학 또는 기타 생물학적 액션, 정전기력, 원자력, 핵의 강함 또는 약함 힘, 중력 또는 현재 알려져 있거나 미래에 발견될 수 있는 기타 수단로 구동되는지 여부에 관계없이 모든 종류(예: 선형, 회전, 왕복 또는 기타 지오메트리)의 하나 이상의 모터 액션에 의해 시작, 증가, 유지, 감소 및/또는 중지될 수 있다. SCOFAST 기계에서 동작을 시작, 유지, 감지 및 제어하는 것과 관련하여 유용한 일부 예시적인 시스템 및 방법은 미국 특허 US2809736A, US3563106A, US3888168A, US4270404A, US4432333A, US5092539A, US5093052A, US5270625A, US5317221A에 제시되어 있다. US5370011A, US5472065A , US5613403A, US5836205A, US6223648B1, US6553855B2, US6616031B2, US6922991B2, US6941783B2, US4319168A, US7077621B2, US7100870B2, US7401548B2, US756 0888B2, US7578212B2, US7726124B2, US8266976B2, US8322242B2, US8522636B2, US8870967B2, US10236762B2 및 US10024405B2에 제시되어 있고, 이들 각각은 참조로 여기에 포함된다.

[0559] 모터

[0560] SCOFAST 기계에서 모터는 원동력을 제공하는 모든 유형의 장치이다. SCOFAST 기계 내의 모터는 모든 크기와 유형이 될 수 있다.

[0561] 기계 제어

[0562] SCOFAST 기계 내에서, 임의의 작업대 또는 도구는 작업 공간 내에서 임의로 배치되고 이동할 수 있다. 그러한 기계적 움직임은 바람직하게는 모션에서 원하는 자유도를 제공하도록 배열된 모션 컨트롤러로부터 구동 모터로 전송된 구동 제어 신호를 통해 달성된다.

[0563] 제어 신호는 디지털 컴퓨터/컨트롤러 CAD/CAM 시스템 내에서 발생할 수 있다. 대안으로 제어 신호는 위치와 도구 경로를 지정하기 위한 아날로그 시스템 내에서 발생할 수 있다. 대안으로 제어 신호는 SCOFAST 기계 사용자가 수동으로 생성할 수 있다. 또는 제어 신호가 다른 기계 내에서 발생할 수도 있다. 일부 실시예에서 제어 신호는 인공 지능 프로그램을 호스팅하는 컴퓨터 내에서 발생할 수 있다. 이러한 시스템의 일 실시예에서, 형성될 물품의 디자인은 초기에 컴퓨터에서 생성되며, 상용 소프트웨어가 이를 활용하여 삼차원 모양을 데이터로 변형한 후, 컴퓨터 지원 기계(CAM) 컨트롤러를 통해 움직임 컨트롤러나 드라이브 컨트롤러를 거쳐 상기 드라이브 모터들로 드라이브 신호로 전달된다. 이러한 제어 신호의 생성 및/또는 실행은 *기계 제어*이며, 기계 제어 기능을 수행하는 컴퓨터 또는 기타 장치는 *기계 컨트롤러*이다

[0564] 기계 제어는 수동 또는 자동화될 수 있으며, 기계는 아날로그, 디지털 또는 하이브리드 메커니즘을 통해 제어될 수 있다. 자동화된 기계 제어는 대부분 수치 제어(NC) 또는 컴퓨터 수치 제어(CNC)로, 일련의 코드화된 메시지가 기계 요소의 위치와 동작을 제어한다.

[0565] 기계 시스템의 작동을 위한 수치 제어 코드는 사람이 수동으로 생성할 수도 있고, 기계 요소의 물리적 위치를 추적하여 자동 생성, 소프트웨어 프로그램를 실행하는 컴퓨터에 의해 자동 생성, CAD 파일로부터 자동 생성, 완성된 부품의 이미지 또는 모델로부터 리버스 엔지니어링을 통한 자동 생성, AI 시스템 또는 기계 학습 시스템을 통한 자동 생성, 기타 방법을 통한 완전 또는 부분 자동화 생성 또는 최적화 모든 방법의 조합과 같은 다른 수단으로 생성할 수도 있다. 여기에서 수치 제어, CNC 제어, G-코드, 기계 프로그래밍, 기계 제어 또는 작업물, 도구 또는 기계 구성요소의 프로그래밍되거나 자동화된 이동에 대한 모든 참조는 모든 방법에 의한 기계 제어의 예시로 이해되어야 한다.

[0566] 원하는 제조 결과를 생성하는 특정 단계들의 시퀀스는 전문가가 작성한 확립된 규칙에 따라 인간에 의해 또는 결정론적 소프트웨어 공정에 의해 결정되고 최적화될 수 있다. 그러나 이러한 시퀀스는 인공 지능 및 기계 학습 기술을 통해 또는 발표된 기타 통계적 또는 수학적 공정을 통해 최적화되거나 새로 생성될 수도 있다. 예들은 퍼지 논리, 단일 및 다중 회귀 기술, 기계 분류기, 지도 학습, 비지도 학습, 강화 학습, 선형 회귀, 로지스틱 회귀, 의사결정 트리, SVM, Naive Bayes, KNN, K-평균, 랜덤 포레스트, 차원 축소 알고리즘, 그라디언트 부스팅 알고리즘, gbm, xgboost, lightgbm, catboost, 회귀 알고리즘, 인스턴스 기반 알고리즘, 정규화 알고리즘, 의사 결정 트리 알고리즘, 베이지안 알고리즘, 클러스터링 알고리즘, 연관 규칙 학습 알고리즘, 인공 신경망 알고리즘, 딥 러닝 알고리즘, 차원 축소 알고리즘, 앙상블 알고리즘, 및 미래에 발견되거나 발명될 수 있는 다른 기술과 함께 통상의 기술자에게 알려질 기타 기계 학습 알고리즘을 포함한다.

[0567] 기계 컨트롤러는 자체 제어 유닛에 저장된 데이터, 자체 생성된 데이터, 또는 엔지니어링 설계 및 제품 설계, 제도(drafting), CAD(컴퓨터 지원 설계) 및 CAM(컴퓨터 지원 제조) 기능을 수행하도록 구성된 다른 컨트롤러로부터 수신된 데이터를 기반으로 기계를 작동하도록 구성될 수 있다.

[0568] 기계 제어에 유용한 일부 예시적인 시스템 및 방법은 미국 특허 US4884373A, US4963805A, US5363308A,

US6400998B1, US6493607B1, US6606528B1, US7392109B2, US7847506B2, US7983786B2, US8011864B2, US8024068B2, US8244386B2, US9011052B2, US9421657B2, US9459616B2, US9465380B2 , US9869990B1, US9880542B1, US9939800B2, US10007254B2, US10228681B2, US10289096B2, US10324445B2, US10401823B2, US10558193B2, US10684605B2, US1073 2611B2, US10928802B2, US20090228138A1 및 US20210018887A1에 제시되어 있고, 이들 각각은 참조로 여기에 포함된다.

[0569] 적응 제어는 작업 성능의 변화에 대응하여 가공 조건을 자동으로 모니터링하고 조정하는 것이다. 적응 제어의 한 가지 예는 기계 도구의 스핀들과 서보 모터에 대한 토크를 모니터링하는 것이다. 기계 도구의 제어 장치는 가공 작업에 허용되는 토크의 최소 및 최대 값을 정의하는 데이터로 프로그래밍된다. 예를 들어, 무뎐(둔한) 도구로 인해 최대 토크를 초과하게 되면 제어 장치로 신호가 전송되어 피드 속도를 줄이거나 스핀들 속도를 변경하거나 도구를 교체하거나 작업을 중단하거나 다른 방법으로 상황을 수정한다.

[0570] *G-코드*

[0571] G-코드(RS-274로도 알려져 있음)는 가장 널리 사용되는 컴퓨터 수치 제어(CNC) 프로그래밍 언어이다. 이것은 자동화된 도구 기계를 제어하기 위해 주로 컴퓨터 지원 제조에 사용되며 다양한 변형이 있다. G 코드 명령(G-code instruction)은 모터나 액추에이터에 이동할 위치, 이동 속도, 따라야 할 경로를 알려주는 기계 컨트롤러(산업용 컴퓨터)에 제공된다. 일반적인 시나리오 중 하나는 선반이나 밀과 같은 가공 센터 내에서 작업물이 콜릿이나 바이스와 같은 고정 또는 회전 홀더에 고정되고 일련의 정적 또는 회전 절삭 도구가 작업물에서 재료를 절단하는 도구인 일련의 도구 경로를 통한 G 코드 명령에 따라 이동하는 것이다. 또 다른 일반적인 시나리오에서 G 코드 명령은 작업물 포지셔닝을 추가로 제어한다: 작업물은 도구 경로를 기준으로 3개의 표준 치수를 중심으로 최대 9개의 표준 축 중 하나에 추가로 정밀하게 배치된다(G 코드 명령에 따라). 원하는 대로 추가 축을 정의할 수 있으며 가공 공정 중에 작업물이나 도구가 서로 상대적으로 이동할 수 있다. 동일한 개념이 성형 또는 버니싱 도구, 포토플로팅, 3D 프린팅과 같은 추가 방법, 측정 장비 등 비절삭 도구에도 적용된다. 동일한 목적으로 G 코드 이외의 다양한 기계 프로그래밍 언어 및 제어 코드를 사용할 수 있다. 캠 및 감지 정지 장치와 같은 요소를 사용하는 기계 시스템을 동일하게 사용하여 동일한 기계 제어를 달성할 수 있다.

[0572] *열 보상*

[0573] SCOFAST 기계 내에서는 반경 방향 런아웃을 제어하고 축 방향으로 스핀들 성장을 제어하기 위해 열팽창을 보상하는 것이 유리할 수 있다. 스핀들 성장은 온도와 시간을 사용하여 알고리즘적으로 추정할 수도 있고, 감지된 변화에 따라 실시간으로 위치를 조정할 수 있는 간격 감지 방법을 통해 직접 측정할 수도 있다. 열 변위를 변경하기 위한 일부 예시적인 기술은 미국 특허 US6651019B2, US7245983B2, US8255075B2 및 US10185304B2에 제시되어 있으며, 이들 각각은 여기에 참조로 포함된다.

[0574] *데이터*

[0575] 데이터 수집 및 집계는 SCOFAST 기계 내에서도 유리할 수 있다. 센서 데이터는 작업물, 작업 홀더, 도구, 도구 홀더, 액추에이터, 스핀들, 스위치, 토크 소스 및 기계의 기타 작동 요소에서 직접 생성될 수 있다. 센서 데이터는 SCOFAST 기계의 일부를 구성하거나 기계 외부에 있을 수 있는 전용 감지, 이미징, 감지 및 측정 장치를 사용하여 관찰함으로써 추가로 수집될 수 있다. 해당 센서가 현재 알려져 있는지, 미래에 개발되거나 발견되는지에 관계없이 모든 유형의 센서로부터 데이터가 수집될 수 있다.

[0576] 데이터는 공정별, 기계 구성요소별, 기계별, 기계 전반에 걸쳐, 그리고 데이터 요소의 임의의 조합에 적용되는 기준의 임의의 조합에 기초하여 집계될 수 있다. 데이터는 SCOFAST 기계의 일부를 구성하는 컴퓨터 내에 저장되고 활용될 수 있으며, SCOFAST 기계와 인터페이스하는 외부 컴퓨터 시스템과 통신될 수도 있다. 데이터는 제조 주기를 즉각적으로 조정할 수 있는 폐쇄 루프 "스마트" 공정와 실시간 분석 및 회고적 분석에 유리하게 사용된다. 예를 들어, 도구 진동 및 토크 데이터를 캡처하는 센서는 항공우주 산업에서 일반적으로 사용되는 알루미늄 및 탄소 섬유 강화 플라스틱(CFRP)의 적층 레이어와 같은 다양한 재료의 여러 레이어를 통해 도구 드릴을 사용하여 드릴링 매개변수를 조정하는 데 사용될 수 있다. 또 다른 예로, 진동과 토크를 지속적으로 모니터링하면 도구 손상을 즉시 감지하고 도구 마모를 정량화할 수 있으며, 이는 정밀한 공차가 필요한 고가치 부품을 제조할 때 확실한 장점이 된다. 또 다른 예로, 보링 중 구멍 직경을 지속적으로 모니터링하면 보정을 통해 미크론 수준의 공차를 달성할 수 있다. 도구, 스핀들, 작업물, 센서 데이터 수집 및 연결을 위한 기술과 메커니즘은 이러한 데이터 수집 및 집계를 촉진하는 데 유리한다.

[0577] *조립*

[0578] 부품 조립은 하나 이상의 개별 부품이 제조되는 동일한 공간적으로 일관된 기계에서 수행될 수 있다. SCOFAST 기계의 조립 예는 해당 육각 너트가 있는 특수 볼트의 제조이다. 육각 너트는 성형, 가공, 변형(처리) 작업을 조합하여 제조되며 절단 순간에 고정 도구로 고정된다. 그런 다음 기계는 성형, 가공 및 변형 작업을 조합하여 해당 볼트를 제조한다. 볼트를 풀기 전 미리 제작한 너트를 볼트에 끼우고 볼트를 잘라서 회수할 때 두 개가 함께 고정되도록 한다. 측정 및 테스트 작업은 볼트 절단 전 및/또는 후에 수행될 수도 있으며 이는 부품 품질에 명백한 영향을 미친다.

[0579] **힘 핸들링 전략**

[0580] 공간적 위치, 방향, 회전, 도구 고정 및 도구의 활성 도구 용량 외에도 작업 홀더와 도구 홀더의 각 조합으로 어떤 작업을 수행할 수 있는지 결정할 때 도구의 힘 생성 및 힘 수용 용량을 고려해야 한다. 벌크 단조와 같은 고하중 작업은 밀링 및 가열과 같은 저하중 작업보다 더 많은 힘 핸들링이 필요하다. 누르는 힘은 힘 생성기에 의해 생성되고 작업물 및/또는 도구를 통해 힘 수용기로 전달된다. 힘 생성기와 힘 수용기는 또한 해당 방향에서 작업이 수행되지 않을 때 해당 방향의 순 힘이 0이 되는 방식으로 기계 베드, 프레임 또는 기타 통합 요소("프레임")에 힘을 가한다.

[0581] 성형 작업, 절삭 작업 및 기타 작업에 필요한 힘은 작업 홀더, 작업물 포지셔너, 도구 홀더, 도구 포지셔너, 프레임, 베드 및/또는 SCOFAST 기계의 다른 요소들의 액션을 통해 생성, 전달, 대응, 완화 또는 흡수될 수 있다.

[0582] SCOFAST 기계에 대한 많은 응용은 큰 힘을 수반하지 않다. 예를 들어, 식품 요소, 생체 세포 구조, 플라스틱 및 낮은 항복 강도를 갖는 기타 재료는 SCOFAST 기계 요소의 강도와 강성에 거의 관심을 두지 않고 쉽게 형성되고 가공된다. 그러나 항복 강도가 높은 금속 및 기타 재료와 관련된 성형 작업에서는 일반적으로 추가 또는 가공 요소가 설계되는 것보다 훨씬 더 큰 힘을 적용하고 전달해야 할 수 있다. 추가 및/또는 절삭 작업 센터를 포함하는 기존 기계 설계가 SCOFAST 작업을 처리하기 위해 재설계되거나 개조되는 실시예에서, 기계의 힘 생성 요소와 힘 전달 및 수신 요소 모두를 강화하는 것이 필요할 수 있다.

[0583] 힘 생성 전략

[0584] *공압 또는 유압 드라이브의 변형*

[0585] 공압 또는 유압 장비를 SCOFAST 기계로 전환할 때 작업에 필요한 힘과 속도를 전달하려면 더 높은 압력과 유속이 필요할 수 있다. 펌프를 추가하고, 펌프를 더 높은 용량의 펌프로 교체하고, 플로우 채널과 피팅의 크기를 늘리고, 밸브 용량을 늘리면 유속이 증가할 수 있다. 실린더 크기를 늘리고, 실린더를 추가하고, 압력 제어 밸브를 변경하고, 펌프 압력을 높이고, 펌프를 더 높은 압력의 펌프로 교체하면 압력을 높일 수 있다. 가압 저장소 시스템을 가변 플로우 서보 펌프 구동 시스템으로 변형하면 제어가 향상되어 단조 시 높은 압력과 높은 플로우를 허용하고 다른 시간에는 더 낮은 압력과 플로우를 허용할 수 있다.

[0586] 어떤 경우에는 원래 시스템의 지오메트리로 인해 실린더 크기를 늘리거나 추가 실린더를 간단한 방식으로 추가하는 것이 허용되지 않을 수 있다. 원하는 시스템 요소에 추가적인 힘을 전달하기 위해 다양한 기계적 연결 및 기타 전략을 사용할 수 있다. 예를 들어, 기존 실린더에 추가 후면 씰과 커넥팅 로드를 추가하여 지오메트리적으로 일직선인 실린더에서 추가 힘을 전달할 수 있다.

[0587] 전통적인 유압 압력은 유압력을 제공하기 위해 가압 유체 어큐뮬레이터와 서보 제어 밸브를 사용한다. 어큐뮬레이터 없이 제어 모드에서 서보 모터 펌프를 사용하면 에너지 효율성, 스트로크 시간 및 유압 압력의 성형 기능이 크게 향상될 수 있다. 기계식 서보 드라이브도 사용할 수 있다. 기계식 서보 드라이브의 장점에는 정확성, 반복성, 프로그래밍된 스트로크 속도 및 길이의 가변성, 운영 비용 절감 등이 있다.

[0588] 유압 실린더의 톤수는 힘이 균형을 이루고 따라서 실린더가 최대 압력을 발휘하는 정지 상태에 있을 때 가해지는 정적 힘이다. 힘은 실린더 유압(단위 면적당 힘)에 실린더 단면적을 곱한 것과 같다.

[0589] *스크류 드라이브의 컨버전*

[0590] 기존 나사형 드라이브의 정격 용량은 사용된 재료를 변경하고, 드라이브 프레임 마운트를 개선하고, 볼 크기와 예압을 변경하거나, 볼 드라이브에서 나선형 블록 드라이브로 전환함으로써 종종 증가될 수 있다. 더 큰 용량의 모터를 사용할 수 있으며 모터는 토크 정격과 관련하여 최적화될 수 있다. 추가 드라이브를 직렬 및 병렬로 추가할 수 있다.

[0591] 힘 수용 전략

[0592] 단조 또는 기타 힘 형성 작업을 수행할 때 작업물에 전달될 수 있는 힘의 양을 늘리기 위해 스핀들 베어링 및 기타 기계 구성 요소가 필요한 힘을 수신하고 전달하는 능력을 높이기 위해 다양한 전략을 사용할 수 있다. 이러한 전략은 성형 작업에서도 하중을 견딜 수 없는 경량 기계에서 단조 및 기타 성형 용량을 개조할 때(when forging and other forming capability is retrofitted into lightweight machines) 필요할 수 있다. 이러한 접근 방식은 비용 효율적인 방식으로 기계의 성형 용량을 늘리기 위해 새로운 시스템 설계에도 사용될 수 있다. 그러한 기술의 몇 가지 예가 여기에 제시되어 있다. 개시된 시스템 및 방법은 현재 존재할 수 있는 임의의 기술뿐만 아니라 미래에 개발될 수 있는 임의의 기술을 통합할 수 있다는 것이 통상의 기술자에게 명백할 것이다.

[0593] 많은 시나리오에서 콜릿이나 스핀들에 고정된 기타 작업 홀더와 같은 작업 고정 장치에 고정된 작업물에 성형력을 전달하는 것이 유리한다. 작업물에 성형력이 가해지면 스핀들 베어링은 축방향 힘, 반경방향 힘 또는 반경방향 힘과 축방향 힘의 조합을 받을 수 있다. 스핀들 베어링이 받는 힘에 맞게 설계되지 않은 경우 조기 베어링 고장이 발생할 수 있다. 스핀들 베어링으로 전달되는 힘은 중간에 있는 모든 기계 요소(예: 스핀들 베어링 마운트)를 통해 프레임으로 다시 전달된다.

[0594] *베어링 지지대*

[0595] 터닝 및 가공 시스템에서 스핀들은 일반적으로 모든 방향에서 매우 정확한 포지셔닝 및 지지를 제공하도록 고안된 베어링에 의해 지지된다. 단조 및 가압력이 SCOFAST 기계의 스핀들에 고정된 작업물에 작용할 때 이러한 힘은 어느 방향으로든 작업물에 적용될 수 있다. 스핀들 축과 일치하지 않는 축을 따라 작업물에 힘이 가해지는 경우 힘은 스핀들 축을 따라 투영되는 벡터 구성요소("축 힘") 및 스핀들 축을 가로지르는 축을 따라 투영되는 벡터 구성요소("반경 방향 힘")와 관련하여 고려될 수 있다. SCOFAST 기계에서 성형 작업을 수행할 때 축 방향 힘과 반경 방향 힘 모두에 저항하는 스핀들의 능력은 중요하다. 많은 가공 센터 설계에서는 반경 방향 힘에 대한 저항력은 높지만 양쪽 축 방향의 축 힘을 지원하는 능력은 떨어지는 스핀들 베어링을 사용한다. SCOFAST 기계 내에서 수행되는 단조, 가압 및 기타 성형 작업은 힘을 받을 특정 스핀들 축의 힘 핸들링 용량에 맞게 보정되어야 한다. 힘 핸들링 용량은 베어링을 더 강한 베어링 설계 또는 더 강한 재료로 교체하고, 베어링 크기 또는 유형을 변경하고, 동일한 유형 또는 보완 유형의 추가 베어링을 추가(예: 앵귤러 콘택트, 레이디얼 또는 롤러 베어링 추가와 함께 스러스트 베어링 추가)하는 등 다양한 전략을 통해 강화될 수 있다. 고부하 조건에서는 베어링 수명이 단축될 수 있으므로 SCOFAST 기계 설계에는 베어링 조정 및 교체를 용이하게 하는 요소가 포함될 수 있다.

[0596] 스핀들을 통하거나 스핀들 베어링을 통해 전달되는 하중은 터닝 센터의 안정된 받베드(steady rest)나 종동부(follower)에 의해 제공되는 것과 유사한 외부 지지를 추가하고(예: 임시 비원주 베어링을 작업물 또는 일부 기계 구성요소에 접촉하게 함), 단조 시 반격 해머에 의해 제공되는 것과 유사한 활성 반력을 추가하고, 관련 기술의 숙련자에게 명백한 기타 전략을 통해 감소될 수 있다.

[0597] 축 지지 콜릿은 헤드스톡의 후면에 추가될 수 있으며, 헤드스톡 또는 프레임 요소에 고정되고 축 하중 작업 중에 바스톡을 고정하도록 구성되어 스핀들 베어링이 처리하는 힘의 양을 줄일 수 있다. 바 스톡 공급 장치 자체는 바 스톡에 축 방향(예: 전방) 압력을 주기적으로 제공하여 성형력에 반대되는 스핀들 베어링에 예압을 가하도록 구성될 수 있다.

[0598] *베어링*

[0599] 베어링은 상대 운동을 원하는 운동에만 변형하고 움직이는 부품 사이의 마찰을 줄이는 기계 요소이다. 가공 응용 분야에서 베어링은 기계 도구의 속도, 회전, 진동, 정밀도 및 온도에 영향을 미치며 결과적으로 최종 제품의 품질을 변경한다. 베어링 정밀도에 대해 인정된 표준에는 AFBM Std 20-1977(ABEC) 및 DIN 620(P)이 포함된다. 이 표준은 ABEC1-3 및 PN과 같은 많은 일반적인 응용 분야에 대한 일반 베어링 정밀도 수준을 정의한다. 높은 작동 정확도, 고속 및 조용한 작동을 위한 향상된 정밀 등급 표준은 ABEC5/P5이다. 작동 정확도, 속도 및 소음에 대한 점차로 높은 요구 사항이 ABEC7/P4 및 ABEC9/P2이다.

[0600] 스핀들 베어링은 일반적으로 원하는 방향으로 스핀들의 움직임을 합리화하는 볼 또는 기타 롤링 요소가 있는 링 또는 일련의 링으로 구성된다. 장비와 원하는 동작에 따라 베어링은 축 방향 힘과 반경 방향 힘을 모두 전달하고 분산시키면서 스핀들의 움직임을 제어하고 촉진하도록 설계될 수 있다. 기계 도구 스핀들의 부하 압력, 온도, 고속은 물론 성형 작업과 관련된 상승된 부하도 견딜 수 있어야 한다. 일부 일반적인 베어링 유형이 도 23에 도시되어 있다. 베어링 재질, 크기, 유형, 개수 및 구성을 변경하면 반경방향 및 축방향 하중 핸들링 용량이 증가될 수 있다.

[0601] 베어링과 관련된 일부 예시적인 시스템 및 방법은 미국 특허 US3026156A, US3353875A, US3389625A, US4815903A 및 US10335860B2에 제시되어 있으며, 이들 각각은 여기에 참고로 포함되어 있다. 추가 예는 미국 이외의 특허 문서 CN104526546A, CN109909746A, CN203926434U, JP2005088132A 및 WO2013110337A1에 제시되어 있으며, 이들 각각은 참조로 여기에 포함된다.

[0602] *앵귤러 콘택트 베어링*

[0603] 앵귤러 콘택트 볼 베어링은 가장 일반적인 스핀들 베어링이다. 이 베어링은 롤링 베어링이며 동심 홈 링 사이에 하나 이상의 롤링 볼 열로 구성된다. 이는 한 방향의 반경방향 하중과 축방향 하중 모두에 유용하며 축방향 하중 전달 용량은 하중이 베어링과 접촉하는 각도에 따라 결정된다. 각도가 클수록 축방향 하중 용량이 높아진다.

[0604] *레이디얼 또는 깊은 홈 베어링*

[0605] 산업 기계에서 널리 사용되는 레이디얼 베어링은 주로 레이디얼 축의 하중 베어링에 사용되는 롤링 베어링(rolling bearings)이다. 앵귤러 콘택트 베어링과 마찬가지로 이 베어링은 롤링 볼이 사이에 있는 내부 링과 외부 링으로 구성된다. 그러나 레이디얼 베어링은 양쪽 축 방향으로 하중을 전달할 수 있으므로 앵귤러 콘택트 베어링보다 다용도로 사용할 수 있다.

[0606] *롤러 베어링*

[0607] 롤러 베어링은 볼 대신 롤링 실린더를 사용하여 운동을 향상시킨다. 이는 주로 반경방향 하중과 한 방향으로 축에 평행한 축방향 하중을 지지하는 데 사용된다. 마찰을 줄이고 장비 속도를 향상시키기 위해 중속 및 고속 응용 분야에 유용한다.

[0608] *스러스트 베어링*

[0609] 스러스트 베어링은 주로 회전 장치의 축방향 하중을 지지하는 롤링 요소를 가지고 있다. 스러스트 구성에서는 다양한 스타일의 베어링을 사용할 수 있다. 레이디얼 하중 베어링은 반대쪽 내부 및 외부 베어링 링에 볼 또는 롤러 레이스가 있는 반면, 대부분의 스러스트 베어링은 짝을 이루는 링의 면에 궤도가 가공되어 있다. 무겁고 고정밀 스러스트 하중을 지원하도록 특별히 설계된 스러스트 볼 베어링은 구동 샤프트에 평행한 매우 정밀한 축 지지를 제공하지만 대부분의 스러스트 베어링은 방사형 또는 모멘트 하중에 대한 지원을 거의 제공하지 않다. 롤링 요소는 용도에 따라 볼, 롤러 또는 니들(needle)이 될 수 있다.

[0610] 테이퍼 롤러 스러스트 베어링 - 베어링 축과 궤도와 테이퍼 롤러 사이의 접촉선 사이에 생성된 각도에 따라 이 베어링이 수용할 수 있는 스러스트 정도가 결정된다. 이 각도가 45° 보다 크면 베어링이 축 하중에 더 적합하다. 베어링 축과 롤러 축 사이의 각도가 90° 에 도달하면 베어링은 축 방향 하중만 지탱할 수 있다. 이러한 베어링에는 롤러 어셈블리를 유지하기 위해 케이지가 필요하며 경우에 따라 플랜지가 필요하다.

[0611] 중-듀티 테이퍼 롤러 스러스트 베어링(Heavy-duty tapered roller thrust bearings)은 또한 두 번째 줄의 반대쪽 테이퍼 롤러로 제조된다. 이러한 유형의 "스크류 다운" 베어링은 궤도의 모양을 변경하여 경미하거나 중간 정도의 각도 오정렬을 방지한다.

[0612] 원통형 롤러 스러스트 베어링 - 이 유형의 베어링은 수직, 방사형 방식으로 베어링 축 주위의 원통형 롤러를 부채꼴로 만든다. 이러한 롤러는 롤러와 가정용 세탁기 전동면의 외벽 사이의 응력을 줄이기 위해 크라운을 씌우거나 엔드 릴리프 처리해야 한다. 배치하는 데 축 방향 공간이 많이 필요하지 않으며 이중 열 변형도 제공된다. 상당한 축방향 하중에는 적합하지만 방사형 하중에는 권장되지 않다.

[0613] 구형 롤러 스러스트 베어링 - 롤링 요소는 배럴 모양이며 궤도는 표준 테이퍼 롤러 베어링에서 볼 수 있는 원뿔 및 컵 디자인과 매우 유사하다. 이는 베어링에 샤프트 편향이나 충격 하중이 발생할 수 있는 응용 분야에 유용한 자동 정렬 기능을 제공한다. 한 방향으로 무거운 축 추력을 지원하고(양방향에 대한 변형이 존재함) 적당한 방사형 하중도 견딜 수 있다. 테이퍼 롤러 스러스트 베어링과 마찬가지로 롤러 축과 베어링 축 사이의 각도에 따라 축/경사 방향 하중의 비율이 결정된다.

[0614] 스러스트 볼 베어링 - 스러스트 볼 베어링은 반경 방향 하중을 전달할 수 없다. 이 유형은 정렬 불량에 취약하며 제조업체는 이러한 가능성을 줄이기 위해 하우징 와셔에 모양의 홈을 포함하는 경우가 많다. 고속 애플리케이션에는 탁월하지만 부하가 높으면 성능이 저하된다.

[0615] 니들 롤러 스러스트 베어링 - 니들 롤러 스러스트 베어링은 최소 높이와 많은 수의 롤링 요소로 인해 가치가 있다. 따라서 샤프트나 하우징 와셔 없이 구현되는 경우도 있다. 적절한 경우 롤링 요소는 회전 구성 요소와 직접

접촉한다. 이는 매우 높은 축방향 하중과 충격 하중을 수용할 수 있지만 방사형 하중은 전혀 수용할 수 없다.

[0616] 유체역학적 스러스트 베어링(Hydrodynamic Thrust Bearing) - 고압 하의 견고한 윤활제 또는 에어 쿠션은 베어링 지오메트리 및 윤활제 점도로 인해 축방향 하중을 지원한다. 회전하는 동안 유체는 베어링 패드로 흡입되어 마찰이 최소화된 유체 버퍼를 생성한다. 하중은 패드의 지오메트리에 의해 생성된 유체 웨지에서 지지된다. 윤활제 압력과 분산을 각각 유지하려면 씰과 특수 유형의 케이지가 필요하다. 유체 역학 베어링은 베어링 전체에 고르지 않은 스러스트 하중을 허용하는 틸팅 패드로 제조되지만 이러한 정렬 불량에도 불구하고 유체 밀봉을 유지한다.

[0617] 정압 스러스트 베어링(Hydrostatic Thrust Bearing) - 양압을 유지하기 위해 윤활제 또는 에어 쿠션이 베어링 조립체를 통해 펌핑된다. 이는 유체 역학 베어링이 겪는 관성 및 토크 문제 중 일부를 극복하지만, 이 조립에는 베어링의 에너지 효율성을 고려하여 지속적으로 작동하는 펌프가 필요하다. 에어쿠션을 활용한 정유압 베어링은 공차가 0.2㎛ 정도로 낮아 정밀 가공에 적합한 선택이다.

[0618] 자기 스러스트 베어링 - 자기 스러스트 베어링은 자기 부상으로 하중을 지지한다. 영구자석은 경부하에 적합하지만 중하중 및 고부하에는 전자석이 필요하다. 자석에는 각각 정적 하중과 동적 하중을 지원하기 위해 영구 자석과 전자석이 모두 장착될 수 있다. 자기 베어링은 윤활이 필요하지 않고 유지 관리가 거의 필요 없는 극히 낮은 마찰 장치이다. 이 유형의 베어링은 잘못 정렬된 하중을 지원하지 않다.

[0619] *특수 베어링*

[0620] 볼 스크류 지지 베어링은 정밀 볼 스크류와 함께 사용하기 위해 최대 축 강성과 향상된 공급 정확도를 제공하도록 설계되었다. 이는 표준 앵귤러 콘택트 베어링의 조합이나 볼 스크류 용도의 레이디얼 및 스러스트 베어링 배열보다 우수한 고정밀 앵귤러 콘택트 스러스트 베어링이다.

[0621] 아치형 클램쉘 베어링: 본 명세서에 참조로 포함된 미국 특허 US9863467B2는 필요에 따라 베어링 지지를 추가하기 위해 적용되거나 제거될 수 있는 베어링 설계 클래스의 예시적인 베어링 설계("아치형 클램쉘 베어링")를 설명한다. 다른 예는 미국 특허 US8523442B2, US8998489B2 및 US9771929B2에 제시되어 있으며, 이들 각각은 참고로 포함된다.

[0622] 양방향 베어링은 분리 가능한 설계로 양방향 축 하중을 수용할 수 있다. 양방향 베어링은 높은 축방향 힘을 처리할 수 있고 강성이 높다.

[0623] 정밀 테이퍼 롤러 베어링은 설치 중 축방향 예압 조정을 허용하고 높은 강성을 제공하며 높은 스핀들 부하를 지원한다. 순수한 롤링 베어링 설계는 베어링 작동 시 토크와 열을 줄이는 데 도움이 된다.

[0624] 선회 링과 턴테이블 베어링은 축방향, 반경방향 및 모멘트 하중을 수용할 수 있다. 하우징이나 샤프트에 장착되지 않고 대신 장착 구멍을 통해 좌석 표면에 직접 장착된다.

[0625] 스와시플레이트 피벗 베어링, 로킹 베어링 및 관련 요소의 예는 미국 특허 US5390584A, US6676294B2, US7793582B2 및 US9046084B2에 설명되어 있으며, 이들 각각은 여기에 참조로 포함된다.

[0626] *반대 충격(Counterimpact)*

[0627] 단조 또는 기타 성형 작업이 충격을 통해 작업물에 힘을 전달할 때, 예를 들어 작업물이 제조되는 붙어 있는 채로 남아 있는 바스톡에 전달되는 반대 충격을 통해 오프셋 힘이 작업물의 반대쪽으로 전달될 수 있다. 이러한 상쇄 충격은 공급원료의 뒤쪽 끝으로 직접 전달될 수도 있고, 바, 작업 홀더 또는 작업물 자체에 적용된 클램프를 통해 전달될 수도 있다. 단조 타격과 동시에 반대 힘을 전달하면 콜릿 스핀들에 적용되어 스핀들 베어링을 통해 전달되는 힘의 양을 줄이는 역할을 할 수 있다. 스핀들 베어링을 통해 프레임과 기초에 전달되었을 과도한 에너지와 힘이 방향이 바뀌어 대신 반동의 형태로 작업을 수행한다.

[0628] 기타

[0629] 성공적인 단조는 작업물에 가해지는 힘과 그 힘이 전달되는 속도에 따라 달라진다. 작업물과의 충돌로 인해 상당한 질량이 급격하게 감속되면 추가 에너지가 전달될 수 있다. 상대적으로 압력 능력이 낮은 SCOFAST 기계에서의 가공과 연계하여 유용한 단조를 성공적으로 수행할 수 있다. 예를 들어, 공칭 선형 힘이 2000lbs에 불과한 유압 가압과 충격의 조합은 1제곱인치 미만의 면적을 갖는 5등급 티타늄 볼트 헤드를 열간 단조하는 데 충분할 수 있다.

[0630] 선형 액츄에이터 및 서보 모터와 같은 액츄에이터는 매우 빠르고 정밀하게 제어될 수 있으며, 광학 센서는 매우 정밀하게 위치와 동작을 감지할 수 있다. 신속하고 정밀한 액츄에이터가 다른 기계 요소의 동작을 추적하고 따르도록 구성된 구성을 통해 여러 힘 소스를 동일하거나 다른 축에서 가감적으로 결합할 수 있다. 예를 들어, 중력 타격 직후 해머를 후퇴시켜 접착을 방지할 수도 있고, 충격력 직후 추가적인 누르는 힘을 가할 수도 있다. 반대 방향의 충격이 동시에 전달될 수 있다.

[0631] 소형 나선형 드라이브를 사용하는 소형 서보 모터는 매우 큰 선형 힘을 전달할 수 있어 비공간적으로 일관된 작업의 동일한 시퀀스에 필요한 모든 개별 기계의 전체 크기보다 훨씬 작은 SCOFAST 기계 내에서 많은 작업을 수행할 수 있다.

[0632] **편향 및 진동 핸들링 전략**

[0633] 기계 내에서 힘이 생성되고 적용될 때 원치 않는 편향이 발생할 수 있다. 편향이 주기적이면 진동이 발생할 수 있다. 정적 및 동적 강성(단위 편향당 힘) 및 감쇠(단위 없는 비율)는 기계 내에서 높은 힘 작업이 수행될 때 달성할 수 있는 공차를 변형할 수 있다. 동적 강성과 감쇠는 지오메트리와 진동 모드에 따라 달라진다. 효과적인 강성 및/또는 감쇠를 높이기 위한 전략에는 지오메트리를 최대한 활용하기 위한 작업 설계, 준수 베어링에서 강성 유체정역학적 베어링으로 변경, 정적 버팀대 또는 동적 감쇠를 추가하도록 기계 변경, 특정 작업에 대한 주요 진동 주파수을 맞추도록 도구, 속도 및 피드 선택이 포함될 수 있다. 채터링을 줄이기 위한 알고리즘 솔루션은 전적으로 소프트웨어로 구현될 수 있다.

[0634] *압력 프레임*

[0635] 압력 힘은 궁극적으로 프레임에 전달되는데, 이는 전통적인 압력에서 일반적으로 기둥형 프레임, 용접 프레임, H-프레임, C-프레임 또는 다층 강철 테이프 권선 프레임의 형태이지만 SCOFAST 기계는 어떤 형태로든 취할 수 있다.

[0636] *활성 취소*

[0637] SCOFAST 기계 내에서 하나 이상의 센서로부터 입력을 수신하는 분석 기능은 움직임과 조화 진동을 감지할 수 있으며 프로그래밍 가능한 컨트롤러에 신호를 전달하여 작업물과 도구가 조화 진동에 대응하는 방식으로 움직이게 할 수 있다. 활성 취소 도구는 진동을 완화하거나 이에 대응하기 위해 작업물이나 축을 따라 다른 도구에 적용될 수 있는 조화 진동 소스를 제공한다.

[0638] 강성, 감쇠, 편향 및 진동을 조절하는 데 유용한 일부 예시적인 시스템 및 방법은 미국 특허 US4395904A, US5459383A, US6900609B2, US6903529B2, US8322698B2, US9221143B2, US9429936B2 및 US20120010744A1에 제시되어 있고, 이들 각각은 여기에 참조로 포함된다.

[0639] 강성, 감쇠, 편향 및 진동을 관리하는 데 유용한 추가 예시 시스템 및 방법은 다음의 비특허 문서에 제시되어 있으며, 각 문서는 여기에 참조로 포함되어 있다:

[0640] Ford, D. et al. (2014) 'Active vibration control for a CNC milling machine', Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science, 228(2), pp. 230-245. doi: 10.1177/0954406213484224.

[0641] Jasiewicz, M. and Miadlicki, K. (2019) 'Implementation of an Algorithm to Prevent Chatter Vibration in a CNC System', Materials, 12(19). doi: 10.3390/ma12193193.

[0642] Muhammad, B. B. et al. (2018) 'Active Damping of Milling Vibration Using Operational Amplifier Circuit', Chinese Journal of Mechanical Engineering, 31(1), p. 90. doi: 10.1186/s10033-018-0291-9.

[0643] Pawelko, P. et al. (2021) 'A new measurement system to determine stiffness distribution in machine tool workspace', Archives of Civil and Mechanical Engineering, 21(2), p. 49. doi: 10.1007/s43452-021-00206-6.

[0644] Røsjordet, J. and Hovland, G. (2019) 'Methods for Experimentally Determining Stiffness of a Multi-Axis Machining Centre', Modeling, Identification and Control: A Norwegian Research Bulletin, 40, pp. 11-25. doi: 10.4173/mic.2019.1.2.

[0645] Tlusty, J., Ziegert, J. C. and Ridgeway, S. (1999) 'Stiffness of Structures and Drives in Fast Milling

Machines', SAE Transactions, 108, pp. 671-677.

[0646] *기계 설계 및 구성*

[0647] 특정 실시예의 설계는 많은 변수에 따라 달라진다. 성형에 관련된 기계 부품은 해당 부품이 사용될 공정의 요구 사항을 충족해야 한다. 일련의 작업을 통해 제조될 특정 부품은 각 작업을 수행하는 데 사용되는 기계에 특정한 특정 요구 사항을 부과한다. 충족되어야 하는 요구 사항에는 강성, 평행도, 평탄도, 간격, 에너지 전달의 지속 및 폭발 속도, 기계 속도, 사이클 시간, 도구 마모, 지오메트리 및 통상의 기술자에게 알려진 기타 사항이 포함될 수 있다.

[0648] 주어진 재료에 대해 특정 성형 작업(예: 열간 폐쇄 다이 단조, 온간 또는 후방 압출, 업셋 단조 또는 기타 성형 작업)은 슬라이드 변위(또는 스트로크에 성형 하중의 특정 변화를 요구하거나 이익을 얻을 수 있다. 주어진 부품 지오메트리의 경우 절대 하중 값은 주어진 재료의 플로우 응력과 마찰 조건에 따라 달라진다.

[0649] 포친은 성형 속도와 회복 스트로크에 대해 구성 가능해야 한다는 것이 유리한다.

[0650] 단위작업 분류

[0651] SCOFAST 기계 내에서 수행되는 작업은 작업이 대량-변화 작업(mass-change operations), 상-변화 작업(phase-change operations), 구조 변화 작업, 성형 작업 또는 통합 작업(consolidation operations)으로 특성화되는 단위 작업 분류와 같은 다양한 분류에 의해 설명될 수 있다는 것이 명백할 것이다. 대량 변화 공정은 3D 프린팅, 도금, 스퍼터링, 진공 증착 및 기타 추가 작업에 의한 2차 증착과 함께 가공, 연삭, 방전 가공, 전기화학적 가공 및 기타 모든 절삭 작업을 포함하여 기계적, 전기적 또는 화학적 수단으로 재료를 제거하거나 추가하는 공정이다. 상변화 공정은 금속 주조, 침투에 의한 복합재 제조, 폴리머 사출 몰딩과 같이 원래 액체 또는 증기상인 재료에서 고체 부품을 생산하는 공정이다. 구조 변화 공정은 표면 경화를 위한 열처리 또는 석출 경화와 같은 고체 상태의 상 변화를 통해 생성되는 것과 같이 작업물의 전체 또는 국부적인 영역에서 작업물의 미세 구조를 변경하는 공정이다. 성형 공정은 압연, 단조, 딥 인발 또는 다림질과 같이 질량이나 구성을 변경하지 않고 견고한 작업물의 모양을 변경하는 공정이다. 통합 공정은 입자, 필라멘트 또는 고체 섹션과 같은 재료를 결합하여 원하는 고체 부품 또는 구성 요소를 형성하는 공정이며, 용접 또는 브레이징와 함께 3D 프린팅 및 분말 소결, 세라믹 몰딩, 폴리머-매트릭스 복합 가압 등의 관련 공정을 포함한다. 임의의 단위 작업 공정은 SCOFAST 기계 내에서 유리하게 수행될 수 있다.

[0652] SCOFAST 기계 내에서 예시될 수 있는 다양한 단위 작업 공정은 다양한 그룹의 장비, 툴링 설계, 인터페이스 재료 및 작업 영역 메커니즘을 통합할 수 있다. 공정 장비는 기계, 열, 화학, 광자, 전기 및 기타 장비 그룹뿐만 아니라 그룹 조합에도 속할 수 있다. 툴링 요소에는 절단 도구, 연삭 매체, 다이, 몰드, 형태, 패턴, 전극, 레이저 및 현재 알려져 있거나 미래에 개발될 수 있는 기타 툴링 요소가 포함될 수 있다. 단위 공정의 일반적인 인터페이스 재료 배열에는 윤활제, 냉각제, 절연체, 전해질, 유압유, 시약, 액체, 가스 등과 같은 예가 포함된다. 이러한 단위 공정의 작업 영역에서 발견되는 작동 메커니즘에는 변형, 응고, 파괴, 전도, 대류, 복사, 확산, 침식, 기화, 용융, 미세 구조 변화, 상 변형, 화학 반응 등과 같은 예가 포함된다.

[0653] 모델링 & 프리젠테이션

[0654] SCOFAST 기계의 특정 공정 및 작업은 가상 현실 또는 증강 현실 환경 내에서 유리하게 설계, 모델링, 테스트 및 변경될 수 있다. 이러한 환경에서는 SCOFAST 기계의 여러 측면과 특정 목적을 위한 구성이 기계, 작업물 및 제작할 부품의 3차원 모델을 포함하는 양방향 가상 상호 작용을 통해 수행될 수 있다. 이러한 환경은 계획, 가상 시운전, 에지 조건 테스트, 구성 및 통상의 기술자가 이해할 수 있는 기타 목적을 위해 작업이 실행되기 전에 유리하게 사용될 수 있다. 이러한 환경은 작업을 수행하는 동안과 성공 여부에 관계없이 완료된 작업을 검토하는 동안에도 유리하게 사용될 수 있다. SCOFAST 모델 및 작업은 가상 현실 헤드셋, 증강 현실 헤드셋, 탱크형 또는 동굴형 디스플레이, 홀로그램 형태 또는 디스플레이에 대해 인지된 다양한 크기를 활용하는 기타 형태로 표현될 수 있다. 감각 의사소통에는 촉각, 시각, 청각, 후각, 미각, 전정, 고유감각, 진동 등을 포함한 감각 양상의 조합이 포함될 수 있다. 신호는 뇌신경이나 인체의 운동 신경이나 감각 신경을 통해 전달될 수 있다. 원격 기계 제어는 GUI 및 비 GUI 인터페이스, 터치 인터페이스, 모든 종류의 근접 센서, 자유로운 움직임을 감지하고 기계 제어로 변형하는 원격 조작기("waldo") 인터페이스 등 모든 종류의 인터페이스를 통해 실행될 수 있고, 미래에 발견되거나 발명될 인터페이스 양식과 함께 현재 존재할 수 있는 인터페이스 양식이 있다. 모델링, 프리젠테이션 및 가상 상호작용에 유용한 일부 예시적인 시스템 및 방법은 여기에 참조로 포함된 미국 특허 US20190362646A1에 제시되어 있다.

[0655] **재료, 작업물 및 도구 핸들링**

[0656] 원료

[0657] 수행할 작업에 따라, SCOFAST 기계에 사용되는 원료는 빌렛, 바, 로드, 시트, 플레이트, 와이어, 튜브, 파이프, 분말, 펠릿, 부스러기, 섬유, 파쇄된 재료, 슬러리, 페이스트, 고체, 반고체, 액체, 증기, 기체, 플라즈마, 스프레이, 현탁액, 용액 또는 기타 형태 또는 형태의 조합를 포함할 수 있다.

[0658] SCOFAST 기계에서 재료 핸들링에 유용한 일부 예시적인 시스템 및 방법은 미국 특허 US3266348A, US3703112A, US4130289A, US4324162A, US4742740A, US4914992A, US4961358A, US4976572A, US5058466A, US5088181A, US5744778A, US5911804A 및 US6185818B1에 제시되어 있고, 이들 각각은 여기에 참조로 포함된다.

[0659] 작업물 및 도구 핸들링에 유용한 일부 시스템 및 방법은 미국 특허 US3844028A, US4281447A, US4369563A, US4784421A, US5303622A, US5372568A, US5465638A, US5474514A, US6413022B1, US6430796B1, US6641511B2, US7637856B2, US7665197B2, US7980159B1, US8132835B2, US8215214B2, US8360945B2, US8397375B2, US8672820B2, US8789446B1, US8974357B2, US9021704B2, US9321109B2, US9333609B2, US9508148B2, US10076841B2, US10207381B2, US10361060B2, US10814476B2, US20060075625A1, US20100268371A1 및 US20120296469A1에 제시되어 있고, 이들 각각은 여기에 참조로 포함된다.

[0660] 작업물 및 도구 홀딩 및 조작

[0661] 작업물과 도구는 SCOFAST 기계의 작업 영역에 배치되고 하나 이상의 작업 고정 또는 도구 고정 장치에 의해 고정된다. 작업 홀딩 및 도구 고정 장치는 콜릿, 척, 클램프, 바이스, 그리퍼, 진공 홀더, 자기 홀더, 전자기 홀더, 동심 그리퍼, 접착 고정 시스템, 로봇 그리퍼, 중력 홀더, 열 홀더, 및 본 명세서에 설명되어 있거나 미래에 발명되거나 발견될 수 있는 것과 함께 통상의 기술자에게 알려질 수 있는 다른 메커니즘을 포함하여 도구나 작업물을 고정하고 후속 작업에 필요한 힘을 지지할 수 있는 기타 메커니즘을 포함한다.

[0662] 작업 홀딩 장치는 위치에 고정될 수 있거나 임의의 축을 따라 이동 및/또는 임의의 축에 대해 임의의 각도로 회전될 수 있다. 작업홀더 변형 및 회전이 발생하는 메커니즘(작업물 포지셔닝 요소)과 함께 작업홀더는 SCOFAST 기계의 구조 부재에 단단히 고정될 수 있거나 독립형이고 SCOFAST 기계에 유연하게 연결될 수 있다. 산업용 로봇은 작업대 및 작업물 포지셔닝 요소 역할을 할 수 있다. 작업물과 도구 모두 현재 알려져 있거나 미래에 개발될 수 있는 모든 수단과 메커니즘을 통해 보호되고 조작될 수 있다.

[0663] *로봇식 조작기 및 그리퍼*

[0664] 로봇은 특정 동작과 정의된 경로를 통해 구성 요소, 도구 및 재료를 이동하도록 설계된 장치이다. 로봇은 메모리(저장된 명령 세트)를 가질 수 있으며 부품 로드 및 언로드, 조립, 검사, 용접, 페인팅 및 가공과 같은 많은 작업을 자동으로 수행하는 메커니즘을 갖추고 있을 수 있다. 각 동작 축은 일반적으로 로봇에 의해 구동된다. 전기, 유압 또는 공압 이펙터와 같은 엔진. 터미널 조인트(“손목”)에는 일반적으로 특정 필수 작업을 수행하는 데 도움이 되는 장치가 추가되는 터미널 부속 요소인 “엔드 이펙터”가 장착된다. 이러한 장치에는 재료 핸들링용 그리퍼, 전동 도구, 용접기 또는 기타 도구나 장치가 포함될 수 있다. 로봇에는 조작할 물체의 근접성을 판단할 수 있는 촉각 또는 시각적 감지 장치가 장착될 수 있다.

[0665] 로봇 팔 및 그리퍼에 대한 예시적인 기술은 미국 특허 US4111027A, US4309600A, US5541485A, US62/799414, US6493607B1, US8935004B2, US9126337B2, US9132555B2, US9205563B2, US9415511B2, US9630321B2, US9636827B2, US9770829B2, US9902034B2, US9925672B2, US10005191B2 , US10131054B2, US10562182B2, US10618174B2 및 US10675763B2에 제시되어 있고, 이들 각각은 참조로 여기에 포함된다.

[0666] *플리퍼(Flippers)*

[0667] 플리퍼는 작업물을 끝에서 끝까지 회전시키도록 설계된 장치이다. 플리퍼는 일반적으로 작업 홀더에서 작업물을 제거하고, 작업물을 끝에서 끝까지 회전하고, 작업 홀더에서 작업물을 교체하는 데 사용된다.

[0668] *도구 및 도구 핸들링*

[0669] 도구는 작업물에 어떤 변화를 가져오기 위해 작업물에 영향을 미치는 모든 장치이다. 일반적으로 사용되는 도구의 예로는 성형 다이, 성형 도구, 힘 생성기, 충격 도구, 압력, 추가 도구, 절삭 도구, 변형 도구, 측정 도구, 테스트 도구, 인덱싱 도구, 활성 도구, 고정 도구 및 기타 여러 추가 예가 포함된다. 통상의 기술자에게 알려질

유사한 요소들과 아직 발명되지 않은 다른 요소들과 함께 본 명세서 내에 설명되어 있다.

[0670] 정적 도구("고정 도구")는 작업물 동작(예: 선반의 회전 또는 스크레이퍼의 진동)과 도구 포지셔닝의 조합을 통해서만 작업물에 액션을 가하는 도구이다.

