

(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
25 juin 2009 (25.06.2009)

PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2009/077539 A2

(51) Classification internationale des brevets :
G06T 7/00 (2006.01) **G01B 11/30** (2006.01)
G01N 21/95 (2006.01) **G01M 17/02** (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/EP2008/067654

(22) Date de dépôt international :
16 décembre 2008 (16.12.2008)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
07/60042 19 décembre 2007 (19.12.2007) FR

(71) Déposant (pour tous les États désignés sauf CA, MX, US) :
SOCIÉTÉ DE TECHNOLOGIE MICHELIN [FR/FR];
23, rue Breschet, F-63000 Clermont-Ferrand (FR).

(71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) : **MICHE-
LIN RECHERCHE ET TECHNIQUE S.A.** [CH/CH];
Route Louis Braille 10, CH-1763 Granges-Paccot (CH).

(72) Inventeurs; et

(75) Inventeurs/Déposants (pour US seulement) : **JOLY, Alexandre** [FR/FR]; 33, avenue du Livradois, F-63800 Cournon d'Auvergne (FR). **LEOBAL, Christian** [FR/FR]; 16, rue des Grands Cros, F-63960 Veyre-Monton (FR). **MOREAU, Claire** [FR/FR]; 11, rue Albert Schweitzer, F-63360 Gerzat (FR). **GASPARD, François** [FR/FR]; 6, résidence Vaucouleur, F-91040 Les Ulis (FR). **VIN-CIGUERRA, Régis** [FR/FR]; 15, Voie Saint Marc, F-91700 Villiers sur Orge (FR). **BOURGEOIS, Steve** [FR/FR]; 16, rue Traversière, F-94600 Choisy le Roy (FR).

(74) Mandataire : **REYNAUD, Georges**; Manufacture Française des Pneumatiques Michelin, 23, place des Carmes-Dechaux, SGD/LG/PI - F35 - Ladoux, F-63040 Clermont-Ferrand Cedex 9 (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, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG,

[Suite sur la page suivante]

(54) Title: METHOD FOR PROCESSING A THREE-DIMENSIONAL IMAGE OF THE SURFACE OF A TYRE SO THAT IT CAN BE USED TO INSPECT THE SAID SURFACE

(54) Titre : METHODE DE TRAITEMENT D'UNE IMAGE TRI DIMENSIONNELLE DE LA SURFACE D'UN PNEUMATIQUE EN VUE DE SON UTILISATION POUR L'INSPECTION DE LADITE SURFACE

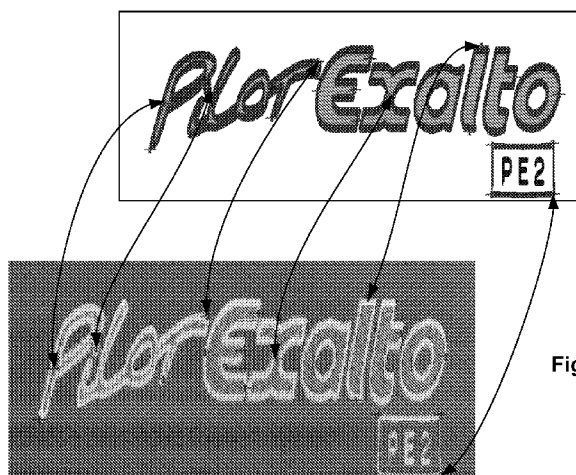


Fig 12

(57) Abstract: Method of inspecting a region of the surface of a tyre, the said surface comprising raised markings, in which method the three-dimensional profile of the surface that is to be inspected is determined, the characteristic points are located on the surface that is to be inspected, and these points are paired with the corresponding points taken from the three-dimensional data of a reference surface so as to create a set of pairs of paired points; iteratively, a first refined transform function applied to the characteristic points of the said reference surface such that the value representing the sum of the distances between each of the characteristic points of the reference surface transformed using the said first transform function, and the points of the surface that is to be inspected which are paired with them, is minimal is searched for; and the said first transform function is applied to all of the points of the reference surface in order to obtain a transformed reference surface.

