



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2017년07월26일  
(11) 등록번호 10-1757019  
(24) 등록일자 2017년07월05일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
G01N 25/72 (2006.01) G06T 7/00 (2017.01)  
(21) 출원번호 10-2012-7029262  
(22) 출원일자(국제) 2011년04월07일  
심사청구일자 2016년01월04일  
(85) 번역문제출일자 2012년11월07일  
(65) 공개번호 10-2013-0043105  
(43) 공개일자 2013년04월29일  
(86) 국제출원번호 PCT/EP2011/055386  
(87) 국제공개번호 WO 2011/124628  
국제공개일자 2011년10월13일  
(30) 우선권주장  
10003756.3 2010년04월08일  
유럽특허청(EPO)(EP)  
(56) 선행기술조사문헌  
JP2002527745 A\*  
(뒷면에 계속)  
전체 청구항 수 : 총 13 항

(73) 특허권자  
인스티튜트 닥터 포에르스테르 게엠베하 운트 코. 카게  
독일, 72766 로트링겐, 인 라이센 70  
(72) 발명자  
트락슬러, 게르하르트  
오스트리아, 에이-1110 비엔, 스페텔스키스트라체 16/9/10  
팔핑거, 베르너  
오스트리아, 에이-1200 비엔, 두르크라우프스트라체 5/5/7/31  
(74) 대리인  
한양특허법인

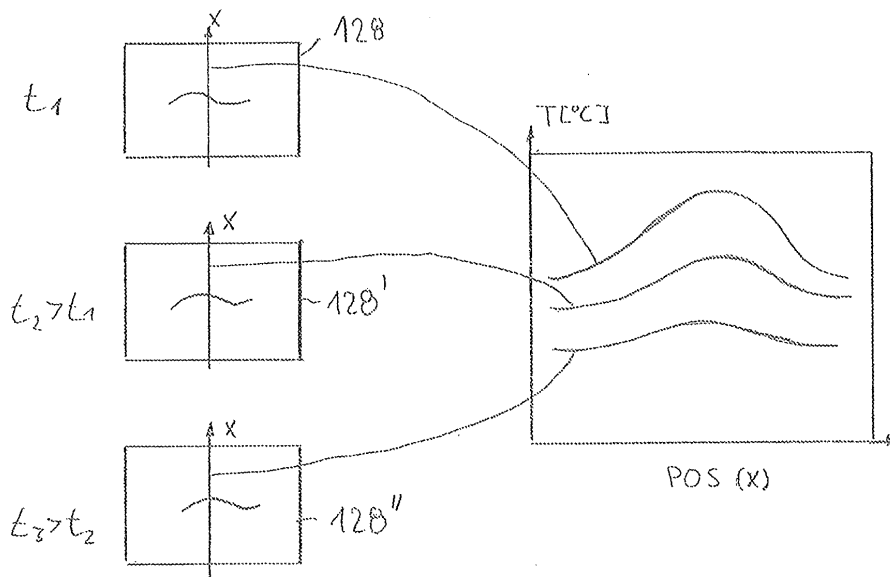
심사관 : 양성지

(54) 발명의 명칭 **써모그래픽 검사 방법 및 검사 방법을 수행하기 위한 검사 장치**

(57) 요약

검사 물체의 표면 근처의 결함의 검출 및 식별을 국부적으로 해결하기 위한 써모그래픽 검사 방법에서, 검사 물체의 표면 영역은 예를 들면 유도성으로 가열된다. 시간 간격으로 차례로 일련의 써모그래픽 이미지가 열 전달 상 내에서 기록되고, 각각의 써모그래픽 이미지는 써모그래픽 이미지에 의해 기록되는 검사 물체의 표면 영역에 (뒷면에 계속)

대표도 - 도3b



서의 국부 온도 분포를 나타낸다. 위치적으로 정확하게 할당된 온도 프로파일이 써모그래픽 이미지로부터 결정되고, 각각의 위치적으로 정확하게 할당된 온도 프로파일이 검사 물체의 표면의 동일한 측정 영역에 할당된다. 다음으로, 온도값의 시간이 지남에 따른 변이는 온도 프로파일에 의해 기록되는 측정 영역의 많은 수의 측정 위치에 대한 온도 프로파일로부터 결정된다. 이들 변이들은 측정 영역에서의 온도 흐름을 특징화하는 적어도 하나의 평가 기준을 기초로 평가된다. 방법은 관심 결함의 영역에서의 열 흐름을 고려하고, 보다 나은 간섭 억제체를 제공하며, 종래 기술에 비해 진짜 결함과 의사 결함 사이의 선택성을 개선한다.

(56) 선행기술조사문헌

JP2006337230 A\*

JP02151356 A\*

HAMZAH A R ET AL: "AN EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF DEFECT...THERMOGRAPHY", BRITISH INSTITUTE OF NON- DESTR. TEST. , NORTHAMPTON , GB,vol. 38, no. 3 (1996-01-01)

US20060114965 A1

WO2009065847 A1

\*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

검사 물체 표면 근처의 결함의 검출 및 식별의 국부적 분해를 위한 써모그래픽 검사 방법으로서, 상기 써모그래픽 검사 방법은:

결함에 의해 영향을 받은 결함 영역과 결함이 없는 검사 물체의 재료 사이에서 열 불균형이 발생하도록 상기 검사 물체의 일부분을 가열하는 단계 - 결함 영역의 주변의 결함이 없는 영역은 가열되지 않거나 또는 상기 결함 영역보다 덜 강하게 가열됨 - ;

열 전달 상 내의 시간 간격으로 차례로 일련의 써모그래픽 이미지를 기록하는 단계 - 상기 단계는 국부적으로 가열된 결함 영역으로부터 상기 결함 영역의 주변 영역으로의 열 흐름이 발생하는 경우에 시작하며, 각 써모그래픽 이미지는 상기 써모그래픽 이미지에 의해 기록되는 상기 검사 물체의 표면 영역에서의 국부 온도 분포를 나타냄 - ;

상기 써모그래픽 이미지로부터 위치적으로 정확하게 할당된 온도 프로파일을 결정하는 단계 - 온도 프로파일은 국부적 분해 프로파일이며, 상기 온도 프로파일내의 상이한 위치들 각각은 각 위치에서의 온도를 나타내는 측정된 변수의 값이 할당되고, 각각의 위치적으로 정확하게 할당된 온도 프로파일은 상기 검사 물체의 표면의 동일한 측정 영역에 할당됨 - ;

상기 온도 프로파일에 의해 기록되는 측정 영역의 많은 수의 측정 위치에 대해 상기 온도 프로파일로부터 온도 값의 시간에 따른 변이를 결정하는 단계; 및

상기 측정 영역에서의 열 흐름을 특징화하는 적어도 하나의 평가 기준을 기초로 시간에 따른 상기 변이를 평가하는 단계를 포함하고,

상기 온도 프로파일 내의 적어도 하나의 국부 최대의 온도 값이 탐색되고,

상기 국부 최대의 온도 값의 영역 내에서의 열 집중값이 결정되고, 상기 열 집중값의 시간에 따른 변이가 평가되고, 상기 열 집중값은 인근 주변 영역과 비교한 바로 국부 최대 온도에서의 열의 체적의 비의 척도(measure)이고,

상기 열 집중값이 시간이 지남에 따라 떨어지는 경우, 이는 열이 그 중에서도 결함의 주변 영역으로 측방향으로 흘러 나가는 것을 나타낸 것으로서, 결함을 나타내는 것인, 써모그래픽 검사 방법.

#### 청구항 2

삭제

#### 청구항 3

청구항 1에 있어서, 상기 평가 단계에서, 국부 최대의 영역내의 온도 값의 진폭의 시간에 따른 변이가 평가되는, 써모그래픽 검사 방법.

#### 청구항 4

청구항 3에 있어서, 상기 평가 단계에서, 상기 온도 프로파일내의 국부 최대의 온도 값의 영역내에서의 열 집중값이 결정되고, 상기 열 집중값의 시간에 따른 변이가 평가되는, 써모그래픽 검사 방법.

#### 청구항 5

청구항 1 또는 청구항 3에 있어서, 상기 평가 단계에서, 적어도 3개의 위치적으로 정확하게 할당된 온도 프로파일들이 함께 평가되는, 써모그래픽 검사 방법.

#### 청구항 6

청구항 1 또는 청구항 3에 있어서, 긴 검사 물체를 검사하기 위해, 상기 써모그래픽 이미지에 의해 기록된 상기 표면 영역이 서로에 대해 운동 방향으로 오프셋되도록, 상기 검사 물체와 상기 써모그래픽 이미지를 기록하기 위한 기록 장치 사이에서 상대 운동이 생성되는, 써모그래픽 검사 방법.

**청구항 7**

청구항 6에 있어서, 상기 기록 장치는 고정된 형태로 제공되며, 상기 긴 검사 물체는 상기 기록 장치에 대해 이동되는, 써모그래픽 검사 방법.

**청구항 8**

청구항 6에 있어서,

결함형 이상(defect-like anomaly)을 갖는 표면 상세를 포함하는 적어도 제1 픽 아웃 이미지 상세의 식별을 위하여 일련의 써모그래픽 이미지의 시간상의 제1 지점에 기록된 제1 써모그래픽 이미지를 분석하는 단계;

상기 제1 써모그래픽 이미지로부터 일정 시간 간격으로 시간상의 제2 지점에 나중에 기록되는 제2 써모그래픽 이미지에서 상기 제1 이미지 상세에 대응하는 제2 이미지 상세를 자동으로 발견하는 단계;

상기 제1 이미지 상세와 상기 제2 이미지 상세의 써모그래픽 데이터를 평가하는 단계가 실행되며,

상기 결함형 이상이 식별되는 경우 상기 온도 프로파일내의 국부 최대의 온도값이 탐색되는, 써모그래픽 검사 방법.

**청구항 9**

청구항 8에 있어서, 자동 발견을 위해서, 상기 제2 써모그래픽 이미지에서의 상기 결함형 이상을 포함하는 상기 표면 상세의 기대 위치는 상기 검사 물체와 상기 기록 장치 사이의 상대 속도, 운동 방향 및 시간상의 제1 지점과 시간상의 제2 지점 사이에서 지나간 시간을 기초로 결정되며, 상기 상대 속도가 측정되는, 써모그래픽 검사 방법.

