



(22) Date de dépôt/Filing Date: 2007/05/08

(41) Mise à la disp. pub./Open to Public Insp.: 2007/11/10

(30) Priorité/Priority: 2006/05/10 (FR06 51682)

(51) Cl.Int./Int.Cl. *B22C 9/24* (2006.01),
B22C 7/00 (2006.01), *B23P 15/02* (2006.01)

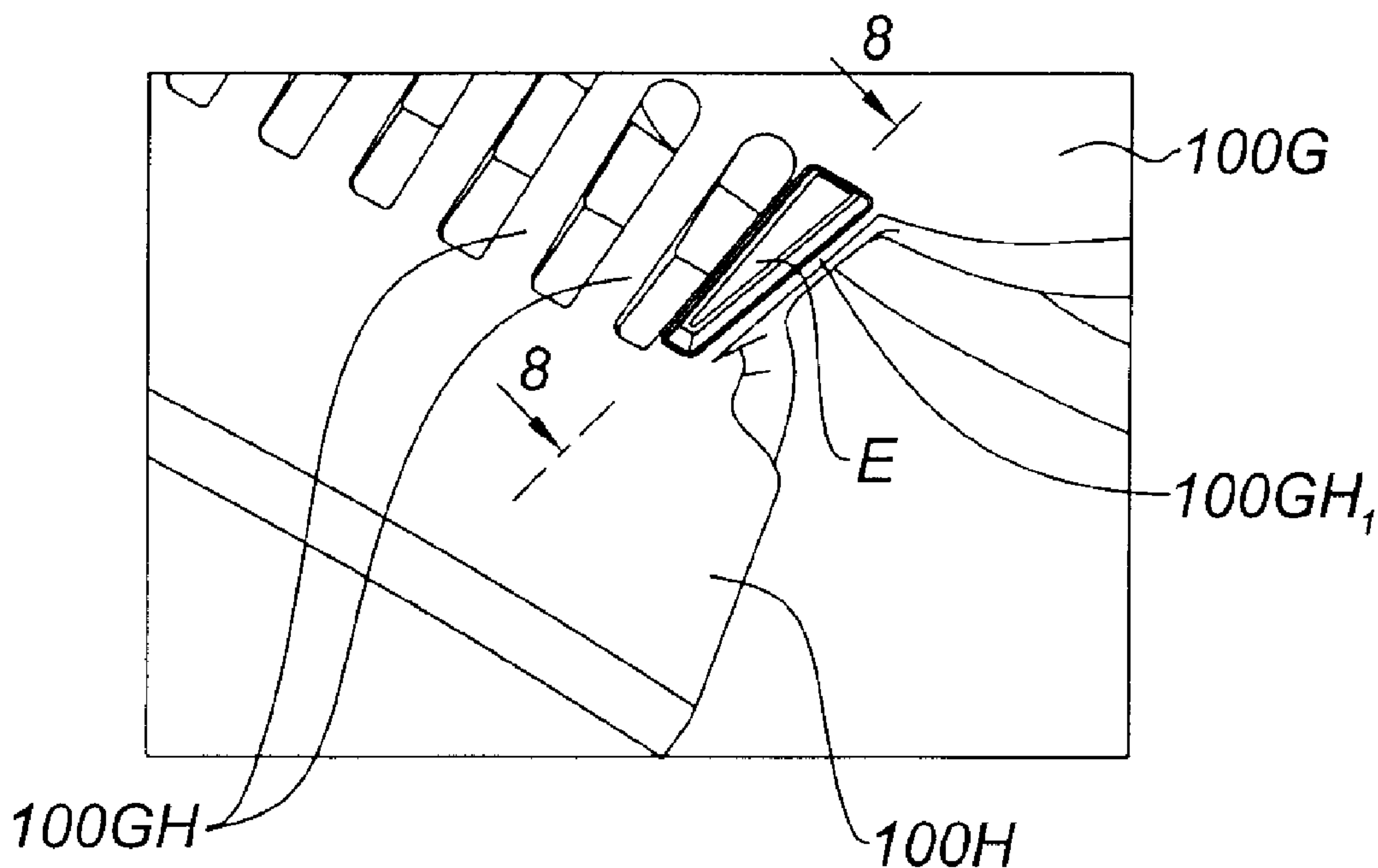
(71) Demandeur/Applicant:
SNECMA, FR

(72) Inventeurs/Inventors:
GUERCHE, DIDIER, FR;
PRIGENT, SERGE, FR;
WEHRER, PATRICK, FR

(74) Agent: GOUDREAU GAGE DUBUC

(54) Titre : PROCÉDE DE FABRICATION DE NOYAUX CERAMIQUES DE FONDERIE POUR AUBES DE
TURBOMACHINE

(54) Title: PROCESS FOR MANUFACTURING CERAMIC CORES FOR TURBINE BLADES



(57) Abrégé/Abstract:

L'invention porte sur un procédé de fabrication d'un noyau céramique de fonderie, comportant au moins une zone fine d'épaisseur « e », en particulier dans un bord de fuite d'aube de turbomachine notamment, comprenant la mise en forme dans un moule d'un mélange comprenant une charge de particules céramiques et un liant organique, l'extraction du noyau du moule, le déliantage et un traitement thermique de consolidation du noyau. Le procédé est caractérisé par le fait que l'on forme dans ledit moule un noyau dont ladite zone est épaissie par rapport à l'épaisseur « e » d'une surépaisseur E et que l'on usine ladite surépaisseur après avoir extrait le noyau du moule, et ce avant ou après l'opération de traitement thermique. En particulier l'usinage est effectué mécaniquement par fraisage avec soit avec enlèvement de copeaux sur les noyaux avant cuisson, soit par abrasion sur les noyaux cuits.

Procédé de fabrication de noyaux céramiques pour aubes de turbomachine.

Abrégé

5 L'invention porte sur un procédé de fabrication d'un noyau céramique de fonderie, comportant au moins une zone fine d'épaisseur « e », en particulier dans un bord de fuite d'aube de turbomachine notamment, comprenant la mise en forme dans un moule d'un mélange comprenant une charge de particules céramiques et un liant organique, l'extraction du noyau du moule, le déliantage et un traitement thermique de consolidation
10 du noyau. Le procédé est caractérisé par le fait que l'on forme dans ledit moule un noyau dont ladite zone est épaissie par rapport à l'épaisseur « e » d'une surépaisseur E et que l'on usine ladite surépaisseur après avoir extrait le noyau du moule, et ce avant ou après l'opération de traitement thermique. En particulier l'usinage est effectué mécaniquement par fraisage avec soit avec enlèvement de copeaux sur les noyaux avant cuisson, soit par
15 abrasion sur les noyaux cuits.

Figure pour l'abrége : figure 3.

5 La présente invention porte sur la fabrication de pièces telles que des aubages métalliques de turbomachines, présentant des cavités internes à géométrie complexe formant notamment des circuits de refroidissement, selon la technique de fonderie à cire perdue.

10 La fabrication de tels aubages passe par la réalisation d'un modèle en cire ou autre matériau équivalent qui comprend une pièce interne formant un noyau de fonderie et figurant les cavités de l'aubage. On utilise pour former le modèle un moule d'injection pour cire dans lequel on place le noyau et on y injecte la cire. Le modèle en cire est ensuite trempé plusieurs fois dans des barbotines constituées d'une suspension de
15 particules céramiques pour confectionner un moule carapace. On élimine la cire et on cuit le moule carapace. On obtient l'aubage en coulant un métal en fusion qui vient occuper les vides entre la paroi intérieure du moule carapace et le noyau. Grâce à un germe ou un sélecteur approprié et un refroidissement contrôlé, le métal se solidifie selon une structure voulue. Selon la nature de l'alliage et les propriétés attendues de la pièce résultant de la coulée, il peut s'agir de solidification dirigée à structure colonnaire (DS), de
20 solidification dirigée à structure monocristalline (SX) ou de solidification équiaxe (EX) respectivement. Les deux premières familles de pièces concernent des superalliages pour pièces soumises à de fortes contraintes tant thermiques que mécaniques dans le turboréacteur, comme les aubes de turbines HP.