[Suite sur la page suivante]

WO 2009/077539 A2



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, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasién (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

(84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH,

Publiée :

— sans rapport de recherche internationale, sera republiée dès réception de ce rapport

(57) **Abrégé :** Méthode d'inspection d'une zone de la surface d'un pneumatique, ladite surface comprenant des marquages en relief, dans laquelle on détermine le profil tridimensionnel de la surface à inspecter, on localise des points caractéristiques sur la surface à inspecter, et on apparie ces points avec les points correspondants issus des données tridimensionnelles d'une surface de référence, de manière à créer un ensemble de couples de points appariés, on recherche, de manière itérative, une première fonction de transformation appliquée sur les points caractéristiques de la surface de référence, de telle sorte que la valeur représentant la somme des distances entre chacun des points caractéristiques de la surface de référence transformés à l'aide de ladite première fonction de transformation et les points de la surface à inspecter qui leurs sont appariés, soit minimale, et on applique ladite première fonction de transformation à l'ensemble des points de la surface de référence pour obtenir une surface de référence transformée.

**METHODE DE TRAITEMENT D'UNE IMAGE TRI DIMENSIONNELLE DE LA
SURFACE D'UN PNEUMATIQUE EN VUE DE SON UTILISATION POUR
L'INSPECTION DE LADITE SURFACE**

5

[001] L'invention concerne le domaine de la fabrication des pneumatiques. Plus particulièrement, la présente invention s'intéresse au problème de l'inspection visuelle des pneumatiques en cours ou en fin du processus de production, dans le but d'en déterminer la conformité par rapport à des références de contrôle établies en vue de l'usage qui sera fait dudit pneumatique.

10

[002] L'accroissement, à coût constant, de la puissance de calcul par ordinateur, autorise désormais le développement à l'échelle industrielle de moyens de contrôle automatiques destinés à assister les opérateurs chargés du contrôle visuel des pneumatiques. Ces moyens font largement appel à des techniques de traitement d'image dont la performance, en terme de rapidité d'analyse et de définition, dépend largement de la puissance de calcul utilisée.

15

[003] Les méthodes employées pour effectuer ces traitements consistent, en règle générale, à comparer une image en deux ou préférentiellement en trois dimensions de la surface du pneumatique à inspecter avec une image de référence en deux et préférentiellement en trois dimensions de la surface dudit pneumatique. A cet effet, on cherche à faire correspondre, l'image ou la surface du pneumatique à inspecter et l'image ou la surface de référence, par exemple en les superposant, et on détermine les anomalies de fabrication par l'analyse des différences entre les deux images ou les deux surfaces.

20

[004] Une méthode de ce type est décrite à titre d'exemple dans la publication US 5 715 166 qui décrit les transformations à réaliser pour mettre en correspondance une surface de référence avec une image tridimensionnelle d'un objet donné, en utilisant des fonctions de transformation telles que des rotations ou des glissements. Cette méthode s'applique avec de bons résultats lorsque l'on cherche à faire correspondre des objets solides non déformables tels que des pièces métalliques considérées ici comme infiniment rigides.

25

[005] Dans le cas du pneumatique, l'image de référence de la surface peut être obtenue à partir des données numériques provenant de la conception du pneumatique ou, plus communément, des données numériques servant à décrire et à fabriquer le moule de cuisson, ledit moule étant lui-même destiné à donner sa forme définitive audit pneumatique.

[006] L'image tridimensionnelle de la surface du pneumatique peut être obtenue, de manière connue, à l'aide d'une caméra apte à déterminer le relief en trois dimensions de la surface du pneumatique.

[007] Toutefois, on observe que le pneumatique sorti du moule ne correspond pas exactement à l'image en négatif du moule dans lequel s'est déroulée l'opération de moulage et de vulcanisation, en raison de la nature élastique des matériaux qui le composent.

[008] En effet, le pneumatique se déforme dès sa sortie de la presse de vulcanisation en raison des rétractations thermiques des matériaux lors du refroidissement. De plus, lors du montage et du gonflage, les nappes de renfort prennent leur position définitive et la courbe d'équilibre du pneumatique gonflé ne correspond pas nécessairement à la forme du pneumatique donnée par le moule de cuisson.

