



República Federativa do Brasil  
Ministério da Economia  
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

**(11) BR 112014018849-1 B1**



**(22) Data do Depósito: 22/01/2013**

**(45) Data de Concessão: 27/10/2020**

**(54) Título:** ROTOR DE MIXAGEM PARA USO EM UM MISTURADOR INTERNO E MISTURADOR INTERNO

**(51) Int.Cl.:** B29B 7/18; B01F 7/08; B01F 15/06; B29B 7/82.

**(30) Prioridade Unionista:** 31/01/2012 JP 2012-018556.

**(73) Titular(es):** KABUSHIKI KAISHA KOBE SEIKO SHO (KOBE STEEL, LTD.).

**(72) Inventor(es):** YUSUKE TANAKA; NORIFUMI YAMADA; YASUAKI YAMANE; MASAOKI UEMURA; KAZUHISA FUKUTANI.

**(86) Pedido PCT:** PCT JP2013000271 de 22/01/2013

**(87) Publicação PCT:** WO 2013/114810 de 08/08/2013

**(85) Data do Início da Fase Nacional:** 30/07/2014

**(57) Resumo:** ROTOR DE MIXAGEM E MISTURADOR INTERNO Um rotor de mixagem inclui: uma porção de eixo de rotor que inclui uma passagem de refrigeração formada no mesmo, e uma porção de pás de mixagem que é formada em uma porção circunferencial externa da porção de eixo de rotor, onde cada uma das pás longas da porção de pás de mixagem inclui uma porção de aresta como uma superfície terminal da pá longa voltada para um exterior radialmente do rotor de mixagem, um comprimento de cada uma das pás longas na direção axial é definido para ser 0,6 vezes (ou mais) maior que um comprimento da porção de pás de mixagem na direção axial, um ângulo cortante de cada uma das pás longas é definido como tendo um ângulo igual ou menor que 31°, e um ângulo central em relação a uma largura de aresta como uma largura da porção de aresta na seção transversal de cada uma das pás longas ortogonal à direção axial é definido como tendo um ângulo igual ou maior que 7°.

**“ROTOR DE MIXAGEM PARA USO EM UM MISTURADOR INTERNO E  
MISTURADOR INTERNO”**

**CAMPO TÉCNICO**

[001] A presente invenção refere-se a um rotor de mixagem e a um misturador interno usado para misturar um material de polímero tal como plástico ou borracha.

**FUNDAMENTOS DA TÉCNICA**

[002] Em um misturador interno da técnica correlata, é utilizado um rotor tangencial (rotor de mixagem) quando existe a necessidade de manter uma grande capacidade de mixagem com a finalidade de melhorar a produtividade do misturador interno para produzir um material misturado (por exemplo, vide Documento de Patente 1). No misturador interno da técnica correlata que utiliza o rotor tangencial, é difícil transmitir energia específica elevada (energia de mixagem por unidade de peso de um material a ser misturado) ao material a ser misturado em um tempo curto. Por esta razão, é usado um método que aumenta o tempo de mixagem com a finalidade de misturar o material a ser misturado como um em um estado misturado desejado.

[003] Contudo, com o método de aumento do tempo de mixagem, a temperatura do material a ser misturado aumenta com a passagem do tempo de mixagem. Por outro lado, existe um limite para temperaturas tal como uma temperatura para evitar a degradação do material a ser misturado e uma temperatura de reação predeterminada para o material a ser misturado. Nestas circunstâncias, para o misturador interno que utiliza o rotor tangencial da técnica correlata, existe frequentemente um caso no qual o número de rotações do rotor necessita ser diminuído após o tempo de mixagem alcançar

determinado tempo com a finalidade de evitar que a temperatura do material a ser misturado exceda a temperatura limite. Como descrito acima, problemas com a técnica correlata incluem o tempo de mixagem estendido e o número diminuído de rotações do rotor. Como resultado, surge um problema devido à produtividade não melhorar devido à influência daqueles.

[004] Conseqüentemente, é também desenvolvido um rotor de mixagem que realiza uma operação de mixagem a baixa temperatura e melhora a qualidade da mixagem, quando comparado ao rotor revelado no Documento de Patente 1, ao exercer criatividade no formato, na disposição ou similar de pás (por exemplo, vide Documento de Patente 2). Contudo, existe oportunidade para melhoramento na produtividade do rotor de mixagem para produção de material misturado.

[005] Especificamente, no misturador tangencial hermeticamente vedado, mesmo quando existe uma tentativa para transmitir energia específica elevada aos materiais a serem misturados em um tempo curto pela diminuição do peso do material de entrada a ser misturado para dentro da câmara de modo a aumentar a quantidade da energia de mixagem transmitida ao material a ser misturado por unidade de peso do material a ser misturado, a energia de mixagem não é facilmente transmitida ao material a ser misturado devido à influência de uma diminuição na taxa de carregamento do material a ser misturado dentro da câmara. Por esta razão, o tempo de mixagem pode não ser substancialmente encurtado, e o peso do material de entrada a ser misturado por lotes diminui. Conseqüentemente, a produtividade do misturador da

técnica correlata para o material misturado não melhora como esperado.

[006] Além disso, em tal misturador interno tangencial, com a finalidade de encurtar o tempo de mixagem pelo aumento rápido da homogeneidade do material a ser misturado dentro da câmara, é também usado um método que aumenta o ângulo de torção de cada pá em relação à linha axial do rotor com a finalidade de produzir o fluxo ativo do material a ser misturado na direção axial do rotor. Contudo, quando o ângulo de torção aumenta, a quantidade do material a ser misturado que flui na direção da superfície posterior da pá sobre a porção superior (também denominada de "porção de ponta" ou "porção de aresta") da pá diminui. Por esta razão, existe um efeito de melhoramento do fluxo do material a ser misturado na direção axial do rotor, mas o efeito é pequeno. Isto é, o fluxo do material a ser misturado na direção axial do rotor não aumenta significativamente. Como resultado, com tal método, o tempo de mixagem não é tão drasticamente melhorado.

#### **LISTA DE CITAÇÕES**

##### **DOCUMENTOS DE PATENTES**

- [007] Documento de Patente 1: JP 58-4567 B  
[008] Documento de Patente 2: JP 2002-11336 A

##### **SUMÁRIO DA INVENÇÃO**

[009] Um objetivo da presente invenção é propiciar um rotor de mixagem e um misturador interno capaz de melhorar a produtividade para um material misturado quando comparado à técnica correlata sem degradar a qualidade de mixagem do material misturado.

[0010] Um rotor de mixagem de acordo com um aspecto da presente invenção é um rotor de mixagem para uso em um

misturador interno, o rotor de mixagem incluindo: uma porção de eixo de rotor que inclui uma passagem de refrigeração formada naquela; e uma porção de pás de mixagem que é formada em uma porção circunferencial externa da porção de eixo de rotor, onde a porção de pás de mixagem inclui uma pá curta de um comprimento predeterminado em uma direção axial da porção de eixo de rotor, e ao menos duas pás longas de comprimentos maiores que o comprimento da pá curta na direção axial, cada uma das pás longas incluindo uma porção de aresta como uma superfície terminal da pá longa voltada para um exterior radialmente do rotor de mixagem, o comprimento de cada uma das pás longas na direção axial é definido para ser 0,6 vezes ou mais maior que um comprimento da porção de pás de mixagem na direção axial, um ângulo cortante de cada uma das pás longas é definido como tendo um ângulo igual ou menor que  $31^{\circ}$ , e um ângulo central em relação a uma largura de aresta como uma largura da porção de aresta em uma seção transversal de cada uma das pás longas ortogonal à direção axial é definido como tendo um ângulo igual ou maior que  $7^{\circ}$ .

[0011] Um misturador interno de acordo com outro aspecto da presente invenção inclui: um par de rotores de mixagem de acordo com um aspecto; e uma câmara que acomoda o par de rotores de mixagem naquela embora as trajetórias descritas por porções radialmente mais externas dos rotores de mixagem não se interceptem entre si durante rotação do par de rotores de mixagem.

#### **BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS**

[0012] A Fig. 1 é uma vista frontal em seção transversal que ilustra um misturador interno equipado com um rotor de mixagem de acordo com uma modalidade da presente invenção.

[0013] A Fig. 2 é um diagrama explanatório que ilustra o rotor de mixagem de acordo com a modalidade da presente invenção.

[0014] A Fig. 3 é um diagrama de desenvolvimento em torno de um centro axial de uma porção de pá de mixagem de cada rotor de mixagem ilustrado na Fig. 2.

[0015] A Fig. 4 é uma vista em seção transversal que ilustra uma seção transversal ortogonal à direção axial do rotor de mixagem de uma porção munida de pás longas na porção de pás de mixagem do rotor de mixagem ilustrado na Fig. 2.