[0671] 라이브 도구("활성 도구")는 작업물 동작 및 도구 포지셔닝을 통해 전달되는 에너지 이상의 추가 에너지를 전달하여 액션을 수행하는 전동 도구이다. 이러한 추가 에너지는 도구 자체의 추가 동작이나 활동을 통해 가장 자주 발생한다. 많은 라이브 도구는 회전식, 진동식, 진동식, 해머링, 가압 또는 기타 전동 도구 이동 형태와 같은 도구 이동을 통해 작업물에 에너지를 전달한다. 라이브 도구에는 자체 드라이브가 통합되어 있거나 가공 센터 내의 다양한 스핀들과 전동 서브 스핀들로 구동될 수 있다.

[0672] 임의의 수의 활성 및/또는 고정 도구는 작업물에 대해 임의로 배치될 수 있으며 임의의 축을 따라 이동될 수 있고 임의의 축에 대해 임의의 각도로 회전될 수 있으며 다른 도구의 존재 및 원하는 도구 경로에 의해서만 변형된다. 각 도구 홀더와 도구 변형 및 회전이 발생하는 메커니즘(도구 포지셔닝 요소)은 SCOFAST 기계의 구조적 부재에 견고하게 고정될 수 있거나 독립형이고 SCOFAST 기계에 유연하게 연결될 수 있다. 산업용 로봇은 도구 홀더 및 도구 포지셔닝 요소 역할을 할 수 있다.

[0673] 작업 중에 작업물과 도구는 서로에 대해 이동할 수 있으며, 각각의 이동은 하나 이상의 프로그래밍 가능한 컨트롤러의 액션에 의해 제어되고 규제된다.

[0674] *도구 변화*

[0675] SCOFAST 기계는 스핀들 콜릿, 작업 홀딩 장치, 도구 포지셔너, 도구 홀더, 도구 스핀들 및 기계의 기타 작업 홀딩 및 도구 홀딩 요소의 로드 및 언로드 또는 부품 및/또는 도구에 영향을 미치도록 구성된 하나 이상의 요소를 가질 수 있다. 도구 홀딩 및 도구 위치 포지셔닝 요소의 다양한 배열이 가능하다. 도구 및 부품 홀딩, 포지셔닝, 변화, 로딩 및 언로딩에 유용한 일부 예시적인 시스템 및 방법은 미국 특허 US3054333A, US3355797A, US3825245A, US4090287A, US4302144A, US5093978A, US6857995B2, US7137180B2, US8650994B2, US8887363B2, US9902034B2 및 US9914189B2에 제시되어 있고, 이들 각각은 참조로 여기에 포함된다.

[0676] 도구 및 부품 고정, 포지셔닝, 변경, 로딩 및 언로딩에 유용한 일부 추가 예시 시스템 및 방법은 여기에 참조로 포함된 미국 이외의 특허 문서 JP6576662B2에 제시되어 있다.

[0677] **기타**

[0678] *지오메트리*

[0679] 많은 다양한 기계 지오메트리가 제조에 유용한 것으로 알려져 있다. 예를 들어, 터닝 기계는 주 터닝 축이 수직 또는 수평으로 설계될 수 있다; 수평인 경우 일반적으로 평평한 베드 또는 각진 베드가 있다. SCOFAST 기계는 모든 기계 지오메트리를 사용하여 구성할 수 있다. 하나의 지오메트리에 제시된 도면들과 예들은 단지 예시일 뿐이며 다른 지오메트리에 맞게 원하는 대로 변경될 수 있다.

[0680] *개조를 통한 SCOFAST 기계로의 전환*

[0681] 성형, 적층, 절삭 또는 변형 작업을 수행할 수 있는 기존 또는 이전에 설명된 기계는 기존 요소를 변경하고 새로운 요소를 추가하여 SCOFAST 기계로 변형될 수 있다.

[0682] *새로운 SCOFAST 기계 설계*

[0683] 새로운 SCOFAST 기계 설계는 여기에 설명된 임의의 비-SCOFAST 기계 또는 현재 알려져 있거나 미래에 개발될 수 있는 임의의 다른 기계의 요소를 포함하거나 이를 기반으로 할 수 있다.

[0684] 유압

[0685] 총 피스톤 단면적 A를 갖는 유압 압력의 경우, 톤수 T에 해당하는 PSI 단위의 압력은 다음 계산식에 의해 구해진다:

[0686] PSI = (T * 2000 파운드/톤) / A.

[0687] 가공 유체

[0688] 부품이 가공될 때 절삭 도구와 작업물의 접합부에 증기 층("증기 장벽")이 형성되고 절삭 도구의 가장자리가 작업물과 직접 접촉하게 되는 영역에서 열 에너지를 가두는 단열재 역할을 한다. 결과적으로 뜨거운 영역은 부품

을 변형시키고, 툴링을 깨뜨리고, 작업물의 재료 특성을 변경할 만큼 충분히 뜨거워질 수 있다. 고압 냉각수는 증기 장벽을 관통하여 저압 관개가 침투할 수 없는 영역에서 열을 제거한다. 금속 칩을 빠르게 냉각하면 칩 이탈이 개선될 수도 있다. 또한 고압 절삭유는 재가공을 방지할 수 있을 만큼 빠르게 절삭 영역에서 칩을 씻어낸다. 어떤 상황에서는 더 나은 부품을 생산하고 속도와 이송을 높이며 절삭 도구 수명을 크게 연장할 수 있다.

[0689] 도구 및 작업물을 냉각 및 윤활하고 가공 중 가공 유체를 관리하기 위한 일부 기술은 미국 특허 공개 US3577808A, US4076442A, US5028176A, US5595462A, US5678466A, US5951216A, US6210086B1, US6874977B2, US8568198B2, US8821212B2, US9616540B2, US10807209B2, US20150107818A1 및 US20180104750A1에 제시되어 있으며, 이들 각각은 여기에 참조로 포함된다.

[0690] 도구 및 작업물을 냉각 및 윤활하고 가공 중 가공 유체를 관리하는 데 유용한 추가 기술은 다음의 비특허 간행물에 제시되어 있으며, 각각은 여기에 참조로 포함되어 있다.

[0691] K. Busch, C. Hochmuth, B. Pause, A. Stoll, and R. Wertheim, "Investigation of Cooling and Lubrication Strategies for Machining High-temperature Alloys," Procedia CIRP, vol. 41, pp. 835-840, 2016, doi: 10.1016/j.procir.2015.10.005;

[0692] E. Garcia-Martinez, V. Miguel, A. Martinez-Martinez, M. C. Manjabacas, and J. Coello, "Sustainable Lubrication Methods for the Machining of Titanium Alloys: An Overview," Materials (Basel), vol. 12, no. 23, Nov. 2019, doi: 10.3390/ma12233852;

[0693] S. Gariani, I. Shyha, F. Inam, and D. Huo, "Evaluation of a Novel Controlled Cutting Fluid Impinging Supply System When Machining Titanium Alloys," Applied Sciences, vol. 7, no. 6, p. 560, May 2017, doi: 10.3390/app706056.

[0694] 처리액

[0695] 일부 실시예에서 가공 유체는 SCOFAST 기계 내에서 처리 작업의 일부로 사용되는 재료 또는 물질을 포함할 수도 있다. 예를 들어, 용액 어닐링("용체화 열처리", "용체화 처리"는 가열 및/또는 냉각 중에 작업물을 화학 용액(처리 유체)에 노출시켜 수행된다. 이러한 가공 및 처리 유체의 한 예는 강화액이다: 가공유체로 사용될 수 있는 화학 혼합물로, 성형, 가공, 변형 과정에서 발생하는 작업물의 물리적 특성 변화로 인해 인성을 증가시키는 처리 용액으로도 사용된다.

[0696] 기계의 깨끗한 영역과 더러운 영역(Clean and dirty areas of a machine)

[0697] 깨끗한 영역과 더러운 영역은 특정 오염 수준에서 일부 특정 물질로 인한 오염과 관련하여 정의된다. 가스, 증기, 액체, 고체, 불활성 물질, 반응성 물질, 생물학적 물질, 살아있는 유기체, 죽은 유기체, 분자, 심지어는 장, 힘, 아원자 입자와 같은 비물질적인 것까지 포함하여 무엇이든 오염물질이 될 수 있다. 오염물질이 달리 지정되지 않은 경우 입자상 물질로 추정되는 경우가 많다.

[0698] 오염 물질이 지정되지 않은 경우 더러운 영역은 입자상 물질이 통제되지 않는 영역이다. 마찬가지로, 오염 물질이 지정되지 않은 경우 청정 영역은 먼지, 미생물, 에어로졸 입자, 바이러스, 증기 입자 또는 기타 오염 물질과 같은 미립자 오염 물질의 수준을 줄이기 위해 통제가 적용되는 영역이다. SCOFAST 기계는 유리하게는 깨끗한 영역, 더러운 영역, 또는 깨끗한 영역과 더러운 영역의 조합을 포함할 수 있다.

[0699] 청정 영역은 표 IX에 표시된 대로 지정된 입자 크기에서 입방미터당 허용되는 공기 중 입자 수로 지정될 수 있다. 예를 들어, 일반적인 도시 환경의 외부 공기에는 ISO 9 분류에 해당하는 직경이 0.5미크론 이상인 입자가 입방미터당 35,000,000개 포함되어 있다.

[0700]

표 IX: ISO 14644-1 클린룸 표준(Cleanroom Standards)							
분류 (Class)	최대 입자(Maximum particles)/m³						FED STD 209E 상당(equivalent)
	>=0.1 ㎛	>=0.2 ㎛	>=0.3 ㎛	>=0.5 ㎛	>=1 ㎛	>=5 ㎛	
ISO 1	10	2					
ISO 2	100	24	10	4			
ISO 3	1,000	237	102	35	8		Class 1
ISO 4	10,000	2,370	1,020	352	83		Class 10
ISO 5	100,000	23,700	10,200	3,520	832	29	Class 100
ISO 6	1,000,000	237,000	102,000	35,200	8,320	293	Class 1,000
ISO 7				352,000	83,200	2,930	Class 10,000
ISO 8				3,520,000	832,000	29,300	Class 100,000
ISO 9				35,200,000	8,320,000	293,000	Room Air

[0701] 제조 기계 내에서 청정 영역은 잔류 입자 분석에서 검출된 입자의 수와 크기로 지정되는 경우가 많다. 밀리포어 필터를 통과하는 세척액으로 해당 부위를 세척하고 잔해의 무게를 측정한 후 현미경으로 입자 크기와 클러스터 크기를 검사한다. SCOFAST 기계 내 작동에 필요한 청결도는 제조되는 부품과 해당 부품에 대해 계획된 응용 분야에 따라 결정된다. 좁은 간격이나 고도로 지정된 오리피스가 고려되는 경우(예: 엔진 조립품, 망원경, 미세 플로우 채널 및 기타 까다로운 응용 분야) 허용 가능한 잔류 입자 크기는 250미크론 이하로 변형될 수 있으며 총 입자 부하는 1밀리그램 이하로 변형된다. 생물학적 응용 분야에서는 종종 ISO 14644-1 클래스 중 하나에 해당하는 표면 청결도 및 공기 청정도 사양과 관련하여 훨씬 더 엄격한 변형이 있을 수 있다.

[0702] 기계 내에서 구역(zone)은 공간의 부피를 의미한다. 구역에서 물질을 제외한다는 것은 해당 물질을 구역에서 완전히 또는 부분적으로 제외하거나 구역에서 해당 물질을 대체하거나 구역 내에서 해당 물질의 양을 줄이는 것을 의미한다.

[0703] 작업 구역은 모듈이 해당 기능을 실행하거나 작업물에 대해 작업이 수행되는 SCOFAST 기계 내의 구역이다. 작업 구역은 개방형, 부분 밀폐형, 완전 밀폐형, 부분 밀봉형 또는 완전 밀봉형일 수 있다.

[0704] 청정 작업 구역은 하나 이상의 특정 원치 않는 물질을 배제하도록 구성된 작업 구역이다. 더러운 작업 구역은 해당 특정 물질이 제외되지 않는 작업 구역이다. 제외되거나 제외되지 않는 물질은 작업물과 수행할 작업에 따라 다르다. 일례로, 청정 작업 구역에서 제외되고 더러운 작업 구역에 허용되는 물질은 산소이다. 또 다른 예로, 청정 작업 구역에서 제외되고 더러운 작업 구역에 허용되는 물질은 오일이다. 또 다른 예로, 깨끗한 작업 구역에서 제외되고 더러운 작업 구역에서 허용되는 물질은 금속 칩이다.

[0705] 더러운 작업 구역은 특정 작업과 관련하여 원하지 않는 물질(들)을 제거하고 배제함으로써 깨끗한 작업 구역으로 전환될 수 있다.

[0706] **공차**

[0707] SCOFAST 작업 및 SCOFAST 기계에서 제조된 부품에 대한 기계적 공차는 표 I 및 표 II에 표시된 기계적 공차 등급과 국제표준화기구(International Organization for Standardization, 스위스 제네바, 2010년)의 비특허 문서이고 여기에 참조로 포함되는 ISO-286 기계적 공차 표준에 명시된 기타 공차 표준을 사용하여 설명되고 지정될 수 있다. IT6에서 IT18까지 ISO-286 기계적 공차 등급을 적용할 때 각 5단계에서 표준 공차에 10배가 곱해진다. 이 규칙은 모든 표준 공차에 적용되며 주어지지 않은 IT 등급에 대한 값을 추정하는 데 사용될 수 있다.

[0708] **재료**

[0709] SCOFAST 기계 작업은 변형 없이 임의의 재료 또는 재료의 조합을 포함하는 도구를 사용하여 임의의 재료 또는 재료의 조합을 포함하는 작업물에 대해 수행될 수 있다. SCOFAST 기계 및 그 작동에 대한 일부 예시적인 관심 재료는 여기에 참조로 포함된 미국 특허 US6635354B2에 제시되어 있다.

[0710] *연성*

[0711] 연성은 쉽게 와이어로 끌어당겨지거나 망치로 두드려 얇은 판으로 만드는 금속의 능력과 같이 몰딩 또는 성형되는 재료의 능력이다.

[0712] *패브리시티성*

[0713] 패브리시티성은 성형 및 조립을 통해 기계, 구조물 및 기타 장비를 만드는 데 사용되는 금속의 능력을

의미한다.

[0714] *성형성*

[0715] 성형성은 다양한 형태로 성형될 수 있는 재료의 민감성이다.

[0716] *침입형 원소(Interstitial Elements)*

[0717] 침입형 원소는 순수한 금속에서 발견되는 "불순물"이며, 때로는 유리하거나 불리한 방식으로 금속의 특성을 변경한다.

[0718] *이색금속합금*

[0719] 상대적으로 일반적인 금속 부품 재료 중 좀 더 특이한 재료는 내열 초합금(HRSA)과 티타늄 합금을 포함하는 ISO 그룹 S로 분류된다. 가공의 경우 구성, 상태 및 특성에 따라 여러 하위 그룹으로 나눌 수 있다. S-분류 합금의 화학적 성질과 야금학적 구성은 합금의 물리적 특성과 가공성을 결정한다. 일반적으로 칩 분할로 인해 칩 제어가 까다롭다. 비절삭력(SCF)은 재료를 절단하는 것이 얼마나 어려운지를 나타내는 척도이다. S형 합금의 경우 SCF는 강철의 SCF보다 두 배 이상 클 수 있다. HRSA 소재는 고온에서도 높은 강도를 유지하고 가공 경화에 매우 취약하기 때문에 절삭이 특히 까다롭다.

[0720] 니켈, 철 또는 코발트 기반 합금은 HRSA의 하위 그룹으로 주로 항공우주, 에너지 및 의료 산업에서 컨포넌트 사용을 위한 고유한 용량을 가지고 있고, 그들의 이로운 성질은 녹는 점에 근접할 때 까지 변하지 않고 부식 방지 효과가 매우 뛰어난다.

[0721] 티타늄 합금은 또한 다양한 가공성 등급을 갖는 하위 그룹으로 나누어진다. 티타늄 합금은 높은 인성, 낮은 열전도성, 고온에서 높은 유지 강도, 전단력이 높은 얇은 칩, 강한 마손 경향을 가지고 있다. 절삭은 도구 지오메트리의 작은 변화에 매우 민감하다. 티타늄 합금을 가공하려면 일반적으로 경사면의 좁은 접촉 면적과 절삭날 가까이 집중된 높은 절삭력이 필요하다.

[0722] 이국적인 금속 합금을 가공하려고 할 때 많은 어려움이 발생할 수 있다. 일부 합금은 탄화물 함량이 상대적으로 높아 마모성과 도구 마모가 증가한다. 절삭 속도가 너무 높으면 칩과 도구 재료 사이의 화학 반응이 발생하여 절삭날 파손 및 재료 번짐/용접이 발생할 수 있다. 일부 합금은 쉽게 가공 경화되어 확산형 마모와 버 형성을 유발한다. 칩 형성 패턴은 주기적일 수 있으므로 시간이 지남에 따라 절삭력이 달라질 수 있다.

[0723] 난삭재(difficult-to-machine materials)의 경우 대부분의 절삭은 신중하게 선택된 절삭 인서트를 사용하여 수행된다. 성공적인 절삭 액션은 절삭날이 작업물에 접근하는 방식에 크게 좌우된다. 절삭날의 리드/진입각은 인서트 지오메트리와 함께 성능, 도구 수명, 안정성 및 최종 결과를 좌우한다. 이러한 재료의 경도로 인해 절삭날의 소성 성형은 도구 재료 선택에 영향을 미치는 중요한 문제이다. 높은 수준의 인서트 고온 경도, 적절한 수준의 인서트 인성 및 인서트 코팅의 충분한 접착력이 주요 요구 사항이다. HRSA의 성공적인 절삭은 포지티브 절삭 지오메트리, 날카로운 절삭날, 강한 날 및 비교적 열린 칩 브레이커가 특징이다.

[0724] *도구 재료*

[0725] 절삭 도구 재료를 선택할 때 특정 특성이 중요하다. 절삭 도구의 경도와 강도는 높은 온도(뜨거운 경도)에서도 유지되어야 한다. 절단 도구는 부서지거나 파손되지 않을 만큼 충분히 견고해야 한다. 내마모성이 중요하다. 도구강, 주조 합금, 고속도강, 초경합금, 다이아몬드, 입방정 질화붕소, 서멧 및 세라믹(예: 질화규소, 알루미나)은 가공 시 절삭 도구 및 도구 인서트에 일반적으로 사용되는 재료이지만 내부 작업에 사용되는 도구는 SCOFAST 기계는 현재 알려져 있거나 미래에 발견될 수 있는 모든 재료로 만들어질 수 있다.

[0726] 본 명세서에 개시된 시스템 및 방법이 특히 유리한 것으로 입증될 수 있는 제조에 일반적으로 사용되는 재료의 일부 예는 여기에 예로서 나열된 것들을 포함하지만 이에 변형되지는 않는다.

[0727] 금속

[0728] SCOFAST 기계에서 작업을 수행하는 것이 특히 유리할 수 있는 금속의 일부 예가 여기에 예시로 제공된다.

[0729] *티타늄*

[0730] 비합금 티타늄은 275~590MPa 범위의 인장 강도를 가지며, 강도는 산소 함량 및/또는 철 함량이 증가함에 따라 증가한다. 많은 유용한 합금이 알려져 있으며, 각각은 고유한 특성을 가지고 있다. 상업적으로 이용 가능한 티타늄 합금은 최대 1250MPa의 인장 강도를 가질 수 있다(예: 고강도 합금 Ti-15Mo-5Zr-3Al의 경우). 상업적으로

순수한 티타늄은 특정 강도와 크리프 저항성으로 인해 약 300° C의 온도까지 안정적이다. 특정 티타늄 합금은 최대 약 500° C의 온도에서도 높은 강도를 나타낼 수 있다.

[0731] *고강도 티타늄 합금*

[0732] 고강도 티타늄 합금에는 Ti-6Al-4V 티타늄 합금(종종 "5등급 티타늄"이라고도 함) 및 인장 강도가 100ksi(690Mpa) 이상이고 0.2% 항복 강도가 90ksi 이상인 기타 티타늄 합금이 포함된다. Ti 6Al-4V는 가장 인기 있는 티타늄 합금으로, 경량이면서도 높은 강도가 요구되는 부품에 이상적이다. 내식성이 우수하고 용접성 및 성형성이 양호하다. Ti 6Al-4V는 "순수한" 등급의 티타늄과 달리 열처리도 가능하다. Ti 6Al-4V는 강철 12L14에 비해 가공 비용 계수가 6.0이다. 이는 공정한 용접을 생성하고 대략적으로 단조된다. Ti 6Al-4V는 어닐링, 열처리 및 에이징도 가능하다.

[0733] Ti 6al-4v Eli

[0734] 23등급으로도 알려진 Ti 6Al-4V Eli는 인기 있는 티타늄 합금으로, 경량을 유지하면서 강도와 인성을 요구하는 부품에 이상적이다. 생체적합성이 매우 뛰어나 피로와 부식 저항이 필요할 때 선택되는 소재이다. Ti 6Al-4V Eli의 감소된 격자간 원소 함량(산소, 질소, 탄소 및 철)은 Ti 6Al-4V보다 연성과 파괴 저항성이 우수하지만 강도는 약간 낮다. Ti 6Al-4V Eli는 강철 12L14에 비해 가공 비용 계수가 6.0이다. 열간 및 냉간 성형, 열처리, 어닐링, 단조 및 에이징이 가능하다. Ti 6Al-4V Eli는 상당히 용접 가능한 것으로 간주된다.

[0735] *그리스 아스콜로이*

[0736] 그리스 아스콜로이(Greek Ascoloy)는 스테인레스강 합금으로 매우 높은 내열성을 요구하는 부품에 이상적이다. 이는 다른 스테인레스강과 유사한 특성을 가지며 우수한 크리프 및 응력 저항성을 추가한다. 그리스 아스콜로이(Greek Ascoloy)는 우수한 인장강도와 충격강도, 우수한 내식성을 갖고 있다. 그리스 아스콜로이는 강철 12L14와 비교할 때 가공 비용 요소가 4.0이다. 가장 일반적인 방법으로 용접할 수 있다. 그리스 아스콜로이는 또한 단조, 단련, 단련 및 경화가 가능하다.

[0737] *카펜터 49*

[0738] 카펜터 49("Carp 49")는 니켈-철 합금으로 높은 투자율이 필요한 부품에 이상적이다. 이는 다른 니켈 합금보다 최대 투자율과 낮은 코어 손실은 물론 가장 높은 포화 자속 밀도를 보유하고 있다. 카펜터 49는 날씨와 습기 부식에 대한 상당한 저항력을 가지고 있다. 카펜터 49는 강철 12L14에 비해 가공 비용 계수가 6.0이다. 쉽게 용접, 브레이징, 납땜이 가능하며 열간 및 냉간 가공도 가능하다. 카펜터 49는 열처리로 단단해질 수 없지만 어닐링은 가능하다.

[0739] *하스텔로이*

[0740] 하스텔로이(Hastelloy)는 고성능 니켈-몰리브덴 합금으로 최고의 내식성을 요구하는 부품에 이상적이다. 이는 피팅, 응력, 산화, 화학 물질, 산 및 염수에 대한 저항력이 뛰어난다. 하스텔로이는 또한 장기간 고온 후에도 우수한 연성을 유지한다. 하스텔로이는 강철 12L14와 비교할 때 가공 비용 계수가 10.0이다. 연성이 우수하여 용접이 용이하고 열간 및 냉간 가공이 가능하다. 하스텔로이는 일반적으로 열처리되며 어닐링될 수 있다.

[0741] *HyMu 80*

[0742] HyMu 80은 니켈-철 합금으로 자기장을 차단하는 데 사용되는 부품에 이상적이다. 이는 최대 전자기 투자율과 최소 히스테리시스 손실을 갖는다. HyMu 80은 연성이 있어 열처리가 필요하다. HyMu 80은 강철 12L14에 비해 가공 비용 계수가 10.0이다. 쉽게 용접하고, 성형하고, 냉간 가공할 수 있다. HyMu 80은 열처리로 어닐링할 수 있다.

[0743] *Nitronic 60*

[0744] Nitronic 60은 다용도 스테인리스강 합금으로, 저렴한 비용으로 내마모성과 내마모성을 요구하는 부품에 이상적이다. 이는 다른 스테인리스강 합금에 비해 내식성은 약간 낮지만 응력 균열, 염화물 구멍, 해수 및 내충격성은 훨씬 높다. Nitronic 60은 다른 니켈 합금에 비해 경도가 상대적으로 낮지만 산화막이 얇고 밀착되어 내열성이 훨씬 높다. Nitronic 60의 가공 비용 계수는 강철 12L14에 비해 9.0이다. 쉽게 용접이 가능하다. Nitronic 60은 열처리에 반응하지 않지만 경도를 향상시키기 위해 냉간 가공하거나 표면 경화할 수 있다.

[0745] *구리합금 110*

[0746] 구리 합금 110은 높은 내식성, 전도성 및 마감으로 인해 많은 응용 분야에서 매우 인기 있는 구리 합금이다. 이

는 은을 제외한 모든 금속 중에서 전기 전도성이 가장 높다. 외부 요소에 노출되면 비교적 불투과성인 얇은 보호 녹청을 형성한다. 구리 합금 110은 다른 구리 합금에 비해 가공성이 매우 낮기 때문에 광범위한 가공이 필요하지 않은 경우에 이상적이다. 구리 합금 110은 강철 12L14와 비교할 때 가공 비용 계수가 3.0이다. 열간 및 냉간 성형은 물론 납땜에도 탁월하다. 구리 합금 110은 쉽게 용접되거나 브레이징되지 않는다.

[0747] *텔루륨 구리 합금 145(TeCu)*

[0748] 텔루르 구리 합금 145(TeCu)는 가공용 구리 합금(free-machining copper alloy)으로 간주되어 광범위한 가공, 내식성 또는 높은 전도성이 필요한 부품에 이상적이다. 이는 쉽게 제거할 수 있는 짧고 깨끗한 칩을 생성한다. TeCu는 순수 구리보다 더 빠르고 효율적으로 가공된다. TeCu는 강철 12L14와 비교할 때 가공 비용 요소가 0.8이다. 열간 및 냉간 가공, 단조, 브레이징, 납땜에는 적합하지만 용접에는 적합하지 않다. TeCu는 어닐링될 수 있다.

[0749] *베릴륨동합금 172(BeCu 172)*

[0750] 베릴륨 구리 합금 172(BeCu 172)는 최고 강도의 구리 합금 중 하나로 높은 강도와 전기 전도성이 요구되는 부품에 이상적이다. 이는 내식성 및 내마모성이 우수하다. BeCu 172는 또한 비자성이며 투자율이 매우 낮기 때문에 자성 하우징에 적합한 선택이다. BeCu 172는 강철 12L14에 비해 가공 비용 계수가 3.0이다. 납땜, 브레이징, 단조, 용접, 열간 및 냉간 가공에 적합하다. BeCu 172는 어닐링될 수 있다.

[0751] *베릴륨동합금 173(BeCu 173)*

[0752] 베릴륨 구리 합금 173(BeCu 173)은 가공용 구리 합금으로 매우 높은 강도와 강성을 요구하는 부품에 이상적이다. 이는 전기 전도성이 뛰어나며 강도가 가장 높은 구리 합금 중 하나이다. BeCu 173은 해양환경과 같이 높은 내식성을 요구하는 환경에도 적합하다. BeCu 173은 강철 12L14에 비해 가공 비용 계수가 1.0이므로 BeCu 172보다 경제적이다. 이는 납땜, 브레이징, 용접, 열간 및 냉간 가공에는 적합하지만 단조에는 적합하지 않다. BeCu는 어닐링될 수 있다.

[0753] *베릴륨동합금 175(BeCu 175)*

[0754] 베릴륨 구리 합금 175 (BeCu 175)는 가공용 구리 합금으로 높은 강도와 강성을 요구하는 부품에 이상적이다. 이는 전기 전도성이 뛰어난다. BeCu 175은 해양환경과 같이 높은 내식성을 요구하는 환경에도 적합하다. BeCu 175는 강철 12L14에 비해 가공 비용 계수가 1.5이다. 이는 납땜, 브레이징, 용접, 열간 및 냉간 가공에는 적합하지만 단조에는 적합하지 않다. BeCu 175는 어닐링될 수 있다.

[0755] *황동Cda353(황동353)*

[0756] 황동 CDA 353(황동 353) 합금은 납을 함유한 가공용 합금(FMA)으로 강도, 내식성, 내마모성, 우수한 가공성이 요구되는 부품에 이상적이다. 이는 널링이나 나사산이 있는 부품뿐만 아니라 마찰력을 받는 움직이는 부품에도 매우 적합하다. 황동 353은 강철 12L14에 비해 가공 비용 계수가 0.7이다. 이는 용접이나 열간가공에는 적합하지 않으나 납땜성이 우수하고 Brass 360에 비해 성형성이 우수한다. 황동 353은 어닐링이 가능하다.

[0757] 황동Cda360(황동360)

[0758] 황동 CDA 360(황동 360) 합금은 모든 구리 합금 중에서 가공성이 가장 높으며 강도, 무게 또는 표면 광택 처리가 필요한 부품에 매우 인기가 있다. 이는 저렴한 비용으로 원형, 정사각형, 육각형 및 튜브 스톡으로 제공된다. 강철과 달리 황동360은 녹슬지 않는 얇은 보호 녹청을 형성한다. 황동 360은 모든 구리 및 황동 합금 중에서 가공성이 가장 높다. 이는 강철 12L14에 비해 가공 비용 계수는 0.6이다. 열간 성형 특성이 상당히 뛰어나 냉간 성형, 용접, 납땜 및 브레이징에는 적합하지 않다. 황동 360은 단조 및 단련이 가능하다.

[0759] *알루미늄 합금 2011(Al 2011)*

[0760] 알루미늄 합금 2011(Al 2011)은 모든 알루미늄 합금 중에서 가공성이 가장 높아 복잡하고 세부적인 부품에 적합하다. 가공용 합금(FMA)으로 간주되는 이 합금은 매우 가까운 공차로 신속하게 가공할 수 있으며 우수한 표면 조도를 생성한다. Al 2011은 가공성이 뛰어나고 미세하고 쉽게 제거할 수 있는 칩을 생산할 수 있어 매우 경제적인 선택이다. Al 2011은 다른 모든 알루미늄 합금과 비교하여 상대적인 가공성에 대한 표준이다. 강철 12L14와 비교할 때 가공 비용 요소는 0.6이다. 단조나 열간 가공이 가능하지만 용접이나 납땜에는 적합하지 않다. Al 2011은 열처리, 어닐링, 에이징 및 템퍼링이 가능하다. 이는 양극 산화 처리가 가능하지만 AL 6061보다 더 어둡고 부식 저항성이 떨어지는 마감이 된다.

[0761] *알루미늄 합금 2024(Al 2024)*

[0762] 알루미늄 합금 2024(Al 2024)는 기계적 강도가 매우 높은 합금으로 경량을 유지하면서 더 높은 강도가 필요한 부품에 적합하다. 또한 이는 내피로성과 내균열성이 우수하여 항공기 부품용 소재로 적합하다. Al 2024는 높은 마감 처리가 가능하다. Al 2024는 강철 12L14에 비해 가공 비용 계수가 0.7이다. 단조 및 열간 가공이 가능하지만 용접이나 납땜에는 적합하지 않다. Al 2024는 열처리, 어닐링, 템퍼링에 잘 반응한다. 양극 산화 처리가 가능하지만 AL 6061보다 더 어둡고 부식 저항성이 떨어지는 마감이 된다.

[0763] *알루미늄 합금 6061(Al 6061)*

[0764] 알루미늄 합금 6061(Al 6061)은 성형이나 용접이 필요한 작업에 탁월한 매우 인기 있는 합금이다. 이는 가장 일반적으로 사용되는 알루미늄 합금이며 깨끗한 표면 마감을 제공한다. 다른 알루미늄 합금과 달리 Al 6061은 내식성이 높다. 알루미늄 6061의 가공 비용 계수는 강철 12L14에 비해 0.8이다. 이는 단조, 열간 가공, 쉽게 용접할 수 있을 뿐만 아니라 열처리, 어닐링 및 에이징도 가능하다. Al 6061는 양극 산화 처리가 잘 되어 밝고 컬러풀한 마감을 제공한다.

[0765] *알루미늄 합금 7075(Al 7075)*

[0766] 알루미늄 합금 7075(Al 7075)는 사용 가능한 알루미늄 합금 중 가장 강하며 경량을 유지하면서 극도의 강도가 필요한 작업에 탁월하다. 이는 내균열성이 뛰어나고 온도가 낮아짐에 따라 강도가 증가하므로 항공우주 산업에 이상적이다. Al 7075의 가공 비용 계수는 강철 12L14에 비해 0.9이다. Al 7075는 열처리가 가능하지만 용접에는 적합하지 않다. Al 7075는 열처리, 어닐링 및 에이징이 가능하다. Al 7075는 Al 6061에 비해 아노다이징에 이상적이지 않으며 투명 아노다이징 시 황색 색조가 나타날 수 있다.

[0767] 플라스틱

[0768] SCOFAST 기계 내 작업은 모든 종류의 플라스틱 재료로 구성된 작업물에 대해 수행될 수 있다. SCOFAST 기계에서 작업을 수행하는 것이 유리할 수 있는 제조에 일반적으로 사용되는 플라스틱의 몇 가지 예가 여기에 예시로 제공된다.

[0769] *아세탈*

[0770] 아세탈은 매우 엄격한 공차로 가공하면서 높은 기계적 강도와 강성을 요구하는 부품에 이상적인 다목적 저가형 플라스틱이다. 아세탈은 치수안정성과 내화학성이 좋아 오래 사용할 수 있다. 아세탈은 나일론과 달리 흡습률이 매우 낮아 습한 환경에서 사용하기에 적합하다. 아세탈은 강철 12L14에 비해 가공 비용 계수가 0.7이다.

[0771] *델린*

[0772] 델린(Delrin)은 아세탈 계열의 다용도 저가형 플라스틱으로, 매우 엄격한 공차로 가공하면서 강도와 탄력성을 요구하는 부품에 이상적이다. 델린(Delrin)은 치수 안정성과 마찰 저항이 뛰어나 오랫동안 착용 가능하다. 델린(Delrin)은 나일론과 달리 흡습률이 매우 낮아 습한 환경에서 사용하기에 적합하다. 델린의 가공 비용 계수는 강철 12L14와 비교할 때 0.7이다.

[0773] *나일론*

[0774] 나일론은 매우 엄격한 공차로 가공하면서 높은 압축 강도와 마찰 저항이 필요한 부품에 이상적인 다목적 저가형 플라스틱이다. 일부 응용 분야에서는 금속 대신 사용할 수 있으므로 금속 부품보다 유지 관리가 덜 필요한 부품을 오래 착용할 수 있다. 나일론은 일반적으로 PTFE, PEEK 및 UHMW보다 더 강하고 더 높은 온도에 견디며 비용 효율적이다. 나일론은 강철 12L14에 비해 가공 비용 계수가 0.8이다.

[0775] *폴리에테르에테르케톤(PEEK)*

[0776] 폴리에테르에테르케톤(PEEK)은 인기 있는 고강도 플라스틱 수지로 강도와 강성이 요구되는 부품에 이상적이다. PEEK는 열, 습기 및 화학 물질에 대한 저항력이 매우 높으며 뜨거운 물이나 증기의 여러 사이클을 견딜 수 있다. PEEK는 초고진공 환경에서도 우수한 성능을 발휘한다. PEEK는 강철 12L14에 비해 가공 비용 계수가 0.9이다.

[0777] *폴리테트라플루오로에틸렌(PTFE)*

[0778] 폴리테트라플루오로에틸렌(PTFE)(일반적으로 테플론으로 알려짐)은 탄력성이 매우 뛰어난 플라스틱으로, 높은

충격 강도와 내구성이 요구되는 나사 기계 부품에 이상적이다. PTFE는 마찰마모, 풍화, 화염, 열, 화학물질 및 방사선에 대한 저항성이 뛰어난다. PTFE는 나일론과 달리 흡습률이 매우 낮아 습한 환경에서 사용하기에 적합하다. PTFE/테플론은 강철 12L14와 비교할 때 가공 비용 계수가 1.2이다.

[0779] *폴리염화비닐(PVC)*

[0780] 폴리염화비닐(PVC)은 저가형 플라스틱으로, 경량이면서도 강도가 요구되는 부품에 이상적이다. PVC는 정밀한 공차로 가공이 가능하며 부식, 화염, 방수성이 뛰어난다. PVC는 또한 강도, 내충격성 및 인성이 높다. PVC는 강철 12L14와 비교할 때 가공 비용 계수가 1.1이다.

[0781] 초고분자량 폴리에틸렌(UHMW)

[0782] 초고분자량 폴리에틸렌(UHMW)은 고밀도 플라스틱으로 매우 높은 마모 및 마모 저항이 요구되는 나사 기계 부품에 이상적이다. UHMW는 열가소성 수지 중에서 충격 강도가 가장 높으며 대부분의 부식성 재료에 대한 저항력이 뛰어난다. UHMW는 자체 윤활 기능이 있어 매우 낮은 온도에서도 잘 작동하지만 더 높은 온도에서는 연화되기 시작한다. UHMW는 나일론과 달리 흡습률이 매우 낮아 습한 환경에서 사용하기에 적합하다. UHMW의 가공 비용 요소는 강철 12L14와 비교할 때 0.7이다.

[0783] 울템

[0784] 울템(Ultem)은 인기 있는 고강도 플라스틱 수지로 강도와 우수한 열적, 유전적 특성이 요구되는 부품에 이상적이다. 울템은 열과 습기에 대한 저항력이 매우 높으며 뜨거운 물이나 증기의 여러 사이클을 견딜 수 있다. 울템은 또한 모든 열가소성 수지 중 가장 높은 유전 강도를 갖고 있어 항공우주 및 전자 산업 분야의 응용 분야에 적합하다. 울템의 가공 비용 요소는 강철 12L14와 비교할 때 0.7이다.

[0785] 생체재료

[0786] 생체재료를 사용하는 데 유용한 일부 예시적인 시스템 및 방법은 미국 특허 US9114032B1, US9517128B2, US10441689B2, US10933579B2, US10442182B2, US10486412B1, US20140335145A1, US20150017131A1, US20160106142A1, US20190291350A1, US20190389124A1, US20200080060A1, US20200140801A1, US20200330644A1에 제시되어 있고, 이들 각각은 여기에 참조로 포함된다.

[0787] *식료품*

[0788] 식품 작업에 유용한 일부 예시적인 시스템 및 방법은 미국 특허 US9723866B2, US10178868B2, US10349663B2, US11000058B2, US20160106142A1, US20160135493A1, US20170295816A1, US20180116272A1 및 US20210112845A1에 제시되어 있고, 이들 각각은 참조로 여기에 포함된다.

[0789] **각 도면의 설명**

[0790] 도 1A, 1B, 1C: SCOFAST 기계 모듈

[0791] 기본 기능 모듈은 어떤 형태로든 원자재를 수용하고, 작업홀더를 사용하여 원자재를 고정 및 조작하고, 원하는 경우 에너지 함량을 조작하고, 성형, 적층, 절삭 및/또는 변형을 포함한 원하는 작업을 수행하는 예시적인 SCOFAST 기계에 대해 표시된다. 공간적으로 일관된 방식으로 작업하고 선택적으로 위치 지정, 인덱싱, 측정, 이미징 및/또는 테스트 작업 및/또는 SCOFAST 기계 내에서 유리하게 수행될 수 있는 기타 작업과 같은 추가 작업을 수행한다. SCOFAST 기계는 다른 유형의 추가 모듈과 함께 0개 이상의 각 유형의 모듈을 포함할 수 있으며, 모든 모듈은 단일 SCOFAST 기계 내에서 공간적으로 일관된 방식으로 재료 및 작업물에 작동한다. 이 도면들은 다양한 유형의 여러 작업이 필요한 제조 공정을 지원하는 모듈이 공간적으로 일관된 방식으로 단일 기계에 통합되고 작업 전반에 걸쳐 공간 정렬 및 등록의 유지 관리를 용이하게 하여 비용, 낭비, 시간, 노력, 복잡성 및 위험을 줄이고 그렇지 않으면 제조 비용이 너무 비싸거나, 너무 어렵거나, 심지어 불가능할 수도 있는 부품의 제조를 가능하는 것을 개략적으로 보여준다.

[0792] ***도 1A: SCOFAST 기계의 주요 기능 모듈***

[0793] [1]원자재 공급 모듈은 원자재와 그 원자재가 작업 홀딩 모듈에 의해 수신되고 지지될 수 있는 형태로 기계에 제시되고 수용되는 메커니즘, 기계 요소, 및 방법을 포함한다. 예에는 통상의 기술자에게 알려질 유사한 요소들과 아직 발명되지 않은 다른 요소들과 함께, 빌렛, 바, 시트, 플레이트, 와이어, 튜브, 파이프, 분말, 펠릿, 부스러기, 고체, 슬러리, 페이스트, 반고체, 액체 및 본 명세서에서 기재된 많은 추가 예를 위한 핸들링 시스템을

포함하지만 이에 국한되지는 않다.

[0794] [2]작업물 홀딩 모듈은 이동 또는 고정 여부에 관계없이 원자재 및/또는 작업물을 홀드, 지지 및/또는 고정하는 메커니즘, 기계 요소 및 방법을 포함하고, 통상의 기술자에게 알려질 유사한 요소들과 아직 발명되지 않은 다른 요소들과 함께, 콜릿, 척, 회전 테이블, 몰드, 단조 몰드, 주조 몰드, 사출 몰드, 다이, 압출 다이, 플레이트, 욕조, 테이블, 그리퍼 및 모든 종류의 클램프 및 본 명세서에서 기재된 많은 추가 예를 포함하되 이에 국한되지 않는다.

[0795] [3]작업물 조작 모듈은 기계 내에서 재료 및/또는 작업물을 이동하고 방향을 지정하는 메커니즘, 기계 요소 및 방법을 포함하고, 통상의 기술자에게 알려질 유사한 요소들과 아직 발명되지 않은 다른 요소들과 함께, 바 피더, 펌프, 나사, 로봇 팔, 피스톤, 샤프트, 플런저, 그리퍼, 롤러, 슈트, 경사면, 인덱스, 모든 종류의 액추에이터, 스위치, 릴레이, 컴퓨터, 소프트웨어, 볼 스크류, 나선형 스크류, 회전 테이블, 콜릿, 척, 유체 및 공기, 소리, 자속, 전자기학, 중력, 음파, 빛과 같은 작업물 또는 재료의 이동을 일으키는 에너지 전달을 위한 기타 매체 및 본 명세서에 기술된 많은 추가 예를 포함하되 이에 국한되지 않는다.

[0796] [4] 작업물 회수 모듈은 작업물 홀딩 모듈에서 작업물을 회수 및/또는 기계에서 작업물을 제거하고 선택적으로 베이스 또는 원재료의 나머지 부분에서 작업물을 분리하는 메커니즘, 기계 요소 및 방법을 포함한다. 예에는 통상의 기술자에게 알려질 유사한 요소들과 아직 발명되지 않은 다른 요소들과 함께, 절단 블레이드, 톱, 비트, 드릴, 슈트, 그리퍼, 콜릿, 로봇 팔, 튜브, 컨베이어, 공기, 액체 및 플리퍼 및 본 명세서에 기술된 많은 추가 예를 포함하되 이에 국한되지 않는다.

[0797] [5] 성형 작업 모듈은 작업물의 소성 성형을 유도하기 위해 힘을 가하거나 단순히 재료를 추가하거나 제거하는 것 이외의 다른 방식으로 작업물의 형태를 수정하는 역할을 하는 메커니즘, 기계 요소 및 방법을 포함한다. 예에는 통상의 기술자에게 알려질 유사한 요소들과 아직 발명되지 않은 다른 요소들과 함께, 압력, 다이, 펀치, 스페이서, 몰드, 롤러, 해머, 토크 제공기 등이 포함되지만 이에 국한되지는 않으며, 반대 힘을 제공할 때, 예를 들어 다이 또는 몰드의 일부로 사용될 때 또는 벤딩이나 비틀림을 포함하여 모든 종류의 변형을 겪고 있는 작업물을 고정할 때 콜릿 및 척과 같이 성형에 추가로 역할을 할 수 있는 다른 모듈에 속하는 요소 및 및 본 명세서에 기술된 많은 추가 예를 포함하되 이에 국한되지 않는다.

[0798] [6] 적층 작업 모듈은 작업물에 재료를 추가하거나 부착을 통해 작업물을 특정 형태나 모양으로 만드는 메커니즘, 기계 요소 및 방법을 포함한다. 예에는 통상의 기술자에게 알려질 유사한 요소들과 아직 발명되지 않은 다른 요소들과 함께, 3D 프린팅, 용접, 레이저 증착, 전자 빔 증착, 제트 증착, 화학 기상 증착, 바이오 프린팅, 스테레오리소그래피, 초음파 통합 및 본 명세서에 기술된 많은 추가 예를 포함하되 이에 국한되지 않는다.

[0799] [7] 절삭 작업 모듈은 작업물에서 재료를 제거하여 작업물을 특정 형태 또는 모양으로 만드는 메커니즘, 기계 요소 및 방법을 포함한다. 예에는 통상의 기술자에게 알려질 유사한 요소들과 아직 발명되지 않은 다른 요소들과 함께, 그라인더, 커팅 헤드, 비트, 드릴, 샌더, 노즐, 워터 제트, 레이저, 전자 빔, 전기, 액체, 에칭 화학물질, 펀치, 다이, 가위, 톱, 공기, 모래, 구슬, 액체, 윤활제 및 본 명세서에 기술된 많은 추가 예를 포함하되 이에 국한되지 않는다.

[0800] [8] 변형 작업 모듈은 작업물의 속성을 일시적으로 또는 영구적으로 변형하는 역할을 하는 메커니즘, 기계 요소 및 방법으로 구성된다. 예에는 통상의 기술자에게 알려질 유사한 요소들과 아직 발명되지 않은 다른 요소들과 함께, 모든 수단에 의한 에너지 추가 또는 제거, 액체, 고체 또는 기체 화학 물질의 적용, 소성 성형을 유도하기 위한 이외의 목적으로 힘의 적용, 진공 또는 어떤 압력에서 가스의 사용 및 본 명세서에 기술된 많은 추가 예를 포함하되 이에 국한되지 않는다.

[0801] [9] LIMIT 작업 모듈은 작업물이나 그 일부 속성 또는 부분을 찾고, 인덱싱하고, 측정하고, 이미징하고, 검사하고/하거나 테스트하는 데 사용되는 메커니즘, 기계 요소 및 방법을 포함한다. 예에는 통상의 기술자에게 알려질 유사한 요소들과 아직 발명되지 않은 다른 요소들과 함께, 카메라, 컴퓨터, 소프트웨어, 프로브, DRO, 액추에이터, 볼 나사, 나선형 나사, 자기 판독기, 스위치, 계전기, 적외선 센서 및 방출기, LIDOR, 전자레인지, 음파, 전파, 모든 스펙트럼이 포함되지만 이에 국한되지는 않다. 빛, 전자기장, 압력 센서, 마이크로미터, 캘리퍼스, 스케일, LED, 측정 정지 장치, 타이머, 온도 센서, 스트레스 센서, 기타 센서 및 본 명세서에 기술된 많은 추가 예를 포함하되 이에 국한되지 않는다.

[0802] [10] CCC 모듈은 기계 및/또는 각 요소, 모듈 및 기능(해당 기능을 포함하되 이에 국한되지 않음)의 작동을 조절 및/또는 제어하는 역할을 하는 메커니즘, 기계 요소 및 방법을 포함한다. 예로는 컴퓨팅, 통신 및 기계 제어

와 같은 기능을 포함하고, 통상의 기술자에게 알려질 유사한 요소들과 아직 발명되지 않은 다른 요소들과 함께, 위치 제어, 방향 제어, 모션 제어, 열 제어, 재료 제어, 흡입 제어, 출력 제어, 활성화, 비활성화, 액션 수준, 액션 순서 및 본 명세서에 기술된 많은 추가 예를 포함하되 이에 국한되지 않는다.

[0803] [11] 보조 재료 핸들링 모듈은 SCOFAST 기계 작동에 사용되는 액체, 고체 및 가스를 전달, 수집, 재활용 또는 처리하는 메커니즘, 기계 요소 및 방법을 포함한다. 예를 들어, 냉각수를 도구나 작업물에 적용한 후 회수, 필터링, 가열 또는 냉각한 후 다시 사용할 수 있다; 절삭 작업 중에 작업물에서 제거된 재료는 수집, 세척되어 원자재 공급 작업에 다시 도입될 수 있다; 공기를 대체하는 데 사용되거나 변형 작업에서 기질로 사용되는 가스는 수집, 정제 및 재사용될 수 있다. 예는 통상의 기술자에게 알려질 유사한 요소들과 아직 발명되지 않은 다른 요소들과 함께, 본 명세서에 기술된 많은 추가 예를 포함하되 이에 국한되지 않는다.

[0804] SCOFAST 기계는 공간적으로 일관된 방식으로 작업들의 원하는 조합의 성능에 원하거나 요구될 수 있는 추가적인 다른 모듈과 함께 임의의 수, 조합 및 배열로 도 1A 및 도 1B에 도시된 것과 같은 모듈을 포함할 수 있다. 특정 메커니즘이나 기능이 모듈로 표시되지 않는다는 사실이 해당 메커니즘이나 기능이 SCOFAST 기계 작동에 참여하는 것을 배제하는 것은 아니다. 특정 메커니즘이나 기능이 모듈로 표시된다는 사실은 그러한 메커니즘이나 기능이 존재하거나 특정 SCOFAST 기계 작동에 참여할 것을 요구하지 않다.

[0805] SCOFAST 기계 모듈은 모듈 기능을 달성하기 위해 특정 기계 요소에 의존할 수 있다. 예를 들어, 성형 작업에는 그러한 힘을 받는 다른 기계 요소와 함께 작업물의 소성 성형을 일으키기에 충분한 힘을 전달하는 기계 요소가 필요하다. 마찬가지로 특정 변형 작업에는 작업물의 에너지 함량을 변경하는 기계 요소와 변형 작업에 참여하는 부속 재료를 처리하는 기계 요소도 필요하다.

[0806] ***도 1B: 형성, 변형 및 CCC 요소***

[0807] 도 1B는 성형(5), 변형(8) 및 CCC(10) 작업에 필요한 일부 기계 요소의 예를 보여준다. 표시된 요소는 예시적이며 SCOFAST 기계 내에서 작업을 수행할 때 활성화될 수 있는 기계 요소의 수나 유형을 변형하려는 의미는 아니다. 모든 기계 요소는 SCOFAST 기계 내의 모든 작업에 참여할 수 있다.

[0808] 힘 생성 요소(5.1)는 작업물에 힘을 가하는 메커니즘, 기계 요소 및 방법을 포함한다. 예에는 통상의 기술자에게 알려질 유사한 요소들과 아직 발명되지 않은 다른 요소들과 함께, 압력, 단조, 스크류 드라이브, 전기 압력, 유압 압력, 공압 압력, 중력 압력, 콤비네이션 압력, 크랭크 압력, 다이, 몰드, 해머, 성형 작업 모듈의 액션에 유용할 수 있는 모든 힘의 원천 및 본 명세서에 기술된 많은 추가 예를 포함하되 이에 국한되지 않는다.

[0809] 힘 수용 요소(5.2)는 힘 생성 요소의 액션을 통해 절삭 작업 모듈 및 성형 작업 모듈과 같은 모듈에 의해 생성된 힘을 수신, 지원 및 전달하는 메커니즘, 기계 요소 및 방법을 포함한다. 예에는 통상의 기술자에게 알려질 유사한 요소들과 아직 발명되지 않은 다른 요소들과 함께, 주축대, 심압대, 캐리지, 슬라이드, 스핀들, 기계 베이스, 브래킷, 베어링, 베이스 플레이트, 롤러, 샤프트, 마운트, 팔로워, 고정 받베드(steady rests) 및 본 명세서에 기술된 많은 추가 예를 포함하되 이에 국한되지 않는다.

[0810] 에너지 핸들링 요소(8.1)는 작업물의 에너지 함량을 유지하거나 변경하는 역할을 하는 메커니즘, 기계 요소 및 방법을 포함한다. 예에는 통상의 기술자에게 알려질 유사한 요소들과 아직 발명되지 않은 다른 요소들과 함께, 가스 토치, 전기 토치, 오븐, 적외선 히터, 화염 히터, 욕조 히터 및 냉각기, 용광로, 레이저, 방사선원, 음원, 냉장고, 냉동고, 냉각된 액체 또는 가스, 가열된 액체 또는 가스, 진동기, 압력, 펌프 및 본 명세서에 기술된 많은 추가 예를 포함하되 이에 국한되지 않는다.

[0811] 재료 핸들링 요소(8.2)는 보조 재료 핸들링 요소(11)의 일부를 형성하고 변형 작업에 참여하는 메커니즘, 기계 요소 및 방법을 포함한다. 예에는 통상의 기술자에게 알려질 유사한 요소들과 아직 발명되지 않은 다른 요소들과 함께, 분무기, 제트, 노즐, 수집기, 펌프, 저장소, 필터, 정화기, 필드 발생기, 분말 코팅기, 플라즈마 발생기, 가스 제어 시스템, 진공 시스템, 고압 시스템, 이온 발생기 및 본 명세서에 기술된 많은 추가 예를 포함하되 이에 국한되지 않는다.