[009] Aussi, il s'avère nécessaire de procéder à un ajustement préalable de l'image de la surface de référence et de l'image acquise de la surface du pneumatique à inspecter, afin de mettre en correspondance les deux surfaces dans le but d'en tirer des informations pertinentes sur la conformité du pneumatique provenant de la fabrication.

[010] Une méthode de ce type est décrite, à titre d'exemple, dans la publication EP 1 750 089. Selon cette publication, la représentation en trois dimensions de la surface du pneumatique à inspecter et la représentation en trois dimensions de la référence lui correspondant, sont découpées en portions de surface de dimensions réduites, correspondant sensiblement à la surface d'un élément de marquage tel qu'une lettre ou un ensemble de lettres. Toujours selon la méthode en question, les algorithmes de calcul sont adaptés pour faire glisser l'une sur l'autre les portions de surface de la surface de référence et de la surface à inspecter, de manière à déterminer l'optimum de correspondance entre

les contours des reliefs des deux surfaces. Une fois ce recalage local réalisé, et pour la portion de la surface en question, les deux portions de surfaces sont comparées l'une à l'autre pour déterminer le degré de conformité du pneumatique à inspecter par rapport à une référence.

- 5 **[011]** Si les algorithmes décrits dans cette publication présentent l'avantage de s'affranchir dans une large mesure des écarts de position entre le modèle et le pneumatique réel décrits ci-dessus, ainsi que des différences de montage et de gonflage d'une enveloppe à une autre, ils sont proches de ceux décrits dans la publication US 5 715 166, en ce qu'ils assimilent les portions de surface à des éléments rigides.
- 10 **[012]** On observe néanmoins un manque de robustesse dans la mise en œuvre de cette méthode, en particulier, lorsque la surface du pneumatique à inspecter présente des anomalies importantes telles qu'une absence totale d'un élément de marquage, ou la présence d'un élément étranger au niveau du marquage en relief, lesquelles anomalies ont pour effet de perturber l'algorithme de mise en correspondance de l'image acquise et de
- 15 l'image de référence dans cette portion de surface. De plus, cette méthode donne de mauvais résultats dans les surfaces lisses ne comportant pas de marquage et qui peuvent comporter, elles aussi, des anomalies de moulage.

[013] L'invention a pour objet d'apporter une solution à ces problèmes.

- [014]** La méthode d'inspection selon l'invention concerne les parties de la surface d'un
- 20 pneumatique comprenant des marquages en relief. On entend par marquage en reliefs les éléments tels que des chiffres ou des caractères alphanumériques, des suites de caractères formant des mots ou des nombres, des caractères figuratifs tels que des idéogrammes, des motifs décoratifs ou des dessins, des stries, et situés sur le flanc ou sur la surface intérieure, ou encore des motifs de sculpture de la bande de roulement

- 25 **[015]** La méthode d'inspection selon l'invention comprend les étapes au cours desquelles :
- on détermine le profil tridimensionnel de la surface à inspecter,
 - on localise des points caractéristiques de la surface à inspecter et on apparie ces points avec les points caractéristiques correspondants issus des données tridimensionnelles

d'une surface de référence, de manière à créer un ensemble de couples de points caractéristiques appariés,

- on recherche, de manière itérative, une première fonction de transformation appliquée sur les points caractéristiques de la surface de référence, de telle sorte que la
- 5 valeur représentant la somme des distances entre chacun des points caractéristiques de la surface de référence, transformés à l'aide de ladite première fonction de transformation, et les points de la surface à inspecter qui leurs sont appariés, soit minimale,
- on applique ladite première fonction de transformation à l'ensemble des points de la surface de référence pour obtenir une surface de référence transformée.

10 Cette méthode se caractérise en ce que ladite fonction de transformation est une fonction affine comprenant une homothétie dont le rapport a une valeur absolue différente de 1.

[016] De cette manière, il est possible de transformer en la déformant la surface de référence de manière à recalculer l'ensemble des points de la surface de référence par rapport à la surface à inspecter pour s'affranchir des variations globales de forme entre la surface

15 de référence et la surface à inspecter. Cette transformation affine se distingue des transformations dans laquelle les homothéties ont un rapport égal à 1 et qui se réduisent alors à de simples rotations ou translations.