[0016] A Fig. 5 é um gráfico que ilustra uma relação entre um ângulo central de aresta e um montante de vazamento de um material a ser misturado em relação à superfície posterior da pá.

[0017] A Fig. 6 é um gráfico que ilustra uma relação entre um valor  $\Delta G'$  e um tempo de mixagem.

[0018] A Fig. 7 é um gráfico que ilustra uma relação entre um valor CV e um tempo de mixagem.

[0019] A Fig. 8 é um diagrama que resume os formatos dos rotores de mixagem capazes de transmitir energia específica elevada ao material a ser misturado enquanto evitando um aumento excessivo na temperatura do material a ser misturado e obtendo maior produtividade em relação a dois parâmetros de um ângulo central de aresta e de um ângulo cortante em comparação com a técnica correlata.

#### **DESCRIÇÃO DE MODALIDADES**

[0020] Doravante, serão descritas modalidades da presente invenção por referência aos desenhos.

[0021] Um misturador interno de acordo com a modalidade da presente invenção ilustrado na Fig. 1 é também denominado

"misturador em lotes". A Fig. 1 ilustra esquematicamente um rotor de mixagem de acordo com as modalidades. Além disso, o rotor de mixagem e o misturador interno de acordo com as modalidades são adequados para misturar borracha com uma composição que provoca reação em uma operação de mixagem e são particularmente adequados para misturar borracha com um elevado teor de sílica.

**(Configuração do misturador interno)**

[0022] Como ilustrado na Fig. 1, um misturador interno 1 inclui uma câmara 3 que inclui uma câmara de mixagem 2 na mesma, um par de rotores de mixagem esquerdo e direito 4 e 5, um cilindro de alimentação de material 7 munido de um alimentador 6, e um peso flutuante 8.

[0023] A câmara de mixagem 2 é formada de modo a ter uma seção longitudinal em forma de sobancelha. A câmara 3 inclui uma porção de abertura superior formada em uma sua porção superior. Um espaço dentro da porção de abertura superior comunica-se com a câmara de mixagem 2. Os dois rotores de mixagem esquerdo e direito 4 e 5 estão inseridos dentro da câmara de mixagem 2 de modo que os rotores de mixagem 4 e 5 giram em torno dos seus eixos geométricos. Os dois rotores de mixagem 4 e 5 são formados simetricamente. O cilindro de alimentação de material 7 é formado verticalmente sobre a porção de abertura superior da câmara 3. O peso flutuante 8 está acomodado dentro do cilindro de alimentação de material 7 de modo a mover-se para cima e para baixo.

[0024] Um cilindro de pressão de ar 9 está conectado a uma porção superior do cilindro de alimentação de material 7. Alternativamente, um cilindro de pressão de fluido que utiliza uma pressão de um fluido diferente do ar pode ser

conectado à porção superior do cilindro de alimentação de material 7 ao invés de ao cilindro de pressão de ar 9. Um pistão 10 está acomodado dentro do cilindro de pressão de ar 9, e o pistão 10 está conectado ao peso flutuante 8 por meio de uma haste de pistão 11. A haste de pistão 11 penetra em uma tampa inferior do cilindro de pressão de ar 9 de modo a manter hermeticidade dentro do cilindro de pressão de ar 9. Com tal configuração, quando um espaço superior dentro do cilindro de pressão de ar 9 é pressurizado de modo a mover o pistão 10 para baixo, o peso flutuante 8 pode ser movido para baixo. Consequentemente, o movimento para baixo do peso flutuante 8 permite que o material a ser misturado que é alimentado a partir do alimentador 6 para dentro do cilindro de alimentação de material 7 seja pressionado para dentro da câmara 3.

[0025] Entretanto, uma porção inferior da câmara 3 é munida de uma abertura de descarga, e esta abertura de descarga é fechada por uma porta de descida 12. Um acionador rotativo aciona a porta de descida 12 para ser operável para abrir e fechar a abertura de descarga. Quando a porta de descida 12 que fecha a abertura de descarga é operada de modo a abrir a abertura de descarga, o material misturado (o material a ser misturado completado com a operação de mixagem) que é misturado durante um tempo predeterminado dentro da câmara de mixagem 2 pode ser descarregado para o exterior do misturador interno 1.

[0026] O misturador interno 1 é um misturador do tipo sem-acoplamento no qual os dois rotores de mixagem esquerdo e direito 4 e 5 não se acoplam entre si. Isto é, uma distância de centro axial S (doravante, "distância de centro axial de

rotor S") entre os dois rotores de mixagem 4 e 5 do misturador interno 1 é maior que um diâmetro externo de rotação  $D_r$  (vide Fig. 4) de cada um dos rotores de mixagem 4 e 5. Em outras palavras, as trajetórias rotativas que são representadas por porções radialmente mais externas dos rotores de mixagem 4 e 5 não se interceptam entre si durante a rotação dos dois rotores de mixagem 4 e 5.

**(Rotor de mixagem da primeira modalidade)**

[0027] Com referência às Figs. 1 a 4, serão descritos os rotores de mixagem 4 e 5 de acordo com uma primeira modalidade da presente invenção. A Fig. 2 é uma vista superior para ilustrar o rotor de mixagem 4.

[0028] Cada um dos rotores 4 e 5 inclui uma porção de eixo de rotor 20 que inclui uma passagem de refrigeração 22 formada naquela e uma porção de pás de mixagem 21 que é formada em uma porção circunferencial externa da porção de eixo do rotor 20. A porção de pás de mixagem 21 de cada um dos rotores de mixagem 4 e 5 tem um comprimento predeterminado  $L$  em uma direção axial  $Z$  (doravante, direção axial de rotor  $Z$ ") do rotor de mixagem 4 ou 5. Juntas rotativas que são usadas para fornecer um meio de refrigeração às passagens de refrigeração 22 formadas nos rotores de mixagem 4 e 5 e para descarregar o meio de refrigeração das passagens de refrigeração 22 estão conectadas aos rotores de mixagem 4 e 5, respectivamente. Cada uma das passagens de refrigeração 22 é um orifício fundo redondo com uma seção transversal circular. A passagem de refrigeração 22 de cada um dos rotores de mixagem 4 e 5 é propiciada de modo a estar localizada em uma porção central da porção de eixo do rotor 20 quando o rotor de mixagem 4 ou

5 é visto a partir da direção axial do rotor Z. Além disso, é preferível que a passagem de refrigeração 22 de cada um dos rotores de mixagem 4 e 5 seja formada em ao menos uma faixa a partir de uma extremidade da porção de pás de mixagem 21 até a outra de suas extremidades na direção axial do rotor Z como ilustrado nesta modalidade em uma vista plana do rotor de mixagem 4 ou 5. Por exemplo, a água é fornecida como um meio de refrigeração à passagem de refrigeração 22. A água fornecida à passagem de refrigeração 22 flui para dentro da passagem de refrigeração 22 e em seguida flui para fora desta. O fluxo do meio de refrigeração tal como a água dentro da passagem de refrigeração 22 pode impedir um aumento na temperatura da porção de pás de mixagem 21. Como resultado, é possível evitar a ocorrência de um estado de um aumento excessivo de temperatura que provoque degradação no material a ser misturado que faz contato com a porção de pás de mixagem 21.

[0029] Os dois rotores de mixagem 4 e 5 estão adaptados para girar em direções opostas de modo que porções voltadas uma para a outra dos rotores de mixagem 4 e 5 possam mover-se para baixo (vide Fig. 1). A porção de pás de mixagem 21 de cada um dos rotores de mixagem 4 e 5 inclui uma pluralidade de pás de mixagem 13 a 16. Uma abertura (uma folga das pontas) é formada entre cada uma das pás de mixagem 13 a 16 e uma superfície de parede interna (uma superfície periférica interna) de uma porção que acomoda o rotor de mixagem 4 ou 5 propiciada com as pás de mixagem 13 a 16 na câmara 3, e uma força de cisalhamento é aplicada ao material a ser misturado que atravessa a abertura durante a rotação dos rotores de mixagem 4 e 5. Cada uma das pás de mixagem 13 a

16 tem um formato espiralado em torno do centro axial do rotor de mixagem 4 ou 5 fornecido com aquelas pás de mixagem 13 a 16. Devido aos formatos das pás de mixagem 13 a 16, o material a ser misturado é pressionado para um lado na direção axial do rotor Z durante a rotação dos rotores de mixagem 4 e 5 e, portanto, o fluxo do material a ser misturado é gerado na direção axial do rotor Z. Além disso, o material a ser misturado move-se entre os dois rotores de mixagem 4 e 5 posicionado a uma distância predeterminada mantida entre eles durante a rotação daqueles rotores de mixagem 4 e 5. As pás de mixagem 13 a 16 incluem porções superiores de pás de mixagem (também denominadas "porções de pontas" ou "porções de arestas") 13a a 16a, respectivamente, que são superfícies terminais frontais das pás de mixagem 13 a 16 voltadas radialmente para fora do rotor de mixagem 4 ou 5 munido das pás de mixagem 13 a 16. Especificamente, a folga de ponta indica a abertura entre cada uma das porções superiores de pás de mixagem 13a a 16a das pás de mixagem 13 a 16 e a superfície da parede interior (a superfície periférica interna) da porção que acomoda o rotor de mixagem 4 ou 5 munido das pás de mixagem 13 a 16 na câmara 3.