[0812] 컴퓨팅 요소(10.1)는 통상의 기술자에게 알려질 유사한 요소들과 아직 발명되지 않은 다른 요소들과 함께, 프로세서, 컴퓨터 프로그램, 알고리즘, 인터페이스, 아날로그 컴퓨팅 요소, 디지털 컴퓨팅 요소, 계산 엔진, 이미지 프로세서, 패턴 인식 시스템, 아날로그-디지털 변형기, 디지털-아날로그 변형기, 프로그램 저장 메커니즘, 데이터 저장 메커니즘, 클라우드 저장 장치, 클라우드 기반 처리 시스템, 로컬 컴퓨팅 시스템, 원격 컴퓨팅 시스템, 모바일 컴퓨팅 시스템, 양자 컴퓨팅 시스템, GUI 및 비-GUI 인터페이스 및 본 명세서에 기술된 많은 추가 예를

포함하되 이에 국한되지 않는다.

[0813] 통신 요소(10.2)는 통상의 기술자에게 알려질 유사한 요소들과 아직 발명되지 않은 다른 요소들과 함께, 유선 통신 시스템, 무선 통신 시스템, 네트워크 통신 시스템, 지점간 통신 시스템, 방송 통신 시스템, 분산 통신 시스템, 전자 통신 시스템, 생물학적 통신 시스템, 신경 통신 시스템, 화학적 통신 시스템, 광자 통신 시스템, 양자 통신 시스템, 스위치, 라우터, 방화벽, 패킷 검사기, 프로토콜 및 및 본 명세서에 기술된 많은 추가 예를 포함하되 이에 국한되지 않는다.

[0814] 기계 제어 요소(10.3)는 통상의 기술자에게 알려질 유사한 요소들과 아직 발명되지 않은 다른 요소들과 함께, 기계적 제어, 전자 제어, 아날로그 제어, 디지털 제어, 스위치, 물리적, 화학적 또는 생물학적 상태 또는 상태 변화를 감지하거나 측정하는 센서, 캠, 액추에이터, 밸브, 플로우 제어, 압력 제어, 전류 제어, 전압 제어, 열 제어, 동작 제어, 위치 제어, 힘 제어, 전력 제어, 속도 제어, 거리 제어, 시간 제어 및 본 명세서에 기술된 많은 추가 예를 포함하되 이에 국한되지 않는다.

[0815] ***도 1C: CCC 모듈 상호작용***

[0816] 도 1C는 CCC 모듈 요소를 포함하는 전형적인 상호작용을 도시한다. CCC 요소는 다양한 내부 및 외부 요소 및 시스템과 상호 작용할 수 있고, 통상의 기술자에게 알려질 유사한 요소들과 아직 발명되지 않은 다른 요소들과 함께, SCOFAST 기계에 어떤 요소, 기타 SCOFAST 기계, 기타 비 SCOFAST 기계, 외부 컴퓨터 시스템, 소프트웨어 프로그램, 내부 및 외부 데이터 저장 시스템, 클라우드 기반 시스템, 스토리지 자원, 컴퓨팅 자원, 데이터 자원, 정보 자원, 장비 자원, 모바일 장치, 외부 통신 시스템, 유무선 통신 시스템, 내부 및 외부 네트워크 시스템, 근거리 및 광역 네트워크, GUI 및 비 GUI 콘솔, 인공 지능, 인간-기계 인터페이스, 뇌-기계 인터페이스, 생물학적 시스템, 화학 시스템 및 본 명세서에 기술된 많은 추가 예를 포함하되 이에 국한되지 않는다.

[0817] **도 2: SCOFAST 예: "포친"에서 공간적으로 일관된 단조 및 가공**

[0818] 도 2는 SCOFAST 기계 내에서 일련의 작업에 의해 수행되는 제조 공정을 도시한다. 이 예에서 SCOFAST 기계는 공간적으로 일관된 단일 SCOFAST 기계에서 터렛 선반의 기능과 함께 단조 기계의 기능을 구성하는 단조 및 가공 "포친"이다. 설명된 작업은 기계 작업대에서 볼트를 제거하지 않고도 헤드를 단조한 다음 볼트의 나머지 부분을 가공하고 볼트를 처리하여 재료 특성을 조정함으로써 바스톡에서 정밀 티타늄 합금 볼트를 완전히 자동화하여 제조하는 것이다.

[0819] **도 3A, 3B, 3C, 3D, 3E: 티타늄 볼트 제조를 위한 SCOFAST "포친" 실시예**

[0820] 이 도면들은 단조, 가공 및 변형 작업의 조합을 통해 정밀 볼트를 제조하는 데 사용되는 포친으로 예시된 간단한 SCOFAST 기계의 물리적 구현의 예를 보여준다. 이 SCOFAST 기계 실시예의 지오메트리는 전통적인 수평 터렛 나사 기계 선반의 형상과 유사하며, 특정 기존 요소를 변경하고 새로운 기계 요소를 추가하여 단조, 가공 및 변형 작업을 공간적으로 일관된 방식으로 수행할 수 있다.

[0821] ***도 3A: 포친 정면도***

[0822] 도 3A는 포친 실시예의 정면도이다. 도 3A는 연관된 참조 번호로 표시된 바와 같이 다음 구성요소를 예시한다:

[0823] [1] 제어 및 통신 모듈.

[0824] [2] 공압식 바스톡 공급 장치.

[0825] [3] 바스톡(Barstock).

[0826] [4] 작업 홀딩 스핀들("스핀들").

[0827] [5] 스핀들 베어링 마운트, 스핀들 베어링 및 스핀들 드라이브(도시되지 않음)가 포함된 주축대.

[0828] [6] 상부 도구 포지셔너.

[0829] [6A] 상부 도구 포지셔너 베이스.

[0830] [6B] 상단 도구 포지셔너 Z축 슬라이드.

[0831] [6C] 상단 도구 포지셔너 X축 슬라이드.

[0832] [6D] 유도 가열 코일을 고정하는 도구 홀더가 있는 상부 도구 포지셔너 Y축 슬라이드 1.

[0833] [6E] 절단 도구를 고정하는 도구 홀더가 있는 상단 도구 포지셔너 Y축 슬라이드 2.

[0834] [7] 유도 가열 코일.

[0835] [8] 절단 도구.

[0836] [9] 스핀들 노즈에 고정된 작업 홀딩 콜릿("콜릿").

[0837] [10] 전면 크로스 슬라이드 툴홀더.

[0838] [11] 기계 및/또는 처리 유체의 전달을 위한 호스 및 노즐.

[0839] [12] 터렛 도구 보닛에 도구가 장착된다

[0840] [13]인덱서, 단조 다이, 스레더, 가공 도구, 측정 장치 및 기타 도구를 포함한 여러 도구를 고정할 수 있는 터렛 도구 보닛.

[0841] [14] 하나 이상의 유압 실린더를 포함하는 도구 터렛 슬라이드.

[0842] [15] 도구 터렛 베이스.

[0843] [16] 도구 터렛 캐리지.

[0844] [17] 전면 크로스 슬라이드.

[0845] [18] 전면 크로스 슬라이드 캐리지.

[0846] [19] 포친 베드와 프레임.

[0847] [20] 가공유체 수집트레이.

[0848] [21] 바스톡 공급기용 공압 펌프.

[0849] [22] 유도 가열 시스템.

[0850] [23] 단조작업을 포함한 유압기계작업을 위한 유압펌프.

[0851] [24] 기타 포친 요소.

[0852] [25] 가공유체의 회수 및 재활용 시스템.

[0853] [26] 가공 및/또는 처리유체용 펌프.

[0854] ***도 3B: 인덱싱 작업 중 특정 요소를 보여주는 평면도.***

[0855] 도 3B는 주축대(headstock), 포탑(too turret), 전면 및 후면 크로스 슬라이드를 포함하여, 도 3A에 도시된 포친의 특정 요소의 상부 개략도이다. 관심 요소를 더 잘 노출시키기 위해 상단 슬라이드 어셈블리[6A-6E], 유도 가열 코일[7] 및 도구[8]가 제거되었다. 도 3B는 관련 참조 번호로 표시된 다음 구성요소를 예시한다.

[0856] [3] 콜릿에서 돌출된 바스톡 "작업물".

[0857] [4] 스핀들 노즈.

[0858] [5] 주축대.

[0859] [9] 콜레트.

[0860] [10] 전면 크로스 슬라이드 툴홀더

[0861] [12] 터렛 보닛 도구 홀더의 인덱싱 도구.

[0862] [13] 터렛 보닛.

[0863] [14] 인덱싱을 위해 작업물을 향해 전진한 터렛 슬라이드.

[0864] [16] 터렛 캐리지.

[0865] [17] 전면 크로스 슬라이드.

[0866] [18] 전면 크로스 슬라이드 캐리지.

[0867] [19] 포친 베드와 프레임.

[0868] [27] 후면 크로스 슬라이드

[0869] [28] 후방 크로스 슬라이드 캐리지.

[0870] [29] 후면 크로스 슬라이드 툴홀더.

[0871] [30] 후면 크로스 슬라이드 도구 홀더의 도구.

[0872] [31] 전면 크로스 슬라이드 툴홀더의 툴.

[0873] ***도 3C: 작업물을 가열하기 위한 위치에 있는 코일을 보여주는 정면도 상세도***

[0874] 도 3C는 작업물의 영역을 가열하는 작업 동안 작업물[3] 위의 위치에 있는 유도 가열 코일[7]을 보여주는 주축대[5]의 부분 정면 상세도이다. 도 3C는 관련 참조 번호로 표시된 바와 같이 다음 구성요소를 예시한다:

[0875] ***도 3D: 단조 작업 시작 시 가열 후의 평면도***

[0876] 도 3D는 단조 작업 초기의 포친 평면도 상세도이다. 점선 [32]은 작업물 [3]의 가열 영역을 나타낸다. 가열 구역의 일부는 콜릿 내부에 있다. 도구 [12]는 다이 캐비티를 보여주기 위해 잘라낸 단조 다이이다. 단조 다이 [12], 터렛 슬라이드 [14, 컷어웨이] 및 터렛 보닛 [13]은 터렛 슬라이드 내에 위치하고 피스톤 생크가 도구 터렛 베이스 [15]에 고정된 하나 이상의 유압 실린더 [14A]에 의해 구동되어 콜릿을 향해 이동한다. 이동이 끝나면 단조 다이가 콜릿 [9]에 대해 완전히 닫힌다.

[0877] ***도 3E: 부품 절단 및 회수 슬라이드를 보여주는 포친의 정면도***

[0878] 도 3E는 부품 회수 작업 중 포친의 정면도이다. 단조, 가공 및 나사산 볼트 [34]는 상단 도구 슬라이드 [6]의 절단 도구 [8]에 의해 바스톡에서 절단된다. 부품 검색 슬라이드 [33]가 완성된 부품을 받기 위해 앞으로 나온다.

[0879] 도 4A, 4B Ti-6Al-4V 볼트 제조 중 단일 가열과 이중 가열

[0880] 도 4a 및 도 4b는 열간단조 및 가공이 가능한 SCOFAST 기계로 제작된 육각헤드 티타늄합금 볼트를 나타낸 사진이다. 사진 [A]는 단 한 번만 가열한 볼트로 나사산이 양호하다. 사진 [B]는 바스톡 재료를 두 번 가열하여 실이 부서지기 쉽고 부서지는 결과를 가져온다는 점을 제외하고 동일한 방식으로 제조된 볼트를 보여준다. 이는 특정 작업을 SCOFAST 기계에 결합하면 성공적으로 수행할 수 있지만 별도로 수행할 수는 없다는 사실을 보여준다.

[0881] 도 5A, 5B, 5C: 스러스트 베어링으로 축방향 하중 용량 증가

[0882] 도 5A-C는 축방향 하중 용량을 증가시키기 위한 스핀들 베어링 확대의 예에 대한 개략도와 함께 포친 헤드스톡의 일 예에 대한 절단도이다. 도 5B에 표시된 일반 스핀들 베어링은 주로 반경방향 및 모멘트 하중을 지지하도록 설계되었다. 단조, 가압 및 기타 성형 작업과 관련된 축 방향 힘을 지원하는 능력은 베어링 크기, 유형 및 재료에 따라 다르다. 깊은 채널 베어링은 축 방향으로 정격 방사형 하중의 최대 60%를 지탱할 수 있다. 다른 정밀 베어링 유형은 최소한의 축 하중만 지원할 수 있다.

[0883] 스핀들이 SCOFAST 기계에서 성형 작업 중에 높은 축 하중을 받는 경우, 반경 방향 하중을 위한 스핀들 베어링 설계는 더 높은 축 하중을 처리하기 위해 크기, 유형 또는 재료를 업그레이드해야 할 수 있다. 대안으로 축방향 힘을 처리하기 위해 스러스트 베어링을 추가할 수도 있다. 두 가지 유형의 예압 스러스트 베어링이 도 5C에 스핀들 노우즈와 스핀들 테일에 장착되어 있는 것으로 표시된다.

[0884] ***도 5A: 포친 주축대의 절단면도***

[0885] 도 5A는 실제 포친인 주축대의 절개도이다. 이 포친은 나사 선반을 기반으로 하며, 표시된 스핀들은 정격 반경방향 하중의 최대 60%까지 축방향 하중을 견딜 수 있다. 정격 레이디얼 하중의 60%를 초과하는 축 하중을 생성하는 작업을 수행하려면 축 힘의 방향을 바꾸거나 스핀들 지지를 어떤 방식으로든 강화해야 한다. 도 5A는 연관된 참조 번호로 표시된 바와 같이 다음 구성요소를 예시한다:

[0886] [1] 스핀들 테일

[0887] [2] 스핀들 노즈

[0888] [4] 후방 스핀들 베어링

[0889] [5] 앞 스핀들 베어링

[0890] ***도 5B: 확대 전 스핀들 베어링 지지대***

[0891] 도 5B는 스핀들 베어링과 스핀들의 일반적인 배열을 보여주는 스핀들 마운트의 절개도이다. 도 5B는 연관된 참조 번호로 표시된 바와 같이 다음 구성요소를 예시한다:

[0892] [1] 스핀들 테일

[0893] [2] 스핀들 노즈

[0894] [3] 스핀들 마운트

[0895] [4] 후방 스핀들 베어링

[0896] [5] 앞 스핀들 베어링

[0897] ***도 5C: 두 가지 유형의 보강을 사용한 스핀들 베어링 지지대***

[0898] 도 5C는 스핀들 노우즈와 스핀들 테일에 스러스트 베어링을 추가한 예를 도시한 스핀들 마운트의 절취도이다. 도 5C는 관련 참조 번호로 표시된 다음 구성요소를 도시한다.

[0899] [1] 스핀들 테일

[0900] [2] 스핀들 노즈

[0901] [3] 스핀들 마운트

[0902] [4] 후방 스핀들 베어링

[0903] [5] 앞 스핀들 베어링

[0904] [6] 전방 예압 조정 심

[0905] [7] 스핀들 마운트에 고정된 전면 스러스트 베어링 베이스 플레이트

[0906] [8] 스핀들에 고정된 전면 스러스트 베어링

[0907] [9] 후방 예압 조정 심

[0908] [10] 스핀들 마운트에 고정된 후면 스러스트 베어링 베이스

[0909] [11] 스핀들에 고정된 후방 스러스트 베어링

[0910] 도 6: 내부 인서트를 보여주는 유도 가열 코일 세부사항

[0911] 도 6은 코일 내의 슬리브[2]를 도시하는 유도 가열 코일[1]의 상세도이다. 코일은 단선 또는 전도성 물질로 만들어지고 임의의 단면 형상(도시되지 않음)을 갖는 중공 튜브로 구성될 수 있다. 냉각액은 냉각수 펌프 시스템(미도시)에 의해 코일 배관을 통과할 수 있다. 내부 슬리브는 내마모성, 온도 저항, 열팽창 특성 및/또는 기타 특성과 같은 원하는 특성을 달성하도록 선택된 세라믹 또는 기타 재료 또는 재료의 조합을 포함한다. 슬리브는 또한 코일에 의해 생성된 전자기장 패턴을 변경할 수 있는 금속 요소를 포함할 수 있다. 슬리브의 내부 개구부 크기는 코일과 작업물 사이의 원하는 스탠드오프(커플링) 거리를 유지하도록 선택된다. 코일이 작업물 위에 배치되면 옵션 플랜지 [3]가 작업물을 고정하는 콜릿(또는 기타 작업물 홀딩 장치)과 접촉할 수 있다. 플랜지는 콜릿에 대해 부분적으로 또는 완전히 밀봉되도록 구성될 수 있다. 슬리브와 동일한 물질로 만들어질 수도 있고 다른 물질로 만들어질 수도 있다. 도 6은 관련 참조 번호로 표시된 바와 같이 다음 구성요소를 예시한다:

[0912] [1] 코일

[0913] [2] 내부슬리브

[0914] [3] 플랜지

[0915] 도 7A, 7B, 7C, 7D: 로봇 팔

[0916] 도 7A-7D는 SCOFAST 기계 내의 요소를 포함할 수 있는 다중 축 로봇 팔의 예이다. 라벨 [1]은 팔의 베이스를 나타낸다. 베이스는 기지에 대해 팔이 움직일 때 공간적 일관성을 유지하면서 알려진 공간 관계에서 SCOFAST 기계의 다른 요소에 정렬되고 고정될 수 있다. 라벨 [A - H]는 이동 축을 나타낸다. 라벨 [A]는 점선으로 표시된 베이스에 수직인 축을 중심으로 한 회전을 나타낸다. 라벨 [C], [E] 및 [G]는 각각 서로 다른 팔 부분의 세로 축을 중심으로 한 회전을 나타내며, 각 축은 점선으로 표시된다. 라벨 [B], [D], [F] 및 [H]는 각각 바로 근위 팔 부분(proximal arm segment)의 세로 축에 수직인 축을 중심으로 한 회전을 나타낸다. 표시된 위치에 로봇 팔이 있으면 각 회전 축 [B], [D], [F] 및 [H]가 페이지 평면에 수직으로 정렬된다. 라벨 [2]는 터미널 부속물을 나타낸다.

[0917] **도 7A: 다중 도구 홀더로서 단자 부속물을 갖춘 로봇 팔**

[0918] 도 7A는 절삭 작업에 사용되는 능동 도구를 고정할 수 있는 다중 도구 홀더 형태의 단자 부속물을 갖춘 로봇 팔을 보여준다. 도 7A는 관련 참조 번호로 표시된 바와 같이 다음 구성요소를 예시한다:

[0919] [A - H] 회전축

[0920] [1] SCOFAST 기계 프레임에 고정된 로봇팔 베이스

[0921] [2] 유도 코일 및 밀링 도구가 설치된 활성 도구로서의 단자 부속 장치

[0922] **도 7B: 스프레이 용접기로서 단자 부속물을 갖춘 로봇 팔**

[0923] 도 7B는 적층 작업에서 금속 층을 증착하는 데 사용되는 스프레이 용접기 형태의 단자 부속 장치가 있는 로봇 팔을 보여준다. 도 7B는 관련 참조 번호로 표시된 다음 구성 요소를 도시한다.

[0924] [A - H] 회전축

[0925] [1] SCOFAST 기계 프레임에 고정된 로봇 팔 베이스

[0926] [2] 첨가제 스프레이 용접 도구로서의 단자 부속 장치

[0927] **도 7C: 성형 압력로서 단자 부속물을 갖춘 로봇 팔**

[0928] 도 7C는 성형 작업에 사용되는 C-팔 성형 압력 형태의 단자 부속물을 갖춘 로봇 팔을 도시한다. 로봇 팔은 압력를 거의 모든 위치와 방향으로 배치할 수 있으므로 성형 작업은 거의 모든 축에서 수행될 수 있다. 도 7C는 관련 참조 번호로 표시된 다음 구성 요소를 도시한다.

[0929] [A - H] 회전축

[0930] [1] SCOFAST 기계 프레임에 고정된 로봇 팔 베이스

[0931] [2] 성형압력로서의 단자부속물

[0932] [2A] 압력 프레임

[0933] [2B] 힘 발생기 및 수용기(예: 유압 실린더 또는 전기 스크류 드라이브)

[0934] [2C] 성형 다이

[0935] **도 7D: 도구 교환기로서 단자 부속물이 있는 로봇 팔**

[0936] 도 7D는 도구 홀더, 스핀들 콜릿, 기타 도구 홀더 및 작업 홀딩 요소, 도구 공급 랙 사이에서 도구를 이동하는 데 사용되는 그리퍼 및 도구 교환기 형태의 터미널 부속 장치가 있는 로봇 팔을 보여준다. 단자 부속물에는 진공 그리퍼와 같은 모든 유형의 고정 장치 또는 도구와 부품을 단단히 고정하고 홀드하기 위해 함께 또는 분리하여 움직일 수 있는 임의의 수의 "디지트들(digits)"이 장착될 수 있다. 퀵 체인지 도구 홀더와 콜렛을 사용하면 거의 모든 도구를 로봇 팔에 설치할 수 있다. 팔은 또한 절단 중에 부품을 떼어내는 기능, 콜릿이나 기타 작업 홀딩 장치에서 부품을 잡고 뒤집는 기능, 관련 기술 분야의 통상의 기술자에게 명백할 기타 유사한 기능을 수행하는 기능을 할 수 있다. 도 7d는 관련 참조 번호로 표시된 바와 같이 다음 구성요소를 예시한다:

[0937] [A - I] 회전축

[0938] [1] SCOFAST 기계 프레임에 고정된 로봇 팔 베이스

[0939] [2] 도구 교환기/그리퍼로서의 단자 부속 장치

[0940] 8A, 8B 바스톡 벤딩용 활성 도구. 바스톡을 향한 Z축 보기

[0941] SCOFAST 기계의 모든 축에 장착할 수 있고 휴지 위치에서 작업물을 향해 작업 위치로 이동하여 작업물을 지탱할 수 있는 벤딩에 사용되는 능동 툴링의 예이다. 도면들은 작업물을 바라보는 작업물 고정 스핀들의 중심축을 따라 본 모습을 보여준다. 표시된 위치에서 툴링은 메인 작업 홀딩 스핀들 바로 위의 오버헤드 슬라이드에 장착된다. 표시된 위치는 보조 Z축 슬라이드에 장착된 도구를 나타낼 수도 있다. 툴링이 크로스 슬라이드에 장착된 경우 도면들은 90도 또는 270도 회전된다. 툴링이 하단 슬라이드에 장착된 경우 도면들은 180도 회전하고 전체 툴은 작업물 아래에서 올라오게 된다. 도 8A-8B는 연관된 참조 번호로 표시된 바와 같이 다음 구성요소를 예시한다:

[0942] [1] 도구 스핀들 하이 토크 모터

[0943] [2] 툴홀더 메커니즘

[0944] [3] 중앙 샤프트

[0945] [4] 벤딩팔 [5]

[0946] [5] 중앙 샤프트 롤러 [4]

[0947] [6] 벤딩팔롤러

[0948] [7] 바스톡

[0949] 도 8A: 벤딩 작업 전

[0950] 도구가 작업물 위의 위치로 이동되었으며, 중앙 샤프트 롤러(5)는 작업물(7)에 딱 닿고 벤딩 팔 롤러(6)는 접촉하지 않는다.

[0951] 도 8B: 벤딩 작업 후

[0952] 여기서 도구 스핀들 모터(1)가 활성화되어 중앙 샤프트(3)를 회전시켜 벤딩 팔 롤러(6)를 작업물(7)과 접촉시키고 충분한 토크를 전달하여 중앙 샤프트 롤러(5) 주위로 작업물을 벤딩한다.

[0953] 도 9A, 9B, 9C: 캐리지 및 갠트리 툴링

[0954] 예시적인 능동형 및 고정형 툴링 지오메트리로 구성된 다축 SCOFAST 기계 실시예의 예가 도 9A-9C에 도시되어 있다. 메인(작업 홀딩) 스핀들의 축은 수평면에 있는 Z축이다. Z축에 수직인 가로축이 X축이고, 세로축이 Y축이다. 이들 실시예에서, 각각의 도구 캐리지로부터 하나의 도구가 작업물에 동시에 지탱될 수 있다. 각 도구는 작업물을 기준으로 X, Y 및 Z축에 위치할 수 있으며, 각 도구는 도구에 대해 요(yaw)를 제공하는 도구별 A축과 도구에 대한 피치를 제공하는 도구별 B축을 중심으로 추가로 회전할 수 있다. 각 활성 도구는 해당 스핀들의 축을 중심으로 추가로 회전하여 도구에 대한 롤(roll)을 제공할 수 있다. 작업물은 Z축을 중심으로 회전할 수도 있으며 작업물 고정 메인 스핀들 캐리지 전체가 Z축에서 이동할 수도 있다. 따라서 각 활성 또는 고정 도구는 임의의 지점과 임의의 상대 각도에서 작업물을 지탱할 수 있다.

[0955] *도 9A: SCOFAST 기계의 이중 종방향 베드 레일 캐리지 툴링의 평면도*

[0956] 종방향 베드 레일 크로스-슬라이드 캐리지 지오메트리를 포함하는 실시예를 예시하는 평면도이다. 이 지오메트리에서는 왼쪽 및 오른쪽 메인 스핀들 캐리지 중 하나 또는 둘 다 Z축을 따라 이동하도록 두 개의 메인 스핀들이 구성된다. 일반적인 다축 가공 작업 외에도 각 메인 스핀들 캐리지는 Z축에서 충분한 힘을 전달하고 수용하여 광범위한 단조 작업을 수행할 수 있다. 전면 및 후면 크로스 슬라이드 캐리지는 z축과 평행하게 이동하여 원하는 SCOFAST 작업을 위한 다양한 능동 및 수동 툴링을 배치한다.

[0957] *도 9B: SCOFAST 기계의 종방향 오버헤드 갠트리 툴링의 X축 뷰*

[0958] 종방향 오버헤드 갠트리 지오메트리의 예이다. 세로 방향 오버헤드 지오메트리에서 라벨 [10]은 갠트리를 나타내고 라벨 [11]은 오버헤드 갠트리 캐리지를 나타낸다. 라벨은 도 9A에 표시된 세로 방향 베드 레일 지오메트리의 라벨과 동일하다. 이러한 갠트리에는 활성 및 수동 도구 홀더를 원하는 수만큼 장착할 수 있으며 도구 교환 모듈을 사용하여 즉시 도구를 교환할 수 있다. 갠트리가 두 개 이상 존재할 수 있다. 각 갠트리는 X축 방향으로 이동할 수 있으며, 도구 캐리지[11]는 갠트리를 따라 Z축 방향으로 이동할 수 있다.

[0959] *도 9C: SCOFAST 기계의 가로 오버헤드 갠트리 툴링의 Z축 보기*

[0960] 가로 오버헤드 갠트리 지오메트리의 예이다. 가로 오버헤드 지오메트리에서 라벨 [10]은 갠트리를 나타내고 라벨 [11]은 오버헤드 갠트리 캐리지를 나타낸다. 라벨은 도 9A에 표시된 세로 방향 베드 레일 지오메트리의 라벨과 동일하다.

[0961] 도시된 예는 단지 단일 클래스의 직선 지오메트리를 예시하는 것일 뿐이다. 많은 다른 지오메트리가 가능하며 예시된 지오메트리의 요소가 임의의 수와 조합으로 서로 및 다른 지오메트리를 나타내는 요소와 함께 예시될 수 있다는 것이 통상의 기술자에게 명백할 것이다. 다중 갠트리와 레일을 사용할 수 있으며 원하는 경우 도구 교환 모듈을 통합할 수 있다. 도 9A-9C는 연관된 참조 번호로 표시된 바와 같이 다음 구성요소를 예시한다:

[0962] [10] 후면 베드레일(A) / 오버헤드 갠트리(B,C)

[0963] [11] 후면 도구 캐리지(A) / 갠트리 도구 캐리지(B,C)

[0964] [12] 도구 스핀들

[0965] [13] 도구 스핀들

[0966] [14] 도구 스핀들

[0967] [15] 도구 스핀들

[0968] [16] 유도 가열 코일

[0969] [17] 벤딩 툴

[0970] [18] 밀링도구

[0971] [19] 톱질 도구

[0972] [30] 센터 베드 레일

[0973] [31] 왼쪽 메인 스핀들 캐리지

[0974] [32] 왼쪽 스핀들

[0975] [33] 좌측 스핀들 콜릿

[0976] [34] 작업물

[0977] [35] 오른쪽 스핀들 캐리지

[0978] [36] 우측 스핀들

[0979] [37] 우측 스핀들 콜렛

[0980] [38] 단조다이

[0981] [50] 앞 베드 레일

[0982] [51] 전면 도구 캐리지

[0983] [52] 도구 스핀들

[0984] [53] 도구 스핀들

[0985] [54] 도구 스핀들

[0986] [55] 도구 스핀들

[0987] [56] 절삭도구

[0988] [57] 3D 프린트헤드 툴

[0989] [58] 스프레이 용접도구

[0990] [59] 더블액션 다이 단조/스웨이징 도구

[0991] *도 10: 이중 다축 회전식 활성 도구 홀더 및 도구 교환 타워를 갖춘 SCOFAST 기계의 위에서 본 모습*

[0992] 도 10은 이중 작업물 고정 스핀들, 이중 다축 활성 도구 홀더 및 이중 도구 교환 도구 관리 타워로 구성된 SCOFAST 기계 지오메트리의 평면도이다. 다른 SCOFAST-LIMIT 기계 요소는 다른 곳에 표시된다. 수평 베드에서 여기에 예시된 일반적인 지오메트리적 관계는 플랫 베드, 경사 베드, 수직 베드 또는 기타 기계 프레임과 동일하게 관련된다는 것이 통상의 기술자에게 명백할 것이다. 도 10은 관련 참조 번호로 표시된 바와 같이 다음 구성요소를 예시한다:

[0993] [10] 후면 베드 레일

[0994] [11] 후방 도구 캐리지

[0995] [12] 도구 스핀들 모터

[0996] [13] 능동도구와 수동도구용 전동도구홀더

[0997] [14] 후면 도구 관리 타워/툴 체인저

[0998] [30] 센터베드레일

[0999] [31] 왼쪽 스핀들 캐리지

[1000] [32] 좌측 스핀들

[1001] [33] 작업물

[1002] [34] 좌측 스핀들 콜릿

[1003] [35] 우측 스핀들 캐리지

[1004] [36] 우측 스핀들

[1005] [37] 단조다이

[1006] [50] 베드 레일

[1007] [51] 전면 도구 캐리지

[1008] [52] 도구 스핀들 모터

[1009] [53] 전동도구홀더

[1010] [54] 전면 도구 관리 타워/도구 교환기

[1011] 도 11: SCOFAST 기계에서의 주조, 단조 및 밀링

[1012] 도 11은 공간적으로 일관된 주조, 단조 및 가공을 수행하도록 구성된 SCOFAST 기계의 특정 요소의 개략적인 절단 표현을 도시한다. 도 11은 연관된 참조 번호로 표시된 바와 같이 다음 구성요소를 예시한다:

[1013] [1] 용융 주조 재료 공급관

[1014] [2] 콜레

[1015] [3] 터닝 스핀들

[1016] [4] 주조 압축 램

[1017] [5] 회전 스핀들 콜릿에 고정된 다이 베이스

[1018] [6] 보조 작업 홀딩 스핀들의 단조 콜릿에 고정된 다이 본체

[1019] [7] 밀링 헤드를 이용한 액티브 툴링

[1020] [8] 유압 단조 램

[1021] [9] 밀링 헤드를 이용한 액티브 툴링

[1022] 도 12: SCOFAST 기계에서의 압출, 단조 및 밀링

[1023] 도 12는 공간적으로 일관된 압출, 단조 및 가공을 수행하도록 구성된 SCOFAST 기계의 특정 요소의 개략적인 단면도이다. 도 12는 관련 참조 번호로 표시된 바와 같이 다음 구성요소를 예시한다:

[1024] [1] 압출되는 재료의 빌렛

[1025] [2] 압출다이

[1026] [3] 스핀들

[1027] [4] 콜레

[1028] [5] 압출 작업물

[1029] [6] 단조 다이

[1030] [7] 밀링 헤드를 이용한 액티브 툴링

[1031] [8] 유압 단조 램

[1032] [9] 액티브 툴링

[1033] 도 13: SCOFAST 기계에서의 펀치 성형 및 가공

[1034] 도 13은 공간적으로 일관된 펀치 성형 및 가공을 수행하도록 구성된 SCOFAST 기계의 특정 요소의 개략적인 절단 표현이다. 도 13은 관련 참조 번호로 표시된 바와 같이 다음 구성요소를 예시한다:

[1035] [1] 펀치 성형

[1036] [2] 클램핑 슬리브

[1037] [3] 스핀들

[1038] [4] 콜레

[1039] [5] 작업물

[1040] [6] 펀치 성형 다이

[1041] [7] 가공 도구 헤드

[1042] [8] 유압압력

[1043] [9] 가공 도구 헤드

[1044] [10] 유압식 펀치압력

[1045] 도 14A 및 14B: 공통 가공 축.

[1046] 도 14A는 나사 기계 또는 터렛 선반과 같은 수평 가공 센터의 축에 대한 하나의 일반적인 종래 명칭을 도시한다. Z축은 주 작업 홀딩 스핀들 축이고, Y축은 수직이며, X축은 Y축과 Z축에 의해 정의된 평면에 수직이다. 축 A, B, C는 오른손 법칙에 따라 정의된 회전 축이다. X, Y 및 Z. 도 14B는 종래의 밀과 같은 수직 가공 센터의 축에 대한 하나의 일반적인 종래 명칭을 유사하게 도시한다. 이 경우 수직 축을 Z축이라고 하며, X축과 Y축은 직교하고 Z축에 수직인 평면을 정의한다.

[1047] 도 15A 및 15B: 모션 축에 대한 포지셔닝 오차 구성요소

[1048] [1066] 도 15A-B는 다축 기계의 각 동작 축에 대해 존재하는 6개의 오차 구성요소를 예시한다. 도 15A는 선형 축에 대한 오차 구성 요소를 나타내고 도 15B는 회전 축에 대한 오차 구성 요소를 나타낸다.

[1049] 도 16: 단조, 가공 및 구부러진 특징을 갖춘 후크; 측면 및 정면도

[1050] 도 16은 전통적인 개별 기계를 사용하여 제조하기 어렵거나 비용이 많이 들지만 단조, 벤딩 및 가공 기능을 포함하는 SCOFAST 기계를 사용하여 쉽고 저렴하게 제조되는 간단한 부품의 측면도 및 정면도를 보여준다. 부품은 후크 바디의 균일한 직경("기본 직경")을 가진 내부 곡선 [2]과 외부 곡선 [3]을 가진 나사 후크, 베이스 직경보다 약간 작은 나사산 샤프트 [5], 한 치수는 베이스 직경보다 크고 다른 치수는 가늘어지는 치즐 노즈(chisel nose)[1], 전체 길이를 따라 베이스 직경보다 방사상으로 더 큰 플레어형 베이스 플랜지[4]이다. 도 16은 관련

참조 번호로 표시된 바와 같이 다음 구성요소를 예시한다:

[1051] [1] 치즐 노즈

[1052] [2] 후크 바디의 내부 곡선

[1053] [3] 후크 바디의 외부 곡선

[1054] [4] 플랜지

[1055] [5] 나사산 샤프트

[1056] 도 17: 온도 및 변형률 에 따라 Ti-6Al-4V 합금에 대해 측정된 응력-변형률 $\dot{\varepsilon}$ 곡선

[1057] 다양한 온도 및 변형 속도 범위에 걸쳐 상업적으로 가장 중요한 티타늄 합금에 대해 실험적으로 측정된 응력-변형률 곡선이 도 17에 도시되어 있다. 이와 같은 곡선은 형성될 각 재료에 대해 경험적으로 측정된다. 수행할 각 작업에 대해 SCOFAST 기계의 구성을 허용하고 다양한 작업에 맞게 SCOFAST 기계의 설계를 알립니다. 이 자료는 Gao et al., 2018에서 나온 것이며 여기에 참조로 포함되어 있다.

[1058] 도 18: 초당 25의 높은 변형률에서 변형된 Ti-6246에 대해 측정된 응력-변형 곡선

[1059] 도 18은 단일 변형 속도에서 온도 범위에 걸쳐 측정된 중요한 티타늄 합금에 대한 경험적 응력-변형 곡선을 보여준다.

[1060] 도 19: 재료에 대한 응력-변형률 다이어그램

[1061] 도 19는 일반적인 응력-변형 다이어그램이다. 수직 축은 수평 축에 신장 또는 압축(변형)을 생성하는 힘(응력)이다. P는 비례 한계이다. E는 영구 변형이 지속되는 탄성 한계이다. Y는 항복점이며, 그 이상에서는 응력이 약간 증가해도 소성 성형이 크게 증가한다. F는 파괴점이다.

[1062] 도 20: 단조의 장비 변수 및 공정 변수

[1063] SCOFAST 기계의 성능 요구 사항 및 사양을 설명하는 기계 변수와 제조 공정 사이의 상호 관계 중 일부가 도 20에 도시되어 있다.

[1064] 도 21: 라벨링된 축을 갖는 예시적인 대체 SCOFAST 포친 지오메트리

[1065] 다축 제어 및 활성 툴링을 갖는 바람직한 예시적인 SCOFAST(포친(Forchine)) 기계 지오메트리가 도 21에 도시되어 있다.

[1066] 도 22: 필라멘트 압출 메커니즘

[1067] 도 22는 용융된 재료를 압출하기 위해 가열 헤드를 통해 바 또는 필라멘트를 공급하는 메커니즘을 예시한다. 도 22는 관련 참조 번호로 표시된 바와 같이 다음 구성요소를 예시한다:

[1068] [1] 필라멘트 베어링 롤러

[1069] [2] 필라멘트

[1070] [3] 필라멘트 구동휠

[1071] [4] 구동휠 메인기어

[1072] [5] 스테퍼 모터 기어

[1073] [6] 스테퍼 모터

[1074] [7] 히팅 헤드

[1075] [8] 액상 필라멘트가 압출되는 모습

[1076] 도 23: 일반적인 베어링 유형의 예

[1077] SCOFAST 기계 내에서 요소의 회전을 허용하면서 힘을 분배하고 전달하는 데 유리하게 사용될 수 있는 여러 일반적인 베어링 유형의 예가 도 23에 도시되어 있다.

[1078] **시스템 및 방법의 장점**

[1079] 시스템 및 방법의 장점은 부품 제조 시 여러 가지 다른 작업이 서로 다른 작 업 기계에서 수행되어야 할 때마다 발생하는 수많은 오랜 문제를 완화하는 역할을 하기 때문에 통상의 기술자에게 명백할 것이다.

[1080] 두 개의 서로 다른 독립적인 기계 사이에서 이동된 작업물에 대해 두 가지 작업이 수행될 때, 생성된 작업물 특징은 각도 오류 및 포함된 축의 수에 비례하여 누적되는 기타 지오메트리적 오류와 함께 동심도, 동축성, 공선성의 손실을 변함없이 나타낼 것이다. 작업이 두 개의 독립적인 기계에서 수행되지 않고 대신 SCOFAST 기계에 통합되면 다양한 기계 요소가 공통 작업 공간 내에서 정렬 및 교정되고 해당 작업 공간 내의 결정적인 위치와 방향에서 공통 작업 홀더에 고정된 작업물에 작용한다. 후자의 경우 결과는 적어도 작업 전반에 걸쳐 충족될 수 있는 정밀도에서 다를 수 있다. 무엇보다도 동축성이 보장되므로 동심도 오차를 최소화할 수 있다. 제조된 부품을 주의 깊게 측정하고 검사하면 SCOFAST 기계 내에 통합된 작업을 통해 만들어진 부품과 다른 기계에서 별도로 수행된 독립적인 작업을 통해 만들어진 부품을 구별할 수 있다.

[1081] SCOFAST 기계 내에서 공간적으로 일관된 방식의 작업 조합은 모든 요소의 결합(joint) 및 협력 액션으로 인해 새롭고 유용한 결과를 생성한다. 이 결과는 단순히 별도의 기여를 합산하는 것이 아니다: 관련 작업이 함께 통합되어 향상된 공간적 일관성, 향상된 시간적 제어(작업이 더 빠른 순서로 수행될 수 있음) 및 향상된 환경 균일성을 달성하는 방식으로 수행된다. SCOFAST 기계의 중요한 작업 결합(union)은 결합의 산물인 특정 결과를 가능하게 하며 작업이 결합되지 않으면 달성할 수 없다.

[1082] 주요 장점은 정밀 부품이 단일 결합 작업 세트에서 함께 단조 및 가공될 수 있을 때 전체 제조 비용이 절감된다는 점이다. 이는 2차 작업을 위해 부품이 분리되어 다른 부품으로 이동되지 않고 공간적으로 일관된 맥락에서 지속적으로 유지되기 때문에 정밀도를 유지하기 때문이다. 부품 특징은 추가로 증착, 단조 또는 기타 방식으로 성형한 다음 완전히 완성된 상태로 가공하고 마감한 다음 최종적으로 통합된 단일 SCOFAST 기계에서 모두 검사할 수 있다.

[1083] 또 다른 장점은 부품 형상을 가공하고 마감하기 전에 더 큰 치수로 단조할 수 있기 때문에 낭비가 줄어든다는 것이다. 이를 통해 가장 큰 단조 형상 치수보다 훨씬 작은 재료 스톡(material stock)을 사용할 수 있다. 따라서 제거해야 하는 폐기물의 양은 완전히 가공을 통해 만들어야 하는 부품에 비해 훨씬 줄어든다. 이 경우 스톡은 완성된 부품의 가장 큰 치수를 초과해야 하고 나머지는 모두 잘라내야 한다.

[1084] 또 다른 장점은 다른 유형의 각 추가 작업을 수행하기 위해 더 이상 한 기계에서 부품을 제거하고, 다른 기계로 운반하고, 로드하고, 재인덱싱할 필요가 없기 때문에 별도의 기계를 사용하여 제조하는 것에 비해 노동 및 장비 비용이 절감된다는 점이다. 게다가 기계 수가 적다는 것은 비용과 시간이 많이 소요되는 기계 설정이 줄어든다는 것을 의미한다. 특히 여러 기계를 작동하기 위해 추가 기계 운영자가 필요한 경우 인건비의 전반적인 절감 효과가 클 수 있다.

[1085] 또 다른 장점은 공간적 일관성(여러 다양한 작업에 걸쳐 부품의 정밀한 3차원 정렬 및 등록)이 실제로 달성 가능한 것보다 더 높은 수준으로 유지되고 작업물과 툴링이 그대로 유지되기 때문에 추가 노력 없이도 유지된다는 점이다. 단일 SCOFAST 기계 내에서 단일 작업/기계 설정 내에서 작업이 완료된다.

[1086] 또 다른 장점은 1차 기계의 작업물 정렬과 일치하도록 2차 기계의 올바른 공간 정렬을 설정하고 유지하는 것과 관련된 비용 및 어려움을 피할 수 있다는 것이다. 이러한 장점은 정렬 및 등록을 유지 관리하기 위해 기계 전반에 걸쳐 공간 위치 및 작업 홀딩을 허용하거나 촉진하기 위한 특수 기준 기능의 추가 및 후속 제거와 같이 훨씬 더 많은 비용과 어려움을 추가할 수 있는 이국적인 작업 홀딩 기술이 필요한 시나리오에서 특히 중요하다.

[1087] 또 다른 장점은 다양한 작업을 위해 작업물을 기계에서 기계로 이동함으로써 만들 수 없는(또는 경제적으로 실행 가능한 방식으로 만들 수 없는) 특정 부품을 제조할 수 있는 능력이다.

[1088] 또 다른 장점은 기계마다 일치하는 온도를 설정하기 위한 특별한 절차 없이 작업이 균일하거나 균일하게 변화하는 온도에서 빠르게 연속적으로 수행될 수 있다는 것이다.

[1089] 또 다른 장점은 작업 사이에 위험할 정도로 뜨거운 부품을 한 기계에서 다른 기계로 이동할 필요가 없다는 점이다.

[1090] 또 다른 장점은 작업물이 다른 기계로 이동하는 조건으로 온도를 변경하거나 전환 중에 온도를 변경할 때 발생하는 치수 변화를 방지한다는 것이다. 이러한 치수 및 정렬의 열적 변화는 두 번째 작업을 수행하기 전에 고려해야 하며, SCOFAST 기계 내에서 작업이 빠르게 연속해서 함께 수행될 때 피하거나 완화되는 복잡성, 비용 및

낭비를 추가해야 한다.

[1091] 또 다른 장점은 후속 가공을 어렵게 만들고 불가능할 정도로 비용이 많이 드는 경화를 초래하는 원치 않는 냉각을 방지하는 것이다.

[1092] 또 다른 장점은 작업물이 작업 사이에 제 위치에 유지되기 때문에 더 높은 공차를 달성할 수 있다는 것이다. 부품 재배치가 필요한 각각의 추가 작업은 작업 간 인덱싱 또는 부품 재배치의 작은 오류로 인해 달성 가능한 공차를 줄인다.

[1093] 또 다른 장점은 핸들링이 줄어들기 때문에 오류가 줄어들고, 낭비로 인한 가치 손실과 검사 실패가 줄어드는 점이다. 부품을 처리해야 할 때마다 오류 위험이 증가하고 낭비로 인한 가치 손실과 품질 측정 실패도 그에 따라 증가한다.

[1094] 또 다른 장점은 기계 전체의 공간적 일관성 손실로 인한 미묘하고 가변적인 오류를 방지하여 검사 비용을 줄일 수 있다는 점이다. 이러한 오류는 표면적으로는 올바른 것처럼 보이는 부품으로 나타날 수 있으므로 특히 유해하며 모든 부품에 대해 더 높은 수준의 검사가 필요하다.

[1095] 또 다른 장점은 오류가 줄어들기 때문에 검사에 실패한 부품을 다시 제작할 필요성이 줄어든다는 점이다. 두 번 제조해야 하는 부품은 계획보다 두 배의 시간, 노동력, 자재를 소비하게 되므로 상당한 비용 절감 효과가 있다. 재제조 시 완전히 새로운 기계 설정이 필요하고 예정된 다른 작업이 중단되고 상당한 경제적 영향을 미칠 수 있는 파급 효과가 발생하는 경우 추가 비용 절감 효과가 있다.

[1096] 또 다른 장점은 SCOFAST 기계에서 수행되는 작업이 단조, 압력 또는 업스터와 같은 전용 장비를 수용하기 위해 상당한 양의 바닥 공간을 필요로 하기 때문에 제조에 필요한 바닥 공간의 감소이다.

[1097] 또 다른 장점은 가열된 금속 부품이 단일 기계 내에 남아 있기 때문에 제조 용량 밀도가 증가하는 반면, 별도의 기계 사이에서 가열된 금속 부품을 이동하려면 추가적인 격리 거리가 필요할 수 있다는 것이다.

[1098] 또 다른 장점은 가열된 금속 부품이 단일 기계 내에 유지되는 반면, 별도의 기계 사이에서 가열된 금속 부품의 이동에는 특별한 안전 조치가 필요할 수 있으므로 특별한 안전 조치의 필요성이 감소한다는 것이다.

[1099] 또 다른 장점은 모든 작업이 단일 기계 내에서 발생하기 때문에 단조 및/또는 기타 성형 작업이 작업물에 대해 추가로 수행된다는 사실에도 불구하고 친숙한 적층 또는 절삭 제조 작업 플로우가 유지될 수 있다는 것이다. 가공 또는 3D 프린팅 작업 플로우에 별도의 단조 및 성형 장비를 추가하면 더 복잡하고 비용이 많이 드는 새로운 작업 플로우가 발생한다.

[1100] 또 다른 장점은 두 가지 다른 유형의 작업 사이의 반복적인 교번을 요구하는 여러 단계를 수행해야 하거나 많은 다른 유형의 작업을 다른 순서로 수행해야 할 때 추가되는 물류적 어려움을 방지할 수 있다는 점이다. 어떤 경우에는 그 장점이 부품이 엄청나게 비쌌을 때 부품을 경제적으로 실현 가능하게 만드는 데 충분한다.

[1101] 또 다른 장점은 근본적으로 다른 유형의 작업이 별도의 개별 기계에서 수행될 때 비용, 위험 및 복잡성을 높이는 많은 요인을 피하거나 최소화하면서 공간적으로 일관된 단일 기계 내에서 작업물에 대해 근본적으로 다른 유형의 여러 작업을 수행할 수 있는 능력이다.

[1102] 또 다른 장점은 높은 인성과 높은 가공 경화 경향으로 인해 전통적으로 가공이 어려운 것으로 간주되었던 고가치 합금을 가공하는 능력이 향상되었다는 것이다. 동일한 기계 내에서 공간적으로 일관된 방식으로 다양한 유형의 여러 작업을 수행할 수 있는 능력으로 인해 SCOFAST 기계에서 많은 까다로운 합금을 쉽게 가공할 수 있다.

[1103] 또 다른 장점은 성형이 가공과 통합될 때 성형이 부품의 치수를 증가시킬 수 있기 때문에 재료 낭비가 감소하는 반면, 순수 절삭 제조에서는 가장 큰 완성된 부품의 특성을 수용할 수 있을 만큼 충분히 큰 원래 치수를 갖는 작업물에서 폐기물을 제거해야 한다는 것이다.

[1104] 또 다른 장점은 별도의 기계로 제조하는 것에 비해 더 높은 공차와 증가된 일관성을 지닌 제조된 부품의 품질이 더 높다는 점이다.

[1105] 또 다른 장점은 노동력을 더욱 효율적으로 사용할 수 있다는 점이다.

[1106] 또 다른 장점은 더욱 일관된 생산이다.

[1107] 또 다른 장점은 경제성이 있는 범위 내에서 제작할 수 있는 부품의 개수와 종류가 증가한다는 점이다.

[1108] 또 다른 장점은 공진 감소 및 이동 관련 오류(백래시(backlash)로 인한 오류, 오버슈트, 추종 오류(following error), 링잉(ringing), 도구 마모, 열팽창, 부하, 관성 등을 포함)를 줄이기 위한 다른 방법이 응용 프로그램에 적용될 수 있다는 것이다. SCOFAST 시스템에서 수행되는 작업 전반에 걸쳐 일관된 방식을 사용한다.

[1109] 또 다른 장점은 이전에 분리된 기능이 단일 멀티 태스킹 기계에 결합될 수 있을 때 경제적, 기술적 장점이 모두 발생할 수 있다는 것이다.

[1110] 또 다른 장점은 동일한 기계 공간 기준을 사용하여 다양한 유형의 여러 작업을 수행할 수 있을 때 고정 시간이 줄어들고 설계 공차가 더 쉽게 달성된다는 점이다.

[1111] SCOFAST 기계의 또 다른 장점은 일련의 작업을 자동화하는 능력이 향상되어 운송 및 체류 시간이 감소되고 부품 일관성이 향상되어 공정 제어가 개선된다는 점이다.

[1112] 또 다른 장점은 시스템 및 방법이 멀티 태스킹 밀-턴 기계, CNC 터닝 및/또는 가공 센터, 스위스형 CNC 기계, 또는 캠과 스위치로 제어되는 구형 터닝 또는 가공 장비 등 다양한 기존 기계에 개조될 수 있다는 점이다.

[1113] 시스템 및 방법의 또 다른 장점은 SCOFAST 기계의 많은 구성요소가 하나 이상의 기능적 역할을 수행하여 기능적 중복성을 줄이고 부품 제조에 필요한 전체 중량 및 공간 요구사항을 크게 줄이는 것이다. 궤도 플랫폼, 외계 위치(extraterrestrial locations) 또는 장거리 이동 행성 간(long-transit interplanetary) 또는 성간 환경(interstellar environments)과 같은 변형된 환경에서 무게와 부피의 감소는 매우 유리하거나 가능하게 할 수 있다.

[1114] 시스템 및 방법의 또 다른 장점은 동일한 기계 공간 참조를 사용하여 서로 다른 유형의 여러 작업이 수행될 수 있을 때 더 높은 ISO 허용 등급이 달성될 수 있다는 것이다.

[1115] 시스템 및 방법의 또 다른 장점은 일부 실시예에서 SCOFAST 기계가 기존 제조 작업 플로우에 쉽게 통합된다는 것이다.

[1116] 또 다른 장점은 SCOFAST 기계 내에서 다른 작업을 실행함으로써 특정 작업이 용이해질 수 있다는 점이다. 예를 들어, 가공 경화 및 과도한 도구 마모와 같은 문제로 인해 어려운 재료와 극단적인 크기로 작업할 때 로터리 브로칭의 유용성이 변형되었다. 그러나 로터리 브로칭 전에 항복 강도를 줄이기 위해 가공 센터 내에서 작업물을 가열하는 기능은 이 기술을 유리하게 사용할 수 있는 크기와 재료의 범위를 늘리는 동시에 다른 상황에서 속도를 높이고 도구 마모를 줄인다.