[017] Tous les points de la surface de référence sont pris en compte et transformés par ladite première fonction de transformation, ce qui permet de mettre en correspondance les

20 surfaces comportant des marquages en relief de la même manière que les surfaces lisses ou ne comportant pas de marquage du fait d'une anomalie.

[018] L'invention prévoit également de déterminer des secondes fonctions de transformations du type transformations affines comprenant une homothétie de rapport différent de 1, sur des portions de surface de manière à affiner le recalage initial de la

25 surface de référence.

[019] Comme on le verra par la suite, la qualité de ces recalages dépend largement de la détermination des points caractéristiques, mais également du domaine d'application de la fonction de transformation. En effet, il convient de s'affranchir de l'influence des déformations locales généralement causées par des anomalies de réalisation que l'on

30 cherche à détecter. Cette distorsion est évitée en appliquant ladite première ou lesdites

secondes transformations, à des surfaces considérées comme homogènes, c'est à dire subissant sensiblement le même niveau de transformation élastique.

[020] Le temps de calcul reste également un facteur limitatif déterminant. Aussi, la mise en œuvre de l'invention est facilitée par l'exécution préalable d'étapes de simplification complémentaires qui ont pour but d'alléger ces temps de calcul, sans altérer la qualité du résultat recherché.

[021] La description qui suit, permet d'illustrer un mode particulier de mise en œuvre de l'invention et s'appuie sur les figures 1 à 16 dans lesquelles :

- la figure 1 représente une image 2D des contours des éléments en relief d'une surface de référence et de l'image déroulée de ladite image,
- la figure 2 représente une illustration de la détermination du profil radial moyen de la surface,
- les figures 3, 4, 5 illustrent les étapes de squelettisation des caractères alphanumériques,
- les figures 6 et 7 illustrent des choix possibles de points caractéristiques,
- les figures 8 et 9 illustrent l'étape de recalage des azimuts,
- la figure 10 illustre la variation angulaire entre le profil radial moyen de la surface de référence et le profil radial moyen de la surface à inspecter,
- la figure 11 illustre le recalage du profil radial moyen de la surface de référence par rapport au profil radial moyen de la surface à inspecter,
- la figure 12 illustre l'appariement de points caractéristiques entre la surface de référence et la surface à inspecter.
- la figure 13 illustre le recalage de l'image de la surface de référence par rapport à l'image de la surface à inspecter, après application de la première fonction de transformation,
- les figures 14, 15 et 16 illustrent le recalage de l'image de la surface de référence par rapport à l'image de la surface à inspecter, après application de la première et de la deuxième fonction de transformation.

[022] La première étape du procédé consiste, de manière connue, à obtenir les données permettant de caractériser la surface en trois dimensions de la surface à inspecter. Pour réaliser cette opération, on éclaire la surface à l'aide d'une lumière blanche ou d'une

lumière de longueur d'onde donnée, telle que la lumière provenant d'un faisceau laser, et on capte la lumière réfléchiée par la surface à l'aide d'une caméra matricielle dont on analyse les colonnes. Il est aussi possible d'utiliser un capteur tridimensionnel à triangulation laser dont les principes sont assimilables, en deux dimensions, à ceux d'une
5 caméra linéaire.

[023] Le pneumatique à inspecter est installé sur un moyen permettant de le mettre en rotation relative par rapport à la caméra. En faisant opérer au pneumatique un tour complet autour de son axe de rotation par rapport à la caméra, on obtient les données numériques qui, après traitement par un moyen de calcul approprié et connu, sont représentatives des
10 coordonnées tridimensionnelles de la surface à inspecter. La surface est alors matérialisée par un ensemble de points dans un espace à trois dimensions.

[024] Il est recommandé de faire l'acquisition des données tridimensionnelles de la surface à inspecter après avoir monté le pneumatique sur une jante et après avoir gonflé le pneumatique à une pression de référence, de manière à rapprocher le pneumatique de sa
15 courbe d'équilibre, et à minimiser les variations de positionnement de la surface entre deux pneumatiques différents. Ceci permet également de mettre en évidence des anomalies de structure qui pourront être détectées par la méthode faisant l'objet de la présente invention.

