



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2017년11월24일
(11) 등록번호 10-1801414
(24) 등록일자 2017년11월20일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
B29C 47/40 (2006.01) B29C 47/08 (2006.01)
B29C 47/10 (2006.01) B29C 47/60 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2012-7018669
(22) 출원일자(국제) 2010년12월13일
심사청구일자 2015년12월11일
(85) 번역문제출일자 2012년07월17일
(65) 공개번호 10-2012-0124409
(43) 공개일자 2012년11월13일
(86) 국제출원번호 PCT/EP2010/069470
(87) 국제공개번호 WO 2011/073121
국제공개일자 2011년06월23일
(30) 우선권주장
10 2009 059 072.2 2009년12월18일 독일(DE)
(56) 선행기술조사문헌
WO2002009919 A2
WO2002070231 A1
WO2002076707 A1

(73) 특허권자
코베스트로 도이칠란드 아게
독일 51373 레버쿠젠 카이저-빌헬름-알리 60
(72) 발명자
키르호호프, 외르크
벨기에 2040 안트베르펜 셀렐란 420 하벤 507 바
이엘 안트베르펜 엔브이 내
페니그, 토마스
독일 51375 레버쿠젠 하이든슈트라세 15
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
양영준, 안철균

전체 청구항 수 : 총 29 항

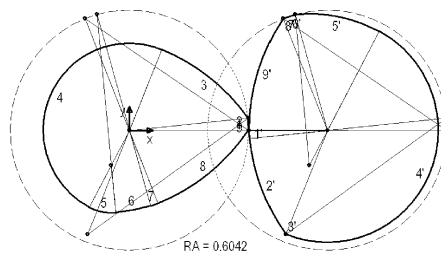
심사관 : 배여울

(54) 발명의 명칭 점탄성 물질을 압출하기 위한 스크류 공급 요소, 및 용도 및 방법

(57) 요약

본 발명은 쌍을 이루어서 동일한 방향으로 회전하고 쌍을 이루어서 정밀하게 마모시키는 스크류 공급 프로파일을 가지는 멀티-샤프트 스크류 공급 기계용의 신규 스크류 공급 요소, 멀티-샤프트 스크류 공급 기계에서의 스크류 공급 요소의 용도, 및 점탄성 물질 압출 방법에 관한 것이다.

대표도 - 도1



1) R = 0.6042 Mx = 0.0000 α = 0.1047 My = 0.0000	1') R = 0.3958 Mx = 1.0000 α = 0.1047 My = -0.0000
2) R = 0.0000 Mx = 0.8009 α = 0.5200 My = 0.0632	2') R = 1.0000 Mx = 1.6009 α = 0.5200 My = 0.0632
3) R = 1.0000 Mx = -0.2103 α = 0.5630 My = -0.5217	3') R = 0.0000 Mx = 0.7897 α = 0.5630 My = -0.5217
4) R = 0.4375 Mx = 0.0000 α = 3.0424 My = -0.0000	4') R = 0.5625 Mx = 1.0000 α = 3.0424 My = -0.0000
5) R = 0.2399 Mx = -0.0917 α = 0.5768 My = -0.1751	5') R = 0.7601 Mx = 0.9083 α = 0.5768 My = -0.1751
6) R = 1.0000 Mx = -0.1634 α = 0.1794 My = 0.5817	6') R = 0.0000 Mx = 0.8366 α = 0.1794 My = 0.5817
7) R = 0.3958 Mx = 0.0000 α = 0.1047 My = -0.0000	7') R = 0.6042 Mx = 1.0000 α = 0.1047 My = -0.0000
8) R = 1.0000 Mx = -0.2233 α = 0.5960 My = 0.5614	8') R = 0.0000 Mx = 0.7767 α = 0.5960 My = 0.5614
9) R = 0.0000 Mx = 0.6042 α = 0.5960 My = -0.0002	9') R = 1.0000 Mx = 1.6042 α = 0.5960 My = -0.0002

(72) 발명자

비르델, 미카엘

독일 51373 레버쿠젠 헨리-티.-폰-비팅거-슈트라세
16

리젠펠더, 올리히

독일 51469 베르기쉬 글라드바흐 마리암폴레슈트라
세 41

명세서

청구범위

청구항 1

- 인접하는 스크류 요소들이 서로 다른 비대칭 프로파일을 가지고,
- 스크류 요소들이 각 경우에서 하나의 플라이트 랜드 영역을 가지고,
- 1쌍의 인접하는 스크류 요소의 모든 플라이트 랜드 각의 합 SKW 가 0 초과 $2\pi - 4 \cdot \arccos\left(\frac{A}{DE}\right)$ 미만이고, A 는 두 스크류 요소간 중심선 거리이고, DE 는 스크류 요소들의 외측 직경이고, π 는 원의 상수이고,
- 인접하는 스크류 요소들의 프로파일의 자유 단면적 F_1^{frei} 및 F_2^{frei} 의 크기가 서로 상이한 것

을 특징으로 하는, 쌍을 이룬 완전 와이핑(wiping) 스크류 프로파일을 갖는 쌍을 이룬 동방향 회전 스크류 샤프트를 갖는 멀티-샤프트 스크류 기계의 스크류 요소.

청구항 2

제1항에 있어서, 생성되는 스크류 프로파일 및 생성시키는 스크류 프로파일의 플라이트 랜드 각의 합 SKW 가 $0.8 \cdot (2\pi - 4 \cdot \arccos\left(\frac{A}{DE}\right))$ 미만인 것을 특징으로 하는 스크류 요소.

청구항 3

제2항에 있어서, 생성되는 스크류 프로파일 및 생성시키는 스크류 프로파일의 플라이트 랜드 각의 합 SKW 가 $0.6 \cdot (2\pi - 4 \cdot \arccos\left(\frac{A}{DE}\right))$ 미만인 것을 특징으로 하는 스크류 요소.

청구항 4

제3항에 있어서, 생성되는 스크류 프로파일 및 생성시키는 스크류 프로파일의 플라이트 랜드 각의 합 SKW 가 $0.4 \cdot (2\pi - 4 \cdot \arccos\left(\frac{A}{DE}\right))$ 미만인 것을 특징으로 하는 스크류 요소.

청구항 5

제1항 또는 제2항에 있어서, 인접하는 프로파일의 보다 작은 자유 단면적에 대한 보다 큰 자유 단면적의 비가 1.2 이상인 것을 특징으로 하는 스크류 요소.

청구항 6

제5항에 있어서, 인접하는 프로파일의 보다 작은 자유 단면적에 대한 보다 큰 자유 단면적의 비가 1.5 이상인 것을 특징으로 하는 스크류 요소.

청구항 7

제6항에 있어서, 인접하는 프로파일의 보다 작은 자유 단면적에 대한 보다 큰 자유 단면적의 비가 2 이상인 것을 특징으로 하는 스크류 요소.

청구항 8

제1항 또는 제2항에 있어서, 1쌍의 요소 중 한 요소의 프로파일이 프로파일의 회전점을 중심으로 하여 90° 초과 각에 걸쳐서 연장되는 테이퍼링 영역을 가지고, 이 테이퍼링 영역은 하나 이상의 원호를 포함하고, 테이퍼링 영역의 호 위에 있는 모든 점은 $(RA+RI)/2$ 내지 RA 인 프로파일의 회전점으로부터의 거리를 가지고, 여기서

RA 는 외측 스크류 반경이고, RI 는 내측 스크류 반경인 것을 특징으로 하는 스크류 요소.

청구항 9

제8항에 있어서, 1쌍의 요소 중 한 요소의 프로파일이 프로파일의 회전점을 중심으로 하여 120° 초과각에 걸쳐서 연장되는 테이퍼링 영역을 가지는 것을 특징으로 하는 스크류 요소.

청구항 10

제9항에 있어서, 1쌍의 요소 중 한 요소의 프로파일이 프로파일의 회전점을 중심으로 하여 180° 초과각에 걸쳐서 연장되는 테이퍼링 영역을 가지는 것을 특징으로 하는 스크류 요소.

청구항 11

- 인접하는 스크류 요소들이 동일한 비대칭 프로파일을 가지고,

- 프로파일이 $\pi - 2\arccos\left(\frac{A}{2 \cdot RA}\right)$ 미만의 플라이트 랜드 각을 갖는 하나의 플라이트 랜드 영역을 포함하고,

- 프로파일에서, 플라이트 랜드 영역이 한쪽에서 테이퍼링 영역에 인접하고, 이 테이퍼링 영역은 하나 이상의 원호를 포함하고, 테이퍼링 영역의 호 위에 있는 모든 점은 $(RA+RI)/2$ 내지 RA 인 프로파일의 회전점으로부터의 거리를 가지고, 여기서 A 는 중심선 거리이고, RA 는 외측 스크류 반경이고, RI 는 내측 스크류 반경이고, π 는 원의 수학 상수인 것

을 특징으로 하는, 쌍을 이룬 동방향 회전 스크류 샤프트를 갖는 멀티-샤프트 스크류 기계의 스크류 요소.

청구항 12

제11항에 있어서, 플라이트 랜드 각이 $0.8 \cdot (\pi - 2\arccos\left(\frac{A}{2 \cdot RA}\right))$ 미만인 것을 특징으로 하는 스크류 요소.

청구항 13

제12항에 있어서, 플라이트 랜드 각이 $0.6 \cdot (\pi - 2\arccos\left(\frac{A}{2 \cdot RA}\right))$ 미만인 것을 특징으로 하는 스크류 요소.

청구항 14

제13항에 있어서, 플라이트 랜드 각이 $0.5 \cdot (\pi - 2\arccos\left(\frac{A}{2 \cdot RA}\right))$ 미만인 것을 특징으로 하는 스크류 요소.

청구항 15

제11항 또는 제12항에 있어서, 테이퍼링 영역이 프로파일의 회전점을 중심으로 하여 30° 초과각에 걸쳐서 연장되는 것을 특징으로 하는 스크류 요소.

청구항 16

제15항에 있어서, 테이퍼링 영역이 프로파일의 회전점을 중심으로 하여 45° 초과각에 걸쳐서 연장되는 것을 특징으로 하는 스크류 요소.

청구항 17

제16항에 있어서, 테이퍼링 영역이 프로파일의 회전점을 중심으로 하여 90° 초과각에 걸쳐서 연장되는 것을 특징으로 하는 스크류 요소.

청구항 18

- 인접하는 스크류 요소들이 서로 다른 프로파일을 가지고,

- 인접하는 1쌍의 요소의 경우에, 하나의 프로파일이 정확히 1개의 플라이트 랜드 영역을 가지고, 인접하는 프

로파일이 정확히 2개의 플라이트 랜드 영역을 가지고,

- 인접하는 프로파일의 자유 단면적 F_1^{frei} 및 F_2^{frei} 의 크기가 서로 상이한 것

을 특징으로 하는, 쌍을 이룬 동방향 회전 스크류 샤프트를 갖는 멀티-샤프트 스크류 기계의 스크류 요소.

