

CONFÉDÉRATION SUISSE
INSTITUT FÉDÉRAL DE LA PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE

(11) CH

708 039 B1

Brevet d'invention délivré pour la Suisse et le Liechtenstein

Traité sur les brevets, du 22 décembre 1978, entre la Suisse et le Liechtenstein

(51) Int. Cl.: **B01F** 15/06 (2006.01)
B01F 7/00 (2006.01)
B22F 1/00 (2006.01)
B22F 3/22 (2006.01)
B28B 1/24 (2006.01)

(12) **FASCICULE DU BREVET**

(21) Numéro de la demande: 00923/13

(22) Date de dépôt: 07.05.2013

(43) Demande publiée: 14.11.2014

(24) Brevet délivré: 30.06.2017

(45) Fascicule du brevet publié: 30.06.2017

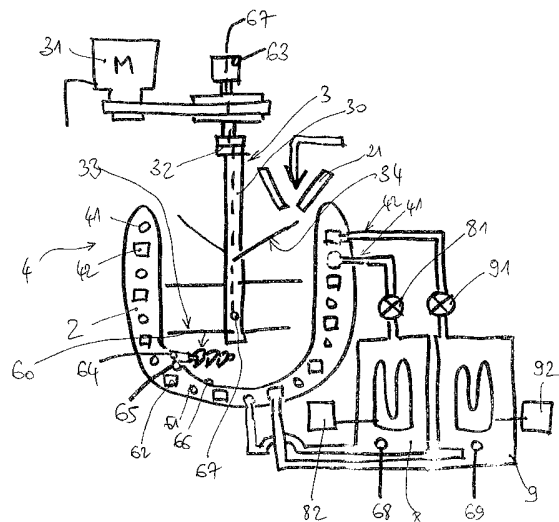
(73) Titulaire(s):
Comadur S.A., Col-des-Roches 33
2400 Le Locle (CH)

(72) Inventeur(s):
Damien Cartier, 25000 Besançon (FR)

(74) Mandataire:
ICB Ingénieurs Conseils en Brevets SA,
Faubourg de l'Hôpital 3
2001 Neuchâtel (CH)

(54) **Malaxage de matière première pour métallurgie des poudres.**

(57) L'invention a pour objet un malaxeur de granulés céramiques avec une cuve (2), un moyen de malaxage (3), et des moyens d'échange thermique (4) comportant des moyens de refroidissement (42) pour le refroidissement du contenu de la cuve (2). Il comporte des moyens de pilotage agencés pour commander les moyens d'échange thermique (4) qui comportent des moyens de réchauffement (41) agencés pour chauffer le contenu de la cuve (2) à une température comprise entre une température inférieure (TINF) et une température supérieure (TSUP) mémorisées pour un mélange particulier, et les moyens de réchauffement (41) sont agencés pour échanger l'énergie avec un circuit (8) d'échange thermique de maintien en température de malaxage, externe à la cuve (2), et dont l'inertie thermique du circuit (8) est supérieure à celle de la cuve (2) à pleine charge. Un procédé de malaxage est également revendiqué.



Description

Domaine de l'invention

[0001] L'invention concerne un malaxeur pour la fabrication de granulés de type céramique comportant au moins une poudre d'oxyde et au moins un liant, ledit malaxeur comportant au moins une cuve dans laquelle est mobile au moins un moyen de malaxage, et comportant des moyens d'échange thermique comportant des moyens de refroidissement pour le refroidissement de ladite cuve ou/et de son contenu.

[0002] L'invention concerne encore un procédé de malaxage de matière première pour métallurgie des poudres, en particulier pour la fabrication de granulés d'un type de céramique donné à partir d'un mélange comportant au moins une poudre d'oxyde et au moins un liant.

[0003] L'invention concerne le domaine de la métallurgie des poudres pour l'obtention de céramiques, et en particulier le processus de malaxage du mélange de matières premières pour constituer un matériau intermédiaire destiné à alimenter une presse par injection pour la mise en forme du composant à produire.

Arrière-plan de l'invention

[0004] Dans la fabrication de matériaux durs pour la bijouterie et l'industrie horlogère, ou encore l'électronique ou la téléphonie, notamment des matériaux durs généralement désignés sous le nom générique de «céramiques», on met en œuvre des techniques de métallurgie des poudres. On appellera ici «céramique» le matériau de synthèse obtenu, quelle que soit la nature de ce matériau, saphir, rubis, diamant artificiel, glace saphir, céramique, micro-aimant, ou autre.

[0005] Les matières premières de base sont de différente nature, certaines sont tenues secrètes pour la protection des productions. De façon générale, les matières premières utilisées comportent au moins, d'une part de la poudre de céramique, et d'autre part des liants tels que résines ou matières plastiques ou similaires qui permettent l'injection et la bonne tenue du composant réalisé avec le mélange de l'ensemble des matières premières; d'autres additifs peuvent être incorporés au mélange. On comprend que les matières premières peuvent être de différentes textures: solide, pulvérulente, liquide, ou encore pâteuse. Le mélange peut changer de structure au cours de son élaboration, en particulier, et non limitativement, quand des composants complémentaires d'une résine subissent une réaction de polymérisation.

[0006] Le procédé global de fabrication d'un composant céramique comporte au moins les étapes suivantes:

- préparation des matières premières;
- mélange(s) des matières premières, ou/et pré-mélange deux à deux (ou plus) si nécessaire;
- malaxage d'homogénéisation;
- pressage, notamment dans une chambre de moulage, d'une quantité de poudre ou de granulés issue du malaxage, pour la réalisation d'une ébauche de composant. Ce pressage peut être réalisé par injection, sous pression, notamment dans un injecteur à vis comportant des moyens de mise en température de cette quantité de poudre ou de granulés issue du malaxage;
- étuvage de déliantage pour la combustion ou/et la dissolution de certains composants du mélange servant de liant traitement thermique de l'ébauche de composant, ou frittage;
- traitement thermique de l'ébauche en sortie de déliantage, pour le frittage donnant sa cohérence finale au composant fini. Ce traitement thermique entraîne un retrait dimensionnel, qui permet l'obtention d'un composant en cotes finies;
- traitement de finition d'aspect du composant.

[0007] Cet exposé simplifié du procédé cache la complexité réelle de mise au point, qui est propre à chaque composition de mélange de matières premières, et à chaque type de composant fini selon ses caractéristiques physiques, notamment de résistance à l'usure et d'aspect, et selon ses caractéristiques mécaniques et chimiques.

[0008] La conduite de chaque étape est délicate, et exige le respect de paramètres précis, sous peine de changements irréversibles de caractéristiques du mélange, de l'ébauche, de l'ébauche déliantée, ou du composant fritté.

[0009] Tout particulièrement, l'étape du malaxage d'homogénéisation est cruciale pour la suite du processus. Cette étape de malaxage peut dans certains cas être combinée avec l'étape préalable de mélange des matières premières, qui peut se faire directement dans le poste de fabrication qu'on appelle ici «malaxeur».

