



(11)

EP 2 615 077 B1

(12)

FASCICULE DE BREVET EUROPEEN

(45) Date de publication et mention
de la délivrance du brevet:
06.05.2020 Bulletin 2020/19

(51) Int Cl.:
C06B 21/00 (2006.01) **C06B 47/00** (2006.01)
B01F 3/08 (2006.01) **B01F 3/18** (2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **13151038.0**

(22) Date de dépôt: **11.01.2013**

(54) Activation de compositions énergétiques par mélange magnétique

Aktivierung von energetischen Zusammensetzungen durch magnetische Mischung

Activation of energetic compositions by magnetic mixing

(84) Etats contractants désignés:
**AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB
GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO
PL PT RO RS SE SI SK SM TR**

(30) Priorité: **13.01.2012 FR 1250348**

(43) Date de publication de la demande:
17.07.2013 Bulletin 2013/29

(73) Titulaires:
• **Centre National de la Recherche Scientifique
(C.N.R.S.)
75016 Paris (FR)**
• **ISL - Institut franco-allemand de recherches de
Saint-Louis
68300 Saint-Louis (FR)**
• **MBDA France
92350 Le Plessis-Robinson (FR)**

(72) Inventeurs:
• **Comet, Marc
68330 Huningue (FR)**
• **Spitzer, Denis
67203 Oberschaefolsheim (FR)**
• **Hassler, Dominique
68870 Barthenheim (FR)**

• **Rauscher, Etienne
92320 Chatillon (FR)**
• **Caillard, Jean
18000 Bourges (FR)**
• **Rafin, Vincent
18000 Bourges (FR)**

(74) Mandataire: **Lavoix
2, place d'Estienne d'Orves
75441 Paris Cedex 09 (FR)**

(56) Documents cités:
WO-A1-2009/008794 DE-A1- 2 341 818
FR-A1- 2 601 125 US-A- 325 538
US-A- 3 219 318 US-A- 3 987 967
US-A- 4 247 494 US-A- 4 632 316
US-A- 5 665 276 US-A- 5 699 842
US-B1- 7 585 381

• **RAKOCZY R ET AL: "Studies of a mixing process
induced by a transverse rotating magnetic field",
CHEMICAL ENGINEERING SCIENCE 01 JUNE
2011 ELSEVIER LTD GBR, vol. 66, no. 11, 1 juin
2011 (2011-06-01), pages 2298-2308,
XP002689296, DOI: 10.1016/J.CES.2011.02.021**

Il est rappelé que: Dans un délai de neuf mois à compter de la publication de la mention de la délivrance du brevet européen au Bulletin européen des brevets, toute personne peut faire opposition à ce brevet auprès de l'Office européen des brevets, conformément au règlement d'exécution. L'opposition n'est réputée formée qu'après le paiement de la taxe d'opposition. (Art. 99(1) Convention sur le brevet européen).

Description

[0001] La présente invention concerne le domaine des compositions énergétiques, et en particulier des compositions énergétiques qui peuvent être intégrées dans des systèmes pyrotechniques, notamment de l'industrie militaire ou spatiale, comme les inflammateurs, les détonateurs ou des dispositifs intégrant ces éléments.

[0002] La composition énergétique est considérée comme étant l'élément primaire de la chaîne. La composition énergétique utilisée en début de la chaîne pyrotechnique est le plus souvent une composition sensible (composition primaire) afin de permettre la mise en régime de la chaîne pyrotechnique. Du fait de leur sensibilité élevée, il est nécessaire de se prémunir du fonctionnement accidentel de ces dernières.

[0003] Le fonctionnement normal du système pyrotechnique est généralement mis en oeuvre par un effet mécanique, thermique ou électrique, de faible puissance.

[0004] Un fonctionnement accidentel conduisant au déclenchement de la chaîne pyrotechnique peut causer des dommages importants, que ce soit en termes humain ou de matériel. Il est nécessaire de se prémunir d'un fonctionnement accidentel des compositions énergétiques pour en assurer un niveau de sécurité compatible avec les exigences de muratation du système (en référence au label MURAT - « Munition à Risques Atténués », ou IM - « Insensitive Munitions » en anglais). Une munition possédant le label MURAT est une munition qui satisfait aux conditions exigées en matière de performances, de disponibilité et de mise en oeuvre, mais pour laquelle on a réduit au minimum la probabilité d'un fonctionnement intempestif et des dommages collatéraux qui en résulteraient lorsqu'elle est soumise à des sollicitations accidentelles. Le caractère MURAT d'une munition en constitue une performance intrinsèque, indépendante du cycle de vie, définie pour une configuration donnée. Les labels MURAT sont définis dans l'instruction DGA/IPE n° 260 édition de juillet 1993 : "Doctrine nationale française en matière de munitions à risques atténués".

[0005] Des procédés classiques de désensibilisation d'un matériau énergétique consistent à élever le seuil de sensibilité aux différentes formes de sollicitations, au détriment de sa performance. Il existe plusieurs variantes de ce procédé, ayant trait aux explosifs intrinsèques, tels que la nitroglycérine (A. Nobel, brevet US 78,317 (1868)), l'azoture de plomb (Société d'études chimiques pour l'industrie, brevet FR 499,506 (1918)), ainsi qu'aux compositions énergétiques (R.L. Simpson et al., brevets US 6,666,935 (2003) et US 6893518 (2005)). Malgré la diminution du niveau de sensibilité, la substance reste intrinsèquement énergétique.