[1117] 또 다른 장점은 SCOFAST 기계 내에서 함께 수행되는 2개 이상의 작업이 개별적으로 수행되는 경우 일반 기능과 비교하여 작업의 기능을 변경하거나 향상시킬 수 있다는 것이다. 기계의 요소는 새로운 목적으로 사용될 수 있으며, 일반적인 목적 및 사용 방식과는 다른 새로운 방식으로 사용될 수 있다. 예상치 못한 방식으로 작동하여 고유한 결과를 생성할 수도 있다. 별도의 작업을 별도로 적용한 경우 얻을 수 없는 새로운 결과를 허용할 수 있다.

[1118] 향상된 기능성의 한 예에서, 일반적인 터닝 센터는 작업물의 소성 성형을 유발하여 초기 형상을 최종 형상으로 변경하기에 충분한 가압력을 가하거나 수용할 목적이 없다. 이러한 형성 액션을 수행하려면 하드웨어와 소프트웨어 모두 변경되고 최적화되어야 하므로 이는 단순한 기능 결합이 아니다.

[1119] 향상된 기능의 또 다른 예에서, 가공 센터 작업 홀딩 콜릿의 일반적인 목적은 앤빌(anvil) 또는 단조 다이의 한 면 역할을 포함하지 않다. 여기에 개시된 실시예에서, 터닝 및/또는 가공 센터 내에서 일반적으로 작업 홀딩 기능을 수행하는 콜릿은 원래 또는 일반적인 목적과 관련이 없는 새로운 목적을 위해 사용된다. 포친 콜릿은 이러한 고유한 목적을 달성하기 위해 맞춤화가 필요하거나 그로부터 이익을 얻을 수 있다; 예를 들어, 평탄성을 위해 표면을 연마할 수 있다; 콜릿에 대해 단조되거나 형성되는 재료의 표면으로 전달되는 오목하거나 돌출된 디자인을 가질 수 있다. 이는 다중 부분 다이의 일부를 형성하도록 형상화될 수 있다. 특수 재료로 제작하거나 취약한 부품이 보호되는 곳에 위치하도록 구성해야 할 수도 있다.

[1120] 다른 예에서, 열간 단조에 사용되는 요소는 작업물을 가열한 후 변형시키는 일반적이고 일반적인 의도된 기능을 갖는다. 본 명세서에 개시된 여러 실시예에서, 열간 단조에 사용되는 요소는 작업물을 물리적 형태로 일시적으로 배치하고 유지하는 새롭고 예상치 못한 추가 기능, 향상된 가공 민감성 상태, 그리고 그렇지 않은 경우 가공하기 어려운 금속인 것을 쉽게 가공하는 데 유리한 위치를 갖는다. 가열(단조 유무에 관계없이) 후에 가공 민감도가 향상된 상태는 작업물 재료의 냉각으로 인해 짧은 시간 동안 지속되며, 많은 경우 불리한 방식으로 재료 특성을 변경하지 않고는 재가열할 수 없다. 일부 실시예에서 티타늄 합금과 같은 고부가가치 합금에 수행되는

가공 작업은 가열 완료 후 또는 단조 작업 완료 후 10초 이내에 완료되어야 하며, 바람직하게는 3초 이내에 완료되어야 한다. 다른 실시예에서, 향상된 가공 민감성의 상태는 가공이 성형 작업 완료 후 2초 이내에, 바람직하게는 1초 이내에 완료되어야 할 정도로 짧은 지속 시간을 갖는다.

[1121] 다른 예에서, 티타늄 합금과 같은 특정 재료는 단조 중에 경화되며, 이는 스레드가 단조된 작업물 위로 롤링되는 것을 방지할 수 있다. 어떤 경우에는 필수 사양을 충족하기 위해 스레드를 일관되게 롤링하는 것이 물리적으로 불가능하다. 어떤 경우에는 과도한 도구 마모로 인해 경제적으로 가능한 방식으로 그렇게 하는 것이 불가능하다. 이러한 이유로 많은 제조 부품의 경우, 상업적으로 이용 가능한 유일한 단조 제품에는 롤링이 아닌 절단된 스레드가 있다. 우수한 재료 및 기계적 특성으로 인해 절단된 스레드보다 롤링된 스레드가 선호되는 경우가 많다. 단조 및 가공 요소가 SCOFAST 기계 내에서 결합된 실시예에서, 단조된 작업물이 향상된 가공 민감성의 단기 상태로 유지되는 동안 롤링이 발생하기 때문에 과도한 도구 마모 없이 단조된 티타늄 합금 작업물의 스레드 롤링이 가능하다. SCOFAST 기계 내의 요소 조합을 통해 이전에는 전혀 만들 수 없었던 부품을 제작할 수 있으며 이전에는 경제적으로 만들 수 없었던 특정 부품을 경제적으로 제작할 수 있다.

[1122] 많은 재료의 경우, 일단 확립된 강화된 가공 민감성 상태는 재료가 취성(embrittlement)을 유발하지 않고는 재가열될 수 없기 때문에 재생성되거나 연장될 수 없다. 이러한 경우 가공은 짧은 시간 내에 완료되어야 한다. 가열, 열간 단조 또는 기타 열간 성형 후 가공 민감도가 향상되는 기간은 사용된 재료 및 작업물의 크기를 포함한 여러 요인에 따라 달라진다. 일부 실시예에서 지속시간은 최대 60초이다. 일부 실시예에서 지속시간은 최대 30초이다. 일부 실시예에서 지속시간은 최대 10초이다. 일부 실시예에서 지속시간은 최대 5초이다. 일부 실시예에서 지속시간은 최대 4초이다. 일부 실시예에서 지속시간은 최대 2초이다. 일부 실시예에서 지속시간은 최대 1초이다. 일부 실시예에서 지속시간은 최대 0.1초이다.

[1123] 또 다른 장점은 SCOFAST 기계 내에서 단조 요소와 가공 요소가 결합된 실시예에서, 5등급 티타늄 합금 작업물을 단조한 다음 향상된 가공 민감성 상태에서 가공하여 다음을 갖는 나사 볼트를 생성할 수 있다는 점이다. 예를 들어, 도 4A에 표시된 볼트와 같은 육각형 헤드 및 롤링된 나사산. 이러한 방식으로 SCOFAST 기계에서 제조된 부품은 여기에 설명된 대로 다양한 요소가 결합될 때만 발생하는 예상치 못한 고유한 야금학적 및 기계적 특성을 갖는다. 이러한 속성은 새롭고 가치 있고 명확하지 않으며 통합된 요소가 조합되어 작동하는 결과를 제외하고는 존재하지 않다. 예를 들어, 표 X: 기존 방법에 비해 포친에서 제조한 Ti-6Al-4V 볼트의 재료 특성에 대한 예상치 못한 개선은 단조와 가공을 결합한 SCOFAST 기계(예: 포친)에서 제조된 부품이 작업이 결합되어 있으며 고유하게 발생하고 별도의 작업을 통해 동일한 볼트를 제조하는 경우에는 존재하지 않는 특성을 가지고 있음을 보여준다. 이 경우 예기치 않게 향상된 특성에는 볼트 플랫의 표면 경도 증가(20HRC에서 65HRC로), 실패 시 최소 토크 증가(137fp에서 146fp), 실패 시 평균 토크 증가(140fp에서 148fp로), 코발트 드릴의 관통에 대한 저항력 증가(20in-lbs에서 80in-lbs로)를 포함한다.

[1124] 통상의 기술자는 여기에 언급된 몇 가지 예 외에 많은 추가 장점을 인식할 것이다. 새로운 재료와 기술이 사용 가능해짐에 따라 시스템과 방법의 추가적인 장점도 마찬가지로 분명해질 것이다.

[1125] **실시예**

[1126] 예를 들어, 다양한 크기, 모양, 지오메트리, 온도, 힘 및 재료가 지정될 수 있지만, 이는 어디에서나 예시로서만 제공되는 것이다. 개시된 시스템 및 방법은 임의의 재료, 임의의 크기, 형상 및 재료의 구성, 임의의 기계 구성, 임의의 지오메트리를 갖는 기계 및 작업물에 동일하게 잘 적용될 수 있다. 어떤 온도에서도 어떤 힘을 사용해도 작업을 수행할 수 있다.

[1127] 일반적으로 기술된 공정과 주어진 각각의 특정 예에서 기술된 공정은 본 명세서에 기술된 특정 물질, 작업물, 기판에 변형되지 않고 오히려 각 공정과 각 예가 변형된다는 것이 통상의 기술자에게 명백할 것이다. 현재 존재하는 것뿐만 아니라 미래에 발견되거나 발명될 수 있는 물질을 포함하여 모든 물질 또는 물질의 조합을 포함하는 상황으로 일반화될 수 있다. 여기에 설명된 기술과 공정은 기판과 무관하며, 힘 및 에너지 프로파일, 힘/에너지 적용 단계, 변형 단계, 가공 단계, 적층 단계, 변형 단계 등의 세부 사항이 세부적으로 다를 수 있지만 기본 SCOFAST 기계 내에서 공간적으로 일관된 방식으로 수행되는 일련의 작업으로 이들을 결합하는 시스템 및 방법은 여기에 설명된 것과 동일하다.

[1128] **바람직한 실시예**

[1129] SCOFAST 기계의 바람직한 실시예는 변형 작업(열 조작 및/또는 화학적 처리를 사용한 인성 처리)을 수행하는 다른 기계 요소와 함께, 절삭 작업(터닝 및 가공)을 수행하는 기계 요소와 결합된 가열 작업(예: 유도 가열) 및

성형 작업(예: 열간 다이 단조)을 수행하는 기계 요소를 포함하는 "포친"이다. 이 실시예의 예는 티타늄 볼트 제조를 위한 SCOFAST "포친" 실시예를 보여주는 도 3A, 3B, 3C, 3D, 3E에 도시되어 있으며, 이는 도면의 설명과 여기에 제공된 설명을 참조하여 이해될 것이다. 나사 또는 볼트의 생크를 바스톡에서 돌려서 나사산을 만들고 헤드를 현장에서 단조하고 그 부품을 토크와 장력 하에서 표면 인성과 파손에 대한 저항성에서 크게 향상을 위해 열처리 및 화학적으로 처리하는 정확한 방법을 포함하여 이러한 기계 사용의 구체적인 예가 공개되어 있다. 이러한 방식으로 작업 홀딩 장치에서 부품을 제거하지 않고도 단일 작업으로 처음부터 끝까지 성능이 향상된 나사 또는 볼트가 만들어진다.

[1130] 본 실시예는 바스톡 공급기로부터 공급된 바스톡이 자동으로 인성(toughness)를 위해 단조, 가공 및 처리되도록 구성된 기계를 포함한다. 바가 가열된 후 후속 작업 전반에 걸쳐 공간적 일관성이 유지되므로 특정 패스너의 제조 비용이 크게 절감된다. 스핀들 축, 단조 축 및 가공 축 사이의 동일 선상 회전 축으로부터의 편차는 결합된 가공 및 단조 작업 공간의 전체 길이에 걸쳐 인치당 약 .0005인치 이내, 바람직하게는 인치당 약 .0001인치 이내로 유지된다.

[1131] Ti-6Al-4V 5등급 티타늄 합금 및 기타 고강도 티타늄 합금은 어닐링된 상태에서도 높은 강도로 인해 제조에 사용하기 가장 어려운 재료 중 하나이다. 높은 실온 항복 강도(138,000psi 이상), 상대적으로 낮은 열 전도성, 높은 항복 전 연신율(high elongation before yield), 상대적으로 높은 경도가 결합되어 냉간 성형 및 가공이 특히 어렵다. 급속한 가공 경화 경향은 어려움을 악화시킨다. 바람직한 실시예에 따라 수행되는 일련의 작업은 나사 및 볼트를 제조하기 위한 시스템 및 방법의 사용을 예시한다. 결합된 작업을 통해 물리화학적 처리를 통해 향상된 재료 특성을 갖고, 가열, 단조, 가공을 포함하는 일련의 작업 및 기타 제조 작업을 통해 공간적으로 일관된 방식으로 단일 SCOFAST "포친" 기계에서 자동으로 제조된 단조 육각형 헤드가 완성된 5등급 티타늄 볼트가 탄생되고, 그 작업물은 작업 홀더에서 제거되지 않았다. 그 방법은 먼저 자유 형식으로, 그리고 다시 도 2 및 도 3을 참조하여 두 번 설명된다.

[1132] 임의의 금속(이 실시예에서는 바람직하게는 5등급 티타늄)의 원통형 바스톡이 자동 바 공급기로부터, 결합된 단조-가공 센터(이하 "포친")를 포함하고, 엔진에 의해 구동되고 회전 스핀들의 중심과 이 스핀들에 고정된 콜릿을 통해 통과하는 SCOFAST 기계로 공급될 때 사이클이 시작된다. 바스톡은 길이에 따라 인덱싱되며 바스톡의 일부("작업물")가 콜릿 전면의 작업 영역으로 돌출된 콜릿으로 고정된다. 가공 작업은 작업물을 마주보고 제조 중인 볼트 또는 나사에 적합한 크기로 변형한다. 변형 작업은 콜릿에 인접한 작업물의 세그먼트에 열 에너지를 추가하고, 이 에너지는 유도 코일을 통해 전달되고, 유도 코일은 자동으로 가열 위치로 이동되고 가열이 완료되면 수축된다.

[1133] 이 제품의 경우 생산 설계에서는 역업셋(reverse upset)이 필요하다. 즉, 성형이 바의 중앙에서 수행되어 코일이 콜릿에 인접한 바를 둘러싸는 위치로 이동한다는 의미이다. 코일 내의 작업물의 세그먼트는 단조되는 금속 합금, 단조 다이의 크기, 단조 속도 및 단조에 사용할 수 있는 힘의 양에 따라 달라지는 온도로 가열된다. 본 실시예에 설명된 바와 같이 업셋 단조되는 티타늄 합금의 경우, 온도는 바람직하게는 약 550℃ 내지 약 1350℃ 범위, 가장 바람직하게는 약 850℃ 내지 약 950℃ 범위일 것이다. 단조 다이가 작업물 샤프트 위로 이동하고 작업물 샤프트의 소성 성형을 닫힌 다이 안으로 유도할 만큼 충분한 힘으로 콜릿에 대해 작업물을 압축하여 작업물에 볼트 헤드를 형성하는 업셋 단조 작업이 수행된다.

[1134] 단조 다이가 콜릿에 대해 가해지는 힘은 단조의 돌출 면적, 금속 막대가 가열되는 온도, 단조 작업의 변형률 및 마찰로 인한 손실에 따라 달라지고, 명세서의 다른 부분에 기술된 바와 같이 계산되거나 추정될 수 있다. 변형률은 소성 성형이 발생하는 속도에 따라 결정된다. 주어진 변형율에 대해 힘은 재료의 항복 강도와 다이의 마찰력을 극복하기에 충분해야 하며 SCOFAST 기계의 힘 전달 용량 내에 있어야 한다. 원하는 항복 강도(또는 주어진 온도에서의 항복 강도)를 달성하기 위해 작업물을 가열해야 하는 온도는 표 IV에 표시된 방정식을 사용하여 추정하고 주어진 작업에 대해 경험적으로 테스트한다.

[1135] 이 실시예에서 콜렛은 단조 온도로 가열된 작업물을 홀드하고 콜렛 시스템은 과도한 마모 없이 결과적인 열 하중과 단조 힘을 견딜 수 있어야 한다. 다양한 적합한 콜릿 시스템을 사용할 수 있다. 일반적으로 엘라스토머가 필요하지 않은 콜릿 시스템이 선호되지만 콜릿 시스템에 엘라스토머 구성 요소가 포함되어 있으면 고온 엘라스토머가 선택될 수 있다. 약 100℃ 내지 500℃, 바람직하게는 약 200℃ 내지 약 300℃ 범위의 온도를 견디는 적합한 엘라스토머가 이용가능하다. 바람직한 해결책은 도 5A의 위치 [1]에서 스핀들 테일 뒤에 장착된 데드 길이 유형 콜릿 클로저(dead-length type collet closer)(업계에 잘 알려진 것과 같은)이다. 이 실시예에서 이러한 배열은 콜릿을 닫기 위해 드로우 튜브가 스핀들을 통과하면서 활성 메커니즘과 콜릿 면 사이에 약 20인치의 분

리를 초래한다. 이 실시예에서 콜릿 및 콜릿 척은 약 0.7% 내지 약 1.5%의 탄소 함량을 갖는 도구강으로 선택되며, 이는 스프링강으로 경화 및 템퍼링된다. 실제로 작업물의 열 질량은 낮고 콜릿의 열 질량은 높으므로 열 전달 양은 온도를 우려할 수준으로 높이는 데 충분하지 않다. 더욱이, 이 실시예에서는 노출 시간이 매우 짧다. 마지막으로, 가공유(machining fluid)는 과도한 열을 빠르게 제거하는 냉각수 역할을 한다.

[1136] 이 실시예에서 콜릿 면은 닫힌 다이의 베이스 역할을 하며 단조력은 콜릿을 통해 스핀들과 스핀들 베어링으로 전달되며, 이러한 힘을 수용하고 이들의 마운트를 힘을 수용하고 변형과 진동에 충분히 저항하여 제조되는 부품의 설계 공차를 유지할 수 있을 만큼 충분히 무겁고 견고한 포친 프레임에 전달할 수 있는 크기와 유형을 갖는다.

[1137] 화학적 혼합물이 작업물에 적용되는 변형 작업이 수행되며, 상기 혼합물은 냉각되면서 뜨거운 티타늄과 결합되어 부품의 표면 경도 및 벌크 인성이 증가된다. 사용되는 화학 혼합물은 원하는 재료 변형에 따라 달라진다. 이 실시예에서, 뜨거운 티타늄에 적용되는 혼합물은 바람직하게는 이전에 개시된 바와 같이 구성된 강화액(Toughening Flu)이다. 강화액은 약 5 PSI 내지 약 50 PSI, 바람직하게는 약 12 PSI 범위의 압력 및 분당 약 1 리터 내지 약 10 리터, 바람직하게는 분당 약 3.8리터 범위의 유속으로 도구-작업물 경계면으로 전달된다.

[1138] 작업물에 릴리프 세그먼트(relief segments)를 생성하기 위해 가공 작업이 수행된다. 원하는 피치의 나사산을 작업물의 샤프트에 롤링(roll)하기 위해 또 다른 가공 작업이 수행된다. 추가 가공 작업은 모따기(chamfers) 및 기타 가공 특성을 추가한다. 청소 작업에서는 작업물에서 절삭유, 컨디셔닝 처리에 사용되는 화학 물질 및 잔해물을 제거한다. 선택적 측정 작업을 통해 완성된 볼트가 사양 내에 있는지 확인한다. 콜릿이 열리고 바스톡(볼트가 부착된 상태)이 컷오프 인덱스로 전진된다. 가공 작업에서는 완성된 볼트를 컷오프하고 그 과정에서 볼트 헤드를 향하게 한다. 작업이 완료된 후 부품-핸들링 작업에서는 완성된 볼트를 받아 복합 부품 조립, 2차 검사 또는 포장과 같은 원하는 후속 목적을 위해 이를 캐리어로 옮긴다.

[1139] 본 바람직한 실시예는 포친의 단지 하나의 실현된 예를 나타내고, 이러한 결합된 단조-가공 센터의 특정 지오메트리 및 원동력은 단지 예시적이라는 것이 이해될 것이다. 동일한 기능적 기계 요소는 선형 액츄에이터 또는 기타 유형의 구동 엔진에 의해 전달되는 원동력 및 단조력을 사용하여 도 21에 도시된 것과 같은 다른 선호되는 지오메트리 또는 기타 지오메트리를 사용하는 기계에서도 동일하게 구현될 수 있다.

[1140] 포친에서 단조 및 가공을 통해 Ti-6Al-4V 나사형 티타늄 볼트를 제조하는 방법은 도 2의 모듈식 공정 다이어그램과 도 3에 표시된 해당 라벨링된 기계 요소를 참조하여 자세히 설명한다.

[1141] 1. 제어 모듈

[1142] 제어 모듈 [1]은 볼트 제조의 새로운 주기를 시작한다. 이 예에서 제어 모듈은 모니터링, 프로그래밍 및 공정 제어를 위한 유선 및 무선 통신과 함께 각 기계 요소의 액션을 제어하는 아날로그 제어와 디지털 제어의 혼합으로 구성된 기계 컨트롤러이다.

[1143] 2. 원재료 공급

[1144] 둥근 Ti-6Al-4V 티타늄 바 [3]는 바 피더 [2]에 의해 기계의 헤드스톡 [5], 작업 홀딩 스핀들 [4] 및 작업 홀딩 스핀들 콜릿 [9]을 통해 밀려난다.

[1145] 3. LIMIT 인덱싱

[1146] 터렛 보닛 [13]이 회전하여 인덱싱 스톱으로 구성된 원하는 도구 [12]를 위치로 가져온다. 터렛 슬라이드 [14]는 헤드스톡을 향해 사전 설정된 위치로 앞으로 이동한다. 콜릿이 이완되고 바 피더는 도 3B에 표시된 대로 인덱싱 스톱과 접촉할 때까지 티타늄 바를 전진시킨다. 그런 다음 터렛은 다른 사전 설정 위치로 전진하며 끝이 다음 일련의 작업에 적합한 인덱싱 위치로 이동될 때까지 바는 콜릿 안으로 다시 밀려 들어간다. 콜릿이 닫혀 바가 제자리에 고정된다.

[1147] 4. 작업 홀딩

[1148] 작업 홀딩 스핀들 콜릿은 바에 단단히 고정되어 모든 성형 및 가공 작업 중에 바를 안전하게 고정한다. 스핀들과 콜릿은 제어 모듈에 의해 조절되는 속도로 바를 회전시킨다.

[1149] 5. 보조 재료 핸들링

[1150] 냉각수, 윤활제, 처리유체 역할을 하는 가공유체는 가공유체 펌프[26]에 의해 호스와 노즐[11]을 통해 펌핑되어

콜릿에서 돌출된 바 부분 위로 전달된다. 가공유는 수집 트레이[20]에 수집되어 회수 및 재활용 시스템[25]에서 처리된다.

[1151] 6. 절삭가공

[1152] 6.1. 상단 도구 포지셔너 [6]는 절단 도구 [8]를 바쪽으로 이동시키고 바 끝 부분을 정사각형으로 가공한 후 후퇴하여 바 끝 부분을 부드럽게 가공된 면으로 남긴다.

[1153] 6.2. 전면 크로스 슬라이드 [17]는 절단 도구 [31]를 바쪽으로 이동시키고 바 끝에 모따기를 가공한 후 후퇴한다. 이 모따기의 크기는 모따기가 바 끝 부분에 가열 메커니즘을 안내하고, 단조 다이를 바에 중심에 두고, 추가적인 원주 가공 툴링을 바에 중심에 두고, 완성된 볼트에 대해 나사산 모따기를 제공하는 다양한 목적을 제공하도록 규제된다.

[1154] 7. LIMIT 인덱싱

[1155] 터렛 보닛이 다시 회전하여 인덱싱 스톱으로 구성된 원하는 도구를 위치로 가져온다. 터렛이 미리 설정된 위치로 이동한다. 콜릿이 이완되고 바 피더가 티타늄 바를 인덱싱 스톱과 접촉할 때까지 전진시킨다. 그런 다음 터렛은 다른 사전 설정 위치로 전진하고 바 끝은 다음 작업에 적합한 인덱스 위치로 이동된다. 콜릿이 닫혀 바가 제자리에 고정된다.

[1156] 8. 변형 동작

[1157] 상부 도구 포지셔너[6]는 유도 가열 코일[7]을 바 끝 부분에 배치하고 도 3C에 표시된 대로 바를 가열하기 위한 원하는 위치로 콜릿을 향해 전진시킨다. 유도 가열 시스템[22]은 코일에 전력을 공급하여 코일 내에 위치한 바 부분("가열 영역")의 온도를 높이는 동시에 스핀들[4]이 바를 천천히 회전시켜 균일한 열 분포를 보장한다. 가열 영역의 온도가 재료의 항복 강도를 생산 설계 사양에 정의된 실제 성형성 범위로 감소시킬 만큼 충분히 높아질 때까지 가열이 계속된다. 5등급 티타늄의 경우, 가열 후 온도는 약 800℃ 내지 약 1350℃ 범위, 바람직하게는 약 850℃ 내지 950℃ 범위, 보다 바람직하게는 약 900℃이다.

[1158] 9. LIMIT 인덱싱

[1159] 콜릿이 이완되고 터렛이 또 다른 인덱싱 정지와 함께 앞으로 이동하여 콜릿 내부의 가열 구역의 작은 부분과 콜릿에서 돌출된 가열 구역의 나머지 부분을 사용하여 바를 다음 위치로 밀어낸다. 이는 다이에 의해 형성되는 모든 재료가 필요한 온도와 항복 강도를 유지하도록 보장한다. 콜릿이 닫히고 바가 제자리에 고정된다. 이 인덱싱 위치는 콜릿에서 나오는 재료의 양을 설정하며, 이는 성형 다이의 총 부피와 일치해야 한다. 이 예의 경우 생산 설계에서는 역방향 업셋이 필요하다. 즉, 성형이 바 끝이 아닌 중앙에서 수행된다는 의미이다. 이러한 이유로 바는 볼트의 전체 길이에 헤드를 형성하는 데 필요한 재료의 양을 제공하기에 충분한 양만큼 돌출된다. 다이는 볼트의 샤프트와 바의 가열된 부분에서 단조될 헤드를 고정한다.

[1160] 10. 성형작업

[1161] 수행할 성형 작업은 단조이다. 터렛 도구 보닛은 도 3D에 도시된 바와 같이 단조 다이로 구성된 도구[12]를 제위치로 가져오기 위해 회전한다. 터렛 슬라이드[14]가 전진하여 단조 다이가 초당 약 3인치에서 초당 약 4인치의 속도로 콜릿을 향해 앞으로 이동한다. 중공형 다이는 작업물 바 위로 미끄러지며 바의 끝이 다이의 바닥에 닿을 때까지 계속 전진하여 에너지가 작업물에 충격을 전달한다. 터렛 슬라이드는 작업물 [32]의 가열 영역의 소성 성형을 유도하기에 충분한 압력으로 계속 전진하여 뜨거운 티타늄이 변형되어 다이로 흘러 다이 캐비티를 채운다. 터렛의 전방 스트로크가 끝나면 다이는 다이의 뒷면 역할을 하는 콜릿에 대해 캐비티를 완전히 닫는다. 가압력은 터렛 슬라이드 내에 있고 도구 터렛 베이스[15]에 고정된 피스톤 샤프트를 갖는 유압 실린더[14A]에 의해 터렛 슬라이드[14] 내에서 생성된다. 한 방향의 힘은 도구 터렛 베이스[15]와 터렛 캐리지[16]를 통해 베드와 프레임[19]에 전달된다. 반대 방향의 힘은 터렛 슬라이드 [14], 터렛 도구 보닛 [13], 다이 [12] 및 작업물 [3]을 통해 전달되고 콜릿 [9] 및 작업 고정 스핀들 [4]에 의해 전달된다. 작업 홀딩 스핀들은 도 5A, 5B 및 5C에 표시된 것처럼 성형 작업 중에 콜릿에 전달되는 힘을 견딜 수 있을 만큼 강한 베어링(예: 딥 칼라 볼 베어링 또는 스러스트 베어링)에 의해 매달려 있다. 스핀들 베어링과 스핀들 마운트는 단조력을 헤드스톡[20]으로 전달한 다음 베드와 프레임[19]으로 전달하며, 전체의 각 요소는 이러한 힘에 저항할 수 있는 충분한 강도로 설계되었다. 설명된 부품을 단조하는데 필요한 총 시간은 약 0.1초 내지 약 5.0초 범위, 바람직하게는 약 0.1초 내지 1.0초 범위이다. 단조 작업이 완료되면 유압 실린더 챔버의 플로우가 역전되어 다이가 후퇴되고 터렛 슬라이드가 도구 터렛 베이스로 부분적으로 후퇴된 홈 위치로 돌아간다.

[1162] 11. 변형작업

[1163] 성형 작업 후 다이가 후퇴함에 따라 강화 용액을 포함하는 가공 유체가 약 12PSI의 압력과 분당 약 1갤런의 속도로 뜨거운 성형된 작업물 위로 펌핑된다. 스핀들이 회전하기 시작하여 제어된 속도로 작업물을 균일하게 냉각한다. 가공유체의 유량과 온도는 원하는 대로 처리 매개변수를 조정하기 위해 조절된다.

[1164] 12. 절삭 작업

[1165] 작업물이 여전히 콜릿에 단단히 고정되어 있고 바람직하게는 약 200℃ 내지 약 1000℃ 범위, 더 바람직하게는 약 500℃ 내지 700℃ 범위의 높은 온도에 있는 상태에서, 볼트의 샤프트는 원하는 특징을 제공하도록 가공된다. 터렛 도구 보닛[13]에 장착된 도구, 전면 또는 후면 크로스 슬라이드[17, 27] 및/또는 상단 도구 포지셔너[6]를 사용하여 제품의 사양 및 공차를 조정한다.

[1166] 13. LIMIT 인덱싱

[1167] 가공이 완료되면 바는 컷오프 위치에 있는 다른 인덱싱 정지점으로 이동한다.

[1168] 14. 작업물 회수

[1169] 상부 도구 포지셔너[6]는 절단 도구[8]를 전진시켜 바스톡에서 제조된 볼트를 절단하는 동시에 도 3E에 표시된 대로 볼트 헤드 상단까지 마감 절단을 제공한다. 부품 회수 슈트 [33]가 배치되고 작업물이 슈트 안으로 떨어지고 포친에서 제거된다.

[1170] 주어진 예는 작업용 포친으로 구현된 SCOFAST 기계 시스템의 예와 함께 포친을 사용하여 유리하게 제조되는 실제 부품 및 방법이 적용되는 작동 단계를 설명한다. 이러한 세부 사항은 예시로만 제공된다. 통상의 기술자는 많은 다른 포친 기계 구성이 가능하며 유사한 일련의 작업이 다른 지오메트리와 다른 기계 요소를 갖는 포친에서 수행될 수 있다는 것을 인식할 것이다. 통상의 기술자는 또한 시스템 및 방법이 자동 원료 공급 또는 블랭크 자동 로딩 유무에 관계 없이 임의의 부품 및 임의의 재료에 동등하게 잘 적용될 수 있음을 인식할 것이다.

[1171] 본 실시예 및 예시에서, 포친은 공간적으로 일관된 방식으로 단일 기계에서 단조, 가공 및 기타 작업을 결합한다. 단조력은 작업 중인 재료를 단조하는 데 충분한 힘을 전달할 수 있어야 하는 구동 도구 헤드에 의해 제공된다. 단조는 단조될 볼트의 정확한 영역을 일차적으로 가열하여 볼트 샤프트가 과도하게 열 경화되는 것을 방지하는 형상으로 형성된 유도 코일을 사용하여 소성 성형에 필요한 힘을 줄이기 위해 재료를 가열함으로써 촉진된다. 본 실시예에서 단조 다이 백 플레이트는 콜릿 자체로서 열과 단조 힘을 모두 견딜 수 있는 재질이어야 하며, 마찬가지로 단조 힘을 견디고 그 힘을 스핀들 마운트에 전달하여 포친의 프레임에 전달할 수 있는 스핀들 베어링이 있는 스핀들에 장착되어야 한다. 도 5A, 5B 및 5C는 스러스트 베어링을 추가하여 축방향 하중 용량을 증가시키기 위한 스핀들 변경의 예를 보여준다. 도 23은 SCOFAST 기계에 사용될 수 있는 대체 베어링 유형의 예를 보여준다.

[1172] 본 실시예에서, 이용 가능한 단조 에너지는 작업물과 충돌할 때 다이의 감속을 통해 작업물로의 초기 에너지 전달과 이어서 다이가 강제로 닫힐 때 나머지 거리에 걸쳐 작용하는 가압력을 포함한다. 초기 에너지 전달은 초기 충격을 통해 감속되는 도구, 도구 홀더 및 기타 요소의 질량 및 충격 전 속도에 따라 달라진다. 후속 에너지 전달은 유압, 공압, 전자기, 중력, 나사 구동 또는 기타 수단을 통해 포친에 의해 전달되는 가압력에 따라 달라진다.

[1173] 이 실시예에서 열은 재료의 항복 강도를 낮추어 성형을 촉진하는 데 사용된다. 일부 실시예에서 가열 및 단조되는 재료는 고강도 티타늄 합금이다. 열에 의해 항복강도가 감소될 수 있는 어떠한 재료라도 고강도 티타늄 합금을 대체할 수 있다는 것은 통상의 기술자에게 자명할 것이다. 적합한 재료에는 금속, 유리, 세라믹 및 플라스틱이 포함되지만 이에 국한되지는 않다. 원하는 항복 강도(또는 주어진 온도에서의 항복 강도)를 달성하기 위해 작업물을 가열해야 하는 온도는 표 IV에 표시된 방정식을 사용하여 추정하고 주어진 작업에 대해 경험적으로 테스트한다.

[1174] 주어진 예에서, 단조력은 닫힌 단조 다이의 후면 역할을 하는 콜릿에 의해 수용된다. 기계의 스핀들은 성형 작업 중에 작업물에 전달되는 힘을 견딜 수 있고 그에 따라 콜릿을 통해 스핀들에 전달되는 힘을 견딜 수 있는 무거운 깊은 홈 볼 베어링에 의해 제 위치에 고정된다. 볼 베어링은 단조력을 헤드스톡에 전달하며, 헤드스톡은 이러한 힘에 저항할 수 있을 만큼 충분한 강도로 설계되었다. 단면적이 0.6362평방인치인 Ti-6Al-4V 볼트 헤드의 경우 필요한 열간 단조 압력은 평방 인치당 약 1500~4,700파운드 범위이므로 스핀들과 베어링에 대한 선형 힘은 다이가 완전히 닫혔을 때 약 1000~3000파운드 또는 약 0.5~1.5톤의 범위이다. 도구 터렛의 운동량과 충격

을 통해 운동 에너지가 전달되는 속도에 따라 단조 충격 중 최대 힘이 이 값을 초과할 수 있다.

[1175] 다른 실시예에서 단조 부싱 또는 단조 플레이트는 콜릿과 단조 다이 사이에 위치할 수 있으며, 단조 부싱 또는 플레이트는 기계의 프레임에 어떤 방식으로 부착되거나 그 위치에서 안정화되어 단조력이 콜릿이 아닌 플레이트나 부싱에 의해 수용되고, 목적에 충분한 전용 기계 요소를 통해 기계 프레임으로 전달된다. 이러한 설계에서는 스핀들 베어링이 단조 및 압력 성형과 관련된 전체 축 하중을 수용하고 전달할 필요가 없다.

[1176] 단조력과 유압

[1177] 이 실시예에서 SCOFAST 기계는 단조 및 가공 모두에 사용되는 도구 터렛을 이동하기 위해 유압 액츄에이터를 사용하는 포친이다. 전기 구동 선형 액추에이터, 기계적 액추에이터, 또는 임의의 다른 유형의 액추에이터가 유압 액추에이터를 대체할 수 있다는 것은 통상의 기술자에게 명백할 것이다. 새로운 포친(Forchine de novo)를 설계하든, 포친을 만들기 위해 기존 가공 센터를 변경하든, 포친의 기능은 사용 가능한 단조/성형 힘에 의해 변형된다. 이 특정 실시예에서 단조력은 유압 실린더의 피스톤 헤드에 가해지는 유압에서 파생되며, 이는 공정에서 사용되는 온도와 속도에서 형성되는 재료의 소성 성형을 유도하고 유지하는 데 필요한 힘(플로우 응력)을 전달하기에 충분해야 한다. 단조 작업 중에 작업물의 투영 변형 면적(Aw)에 작용하는 단위 면적당 단조력(Pw)은 실린더 피스톤 헤드 면적(Ac)에 작용하는 실린더의 단위 면적당 유압력(Pc)과 동일하므로, Pw* Aw = Pc* Ac이다. 필요한 단조 크기에 대해 필요한 실린더 압력은 다음과 같이 계산된다: Pc = Pw * Aw / Ac. 또는 지정된 실린더 압력에 따른 최대 단조 돌출 크기는 다음과 같이 지정된다: Aw = Pc/Pw * Ac.

[1178] **주어진 단조 다이 크기에 필요한 유압**

[1179] 예를 들어, Ti-6AL-4V의 M20 볼트에 구조용 볼트 헤드를 950C의 온도와 초당 1의 변형률로 단조하려면(0.5초 만에 가열 영역을 50% 단축하는 업셋 단조), 관련 응력-변형 곡선은 도 17에서 참조되며 필요한 플로우 응력은 85Mpa 또는 평방 미터당 85000000뉴턴으로 결정된다.

[1180] ISO 미터식 구조 볼트의 육각형 헤드는 볼트 직경 D의 두 배인 최대(긴 대각선) 치수를 가지므로 측면 길이는 D이고 면적 A는 다음과 같다.

[1181] $$A = \frac{3}{2}\sqrt{3}\,D^2$$

[1182] 20mm 볼트의 경우 헤드의 돌출 단조 면적은 1039mm2 또는 0.001제곱미터이다. 필요한 힘은 필요한 플로우 응력(제곱미터당 85,000,000뉴턴)에 이 예상 단조 면적을 곱하여 85000뉴턴을 산출함으로써 구해진다. 그런 다음 이 힘을 포친 유압 실린더 피스톤의 면적으로 나누어 필요한 유압을 제공한다. 본 실시예에서 포친은 총 단면적이 0.002 평방미터인 두 개의 평행한 실린더를 가지며, 따라서 총 필요한 압력은 42.5 Mpa 또는 6527 PSI이다. 단조에 사용되는 다이의 복잡성에 따라 마찰력이 이를 증가시킬 수 있다. 온도가 높거나 변형률이 낮을수록 필요한 압력이 줄어들 수 있다. 또한 초기 충격 단계에서 단조 에너지의 일부를 운동 에너지로 전달함으로써 필요한 압력을 줄일 수도 있다.

[1183] **주어진 유압에 대한 최대 단조 다이 크기**

[1184] 또 다른 예에서, 총 도구 홀더 유압 실린더 면적이 0.002 평방 미터인 Hardinge DSMA 가공 터닝 센터의 설계를 기반으로 한 포친은 3000 PSI의 유압 단조 압력을 갖도록 구성된다. 단조할 수 있는 가장 큰 요소의 투영 면적은 기계 유압과 필요한 플로우 응력의 비율에 유압 실린더 면적을 곱하여 결정된다.

[1185] Ti-6Al-4V 작업물의 요소를 950C에서 초당 1의 변형률로 단조할 때 필요한 플로우 응력은 이미 12328.2 PSI에 해당하는 85 Mpa로 결정되었다. 기계 유압은 3000PSI이므로 이 온도와 변형률에서 단조될 수 있는 최대 투영 면적은 3000/12328 * .002 = 0.00048제곱미터 또는 0.73제곱인치이다. 최대 단조 가능 크기는 더 복잡한 다이를 사용할 때 마찰력에 의해 줄어들 수 있으며, 더 높은 온도나 더 낮은 변형률을 선택하거나 추가(운동) 에너지가 충격을 통해 기계에서 작업물로 전달되는 경우 증가할 수 있다.

[1186] **주어진 유압에서 주어진 다이 크기를 사용하여 단조하는 최소 온도**

[1187] 원하는 크기와 고정된 유압이 주어지면 볼트 헤드를 단조하는 데 필요한 온도를 결정하려면 먼저 변형율을 선택해야 한다. 뒤집힐 막대의 부분이 250msec에서 25%만큼 단축되면 변형률은 도 17(c)에 표시된 곡선 세트에 해당하는 초당 1이다. 플로우 응력을 제공하는 데 사용할 수 있는 단위 면적당 힘은 유압에 실린더 면적과 볼트 헤드 면적의 비율을 곱한 것이다. 응력-변형 곡선을 참조하여 이 크기의 헤드를 이 변형율과 이 힘의 양으로 단조

하는 데 필요한 최소 온도를 결정한다.

[1188] **초기 충격 성형 단계를 통한 변형률 최소화**

[1189] 충분한 시간이 있으면 변형률이 느려지면 소성 성형을 달성하는 데 필요한 플로우 응력이 감소한다. 단조에 사용할 수 있는 총 시간은 작업물의 냉각 시간에 따라 변형된다. 압력 성형 단계 이전에 충격 성형 단계를 추가하면 속도 증가와 단조 능력 증가를 얻을 수 있다. 이는 단조 헤드와 다이를 작업물로 가속하여 충격 단조(운동 에너지가 전달되는)의 초기 단계와 압력 성형의 2차 단계를 생성함으로써 달성될 수 있다. 포친으로 변형된 Hardinge DSMA 나사 선반에서 단조 및 가공이 수행되는 실시예에서, 작업 홀딩 캐리지는 무게가 150lbs이고 작업물과 접촉하기 전에 초당 약 5.3인치의 종단 속도로 가속되고 급격하게 감속되고 있다(“충격 단계(impact phase)”). 작업물이 변형되는 거리에 해당 변형을 유발하기 위해 적용되는 플로우 응력을 곱한 작업은 충격으로 전달된 운동 에너지와 동일해야 한다. 따라서 충격 단계 동안 전달된 에너지는 필요한 변형의 큰 부분을 달성하고 나머지 시간("압축 단계") 동안 더 적은 양의 변형이 수행되도록 하여 압축 단계에서 더 느린 변형 속도를 허용한다.

[1190] 바람직한 실시예의 장점

[1191] SCOFAST 기계의 사용은 다른 곳에서 지적된 많은 잠재적 장점을 창출한다. 바람직한 실시예의 예에 설명된 바와 같이 티타늄 부품을 제조하기 위해 포친을 사용하는 것은 이러한 장점 중 많은 것을 예시하고 몇몇 특별한 예상치 못한 장점을 드러낸다. 다양한 생산 효율성은 SCOFAST 기계(이 경우에는 포친) 내에서 작업이 빠르게 연속적으로 수행되는 난삭재(difficult-to-machine materials)(예: 고강도 티타늄 합금)를 성형하고 가공하는 능력에서 비롯된다.

[1192] 정밀 볼트를 제조하기 위한 다른 방법과 비교하여 포친의 장점은 통상의 기술자에게 명백할 것이다. 유사한 볼트를 모두 가공으로 제조하는 경우 필요한 바스톡 크기는 볼트 헤드의 최대 치수보다 크고 절단 허용치(cutting allowance)(재료 낭비)도 엄청난다. 단조만으로 제조하는 것만으로는 필요한 공차와 기능을 항상 달성할 수 있는 것은 아니다. 한 기계에서 단조한 후 다른 기계에서 가공하는 방식으로 제조하면 위치 파악, 인덱싱 및 작업 홀딩의 어려움과 함께 상당한 추가 비용이 발생하고 필요한 공차를 달성하는 데 어려움이 커진다. 이전의 기존 옵션과 비교하여 이러한 볼트를 포친에서 제조하면 재료 낭비 감소, 핸들링 감소, 바닥 공간 요구 사항 감소, 인건비 감소, 공차 개선 및 기타 여러 장점을 포함한 많은 장점을 제공한다.

[1193] 실질적으로 고강도 티타늄 합금으로 육각헤드 볼트를 제작하는 경우, 포친을 사용하여 제작하는 전체 시간은 처음부터 끝까지 25초 정도이며, 이는 절반에도 못 미치는 시간이다. 시중에서 판매되는 CNC 터닝 센터에서 대형 재고를 터닝하여 동일한 부품을 제조해야 한다. 포친에서 이 부품을 제조하는 데 필요한 재료의 양은 현재 시중에서 판매되는 터닝 센터에서 동일한 부품을 터닝하는 데 사용되는 양의 절반에도 미치지 못한다. 제조 과정에서 부품이 열적, 화학적으로 경화되고 단단해지기 때문에 추가적인 이익이 발생한다. 본 명세서에 개시된 시스템 및 방법을 사용한 이 부품의 총 제조 비용은 현재 알려진 다른 방법에 의한 제조 비용의 약 50% 범위이다.

[1194] 한 가지 장점은 연속해서 열간 성형을 가공할 때 작업물이 높은 온도에서 가공되어 가공 중 항복 강도가 감소하여 도구 마모가 감소하고 부품 표면 특성이 개선된다는 점이다.

[1195] 또 다른 장점은 소성 성형을 겪고 다이로 유입되는 작업물의 부분이 유리한 입자 플로우 구조 및 입자 정렬을 가져 최종 부품의 재료 특성을 향상시킨다는 것이다.

[1196] 또 다른 장점은 특정 특징이 단조 또는 기타 성형 작업을 통해 완료되거나 거의 완료될 수 있다는 것이다. 따라서 가공 작업을 통해 필요한 재료의 양을 더 적게 제거할 수 있다. 이를 통해 칩의 양이 줄어들고 도구 마모가 줄어들어 포친이 오랫동안 무인으로(unattended) 작동할 수 있다.

[1197] 또 다른 장점은 단조 공정이 가열 후 몇 초 내에 발생하고 오일 코팅 또는 유체가 넘친 환경에서 수행될 수 있기 때문에 불활성 가스 차폐 또는 산소 치환을 위한 다른 방법에 대한 요구 사항이 감소되거나 제거된다는 점이다. 또 다른 장점은 가열 중에 기화된 가공 유체가 산소를 대체하고 이후의 열간 가공으로 원치 않는 케이싱이 제거된다는 것이다. 추가 장점은 기화된 가공 유체를 더 잘 포착하고 주변 대기를 더 잘 대체하기 위해 가열 코일이 밀봉 플랜지가 있거나 없는 라이너를 포함할 수 있다는 것이다. 많은 시나리오에서는 불활성 가스를 전혀 추가할 필요가 없으므로 다른 제조 방식에 비해 비용이 절감된다.

[1198] 또 다른 장점은 일부 부품의 경우 가열과 담금질 사이의 시간이 너무 짧아 작업물의 상당한 산화가 허용되지 않는다는 것이다.

[1199] 또 다른 장점은 포친에서 티타늄을 단조할 때 냉각제가 다이의 잔류 물질과 결합하여 작업물이 바인딩 없이 다이 안팎으로 자유롭게 미끄러지도록 하는 윤활 슬러리를 생성한다는 것이다.

[1200] 또 다른 장점은 재인덱싱을 필요로 하고 필연적으로 공간적 일관성 손실을 초래하여 정밀도가 감소하고 부품이 허용오차에 실패하게 되는, 작업물을 한 기계에서 다른 기계로 이동할 필요가 없기 때문에 공간적 일관성이 유지된다는 점이다. 이는 단조 및 가공은 동일한 도구 터렛을 사용하여 수행되고 작업물은 동일한 스핀들 축의 동일한 작업 홀더에 홀딩되므로 단조 및 가공 작업은 완벽하게 동심 및 동축이며 스핀들 축에 대한 편차는 모두 동일하다.

[1201] 또 다른 장점은 작업물을 기계에서 기계로 한 장소에서 다른 장소로 이동할 필요가 없기 때문에 시간이 크게 절약된다는 것이다. 또 다른 장점은 작업물을 한 기계에서 제거하고 다른 기계에 설치, 인덱싱, 등록할 필요가 없기 때문에 첫 번째 작업 직후에 두 번째 작업을 수행하는 데 사용할 수 있다는 것이다. 이는 첫 번째 작업에서 작업물을 두 번째 작업에 적합한 상태로 유지하지만 바람직한 상태가 짧은 기간 동안 지속되는 경우 특히 유리한다. 두 번째 작업이 첫 번째 작업 후 약 60초 이내에 수행되는 경우, 보다 바람직하게는 약 30초 이내에, 더욱 바람직하게는 약 20초 이내에, 더욱 바람직하게는 약 10초 이내에, 보다 바람직하게는 약 5초 이내에, 더욱 바람직하게는 약 1초, 보다 바람직하게는 약 0.1초 이내에 수행되는 경우가 특히 유리한다.

[1202] 또 다른 장점은 2차 작업을 수행하기 위해 다른 기계의 가용성을 기다리는 동안 부분적으로 제조된 부품을 제조 영역에 보관할 필요가 없다는 것이다. 부품은 단일 기계 내에서 자동으로 수행되는 단일 연결된 일련의 작업으로 시작되고 완료되며, 부품이 기계를 떠나면 포장 또는 품질 보증을 위해 다른 영역으로 직접 이동할 수 있다.

[1203] 특히 중요한 장점은 단일 SCOFAST 기계(포친)에서 가열, 단조, 가공 및 처리를 결합하면 별도의 기계에서 독립적인 작업으로 수행되는 가열, 단조, 가공 및 처리로는 달성할 수 없는 결과들(results and outcomes)가 생성된다는 점이다. 바람직한 실시예에서, 티타늄 합금 Ti-6Al-4V로 제조된 볼트를 제조하는 경우, 첫 번째(변형) 작업은 티타늄 합금 작업물을 재결정 온도 이상으로 가열하는 것이고, 두 번째(성형) 작업은 재결정 온도 근처에서 작업물을 열간 단조하는 이다. 세 번째(변형) 작업은 티타늄 작업물을 재결정 온도 이하로 급격하게 냉각시키면서 처리 유체를 연속적으로 적용하는 것이며, 네 번째(절삭) 작업은 재료의 항복 강도가 충분히 작게 유지될 만큼 충분히 높은 온도를 유지하면서 작업물에 형상을 가공하는 것이다. 재료가 너무 많이 냉각되면 단조된 부분이 일반 가공에 비해 너무 단단해지며, 재료가 빠르게 냉각되므로 4차(가공) 작업이 수행될 수 있는 시간 창이 매우 짧다. 작업물의 크기 및 재료에 따라, 효과적인 가공을 위한 유리한 시간 창은 두 번째 작업에서 단조 다이를 제거한 후 최대 약 60초일 수 있으며, 보다 흔히는 최대 약 30초, 더욱 흔히는 최대 약 20초, 더 자주는 최대 약 10초, 더 자주는 최대 약 5초, 더 자주는 최대 약 1초, 때로는 최대 약 0.1초일 수 있다.

[1204] 본 실시예의 포친과 같은 단일 SCOFAST 기계에서 4가지 작업이 빠른 순서로 수행되면 결과적으로 향상된 인성 프로파일을 갖는 완벽하게 형성된 티타늄 볼트가 생성된다. 그러나 동일한 작업이 별도의 시스템에서 별도로 수행되는 경우 동일한 결과를 얻을 수 없다. 예를 들어, 첫 번째 기계에서 처음 세 가지 작업을 수행한 다음 첫 번째 기계에서 작업물을 제거하고 불과 몇 피트 떨어진 두 번째 기계로 운반한 다음 두 번째 기계에서 다시 인덱싱하는 경우 효과적인 가공을 위한 좁은 시간 창을 필연적으로 놓치게 되기 때문에 모든 가공 시도는 실패한다. 가공을 위한 임시 및 열 창을 놓치면 작업물 온도가 원하는 가공 온도보다 훨씬 낮아지고 강화된 재료는 과도한 도구 및 부품 손상 없이 가공할 수 없다. Ti-6Al-4v 합금을 두 번째로 가열하면 과도한 산소 취성이 발생하고 나사산이 부서져 부품이 파손되기 때문에 네 번째(가공) 작업을 수행하기 위해 이러한 작업물을 두 번째로 재가열하는 것은 불가능하다. 이러한 작업을 통해 제작된 티타늄 볼트를 도 4A 및 도 4B에 도시되어 있다. 왼쪽 이미지 [A]는 포친에서 정확한 온도에서 가열, 단조, 처리 및 가공의 단일 사이클을 통해 생산된 높은 테스트 볼트를 보여준다. 오른쪽 이미지 [B]는 작업물의 이중 가열로 인해 부서지기 쉽고 부서진 나사산(embrittlement and crumbling) 때문에 볼트가 고장난 모습을 보여준다.

[1205] 작업물을 의도적으로 재가열하지 않더라도 작업들 사이에 0.005인치 정도의 공간적 포지셔닝 오류로 인해 원위 볼트(distal bolt)가 우발적으로 이중 가열되어 부품이 파손될 수 있다. 공간적, 시간적, 열적 일관성은 이러한 부품 제조에 있어 중요한 요소이다.

[1206] 따라서 SCOFAST 기계 내에서 공간적으로 일관된 방식으로 수행되도록 두 작업들을 결합하면 시간적 및 열적 일관성은 물론 공간적 일관성도 향상되어 "동일한" 작업들이 독립적으로 수행되는 것과 비교하여 새롭고 유용한 결과를 생성한다는 것이 분명하다. 공간적으로 일관되게 결합된 작업은 작업이 독립적으로 수행되는 경우 얻은 결과와 다르며 훨씬 우수한 결과를 생성한다.

[1207] 첫 번째 및 두 번째 작업이 SCOFAST 기계에 통합될 때 수행되는 통합 작업은 실제로 통합 없이 수행되는 독립적 작업과 동일하지 않다. 작업 자체는 공간적으로 일관성이 있고 완벽한 동축성과 동심성이 가능하기 때문에 다르다. 이는 또한 밀접하게 제어된 순서로 그리고 그렇지 않은 경우보다 훨씬 더 가까운 시간적 연속으로 수행될 수 있는 시간적으로 일관된 작업이다. 작업물의 시간적, 공간적으로 변하는 속성과 환경을 고려하여 시공간적으로 가장 유리한 위치와 시간에 위치할 수 있는 작업이다.