[0010] En effet, lors du malaxage se produisent des réactions entre certaines matières premières, et ces réactions modifient immédiatement les conditions physiques dans lesquels se trouve le mélange en cours de malaxage. En particulier, des réactions exothermiques non maîtrisées ni compensées peuvent aboutir à une altération complète du mélange, qui est alors inutilisable pour la fabrication du composant final prévu. Les paramètres de température, de vitesse, et de couple, sont à surveiller étroitement. La répétitivité des caractéristiques physiques obtenues in fine est une condition obligatoire, qui impose une régulation parfaite du malaxage, l'anticipation et le contrôle des réactions qui s'y produisent.

[0011] En particulier, quand on malaxe un tel mélange avec des couteaux rotatifs dans un malaxeur, les éléments du mélange montent très vite en température, sous l'effet de la friction, jusqu'à dépasser leur température de fusion et à s'amalgamer sous forme pâteuse. Le problème réside dans le gradient de température extrêmement élevé dans le mélange quand il arrive au voisinage de cette ou ces températures de fusion, avec une valeur de l'ordre de plusieurs °C par seconde,

notamment 10 °C par seconde. Il est alors très difficile d'appliquer un refroidissement efficace pour prévenir l'emballement et la détérioration du mélange.

Résumé de l'invention

[0012] L'invention se propose d'améliorer le malaxage en métallurgie des poudres pour l'obtention de céramiques, de façon à obtenir une production de qualité très reproductible, avec un coefficient de retrait maîtrisé, avec une amplitude de dispersion relative inférieure à 1 pour mille.

[0013] A cet effet, l'invention concerne un malaxeur pour la fabrication de granulés de type céramique comportant au moins une poudre d'oxyde et au moins un liant, ledit malaxeur comportant au moins une cuve dans laquelle est mobile au moins un moyen de malaxage, et comportant des moyens d'échange thermique comportant des moyens de refroidissement pour le refroidissement de ladite cuve ou/et de son contenu, caractérisé en ce que ledit malaxeur comporte des moyens de pilotage connectés à des moyens de mesure et à des moyens de mémorisation de paramètres de température en fonction du type de céramique à réaliser, et caractérisé en ce que lesdits moyens de pilotage pilotent lesdits moyens d'échange thermique qui comportent des moyens de réchauffement agencés pour le chauffage de ladite cuve ou/et de son contenu à une température comprise entre une température inférieure à partir de laquelle un mélange correspondant à un type de céramique donné parvient à l'état pâteux, et une température supérieure en-dessous de laquelle doit rester ledit mélange correspondant audit type de céramique donné, ladite température inférieure et ladite température supérieure étant mémorisées, pour ledit mélange correspondant à un type de céramique donné, dans lesdits moyens de mémorisation, et encore caractérisé en ce que lesdits moyens de réchauffement échangent l'énergie, dans une première connexion, avec un premier circuit d'échange thermique de maintien en température de malaxage, externe à ladite cuve, et dont l'inertie thermique dudit premier circuit est supérieure à celle de ladite cuve à pleine charge dudit mélange dans un premier facteur.

[0014] Selon une caractéristique de l'invention, les moyens de refroidissement échangent l'énergie, dans une deuxième connexion, avec un deuxième circuit à température ambiante, externe à ladite cuve, et dont l'inertie thermique est très supérieure à celle de ladite cuve à pleine charge dudit mélange dans un deuxième facteur.

[0015] L'invention concerne encore un procédé de malaxage de matière première pour métallurgie des poudres, en particulier pour la fabrication de granulés d'un type de céramique donné à partir d'un mélange comportant au moins une poudre d'oxyde et au moins un liant, selon lequel:

- on introduit ledit mélange dans la cuve d'un malaxeur comportant au moins un moyen de malaxage;
- on stabilise en température, par connexion de moyens d'échange thermique à un premier circuit d'échange thermique de maintien en température de malaxage ladite cuve et son contenu au voisinage d'une température de malaxage comprise entre une température inférieure à partir de laquelle ledit mélange parvient à l'état pâteux, et à une température supérieure en-dessous de laquelle doit rester ledit mélange;
- on met en mouvement à vitesse inférieure ou égale à 700 tours par minute ledit moyen de malaxage;
- on effectue le malaxage dudit mélange jusqu'à l'obtention d'une masse compacte homogène;
- on arrête la stabilisation à température élevée, supérieure ou égale à une température propre au mélange considéré et caractéristique d'une masse compacte homogène, de ladite cuve et de son contenu dont on autorise la descente en température, soit de façon naturelle, soit par connexion desdits moyens d'échange thermique à un deuxième circuit (9) à température ambiante voisine de 20 °C;
- on concasse ladite masse compacte, ou bien dans ladite cuve à une température inférieure à 100 °C et à vitesse supérieure ou égale à 700 tours par minute dudit moyen de malaxage, ou bien dans une station de concassage annexe audit malaxeur.

Description sommaire des dessins

[0016] D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à la lecture de la description détaillée qui va suivre, en référence aux dessins annexés, où:

- | | |
|------------------------|--|
| la fig. 1 | représente, de façon schématisée, le système de pilotage d'un malaxeur selon l'invention; |
| la fig. 2 | représente, de façon schématisée, partielle (les liaisons avec le système de pilotage n'étant qu'ébauchées) et en coupe passant par l'axe d'un arbre de malaxage, un malaxeur selon l'invention; |
| la fig. 3 et la fig. 4 | représentent, de façon schématisée et en vue de côté, deux arbres de malaxages assemblés selon des compositions différentes; |
| la fig. 5 | représente, de façon schématisée, partielle (les liaisons avec le système de pilotage n'étant pas représentées) et en vue de dessus, un malaxeur selon l'invention; |
| la fig. 6 | représente, de façon schématisée, partielle (les liaisons avec le système de pilotage n'étant pas représentées) et en vue de dessus, un malaxeur selon l'invention, dont l'arbre de malaxage a été |

extrait, et remplacé par un ensemble de volets mobiles de concassage d'une galette, en combinaison avec une vis sans fin logée dans une gorge du fond de cuve;

la fig. 7 représente, sous forme d'un schéma-blocs, une séquence de process de malaxage selon l'invention dans un malaxeur selon l'invention.

Description détaillée des modes de réalisation préférés

[0017] La poudre dite de céramique plus particulièrement mise en œuvre dans le cadre de l'invention est une poudre d'oxydes, par exemple d'oxydes de zircon ou d'alumine, de carbures, de nitrures, ou similaire, notamment en mélanges d'oxydes.

[0018] Ces oxydes permettent de garantir une dureté élevée, une haute résistance à l'usure, une haute résistance aux efforts mécaniques, et une tenue dans le temps exceptionnelle, sans altération.

[0019] Les liants utilisés, résines ou matières plastiques ou similaires, permettent d'amener la poudre d'oxydes à l'opération de pressage ou/et d'injection, avec une viscosité suffisante pour son écoulement dans un moule, tout en ayant une résistance suffisante pour éviter les déformations.

[0020] Le malaxage a pour but d'enrober les grains de poudre par le ou les liants, de façon à obtenir une pâte homogène.