[0006] Actuellement les besoins industriels sont satisfaits par la préparation de substances énergétiques primaires pouvant être désensibilisés par ingénierie des matériaux. L'exemple le plus connu est celui du procédé

d'Alfred Nobel pour désensibiliser aux chocs la nitroglycérine en l'imprégnant dans différentes substances poreuses. La dynamite ainsi obtenue, quoiqu'elle soit peu sensible, demeure un explosif susceptible de détoner sous l'effet d'une sollicitation d'intensité suffisamment élevée. Ce type de procédé insensibilise le matériau au détriment de ses performances. En d'autres termes, un matériau énergétique primaire n'est jamais rendu totalement inerte.

[0007] Le désalignement des éléments primaires d'une chaîne pyrotechnique constitue un artifice physique permettant d'atteindre le niveau de sécurité requis en séparant les éléments actifs de la chaîne pyrotechnique et à ne les réunir qu'au moment où cela est nécessaire, dans les conditions de tir ou d'allumage prévues.

[0008] Les procédés actuellement utilisés impliquent l'intégration de substances énergétiques sensibles susceptibles de donner lieu à une réaction pyrotechnique en cas de sollicitations accidentelles au cours du stockage ou de l'utilisation, dans des armements ou d'autres systèmes qui les contiennent. Ces sollicitations peuvent intervenir lors de la manutention, du vieillissement, d'un incendie, ou par un coup au but, etc. Les conséquences d'une réaction pyrotechnique accidentelle peuvent aller de la neutralisation à la destruction du système et présenter un coût et des dommages matériels et humains associés. Enfin, la réglementation applicable dans le transport et la manipulation des matières explosives nécessite des conditions particulières, lourdes et coûteuses à mettre en place.

[0009] La séparation initiale des phases constitutives de la composition primaire de la chaîne pyrotechnique est actuellement une technique de désensibilisation ultime du matériau énergétique. De plus, ce procédé résout les problèmes provenant des contraintes réglementaires s'appliquant à toute substance pyrotechnique (stockage, installations classées, transport) compte tenu de l'absence de matériau énergétique constitué. Les documents US 5,699,842, US 3,987,967 A, US 4,632,316 A et A RAKOCZY R ET AL: "Studies of a mixing process induced by a transverse rotating magnetic field", CHEMICAL ENGINEERING SCIENCE, vol. 66, no. 11, 1 juin 2011 (2011-06-01), pages 2298-2308, divulguent des procédés de mélanges de poudres par génération de champs magnétiques.

[0010] Le document WO 2009/008794 A1 décrit une méthode et un système de mélange et d'ignition d'une charge pyrotechnique.

Buts de l'invention

[0011] L'invention a pour but de résoudre l'ensemble des problèmes techniques mentionnés ci-dessus, et en particulier les problèmes techniques et réglementaires liés à l'emploi de matériaux énergétiques constitués.

[0012] En particulier, l'invention a pour but de fournir une composition énergétique présentant un très haut niveau de sécurité du point de vue pyrotechnique, notam-

ment pour faciliter la muratisation des systèmes l'incluant.

[0013] L'invention a notamment pour but de fournir une composition énergétique qui ne s'active pas suite à des sollicitations accidentelles pouvant intervenir lors du cycle de vie du produit.

[0014] L'invention a également pour but de fournir une composition énergétique disponible uniquement lorsqu'elle est nécessaire et sans affecter ses performances énergétiques.

[0015] L'invention a également pour but de fournir un procédé permettant d'activer cette composition énergétique, et de dispositifs le mettant en oeuvre.

Description de l'invention

[0016] L'invention concerne une composition énergétique susceptible d'être activée en mélangeant ses constituants élémentaires individuellement inertes.

[0017] L'invention concerne une composition énergétique comprenant des particules ferromagnétiques ou aimantées, de dimension micrométrique à centimétrique, dites particules motrices, et au moins deux types de composés solides pulvérulents de dimension nanométrique initialement physiquement séparés, dits précurseurs inertes de composition énergétique finale, lesdits précurseurs formant un système redox comprenant une composition oxydante et une composition réductrice, ladite composition énergétique étant susceptible d'être activée du point de vue pyrotechnique par mélange des précurseurs inertes de composition énergétique finale par agitation desdites particules motrices soit au moyen d'un champ magnétique variant en fonction du temps.

[0018] La composition énergétique de l'invention comprend au moins deux types de composés précurseurs, qui physiquement séparés, sont inactifs du point de vue pyrotechnique, mais deviennent actifs du point de vue pyrotechnique lorsqu'ils sont mélangés. La composition de l'invention est donc une composition inerte du point de vue pyrotechnique qui devient active après mise en contact des précurseurs entre eux.

[0019] L'invention consiste donc en une composition énergétique qui peut être activée du point de vue pyrotechnique en mélangeant ses constituants élémentaires au moyen d'un champ magnétique variant au cours du temps et s'appliquant directement sur les particules. Les constituants élémentaires permettant d'activer la composition énergétique sont les précurseurs de composition énergétique finale. On entend par « actif » ou « activé » du point de vue pyrotechnique le fait de rendre la composition suffisamment énergétique pour son utilisation dans un dispositif pyrotechnique, notamment en tant que composition d'amorçage.