[0030] Observe-se que o misturador e o rotor de mixagem que têm cada um uma configuração na qual as trajetórias representadas pelas porções radialmente mais externas dos rotores de mixagem durante a rotação dos dois rotores de mixagem não se interceptam entre si, isto é, a distância de centro axial de rotor S é maior que o diâmetro externo de rotação do rotor Dr do rotor de mixagem, são denominados de "misturador tangencial" e "rotor de mixagem tangencial", respectivamente.

[0031] A Fig. 3 ilustra um diagrama de desenvolvimento em torno do centro axial da porção de pás de mixagem 21 de cada um dos rotores de mixagem 4 e 5. Como ilustrado na Fig. 3, as pás de mixagem 13 a 16 dos rotores de mixagem 4 e 5 desta modalidade estão posicionadas de modo a serem simétricas ponto a ponto entre si em relação a um ponto O da Fig. 3. Conseqüentemente, na descrição abaixo, será descrita uma estrutura de um rotor de mixagem 4 que representa ambos os rotores de mixagem 4 e 5.

[0032] Como ilustrado nas Figs. 2 e 3, a porção de pás de mixagem 21 do rotor de mixagem 4 inclui as quatro pás de mixagem 13 a 16. As quatro pás de mixagem 13 a 16 incluem a primeira pá longa 13, a segunda pá longa 14, a primeira pá curta 15, e a segunda pá curta 16. A porção de pás de mixagem 21 indica toda a porção onde as pás de mixagem 13 a 16 são formadas, do rotor de mixagem 4. Em geral, um comprimento da pá curta na direção axial do rotor é 0,5 vezes ou menos tão grande quanto um comprimento da porção da pá de mixagem na direção axial do rotor. Além disso, geralmente, um comprimento da pá longa na direção axial do rotor é maior que o comprimento da pá curta na direção axial do rotor, e o comprimento na direção axial do rotor é 0,5 vezes ou mais tão grande quanto o comprimento da porção da pá de mixagem na direção axial do rotor.

**(Primeira pá longa)**

[0033] Nesta modalidade, a primeira pá longa 13 é formada em uma área a partir de uma extremidade da porção de pás de mixagem 21 na direção axial de rotor Z até uma porção intermediária da porção de pás de mixagem 21 na direção axial de rotor Z. Além disso, a primeira pá longa é formada em um

formato no qual um formato de desenvolvimento da primeira pá longa 13 seja um formato linear quando a porção de pás de mixagem 21 é desenvolvida em um estado plano em torno do seu centro axial. Nesta modalidade, a primeira pá longa 13 é formada em um formato espiralado a um ângulo de torção de  $60^\circ$  em relação à linha axial de rotor do rotor de mixagem 4 (linha axial da porção de eixo do rotor 20) de modo que o material a ser misturado flua na direção de um centro da porção de pás de mixagem 21 na direção axial de rotor Z pela primeira pá longa 13 durante a rotação do rotor de mixagem 4. Isto é, a primeira pá longa 13 tem um ângulo de torção de  $60^\circ$  em relação à direção axial de rotor Z do rotor de mixagem 4 munido da primeira pá longa 13. Observe-se que o ângulo de torção da pá indica o ângulo formado entre a pá e a linha axial de rotor no formato de desenvolvimento obtido quando a porção de pás de mixagem é desenvolvida em um estado plano em relação ao centro axial. Quando o ângulo de torção da primeira pá longa 13 for menor que  $40^\circ$ , o fluxo do material a ser misturado na direção axial de rotor Z torna-se pequeno e, portanto, aumenta o tempo de mixagem necessário para melhorar a homogeneidade do material misturado. Por esta razão, é preferível que o ângulo de torção da primeira pá longa em relação à direção axial de rotor Z seja fixado como um ângulo de  $40^\circ$  ou mais. O mesmo se aplica às outras pás a serem descritas mais adiante.

[0034] É mais preferível que o ângulo de torção da primeira pá longa em relação à direção axial de rotor Z seja igual ou maior que  $50^\circ$  e igual ou menor que  $65^\circ$ . O mesmo se aplica às outras pás a serem descritas mais adiante. Se o ângulo de torção da pá for igual ou maior que  $50^\circ$ , é possível

reduzir o montante de vazamento do material a ser misturado (a ser descrito mais adiante em detalhe) provocado pelo estabelecimento de um ângulo central de aresta para, por exemplo, um ângulo igual ou maior que  $7^\circ$  e para ainda ativar o fluxo do material a ser misturado na direção axial de rotor Z. Como resultado, a homogeneidade do material a ser misturado dentro da câmara 3 pode ser melhorada em um tempo mais curto. Contudo, se o ângulo de torção da pá exceder  $65^\circ$ , surge facilmente outro problema, o de que o material a ser misturado não pode ser facilmente inserido dentro da câmara 3 (a câmara de mixagem 2) em um período inicial de mixagem. Por esta razão, é preferível que o ângulo de torção da pá seja igual ou menor que  $65^\circ$ .

[0035] Como descrito acima, o comprimento da pá longa na direção axial de rotor é geralmente fixado para ser 0,5 vezes ou mais tão grande quanto o comprimento da porção de pá de mixagem na direção axial de rotor. Contudo, com a finalidade de ativar o fluxo do material a ser misturado na direção axial de rotor Z, é preferível que o comprimento  $L_w$  da primeira pá longa 13 na direção axial de rotor Z seja fixado para ser 0,6 vezes ou mais tão grande quanto o comprimento  $L$  da porção de pás de mixagem 21 na direção axial de rotor Z. O mesmo se aplica à segunda pá longa a ser descrita abaixo. Nesta modalidade, o comprimento  $L_w$  da primeira pá longa 13 na direção axial de rotor Z é fixado para ser 0,7 vezes tão grande quanto o comprimento  $L$  da porção de pás de mixagem 21 na direção axial de rotor Z. Se o comprimento da pá longa  $L_w$  na direção axial de rotor Z for fixado para ser 0,6 vezes ou mais tão grande quanto o comprimento  $L$  da porção de pás de mixagem 21 na mesma direção, é possível melhorar

a taxa de carregamento do material a ser misturado dentro da câmara 3 (a câmara de mixagem 2). Como resultado, é possível obter um efeito de que energia específica elevada possa ser transmitida facilmente ao material a ser misturado em um tempo curto.

**<Ângulo cortante>**

[0036] A Fig. 4 ilustra uma seção transversal ortogonal à direção axial de rotor Z da porção munida das pás longas 13 e 14 na porção de pás de mixagem 21 do rotor de mixagem 4. Um ângulo cortante  $\theta_1$  da primeira pá longa 13 ilustrada na Fig. 4 é fixado em  $15^\circ$ . Se a trajetória representada pela porção de aresta 13a (a porção superior da pá de mixagem) da primeira pá longa 13 durante a rotação do rotor de mixagem 4 for representada por um círculo C, e um ponto de uma porção de fronteira entre a porção de aresta 13a da primeira pá longa 13 e uma superfície de ação 13b da primeira pá longa 13 sobre o círculo C for representado por um ponto A, então um ângulo formado entre uma linha tangencial do círculo C no ponto A e uma linha tangencial da superfície de ação 13b no ponto A corresponde ao "ângulo cortante  $\theta_1$ ". Observe-se que a superfície de ação 13b é a superfície virada para o lado frontal da primeira pá longa 13 em uma direção de rotação r do rotor de mixagem 4.