[1208] 또 다른 장점은 이 방법을 사용하면 5등급 티타늄 볼트와 같이 제조하기 매우 어려운 부품을 쉽게 제조할 수 있다는 점이다. 본 명세서에 참고로 포함된 미국 특허 US8293032B2는 5등급 티타늄 볼트의 경제적인 제조를 방해하는 문제 목록을 기술하고 가공이 더 용이하여 볼트 제조에 더 적합하다고 주장되는 대체 합금을 개시하고 있다. 5등급 티타늄 볼트와 관련하여 언급된 문제 목록은 다음과 같다:

[1209] “티타늄 합금 볼트는 강철 볼트보다 제조 시 더 높은 수준의 기술이 필요하다… [5등급] Ti-6% Al-4% V 합금은 알파-베타 합금으로 티타늄에는 알파 안정화 요소와 베타 안정화 요소가 있다. 알파-베타 합금은 변형 저항이 높고 신축성이 낮기 때문에 실온에서 작업하기가 어렵다. 따라서 고온에서 수행되는 열간 단조는 알파-베타 합금을 단조하여 성형하는 데 사용된다. 고온에서 유지하면 변형 저항이 낮아지고 늘리기가 쉬워지기 때문이다.

[1210] 그러나, 고온에서 열간단조된 제품은 합금의 열팽창에 의해 심각한 영향을 받는다. 그 결과, 단조품의 치수 정밀도가 바람직하지 않게 낮다. 열간 단조 제품의 낮은 치수 정밀도를 보완하기 위해 충분히 두꺼운 절삭 여유를 갖는 제품을 설계해야 하므로 재료의 낭비가 불가피하다. 티타늄 재료를 열간 단조하면 고온에서 심한 산화가 일어나 표면에 스케일과 산화층이 형성된다. 스케일과 산화층을 제거해야 하는 필요성으로 인해 볼트 제조 비용이 추가된다.”

[1211] 합리적인 가격으로 높은 치수 정확도를 갖는 5등급 티타늄 볼트를 제조하는 방법 및 시스템에 대한 오랜 필요성이 있다는 것은 분명하다. 그러나 지금까지는 단조품 및 기타 특수 장비에 대한 대규모 자본 투자 없이는 이러한 부품을 제조하는 것이 불가능했다. 많은 소규모 제조 업체에서는 이를 시도했으나 성공하지 못했지만 거의 항상 큰 직경의 재료를 사용하여 가공해야 했으며, 그 결과 높은 가격과 많은 폐기물로 인해 공정이 느려졌다. 이로 인해 그러한 일을 시도하는 사람들의 성공에 대한 기대가 낮아졌다.

[1212] 여기에 개시된 시스템과 방법은 높은 절삭 여유, 단조, 어닐링 오븐 또는 특수 절삭 및 나사 가공 기계 없이도 높은 치수 정확도와 우수한 성능 특성을 갖는 5등급 티타늄 볼트의 제조를 가능하게 한다. 여기에 설명된 SCOFAST 기계의 포친 실시예는 단일 범용 기계에서 우수한 볼트를 생산하기 위해 유도 가열, 다이 단조, 가공 및 관통 스핀들 바 스톡의 나사 가공을 포함하는 완전 자동 공정을 수행하며, 모든 작업은 동일한 스핀들의 동일한 콜릿에서 작업물에 대해 수행된다. 속도, 폐기물 감소, 인건비 절감 등의 장점은 이전에 가능했던 것보다 약 50% 저렴한 비용으로 높은 치수 정확도와 우수한 특성을 지닌 5등급 나사 및 볼트를 짧은 생산 기간 동안에도 제조할 수 있음을 의미한다. 이러한 방식으로 제조된 볼트의 몇 가지 우수한 특성이 표 X에 나열되어 있다.

[1213] 인성, 경도, 파손 시 토크, 파손 위치 및 도구 손상에 대한 저항성에서 관찰된 개선은 예상치 못한 것이며 주로 이전 다이 단조 작업에 가까운 시간적으로 근접하여 정밀 공차 가공 작업을 수행하는 포친의 능력에 기인한다. 이전에는 접근할 수 없었던 재료 상태에서 특정 가공 작업이 수행된다는 점, 이는 이전에는 불가능했던 일이다. 포친에서 제조된 볼트는 일부 영역에서 예상치 못한 상당한 이익을 제공하는 변경된 결정 구조를 가지고 있는 것이 분명하다.

[1214] 티타늄 부품의 경도 및 인성이 증가한다는 장점은 특히 중요하다. 모든 정비공은 헤드나 소켓을 벗겨내거나 볼트 헤드의 평평한 부분을 둥글게 만들 때의 고통을 알고 있다. 맞물림 표면(engagement surfaces)의 형태가 필립스 헤드, 슬롯형, 육각형, 별형 또는 기타 형태이든 향상된 내마모성은 매우 바람직한 특성이다. 스레드 맞물림 영역에서 증가된 경도는 마손 경향을 감소시키는 데 기여하며 이는 매우 바람직한다. 베어링 표면은 경도와 인성이 증가하면 이익을 얻을 수도 있다.

표 X: 기존 방식에 비해 포친에서 제조한 Ti-6Al-4V 볼트의 재료 성질이 예상치 못한 개선 사항(Unexpected improvement in material properties of Ti-6Al-4V bolt manufactured by Forchine vs traditional methods)		
5등급 티타늄 6Al-4V 볼트(Grade 5 Titanium 6Al-4V Bolt) ½-13 x 1" 육각 헤드(½-13 x 1" hex head)	개별 작업들에 의한 제조(Manufactured by separate operations)	포친에 의한 제조(Manufactured by Forchine)
헤드 플랫의 로크웰 경도(Rockwell hardness of head flats (HRC))	36	65
코발트 드릴 관통력(Cobalt drill penetration force (in-lbs))	20	80
토크 실패 위치(Torque failure location)	Junction of head and shaft	Threaded area of shaft
실패 시 평균 토크(Avg torque at failure (ft-lb))	140	148
실패 시 최소 토크(Min torque at failure (ft-lb))	137	146
포친에서 결합된 작업으로 제조된 볼트의 재료 특성을 별도의 기계에서 수행된 별도의 작업으로 제조된 동일한 볼트의 특성과 비교했다. 예상치 못한 개선 사항에는 헤드 플랫의 표면 경도 증가, 드릴 비트 저항, 향상된 평균 및 최소 토크 고장 강도, 더 먼쪽 토크 실패 위치 등이 포함된다.		

[1215]

[1216] **토론**

[1217] 본 명세서에 개시된 시스템 및 방법이 이전에 제안되거나 시도되지 않았던 한 가지 이유는 그러한 일이 가능하거나 그러한 조합이 바람직하거나 바람직한 결과를 제공할 것이라는 암시나 힌트가 문헌에 전혀 없었기 때문이다.

[1218] 가공 센터의 메인 스핀들에 부착된 작업 홀딩 콜릿에 대해 직접 구동되는 단조 다이를 사용하여 예를 들어 티타늄 볼트의 열간 단조를 수행하려는 시도가 성공할 것이라는 기대가 없는 데에는 많은 구체적인 이유가 있다. 단조 열로 인해 콜릿과 콜릿 클로저가 손상되어 금속 부품이 휘어지고 결합되고 탄성 부품이 파손될 것으로 예상된다. 단조 열로 인해 콜릿과 스핀들 자체의 베어링이 손상될 것으로 예상된다. 열로 인한 뒤틀림으로 인해 기계의 정렬 및 정밀도가 저하될 것으로 예상된다. 티타늄과 같이 반응성이 높은 금속을 가열하는 것은 특히 습기에 노출될 경우 위험할 수 있다. 가공 센터 도구 축은 성공적인 단조에 필요한 힘을 전달할 수 없을 것으로 예상된다. 가공 센터의 콜릿, 콜릿 척, 스핀들, 베어링은 성공적인 단조에 필요한 충격력이나 누르는 힘을 견딜 수 없을 것으로 예상된다. 기계의 강성과 프레임 강도가 관련된 힘을 지탱하기에 충분하지 않다고 가정한다. 단조 스트로크는 기계 충돌의 영향과 매우 유사해 기계가 오류 상태에 빠지고 정렬에서 벗어날 것이라고 가정된다. 가공 센터 내에서 단조를 달성하려는 시도는 이러한 기대와 가정이 대체로 정확하기 때문에 확인될 것이다. 일반 가공 센터는 여기에 제시된 모든 이유 때문에 단조에 필요한 온도(최대 1700C)와 힘(최대 10,000lbs-force)을 전달하거나 견딜 수 없다. 많은 현대식 가공 센터에서는 심지어 900C에서도 첫 번째 열간 단조 시도에서 콜릿이 변형되고 콜릿 시스템 엘라스토머가 파괴된다. 대부분의 최신 가공 센터에서는 1000lbs의 힘만 가해도 베어링이 손상되고 기계 정밀도가 저하된다.

[1219] 성공을 기대할 수 없는 또 다른 이유는 원하는 공통 부품(예: 티타늄 볼트)을 제조하기 위한 일반적인 작업 순서와 작업 지오메트리가 동일한 기계에 단조 기능을 추가해도 실제로 이익을 얻지 못하기 때문이고, 따라서 개선이 예상되거나 얻어지지 않는다. 일반적으로 바의 노출된 끝 부분에서 형상이 단조될 것이라고 예상하지만, 이 접근 방식은 단조 가능 가공 센터 내에서 완전한 부품을 생산할 수 없다. 실제로 헤드가 이러한 전통적인 작업 지오메트리로 단조되는 경우 완성된 볼트를 만들려면 4개의 별도 기계가 필요하다. 포친 내에서 티타늄 볼트를 성공적으로 제조하는 데 필요한 작업 순서와 작업 지오메트리는 일반적이지 않으며 쉽게 생각해낼 수 없다. 원하는 부품은 먼저 콜릿에서 약간 떨어진 곳에 바스톡을 가열한 다음 가열된 부분을 다시 콜릿으로 이동하여 가열된 부분의 정의된 부분이 콜릿에 들어간 다음 콜릿에 대한 크라운이 있는 헤드와 작업 공간으로 돌출된 샤프트을 업셋 단조함으로써 바 공급 포친 내에서 자동으로 제조될 수 있다. 이로 인해 바스톡이 앞으로 이동하고 크라운이 편평하게 가공될 때 볼트가 컷어프되기 전에 크기 및 나사 롤링에 대한 후속 가공을 위해 샤프트가 노출된다. 헤드 단조 작업에서는 돌출 샤프트가 스핀들 축 및 기계 도구 터렛 축과 고도로 동축을 유지해야 한다. 필요한 정밀도는 모든 작업에서 유지되어야 한다; 단조 축, 가공 축, 기계 스핀들 축 사이의 동축 각도 오차가 0.001라디안이거나 선형 오차가 수천분의 1인치라도 부품 제조에 공정이 쓸모없게 된다.

[1220] 성공을 기대할 수 없는 또 다른 이유는 이 방법이 고온에서의 가공에 의존하기 때문이다. 이는 부품의 가열로 인해 도구 마모가 증가하므로 가공 중에 부품을 차가운 상태로 유지해야 한다는 일반적인 가르침에 어긋난다.

실제로 이 방법은 단조 직후 가공으로 인해 예상치 못한 도구 마모 감소라는 예상치 못한 이익을 제공한다. 이 기간 동안 부품 재료의 항복 강도 감소는 가열로 인한 도구 마모 증가 경향을 상쇄하는 것보다 더 크다. 이는 본 발명에서 벗어나는 선행 기술 교시에도 불구하고 예상치 못한 성공을 보여준다: 도구 마모 감소 형태의 성공은 예상치 못한 것일 뿐만 아니라, 가공되는 재료의 가열이 도구 마모를 줄이기 위해 피해야 한다는 선행 기술의 교시에 의해 적극적으로 억제되었다.

[1221] 마지막으로, 단조 산업은 가공 산업과 완전히 다르고 분리되어 있으며, 가공센터 전문가가 단조 전문가이기도 한 경우는 흔치 않을 것이다. 단조에 사용되는 장비는 크기와 규모가 다르며 가공에 사용되는 장비와 모양도 완전히 다르다. 가공 작업자는 일반적으로 공간 요구 사항 측면에서 단조 장비가 더럽고 위험하며 비용이 많이 드는 것으로 간주하는 반면, 단조 작업자는 기계 장비가 까다롭고 깨지기 쉽다고 간주한다.

[1222] **추가적인 예시적 실시예**

[1223] 티타늄 합금으로 만든 플랜지 나사산 나사 후크를 단조, 가공 및 벤딩

[1224] 일 실시예에서 SCOFAST 기계는 도 9A에 도시된 것과 유사한 지오메트리 및 요소를 가지며, 기계의 Z축을 따라 서로 마주하는 1차 작업 고정 스핀들과 2차 작업 고정 스핀들을 포함하고, 도구는 두 작업 홀딩 스핀들 사이의 작업 영역 양측면에 위치한다. 이 실시예는 또한 도 7D에 도시된 것과 유사한 도구 교환기로서 기능하도록 구성된 도구 공급 시스템 및 로봇 팔을 포함한다. 기계의 라이브 도구 중 하나는 열간 벤딩 도구[17]이며 일반적인 작동은 도 8A 및 도 8B에 나와 있다. 제작할 부품은 도 16과 같이 나사형 샤프트, 나사산 바로 위 생크의 플랜지, 후크 끝에 형성된 평면 치즐(flat chisel)을 갖는 후크이다.

[1225] 일반 장비 및 작업 플로우를 사용하여 티타늄 합금 Ti-6Al-4V로 이러한 부품을 제조하는 것은 노동 집약적이며 따라서 비용이 많이 든다. 왜냐하면 여러 기계에서 부분적으로 완성된 작업물의 반복적인 정확한 포지셔닝이 필요하기 때문이다. 이러한 부품은 때때로 개별적으로 단조, 가공 및 벤딩되지만 최종 부품의 가장 큰 마감 치수보다 큰 바스톡으로 가공된 후 벤딩 지그에서 모양을 만들기 위해 벤딩되는 경우가 매우 많다.

[1226] 티타늄은 실온에서 벤딩하기 매우 어렵기로 악명 높다. 작업물을 벤팅하는 데 필요한 토크는 벤딩 응력이 원하는 변형률 및 원하는 온도에서 재료의 항복 강도와 같아지는 토크이다. 재료(U-볼트를 만드는 데 사용되는 바스톡 등)의 원통형 단면에 대한 벤딩 모멘트는 M = (S * I)/Y로 지정되고, 여기서 S는 항복 응력이고 Y는 중립축으로부터의 벤딩 하중이 가해지는 지점까지 거리이고, I는 벤딩되는 작업물의 두 번째 회전 관성 모멘트이다. 원통의 경우 I는 (Pi * r4) /4로 계산되며 Y는 원통의 단면 반경이다.

[1227] 재료의 항복강도는 고온에서 감소하기 때문에 벤딩 전에 티타늄을 가열하는 것이 유리할 수 있다. 초당 1의 변형률과 750C의 온도에서 10mm 티타늄 바스톡을 열간 벤딩해야 하는 부품 설계의 경우 도 17은 Ti-6Al-4V의 항복 응력이 270Mpa임을 보여준다. 따라서 필요한 토크는 270 * (3.14 * 52/4) /5 = 26 뉴턴미터가 된다. 100뉴턴-미터의 스톨 토크를 갖는 능동 툴링은 일반적으로 상업적으로 이용 가능하므로, 가장 어려운 재료라도 열간 벤딩에 필요한 힘 범위의 토크가 SCOFAST 기계에서 제공될 수 있다는 것은 관련 기술 분야의 통상의 기술자에게 명백할 것이다.

[1228] 도 16에 도시된 바와 같이 나사산 샤프트와 나사산 위에 플랜지형 베이스를 갖는 치즐 노즈 후크는 공간적으로 일관된 단일 기계에서 단조, 가공 및 벤딩 작업을 수행하기 위해 이 실시예에 설명된 SCOFAST 기계를 사용하여 쉽게 제조된다. 이 예에 사용된 특정 도구는 참조된 도에 표시되지 않을 수 있다. 냉각, 윤활 및 가공 유체를 사용한 처리는 유리할 수 있는 기타 보조 작업과 함께 원하는 대로 사용될 수 있다. 주어진 숫자는 도 9A에 도시된 예시적인 기계 요소에 대한 참조이다.

[1229] 1. 바스톡 [34]을 왼쪽 메인 스핀들 [32]에서 가열용 인덱스 위치로 배치한다.

[1230] 2. 편리한 도구 포지셔너(convenient tool positioner)에 장착된 유도 코일[16]을 사용하여 플랜지를 단조하는 데 사용되는 영역에서 바를 가열한다.

[1231] 3. 바를 다시 왼쪽 메인 스핀들 콜릿으로 이동하여 플랜지 단조를 위한 인덱스 위치로 이동한다.

[1232] 4. 두 개의 마주보는 도구 포지셔너를 사용하여 3부분 분할 다이의 두 개의 후면 절반(도시되지 않음)을 측면에서 가져와 바스톡이 콜릿에서 나오는 지점을 둘러싸 고정한다.

[1233] 5. 오른쪽 메인 스핀들 [36]에 고정된 전면 다이 [38]를 Z축의 작업물을 향해 앞으로 이동하여 작업물이 다이에 들어가고 다이 내에서 바닥에 떨어지도록 한다. 가열된 금속이 흐르고 다이를 채우도록 충분한 힘을 가하여 플

랜지를 형성한다(업셋 단조).

[1234] 6. 오른쪽 메인 스핀들과 전면 다이를 작업물에서 멀리 이동시킨다.

[1235] 7. 후면 다이의 두 반쪽을 작업물에서 멀리 이동시킨다.

[1236] 8. 로봇 도구 교환 팔을 사용하여 오른쪽 메인 스핀들 콜릿에서 전면 다이를 제거한다.

[1237] 9. 편리한 도구 포지셔너를 사용하여 스레드 롤 전 직경과 샤프트 및 플랜지에 원하는 추가 기능을 가공한다.

[1238] 10. 편리한 도구 포지셔너를 사용하여 샤프트의 스레드를 굴린다.

[1239] 11. 오른쪽 메인 스핀들 콜릿으로 작업물을 떼어내고, 편리한 도구 포지셔너에 장착된 절단 도구를 사용하여 바스톡에서 작업물을 절단한다. 이제 작업물은 콜릿에서 왼쪽으로 돌출된 후크를 형성할 부분과 함께 오른쪽 메인 스핀들에 고정된다. 각 작업마다 작업물을 원하는 방향으로 회전시킬 수 있다.

[1240] 12. 편리한 도구 포지셔너에 장착된 유도 코일을 사용하여 후크 치즐 팁으로 단조될 영역을 가열한다.

[1241] 13. 편리한 도구 포지셔너에 장착된 성형 도구 [55]의 다이를 사용하여 판 끌 모양을 후크 끝에 핀치 단조한다.

[1242] 14. 편리한 도구 포지셔너에 장착된 라이브 도구를 사용하여 핀치 밀링 및 기타 밀링 기술을 사용하여 치즐 팁을 원하는 최종 모양으로 밀링한다.

[1243] 15. 편리한 도구 홀더에 장착된 유도 코일을 사용하여 후크의 곡선 부분으로 형성될 영역을 가열한다.

[1244] 16. 편리한 도구 홀더에 장착된 벤딩 도구 [17]를 사용하여 외부 곡선을 구부립니다.

[1245] 17. 편리한 도구 홀더에 장착된 벤딩 도구를 사용하여 내부 곡선을 구부립니다.

[1246] 18. 원하는 대로 로봇 팔로 집거나 부품 수집 트레이에 담아 완성된 부품을 꺼낸다.

[1247] 직접 에너지 증착, 압축 및 가공

[1248] 일 실시예에서 SCOFAST 기계에서 수행되는 작업은 추가 작업(직접 에너지 증착)에 이어 성형(열간 압축) 및 가공(밀링)을 포함한다.

[1249] 다음 예에서 작업물 재료는 티타늄 합금이지만, 통상의 기술자는 직접 에너지 증착에 의해 증착될 수 있는 임의의 재료가 티타늄 합금을 대체할 수 있다는 것을 인식할 것이다.

[1250] 기계에는 X, Y 및 Z 축으로 이동할 수 있는 베드(bed)가 있다. 베드 위에는 티타늄 합금 베이스 플레이트가 장착되어 있다. 레이저 DED 메커니즘은 기계의 베드가 CNC 제어에 의해 이동하여 원하는 모양의 부분적으로 성형된 작업물을 만들도록, 선택한 가스가 작업 공간을 침수시키거나 채우거나 산화 분위기로부터 증착되는 물질을 보호하도록 선택될 수 있는 다른 방식으로 도입된 채, 추가 티타늄 합금을 플레이트에 증착한다.

[1251] 적층 작업이 완료되면 성형 작업이 시작된다. 베드는 가열 코일과 다이가 있는 성형 압력 헤드를 포함하는 도구 터렛이 부분적으로 성형된 작업물 바로 위에 위치하는 위치로 미끄러진다. 터렛은 유도 코일이 작업물 주변이나 근처에 위치할 때까지 확장되고 작업물은 원하는 온도로 가열된다. 유도 코일이 후퇴되고, 작업물의 원하는 모양의 다이가 부분적으로 성형된 작업물 위로 가져와 작업물의 압축 및 소성 성형을 거의 그물 모양으로 일으키기에 충분한 힘으로 베이스 플레이트에 대해 가압된다.

[1252] 성형 작업이 완료되면 가공 작업이 시작된다. 베드는 엔드밀과 같은 가공 도구를 구동하는 적어도 하나의 스핀들을 포함하는 도구 터렛에 의해 작업물이 어드레싱될 수 있는 위치로 미끄러진다. 기계 베드 및/또는 엔드밀은 CNC 제어에 따라 이동하여 작업물에 원하는 특성(예: 정밀 구멍 또는 매끄러운 표면)을 가공한다.

[1253] 밀링 작업이 완료되면 베드는 톱이 작업물을 다룰 수 있는 위치로 미끄러져 베드에 장착된 티타늄 플레이트에서 작업물을 제거한다. 로봇 피커 또는 부품 회수 장치가 완제품을 수집한다.

[1254] 티타늄 베이스 플레이트는 DED 메커니즘 아래로 다시 이동되고 공정은 원하는 대로 반복된다.

[1255] 많은 유리한 변형이 통상의 기술자에게 즉시 명백해질 것이다: 본 예에 설명된 각각의 모든 특정 요소는 개시된 시스템 및 방법의 의미 내에서 유지되면서 변형될 수 있다. 다양한 도구를 제자리에 가져오는 동안 작업물은 고정된 위치에 홀딩될 수 있다. 직접 에너지 증착 이외의 추가 작업을 통해 작업물을 구성하기 위해 재료를 추가할 수 있다. 작업물은 베이스 플레이트에 수직인 축을 따르지 않는 방향으로 성형될 수 있다. 작업물 제거는 톱 대신 레이저 커터를 사용하여 수행할 수 있다. 베이스플레이트는 스핀들에 고정될 수 있으며 가공과 절단 모두

터닝 작업으로 수행될 수 있다. 고려되는 유리한 대안 구성의 수는 매우 많다.

[1256] 사출 몰딩, 가공, 검사 및 압력 스탬핑

[1257] 다른 실시예에서, 첫번째 작업은 사출 몰딩이고, 두번째 작업은 가공이고, 제3 작업은 검사이고, 제4 작업은 압력 스탬핑이다.

[1258] 순수하게 사출 몰딩을 통해 부품을 제조할 때 변형 요소는 사출된 재료가 응고된 후 부품을 몰드에서 제거해야 한다는 요구 사항이다. 각 몰드는 몰드의 구배 각도가 몰드에서 제품 제거를 용이하게 하는 방식으로 설계되어야 한다. 이로 인해 제조된 부품에 심각한 설계 변형이 적용된다. 예를 들어 평행 특성은 구배 각도 요구 사항에 의해 제외된다. 다른 몰드 설계 문제도 있다. 예를 들어, 제품 내부의 직선 보어나 제품 내부의 역각은 일반 사출 몰딩으로는 만들 수 없다.

[1259] 이 실시예에서, SCOFAST 기계는 작업물을 회전시키고 어떤 위치에서도 견고하게 홀딩할 수 있는 작업물 홀딩 스핀들을 포함한다. 작업 홀딩 스핀들은 터닝 작업에 최적화된 속도로 작업물을 회전시킬 수도 있다. 기계는 또한 X, Y, Z, A 및 B 축의 일부 조합, 바람직하게는 이들 축 모두에서 이동 및 회전될 수 있는 방식으로 장착된 적어도 하나의 도구 터렛을 포함한다.

[1260] 사출 몰드는 다이의 절반이 스핀들의 면에 고정되고 몰드의 나머지 절반은 몰드를 열고 닫도록 상승, 하강 및/또는 앞뒤로 슬라이드하는 메커니즘에 장착되는 방식으로 작업 홀딩 스핀들에 장착된다. 원할 경우 사출 후 재료를 냉각시키기 위해 냉매나 물이 몰드를 통해 흐를 수 있다. 몰드는 몰드가 열릴 때 작업물이 몰드의 스핀들 절반에 남도록 설계되었다. 이젝터 핀은 몰드의 스핀들 절반에 내장되어 있으며 완제품이 몰드에서 취출될 준비가 되면 배치된다.

[1261] 제조는 몰드가 닫힌 상태에서 시작된다. 스핀들이 정지된 상태에서 인젝터의 재료는 인젝터 주변의 가열 밴드에 의해 가열되고 재료는 인젝터 나사에 의해 압축된다. 뜨거운 재료는 압력을 받아 몰드 안으로 흘러 들어간다. 냉각수가 몰드를 통해 흘러 재료가 응고된다. 재료가 굳으면 개방 메커니즘이 몰드의 위쪽 절반을 당겨서 스핀들에 고정되어 있는 몰드의 아래쪽 절반에 있는 작업물을 노출시킨다.

[1262] 원하는 가공 작업에 따라, 스핀들은 CNC 제어 하에 도구 터렛의 밀링 헤드에 의해 수행되는 가공 작업을 위해 정지하기 전에 작업물을 임의의 방향으로 회전시킬 수 있다. 작업 홀딩 스핀들은 작업물을 고속으로 회전시킬 수 있어 절삭 도구, 연삭 비트 또는 샌딩 헤드를 사용하여 가공을 수행할 수 있다.

[1263] 가공 작업이 완료되면 자동 검사 작업이 시작된다. 기본 도구 터렛이나 보조 헤드 중 하나가 카메라와 레이저 측정 도구를 부품에 지탱하는 방식으로 움직인다. 원하는 이미지와 측정값이 모두 캡처될 때까지 부품이 천천히 회전하고 필요에 따라 검사 헤드의 위치와 방향이 변경된다. 측정, 정렬 및 이미지는 SCOFAST 기계의 공간적으로 일관된 영점을 참조할 수 있으므로 정확한 등록이 가능하고 이미지 처리 및 패턴 인식이 용이한다. 컴퓨터 프로그램은 이미지와 측정값을 분석하여 원하는 사양 및 허용 오차와 비교한다.

[1264] 부품이 자동 검사를 통과하면, 주 도구 터렛이나 보조 헤드 중 하나가 가압 헤드를 작업물에 지탱하도록 배치된다. 가압 헤드는 작업물을 향해 전진하여 원하는 위치의 작업물에 필요한 식별 표시를 찍기에 충분한 속도와 압력으로 작업물과 접촉한다.

[1265] 부품이 자동 검사를 통과하지 못한 경우, 대체 표시가 작업물에 찍힐 수 있다. 이러한 방식으로 사양 및 허용 오차에 따른 등급의 부품을 스탬핑하는 것이 가능하다.

[1266] 모든 작업이 완료되면, 몰드의 이젝터 핀이 완제품을 다이 밖으로 밀어내고 부품 회수 장치에 의해 회수된다. 몰드가 닫히고 공정이 반복된다.

[1267] 관련 기술 분야의 숙련된 기술자는 사출 몰딩될 수 있는 임의의 재료가 주어진 예에서 대체될 수 있으며 많은 공정 변형이 가능하다는 것을 인식할 것이다. 몰드의 절반을 스핀들에 장착하는 대신 X, Y, Z축으로 움직이는 베드에 장착할 수 있다. 이러한 변형에서는 베드가 인젝터에 연결된 몰드의 후반부 아래로 미끄러진다. 몰드와 인젝터가 위에서 베드 방향으로 내려와 몰드를 닫는다. 사출 및 냉각 후 인젝터와 몰드 리프트의 절반 및 베드 위 몰드의 작업물을 도구 헤드 아래 측면으로 이동하여 가공 및 검사를 수행한다. 추가적인 측면 동작으로 작업물이 가압 및 스탬핑을 위한 위치로 이동된다. 모든 작업이 완료되면 작업물 베드가 회수 위치로 이동하고 몰드의 이젝터 핀이 작업물을 배출하여 부품 회수 장치로 회수한다.

[1268] 압출, 가공, 펀칭, 플레어링

[1269] 일 실시예에서 SCOFAST 기계는 연속 압출, 압력 펀칭, 압력 플레어링 및 가공을 포함한다. 주어진 예는 알루미늄 압출 및 펀칭, 플레어링 및 가공이지만, 임의의 압출성 재료 및 임의의 SCOFAST 기계 작업이 대체될 수 있다는 것이 통상의 기술자에게 명백할 것이다.

[1270] 연속 압출의 한 가지 특징은 압출된 작업물이 다이에서 나올 때 특정 속도와 방향으로 연속적으로 이동한다는 것이다. 이를 위해서는 압출된 재료와 상호 작용하는 동안 툴링이 동일한 속도와 방향으로 움직여야 한다.

[1271] 상향 U-채널 형태의 알루미늄 압출물은 화씨 약 1000도 범위의 온도에서 다이에서 빠져나와 일정한 속도로 전진한다. 압출은 CNC 제어 하에 가공 도구 헤드 아래를 통과하고 부채꼴 모양의 컷아웃 패턴이 압출의 상단 가장자리에서 밀링된다. 압출 위에 위치하는 또 다른 도구 헤드는 펀칭 및 플레어링용 도구가 있는 성형 압력을 포함한다. 이 압력는 압출과 동일한 속도와 동일한 방향으로 이동하는 반면, 일치하는 다이는 압출 아래에서 동시에 이동한다. U 채널 압출의 바닥이 먼저 펀칭된 다음 플레어링되면서 한 쌍의 성형 작업이 발생한다. 성형 작업이 완료되면 압력 도구와 다이가 압출 다이 쪽으로 다시 이동하여 다른 압출 세그먼트에서 성형 단계를 반복한다. 상승된 온도에서 재료의 항복 강도가 감소하므로 에너지와 도구 마모를 크게 줄이면서 가공 및 성형 작업을 수행할 수 있다.

[1272] SCOFAST 기계 내에서 압출, 성형 및 가공 작업을 함께 수행하는 능력은 생산 시간, 기계 바닥 공간, 에너지 소비, 도구 마모 및 노동력을 절약하여 공차 개선과 함께 생산 비용을 낮추게 된다. 열간 성형, 열간 가공은 냉간 성형, 가공에 비해 많은 힘이 필요하지 않기 때문에 설비비도 절감할 수 있다.

[1273] 유사한 실시예가 압출 성형이 아닌 열간 압연 또는 냉간 압연된 강철 작업물과 같이 U자 형태가 아닌 시트 형태로 존재한다는 것이 통상의 기술자에게 명백할 것이다. 채널에 절단, 드릴링, 밀링, 펀칭, 딤플링, 홈 가공 및/또는 위에서 설명한 것과 동일한 방식으로 적용되는 기타 가공 및 성형 작업이 포함된다. 표면 처리 및/또는 기타 변형 작업이 추가 작업으로 동일하게 추가될 수 있다.

[1274] 롤링, 펀칭 및 가공

[1275] 다른 실시예에서 강판은 SCOFAST 기계에서 롤 성형되고, 펀칭되고 가공된다. 본 실시예에서는 압연강판을 예로 사용하였지만, 압연이 가능한 임의의 재료로 대체될 수 있다.

[1276] 압연(열간 압연이든 냉간 압연이든) 제조 방법 동안 압연된 재료는 최종 롤 세트에서 나올 때 규정된 두께와 상승된 온도에 있게 된다. 또한 롤과 동기화된 정의된 속도로 이동한다. 온도가 상승하면 재료의 항복 강도가 낮아지고 가공, 펀칭 및 기타 작업에 필요한 힘이 줄어든다.

[1277] 재료가 롤을 빠져나오면서 홈, 모따기, 둥근 부분 및 베벨과 같은 특징을 시트로 밀링하는 하나 이상의 가공 헤드 아래를 통과하고, 그런 다음 플레이트 너비에 걸쳐 있는 두 개의 드럼 사이를 통과하고, 하나는 플레이트 아래에 있고 다른 하나는 플레이트 위에 있다. 한 드럼은 여성 다이(female dies)를 홀드하고 다른 드럼은 일치하는 남성 펀치(male punches)를 홀드한다. 두 드럼 모두 시트 재료와 동일한 선형 속도로 회전하므로 다이와 펀치가 압연 재료 시트와 접촉할 때 정렬된 상태를 유지하므로 다양한 모양의 딤플과 구멍이 일정한 간격으로 플레이트에 펀칭된다. 드럼은 펀치와 다이가 서로 원활하게 들어가고 나올 수 있는 크기이며 깨끗한 펀칭을 용이하게 하는 적절한 공차로 되어 있다. 펀치와 다이의 윤활 및 냉각을 유지하기 위해 드럼에 오일을 분사한다. 성형된 강판은 여전히 뜨거운 상태로 드럼에서 배출되며 밀링, 펀칭 및 압력 기능이 이제 완제품의 일부가 된다.

[1278] 고압 다이 주조 및 가공

[1279] 다른 실시예에서, SCOFAST 기계에서 수행되는 작업은 고압 다이 주조 및 가공을 포함한다. 엔진 크랭크 케이스는 고압 다이 주조를 통해 생산할 수 있는 많은 부품 중 하나이다. 현재 관행에 따르면 다이 캐스트 크랭크 케이스는 항상 몰드에서 제거되어 가로 펀칭, 정밀 표면 가공, 드릴링 및 태핑과 같은 추가 작업을 위해 다른 기계로 옮겨진다. 이러한 작업이 SCOFAST 기계 내에서 유리하게 수행되는 예가 제공된다.

[1280] 이 예에서 제조되는 물체는 전기톱의 마그네슘 크랭크 케이스이지만, 원하는 부품의 시작점으로 다이 주조가 가능한 임의의 재료로 대체될 수 있다. 전통적인 몰드 주조과 마찬가지로 몰드는 서로 짝을 이루는 두 개의 반쪽으로 구성된다. 몰드의 절반은 액체 마그네슘을 압력을 받아 몰드에 넣는 메커니즘에 부착된다. 몰드의 절반에는 완성된 크랭크 케이스를 몰드 밖으로 밀어내는 배출 핀도 있다. 몰드의 나머지 절반은 주조 중에 몰드를 열고 닫는 이동 메커니즘에 있다. 몰드는 몰드가 열릴 때 몰드의 이 절반에서 작업물이 분리되도록 설계되었다.

[1281] 몰드의 양쪽 절반이 닫히고 가열되면 액체 마그네슘이 압력을 받아 몰드에 들어가고 몰드의 캐비티가 완전히 채워진다. 그런 다음 냉각수는 몰드의 통로를 통해 흘러 마그네슘의 응고 속도를 높인다. 마그네슘이 응고되면 이

동 가능한 몰드 절반이 수축되어 몰드가 열리고 새로 주조된 작업물과 정밀 가공이 필요한 면이 노출된다.

[1282] CNC 제어 도구 스핀들 상의 페이싱 밀 커터가 제 위치로 이동되고 페이스 밀링 작업이 작업물을 페이스오프하기 위해 수행된다. 페이스 밀링 작업이 완료되면 도구 스핀들이 후퇴하고 몰드의 이젝터 핀이 완성된 전기톱 크랭크 케이스를 풀어 부품 회수 장치로 회수한다.

[1283] 밀링된 칩을 제거하기 위해 CNC 진공 헤드가 접근하고, 다이 윤활제가 다이에 불어넣고, 또 다른 다이 주조 사이클을 예상하여 예열을 위해 몰드가 닫힌다.

[1284] SCOFAST 기계에서 다이주조과 페이스 밀링을 함께 수행하면 전기톱 크랭크 케이스 및 유사한 부품을 제조하는 비용을 크게 줄일 수 있다는 것이 통상의 기술자에게 즉시 명백해질 것이다. 왜냐하면 공간적 일관성을 유지하면 다른 밀링 기계의 지그에 있는 각 크랭크 케이스를 인덱싱할 필요가 없기 때문이다. 공장 바닥 공간의 필요성 감소, 더 적은 수의 기계 및 기계 작업자의 필요성, 작업물을 한 기계에서 다른 기계로 이동하는 데 필요한 공간, 시간 및 노동력 감소로 인해 추가적인 비용 절감이 가능하다.

[1285] 본 실시예의 모든 특정 사항은 본 명세서에 개시된 시스템 및 방법 내에서 가능한 많은 변형을 수용할 수 있다는 것이 통상의 기술자에게 명백할 것이다. 재료는 마그네슘일 필요가 없고, 거의 순수한 부품은 고압 다이주조를 통해 생산될 필요가 없으며, 가공 작업은 페이스 밀링일 필요가 없으며, 추가 SCOFAST 작업은 원하는 대로 수행될 수 있다.

[1286] 스핀 용접 및 가공

[1287] 다른 실시예에서, SCOFAST 기계에서 수행되는 주요 작업은 스핀 용접(마찰 용접) 및 턴-가공을 포함한다. 이 실시예에서 SCOFAST 기계는 척 또는 콜릿과 같은 작업 홀딩 요소가 있는 메인 스핀들, 부분적으로 개방된 유도 가열 요소, 기본 스핀들과 동축이고 축 방향으로 이동 가능할 수 있는 모션 제어가 가능한 두 번째 스핀들에 장착된 두 번째 작업 홀딩 요소, 첫번째와 두번째 스핀들 작업 홀더에 홀딩된 작업물에 도구를 지탱할 수 있는 다축 도구 홀더를 포함한다. 첫번째 스핀들에는 고속 브레이크가 장착되어 있다. 두번째 스핀들에는 클러치가 장착되어 있으며, 클러치가 결합되면 두번째 작업 홀더가 보조 스핀들에 고정되고 클러치가 분리되면 자유롭게 회전하도록 구성된다. 두 개의 작업물은 두 개의 작업홀더에 고정되어 있으며 두 면이 스핀들과 직교하도록 각각의 작업물은 도구 터렛의 도구에 의해 마주보게 된다. 가열 요소는 작업물 중 하나 또는 둘 다를 예열하기 위해 선택적으로 배치된다. 이는 두 작업물의 재질이 다르거나 크기가 다른 경우 특히 유용한다. 메인 스핀들은 작업물의 재질과 크기에 따라 원하는 속도로 이동된다. 클러치가 결합되고 두번째 스핀들이 두 작업물의 가공된 면이 접촉하여 작업물의 재질과 크기에 따라 원하는 압력으로 함께 힘을 받을 때까지 전진한다. 첫번째 스핀들 작업물이 회전하면 두 작업물 사이의 마찰로 인해 가열된다. 올바른 온도에 도달하고 원하는 양의 작업물 재료가 흐르면(용접이 발생함) 두 번째 스핀들 클러치가 해제되고 첫 번째 스핀들 브레이크가 작동하여 두 작업물이 그들 사이에 더 이상 상대 회전 없이 함께 눌려진 상태를 유지할 수 있다. 조인트된 작업물은 선택적으로 가공 유체에 넘치고, 가공 도구는 용접 접합부에서 여분의 재료를 가공하고 접합된 작업물의 임의의 부분에 원하는 기능을 가공하기 위해 앞으로 이동된다. 작업은 공간적으로 일관된 방식으로 수행되므로 가공된 형상은 통합된 작업물과 동축성을 유지한다.

[1288] 식품제조

[1289] 일 실시예에서 SCOFAST 기계는 식품 산업에 사용하도록 구성된다. 예를 들어, 배트(vat)에서 재배한 고기 페이스트와 인공뼈 기질을 사용하여 햄 유사 제품인 "누햄(nuHam)"을 제조하는 데 다음 단계들를 거쳐 사용할 수 있다.

[1290] 1. 골질 물질 막대가 콜릿을 통해 전진하여 크기("뼈")에 맞게 조정된다.

[1291] 2. 뼈의 끝부분이 벌어져 있어 유지 특성으로 역할을 한다.

[1292] 3. 뼈 표면에 접착 촉진 물질을 도포한다.

[1293] 4. 압출 헤드를 사용하여 배트에서 재배한 고기 페이스트를 회전하는 뼈 주위에 쌓는다.

[1294] 5. 가압 다이와 열 에너지를 사용하여 배트(vat)에서 자란 고기를 최종 햄 모양으로 압력 성형한다.

[1295] 6. 가공된 작업물을 제거한다.

[1296] 7. 색상, 질감, 일관성을 위해 표면 처리가 적용된다.

[1297] 8. "허니 글레이즈(honey glaze)"와 같은 코팅이 추가된다.

[1298] 9. 누햄이 완성된 상태로 손질된다.

[1299] 10. 열처리가 적용된다.

[1300] 11. 누함을 커터로 썰어 나선형으로 슬라이싱한다.

[1301] 12. 지지 맨드릴을 뼈 내부에 배치하고 절단 도구를 사용하여 완성된 제품을 잘라낸다.

[1302] **다른 실시예**

[1303] 많은 다른 실시예가 가능하다.

[1304] 일 실시예에서 SCOFAST 기계는 단조를 포함하는 첫번째 작업과 드릴링을 포함하는 두번째 작업을 수행하도록 구성된다. 예를 들어, 지지 버팀대는 각 끝 부분에 평평한 부분을 단조하고 각 평평한 부분에 정확한 위치와 방향으로 구멍을 뚫는 방식으로 긴 원형 바스톡으로 제조된다.

[1305] 일 실시예에서, 가공 요소, 유도 가열 요소, 및 유체 전달 요소를 포함하는 SCOFAST 기계는 작업물을 가공하는 것으로 구성된 첫번째 작업 및 담금질 여부에 관계없이 제어된 유도 가열 및 후속 냉각 유도 가열에 의해 작업물의 표면 경화로 구성된 두번째 작업을 수행하도록 구성된다.

[1306] 일 실시예에서 SCOFAST 기계는 스위스 스크류 기계의 지오메트리 및 가공 기능과 결합된 성형 요소를 포함하며, 여기서 작업물은 메인 스핀들 콜릿과 가이드 부싱을 모두 통과하는 긴 바이다. 콜릿은 가이드 부싱 뒤에 위치하며 도구는 가이드 부싱 앞에 위치한다. 부품을 따라 세로로 절단하기 위해 도구는 원하는 절단 깊이까지 반경 방향 안쪽으로 이동하고 재료 자체는 주 스핀들 축을 따라 앞뒤로 이동한다. 이를 통해 편향이 최소화되는 가이드 부싱에 가까운 작업물에 대한 작업을 수행할 수 있으므로 가늘거나 덜 단단한 작업물 작업에 이상적인 설계가 된다. 이 지오메트리의 장점은 콜릿을 직접적으로 다루기보다는 가이드 부싱에 대해 단조 작업을 수행할 수 있으며, 다양한 가이드 부싱을 쉽게 맞춤화하여 고온과 높은 가압력을 견디고 관리하는(콜릿과 스핀들에서 격리시키는) 반면, 단조 다이의 후면 형상으로 역할을 하는 다양한 프로파일을 가질 수 있다는 것이다.

[1307] 하나의 실현된 실시예에서, 포친과 같은 SCOFAST 기계는 도 21에 도시된 것과 유사한 지오메트리를 가지며, 여기서 능동 툴링 터렛은 능동 및 수동 기계 도구뿐만 아니라 기본 스핀들 축을 따라 향하는 성형력의 소스도 제공한다. 기본 스핀들 콜릿이나 부싱 또는 단조 플레이트는 단조 앤빌 또는 단조 다이의 후면 역할을 한다. 이 설계는 현대적인 형태와 프레임에서 최소 1.5톤의 성형 및 단조력을 전달하고 견딜 수 있다.

[1308] 일 실시예에서 SCOFAST 기계는 도 9A, 9B 및 9C에 도시된 것과 유사한 지오메트리를 갖는다.

[1309] 일 실시예에서 SCOFAST 기계는 도 10에 도시된 것과 유사한 지오메트리를 갖는다.

[1310] 일 실시예에서 SCOFAST 기계는 하나 이상의 캐리지가 메인 작업 홀딩 스핀들과 동일선상으로 작동할 수 있도록 옆으로 이동할 수 있는 중간 프레임 캐리지를 제공하는 지오메트리를 갖는다. 이러한 배열의 장점은 힘 적용을 위해 하나의 캐리지와 터렛을 활용하고 동일한 축에서 작동하는 여러 능동 및 수동 가공 도구의 위치 지정 및 작동을 위해 다른 하나를 활용할 수 있는 능력을 포함하여 명백하다. 이 접근 방식은 캐리지들의 수에 관계없이 일반화될 수 있다.

[1311] 일 실시예에서 SCOFAST 기계는 아래와 같이 하지 않으면 가공하기 어려운 작업을 수행하는(to facilitate otherwise-difficult machining operations) 재료의 항복 강도를 충분히 감소시키기 위해 작업물(또는 그 일부)에 열 에너지를 주기적으로 전달하는 유도 가열 시스템을 갖는 터닝, 가공 또는 턴-가공 센터를 포함한다.

[1312] 일 실시예에서 SCOFAST 기계는 도 11에 도시된 것과 유사한 방식으로 구성된다. 용융된 재료는 공급 튜브(1)를 통해 주입되어 적어도 하나의 이동 부품[6]을 포함하는 다이 요소로 구성된 다이 캐비티를 부분적으로 채운다. 주조 램[4]은 응고가 일어나는 동안 피드 튜브와 다이를 막기 위해 전진한다. 가압 요소[8]가 전진하여 다이를 닫고 뜨거운 응고된 재료를 단조하여 소성 성형을 일으키고 플로우하여 다이 캐비티를 채운다. 가압 요소는 다이 본체 [6]를 후퇴시켜 주조 및 단조 작업물을 노출시킨다. 유리한 경우, 다이 본체는 도구 교환기(도시하지 않음)에 의해 제거되고 작업물을 단단히 고정하는 작업 고정 콜릿으로 교체된다. 능동 및/또는 수동 도구[7, 9]를 홀딩하는 도구 헤드는 가공 작업을 수행하기 위해 진행된다. 다른 실시예에 설명된 대로 추가 작업이 수행된다.

[1313] 일 실시예에서 SCOFAST 기계는 도 12에 도시된 것과 유사한 방식으로 구성된다. 압출될 재료의 빌렛이 다이[2]

에 공급되고 압출력이 가해져 다이의 목 부분에서 소성 변형을 겪고 콜릿[4]을 통해 압출되어 작업물[5]을 형성한다. 콜릿은 돌출부를 단단히 크램핑한다. 유도 코일(도시하지 않음)은 작업물을 가열하는 데 사용되며, 작업물은 다른 부분에 설명된 대로 가열, 단조 및 가공된다.

[1314] 일 실시예에서 SCOFAST 기계는 도 13에 도시된 것과 유사한 방식으로 구성된다. 작업물[5]은 콜릿[4]에 배치되고 클램핑 링[2]과 성형 다이[6] 사이에 클램팅된다. 성형 펀치는 작업물의 한쪽 면에 가압되고 유압 압력[10]에 의해 힘이 가해지고 성형 다이는 유압 압력[8]에 의해 클램핑 링에 단단히 가압된다. 작업물 재료가 성형 다이에서 완전히 변형되면 다이가 제거되고 가공 작업이 다른 곳에 설명된 대로 수행된다.

[1315] 일부 실시예에서 SCOFAST 기계는 다른 기계의 액션을 통해 및/또는 화학적 액션 및 재료에 대한 자연의 힘의 작업을 포함하는 공정을 통해 기능을 수행하고 효과를 생성하는 구성 요소를 포함한다.

[1316] 일 실시예에서 유도 히터와 단조 헤드를 포함하는 포친은 직경이 0.5인치이고 길이가 0.75인치인 5등급 티타늄의 원통형 빌렛에 가열 및 단조 작업을 수행할 수 있으며, 여기서 유도 히터는 빌렛의 온도를 약 900℃까지 높이고 단조 헤드는 빌렛을 약 0.5인치의 최종 길이로 업셋 단조하는 데 충분한 힘을 발휘한다.

[1317] 일부 실시예에서 SCOFAST 기계는 직접적으로 또는 간접적으로 연결되었는지, 그리고 이러한 제어, 조절 또는 작동에만 전념하는지 여부에 관계없이, 해당 SCOFAST 기계의 작동에 필요하거나 이와 함께 사용되는 지그, 다이, 도구 및 기타 장치와 함께, 이러한 기계를 제어, 조절 또는 작동하는 데 사용되거나 필요한 모든 장치를 포함한다. 다른 실시예에서 설명된 요소 중 일부는 SCOFAST 기계의 일부를 형성하는 반면, 다른 요소는 SCOFAST 기계 자체와 통신하거나 상호 작용하는 외부 요소이다.

[1318] 일부 실시예에서, 완전히 새로운 제조 기계는 개시된 시스템 및 방법에 따라 설계되고 제작된다. 다른 실시예에서 시스템 및 방법은 기존 가공, 적층 가공 또는 성형 센터에서 개조된다. 사실상 임의의 가공 센터가 개시된 시스템 및 방법을 활용하기 위해 쉽게 변경될 수 있다는 것은 통상의 기술자에게 명백할 것이다.

[1319] 일 실시예에서, 성형 및 기타 SCOFAST 작업은 범용 다축 가공 센터에 통합된다. 현재 상용화되어 있는 제품으로는 두산 SMX 시리즈 9축 가공센터(Doosan SMX series of 9-axis machining centers)가 있는데, 여기서는 단순히 다축 가공센터 종류 중 하나의 예로 명명했다.

[1320] 일부 실시예에서 작업물은 지구에 대해 고정된 위치에 유지되는 작업 홀더에 의해 고정되는 반면, 다른 실시예에서는 공간적으로 일관된 기계 내에서 결정론적 병진 및/또는 회전(즉, 로봇공학, 기계 컴퓨터 그래픽 등에서 일반적으로 사용되는 동종 변형 매트릭스로 정의될 수 있는 변형)의 일부 조합을 겪는 작업 홀더에 고정될 수 있다.

[1321] 다양한 실시예에서, 성형 및 가공에 사용되는 힘은 현재 알려져 있거나 미래에 개발될 수 있는 임의의 소스 및 임의의 유형의 소스로부터 파생될 수 있다. 일 실시예에서 성형력 또는 가공력은 유압 실린더로부터 파생된다. 다른 실시예에서는 힘이 공압 실린더에서 파생된다. 다른 실시예에서 힘은 선형 액추에이터로부터 파생된다. 다른 실시예에서 힘은 서보 드라이브로부터 파생된다. 다른 실시예에서 힘은 전자기적 인력 또는 반발력으로부터 파생된다. 일 실시예에서 힘은 단일 방향 또는 다중 방향으로 전달되는 힘과 함께 동일하거나 다른 유형의 둘 이상의 소스의 조합으로부터 파생되며, 각 소스는 부분적으로 또는 완전히 활성화되도록 구성되고 모든 소스는 함께 또는 순차적으로 또는 원하는 순서로 활성화되도록 구성된다.

[1322] 일부 실시예에서 SCOFAST 기계의 작동은 기계 조작자에 의해 수동으로 제어된다. 일부 실시예에서 SCOFAST 기계의 작동은 캠, 폴, 스위치 및 센서와 같은 요소를 포함하는 기계적 제어 시스템에 의해 제어된다. 일부 실시예에서 SCOFAST 기계의 작동은 SCOFAST 기계의 일부를 형성할 수 있거나 기계 자체 외부에 있는 전용 또는 범용 컴퓨터일 수 있는 컴퓨터에 의해 제어된다. 일부 실시예에서 SCOFAST 기계는 자동화된 기계에서 일반적으로 사용되는 것과 같은 컴퓨터 수치 제어(CNC) 시스템을 포함한다. 일부 실시예에서 SCOFAST 기계는 G-코드 또는 다른 기계 제어 코드를 실행한다. 일부 실시예에서 SCOFAST 기계의 동작은 독점적일 수 있거나 공개된 표준을 따를 수 있거나 오픈 소스일 수 있는 제어 언어에 의해 제어된다. 일부 실시예에서 SCOFAST 기계의 작동은 다양한 방법에 의해 제어된다. 일부 실시예에서 SCOFAST 기계의 작동은 여기에 설명되지 않은 기존 방법 또는 미래에 개발될 수 있는 방법에 의해 제어될 수 있다.

[1323] 일 실시예에서, 작업물의 인덱스 포지셔닝은 수동으로 수행된다. 다른 실시예에서 인덱스 포지셔닝은 로봇 팔에 의해 수행된다. 다른 실시예에서 인덱스 포지셔닝은 스핀들 또는 서브 스핀들, 슬라이딩 콜릿, 도구 고정 터렛의 인덱싱 도구 또는 전용 인덱싱 기계 요소에 의해 수행된다.