[0020] La taille des particules motrices doit être suffisante pour entraîner les précurseurs en mouvement et en assurer le mélange. Toutefois, l'inertie ne doit pas être trop importante afin d'éviter la mise à feu de la composition sous les effets de chocs ou de friction produits

par les mouvements des particules motrices. Le dimensionnel des particules motrices est généralement compris entre 0,1 et 10000 micromètres.

[0021] Les particules motrices présentent généralement une forme géométrique déplaçant la plus grande quantité possible de matières les environnant lorsqu'elles entrent en mouvement. À cet effet, les particules motrices se présentent de préférence sous forme de plaquettes ou lamelles, éventuellement crantées.

[0022] Selon un mode de réalisation, les particules motrices ferromagnétiques, qui sont directement animées par le champ magnétique, sont choisies parmi le fer, le cobalt, le nickel, un alliage d'Heusler, la famille des lanthanides, oxydes mixtes de fer II et de fer III, et les ferrites. Les ferrites peuvent être définis par la formule $(MO; Fe_2O_3)$ où M est un métal divalent. Un représentant bien connu est la magnétite Fe_3O_4 ($FeO; Fe_2O_3$).

[0023] Selon un autre mode de réalisation, les particules motrices aimantées, qui sont directement animées par le champ magnétique, sont choisies parmi les aimants permanents. Parmi les aimants permanents on peut citer le Nd-B-Fe, les aimants de chimie de coordination comme les composés $[M^II(Rtrz)_3]A_2 \cdot xH_2O$ où les ions métalliques M (Fe^{II} , Zn^{II}) sont reliés entre eux par des ligands triazole (trz) greffés en position 4 par un groupement R (généralement une chaîne alkyle), A^- correspond au contre-ion utilisé, par exemple Cl^- ou l'ion paratolylsulfonate ; les aimants organo-métalliques comme par exemple le $[Fe(Me_5Cp)_2][TCNE]$, où Me_5Cp est le pentaméthylcyclopentadiényle et TCNE le tétracyanoéthylène ou le $V(TCNE)_2$ (di-tétracyanoéthylèneure de vanadium); et les aimants purement organiques.

[0024] Les précurseurs de la composition énergétique finale forment un système redox comprenant une composition oxydante et une composition réductrice.

[0025] Selon un mode de réalisation particulier, la composition oxydante et la composition réductrice sont physiquement séparées par une couche intermédiaire pouvant inclure des particules motrices. Typiquement l'épaisseur de la couche de particules motrices est comprise entre 0,2 et 5 mm, et peut être par exemple d'environ 1 mm. La séparation de la composition oxydante de la composition réductrice par la couche de particules motrices permet une inactivation encore plus fiable de la composition énergétique.

[0026] Selon un autre mode de réalisation particulier, la composition oxydante et la composition réductrice, séparées physiquement, par exemple par une membrane, un opercule ou un diaphragme, comprennent ou non chacune des particules motrices.

[0027] La composition énergétique est activée par agitation des particules motrices qui pénètrent et se déplacent dans la composition oxydante et la composition réductrice. Sous l'effet de l'agitation des particules motrices, les compositions oxydante et réductrice se mélangent, activant ainsi la composition énergétique.

[0028] En général, la teneur en particules motrices nécessaire pour assurer le mélange se situe entre 1 et 20

%, et de préférence entre 1 et 5%, en masse de la masse totale de la composition énergétique. Cette proportion reste modeste et n'est pas suffisamment élevée pour altérer significativement les performances énergétiques de la composition finale activée.

[0029] L'homogénéisation de la composition énergétique est d'autant plus efficace que les particules des précurseurs sont de petites tailles. Selon un mode de réalisation, les précurseurs de la composition énergétique finale sont des poudres de dimension nanométrique. Le diamètre des particules élémentaires est généralement compris entre 1 et 300 nm, et de préférence inférieure à 100 nm. L'agitation des particules motrices permet le foisonnement des précurseurs, en favorise l'interpénétration, et par conséquent, favorise l'efficacité et l'homogénéité du mélange.

[0030] De préférence, la taille des particules motrices est supérieure d'au moins un ordre de grandeur à celle des plus gros agrégats des particules de précurseurs. Une taille idéale des particules motrices se situe entre 1 μm et un centimètre.

[0031] De préférence, les précurseurs de la composition énergétique finale sont des constituants des nanothermites. Les nanothermites (« metastable intermolecular composites » - MICs) sont un mélange très fin, à l'échelle nanométrique, d'un oxydant et d'un réducteur.

[0032] Parmi les nanothermites on peut citer les compositions aluminium-oxyde de molybdène(VI), comme Al-MoO_3 ; les compositions aluminium-oxyde de cuivre(II), comme Al-CuO ; les compositions Aluminium-oxydes de fer(II,III), comme $\text{Al-Fe}_2\text{O}_3$; les compositions aluminium-oxyde de tungstène(VI), comme Al-WO_3 ; les compositions aluminium-oxyde de bismuth(III), comme $\text{Al-Bi}_2\text{O}_3$; les compositions aluminium-oxyde de manganèse(IV), comme Al-MnO_2 ; les mélanges de permanganate de potassium avec de l'antimoine; les mélanges de permanganate de potassium avec de l'aluminium, comme Al-KMnO_4 ; les mélanges de permanganate de potassium avec du bore, comme B-KMnO_4 ; les hydrates d'oxydes aluminium-tungstène(VI); les composés Titane-bore, et les aluminium-fluoropolymères. Des nanothermites peuvent également être formulées en mélangeant des poudres d'oxydes métalliques avec des métaux réducteurs tels que le bore, le magnésium, le titane, le zirconium, le hafnium, le zinc ainsi que certains éléments appartenant à la famille des terres rares.