[025] L'exemple de mise en œuvre de l'invention décrit ci-après s'adresse plus particulièrement à l'inspection des flancs du pneumatique, qui sont généralement chargés
20 en marquages et en motifs graphiques de tout genre. Toutefois, les techniques mises en œuvre peuvent, moyennant transposition, être utilisées de manière identique pour l'inspection de la partie intérieure ou de la bande de roulement.

[026] La surface servant de référence peut provenir des données de conception du pneumatique en trois dimensions ou, préférentiellement, des données de conception et de
25 réalisation du moule de cuisson et plus spécifiquement des données de creusage des coquilles servant à mouler les flancs et portant les marquages en creux. En effet, la connaissance des paramètres de commande de l'outil de fraisage, adossée à la connaissance du profil radial moyen de la coquille, permet de reconstruire une surface en relief assimilée à la surface de référence.

[027] La surface de référence reconstruite de cette manière se présente sous la forme d'un ensemble de points inscrits sur la surface de référence. Il est également possible d'associer à ces points des informations supplémentaires significatives de la nature de la surface où ils se situent, telles que l'indication que ce point se situe sur une surface lisse, un relief, un caractère ou un ensemble de caractères alphanumériques, un motif particulier, tels qu'un motif strié ou lisse. Ces indications s'avèrent en effet utiles dans les étapes ultérieures de mise en œuvre de la méthode, en particulier lorsque l'on cherchera à déterminer lesdits points caractéristiques.

[028] Comme cela a été évoqué précédemment, il est intéressant d'alléger les calculs à effectuer en réalisant quelques étapes préalables de simplification. Un des moyens pour y parvenir, consiste à choisir convenablement les repères dans lesquels on exprimera les coordonnées tridimensionnelles des points de la surface de référence et de la surface à inspecter, de manière à autoriser des projections simples permettant de réduire le nombre de coordonnées, et le nombre de dimensions de l'espace à étudier.

[029] Aussi, on s'arrange pour que les coordonnées en trois dimensions x , y , z des surfaces à analyser soient exprimées dans un repère orthonormé OX , OY , OZ dans lequel l'axe OZ est sensiblement confondu avec l'axe de rotation du pneumatique. Il est alors aisé de convertir les coordonnées x , y , z par projection dans le plan OXY et de changer les coordonnées cartésiennes x , y dans le plan OXY en coordonnées polaires de type ρ , θ .

[030] Une première simplification consiste à dérouler la surface comme cela est illustré à la figure 1. Il suffit pour cela de considérer que la valeur de ρ correspond à la valeur selon un axe OY' et que la valeur θ correspond à la coordonnée selon l'axe OX' . Le repère $OX'Y'$ étant lui-même un repère orthonormé.

[031] Une seconde simplification consiste à déterminer le profil moyen du galbe de la surface dans un plan radial. Pour ce faire, il suffit de projeter l'ensemble des points dans le plan formé par les axes OZ et OX' , comme cela est illustré à la figure 2, ce qui correspond à une projection dans un plan radial. La forme du profil radial moyen sera donnée par la forme du nuage de points dans ce plan radial, dont on peut extraire une courbe moyenne en faisant la moyenne des valeurs selon une direction OZ . La surface obtenue en déployant à nouveau ce profil radial moyen correspond sensiblement à la surface du pneumatique sur

laquelle ne figurerait aucun marquage en relief.

[032] Il suffit alors, pour chaque valeur de l'angle θ , de soustraire la valeur de ce profil radial moyen des coordonnées exprimées dans le plan OX'Z pour obtenir une mise à plat de la surface déroulée déterminée ci-dessus, et dans laquelle, seuls les éléments en relief
5 ont une valeur selon l'axe OZ.

[033] La mise à plat peut également se faire en suivant le profil de la surface selon un tracé déterminé, par exemple une ligne dans laquelle la valeur de ρ est constante, et en détectant les variations localisées du profil, significatives des marquages en relief réalisés sur ladite surface. La juxtaposition de ces lignes donne également une surface mise à plat
10 sur laquelle, seuls les éléments en relief apparaissent.

[034] De manière équivalente il est aussi possible de projeter la surface déroulée dans le plan OXY.