25 Après solidification de l'alliage, la carapace et le noyau sont décochés. Il en ressort l'aubage désiré.

Les noyaux de fonderie utilisés sont composés d'une matière céramique à structure généralement poreuse. Ils sont réalisés à partir d'un mélange constitué d'une charge
30 réfractaire sous forme de particules et d'une fraction organique plus ou moins complexe formant un liant. Des exemples de compositions sont donnés dans les brevets EP 328452, FR 2371257 ou FR1785836. Comme cela est connu, on met en forme les noyaux de fonderie par moulage en utilisant par exemple une injection à la presse. Cette mise en forme est suivie d'une opération de déliantage au cours de laquelle la fraction organique
35 du noyau est éliminée par un moyen tel que la sublimation ou la dégradation thermique, suivant les matériaux utilisés. Une structure poreuse en résulte. Le noyau est ensuite consolidé par un traitement thermique dans un four. Une étape de finition est éventuellement nécessaire pour éliminer et ébavurer les traces de plans de joint et obtenir la géométrie du noyau. On utilise dans ce but des outils abrasifs. Il peut être encore
40 nécessaire de renforcer le noyau afin qu'il ne soit pas endommagé dans les cycles ultérieurs d'utilisation. On imprègne dans ce cas le noyau avec une résine organique.

Dans le but de diminuer la durée de cycle d'obtention des noyaux, il est aussi possible de fabriquer un noyau ébauche et d'usiner les fentes et les cloisons lorsque le noyau est à
45 l'état cru. Cela est décrit dans la demande de brevet déposée au nom du présent déposant, FR 0452789.

La géométrie des noyaux est toujours plus complexe, en particulier les parois de certaines zones sont toujours plus fines. Par conséquent, les limites de remplissage sont souvent atteintes et demandent le développement de pâtes plus fluides ou l'utilisation d'une pression plus importante pour le remplissage des empreintes du moule.

5

Les noyaux épais sont plus stables dimensionnellement du fait de la composition des pâtes. On adapte par exemple le rapport liant sur charge et la proportion de particules céramiques fines et grosses.

10

Dans le cadre de moteurs en développement et en production série, le procédé d'injection de l'art antérieur ne permet donc pas de répondre de manière économique à des changements de conception du noyau en particulier au besoin d'amincissement des zones fines dont l'épaisseur est inférieure à 0,4mm.

15

Pour résoudre ces problèmes, une technique connue consiste à fabriquer des noyaux céramiques dans un moule avec lequel les zones fines et/ou critiques sont obtenues soit par la mise en oeuvre de pâtes céramiques plus fluides ou aussi par la modification des paramètres d'injections et notamment des débits ou des pressions supérieures aux conditions d'emploi traditionnelles. Cependant cette technique présente certaines limites.

20

D'une part, le matériau céramique possède des propriétés abrasives, et le cisaillement généré par les nouvelles conditions de remplissage est la cause d'une usure prématurée des zones fines des outillages. Cela entraîne de multiples périodes d'arrêt de production et un coût élevé de maintien en état des outillages. D'autre part, malgré l'optimisation des conditions de remplissage et malgré l'aide de la simulation numérique, certaines zones fines figent le front de remplissage. Il s'ensuit que celui-ci ne peut se faire que par recollement de pâte dite « froide », c'est-à-dire dont la température n'est pas optimale pour avoir une liaison solide. Ces conditions de remplissage sont à l'origine d'indications de type criques qui entraînent la mise au rebut de quantités importantes de noyaux après éjection et contrôle des noyaux. Ces défauts peuvent aussi être dévoilés après le traitement thermique de déliantage et de cuisson ce qui est encore plus pénalisant.

30

On remédie à ces problèmes conformément à l'invention avec un procédé de fabrication d'un noyau de fonderie, comportant au moins une zone ou une paroi fine d'épaisseur « e » comprise entre 0,1 et 0,5 mm, sur un bord de fuite par exemple d'aube de turbomachine, comprenant la mise en forme dans un moule d'un mélange comprenant une charge de particules céramiques et un liant organique, l'extraction hors du moule, le déliantage et un traitement thermique de consolidation du noyau. Ce procédé est caractérisé par le fait que l'on forme dans ledit moule un noyau dont ladite zone est épaissie par rapport à l'épaisseur « e » d'une surépaisseur E et que l'on usine ladite surépaisseur après avoir extrait le noyau du moule jusqu'à obtenir ladite épaisseur « e » de manière à créer un canal d'ouverture suffisante pour l'écoulement dudit mélange pendant son injection dans le moule. L'opération d'usinage peut être réalisée avant ou après traitement thermique.

35

40

45

Alors que l'homme du métier chercherait à développer des matériaux à plus faible viscosité ou à modifier les paramètres d'injection, en particulier le débit ou la pression, la présente invention résulte d'une approche différente portant sur la diminution des pertes de charges liées à la définition de la cavité à remplir.

La perte de charge est exprimée par la relation suivante : $P = \eta * Q * L / \pi * D^4$, liant la Pression (P) à la viscosité (η), au débit (Q), à la longueur (L) et à au diamètre (D).

5 Par l'invention, on agit sur le diamètre de passage dans une zone étroite en l'augmentant de manière à créer une ouverture suffisante pour l'écoulement de la pâte.

On s'affranchit ainsi de tout développement particulier même avec une diminution des épaisseurs de paroi jusqu'à 0,1 mm.

10

Grâce à l'invention, on réduit les coûts d'obtention des noyaux de fonderie. Alors que la quantité de noyaux présentant des indications de type crique d'injection et/ ou de cuisson, obtenus par injection dans un moule avec un bord de fuite fin atteint plusieurs dizaines de %, la solution permet un gain important en qualité et l'obtention de noyaux présentant des bords de fuite plus fins qu'avec le procédé de l'art antérieur. La limite visée descend jusqu'à des épaisseurs de 0,1 mm

15

Avantageusement, l'usinage de la zone épaissie du noyau est effectué mécaniquement par fraisage, bien qu'elle puisse aussi être opérée à la main.

20

Plus particulièrement, le noyau comprend de 80 à 85 % de charge minérale et de 15 à 20 % de liant organique. La composition correspond avantageusement à l'une de celles décrites dans le brevet EP 328452 de la demanderesse. On cherche une composition peu fluide, qui doit présenter une faible variation de retrait en production série de noyaux.

25

La présente invention autorise ainsi la formulation d'une pâte unique pour l'ensemble des fabrications de noyaux pour aubes, alors que le procédé de l'art antérieur demande des formulations de pâtes adaptées. En particulier, il est nécessaire de prévoir des pâtes fluides pour les noyaux conçus avec de bords de fuite pour les lesquels les épaisseurs sont inférieures à 0,4 mm.

30

Conformément à une autre caractéristique, l'usinage est effectué par des passages successifs de l'outil enlevant à chaque passage une épaisseur de matière déterminée, comprise entre 0,05 et 2 mm. En particulier, avant cuisson l'usinage est réalisé au moyen d'une fraise par enlèvement de matière, tandis qu'après cuisson l'usinage est réalisé au moyen d'un outil, souvent diamanté, par enlèvement de matière sur une machine de fraisage à au moins trois axes et de préférence à quatre ou cinq axes. Par ce moyen on parvient à réaliser automatiquement l'usinage.