[0033] Le PTFE ou d'autres fluoropolymères peuvent être utilisés comme liants des nanothermites.

[0034] Les nanothermites sont avantageuses puisqu'elles possèdent un potentiel énergétique et une sensibilité thermique permettant un allumage par fil chaud, fil détonant, impulsion laser, flamme, plasma ou décharge capacitive. Leurs constituants, métaux ou oxydes métalliques, possèdent une excellente stabilité dans le temps, y compris en conditions extrêmes (variations de températures, etc.). Cette dernière caractéristique revêt une importance capitale pour le développement de systèmes intégrables dans des missiles.

[0035] La composition énergétique de l'invention peut être complexe et comprendre des molécules organiques, énergétiques ou inertes, utilisées par exemple en tant que substances génératrices de gaz, comme des propergols par exemple.

[0036] En outre la composition énergétique de l'invention peut constituer avantageusement une composition d'allumage ou d'amorçage d'un système pyrotechnique.

[0037] L'invention concerne également un dispositif comprenant une ou plusieurs compositions énergétiques inactives telles que définies précédemment, et un ou plusieurs moyens générateurs de champ magnétique variant en fonction du temps pour activer ladite composition énergétique du point de vue pyrotechnique.

[0038] De préférence la position des lignes de champ varie en fonction du temps. Par exemple le champ magnétique est mis en rotation. Ceci peut s'effectuer simplement en mettant en rotation le ou les moyens générateurs de champ magnétique.

[0039] Selon un mode de réalisation, le moyen générateur de champ magnétique est choisi parmi un ou plusieurs aimants permanents mécaniquement mobiles, un ou plusieurs solénoïdes, un ou plusieurs électroaimants alimentés par une source de courant oscillant ou continu, et l'une quelconque de leurs combinaisons.

[0040] Avantageusement, les moyens générateurs de champ magnétique sont disposés autour de ladite composition énergétique inactive, et génèrent de préférence un champ magnétique traversant sensiblement l'ensemble de la composition énergétique.

[0041] Selon une variante, le dispositif de l'invention comprend un moyen d'entraînement, tel qu'un moteur, entraînant en rotation le moyen générateur de champ magnétique pour agiter les particules motrices afin de mettre en contact les précurseurs entre eux, et ainsi générer la composition énergétique activée.

[0042] On peut prévoir que le dispositif comprenne un moyen d'activation du champ magnétique à distance.

[0043] Selon une variante préférée, le dispositif de l'invention est intégré dans un système pyrotechnique, et par exemple un système pyrotechnique militaire. L'invention couvre donc en particulier une charge militaire, un obus, une roquette, un missile notamment un missile d'interception ou de croisière, ou tout autre armement comprenant un système pyrotechnique selon l'invention. L'invention couvre également des systèmes pour détonateurs de très haute sécurité utilisés dans le cadre d'applications civiles.

[0044] Typiquement le dispositif de l'invention est intégré dans un inflammateur, un détonateur ou un élément de système pyrotechnique, notamment militaire. Un tel dispositif procure un niveau de sécurité très important facilitant l'obtention du label MURAT.

[0045] L'architecture du dispositif utilisé pour faire varier le champ magnétique dépend de la nature des substances à mélanger et des spécificités de l'application envisagée. Ainsi le dispositif de l'invention peut prendre toute géométrie appropriée au mélange des précurseurs par

l'agitation des particules motrices sous l'influence du champ magnétique seul ou associé à un moyen de mélange complémentaire.

[0046] Les systèmes pyrotechniques de l'invention sont des systèmes de dimension centimétrique (telles que des inflammateurs ou détonateurs).

[0047] L'invention permet l'activation de la composition énergétique d'un système pyrotechnique dans les instants qui précèdent sa mise à feu. Avant le déclenchement de l'activation, le système pyrotechnique est totalement inerte puisque les éléments primaires de la composition énergétique, qui sont insensibles séparément, ne sont pas associés.

[0048] Pour assurer une sécurité maximale, les compositions de précurseurs (par exemple compositions oxydante et réductrice) de l'invention peuvent être séparées par un système de séparation physique, par exemple par une membrane ou un diaphragme. Ce système de séparation physique peut être éliminé juste avant mélange des deux compositions de précurseurs, par exemple par perforation ou ouverture. Le dispositif de l'invention peut donc comprendre un moyen de perforation ou d'ouverture du système de séparation physique.

[0049] L'invention concerne également un procédé d'activation d'une composition énergétique, dans lequel ladite composition énergétique comprend des particules ferromagnétiques ou aimantées de dimension micrométrique à centimétrique, dites particules motrices, et au moins deux types de composés solides pulvérulents de dimension nanométrique initialement physiquement séparés, dits précurseurs inertes de composition énergétique finale, cette composition étant telle que définie précédemment, ledit procédé comprenant :

(i) l'agitation desdites particules motrices soit au moyen d'un champ magnétique variant en fonction du temps pour mélanger les précurseurs de la composition énergétique, et

(ii) l'activation de la composition énergétique par mise en contact des précurseur inertes entre eux.

