



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2014년07월08일
 (11) 등록번호 10-1417158
 (24) 등록일자 2014년07월02일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
 C03B 5/187 (2006.01)
 (21) 출원번호 10-2009-7002889
 (22) 출원일자(국제) 2007년07월11일
 심사청구일자 2012년05월14일
 (85) 번역문제출일자 2009년02월12일
 (65) 공개번호 10-2009-0039765
 (43) 공개일자 2009년04월22일
 (86) 국제출원번호 PCT/US2007/015755
 (87) 국제공개번호 WO 2008/008352
 국제공개일자 2008년01월17일
 (30) 우선권주장
 11/485,793 2006년07월13일 미국(US)
 (56) 선행기술조사문헌
 JP2005511462 A
 JP2004231485 A
 JP2000007342 A
 전체 청구항 수 : 총 9 항

(73) 특허권자
 코닝 인코포레이티드
 미국 뉴욕 (우편번호 14831) 코닝 원 리버프론트
 플라자
 (72) 발명자
 베르그만, 리차드
 미국, 뉴욕 14845, 홀스헤드, 시닉 뷰 304
 준, 메이, 와이.
 미국, 뉴욕 14903, 엘미라, 우드 뷰 드라이브 14
 (74) 대리인
 청운특허법인

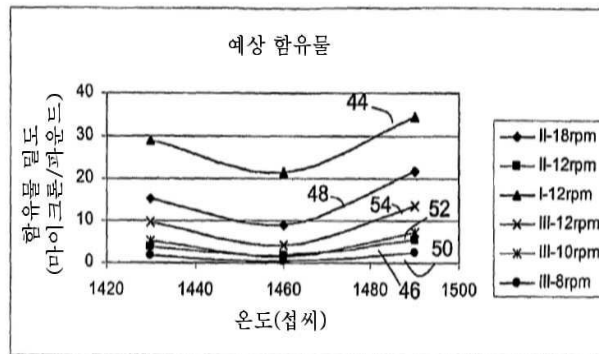
심사관 : 김용일

(54) 발명의 명칭 유리 교반 장치에서 내화성 금속 함유물을 최소화하는 방법

(57) 요약

본 발명은 교반 작동으로 생길 수 있는 내화성 금속 함유물을 최소화하기 위해 교반조건을 최적화하는데 사용될 수 있는 분석적 모델을 포함하는 용융 유리의 교반 방법에 관한 것이다.

대표도 - 도5



특허청구의 범위

청구항 1

교반 챔버가 회전 교반기를 포함하고, 상기 교반 챔버 및 교반기는 내화성 금속을 포함하는 상기 교반 챔버를 작동시키는 단계;

교반 챔버를 통해 용융 유리가 흐를 때, 복수의 다른 속도 N_i 로 교반기를 회전시키는 단계(여기서, 상기 i 는 속도 N 의 수를 나타냄);

교반 챔버를 통해 복수의 유리 온도, T_j 에서 용융 유리를 흐르게 하는 단계, 이때(여기서 j 는 온도 T 의 개수를 나타냄);

N_i 및 T_j 의 조합에서 용융유리에서의 실제 내화성 금속 함유율을 결정하는 단계;

N_i 및 T_j 의 조합에서 용융 유리와 접촉하는 교반 챔버 및 교반기 표면적 함수로서 전단응력의 분포를 계산하는 단계;

각각의 T_j 에 대해 전단응력의 한계값 σ_0 을 계산하는 단계;

내화성 금속 함유율 온도 종속 인자 m_i 를 계산하는 단계;

미리 결정된 온도 및 교반기 회전 속도에 대한 예상 내화성 금속 함유율을 계산하는 단계;

용융 유리에서 내화성 금속 함유물을 최소화하기 위해 예상 내화성 금속 함유율에 반응하여 교반 챔버 작동을 수정하는 단계;

를 포함하는 것을 특징으로 하는 용융 유리 균질화 방법.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 수정 단계는 유리 온도를 변화시키는 것을 포함하는 용융 유리 균질화 방법.

청구항 3

제1항에 있어서, 상기 수정 단계는 교반기 회전 속도를 변화시키는 것을 포함하는 용융 유리 균질화 방법.

청구항 4

제1항에 있어서, i 값이 ≥ 2 인 것을 특징으로 하는 용융 유리 균질화 방법.

청구항 5

제1항에 있어서, j 값이 ≥ 2 인 것을 특징으로 하는 용융 유리 균질화 방법.

청구항 6

삭제

청구항 7

제1항에 있어서, N_i 는 8 rpm 내지 18 rpm인 것을 특징으로 하는 용융 유리 균질화 방법.

청구항 8

제1항에 있어서, T_j 는 1200°C 내지 1600°C 인 것을 특징으로 하는 용융 유리 균질화 방법.

청구항 9

제1항에 있어서, T_j 는 1430°C 내지 1490°C 인 것을 특징으로 하는 용융 유리 균질화 방법.

청구항 10

제1항에 있어서, 내화성 금속은 루테튬, 로튬, 팔라듐, 오스뮴, 이리듐 및 플래티늄 또는 그 합금으로 이루어진 군에서 선택되는 것을 특징으로 하는 용융 유리 균질화 방법.

청구항 11

삭제

청구항 12

삭제

청구항 13

삭제

청구항 14

삭제

명세서

기술분야

[0001] 본 발명은 용융 유리를 균질화하는 방법에 관한 것으로, 특히, 유리 교반 작동에서 발생하는 내화성 금속 함유물을 최소화하는 방법에 관한 것이다.

배경기술

[0002] 유리에서 화학적 그리고 열적 균질성은 좋은 형성 공정의 결정적인 부분이다. 유리 용융 장치의 기능은 일반적으로 허용가능한 수준의 기체성 또는 고체성 함유물들을 구비한 유리를 생성하는 것이며, 그러나 이 유리는 때로 화학적으로 다른 상들의 코드(또는 줄(striae) 또는 연(ream))을 갖는다. 모유리(parent glass)의 이러한 비-균질 성분은 내화성 용해(refractory dissolution), 용융 성층(melting stratification), 유리 표면 증발, 및 온도 차이를 포함하는 용융 공정 중 다양한 통상적인 발생으로부터 기인한다. 결과의 코드는 색상 및/또는 굴절률 차이 때문에 모유리에서 뚜렷하다.