35

Cette technique permet d'usiner un noyau non cuit à partir d'un fichier CFAO (conception et fabrication assistée par ordinateur) existant sans être pénalisé par les retraits du noyau au cours de l'étape de cuisson qui ne sont pas toujours identiques. Le noyau non cuit a les dimensions du moule dans lequel il est fabriqué. Avantageusement, les noyaux avant cuisson sont géométriquement identiques.

40

On réalise de cette façon des formes aux épaisseurs variées correspondant aux différents éléments structurels du noyau D'autres formes sont possibles.

45

D'autres caractéristiques et avantages ressortiront à la lecture de la description qui suit d'un mode de réalisation du procédé de l'invention en référence aux dessins en annexe sur lesquels,

la figure 1 est une vue en coupe d'une aube de turbine refroidie,

la figure 2 est une vue générale d'un noyau d'aube refroidie, x

la figure 3 est une vue d'une zone de bord de fuite de noyau présentant une surépaisseur conformément à l'invention,

la figure 4 est une vue d'une partie de bord de fuite de noyau après usinage de la surépaisseur,

la figure 5 présente sur un graphique l'évolution de la pression d'injection en fonction des artifices utilisés pour obtenir la géométrie du bord de fuite souhaitée,

la figure 6 montre le remplissage du moule en fonction des artifices de la figure 5

la figure 7 montre le mode d'usinage au moyen d'une fraise,

La figure 8 montre en coupe selon 8-8 le premier tenon de la figure 3, et

la figure 9 montre en coupe selon 9-9 le premier tenon de la figure 8.

La description qui suit correspond à l'application de l'invention à la formation d'un noyau de fonderie pour une aube de turbine haute pression dans un moteur à turbine à gaz pour une utilisation aéronautique ou terrestre. Cette présentation n'est pas limitative.

Comme on le voit sur la figure 1, une aube 1 de turbine comprend une surface intrados IN une surface extradados EX, un bord d'attaque BA et un bord de fuite BF. Lorsqu'il s'agit d'une aube de turbine haute pression d'un moteur à turbine à gaz pour une utilisation aéronautique, l'aube comprend des cavités internes, ici 7 : 1A à 1G. Le bord de fuite comprend une ouverture 1H s'étendant parallèlement à celui-ci. Elle est alimentée depuis la dernière cavité 1G par une pluralité de canaux 1GH, calibrés, parallèles entre eux, pour l'échappement du fluide de refroidissement qui est de l'air prélevé au compresseur.

Les cavités sont séparées les unes des autres par des cloisons : 1AB, 1BC, etc. Lorsqu'on fabrique ces aubes par coulée d'un métal en fusion, on doit incorporer au moule carapace un noyau qui occupe les vides des cavités à former dans l'aube. Ce noyau comme on le devine à partir de la figure 1 est complexe.

On voit sur la figure 2 un noyau 100 issu d'un moule. Il comprend une partie correspondant aux cavités de la pale 100A, une partie 100B correspondant aux cavités du pied de l'aube et une partie 100C formant une poignée de préhension pendant la fabrication. En tête de pale on voit aussi une partie 100D correspondant à ce qui est désigné par baignoire dans le jargon du domaine.

Le bord de fuite du noyau, soit la partie référencée 100H conduisant à la formation de la cavité 1H de la figure 1 et les tenons 100GH conduisant à la formation des canaux 1GH de la figure 1 sont montrés sur la figure 3 ou la figure 4. Le cas particulier du premier tenon 100GH1 conforme à l'invention est discuté plus loin.

Ce noyau est réalisé par injection dans un moule dans lequel on doit remplir les zones fines constituées par les tenons 100GH. La technique habituelle consiste à concevoir le

moule avec des sous pièces qui présentent une certaine mobilité pour pouvoir extraire le noyau après injection de la matière dans le moule et sa solidification. Comme on l'a expliqué plus haut, l'injection de ces zones est d'autant plus compliquée que celles-ci sont fines.

5

L'objet de l'invention est la réalisation d'un noyau ayant une telle structure complexe sans avoir à développer des pâtes plus fluides ou augmenter les paramètres d'injections tels que la pression ou le débit.

10

Conformément à l'invention, on confectionne un moule modifié, c'est-à-dire un moule dont le noyau après moulage présente au moins une zone fine qui est épaissie.

15

20

La zone fine épaissie du premier tenon 100GH1 est obtenue en conformant convenablement le moule en cet endroit pour obtenir une telle zone épaissie pour le premier tenon 100GH1. Le premier tenon est le premier vu depuis le pied de l'aube d'où est injectée la pâte du noyau. On a représenté cette partie en coupe sur les figures 8 et 9. Sur la figure 8 on voit la surépaisseur E du tenon 100GH1 par rapport à la surface extrados 100Ex du noyau 100. Les faces du côté de l'extrados des parties 100G et 100H sont sensiblement dans le même plan, à l'exception de cette surépaisseur. Cette surépaisseur est déterminée en fonction de l'épaisseur « e » finale que l'on souhaite obtenir pour le tenon 100GH1 et de la qualité de la pâte que l'on injecte. Il s'agit de créer un canal d'ouverture suffisante pour l'écoulement de la pâte pendant l'injection. En coupe transversale représentée sur la figure 9 le contour de la surépaisseur E tient compte des bords arrondis du tenon. Le rayonnage des bords arrondis du tenon peut être effectué

25

aussi par usinage. La pâte utilisée comprend de préférence un liant organique associé à une charge minérale. Par exemple le mélange est fait selon l'enseignement de la demande de brevet EP 328452. Le noyau présente une bonne tenue en main et sa constitution en permet le travail au moyen d'un outil de fraisage par enlèvement de copeaux ou par abrasion.

30

Après fabrication du noyau avec cette surépaisseur E sur le premier tenon, l'étape suivante consiste à usiner, dans cette ébauche de noyau, la ou les zones épaissies. L'usinage est avantageusement réalisé au moyen d'un outil tel que montré sur la figure 7. Il s'agit d'une fraise 200 comportant une extrémité 200A de coupe et d'un filet ou bord de coupe en hélice le long de sa tige 200B. On déplace la fraise perpendiculairement à la surface à usiner. La vitesse de l'outil ainsi que celle de son déplacement sont fixées. On limite ainsi les efforts sur la matière et on évite que l'outil fléchisse.

35

40

On utilise de préférence une machine outil à commande numérique de type à cinq axes de déplacement, par exemple, trois axes pour le positionnement de la fraise dans l'espace et deux axes pour le positionnement du noyau. On peut programmer aisément cette machine pour automatiser l'usinage des évidements le cas échéant.

45

Sur la figure 4 on voit la zone de bord de fuite du noyau après qu'il a été usiné. Les canaux sont de la dimension en particulier de l'épaisseur qu'ils formeront, au retrait près, dans la pièce à la coulée du métal en fusion dans le moule carapace.

Une fois le noyau usiné avant cuisson, on passe aux traitements suivants, connus en soi, dans le processus de fabrication des noyaux de fonderie. le déliantage, c'est-à-dire l'élimination du liant organique. On chauffe, dans ce but, le noyau à une température suffisante pour dégrader les composants organiques qu'il contient. Les autres étapes consistent à chauffer ensuite le noyau à la température de frittage des particules céramiques qui le composent. Si une consolidation supplémentaire est nécessaire, on procède à une imprégnation avec une résine organique.

Pour les noyaux usinés après cuisson on passe directement à la finition et au contrôle.

Afin de montrer l'intérêt de la présente solution, on a réalisé des essais comparatifs en référence avec les figures 5 et 6.

