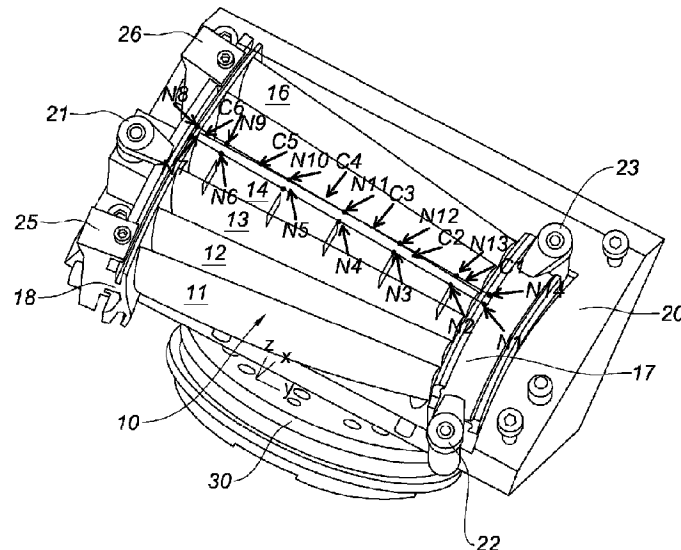




(86) Date de dépôt PCT/PCT Filing Date: 2013/04/22
(87) Date publication PCT/PCT Publication Date: 2013/10/31
(45) Date de délivrance/Issue Date: 2021/01/19
(85) Entrée phase nationale/National Entry: 2014/10/15
(86) N° demande PCT/PCT Application No.: FR 2013/050891
(87) N° publication PCT/PCT Publication No.: 2013/160601
(30) Priorité/Priority: 2012/04/24 (FR1253764)

(51) Cl.Int./Int.Cl. *G05B 19/4099* (2006.01)
(72) Inventeurs/Inventors:
LOUESDON, YVON MARIE-JOSEPH, FR;
LE MERDI, FLORIAN, FR;
TAMI, JOSEPH, FR;
QUACH, DANIEL, FR;
CISSE, FADOUA, FR;
MALTAVERNE, SABINE, FR;
ALQUIER, DAMIEN, FR
(73) Propriétaire/Owner:
SNECMA, FR
(74) Agent: LAVERY, DE BILLY, LLP

(54) Titre : PROCEDE D'USINAGE DU BORD DE FUITE D'UNE AUBE DE TURBOMACHINE
(54) Title: METHOD FOR MACHINING THE TRAILING EDGE OF A TURBINE ENGINE BLADE



(57) Abrégé/Abstract:

La présente invention porte sur un procédé de fabrication d'une aube de turbomachine, l'aube comportant une pale et le profil de la pale étant défini par un modèle théorique numérique, comprenant la fabrication d'une ébauche avec une surépaisseur le long du bord de fuite de la pale par rapport au profil théorique, caractérisé par le fait que l'on enlève ladite surépaisseur par un usinage adaptatif, comprenant les étapes suivantes: positionnement de l'ébauche dans un repère de référence, acquisition par palpance en un nombre déterminé de points (Ni) sur une première face de l'ébauche, le long du bord de fuite, de la position desdits points dans le repère de référence, détermination des écarts de position delta(Ni) selon une direction avec les points correspondants du modèle théorique, élaboration de carreaux d'usinage sur ladite face de l'ébauche, les sommets des carreaux étant déterminés à partir desdits points (Ni), détermination de la quantité de matière à enlever à la surface des carreaux, celle-ci étant une fonction de la position des points (Nc) du carreau par rapport aux sommets des carreaux et desdits écarts de position, et usinage de la pale.

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la
Propriété Intellectuelle
Bureau international(43) Date de la publication internationale
31 octobre 2013 (31.10.2013)

WIPO | PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2013/160601 A1(51) Classification internationale des brevets :
G05B 19/4099 (2006.01)(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR2013/050891(22) Date de dépôt international :
22 avril 2013 (22.04.2013)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
1253764 24 avril 2012 (24.04.2012) FR(71) Déposant : SNECMA [FR/FR]; 2 boulevard du Général
Martial Valin, F-75015 Paris (FR).(72) Inventeurs : LOUESDON, Yvon, Marie-Joseph; Snecma
PI (AJI), Rond-Point René Ravaud-Réau, F-77550 Moissy-
Cramayel cedex (FR). LE MERDI, Florian; Snecma PI
(AJI), Rond-Point René Ravaud-Réau, F-77550 Moissy-
Cramayel cedex (FR). TAMI, Joseph; Snecma PI (AJI),
Rond-Point René Ravaud-Réau, F-77550 Moissy-Cra-
mayel cedex (FR). QUACH, Daniel; Snecma PI (AJI),
Rond-Point René Ravaud-Réau, F-77550 Moissy-Cra-
mayel cedex (FR). CISSE, Fadoua; Snecma PI (AJI),
Rond-Point René Ravaud-Réau, F-77550 Moissy-Cra-
mayel cedex (FR). MALTAVERNE, Sabine; Snecma PI(AJI), Rond-Point René Ravaud-Réau, F-77550 Moissy-
Cramayel cedex (FR). ALQUIER, Damien; Snecma PI
(AJI), Rond-Point René Ravaud-Réau, F-77550 Moissy-
Cramayel cedex (FR).(74) Mandataires : DAVID, Daniel et al.; Gevers France, 41
avenue de Friedland, F-75008 Paris (FR).(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre
de protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM,
AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY,
BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM,
DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,
HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP,
KR, KZ, LA, LC, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD,
ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI,
NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU,
RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ,
TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA,
ZM, ZW.(84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre
de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH,
GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ,
UG, ZM, ZW), eurasién (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ,
TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK,
EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV,
MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM,

[Suite sur la page suivante]