[0050] Typiquement, le champ magnétique est produit un ou plusieurs aimants permanents mécaniquement mobiles et/ou par un ou plusieurs solénoïdes et/ou un ou plusieurs électroaimants alimentés par une source de courant oscillant ou continu.

[0051] Par exemple, un assemblage de solénoïdes peut être utilisé pour déplacer les particules motrices dans la totalité du volume qu'occupe la composition activée. Les champs générés sont ainsi contrôlés afin d'assurer un mouvement permettant l'homogénéisation efficace des constituants de la composition.

[0052] Le procédé de l'invention permet de mélanger les précurseurs avec un temps de mélange compatible pour l'utilisation de la composition dans un système pyrotechnique, par exemple dans un missile. Le temps de mélange est de l'ordre de quelques secondes (missile d'interception) à quelques minutes (missile de croisière).

Typiquement le temps de mélange est compris entre 0,1 seconde et 5 minutes. De préférence, l'agitation ou le mélange est réalisé jusqu'à l'obtention d'une composition énergétique homogène, c'est-à-dire que les précurseurs soient intimement mélangés.

[0053] Selon une variante, après activation de la composition énergétique, les particules motrices sont retirées du mélange, notamment par l'action d'un champ magnétique plus puissant.

[0054] Selon une variante, après activation de la composition énergétique, celle-ci peut être comprimée.

[0055] Le procédé de l'invention consiste donc à produire une composition énergétique au moment où elle doit être utilisée, à partir de précurseurs inertes. Parmi les avantages découlant de la mise en oeuvre de ce procédé on peut notamment citer :

- un niveau de sécurité très élevé voire absolu, le matériau énergétique n'étant formé qu'au moment de son utilisation ;
- les performances du matériau énergétique ne sont pas altérées dans le temps ;
- les contraintes réglementaires inhérentes à la fabrication, la manipulation, le stockage, le transport et la mise en oeuvre des substances énergétiques sont sans objet ;
- la compacité du système intégrant le dispositif de l'invention permet d'envisager l'embarquement dans différents systèmes militaires ou spatiaux ;
- le procédé est particulièrement adapté à la fabrication d'une composition d'amorçage, ce qui élève de manière considérable le niveau de muratisation des armements dans lesquels elle peut être intégrée.

[0056] La figure 1 représente une coupe schématique d'une variante de l'invention dans laquelle une composition oxydante (10) est déposée au fond d'un godet (60), ladite composition oxydante (10) comprenant des particules motrices (30). Une composition réductrice (20) est déposée à la surface de la composition oxydante (10).

[0057] Le godet (60) est positionné à l'intérieur d'un moyen générateur de champ magnétique (ou inducteur) (50), tel qu'un stator, par exemple de forme annulaire (non représentée sur la figure). L'inducteur (50) peut être relié à un ou plusieurs dispositifs d'alimentation électrique afin d'activer ou non le champ magnétique. L'inducteur (50) est de préférence relié à un dispositif d'entraînement en rotation selon l'axe (70). Ce dispositif peut être typiquement un moteur. Le godet (60) est de préférence maintenu fixe lors de la rotation de l'inducteur (50). La composition énergétique (système {composition oxydante (10) /réductrice (20)}) est inactive, mais peut-être activée par la mise en rotation de l'inducteur (50) en fonctionnement. Les particules motrices (30) sont mises en mouvement par le champ magnétique induit de manière à mélanger les compositions oxydante (10) et réductrice (20). On entend par inducteur (50) en fonctionnement le fait qu'il génère un champ magnétique traversant les

compositions oxydante (210) et réductrice (220). Le sens d'empilement des couches représentés sur les figures 1 et 2 (orthogonal à l'axe de rotation (70)) peut être inversé (parallèle à l'axe de rotation (70)) si une telle configuration présente un meilleur rendement en terme d'aptitude au mélange. Toutes autres orientations intermédiaires peuvent être retenues si elles présentent un intérêt compte-tenu de la nature des produits à mélanger et du mode d'agitation.

[0058] La figure 2 représente une coupe schématique d'une autre variante de ce dispositif dans lequel le godet (260) contient une composition oxydante (210) sur laquelle a été déposée une couche de particules motrices (230) sur laquelle a été déposée une couche réductrice (220). La couche de particules motrices (230) permet d'isoler les compositions oxydantes (210) et réductrices (220). Cette composition totale (système {composition oxydante (10) /réductrice (20)}) est alors inactive. De la même manière le mélange des compositions est réalisé par la mise en rotation selon l'axe (270) de l'inducteur (250) en fonctionnement qui mélange les compositions oxydante (210) et réductrice (220) du fait de la mise en mouvement des particules motrices (230) par le champ magnétique induit.

[0059] De préférence, le mélange est réalisé jusqu'à l'obtention d'une composition homogène avec un mélange intime des compositions oxydante (10,210) et réductrice (20,220).