La figure 6a montre une phase du remplissage d'un moule de l'art antérieur en traits hachurés. L'épaisseur des canaux pour la formation des tenons dans cet exemple est de 0,35mm. On voit que la pâte est introduite par la zone du pied de l'aube et progresse vers la tête du moule. La pâte est freinée dans son écoulement à travers les zones de fine épaisseur. Elle se refroidit même avant d'avoir passé ces zones. La pâte doit donc contourner ces zones. Il s'ensuit qu'au moment du collage entre les deux front de propagation la pâte est insuffisamment fluide pour qu'une soudure solide se forme.

Sur le graphique de la figure 5, on voit que la pression nécessaire est de 94 unités de pression.

Sur la figure 6b on a aménagé un canal 60 du côté de la zone 100H pour que l'alimentation soit plus directe. Effectivement la pression d'injection est plus faible ; 85 unités de pression suffisent. Cependant la soudure n'est encore pas satisfaisante car le front de la pâte reste fixé dans les canaux des tenons.

Sur la figure 6c, on voit que l'on a ajouté un faux tenon 70. Le résultat est sensiblement le même que précédemment. La pression est de 85 unités de pression.

Sur la figure 6d, on a creusé le moule de manière à former sur le premier tenon une surépaisseur selon l'invention. On voit en relation avec la figure 5 qu'une pression d'injection de 78 unités de pression suffit pour que le front de propagation de la pâte ne soit pas bloqué dans le canal. Cela permet le remplissage de la zone de bord de fuite à travers les canaux. Il s'ensuit qu'aucune faiblesse mécanique ne vient affecter la zone des tenons.

On a représenté essentiellement l'épaississement du premier tenon du noyau mais on peut l'appliquer à tous les tenons. Cette technique permet donc plus généralement la réalisation de parties du noyau qui sont très fines et peu larges comme la partie du noyau située à proximité du bord de fuite et comportant les canaux pour le passage de l'air s'échappant de l'intérieur de l'aube en fin de circuit de refroidissement et injecté dans la veine de gaz. Cependant, on peut l'étendre à l'usinage de toute partie du noyau pour laquelle se pose le même problème de liberté d'écoulement.

Revendications

- 5 1. Procédé de fabrication d'un noyau de fonderie (100), comportant au moins une zone fine d'épaisseur « e » comprise entre 0,1 et 0,5 mm en particulier dans un bord de fuite d'aube de turbomachine, comprenant la mise en forme dans un moule d'un mélange comprenant une charge de particules céramiques et un liant organique, l'extraction hors du moule, le déliantage et un traitement thermique de consolidation du noyau, caractérisé par le fait que l'on forme dans ledit moule un
10 noyau dont ladite zone est épaissie par rapport à l'épaisseur « e » d'une surépaisseur E et que l'on usine ladite surépaisseur après avoir extrait le noyau du moule de manière à créer un canal d'ouverture suffisante pour l'écoulement dudit mélange pendant son injection dans le moule.
- 15 2. Procédé selon la revendication 1 dont l'usinage est effectué avant l'opération de traitement thermique.
3. Procédé selon la revendication précédente, dans lequel l'usinage de la surépaisseur est effectué mécaniquement par fraisage avec enlèvement de copeaux.
4. procédé selon la revendication 1 dont l'usinage est effectué après l'opération de traitement thermique.
- 20 5. Procédé selon la revendication précédente, dans lequel l'usinage de la surépaisseur est effectué mécaniquement par abrasion.
6. Procédé selon la revendication 5, dont l'usinage est réalisé au moyen d'une fraise par enlèvement de matière sur une machine de fraisage à au moins trois axes, et préférentiellement à 4 ou 5 axes.
- 25 7. Procédé selon l'une des revendications 1 à 6 selon lequel la zone d'épaisseur « e » est située à proximité du bord de fuite et constitue un tenon (100GH) de formation d'un canal d'évacuation de l'air de refroidissement interne d'une aube de turbomachine.
8. Procédé selon la revendication 7 dont le tenon est le premier vu depuis
30 l'alimentation en pâte pour le remplissage du moule.
9. Procédé selon la revendication 7 dont l'usinage comprend une étape de rayonnage de la surface du tenon (100GH).
- 35 10. Procédé selon l'une des revendications 1 à 4 pour la fabrication d'un noyau comportant une pluralité desdites zones fines, la surépaisseur étant appliquée sur plusieurs zones fines.