[0037] O ângulo cortante  $\theta_1$  da primeira pá longa 13 é preferivelmente fixado como um ângulo igual ou menor que  $31^\circ$ , mais preferivelmente um ângulo igual ou maior que  $10^\circ$  e igual ou menor que  $21^\circ$ . O mesmo se aplica às outras pás a serem descritas mais adiante. Se o ângulo cortante  $\theta_1$  da pá longa for maior que  $31^\circ$ , uma área superficial da superfície de ação 13b diminui. Como resultado, a temperatura do material a ser

misturado pode facilmente aumentar excessivamente. Pelo contrário, se o número de rotações do rotor for aumentado com a finalidade de impedir um aumento excessivo da temperatura do material a ser misturado, o tempo de mixagem do material a ser misturado aumenta e, portanto, a produtividade para produzir o material misturado degrada-se. Conseqüentemente, é preferível que o ângulo cortante  $\theta_1$  da pá longa seja igual ou menor que  $31^\circ$ . Contudo, se o ângulo cortante  $\theta_1$  da pá longa for menor que  $10^\circ$ , o fluxo do material a ser misturado na direção axial de rotor Z pode facilmente tornar-se lento. Como resultado, o tempo de mixagem necessário para melhorar a homogeneidade do material misturado possivelmente aumenta. Por esta razão, é preferível que o ângulo cortante  $\theta_1$  da pá longa seja fixado como um ângulo igual ou maior que  $10^\circ$ .

[0038] Além disso, em um caso onde o ângulo cortante  $\theta_1$  é igual ou menor que  $21^\circ$ , um desempenho de refrigeração do material a ser misturado pode ser mais melhorado mesmo se o ângulo central de aresta  $\theta_2$  (a ser descrito mais tarde em detalhe) for fixado como qualquer ângulo em uma faixa desde  $7^\circ$  a  $40^\circ$  (vide Fig. 8). Se o desempenho de refrigeração do material a ser misturado for melhorado, o número de rotações do rotor pode ser aumentado e, portanto, a produtividade do material misturado pode ser mais melhorada. Observe-se que um limite superior do ângulo cortante  $\theta_1$  é aproximadamente  $54^\circ$  do ponto de vista da estrutura do rotor de mixagem.

#### **<Ângulo central em relação à largura de aresta>**

[0039] É preferível que o ângulo central  $\theta_2$  em relação a uma largura de aresta W da pá longa seja fixado em um ângulo igual ou maior que  $7^\circ$ . O mesmo se aplica às outras pás a

serem descritas mais adiante. Nesta modalidade, o ângulo central em relação à largura de aresta W da primeira pá longa 13 é  $30^\circ$ . Observe-se que a largura de aresta W é uma largura da porção de aresta 13a em uma seção transversal da porção de aresta 13a ortogonal à direção axial de rotor Z da porção de aresta 13a, e indica um comprimento ao longo do arco circular de uma porção de arco circular da porção de aresta 13a paralela à superfície da parede interna da câmara 3. A largura de aresta W é ilustrada nas Figs. 3 e 4. Além disso, o ângulo central  $\theta_2$  (doravante, "ângulo central de aresta  $\theta_2$ ") em relação à largura de aresta W indica um ângulo formado entre uma linha que conecta uma extremidade (o ponto A) da porção de aresta 13a na seção transversal ortogonal à direção axial de rotor Z ao centro O do círculo C (centro de rotação (centro axial) do rotor de mixagem 4) e uma linha que conecta a outra extremidade (um ponto B) da porção de aresta 13a na mesma seção transversal ao centro O do círculo C (centro de rotação (centro axial) do rotor de mixagem 4). Observe-se que o ponto B corresponde a um ponto da fronteira entre a porção de aresta 13a e uma superfície posterior da pá 13c da primeira pá longa 13. A superfície posterior da pá 13c é uma superfície oposta à superfície de ação 13b da primeira pá longa 13, isto é, a superfície da primeira pá longa 13 voltada para um lado posterior na direção de rotação r do rotor de mixagem 4.

[0040] Uma vez que o ângulo central de aresta  $\theta_2$  da primeira pá longa 13 (pá longa) é igual ou maior que  $7^\circ$ , um montante do material a ser misturado que atravessa a folga de ponta, isto é, o montante (o montante de vazamento) do material a ser misturado que flui para a superfície posterior

da pá 13c da primeira pá longa sobre a porção de aresta 13a pode ser diminuído quando comparado com uma pá longa comum do rotor tangencial da técnica correlata que mistura o material a ser misturado fazendo com que o material a ser misturado atravessasse ativamente a folga de ponta, para ser específico, a pá longa tendo um ângulo central de aresta de aproximadamente 2° a 3°. Contudo, isto aplica-se a um caso onde a folga de ponta entre as pás longas como os alvos de comparação é a mesma. Como descrito acima, uma vez que o montante do material a ser misturado que atravessa a folga de ponta diminui, o fluxo do material a ser misturado na direção axial de rotor Z é ativado, e o montante de aquecimento do material a ser misturado provocado pela passagem do material a ser misturado através da folga de ponta pode ser suprimido. Além disso, uma capacidade de mixagem dentro da câmara 3 (dentro da câmara de mixagem 2) diminui quando comparada à técnica correlata. Conseqüentemente, a taxa de carregamento do material a ser carregado dentro da câmara 3 (dentro da câmara de mixagem 2) aumenta e, portanto, energia específica elevada pode ser facilmente transmitida para o material a ser misturado em um tempo curto.

[0041] Observe-se que, se o ângulo central de aresta  $\theta_2$  for maior que 40°, então pode não ser esperado melhoramento adicional no efeito de redução do montante de vazamento do material a ser misturado, e a capacidade de mixagem dentro da câmara 3 diminui relativamente. Por esta razão, é preferível que o ângulo central de aresta  $\theta_2$  seja igual ou menor que 40°. O mesmo se aplica às outras pás a serem descritas mais adiante.

[0042] Além disso, uma dimensão da folga de ponta como a abertura entre a porção de aresta 13a da primeira pá longa 13 (pá longa) e a porção voltada para a porção de aresta 13a na superfície de parede interna da câmara 3 é ajustada para ter uma razão igual ou maior que 0,005 e igual ou menor que 0,05 de um diâmetro interno da porção que acomoda o rotor de mixagem 4 munido da primeira pá longa 13 na câmara 13. O mesmo se aplica às outras pás a serem descritas mais adiante. Observe-se que a razão é denominada de "razão de folga de ponta". Uma vez que a razão de folga de ponta é ajustada para ser igual ou maior que 0,005 e igual ou menor que 0,05, o montante de vazamento do material a ser misturado pode ser reduzido e, portanto, o fluxo do material a ser misturado na direção axial de rotor Z é ativado.

[0043] Além disso, em um caso de ao menos as pás longas 13 e 14 dentre aquelas do rotor de mixagem, uma altura da porção de aresta (porção superior de aresta) é fixada para ser uniforme desde uma extremidade da pá até a outra extremidade da pá de modo que a dimensão da folga de ponta se torne uniforme desde uma extremidade da pá até a outra de suas extremidades na direção axial de rotor. A altura da porção de aresta é uma distância desde o centro axial do rotor de mixagem até a porção de aresta, e corresponde a, por exemplo, uma distância linear entre o centro O e o ponto A na Fig. 4. Se a razão da folga de ponta cair dentro de uma faixa de 0,005 a 0,05, a altura da porção de aresta (porção superior da pá) pode ser mudada entre uma extremidade da pá até a outra de suas extremidades. Neste caso, porções diferentes da porção mais alta da porção de aresta podem ser

formadas para ter uma superfície plana ao invés da superfície de arco circular.

**(Segunda pá longa)**

[0044] Nesta modalidade, um formato de desenvolvimento, uma largura de aresta, um ângulo de torção, um comprimento, um ângulo cortante, e um ângulo central de aresta da segunda pá longa 14 são iguais àqueles da primeira pá longa 13, respectivamente. Apenas a disposição da segunda pá longa 14 é diferente da disposição da primeira pá longa 13. Especificamente, a segunda pá longa 14 está posicionada na parte posterior da primeira pá longa 13 na direção de rotação do rotor r. Mais especificamente, a segunda pá longa 14 está posicionada na parte posterior da primeira pá longa 13 na direção de rotação do rotor r de modo a ter uma diferença de fase de 180° da primeira pá longa 13 em relação a uma fase de rotação do rotor de mixagem.

[0045] Além disso, se o rotor de mixagem for munido de apenas uma pá longa, então a capacidade de mixagem dentro da câmara 3 aumenta e, portanto, energia específica elevada não pode ser transmitida para o material a ser misturado em um tempo curto. Por esta razão, o rotor de mixagem necessita incluir ao menos duas pás longas.