(54) Title : METHOD FOR MACHINING THE TRAILING EDGE OF A TURBINE ENGINE BLADE

(54) Titre : PROCEDE D'USINAGE DU BORD DE FUITE D'UNE AUBE DE TURBOMACHINE

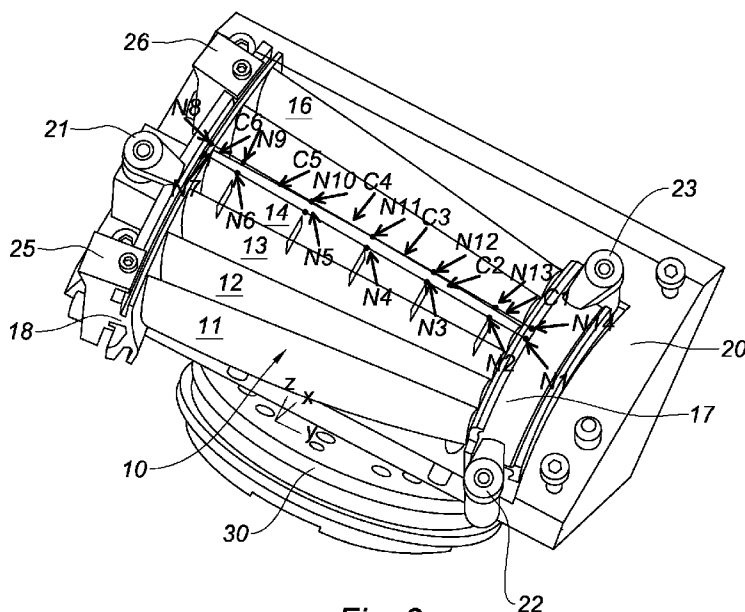


Fig. 3

(57) Abstract : The present invention relates to a
method for manufacturing a turbine engine blade,
the blade comprising an airfoil and the profile of
the airfoil being defined by a theoretical digital model,
including the manufacture of a blank having a
thickened portion along the trailing edge of the air-
foil relative to the theoretical profile, characterized
in that said thickened portion is removed by adap-
tive machining, including the following steps: posi-
tioning the blank in a reference frame; acquiring, by
probing at a predetermined number of points (Ni)
on a first surface of the blank along the trailing
edge, the position of said points in the reference
frame; determining the differences, in one direc-
tion, in the delta position (Ni) from corresponding
points of the theoretical model; producing machin-
ing grids on said surface of the blank, the peaks of
the grids being determined from said points (Ni);
determining the amount of material to be removed
from the surface of the grids, said amount being ba-
sed on the position of the points (Nc) of the grid re-
lative to the peaks of the grids and said deviations
in position; and machining the airfoil.

(57) Abrégé :

[Suite sur la page suivante]

WO 2013/160601 A1

TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG). **Publiée :**

— avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3))

La présente invention porte sur un procédé de fabrication d'une aube de turbomachine, l'aube comportant une pale et le profil de la pale étant défini par un modèle théorique numérique, comprenant la fabrication d'une ébauche avec une surépaisseur le long du bord de fuite de la pale par rapport au profil théorique, caractérisé par le fait que l'on enlève ladite surépaisseur par un usinage adaptatif, comprenant les étapes suivantes: positionnement de l'ébauche dans un repère de référence, acquisition par palpéage en un nombre déterminé de points (Ni) sur une première face de l'ébauche, le long du bord de fuite, de la position desdits points dans le repère de référence, détermination des écarts de position $\Delta(N_i)$ selon une direction avec les points correspondants du modèle théorique, élaboration de carreaux d'usinage sur ladite face de l'ébauche, les sommets des carreaux étant déterminés à partir desdits points (Ni), détermination de la quantité de matière à enlever à la surface des carreaux, celle-ci étant une fonction de la position des points (Nc) du carreau par rapport aux sommets des carreaux et desdits écarts de position, et usinage de la pale.

Procédé d'usinage du bord de fuite d'une aube de turbomachine

Domaine technique

La présente invention concerne la fabrication d'aubes de turbomachines et plus particulièrement le domaine de l'usinage de finition de telles pièces par exemple issues de la fonderie.

Exposé du problème

L'amélioration des performances des moteurs à turbine à gaz passe par la réalisation d'aubages au profil aérodynamique optimisé. En particulier on cherche à obtenir des aubes présentant un bord de fuite, BF, d'épaisseur aussi faible que possible compte tenu de contraintes de tenue mécanique et de fabrication. Ainsi, dans le domaine aéronautique, pour un moteur à turbine à gaz à double corps, tel qu'un turboréacteur multiflux, un objectif est la fabrication d'aubes mobiles pour les étages de la turbine à basse pression dont l'épaisseur du bord de fuite est aussi faible que 0,2 mm. Pour les aubes formant les distributeurs des étages à basse pression, l'épaisseur visée est 0,5 mm.

Les aubages mentionnés ci-dessus sont généralement fabriqués par fonderie et coulée de métal dans un moule selon la technique dite à la cire perdue qui permet d'obtenir directement la forme souhaitée de la pale sans passer par la mise en œuvre d'étapes d'usinage pour parvenir à la pièce finie.

Cependant, les procédés de fonderie en l'état actuel de la technique ne permettent pas d'obtenir des aubages avec des bords de fuite aussi fins. Par fonderie, on obtient au mieux des aubages ayant une épaisseur de bord de fuite de l'ordre de 0,7 mm pour les alliages à base nickel ou cobalt.

Ainsi, face aux besoins en amélioration des performances aérodynamiques des turbomachines, les techniques de fonderie ont atteint leurs limites quant à la finesse des bords de fuite. Un usinage complémentaire est nécessaire.

Cependant un simple usinage du bord de fuite de manière à réduire son épaisseur ne permettrait pas de parvenir à la finesse souhaitée car les pièces brutes issues de fonderie - ainsi que cela l'a été révélé par des mesures sans contact des épaisseurs -

présentent des déformations le long du bord de fuite de la pale. L'examen de ces déformations a permis de constater qu'elles présentent une forme comparable à celle qui résulterait d'un flambage de la pale.

5 Partant de ces constatations, la demanderesse s'est fixé comme objectif la mise au point d'un procédé permettant de fabriquer des aubages de turbomachine dont la finesse du bord de fuite satisfait aux exigences actuelles d'amélioration de leurs performances aérodynamiques.

Exposé de l'invention

10 La présente invention parvient à la réalisation de cet objectif avec un procédé de fabrication d'une aube de turbomachine, l'aube comportant une pale et le profil de la pale présentant un modèle théorique numérique, comprenant la fabrication d'une ébauche avec une surépaisseur le long du bord de fuite de la pale par rapport au profil théorique,

15 caractérisé par le fait que l'on enlève ladite surépaisseur par un usinage adaptatif, comprenant les étapes suivantes :

Positionnement de l'ébauche dans un repère de référence,

Acquisition par palpage en un nombre déterminé de points sur une première face de l'ébauche, le long du bord de fuite, de la position desdits points dans le repère de référence,

20 Détermination des écarts de position selon une direction avec les points correspondants du modèle théorique,

Elaboration de carreaux d'usinage sur ladite première face de l'ébauche, les sommets des carreaux étant déterminés à partir desdits points palpés,

25 Détermination de la quantité de matière à enlever à la surface des carreaux, celle-ci étant une fonction de la position des points du carreau par rapport aux sommets des carreaux et desdits écarts de position, et son usinage.