1 / 3

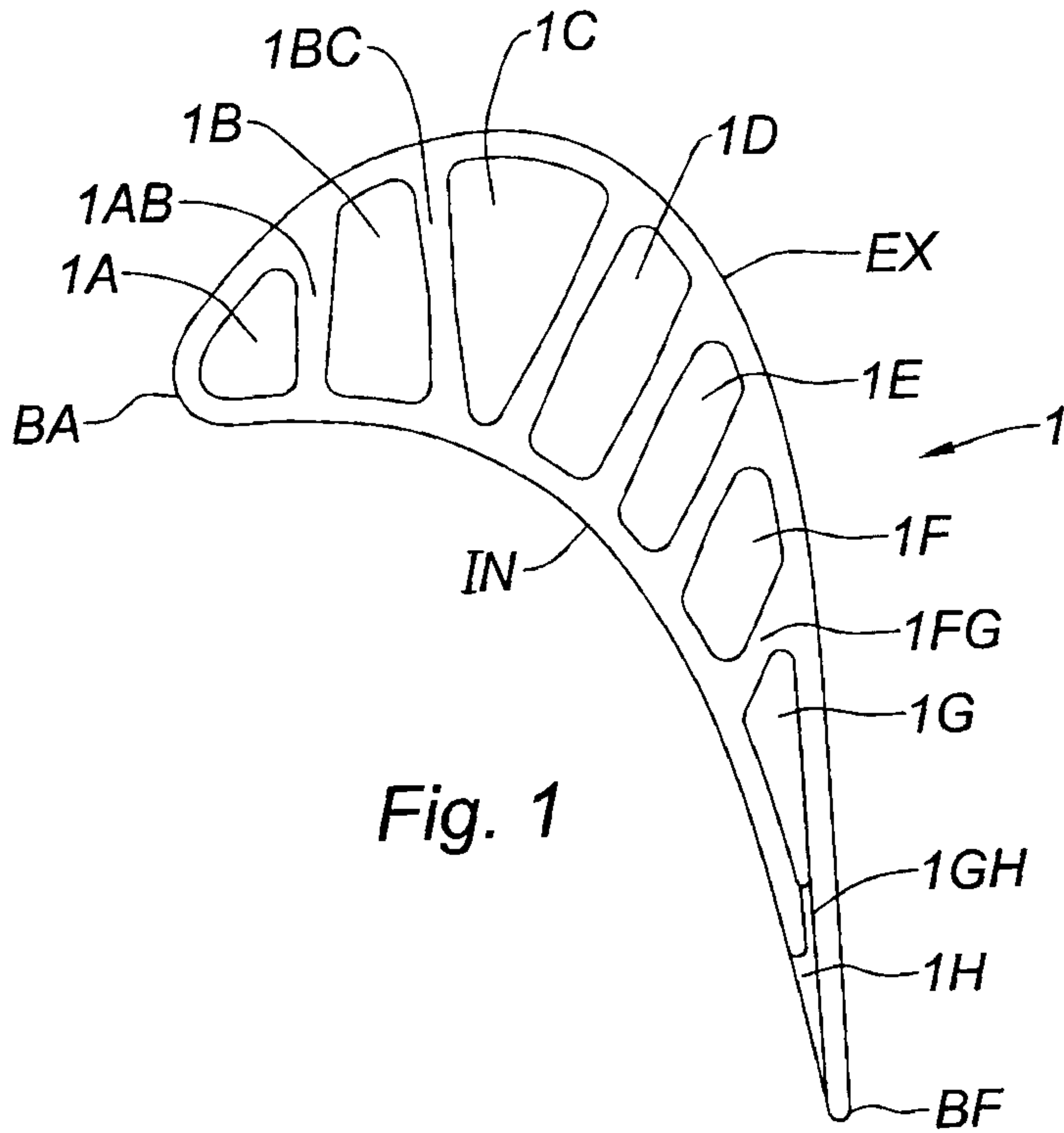


Fig. 1

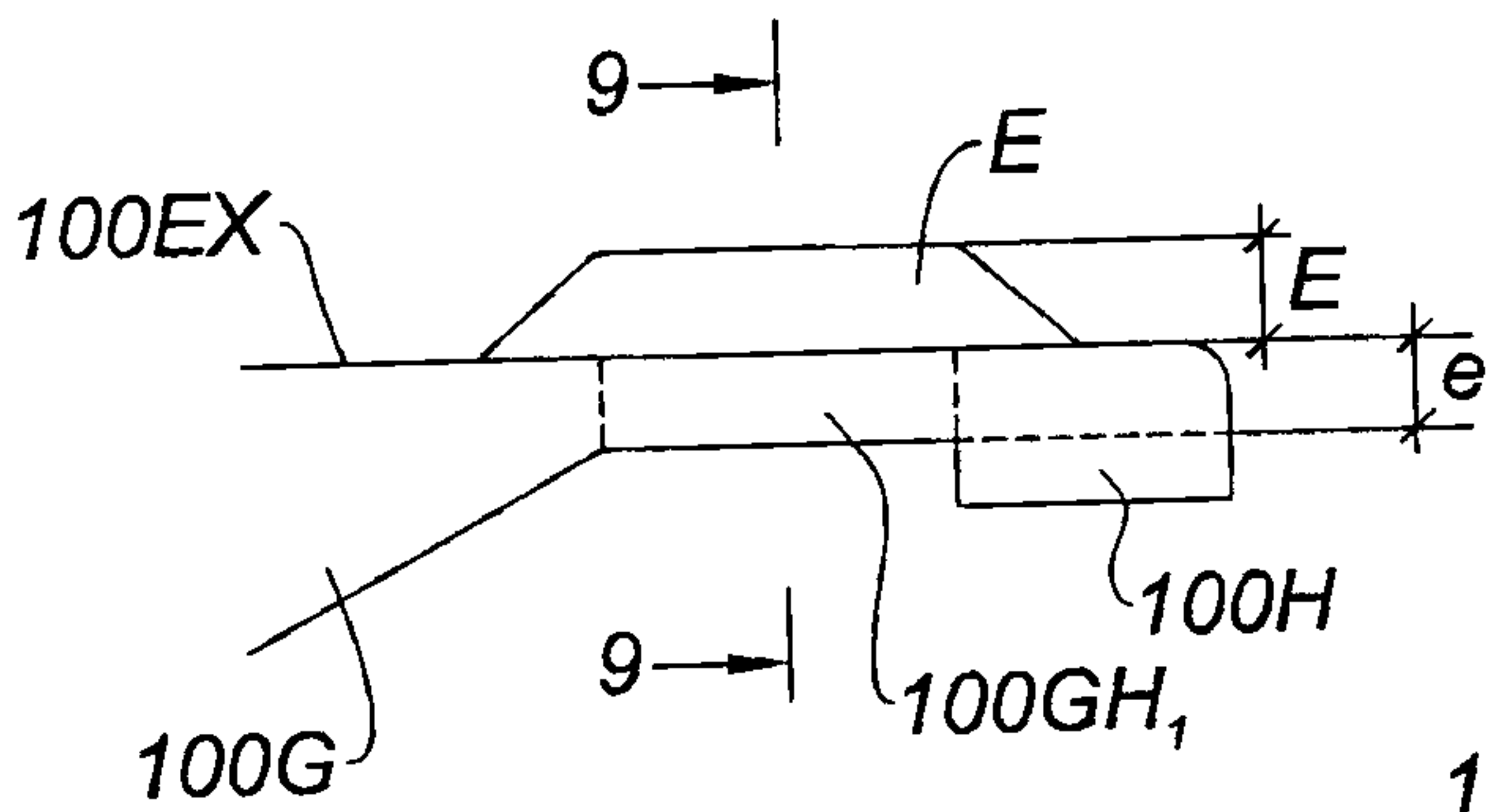


Fig. 8