청구항 19

제18항에 있어서, 인접하는 프로파일의 보다 작은 자유 단면적에 대한 보다 큰 자유 단면적의 비가 1.2 이상인 것을 특징으로 하는 스크류 요소.

청구항 20

제19항에 있어서, 인접하는 프로파일의 보다 작은 자유 단면적에 대한 보다 큰 자유 단면적의 비가 1.4 이상인 것을 특징으로 하는 스크류 요소.

청구항 21

제20항에 있어서, 인접하는 프로파일의 보다 작은 자유 단면적에 대한 보다 큰 자유 단면적의 비가 1.6 이상인 것을 특징으로 하는 스크류 요소.

청구항 22

제18항 또는 제19항에 있어서, 프로파일이 각 경우에서 거울 대칭성인 것을 특징으로 하는 스크류 요소.

청구항 23

제1항, 제11항, 및 제18항 중 어느 한 항에 있어서, 중심선 거리 A 에 대한 외측 스크류 반경 R_4 의 비는 0.51 내지 0.7의 범위 내인 것을 특징으로 하는 스크류 요소.

청구항 24

제23항에 있어서, 중심선 거리 A 에 대한 외측 스크류 반경 R_4 의 비는 0.52 내지 0.66의 범위 내인 것을 특징으로 하는 스크류 요소.

청구항 25

제24항에 있어서, 중심선 거리 A 에 대한 외측 스크류 반경 R_4 의 비는 0.57 내지 0.63의 범위 내인 것을 특징으로 하는 스크류 요소.

청구항 26

제1항, 제2항, 제11항, 제12항, 제18항 및 제19항 중 어느 한 항에 있어서, 스크류 요소와 배럴 사이에 및/또는 인접하는 스크류 요소들 사이에 간극을 가짐으로써 완전 와이핑 프로파일로부터 유래되는 스크류 요소.

청구항 27

제1항, 제2항, 제11항, 제12항, 제18항 및 제19항 중 어느 한 항에 있어서, 멀티-샤프트 스크류 기계에서 사용되는 스크류 요소.

청구항 28

제27항에 있어서, 트윈-샤프트 스크류 기계에서 사용되는 스크류 요소.

청구항 29

제1항, 제2항, 제11항, 제12항, 제18항 및 제19항 중 어느 한 항에 의해 제공되는 본 발명에 따른 스크류 요소를 이용하는 트윈-스크류 또는 멀티-샤프트 압출기에서의 점탄성 조성물의 압출 방법.

발명의 설명

기술분야

[0001] 본 발명은 쌍을 이룬 동방향 회전 및 쌍을 이룬 완전 와이핑(wiping) 스크류 프로파일을 갖는 멀티-샤프트 스크류 기계의 신규 스크류 요소, 멀티-샤프트 스크류 기계에서의 스크류 요소의 용도 및 점탄성 조성물 압출 방법에 관한 것이다.

배경기술

[0002] 회전자들이 서로 완전 와이핑하는 동방향 회전 트윈-샤프트 또는 가능하면, 멀티-샤프트 기계는 이미 상당한 시간 동안 알려졌다. 이러한 스크류 압출기에 대한 종합적 개요는 다음 간행물 [1] (Kohlgrueber: Der gleichlaufende Doppelschneckenextruder[the co-running twin-screw extruder], Hanser-Verlag Munich 2007)에 제공되어 있다.

[0003] 간행물 [1]에서는 트윈-샤프트 및 멀티-샤프트 압출기의 구조, 기능 및 작동을 구체적으로 상세히 설명한다. 그 간행물의 한 장(227 - 248 페이지)을 스크류 요소 및 그것이 작동되는 방식에 할애한다. 여기서는 운반, 니딩(kneading) 및 혼합 요소의 구조 및 기능을 상세히 설명한다.

[0004] 현재의 스크류 압출기는 하나의 코어 샤프트에 상이한 스크류 요소들이 연결될 수 있는 모듈형 시스템을 가진다. 이것은 당업계 숙련자가 스크류 압출기를 각 공정 과업에 맞게 개조할 수 있게 한다.

[0005] 스크류 요소를 기술할 때는 보통 회전축에 수직인 단면 프로파일(이하에서는 간단히 프로파일이라고도 부름)을 고려한다. 1쌍의 스크류 요소는 생성시키는 스크류 프로파일을 갖는 스크류 요소 및 생성되는 스크류 프로파일을 갖는 스크류 요소를 포함한다.

[0006] 외측 스크류 반경과 같은 스크류 프로파일의 영역을 플라이트 랜드 영역이라고 부른다. 스크류 프로파일의 회전점을 중심으로 하여 플라이트 랜드 영역의 시작점과 끝점 사이의 각을 플라이드 랜드 각이라고 부른다. 오직 한 점에서 외측 스크류 반경과 접촉하는 플라이트 랜드 영역은 플라이트 랜드 각 0을 가지고 - 시작점 및 끝점이 한 점에서 일치한다. 코어 반경과 같은 스크류 프로파일의 영역을 그루브(groove) 영역이라고 부른다. 스크류 프로파일의 회전점을 중심으로 하여 그루브 영역의 시작점과 끝점 사이의 각을 그루브 각이라고 부른다. 코어 반경과 오직 한 점에서 접촉하는 그루브 영역은 그루브 각 0을 가지고 - 여기서도 시작점과 끝점이 동일하다. 외측 스크류 반경보다 작고 코어 반경보다 큰 스크류 프로파일의 영역을 플랭크 영역이라고 부른다. 대응해서, 스크류 프로파일의 회전점을 중심으로 하여 플랭크 영역의 시작점과 끝점 사이의 각을 플랭크 각이라고 부른다. 두 배럴 보어(bore)가 관통하는 멀티-샤프트 압출기의 영역을 틈새 영역이라고 부른다. 두 배럴 보어의 두 교차점을 배럴 틈새라고 부른다[1].

[0007] 중합체 제조 및 가공에서는, 완전 와이핑 프로파일의 원리에 기반을 둔 스크류 기계가 다양하게 이용되었다. 이것은 특히 중합체 용융물이 표면에 부착하고 통상의 가공 온도 하에서는 시간이 지남에 따라 열화하며, 이는 완전 와이핑 스크류의 자정 효과에 의해 방지된다는 사실에 기반을 둔다. 완전 와이핑 스크류 프로파일을 제조하기 위한 원칙은 예를 들어 간행물 [1]의 96 - 109 페이지에서 제공된다. 또한, 여기서는 트윈-스크류 압출기의 제1 샤프트의 주어진 스크류 프로파일이 트윈-스크류 압출기의 제2 샤프트의 스크류 프로파일을 결정한다고 기술한다. 따라서, 트윈-스크류 압출기의 제1 샤프트의 스크류 프로파일은 생성시키는 스크류 프로파일이라고 부른다. 트윈-스크류 압출기의 제2 샤프트의 스크류 프로파일은 트윈-스크류 압출기의 제1 샤프트의 스크류 프로파일로부터 결과적으로 생기고, 따라서, 생성되는 스크류 프로파일이라고 부른다. 멀티-샤프트 압출기의 경우, 생성시키는 스크류 프로파일 및 생성되는 스크류 프로파일이 항상 번갈아서 인접 샤프트에서 사용된다.

[0008] 동방향 회전 트윈-샤프트 또는 멀티-샤프트 기계는 특히 플라스틱 조성물의 압출에 이용된다. 플라스틱 조성물은 변형가능한 조성물을 의미하는 것으로 이해한다. 플라스틱 조성물의 예는 중합체 용융물, 특히 열가소성 물질 및 엘라스토머, 고체, 액체 및/또는 기체와 중합체 용융물의 혼합물 또는 중합체 용융물의 분산물이다.

[0009] 간행물 [1]에서 광범위하게 기술된 바와 같이, 압출은 동방향 회전 트윈-스크류 또는 멀티-샤프트 압출기에서의 한 물질 또는 물질 혼합물의 처리를 의미하는 것으로 이해한다. 압출 동안의 물질의 처리는 운반, 용융, 분산, 혼합, 탈기 및 압력 증강의 공정 작업 중 하나 이상을 포함한다.

[0010] 압출은 특히, 중합체 제조, 배합 및 가공에서 큰 역할을 한다.

[0011] 중합체 제조에서, 압출은 예를 들어 중합체를 탈기시키기 위해 수행된다(예를 들어, 간행물 [1]의 191 - 212 페이지 참조).