[0003] 유리의 균질성을 향상하기 위한 한 가지 접근은 용융 유리를 용융 장치의 하부 쪽에 위치한 교반 챔버로 통과시키는 것이다. 그러한 교반 챔버에는 적당한 모터에 의해 회전하는 중앙축을 갖는 교반기가 구비된다. 다수의 블레이드들이 축으로부터 연장되어 있으며 그리고 교반 챔버의 상부에서 하부로 용융 유리가 통과할 때 용융 유리를 혼합하는 역할을 한다. 유리화학의 고온 및 부식 특성을 저지하기 위해, 교반기 및 교반 챔버는 내화성 금속 종종 플래티늄 그룹의 금속 - 루테튬, 로튬, 팔라듐, 오스뮴, 이리듐 및 플래티늄 또는 그 합금으로 만들어지며, 몰리브덴과 같은 다른 고온, 내부식성 금속일 수도 있다. 본 발명은 함유물 결함을 최종 유리에 도입함 없이, 특히, 혼합 공정의 결과로써 교반 챔버 벽 및/또는 교반기의 표면의 부식으로부터 발생하는 결함들 없이, 상기 교반 챔버를 작동시키는 것에 관한 것이다.

[0004] 층류 조건하에서 교반기가 동작하는 것을 묘사하는 간단한 방식은 코드를 바람직한 유리, 또는 모유리, 복합의 유리에 의해 둘러싸여진 비-복합 유리의 덩어리로 간주하는 것이다. 각 코드의 조각은 코드와 모유리 사이에 경계면을 갖는 것으로 간주될 수 있다. 유리의 전체적 불균질성의 크기는 코드의 전체적 경계 표면적이다. 최소 경계 표면적은 모든 코드가 단일의 구형 덩어리인 경우에 나타난다. 덩어리가 보다 작은 부분들로 부서지고 평평한 면으로 뺏어나갈 때, 경계 표면적은 코드의 부피가 동일하게 유지된다는 점에도 불구하고 증가한다. 교반 효율성(또는 이하에서, "교반 효율도"로 칭한다)의 크기는 교반 후 증가한 경계 표면적 대 교반 전 경계 표면적의 비율이다.

[0005] 균질성을 향상시키는 데 효과적이기 위해서는, 교반 시스템이 다음의 세 기능을 수행하여야 한다:

- [0006] (1) 불균일한 유리의 개개의 덩어리가 가느다란 줄무늬 형태로 뺨여야 한다. 이 기능은 유리에 대한 전단응력 (shear stress)의 적용을 요구한다.
 - [0007] (2) 그 줄무늬 형태가 짧은 단편들로 절단되어야 한다. 이 기능은 교반기의 블레이드의 평면에 수직한 방향에서 용융 유리의 흐름을 통하여 이루어질 수 있다.
 - [0008] (3) 그 짧은 단편들이 인식가능하지 않은 패턴이 되도록 분산되어야 한다. 이 기능은 벌크 흐름의 방향에 수직하게 유리를 밀어주는 블레이드 형상, 예컨대, 적어도 유리의 일부 방사상 흐름을 형성하는 블레이드 형상을 선택함으로써 이루어질 수 있다.
 - [0009] 줄무늬 형태를 가늘게 만드는 것과 절단하는 것은 줄무늬 형태를 미소 규모에서 각각 찾아보기 어렵게 만든다. 줄무늬 형태를 분산시키는 것은 가시적 패턴이 미소 규모상에 남을 수 있는 가능성을 제거한다.
 - [0010] 유리의 흐름이 연속적인 공정에서, 이들 세 기능들은 교반 챔버 내 유리의 체제 시간에 의해 결정되는 분리된 시간 간격에서 실시되어야 한다. 유리의 흐름 비율(유량)이 증가함에 따라, 실시되는 이들 세 기능들에 대하여 유리는 챔버 내에서 보다 적은 시간을 갖는다. 바람직한 흐름의 증가에 대한 통상적인 공학적 반응은 교반기 속도의 증가이다. 이는 전단응력 및 절단 빈도를 증가시키고, 그리고 잠재적으로는 또한 분산 비율을 증가시킨다.
 - [0011] 전통적으로, 유리 교반 시스템은 적절한 교반기 수명에 가능한 한 일치하는 가장 높은 전단응력을 갖도록 설계되어 왔다. 실제, 그러한 시스템은 낮은 속도에서 작동하는 경우에도 높은 전단응력을 생성하도록 일반적으로 설계된다. 그 의도는 교반 시스템이 그로부터 제작되는 정밀 금속(예컨대, 플래티늄 합금)의 높은 비용 때문에 가장 작은 교반 시스템으로부터 최대의 교반을 얻기 위한 것이다. 일반적인 관점에서, 블레이드 속도를 증가시키거나 그리고/또는 교반기의 블레이드들 및 교반 챔버의 벽 사이의 틈을 감소시킴으로써 전단응력이 증가한다.
 - [0012] 많은 유리 제품들(예컨대, 건축용 유리)에 있어서는, 단지 적절한 균질성 요건만이 적용된다. 그러나, 다른 유리 제품들은 엄격한 균질성 및 다른 품질 표준에 만족해야 한다. LCD와 같은 시각적 디스플레이의 제조에 사용되는 유리는 후자의 부류에 속한다. 이러한 디스플레이의 제조에 사용되는 유리에 대해서, 코드 및 함유물 모두는 최소화되거나 그리고/또는 제거되어야 할 필요가 있다.
 - [0013] 본 발명에 따르면, 제조공정 중에 50 마이크로미터보다 작은 크기를 갖는 정밀 금속 함유물(예컨대, 플래티늄 합금 함유물)이 LCD 유리 안으로 유도되는, LCD 유리를 제작하는 공정이 발견되었다. 이들 함유물들은 교반 챔버에서 유래하며, 특히 점성의 용융 유리를 통하는 교반기의 동작에 의해 생성되는 점성 전단응력의 결과로서 교반기와 교반 챔버 벽의 부식으로부터 유래된다. 본 발명은 교반된 유리에서 내화성 금속 함유물을 줄이거나 낮추는 방법을 제공한다.
- 발명의 상세한 설명**
- [0014] 본 발명은 제한하는 의도 없이 첨부된 도면과 관련하여, 다음의 상세한 설명에 따라 보다 쉽게 이해될 수 있을 것이며, 다른 목적, 특징, 상세 및 그 잇점은 보다 명확해질 것이다. 모든 그러한 추가적 시스템, 방법 특정 및 잇점은 본 설명에 포함되며, 본 발명의 범위내에 포함되고, 첨부하는 청구범위에 의해 보호될 것이다.
 - [0015] 본 발명의 실시예에 따라, 용융 유리를 균질화하는 방법은 교반 챔버는 회전 교반기를 포함하고, 내화성 금속을 포함하는 교반 챔버 및 교반기인 상기 교반 챔버를 작동시키는 단계; 교반 챔버를 통해 용융 유리가 흐를 때, 복수의 다른 속도 N_i 로 교반기를 회전시키는 단계(여기서, 상기 i 는 속도 N 의 수를 나타냄); 및 복수의 유리 온도 T_j 에서 교반 챔버를 통해 용융 유리를 흐르게 하는 단계(여기서 j 는 온도 T 의 수를 나타냄)를 포함한다. 실제 용융 유리에서 내화성 금속 함유율은 N_i 및 T_j 의 조합에 대해 결정되었고, 전단응력의 분포가 교반 챔버 및 용융 유리와 접촉하는 교반기 표면적 함수로서 N_i 및 T_j 의 조합에 대해 측정되었다. 내화성 금속 함유율 온도 종속인자 m_i 뿐만 아니라 각각의 T_j 에 대한 전단응력의 한계값(threshold value) σ_0 이 계산되었다. 상기 데이터로부터, 미리 결정된 온도 및 교반기 회전 속도에 대한 예상 내화성 금속 함유율이 계산되었다. 용융 유리에서 내화성 금속 함유물을 최소화하기 위해 예상 내화성 금속 함유율에 대응하여 교반 챔버 작동의 수정이 이루어졌다.
 - [0016] 바람직하게는, N_i 는 약 0 rpm 내지 100 rpm사이이며, 보다 바람직하게는 약 8 rpm 내지 18 rpm이다. T_j 는 바람