[0021] Cette pâte homogène devient une masse compacte après refroidissement en sortie du malaxage. Cette masse compacte est ensuite fractionnée par concassage pour l'obtention de granulés de composition homogène et de dimensions calibrées, qui sont appelés «feedstocks» et qui sont prêts à être utilisés en l'état en alimentation d'une presse d'injection par exemple.

[0022] Dans une mise en œuvre particulière, et non limitative, de l'invention, on utilise un malaxeur 1 pour la fabrication de granulés de type céramique comportant au moins une poudre d'oxyde et au moins un liant, avec au moins une cuve 2. Ce malaxeur 1 comporte au moins un moyen de malaxage 3 plongeant dans une cuve 2 correspondante.

[0023] Le malaxeur 1 comporte des moyens d'échange thermique 4, qui peuvent comporter au moins un circuit dans lequel un fluide circule dans une double paroi d'une cuve 2, ou circule dans des serpentins immergés dans une cuve 2, ou autre.

[0024] En particulier ces moyens d'échange thermique 4 comportent des moyens de refroidissement 42 pour le refroidissement de la cuve 2 ou/et de son contenu.

[0025] Selon l'invention, le malaxeur 1 comporte des moyens de pilotage 5 connectés à des moyens de mesure 6 et à des moyens de mémorisation 7 de paramètres de température en fonction du type de céramique à réaliser.

[0026] Ces moyens de pilotage 5 sont agencés pour la régulation de température de la cuve 2 et l'échange de chaleur entre la cuve 2 et au moins un milieu externe à la cuve 2, par les moyens d'échange thermique 4.

[0027] Ces moyens de pilotage 5 contrôlent notamment ces moyens d'échange thermique 4, en corrélation avec des valeurs de vitesse d'arbre ou/et de circulation de la masse compacte mesurées, de températures de masse compacte ou/et de cuve mesurées, et avec des valeurs-seuil, en particulier de température, imposées pour la fabrication d'un produit donné. L'ensemble des paramètres relatif à un produit donné, stocké dans les moyens de mémorisation 7, permet avantageusement de piloter l'ensemble de son cycle de fabrication, incluant toutes les temporisations souhaitées.

[0028] Selon l'invention, les moyens d'échange thermique 4 comportent encore des moyens de réchauffement 41 agencés pour le chauffage de la cuve 2 ou/et de son contenu à une température comprise entre une température inférieure TINF à partir de laquelle un mélange correspondant à un type de céramique donné parvient à l'état pâteux, et à une température supérieure TSUP en-dessous de laquelle doit rester le mélange correspondant au type de céramique donné.

[0029] Cette température inférieure TINF et cette température supérieure TSUP sont mémorisées, pour le mélange correspondant à un type de céramique donné, dans les moyens de mémorisation 7.

[0030] Ces moyens de réchauffement 41 échangent l'énergie, dans une première connexion, avec un premier circuit 8 d'échange thermique de maintien en température de malaxage, externe à la cuve 2. Et l'inertie thermique du premier circuit 8 est supérieure à celle de la cuve 2 à pleine charge du mélange. De préférence elle lui est supérieure dans un facteur K1 supérieur à 2.

[0031] Le fait de chauffer la cuve 2 et son contenu va à rencontre des préjugés de l'art antérieur. Le chauffage permet d'avoir moins d'écart par rapport à une température moyenne, et de maîtriser complètement le gradient de température. Il n'est plus nécessaire de faire tourner l'arbre de malaxage à grande vitesse pour atteindre les températures de fusion des composants. La production obtenue est plus homogène, ce qui est capital en métallurgie des poudres, car il s'agit de maîtriser parfaitement le coefficient de retrait lors du frittage, et ce coefficient dépend de la qualité du malaxage. Par exemple pour une fabrication de céramique à base de matières premières minérales, l'art antérieur permettait d'obtenir pour une production en 5 batchs journaliers de 20 kg chacun, un coefficient de retrait dans la fourchette 1,2850 à 1,2920, tandis que la mise en œuvre du malaxeur selon l'invention et du procédé de malaxage associé permet, toutes choses égales par ailleurs, de ramener ce coefficient dans la fourchette 1,2880 à 1,2890, ce qui est excellent, puisque l'amplitude

de la dispersion relative est désormais de 0,8 pour mille contre 5,4 pour mille dans l'art antérieur, soit une division par un facteur 7 environ. La production est ainsi très reproductible.

[0032] Dans une version préférée, les moyens de refroidissement 42 sont distincts des moyens de réchauffement 41, tel que visible sur les fig. 2 et 5.

[0033] De façon avantageuse, les moyens de refroidissement 42 échangent l'énergie, dans une deuxième connexion, avec un deuxième circuit 9 à température ambiante, externe à la cuve 2, et dont l'inertie thermique est très supérieure à celle de la cuve 2 à pleine charge du mélange, et de préférence supérieure dans un deuxième facteur K2 supérieur à 2.

[0034] De préférence, les moyens de pilotage 5 pilotent les moyens d'échange thermique 4 de façon à activer l'échange thermique avec la cuve 2, à un instant donné, des seuls moyens de refroidissement 42 ou des seuls moyens de réchauffement 41.

[0035] Il est néanmoins possible d'utiliser un circuit unique d'échange thermique au niveau de la cuve, alternativement mis en situation d'échange thermique avec une source chaude ou avec une source froide. Mais la solution de deux circuits distincts, sur l'un desquels on peut raccorder la cuve de façon instantanée, permet de surmonter les effets de l'inertie thermique propre à la cuve 2, par sa mise en communication instantanée avec un circuit d'inertie thermique très supérieure à la sienne, permettant de la stabiliser très rapidement dans une fourchette de températures compatible avec la bonne conduite du process.

[0036] Le moyen de malaxage 3 comporte de préférence, et non limitativement, un arbre 30 en rotation porteur de pales 33 ou/et de couteaux dans la cuve 2. Chaque arbre de malaxage 30 est de préférence entraîné par un moteur 31 équipé d'un variateur continu relié à des moyens de pilotage 5 qui commandent ce variateur. L'arbre 30 est de préférence équipé d'une dynamo tachymétrique 63 qui communique la vitesse réelle de rotation de l'arbre 30 aux moyens de pilotage 5.

[0037] Les fig. 1 et 2 illustrent l'action des moyens de pilotage 5, sur la base d'au moins une information de vitesse du moyen de malaxage 3 ou d'une masse de produit en cours de transformation par le malaxeur 1, et d'au moins une information de température de la cuve 2 ou de cette masse de produit, relevées par des capteurs que comportent les moyens de mesure 6, pour commander la vitesse du moteur 31 entraînant l'arbre de malaxage 30, et un débit d'échange thermique, notamment par une première pompe 81 sur le premier circuit 8 des moyens de réchauffement 41.

[0038] Quand, de façon préférée, les moyens de refroidissement 42 échangent l'énergie, dans une deuxième connexion, avec un deuxième circuit 9, les moyens de pilotage 5 agissent aussi sur une deuxième pompe 91 sur le deuxième circuit 9 des moyens de refroidissement 42.

[0039] Les moyens de pilotage 5 comportent une horloge 51, permettant de respecter les paramètres du process introduits dans les moyens de mémorisation 7.