- [0012] 중합체 배합에서, 압출은 예를 들어 추가의 물질을 혼합하거나 또는 예를 들어 화학 조성, 분자량 또는 분자 구조가 다른 상이한 중합체를 혼합하기 위해 수행된다(예를 들어, 간행물 [1]의 59 - 93 페이지 참조). 배합이라고 불리는 이 공정은 보통은 용융된 원료 중합체 물질을 이용하고, 충전제 및/또는 강화제, 가소제, 커플링제, 윤활제, 안정제, 염료 등을 첨가해서 혼합함으로써 완성된 중합체 성형 화합물을 제조하기 위해 중합체를 처리하는 데 쓰인다. 또한, 종종, 배합은 예컨대 공기 및 물 같은 휘발성 구성요소의 제거를 포함한다. 이 경우, 휘발성 구성요소의 제거는 배기구라고 알려진, 그 밖의 다른 곳은 폐쇄된 스크류 배럴의 개구를 통해서 일어난다. 이러한 배기구는 스크류 샤프트를 하나 또는 둘 모두 노출시킬 수 있다. 압출기는 알려진 바와 같이 마찰에 의해 운반하기 때문에, 배기구에서는 압출기의 운반 성능이 감소하고, 이 지점에서 충전 정도가 증가한다. 또한, 배합은 예를 들어 그래프팅, 관능기 변형, 또는 의도적인 분자량 증강 또는 감소에 의한 분자량 변형 같은 화학 반응을 포함할 수 있다.
- [0013] 중합체를 가공할 때, 중합체는 바람직하게는 반제품, 바로 사용할 수 있는 제품, 또는 성분의 형태로 된다. 가공은 예를 들어 사출 성형, 압출, 필름 블로잉, 캘린더링 또는 방사에 의해 수행될 수 있다. 또한, 가공은 중합체를 충전제 및 보조 물질 및 첨가제와 혼합하는 것 뿐만 아니라 예를 들어 가황 같은 화학적 변형을 포함할 수 있다.
- [0014] 간행물 [1]의 73 페이지 이하에서는 용융물의 운반 및 압력 증강을 기술한다. 압출기 스크류에서 용융물 운반 대역은 생성물을 한 공정 대역으로부터 다음 대역으로 운송하고 충전제를 끌어들이는 목적에 쓰인다. 용융물 운반 대역은 예를 들어 생성물을 한 공정 대역으로부터 다음 대역으로 운송할 때, 탈기할 때, 및 보유 대역에서 일반적으로 부분 충전된다. 운반에 요구되는 에너지가 소산되어, 중합체 용융물의 온도 증가로 불리하게 나타난다. 따라서, 운반 대역에는 가능한 한 적은 에너지를 소산하는 스크류 요소가 이용되어야 한다. 오직 용융물 운반만을 위해서는, 압출기 내측 직경의 약 1 배의 피치를 갖는 나사산 요소가 통상적이다.
- [0015] 압출기 스크류에서는 압출되는 조성물의 부분 스트림을 공급하는 데 이용되는 제2 기계가 횡방향에서 조립되는 지점에서 특히 큰 운반 용량이 요구된다. 이 지점에서의 요구에 맞게 이상적으로 개조된 기계는 공급된 부분 스트림을 받아야 하는 샤프트의 제2 샤프트에 비해 증가된 운반 용량을 가질 것이다. 그러나, 이것은 종래 기술에 따르는 스크류 프로파일의 경우에는 적용되지 않는다.
- [0016] 트윈-스크류 압출기의 운반 용량은 자유 단면적에 대략 비례한다고 알려져 있다(간행물 [1]의 106 페이지). 그러나, 종래 기술에 따르면, 이 자유 단면적은 개개의 요소 각각에 대해 정해진다.
- [0017] 예를 들어 후방 운반 요소, 혼합 요소, 후방 운반 또는 중립 니딩 블록 같은 압출기 내의 압력 소모 부품의 상류에서 및 예를 들어 다이 플레이트, 압출 다이 및 용융물 필터 같은 압출기 외부의 압력 소모 부품 상류에서, 압출기 내에 배압 대역이 형성되고, 배압 대역에서는 완전 충전된 상태로 운반이 일어나고 압력 소모 부품을 극복하기 위해 압력이 증강되어야 한다. 용융물을 방출하는 데 필요한 압력을 생성하는 압출기의 압력 증강 대역을 방출 대역이라고 부른다. 중합체 용융물에 도입되는 에너지는 압력을 증강하고 용융물을 운반하기 위한 유용 동력 및 소산 동력으로 나뉘고, 소산 동력은 용융물 온도 증가로 불리하게 나타난다. 압력 증강 대역에서는 스크류 플라이트 랜드에 의해 용융물의 강력한 역류가 일어나고, 그 결과로, 증가된 에너지 투입이 일어난다 [1]. 따라서, 압력 증강 대역에는 가능한 한 적은 에너지를 소산하는 스크류 요소가 이용되어야 한다.
- [0018] 종래 기술 [1](예를 들어, 101 페이지 참조)에 따르면, 완전 와이핑 스크류 요소의 기하는 플라이트의 수 Z , 중심선 거리 A 및 외측 반경 RA 의 독립 변수를 명시함으로써 정해진다. 종래 기술에 따르면, 프로파일의 모든 지점이 배럴을 세정하는 영역에서 플라이트 랜드 각은 문제의 과업에 맞게 정하고 조정할 수 있는 변수가 아니고, 플라이트 랜드 영역을 갖는 요소에 대해서는 다음과 같이 얻어진다.
- $$KW0 = \frac{\pi}{Z} - 2 \arccos\left(\frac{A}{2 \cdot RA}\right)$$
- [0019]
- [0020] 여기서, $KW0$ 는 완전 와이핑 프로파일의 플라이트 랜드 각(라디안)이고, π 는 원의 수학적 상수($\pi \approx 3.14159$)이다.
- [0021] 종래 기술 [1]에 따르면, 단단히 맞물리는 쌍의 요소의 두 요소 모두에 대해 플라이트 랜드 각의 합 $SKW0$ 는 반드시 다음과 같다:

$$SKW0 = 2\pi - 4Z \arccos\left(\frac{A}{2 \cdot RA}\right)$$

[0022]

[0023]

스크류 프로파일은 하나 이상의 스크류 플라이트를 갖도록 구성될 수 있다. 오직 1개의 스크류 플라이트를 갖는 공지된 스크류 프로파일은 양호한 운반 용량 및 압력 증강 동안의 강직성을 갖는 것으로 알려져 있다. 그것은 매우 넓은 스크류 플라이트 랜드를 가지고, 좁은 갭을 갖는 스크류 배럴을 세정한다. 당업계 숙련자에게는 좁은 갭 때문에 스크류 플라이트 랜드의 영역에서 용융물에 특히 많은 양의 에너지가 소산되고 이것이 생성물에서 강한 국지적 과열의 경우를 초래한다고 알려져 있다.

[0024]

이것을 예를 들어 간행물 [1]의 160 페이지 이하에서는 공지된 에드먼저(Erdmenger) 스크류 프로파일을 갖는 이중 플라이트 운반 요소에 대해 기술한다. 국지적 과열의 경우는 생성물에서 예를 들어 냄새, 색, 화학 조성 또는 분자량의 변화 같은 손상 발생을 초래할 수 있거나 또는 생성물에서 겔체 또는 반점 같은 불균질성 형성을 초래할 수 있다. 특히, 여기서는 큰 플라이트 랜드 각은 유해하다. 게다가, 많은 공정의 경우에서, 높은 에너지 투입은 트윈-스크류 압출기의 가능한 처리량을 제한하고, 따라서 비용 효과성을 제한한다.

[0025]

따라서, 종래 기술에 따르는 동시 가동 트윈-스크류 압출기에서는 극히 좁은 스크류 플라이트 랜드를 갖는 이중 플라이트 스크류 프로파일이 주로 이용된다. 그러나, 이것은 단일 플라이트 스크류 프로파일보다 압력 증강에 있어서 상당히 덜 효과적이다. 당업계 숙련자에게는 공지의 에드먼저 스크류 프로파일을 갖는 이중 플라이트 운반 요소의 압력 증강 효율이 약 10%인 것으로 알려져 있다(간행물 [1]의 129-146 페이지). 상기한 10%의 효율의 경우에는, 1000 kg/m³의 용융물 밀도 및 2000 J/kg/K의 용융물 열용량, 50 bar의 압력 증가가 25 K의 온도 증가를 초래한다(간행물 [1]의 120 페이지). 이 가열은 생성물에서 예를 들어 냄새, 색, 화학 조성 또는 분자량의 변화 같은 손상 발생 또는 생성물에서 겔체 또는 반점 같은 불균질성 형성을 초래할 수 있다.

[0026]

동방향 회전 트윈-스크류 압출기는 열가소성 중합체의 가공을 위한 확립된 종래 기술이다. 한편, 이들 기계는 예를 들어 고무 같은 강한 점탄성 성질을 갖는 중합체의 가공에는 아직 널리 이용되지 않는다. 점탄성 거동은 특별한 현상 및 문제를 초래한다.

[0027]

탄성 성질은 생성물이 고체와 유사한 방식으로 거동하는 효과를 갖는다. 균질한 용융물 대신, 스크류의 부분 충전 대역에는 부드러운 탄성 입자가 있다. 이들 입자 또는 "크럼"은 낮은 겔보기 밀도를 가지고, 그 결과로, 스크류의 개방 대역에서 스크류 플라이트의 부피가 종종 충분하지 않고, 생성물이 개구(예를 들어, 배기구)를 막는다.

[0028]

탄성 성질은 예를 들어 스크류와 배럴 사이의 갭을 통과한 후 또는 틈새 영역에서 회복이 일어나게 한다(다이어서의 "다이 팽윤" 거동과 유사함). 이것은 부분 충전된 스크류 대역에서 입자의 일부가 크다는 효과를 갖는다. 큰 입자는 휘발 성분의 탈기 같은 확산 공정에 불리하다.

[0029]

회복하는 큰 입자는 스크류의 개방 대역(예를 들어, 탈기 대역)에서 스크류 플라이트로부터 팽윤하는 경향이 있고, 이렇게 함으로써 막힘을 야기한다.

[0030]

탄성 성질은 입자를 스크류 플라이트 내로 또는 갭 내로 끌어들이는 것을 더 어렵게 하여 - 입자가 떠나는 경향이 있다. 그 결과, 스크류의 운반 용량이 감소한다.

[0031]

또한, 입자를 끌어들이는 것이 방해되면 스크류의 부분 충전 대역에서 혼합 효과 및 표면 재생이 감소되고, 그 결과, 예를 들어 압출기에서 탈기 성능이 감소한다.

[0032]

흔히 이용되는 많은 고무의 경우, 점탄성 성질은 높은 점도를 수반하고, 이것은 높은 에너지 소산을 초래할 수 있고, 따라서 물질의 과열 및 열화를 초래할 수 있다.

[0033]

예를 들어, 폴리부타디엔 (BR) 같은 디엔 고무, 천연 고무 (NR) 및 합성 폴리이소프렌 (IR), 부틸 고무 (IIR), 클로로부틸 고무 (CIIR), 브로모부틸 고무 (BIIR), 스티렌-부타디엔 고무 (SBR), 폴리클로로프렌 (CR), 부타디엔-아크릴로니트릴 고무 (NBR), 부분 수소화 부타디엔-아크릴로니트릴 고무 (HNBR) 및 에틸렌-프로필렌-디엔 공중합체 (EPDM)를 압출할 때, 지나치게 높은 온도 때문에 가교에 의한 겔 형성이 일어나고, 이것은 그로부터 제조되는 성분의 기계적 성질의 손상을 초래한다. 클로로- 및 브로모부틸 고무의 경우, 승온은 부식성 기체 염화수소산 또는 브롬화수소산의 제거를 야기할 수 있고, 결국 중합체의 추가 분해를 촉매한다.

[0034]

예를 들어, 황 또는 퍼옥시드 같은 가황제를 함유하는 고무 화합물을 압출할 때, 지나치게 높은 온도 때문에 조기 가황이 일어난다. 이 때문에 이러한 고무 화합물로부터 생성물을 더 이상 제조할 수 없다.