**(Primeira pá curta)**

[0046] Nesta modalidade, a primeira pá curta 15 é formada em uma área desde a outra extremidade (oposta à extremidade na qual a primeira pá longa 13 é formada) da porção de pás de mixagem 21 na direção axial de rotor Z até uma porção intermediária da porção de pás de mixagem 21 na direção axial de rotor Z. Além disso, a primeira pá curta 15 é formada em um formato no qual o formato de desenvolvimento da primeira

pá curta 15 é um formato linear quando a porção de pás de mixagem 21 é desenvolvida em um formato plano em torno do seu centro axial. Especificamente, a primeira pá curta 15 é formada em um formato espiralado com um ângulo de torção de  $50^\circ$  em relação à linha axial de rotor (a direção axial de rotor Z) de modo que o material a ser misturado flua na direção do centro da primeira pá curta 15 na direção axial de rotor Z pela primeira pá curta 15 durante a rotação do rotor de mixagem 4. Isto é, a primeira pá curta 15 tem um formato espiralado com uma torção em uma direção oposta àquela da pá longa.

[0047] É preferível que o comprimento da primeira pá curta 15 na direção axial de rotor Z seja menor que os comprimentos das pás longas 13 e 14 na mesma direção. Por exemplo, é preferível que o comprimento da primeira pá curta 15 na direção axial de rotor Z seja 0,4 vezes ou menos tão grande quanto o comprimento L da porção de pás de mixagem 21 na mesma direção. Nesta modalidade, o comprimento da primeira pá curta 15 na direção axial de rotor Z é 0,3 vezes tão grande quanto o comprimento L da porção de pás de mixagem 21 na direção axial de rotor Z. Além disso, é preferível que cada uma das soma do comprimento da primeira pá longa 13 na direção axial de rotor Z e do comprimento da primeira pá curta 15 na direção axial de rotor Z e da soma do comprimento da segunda pá longa 14 na direção axial de rotor Z e do comprimento da segunda pá curta 16 na direção axial de rotor Z seja igual ao comprimento L da porção de pás de mixagem 21 na direção axial de rotor Z.

[0048] Além disso, um ponto de partida da primeira pá curta 15, isto é, uma borda frontal da primeira pá curta 15

na direção de rotação do rotor r está localizado na parte posterior de um ponto de partida da primeira pá longa 13, isto é, uma borda frontal da primeira pá longa 13 na direção de rotação do rotor r. Além disso, uma largura de aresta, um ângulo cortante, e um ângulo central de aresta da primeira pá curta 15 desta modalidade são os mesmos que aqueles da primeira pá longa 13, respectivamente.

**(Segunda pá curta)**

[0049] Nesta modalidade, um formato de desenvolvimento, uma largura de aresta, um ângulo de torção, um comprimento, um ângulo cortante, e um ângulo central de aresta da segunda pá curta 16 são iguais àqueles da primeira pá curta 15, respectivamente. Apenas a disposição da segunda pá curta 16 é diferente da disposição da primeira pá curta 15. Especificamente, a segunda pá curta 16 está posicionada na parte posterior da primeira pá curta 15 na direção de rotação do rotor r. Mais especificamente, a segunda pá curta 16 está posicionada na parte posterior da primeira pá curta 15 na direção de rotação do rotor r de modo a ter uma diferença de fase de  $180^\circ$  da primeira pá curta 15 em relação à fase de rotação do rotor de mixagem.

**(Operação (método de mixagem de material) de misturador interno)**

[0050] Com referência à Fig. 1, será descrita uma operação realizada pelo misturador interno 1. Primeiro, o peso flutuante 8 é separado da câmara 3 de modo a abrir a porção de abertura superior da câmara 3 enquanto a porta de descida 12 é trazida para contato estreito com a câmara 3. Em seguida, o material a ser misturado é carregado para dentro da câmara 3 (para dentro da câmara de mixagem 2) através

desta porção de abertura superior e do espaço dentro do cilindro de alimentação de material 7, e o peso flutuante 8 é trazido para contato estreito com a câmara 3 de modo que o material a ser misturado seja prensado dentro da câmara 3 (dentro da câmara de mixagem 2).

[0051] Em seguida, os rotores de mixagem 4 e 5 iniciam rotação em direções opostas, de modo que os rotores de mixagem 4 e 5 misturem o material a ser misturado. Quando o material a ser misturado for misturado em um estado misturado desejado, a porta de descida 12 é separada da câmara 3 de modo que o material misturado (material completamente misturado) dentro da câmara de mixagem 3 seja descarregado a partir da abertura de descarga na porção inferior da câmara 3 para fora do misturador.

[0052] No misturador interno tangencial da técnica correlata, é dada atenção à aplicação ativa de uma força de cisalhamento ao material a ser misturado e à mixagem (mixagem dispersiva) do material a ser misturado pela passagem do material a ser misturado pela folga de ponta. Contudo, isso causa problemas. A presente invenção resulta do fato do presente inventor ter dado atenção aos problemas e realizado exames repetidos para os problemas. Especificamente, o presente inventor constatou o conhecimento a seguir. É possível transmitir energia específica elevada ao material a ser misturado em um tempo curto mesmo se a força de cisalhamento igual à força de cisalhamento da técnica correlata não for aplicada ao material a ser misturado de modo a misturar ativamente o material a ser misturado desde que a capacidade de mixagem dentro da câmara seja limitada a uma capacidade menor que aquela da técnica correlata e o

montante de passagem (montante de vazamento) pelo qual o material a ser misturado atravessa a folga de ponta seja reduzido. Como resultado, a capacidade de dispersão do material a ser misturado não se degrada. O presente inventor constatou o conhecimento a seguir. A mixagem de dispersão do material a ser misturado é realizada para melhorar a uniformidade na mixagem do material a ser misturado, e o material a ser misturado pode ser eventualmente misturado completamente em um tempo curto desde que a capacidade de mixagem dentro da câmara seja limitada à capacidade menor que aquela da técnica correlata e o montante de passagem (o montante de vazamento) pelo qual o material a ser misturado atravessa a folga de ponta seja reduzido. O presente inventor alcançou as conclusões a seguir com base nestes conhecimentos. É possível impedir a degradação do material a ser misturado devido ao aumento excessivo na sua temperatura, e compensar a degradação da produtividade para produzir o material misturado por lotes pelo encurtamento do tempo de mixagem desde que a capacidade dentro da câmara seja limitada à capacidade menor que aquela da técnica correlata e o montante de passagem pelo qual o material a ser misturado atravessa a folga de ponta seja reduzido. O presente inventor obteve a presente invenção com base nesta conclusão. Isto é, de acordo com o rotor de mixagem da presente invenção e o misturador interno que inclui o rotor de mixagem, a produtividade para produção do material misturado pode ser melhorado sem degradação da qualidade de mixagem do material misturado.

**(Rotor de mixagem de segunda modalidade)**

[0053] Em seguida, será descrito um rotor de mixagem de acordo com uma segunda modalidade da presente invenção. O rotor de mixagem de acordo com a segunda modalidade difere do rotor de mixagem de acordo com a primeira modalidade em uma magnitude do ângulo central de aresta (largura de aresta  $W$ ). O rotor de mixagem de acordo com a segunda modalidade é configurado de modo similar àquele de acordo com a primeira modalidade nas outras configurações. Os ângulos centrais de aresta das pás do rotor de mixagem de acordo com a segunda modalidade são todos fixados em  $15^\circ$ .

**(Resultado de cálculo de montante de vazamento de material a ser misturado para superfície posterior de pá)**

[0054] O montante de vazamento do material a ser misturado para a superfície posterior de pá é calculado pela mudança do ângulo central de aresta. O resultado de cálculo é ilustrado na Fig. 5. No gráfico da Fig. 5, o eixo geométrico vertical indica o montante de vazamento (%), e este montante de vazamento é representado pela percentagem com o montante de vazamento em um caso do ângulo central de aresta de  $2^\circ$  da técnica correlata considerada como 100%. Como compreendido a partir da Fig. 5, se o ângulo central de aresta for igual ou maior que  $7^\circ$ , o montante de vazamento pode ser suprimido por aproximadamente  $1/3$  ou menos do montante de vazamento da técnica correlata. Por outro lado, é compreendido a partir da Fig. 5 que, mesmo se o ângulo central de aresta for maior que  $40^\circ$ , o melhoramento adicional no efeito de supressão do montante de vazamento pode não ser esperado.

**(Resultado de teste 1)**

[0055] O misturador interno que inclui os rotores de mixagem de acordo com cada uma das modalidades e o misturador

interno que inclui os rotores de mixagem de acordo com um exemplo comparativo foram operados nas mesmas condições e foi realizado um teste de investigação da diferença em desempenho. Neste teste, foram usados materiais a ser misturados que tinham individualmente um elevado teor de sílica. Especificamente, o teste foi realizado em cada um de uma pluralidade de materiais a serem misturados contendo sílica com diferentes valores de PHR de 70 a 90. Observe-se que o PHR (Partes por cem de borracha) indica as partes em peso de diversos agentes de combinação com o peso de borracha sendo considerado como 100. A Tabela 1 abaixo mostra teores de combinação do material a ser misturado contendo sílica que foi combinado de modo a ter um PHR de 80 dentre a pluralidade de tipos de materiais a serem misturados.