[0040] Les moyens de mesure 6 peuvent, en particulier et non limitativement, comprendre tout ou partie des capteurs suivants:

- un capteur de température 61 dans le premier circuit 8 des moyens de réchauffement 41, de préférence dans la cuve 2 ou le plus près possible de la cuve;
- un capteur de température 62 dans le deuxième circuit 9 des moyens de refroidissement 42, de préférence dans la cuve 2 ou le plus près possible de la cuve;
- une dynamo tachymétrique 63 pour la mesure de la vitesse de rotation de l'arbre de malaxage 30;
- un capteur de mouvement 64 caractérisant le mouvement de pâte dans la cuve, notamment un capteur de vitesse de rotation d'une vis sans fin ou d'une roue dentée montée libre sur un axe en fond de cuve, ou similaire;
- un capteur de température 65 au cœur du mélange ou de la pâte, notamment couplé avec le capteur de mouvement 64 précédent;
- un capteur de température 66 sur une surface intérieure de la cuve 2, de préférence au voisinage du fond de cuve;
- un capteur de température 67 de l'arbre de malaxage 30, de préférence vers l'extrémité de celui-ci au voisinage du fond de la cuve 2;
- un capteur de température 68 dans un gros réservoir du premier circuit 8 d'échange;
- un capteur de température 69 dans un gros réservoir du deuxième circuit 9 d'échange.

[0041] Les moyens de pilotage 5 peuvent, encore, agir sur un premier régulateur 82 effectuant un apport (ou un enlèvement) de chaleur au premier circuit 8, ou/et agir sur un deuxième régulateur 92 effectuant un enlèvement (ou un apport) de chaleur au deuxième circuit 8, ces premier 82 et deuxième 92 régulateurs pouvant comporter une résistance ou/et un groupe froid. De préférence, le premier circuit 8 véhicule de l'huile, tandis que le deuxième circuit 9 véhicule de l'eau glycolée, ou similaire.

[0042] Dans une variante particulière, le malaxeur 1 comporte une pluralité de cuves 2 ainsi équipées, communiquant entre elles depuis une cuve d'amont où sont déversées les matières premières par une alimentation 21 telle qu'une trémie ou similaire, jusqu'à une cuve d'aval servant notamment au concassage final de la masse compacte malaxée. Cette cuve d'aval peut avoir une double fonction de cuve de malaxage et de cuve de concassage: les matières premières en mélange y sont déversées par la cuve d'amont, au moins un arbre de malaxage effectue le malaxage proprement dit avec des pales ou/et couteaux de forme adaptée au retournement d'une masse pâteuse dans la cuve de malaxage et à sa séparation par

tranchage, le concassage final pouvant être effectué, selon le cas, par un tel arbre de malaxage 30, ou par au moins un arbre de concassage muni de couteaux 22 plus précisément adaptés à la fragmentation d'une masse compacte solidifiée. Si nécessaire un concasseur d'appoint peut être utilisé en aval pour atteindre la granulométrie souhaitée.

[0043] La fig. 2 illustre le cas d'une cuve 2 unique, dans laquelle est conduit tout le processus de malaxage, depuis l'introduction des matières premières, jusqu'au concassage de la masse malaxée refroidie appelée galette.

[0044] Plus particulièrement, tel que représenté sur la fig. 2, l'arbre 30 est vertical, et comporte notamment des pales 33, de préférence réparties selon plusieurs plans parallèles.

[0045] L'étagement des pales ou/et couteaux est de préférence réglable, de façon à être efficace aussi bien pour des petites charges que pour des grosses: ou bien l'arbre de malaxage 30 entier est interchangeable, au niveau d'un accouplement 32, ou bien il comporte une succession de douilles porteuses de pales ou couteaux, en appui les unes sur les autres et enfilées sur un arbre commun, et séparées si nécessaire par des entretoises 35 pour obtenir une configuration particulière, tel que visible sur les fig. 3 et 4, où l'arbre 30 est ainsi équipé de trois ensembles de pales inférieures 33A, 33B, 33C, surmontées de pales supérieures 34. Si la disposition par niveaux sensiblement plans des pales ou couteaux est la plus courante, on peut aussi utiliser, surtout pour le niveau supérieur adapté aux grosses charges, des pales 34 ou couteaux inscrits dans une enveloppe sensiblement conique par rapport à l'axe de l'arbre. Par pales on entend des ailettes sensiblement radiales ayant une forme permettant de donner un mouvement particulier, au mélange de matières premières d'abord, et à la pâte ensuite. Par couteaux on entend des ailettes de forme similaire et de section plus fine, et comportant un bord d'attaque affûté, notamment pour trancher la masse pâteuse tout en l'entraînant en mouvement.

[0046] De façon connue, les pales 33 ou/et couteaux ont de préférence une légère incidence par rapport au plan perpendiculaire à l'axe de l'arbre 30. Cette incidence peut être réglée, soit très simplement par échange d'un étage de coupe monté sur une douille telle que présentée ci-dessus, soit dans de plus grosses installations avec un mécanisme de renvoi qui toutefois est plus sensible à l'usure générée par le mouvement de la pâte. Selon le cas, l'incidence peut être ajustée, en fonction du sens de rotation de l'arbre, soit pour pousser la masse compacte au fond de la cuve, soit au contraire pour tendre à la décoller: une réalisation mixte consomme certes plus de puissance, mais un étage supérieur tendant à décoller la pâte du fond de cuve facilite son amalgame, tandis qu'un étage de coupe inférieur tendant à rabattre la pâte vers le fond de cuve est avantageux en particulier dans les étapes finales du process et dans le fractionnement de la galette obtenue après refroidissement de la masse compacte pâteuse.

[0047] Le concassage de la galette peut également être effectué, après un dégagement vertical de l'arbre de malaxage 30, par l'action conjuguée d'une vis sans fin 37 noyée dans une gorge 39 en fond de cuve 2, et de volets 36 articulés sur un axe vertical, l'extraction des granulés concassés se faisant par inversion de sens de la vis sans fin et le convoyage vers une station de desserte 38.

[0048] Dans une autre variante, le concassage est mené jusqu'à l'obtention d'une farine. Cette farine est transformée en aval, dans une station annexe de granulation où elle est d'abord comprimée pour former un boudin extrudé, découpé en pellets au fur et à mesure de son avance.

[0049] Chaque cuve 2 est de préférence dotée d'un moyen de fermeture comportant au moins une soupape ou un orifice d'évacuation de surpression.