- [0035] 따라서, 점탄성 조성물은 압출기에 특별한 요건을 부과한다.
- [0036] 현재의 트윈-스크류 압출기는 하나의 코어 샤프트에 상이한 공지된 스크류 요소가 연결될 수 있는 모듈형 시스템을 가진다. 이것은 당업계 숙련자가 트윈-스크류 압출기를 각각의 공정 과업에 맞게 개조하는 것을 허용한다. 그러나, 종래 기술로부터 알려진 스크류 요소는 대부분 실제 과업을 위해 최적으로 설계되지 않는다. 오히려, 제조자는 실제 과업과 상관없이 고정된 모듈형 시스템으로부터 스크류 요소(운반, 니딩 및 혼합 요소)를 공급한다.
- [0037] 점탄성 생성물을 더 잘 가공할 수 있기 위해서는 스크류 부품의 개조가 요구된다. 시장에서 흔히 입수가능한 표준 스크류 요소의 경우에는, 모든 공정 과업이 만족스럽게 달성될 수는 없다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0038] 따라서, 종래 기술에 기초할 때, 점탄성 조성물의 효과적이고 효율적인 압출을 가능하게 하는 동방향 회전 트윈-샤프트 또는 멀티-샤프트 기계의 스크류 요소를 제공하는 것이 목적이다. 추구하는 스크류 요소는 스크류 요소가 점탄성 조성물을 압출기 안으로 끌어들이는 방법 면에서 개선되어야 한다. 추구하는 스크류 요소는 압출된 물질에 큰 입자가 생기는 것을 피해야 한다. 추구하는 스크류 요소는 생성물에서 손상을 피하기 위해 압출되는 물질에 가능한 한 적은 에너지를 도입해야 한다. 그러나, 감소된 에너지 투입이 더 낮은 압력 증강을 회생하지 않아야 한다.

과제의 해결 수단

- [0039] 본 발명에 따르면, 이 목적은 독립항에 따르는 스크류 요소에 의해 달성된다. 바람직한 실시양태는 종속항에서 발견할 수 있다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0040] 스크류 요소의 프로파일은 회전축에 수직인 평면에서 단면 프로파일을 의미하는 것으로 이해한다.
- [0041] 외측 스크류 반경 R_4 와 같은 스크류 프로파일의 영역을 플라이트 랜드 영역이라고 부른다.
- [0042] 스크류 프로파일의 회전점을 중심으로 하여 플라이트 랜드 영역의 시작점과 끝점 사이의 각을 플라이트 랜드 각이라고 부른다.
- [0043] 본 발명에 따른 스크류 요소의 프로파일은 독특하게 원호의 배열로 그릴 수 있다.
- [0044] 본 발명에 따른 스크류 요소의 스크류 프로파일은 바람직하게는 n 개의 호의 단면으로 구성된다(여기서, n 은 4보다 큰 정수임).
- [0045] 각 호 j ($j = 1$ 내지 n)의 위치는 상이한 두 점을 명시함으로써 명확하게 정할 수 있다. 한 호의 위치는 편의상 중심점 및 시작점 또는 끝점을 명시함으로써 정한다. 개개의 호 j 의 크기는 반경 R_j , 및 중심점을 기준으로 시작점과 끝점 사이의 각 α_j 에 의해 정하고, 반경 R_j 은 0 이상 샤프트간 중심선 거리 A 이하이고, 각 α_j (단위: 라디안)는 0 이상 2π 이하이고, 여기서, π 는 원의 수학 상수이다($\pi \approx 3.14159$).
- [0046] 또한, 본 발명에 따른 스크류 요소의 프로파일은 하나 이상의 "킹크"(kink)를 가질 수 있다. 편의상, 킹크는 반경 $R = 0$ 인 호처럼 취급한다. "킹크의 크기"는 반경 $R = 0$ 의 호의 대응하는 각에 의해 주어지고, 즉, 킹크에서는 제1 호가 반경 $R = 0$ 의 제2 호의 각 둘레를 회전함으로써 제3 호로 전이된다. 또는, 환언하면, 반경 $R = 0$ 의 제2 호의 중심점에서 제1 호의 접선이 마찬가지로 제2 호의 각에 대응하는 각에서 제2 호의 중심점에서의 제3 호의 접선과 교차한다. 그러나, 제2 호를 고려하면, 모든 인접하는 호(제1 → 제2 → 제3)는 서로 접선 방향으로 합쳐진다. 편의상, 반경 $R = 0$ 의 호는 eps(여기서, eps는 0에 가까워지는 매우 작은 양의 실수임)($\text{eps} \ll 1$, $\text{eps} \rightarrow 0$)와 같은 반경의 호처럼 취급한다.
- [0047] 본 발명에 따른 프로파일의 경우, 호들은 그들의 시작점 및 끝점에서 항상 접선방향에서 서로 합쳐진다.
- [0048] 트윈-스크류 압출기에서, 보어들은 틈새 영역이라고 알려진 곳에서 단면이 겹친다. 알려진 바와 같이, 트윈-샤프트 압출기의 숫자 8 모양 보어의 단면에서 자유 표면적은 다음과 같다:

- [0049] $F_{\text{acht}} = r^2 \cdot (2\pi - gw + \sin(gw))$
- [0050] 여기서, r 은 반경이고, π 는 원의 상수이고, gw 는 배럴 각이고, $gw = 2 \cdot \arccos(A/DE)$ 이다.
- [0051] 한 요소가 가지는 원리적으로 이용가능한 단면적 F_{halb} 은 총면적의 1/2이다:
- [0052] $F_{\text{halb}} = F_{\text{acht}}/2$
- [0053] 생성시키는 스크류 프로파일의 단면이 면적 F_1 을 차지하면, 다음과 같은 자유 단면적 F_1^{frei} 이 남는다.
- [0054] $F_1^{\text{frei}} = F_{\text{halb}} - F_1$
- [0055] 인접하는 생성되는 스크류 프로파일의 자유 단면적 F_2^{frei} 의 경우에는, 대응하게 다음이 적용된다:
- [0056] $F_2^{\text{frei}} = F_{\text{halb}} - F_2$
- [0057] 자유 단면적이 클수록, 압출되는 물질이 이용가능한 자유 부피가 크고, 압출기의 운반 용량이 크다.
- [0058] 본 발명의 대상은 하기 특징의 조합에 의해 구별되는 스크류 요소이다:
- [0059] - 스크류 채널의 자유 부피가 종래 기술에 비해 증가하고, 이것은 개방 배럴의 경우 탈기 성질에 유리한 영향을 미친다. 마찬가지로, 본 발명에 따른 샤프트의 비대칭 스크류 프로파일의 경우에 증가된 운반 용량은 측부 압출기가 커플링된 곳이면 어디서든지 이용될 수 있다.
- [0060] - 1쌍의 요소의 플라이트 랜드 각의 합이 종래 기술로부터 알려진 스크류 요소의 경우보다 작다. 따라서, 본 발명에 따른 스크류 요소는 프로파일의 모든 지점이 배럴을 세정하는 영역이 종래 기술에 비해 더 작다. 이 영역에서는 압출되는 물질에 특히 많은 양의 에너지가 도입되기 때문에, 본 발명에 따른 스크류 요소는 압출되는 물질이 더 적은 기계 및 열 하중을 받게 하고, 이것은 낮은 하중이 처리량을 증가시키는 것을 가능하게 하기 때문에(예를 들어, 간행물 [1]의 60 페이지 참조) 생성물의 품질 및 방법의 비용 효과 둘 모두에 영향을 미친다. 게다가, 플라이트 랜드 각을 감소시킴으로써 야기되는 압력 증강의 회생이 열 하중 감소에 비해 작으므로, 압력 증강에 있어서 더 높은 효율이 달성된다.
- [0061] - 1쌍의 요소의 하나의 프로파일 또는 두 프로파일의 플라이트 랜드 영역은 바람직하게는 테이퍼링 영역으로 알려진 것에 인접하고, 이것은 종래 기술에 비해 긴 테이퍼링 플라이트 랜드 갭을 야기한다. 테이퍼링 영역은 비교적 작은 자유 부피에 의해 특징지어진다. 이 테이퍼링 영역은 점탄성 물질을 가공할 때 큰 입자를 감소시키거나 또는 심지어는 큰 입자를 피하는 효과를 갖는다("다이 팽윤" 효과를 감소시킨다).
- [0062] 언급된 특징은 본 발명에 따른 스크류 요소의 경우 다양한 방법으로 실현될 수 있다. 예를 들어, 한 샤프트에서 개방 스크류 채널에 큰 자유 부피를 실현하는 것이 가능하고, 한편, 인접하는 샤프트에서 테이퍼링 영역이 실현된다. 이러한 스크류 요소는 본 발명의 제1 대상을 형성한다. 또한, 이러한 스크류 요소를 이하에서는 상이한 프로파일의 스크류 요소라고 부른다.
- [0063] 또한, 하나의 샤프트에서 개방 스크류 채널의 큰 자유 부피 및 테이퍼링 영역을 실현하는 것이 가능하다. 이러한 스크류 요소는 본 발명의 제2 대상을 형성한다. 또한, 이러한 스크류 요소는 이하에서는 동일한 프로파일의 스크류 요소라고 부른다.
- [0064] 본 발명에 따른 상이한 프로파일의 스크류 요소로부터, 제3 유형의 스크류 요소를 얻을 수 있고, 이것도 마찬가지로 본 발명의 대상이다. 또한, 이 유형의 스크류 요소를 여기서는 개방 스크류 요소라고 부른다.
- [0065] 이하에서, A 는 두 스크류 요소간 중심선 거리이고, DE 는 스크류 요소의 외측 직경이고, RA 는 스크류 요소의 외측 반경이고, RI 는 스크류 요소의 내측 반경이고, π 는 원의 상수이다.
- [0066] 상이한 프로파일의 스크류 요소
- [0067] 본 발명의 제1 대상은
- [0068] - 인접하는 스크류 요소들이 서로 다른 비대칭 프로파일을 가지고,