[1324] 일 실시예에서, 노출된 표면을 형성하고 가공하기 위해 일련의 SCOFAST 작업이 수행되는 동안 작업물은 첫 번째 작업 홀더에 고정되고, 그 후 작업물은 후속적으로 두 번째 작업 홀더에 의해 고정되고 첫 번째 작업 홀더로부터 해제되고, 그 후 작업물의 이전에 가려진 부분(previously obscured aspects of the workpiece)에 대해 추가 성형 및/또는 가공 작업이 수행될 수 있다.

[1325] 일 실시예에서 SCOFAST 기계는 도 7A, 7B, 7C 및 7D에 도시된 바와 같은 하나 이상의 단축 또는 다축 로봇 팔을 포함하며, 각각의 로봇 팔은 SCOFAST 기계 내에서 수행되는 작업의 일부로서 유리한 기능을 수행하도록 구성된다. 일예에서, 로봇 팔은 유도 가열 코일을 터미널 요소로 갖고, 유도 가열 코일을 가열을 위한 원하는 위치에 배치하고, 가열이 완료되면 제거하도록 구성될 수 있다. 다른 예에서, SCOFAST 기계 내의 로봇 팔은 최종 요소로서 스프레이 용접기를 갖고 작업물에 재료 층을 증착하기 위해 스프레이 용접기를 사용하여 추가 작업을 수행하도록 구성될 수 있다.

[1326] 일 실시예에서 SCOFAST 기계는 기계, 작업물 및/또는 수행 중이거나,수행될 예정이거나 기계 내에서 이전에 수행된 적이 있는 작업을 관찰할 수 있는 가상 현실(VR) 디스플레이, 증강 현실(AR) 디스플레이 및/또는 헤드업 디스플레이(HUD)를 포함한다. 이러한 디스플레이에는 기계 상태, 작업물, 툴링 및/또는 기타 관심 있는 정보에 대한 정보가 추가로 표시될 수 있다.

[1327] 일 실시예에서 SCOFAST 기계는 관련 기술 분야의 통상의 기술자에게 알려진 VR 모델링 기술 및 미래에 발견되거나 발명될 수 있는 추가 기술을 사용하여 현재의, 계획된(미래) 또는 이전에 완료된(과거) 작업을 표시하도록 구성된 가상 현실(VR) 디스플레이를 포함한다.

[1328] 일 실시예에서 VR, AR 또는 HUD 디스플레이는 SCOFAST 기계 내의 설정, SCOFAST 기계 내의 작업 또는 일련의 작업, SCOFAST 기계의 유지 관리, SCOFAST 기계의 구성, SCOFAST 기계 프로그래밍 또는 SCOFAST 기계와의 기타 상호 작용에 참여를 수행하는 오페레이터를 돕도록 구성된다.

[1329] 일 실시예에서 SCOFAST 기계는 작업물 고정 스핀들 중 적어도 하나와 도구 터렛 중 적어도 하나가 함께 작동하여 축 단조 및 약 1000 lbs-force 내지 약 50,000 lbs-force 범위, 바람직하게는 약 1000 lbs-force 내지 약 6000 lbs-force 범위에서 가압력을 전달하고 수용할 수 있는 다축 가공 센터이다. 일 실시예에서, 그러한 기계는 단조 및 가압을 용이하게 하고 다른 목적을 위해 작업물을 가열할 수 있는 유도 가열 장치를 추가로 포함한다.

[1330] 일 실시예에서 SCOFAST 기계는 3D 프린팅과 같은 추가 작업을 수행하도록 구성된 제1 도구, 열간 다이 단조와 같은 힘 전달 성형 작업을 수행하도록 구성된 제2 도구, 열간 단조용 앤빌(anvil)과 같은 힘 수용 작업을 수행하도록 구성된 제3 도구, 가공과 같은 절삭 작업을 수행하도록 구성된 제4 도구, 가열과 같은 변형 작업을 수행하도록 구성된 제5 도구, 레이저 광학 측정과 같은 측정 작업을 수행하도록 구성된 제6 도구, 레이저 마킹과 같은 마킹 작업을 수행하도록 구성된 제7 도구, 컷오프와 같은 절삭 작업을 수행하도록 구성된 제8 도구, 그리고 아웃로드를 위해 완성된 부품을 회수하도록 구성된 제9 도구를 포함한다. 각 도구는 도구 홀딩 및 포지셔닝(PHP) 장치에 장착된다. 각 도구의 위치와 방향은 컴퓨터로 작동되는 제어 장치에 의해 정밀하게 제어된다. 각 도구는 서로 다른 PHP 장치에 장착될 수 있으며, 선택 가능한 여러 도구는 단일 PHP 장치에 장착될 수 있다. 각 PHP는 적어도 하나의 축, 바람직하게는 2, 3, 4, 5개 이상의 축에서 도구를 이동하도록 구성될 수 있다. PHP는 제어 유닛의 명령에 따라 도구를 변경하도록 구성될 수 있으며, 다양한 도구는 도구 공급 유닛(tool provisioning unit(TPU))을 통해 각 THP에서 사용할 수 있게 된다. 각 THP는 선택적으로 로봇 팔을 포함할 수 있다.

[1331] 일 실시예에서, 3D 프린팅과 같은 추가 작업을 수행하도록 구성된 SCOFAST 기계 내의 활성 도구는 도 22에 도시된 압출 메커니즘과 유사한 필라멘트 압출 메커니즘을 포함한다.

[1332] 일 실시예에서 SCOFAST 기계 내에서 수행되는 일련의 작업에는 분말을 다이로 압축하여(compacting powders into a die) 캔디, 알약, 카바이드 블랭크, 베어링 표면 또는 임의의 다른 부분이나 부분의 특징과 같은 작업물 또는 작업물의 특성을 형성하는 것이 포함된다. 냉간 압축 작업에 사용되는 압력은 압축되는 재료에 따라 다르다. 특정 목적(예: 생물학적 및 식품 재료)의 경우 약 0.1 PSI ~ 약 1000 PSI 범위일 수 있지만, 다른 목적(예: 혼합 탄화물 분말)의 경우 일반적으로 약 10,000 PSI ~ 약 50,000 PSI 범위, 바람직하게는 약 30,000 PSI이다. 많은 재료의 경우, 특히 재료를 소결(“열간 압축”)에 적합한 온도로 가열할 때 열 에너지를 추가하면 접착에 필요한 압력이 크게 줄어들 수 있다.

[1333] 일 실시예에서, SCOFAST 기계는 작업물 홀딩 스핀들뿐만 아니라 회전 도구, 비회전 기계 도구, 레이저 또는 방

전 가공 도구와 같은 추가 가공 도구를 위해 다중 맨드릴이 제공되는 도구 터렛을 포함한다. 도구는 도구 매거진에 배열되어 필요에 따라 교환되므로 터닝, 드릴링, 밀링, 연삭, 호빙 또는 성형, 레이저 가공, 유도 경화, 방전 및 기타 절삭 작업을 통해 임의의 형상을 가공할 수 있다. 본 명세서에서는 통상의 기술자에게 알려져 있거나 미래에 발견되거나 발명될 수 있는 다른 절삭 작업과 함께 명명된다.

[1334] 일 실시예에서 SCOFAST 기계는 복수의 작업 홀딩 스핀들과 복수의 작업 헤드를 포함하며, 각 작업 헤드는 복수의 도구 헤드를 보유하고 각각은 어떤 도구가 작업 헤드의 도구 헤드에 로드되는지에 따라 다양한 작업을 수행할 수 있다. 작업 헤드는 작업 장소에 고정된 작업물에 작용하도록 가져온다. 작업 헤드는 단독으로 또는 다른 작업 헤드와 결합하여 작업물에 작용할 수 있다.

[1335] 일 실시예에서, 시스템 및 방법은 원하는 SCOFAST 요소를 구현하기 위해 기존 기계에 장착될 수 있는 기계 요소로 예시된다. 예를 들어, 도 7A, 7B, 7C 및 7D에 도시된 것과 같은 로봇 팔은 기존의 가공 센터에 통합되어 가공 센터의 기존 공간적으로 일관된 작업 공간 내에서 유도 가열 및 열간 성형과 같은 다양한 작업을 수행할 수 있다. .

[1336] 일 실시예에서 캐리어는 단조 다이를 제 위치로 가져온 후 보조 드라이브("단조 드라이버")가 활성화된다. 바람직한 실시예에서, 2차 단조 드라이버는 유압 메커니즘에 의해 구동된다. 다른 실시예에서는 공압 메커니즘, 전기 선형 드라이버, 자기 레일 드라이버, 웜 기어, 기계적 레버, 또는 현재 존재하거나 미래에 발생할 수 있는 다른 메커니즘에 의해 전력을 공급받을 수 있다. 단조 드라이버의 목적은 단조 다이 또는 플래튼을 원하는 속도로 앞으로 이동시켜 작업물과 접촉하는 순간 원하는 양의 힘을 전달하고, 초기 접촉 후에 원하는 양의 잔류 힘이 이후에도 계속해서 플래튼을 앞으로 누르는 것이다.

[1337] 일 실시예에서 다수의 도구를 고정하는 터렛은 3D 프린팅 압출 헤드와 같은 하나 이상의 추가 도구, 열간 단조 다이와 같은 하나 이상의 성형 도구, 그리고 모따기 도구 또는 회전 커터와 같은 하나 이상의 활성 또는 비활성 가공 도구를 수용할 수 있다.

[1338] 일 실시예에서 SCOFAST 기계는 온간 또는 열간 가공을 위해 구성된다. 많은 고가 합금은 높은 인성과 높은 가공 경화 경향으로 인해 가공이 매우 어렵다. 이 실시예에서 작업물은 재료의 항복 강도를 감소시키기에 충분한 온도, 바람직하게는 재료의 절대 재결정 온도의 약 30% 이상(온간 가공), 더 바람직하게는 재료의 절대 재결정 온도의 약 60% 이상(열간 가공)으로 가열되고, 그후 본 명세서에 기술된 및/또는 통상의 기술자에게 일반적으로 알려지고, 현재 존재하거나 미래에 발견될 수 있는 다른 것들과 같은 원하는 온도에서 유리할 수 있는 툴링 및 윤활제를 사용하여 상기 온도에서 또는 그 부근에서 가공된다.

[1339] 일 실시예에서 작업물은 절대 규모로 작업물 재료의 재결정화 온도의 약 30% 내지 약 90%(포함)의 온도 범위, 바람직하게는 재결정 온도의 약 60% 이상의 온도 내에서 특정 온도 이상으로 가열되며, 가공 작업은 그 온도 이상으로 작업물을 유지한 채 수행된다.

[1340] 일 실시예에서, 작업물의 열 에너지 함량은 절대 규모로 작업물을 작업물 재료의 재결정화 온도의 약 0% 내지 약 30%(포함)의 온도 범위, 바람직하게는 재결정 온도의 약 20% 이상이 되는 온도 내에 있는 특정 온도로 만들기 위해 조정되고, 가공 작업은 작업물이 그 온도 범위 내에 유지되는 동안 수행된다.

[1341] 일 실시예에서, 작업물은 절대 규모로 작업물 재료의 재결정 온도의 약 90% 이상의 온도 범위, 바람직하게는 재결정 온도의 약 100% 이상의 온도 내에 있는 특정 온도로 가열되며, 가공 작업은 작업물이 해당 온도 범위 내에 유지되는 동안 수행된다.

[1342] 일부 실시예에서 작업은 SCOFAST 기계 내에서 동시에 하나 이상의 작업물에 대해 수행된다.

[1343] 일부 실시예에서 유도 가열은 하나 이상의 유도 코일을 사용하여 수행되며, 각 코일은 서로 다른 매개변수를 사용하여 독립적으로 전기 에너지를 공급받는다. 예를 들어, 작업물에 적용된 다중 코일은 각각 서로 다른 전력과 주파수를 수신할 수 있으므로 서로 다른 전계 강도를 생성할 수 있다. 이를 통해 차등 가열 영역을 생성하고, 불규칙한 모양의 물체에 대한 가열 균일성을 개선하고, 통상의 기술자에게 명백할 다른 유리한 열 작업을 수행할 수 있다. 일부 실시예에서는 작업물 전체에 걸쳐 열의 분포를 제어하기 위해 서로 다른 필드 깊이가 사용된다.

[1344] 유도 코일이 작업물에 열 에너지를 전달하는 데 사용되는 실시예에서, 유도 코일은 임의의 지오메트리를 가질 수 있고 작업물에 대해 임의의 방향으로 배치될 수 있다. 예를 들어, 작업물이 코일 안으로 축방향으로 이동하거나 코일이 작업물 위에서 축방향으로 이동하는 것을 요구하는 폐쇄 코일이 사용될 수 있다. 다른 예에서, 부

분적으로 개방된 코일이 사용될 수 있으며, 개방 영역은 작업물 위 및 주위에서 횡방향으로 이동할 수 있도록 한다. 다른 예에서, 분할 또는 힌지형 코일이 사용될 수 있으며, 이는 코일이 작업물 주위에 완전한 원형 또는 나선형 랩을 형성하기 위해 닫히기 전에 가로로 이동할 수 있도록 한다. 다른 예에서, 임의의 다른 코일 지오메트리 또는 지오메트리의 조합이 사용될 수 있다.

[1345] 일 실시예에서 작업물에 열 에너지를 전달하는 데 사용되는 유도 코일은 도 6: *내부 인서트를 보여주는 유도 가열 코일 세부사항*에 도시된 바와 같이 슬리브와 맞춰진다. 슬리브(2)는 도시된 바와 같이 코일(1) 내부에 끼워질 수도 있고, 코일외부 둘레에 맞춰질 수도 있고, 코일 내부와 외부 모두로 연장될 수도 있다. 슬리브는 코일 강성을 추가하고, 코일과 작업물 사이에 균일한 스탠드오프(커플링) 거리를 설정하고, 코일 및/또는 작업물을 보호하기 위한 마모 표면을 제공하고/하거나 액체 또는 기화된 가공 유체, 중성 가스 혼합물, 처리 유체, 증기 또는 가스와 같은 액체, 가스 및 증기를 유지하는 역할을 할 수 있다. 슬라브는 가열 중에 작업물에 바로 인접한 공간에서 원치 않는 가스 혼합물의 이동을 용이하게 한다. 코일 슬리브는 (3)에 표시된 것과 같은 플랜지를 포함할 수 있다. 플랜지는 작업물을 고정하는 콜릿이나 기타 작업 홀더에 대한 부분적 또는 완전한 밀봉 역할을 하여 코일을 안정화하고 작업물을 가열하는 동안 산소나 수소와 같은 원치 않는 가스의 변위(the displacement of unwanted gases)를 개선할 수 있다.

[1346] 일 실시예에서 작업물과 하나 이상의 도구의 에너지 함량은 각각 독립적으로 조작된다. 예를 들어 절단 도구가 한 온도로 유지되고 성형 다이가 두 번째 온도로 유지되고 작업물이 세 번째 온도로 유지된다.

[1347] 일 실시예에서 SCOFAST 기계는 기계적 힘, 기계 및 장치에 의해 결과 또는 효과가 생성되는 기능 또는 작업을 수행하는 요소를 포함한다.

[1348] 일 실시예에서 SCOFAST 기계는 그 결과 또는 효과가 화학적 액션에 의해 생성되는 공정을 수행하는 요소를 포함한다.

[1349] 일 실시예에서 SCOFAST 기계는 그 결과 또는 효과가 일부 요소 또는 자연의 힘의 작동 또는 적용에 의해 생성되는 공정을 수행하는 요소를 포함한다.

[1350] 일 실시예에서 SCOFAST 기계는 그 결과 또는 효과가 하나의 물질을 다른 물질에 적동하거나 적용에 의해 생성되는 공정을 수행하는 요소를 포함한다.

[1351] 일 실시예에서 작업물은 두 번 이상 가열되고 단조된다. 첫 번째 이후의 추가 가열은 서로 다른 온도에서 이루어질 수 있으며 단조 작업마다 힘이 다를 수 있다.

[1352] 일 실시예에서 SCOFAST 기계 내에서 수행되는 첫 번째 작업은 패브릭(fabric), 직물, 플라스틱 또는 기타 착용 가능한 재료와 같은 유연한 작업물에 재료를 생성하거나 추가하는 적층 작업을 포함하고, 두 번째 작업은 열간 압력 몰딩과 같은 성형 작업을 포함하고, 세 번째 작업은 절단과 같은 절삭 작업을 포함한다.

[1353] 일 실시예에서 SCOFAST 기계는 먼저 용융, 기화 또는 연소될 수 있는 재료로부터 원하는 부품의 모델을 기계로 가공하도록 구성되고; 그런 다음 해당 모델을 석고 몰드(plaster mold)에 투입하고; 그런 다음 모델을 태워서 붓기(pouring), 주입, 진공 또는 기타 주조 기술에 의해 부품을 몰드에 주조하고; 그런 다음 주물(casting)을 최종 사양에 맞게 가공하고, 그런 다음 부품에 표면 코팅을 추가한다. 이 모든 단계들은 동일한 기계 내에서 공간적으로 일관된 방식으로 수행된다.

[1354] 다른 실시예에서 SCOFAST 기계는 용융, 기화 또는 연소될 수 있는 희생 물질로부터 원하는 부분의 모델을 먼저 3D 프린팅하도록 구성되고; 그런 다음 해당 모델을 석고 몰드에 투입하고; 그런 다음 모델을 태워서 붓기, 주입, 진공 또는 기타 주조 기술을 사용하여 부품을 몰드에 주조하고; 그런 다음 주물을 최종 사양에 맞게 가공하고; 그런 다음 부품에 표면 코팅을 추가한다. 이 모든 단계는 동일한 기계 내에서 공간적으로 일관된 방식으로 수행된다.

[1355] 다른 실시예에서 SCOFAST 기계는 먼저 3D 프린팅하고 이어서 용융, 기화 또는 연소될 수 있는 희생 재료로부터 원하는 부품의 모델을 가공하도록 구성되고, 그런 다음 해당 모델을 석고 몰드에 투입하고, 그런 다음 모델을 태워서 붓기, 주입, 진공 또는 기타 주조 기술을 사용하여 부품을 몰드에 주조하고; 그런 다음 주물을 최종 사양에 맞게 가공하고; 그런 다음 부품에 표면 코팅을 추가한다. 이 모든 단계는 동일한 기계 내에서 공간적으로 일관된 방식으로 수행된다.

[1356] 일 실시예에서, SCOFAST 기계는 구멍 내부 깊은 곳의 작업물의 영역을 유도 가열하도록 구성된다. 티타늄 합금에 긴 보어 구멍을 드릴링하는 것과 같은 특정 작업은 특정 지오메트리 및 특정 기계 제약 조건에서 피할 수 없

는 가공 경화로 인해 매우 어렵다. 툴링 바로 근처에서 재료를 가열하여 항복 강도를 줄이면 드릴링이 용이해지고 가공 경화 문제를 줄일 수 있다.

[1357] 일 실시예에서 SCOFAST 기계는 캡티브 와셔(captive washer)가 있는 볼트 또는 캡티브 클로저가 있는 샤클(shackle)과 같이 분리되어 있지만 서로 캡티브 상태로 유지될 수 있는 여러 요소들을 갖는 부품을 제작하도록 구성된다.

[1358] 일 실시예에서 단조는 해머 역할을 하는 힘 구동기와 앤빌 역할을 하는 힘 수용기 사이, 또는 대안적으로 반대 방향으로 정렬된 한 쌍의 힘 구동기 사이에 위치한 작업물로 수행되며, 각각은 해머 역할과 앤빌 역할을 모두 수행한다. 힘 구동기는 공압 또는 유압 실린더, 램 또는 기타 전자기 장치, 기어 및 레버가 있는 모터 배열, 낙하 추 또는 기타 메커니즘에 의해 구동될 수 있다. 단조 타격이 가해지는 동안 과도한 힘이 전달되는 것을 방지하기 위해 해머와 앤빌이 프레임 부착물에서 분리될 수 있다.

[1359] SCOFAST의 일 실시예에서 재료의 물리 화학적 처리에 필요한 기계 요소는 가공 센터에 통합된다. 다양한 물리화학적 처리가 이러한 방식으로 가공 센터에 통합될 수 있다. 각각의 물리화학적 처리를 수행할 수 있는 기능을 통해 두번째 기계로 제거해야 했던 부품에 대한 다양한 작업이 가능해진다. 예를 들어, 부품 가열(예: 유도 코일 포함)을 통합하면 단조, 스탬핑, 벤딩, 경화, 응력 완화, 어닐링, 아노다이징, 코팅 및 두번째 기계에서의 두번째 작업을 위해 전통적으로 부품 제거가 필요한 기타 여러 일반적인 작업과 가공을 통합할 수 있다.

[1360] 일부 실시예에서 SCOFAST 기계는 생물학적 시스템에 맞춰진 작업을 통해 생물학적 부품을 제조하는 데 사용될 수 있다. 적층 작업은 생체 재료의 기질을 증착할 수도 있고 생물학적 재료를 직접 증착할 수도 있다. 다른 추가 작업에는 살아있는 생체 물질의 증가 또는 성장이 포함될 수 있다. 절삭 작업에는 생물학적 상호작용을 통한 물질 제거뿐만 아니라 화학적, 물리적 효과를 통한 제거도 포함될 수 있다.

[1361] 일 실시예에서, 뼈 매트릭스는 초기에 추가 작업을 통해 생성된 다음 원하는 모양으로 가공되고, 최종적으로 매트릭스를 왜곡하고 변형되도록 계산된 힘을 통한 응력 하에서 홀드되고 후속 성장의 트라벡 패턴(trabecular patterns)을 변경하므로 성형된다. 작업 중에 가해지는 힘은 부품 기능에 중요한 미세 구조의 정렬을 유발한다.

[1362] 일 실시예에서, SCOFAST 기계는 적층, 성형, 절삭 및/또는 변형 작업의 조합을 통해 의약품을 제조하도록 구성되어, 여러 방향의 통과(pass-throughs in multiple directions) 및 그렇지 않으면 단일 공정을 통해 또는 단일 기계를 통해 생산될 수 없는 언더행(underhangs that cannot otherwise easily be produced through a single process or in a single machine)과 같은 구조 또는 지형적 특징을 허용한다. ,

[1363] 일부 실시예에서 SCOFAST 기계는 전자 제품 제조에 사용하도록 구성된다. 일 실시예에서, SCOFAST 기계는 칩 제조에 사용되고, 성형 작업(예를 들어, 칩 회로 주위의 재료 밴딩 또는 성형) 후에, 예를 들어, 현재 존재하거나 통상의 기술자에게 분명한 미래에 발생할 수 있는 다양한 다른 목적을 위해, 통합 방열판을 제조하고, 잭이나 소켓과 같은 다른 구조를 가지고 부품 인터페이스를 만들고, 수용 부품 내에 정밀한 맞춤을 생성하는 가공 작업이 뒤따르도록 구성된다.

[1364] 다른 실시예에서 SCOFAST 기계는 작업물이 회로 기판이고 에너지와 힘이 가해져 회로의 서로 다른 구성 요소(예: 용접 와이어 부착물 또는 배터리 연결부)의 용접을 유발하고, 용접 작업 이후에 예를 들어 과잉 재료 제거, 산화 제거, 표면 품질 변경, 작업물의 일부 모양 변경(예: 나사산 또는 키잉 기능 추가) 또는 기타 작업의 기계 작업이 뒤따르도록 구성된다.

[1365] 다른 실시예에서, 열 전도성 물질 내에 캡슐화되고 나사 또는 볼트 형태로 가공되거나 의도된 사용 시나리오에서 수용 형태와 일치해야 하는 기타 모양으로 가공되야 하는, 서미스터, 저항 온도 검출기, 아날로그 온도계 집적 회로, 또는 디지털 온도계 집적 회로와 같은, 캡슐화를 필요로 하고 특정 형태여야 하는 부품들을 제조하기 위해 SCOFAST 기계 내에서 여러 작업이 수행된다.

[1366] 다른 실시예에서, SCOFAST 기계는 함께 적층되고 나사나 볼트 모양으로 만들어지거나 의도된 사용 시나리오에서 수용 형태와 일치해야 하는 다른 모양으로 만들어져야 하는, 둘 이상의 서로 다른 금속들로 구성된 열전대와 같은, 함께 결합된 다음 특정 형상으로 만들어져야 하는 둘 이상의 서로 다른 재료로 만들어진 부품의 제조에서 여러 작업을 수행하도록 구성된다.

[1367] 다른 실시예에서, 첫 번째 작업은 첫 번째 구성 요소(작업물)에 수용 포켓을 성형하는 가공을 포함하고, 두 번째 작업은 두 번째 구성 요소를 변형하기 위해 에너지와 힘을 적용하여 두번째 구성 요소가 작업물에 가공된 포켓 내에 안전하게 고정하는 것이다. 본질적으로 이는 첫 번째 구성 요소 내에서 다이를 가공한 후 두 번째 구성

요소의 일부를 해당 다이로 단조하는 것을 나타낸다. 다이에 다이 내에서 단조된 부품의 제거를 방지하는 특성이 포함된 경우 두 번째 구성 요소는 단조 후 다이 내에 유지된다. 한 예에서, 포켓은 오버행으로 가공될 수 있으며, 가공된 포켓 내에서 두 번째 구성 요소를 변형하기 위해 에너지와 힘을 가한 후에 두 번째 구성 요소는 영구적으로 제자리에 유지되며 내부 치수는 탈출을 방해하는 오버행보다 커진다. 예를 들어, 부품은 포켓의 더 깊은 부분이 포켓의 표면 부분보다 더 많이 절단되는 작업물 내에 포켓을 가공하는 것을 포함하는 첫 번째 단계와, 일부 변형 가능한 재료의 바를 포함하는 두번째 구성 요소가 그 단계가 완료된 후 돌출 샤프트로 남아 있는 바의 일부와 함께 포켓에 단조되어 원래 작업물 내에 완전히 내장된 고정 헤드가 있는 돌출 샤프트를 생성하는 두번째 단계를 통해 제조될 수 있다. 이 기술의 한 가지 분명한 장점은 헤드의 형태가 포켓의 형태에 관계없이 일치하므로 지오메트리가 변형된 작업물을 유지할 수 있다는 것이다. 예를 들어 릴리프 구역을 잘라내거나 나사산을 추가하거나 키잉 특성을 도입하는 등 돌출 샤프트의 형상을 응용하는 추가 가공 단계를 적용할 수 있다.

[1368] 일부 실시예에서 SCOFAST 기계는 기계 작업과 압입 작업(press-fitting operations)의 조합을 통해 부품을 제조하도록 구성된다. 예를 들어, 작업물에 블라인드 또는 관통 구멍을 가공하고, 두 번째 부품을 구멍에 압입한 다음, 두 번째 부품의 부분을 가공하여 작업물과 정의된 공간적 관계를 갖는 최종 형상을 만드는 것이 바람직할 수 있고, 그 전체는 이제 SCOFAST 기계의 추가 작업을 위한 기반이 될 수 있는 복합 작업물을 포함한다. (본 명세서에 제공된 모든 예에서와 같이) 설명된 공정은 원하는 만큼 여러 번 반복될 수 있으며, 새로운 구멍을 가공하고 새로운 부품을 해당 구멍에 압입한 다음 가공하여 형상을 만들 수 있고 무한히 반복되는 것이 명백할 것이다.

[1369] 예를 들어, 공간적으로 일관성 있는 복합 작업은 Ti 6Al-4V(등급 5) 티타늄 금속 작업물에 구멍을 뚫고, 작업물을 가열하여 구멍을 확장하고, Ti 6Al-4V 티타늄 금속 부품을 그 홀에 압입하는 한편, 돌출된 스터드를 남기고 금속 부품 베이스 주위에 유지 비드를 용접하고 비드의 표면 부분을 가공하고 돌출된 금속 스터드 상에 나사산을 가공하는 것으로 설명될 수 있다. 이 예에서는 단일 금속(티타늄)의 단일 합금을 사용하여 수행되는 특정 작업을 설명하지만, 이 예가 다른 금속 및 다른 합금을 포함하도록 일반화한다는 것은 명백하다.

[1370] 일 실시예에서, 기존 터닝 기계, 밀링 기계, 스크류 기계, 또는 부품 제조에 사용되는 작업을 수행할 수 있는 다른 기계는 포친 역할을 하도록 개조된다.

[1371] 일 실시예에서, 재료는 성형 작업을 포함하는 작업을 통해 거의 그물 모양으로 형성되고 표면 특성은 생체 가공 단계에서 밀링된다.

[1372] 일부 실시예에서 SCOFAST 기계는 소성 성형 없이 탄성 변형을 달성하기 위해 힘이 가해지는 작업을 수행하도록 구성된다. 예를 들어, 작업물의 원하는 부분 또는 측면에 접근할 수 없었던 도구에 대한 접근을 제공하기 위해 작업물 또는 그 일부를 원래 위치에서 편향시키는 것이 유리할 수 있다. 다른 예에서는 어닐링, 가열, 냉각, 음향 처리, 방사선 노출, 화학적 노출 또는 기타 물리적 또는 화학적 처리와 같은 변형 작업을 수행하는 동안 작업물을 탄성 변형된 위치에 유지하는 것이 바람직할 수 있다.

[1373] 일 실시예에서, 재료는 기계로부터 재료를 제거하지 않고 최종 형상으로 가공되기 전에 특정 형상으로 성형된다.

[1374] 일 실시예에서, 다른 단계에서 재료를 가공하기 전에 한 단계에서 재료의 성질을 변화시키는 처리가 수행된다.

[1375] 일 실시예에서 작업물은 가공에 의해 변경되기 전에 사출 몰딩을 통해 형성된다.

[1376] 일 실시예에서 SCOFAST 기계 내에서 수행되는 일련의 작업은 주조, 단조, 가공 및 압입을 포함한다.

[1377] 일 실시예에서 금속은 액화되어 압력을 받아 주조 및 단조에 모두 사용되는 분할 다이로 전달된다. 베이스 다이는 필요에 따라 위치를 지정하고 회전할 수 있는 작업 홀더에 홀드된다. 페이스 다이는 압력 실린더에 부착되어 베이스 다이와 결합되도록 앞으로 이동된다. 소량의 과잉 재료를 사용하여 주조품을 만들고, 주조가 완료되면 압력 실린더가 주조 작업물에 소성 성형을 일으키기에 충분한 힘을 가하여 가공품의 밀도, 정밀도, 기계적 특성 및 마감을 향상시키고 모공(pores) 및 수축 캐비티(shrinkage cavities)과 같은 결함을 제거한다. 필요에 따라 해당 부위에 유도 코일을 삽입하여 추가 열을 공급할 수 있다. 주조하기 어려운 작은 형상은 단조 단계를 추가하여 안정적으로 얻을 수 있다. 단조 단계가 완료되면 다이 중 하나가 후퇴되고 작업 홀더가 제자리로 이동되어 추가 작업을 위해 작업물을 고정하고 배치한다. 두 번째 다이가 후퇴되어 기계 도구가 작업물의 한쪽 측면에 접근할 수 있다. 언더컷, 고도로 지정된 표면, 구멍, 나사산 요소 및 쉽게 주조하거나 단조할 수 없는 기타 특성들과 같은 추가 특성을 가공하기 위해 기계 도구를 배치한다. 백 가공 작업(back-machining operations)을 수행해야 하는 경우 두 번째 작업 홀더가 전진하여 반대쪽에서 작업물을 고정하고 배치하고 첫 번째 작업홀더가

후퇴되어 기계가 작업물의 반대쪽에 접근할 수 있다. 모든 가공이 완료되면 그리퍼가 작업물의 캐비티의 오프닝에 베어링을 위치시키고 압력 실린더가 전진하여 베어링을 제자리에 밀어 넣다. 그런 다음 작업물은 작업 홀더에 의해 방출되고 수집 영역에 배치되는 그리퍼에 의해 홀드된다.

[1378] 일 실시예에서 SCOFAST 기계 내에서 수행되는 작업은 모든 변형 작업을 포함하는 작업 그룹에서 선택된 첫 번째 작업과 모든 절삭 작업을 포함하는 작업 그룹에서 선택된 두 번째 작업을 포함한다.

[1379] 일 실시예에서, SCOFAST 기계 내에서 수행되는 작업은 모든 성형 작업을 포함하는 작업 그룹에서 선택되는 첫번째 작업 및 모든 절삭 작업을 포함하는 작업 그룹에서 선택되는 두번째 작업을 포함한다.

[1380] 일 실시예에서, SCOFAST 기계 내에서 수행되는 동작은 모든 변형 동작을 포함하는 동작 그룹에서 선택된 제1 동작 및 모든 추가 동작을 포함하는 동작 그룹에서 선택된 제2 동작을 포함한다.

[1381] 일 실시예에서, SCOFAST 기계 내에서 수행되는 작업은 모든 성형 작업을 포함하는 작업 그룹에서 선택되는 첫번째 작업 및 모든 추가 작업을 포함하는 작업 그룹에서 선택되는 두번째 작업을 포함한다.

[1382] 일 실시예에서 SCOFAST 기계 내에서 수행되는 작업은 모든 추가 작업을 포함하는 작업 그룹에서 선택되는 첫 번째 작업, 모든 성형 작업을 포함하는 작업 그룹에서 선택되는 두 번째 작업, 및 모든 절삭 작업을 포함하는 작업 그룹에서 선택되는 세 번째 작업을 포함한다.

[1383] 일 실시예에서 SCOFAST 기계 내에서 수행되는 작업은 모든 추가 작업을 포함하는 작업 그룹에서 선택되는 첫 번째 작업, 모든 변형 작업을 포함하는 작업 그룹에서 선택되는 두 번째 작업, 모든 성형 작업을 포함하는 작업 그룹에서 선택되는 세 번째 작업, 및 모든 절삭 작업을 포함하는 작업 그룹에서 선택되는 네 번째 작업을 포함한다.

[1384] 일 실시예에서, 와셔, 스탠드오프 또는 슬리브와 같은 다른 부품은 일부 또는 모든 작업이 완료된 후 볼트 샤프트 위에 위치하며, 추가 작업은 크림프 또는 비드와 같은 유지 특성을 추가하여 추가된 부품 캡티브(added part captive)를 홀드한다.

[1385] 일부 실시예에서 SCOFAST 기계는 작업물 고정 콜릿과 작업물 사이에 위치한 "단조 플레이트"를 포함할 수 있다. 단조 플레이트에는 엠보싱이나 음각을 새겨 단조품 표면에 마크를 남길 수 있다. 또한 이는 단조 다이의 전부 또는 일부 역할을 할 수도 있다. 단조 플레이트는 부싱 역할을 할 수도 있고 그 자체로 부품을 고정하는(clamp) 콜릿 역할을 할 수도 있다. 단조 플레이트는 단조력을 프레임 요소에 전달하는 역할을 하는 지지 또는 버팀대를 수용할 수 있으므로 스핀들 베어링을 통해 전달되어야 하는 성형력 구성 요소를 줄이거나 제거할 수 있다. 단조 플레이트에 콜릿이 포함된 경우, 단조와 같은 고하중 작업 중에 주 스핀들 콜릿이 이완되어 단조 플레이트가 스핀들 베어링의 개입 없이 전체 힘을 수용하고 전달할 수 있다.

[1386] 일부 실시예에서 도구 헤드는 가압 헤드의 역할도 한다. 툴 헤드가 유압 실린더, 서보 드라이브, 선형 액츄에이터 또는 기타 방법으로 전진하는 경우 툴헤드뿐만 아니라 압력헤드 역할을 하도록 구성될 수 있다. 가압 시스템의 모든 부품은 수행할 데스크에 필요한 속도, 힘 및 정밀도를 제공할 수 있도록 적절한 크기를 가져야 한다. 유압 장치의 경우, 펌프 압력과 플로우 용량은 필요한 최대 힘과 최고 속도에 맞게 크기를 조정해야 하며, 필요에 따라 더 적은 유압 요구 사항을 공급하는 데 사용되는 압력 및 플로우 제어 장치를 사용한다. 도구 헤드가 유압이 아닌 서보 구동되는 경우 서보 드라이브, 웜 나사 등은 필요한 최대 압력과 속도에 맞게 크기를 비슷하게 조정해야 하며 제어 시스템은 각 특정 작업에 대해 드라이브의 동작을 조정한다.

[1387] 어떤 힘이 가해지든, 가압 기능과 관련된 기계의 모든 부품들은 과도한 움직임 없이 그 힘을 견딜 수 있어야 한다. 예를 들어, 회전 장치(turning apparatus)가 가압 장치로도 사용되는 경우 프레임, 캐리지, 가압 헤드, 콜릿, 스핀들, 스핀들 베어링, 스핀들 마운트 및 기타 기계 부품은 원치 않는 편향없이 필요한 힘을 지탱할 수 있을 만큼 충분히 강하고 단단해야 한다.

[1388] 일부 실시예에서, 가압 기능을 수행하는 도구 헤드를 갖는 것이 바람직하지 않으며, 이 경우 자체 가압 프레임을 갖춘 유압식 또는 서보 압력로 구성된 하위 어셈블리가 툴헤드의 임의의 부분에 통합되거나 장착될 수 있다. 원하는 방향으로 기계를 가공하고, 압력 액션이 축을 따라 작업물의 원하는 측면으로 향하도록 배치된다.

[1389] 일 실시예에서 SCOFAST 기계는 임의의 유형일 수 있는 추가 작업과 결합된 인발 작업을 수행하도록 구성된다. 바스톡은 기계에 공급되어 스핀들, 스핀들 콜릿, 유도 가열 코일을 통과한 후 드로우 플레이트 또는 성형 롤러로 전달된다. 도구 포지셔너의 고정 도구는 바스톡을 잡고 장력을 가하여 재료를 열간 인발 또는 열간 압연하여 원래 바스톡과 비교하여 더 작은 직경과 잠재적으로 다른 단면으로 만든다. 제조 작업의 어떤 조합이 뒤따를 수

있다. 이러한 방식으로 바스톡의 기본 직경이나 단면 형상을 변경하는 기능은 많은 장점을 제공한다. 예를 들어, 부품을 만들기 위해 잘라내야 하는 폐기물의 양을 늘리지 않고도 단일 크기의 바스톡으로 다양한 크기의 나사 및 볼트와 다양한 계단식 직경 특징을 제조할 수 있다.

[1390] 일 실시예에서 SCOFAST 기계는 두 개의 다른 작업 사이에서 변형 작업을 수행하도록 구성되어 있으며, 첫 번째 하위 작업이 재료의 한 세트의 물리적 특성으로부터 이익을 얻도록 제1 하위 작업과 두 번째 하위 작업 사이에서 작업물을 처리하고 두 번째 하위 작업은 재료의 두 번째 물리적 특성 세트로부터 이익을 얻는다. 예를 들어, 작업 수행 전이나 도중에 재료를 처리하여 작업이 재료의 물리적 특성 변화로부터 이익을 얻도록 한다.

[1391] 일부 실시예에서 SCOFAST 기계 내의 하나 이상의 작업은 보호 분위기 또는 하나 이상의 기판을 가스 또는 증기 형태로 제공하는 분위기에서 수행될 수 있다. 예를 들어, 아르곤 보호 대기를 사용하여 산화를 줄이거나 제거할 수 있다. 질화물의 형성을 촉진하기 위해 질소 분위기가 사용될 수 있다. 표면 코팅의 기상 증착에는 사염화티타늄과 수소 및 질소를 포함하는 혼합 분위기를 사용할 수 있다. 다수의 유용한 기체 및 증기 분위기는 통상의 기술자에게 공지되어 있을 것이며, 이들 중 임의의 것이 개시된 시스템 및 방법의 범위 내에서 필요한 결과를 달성하기 위해 사용될 수 있다.

[1392] 일부 실시예에서 SCOFAST 기계는 진공 챔버를 포함할 수 있으며 작업은 임의의 지정된 진공도 하에서 진공 챔버 내에서 실행될 수 있다. 이는 특정 공정이 진공에서 수행되어야 하는 반면, 다른 공정은 진공 하에서 더 유리하게 수행될 수 있기 때문에 유리할 수 있다. 예를 들어, 진공은 작업물이 가열될 때 표면 반응을 제어하거나 제거할 수 있다. 진공 처리를 통해 부품의 오염 물질도 제거할 수 있으며 경우에 따라 재료 표면에서 발견되는 산화물을 탈기(degas)하거나 변형할 수도 있다.

[1393] 일부 실시 예에서 하나 이상의 SCOFAST 작업은 바스톡 공급 장치와 같은 재료 적재 장치에 통합될 수 있다. 바스톡이 바스톡 공급기로부터 스핀들과 콜릿을 거쳐 가공 센터로 통과하는 실시예에서, 이러한 작업은 스톡이 스핀들을 통과하기 전에 발생한다.

[1394] 일 실시예에서, 2개의 서로 다른 작업물들은 용접 작업에서 결합되기 전에 서로 다른 작업을 거친다. 그런 다음 용접은 가공 작업으로 마감된다.

[1395] 일 실시예에서, 성형 작업은 장식적이거나 정보적일 뿐만 아니라 기능적일 수 있는 스탬프 마크를 형성한다.

[1396] 일 실시예에서 바코드는 레이저에 의해 부품에 프린팅되거나 에칭된다.

[1397] 일 실시예에서 작업물은 중공 샤프트를 갖도록 형성되거나 가공된다. 중공 샤프트에 와이어를 삽입하고 스웨이징으로 두 개를 결합한다.

[1398] 일 실시예에서 두 작업물들은 하나의 볼록 형상을 다른 하나의 오목 형상에 압입 또는 열수축 끼워맞춤함으로써 두 작업물들이 함께 결합되기 전에 서로 다른 작업을 거친다.

[1399] 일 실시예에서 SCOFAST 기계는 목재 재료에 대한 작업을 수행하도록 구성된다.

[1400] 처리액

[1401] 일 실시예에서 처리액("강화액(toughening fluid)")는 작업물 재료의 물리적 또는 화학적 변형을 생성하거나 촉진하여 인성을 증가시키기 위해 작업 중에 작업물에 적용된다. 일 실시예에서, 티타늄 합금 작업물에 대해 수행되는 열간 성형 및/또는 가공 작업 중에 강화액가 사용된다. 일 실시예에서 강화액는 올레산(약 50-85%), 리놀레산(약 3-25%), 팔미트산(약 7-25%), 스테아르산(약 0.1~10%) 및 리놀렌산(약 0~2%)를 포함하는 트리아실글리세롤로 주로 구성된 천연 오일 혼합물이고; 트리아실 조합의 주요 유행은 일반적으로 OOO, POO, OOL, POL, SOO, SOL일수 있고, 하이드록시티로솔 및 티로솔을 포함하는 폴리페놀을 포함하는 선택적인 추가 성분을 갖고; 다음과 같은 물리적 특성을 가진다: 비중은 15.5° C에서 약 0.90 - 0.93 kg/m^3, 바람직하게는 15.5° C에서 약 0.915-0.925 kg/m^3이고; 점도는 20° C에서 약 78~88mPa.s, 바람직하게는 20° C에서 약 80~86mPa.s, 더욱 바람직하게는 20° C에서 약 84mPa.s이고; 20° C에서의 비열은 약 1.75 - 2.05(J/g.° C), 바람직하게는 약 1.97 - 2.02(J/g.℃), 보다 바람직하게는 2.0(J/g.℃)이고; 20° C에서의 열전도도는 약 0.165 - 0.180(W/m.K), 바람직하게는 약 0.17(W/m.K)이고; 20℃에서의 유전 상수는 약 3.0 - 3.2, 바람직하게는 약 3.1이고; 20℃에서의 밀도는 약 900 - 930 kg/m^3, 바람직하게는 약 913 - 919 kg/m^3, 보다 바람직하게는 약 916 kg/m^3이고; 20° C에서의 열 확산도는 약 4 - 12 x10-8 m^2/s, 바람직하게는 약 5.3 - 8.3 x10-8 m^2/s이고; 해수면에서 끓는점은 약

298 - 300 ° C이고; 발연점(Smoke point)은 약 190-215 ° C이다.

[1402] 윤활제 압력

[1403] 일 실시예에서 냉각제 및/또는 윤활제("가공 유체")는 0 PSI ~ 약 3000 PSI, 바람직하게는 약 3 PSI ~ 약 12 PSI 범위의 펌핑 압력으로 도구 및/또는 작업물 위로 전달된다. 다른 실시예에서 가공 유체는 약 3 PSI 미만의 압력으로 전달된다. 다른 실시예에서 가공 유체는 12 PSI와 100 PSI 사이의 압력으로 전달된다. 다른 실시예에서 가공 유체는 100 PSI와 200 PSI 사이의 압력으로 전달된다. 다른 실시예에서 가공 유체는 200 PSI와 300 PSI 사이의 압력으로 전달된다. 다른 실시예에서 가공 유체는 300 PSI와 500 PSI 사이의 압력으로 전달된다. 다른 실시예에서 가공 유체는 500 PSI와 600 PSI 사이의 압력으로 전달된다. 다른 실시예에서 가공 유체는 600 PSI와 800 PSI 사이의 압력으로 전달된다. 다른 실시예에서 가공 유체는 800 PSI와 1000 PSI 사이의 압력으로 전달된다. 다른 실시예에서 가공 유체는 1000 PSI와 2000 PSI 사이의 압력으로 전달된다. 다른 실시예에서 가공 유체는 2000 PSI와 3000 PSI 사이의 압력으로 전달된다. 다른 실시예에서 가공 유체는 약 3000 PSI 이상의 압력으로 전달된다.

[1404] 윤활제 유속

[1405] 가공 유체의 유속을 제어하는 것도 유리할 수 있다. 기존 flooding의 경우 경험에 따르면(a rule of thumb 기계에서 나오는 냉각수 온도가 기계로 들어가는 냉각수 온도보다 4C 이상 높지 않을 때까지 플로우를 증가시켜야 한다. 고압 분무 냉각의 경우 분당 약 0.5ml 정도의 낮은 유속을 사용할 수 있다. 초합금 가공 시 과냉각의 경우 유속은 도구 위치당(또는 연삭 너비 인치당) 분당 약 20갤런일 수 있다. 부스러기를 제거하고(carry away swarf), 도구를 청소하고, 기타 목적을 위해서는 더 높은 압력과 유속이 필요할 수 있다. 일 실시예에서 냉각제 및/또는 윤활제("가공 유체")는 분당 약 0.001ml에서 분당 약 10000리터 사이, 바람직하게는 분당 약 4리터 범위의 유량으로 도구 및/또는 작업물 위로 전달된다. 다른 실시예에서 가공 유체는 분당 약 1리터 미만의 유속으로 전달된다. 다른 실시예에서, 가공 유체는 분당 약 1리터 내지 분당 4리터 사이의 유속으로 전달된다. 다른 실시예에서, 가공 유체는 분당 약 4리터에서 분당 10리터 사이의 유속으로 전달된다. 다른 실시예에서, 가공 유체는 분당 약 10리터에서 분당 50리터 사이의 유속으로 전달된다. 다른 실시예에서, 가공 유체는 분당 약 50리터에서 분당 100리터 사이의 유속으로 전달된다. 다른 실시예에서, 가공 유체는 분당 약 100리터에서 분당 500리터 사이의 유속으로 전달된다. 다른 실시예에서, 가공 유체는 분당 약 500리터 내지 분당 1000리터 사이의 유속으로 전달된다. 다른 실시예에서, 가공 유체는 분당 약 1000리터 내지 분당 10000리터 사이의 유속으로 전달된다.

[1406] 윤활제 온도

[1407] 일부 시나리오에서는 가공 유체의 온도를 제어하는 것이 유리한다. 일 실시예에서 SCOFAST 기계 내에서 수행되는 일련의 작업은 유도 가열에 이어 열간 단조 및 열간 가공을 포함한다. 이 실시예에서는 윤활을 계속 공급하면서 열 손실을 최소화하면서 처음부터 끝까지 작업물과 도구의 온도를 유지하는 것이 바람직한다. 이 시나리오에서는 약 12 PSI 이하의 낮은 압력과 수행할 작업에 필요한 윤활 및 냉각 양을 제공하기에 충분한 유속으로 가공 유체를 공급하는 것이 유리할 수 있다. 가공유체는 모든 유형의 가열 또는 냉각 시스템을 사용하여 가열되거나 냉각될 수 있다.

[1408] 타격 속도(Strike speed)

[1409] 일부 실시예에서 성형은 약 0.5m/초 내지 약 10m/초, 바람직하게는 약 6m/초의 타격 속도(충격 순간의 속도)로 전달되는 초기 충격을 포함하는 힘 프로파일로 수행된다. 일 실시예에서 타격 속도는 약 10m/s보다 크다. 일 실시예에서 타격 속도는 약 10m/s 내지 약 8m/s이다. 다른 실시예에서 타격 속도는 약 8m/s와 약 6m/s 사이이다. 다른 실시예에서 타격 속도는 약 6m/s와 약 4m/s 사이이다. 다른 실시예에서 타격 속도는 약 4m/s 내지 약 2m/s이다. 다른 실시예에서 타격 속도는 약 2m/s와 약 1m/s 사이이다. 다른 실시예에서 타격 속도는 약 1m/s 내지 약 0.5m/s이다. 다른 실시예에서 타격 속도는 약 0.5m/s 미만이다.

[1410] 성형력 지속시간

[1411] 일부 실시예에서 성형력이 가해지며 결과적인 작업물의 소성 성형(돌이킬 수 없는 재료 플로우)의 지속 시간은 약 0.001밀리초에서 약 100초 사이, 바람직하게는 약 5밀리초에서 약 100밀리초 사이이다. 일 실시예에서 지속시간은 약 100초보다 길다. 다른 실시예에서 지속시간은 약 100초 내지 약 50초이다. 다른 실시예에서 지속시간은 약 50초 내지 약 10초이다. 다른 실시예에서 지속시간은 약 10초 내지 약 5초이다. 다른 실시예에서 지속시간은 약 5초 내지 약 2초이다. 다른 실시예에서 지속시간은 약 2초와 약 1초 사이이다. 다른 실시예에서 지속시

간은 약 1000밀리초와 약 500밀리초 사이이다. 다른 실시예에서 지속시간은 약 500밀리초와 약 100밀리초 사이이다. 다른 실시예에서 지속시간은 약 100밀리초와 약 50밀리초 사이이다. 다른 실시예에서 지속시간은 약 50밀리초와 약 20밀리초 사이이다. 다른 실시예에서 지속시간은 약 20밀리초와 약 10밀리초 사이이다. 다른 실시예에서 지속 시간은 약 10밀리초와 약 1밀리초 사이이다. 다른 실시예에서 지속 시간은 약 1밀리초와 약 0.5밀리초 사이이다. 다른 실시예에서 지속 시간은 약 0.5밀리초와 약 0.1밀리초 사이이다. 다른 실시예에서 지속 시간은 약 0.1밀리초와 약 0.01밀리초 사이이다. 다른 실시예에서 지속 시간은 약 0.01밀리초와 약 0.001밀리초 사이이다. 다른 실시예에서 지속시간은 약 0.001밀리초 미만이다.

[1412] 변형 범위(㎜)

[1413] 일 실시예에서 성형력이 작업물에 가해지며, 결과적인 소성 성형으로 인해 재료가 약 100㎜와 약 0.001㎜ 사이, 바람직하게는 약 20㎜와 약 1㎜ 사이의 거리만큼 변위된다.

[1414] 다른 실시예에서 재료는 약 100㎜ 이상 변위된다.

[1415] 다른 실시예에서 재료는 약 100㎜에서 약 50㎜ 사이로 변위된다.

[1416] 다른 실시예에서 재료는 약 50㎜와 약 10㎜ 사이에서 변위된다.

[1417] 다른 실시예에서 재료는 약 10㎜와 약 5㎜ 사이에서 변위된다.

[1418] 다른 실시예에서 재료는 약 5㎜에서 약 1㎜ 사이로 변위된다.

[1419] 다른 실시예에서 재료는 약 1㎜와 약 0.5㎜ 사이에서 변위된다.

[1420] 다른 실시예에서 재료는 약 0.5㎜와 약 0.1㎜ 사이에서 변위된다.

[1421] 다른 실시예에서 재료는 약 0.1㎜와 약 0.05㎜ 사이에서 변위된다.

[1422] 다른 실시예에서 재료는 약 0.05㎜와 약 0.01㎜ 사이에서 변위된다.

[1423] 다른 실시예에서 재료는 약 0.01㎜와 약 0.001㎜ 사이에서 변위된다.

[1424] 다른 실시예에서 재료는 약 0.001㎜ 미만으로 변위된다.

[1425] 변형 범위(%)

[1426] 일 실시예에서 성형력이 작업물에 가해지며 결과적인 소성 성형으로 인해 재료가 작업물의 축 길이(성형력 축에서 측정됨)의 약 0.1%와 약 200% 사이의 거리만큼 변위되고, 바람직하게는 축 길이의 약 1% 내지 약 100% 사이에서 변위된다.

[1427] 다른 실시예에서 재료는 축 길이의 약 200% 이상 변위된다.

[1428] 다른 실시예에서 재료는 축 길이의 약 200%와 약 100% 사이에서 변위된다.

[1429] 다른 실시예에서 재료는 축 길이의 약 100%와 약 75% 사이에서 변위된다.