[0050] L'échange de température, au niveau de la cuve dans laquelle est effectué le malaxage, permet:

- par une élévation de température, un ramollissement de certains liants, sous une température seuil maximale de ramollissement la plus élevée;
- par le maintien à une température maintenue constante d'un premier circuit 8 d'échange thermique de maintien en température de malaxage, dont l'inertie thermique est très supérieure à celle de la cuve à pleine charge, de maîtriser le gradient thermique de la masse compacte dans la cuve à une valeur inférieure à 3 °C par minute lors de la friction des composants du mélange, à comparer avec un gradient de l'ordre de 10 °C par seconde dans des malaxeurs de l'art antérieur seulement munis de moyens de refroidissement, cette faible valeur de gradient obtenue par la mise en œuvre de l'invention autorisant un malaxage à vitesse moindre;
- par une diminution de température, le maintien de la température de la pâte sous un seuil limite maximal propre au mélange défini pour prévenir toute altération de ses propriétés, et en particulier lorsque des réactions exothermiques se produisent entre certains constituants du liant, ou/et lorsque la vitesse de malaxage est trop importante, ou/et lorsque les frottements dans le mélange ou avec les pales/couteaux ou avec la cuve sont trop importants;
- par une diminution rapide de température consécutive au débrayage du circuit d'échange thermique de maintien en température de malaxage, le refroidissement de la masse compacte préalablement malaxée pour sa solidification; cette diminution rapide de température peut être obtenue par la connexion du moyen d'échange thermique 4 à un deuxième circuit 9 à température ambiante, dont l'inertie thermique est très supérieure à celle de la cuve à pleine charge.

[0051] La régulation de vitesse de rotation d'au moins un arbre de malaxage permet:

- par une diminution de vitesse, l'abaissement des frottements décrits ci-dessus;
- par une diminution de vitesse en phase finale, une prise progressive de la masse compacte jusqu'à sa solidification sous forme d'une galette;

- par une augmentation de vitesse, l'amélioration de l'agglomération des composants du liant autour des grains de poudre d'oxyde;
- par une augmentation de vitesse, la fragmentation sous forme de granulés de la masse compacte préalablement solidifiée sous forme de galette.

[0052] La conduite, en fonction du temps, des moyens d'échange de température et de la vitesse de malaxage conditionne donc la qualité du produit final, en même temps que les paramètres propres au produit intermédiaire, notamment sa viscosité. La bonne gestion de cette conduite conditionne naturellement le temps de cycle dans le malaxeur, et donc le coût de production et l'amortissement de l'installation.

[0053] De façon générale, on s'efforce de maintenir à la fois la température et la vitesse de malaxage sous des valeurs seuil propres à chaque mélange.

[0054] Le malaxeur 1 peut, encore, être équipé de moyens de mesure de la vitesse de circulation de la masse compacte dans la cuve, par exemple au niveau d'un mobile 60 tel qu'une vis sans fin ou une roue folle immergée dans la masse à l'intérieur de la cuve, dont on mesure la vitesse de rotation par un capteur de mouvement de pâte 64, et, avantageusement, la température à cœur de la masse compacte pâteuse par un capteur de température de pâte 65.

[0055] Les moyens de mesure de température de la masse compacte sont situés, ou au niveau d'un tel mobile 60, ou/et en fond de cuve 2 par un capteur de température 66 sur une surface intérieure de la cuve 2, ou/et en périphérie de l'arbre de malaxage 30, par un capteur de température 67 de préférence à sa partie inférieure au voisinage du fond de la cuve 2.

[0056] Le procédé de malaxage de matière première pour métallurgie des poudres, selon l'invention, en particulier pour la fabrication de granulés d'un type de céramique donné à partir d'un mélange comportant au moins une poudre d'oxyde et au moins un liant, se déroule en comportant au moins les étapes suivantes:

- on introduit le mélange dans la cuve 2 d'un malaxeur 1 comportant au moins un moyen de malaxage 3;
- on stabilise en température, par connexion de moyens d'échange thermique 4 à un premier circuit 8 d'échange thermique de maintien en température de malaxage la cuve 2 et son contenu au voisinage d'une température de malaxage comprise entre une température inférieure TINF propre au mélange considéré et à partir de laquelle le mélange parvient à l'état pâteux, et à une température supérieure TSUP propre au mélange considéré et en-dessous de laquelle doit rester le mélange;
- on met en mouvement à vitesse inférieure ou égale à 700 tours par minute le moyen de malaxage 3;
- on effectue le malaxage du mélange jusqu'à l'obtention d'une masse compacte homogène;
- on arrête la stabilisation à température élevée, supérieure ou égale à une température T5 propre au mélange considéré et caractéristique d'une masse compacte homogène, de la cuve 2 et de son contenu, dont on autorise la descente en température, soit de façon naturelle, soit par connexion des moyens d'échange thermique 4 à un deuxième circuit 9 à température ambiante voisine de 20 °C;
- on concasse la masse compacte, ou bien dans la cuve 2 à une température inférieure à 100 °C et à vitesse supérieure ou égale à 700 tours par minute du moyen de malaxage 3, ou bien dans une station de concassage annexe au malaxeur 1.

[0057] Une séquence particulière d'utilisation du malaxeur 1 est présentée ci-après, pour un exemple de lots de production d'une masse de 5 kg environ, avec les étapes suivantes, qui précisent notamment ce qu'on entend par vitesse lente, vitesse élevée, température élevée:

- 100: chargement au niveau de l'alimentation 21 d'une première partie d'une charge de poudre et de structurants, lancement du régulateur de température de cuve à la température maximale de $T0 = 180\text{ °C}$ par activation des moyens de réchauffement 41 et désactivation des moyens de refroidissement 42, démarrage de rotation de l'arbre de malaxage 30 à $V0 = 300$ tours par minute;
- 110: après l'atteinte d'une température de $T1 = 145\text{ °C}$ et d'une vitesse de rotation de $V1 = 300$ tours par minute, chargement d'une deuxième partie constituant le reste de la charge de poudre et de structurants;
- 120: après l'atteinte d'une température de $T2 = 160\text{ °C}$, arrêt de la rotation de l'arbre 30, ouverture de la cuve 2, inspection, raclage des parois et pales/couteaux si nécessaire (cette phase d'inspection peut être assistée par une caméra, toutefois la protection contre la pollution est difficile, le meilleur contrôle d'encrassement de la cuve 2 et des pales 33 et 34 peut être effectué par mesure du couple ou de la puissance absorbée au niveau du moteur 31, en référence à des valeurs de consigne d'une production de référence mémorisée dans les moyens de mémorisation 7);
- 130: remise en rotation, après l'atteinte d'une température de $T3 = 168\text{ °C}$ et d'une vitesse de rotation de $V3 = 700$ tours par minute, arrêt de la rotation de l'arbre 30, ouverture de la cuve, inspection étape 135, raclage des parois et pales/couteaux étape 136 si nécessaire;
- 140: remise en rotation, après l'atteinte d'une température de $T4 = 170\text{ °C}$ et d'une vitesse de rotation de $V4 = 700$ tours par minute, malaxage pendant une durée D4 pré-définie;
- 150: mesure de la température de la masse compacte, qui doit être comprise entre $T5 = 180\text{ °C}$ et $T6 = 200\text{ °C}$ (test étape 155), poursuite du malaxage jusqu'à l'atteinte de cette fourchette de températures;
- 160: arrêt de la rotation de l'arbre 30, refroidissement par désactivation des moyens de réchauffement 41 et activation des moyens de refroidissement 42;

- 170: après l'atteinte d'une température comprise entre $T7 = 150\text{ °C}$ et $T8 = 180\text{ °C}$ (test étape 175), mise en rotation de la masse compacte pour débloquer les pales/couteaux et/ou améliorer le cisaillement;
- 180: rotations ponctuelles à $V9 = 300$ tours par minute pour constituer une galette, et refroidissement à une température comprise entre $T9 = 95\text{ °C}$ et $T10 = 150\text{ °C}$ par désactivation des moyens de réchauffement 41 et activation des moyens de refroidissement 42;
- 190: vérification de l'absence de pollution, et arrêt de toute rotation en cas de pollution et alors étape 195: finition manuelle de la découpe de la galette;
- 200: concassage à $V11 = 700$ tours par minute;
- 210: arrêt de la rotation de l'arbre 30;
- 220: évacuation à moins de $V12 = 2000$ tours par minute et à moins de $T12 = 85\text{ °C}$.