- [0069] - 스크류 요소들이 각 경우에서 하나의 플라이트 랜드 영역을 가지고,
- [0070] - 1쌍의 인접하는 스크류 요소의 모든 플라이트 랜드 각의 합 SKW 가 0 초과 $2\pi - 4 \cdot \arccos\left(\frac{A}{DE}\right)$ 미만이고,
- [0071] - 인접하는 스크류 요소들의 자유 단면적 F_1^{frei} 및 F_2^{frei} 의 크기가 서로 상이한 것
- [0072] 을 특징으로 하는, 쌍을 이룬 동방향 회전 스크류 샤프트를 갖는 멀티-샤프트 스크류 기계의 스크류 요소이다.
- [0073] 인접하는 샤프트에 이용되는 본 발명에 따른 상이한 프로파일의 스크류 요소는 상이한 프로파일을 가지고, 즉, 생성시키는 스크류 프로파일 및 생성되는 스크류 프로파일이 서로 다르다.
- [0074] 게다가, 상이한 프로파일의 스크류 요소들의 프로파일은 비대칭이고, 즉, 그들은 거울대칭도 아니고 점대칭도 아니다.
- [0075] 상이한 프로파일의 스크류 요소의 생성되는 스크류 프로파일 및 생성시키는 스크류 프로파일의 모든 플라이트 랜드 각들의 각의 합은 0 초과, $2\pi - 4 \cdot \arccos\left(\frac{A}{DE}\right)$ 미만, 바람직하게는 $0.8 \cdot (2\pi - 4 \cdot \arccos\left(\frac{A}{DE}\right))$ 미만, 특히 바람직하게는 $0.6 \cdot (2\pi - 4 \cdot \arccos\left(\frac{A}{DE}\right))$ 미만, 가장 바람직하게는, $0.4 \cdot (2\pi - 4 \cdot \arccos\left(\frac{A}{DE}\right))$ 미만이다.
- [0076] 따라서, 본 발명에 따른 상이한 프로파일의 스크류 요소 각각은 하나의 플라이트 랜드 영역을 갖는 종래 기술의 스크류 요소에 비해 프로파일의 모든 지점이 배럴을 세정하는 영역이 더 적다. 이 영역에서는 압출되는 물질에 특히 많은 양의 에너지가 도입되기 때문에, 본 발명에 따른 스크류 요소는 압출되는 물질이 더 적은 기계 및 열 하중을 받게 하고, 이것은 낮은 하중이 처리량을 증가시키는 것을 가능하게 하기 때문에(예를 들어, 간행물 [1]의 60 페이지 참조) 생성물의 품질 및 방법의 비용 효과 둘 모두에 영향을 미친다. 게다가, 플라이트 랜드 각을 감소시킴으로써 야기되는 압력 증강의 회생이 열 하중 감소에 비해 작으므로, 압력 증강에 있어서 더 높은 효율이 달성된다.
- [0077] 상이한 프로파일의 스크류 요소의 경우 중심선 거리 A 에 대한 외측 스크류 반경 RA 의 비는 바람직하게는 0.51 내지 0.7 의 범위 내이고, 특히 바람직하게는 0.52 내지 0.66 의 범위 내이고, 가장 특히 바람직하게는 0.57 내지 0.63 의 범위 내이다.
- [0078] 본 발명에 따른 상이한 프로파일의 스크류 요소의 경우, 인접하는 프로파일의 자유 단면적 F_1^{frei} 및 F_2^{frei} 의 크기가 서로 상이하다. 작은 면적에 대한 큰 면적의 비는 바람직하게는 1.2 이상, 특히 1.5 이상, 가장 특히 바람직하게는 2 이상이다.
- [0079] 또한, 본 발명에 따른 스크류 요소는 생성시키는 스크류 프로파일 또는 생성되는 스크류 프로파일의 플라이트 랜드 영역이 한쪽에서 "테이퍼링 영역"이라고 불리는 영역에 인접한다.
- [0080] 테이퍼링 영역은 하나 이상의 원호를 포함하고, 테이퍼링 영역의 호 위에 있는 모든 점은 $(RA+RI)/2$ 내지 RA 인 회전점으로부터의 거리를 가진다. 테이퍼링 영역은 프로파일의 회전점을 중심점으로 하여 90° 초과 각에 걸쳐서 연장된다. 테이퍼링 영역은 바람직하게는 120° 초과 각, 특히 바람직하게는 180° 초과 각에 걸쳐서 연장된다.
- [0081] 플라이트 랜드 영역에 인접하는 테이퍼링 영역은 긴 테이퍼링 플라이트 랜드 갭을 생성하고, 이것은 점탄성 물질을 가공할 때 큰 입자를 감소시키거나 또는 심지어는 큰 입자를 피하는 효과를 가진다("다이 팽윤" 효과를 감소시킨다).
- [0082] 종래 기술에 비해 큰 테이퍼링 영역 때문에 인접하는 스크류 요소의 프로파일에서 개방 스크류 채널에 종래 기술에 비해 큰 자유 부피를 가지게 되고, 이것은 탈기 성질에 유리한 영향을 미친다.
- [0083] 동일한 프로파일의 스크류 요소
- [0084] 본 발명의 제2 대상은
- [0085] - 인접하는 스크류 요소들이 동일한 비대칭 프로파일을 가지고,

- [0086] - 프로파일이 $\pi - 2\arccos\left(\frac{A}{2 \cdot RA}\right)$ 미만의 플라이트 랜드 각을 갖는 하나의 플라이트 랜드 영역을 포함하고,
- [0087] - 프로파일에서, 플라이트 랜드 영역은 한쪽에서 테이퍼링 영역이라고 불리는 영역에 인접함
- [0088] 을 특징으로 하는, 쌍을 이룬 동방향 회전 스크류 샤프트를 갖는 멀티-샤프트 스크류 기계의 스크류 요소이다.
- [0089] 테이퍼링 영역은 하나 이상의 원호를 포함하고, 호 위에 있는 모든 점은 $(RA+RI)/2$ 내지 RA 의 회전점으로부터의 거리를 가진다. 생성시키는 스크류 프로파일 및 생성되는 스크류 프로파일이 동일하기 때문에, 테이퍼링 영역이 인접하는 스크류 요소 둘 모두에 존재한다. 테이퍼링 영역은 프로파일의 회전점을 중심점으로 하여 30° 초과, 바람직하게는 45° 초과, 특히 바람직하게는 90° 초과각에 걸쳐서 연장된다.
- [0090] 플라이트 랜드 영역에 인접하는 테이퍼링 영역은 긴 테이퍼링 플라이트 랜드 갭을 생성하고, 이것은 점탄성 물질을 가공할 때 큰 입자를 감소시키거나 또는 심지어는 큰 입자를 피하는 효과를 가진다("다이 팽윤" 효과를 감소시킨다).
- [0091] 인접하는 샤프트에 이용되는 본 발명에 따른 동일한 프로파일의 스크류 요소는 동일한 프로파일을 가지고, 즉, 생성시키는 스크류 프로파일 및 생성되는 스크류 프로파일이 서로 같다.
- [0092] 종래 기술에 비해 큰 테이퍼링 영역과 함께, 생성시키는 스크류 프로파일 및 생성되는 스크류 프로파일의 동일성 때문에 스크류 요소의 테이퍼링 영역 반대쪽에서 개방 스크류 채널에 종래 기술에 비해 더 큰 자유 부피가 제공되고, 이것은 운반 및 탈기 성질에 유리한 영향을 미친다.
- [0093] 게다가, 동일한 프로파일의 스크류 요소의 프로파일은 비대칭이고, 즉, 그것은 축대칭도 아니고 점대칭도 아니다.
- [0094] 본 발명에 따른 동일한 프로파일의 스크류 요소는 하나의 플라이트 랜드 영역을 가진다.
- [0095] 본 발명에 따른 동일한 프로파일의 스크류 요소는 $\pi - 2\arccos\left(\frac{A}{2 \cdot RA}\right)$ 미만, 바람직하게는 $0.8(\pi - 2\arccos\left(\frac{A}{2 \cdot RA}\right))$ 미만, 특히 바람직하게는 $0.6(\pi - 2\arccos\left(\frac{A}{2 \cdot RA}\right))$ 미만, 가장 특히 바람직하게는, $0.5(\pi - 2\arccos\left(\frac{A}{2 \cdot RA}\right))$ 미만의 플라이트 랜드 각을 가진다.
- [0096] 플라이트 랜드 각 $KWO = \pi - 2\arccos\left(\frac{A}{2 \cdot RA}\right)$ 은 에드먼저 유형의 단일 플라이트 스크류 요소의 플라이트 랜드 각에 대응한다. 따라서, 본 발명에 따른 스크류 요소는 종래 기술에 비해 프로파일의 모든 지점이 배럴을 세정하는 영역이 더 적다. 이 영역에서는 압출되는 물질에 특히 많은 양의 에너지가 도입되기 때문에, 본 발명에 따른 스크류 요소는 압출되는 물질이 더 적은 기계 및 열 하중을 받게 하고, 이것은 낮은 하중이 처리량을 증가시키는 것을 가능하게 하기 때문에(예를 들어, 간행물 [1]의 60 페이지 참조) 생성물의 품질 및 방법의 비용 효과 둘 모두에 영향을 미친다. 게다가, 플라이트 랜드 각을 감소시킴으로써 야기되는 압력 증강의 희생이 열 하중 감소에 비해 작으므로, 압력 증강에 있어서 더 높은 효율이 달성된다.
- [0097] 동일한 프로파일의 스크류 요소의 경우 중심선 거리 A 에 대한 외측 스크류 반경 RA 의 비가 바람직하게는 0.51 내지 0.7의 범위 내이고, 특히 바람직하게는 0.52 내지 0.66의 범위 내이고, 가장 특히 바람직하게는 0.57 내지 0.63의 범위 내이다.
- [0098] 개방 스크류 요소
- [0099] 본 발명의 제3 대상은
- [0100] - 인접하는 스크류 요소들이 서로 다른 프로파일을 가지고,
- [0101] - 하나의 프로파일이 정확히 1개의 플라이트 랜드 영역을 가지고, 인접하는 프로파일이 정확히 2개의 플라이트 랜드 영역을 가지고,
- [0102] - 인접하는 프로파일의 자유 단면적 F_1^{frei} 및 F_2^{frei} 의 크기가 서로 상이함