**[Tabela 1]**

Item	PHR
SBR (SOLUÇÃO DE POLIMERIZAÇÃO DE BORRACHA DE ESTIRENO BUTADIENO) DE ÓLEO ESTENDIDO	96
BR (BORRACHA DE BUTADIENO)	30
SÍLICA	80
ÓXIDO DE ZINCO	3
ÁCIDO ESTEÁRICO	2
CERA	1
ANTIOXIDANTE	1,5
AGENTE DE LIGAÇÃO	6,4
ÓLEO DE AROMA ALTERNATIVO	15

\*) A combinação acima descrita é uma combinação modelo com um elevado teor de sílica.

[0056] Como o rotor de mixagem de acordo com o exemplo comparativo e o misturador interno de acordo com o exemplo comparativo, foram usados o rotor de mixagem (4) que inclui uma pá não-linear e três pás lineares como pás de mixagem como revelado em JP 2002-11336 A e o misturador em lotes (1)

(misturador interno) que inclui o rotor de mixagem (4), respectivamente. Além disso, a operação de mixagem que utiliza o misturador interno de acordo com as modalidades e a operação de mixagem que utiliza o misturador interno de acordo com o exemplo comparativo foram realizadas nas mesmas condições (configurações) exceto para a configuração das pás de mixagem. O tamanho dos rotores de mixagem (o misturador interno) foi também o mesmo entre as modalidades e o exemplo comparativo. O diâmetro interno da câmara foi também o mesmo entre as modalidades e o exemplo comparativo.

[0057] A Fig. 6 ilustra um resultado de teste. Na Fig. 6, uma linha cheia ilustra o resultado de teste em um caso de utilização dos rotores de mixagem de acordo com a primeira modalidade, uma linha tracejada ilustra o resultado de teste em um caso de utilização dos rotores de mixagem de acordo com a segunda modalidade, e uma linha traço-ponto ilustra o resultado de teste em um caso de utilização dos rotores de mixagem de acordo com o exemplo comparativo. Na Fig. 6, um eixo geométrico vertical do gráfico indica um valor  $\Delta G'$ , e um eixo geométrico horizontal do gráfico indica o tempo de mixagem.

[0058] O valor  $\Delta G'$  indica uma diferença entre um módulo elástico de armazenamento em um estado de pequena deformação/distorção obtido a partir das propriedades viscoelásticas de composição de borracha não-vulcanizada, e serve como um índice (aqui, índice para avaliação da dispersão de sílica no material misturado) para determinação da qualidade do material misturado. Significa que a qualidade do material misturado é maior se o valor de  $\Delta G'$  for menor.

[0059] Além disso, o resultado ilustrado na Fig. 6 foi obtido pela medição da dependência da tensão do módulo elástico de armazenamento  $G'$  do material misturado desde o estado de pequena deformação/distorção no qual o módulo elástico de armazenamento foi 0,56% até o estado de grande deformação/distorção no qual o módulo elástico de armazenamento foi 60% por um RPA (Analisador de Processamento de Borracha) 2000 fabricado por Alpha Technologies Co. nas condições nas quais a temperatura do material misturado durante a medição do valor  $\Delta G'$  foi 100° C e a frequência de ocorrência da tensão do material misturado foi 0,5 Hz.

[0060] Como compreendido a partir da Fig. 6, se forem usados os rotores de mixagem de acordo com as, primeira e segunda modalidades, a qualidade do material misturado melhora substancialmente quando comparado ao caso de utilização dos rotores de mixagem de acordo com a técnica correlata.

**(Resultado de teste 2)**

[0061] Um agente de ligação de silano é misturado no material a ser misturado no qual sílica é combinada de modo a acoplar sílica com borracha. Na operação de mixagem do material a ser misturado, o agente de ligação de silano reage com a sílica, por exemplo, quando a temperatura do material a ser misturado está em uma faixa de 140° C a 160° C. Conseqüentemente, com a finalidade de satisfatoriamente provocar a reação, existe a necessidade de misturar suficientemente o material a ser misturado de modo que a sílica e o agente de ligação de silano sejam uniformemente misturados entre si enquanto a temperatura do

material a ser misturado é mantida na faixa de 140° C a 160° C. Portanto, foi realizado o seguinte teste de mixagem com a finalidade de avaliar a uniformidade na operação de mixagem do material a ser misturado.

[0062] Neste teste de mixagem, foi investigada uma mudança em um valor CV de um elemento predeterminado contido no material a ser misturado em cada um dos casos de mixagem do material a ser misturado pela montagem de modelos tridimensionais em escala dos rotores de mixagem de acordo com a primeira modalidade, dos rotores de mixagem de acordo com a segunda modalidade, e dos rotores de mixagem de acordo com o exemplo comparativo em um dispositivo de teste no qual os diâmetros internos das porções esquerda e direita de uma câmara que acomoda na mesma os dois rotores de mixagem eram iguais entre si. No teste de mixagem, um material estimulante preparado pela adição de 0,4% de contas de vidro a 30% de uma solução de CMC (carboximetil celulose) foi usado como o material a ser misturado. As contas de vidro no material estimulante corresponderam ao elemento predeterminado. Além disso, mesmo no teste de mixagem, todas as condições foram as mesmas entre a primeira modalidade, a segunda modalidade, e o exemplo comparativo exceto que as pás de mixagem diferiam em configuração.

[0063] A Fig. 7 ilustra o resultado do teste tridimensional (teste de mixagem). Na Fig. 7, uma linha cheia indica o resultado de teste no caso de utilização dos rotores de mixagem de acordo com a primeira modalidade, uma linha tracejada indica o resultado de teste no caso de utilização dos rotores de mixagem de acordo com a segunda modalidade, e uma linha traço-ponto indica o resultado de teste no caso

de utilização dos rotores de mixagem de acordo com o exemplo comparativo. Na Fig. 7, um eixo geométrico vertical do gráfico indica o valor CV, e um eixo geométrico horizontal do gráfico indica o tempo de mixagem.

[0064] O valor CV indica um valor que corresponde a um índice de avaliação que indica a uniformidade do elemento, isto é, um grau de dispersão do elemento no material a ser misturado. Significa que a dispersão do elemento no material a ser misturado continua se o valor CV diminui. Em outras palavras, significa que a mixagem do material a ser misturado é realizada e a qualidade do material misturado é boa. O valor CV pode ser obtido pela Equação (1) a seguir.

$$CV = \rho/M \dots (1)$$

[0065] Na Equação (1), M indica uma fração média do elemento predeterminado (contas de vidro) no material a ser misturado acomodado na câmara. A fração média M pode ser obtida como abaixo. Uma quantidade predeterminada do material a ser misturado é amostrada a partir de cada uma das nove posições de um material em lotes a ser misturado que é misturado dentro da câmara, o número de contas incluídas no material a ser misturado em cada posição de amostragem é medido, uma fração das contas no material a ser medido em cada posição de amostragem é calculada com base no número de contas medidas, e a fração média das contas no material a ser misturado em cada posição de amostragem é calculada a partir das contas no material a ser misturado em cada posição de amostragem. Além disso, na Equação (1),  $\rho$  indica o desvio padrão da fração do elemento predeterminado (contas de vidro) no material a ser misturado acomodado dentro da câmara.

[0066] A partir do resultado das Figs. 6 e 7, é compreendido que qualquer uma das capacidades de dispersão e uniformidade do material a ser misturado é melhorada quando comparada ao caso da utilização dos rotores de mixagem de acordo com o exemplo comparativo (técnica correlata) quando os rotores de mixagem das primeira e segunda modalidades são usadas. Além disso, a comparação do tempo de mixagem de cada caso mostra que, se os rotores de mixagem de acordo com as primeira e segunda modalidades forem usados, o material misturado que tem as mesmas capacidade de dispersão e uniformidade poderia ser obtido em um tempo menor quando comparado ao caso da utilização dos rotores de mixagem de acordo com o exemplo comparativo (técnica correlata). Isto é, é compreendido que a produtividade também melhorou se os rotores de mixagem de acordo com as, primeira e segunda modalidades forem usados.

**(Ângulo central de aresta e ângulo cortante)**

[0067] A Fig. 8 é um diagrama que resume os formatos dos rotores de mixagem capazes de transmitir energia específica elevada ao material a ser misturado enquanto impedindo um aumento excessivo na temperatura do material a ser misturado e obtendo maior produtividade em relação a dois parâmetros do ângulo central de aresta e do ângulo cortante em comparação com a técnica correlata.