Revendications

1. Composition énergétique inactive comprenant des particules ferromagnétiques ou aimantées de dimension micrométrique à centimétrique, dites particules motrices, et au moins deux types de composés solides pulvérulents de dimension nanométrique physiquement séparés, dits précurseurs inertes de composition énergétique finale, lesdits précurseurs formant un système redox comprenant une composition oxydante et une composition réductrice, ladite composition énergétique étant susceptible d'être activée du point de vue pyrotechnique par mélange desdits précurseurs inertes de composition énergétique finale par agitation desdites particules motrices au moyen d'un champ magnétique variant en fonction du temps.
2. Composition, selon la revendication 1, **caractérisée en ce que** les particules motrices ferromagnétiques sont choisies parmi le fer, le cobalt, le nickel, un alliage d'Heusler, la famille des lanthanides, oxydes mixtes de fer II et de fer III, et les ferrites.
3. Composition, selon la revendication 1 ou 2, **caractérisée en ce que** les particules motrices aimantées sont choisies parmi les aimants permanents.
4. Composition, selon la revendication 1, **caractérisée en ce que** la composition oxydante et la composition réductrice sont physiquement séparées par une couche intermédiaire pouvant inclure des particules motrices.
5. Composition, selon la revendication 1, **caractérisée en ce que** la composition oxydante et la composition réductrice, séparées physiquement, par exemple par une membrane, un diaphragme ou un opercule, comprennent ou non chacune des particules motrices.
6. Composition, selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisée en ce que** les précurseurs de la composition énergétique finale sont des constituants des nanothermites.
7. Dispositif comprenant une ou plusieurs compositions énergétiques inertes telles que définies aux revendications précédentes, et un ou plusieurs moyens générateurs de champ magnétique variant en fonction du temps pour activer ladite composition énergétique du point de vue pyrotechnique.
8. Dispositif, selon la revendication précédente, **caractérisé en ce que** le moyen générateur de champ magnétique est choisi parmi un ou plusieurs aimants permanent mécaniquement mobiles, un ou plusieurs solénoïdes, un ou plusieurs électroaimants alimentés par une source de courant oscillant ou continu, et l'une quelconque de leurs combinaisons.
9. Dispositif, selon la revendication 7 ou 8, **caractérisé en ce que** les moyens générateurs de champ magnétique sont disposés autour de ladite composition énergétique inactive.
10. Dispositif, selon l'une quelconque des revendications 7 à 9, **caractérisé en ce qu'il** comprend un moyen d'activation du champ magnétique à distance.
11. Système pyrotechnique ou élément de système pyrotechnique dans lequel est intégré un dispositif, selon l'une quelconque des revendications 7 à 10.
12. Procédé d'activation d'une composition énergétique inactive, dans laquelle ladite composition énergétique inactive comprend des particules ferromagnétiques ou aimantées de dimension micrométrique à centimétrique, dites particules motrices, et au moins deux types de composés solides pulvérulents de dimension nanométrique initialement physiquement séparés, dits précurseurs inertes de composition énergétique finale, ladite composition inactive étant telle que définie selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, ledit procédé comprenant :

- (i) l'agitation desdites particules motrices au moyen d'un champ magnétique variant en fonction du temps pour mélanger les précurseurs inertes de la composition énergétique inactive, et
(ii) l'activation de la composition énergétique inactive par mise en contact des précurseurs inertes entre eux.
13. Procédé, selon la revendication 12, **caractérisé en ce que** le champ magnétique est produit par un ou plusieurs aimants permanents mécaniquement mobiles et/ou par un ou plusieurs solénoïdes et/ou un ou plusieurs électroaimants alimentés par une source de courant oscillant ou continu.
14. Procédé, selon l'une quelconque des revendications 12 et 13, **caractérisé en ce qu'**après activation de la composition énergétique, les particules motrices sont retirées du mélange, notamment par l'action d'un champ magnétique plus puissant.
15. Procédé, selon l'une quelconque des revendications 12 à 14, **caractérisé en ce qu'**après activation de la composition énergétique, la composition est comprimée.