**청구항 10**

검사 물체내의 표면 근처의 결함에 대한 검출 및 식별의 국부적 분해를 위한 써모그래픽 검사 장치로서,

결함에 의해 영향을 받은 결함 영역과 결함이 없는 상기 검사 물체의 재료 사이에서 열 불균형이 발생하도록 상기 검사 물체(180)의 일부분을 가열하기 위한 가열 장치(120) - 결함 영역의 주변의 결함이 없는 구역은 가열되지 않거나 또는 상기 결함 영역보다 덜 강하게 가열됨 - ;

일정 시간 간격으로 차례로 일련의 적어도 2개의 써모그래픽 이미지를 기록하기 위한 적어도 하나의 기록 장치(120); 및

상기 써모그래픽 이미지의 써모그래픽 데이터를 평가하기 위한 평가 장치를 포함하며,

상기 검사 장치는 청구항 1 및 청구항 3 중 어느 한 항에 기재된 방법을 수행하도록 구성된, 써모그래픽 검사 장치.

**청구항 11**

청구항 1 또는 청구항 3에 있어서, 상기 평가 단계에서, 4개에서 20개 사이의 위치적으로 정확하게 할당된 온도 프로파일이 함께 평가되는, 써모그래픽 검사 방법.

**청구항 12**

청구항 6에 있어서, 상기 상대 운동은 상기 검사 물체의 길이 방향에 평행하게 연장하는 운동 방향으로 생성되는, 써모그래픽 검사 방법.

**청구항 13**

청구항 6에 있어서, 차례로 직접 기록된 상기 써모그래픽 이미지의 표면 영역은 중첩 영역에서 중첩하는, 써모그래픽 검사 방법.

**청구항 14**

청구항 9에 있어서, 상기 검사 물체의 속도가 측정되는, 써모그래픽 검사 방법.

**발명의 설명**

**기술 분야**

[0001] 본 발명은 검사 물체내의 표면 근처의 결함의 검출 및 식별의 국부적 분해를 위한 써모그래픽 검사 방법 및 검사 방법을 수행하기에 적합한 검사 장치에 관한 것이다.

**배경 기술**

[0002] 예를 들면 금속 재료의 빌렛(billet), 바(bar), 로드(rod), 튜브(tube) 또는 와이어(wire)와 같은 전기적 도전 재료의 반가공 제품은 고급 최종 제품을 위한 시작 재료의 역할을 할 수 있으며, 종종 극도로 높은 품질 요구 사항을 충족해야 한다. 재료 결함, 특히 재료내의 크랙, 보이드 또는 다른 불균일성과 같은 표면 근처의 결함에 대한 검사가 이들 제품의 품질 제어의 중요한 부분을 형성한다. 이 검사 동안, 일반적으로, 결함이 추후 공정을 위해 중요하지 않은 것인지 또는 그라인딩과 같은 재작업에 의해 적어도 수리될 수 있는 것인지, 또는 재료가 폐기되어야 할 것인지를 발견된 결함의 유형에 의존하여 검사 결과를 기초로 결정할 수 있도록 높은 국부 해상도로 가능한 완벽하게 재료의 표면을 검사하려고 시도되며, 이 검사는 가능한 어느 곳이든 생산 체인 중에서 가능한 조속히 수행된다.

[0003] 그러한 검사에 대해 흔히 이용되는 에디 전류 기술 또는 스트레이 프럭스(stray flux) 기술과 같은 자기식 방법과는 다르게, 최근의 써모그래픽 검사 방법이 또한 검사 물체의 표면 근처의 결함의 검출 및 식별의 국부적 분해를 위해 이용된다.

[0004] 공지의 써모그래픽 검사 방법에서, 전기적 도전 검사 물체 예를 들면 강철 빌렛이 롤링 이후에 고주파 교류하에 있는 유도 코일을 통과하고, 검사 물체의 표면에 가까운 전류 흐름을 유도한다. 여기 주파수에 의존하는 스킨 효과로 인하여, 시험편의 전류 밀도는 표면 부근이 검사 물체 내부보다 더 크다. 유도된 전류 흐름의 횡단면에 놓인 크랙과 같은 미세구조 장애는 전기적 저항으로서 작용하고, 시험편의 재료내의 최소의 (전기적) 저항의 경로를 발견하기 위해 시도하는 전류 흐름을 편향시킨다. 이는 높은 전류 밀도를 초래하고, 결과적으로 결함의 영역내에서 전류 흐름의 "제약"으로 인해 큰 전력 손실을 초래한다. 미세구조 장애의 바로 인접한 국부적으로 제한되는 피영향 영역이 주변 비장애 영역에 비해 더 높은 온도를 가지는 것으로 추정하도록, 미세구조 장애의 영역내에서 발생하는 전력 손실이 생성되는 열에 의해 드러난다. 감열 카메라 또는 열 방사에 민감한 다른 적절한 기록 장치의 도움으로, 표면 근처의 결함의 존재는 기록 장치에 의해 기록되는 표면의 영역내의 국부 온도 값을 기초로 국부적 분해 방식으로 검출될 수 있다. 기록된 표면 영역의 가시적 표현이 또한 일반적으로 제공되며, 써모그래픽적으로 결정되는 이상이 하류 평가 시스템에 의해 자동으로 평가될 수 있다.

[0005] DE 10 2007 055 210 A1은 써모그래픽 검사 방법 및 검사 방법을 수행하기 위해 설치되는 검사 장치를 기재한다. 검사 장치는 유도 코일, 예를 들면 강철 빌렛을 통과하는 금속성 검사 물체의 주변 영역을 가열하기 위한 유도 코일 및 통과하는 강철 빌렛의 온도 프로파일을 측정하기 위한 하나 이상의 적외선 카메라를 갖는다. 측정 결과는 발견되는 결함을 마킹하기 위한 컬러 마킹 시스템을 작동하는데 이용된다. 적외선 카메라에 의해 기록된 써모그래픽 이미지(열 이미지)의 평가를 위해, 이 문헌에서는 평가 소프트웨어를 제공하고, 이는 열 이미지 또는 열 이미지들을 분석하고 소정 임계값을 넘는 온도차를 식별하고, 이들을 결함으로 보고한다. 소정 임계값을 넘는 온도차의 크기는 결함의 깊이를 나타내는 것으로 간주된다. 평가 소프트웨어는 그들의 깊이에 대한 및 임계값을 넘는 온도차의 크기에 대한 결함을 평가할 수 있다. 평가 소프트웨어는 최소 결함 길이 미만의 길이의 결함을 결함 리스트로부터 제거할 수 있어서, 그러한 결함이 더 이상 결함으로 발견되지 않는다. 그러나, 결함이 최소 결함 길이 미만이나 온도차의 크기가 임계값보다 크고 온도차의 최대 크기보다 큰 경우, 그러한 결함은 그럼에도 불구하고 결함으로 보고된다. 이러한 방식으로, 결함은 주변 영역에 대한 결함 길이 및 온도차에 의존하여 식별된다.

[0006] 주변 영역에 대한 2K 이상의 온도 프로파일의 상승은 일반적으로 결함으로 간주되나, 임계 온도는 더 낮은 것으로 선택될 수 있다. 5K 이상의 주변 영역에 대한 온도차는 명백히 결함으로 식별된다.

[0007] 실제로, 평가될 온도 프로파일은 일반적으로 상당한 진폭의 간섭 신호에 의해 중첩된다. 간섭의 가능한 소스로는 검사 물체의 표면의 방출 정도에 대한 국부 변동, 주변 영역으로부터의 반사 및 실제 검사 동작시에 일반적

으로 회피할 수 없는 시험편의 표면상의 이물질과 같은 환경을 포함한다. 예를 들면, 정방형 프로파일 상의 예지는 종종 주변 영역과 비교할 때 증가된 온도를 가지므로, 시험편의 형상으로 인하여 오작동 표시가 초래될 수 있다. 일반적으로, 주변 표면과 비교할 때 크랙형 결함에서 발생하는 온도차는 1K 내지 10K 단위의 크기이다. 간섭 진폭은 또한 이러한 단위의 크기를 갖는 것으로 관찰되었다. 그러므로, 간섭 진폭을 감소하기 위한 모든 가능한 대책에도 불구하고, 간섭은 미세구조 흠이나 결함으로 잘못 분류된다.

**발명의 내용**

**해결하려는 과제**

[0008] 본 발명에 의해 해소되는 문제점은 써모그래픽 검사 방법 및 이 방법을 수행하기에 적합한 써모그래픽 검사 장치를 제공하며, 상기 방법은 종래 기술에 비해 써모그래픽 신호의 평가에 있어서의 간섭의 억제 개선을 제안한다. 특히, 실제 결함과 다른 간섭에 원인이 있는 의사 결함 사이를 분별하는데 있어서의 선택성을 개선하는 것이 의도된다. 바람직하게는, 결함의 검출 및 식별에 있어서 증가된 신뢰성을 갖는 전기적 도전 재료의 긴 물체의 완전한 표면을 검사를 제공하는 것이 의도된다.

**과제의 해결 수단**

[0009] 이러한 및 다른 문제점을 해결하기 위하여, 본 발명은 청구항 1의 특징을 갖는 써모그래픽 검사 방법 및 청구항 10의 특징을 갖는 방법을 수행하기 위해 설정된 써모그래픽 검사 장치를 제공한다. 유리한 개발이 종속 청구항에 명시된다. 청구항 전체의 용어는 상세한 설명의 내용을 참조로 하였다.

[0010] 검사 방법에서, 검사 물체 중 검사될 부분이 가열 장치의 영향하에 노출된다. 이하, 이는 짧게 "가열"이라 칭한다. 이 경우, 결함에 의해 영향을 받는 결함 영역 또는 흠이 있는 위치와 결함이 없는 시험편의 재료 사이에 열적 불균형이 발생하도록 가열 에너지가 도입된다. 이 경우의 흠이 있는 위치 또는 결함 영역은 실제 흠, 예를 들면 크랙과 직접적으로 인접한 주변 영역을 포함한다. 결함이 없는 주변 영역은 아마도 가열 장치의 영향하에서 그 온도를 유지 즉, 가열되지 않거나 또는 흠이 있는 위치보다 덜 강하게 가열될 것이다.

[0011] 금속 빌렛, 바, 와이어 등과 같은 전기적 도전성 검사 물체의 경우, 예를 들면 가열 공정을 위해 유도성 방법이 이용될 수 있다. 열 에너지를 검사 물체의 결함 영역으로 주입하는 것은 또한 초음파의 도움으로 발생할 수 있다.

[0012] 열 전달 상 내에서, 일련의 둘 이상의 써모그래픽 이미지가 기록되고, 이들은 서로 시간 간격이 떨어져 기록된다. 국부적으로 가열된 결함 영역으로부터 주변 영역으로의 열 흐름이 스스로 나타나는 경우, 열 전달 상이 시작된다. 열 전달 상은 가열 공정에 이은 냉각 상태까지 연장하고, 많은 경우 냉각 상태에 대응한다. 그러나, 종종 가열 상태와 냉각 상태 사이에서는 엄격한 제한이 없다. 열 에너지가 가열 공정 동안 이미 전달할 수 있으므로, 열 전달 상의 시작은 여전히 시간적으로 국부 가열 상태와 중첩할 수 있다.