[035] En affectant une valeur de niveau de gris à la valeur selon l'axe OZ, on obtient une image en deux dimensions de la surface, sur laquelle les éléments en relief se
15 détachent visuellement par rapport à la couleur de la surface moyenne.

[036] Cette dernière simplification peut se faire avec un résultat similaire sur la surface mise à plat selon l'une des méthodes explicitée ci-dessus. La figure 8 illustre le résultat de ces simplifications appliquées à la surface de référence qui a été déroulée, mise à plat et convertie en une image en niveau de gris. La figure 9, quant à elle, représente l'image
20 déroulée et mise à plat de la surface à inspecter.

[037] La recherche des points caractéristiques s'effectue par une méthode classique de reconnaissance optique de caractère plus connue sous l'acronyme anglo-saxon OCR (Optical Character Recognition). Selon ce type de méthode, une première étape consiste à segmenter la surface pour obtenir une image en noir et blanc de la surface dans un plan, en
25 s'arrangeant pour que ladite image soit suffisamment contrastée de sorte que les caractères alphanumériques ou les motifs soient facilement identifiables.

[038] La méthode la plus simple pour réaliser cette segmentation, et dont les étapes sont illustrées par les figures 3, 4 et 5, consiste à utiliser la surface déroulée et mise à plat selon

la méthode exposée ci-dessus et d'affecter une couleur noire ou blanche aux éléments en relief. Un filtrage permet d'éliminer les taches indésirables (figure 3). Les caractères alphanumériques ou les motifs sont ensuite convertis en lignes ou en courbes (figure 4), par une méthode connue, telle que la méthode décrite par Ben K. Jang & Roland T. Chin dans l'article « One-Pass Parallel Thinning ; Analysis, Properties and Quantitative Evaluation », PAMI Volume 14, N°11, de Novembre 1992, de manière à ne conserver que le squelette du caractère ou du motif.

[039] Une fois cette opération achevée, on peut alors appliquer une des méthodes connue de reconnaissance optique des caractères, dans le but d'identifier et de localiser les caractères alphanumériques et les textes associés, présents sur la surface.

[040] Afin de simplifier la mise en œuvre de la méthode et d'augmenter la rapidité de réalisation des calculs, il est suggéré de procéder au recalage de l'image de la surface de référence par rapport à l'image de la surface à inspecter. A cet effet, on prédétermine une collection de caractères alphanumériques ou de motifs qui ne sont présents qu'une seule fois sur la surface, comme cela est illustré sur les figures 8 et 9. Dès que ces caractères ont été localisés dans les deux images, on évalue l'écart angulaire $\Delta\alpha$ entre ces deux caractères, et on effectue un changement de coordonnées sur l'axe OX' (représentant les valeur angulaire θ), en faisant passer l'origine des valeurs angulaires par ces caractères. Le recalage des azimuth autorise une comparaison directe des points de même coordonnées dans le plan OX'Y'.

[041] Le recalage en azimuth peut être suivi d'un recalage selon la direction radiale OY' (représentant la valeur de ρ), de manière à améliorer la recherche et la localisation des marquages sur le reste de la surface.

[042] Une fois la plupart des caractères alphanumériques, des textes et des motifs localisés sur l'image de la surface de référence et sur l'image de la surface à inspecter, on procède à une mise en correspondance des caractères alphanumériques qui sont associés à des textes, et des motifs présents sur les deux surfaces.

[043] La robustesse de cette étape d'association est améliorée en utilisant les informations provenant de l'étape de recalage des azimuths effectuée précédemment,

lesquelles permettent d'identifier plus précisément les aires de recherche des mots ou des motifs à associer. La taille des caractères peut également servir pour réduire les erreurs d'association.

5 [044] Ainsi, le mot « RADIAL » situé près du bourrelet sur l'image de référence est associé au mot « RADIAL » situé dans la même région de l'image à inspecter.