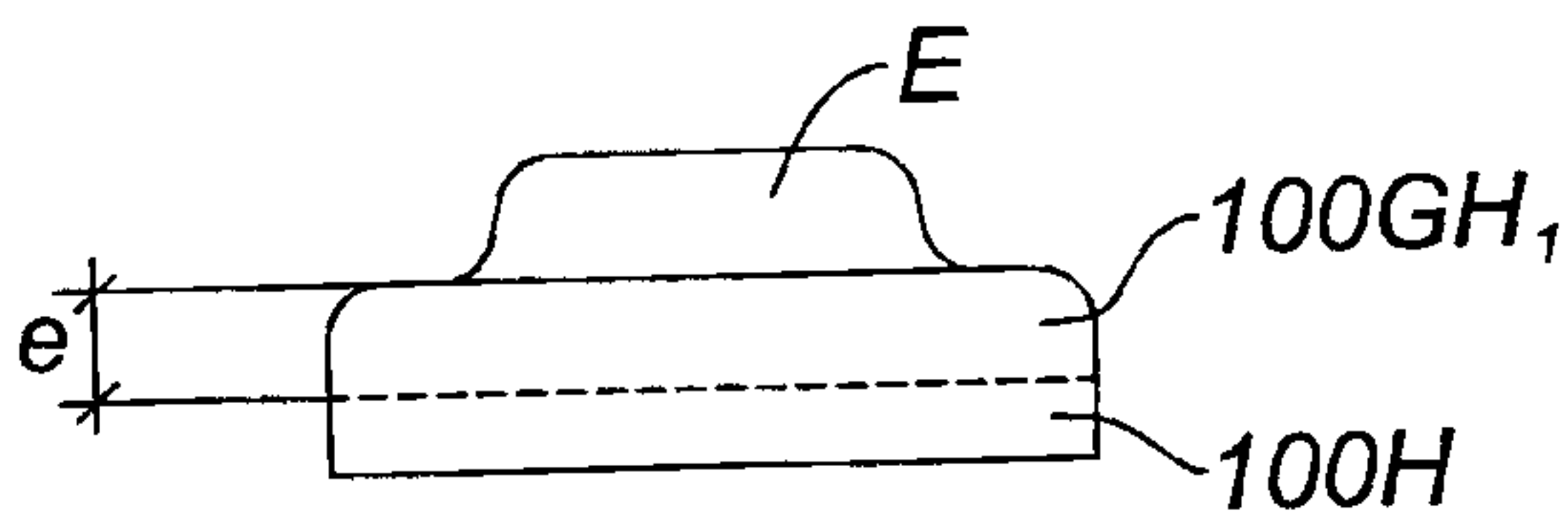


Fig. 9

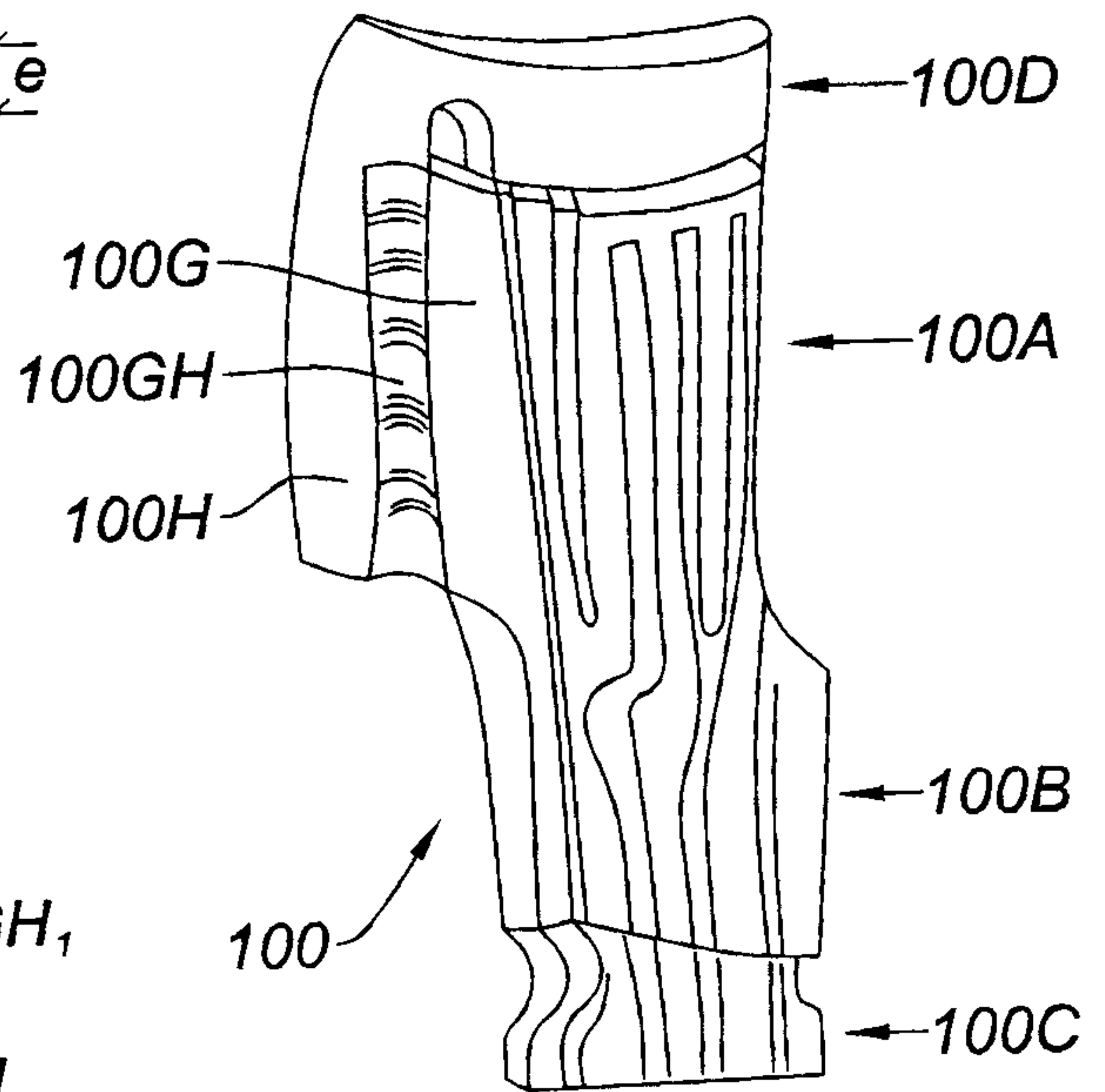