[0013] 이 경우 써모그래픽 이미지 각각은 열 전달 동안 시간적으로 상이한 지점에서의 써모그래픽 이미지에 의해 기록되는 검사 물체의 표면 영역에서의 국부 온도 분포를 나타낸다. 써모그래픽 이미지를 기록하기 위한 기록 장치 예를 들면 열이미지 카메라 및 검사 물체가 움직이지 않는다면, 상이한 시간 지점에서 기록되는 검사 물체의 표면 영역은 동일할 수 있다. 검사 물체와 기록 장치 사이에 상대적 움직임이 있는 경우, 표면 영역은 서로에 대해 공간적으로 오프셋될 수 있다.

[0014] 위치적으로 바르게 할당된 온도 프로파일은 일련의 써모그래픽 이미지로부터 결정되며, 서로에 대해 위치적으로 바르게 할당된 각각의 온도 프로파일은 검사 물체의 표면의 동일한 측정 영역에 할당된다. "측정 영역"이라는 용어는 여기서 검사 물체의 좌표의 시스템내의 고정 위치를 갖는 1차원적 또는 2차원적으로 연장되는 영역을 칭한다. 많은 측정 위치는 측정 영역내에 놓인다.

[0015] "온도 프로파일"이라는 용어는 온도 프로파일내의 상이한 위치 또는 지점이 각각의 위치에서의 온도를 나타내는 측정된 변수의 각각 할당된 값인 국부적 분해 프로파일을 칭한다. 온도 프로파일은 온도 프로파일내의 위치에 대한 온도 값의 의존성을 설명하는 위치 함수로서 이해될 수 있다. 온도 프로파일은 라인 프로파일 방식으로 다소 협소하며 거의 선형인 영역에 관련된다. 이는 또한 2D 프로파일 또는 면적 프로파일에 관련되며, 소정 형상 및 크기의 면적의 일 파편에서의 온도값의 국부 분포가 온도 프로파일에 의해 설명된다. 온도 프로파일의 상이한 위치에 할당된 측정된 변수는 "온도 값"으로 칭할 수 있다. 이는 일반적으로 온도의 직접 측정은 포함하지 않으나, 예를 들면 각 위치에 의해 방출되는 열 방사의 세기 또는 진폭을 측정으로서, 이는 써모그래피에

서는 통상적 수단에 의해 프로파일 위치의 국부 온도로 변환될 수 있다.

- [0016] 이러한 방식으로, 복수개의 온도 프로파일(적어도 2개)이 결정되며, 이는 냉각 공정 동안 시간상 상이한 지점에서 동일한 측정 영역내에서 온도의 국부 변이를 나타낸다. 온도값의 시간에 따른 변이는 온도 프로파일에 의해 기록되는 측정 영역의 많은 수의 측정 위치에 대한 온도 프로파일로부터 정량적으로 결정되어, 국부 온도값의 시간에 따른 전개가 측정 영역의 많은 수의 측정 위치에 대해 얻어진다. 시간에 따른 변이는 측정 영역에서의 열 흐름을 특징화 하기에 적합한 적어도 하나의 평가 기준을 기초로 평가된다.
- [0017] 방법에 있어서, 온도 프로파일은 이들에 의해 나타나는 온도의 국부 변이에 대해서만 아니라 그들의 시간에 따른 변화도 분석한다. 연속 또는 일련의 온도 프로파일이 표면에서의 소정 측정 영역 및 정의된 시간 범위에 대해 얻어진다. 본 방법의 필수적 측면은 열 흐름 즉 온도 프로파일의 시간에 따른 전개의 동적 양태 및 그의 평가 또는 해석을 포함하는 것이다.
- [0018] 다른 설정은 적절한 검사 물체에서의 표면 근처의 결함의 검출 및 식별을 위하여 열 흐름 써모그래피의 국부적 분해의 변형의 이용을 제안하며, 시험편의 국부 분포의 시간에 따른 전개가 결정되고 평가된다. 이는 그 중에서도 측방향 열 흐름을 정량적으로 기록 및 평가하는 것을 포함한다.
- [0019] 종래 기술과 비교할 때, 이 방법은 결함에 영향을 주는 온도 효과와 열 흐름에 의한 것이 아닌 효과 사이를 분별할 수 있는 능력을 개선하므로, 예를 들면 크랙 또는 미세구조 장애와 같은 결함에 대한 더욱 신뢰할 만한 분류가 달성된다. 더욱이, 결정적인 것이 단지 프로파일내의 온도 신호의 진폭 또는 세기만이 아니라, 시간 축상의 동적 양태도 포함하므로, 낮은 신호 진폭의 경우에도, 써모그래픽 정보 평가 능력의 개선이 달성된다. 이는 또한 간섭 진폭(탐색되는 결함에 의한 것이 아닌)이 유용한 신호 진폭보다 큰 경우라도 간섭 억제에 상당한 개선을 초래하는데, 여기서 유용한 신호 진폭은 미세구조 장애에 의해 초래된 신호 진폭을 칭하는 것이다.
- [0020] 검사 방법은 특히 급작스럽고 국부적으로 제한된 열의 유입이 기록되고 정량적으로 평가되도록 한 이후에 공간적-시간적 열 전달을 가능하게 한다. 단순하게 설명하면, 잠재 결함의 영역내에 집중된 열이 시간이 지남에 따라 검사 물체의 재료의 이웃하는 찬 영역으로 흘러나가는 방식으로 공간적-시간적 열 전달이 발생한다. 여기 지점(point of excitation)에서의 온도 프로파일이 시간에 걸쳐 진폭이 감소하는 한 측방향 표면 온도 분포로 나타나지만, 여기 지점의 직접적으로 인접한 곳에서는 현저한 온도 증가가 있다. 이는 이들 조건 하에서 온도 프로파일의 형상이 시간에 걸쳐 특징적 방식으로 변한다는 점에 기인한다. 반면에 표면 반사와 같은 가장 빈번한 간섭 영향은 그들 국부 특성에 대해 시간에 걸쳐 어떠한 변화를 거치지 않거나 또는 작은 변화만 있고 및/또는 일반적 열 흐름 양태와는 현저하게 벗어난 변화를 보인다(예를 들면, 반사의 잠시의 깜빡임). 그러한 간섭 영향은 따라서 그들 전형적인 공간적-시간적 양태를 기초로 실제 결함과는 명백하게 분별할 수 있다. 일부 간섭 영향은 실제로 동적 공간적-시간적 양태에 의해 온도 프로파일로 나타나지만, 이는 일반적으로 간섭에 의해 영향을 받지 않은 열-전도 재료내의 결함의 주변 영역에서 발생하는 공간적-시간적 열 전달과는 현저하게 상이하다. 그러므로, 고체내의 열 전달 또는 열 확산 법칙 측면으로부터의 온도 프로파일의 공간적-시간적 양태를 분석하는 평가는 종래 방법에 비해 더욱 개선된 선택성 및 간섭 억제성을 제시한다.
- [0021] 그러므로 평가는 평가시에 시그니처(signature)를 이용한 기록된 써모그래픽 데이터의 비교를 포함하는 것으로 설명되며, 이 시그니처는 특히 열의 국부 집중 이후에 열 균형을 재설정하기 위해 노력하는 고체내의 공간적 및 시간적 열 전달의 기술(description)이다.
- [0022] 예비 평가 단계에서, 온도 프로파일은 바람직하게는 온도 프로파일에서 결함형 이상이 명백한지 즉, 이상이 결함에 기인한 것인지 여부에 대해 자동으로 분석되나, 필수적이지는 않다. 결함형 이상의 식별에 있어서, 바람직하게는 온도 프로파일내의 온도값의 국부 최대값이 탐색된다. 국부 최대는 여기서 온도 프로파일내의 위치에 대응하는 것으로, 그 온도는 국부 최대의 직접적 주변 영역내의 프로파일 위치들에서의 온도보다 현저하게 높다. 식별 단계는, 예를 들면 크랙 검사에서, 찬 주변 영역내의 상당히 좁은 뜨거운 위치의 발견을 의도하는 것이다. 이 식별 단계에서, 예를 들면 주변 영역 중 일 측에서 주변 영역의 다른 측으로의 짧은 거리 걸쳐 온도가 급격히 또는 계단식으로 증가 또는 감소하는 모서리 위치로부터 국부 최대값을 구별하기 위하여 적절한 이미지-처리 필터 루틴이 이용될 수 있다. 일반적으로, 명백하게 국부 최대 온도에 원인이 있는 이들 이미지 위치들(픽셀 또는 픽셀 그룹)을 식별하기 위하여, 상이한 기준을 기초로 2개 이상의 필터 루틴이 이러한 목적으로 이용된다.
- [0023] 다음으로 평가는 국부 최대 온도가 발견된 영역에 집중할 수 있다. 변형 방법에서, 온도 프로파일의 국부 최대 온도값의 범위에서 온도값의 진폭의 시간에 따른 변이가 평가 기준으로서 평가된다. 이는 예를 들면 국부 최대

및 그 인근 영역에서의 냉각 속도를 결정하는데 이용될 수 있다. 장애가 없는 주변 영역 내부의 크랙과 같은 미세구조 장애의 영역내의 냉각 속도는 열확산 법칙에 의해 설명될 수 있고, 결과적으로, 신뢰할만한 평가 기준으로서 이용될 수 있다. 그러므로, 크랙 및 다른 결함은 일반적인 냉각 속도를 기초로 결함에 원인이 있는 것이 아닌 장애를 구별할 수 있다.

[0024] 다르게는 또는 추가로, 평가 단계에서, 온도 프로파일내의 국부 최대 온도값의 영역내의 열 체적 집중값이 결정될 수 있고, 열 체적 집중값의 시간에 따른 변이가 평가될 수 있다. 열 체적 집중값은 직접적으로 인접한 영역과 비교하여 어떻게 국부 최대값의 열 체적이 관련되는지의 척도이다. 이 열 체적 집중도가 시간이 지남에 따라 떨어지면, 열은 주변 영역으로 흘러가고, 이는 예를 들면 크랙의 주변 영역에서는 일반적이다. 반면에, 국부 최대값이 미세구조 장애 또는 크랙에 원인이 있는 것이 아니라면, 열 집중값은 종종 현저하게 다른 양상을 보이며, 가열 공정이 종료된 이후에도 초기와 같이 증가를 계속하는 것도 가능하다. 이는 국부 최대 온도가 크랙 등에 원인이 있는 것이 아님을 나타내는 것이다.