- [0103] 을 특징으로 하는, 쌍을 이룬 동방향 회전 스크류 샤프트를 갖는 멀티-샤프트 스크류 기계의 스크류 요소이다.
- [0104] 인접하는 샤프트에 이용되는 본 발명에 따른 개방 스크류 요소는 반드시 상이한 프로파일을 가지고, 즉, 생성시키는 스크류 프로파일 및 생성되는 스크류 프로파일이 서로 다르다.
- [0105] 개방 스크류 요소들의 프로파일은 각 경우에서 대칭 또는 비대칭이다. 생성시키는 스크류 프로파일 및 생성되는 스크류 프로파일의 프로파일은 바람직하게는 거울대칭이고, 그들은 바람직하게는 각 경우에서 각 회전축이 놓이는 거울 평면을 가진다.
- [0106] 본 발명에 따른 개방 스크류 요소의 경우, 인접하는 스크류 요소들의 자유 단면적 F_1^{frei} 및 F_2^{frei} 은 크기가 서로 상이하다. 작은 면적에 대한 큰 면적의 비는 바람직하게는 1.2 이상, 특히 1.4 이상, 가장 특히 바람직하게는 1.6 이상이다.
- [0107] 본 발명에 따른 1쌍의 개방 스크류 요소의 한 요소의 프로파일은 정확히 1개의 플라이트 랜드 영역을 가지고, 다른 한 프로파일은 정확히 2개의 플라이트 랜드 영역을 가진다.
- [0108] 본 발명에 따른 개방 스크류 프로파일은 종래 기술에 비해 프로파일의 모든 지점이 배럴을 세정하는 영역이 더 적다. 이 영역에서는 압출되는 물질에 특히 많은 양의 에너지가 도입되기 때문에, 본 발명에 따른 스크류 요소는 압출되는 물질이 더 적은 기계 및 열 하중을 받게 하고, 이것은 낮은 하중이 처리량을 증가시키는 것을 가능하게 하기 때문에(예를 들어, 간행물 [1]의 60 페이지 참조) 생성물의 품질 및 방법의 비용 효과 둘 모두에 영향을 미친다. 게다가, 플라이트 랜드 각을 감소시킴으로써 야기되는 압력 증강의 회생이 열 하중 감소에 비해 작으므로, 압력 증강에 있어서 더 높은 효율이 달성된다.
- [0109] 정확히 1개의 플라이트 랜드 영역을 가지는 본 발명에 따른 1쌍의 요소의 프로파일은 종래 기술에 비해 큰 자유 부피에 의해 특징지어지고, 이것은 탈기 및 운반 성질에 유리한 영향을 미친다.
- [0110] 동일한 프로파일의 스크류 요소의 경우 중심선 거리 A 에 대한 외측 스크류 반경 R_4 의 비가 바람직하게는 0.51 내지 0.7의 범위 내이고, 특히 바람직하게는 0.52 내지 0.66의 범위 내이고, 특히 바람직하게는 0.57 내지 0.63의 범위 내이다.
- [0111] 상이한 프로파일의 스크류 요소, 동일한 프로파일의 스크류 요소 및 개방 스크류 요소
- [0112] 본 발명에 따른 모든 스크류 요소는 운반 요소 또는 니딩 요소 또는 혼합 요소로 형성될 수 있다.
- [0113] 알려진 바와 같이(예를 들어, 간행물 [1]의 227 - 248 페이지 참조), 운반 요소는 스크류 프로파일이 나선 방식으로 연속으로 돌고 축 방향으로 계속된다는 사실에 의해 구별된다. 샤프트의 회전 방향에 의존해서, 운반 요소는 우선행 또는 좌선행 구성을 가진다. 후방 운반 요소는 각각 반대 방향으로 돌아서 얻어진다. 운반 요소의 피치는 바람직하게는 중심선 거리의 0.1 내지 10배의 범위 내이고, 피치는 스크류 프로파일의 완전 회전에 요구되는 축방향 길이를 의미하는 것으로 이해되고, 운반 요소의 축방향 길이는 바람직하게는 스크류 직경의 0.1 내지 10배의 범위 내이다.
- [0114] 알려진 바와 같이(예를 들어, 간행물 [1]의 227 - 248 페이지 참조), 니딩 요소는 스크류 프로파일이 니딩 디스크 형태로 오프셋 방식으로 축방향으로 계속된다는 사실에 의해 구별된다. 니딩 디스크의 배열은 우선행 또는 좌선행 또는 중립형일 수 있다. 니딩 디스크의 축방향 길이는 바람직하게는 중심선 거리의 0.05 내지 10배의 범위 내이다. 인접하는 두 니딩 디스크 사이의 축방향 거리는 바람직하게는 스크류 직경의 0.002 내지 0.1배의 범위 내이다.
- [0115] 알려진 바와 같이(예를 들어, 간행물 [1]의 227 - 248 페이지 참조), 혼합 요소는 운반 요소에 스크류 플라이트 랜드에서 개구를 제공함으로써 형성된다. 혼합 요소는 우선행 또는 좌선행일 수 있다. 그의 피치는 바람직하게는 중심선 거리의 0.1 내지 10배의 범위 내이고, 이 요소의 축방향 길이는 바람직하게는 중심선 거리의 0.1 내지 10배의 범위 내이다. 개구는 바람직하게는 u 모양 또는 v 모양 그루브의 형태를 가지고, 이것은 바람직하게는 운반 방향의 반대 방향으로 또는 축방향으로 평행하게 배열된다.
- [0116] 본 발명에 따른 스크류 요소의 프로파일은 완전 와이핑 프로파일에 기반한다. 당업계 숙련자에게는 완전 와이핑 스크류 프로파일이 트윈-스크류 압출기에서 직접적으로 이용될 수 없다고 알려져 있다. 오히려, 스크류 사이에 간극이 요구된다. 이를 위한 다양한 전략이 간행물 [1]의 28 페이지 이하에서 기술된다. 본 발명에 따른 스크류 요소의 스크류 프로파일의 경우, 스크류 프로파일의 직경에 대해 0.001 내지 0.1의 범위, 바람직하게는 0.002 내지 0.05, 특히 바람직하게는 0.004 내지 0.02의 범위의 간극이 이용될 수 있다. 당업계 숙련자에게 알

려진 바와 같이, 스크류와 베럴 사이 및 스크류와 스크류 사이의 간극은 상이한 크기이거나 또는 동일할 수 있다. 또한, 간극은 일정할 수 있거나 또는 명시된 범위 내에서 변할 수 있다. 또한, 간극 내에서 스크류 프로파일을 변위시키는 것도 가능하다. 가능한 간극 전략은 간행물 [1]의 28 페이지 이하에서 기술된 중심선 거리 증가, 종단면 등거리 및 공간 등거리 가능성이고, 이들은 모두 당업계 숙련자에게 알려져 있다. 중심선 거리를 증가시키는 경우에는, 작은 직경의 스크류 프로파일을 작도하고, 스크류 사이의 간극 양만큼 떨어지게 민다. 종단면 등거리 방법의 경우, 종단면 프로파일 곡선(축에 평행함)을 스크류-스크류 간극의 1/2 만큼 안쪽으로 변위시킨다. 공간 등거리의 경우에는, 스크류 요소들이 서로를 세정하는 공간 곡선부터 시작해서, 완전 와이핑 프로파일의 표면에 수직인 방향에서 스크류-스크류 간극의 1/2 만큼 스크류 요소의 크기를 감소시킨다. 바람직하게는, 종단면 등거리 및 공간 등거리가 이용되고, 특히 바람직하게는 공간 등거리가 이용된다.

- [0117] 본 발명에 따른 스크류 요소의 프로파일은 PCT/EP2009/003549에 기술된 방법 중 하나를 기초로 하여 작도할 수 있다.
- [0118] 상기한 바와 같이, 본 발명에 따른 스크류 요소의 프로파일은 원호로 그릴 수 있다. 따라서, 본 발명에 따른 스크류 요소를 생성하기 위해, 호들이 볼록한 프로파일을 생성하고 각 경우에서 시작점 및 끝점에서 접하도록 하는 방식으로 호들을 합한다.
- [0119] 이 경우, 프로파일은 하나 이상의 "킹크"를 가질 수 있다. 한 킹크에서, 킹크를 반경 0인 호처럼 취급하면(상기 참조), 인접하는 호들은 접한다(상기 참조).
- [0120] 또한, 각 경우에서 생성시키는 스크류 프로파일의 호는 생성되는 스크류 프로파일의 호에 "대응"하고, "대응"은 다음을 의미하는 것으로 이해한다는 것을 고려해야 한다:
- [0121]
 - 대응하는 호들의 각은 동일한 크기를 가지고,
- [0122]
 - 대응하는 호들의 반경의 합은 중심선 거리 A 와 같고,
- [0123]
 - 생성시키는 스크류 프로파일의 한 호의 중심점과 그의 끝점 사이의 연결선들 중 하나는 각 경우에서 생성되는 스크류 프로파일의 대응하는 호의 중심점과 그의 끝점 사이의 연결선들 중 하나와 평행하고,
- [0124]
 - 생성시키는 스크류 프로파일의 한 호의 끝점이 그 호의 중심점으로부터 놓인 방향은 각각 생성되는 스크류 프로파일의 대응하는 호의 끝점이 생성되는 스크류 프로파일의 호의 중심점으로부터 놓인 방향과 반대이고,
- [0125]
 - 생성시키는 스크류 프로파일의 한 호의 중심점은 생성되는 스크류 프로파일의 대응하는 호의 중심점으로부터 중심선 거리에 대응하는 거리에 있고,
- [0126]
 - 생성시키는 스크류 프로파일의 한 호의 중심점과 생성되는 스크류 프로파일의 대응하는 호의 중심점 사이의 연결선은 생성시키는 스크류 프로파일의 회전점과 생성되는 스크류 프로파일의 회전점 사이의 연결선에 평행하고,
- [0127]
 - 생성시키는 스크류 프로파일의 한 호의 중심점이 그것이 생성되는 스크류 프로파일의 대응하는 호의 중심점과 일치하게 하기 위해 변위되어야 하는 방향은 생성시키는 스크류 프로파일의 회전점이 그것이 생성되는 스크류 프로파일의 회전점과 일치하게 하기 위해 변위되어야 하는 방향과 동일하다.
- [0128] 본 발명에 따른 스크류 요소의 프로파일은 그것을 삼각자 및 컴퍼스만으로 작도할 수 있음을 특징으로 한다. 예를 들어, 생성시키는 스크류 프로파일의 j 번째 호와 $(j+1)$ 번째 호 사이의 접선방향 전이는 j 번째 호의 끝점 둘레에 반경 R_{j+1} 의 원을 그리고, 생성시키는 스크류 프로파일의 회전점에 더 가까운, 이 원과 j 번째 호의 중심점 및 끝점에 의해 정의되는 직선의 교차점이 $(j+1)$ 번째 호의 중심점이도록 함으로써 작도한다. 본 발명에 따른 스크류 프로파일을 생성하는 방법을 컴퓨터로 수행하는 것이 권장될 만하다. 그러면, 스크류 요소의 치수는 그들을 대응하는 스크류 요소를 제조하기 위한 CAD 밀링 기계에 전달할 수 있는 형태이다.
- [0129] 일단 그것을 상기 작도 특징을 고려하면서 바람직하게는 컴퓨터로 작도할 때, 본 발명에 따른 스크류 요소는 예를 들어 밀링 기계로 제조할 수 있다. 스크류 요소를 제조하기 위한 바람직한 물질은 강(steel), 특히 질화강, 크롬강, 공구강 및 특수강, 뿐만 아니라 분말야금에 의해 제조되는 철, 니켈 또는 코발트 기반 금속 복합 물질이다.