Le procédé de l'invention permet d'effectuer les opérations de finition sur une machine outil à commande numérique assurant une grande précision de l'usinage et un profil satisfaisant aux contraintes aérodynamiques. En particulier aucun ressaut n'apparaît, sur la face traitée entre la portion de surface usinée et la surface adjacente.

- 5 L'usinage est dit adaptatif car la trajectoire de l'outil d'usinage s'adapte à la géométrie de la pièce en cours d'usinage.

Conformément à une autre caractéristique, la surépaisseur à usiner est ménagée sur l'extrados, sur l'intrados et/ou sur la corde. En particulier une première surépaisseur est éliminée sur l'extrados qui constitue la première face. Lorsque la surépaisseur s'étend sur les deux faces, on extrapole le fait que la valeur de la déformation de la pale à l'intrados est similaire à celle de l'extrados mais de sens opposé. On utilise ainsi la correction mesurée en chaque point de la première face, pour déterminer la correction à usiner sur la face opposée. Cette correction est égale en valeur et opposée en direction.

10

Enfin on réduit, le cas échéant, la corde de l'aube le long du bord de fuite pour parvenir au profil du bord de fuite de l'épaisseur souhaitée.

15

Le nombre de points palpés est au minimum de trois. Ils sont répartis entre les deux plateformes pour un secteur de distributeur ou entre la plateforme du pied et le sommet de la pale pour une aube mobile. ils sont disposés parallèlement au bord de fuite. Notamment les sommets des carreaux d'usinage comprennent les points palpés et des points dont la position s'en déduit par translation le long de la corde passant par les points palpés.

20

L'usinage est effectué de préférence par un fraisage en roulant, c'est-à-dire que la matière est enlevée par la paroi périphérique coupante d'un outil cylindrique et non par l'extrémité distale de celui-ci.

D'autres moyens d'usinage entrent dans le cadre du procédé de l'invention. Par exemple il peut s'agir d'un polissage adaptatif par bande au moyen d'une machine de polissage ou robot de polissage. Il peut s'agir d'un usinage adaptatif par meulage ou rectification. Il peut s'agir encore d'un usinage par robot de fraisage et non par machine outil. Plus généralement l'invention couvre tout procédé et outil d'enlèvement de matière adaptatif.

25

30

Conformément à une autre caractéristique et selon un mode de réalisation avantageux, le procédé comprend le montage de l'aubage sur un support amovible et le montage du support amovible sur une machine outil à commande numérique avec un trièdre d'usinage, l'usinage étant effectué avec enlèvement de matière selon une

5 composante des 3 axes du trièdre d'usinage.

Plus particulièrement, selon une première application, l'aubage étant une aube mobile de turbine, l'aubage est fixé sur le support amovible en étant serré entre un mors amovible et un mors fixe de manière à former un ensemble rigide. Le mors fixe est conformé au profil théorique d'une face de la pale, de préférence son extradoss, tout en

10 laissant libre le bord de fuite à usiner. La pièce est serrée sur la plus grande surface possible afin de réduire les vibrations tout en maintenant l'accessibilité d'une part au palpeur pour les mesures puis, d'autre part, aux outils pour l'usinage.

Selon une seconde application, l'aubage faisant partie d'un secteur de distributeur de turbine, le support amovible est agencé pour un montage isostatique du

15 secteur dans le support amovible. Le montage est isostatique car il bloque les six degrés de liberté de la pièce (3 translations et 3 rotations). Il reprend des points d'appui identiques à ceux utilisés pour l'opération de contrôle après usinage. Conformément à une autre caractéristique, le support amovible comprend un moyen pour amortir les vibrations produites lors de l'usinage.

20 Selon cette seconde application, l'usinage de chacune des aubes du secteur de distributeur comprend une étape préalable de recalage au mieux de l'aube par rapport au trièdre d'usinage sur la machine outil.

La présente invention porte également sur le support amovible pour la mise en œuvre du procédé, l'aubage étant une aube mobile de turbine.

25 Le support d'usinage d'une aube mobile de turbomachine comprenant une embase agencée pour la fixation du support au plateau d'une machine outil à commande numérique et un moyen de fixation de l'aube sur l'embase, est caractérisé par le fait que le moyen de fixation comprend un mors fixe solidaire de l'embase et un mors libre, le mors fixe présentant une surface d'appui apte à recevoir la pale de ladite aube et qui est

30 conformée au profil théorique de ladite pale.

Le support présente en particulier les caractéristiques suivantes, prises seules ou en combinaison :

- Les surfaces usinées du BF sont de préférence parallèles à l'axe de l'outil d'usinage tel qu'une broche. Dans le cas d'une machine à commande numérique à cinq axes, ceci permet d'éviter les erreurs de positionnement des axes rotatifs (c'est-à-dire les 4ème et 5ème axes) de la machine.
- Le support est conformé de manière à ménager une zone libre d'usinage le long du bord de fuite de la pale.
- Le support est conformé de manière à ménager une zone libre d'usinage le long et de part et d'autre du bord de fuite de la pale.
- Le support comprend des moyens de guidage en translation du mors libre.
- Le support comprend des moyens de serrage du mors libre sur le mors fixe avec interposition d'une pale, aptes à redresser la pale de l'aube, lorsque celle-ci comprend des déformations telles que de flambage.
- Le support présente une butée parallèle à l'axe du profil théorique de la pale, apte à recevoir en appui la plateforme de pied d'aube.

La présente invention porte également sur le support d'un secteur de distributeur de turbomachine.

- Le support d'usinage d'un secteur de distributeur de turbomachine obtenu par coulée de métal avec une pluralité de pales solidaires à une extrémité d'une plateforme intérieure et à l'autre extrémité d'une plateforme extérieure, comprenant une embase avec une face plane agencée pour la fixation du support au plateau d'une machine outil à commande numérique et un moyen de fixation du secteur de distributeur sur l'embase, est caractérisé par le fait que le moyen de fixation est agencé pour que les zones des bords de fuite des pales qui sont à usiner sont orientées perpendiculairement à ladite face plane.