직하계는 약 1200℃ 내지 1600℃, 보다 바람직하게는 1430℃ 내지 1490℃이다. 바람직하게는 m_t 는 약 1200℃ 내지 1600℃의 온도 범위에서 약 0(영) $m^{-2}Pa^{-1}sec^{-1}$ 내지 1(일) $m^{-2}Pa^{-1}sec^{-1}$ 이다. 한계 전단응력 σ_0 은 약 1200℃ 내지 1600℃의 온도 범위에 걸쳐 약 1000 Pa 내지 10,000 Pa로 다양할 수 있다.

[0017] 다음의 상세한 설명에서, 제한 없이 설명을 위해, 특정 상세한 설명을 개시하는 예시의 구체예가 본 발명의 명확한 이해를 제공하기 위해 기술되었다. 그러나, 당업자에는 본 발명의 잇점을 가지고, 본 발명이 본원에 개시된 특정 실시예로부터 출발한 다른 실시예에서도 실시될 수 있음이 명백해질 것이다. 더욱이, 잘 알려진 장치, 방법 및 물질의 기술은 본 발명의 기술을 흐리게 하지 않기 위해 생략될 수 있다. 마지막으로, 적용 가능한 한, 참조번호는 구성요소를 의미한다.

[0018] 본 발명에 앞서, 교반기/교반 챔버 디자인에 내재하는 철학은 높은 수준의 교반 효율, E를 이루기 위해 높은 수준의 전단응력을 생성하는 것이었다. 실시예의 교반 시스템(10)을 나타내는 도 1을 참조하면, 전단응력이 교반기(17)의 교반기 블레이드(16) 및 (커플링된) 벽사이의 정밀한 틈(close clearance) 및 블레이드의 회전 속도에 의해 교반 챔버(14)의 내부 벽 표면(12) 근처에서 생성되었다. 도 1에서, 화살표(18)은 교반 챔버(14)로 들어가는 용융 유리를 나타내고, 화살표(20)은 교반 챔버(14)를 빠져나가는 용융 유리를 나타낸다. 블레이드(16)는 교반기 축(22)에 붙어, 모터(24)에 의해 미리 결정된 회전 속도로 회전한다. 일반적인 용어로, 교반기 및 교반 챔버의 내부 표면에 작용하는 전단응력 σ 은 다음과 같이 표시될 수 있다:

[0019] $|\sigma| = \mu dv/dx$ (1)

[0020] 여기서 μ 는 용융 유리의 점성이고, v 는 유체 속도이고, 그리고 x 는 전단응력이 나타나는 표면에 일반적인 방향이다.

[0021] 원통 형상의 교반 챔버 및 통상 직경 D_{blade} 인 블레이드를 하나 이상 갖는 원형으로 대칭인 교반기에 수학적 1을 적용하면:

[0022] $|\sigma| = \mu \pi N D_{blade}/C$ (2)

[0023] 를 얻고, 여기서 N 은 라디안/초 단위의 교반기 속도이고 그리고 C 는 블레이드 첨단과 교반 챔버 벽 사이의 결합 거리(즉, 도 1에서, $C = (D_{wall} - D_{blade})/2$)이다. μ 는 킬로그램/미터-초, N 은 라디안/초, 그리고 D_{blade} 및 C 는 미터 단위이고, 그리고 σ 는 뉴턴/미터² (N/m^2) 단위이다.

[0024] 오일-유동 기초의 시스템의 모델링을 통해, 교반 효율도 E가 결정되었다:

[0025] $E \approx k B D_{blade}^2 N V | \tau / Q |^{2\mu} \mu^{0.5}$ (3)

[0026] 여기서, k 는 교반기/교반 챔버 기하적 배열에 의존하는 상수이고, Q 는 유량, B 는 블레이드 첨단의 개수, 그리고 V 는 교반기의 스윙 용량이다. 상기 교반기 효율도 양 E는 교반 공정을 시작하는 코드 수준 대 공정을 마치는 코드 수준의 비율 즉, 보다 높은 값의 E는 교반 공정의 종료 시점에서 적은 코드를 나타낸다. 예를 들어, 상기 교반 효율도의 보다 완전한 논의는 2002.11.22일에 출원된 미국 특허 제 2003/0101750호에 나타나있으며, 상기 내용은 본원에 참조로서 통합되어 있다.