Patentansprüche

1. Inaktive energetische Zusammensetzung, umfassend ferromagnetische oder magnetisierte Partikel mit mikrometrischer bis zentimetrischer Abmessung, bezeichnet als treibende Partikel, und mindestens zwei Arten von pulverförmigen festen Verbindungen mit nanometrischer Abmessung in physischer Trennung, bezeichnet als inerte Vorläufer der endgültigen energetischen Zusammensetzung, wobei die Vorläufer ein Redoxsystem bilden, umfassend eine oxidierende Zusammensetzung und eine reduzierende Zusammensetzung, wobei die energetische Zusammensetzung vom pyrotechnischen Gesichtspunkt durch Mischung der inerten Vorläufer der endgültigen energetischen Zusammensetzung durch Rühren der treibenden Partikel mit Hilfe eines variierenden magnetischen Felds in Funktion der Zeit aktiviert werden kann.
2. Zusammensetzung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die ferromagnetischen treibenden Partikel ausgewählt sind aus Eisen, Kobalt, Nickel, einer Heusler'schen Legierung, der Familie der Lanthanide, gemischten Eisen II- und Eisen III-Oxiden und Ferriten.
3. Zusammensetzung nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die magnetisierten treibenden Partikel ausgewählt sind aus den Dauer-
4. Zusammensetzung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die oxidierende Zusammensetzung und die reduzierende Zusammensetzung physisch durch eine Zwischenschicht getrennt sind, die treibende Partikel einschließen kann.
5. Zusammensetzung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die oxidierende Zusammensetzung und die reduzierende Zusammensetzung physisch getrennt z. B. durch eine Membran, ein Diaphragma oder einen Deckel, jeweils treibende Partikel umfassen oder nicht.
6. Zusammensetzung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Vorläufer der endgültigen energetischen Zusammensetzung Bestandteile der Nanothermiten sind.
7. Vorrichtung, umfassend eine oder mehrere energetisch aktive Zusammensetzungen, wie in den vorhergehenden Ansprüchen definiert, und ein oder mehrere Generatormittel eines magnetischen Felds, das in Funktion der Zeit variiert, um die energetische Zusammensetzung vom pyrotechnischen Gesichtspunkt zu aktivieren.
8. Vorrichtung nach dem vorhergehenden Anspruch, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Generatormittel des magnetischen Felds ausgewählt ist aus einem oder mehreren mechanisch beweglichen Dauermagneten, einem oder mehreren Solenoiden, einem oder mehreren Elektromagneten, versorgt von einer oszillierenden oder kontinuierlichen Stromquellen und einer ihrer Kombinationen.
9. Vorrichtung nach Anspruch 7 oder 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Generatormittel eines magnetischen Felds um die inaktive energetische Zusammensetzung angeordnet sind.
10. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 7 bis 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** sie ein Mittel zur Fernaktivierung des magnetischen Felds umfasst.
11. Pyrotechnisches System oder Element eines pyrotechnischen Systems, in das eine Vorrichtung integriert ist, nach einem der Ansprüche 7 bis 10.
12. Verfahren zur Aktivierung einer inaktiven energetischen Zusammensetzung, wobei die inaktive energetische Zusammensetzung ferromagnetische oder magnetisierte Partikel mit mikrometrischer bis zentimetrischer Abmessung, bezeichnet als treibende Partikel und mindestens zwei Arten von pulverförmigen festen Verbindungen mit nanometrischer Abmessung, anfänglich physisch getrennt, bezeichnet

als inerte Vorläufer der endgültigen energetischen Zusammensetzung, umfasst, wobei die inaktive Zusammensetzung wie nach einem der Ansprüche 1 bis 6 definiert ist, wobei das Verfahren Folgendes umfasst;

- (i) Rühren der treibenden Partikel mit Hilfe eines magnetischen Felds, das in Funktion der Zeit variiert, um die inerten Vorläufer der inaktiven energetischen Zusammensetzung zu mischen, und
- (ii) Aktivieren der inaktiven energetischen Zusammensetzung durch In-Kontakt-Bringen der inerten Vorläufer miteinander.

13. Verfahren nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** das magnetische Feld durch einen oder mehrere mechanisch bewegliche Dauermagneten und/oder durch einen oder mehrere Solenoiden und/oder durch einen oder mehrere Elektromagneten, versorgt von einer oszillierenden oder kontinuierlichen Stromquelle, erzeugt wird.
14. Verfahren nach einem der Ansprüche 12 bis 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** nach der Aktivierung der energetischen Zusammensetzung die treibenden Partikel aus der Mischung entfernt werden, insbesondere durch Betätigung des stärksten magnetischen Felds.
15. Verfahren nach einem der Ansprüche 12 bis 14, **dadurch gekennzeichnet, dass** nach der Aktivierung der energetischen Zusammensetzung die Zusammensetzung komprimiert wird.

Claims

1. Inactive energetic composition comprising ferromagnetic or magnetized particles of micrometric to centimetric size, called motive particles, and at least two types of physically separated, powdered solid compounds of nanometric size, called inert precursors of final energetic composition, said precursors forming a redox system comprising an oxidizing composition and a reducing composition, said energetic composition able to be activated from a pyrotechnic viewpoint by mixing said inert precursors of final energetic composition via agitation of said motive particles by means of a magnetic field varying as a function of time.
2. The composition according to claim 1, **characterized in that** the ferromagnetic motive particles are selected from among iron, cobalt, nickel, Heusler alloys, lanthanide family, mixed iron II and iron III oxides, and ferrites.
3. The composition according to claim 1 or 2, **characterized in that** the magnetized motive particles are selected from among permanent magnets.
4. The composition according to claim 1, **characterized in that** the oxidizing composition and reducing composition are physically separated by an intermediate layer able to include motive particles.
5. The composition according to claim 1 **characterized in that** the oxidizing composition and reducing composition, physically separated for example via a membrane, diaphragm or film, may or may not each comprise motive particles.
6. The composition according to any of the preceding claims, **characterized in that** the precursors of the final energetic composition are constituents of nanothermites.
7. Device comprising one or more inactive energetic compositions such as defined in the preceding claims, and one or more magnetic field generating means varying as a function of time to activate said energetic composition from a pyrotechnic viewpoint.
8. The device according to the preceding claim, **characterized in that** the magnetic field generating means are selected from among one or more mechanically mobile permanent magnets, one or more solenoids, one or more electromagnets powered by an oscillating or direct current source, and any of the combinations thereof.
9. The device according to claim 7 or 8, **characterized in that** the magnetic field generating means are arranged around said inactive energetic composition.
10. The device according to any of claims 7 to 9, **characterized in that** it comprises remote means for activating the magnetic field.
11. Pyrotechnic system or element of a pyrotechnic system in which a device according to any of claims 7 to 10 is integrated.
12. Method for activating an inactive energetic composition, wherein said inactive energetic composition comprises ferromagnetic or magnetized particles of micrometric to centimetric size, called motive particles, and at least two types of powdered solid compounds of nanometric size initially physically separated, called inert precursors of final energetic composition, said inactive composition being such as defined in any of claims 1 to 6, said method comprising:
 - (i) agitation of said motive particles by means of a magnetic field varying as a function of time, to

mix the inert precursors of the inactive energetic composition; and
(ii) activation of the inactive energetic composition by contacting the inert precursors with each other.