- [0130] 또한, 본 발명의 대상은 멀티-샤프트 스크류 기계에서의 본 발명에 따른 스크류 요소의 용도이다. 본 발명에 따른 스크류 요소는 바람직하게는 트윈-샤프트 스크류 기계에 이용된다. 멀티-샤프트 스크류 기계에서, 스크류 요소는 니딩 요소, 혼합 요소 또는 운반 요소 형태를 취할 수 있다. 마찬가지로, 하나의 스크류 기계에 니딩 요소, 운반 요소 및 혼합 요소를 서로 조합하는 것도 가능하다. 또한, 본 발명에 따른 스크류 요소는 예를 들어 당업계에 알려진 다른 스크류 요소와 조합될 수 있다.
- [0131] 본 발명에 따른 스크류 요소는 플라스틱 및 점탄성 조성물, 예를 들어 현탁액, 페이스트, 유리, 세라믹 조성물, 용융된 형태의 금속, 플라스틱, 중합체 용융물, 중합체 용액, 엘라스토머 및 고무 조성물의 압출에 적당하다.
- [0132] 플라스틱 조성물은 변형가능한 조성물을 의미하는 것으로 이해한다. 플라스틱 조성물의 예는 중합체 용융물, 특히 열가소성 물질, 뿐만 아니라 엘라스토머, 고체, 액체 또는 기체와 중합체 용융물의 혼합물 또는 중합체 용융물의 분산물이다.
- [0133] 바람직하게는 다음의 일련의 물질로부터의 열가소성 중합체 또는 중합체 혼합물이 이용된다: 폴리카르보네이트, 폴리아미드, 폴리에스테르, 특히, 폴리부틸렌 테레프탈레이트 및 폴리에틸렌 테레프탈레이트, 뿐만 아니라 폴리에테르, 열가소성 폴리우레탄, 폴리아세탈, 플루오로중합체, 특히 폴리비닐리덴 플루오라이드, 뿐만 아니라 폴리에테르 술폰, 폴리올레핀, 특히 폴리에틸렌 및 폴리프로필렌, 뿐만 아니라 폴리이미드, 폴리아크릴레이트, 특히 폴리(메틸)메타크릴레이트, 뿐만 아니라 폴리페닐렌 옥사이드, 폴리페닐렌 술폰, 폴리에테르 케톤, 폴리아릴 에테르 케톤, 스티렌 중합체, 특히 폴리스티렌, 및 스티렌 공중합체, 특히 스티렌-아크릴로니트릴 공중합체 및 아크릴로니트릴-부타디엔-스티렌 블록 공중합체 뿐만 아니라 폴리비닐 클로라이드. 마찬가지로, 열거된 플라스틱의 블렌드도 바람직하게 이용되고, 당업계 숙련자는 이들을 둘 이상의 플라스틱의 조합으로 이해한다.
- [0134] 점탄성 조성물은 시간, 온도 및 주파수 의존 탄성을 가지는 물질 및 혼합물을 의미하는 것으로 이해한다. 점탄성은 부분 탄성 부분 점성 거동에 의해 구별된다. 이 물질은 외부 힘 제거 후 단지 불완전하게 이완하고; 남은 에너지는 흐름 과정(지연) 형태로 소산된다. 점탄성 물질의 예는 스티렌-부타디엔 고무, 천연 고무, 부타디엔 고무, 이소프렌 고무, 에틸렌-프로필렌-디엔 고무, 에틸렌-프로필렌 고무, 부타디엔-아크릴로니트릴 고무, 수소화 니트릴 고무, 부틸 고무, 할로부틸 고무, 클로로프렌 고무, 에틸렌-비닐 아세테이트 고무, 폴리우레탄 고무, 열가소성 폴리우레탄, 구타페르가, 아크릴레이트 고무, 플루오로 고무, 실리콘 고무, 술폰 고무, 클로로술폰-폴리에틸렌 고무이다. 또한, 열거된 고무 중 둘 이상의 조합 또는 하나 이상의 고무와 하나 이상의 플라스틱의 조합도 물론 가능하다.
- [0135] 압출되는 플라스틱 또는 점탄성 중합체는 순수한 형태로 또는 충전제 및 강화 물질, 예컨대 특히 유리 섬유와의 혼합물로, 상호 간의 혼합물 또는 다른 중합체와의 혼합물로 또는 통상의 중합체 첨가제와의 혼합물로 이용될 수 있다.
- [0136] 첨가제는 고체, 액체 또는 용액으로서 중합체와 함께 압출기에 도입될 수 있거나, 또는 그 밖에, 첨가제의 적어도 일부 또는 첨가제 전부가 측류 스트림에 의해 압출기에 공급된다.
- [0137] 첨가제는 중합체에 다양한 성질을 부여할 수 있다. 그것은 예를 들어 착색제, 안료, 가공 조제, 충전제, 향산화제, 강화 물질, UV 흡수제 및 광 안정화제, 금속 불활성화제, 피옥시드 스캐빈저, 염기성 안정제, 핵생성제, 안정화제 또는 항산화제로서 활성인 벤조푸란 및 인돌리논, 금형 이형제, 난연 첨가제, 대전방지제, 염료 제제 및 용융 안정화제일 수 있다. 충전제 및 강화 물질의 예는 탄소 블랙, 유리 섬유, 점토, 운모, 흑연 섬유, 이산화티타늄, 탄소 섬유, 탄소 나노튜브, 이온성 액체 및 천연 섬유이다.
- [0138] 상기한 바와 같이, 본 발명에 따른 스크류 요소는 점탄성 조성물의 압출에 특히 적당하다. 따라서, 또한, 본 발명의 대상은 본 발명에 따른 스크류 요소를 이용하는 트윈-스크류 또는 멀티-샤프트 압출기에서 점탄성 조성물을 압출하는 방법이다.
- [0139] 본 발명을 아래에서 도면을 기초로 하여 예로서 더 상세히 설명하지만, 이것으로 제한되지 않는다. 모든 도면은 컴퓨터 프로그램을 이용해서 생성하였다.
- [0140] 상이한 압출기 크기로의 전이가능성을 더 용이하게 하기 위해 무차원 특성 값을 이용하는 것이 권할만하다. 중심선 거리 A 값은 압출기에서 변할 수 없기 때문에, 중심선 거리 A 는 예를 들어 길이 및 반경 같은 기하학적 변수의 기준값으로 적당하다.
- [0141] 도면에서는 다음 명명법이 이용된다:

- [0142] • 모든 치수는 중심선 거리 A 로 정규화한다. 정규화된 치수는 대문자로 표시한다.
- [0143] • 각은 라디안으로 명시한다.
- [0144] • 생성하는 스크류 요소 및 생성되는 스크류 요소의 프로파일은 원호로 그린다. 각 경우에서 호에는 연속하여 번호를 매기고; 생성하는 프로파일의 호는 숫자 1, 2, 3 등을 지니고, 인접하는 생성되는 프로파일의 호는 숫자 1', 2', 3' 등을 지닌다.
- [0145] • M_x 및 M_y 는 데카르트 좌표계에서 프로파일을 생성하는 원호의 원 중심점의 x 및 y 좌표이고, 그의 원점은 각 스크류 프로파일의 회전점에 위치한다.
- [0146] • R 은 중심선 거리 A 로 정규화된 반경이고, a 는 호의 호각이다.
- [0147] • RA 는 중심선 거리 A 로 정규화된 스크류 요소의 외측 반경이다.
- [0148] 모든 도면은 동일한 구조를 가지고, 이것을 아래에서 기술한다. 생성시키는 스크류 프로파일은 좌측에 스크류 프로파일로 나타낸다. 생성되는 스크류 프로파일은 우측에 스크류 프로파일로 나타낸다. 생성시키는 스크류 프로파일 및 생성되는 스크류 프로파일의 호는 호의 각각의 번호가 제공된 굵은 실선으로 확인된다. 많은 호 때문에 및 도면이 컴퓨터 프로그램에 의해 생성되었다는 사실 때문에, 개개의 호의 번호가 겹치고 따라서 읽기 어려울 수 있다. 개개의 번호를 때로는 읽기 어려움에도 불구하고, 그림에도 불구하고 프로파일의 구조는 본 설명과 함께 전후관계로부터 명료하다. 호의 중심점은 작은 원으로 나타낸다. 호의 중심점은 관련된 호의 시작점 및 끝점 둘 모두에 가는 연속선으로 연결된다. 생성시키는 스크류 프로파일 및 생성되는 스크류 프로파일의 경우 각 경우에서 외측 스크류 반경은 동일 크기이거나, 또는 대략 동일한 크기이다. 외측 스크류 반경은 스크류 배열의 영역에서는 가는 파선으로, 틈새 영역에서는 가는 점선으로 확인된다.
- [0149] 도 1은 본 발명에 따른 상이한 프로파일의 1쌍의 스크류 요소의 단면 프로파일을 나타낸다. 생성하는 프로파일 및 생성되는 프로파일은 각 경우에서 9개의 원호로 이루어진다. 도 1 아래에 각각의 호의 중심점의 좌표, 그의 반경 및 각각의 호의 각이 명시되어 있다. 원호 (1) 및 (1'), (2) 및 (2'), (3) 및 (3') 등은 각각 서로 대응한다.
- [0150] 인접하는 요소들의 프로파일은 상이하다. 프로파일은 대칭이 아니다. 좌측에는 큰 자유 단면적이 있고, 우측에는 호 (5'), (4') 및 (3')에 걸쳐서 연장되는 테이퍼링 영역이 있다.
- [0151] 인접하는 요소들의 자유 단면적은 상이하다. 본 예에는 다음이 적용된다:
- [0152] $F_{\text{halb}} = F_{\text{acht}}/2 = 2531.5$
- [0153] $F_1 = 1482.5$
- [0154] $F_2 = 2010.5$
- [0155] $F_1^{\text{frei}} = 1048.7$
- [0156] $F_2^{\text{frei}} = 521.0$
- [0157] $\frac{F_1^{\text{frei}}}{F_2^{\text{frei}}} = 2.01$
- [0158] 도 2는 본 발명에 따른 동일한 프로파일의 1쌍의 스크류 요소의 단면 프로파일을 나타낸다. 생성하는 프로파일 및 생성되는 프로파일은 각 경우에서 14개의 원호로 이루어진다. 도 2 아래에 각각의 호의 중심점의 좌표, 그의 반경 및 각각의 호의 각이 명시되어 있다. 원호 (1) 및 (1'), (2) 및 (2'), (3) 및 (3') 등은 각각 서로 대응한다.
- [0159] 인접하는 요소들의 프로파일은 동일하다. 프로파일은 대칭이 아니다. 각 프로파일은 큰 테이퍼링 영역(호 (12), (11) 및 (10) 또는 (5') 및 (4') 및 (3'))을 가지고, 그 프로파일의 반대쪽에 큰 자유 단면적을 가진다.
- [0160] 도 3은 본 발명에 따른 1쌍의 개방 스크류 요소의 단면 프로파일을 나타낸다. 생성하는 프로파일 및 생성되는

프로파일은 각 경우에서 10개의 원호로 이루어진다. 도 3 아래에 각각의 호의 중심점의 좌표, 그의 반경 및 각각의 호의 각이 명시되어 있다. 호 (1) 및 (1'), (2) 및 (2'), (3) 및 (3') 등은 각각 서로 대응한다.