[0025] 계산된 특징 변수를 이용하여 시간에 따른 변이의 평가에 대한 적절한 시간 함수를 충분히 정확하게 결정하는 것이 가능하도록 하기 위하여, 바람직한 실시예에서 시간상 차례로 기록된 적어도 3개의 온도 프로파일이 적절한 수의 보간 지점을 얻기 위하여 함께 평가된다. 일반적으로 4개 내지 10개의 온도 프로파일이 함께 평가되어, 시간 도메인에서 적절한 수의 보간 지점이 있고, 결함과 인공물 사이에 신뢰할 만한 구별이 행해질 수 있다.

[0026] 시간 함수로부터의 특징 변수의 결정 및 평가와 다르게는 또는 추가로, 이미지 소자(픽셀) 또는 이미지 소자의 그룹(픽셀 그룹)을 기초로 온도 프로파일내의 온도 값의 시간에 따른 변이를 수행하는 것이 또한 가능하다. 그 결과는 공간적-시간적 시그니처에 도달하기 위하여 서로에 대해 관련된다. 일반적으로, 신호 특성과 고체내의 열 전달의 이론적 법칙의 비교를 위해 차원적 형상 또는 데이터를 허용하는 신호 평가의 모든 변이가 적용될 수 있다. 예를 들면, 공간적-시간적 라인 프로파일, 기록 순서, 영역 편, 임의의 소망된 픽셀 배치 또는 픽셀 패턴이 이용될 수 있다. 필수적인 것은 공간적 및 시간적 측면의 결합 고려(joint consideration) 또는 포괄이며, 이것이 없이는 결함 확률로서의 신뢰할만한 서술이 거의 불가능할 것이다.

[0027] 검사 물체와 써모그래픽 이미지를 기록하기 위한 기록 장치 모두가 움직이지 않는 검사 장치에서 이 검사 방법을 이용하는 것이 가능하다. 이는 시간상 차례로 기록된 써모그래픽 이미지내의 동일한 측정 영역이 각각 써모그래픽 이미지내의 동일한 이미지 영역(동일 이미지 좌표)에 대응하므로, 온도 프로파일의 서로에 대한 위치적으로 정확한 할당을 상당히 용이하게 한다.

[0028] 그러나, 바람직한 어플리케이션에서, 이 검사 방법은 예를 들면, 바, 튜브, 와이어 등과 같은 긴 검사 물체를 검사하는데 이용된다. 긴 검사 물체를 검사하기 위해서, 검사 물체와 움직임의 방향에 평행하며, 편의상 상기 긴 검사 물체의 길이 방향으로 평행하게 연장하는, 써모그래픽 이미지를 기록하기 위한 기록 장치 사이에서 상대적인 움직임이 수행될 수 있다. 이 경우, 기록 장치는 바람직하게는 움직이지 않으며, 검사 물체는 기록 장치와 관계하여 이동한다. 시간상 차례로 기록된 써모그래픽 이미지에 의해 각각이 기록된 표면 영역이 움직임 방향에 평행하게 특정 간격만큼 오프셋하여 배치되도록 상대적 움직임이 수행된다. 이 경우에, 시간상 차례로 직접 기록된 표면 영역은 바람직하게는 검사하의 표면의 각각의 위치가 2 이상의 써모그래픽 이미지에 의해 기록되도록 부분적으로 중첩한다. 결과적으로, 길이 방향으로 이동하는 긴 검사 물체의 완전한 표면의 검사가 가능하다. 바람직하게는, 시험편의 표면의 각각의 위치는 3 또는 그 이상의 써모그래픽 이미지 예를 들면 4 내지 20 또는 그 이상의 써모그래픽 이미지에서 발생하고, 상대적 움직임으로 인하여 그 위치는 써모그래픽 이미지 각각에서의 상이한 지점에 놓인다.

[0029] 상이한 써모그래픽 이미지의 온도 프로파일의 위치적으로 정확한 할당은 움직이는 검사 물체의 검사시의 특별한 시도를 나타낸다. 방법의 변형에서, 결합형 이상을 갖는 제1 표면 상세의 써모그래픽 데이터를 내포하는 적어도 제1 선택된 이미지 상세를 식별하도록 일련의 써모그래픽 이미지에서 시간상 제1 지점에 기록되는 제1 써모그래픽 이미지는 이미지 처리에 의해 분석된다. 다음으로 동일한 표면 상세가 제1 이미지 상세에 대응하는 제2 이미지 상세에서 자동으로 발견된다. 제2 이미지 상세는 제1 써모그래픽 이미지로부터 이후 시간 간격인 시간상 제2 지점에 기록되는 제2 써모그래픽 이미지내에 위치한다. 다음으로, 위치적으로 정확한 할당을 달성하기 위하여 제1 및 제2 이미지 상세의 써모그래픽 데이터의 합동 평가가 발생한다.

[0030] 자동 발견을 위하여, 제2 써모그래픽 이미지내의 결합형 이상을 내포하는 표면 상세의 예상 위치는 바람직하게는, 시간상의 제1 지점과 시간상의 제2 지점 사이의 움직임의 방향에서 표면 상세가 덮이는 경로를 결정하도록, 측정된 또는 일부 다른 방식으로는 공지된 검사 물체와 기록 장치 사이의 상대 속도와 시간상의 제1 지점과 시



간상의 제2 지점 사이에서 통과된 시간 간격을 기초로 결정된다. 이는 제2 써모그래픽 이미지의 평가가 결합형 이상이 이른 시간에 기록된 제1 써모그래픽 이미지의 분석에서 발견된 표면 상세에 대해 시작부터 집중하도록 한다.

- [0031] 결합형 이상을 발견하기 위하여, 바람직하게는 제1 써모그래픽 이미지내의 적어도 하나의 선형 또는 면적형 온도 프로파일내에서 국부 최대 온도값이 탐색된다. 이러한 목적을 위해 적절한 이미지-처리 필터 루틴이 이용될 수 있다.
- [0032] 본 발명은 또한 검사 물체내의 표면 근처의 결합의 검출 및 식별을 공간적으로 해결하기 위한 방법을 수행하기 위해 설정되는 써모그래픽 검사 장치에 관한 것이다. 검사 장치는:
- [0033] 결합에 의해 영향을 받은 결합 영역과 결합이 없는 상기 시험편의 재료 사이에서 열 불균형이 발생하도록 상기 검사 물체의 일부분을 가열하기 위한 가열 장치;
- [0034] 일정 시간 간격으로 차례로 일련의 적어도 2개의 써모그래픽 이미지를 기록하기 위한 적어도 하나의 기록 장치; 및
- [0035] 상기 써모그래픽 이미지의 써모그래픽 데이터를 평가하기 위한 평가 장치를 포함하며,
- [0036] 상기 평가 장치는 상기 써모그래픽 이미지로부터 위치적으로 정확하게 할당된 온도 프로파일을 결정하고, 상기 온도 프로파일에 의해 기록되는 측정 영역의 많은 수의 측정 위치에 대해 상기 온도 프로파일로부터 온도 값의 시간에 따른 변이를 결정하고, 또한 상기 측정 영역에서의 열 흐름을 특징화하는 적어도 하나의 평가 기준을 기초로 시간에 따른 상기 변이를 평가하도록 구성된다.
- [0037] 기록 장치는 바람직하게는 많은 수의 이미지 행을 갖는 열 방사에 민감한 영역-스캔 카메라로서, 이것의 이미지 정보는 함께 평가된다.
- [0038] 이러한 및 추가 특징은 청구 범위에서만이 아니라 상세한 설명 및 도면에서도 나타나고, 개별적 특징은 각 경우에 자체로 또는 본 발명의 실시예 및 다른 분야에서의 하부조합의 형태로 복수개로서 구현될 수 있으며, 유리하며 내재적으로 보호가능한 실시예를 구성한다. 예시적 실시예는 도면에 표시되며 이하 상세히 설명된다.

**도면의 간단한 설명**

- [0039] 도 1은 관통 방법에 의해 전기적 도전 재료의 긴 검사 물체의 써모그래픽 검사를 위한 검사 장치의 실시예를 도시한다.  
 도 2는 검사 물체의 움직임의 방향에 수직으로 기록되는 온도 프로파일의 예를 도시한다.  
 도 3은 도 3a에서는 열-이미징 카메라의 기록 영역내에 놓인 움직이는 검사 물체의 가열된 일부분의 개략적 평면도로서, 확대 도시되고 결합을 내포하는 선택된 이미지 상세를 가지며, 도 3b에서 표면의 동일한 영역 상에 시간상으로 상이한 지점에서 기록된 온도 프로파일의 위치적으로 정확한 합동 평가를 위한 방법을 설명한다.  
 도 4는 도 4a 및 도 4b에서 각각 온도의 국부 최대 온도의 영역에서의 온도 프로파일의 부분의 시간에 따른 전개를 도시하며, 크랙에 원인이 있는 것이 아닌 장애의 영역에서의 온도 프로파일의 위치적으로 정확하게 할당된 상세가 도 4a에 도시되고, 표면 근처의 크랙의 영역에서의 대응하는 온도 프로파일은 도 4b에 도시된다.  
 도 5는 도 5a 및 도 5b에서 각각 국부 최대 온도의 영역에서의 열 흐름을 특징화하는 2개의 특성 변수의 시간에 따른 변이를 도시하며, 크랙에 원인이 있는 것이 아닌 장애에 대한 특징 변수의 시간에 따른 변이가 도 5a에 도시되고, 표면 근처의 크랙에 대한 시간에 따른 대응하는 변이가 도 5b에 도시된다.  
 도 6은 도 6a에서는 반사에 원인이 있는 국부 최대 온도를 갖는 온도 프로파일로부터의 상세를 도시하고, 도 6b에서는 도 6a에 도시된 국부 최대 온도의 영역에서의 온도의 국부 변이의 시간에 따른 전개를 도시하고, 도 6c에서는 국부 최대의 영역에서의 열 흐름을 특징화하는 2개의 특성 변수의 시간에 따른 전개를 도시한다.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

- [0040] 도 1은 관통 방법에 의해 전기적 도전 재료의 긴 검사 물체의 완전 표면을 검사하기 위하여 써모그래픽 검사 장치(100)의 실시예를 개략적으로 나타낸다. 예로서, 검사 물체(180)는 정방향 단면을 갖는 강철 빌렛으로서, 롤링 장치(도시 없음)로부터 나오고, 예를 들면 롤러 컨베이어와 같은 컨베잉 장치(도시 없음)의 도움으로 그 길이방향 축(182)에 평행하게 연장하는 움직임의 방향(184)(화살표)으로 약 0.1m/s와 1.5m/s 사이의 범위로 대체

로 상수인 관통 속도( $V_p$ )로 이송된다. 핫 롤링 이후에, 강철 빌렛은 밝은 표면을 가지지 않고, 대신 소위 "블랙" 표면을 가지며, 그 표면 온도는 일반적으로 0°C와 50°C 사이에 놓인다. 써모그래픽 검사 및 이에 의해 기록된 써모그래픽 데이터의 평가는 시험편의 육안 레벨 표면(185)의 검사를 기초로 설명된다. 대응하는 검사는 검사 물체의 다른 3개의 표면에 대해 동시에 수행된다.