[1430] 다른 실시예에서 재료는 축 길이의 약 75%와 약 50% 사이에서 변위된다.

[1431] 다른 실시예에서 재료는 축 길이의 약 50%와 약 25% 사이에서 변위된다.

[1432] 다른 실시예에서 재료는 축 길이의 약 25%와 약 10% 사이에서 변위된다.

[1433] 다른 실시예에서 재료는 축 길이의 약 10%와 약 1% 사이에서 변위된다.

[1434] 다른 실시예에서 재료는 축 길이의 약 1%와 약 0.1% 사이에서 변위된다.

[1435] 다른 실시예에서 재료는 축 길이의 약 0.1%와 약 0.01% 사이에서 변위된다.

[1436] 하나의 선형 치수의 변화 범위

[1437] 일 실시예에서 성형력이 작업물에 가해지며 결과적인 소성 성형으로 인해 작업물의 선형 치수가 약 100㎜와 약 0.01㎜ 사이, 바람직하게는 약 10㎜와 약 1㎜ 사이로 변경된다.

[1438] 다른 실시예에서 선형 치수는 약 100㎜ 이상 변경된다.

[1439] 다른 실시예에서 선형 치수는 약 100㎜에서 약 50㎜ 사이로 변경된다.

[1440] 다른 실시예에서 선형 치수는 약 50mm에서 약 10mm 사이로 변경된다.

[1441] 다른 실시예에서 선형 치수는 약 10mm에서 약 5mm 사이로 변경된다.

[1442] 다른 실시예에서 선형 치수는 약 5mm에서 약 1mm 사이로 변경된다.

[1443] 다른 실시예에서 선형 치수는 약 1mm에서 약 0.5mm 사이로 변경된다.

[1444] 다른 실시예에서 선형 치수는 약 0.5mm에서 약 0.1mm 사이로 변경된다.

[1445] 다른 실시예에서 선형 치수는 약 0.1mm에서 약 0.05mm 사이로 변경된다.

[1446] 다른 실시예에서 선형 치수는 약 0.05mm에서 약 0.01mm 사이로 변경된다.

[1447] 다른 실시예에서 선형 치수는 약 0.01mm에서 약 0.001mm 사이로 변경된다.

[1448] 다른 실시예에서 선형 치수는 약 0.001mm 미만으로 변경된다.

[1449] 하나의 선형 치수에서 백분율 변화의 범위

[1450] 일 실시예에서 성형력이 작업물에 가해지며, 결과적인 소성 성형으로 인해 작업물의 선형 치수가 약 0.1% 내지 약 200%, 바람직하게는 약 1% 내지 약 100% 변화하게 된다.

[1451] 다른 실시예에서 선형 치수는 약 200% 이상 변경된다.

[1452] 다른 실시예에서 선형 치수는 약 200%에서 약 100% 사이로 변경된다.

[1453] 다른 실시예에서 선형 치수는 약 100%에서 약 75% 사이로 변경된다.

[1454] 다른 실시예에서 선형 치수는 약 75%에서 약 50% 사이로 변경된다.

[1455] 다른 실시예에서 선형 치수는 약 50%에서 약 25% 사이로 변경된다.

[1456] 다른 실시예에서 선형 치수는 약 25%에서 약 10% 사이로 변경된다.

[1457] 다른 실시예에서 선형 치수는 약 10%에서 약 1% 사이로 변경된다.

[1458] 다른 실시예에서 선형 치수는 약 1%에서 약 0.1% 사이로 변경된다.

[1459] 다른 실시예에서 선형 치수는 약 0.1%에서 약 0.01% 사이로 변경된다.

[1460] 유도 가열을 위한 전력 범위

[1461] 일부 실시예에서 SCOFAST 기계는 온간 및 열간 성형 작업의 일부로서, 변형 작업, 추가 마감 작업 및 기타 목적을 위해 작업물을 가열하는 데 사용되는 유도 가열 시스템을 포함한다. 이러한 목적으로 사용되는 유도 가열 시스템에 필요한 전력 정격(power rating)은 의도한 작업물의 크기와 재료, 수행할 특정 작업에 따라 다르다. 일 실시예에서 유도 가열 전원 공급 장치의 출력 전력은 약 0.5KW 내지 약 500KW, 바람직하게는 약 10KW 내지 약 50KW, 보다 바람직하게는 약 30KW이다.

[1462] 다른 실시예에서 출력 전력은 약 0.5KW 미만이다.

[1463] 다른 실시예에서 출력 전력은 약 0.5KW와 약 1KW 사이이다.

[1464] 다른 실시예에서 출력 전력은 약 1KW와 약 2KW 사이이다.

[1465] 다른 실시예에서 출력 전력은 약 2KW와 약 5KW 사이이다.

[1466] 다른 실시예에서 출력 전력은 약 5KW와 약 10KW 사이이다.

[1467] 다른 실시예에서 출력 전력은 약 10KW와 약 20KW 사이이다.

[1468] 다른 실시예에서 출력 전력은 약 20KW와 약 30KW 사이이다.

[1469] 다른 실시예에서 출력 전력은 약 30KW와 약 50KW 사이이다.

[1470] 다른 실시예에서 출력 전력은 약 50KW와 약 100KW 사이이다.

[1471] 다른 실시예에서 출력 전력은 약 100KW와 약 250KW 사이이다.

[1472] 다른 실시예에서 출력 전력은 약 250KW와 약 500KW 사이이다.

[1473] 다른 실시예에서 출력 전력은 약 500KW보다 크다.

[1474] 유도 주파수의 범위

[1475] 일부 실시예에서 SCOFAST 기계는 온간 및 열간 성형 작업의 일부로서, 변형 작업, 추가 마감 작업 및 기타 목적을 위해 작업물을 가열하는 데 사용되는 유도 가열 시스템을 포함한다. 이러한 목적으로 사용되는 유도 가열 시스템에 필요한 전력 주파수는 의도된 작업물의 크기와 재료, 수행할 특정 작업에 따라 다르다. 일 실시예에서 유도 주파수는 약 100Hz와 약 10MHz 사이, 바람직하게는 약 1KHz와 약 100KHz 사이, 더욱 바람직하게는 약 30KHz와 약 80KHz 사이이다.

[1476] 다른 실시예에서 유도 주파수는 약 10MHz보다 크다.

[1477] 다른 실시예에서 유도 주파수는 약 10MHz와 약 100KHz 사이이다.

[1478] 다른 실시예에서 유도 주파수는 약 100KHz와 약 80KHz 사이이다.

[1479] 다른 실시예에서 유도 주파수는 약 80KHz와 약 50KHz 사이이다.

[1480] 다른 실시예에서 유도 주파수는 약 50KHz와 약 30KHz 사이이다.

[1481] 다른 실시예에서 유도 주파수는 약 30KHz와 약 10KHz 사이이다.

[1482] 다른 실시예에서 유도 주파수는 약 10KHz와 약 1KHz 사이이다.

[1483] 다른 실시예에서 유도 주파수는 약 1KHz와 약 100Hz 사이이다.

[1484] 재결정 온도의 가열 온도 비율 범위(Range of heating temperature Percent of recrystallization temperature)

[1485] 일부 실시예에서 SCOFAST 기계는 작업물이 작업물 재료의 재결정화 온도(T_R)의 약 0.1% 내지 약 200%, 바람직하게는 약 50% 내지 약 100%, 보다 바람직하게는 약 60% 내지 약 90%약 1% 사이인 절대 온도 I까지 가열되는 가열 작업을 수행한다. 이다. 한 실시예에서 T_M은 T_R의 0.1% 미만이다. 다른 실시예에서 T_M은 T_R의 0.1% 내지 1%이다. 다른 실시예에서 T_M은 T_R의 1% 내지 10%이다. 다른 실시예에서 T_M은 T_R의 10% 내지 20%이다. 다른 실시예에서 T_M은 T_R의 20% 내지 30%이다. 다른 실시예에서 T_M은 T_R의 30% 내지 40%이다. 다른 실시예에서 T_M은 T_R의 40% 내지 50%이다. 다른 실시예에서 T_M은 T_R의 50% 내지 60%이다. 다른 실시예에서 T_M은 T_R의 60% 내지 70%이다. 다른 실시예에서 T_M은 T_R의 70% 내지 80%이다. 다른 실시예에서 T_M은 T_R의 80% 내지 90%이다. 다른 실시예에서 T_M은 T_R의 90% 내지 100%이다. 다른 실시예에서 T_M은 T_R의 100%보다 크다.

[1486] 성형온도

[1487] 일 실시예에서 작업물이 절대 규모로 재료의 재결정 온도의 약 30% 이하인 동안 성형 작업이 수행된다("냉간 성형"). 다른 실시예에서 성형은 작업편이 절대 규모로 재료의 재결정 온도를 포함하여 약 30% 내지 약 60%인 동안 수행된다("온간 성형"). 다른 실시예에서 성형은 작업물이 절대 규모로 재료의 재결정화 온도의 약 60% 이상인 동안 수행된다("열간 성형"). 다른 실시예에서, 작업물이 절대 규모로 재료의 재결정화 온도의 약 60% 내지 약 70% 사이에 있는 동안 성형이 수행된다. 다른 실시예에서, 작업물이 절대 규모로 재료의 재결정화 온도의 약 70% 내지 약 80% 사이에 있는 동안 성형이 수행된다. 다른 실시예에서, 작업물이 절대 규모로 재료의 재결정화 온도의 약 80% 내지 약 90% 사이에 있는 동안 성형이 수행된다. 다른 실시예에서, 작업물이 절대 규모로 재료의 재결정화 온도의 약 90% 내지 약 100% 사이에 있는 동안 성형이 수행된다. 다른 실시예에서, 작업물이 절대 규모로 재료의 재결정 온도 이상에 있는 동안 성형이 수행된다. 일부 실시예에서 작업물의 서로 다른 구역은 성형되기 전에 서로 다른 온도에 놓이게 된다.

[1488] 가공온도

[1489] 일 실시예에서 가공은 작업물이 절대 규모로 재료의 재결정화 온도의 약 30% 이하인 동안 수행된다("냉간 가공"). 다른 실시예에서 가공은 절대 규모로 작업물이 재료의 재결정 온도를 포함하여 약 30% 내지 약 60%인 동안 수행된다("온간 가공"). 다른 실시예에서 가공은 절대 규모로 작업물이 재료의 재결정 온도의 약 60% 이상인 동안 수행된다("열간 가공"). 다른 실시예에서 가공은 절대 규모로 작업물이 재료의 재결정화 온도의 약 60% 내

지 약 70% 사이에 있는 동안 수행된다. 다른 실시예에서 가공은 작업물이 절대 규모로 재료의 재결정화 온도의 약 70% 내지 약 80% 사이에 있는 동안 수행된다. 다른 실시예에서 가공은 절대 규모로 작업물이 재료의 재결정화 온도의 약 80% 내지 약 90% 사이에 있는 동안 수행된다. 다른 실시예에서 가공은 작업물이 절대 규모로 재료의 재결정화 온도의 약 90% 내지 약 100% 사이에 있는 동안 수행된다. 다른 실시예에서 가공은 작업물이 절대 규모로 재료의 재결정 온도 이상에 있는 동안 수행된다. 일부 실시예에서 작업물의 서로 다른 영역은 가공 전에 서로 다른 온도로 설정된다.

[1490] 절대 가열 온도

[1491] 일 실시예에서 가열 요소는 약 0℃와 약 2000℃ 사이, 바람직하게는 약 800℃와 1300℃ 사이의 최종 온도로 작업물을 가열한다.

[1492] 다른 실시예에서 최종 온도는 약 2000℃와 1500℃ 사이이다.

[1493] 다른 실시예에서 최종 온도는 약 1500℃와 1000℃ 사이이다.

[1494] 다른 실시예에서 최종 온도는 약 1000℃와 800℃ 사이이다.

[1495] 다른 실시예에서 최종 온도는 약 800℃와 500℃ 사이이다.

[1496] 다른 실시예에서 최종 온도는 약 250℃와 500℃ 사이이다.

[1497] 다른 실시예에서 최종 온도는 약 100℃와 250℃ 사이이다.

[1498] 다른 실시예에서 최종 온도는 약 0℃와 100℃ 사이이다.

[1499] 정밀도

[1500] 일 실시예에서, 한 유형의 첫번째 작업과 다른 유형의 두번째 작업은 SCOFAST 기계 내에서 결합되어, 작업물은 적어도 부분적으로 첫번째 작업으로부터 발생하는 제1 특징과 부분적으로 두번째 작업으로부터 발생하는 제2 특징을 획득한다. 제1 특징과 관련하여 제2 특징에 대한 정밀도와 공차가 지정되고 측정된다. 일 실시예에서 정밀도 및 공차는 차원성, 평면성, 평행도, 직각성, 동일 평면성, 동축성, 공선성(colinearity), 동심도, 진원도, 원통도, 런아웃 및 전체 런아웃을 포함하는 그룹으로부터 선택된 하나 이상의 속성에 대해 지정된다. 일 실시예에서, 제1 동작과 제2 동작 사이의 공간적 일관성은 약 1%와 약 0.0001% 사이, 바람직하게는 약 0.5%와 0.1% 사이의 최종 오차를 허용한다.

[1501] 다른 실시예에서 최종 오류는 약 1%와 약 0.8% 사이이다.

[1502] 다른 실시예에서 최종 오류는 약 .8%와 약 .6% 사이이다.

[1503] 다른 실시예에서 최종 오류는 약 .6%와 약 .4% 사이이다.

[1504] 다른 실시예에서 최종 오류는 약 0.4%와 약 0.2% 사이이다.

[1505] 다른 실시예에서 최종 오류는 약 0.2%와 약 0.1% 사이이다.

[1506] 다른 실시예에서 최종 오류는 약 .1%와 약 .05% 사이이다.

[1507] 다른 실시예에서 최종 오류는 약 .05%와 약 .01% 사이이다.

[1508] 다른 실시예에서 최종 오류는 약 .01%와 약 .005% 사이이다.

[1509] 다른 실시예에서 최종 오류는 약 .005%와 약 .0001% 사이이다.

[1510] 동심도

[1511] 일 실시예에서 성형 작업과 가공 작업은 SCOFAST 기계 내에서 결합되어 스핀들 작업 홀더로부터 12인치 거리에 적어도 부분적으로 성형 작업으로 인한 제1 라운드 특성과 첫 번째 것과 동일 평면상에 있고 동심이 되도록 지정되며, 적어도 부분적으로 가공 작업으로 인한 제2 라운드 특성을 생성한다. 여기서 제1 라운드 특성와 제2 라운드 특성은 약 1mm에서 약 0.001mm 사이, 바람직하게는 약 0.5mm 미만, 보다 바람직하게는 약 0.25mm 미만보다 작은 중심 간 오차를 갖는다.

[1512] 다른 실시예에서 중심간 오차는 약 1mm와 약 0.5mm 사이이다.

[1513] 다른 실시예에서 중심 간 오차는 약 0.5㎜와 약 0.1㎜ 사이이다.

[1514] 다른 실시예에서 중심간 오차는 약 0.1㎜ 내지 약 0.01㎜이다.

[1515] 다른 실시예에서 중심간 오차는 약 0.01㎜ 내지 약 0.005㎜이다.

[1516] 다른 실시예에서 중심간 오차는 약 0.005㎜ 미만이다.

[1517] 공선성

[1518] 일 실시예에서 두 가지 작업은 SCOFAST 기계에서 첫 번째 작업 축과 두 번째 작업 축 사이의 동일선상 회전축으로부터의 편차가 인치당 약 0.00001인치에서 약 1인치 사이가 되도록 결합된다. 두 작업이 적용될 수 있는 전체 거리를 따라 인치당 0.005인치, 바람직하게는 인치당 약 0.002인치 미만, 더욱 바람직하게는 인치당 약 0.0005인치 미만이다.

[1519] 다른 실시예에서 편차는 인치당 약 0.00001인치 미만이다.

[1520] 다른 실시예에서, 편차는 인치당 약 0.00001인치 내지 인치당 약 0.00005인치 사이이다.

[1521] 다른 실시예에서, 편차는 인치당 약 0.00005인치 내지 인치당 약 0.0001인치 사이이다.

[1522] 다른 실시예에서, 편차는 인치당 약 0.0001인치 내지 인치당 약 0.0005인치 사이이다.

[1523] 다른 실시예에서, 편차는 인치당 약 0.0005인치 내지 인치당 약 0.001인치 사이이다.

[1524] 다른 실시예에서, 편차는 인치당 약 0.001인치 내지 인치당 약 0.002인치 사이이다.

[1525] 다른 실시예에서 편차는 인치당 약 0.002인치 내지 인치당 약 0.005인치 사이이다.

[1526] 다른 실시예에서 편차는 인치당 약 0.005인치보다 크다.

[1527] 공차

[1528] 일 실시예에서 한 유형의 첫 번째 작업과 다른 유형의 두 번째 작업은 적어도 ISO 286 등급 IT18, 바람직하게는 IT17, 더욱 바람직하게는 IT16, 더욱 바람직하게는 IT15, 더욱 바람직하게는 IT14, 더욱 바람직하게는 IT13, 더욱 바람직하게는 IT12, 더욱 바람직하게는 IT11, 더욱 바람직하게는 IT10, 더욱 바람직하게는 IT9, 더욱 바람직하게는 IT8, 더욱 바람직하게는 IT7, 더욱 바람직하게는 IT6, 더욱 바람직하게는 IT5, 더 바람직하게는 IT4, 더 바람직하게는 IT3, 더 바람직하게는 IT2, 더 바람직하게는 IT0, 더 바람직하게는 IT01을 충족하는 공차로 부품을 제조할 수 있도록 하는 두 작업 사이의 공간적 일관성 정도에 따라 SCOFAST 기계 내에서 결합된다.

[1529] 작업 간 시간

[1530] 일 실시예에서, 한 유형의 첫 번째 작업 완료와 다른 유형의 두 번째 작업 시작 사이의 가장 달성 가능한 시간 간격은 약 1000초와 약 0.001초 사이, 바람직하게는 약 100초와 약 0.1초 사이, 보다 바람직하게는 약 10초 내지 약 0.1초 사이이다. 다른 실시예에서 간격은 약 500초와 약 100초 사이이다. 다른 실시예에서 간격은 약 1000초와 약 500초 사이이다. 다른 실시예에서 간격은 약 500초와 약 100초 사이이다. 다른 실시예에서 간격은 약 100초와 약 60초 사이이다. 다른 실시예에서 간격은 약 60초와 약 30초 사이이다. 다른 실시예에서 간격은 약 30초와 약 20초 사이이다. 다른 실시예에서 간격은 약 20초와 약 10초 사이이다. 다른 실시예에서 간격은 약 10초와 약 5초 사이이다. 다른 실시예에서 간격은 약 5초와 약 0.1초 사이이다. 다른 실시예에서 간격은 약 0.1초와 약 0.01초 사이이다. 다른 실시예에서 간격은 약 0.01초와 약 0.001초 사이이다. 다른 실시예에서 간격은 약 0.001초 미만이다.

[1531] 작업간 거리

[1532] 일 실시예에서, 첫 번째 성형 작업과 두 번째 가공 작업은 작업물에 대해 수행되며, 여기서 첫 번째 작업 시작 시 세개의 비공평 평면(coplanar fiducial features)의 위치와 두 번째 작업 시작 시 동일한 비공평 평면의 위치간 거리의 함은 약 3000㎜에서 약 0.001㎜ 사이이다.

[1533] 다른 실시예에서 거리의 합은 약 3000㎜와 약 1000㎜ 사이이다.

[1534] 다른 실시예에서 거리의 합은 약 1000㎜와 약 100㎜ 사이이다.

[1535] 다른 실시예에서 거리의 합은 약 100㎜와 약 10㎜ 사이이다.

[1536] 다른 실시예에서 거리의 합은 약 10mm와 약 1mm 사이이다.

[1537] 다른 실시예에서 거리의 합은 약 1mm와 약 0.1mm 사이이다.

[1538] 다른 실시예에서 거리의 합은 약 0.1mm와 약 0.025mm 사이이다.

[1539] 다른 실시예에서 거리의 합은 약 .025mm와 약 .01mm 사이이다.

[1540] 다른 실시예에서 거리의 합은 약 .01mm와 약 .001mm 사이이다.

[1541] 다른 실시예에서 거리의 합은 약 0.001mm 미만이다.

[1542] 작업 간 절대 온도 강하율(%)

[1543] 일부 실시예에서 작업물은 절대 온도 T로 가열되고 이어서 첫번째 작업이 수행되고, 이어서 두번째 작업이 수행된다. 일부 실시예에서, 첫번째 작업의 시작 시간부터 두번째 작업의 시작 시간까지 작업물 절대 온도(T-델타)의 강하는 T의 약 0% 내지 약 90%, 바람직하게는 약 0% 내지 약 50%, 보다 바람직하게는 약 15% 내지 약 30%이다. 일 실시예에서 온도는 떨어지기보다는 상승한다. 또 다른 실시예에서 T-델타는 T의 약 0% 내지 약 10%이다. 또 다른 실시예에서 T-델타는 T의 약 10% 내지 약 20%이다. 또 다른 실시예에서 T-델타는 T의 약 20% 내지 약 30%이다. 다른 실시예에서 T-델타는 T의 약 30% 내지 약 40%이다. 또 다른 실시예에서 T-델타는 T의 약 40% 내지 약 50%이다. 또 다른 실시예에서 T-델타는 T의 약 50% 내지 약 50%이다. 다른 실시예에서 T-델타는 T의 약 60% 내지 약 70%이다. 또 다른 실시예에서 T-델타는 T의 약 70% 내지 약 80%이다. 또 다른 실시예에서 T-델타는 T의 약 70% 내지 약 80%이다. 다른 실시예에서 T-델타는 T의 약 80% 내지 약 90%이다.

[1544] 모터 종류

[1545] 일 실시예에서, SCOFAST 기계의 일부를 형성하는 모터는 전기 모터이다.

[1546] 다른 실시예에서, 모터는 자기 모터이다.

[1547] 다른 실시예에서, 모터는 유압 모터이다.

[1548] 다른 실시예에서, 모터는 공압 모터이다.

[1549] 다른 실시예에서, 모터는 기계적으로 구동되는 모터이다.

[1550] 다른 실시예에서, 모터는 내연 모터이다.

[1551] 다른 실시예에서, 모터는 열 구배 모터이다.

[1552] 다른 실시예에서, 모터는 레이저 구동 모터이다.

[1553] 다른 실시예에서 모터는 선형 액추에이터이다.

[1554] 다른 실시예에서, 모터는 단백질 구동 모터와 같은 생물학적 모터이다.

[1555] 다른 실시예에서 모터는 팔라듐-갈륨 고정자 및 단일 아세틸렌 회전자를 포함하는 모터와 같이 약 0.01 나노미터 내지 약 1 나노미터 범위의 크기를 갖는 분자 모터이다.

[1556] 모터 크기

[1557] 일 실시예에서, 모터 크기는 약 1 나노미터 내지 약 100 미터 범위, 바람직하게는 약 1 센티미터 내지 약 50 센티미터 범위이다.

[1558] 다른 실시예에서, 모터 크기는 약 1 나노미터 내지 약 1 마이크로미터 범위이다.

[1559] 다른 실시예에서, 모터 크기는 약 1 마이크로미터 내지 약 1 밀리미터 범위이다.

[1560] 다른 실시예에서, 모터 크기는 약 1mm 내지 약 1cm 범위이다.

[1561] 다른 실시예에서, 모터 크기는 약 1cm 내지 약 10cm 범위이다.

[1562] 다른 실시예에서, 모터 크기는 약 10cm 내지 약 100cm 범위이다.

[1563] 다른 실시예에서, 모터 크기는 약 100cm 내지 약 1m 범위이다.

[1564] 다른 실시예에서, 모터 크기는 약 1미터 내지 약 10미터 범위이다.

[1565] 다른 실시예에서, 모터 크기는 약 10미터 내지 약 100미터 범위이다.

[1566] 모터 동력

[1567] 일 실시예에서 스핀들 모터, 선형 작동기 및 기타 원동 요소는 약 1 피코뉴턴 미터/초(분자 규모의 힘)에서 약 100,000 마력 이상의 범위의 전력을 제공할 수 있다.

[1568] 일 실시예에서, 모터에 의해 전달되는 전력은 약 0.001 HP 미만이다.

[1569] 다른 실시예에서, 모터 출력은 약 0.001 내지 약 0.01 HP 범위이다.

[1570] 다른 실시예에서, 모터 출력은 약 0.01 내지 약 0.1 HP 범위이다.

[1571] 다른 실시예에서, 모터 출력은 약 0.1 내지 약 1.0 HP 범위이다.

[1572] 다른 실시예에서, 모터 출력은 약 1 내지 약 5 HP 범위이다.

[1573] 다른 실시예에서, 모터 출력은 약 5 내지 약 10 HP 범위이다.

[1574] 다른 실시예에서, 모터 출력은 약 10 내지 약 50 HP 범위이다.

[1575] 다른 실시예에서, 모터 출력은 약 50 내지 약 100 HP 범위이다.

[1576] 다른 실시예에서, 모터 출력은 약 100 내지 약 200 HP 범위이다.

[1577] 다른 실시예에서, 모터 출력은 약 200 내지 약 300 HP 범위이다.

[1578] 다른 실시예에서, 모터 출력은 약 300 내지 약 400 HP 범위이다.

[1579] 다른 실시예에서, 모터 출력은 약 400 내지 약 500 HP 범위이다.

[1580] 다른 실시예에서, 모터 출력은 약 500 내지 약 1,000 HP 범위이다.

[1581] 다른 실시예에서, 모터 출력은 약 1,000 내지 약 10,000 HP 범위이다.

[1582] 다른 실시예에서, 모터 출력은 약 10,000 내지 약 100,000 HP 범위이다.

[1583] 다른 실시예에서, 모터 출력은 약 100,000 HP 이상의 범위에 있다.

[1584] 모터 토크

[1585] SCOFAST 기계 내에서 모터에 의해 전달되는 토크는 약 1 pNm 내지 약 10,000,000 Nm 이상, 바람직하게는 약 10 내지 약 50 뉴턴-미터 범위일 수 있다.

[1586] 일 실시예에서, 모터 토크는 0.01 Nm 미만의 범위에 있다.

[1587] 다른 실시예에서, 모터 토크는 약 0.01 내지 약 0.1 Nm 범위이다.

[1588] 다른 실시예에서, 모터 토크는 약 0.1 내지 약 1.0Nm 범위이다.

[1589] 다른 실시예에서, 모터 토크는 약 1 내지 약 5Nm 범위이다.

[1590] 다른 실시예에서, 모터 토크는 약 5 내지 약 10Nm 범위이다.

[1591] 다른 실시예에서, 모터 토크는 약 10 내지 약 50Nm 범위이다.

[1592] 다른 실시예에서, 모터 토크는 약 50 내지 약 100Nm 범위이다.

[1593] 다른 실시예에서, 모터 토크는 약 100 내지 약 200Nm 범위이다.

[1594] 다른 실시예에서, 모터 토크는 약 200 내지 약 300Nm 범위이다.

[1595] 다른 실시예에서, 모터 토크는 약 300 내지 약 400Nm 범위이다.

[1596] 다른 실시예에서, 모터 토크는 약 400 내지 약 500Nm 범위이다.

[1597] 다른 실시예에서, 모터 토크는 약 500 내지 약 1,000Nm 범위이다.

[1598] 다른 실시예에서, 모터 토크는 약 1,000 내지 약 10,000Nm 범위이다.

[1599] 다른 실시예에서, 모터 토크는 약 10,000 내지 약 100,000Nm 범위이다.

[1600] 다른 실시예에서, 모터 토크는 약 100,000Nm 이상이다.

[1601] 압력

[1602] SCOFAST 기계의 일부 실시예에서, 가압/성형력은 약 0.000001톤 내지 약 2,000톤, 바람직하게는 약 1톤 내지 약 5톤, 더 바람직하게는 약 2톤 범위이다.

[1603] 일 실시예에서 가압력은 약 2,000톤보다 크다.

[1604] 다른 실시예에서 가압력은 약 1500 내지 약 2,000톤이다.

[1605] 다른 실시예에서 가압력은 약 1000 내지 약 1,500톤이다.

[1606] 다른 실시예에서 가압력은 약 500 내지 약 1,000톤이다.

[1607] 다른 실시예에서 가압력은 약 250 내지 약 500톤이다.

[1608] 다른 실시예에서 가압력은 약 200 내지 약 250톤이다.

[1609] 다른 실시예에서 가압력은 약 150 내지 약 200톤이다.

[1610] 다른 실시예에서, 가압력은 약 100 내지 약 150톤이다.

[1611] 다른 실시예에서, 가압력은 약 80 내지 약 100톤이다.

[1612] 다른 실시예에서 가압력은 약 50 내지 약 80톤이다.

[1613] 다른 실시예에서, 가압력은 약 25 내지 약 50톤이다.

[1614] 다른 실시예에서 가압력은 약 20 내지 약 25톤이다.

[1615] 다른 실시예에서 가압력은 약 15 내지 약 20톤이다.

[1616] 다른 실시예에서 가압력은 약 10 내지 약 15톤이다.

[1617] 다른 실시예에서 가압력은 약 5 내지 약 10톤이다.

[1618] 다른 실시예에서 가압력은 약 3 내지 약 5톤이다.

[1619] 다른 실시예에서 가압력은 약 2 내지 약 3톤이다.

[1620] 다른 실시예에서 가압력은 약 1 내지 약 2톤이다.

[1621] 다른 실시예에서 가압력은 약 0.5 내지 약 1톤이다.

[1622] 다른 실시예에서 가압력은 약 0.1 내지 약 0.5톤이다.

[1623] 다른 실시예에서 가압력은 약 0.01 내지 약 0.1톤이다.

[1624] 다른 실시예에서 가압력은 약 .001 내지 약 .01톤이다.

[1625] 다른 실시예에서 가압력은 약 .0001 내지 약 .001톤이다.

[1626] 다른 실시예에서 가압력은 약 .00001 내지 약 .0001톤이다.

[1627] 다른 실시예에서 가압력은 약 .000001 내지 약 .00001톤이다.

[1628] 다른 실시예에서 가압력은 약 0.000001톤 미만이다.

[1629] 압력 스트로크와 회복

[1630] 일부 실시예에서 포친의 가압/성형 요소는 빠른 스트로크 및 회복을 갖는다. 일 실시예에서 스트로크 속도는 스트로크당 약 100분 내지 스트로크당 약 0.001분의 범위에 있도록 구성된다.

[1631] 일 실시예에서 스트로크 속도는 분당 약 0.01 스트로크 미만이다.

[1632] 다른 실시예에서 스트로크 속도는 분당 약 0.01 내지 약 1 스트로크 범위이다.

[1633] 다른 실시예에서 스트로크 속도는 분당 약 1 내지 약 2 스트로크 범위이다.

[1634] 다른 실시예에서 스트로크 속도는 분당 약 2 내지 약 20 스트로크 범위이다.

[1635] 다른 실시예에서 스트로크 속도는 분당 약 20 내지 약 60 스트로크 범위이다.

[1636] 다른 실시예에서 스트로크 속도는 분당 약 60 내지 약 120 스트로크 범위이다.

[1637] 다른 실시예에서 스트로크 속도는 분당 약 120 내지 약 500 스트로크 범위이다.

[1638] 다른 실시예에서 스트로크 속도는 분당 약 500 내지 약 1,000 스트로크 범위이다.

[1639] 클린 영역

[1640] 일부 실시예에서 SCOFAST 기계의 청정 영역은 클래스 1과 클래스 9 사이의 ISO 14644-1 요구 사항, 바람직하게는 클래스 1을 충족한다. 일 실시예에서 청정 영역은 ISO 14644-1 클래스 2의 요구 사항을 충족한다. 다른 실시예에서 청정 영역은 ISO 14644-1 클래스 3에 대한 요구사항을 충족한다. 다른 실시예에서 청정 영역은 ISO 14644-1 클래스 4에 대한 요구사항을 충족한다. 또 다른 실시예에서 청정 영역은 ISO 14644-1 클래스 5에 대한 요구사항을 충족한다. 영역은 ISO 14644-1 클래스 6에 대한 요구사항을 충족한다. 또 다른 실시예에서 청정 영역은 ISO 14644-1 클래스 7에 대한 요구사항을 충족한다. 또 다른 구현예에서 청정 영역은 ISO 14644-1 클래스 8에 대한 요구사항을 충족한다. 다른 구현예에서 청정 영역은 ISO 14644-1 클래스 9 요구 사항을 충족한다. .

[1641] 일부 실시예에서 SCOFAST 기계의 청정 영역은 약 1000 마이크론과 약 5 마이크론 사이의 크기 변형, 바람직하게는 약 250 마이크론과 약 5 마이크론 사이의 크기 변형을 갖는 잔류 입자의 크기를 변형하도록 제어된다.

[1642] 한 실시예에서 크기 변형은 약 1000 마이크론과 약 500 마이크론 사이이다.

[1643] 한 실시예에서 크기 변형은 약 500 마이크론과 약 250 마이크론 사이이다.

[1644] 한 실시예에서 크기 변형은 약 250 마이크론과 약 100 마이크론 사이이다.

[1645] 한 실시예에서 크기 변형은 약 100 마이크론과 약 50 마이크론 사이이다.

[1646] 일 실시예에서 크기 변형은 약 50 마이크론과 약 10 마이크론 사이이다.

[1647] 일 실시예에서 크기 변형은 약 10 마이크론과 약 5 마이크론 사이이다.

[1648] 일 실시예에서 크기 변형은 약 5 마이크론 미만이다.

[1649] 일부 실시예에서 SCOFAST 기계의 청정 영역은 약 0.1 mg 내지 약 25 mg, 바람직하게는 약 1 mg 내지 약 0.1 mg의 양 변형을 갖는 청정 영역 내의 잔류 입자의 총량을 변형하도록 제어된다. .

[1650] 한 실시양태에서 양 변형은 약 25mg 내지 약 20mg이다.

[1651] 한 실시양태에서 양 변형은 약 20mg 내지 약 10mg이다.

[1652] 한 실시양태에서 양 변형은 약 10mg 내지 약 5mg이다.

[1653] 한 실시양태에서 양 변형은 약 5mg 내지 약 1mg이다.

[1654] 한 실시양태에서 양 변형은 약 1 mg 내지 약 0.5 mg이다.

[1655] 한 실시양태에서 양 변형은 약 .5mg 내지 약 .25mg이다.

[1656] 한 실시양태에서 양 변형은 약 0.25mg 내지 약 0.1mg이다.

[1657] 한 실시양태에서 양 변형은 약 0.1 mg 미만이다.

[1658] **추가적인 실시예**

[1659] E1. 다음을 포함하는 공간적으로 일관된 제조 기계:

[1660] 작업물을 고정하도록 구성된 작업 홀딩 요소;

[1661] 가공 도구를 사용하여 상기 작업물에 절삭 가공 작업을 수행하도록 구성된 적어도 하나의 모션 제어 축을 갖춘 도구 홀딩 요소;

[1662] 상기 작업물의 열에너지를 상기 작업물 재료의 항복강도를 감소시키는 수준까지 상승시키는 가열 동작을 수행하도록 구성된 가열 요소; 그리고

[1663] 상기 작업물 재료의 소성 성형을 일으키는 양만큼 힘이 상기 작업물에 가해지는 성형 작업을 수행하도록 구성된 성형 요소;

[1664] 상기 작업 홀딩 요소는 상기 가열, 성형 및 절삭 작업이 공간적으로 일관된 방식으로 수행되도록 상기 가열, 성형 및 절삭 작업 중에 상기 작업물을 고정한다.

[1665] E2. 다음을 포함하는 공간적으로 일관된 제조 기계:

[1666] 작업물을 고정하도록 구성된 작업 홀딩 요소;

[1667] 상기 작업물에 재료를 추가하는 적층 작업을 수행하도록 구성된 적층 가공 요소;

[1668] 상기 작업물의 열에너지를 상기 작업물 재료의 항복강도를 감소시키는 수준까지 상승시키는 가열 동작을 수행하도록 구성된 가열 요소; 그리고

[1669] 상기 작업물 재료의 소성 성형을 일으키는 양만큼 힘이 작업물에 가해지는 성형 작업을 수행하도록 구성된 성형 요소;

[1670] 여기서, 상기 작업 홀딩 요소는 상기 가열, 성형 및 적층 작업이 공간적으로 일관된 방식으로 수행되도록 상기 가열, 성형 및 적층 작업 동안 상기 작업물을 고정한다.

[1671] E3. 다음을 포함하는 공간적으로 일관된 제조 기계:

[1672] 작업물을 고정하도록 구성된 작업 홀딩 요소;

[1673] 가공 도구를 사용하여 상기 작업물에 절삭 가공 작업을 수행하도록 구성된 적어도 하나의 모션 제어 축을 갖춘 도구 홀딩 요소;

[1674] 상기 작업물에 재료를 추가하는 적층 작업을 수행하도록 구성된 적층 가공 요소;

[1675] 상기 작업물의 열에너지를 상기 작업물 재료의 항복강도를 감소시키는 수준까지 상승시키는 가열 동작을 수행하도록 구성된 가열 요소; 그리고

[1676] 상기 작업물 재료의 소성 성형을 일으키는 양만큼 힘이 상기 작업물에 가해지는 성형 작업을 수행하도록 구성된 성형 요소;

[1677] 여기서 상기 작업 홀딩 요소는 상기 가열, 성형, 가산 및 절삭 작업이 공간적으로 일관된 방식으로 수행되도록 상기 가열, 성형, 가산 및 절삭 작업 중에 상기 작업물을 고정한다.

[1678] E4. 가공 작업 전에 작업물의 항복 강도를 감소시키기 위해 작업물을 충분히 가열하도록 구성된 가열 요소와 함께 절삭 가공 요소를 포함하는 터닝, 밀링 및/또는 턴-밀링 기계로서, 각 요소는 공간적으로 상기 터닝, 밀링 및/또는 턴-밀링 기계 내에서 일관된 방식으로 작동하도록 구성된다.

[1679] E5. 가열 요소 및 성형 요소와 함께 절삭 가공 요소를 포함하는 밀링 기계로서, 각 요소는 상기 밀링 기계 내에서 공간적으로 일관된 방식으로 작동하도록 구성된다.

[1680] E6. 가열 요소 및 성형 요소와 함께 절삭 가공 요소를 포함하는 터닝 기계로서, 각 요소는 상기 터닝 기계 내에서 공간적으로 일관된 방식으로 작동하도록 구성된다.

[1681] E7. 가열 요소 및 성형 요소와 함께 절삭 가공 요소를 포함하는 터닝-밀링 기계로서, 각 요소는 상기 터닝-밀링 기계 내에서 공간적으로 일관된 방식으로 작동하도록 구성된다.

[1682] E8. 가열 요소 및 성형 요소와 함께 적층 작업을 수행하도록 구성된 요소를 포함하는 적층 가공 기계로서, 각 요소는 상기 기계 내에서 공간적으로 일관된 방식으로 작동하도록 구성된다.

[1683] E9. 작업물에 재료를 추가하도록 구성된 적층 가공 요소, 상기 작업물로부터 재료를 제거하도록 구성된 절삭 가공 요소, 상기 작업물에 열 에너지를 추가하도록 구성된 가열 요소, 및 상기 작업물에 힘을 가하여 상기 작업물의 소성 성형을 유발하도록 구성된 벌크 형성 요소를 포함하는 제조 기계로서, 각 요소는 상기 기계 내에서 공간적으로 일관된 방식으로 작동하도록 구성된다.

[1684] E10. 티타늄 또는 티타늄 합금 부품에서 유리한 물리적 및/또는 화학적 재료 변형을 생성하는 방법으로서,

[1685] 약 500℃ 내지 약 1500℃ 범위, 바람직하게는 약 800℃ 내지 약 1100℃ 범위, 보다 바람직하게는 약 850℃ 내지 약 950℃ 범위의 온도로 부품을 가열하는 단계 씨; 그리고

[1686] 올레산(약 50~85%), 리놀레산(약 3~25%), 팔미트산(약 7~25%), 스테아르산(약 0.1~10%) 및 리놀렌산(약 0~2%)으로 구성된 트리아실글리세롤로 주로 구성된 천연 오일 혼합물을 포함하는 강화액로 가열된 부품을 처리하는 단계; 상기 트리아실 조합의 주요 유행은 일반적으로 OOO, POO, OOL, POL, SOO, SOL이고; 하이드록시티로솔 및 티로솔을 포함하는 폴리페놀을 포함하는 선택적인 추가 성분을 갖고; 다음과 같은 물리적 특성을 갖는다: 비중은 15.5° C에서 약 0.90~0.93kg/m^3, 바람직하게는 15.5° C에서 약 0.915~0.925kg/m^3이고, 점도는 20° C에서 약 78~88mPa.s, 바람직하게는 20° C에서 약 80~86mPa.s, 더욱 바람직하게는 20° C에서 약 84mPa.s이고, 20° C에서의 비열은 약 1.75 - 2.05(J/g.° C), 바람직하게는 약 1.97 - 2.02(J/g.℃), 보다 바람직하게는 2.0(J/g.℃)이고, 20° C에서의 열전도도는 약 0.165 - 0.180(W/m.K), 바람직하게는 약 0.17(W/m.K)이고, 20℃에서의 유전상수는 약 3.0 - 3.2, 바람직하게는 약 3.1이고, 20℃에서의 밀도는 약 900 - 930 kg/m^3, 바람직하게는 약 913 - 919 kg/m^3, 더 바람직하게는 약 916 kg/m3 이고, 20° C에서의 열 확산도는 약 4 - 12 x10-8 m^2/s, 바람직하게는 약 5.3 - 8.3 x10-8 m^2/s이고, 해수면에서 끓는점은 약 298 - 300 ° C이고, 발연점은 약 190-215 ° C이다.

[1687] E11. 가열 요소 및 성형 요소와 함께 절삭 가공 요소를 포함하는 터닝 기계로서, 각 요소는 상기 터닝 기계 내에서 공간적으로 일관된 방식으로 작동하도록 구성되고,

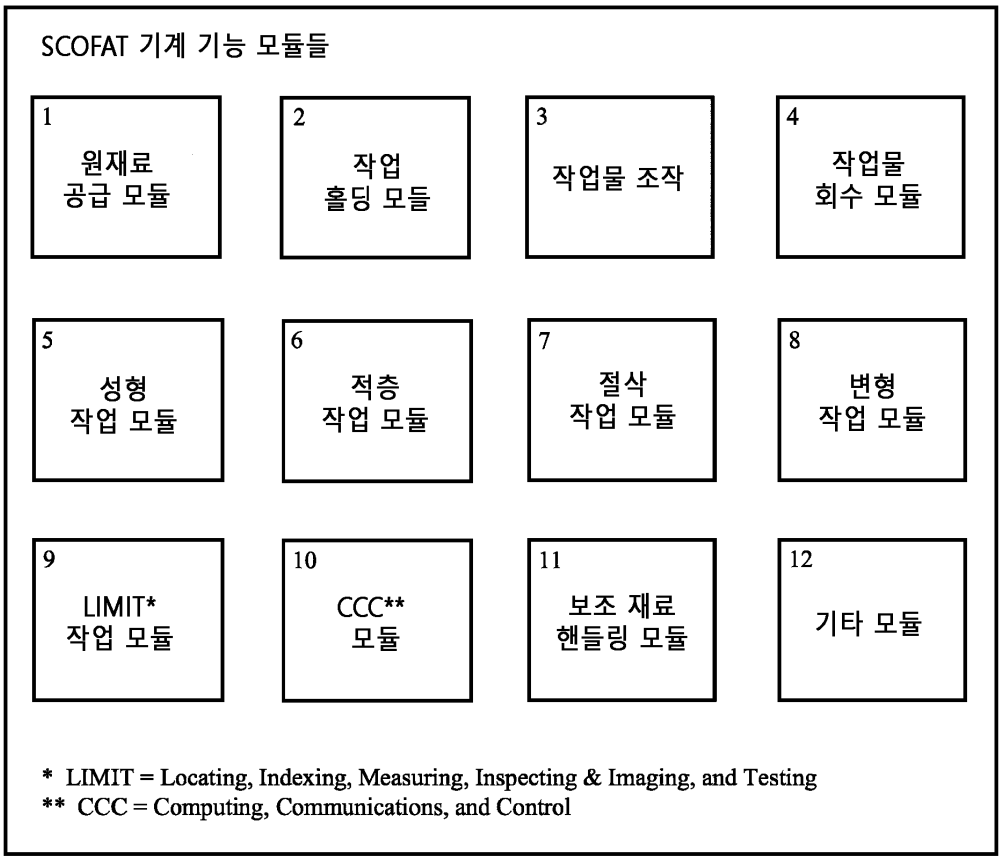
[1688] 여기서 상기 터닝 기계는 클러치와 브레이크가 장착되어 있으며 스핀 용접 작업을 수행하도록 구성되어 있다.

[1689] E12. 작업물의 항복 강도를 감소시키기에 충분하게 작업물을 가열하도록 구성된 성형 요소 및 가열 요소와 함께 절삭 가공 요소를 포함하는 터닝, 밀링 및/또는 턴-밀링 기계로서, 각 요소는 상기 기계 내에서 공간적으로 일관되는 방식으로 작동하도록 구성되고,

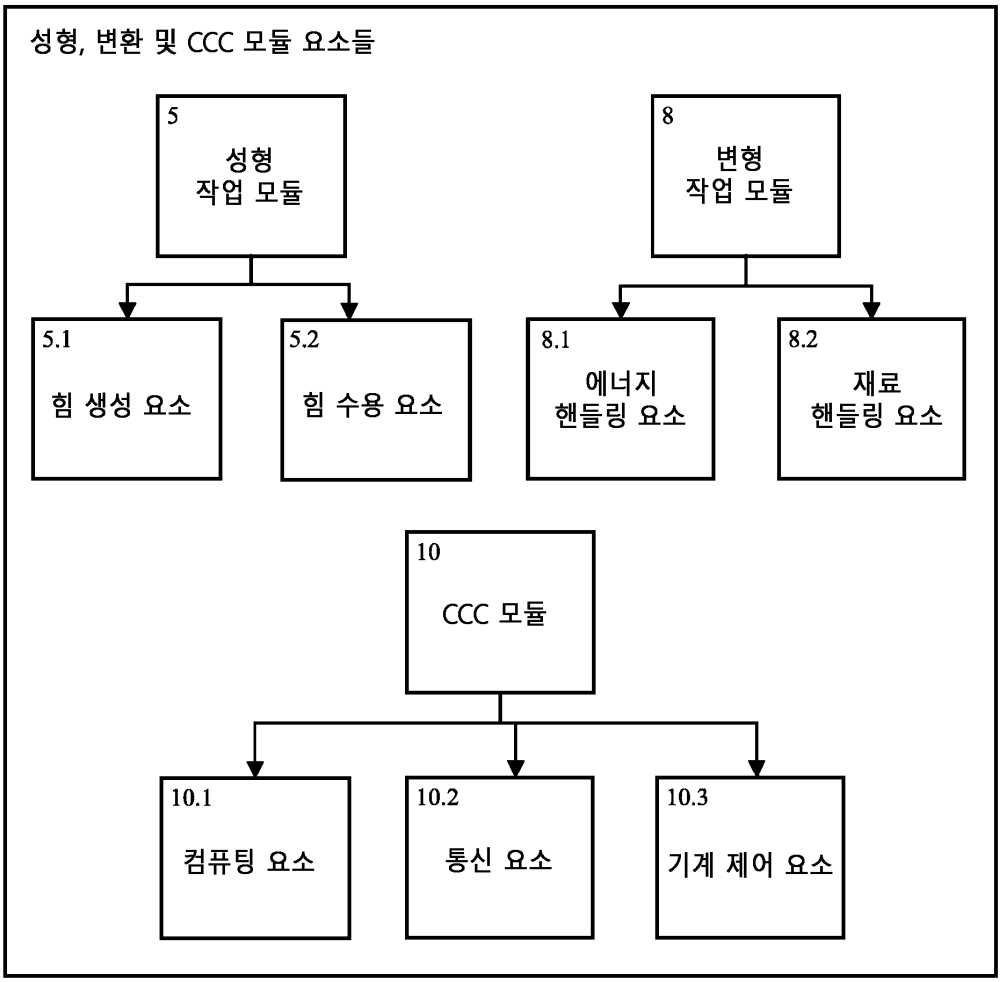
[1690] 여기서 형성 요소는 벤딩 작업을 수행하도록 구성된다.