[0027] 본 발명에 따라, 분석적 모델이 개발되었으며, 이는 허용될 수 없는 높은 수준(예를 들어, 미리 결정된 크기(즉, 10 마이크로 이상의 크기를 갖는 함유물)보다 큰 최종 유리 당 20 킬로그램 이상의 함유물 수준)의 내화성 금속 함유물을 생산할 수 있는 교반기 및 교반기 챔버 벽의 부식을 최소화하는 교반 작동 조건을 결정하는데 적용될 수 있다. 유리하게는, 이러한 부식의 최소화는 교반 시스템의 서비스 생활을 연장시킬 수 있도록 함으로써, 시스템의 빈번하고 비용이 드는 재건설을 줄일 수 있다.

[0028] 수학적 2로부터, 전단응력은 N 을 낮춤으로써, 및/또는 D_{blade} 를 낮춤으로써 또는 C 를 증가시킴으로써 감소될 수 있음을 알 수 있다. 직관적으로, 높은 전단응력은 교반기 및 교반 챔버 표면의 더 큰 부식을 유도하여, 유리내의 내화성 금속 함유물을 유도해야한다. 그러나, 내화성 금속 함유물을 특정 수치 이하로 낮추기 위해 단순히 전단응력을 낮추는 것은 그 자체로, 항상 상업적으로 실용적인 관행은 아니다. 왜냐하면, 결국, 교반은 여전히 실용적인 유량에서 적당하게 균질화된 유리를 생산해야 하기 때문이다. 실용적인 교반 작동에 대해서는, 전단응력의 감소는 교반 효율도 또는 유량을 희생하게 하여서는 안된다. 따라서, 교반 효율도 또는 유량을 희생하지

않는 교반 공정 파라미터를 최적화하는 방법은 매우 바람직하다.

[0029] 도 1 및 전술한 수학적식으로부터, 전단응력이 부분적으로 교반 시스템의 표면의 위치 함수이다. 즉, 모든 표면이 주어진 세트의 작동 조건에 대해 동일한 전단응력을 겪는 것은 아니며, 따라서, 교반기 및 교반 챔버의 모든 표면이 내화성 금속 함유물의 동일한 수준에 책임이 있는 것은 아니다. 따라서, 내화성 금속 함유물을 용융 유리를 통한 교반기(및 교반기 블레이드)의 동작에 의해 전개된 전단응력의 분포와 관련짓는 방법이 나타났다. 상기 방법은 내화성 금속의 물질 및 교반되는 유리의 조성물의 특성을 결합하는 것이며, 이는 2개의 실험적으로 결정된 파라미터로 표현될 수 있다: 내화성 금속 함유물의 온도 증속 계수 및 전단응력 한계. 본 발명을 실시하는 것은 다양한 공정 조건하에서, 주어진 교반 시스템 디자인에 대한 함유율을 예측할 수 있도록 한다. 본원에 사용된 바에 따라, 용어 "교반 시스템"은 교반기(예, 축 및 블레이드), 교반 챔버 및 교반 시스템과 직접 관련된 관련 구성요소(입구 파이프, 출구 파이프, 회전용 모터, 교반 축 등)를 의미하는 것으로 해석되어야 한다.

[0030] 도 2에 나타난 바와 같이, 방법(28)의 단계(26)는 전단응력 대 복수의 작동 조건 및 주어진 교반기/교반 챔버 디자인에 대한 표면적 분포를 계산하는 단계를 포함한다. 이는 적합한 계산 장치(예를 들어, 데스크탑 컴퓨터)를 사용하여, CFD(computational fluid dynamic) 계산을 수행하는 상업적으로 이용가능한 소프트웨어를 사용함으로써 이루어질 수 있다. CFD 접근에서, 상기 교반 챔버 및 교반기는 교반기 배열, 상기 교반 챔버의 기하학적 특성 등을 기술하는 소프트웨어 내에서, 실제 메쉬 구조가 감소된다. 교반기 회전 속도 및 유리 온도/점성과 같은 적합한 교반 시스템 작동 조건이 또한 상기 소프트웨어 프로그램에 입력된다. 소프트웨어의 출력은 상기 유리 및 접촉하는 표면적의 함수로서, 챔버와 교반기의 내화성 금속 표면에 대한 전단응력의 그래프를 만들 수 있도록 한다. 실시예의 전단응력 대 전단응력의 특정 수준의 영향하에서, 내화성 금속 표면적을 나타내는 표면적 분포는 도 3의 곡선(30)에 나타나있다.

[0031] 상기 교반기 블레이드에 작용하는 전단응력의 가장 높은 값은 상기 블레이드의 첨단, 즉, 교반 챔버(14)의 내부 벽 표면(12)에 가장 근접한 곳에 있는 블레이드의 부분에서 일반적으로 발생함을 알 수 있었다. 상기 교반기 블레이드의 첨단은 단지 용융 유리와 접촉하는 전체 표면적에 대한 적은 표면적만 나타낸다. 따라서, 이러한 적은 표면적, 높은 응력, 상기 교반기 블레이드의 결합-생성 부분은 상기 전단(stress)의 오른쪽 측면 영역 대 도 3의 분포로 나타난다. 한편, 상기 표면적의 대부분을 나타내는 블레이드 및 교반 챔버 벽의 나머지는 전단 응력의 매우 적은 부분만을 경험하며, 상기 분포의 왼쪽 부분으로 나타난다.

[0032] 방법(28)의 단계(32)에서, 고안된 실험의 시리즈 또는 매트릭스는 적어도 여러 개의 다른 교반기 회전 속도 및 여러 다른 온도에 대한 실제 내화성 금속 함유율을 결정하기 위해 수행된다. 2개의 다른 온도 및 2개의 다른 교반기 회전 속도를 포함하면서, 4개 실험의 최소값이 수행되어야 한다. 추가적인 온도 및 회전 속도에서 필요하거나 바람직하다면 추가적인 실험이 수행될 수 있다. 단계 32에서, 동일한 유리 조성물 동일한 교반 챔버/교반기 고안이 각각의 실험에서 사용되었다. 교반 시스템에서 인출된(꺼내진) 유리에서 내화 금속 함유물의 수는 이후 내화성 금속 함유율을 결정하기 위해, 인출된(drawn) 유리의 중량의 함수로서 계산될 수 있다. 내화성 금속 함유물의 계산은 간단한 작업이다. 예를 들어, 유리의 중량 단위 당 내화성 금속 함유물의 수는 교반 챔버를 통해 꺼내어진 유리 샘플로 빛을 조사함으로써 및 현미경을 통해 내화성 금속 함유물을 계산함으로써 결정될 수 있다. 교반 시스템을 통해 유리의 유량을 아는 것은 단위 중량 당 함유물의 관점에서 또는 시간 함수로서 내화성 금속 함유율을 설명할 수 있도록 한다.