[0041] 검사 장치는 결함에 의해 영향을 받은 결함 영역과 결함이 없는 검사 물체의 재료 사이에 열적 불균형이 발생하도록 가열 장치의 유효 영역에 들어가는 검사 물체의 일부분을 가열하기 위한 유도성 가열 장치(110)를 갖는다. 가열 장치는 검사 물체에 대한 평평한 관통 코일로 설계되는 유도 코일(112)을 포함하며, 코일 평면은 관통 방향에 대해 수직으로 정렬된다. 유도 코일은 검사 장치의 중앙 제어 장치(130)에 활성화를 위해 연결된 AC 전압 발생기(115)에 전기적으로 연결된다. 유도 코일(112)이 적절한 주파수의 AC 전압으로 여기되는 경우, 검사 물체의 표면 근처의 영역에 에디 전류가 유도되고, 상기 물체가 유도 코일을 통과하여 지날 때 표면 근처의 영역을 주변 온도 이상의 온도로 상승시킬 수 있다. 가열 공정은 표면의 결함이 없는 영역에 통상 상대적으로 균일하다. 그러나, 크랙, 킷, 보이드 등과 같은 미세구조 장애가 유도 전류 흐름의 단면에서 발생한다면, 이는 전기적 저항으로 작용하고, 전류 흐름을 편향시킨다. 이는 높은 전류 밀도를 유도하고, 결과적으로 전류 흐름의 제약으로 인해, 전력 손실이 크다. 미세구조 장애로 인한 이러한 전력 손실은 열의 추가 생성으로 나타나며, 미세 구조 장애의 직접 인접한 결함에 영향을 받은 영역은 비장애 주변 영역에 비해 높은 온도를 갖는다. 그러므로, 주변 영역의 낮은 온도 레벨에 대한 더 멀리까지의 국부 가열이 있다. 크랙의 영역과 재료의 직접 인접한 비장애 주변 영역 사이의 전형적인 온도 차이는 종종 약 1K와 10K 사이의 크기 단위이다. 이러한 국부 온도가 증가하고 이들의 공간적-시간적 전개가 표면 근처의 결함의 검출 및 식별을 국부적으로 해결하기 위한 검사 방법에 이용된다.

[0042] 예의 경우에, 생성기는 150kW까지의 전력 출력 및 10kHz에서 350kHz 사이의 범위의 전압 주파수를 가진다. 다른 스펙을 갖는 가열 장치가 또한 가능하다. 예를 들면, AC 전압 발생기는 수 MW까지의 전력 출력으로 동작될 수 있는데 이는 예를 들면 큰 체적을 갖는 검사 물체(예를 들면 800mm 이상의 직경)의 경우에 유리할 수 있다. 주파수 범위는 측정 과제에 적용될 수 있다. 예를 들면, 에디 전류의 침투 깊이가 주파수가 증가함에 따라 더 알아지고 따라서 측정 체적이 감소하므로, 표면 근처의 특히 작은 결함을 발견하기 위해서는 1MHz까지의 주파수가 유용할 수 있다. 높은 전기 저항 및 1에 가까운 자기 투과율을 갖는 전도성 강철을 검사하는 경우에는, 주변 영역에 대한 결함 영역의 신속한 가열을 달성하기 위하여 높은 주파수가 유리하다.

[0043] 가열 장치는 검사 물체/결함을 포함하는 전체 시스템을 열 불균형으로 초래한다. 검사 방법 및 검사 장치의 도움으로, 시스템이 열 균형의 상태에 저항하는 방식에서 위치 도메인 및 시간 도메인 모두에서 관찰하는 것이 가능하다.

[0044] 이를 목적으로, 검사 장치는 초당 100 이미지(초당 프레임)까지의 높은 이미지 주파수로 기록될 수 있는 2차원 써모그래픽 이미지를 기록하기 위하여 열 방사에 민감한 국부적 분해 기록 장치(120)를 갖는다. 기록 장치, 또한 "감열 카메라"로 칭함, 는 이미지 기록을 제어하고 써모그래픽 이미지에서 얻어지는 써모그래픽 데이터를 취하고 이를 평가하기 위하여 중앙 제어 장치(130)에 연결된다. 이 제어 장치에는 상이한 기준을 기초로 써모그래픽 이미지로부터 결정된 써모그래픽 데이터를 평가하는 것을 목적으로 설정된 컴퓨터 기반 이미지 처리 시스템이 집적된다. 그러한 감열 카메라는 존재의 가시적 표시를 제공하고, 국부 온도 값을 기초로 또는 국부적으로 결정된 열 방사를 기초로 미세구조 장애의 특성의 일부를 제공하며, 관련 평가 시스템에서의 적절한 이미지 처리 수단의 도움으로 이들 이상을 자동으로 평가할 수 있다.

[0045] 감열 카메라(120)는 영역 스캔 카메라이며, 직사각형 기록 영역(122)을 가지며, 이는 또한 이미지 필드(122)로 칭하고, 예를 들면 측방향 모서리를 넘어 마주하는 시험편의 표면(185)의 전체 폭을 덮는다. 예의 경우에, 감열 카메라(120)는 해상도 640 × 512 픽셀(이미지 소자)로 사이즈 270mm × 216mm의 이미지 필드(122)를 덮는다. 이 경우의 이미지 소자(픽셀)는 시험편의 표면(185) 상의 직경 0.5mm내지 0.8mm의 상대적으로 작은 직사각형 표면 상세에 대응한다. 영역-스캔 카메라로 기록된 써모그래픽 이미지는 검사 물체의 길이 방향(y 방향)에 실질적으로 수직으로 연장하는 큰 수의 라인 및 길이 방향(즉, y 방향)에 실질적으로 평행하게 연장하는 컬럼으로 구성된다. 특히 길이방향 흐름 신뢰성있게 검출하기 위해서, 써모그래픽 이미지는 행 대 행으로 평가된다. 감열 카메라의 행과 관련된 선형 속성의 좁은 측정 영역(124)은 결함(188)에 대해 반대로 연장한다. 이 측정 영역은 또한 측정 라인으로 칭한다.

[0046] 도 1에 표시된 시점( $t_1$ )에서, 표면 근처의 결함(188)은 유도 코일(112)과 마주하는 기록 영역의 진입측의 인근에 검사 물체의 길이 방향에 다소간 평행하게 연장하는 길이 방향 크랙의 형태이다. 후의 시점  $t_2 > t_1$  및

$t_3 > t_2$ 에서의 동일한 길이방향 크랙의 위치는 바로 그 동일한 결합 또는 바로 그 동일한 표면 상세가 상이한 시점에서 감열 카메라의 기록 영역(122)내에 위치할 수 있음을 도시하기 위하여 선택적으로 나타나며, 써모그래픽 이미지 내의 이미지 위치는 관통 속도( $V_p$ ) 및 일정시간 간격으로 차례로 써모그래픽 이미지의 기록 시간 사이의 시간 간격에 의존하여 움직임의 방향(184)으로 특정 거리만큼 움직임의 방향(184)으로 서로에 대해 오프셋된다.

- [0047] 감열 카메라를 위해 이용되는 이미지 기록 주파수는 시험편의 표면(185)의 각 표면 부분이 예를 들면 서로에 대한 시간 간격에서 기록되는 써모그래픽 이미지의 적어도 5 또는 적어도 10 또는 적어도 15와 같은 써모그래픽 이미지의 수의 상이한 포인트에서 발생하도록 검사 물체의 관통 속도에 적응된다.
- [0048] 제어 장치에 연결된 표시 및 동작 유닛(140)은 스크린을 가지며, 그 위에서 데이터와 써모그래픽 이미지로부터 결정되는 관계가 디스플레이될 수 있다. 키보드 및/또는 다른 입력 수단으로, 검사 장치는 다양한 검사 과제에 대해 용이하게 설정될 수 있고, 조작자에 의해 조작될 수 있다.
- [0049] 제어 장치(130)에는 또한 주어진 시간에서 검사 물체의 움직임 속도( $V_p$ )를 결정하기 위한 속도 측정 장치(150)가 연결된다. 예의 경우에, 위치 인코더의 역할을 하는 이 장치는 레이저 조사의 도움으로 접촉없이 동작한다. 다른 실시예에서, 시험편의 표면 상에서 롤링하는 측정 휠을 갖는 촉감 위치 인코더가 제공될 수 있다.
- [0050] 써모그래픽 검사 방법의 정확성은 시험편의 써모그래픽적으로 기록된 표면의 방출의 정도의 변동에 의해 크게 영향을 받는다. 가능한 최종 음성적 영향을 최소화하기 위하여, 시험편의 측정된 표면의 방출의 정도의 변동 균질화가 수행되고, 이는 시험편의 표면이 유도 코일을 통과하기 전에 웨팅 장치(160)를 이용하여 액체, 예를 들면 물로 균일하게 젖게된다. 이 기술은 방출의 정도의 국부 변동에 원인이 있는 의사 표시(pseudo-indications)의 발생을 주로 방지하기 위하여 50°C까지의 표면 온도에서 유효한 것으로 증명되었다.
- [0051] 이상이 검사 장치에 의해 명백하게 결합으로서 식별되는 경우, 제어 장치(130)에 연결된 자동 마킹 장치(170)의 도움으로 다이 위에서의 스프레이 등에 의해 마크될 수 있어서, 목적된 방식으로, 시험편의 장애가 있는 표면의 제작업 또는 심하게 장애가 있는 부분의 분리가 가능하다.
- [0052] 아래에는, 고속 관통 속도로 검사 장치를 관통하는 검사 물체의 표면 근처의 결합이 검출 및 식별을 국부적으로 해결하기 위한 검사 장치의 도움으로 수행될 수 있는 검사 방법의 양호한 변이의 설명이 이어진다. 표면 근처의 검사 물체의 영역은 유도 코일(112)에 의해 유도 가열되며, 크랙 및 다른 미세구조 장애의 영역에서 국부 온도는 최대가 된다. 검사 물체의 대응하는 부분이 유도 코일을 통과한 이후에, 이 영역은 다시 냉각된다. 기록 장치(120)는 움직임 방향으로 유도 코일의 직후에 제공되며, 이 냉각 상태에 있는 표면 영역을 기록한다.
- [0053] 제1 방법 단계에서, 기록 영역(122)으로 이동되는 시험편의 표면의 일부에서의 열 이상이 식별된다. 이를 목적으로, 측정 라인(124)을 따라 관통 방향에 수직인 국부적으로 해결하는 온도 프로파일(라인 프로파일)을 얻기 위하여, 진입측에 할당되는 대응하는 행이 평가된다. 도 2는 그러한 온도 프로파일을 예로서 도시한다. x 방향으로의 움직임의 방향에 수직으로 연장하는(y 방향) 선형 측정 영역내의 측정 위치의 위치(POS)가 이미지 필드의 행의 대응하는 픽셀(이미지 소자)의 수를 나타냄에 의해 x 축 상에 표시된다. y 축은 위치들에 대해 할당된 열 방사의 진폭(AMP)을 나타내고, 예를 들면 섭씨 절대 표면 온도로 표시된다. 측정 방향 예지 사이(대략 픽셀 번호 90과 540)에서의 표면 온도는 55°C와 60°C 사이의 범위에 놓이고, 수 K 만큼 국부적으로 변한다. 온도 프로파일은 2개의 이상 즉, 대략 픽셀 번호 150에서의 제1 국부 온도 최대값(ST)와 대략 픽셀 번호 495에서의 제2 국부 온도 최대값(DEF)을 내포한다. 두 국부 온도 최대값의 경우, 직접적으로 둘레의 영역에 대한 온도차( $\Delta T$ )는 대략 6 내지 7K 이다. 아래에 상세히 설명하는 평가는 제1 국부 온도 최대값(ST)은 크랙 또는 다른 미세구조 장애가 원인이 아닌 간접으로 인한 것이고, 제2 온도 최대값(DEF)은 실제로 표면 근처의 크랙에 의해 야기된다. 온도차( $\Delta T$ )의 크기 자체로는 실제 미세구조 장애와 미세구조 장애가 원인이 아닌 다른 이상 사이를 분별하기 위한 신뢰할만한 기준은 아니다.
- [0054] 각각의 써모그래픽 이미지는 x 방향으로 국부적으로 해결하는 큰 수의 그러한 온도 프로파일을 내포한다. 국부 온도 최대값의 발생은 이미지 처리 평가 소프트웨어에 의해 자동으로 기록되고, 온도 프로파일내의 픽셀 또는 픽셀 그룹의 온도값과 이웃하는 픽셀 또는 픽셀 그룹의 온도값을 비교하기 위하여 적절한 필터 루틴이 이용되며, 이 비교를 기초로, 국부 온도 최대값을 명백하게 식별하고, 예지에서의 온도의 신속한 강하와 같은 다른 아티팩트와 이들을 구별한다. 필터링에 있어서, 평가 소프트웨어는 움직임의 방향에 가로로 연장하는 스트립내에서 행별로(row by row) 동작하며, 이는 많은 수의 이웃하는 온도 프로파일을 각각 포함한다. 도 3은 결합(188)을 내포하는 그러한 스트립(125)을 도시한다. 스트립내에 많은 수의 이웃하는 온도 프로파일이 존재하고 거의 동일한 픽셀 위치에서 현저하게 높은 국부 온도 최대값이 발생하는 경우, 길이 방향이 크랙형 결합의