도면

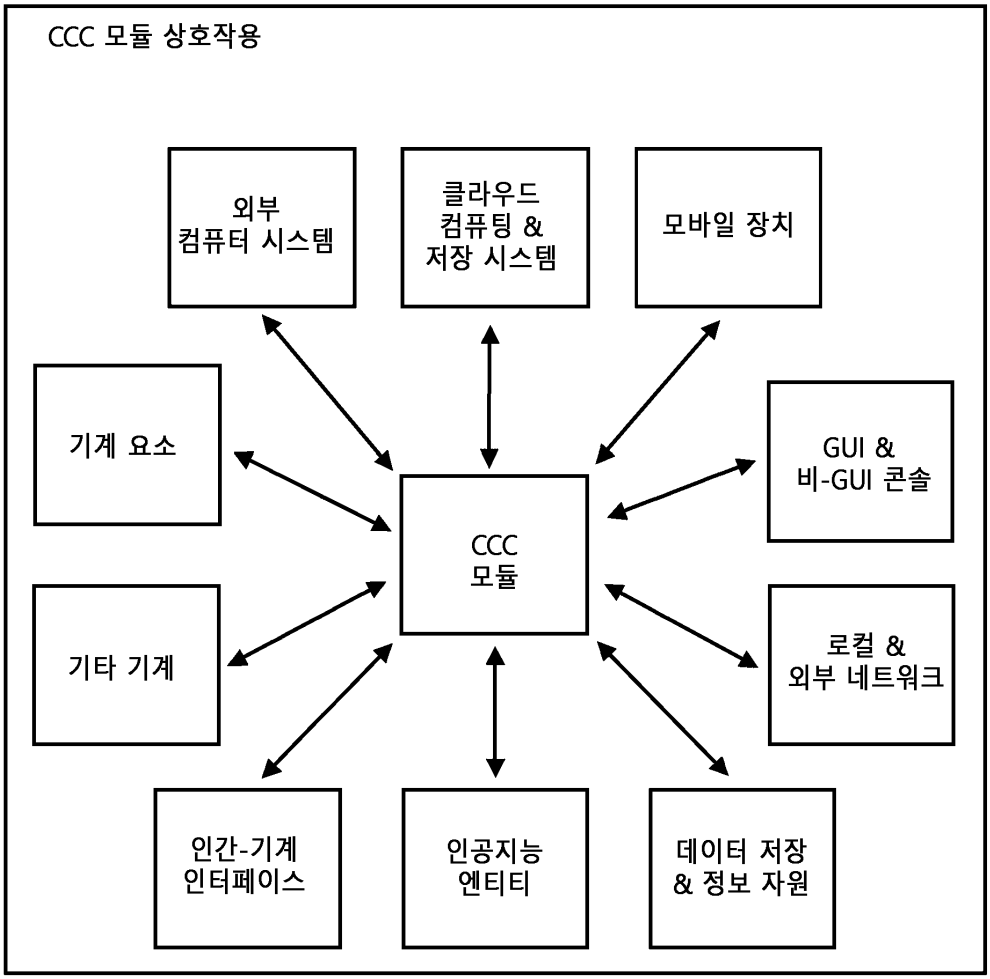
도면1a


SCOFAT 기계 기능 모듈들
1
원재료
공급 모듈
2
작업
홀딩 모들
3
작업물 조작
4
작업물
회수 모듈
5
성형
작업 모듈
6
적층
작업 모듈
7
절삭
작업 모듈
8
변형
작업 모듈
9
LIMIT*
작업 모듈
10
CCC**
모듈
11
보조 재료
핸들링 모듈
12
기타 모듈
* LIMIT = Locating, Indexing, Measuring, Inspecting & Imaging, and Testing
** CCC = Computing, Communications, and Control

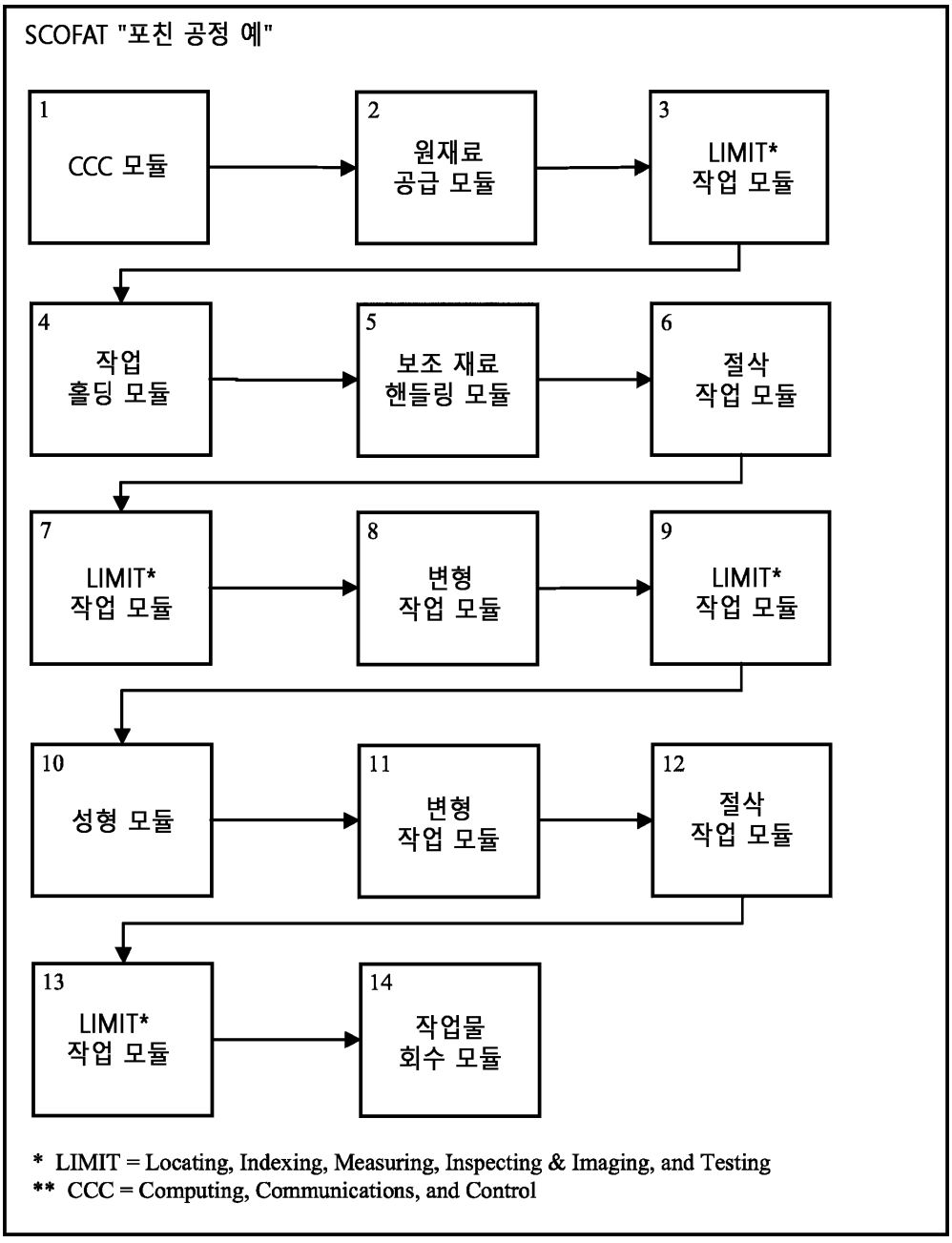
도면1b


성형, 변환 및 CCC 모듈 요소들
5
성형
작업 모듈
8
변형
작업 모듈
5.1
힘 생성 요소
5.2
힘 수용 요소
8.1
에너지
핸들링 요소
8.2
재료
핸들링 요소
10
CCC 모듈
10.1
컴퓨팅 요소
10.2
통신 요소
10.3
기계 제어 요소

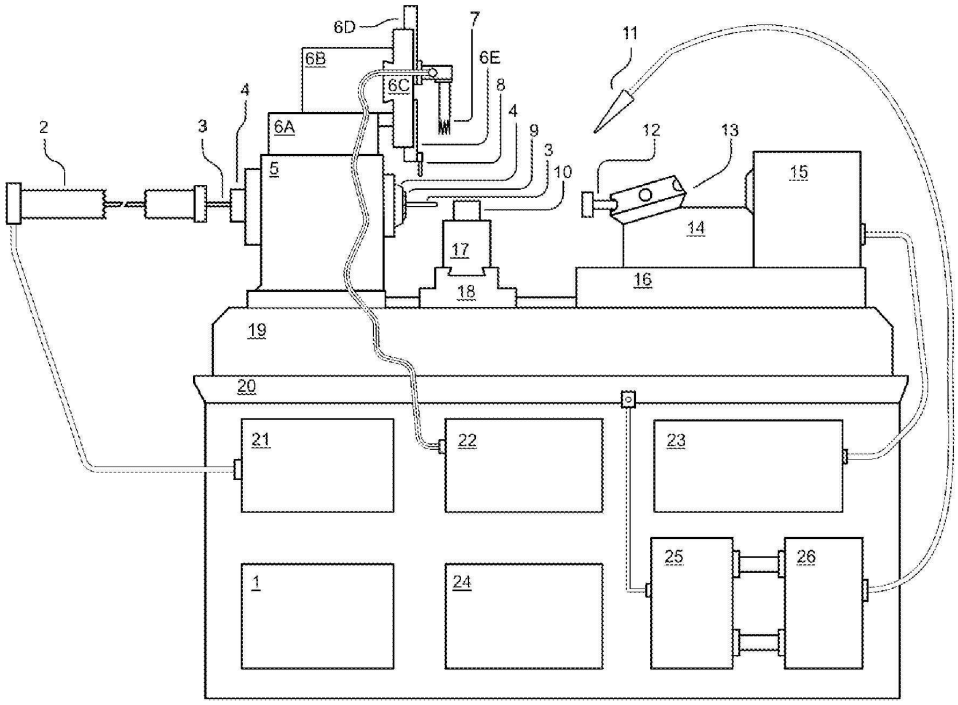
도면1c


CCC 모듈 상호작용
외부
컴퓨터 시스템
클라우드
컴퓨팅 &
저장 시스템
모바일 장치
기계 요소
GUI &
비-GUI 콘솔
CCC
모듈
기타 기계
로컬 &
외부 네트워크
인간-기계
인터페이스
인공지능
엔티티
데이터 저장
& 정보 자원

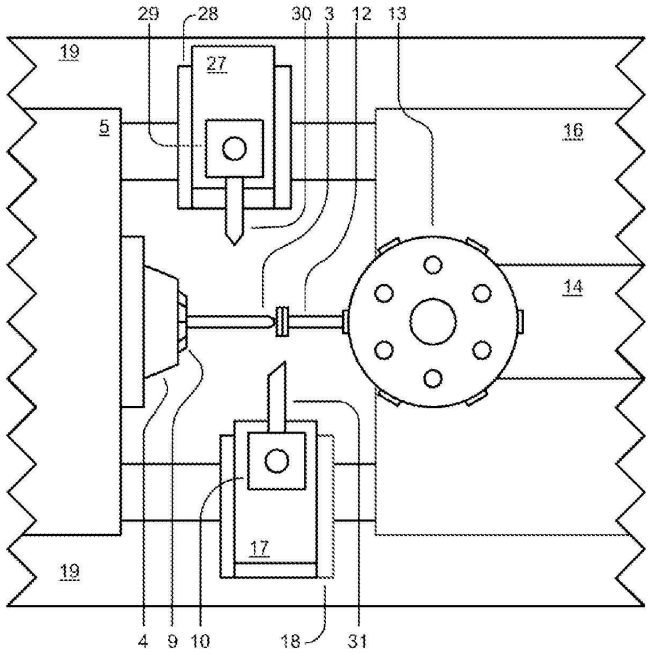
도면2


SCOFAT "포친 공정 예"
1
CCC 모듈
2
원재료
공급 모듈
3
LIMIT*
작업 모듈
4
작업
홀딩 모듈
5
보조 재료
핸들링 모듈
6
절삭
작업 모듈
7
LIMIT*
작업 모듈
8
변형
작업 모듈
9
LIMIT*
작업 모듈
10
성형 모듈
11
변형
작업 모듈
12
절삭
작업 모듈
13
LIMIT*
작업 모듈
14
작업물
회수 모듈
* LIMIT = Locating, Indexing, Measuring, Inspecting & Imaging, and Testing
** CCC = Computing, Communications, and Control

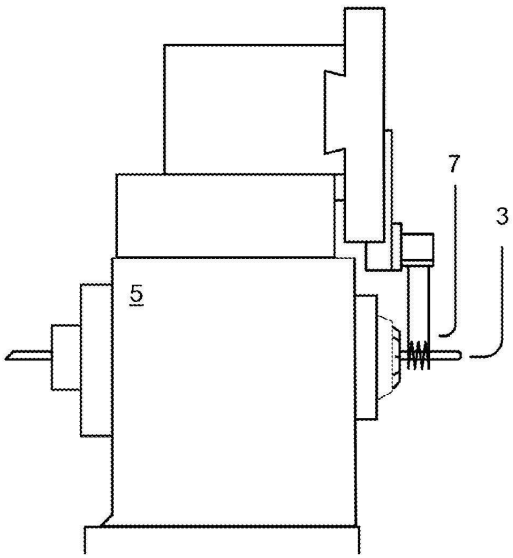
도면3a


6D
7
11
6B
6E
6C
8
4
2
3
4
6A
9
3
12
13
5
10
15
14
17
16
18
19
20
21
22
23
25
26
1
24

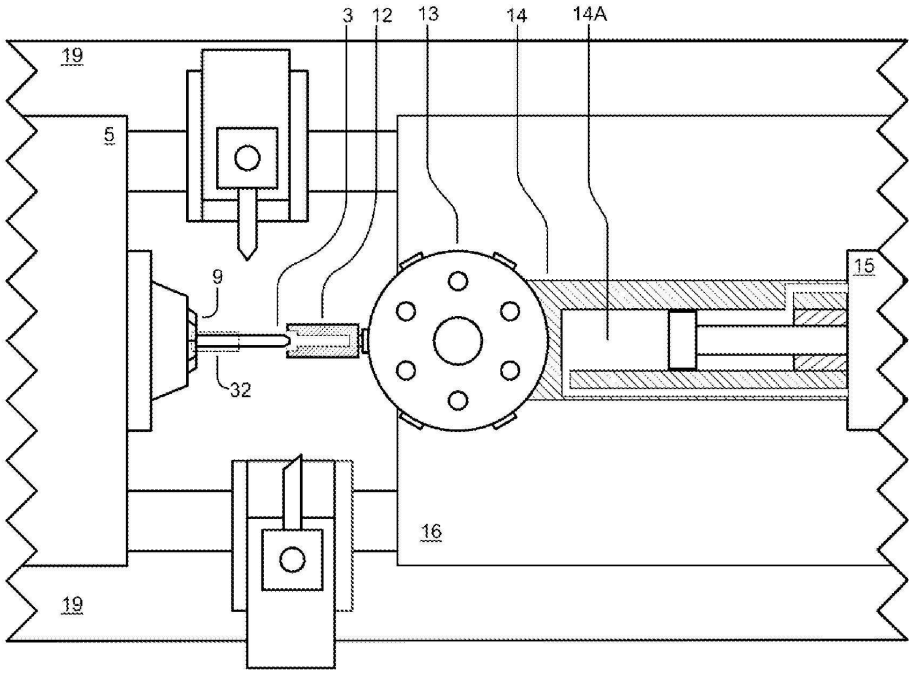
도면3b


29
28
30
3
12
13
19
27
5
16
14
17
19
4
9
10
18
31

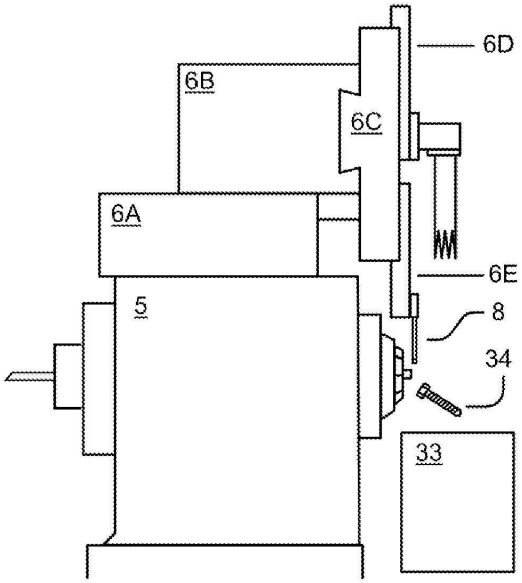
도면3c



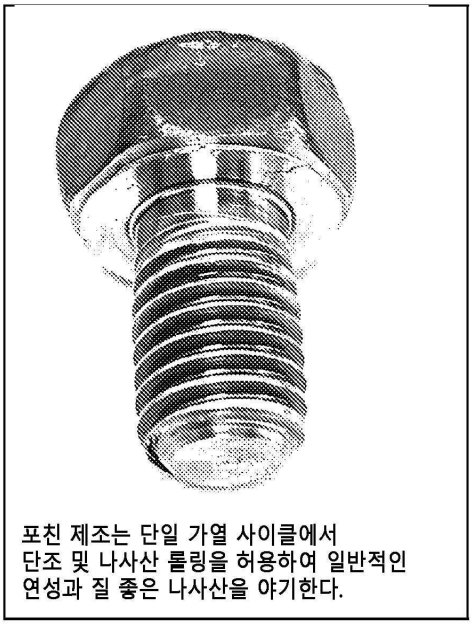
도면3d



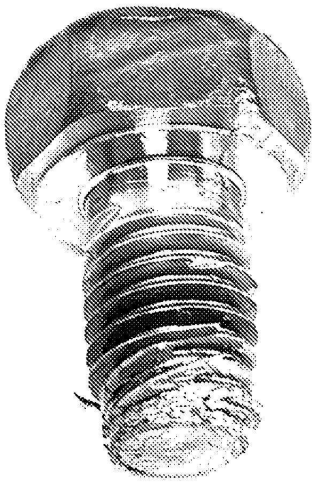
도면3e


6D
6B
6C
6A
6E
5
8
34
33

도면4a

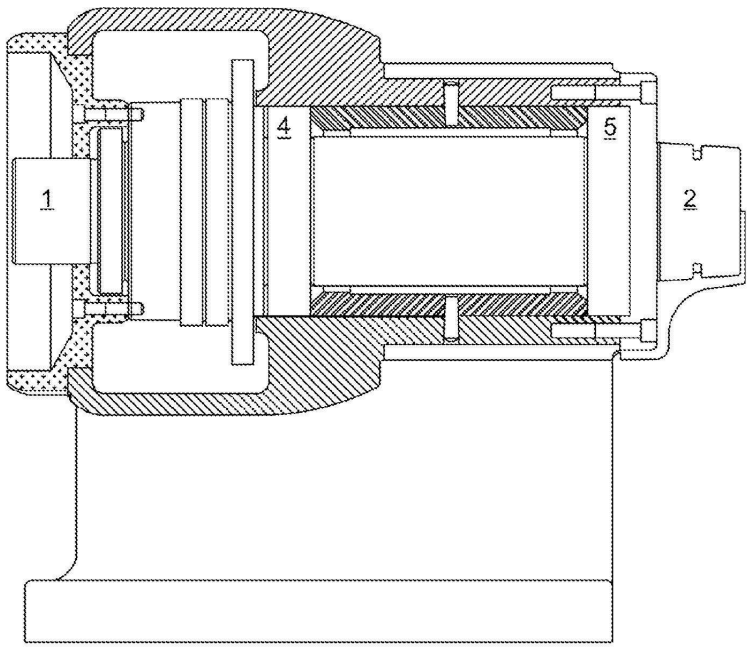

포친 제조는 단일 가열 사이클에서
단조 및 나사산 롤링을 허용하여 일반적인
연성과 질 좋은 나사산을 야기한다.

도면4b

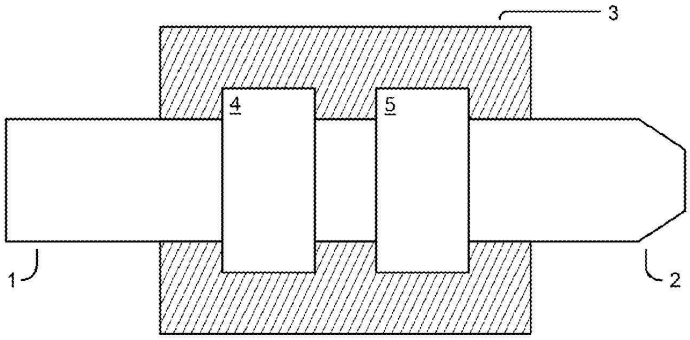


별도 작업들에서 제조는
이중 가열로 인해 부서지기 쉽고
부서진 나사산을 야기한다.

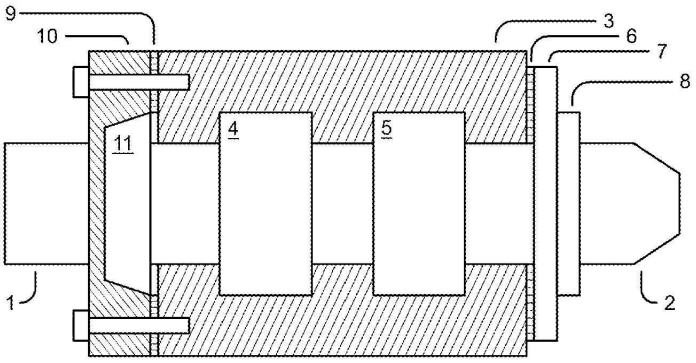
도면5a



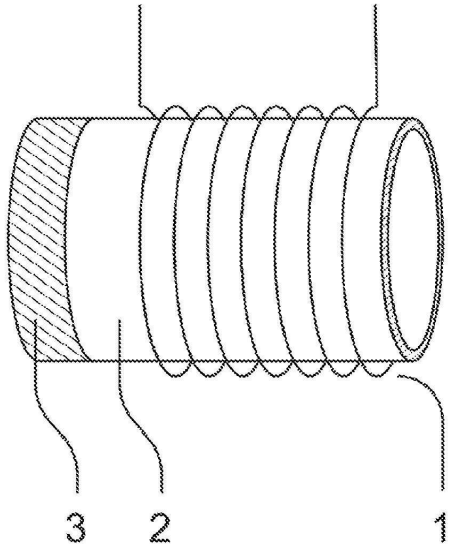
도면5b



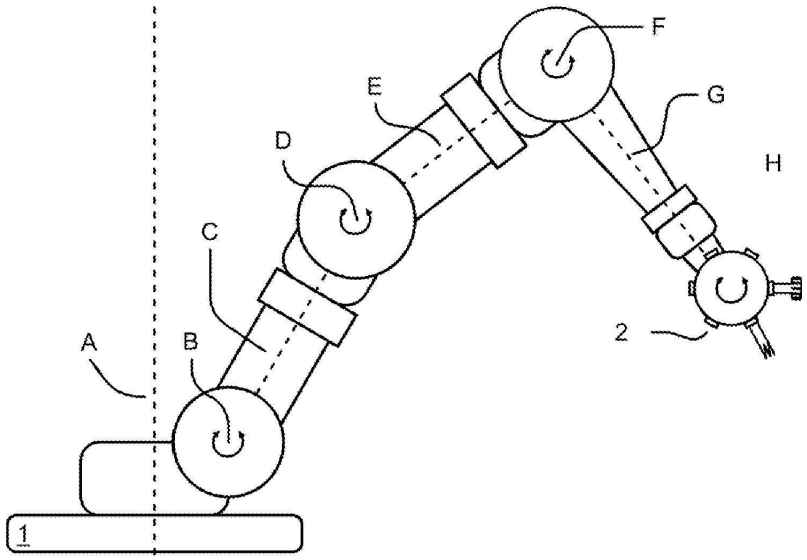
도면5c



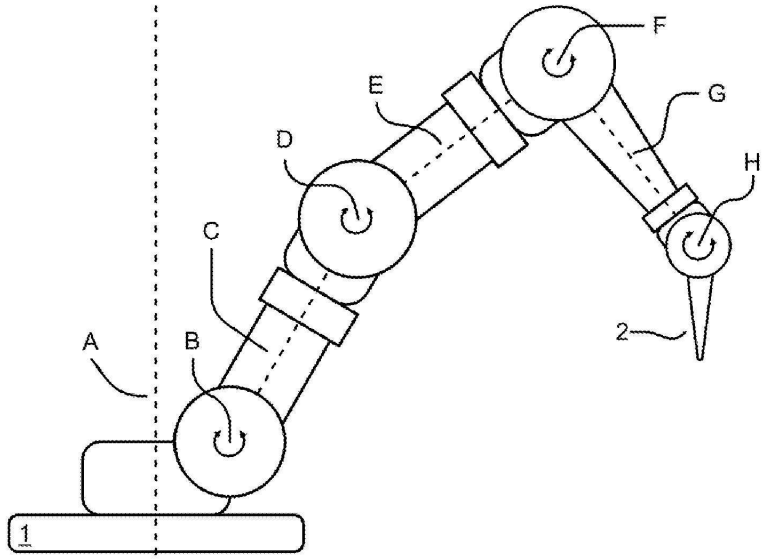
도면6



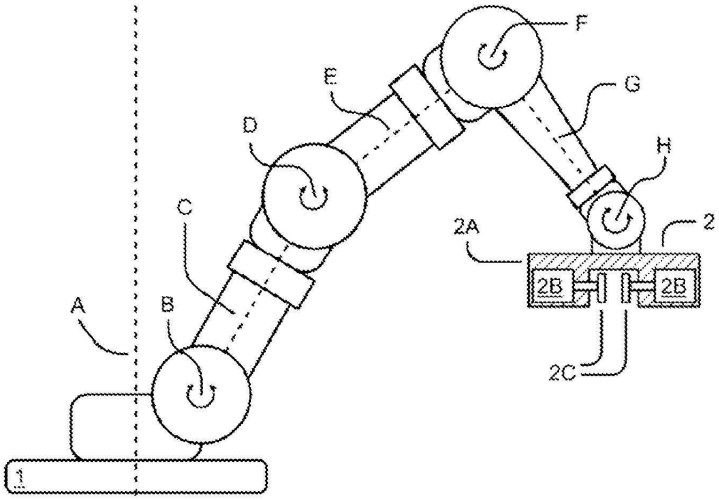
도면7a



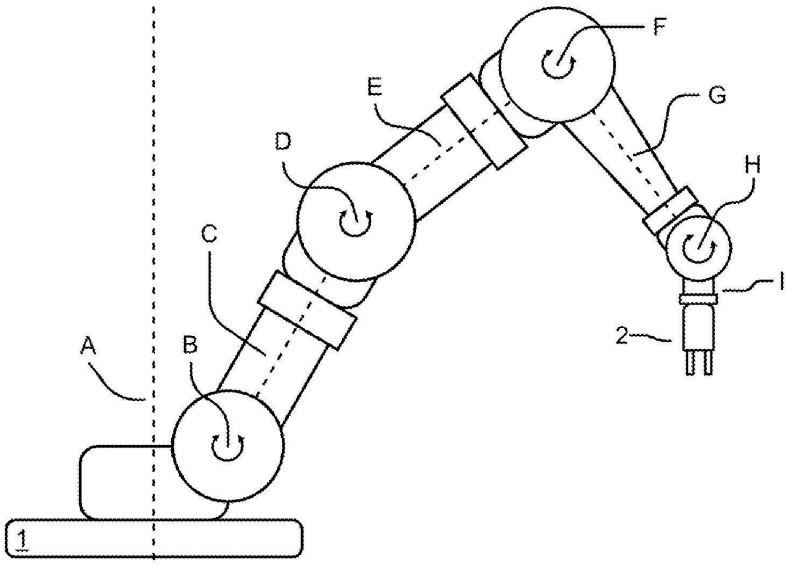
도면7b



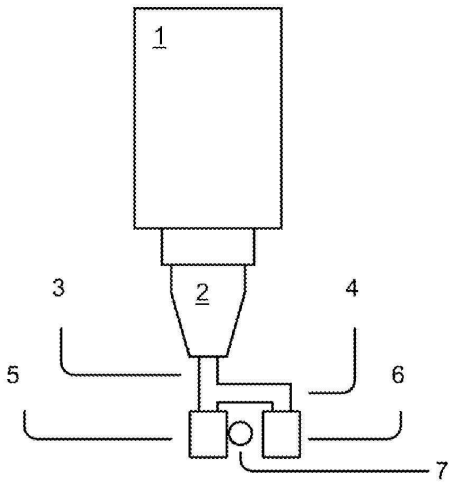
도면7c



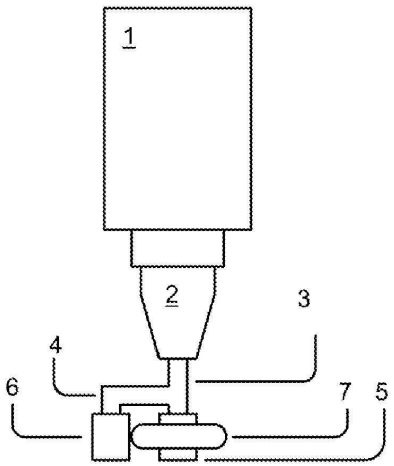
도면7d



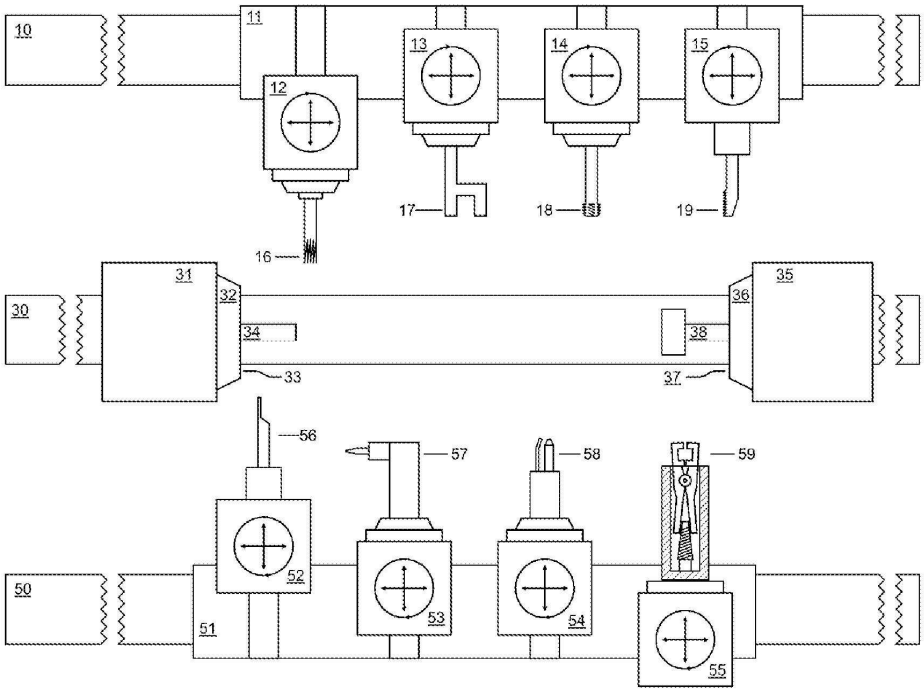
도면8a



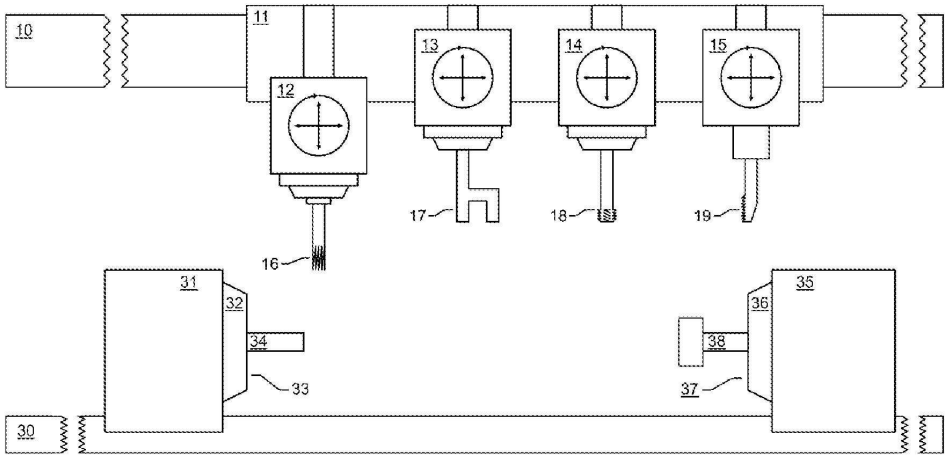
도면8b


1
2
3
4
5
6
7

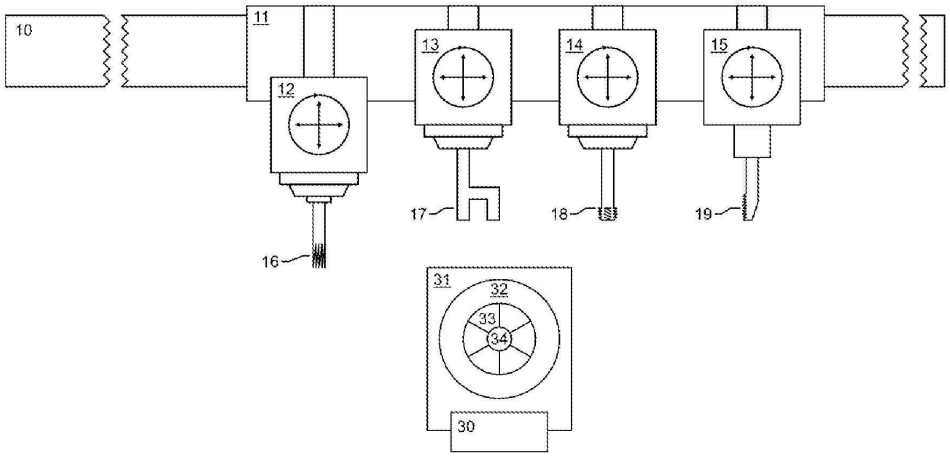
도면9a


10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
30
31
32
33
34
35
36
37
38
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59

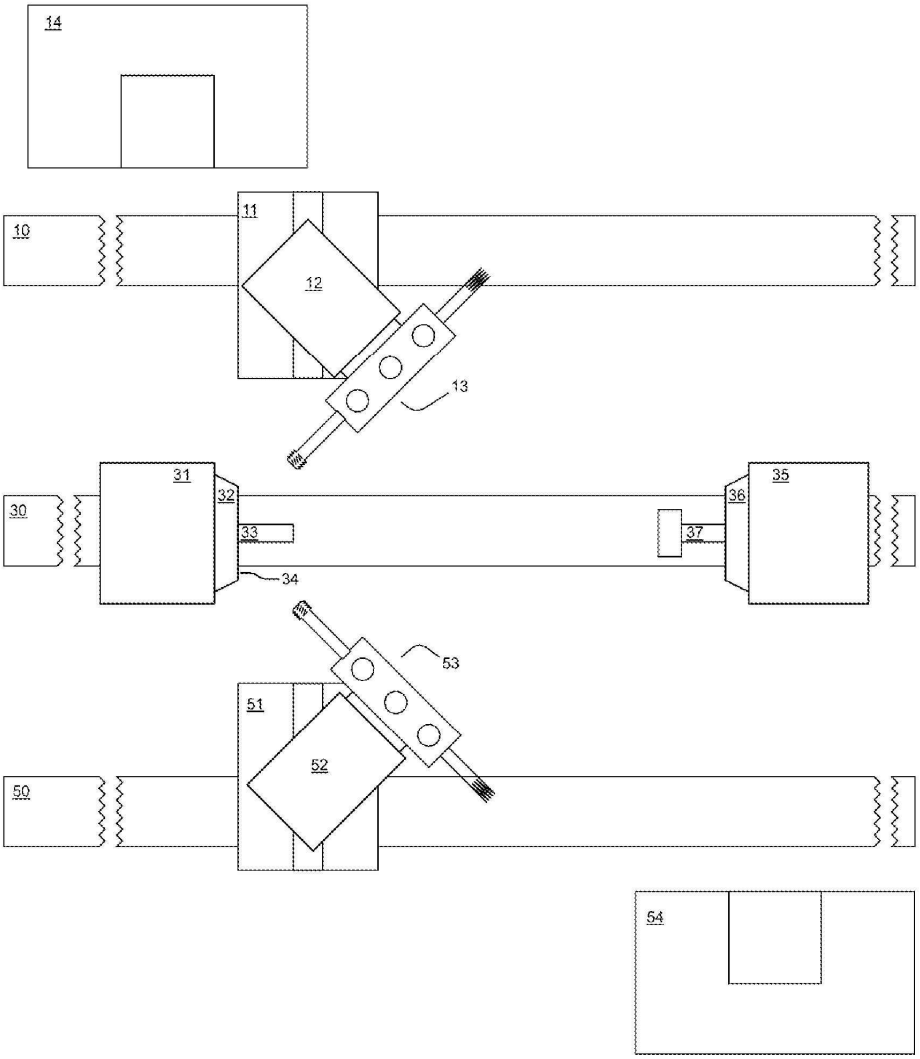
도면9b


10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
30
31
32
33
34
35
36
37
38

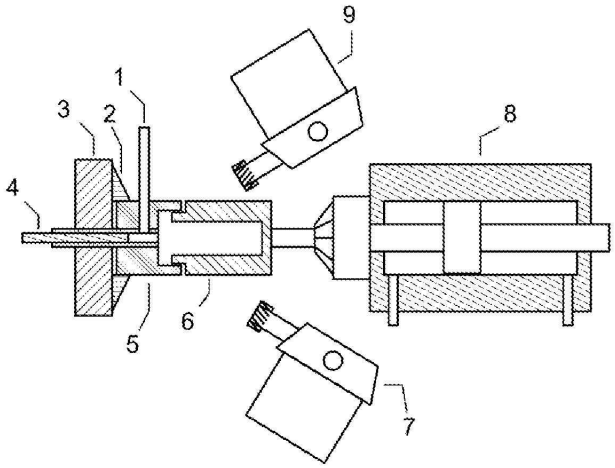
도면9c


10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
30
31
32
33
34

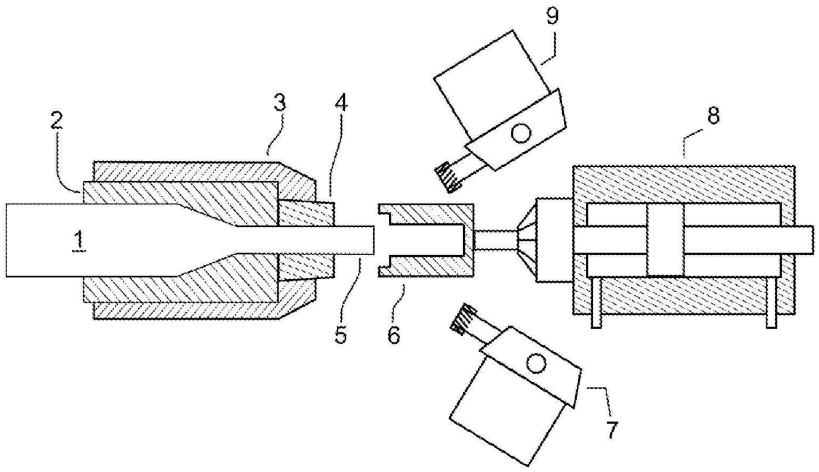
도면10



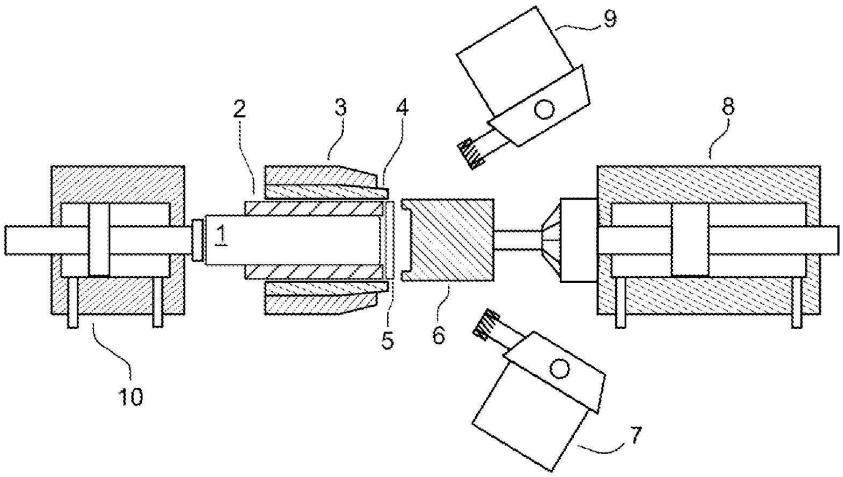
도면11



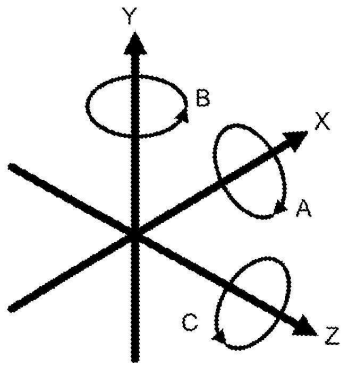
도면12



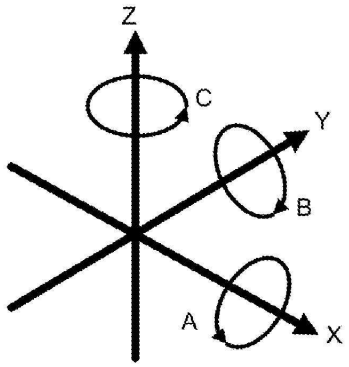
도면13



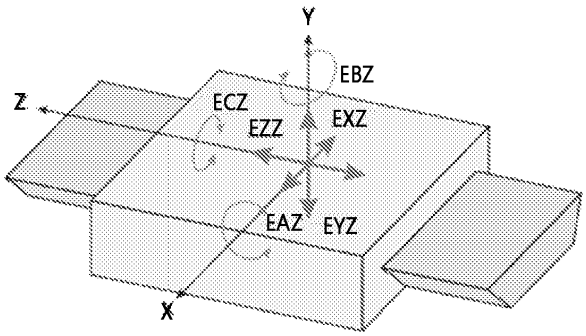
도면14a



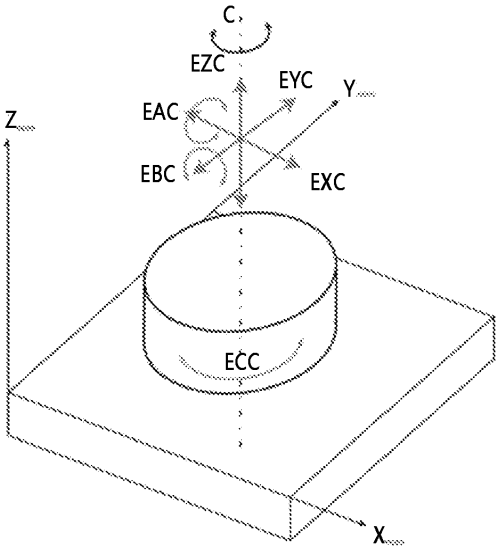
도면14b



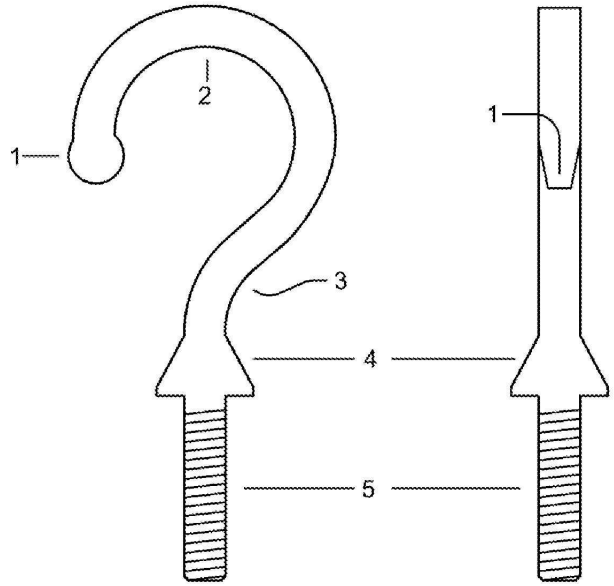
도면15a



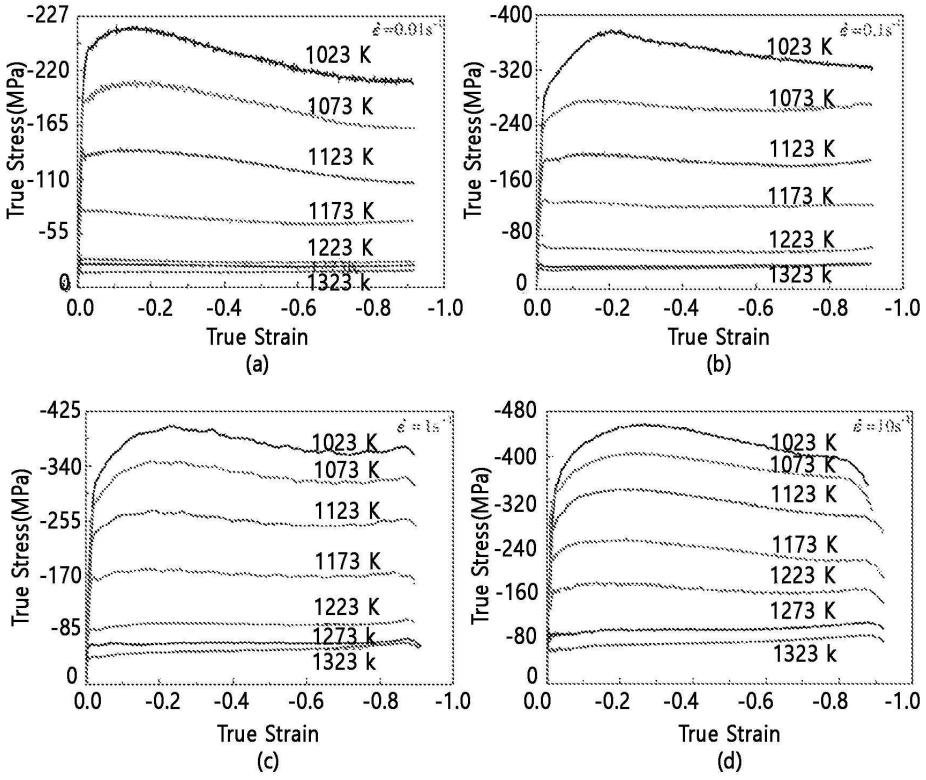
도면15b



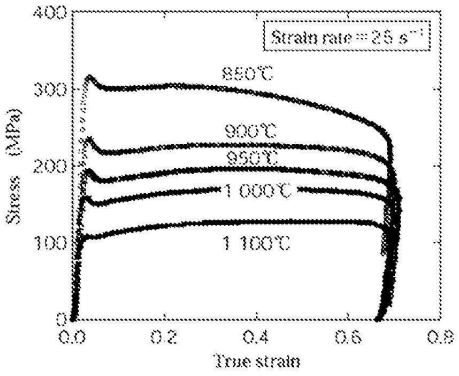
도면16


1
2
3
4
5
1

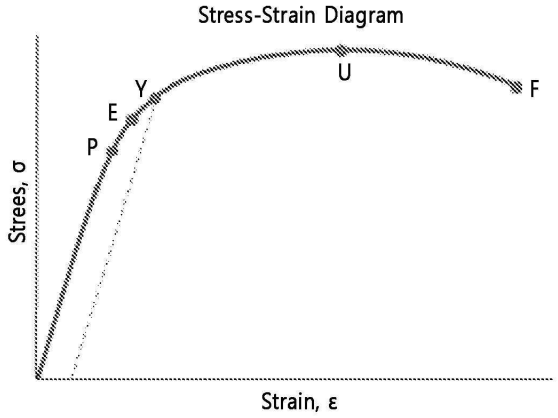
도면17


True Stress(MPa)
True Strain
(a)
(b)
(c)
(d)
1023 K
1073 K
1123 K
1173 K
1223 K
1273 K
1323 k

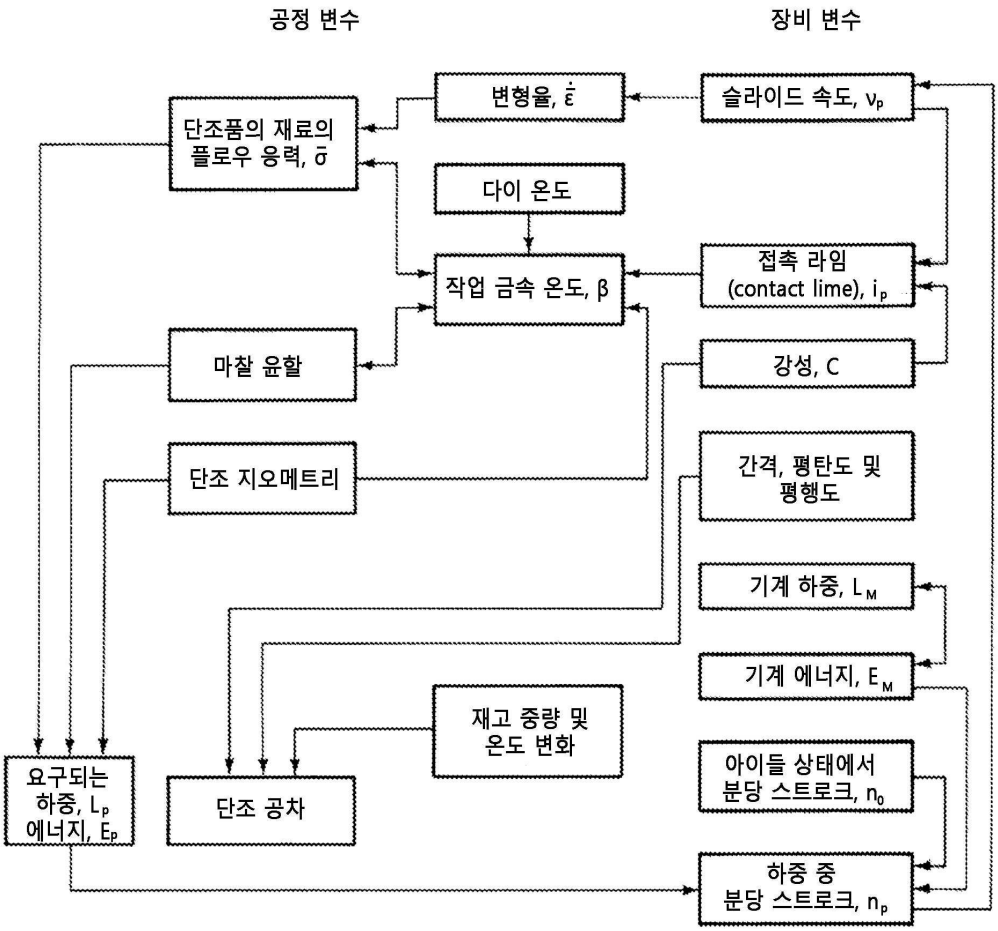
도면18


Strain rate = 25 s⁻¹
850℃
900℃
950℃
1 000℃
1 100℃
Stress (MPa)
True strain
400
300
200
100
0
0.0
0.2
0.4
0.6
0.8

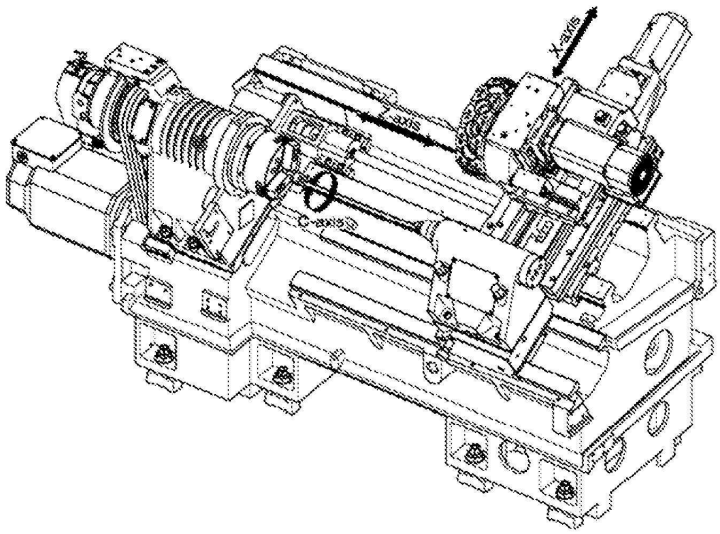
도면19


Stress-Strain Diagram
P
E
Y
U
F
Strees, σ
Strain, ε

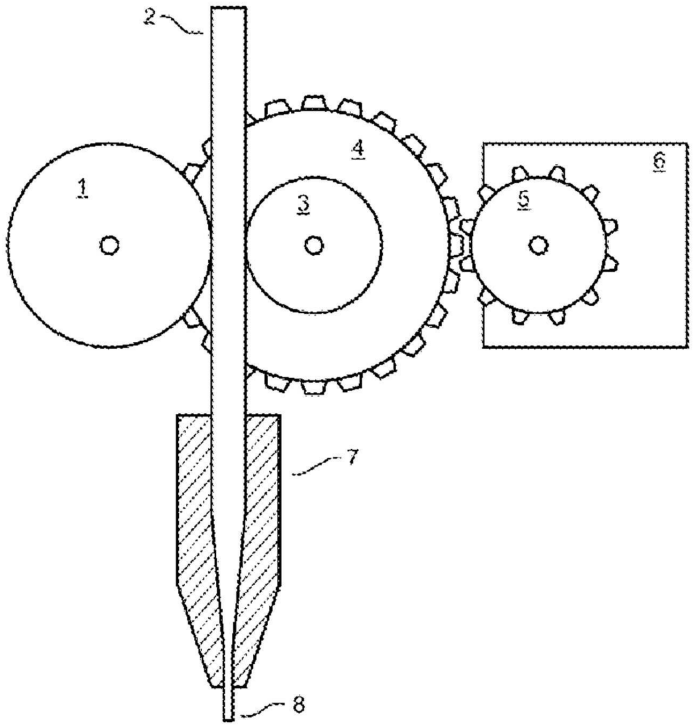
도면20


공정 변수
장비 변수
변형율, $\dot{\bar{\varepsilon}}$
슬라이드 속도, v_p
단조품의 재료의 플로우 응력, $\bar{\sigma}$
다이 온도
작업 금속 온도, β
접촉 라임 (contact lime), i_p
마찰 윤활
강성, C
단조 지오메트리
간격, 평탄도 및 평행도
기계 하중, L_M
기계 에너지, E_M
재고 중량 및 온도 변화
요구되는 하중, L_p 에너지, E_p
단조 공차
아이들 상태에서 분당 스트로크, n_0
하중 중 분당 스트로크, n_p

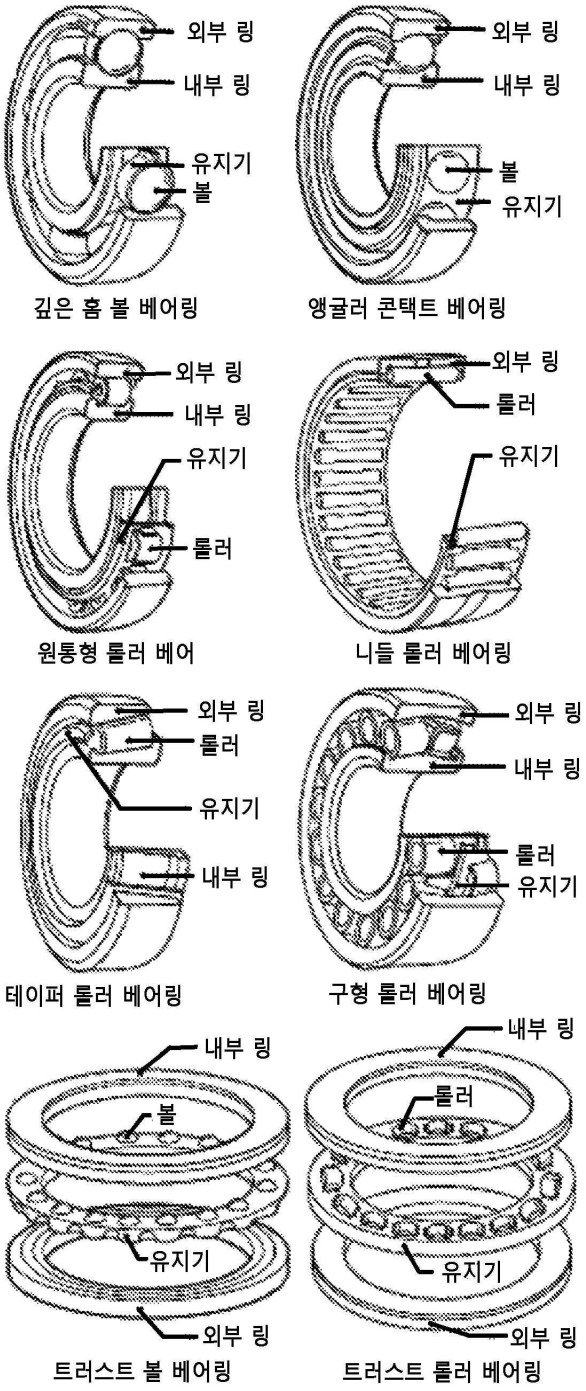
도면21



도면22



도면23


외부 링
내부 링
유지기
볼
깊은 홈 볼 베어링
외부 링
내부 링
볼
유지기
앵귤러 콘택트 베어링
외부 링
내부 링
유지기
롤러
원통형 롤러 베어
외부 링
롤러
유지기
니들 롤러 베어링
외부 링
롤러
유지기
내부 링
테이퍼 롤러 베어링
외부 링
내부 링
롤러
유지기
구형 롤러 베어링
내부 링
볼
유지기
외부 링
트러스트 볼 베어링
내부 링
롤러
유지기
외부 링
트러스트 롤러 베어링