[0033] 함유물-생성 실험의 실시예의 매트릭스는 이하의 표 1에 나타나있으며, 여기서, T_1 , T_2 는 2가지 다른 온도를 나타내고, N_1 , N_2 는 2개의 다른 교반기 회전 속도를 나타내며, r_{11} , r_{12} , r_{21} 및 r_{22} 는 4개의 최종 내화성 금속 함유율을 나타낸다. 매트릭스 실험을 반드시 2 x 2 세트의 실험으로 제한할 필요는 없다. 추가적인 실험이 바람직하다면 수행될 수 있으며, 표 1은 더 넓은 세트의 실험을 반영하고, 여기서 N_i 는 i 번째 교반기 회전 속도를 나타내며, T_j 는 j 번째 유리 온도를 나타내는 반면, r_{ij} 는 i 번째 교반기 회전속도 및 j 번째 유리 온도에 대한 내화성 금속 함유율을 나타낸다. 명백히, i 및 j 값은 운영되는 매트릭스 실험의 크기에 의존하며, 단순히 교반기 속도 및 유리 온도의 수를 지시한다. 예를 들어, $p \times q$ 매트릭스에서, i 는 전체 수가 2 내지 p 인 값을 가지는 반면, j 는 2 내지 q 인 전체 수인 값을 가진다. 추가적으로, 추가된 온도 또는 회전 속도는 대칭적으로 추가되어야 할 필요는 없다. 즉, 상기 매트릭스는 대칭일 필요는 없다. 따라서, 예를 들어 3개의 온도 및 2개의 회전 속도를 사용할 수도 있다.

[0034] [표 1]

[0035]

	T ₁	T ₂	T _j
N ₁	r ₁₁	r ₁₂	r _{1i}
N ₂	r ₂₁	r ₂₂	r _{2i}
N _i	r _{i1}	r _{i2}	r _{ij}

[0036] 방법 28의 단계 34는 미리 결정된 비율을 초과하는 내화성 금속 함유물을 야기하는 전단응력의 한계값을 결정하는 단계를 포함한다. 내화성 금속 함유물의 모델은 다음 수학적식으로 기술될 수 있다.

[0037]
$$r = \int m_i A (\sigma - \sigma_0) \quad (4)$$

[0038] r은 내화성 금속 함유물이 유리로 들어가는 비율로서 단위는 함유물/sec⁻¹이며;

[0039] m_i는 내화성 금속-대-내화성 금속 결합이 깨질 수 있는 용이성을 나타내는 온도-종속 상수이며, 단위는 m⁻²Pa⁻¹sec⁻¹이며;

[0040] σ는 벽 내부의 교반 챔버 및 교반 블레이드에 적용되는 전단응력이며, 단위는 (Pa)이고; 및

[0041] A는 적용되는 전단응력 σ하의 면적으로 단위는 m²이며;

[0042] σ₀는 한계 전단응력이고 단위는 파스칼(Pa)이다.

[0043] 수학적식(1)에서, r은 표 1에 나타난 매트릭스 실험으로부터 결정되는 r값 중 하나로서 즉, r₁₁, r₁₂...r_{ij}이다.

[0044] 상술한 바와 같이 수학적식(4)의 파라미터 m_i는 내화성 금속의 물질 특성의 분포를 나타내며, 내화성 금속-대-내화성 금속 결합의 힘에 따른다. 내화성 금속이 약할 수록, m_i 값이 더 커진다. m_i 파라미터는 또한 유리 특성의 함수이다: 유리가 내화성 금속과 더 반응이 클수록, m_i 값이 더 커진다. 이러한 종속성은 아래의 수학적식(5)에 의해 표시될 수 있다:

[0045]
$$m_i = m_0 \exp(-m_1/T) \quad (5)$$

[0046] 여기서, m₁은 온도의 감소의 결과에 따라, 약해지는 내화성 금속의 효과를 나타내며, m₀는 교반 챔버 및 교반기 모두에 대한 유리 및 내화성 금속 사이의 상호작용을 나타낸다. T는 용융 유리와 접촉하는 내화성 금속의 절대온도이다.

[0047] 특정 내화성 금속 및 유리 조성물에 대한 m₀ 및 m₁은 여러 온도 지점에서의 내화성 금속 함유물의 비율을 실험적으로 측정하는 반면, 교반기 회전 속도 N과 같은 다른 공정 조건을 일정하게 유지함으로써 결정될 수 있다. 다시 말해, 유리는 상기 교반 챔버를 통해 가공될 수 있으며, 형성된 유리내의 내화성 금속 함유물의 수는 복수의 다른 온도에서 유리의 질량(즉, 중량)의 함수로서 측정될 수 있다.

[0048] 한계 전단응력 σ₀을 계산하기 위해, m_i가 온도만의 함수로 추정되며, 따라서, 교반기 회전 속도와 독립적인 것으로 간주된다. 한계 전단응력은 그 이하에서 주어진 온도에서 내화성 금속 함유율이 미미한 경우의 전단응력으로 보여질 수 있다. 수학적식(4)는 이후 한계 전단응력 σ₀를 결정하는 데 사용될 수 있다. 즉, 수학적식(4)는 그 자체로, 2개의 다른 교반기 회전 속도 N₁ 및 N₂에 대해 그러나, 단일 온도, 예를 들어 T1에 대해, m_i를 통해 설

$$r_{11} / \int_{\sigma_0}^{\sigma_{max}} (A_1 (\sigma - \sigma_0) d\sigma = r_{21} / \int_{\sigma_0}^{\sigma_{max}} (A_2 (\sigma - \sigma_0) d\sigma \quad (6)$$

명될 수 있다.