존재 가능성은 이 평가에서 증가한다.

- [0055] 검사 방법은 공간적 온도 프로파일 즉, 국부 온도 분포를 나타내는 온도 프로파일의 평가만을 기초로 하는 것이 아니라, 시간에 따른 그들 변화의 분석을 기초로 한다. 이 조합은 또한 공간적-시간적 분석으로 칭한다. 이러한 목적을 위해, 온도 분포의 전개의 동적인 공간적-시간적 양태를 분석할 수 있기 위해서는, 단일 온도 프로파일을 분석하는 것으로는 충분하지 않고, 대신 서로의 시간 간격에서 기록된 다수의 온도 프로파일이 표면의 동일한 측정 영역에 대해 서로에 관련하여 위치적으로 정확하게 설정된다.
- [0056] 여기에 설명되는 검사 방법의 실시예에서, 후에 기록되는 써모그래픽 이미지내의 결함을 나타낼 수 있는 이른 시간으로부터의 써모그래픽 이미지에서 식별되는 이상을 위치적으로 정확하게 재위치시키기 위해 패턴 검출의 특수한 변이가 이용되며, 이에 따라 감열 카메라에 대한 검사 물체의 움직임 대신에 동일한 측정 영역으로부터 많은 수의 온도 프로파일의 시간 순서를 취득할 가능성을 생성한다. 이러한 목적을 위해, 이른 시간에서의 제1 써모그래픽 이미지의 특정 표면 상세와 관련된 스트립(125)이 행별로 평가되고, 이상 특히 국부 온도 최대값의 존재에 대해 분석된다. 개별 행의 온도 데이터를 기초로, 연속 영역이 계산되고, 이상(anomaly)을 구성하는 국부 온도 최대값의 영역을 포괄한다. 결함(188)을 포괄하는 선택된 직사각형 이미지 상세(128)가 도 3의 좌측에서 스트립(125)내에 및 우측의 확대된 표시에 도시된다. 선택된 이미지 상세(128)의 국부 좌표 즉, 써모그래픽 이미지내의 그 위치는 제1 써모그래픽 이미지의 기록 시간에서의 결함(188)을 내포하는 검사 물체의 관련 표면 부분의 위치를 나타낸다. 공간적으로 연속인 픽셀을 포함하는 선택된 이미지 상세내에 포함되는 이미지 정보는 BLOB(Binary Large Object)와 같은 이미지 처리 소프트웨어에서 처리될 수 있으며, 나중에 기록되는 써모그래픽 이미지내에 재위치할 수 있는 데이터의 특정 패턴을 나타낸다.
- [0057] 결함(188) 둘레의 영역의 데이터 구조에 의해 나타나는 "패턴"을 기초로, 탐색되는 패턴의 계산을 위한 제1 써모그래픽 이미지의 분석에서 이용되는 표면 상세에 가능한 위치적으로 정확하게 대응하는 이들 이미지 상세를 발견하기 위하여, 시간 간격으로 후에 기록되는 나중의 다수의 나중의 써모그래픽 이미지에서 동일한 패턴이 탐색된다. 바람직하게는, 특정 표면 상세에 대응하는 이미지 상세는 차례로 기록된 적어도 5 내지 10개의 써모그래픽 이미지에서 탐색되고, 그 이미지 정보는 함께 평가된다.
- [0058] 후에 기록되는 써모그래픽 이미지의 검색에 의해 커버되는 영역을 공간적으로 제한하기 위하여, 및 이에 따라 평가의 속도를 높이기 위해, 후에 기록되는 써모그래픽 이미지내의 결함형 이상을 내포하는 표면 상세의 예측 위치는 속도 측정 시스템(150)의 도움으로 측정되는 검사 물체의 움직임 속도( $V_p$ ), 움직임 방향(184) 및 써모그래픽 이미지의 개별 기록 시간들 사이에서 지나간 시간 간격을 기초로 결정되며, 이는 각 경우에 이로부터 제1 분석의 시간과 후에 각각 얻어지는 써모그래픽 이미지의 기록 시간 사이에서 관심있는 표면 상세가 커버한 거리를 계산하기 위한 것이다. 이로부터 약간 변동하는 관통 속도도, 관심있는 표면 부분 또는 이 부분과 관련된 데이터는 위치 인코더의 측정 정확도의 범위(여기서 예를 들면  $\pm 1\text{mm}$ )내에서 일정 정확도로 재발견되며, 이는 예를 들면 시험편의 표면 상의 약  $\pm 2$  픽셀의 크기의 단위의 위치적 정확도에 대응한다. 위치적으로 정확한 중첩을 위한 최종 수정이 트래킹 예를 들면 패턴 인식에 의해 소프트웨어를 이용하여 계산적으로 수행되며, 여기서 약  $\pm 1$  픽셀 또는  $\pm 0.5\text{mm}$ 의 유효 위치 정확도가 시험편의 표면상에서 달성된다.
- [0059] 이러한 절차는 실제로는 시험 조건은 항상 이상적이지 않다는 사실을 고려한다. 예를 들면, 검사 재료와 이송 시스템 사이의 미끄러짐의 결과로, 검사 재료의 휨 및/또는 롤 상에 적재되는 경우의 검사 재료의 느려짐 및 후속하는 가속이 속도의 변동을 초래하고, 위치적 비정확성의 다른 원인을 초래한다. 검사에 대한 최종 문제점들은 속도 측정, 이러한 측정을 기초로 결함에 의해 잠재적으로 영향을 받는 표면 부분의 발견 및 후속하는 표면 패턴에 대한 검색(트래킹)의 조합에 의해 회피된다.
- [0060] 시간상 차례로 기록된 이미지 상세의 각각에서, 잠재 결함의 위치에 걸쳐 연장하는 하나 이상의 온도 프로파일 이 결정되고 함께 평가될 수 있다. 도 3b에 도시된 것처럼, 온도 프로파일의 위치가 각각 선택된 이미지 부분내의 동일한 포인트에 위치하는 경우, 위치적으로 정확하게 할당된 온도 프로파일 각각은 검사 물체의 표면의 선형 측정 영역에 대응하며, 이 측정 영역은 잠재 결함의 위치에 걸쳐 연장한다. 이를 설명하기 위하여, 동일 표면 상세와 관련된고 상이한 시점( $t_1, t_2 > t_1, t_3 > t_2$ )에 기록된 3개의 이미지 상세(128, 128', 128'')이 도 3b의 좌측에 도시되며, 결함에 걸쳐 x 방향으로 연장하는 온도 프로파일은 각 이미지 상세에서 결정된다. 우측의 도면의 일부에서, 시간상 차례로 기록된 온도 프로파일이 함께 표시되며, x 축은 x 방향에서의 위치 POS(x)를 나타내며, y 축은 온도 T를 나타낸다. 이러한 방식으로, 움직이는 검사 물체에 대해 잠재 결함의 영역에서의 공간적-시간적 열 전달을 고도로 정확하게 결정하는 것이 가능하다.