[0058] Dans cet exemple, le temps de cycle moteur total est compris entre 20 et 30 minutes, le temps total de refroidissement est compris entre 20 et 30 minutes, le temps total d'évacuation est compris entre 10 et 15 minutes.

[0059] Une telle séquence convient en particulier pour un mélange de matières premières comportant 7,74% en masse d'un liant qui comporte lui-même 25% en volume d'un matériau constitutif d'une matrice structurante, 8% en volume d'un matériau donnant une résistance à la flexion et à la rupture à froid, 4% d'un matériau donnant une résistance à la flexion à haute température, 45% d'un matériau épaississant et rigidifiant, 3% d'un matériau constitutif d'une matrice fluidifiante, et 15% d'un matériau démoulant et antioxydant.

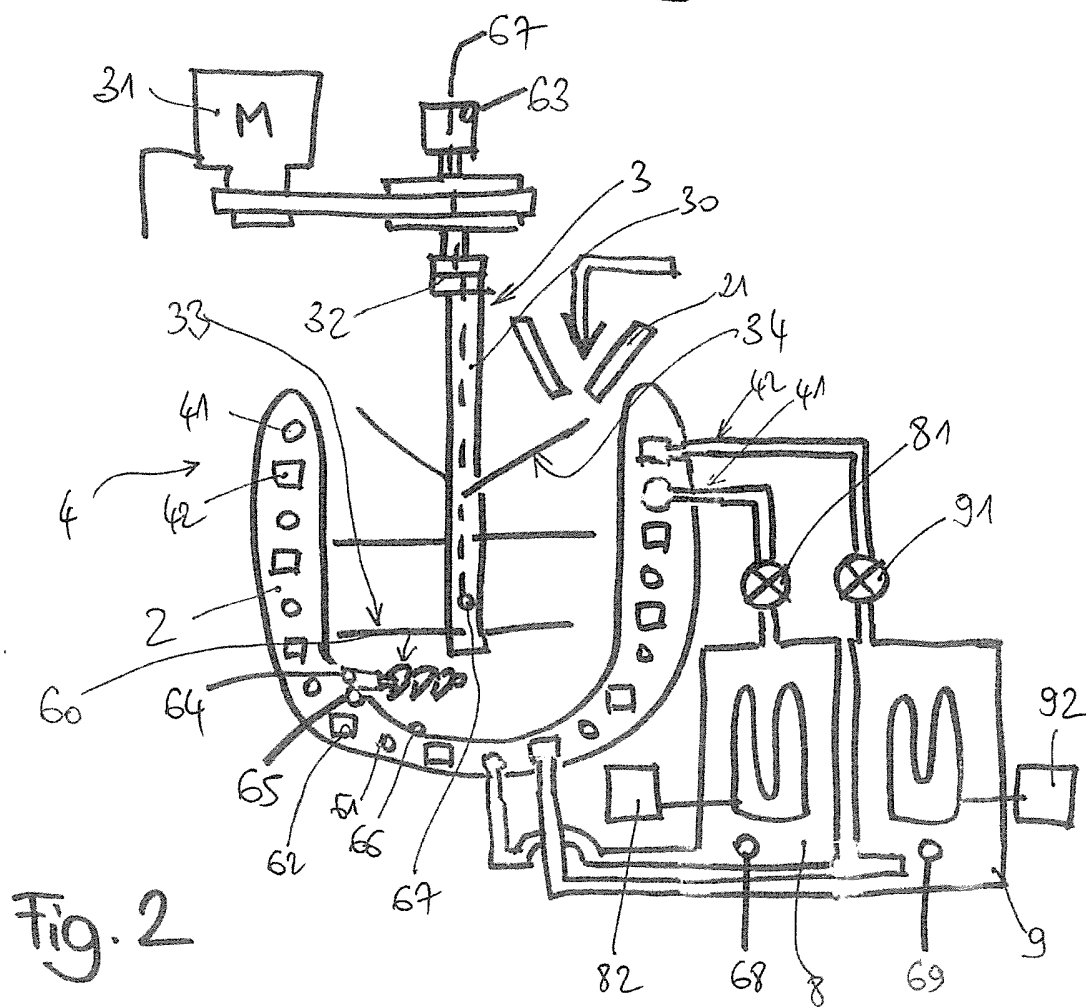
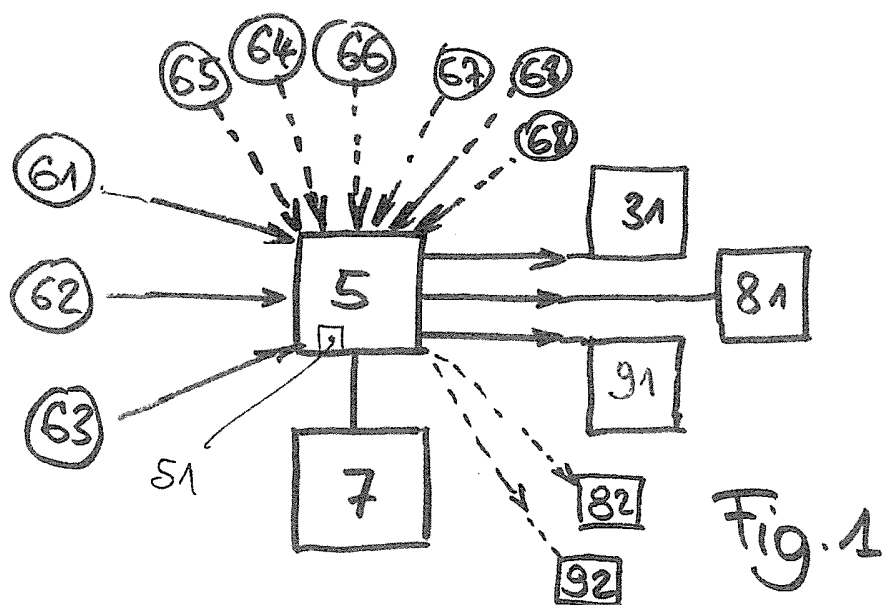
[0060] Cette gamme de travail, utilisée avec un malaxeur 1 tel que défini plus haut, permet de prévenir de nombreux aléas de l'art antérieur:

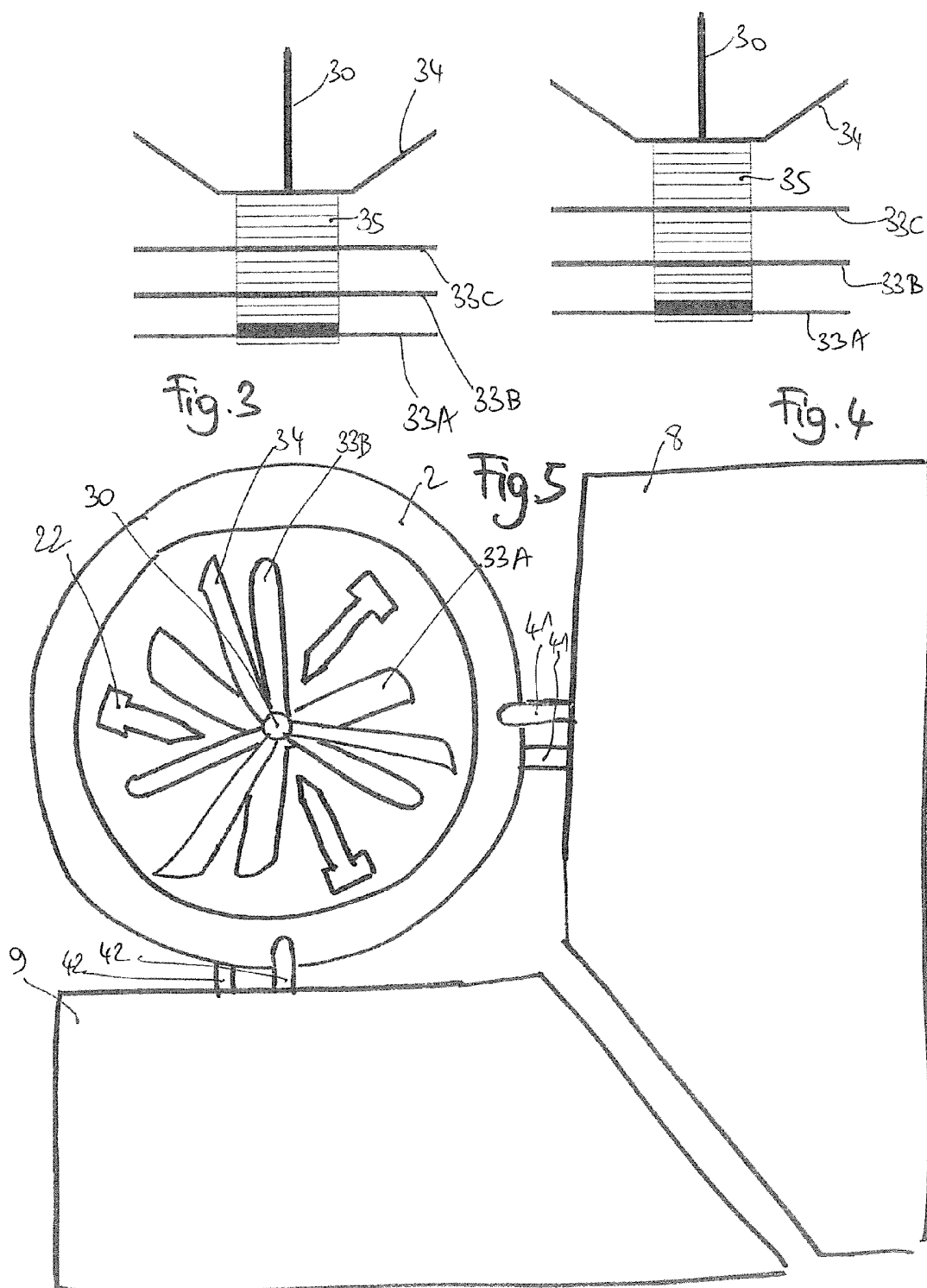
- tous les gradients de température sont maîtrisés et précis;
- la montée en température du mélange et de la masse compacte est strictement limitée à un seuil maximal prédéfini, ici égal à $T6 = 200\text{ °C}$;
- la durée de refroidissement est réduite grâce au moyen d'échange de chaleur qui permet un refroidissement de la masse compacte, soit directement, soit par l'intermédiaire de la cuve;
- la température de la masse compacte peut être maintenue à une valeur donnée lorsque la rotation de l'arbre est stoppée, grâce au moyen d'échange de chaleur qui permet un réchauffement ou un refroidissement de la masse compacte, soit directement, soit par l'intermédiaire de la cuve;
- la température de la masse compacte est correctement approximée par la température de la cuve, elle est encore mieux déterminée avec un capteur immergé;
- la poudre du mélange ne se colle plus sur les parois de la cuve lors de la montée en température;
- la régulation permet de limiter l'usure de la paroi de la cuve et celle des pales/couteaux, et de ce fait la pollution est très fortement réduite, et le matériel s'use beaucoup moins vite;
- la conduite du process peut être effectuée avec la cuve fermée; une surveillance optique, notamment par caméra, peut permettre de déterminer un éventuel besoin de raclage des parois de la cuve, qui théoriquement est moins encrassée que dans l'art antérieur grâce à une montée progressive en température;
- l'homogénéisation du mélange de la masse compacte est satisfaisante, et de ce fait les granulés ou feedstocks ont un comportement identique et répétitif au niveau du pressage par injection;
- les consommations d'énergie d'entraînement, de chauffage, et de refroidissement, sont réduites.

Revendications

1. Malaxeur (1) pour la fabrication de granulés de céramique comportant au moins une poudre d'oxyde et au moins un liant, ledit malaxeur (1) comportant au moins une cuve (2) dans laquelle est mobile au moins un moyen de malaxage (3), et comportant des moyens d'échange thermique (4) comportant des moyens de refroidissement (42) pour le refroidissement de ladite cuve (2) ou/et de son contenu, caractérisé en ce que ledit malaxeur (1) comporte des moyens de pilotage (5) connectés à des moyens de mesure (6) et à des moyens de mémorisation (7) de paramètres de température en fonction du type de céramique à réaliser, et caractérisé en ce que lesdits moyens de pilotage (5) sont agencés pour piloter lesdits moyens d'échange thermique (4) qui comportent des moyens de réchauffement (41) agencés pour le chauffage de ladite cuve (2) ou/et de son contenu à une température comprise entre une température inférieure (TINF) à partir de laquelle un mélange correspondant à un type de céramique donné parvient à l'état pâteux, et une température supérieure (TSUP) en-dessous de laquelle doit rester ledit mélange correspondant audit type de céramique donné, ladite température inférieure (TINF) et ladite température supérieure (TSUP) étant mémorisées, pour ledit mélange correspondant à un type de céramique donné, dans lesdits moyens de mémorisation (7), et encore caractérisé en ce que lesdits moyens de réchauffement (41) sont agencés pour échanger l'énergie, dans une première connexion, avec un premier circuit (8) d'échange thermique de maintien en température de malaxage, externe à ladite cuve (2), et dont l'inertie thermique dudit premier circuit (8) est supérieure à celle de ladite cuve (2) à pleine charge dudit mélange.
2. Malaxeur (1) selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'inertie thermique dudit premier circuit (8) est supérieure à celle de ladite cuve (2) à pleine charge dudit mélange dans un facteur (K1) supérieur à 2.