[0049] 내화성 금속 함유율 r₁₁ 및 r₂₁가 (온도 T₁에서 교반기 속도 1 및 2를 나타냄) 단계 32에서 결정된 실험 데이터를 통해 알려졌으며, 전단응력 함수로서의 A가 (전단응력 대 단계 26에서 생성된 표면적 분포로부터 유도된) CFD

소프트웨어를 통해 결정되었기 때문에, 수학식(6)은 주어진 온도에서 σ_0 에 대해 풀 수 있다.

[0050] 계산상으로, 상기 수학식(6)에 의해 나타난 바와 같이 수학식(4)는 내화성 금속 함유물의 초기(onset) 전단응력 σ_0 및 주어진 조건하의 시스템에 의해 경험하게되는 최대 전단응력 σ_{max} (여기서 $\sigma_0 < \sigma_{max}$)사이의 각 분포곡선의 영역을 적절하게 나타내는 적분(integration)이다:

$$r = \int_{\sigma_0}^{\sigma_{max}} m_i A(\sigma - \sigma_0) d\sigma \quad (7)$$

[0051]

[0052] 실제, 적분은 응력(stress) 대 적은 수직 슬라이스(도 3에 나타난 슬라이스의 예, 슬라이스(32))의 각 분포를 줄이고 계산상의 오류의 과도한 도입없이 상기 슬라이스를 합산함으로써, 분리하여 계산될 수 있다. 이는 계산을 상당히 단순화할 수 있다. 수학식(6)은 2차 온도-교반기 회전의 조합에 대한 σ_0 값을 계산하기 위해 그 후 2차 선결 온도 T_2 및 2개의 다른 교반기 회전 속도 N_1 및 N_2 에 대해 계산될 수 있다.

[0053] 일단 σ_0 값이 다른 교반기 속도 및 온도에 대해 계산되면, 방법 28의 단계 38에 나타난 바와 같이, 내화성 금속 함유물의 온도 종속 m_i 이 결정될 수 있다. 이 단계에서, 주어진 교반기 회전 속도에 대한 다른 온도 실험 데이터가 수학식(5)에서 사용되며, 다음과 같다:

[0054] $m_{t1} = m_0 \exp(-m_1/T_1) \quad (8)$

[0055] $m_{t2} = m_0 \exp(-m_1/T_2) \quad (9)$

[0056] 2개의 미지의 값 m_0 및 m_1 을 나타내는 수학식 (8) 및 (9)는 m_0 및 m_1 에 대해 계산될 수 있으며, 여기서 m_{t1} 을 m_{t2} 는 2개의 다른 온도 각각, T_1 및 T_2 에서 내화성 금속 함유물의 온도 종속을 나타낸다. m_0 및 m_1 을 알게 됨으로써, 어떤 온도에서 m_i 값이 계산될 수 있다. 일단 m_i 가 결정되면, 수학식(4)가 방법 28의 단계 40에 나타난 바와 같이 동일한 내화성 금속을 사용하고, 동일한 유리 조성물을 교반하여, 어떤 교반 시스템에 대한 예측된 내화성 금속 함유율을 계산하는데 사용될 수 있다. 즉, m_i 및 σ_0 가 각각 내화성 금속 및 유리의 물질 특성, 따라서, 교반 시스템의 물리적 디자인의 독립성에 기초하기 때문에, 동일한 내화성 금속 및 동일한 유리 조성물을 사용하여 다른 교반 시스템 디자인의 수행을 평가하기 위해 필요한 모든 것은 응력(stress) 대 새로운 디자인에 대한 표면적 분포를 생성하는 것이다. 이 데이터는 이후 새로운 수행을 결정하기 위해 수학식(4)를 통해 적용될 수 있다.

[0057] 최종적으로, 방법 28의 단계 42에 나타난 바와 같이, 일단 공정 조건의 최적 세트가 주어진 교반 시스템 디자인에 대해 확인되면, 이 정보는 내화성 금속 함유물의 수를 최소화하기 위해 (교반기 회전 속도 및/또는 유리 온도를 맞추으로써) 특정 교반 작동을 수정하는데 사용될 수 있다. 예를 들어, 내화성 금속 함유율은 다양한 공정 조건에 대해 계산될 수 있으며, 내화성 금속 함유물의 최소값을 생성하기 위해 필요한 공정 조건을 보여주기 위해 도시될 수 있다. 또한, 다른 교반 시스템 디자인이 다양한 공정 조건(교반기 회전 속도 및 유리 온도)하에 새로운 교반 시스템에 대한 내화성 금속 함유율을 계산하기 위해 최종 데이터를 사용하여, CFD-생성 응력 대 새로운 교반 시스템 디자인에 대한 표면적 분포의 전개(development)에 의해 측정될 수 있다. 물론, 유리 균질화에 대해 교반 효율도의 적절한 수준을 유지하는 맥락 내에서 주어진 교반 시스템 디자인에 대한 적절한 공정 조건의 선택이 이루어져야 한다.

[0058] **실시예**

[0064] 다음의 실시예는 전술한 공정을 예시하는데 기여한다.

[0065] 실시예

[0066] 다음의 기술은 본 발명에 따라, 주어진 교반 챔버/교반기 디자인에 대한 내화성 금속 함유율 및 단일 유리 조성물을 예측하는 실시예들을 요약한다.

[0067] Fluent CFD 소프트웨어를 사용하여, 전단응력 대 표면적 분포가 1차 교반 챔버/교반기 디자인(교반 시스템 디자인 I) 및 코닝사 코드 1737 유리 조성물에 대한 다양한 부과된 유동 조건하에서 전개되었다. 교반기 속도는 8 rpm, 9 rpm, 10 rpm 및 12 rpm에 걸쳐 다양하게 변화되었다.

[0068] 다음으로, 실험이 실생활의 교반 챔버/교반기에서 수행되었고, 이는 통상적인 유리 제조 공정이다. 유리를 교반기 회전 속도 8 rpm, 9 rpm, 10 rpm 및 12 rpm으로 3개의 온도(1430°C, 1460°C 및 1490°C)에서 흐르게 하였다. 교반 챔버에서 균질화된 유리는 유리 제조 공정의 최종 과정에서 인출되며, 단위 무게당(예, 수 파운드의 유리) 내화성 금속 함유물이 상기 유리가 인출된 작동 조건과 함께 계산되고 기록되었다. 데이터의 도표는 단위 무게당 함유물의 숫자(즉, 내화성 금속 함유물의 밀도) 대 다른 온도에서의 교반기의 회전 속도로 도 4에 도시되었다. 내화성 금속 함유율은 이후 단위 시간당(sec⁻¹) 내화성 금속 함유물로 전환되었다.