Le support présente en particulier les caractéristiques suivantes prises seules ou en combinaison :

- Le moyen de fixation comprend un appui de la plateforme intérieure à l'embase et un appui de la plateforme extérieure à l'embase.
- Le moyen de fixation comprend une bride d'immobilisation de la plateforme extérieure sur son appui, selon les trois axes principaux du secteur de distributeur.
- Le moyen de fixation comprend des brides d'immobilisation de la plateforme intérieure en appui sur l'embase, avec immobilisation en rotation autour des trois axes principaux du secteur de distributeur.
- Le support comprend des moyens d'amortissement des vibrations.
- Les moyens d'amortissement des vibrations comprennent au moins un étrier solidaire de l'embase et avec des surfaces d'appui contre les deux faces opposées d'une plateforme, notamment la plateforme extérieure.
- Le support comprend deux étriers d'amortissement des vibrations un de chaque côte de la bride de fixation de la plateforme.

La présente invention porte également sur un dispositif de mise en œuvre du procédé décrit ci-dessus, comprenant :

- des moyens de positionnement de l'ébauche dans un repère de référence,
- des moyens d'acquisition par palpation en un nombre déterminé de points (Ni) sur une première face de l'ébauche, le long du bord de fuite, de la position desdits points dans le repère de référence,
- des moyens de détermination des écarts de position $\Delta(N_i)$ selon une direction avec les points correspondants du modèle théorique,
- des moyens d'élaboration de carreaux d'usinage sur ladite face de l'ébauche, les sommets des carreaux étant déterminés à partir desdits points (Ni),
- des moyens de détermination de la quantité de matière à enlever à la surface des carreaux, celle-ci étant une fonction de la position des points (Nc) du carreau par rapport aux sommets des carreaux et desdits écarts de position, et
- des moyens d'usinage de la pale

caractérisé en ce que les moyens de positionnement comprennent un support amovible comprenant une embase de fixation au plateau de la machine outil et soit un mors solidaire de l'embase au profil théorique d'une face de la pale d'une aube mobile de turbine à usiner, soit un moyen de fixation isostatique d'un secteur de distributeur à usiner sur l'embase.

Brève description des figures

L'invention sera mieux comprise et d'autres buts et détails, caractéristiques et avantages de celle-ci apparaîtront plus clairement avec la description explicative détaillée qui suit d'un mode de réalisation de l'invention donné à titre d'exemple purement illustratif et non limitatif, en référence aux dessins schématiques annexés, sur lesquels

La figure 1 représente une aube de turbine ;

La figure 2 représente un secteur de distributeur de turbine ;

La figure 3 représente un secteur de distributeur monté sur un support amovible avec indication des points constituant les carreaux d'usinage définissant la zone de correction adaptative en bord de fuite ;

La figure 4 illustre comment le calcul de la position de l'outil d'usinage est déterminé ;

La figure 5 montre l'outil d'usinage en action le long du bord fuite d'une pale ;

La figure 6 montre un support pour aube isolée, mobile ;

La figure 7 montre le support de la figure 6 avec une aube entre les mors ainsi que la tige et la bille du palpeur à différentes positions de palpation ;

La figure 8 montre le support pour secteur de distributeur de turbine.

Description détaillée de l'invention

La figure 1 montre une aube 1 de turbine basse pression vue du côté de son extradados. S'agissant d'une aube mobile, celle-ci est individuelle et comprend un pied 3 par lequel elle est montée sur un rotor de turbine, une plateforme 4 entre le pied 3 et la pale 2. Une seconde plateforme 5 est formée au sommet de l'aube 1. La pale 2 s'étend, entre les deux plateformes également le long de sa corde entre le bord d'attaque BA et

le bord de fuite BF plus fin. L'axe de rotation du rotor de turbine sur lequel l'aube est montée est parallèle à l'axe du pied de l'aube.

La figure 2 montre un secteur 10 de distributeur de turbine basse pression, monobloc, obtenu par coulée de métal. Ce secteur comprend une pluralité de pales 11 à 15 disposées rayonnantes en secteur de disque entre une plateforme intérieure 17 et une plateforme extérieure 18 toutes deux en arc de cercle. Un tel secteur 10 de distributeur à basse pression, comme les aubes mobile basse pression, est fabriqué selon la technique de fonderie à la cire perdue connue en soi. Malgré la précision obtenue, cette technique ne permet pas d'atteindre les faibles épaisseurs requises au niveau des bords de fuite. Un usinage est donc nécessaire. L'invention fournit un procédé permettant de réaliser une telle finition, en tenant compte des déformations de la pale.

On décrit le procédé appliqué à la finition des pales 11 à 16 d'un secteur de distributeur 10 monobloc à six pales. Celui-ci est d'abord monté sur un support amovible 20 comme on le voit sur la figure 3. Il s'agit d'un montage isostatique selon les trois axes d'un trièdre rectangle, notamment du trièdre de référence du secteur avec un maintien en translation selon les trois axes du trièdre de référence, par la bride 21 disposée du côté de la plateforme extérieure 18 au centre de celle-ci et qui assure le calage selon les trois directions du trièdre, et trois appuis de blocage en rotation par les brides 22, 23 aux extrémités de la plateforme intérieure 17 et l'appui 24 au centre non visible sur la figure 3. Le montage comprend en outre deux étriers d'amortissement des vibrations 25 et 26 disposés de part et d'autre de la bride 21.

L'angle du plan du secteur est choisi de manière à tenir compte de celui du plan de la zone du bord de fuite par rapport à ce même plan. Il est préférable que les surfaces usinées du BF soient parallèles à l'axe de l'outil d'usinage tel qu'une broche. Dans le cas d'une machine à commande numérique à cinq axes par exemple, ceci permet d'éviter les erreurs de positionnement des axes rotatifs (c'est-à-dire les 4ème et 5ème axes) de la machine.

Le support 20 est lui-même monté sur le plateau 30 de la machine à commande numérique, non représentée, par l'intermédiaire d'un socle 31.

Une fois le support 20 monté sur le plateau de la machine outil, on procède au calage au mieux du trièdre d'usinage par rapport à la pale à usiner. Dans ce but, on effectue l'acquisition, par palpé au moyen d'un appareil approprié, de la position d'un certain nombre de points sur la pale et un logiciel approprié, par exemple utilisant la méthode des moindres carrés, permet de calculer les corrections à apporter au trièdre de référence du montage sur la machine d'usinage. Cette correction est réalisée à l'aide de 3 rotations autour des axes X, Y, Z et d'une translation de l'origine dans les directions X, Y, Z (axes linéaires de la machine).

Le trièdre d'usinage coïncide avec les axes principaux de la pale, 11 à 16 respectivement, à usiner. La définition du trièdre est liée à la configuration de la machine ainsi qu'à la possibilité de palper selon 3 axes (les axes de rotation étant désactivés). Le positionnement de la zone usinée de la pale parallèlement à l'axe de la broche induit que l'axe X soit l'axe radial de la pale par rapport à l'axe moteur, l'axe Z l'axe de rotation du plateau, perpendiculaire au plan du plateau, l'axe Y complétant le trièdre direct. Le plan XY est constitué de la face d'appui du plateau. Il est à noter que le calage du trièdre d'usinage doit être effectué pour chacune des pales du secteur de distributeur.