- [0061] 각각의 온도 프로파일은 결함과 관련하여 횡으로 연장하는 영역을 나타내며, 결함은 거의 가운데에 놓인다. 각각의 온도 프로파일은 국부 온도 최대값을 가지며, 주변 영역에 대한 그 레벨은 시간이 지남에 따라 감소하며 (온도차  $\Delta T$ 에 의해 정량화됨), 예를 들면 최대치의 절반에서의 전체 폭을 고려할 때, 위치 도메인에서의 폭의 최대값은 시간이 지남에 따라 증가한다. 이러한 위치적으로 정확하게 할당된 국부 온도 프로파일은 시간적으로 차례로 기록되고, 잠재 결함의 영역에서의 공간적-시간적 열 전달에 대해 정량적 결론이 유도되도록 하고, 아래와 같이 평가될 수 있다.
- [0062] 도 4는 도 4a 및 도 4b에서 각각 위치적으로 정확하게 할당된 많은 수의 온도 프로파일을 함께 나타내고, 도시에서 상부에 각각 도시된 온도 프로파일은 이들 아래에 각각 도시된 온도 프로파일보다 더 이른 시간에 기록되었다. 도 4a는 일반적인 장애에 대한 온도 프로파일(ST)을 도시하며, 대략 픽셀 번호 7에서 국부 최대 온도를 생성하나, 이는 표면 근처의 크랙이 원인이 아니다. 도 4b는 비교를 위해 크랙형 결함의 영역으로부터의 위치적으로 정확하게 할당된 온도 프로파일(DEF)을 도시하며, 여기서도 또한 픽셀 번호 7의 영역에 각각 국부 최대 온도가 놓인다. 위치적으로 정확하게 할당된 온도 프로파일이 평가 기준을 기초로 분석되고, 온도 프로파일의 공간적-시간적 전개로 인하여 온도 분포의 공간적-시간적 전개가 크랙 또는 다른 미세구조 장애의 영역에서의 열 흐름으로 인한 예상된 다이내믹 양태에 대응하는지 또는 다른 법칙에 부합하는지 여부에 대해 비교적 신뢰성 있는 결론이 도출되도록 한다.
- [0063] 평가 기준 또는 특징적 변수 중 하나가 온도 프로파일내의 국부 최대 온도의 위치에서의 온도 값의 진폭(AMPM)이다. 열 전달의 동적 양태를 평가에 있어 매우 신뢰성 있는 것으로 증명된 다른 특징적 변수로는 온도 프로파일내의 온도 값의 국부 최대의 영역에서의 열 집중값(KONZ)이다. 도 5는 도 5a에서 크랙에 원인이 있는 것이 아닌 장애(ST)에 대한 다양한 시간 증분(t)에서의 시간에 따른 진폭(AMPM)의 및 집중값(KONZ)의 변이를 도시하며, 도 5b에서 표면 근처의 크랙(DEF)에 대한 동일한 시간 윈도우에서의 동일한 특징 변수의 시간에 따른 변이를 도시한다. 주변 영역에 대한 국부 최대의 위치에서의 온도의 온도차( $\Delta T$ )는 각각 y 축 상에 표시된다.
- [0064] 많은 수의 검사에서, 크랙의 영역에서, 냉각 속도 또는 국부 최대 온도의 위치에서의 온도의 시간에 따른 변화와 집중도의 손실 모두는 상대적으로 크고, 크랙 또는 다른 미세구조 장애가 원인이 아닌 장애의 범위내에 시연될 수 있는 대응하는 값과는 현저하게 상이하다. 국부 최대의 위치에서의 온도인 진폭(AMPM)에 의해 표시되는 온도 최대값으로, 가열 단계의 종료 이후 즉, 냉각 공정 동안 연속적으로 감소하고, 이가 상대적으로 높은 냉각 속도로 수행된다는 것이 발견되었다. 예의 경우에, 차례로 기록된 적어도 5개의 써모그래픽 이미지의 영역에서의 냉각 속도가 냉각 속도에 대한 소정 임계값 보다 큰 경우에 크랙의 존재의 가능성이 높다고 추정된다. 열 체적 집중값(KONZ)은 인근 주변 영역과 비교한 바로 국부 최대 온도에서의 열의 체적의 비의 척도(measure)이다. 열 집중값이 시간이 지남에 따라 떨어지는 경우, 이는 열이 그 중에서도 주변 영역으로 측 방향으로 떨어져 나가는 것을 나타낸다. 이는 예를 들면 크랙이 있는 경우로서, 따라서 관찰된 신호가 크랙의 부근에서의 고체내의 열 전달에 의해 초래된다는 신호로 간주된다.
- [0065] 반면에, 도 5a를 기초로 설명되는 크랙에 원인이 있는 것이 아닌 장애의 예의 경우에, 열 체적 집중도(KONZ)는 크랙의 경우보다 시초부터 낮으며, 더욱이, 열 체적 집중값은 서서히 떨어지기 전에 관측된 시간 간격의 시작에서 최초에 증가한다. 최대 진폭(AMPM) 또한 상대적으로 낮은 냉각 속도로 떨어지기 이전에, 최초에 증가하며, 이는 크랙의 영역에서 예측되는 냉각 속도보다 현저하게 낮다(도 5b).
- [0066] 결함의 경우에서의 열 흐름에 의해 초래되는 일반적 양태로부터의 열 체적 집중도의 공간적-시간적 양태의 다른 벗어난 점이 발생할 수 있으며, 이는 크랙 등이 원인이 아닌 장애를 나타내는 것으로 이용된다. 예를 들면, 열 체적 집중값은 상대적으로 긴 시간 동안 거의 일정하게 유지될 수 있거나 또는 불균형적으로 증가 또는 감소하는 것으로 나타날 수 있다.
- [0067] 이들 예는 온도 프로파일의 공간적-시간적 전개의 분석 및 정량적 평가가 온도 프로파일에서 처음으로 발견되는 국부 최대 온도의 상이한 원인들 사이에서 신뢰성있게 구별하는 것을 가능하도록 하는 것을 보여준다. 먼저 발견된 이상의 경우, 도 4b 및 5b와 관련하여 설명된 특징들이 원칙적으로 설립되고, 원인은 크랙으로 분류되며, 적절하다면 대응하는 표면 부분은 마킹 장치(170)에 의해 마크된다. 반면에, 공간적-시간적 분석이 크랙, 보이드 및 다른 미세구조 장애에서는 일반적이지 않은 양태를 보이는 경우(예를 들면, 도 4a 및 5a), 크랙은 표시되지 않는다. 이러한 방식으로, 의사-표시가 고도의 신뢰성으로 방지될 수 있다. 잠재적 결함의 영역에서의 공간적-시간적 열 전달의 내포는 써모그래픽 신호의 도움으로 결함의 검출 및 식별에 있어서의 간섭 억제에 결정적으로 기여한다.
- [0068] 도 6을 기초로, 어떤 방식으로 공간적-시간적 열 분포의 분석이 간섭 억제에 기여하는지를 예로서 다시 설명된

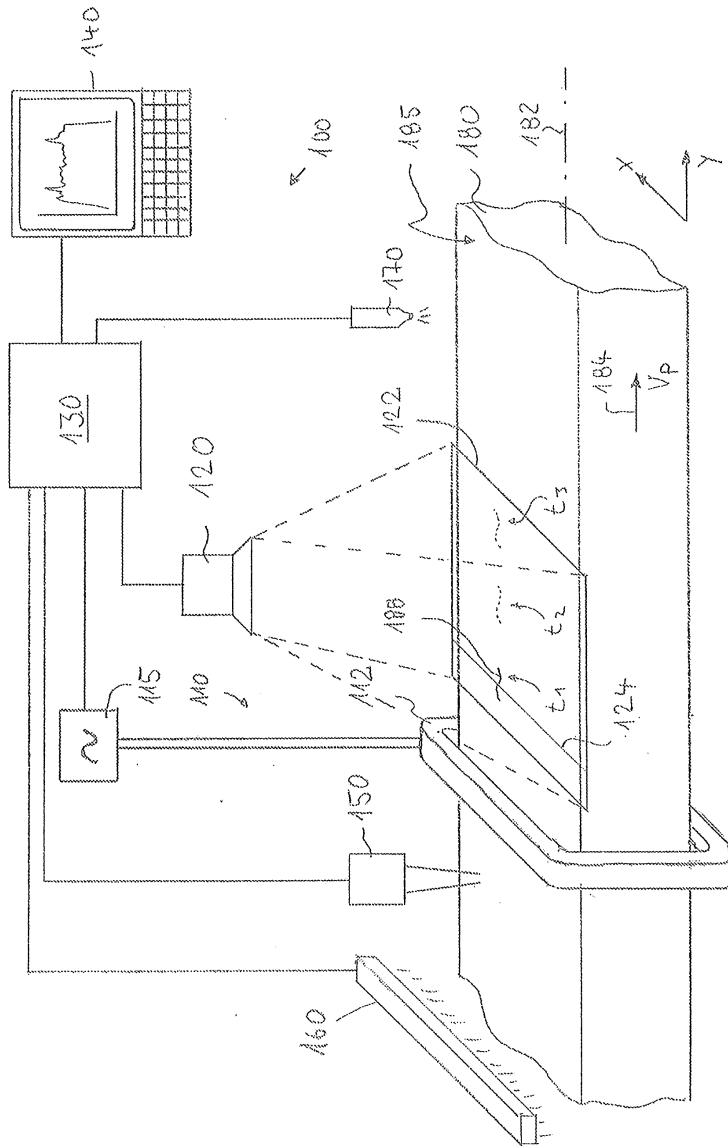
다. 이러한 목적을 위해, 도 6a는 온도 프로파일의 상세를 도시하며, 예를 들면 픽셀(455)의 영역에서, 주변 영역에 대한 적어도 10K의 온도 차( $\Delta T$ )를 갖는 매우 확고한 국부 최대 온도를 포함한다. 일부 종래 기술의 검사 시스템의 경우에, 그러한 표시는 깊은 크랙의 존재의 확실한 신호로서 자동으로 인식되고, 검사 물체는 이에 따라 마크되고, 아마도 폐기될 것이다. 그러나, 열 전달의 공간적-시간적 분석은 크랙이 관련이 없는 것을 보여준다. 도 6b에서, 시간적으로 상이한 지점에 대한 국부 최대의 영역으로부터의 위치적으로 정확하게 할당된 온도 프로파일이 도시된다. 도 4의 프로파일과 비교할 때의 특이한 특징은 최대 진폭을 갖는 프로파일이 초기 시점( $t_1$ )에 기록된 현저하게 작은 진폭을 갖는 프로파일보다 늦은 시간( $t_2 > t_1$ )에 기록된다는 점이다. 국부 최대의 진폭(AMP) 및 열 체적 집중값(KONZ)의 특징적 변수의 시간이 지남에 따른 변이로부터 이상을 알 수 있으며, 도 6c에 도시된다. 두 값이 시간에 따라 증가하고, 이는 국부적으로 가열된 크랙의 영역에서의 열 전달로 설명될 수 없다. 예의 경우, 도 6a에 도시된 강한 국부 최대 온도는 시험편의 표면의 대응하는 위치에서의 반사로 인한 것이다. 온도 프로파일의 시간이 지남에 따른 전개가 어떠한 측면에서도 크랙에서는 전형적인 전달 양태를 보이지 않으므로, 그러한 반사는 따라서 크랙으로의 분류로 이어지지 않을 것이다. 반면에, 반사는 종래 시스템에서는 크랙으로 잘못 해석되는 가능성이 매우 높다.