5

13. The method according to claim 12, **characterized in that** the magnetic field is produced by one or more mechanically mobile permanent magnets and/or by one or more solenoids and/or one or more electromagnetics powered by an oscillating or direct current source. 10
14. The method according to any of claims 12 and 13 **characterized in that** after activation of the energetic composition, the motive particles are removed from the mixture in particular via action of a more powerful magnetic field. 15
15. The method according to any of claims 12 to 14 **characterized in that** after activation of the energetic composition, the composition is compressed. 20

25

30

35

40

45

50

55

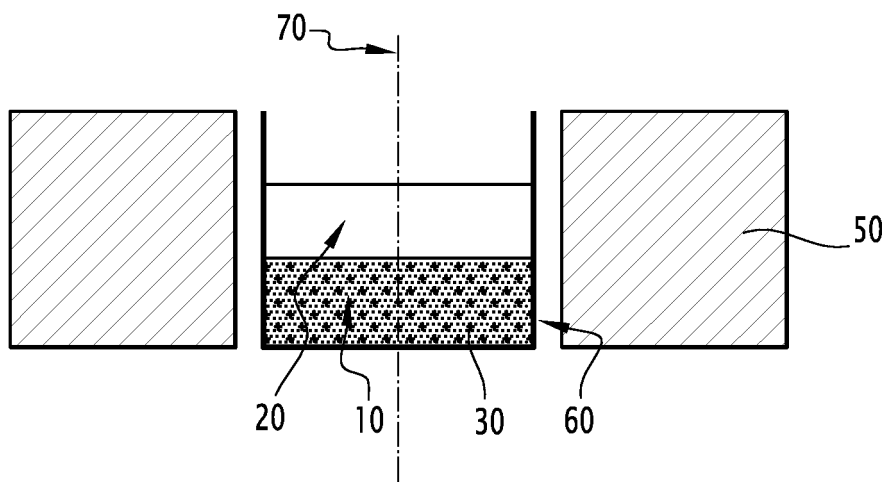


FIG.1

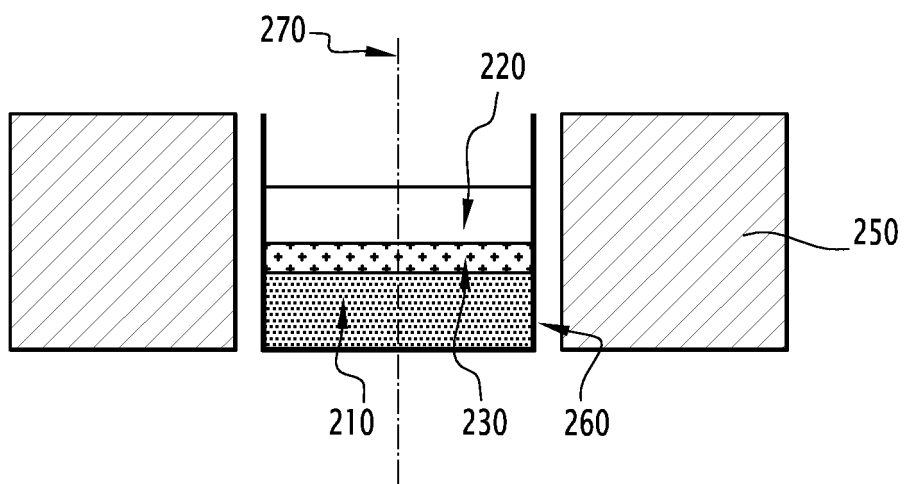


FIG.2

RÉFÉRENCES CITÉES DANS LA DESCRIPTION

Cette liste de références citées par le demandeur vise uniquement à aider le lecteur et ne fait pas partie du document de brevet européen. Même si le plus grand soin a été accordé à sa conception, des erreurs ou des omissions ne peuvent être exclues et l'OEB décline toute responsabilité à cet égard.

Documents brevets cités dans la description

- US 783171868 B, A. Nobel, [0005]
- FR 4995061918 [0005]
- US 66669352003 A [0005]
- US 68935182005 A [0005]
- US 5699842 A [0009]
- US 3987967 A [0009]
- US 4632316 A [0009]
- WO 2009008794 A1 [0010]

Littérature non-brevet citée dans la description

- **LES LABELS MURAT.** Doctrine nationale française en matière de munitions à risques atténués. *l'instruction DGA/IPE*, Juillet 1993 [0004]
- **A RAKOCZY R et al.** Studies of a mixing process induced by a transverse rotating magnetic field. *CHEMICAL ENGINEERING SCIENCE*, 01 Juin 2011, vol. 66 (11), 2298-2308 [0009]