Une fois le calage effectué, on procède à l'usinage dit adaptatif du bord de fuite BF. Cette technique d'usinage est décrite dans la demande de brevet FR 11 55 424 du présent déposant.

Elle comprend l'acquisition, par palpé au moyen d'un appareil de palpé approprié avec ou sans contact, de la position d'un certain nombre de points le long du bord de fuite BF de la pale à usiner. Ces points sont ceux définis sur le modèle théorique 3D de la pale dans le logiciel CFAO. Le repère de référence est celui du trièdre d'usinage.

Ici, on mesure la position des points N2 à N6, figure 3, répartis entre la plateforme intérieure 17 et la plateforme extérieure 18 à un mm (un mm correspond à une cotation fonctionnelle sur le plan référence pour la mesure de l'épaisseur du BF) et le long du bord de fuite BF de la pale 14 ébauche à usiner. Le nombre de points est de
5 préférence au moins de trois.

A partir de ces points dont la position a été mesurée, on définit une pluralité de points induits. L'ensemble des points de contact outils/pièce définissant l'usinage de l'intrados et de l'extrados doit être contenu dans des carreaux, on ajoute donc le point
10 N1 et le point N7 puis les points N8 à N14. Ces derniers sont à l'intersection de la corde passant par les points palpés et le bord de fuite. Les points N1 et N7 qui sont trop près de la plateforme pour pouvoir être palpés sont obtenus par translation des points N2 et N6 adjacents. Les points N1 à N14 délimitent ainsi les sommets de carreaux d'usinage, C1 à C6.

Pour chacun des points N1 à N14, on calcule alors la valeur des écarts delta (N) entre la position mesurée ou induite et la position sur le modèle théorique. En raison du calage des axes de référence, cet écart est mesuré le long de l'axe principal X. Pour chaque carreau d'usinage et en chaque zone de contact de l'outil avec la surface de
20 l'aube à l'intérieur des carreaux, la quantité de matière à enlever est définie d'une part par la position du contact de l'outil dans le carreau et la valeur des écarts delta(N) mesurés sur chaque sommet du carreau concerné.

On décrit plus précisément le mode de détermination de la quantité de matière à
25 enlever par usinage en référence à l'exemple de la figure 4. Dans cet exemple, les carreaux sont des polygones à quatre côtés, ils pourraient cependant avoir un nombre de côtés différents.

Chaque point P est défini par rapport aux sommets ou nœuds du carreau dans
30 lequel il se trouve à l'aide de quatre coefficients, dits coefficients pondérateurs CPi (i étant le numéro de référence du nœud en question). Chaque coefficient pondérateur correspond au poids dont il faut affecter le nœud correspondant pour que le point P soit

le barycentre de ces quatre nœuds. En d'autres termes plus le point P est proche d'un nœud, plus le coefficient, affecté à ce nœud, est élevé et, inversement, les nœuds les plus éloignés se voient affectés d'un coefficient faible. Afin de rendre unique la définition de ces coefficients pondérateurs, ils sont réduits proportionnellement les uns aux autres pour que leur somme soit égale à 1. A titre d'exemple si le point P est au centre du carreau les quatre coefficients sont égaux à 0,25 ; s'il est proche d'un des nœuds, tel qu'on le voit sur la figure 4, le coefficient CP1 sera égal à 0,5 alors que les trois autres seront respectivement égaux à 0,35 pour CP2, 0,10 pour CP7 et 0,05 pour CP8.

Le fichier constitué par les pondérations des points P à balayer par l'outil d'usinage et par les orientations correspondantes de l'axe de l'outil est alors converti en un format compréhensible par la machine à commande numérique et chargé dans son logiciel.

L'étape suivante consiste à définir un écart de positionnement delta pour tous les points de contact entre la pièce et l'outil lors de l'usinage de finition. Pour cela le calcul de ce delta prend en compte les coefficients pondérateurs du point P calculés précédemment et les écarts delta(Ni) des nœuds du carreau dans lequel se trouve le point P. Le delta au point P, c'est-à-dire la correction à apporter au point P de la surface de la pale, est défini comme étant égal à la somme des valeurs obtenues en multipliant chaque delta d'un nœud par le coefficient pondérateur qui lui est associé.

Dans l'exemple du point P situé dans le carreau formé par les quatre nœuds N1, N2, N7 et N8, la valeur de delta(P) est égale à $CP1 \cdot \delta(N1) + CP2 \cdot \delta(N2) + CP7 \cdot \delta(N7) + CP8 \cdot \delta(N8)$.

Plus généralement, on peut l'exprimer par la formule,

$\delta(P) = \sum CP_i \cdot \delta(N_i)$ pour i correspondant à l'indice des sommets des carreaux d'usinage.

Cet écart $\delta(P)$, qui s'étend selon l'axe X du trièdre d'usinage au point P, détermine la composante de la correction à appliquer aux coordonnées cartésiennes données au programme qui pilote le positionnement de l'outil lors de l'usinage de finition. Dans le cas présent, la correction est apportée selon l'axe X seul.

5

L'usinage s'effectue ainsi de préférence par une machine-outil à commande numérique 5 axes pour laquelle la position de l'outil est à tout instant corrigée de la valeur issue des deltas des nœuds du carreau considéré et des coefficients pondérateurs du point où se trouve ledit outil. De préférence l'usinage est effectué par fraisage en

10

Une fois que l'on a usiné la première face pour amener sa position à celle de la surface du modèle théorique, on procède à la détermination de la correction d'usinage sur la face opposée à la première, c'est à dire ici la face intrados. On part comme dans

15

l'extrados des points initiaux N2 à N6. Le palpeur ne pouvant pas accéder entre les pales, on corrige de la même façon que l'on a corrigée sur l'extrados. On utilise les mêmes carreaux qu'à l'extrados et seuls les points de contacts outils/pièces sont différents.

20

Un exemple de déroulé des opérations de fraisage des pales d'un secteur de distributeur est le suivant :

- fraisage ébauche de la corde de chaque pale, une pale après l'autre, ce fraisage vise à conserver une surépaisseur,
- fraisage ébauche de l'intrados de chaque pale, une pale après l'autre,
- 25 - fraisage semi-finition et finition de l'extrados de chaque pale, une pale après l'autre,
- fraisage finition de l'intrados de chaque pale, une pale après l'autre,
- fraisage finition de la corde de chaque pale, une pale après l'autre.