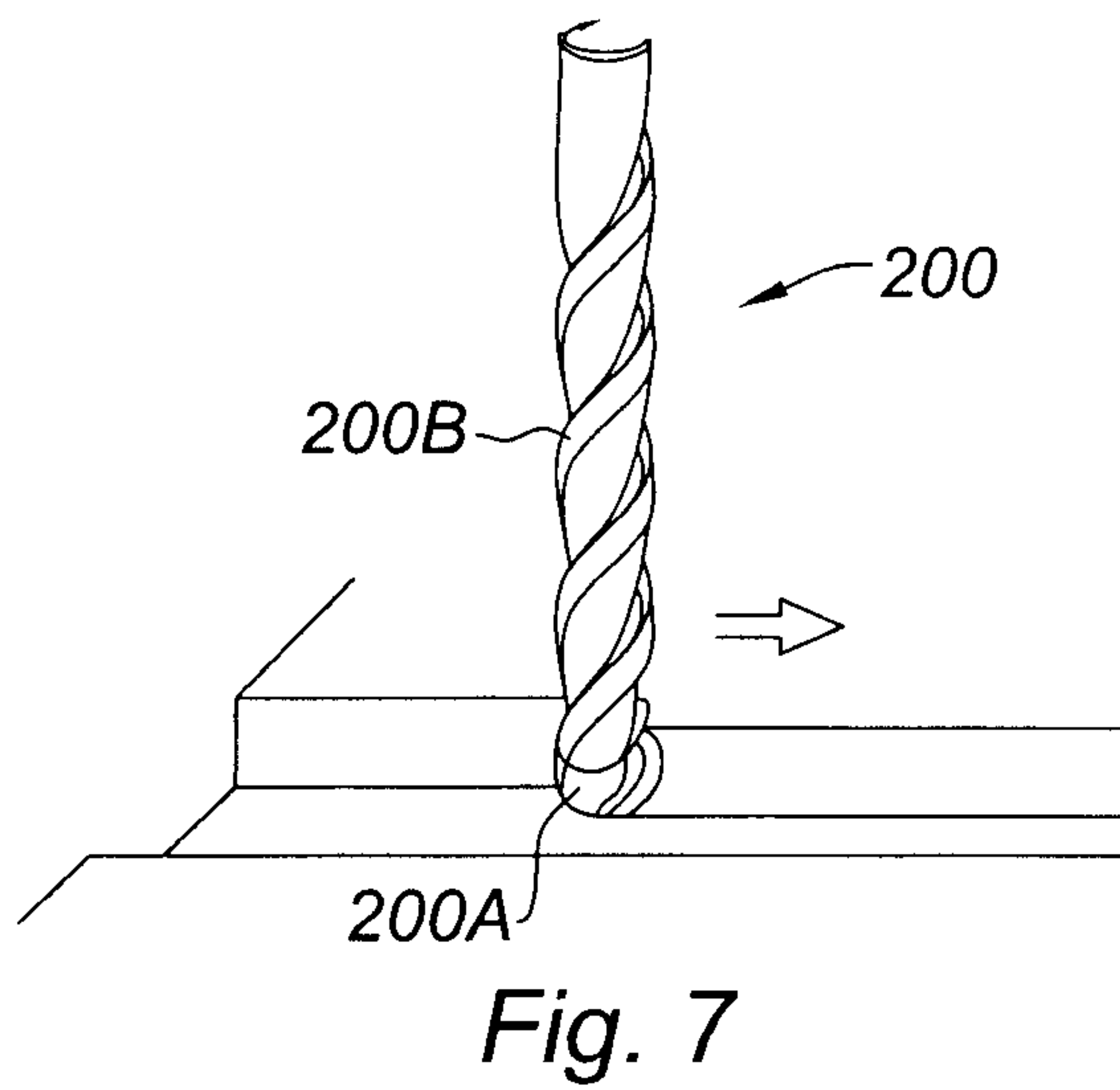
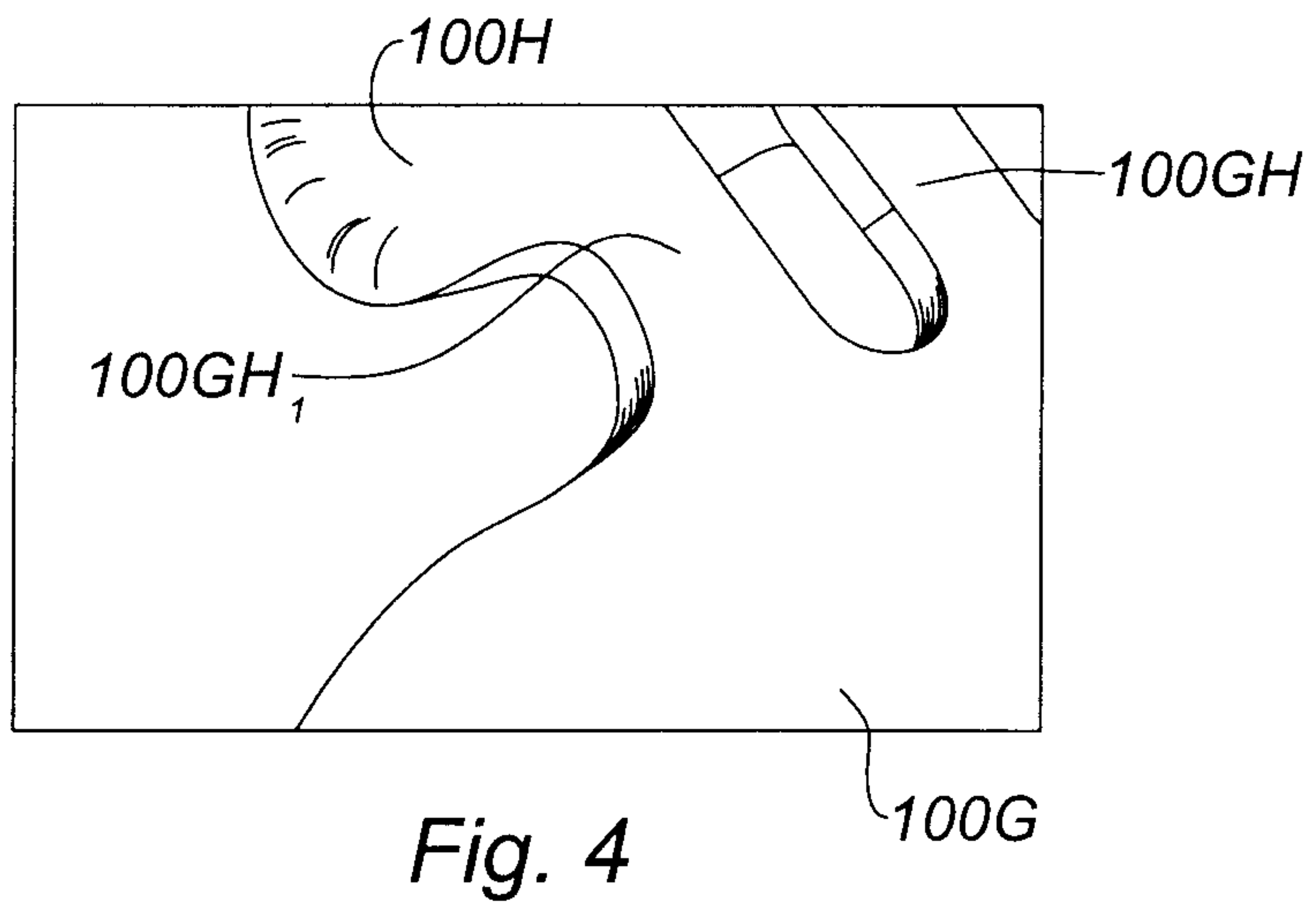
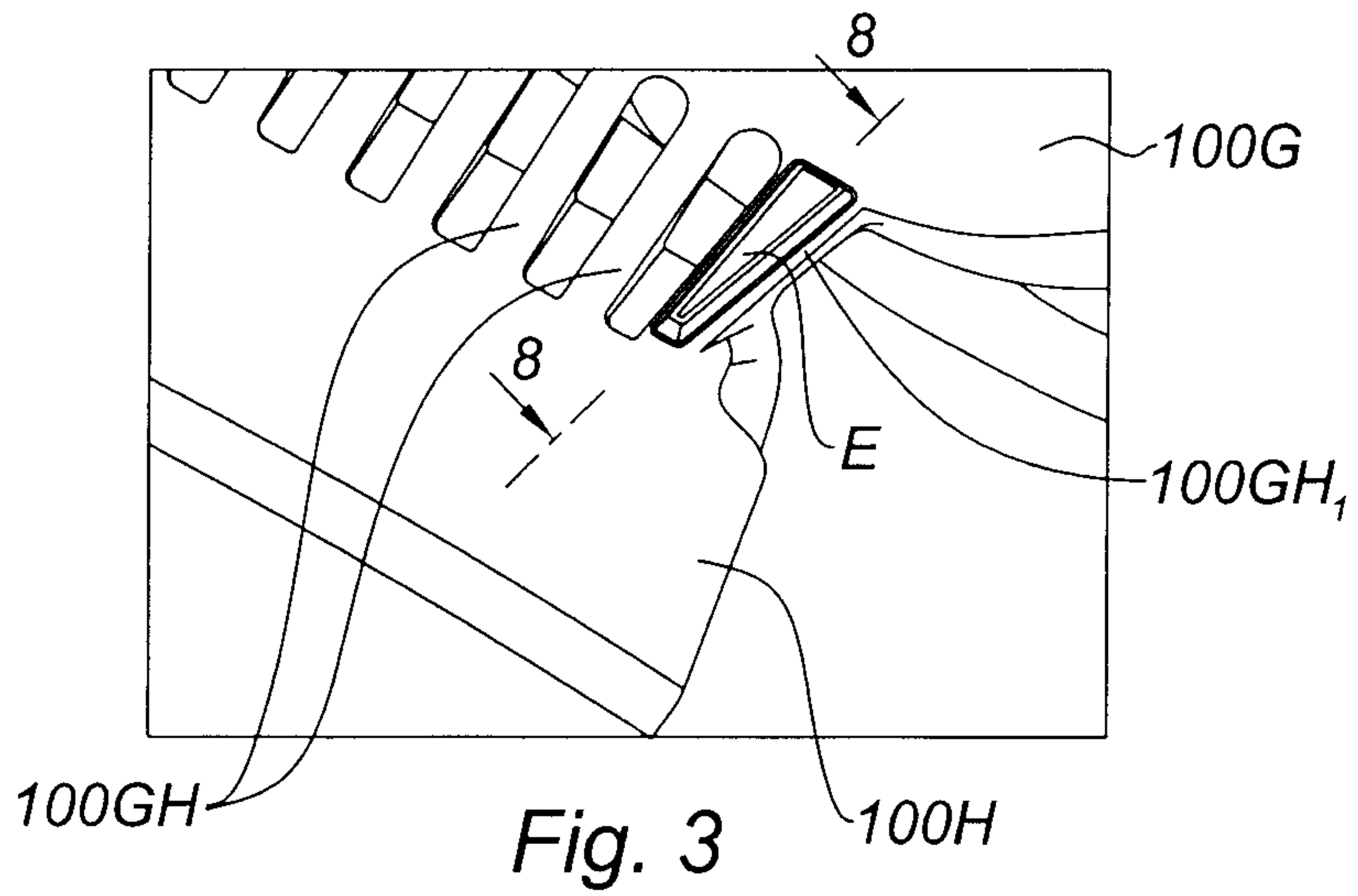