[0069] 상기 계산(예, 수학적(5)-(9)) 및 전단응력 대 표면적을 이용하여, σ_0 가 1430°C 및 1460°C 둘 다에 대해 3000-3200 Pa 범위가 되도록 결정되었으며, 1490°C에서 대략 1420 Pa이 되도록 결정되었다. 내화성 금속 함유물의 온도 종속 계수는 1430°C 내지 1490°C의 온도 범위에 걸쳐 0.18 m⁻²Pa⁻¹sec⁻¹ 내지 0.65 m⁻²Pa⁻¹sec⁻¹의 범위였다. 이 결과는 아래의 표 2에 반영되었다.

[0070] [표 2]

	1430°C	1460°C	1490°C
m_t (m ⁻² Pa ⁻¹ sec ⁻¹)	0.18	0.35	0.65
σ_0 (Pa)	3200	3000	1420

[0072] 바람직하게는, 상술한 바와 같이, 전술한 방법에 따라 얻어진 m_t 및 σ_0 값은 주어진 세트의 내화성 금속 및 유리 조성물에 대해 교반 시스템 물리적 디자인에 대부분 독립적이다. 즉, 원래 모델이 된 시스템과는 다르나 동일한 내화성 금속 및 유리 조성물을 이용하는 교반기/교반 챔버 디자인에 대해, 내화성 금속 함유물의 온도 종속 계수 및 상기 결정된 전단응력 한계는 다른 교반 시스템 디자인에 대한 내화성 금속 함유율을 예측하는데 사용될 수 있다: 시스템의 물리적 디자인으로 인한(예, 결합(coupling)거리, 블레이드 침단 영역 등) 내화성 금속 함유물에 대한 기여를 설명하기 위해, 유동 다이내믹(flow dynamics)으로부터 적절한 분포 구조만 생성할 필요가 있다. 다른 방법에서 보면, 주어진 유리 조성물 및 주어진 내화성 금속을 사용하는 교반 시스템에 대해, m_t 및 σ_0 값이 시스템의 기계적 디자인과 무관하게 교반 시스템의 내화성 금속 함유물 수행을 예상하는데 사용될 수 있다. 예를 들어, 도 5에 나타난 구조는 6개의 곡선을 나타낸다. 곡선(44)는 1430°C 내지 1490°C의 온도 범위 및 12 rpm의 교반기 회전 속도에서 작동될 때, 상기 표 2에 나타난 데이터를 생성하기 위해 사용되는 교반 시스템의 내화성 금속 함유물 수행을 나타낸다. 한편, 곡선 46 - 54는 첫번째 시스템과 다른 물리적 디자인을 가지나, 동일한 내화성 금속으로부터 조작되고, 동일한 온도 범위에 걸쳐 동일한 유리 조성물을 사용하는 2개의 추가적인 교반 시스템의 예측된 수행을 반영한다.

[0073] 도 5에서 보면, 곡선 44 - 54의 패밀리는 8 rpm의 낮은 속도(곡선 50)에서부터 18 rpm의 높은 속도(곡선 48)까지 넓은 범위의 교반기 회전 속도에 걸쳐 약 1460°C의 (감소된 내화성 금속 함유물 결합의 기준점에서) 최적의 작동 유리 온도를 시사한다. 실제로, 다소 반직관적으로, 교반 시스템 II 수행, 예를 들어, (곡선48)은 12 rpm에서의 교반 시스템 I(즉, 동일한 유리 조성물 및 동일한 내화성 금속에 대해)보다 낮은 최종 내화성 금속 함유율을 나타낸다. 이러한 예상 및 실제 제조 작용 사이의 뒤따르는 비교는 도 5에 의해 암시되는 결과를 입증한다.

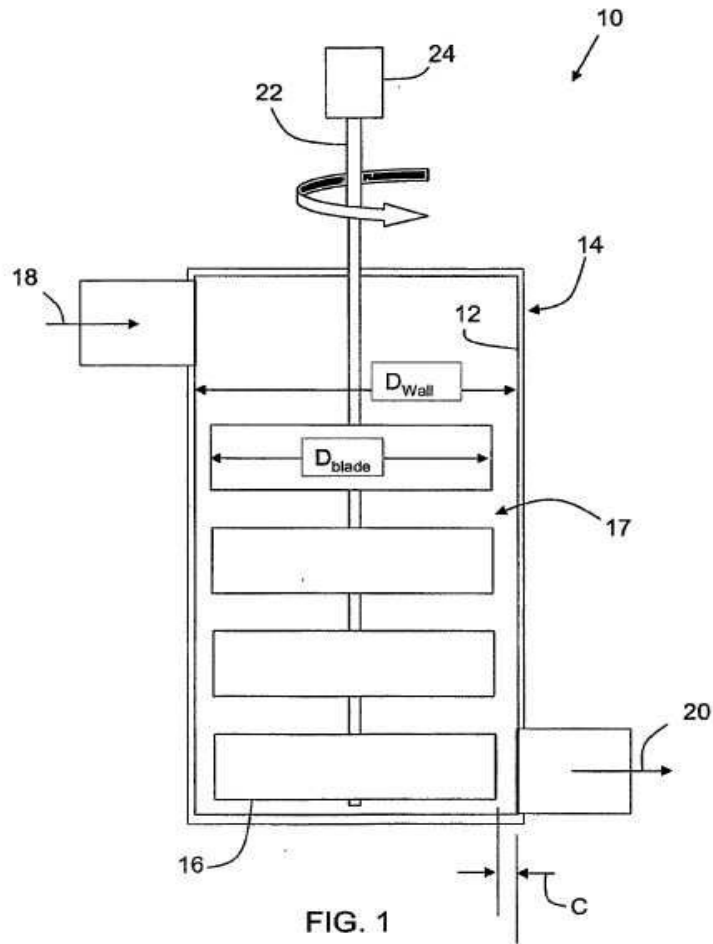
[0074] 본 발명의 실시예 특히, 바람직한 구체예가 단지 가능한 실시예의 예시이며, 본 발명의 원칙의 명확한 이해를 위해 설명된 것임이 강조되어야 한다. 본 발명의 사상 및 원칙을 실질적으로 벗어나지 않고 상술한 본 발명의 실시예에 다양한 변화와 수정이 이루어질 수 있다. 그러한 모든 수정과 변형은 이 개시 및 본 발명의 범위내에서 본원에 포함되며, 이하의 청구범위에 의해 보호받는 것으로 의도된다.