30

L'épaisseur enlevée lors de l'usinage d'ébauche est de l'ordre de quelques dixièmes de mm voire un quelques mm (en fonction de la surépaisseur de fonderie).

L'épaisseur enlevée lors de l'usinage de finition est de l'ordre de quelques centièmes de mm.

La valeur de la correction est de quelques dixièmes de mm.

5

On a représenté sur la figure 5, la position d'une fraise 40 usinant l'extrados de la pale 16 en roulant le long du bord de fuite. L'outil est monté sur un porte-outil mobile selon cinq axes par exemple.

10

Les figures 6 et 7 montrent le montage d'une aube mobile sur un support 50. Le support comprend un mors fixe 51 dont la surface 51a de contact avec l'aube mobile est conformée de manière à recevoir l'extrados de la pale mobile. La figure 6 montre le mors fixe seul 51. Celui-ci est fixé sur le plateau 30 et présente une inclinaison déterminée. Cette inclinaison est choisie de manière à permettre l'orientation de l'outil d'usinage selon une direction telle que celle de l'axe parallèle à l'axe de la broche. La figure 7 montre l'aube mobile maintenue entre le mors 51 et un mors amovible 52 de manière à laisser libre la région du bord de fuite de la pale.

15

On a représenté aussi les différentes positions du palpeur S avec sa sphère au contact de la surface de la zone du bord de fuite. Le montage permet au palpeur de se positionner en chacun des points dont on souhaite mesurer la position.

20

Cette disposition permet à l'outil d'usiner en roulant les deux faces, intrados et extrados de la pale ainsi que la corde. Les deux mors sont serrés par les vis 53. Le déplacement de serrage du mors mobile contre le mors fixe est assuré par un guidage le long de pions de guidage 54. Les vis permettent un serrage suffisant pour réduire la déformation de la pale.

25

Le mors fixe 51 comprend une butée 55 pour la plateforme de pied d'aube permettant de caler l'aube en position axiale.

30

On procède à l'usinage de la même façon que décrite plus haut pour une pale de secteur de distributeur.

La figure 8 montre le support 20 pour secteur de distributeur sans la pièce. On voit les éléments de la fixation isostatique avec d'un côté la bride d'attache 21 pour une immobilisation dans les trois directions. De l'autre côté on voit les trois appuis pour une immobilisation en rotation autour des trois axes.

Les étriers 25 et 26 d'amortissement des vibrations sont disposés de part et d'autre de la bride 21. Ces étriers sont fixés par des vis à l'embase et comportent de coussinets d'appui venant en appui contre les faces de la plateforme empêchant la plateforme de vibrer.

Revendications

1. Procédé de fabrication d'une aube de turbomachine, l'aube comportant une pale, une plateforme interne et une plateforme externe, un profil de la pale étant défini par un modèle théorique numérique, comprenant de:
- fabriquer une ébauche de l'aube, l'ébauche comprenant la pale, la plateforme interne et la plateforme externe, et ayant une surépaisseur le long d'un bord de fuite de la pale par rapport au profil théorique; et
- enlever la surépaisseur par un usinage adaptatif, comprenant de :
- a) positionner l'ébauche dans une machine-outil de sorte qu'un système d'axes rectangulaire définissant un repère de référence de l'ébauche coïncide avec un trièdre d'usinage de la machine-outil;
 - b) acquérir, par palpée en un nombre déterminé de points sur une première face de l'ébauche, le long du bord de fuite, une position des points dans le repère de référence;
 - c) déterminer des écarts de position, selon une direction, entre la position des points dans le repère de référence et des points correspondants du modèle théorique;
 - d) élaborer des carreaux d'usinage sur la première face de l'ébauche, des sommets des carreaux étant déterminés à partir des points;
 - e) déterminer une quantité de matière à enlever à une surface des carreaux, en fonction d'une position de points du carreau par rapport aux sommets des carreaux et des écarts de position; et
 - f) usiner la pale en utilisant la machine-outil;
- dans lequel ledit positionnement inclut de monter l'ébauche dans un support, le support incluant un premier système de fixation pour fixer la plateforme interne et un second système de fixation pour fixer la plateforme externe;
- le mouvement de la machine-outil s'effectue le long d'une direction principale dans le trièdre d'usinage de la machine-outil qui est parallèle à un axe radial de la pale; et
- ladite détermination de la quantité de matière à enlever à la surface des carreaux est effectuée le long de la direction principale dans le trièdre d'usinage de la machine-outil, et pour chaque carreau d'usinage et à chacune de zones de contact de la machine-outil avec une surface de l'aube à l'intérieur des carreaux, la quantité de matière à enlever est définie par une position de contact de la machine-outil dans chaque carreau d'usinage et une valeur des écarts de position mesurés sur chaque sommet de chaque carreau d'usinage en utilisant des coefficients de pondération pour chaque sommet de chaque carreau d'usinage, une valeur d'un coefficient de pondération respectif

correspondant à une distance entre un centre de masse de chaque carreau d'usinage et le sommet respectif, une somme des coefficients de pondération pour chaque carreau d'usinage étant égal à un.

- 5 2. Procédé selon la revendication 1, dans lequel la surépaisseur à usiner est ménagée sur l'extrados et sur l'intrados de la pale.
3. Procédé selon la revendication 2, dans lequel la surépaisseur est ménagée également sur une corde de la pale.
4. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, dans lequel
10 les points palpés sont au minimum au nombre de trois.
5. Procédé selon la revendication 4, dans lequel les points palpés sont disposés parallèlement au bord de fuite.
6. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, dans lequel les sommets des carreaux d'usinage comprennent les points palpés et des points qui s'en
15 déduisent par translation le long d'une corde passant par les points palpés.
7. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, comprenant l'usinage de la face opposée à la première face, la quantité de matière enlevée étant déterminée par la position par rapport aux sommets des carreaux d'usinage de la première face.
- 20 8. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, dans lequel le support est amovible et le support est monté sur amovible sur la machine-outil, la machine-outil étant à commande numérique.
9. Procédé selon la revendication 8, dans lequel l'aube est une aube mobile de turbine, fixée sur le support amovible en étant serré entre un mors amovible et un mors
25 fixe, le mors fixe étant usiné au profil théorique d'une face de la pale, laissant libre le bord de fuite à usiner.
10. Procédé selon la revendication 8, dans lequel l'aube fait partie d'un secteur de distributeur de turbine, et le support amovible est agencé pour un montage isostatique du secteur dans le support amovible.
- 30 11. Procédé selon la revendication 10, dans lequel le support amovible comprend un moyen pour amortir les vibrations lors de l'usinage.
12. Procédé selon l'une quelconque des revendications 10 et 11, dans lequel l'usinage de chacune des aubes du secteur de distributeur comprend une étape

préalable de recalage au mieux de l'aube par rapport au trièdre d'usinage sur la machine-outil.

13. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 12, dans lequel les écarts de position sont déterminés le long de la direction de la machine-outil qui est
- 5 parallèle à l'axe radial de la pale.

14. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 13, dans lequel les carreaux d'usinage sont des polygones à quatre côtés.

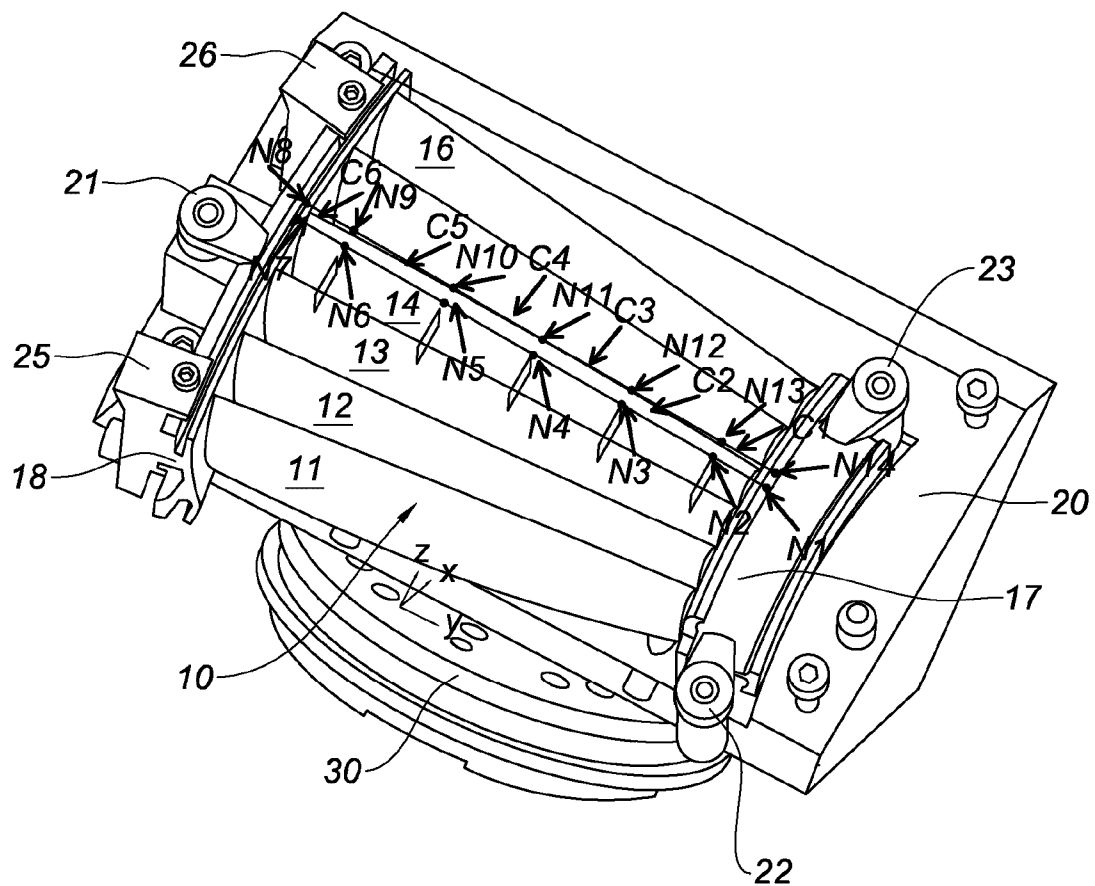
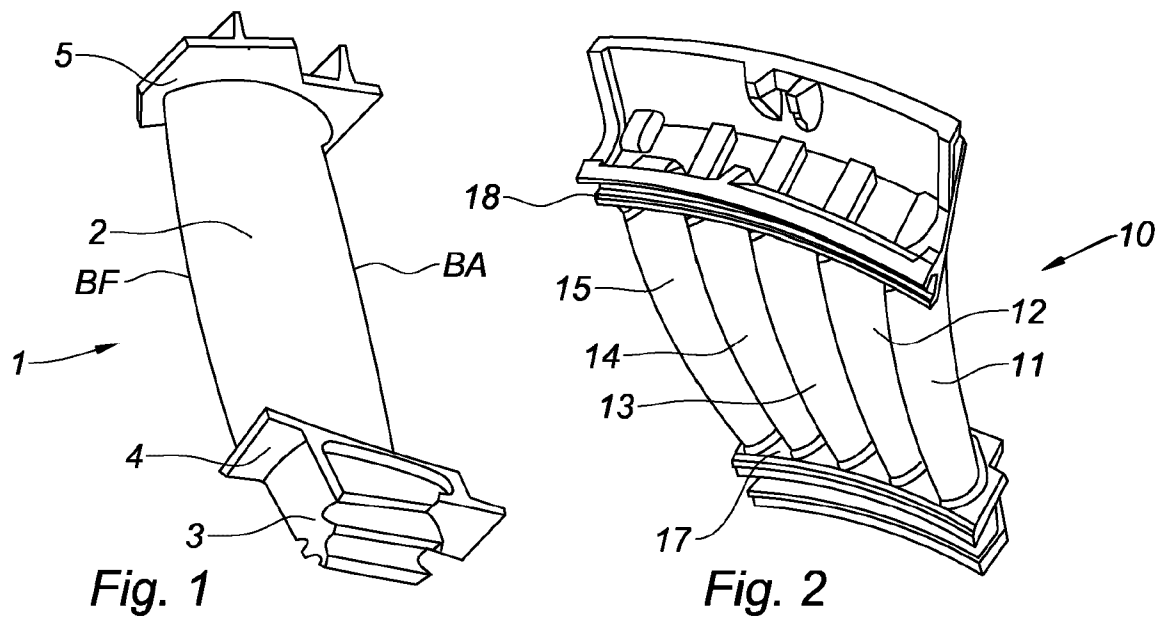