[0068] Neste caso, se um índice de produtividade  $P$  como um índice que indica a produtividade do misturador interno que utiliza os rotores de mixagem para o material misturado for obtido de acordo com a Equação (2) a seguir e os valores do ângulo cortante e do ângulo central de aresta de cada pá forem determinados de modo que o índice de produtividade  $P$

seja fixado tão grande quanto "1", a produtividade do misturador interno para o material misturado melhora quando comparado à técnica correlata. Além disso, se um índice de energia E como um índice que indica a amplitude da energia específica transmitida ao material a ser misturado pelos rotores de mixagem quando o material a ser misturado é misturado pelos rotores de mixagem de acordo com a Equação (3) a seguir e os valores do ângulo cortante e do ângulo central de aresta de cada pá forem determinados de modo que o índice de energia E seja fixado tão grande quanto "1", mais energia específica que aquela da técnica correlata pode ser transmitida ao material a ser misturado. Além disso, se um índice de desempenho de refrigeração C como um índice que indica um desempenho de refrigeração para o material a ser misturado quando o material a ser misturado é misturado pelos rotores de mixagem de acordo com a Equação (4) a seguir e os valores do ângulo cortante e do ângulo central de aresta de cada pá forem determinados de modo que o índice de desempenho de refrigeração C seja tão pequeno quanto "1", o efeito de prevenção do aumento excessivo na temperatura do material a ser misturado pode ser melhorado quando comparado à técnica correlata.

$$P = 0,9227 + 0,006x + 0,0042y - 0,0001x^2 + 0,0002xy - 0,0002y^2 \dots (2)$$

$$E = 1,6453 - 0,0342x + 0,033y + 0,0003x^2 - 7,8444 \times 10^{-18}xy - 3,1099 \times 10^{-5}y^2 \dots (3)$$

$$C = 0,6304 + 0,0108x + 0,0092y + 3,6995 \times 10^{-5}x^2 - 2,8554 \times 10^{-5}xy - 0,0002y^2 \dots (4)$$

[0069] Nas Equações (2) a (4), x indica o ângulo cortante (°) da pá, e y indica o ângulo central de aresta (°) da pá.

[0070] Uma linha cheia da Fig. 8 indica uma linha que passa por pontos que indicam o ângulo cortante e o ângulo central de aresta em um caso onde o índice de produtividade  $P$  obtido de acordo com a Equação (2) é "1". Além disso, uma linha traço-ponto da Fig. 8 indica uma linha que passa pelos pontos que indicam o ângulo cortante e o ângulo central de aresta da pá quando o índice de energia  $E$  obtido de acordo com a Equação (3) é "1". Uma linha tracejada da Fig. 8 indica uma linha que passa pelos pontos que indicam o ângulo cortante e o ângulo central de aresta da pá quando o índice de desempenho de refrigeração  $C$  obtido de acordo com a Equação (4) é "1".

[0071] Observe-se que a técnica correlata como o alvo de comparação corresponde ao rotor de mixagem (4) e ao misturador em lotes (1) que utiliza o rotor de mixagem (4) revelados em JP 2002-11336 A.

[0072] Uma vez que o ângulo cortante e o ângulo central de aresta de cada pá são fixados de modo que o índice de produtividade  $P$ , o índice de energia  $E$ , e o índice de desempenho de refrigeração  $C$  obtidos pelas Equações (2), (3), e (4) satisfazem as condições acima descritas ( $P > 1$ ,  $E > 1$ , e  $C < 1$ ), é possível simplesmente obter o formato do rotor de mixagem capaz de transmitir maior energia específica ao material a ser misturado enquanto evitando o aumento excessivo na temperatura do material a ser misturado e obtendo maior produtividade quando comparada ao rotor de mixagem (4) da técnica correlata revelado em JP 2002-11336 A quando as outras condições que podem não ser desejavelmente mudadas ficam iguais. Além disso, uma área hachurada na Fig. 8 indica uma área na qual o índice de produtividade  $P$ , o

índice de energia  $E$ , e o índice de desempenho de refrigeração  $C$  satisfazem todos as condições acima descritas ( $P > 1$ ,  $E > 1$ , e  $C < 1$ ) e na qual o montante de vazamento do material a ser misturado é  $1/3$  ou menos do montante de vazamento da técnica correlata.

[0073] Embora as modalidades da presente invenção tenham sido descritas, a presente invenção não é limitada às modalidades acima descritas, e diversas modificações podem ser feitas dentro do âmbito das reivindicações.

[0074] Por exemplo, embora os formatos de desenvolvimento, as larguras de arestas, os ângulos de torção, os comprimentos, os ângulos cortantes, e os ângulos centrais de arestas da primeira pá longa e da segunda pá longa sejam substancialmente iguais entre si nas modalidades acima descritas, a presente invenção não é limitada aos mesmos. Além disso, embora as larguras de arestas, os ângulos cortantes, e os ângulos centrais de arestas das pás longas e das pás curtas sejam iguais entre si nas modalidades acima descritas, a presente invenção não é limitada aos mesmos.

[0075] Além disso, embora as pás de mixagem dos dois rotores de mixagem de acordo com as modalidades acima descritas sejam substancialmente formadas no mesmo formato, as pás de mixagem dos dois rotores de mixagem podem ter substancialmente formatos diferentes. Além disso, as pás de mixagem de acordo com as modalidades acima descritas são formadas de modo que os formatos de desenvolvimento das pás de mixagem sejam lineares quando a porção de pá de mixagem é desenvolvida em um formato plano ao redor do centro axial. Mais ainda, os formatos de desenvolvimento das pás de mixagem

(as pás longas e/ou as pás curtas) de acordo com a presente invenção possam ser não-lineares.

**[Esboço de modalidades]**

[0076] As modalidades acima descritas podem ser resumidas como abaixo.

[0077] O rotor de mixagem de acordo com as modalidades é um rotor de mixagem para uso em um misturador interno, o rotor de mixagem incluindo uma porção de eixo de rotor que inclui uma passagem de refrigeração formada naquela; e uma porção de pás de mixagem que é formada na porção circunferencial externa da porção de eixo de rotor, onde a porção de pás de mixagem inclui uma pá curta de um comprimento predeterminado na direção axial da porção de eixo de rotor, e ao menos duas pás longas de comprimentos maiores que o comprimento da pá curta na direção axial, cada uma das pás longas incluindo uma porção de aresta como uma superfície terminal da pá longa voltada para o exterior radialmente do rotor de mixagem, o comprimento de cada uma das pás longas na direção axial sendo fixado para ser 0,6 vezes ou mais tão grande quanto o comprimento da porção da pá de mixagem na direção axial, um ângulo cortante de cada uma das pás longas sendo fixado em um ângulo igual ou menor que  $31^\circ$ , e um ângulo central em relação a uma largura de aresta como uma largura da porção de aresta na seção transversal de cada uma das pás longas ortogonal à direção axial sendo fixado em um ângulo igual ou maior que  $7^\circ$ .

[0078] No rotor de mixagem, cada uma das pás longas pode incluir uma superfície de ação que corresponde a uma superfície da pá longa voltada para o lado frontal do rotor de mixagem na direção de rotação da pá longa, e uma porção

de fronteira que é formada pela porção de aresta e pela superfície de ação. Preferivelmente, a porção de aresta pode descrever uma trajetória circular durante rotação do rotor de mixagem na seção transversal de cada uma das pás longas ortogonal à direção axial, e o ângulo cortante de cada uma das pás longas pode ter um ângulo entre uma linha tangencial da trajetória circular na porção de fronteira e a linha tangencial da superfície de ação na porção de fronteira na seção transversal de cada uma das pás longas ortogonal à direção axial.

[0079] No rotor de mixagem, é preferível que o ângulo central em relação à largura de aresta de cada uma das pás longas possa ser fixado como um ângulo igual ou menor que  $40^\circ$ .

[0080] No rotor de mixagem, é preferível que o ângulo cortante de cada uma das pás longas possa ser fixado como um ângulo igual ou maior que  $10^\circ$  e igual ou menor que  $21^\circ$ .

[0081] No rotor de mixagem, é preferível que o ângulo de torção de cada uma das pás longas possa ser fixado como um ângulo igual ou maior que  $40^\circ$  em relação a uma linha axial da porção de eixo de rotor. Neste caso, é mais preferível que o ângulo de torção de cada uma das pás longas possa ser fixado como um ângulo igual ou maior que  $50^\circ$  e igual ou menor que  $65^\circ$ .