[0069]

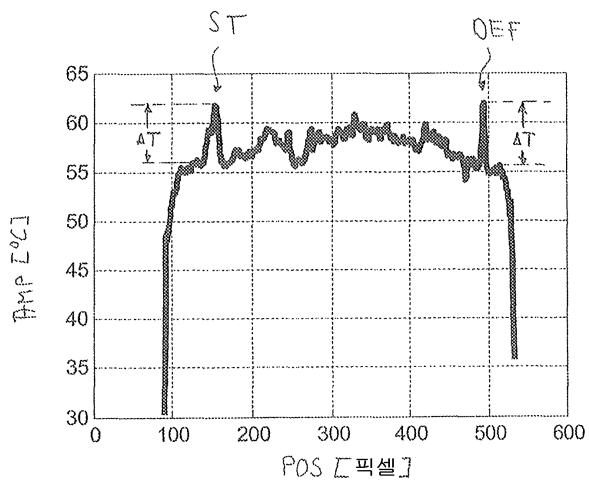
예로서 여기에 설명된 특징적 변수와 다르거나 또는 추가적으로, 다른 특징 변수가 평가 기준으로서 이용될 수 있다. 예를 들면, 시간 함수의 파생, 예를 들면, 시간이 지남에 따른 냉각 속도의 변화가 이 목적으로 이용될 수 있다. 본질적으로 열 전달이 열 확산 방정식의 해법에 의해 설명되므로, 가우시안 곡선 또는 에러 함수를 맞춤에 의해 국부 최대의 영역에서의 온도 프로파일의 시간이 지남에 따른 전개를 정량화하는 것이 또한 가능하고, 이들 경우에서의 양호한 맞춤(good fit)은 열 흐름에 의해 점유되는 열 전달이 존재한다는 추정을 가능하게 하고, 열악한 맞춤은 다른 원인을 제시한다. 온도 파일에 대한 근사 함수로서 다항식을 맞추는 것도 가능하며, 다항식 계수의 분석에 의해 탐색하는 결함(예를 들면 크랙)과 중요하지 않은 간섭(예를 들면, 반사) 사이의 구별을 끌어내는 것이 가능하다.

도면

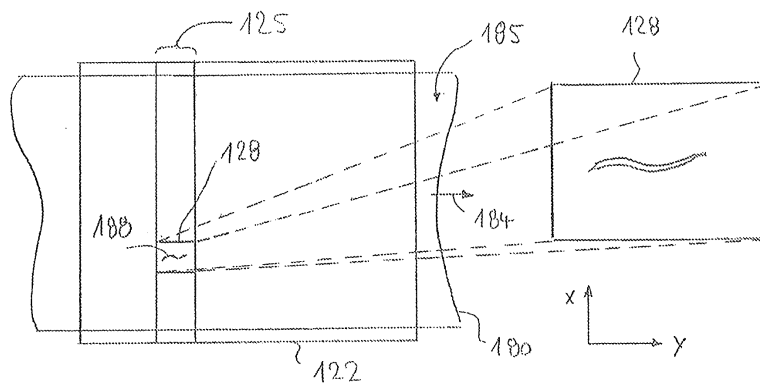
도면1



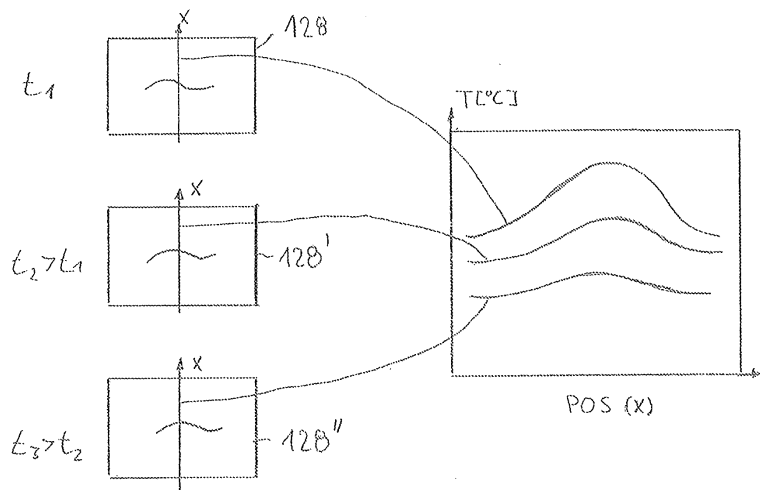
도면2



도면3a

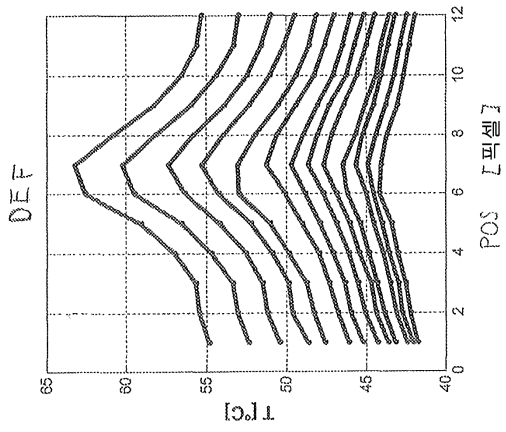


도면3b

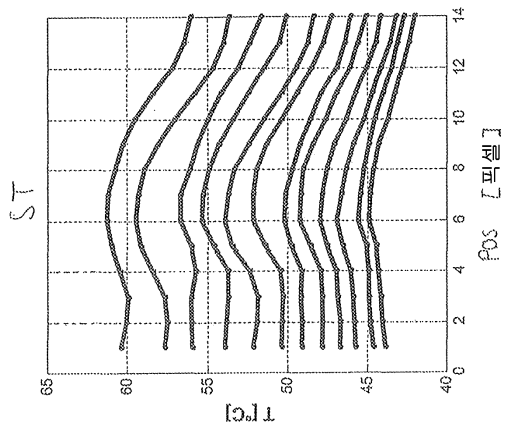




도면4

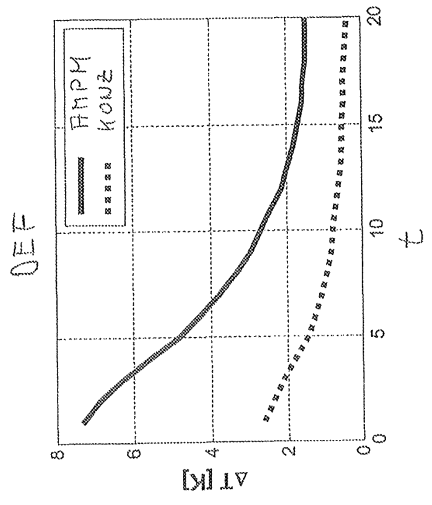


(b)

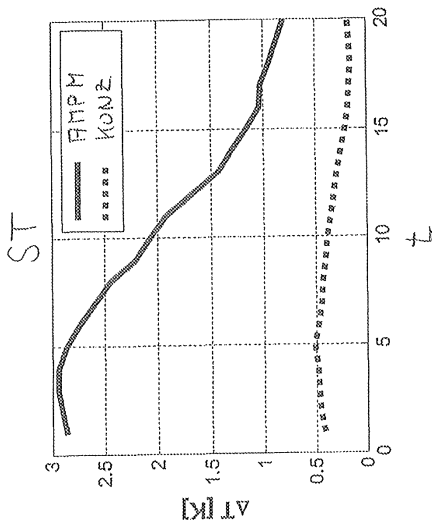


(a)

도면5

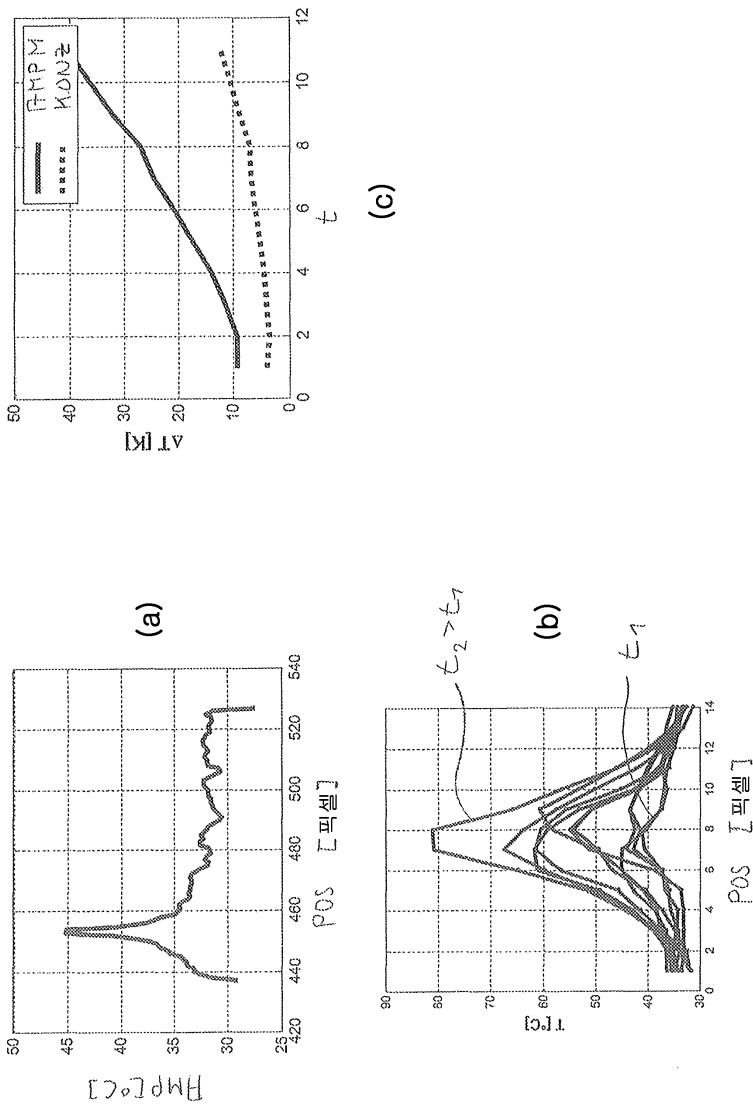


(b)



(a)

도면6



【심사관 직권보정사항】

【직권보정 1】

【보정항목】 청구범위

【보정세부항목】 청구항 10항 11째줄

【변경전】

청구항 1 내지 청구항 3 중

【변경후】

청구항 1 및 청구항 3 중