Fig. 3

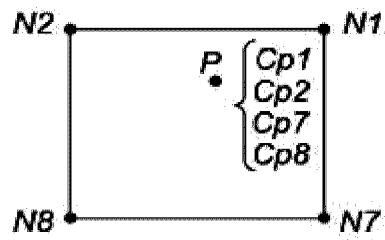


Fig. 4

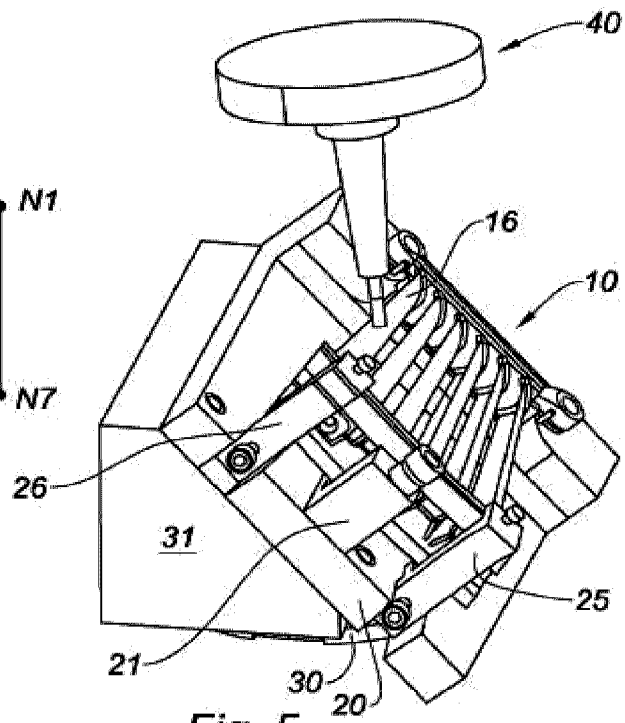


Fig. 5

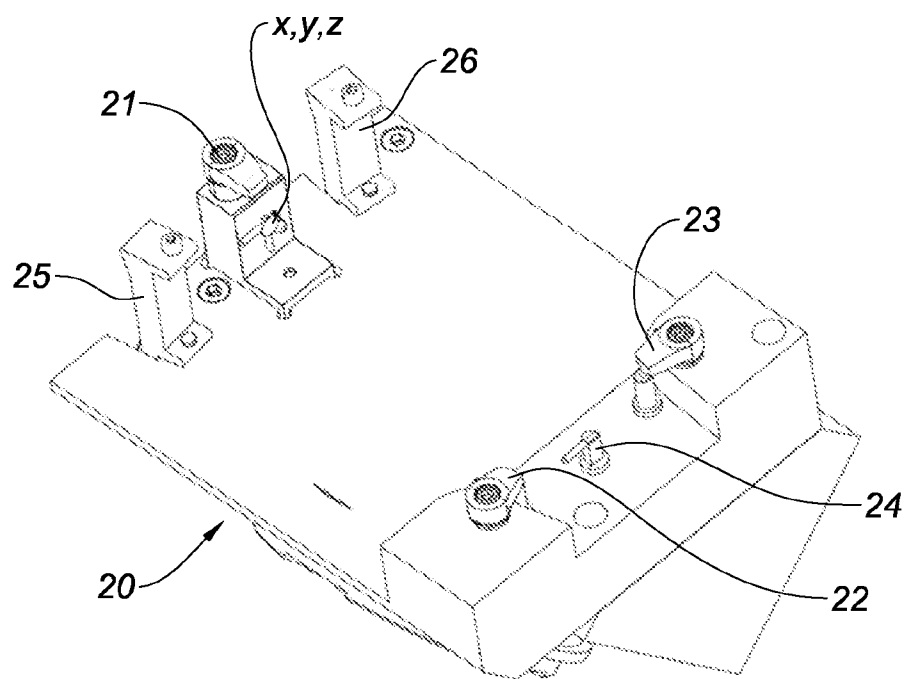
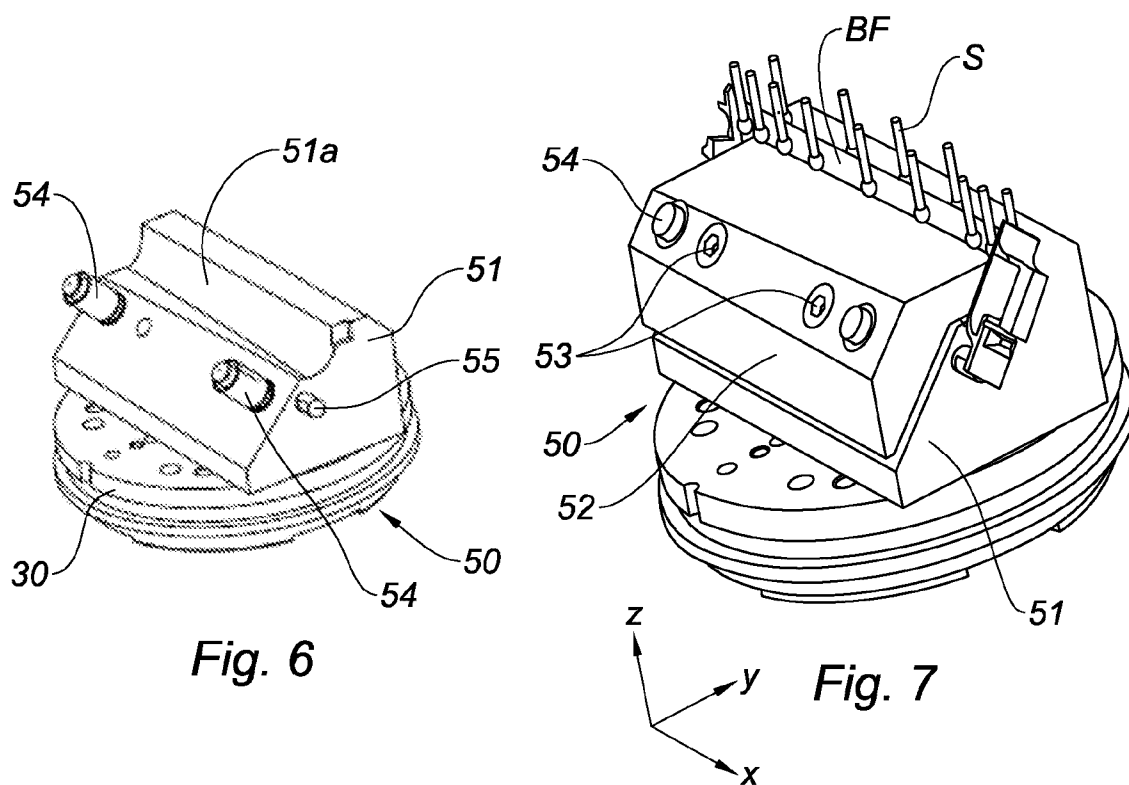


Fig. 8