Fig. 2

2 / 3



3 / 3

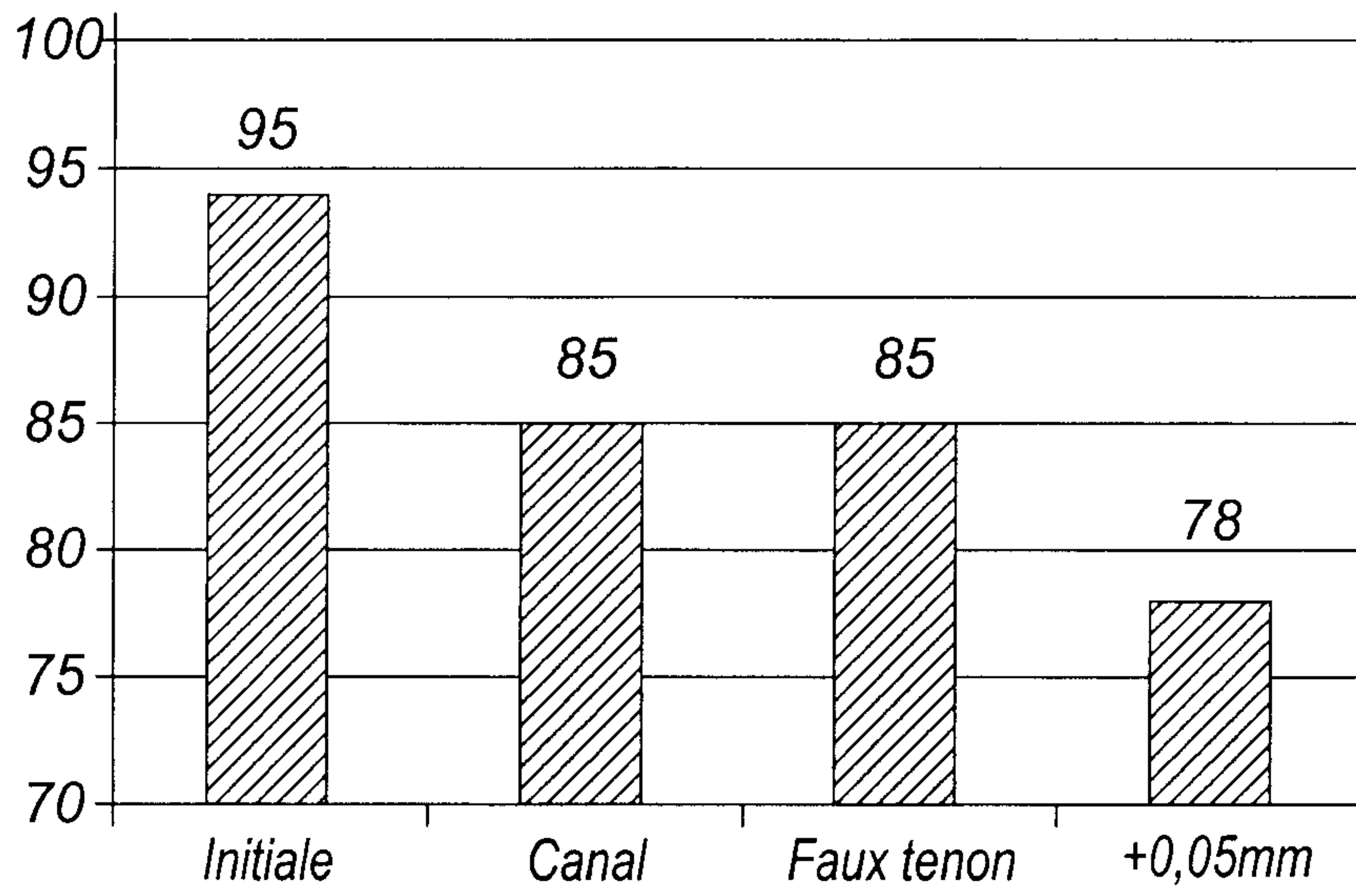


Fig. 5

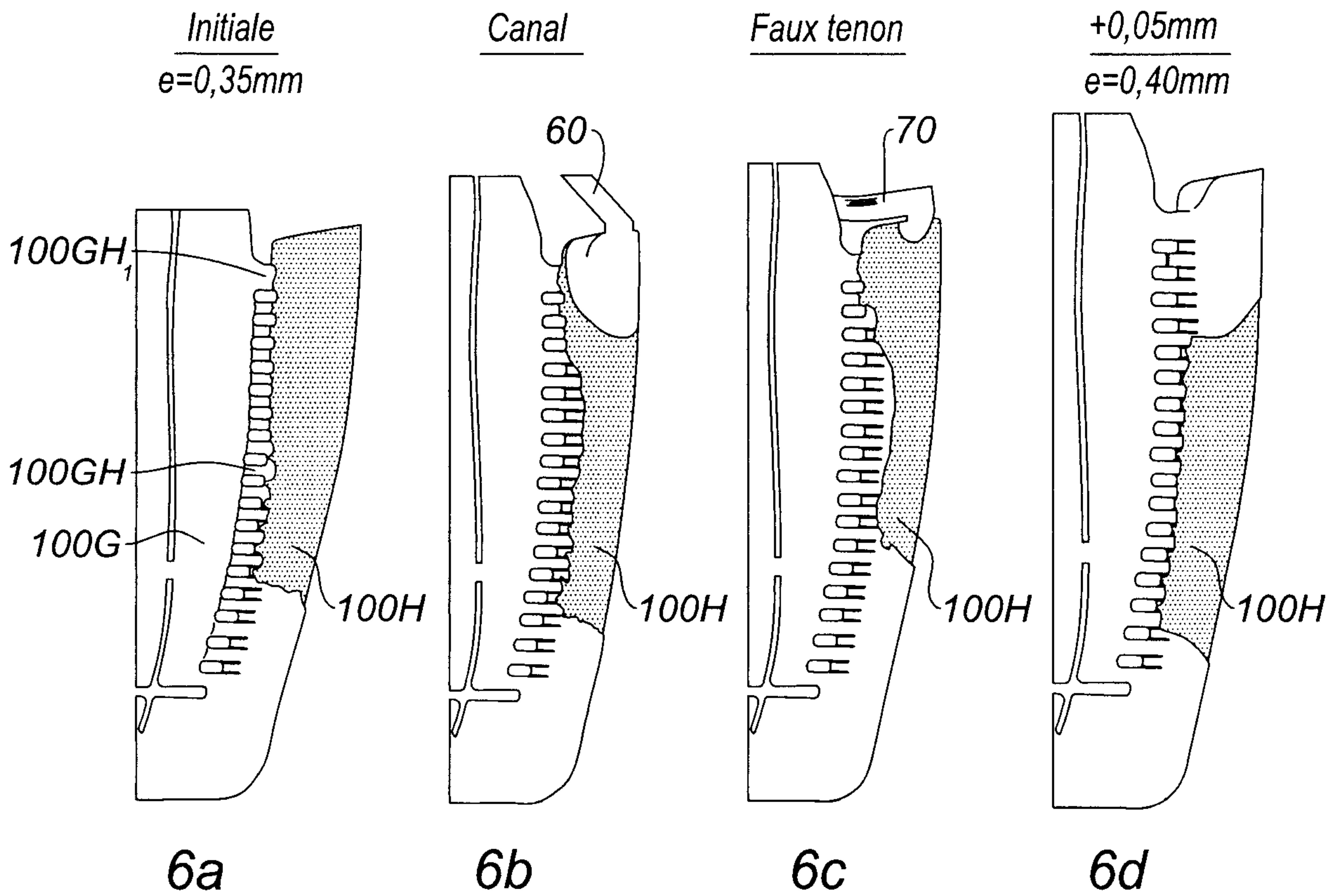


Fig. 6