[0082] No rotor de mixagem, é preferível que se um índice de produtividade como um índice que indica a produtividade do misturador interno para produção de um material misturado pela utilização do rotor de mixagem for representado por P, um índice de energia como um índice que indica uma amplitude de energia transmitida a um material a ser misturado pelo

rotor de mixagem quando o material a ser misturado é misturado pelo rotor de mixagem for representado por E, o ângulo cortante for representado por x, e o ângulo central em relação à largura de aresta for representado por y, o ângulo cortante x e o ângulo central y podem ser fixados de modo a satisfazer uma condição de que o índice de produtividade P obtido pela Equação (1) a seguir e o índice de energia E obtido pela Equação (2) a seguir tenham ambos valores maiores que 1.

$$P = 0,9227 + 0,006x + 0,0042y - 0,0001x^2 + 0,0002xy - 0,0002y^2 \dots \text{Equação (1)}$$

$$E = 1,6453 - 0,0342x + 0,033y + 0,0003x^2 - 7,8444 \times 10^{-18}xy - 3,1099 \times 10^{-5}y^2 \dots \text{Equação (2)}$$

[0083] Neste caso é preferível que se um índice de desempenho de refrigeração como um índice que indica um desempenho de refrigeração para o material a ser misturado quando o material a ser misturado é misturado pelo rotor de mixagem for representado por C, o ângulo cortante x e o ângulo central y podem ser fixados de modo a satisfazer uma condição de que o índice de desempenho de refrigeração C obtido pela Equação (3) a seguir tenha um valor maior que 1.

$$C = 0,6304 + 0,0108x + 0,0092y + 3,6995 \times 10^{-5}x^2 - 2,8554 \times 10^{-5}xy - 0,0002y^2 \dots \text{Equação (3)}$$

[0084] O misturador interno de acordo com as modalidades inclui: dois rotores de mixagem; e uma câmara que acomoda os dois rotores de mixagem naquela embora as trajetórias descritas pelas porções radialmente mais externas dos rotores de mixagem não se interceptem entre si durante rotação dos dois rotores de mixagem.

[0085] No misturador interno, é preferível que seja formada uma abertura entre a porção de aresta de cada uma das pás longas de cada um dos rotores de mixagem e uma superfície de parede interna de uma porção que acomoda os rotores de mixagem na câmara, e que a dimensão da abertura em relação a cada um dos rotores de mixagem possa ser fixada de modo a ter uma razão igual ou maior que 0,005 e igual ou menor que 0,05 para um diâmetro interno da porção que acomoda os rotores de mixagem na câmara.

**REIVINDICAÇÕES**

1. Rotor de mixagem (4; 5) para uso em um misturador interno, o rotor de mixagem compreendendo:

uma porção de eixo de rotor (20) que inclui uma passagem de refrigeração (22) formada na mesma; e

uma porção de pás de mixagem (21) que é formada em uma porção circunferencial externa da porção de eixo de rotor (20),

onde a porção de pás de mixagem (21) inclui uma pá curta (15; 16) de um comprimento predeterminado em uma direção axial da porção de eixo de rotor (20), e ao menos duas pás longas (13; 14) de comprimentos maiores que o comprimento da pá curta (15; 16) na direção axial, cada uma das pás longas (13; 14) incluindo uma porção de aresta (13a; 14a) como uma superfície terminal da pá longa (13; 14) voltada para um exterior radialmente do rotor de mixagem (4; 5), **caracterizado** pelo fato de

o comprimento de cada uma das pás longas (13; 14) na direção axial é definido para ser 0,6 vezes (ou mais) maior que um comprimento da porção de pás de mixagem (21) na direção axial,

um ângulo cortante ( $\theta_1$ ) de cada uma das pás longas (13; 14) é definido como tendo um ângulo igual ou menor que  $31^\circ$ , e

um ângulo central ( $\theta_2$ ) em relação a uma largura de aresta (W) como uma largura da porção de aresta (13a; 14a) em uma seção transversal de cada uma das pás longas (13; 14) ortogonal à direção axial é definido como tendo um ângulo igual ou maior que  $7^\circ$ .

2. Rotor de mixagem (4; 5), de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de que:

cada uma das pás longas (13; 14) inclui uma superfície de ação (13b) que corresponde a uma superfície da pá longa (13; 14) voltada para um lado frontal do rotor de mixagem (4; 5) em uma direção de rotação do rotor de mixagem (4; 5), e uma porção de fronteira que é formada pela porção de aresta (13a; 14a) e pela superfície de ação (13b); e

a porção de aresta (13a; 14a) descreve uma trajetória circular durante rotação do rotor de mixagem (4; 5) na seção transversal de cada uma das pás longas (13; 14)\_ ortogonal à direção axial, e o ângulo cortante ( $\theta_1$ ) de cada uma das pás longas (13; 14)\_ ser um ângulo entre uma linha tangencial da trajetória circular na porção de fronteira e uma linha tangencial da superfície de ação (13b) na porção de fronteira na seção transversal de cada uma das pás longas (13; 14) ortogonal à direção axial.

3. Rotor de mixagem (4; 5), de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de que:

o ângulo central ( $\theta_2$ ) em relação à largura de aresta (W) de cada uma das pás longas (13; 14) é definido como um ângulo igual ou menor que  $40^\circ$ .

4. Rotor de mixagem (4; 5), de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de que:

o ângulo cortante ( $\theta_1$ ) de cada uma das pás longas (13; 14) é definido como um ângulo igual ou maior que  $10^\circ$  e igual ou menor que  $21^\circ$ .

5. Rotor de mixagem (4; 5), de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de que:

um ângulo de torção de cada uma das pás longas (13; 14) é igual ou maior que 40° em relação a uma linha axial da porção de eixo de rotor (20).

6. Rotor de mixagem (4; 5), de acordo com a reivindicação 5, **caracterizado** pelo fato de que:

o ângulo de torção de cada uma das pás longas (13; 14) é definido como um ângulo igual ou maior que 50° e igual ou menor que 65°.

7. Rotor de mixagem (4; 5), de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de que:

se um índice de produtividade, como um índice que indica a produtividade do misturador interno para produção de um material mixado pela utilização do rotor de mixagem (4; 5), for representado por P, um índice de energia como um índice que indica uma amplitude de energia transmitida para um material a ser mixado pelo rotor de mixagem (4; 5) quando o material a ser mixado é mixado pelo rotor de mixagem (4; 5) for representado por E, o ângulo cortante ( $\theta_1$ ) for representado por x, e o ângulo central ( $\theta_2$ ) em relação à largura de aresta (W) for representado por y, o ângulo cortante ( $\theta_1$ ) x e o ângulo central ( $\theta_2$ ) y são definidos de modo a satisfazer uma condição de que o índice de produtividade P obtido pela Equação (1) a seguir e o índice de energia E obtido pela Equação (2) a seguir tenham ambos valores maiores que 1:

$$P = 0,9227 + 0,006x + 0,0042y - 0,0001x^2 + 0,0002xy - 0,0002y^2 \dots \text{Equação (1)};$$

$$E = 1,6453 - 0,0342x + 0,033y + 0,0003x^2 - 7,8444 \times 10^{-18}xy - 3,1099 \times 10^{-5}y^2 \dots \text{Equação (2)}.$$

8. Rotor de mixagem (4; 5), de acordo com a reivindicação 7, **caracterizado** pelo fato de que:

se um índice de desempenho de refrigeração, como um índice que indica um desempenho de refrigeração para o material a ser mixado quando o material a ser mixado é mixado pelo rotor de mixagem (4; 5), for representado por C, o ângulo cortante ( $\theta_1$ ) x e o ângulo central ( $\theta_2$ ) y são definidos de modo a satisfazer uma condição de que o índice de desempenho de refrigeração C obtido pela Equação (3) a seguir tenha um valor menor que 1:

$$C = 0,6304 + 0,0108x + 0,0092y + 3,6995 \times 10^{-5}x^2 - 2,8554 \times 10^{-5}xy - 0.0002y^2 \dots \text{Equação (3)}.$$

9. Misturador interno (1), **caracterizado** por compreender:

um par de rotores de mixagem (4; 5), como definido na reivindicação 1; e

uma câmara (3) que acomoda o par de rotores de mixagem (4; 5) nela, enquanto as trajetórias descritas por porções radialmente mais externas dos rotores de mixagem não se interceptem entre si durante rotação do par de rotores de mixagem (4; 5).

10. Misturador interno (1), de acordo com a reivindicação 9, **caracterizado** pelo fato de que:

em que é formada uma abertura entre a porção de aresta (13a; 14a) de cada uma das pás longas (13; 14) de cada um dos rotores de mixagem (4; 5) e uma superfície de parede interna de uma porção que acomoda os rotores de mixagem (4; 5) na câmara (3), e

uma dimensão da abertura em relação a cada um dos rotores de mixagem (4; 5) é definida de modo a ter uma razão

igual ou maior que 0,005 e igual ou menor que 0,05 em relação a um diâmetro interno da porção que acomoda os rotores de mixagem (4; 5) na câmara (3).