도면의 간단한 설명

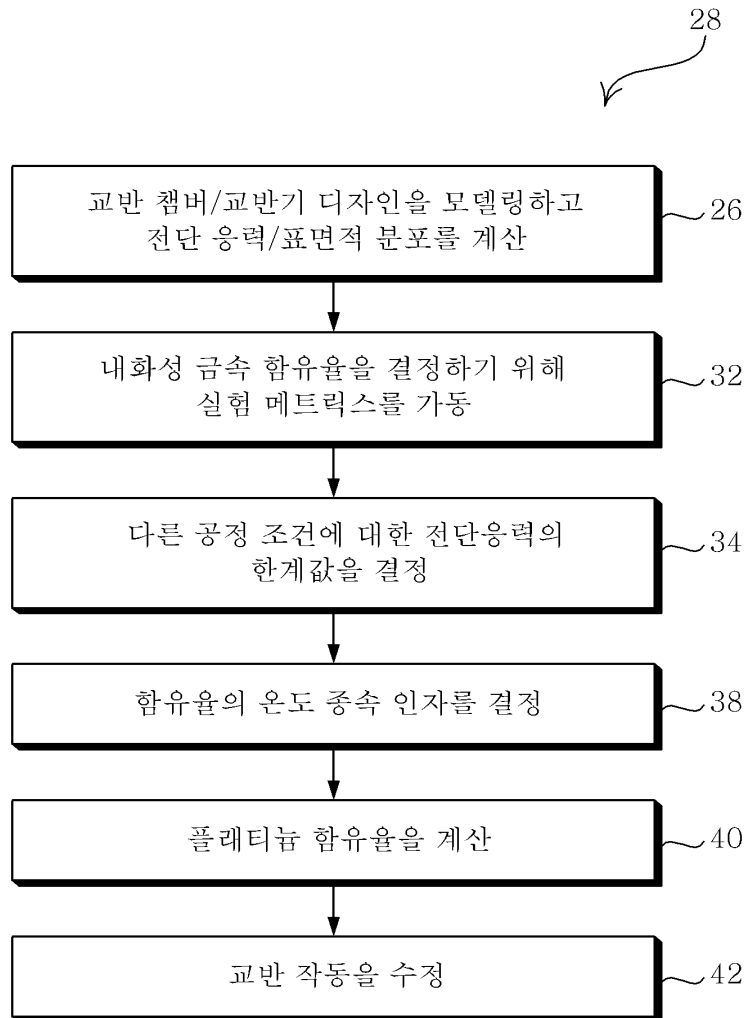
- [0059] 도 1은 교반 챔버 및 교반 챔버내에서 회전하도록 장착된 교반기를 포함하는 실시예의 교반 시스템의 측면입면도, 단면도이다.
- [0060] 도 2는 발명의 방법의 실시예의 개략적인 대표도이다.
- [0061] 도 3은 전단응력 분포 대 용융유리에 노출된 교반기 및 교반 챔버의 표면적의 실시예 그래프(plot)이다.
- [0062] 도 4는 교반 시스템으로부터 얻어진 유리의 샘플내에서 산출된 내화성 금속 함유물의 그래프이다.
- [0063] 도 5는 다양한 작동 조건하에서 여러 교반 시스템의 내화성 금속 함유물 실시를 기술하는 그래프이다.

도면

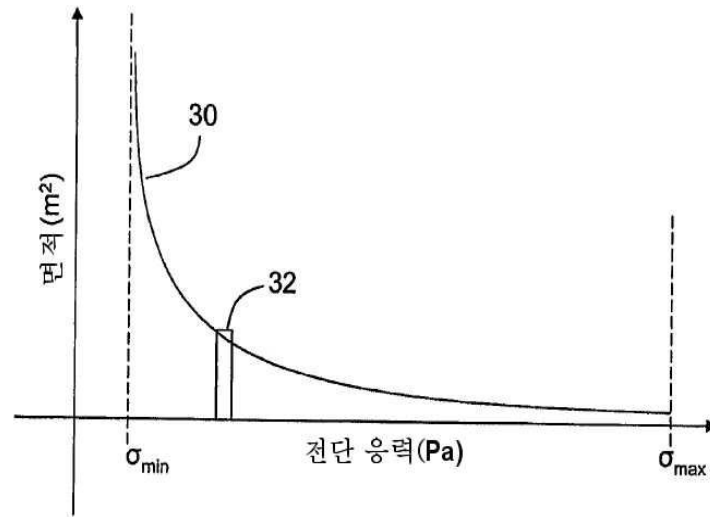
도면1



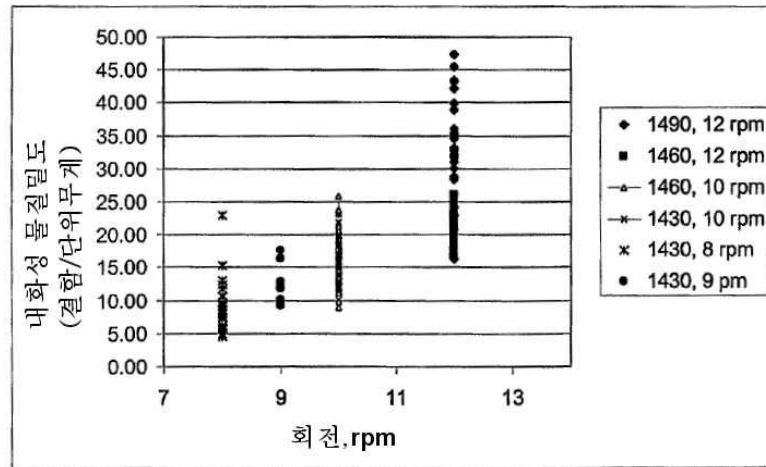
도면2



도면3



도면4



도면5