[0161] 인접하는 요소들의 프로파일은 상이하다. 프로파일은 각 경우에서 대칭이고, 그것은 거울 평면을 가진다. 좌측의 생성하는 프로파일은 정확히 2개의 플라이트 랜드 영역(호 (3), (4) 및 (5); 호 (7), (8) 및 (9))을 가지고; 우측의 생성되는 프로파일은 정확히 1개의 플라이트 랜드 영역(호 (2'), (1') 및 (10'))을 가진다.

[0162] 인접하는 요소들의 자유 단면적은 상이하다. 본 예에는 다음이 적용된다:

[0163] $F_{\text{halb}} = F_{\text{acht}}/2 = 2531.5$

[0164] $F_1 = 1887.1$

[0165] $F_2 = 1481.1$

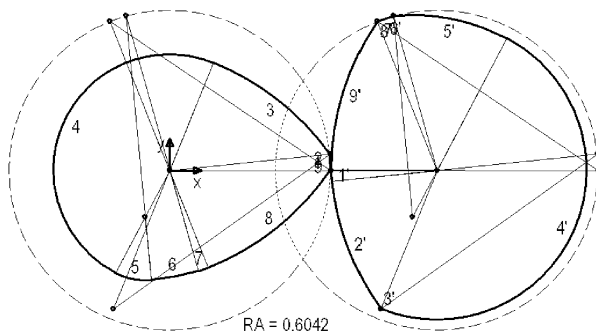
[0166] $F_1^{\text{frei}} = 644.4$

[0167] $F_2^{\text{frei}} = 1050.4$

[0168] $\frac{F_2^{\text{frei}}}{F_1^{\text{frei}}} = 1.63$

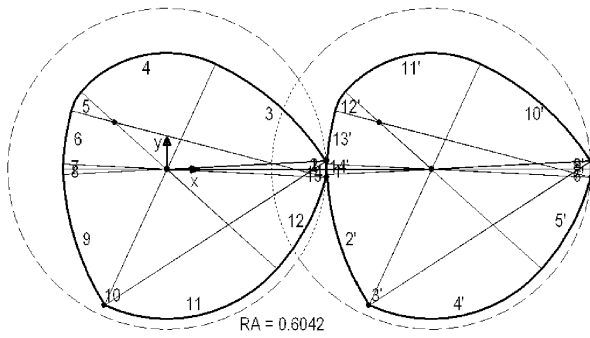
도면

도면1



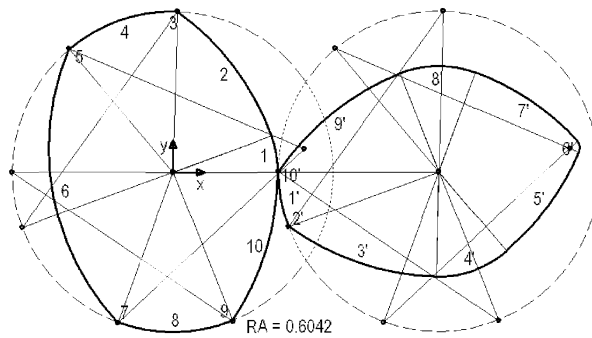
1) R = 0.6042 Mx = 0.0000 α = 0.1047 My = 0.0000	1') R = 0.3958 Mx = 1.0000 α = 0.1047 My = -0.0000
2) R = 0.0000 Mx = 0.6009 α = 0.5200 My = 0.0632	2') R = 1.0000 Mx = 1.6009 α = 0.5200 My = 0.0632
3) R = 1.0000 Mx = -0.2103 α = 0.5630 My = -0.5217	3') R = 0.0000 Mx = 0.7897 α = 0.5630 My = -0.5217
4) R = 0.4375 Mx = 0.0000 α = 3.0424 My = -0.0000	4') R = 0.5625 Mx = 1.0000 α = 3.0424 My = -0.0000
5) R = 0.2399 Mx = -0.0917 α = 0.5768 My = -0.1751	5') R = 0.7601 Mx = 0.9083 α = 0.5768 My = -0.1751
6) R = 1.0000 Mx = -0.1634 α = 0.1794 My = 0.5817	6') R = 0.0000 Mx = 0.8366 α = 0.1794 My = 0.5817
7) R = 0.3958 Mx = 0.0000 α = 0.1047 My = -0.0000	7') R = 0.6042 Mx = 1.0000 α = 0.1047 My = -0.0000
8) R = 1.0000 Mx = -0.2233 α = 0.5960 My = 0.5614	8') R = 0.0000 Mx = 0.7767 α = 0.5960 My = 0.5614
9) R = 0.0000 Mx = 0.6042 α = 0.5960 My = -0.0002	9') R = 1.0000 Mx = 1.6042 α = 0.5960 My = -0.0002

도면2



1) $R = 0.6042$ $M_x = 0.0000$ $\alpha = 0.0524$ $M_y = 0.0000$	1') $R = 0.3958$ $M_x = 1.0000$ $\alpha = 0.0524$ $M_y = -0.0000$
2) $R = 0.0000$ $M_x = 0.6033$ $\alpha = 0.5200$ $M_y = 0.0316$	2') $R = 1.0000$ $M_x = 1.6033$ $\alpha = 0.5200$ $M_y = 0.0316$
3) $R = 1.0000$ $M_x = -0.2373$ $\alpha = 0.5630$ $M_y = -0.5100$	3') $R = 0.0000$ $M_x = 0.7627$ $\alpha = 0.5630$ $M_y = -0.5100$
4) $R = 0.4375$ $M_x = 0.0000$ $\alpha = 1.2765$ $M_y = -0.0000$	4') $R = 0.5625$ $M_x = 1.0000$ $\alpha = 1.2765$ $M_y = -0.0000$
5) $R = 0.1725$ $M_x = -0.1975$ $\alpha = 0.4753$ $M_y = 0.1767$	5') $R = 0.8275$ $M_x = 0.8025$ $\alpha = 0.4753$ $M_y = 0.1767$
6) $R = 1.0000$ $M_x = 0.6033$ $\alpha = 0.2020$ $M_y = -0.0316$	6') $R = 0.0000$ $M_x = 1.6033$ $\alpha = 0.2020$ $M_y = -0.0316$
7) $R = 0.3958$ $M_x = 0.0000$ $\alpha = 0.0525$ $M_y = 0.0001$	7') $R = 0.6042$ $M_x = 1.0000$ $\alpha = 0.0525$ $M_y = 0.0001$
8) $R = 0.3958$ $M_x = 0.0000$ $\alpha = 0.0524$ $M_y = 0.0001$	8') $R = 0.6042$ $M_x = 1.0000$ $\alpha = 0.0524$ $M_y = 0.0001$
9) $R = 1.0000$ $M_x = 0.6033$ $\alpha = 0.5200$ $M_y = 0.0317$	9') $R = 0.0000$ $M_x = 1.6033$ $\alpha = 0.5200$ $M_y = 0.0317$
10) $R = 0.0000$ $M_x = -0.2373$ $\alpha = 0.5630$ $M_y = -0.5099$	10') $R = 1.0000$ $M_x = 0.7627$ $\alpha = 0.5630$ $M_y = -0.5099$
11) $R = 0.5625$ $M_x = 0.0000$ $\alpha = 1.2765$ $M_y = 0.0001$	11') $R = 0.4375$ $M_x = 1.0000$ $\alpha = 1.2765$ $M_y = 0.0001$
12) $R = 0.8275$ $M_x = -0.1975$ $\alpha = 0.4753$ $M_y = 0.1767$	12') $R = 0.1725$ $M_x = 0.8025$ $\alpha = 0.4753$ $M_y = 0.1767$
13) $R = 0.0000$ $M_x = 0.6033$ $\alpha = 0.2020$ $M_y = -0.0316$	13') $R = 1.0000$ $M_x = 1.6033$ $\alpha = 0.2020$ $M_y = -0.0316$
14) $R = 0.6042$ $M_x = 0.0000$ $\alpha = 0.0525$ $M_y = 0.0001$	14') $R = 0.3958$ $M_x = 1.0000$ $\alpha = 0.0525$ $M_y = 0.0001$

도면3



1) $R = 0.3958$ $Mx = 0.0000$ $\alpha = 0.3491$ $My = 0.0000$	1') $R = 0.6042$ $Mx = 1.0000$ $\alpha = 0.3491$ $My = -0.0000$
2) $R = 1.0000$ $Mx = -0.5677$ $\alpha = 0.5960$ $My = -0.2066$	2') $R = 0.0000$ $Mx = 0.4323$ $\alpha = 0.5960$ $My = -0.2066$
3) $R = 0.0000$ $Mx = 0.0180$ $\alpha = 0.5960$ $My = 0.6039$	3') $R = 1.0000$ $Mx = 1.0180$ $\alpha = 0.5960$ $My = 0.6039$
4) $R = 0.6042$ $Mx = -0.0000$ $\alpha = 0.7302$ $My = -0.0000$	4') $R = 0.3958$ $Mx = 1.0000$ $\alpha = 0.7302$ $My = -0.0000$
5) $R = 0.0000$ $Mx = -0.3894$ $\alpha = 0.4681$ $My = 0.4619$	5') $R = 1.0000$ $Mx = 0.6106$ $\alpha = 0.4681$ $My = 0.4619$
6) $R = 0.9583$ $Mx = 0.4924$ $\alpha = 1.1532$ $My = 0.0867$	6') $R = 0.0417$ $Mx = 1.4924$ $\alpha = 1.1532$ $My = 0.0867$
7) $R = 0.0000$ $Mx = -0.2081$ $\alpha = 0.4681$ $My = -0.5672$	7') $R = 1.0000$ $Mx = 0.7919$ $\alpha = 0.4681$ $My = -0.5672$
8) $R = 0.6042$ $Mx = -0.0000$ $\alpha = 0.7302$ $My = 0.0000$	8') $R = 0.3958$ $Mx = 1.0000$ $\alpha = 0.7302$ $My = 0.0000$
9) $R = 0.0000$ $Mx = 0.2232$ $\alpha = 0.5960$ $My = -0.5614$	9') $R = 1.0000$ $Mx = 1.2232$ $\alpha = 0.5960$ $My = -0.5614$
10) $R = 1.0000$ $Mx = -0.6042$ $\alpha = 0.5960$ $My = 0.0002$	10') $R = 0.0000$ $Mx = 0.3958$ $\alpha = 0.5960$ $My = 0.0002$