3. Malaxeur (1) selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que lesdits moyens de refroidissement (42) sont agencés pour échanger l'énergie, dans une deuxième connexion, avec un deuxième circuit (9) à température ambiante, externe à ladite cuve (2), et dont l'inertie thermique dudit deuxième circuit (9) est supérieure à celle de ladite cuve (2) à pleine charge dudit mélange dans un facteur (K2) supérieur à 2.
4. Malaxeur (1) selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que lesdits moyens de pilotage (5) sont agencés pour piloter lesdits moyens d'échange thermique (4) de façon à activer l'échange thermique avec ladite cuve (2), à un instant donné, des seuls moyens de refroidissement (42) ou des seuls dits moyens de réchauffement (41).
5. Malaxeur (1) selon l'une des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que lesdits moyens de pilotage (5), sur la base d'au moins une information de vitesse dudit moyen de malaxage (3) ou d'une masse de produit en cours de transformation par ledit malaxeur (1), et d'au moins une information de température de ladite cuve (2) ou de ladite masse de produit, relevées par des capteurs que comportent lesdits moyens de mesure (6), sont agencés pour commander, d'une part la vitesse d'un moteur (31) agencé pour entraîner un arbre de malaxage (30) que comporte ledit moyen de malaxage (30), et d'autre part un débit d'échange thermique par une première pompe (81) sur ledit premier circuit (8) desdits moyens de réchauffement (41).
6. Malaxeur (1) selon les revendications 3 et 5, caractérisé en ce que lesdits moyens de pilotage (5) sont agencés pour commander un débit d'échange thermique par une deuxième pompe (91) sur ledit deuxième circuit (9) desdits moyens de refroidissement (42), lors d'un échange d'énergie entre lesdits moyens de refroidissement (42) et le deuxième circuit (9).
7. Malaxeur (1) selon la revendication 3 ou 4, caractérisé en ce que lesdits moyens de pilotage (5) sont agencés pour commander un premier régulateur (82) agencé pour effectuer un apport ou un enlèvement de chaleur audit premier circuit (8), ou/et un deuxième régulateur (92) agencé pour effectuer un enlèvement ou un apport de chaleur audit deuxième circuit (8).
8. Malaxeur (1) selon l'une des revendications 3 à 6, caractérisé en ce que ledit premier circuit (8) véhicule de l'huile, et en ce que ledit deuxième circuit (9) véhicule de l'eau glycolée.
9. Malaxeur (1) selon l'une des revendications 1 à 8, caractérisé en ce que lesdits moyens de mesure (6) comportent un capteur de température (61) dans ledit premier circuit (8) desdits moyens de réchauffement (41), dans ladite cuve (2) ou le plus près possible de la cuve (2), un capteur de température (62) dans ledit deuxième circuit (9) desdits moyens de refroidissement (42), dans ladite cuve (2) ou le plus près possible de la cuve (2), et une dynamo tachymétrique (63) pour la mesure de la vitesse de rotation d'un arbre de malaxage (30) que comporte ledit moyen de malaxage (3).
10. Malaxeur (1) selon l'une des revendications 1 à 9, caractérisé en ce que lesdits moyens de mesure (6) comportent un capteur de mouvement (64) caractérisant le mouvement de pâte dans ladite cuve (2), sous forme d'un capteur de vitesse de rotation d'un mobile (60) tel qu'une vis sans fin ou une roue folle immergée dans la masse à l'intérieur de la cuve, et un capteur de température (65) au cœur du mélange ou de la pâte, couplé avec ledit capteur de mouvement (64).
11. Malaxeur (1) selon l'une des revendications 1 à 10, caractérisé en ce que lesdits moyens de mesure (6) comportent un capteur de température (66) sur une surface intérieure de ladite cuve (2), au voisinage du fond de ladite cuve (2).
12. Malaxeur (1) selon l'une des revendications 1 à 11, caractérisé en ce que lesdits moyens de mesure (6) comportent un capteur de température (67) d'un arbre de malaxage (30) que comporte ledit moyen de malaxage (3), au voisinage du fond de ladite cuve (2).
13. Procédé de malaxage de matière première pour métallurgie des poudres, en particulier pour la fabrication de granulés d'un type de céramique donné à partir d'un mélange comportant au moins une poudre d'oxyde et au moins un liant, selon lequel:
 - on introduit ledit mélange dans la cuve (2) d'un malaxeur (1) comportant au moins un moyen de malaxage (3);
 - on stabilise en température, par connexion de moyens d'échange thermique (4) à un premier circuit (8) d'échange thermique de maintien en température de malaxage ladite cuve (2) et son contenu au voisinage d'une température de malaxage comprise entre une température inférieure (TINF) à partir de laquelle ledit mélange parvient à l'état pâteux, et à une température supérieure (TSUP) en-dessous de laquelle doit rester ledit mélange;
 - on met en mouvement à vitesse inférieure ou égale à 700 tours par minute ledit moyen de malaxage (3);
 - on effectue le malaxage dudit mélange jusqu'à l'obtention d'une masse compacte homogène;
 - on arrête la stabilisation à température élevée, supérieure ou égale à une température (T5) propre au mélange considéré et caractéristique d'une masse compacte homogène, de ladite cuve (2) et de son contenu dont on autorise la descente en température, soit de façon naturelle, soit par connexion desdits moyens d'échange thermique (4) à un deuxième circuit (9) à température ambiante voisine de 20 °C;
 - on concasse ladite masse compacte, ou bien dans ladite cuve (2) à une température inférieure à 100 °C et à vitesse supérieure ou égale à 700 tours par minute dudit moyen de malaxage (3), ou bien dans une station de concassage annexe audit malaxeur (1).





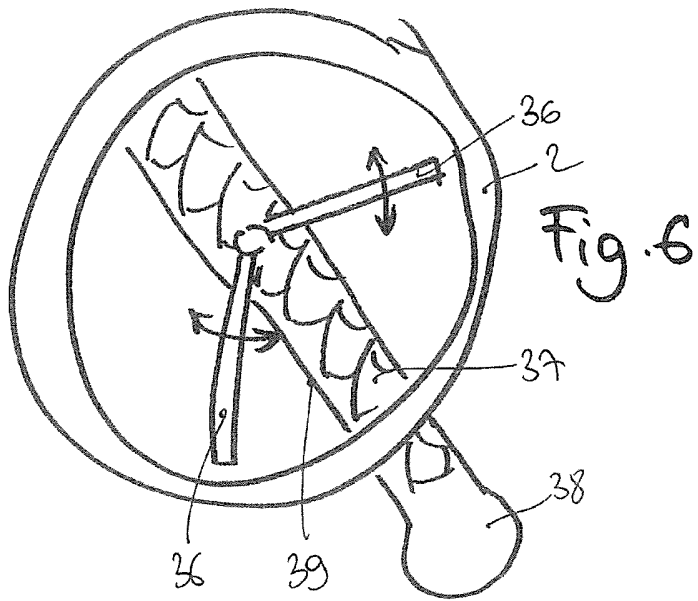


Fig. 7 →