10 [045] On détermine alors sur chaque caractère ou sur chaque motifs les points formés par l'intersection des branches des tracés du squelette ou encore les points terminaux des dites branches. Ces points forment des points caractéristiques dont la localisation est précise comme cela est illustré à la figure 7. De manière non limitative, il est également possible de choisir comme point caractéristique les sommets d'un quadrilatère enveloppant le caractère alphanumérique ou du motif comme cela est illustré à la figure 6, ou encore un barycentre des lignes ou du relief considéré, comme par exemple un centre de gravité. Ce qui importe, c'est que les coordonnées de ces points soient connues de manière précise et puissent être localisées sans risque de confusion sur la surface à inspecter et sur la surface
15 de référence.

[046] Les points caractéristiques de l'image de la surface de référence et de l'image de la surface à inspecter correspondant, sont alors associés deux à deux pour former des couples de points caractéristiques appariés.

20 [047] A titre d'exemple, le point caractéristique associé à la pointe supérieure du premier A de « RADIAL » de l'image de référence est associé au point caractéristique du premier A de « RADIAL » de l'image à inspecter. Ce couple de points constitue un couple de points caractéristiques appariés.

25 [048] Le nombre de points caractéristiques appariés est variable d'une dimension à une autre, et peut également évoluer entre deux analyses successives d'un même pneumatique en fonction des éventuelles anomalies pouvant se trouver sur les marquages en relief, mais également, en raison des rejets successifs pouvant être opérés à chacune des étapes de la mise en œuvre de la méthode de reconnaissance optique des caractères laquelle génère ses propres anomalies lorsque les critères de reconnaissance ne sont pas tous remplis.

[049] De manière idéale, les paires de points caractéristiques sont réparties sur

l'ensemble de la surface à inspecter. En fait, on observe que ces points sont préférentiellement situés dans l'aire placée à proximité du bourrelet, en raison du grand nombre de marquages et de textes situés dans cette partie du pneumatique. Cette localisation préférentielle peut s'avérer gênante par la suite, et il sera nécessaire
5 d'envisager des moyens correctifs.

[050] La méthode selon l'invention prévoit une simplification supplémentaire, préalable à la détermination de la première fonction de transformation, qui consiste à opérer une translation et une rotation de la surface de référence dans un plan radial. Il a été mis en évidence que, lors du gonflage du pneumatique et/ou de la mise en place du bourrelet sur
10 la jante ou sur le système de mise en rotation de l'enveloppe, la courbe d'équilibre du flanc bascule par rapport à la forme du flanc imposée par la géométrie du moule.

[051] Ce mouvement physique peut être mesuré en comparant les profils radiaux moyens de la surface de référence et de la surface à inspecter comme cela est illustré à la figure 10.

15 [052] On recherche alors la rotation et la translation permettant de faire coïncider au mieux les courbes des deux profils radiaux moyens sans les déformer. A titre d'exemple un algorithme de type ICP (Iterative Closest Point) permet de déterminer la rotation et la translation à réaliser qui minimise la distance orthogonale (au sens des moindres carrés) entre des points du profil radial moyen de la surface de référence et leur projection
20 orthogonale sur le profil radial moyen de la surface à inspecter comme cela est illustré à la figure 11. Les points retenus pour effectuer ces calculs seront utilement choisis parmi les points caractéristiques.

[053] On applique alors cette rotation et cette translation dans le plan radial à l'ensemble des points de la surface de référence.

25 [054] L'étape suivante consiste à rechercher la première fonction de transformation. L'ensemble des points de départ sur lequel on va appliquer cette première fonction de transformation est constitué par les points caractéristiques de la surface de référence et l'ensemble d'arrivée, représente l'ensemble des points transformés, à chacun desquels il est possible d'associer une grandeur représentative de la distance le séparant du point de la

surface à inspecter auquel ils est apparié.

[055] On recherche alors, par itérations successives, une première fonction de transformation qui minimise la somme de ces grandeurs.

[056] Cette première fonction de transformation pourrait être une fonction non linéaire.

5 Dans ce cas, on observe que la détermination de ladite fonction passe par le choix préalable de la structure générale des équations mises en œuvre.

[057] Toutefois, la détermination des paramètres fait intervenir un grand nombre de paires de points caractéristiques, et le calcul de ces paramètres peut s'avérer complexe. Bien qu'il en résulte une assez bonne mise en correspondance des paires de points
10 caractéristiques, le choix d'une fonction non linéaire s'avère peu robuste, car très sensible aux variations de positionnement des points caractéristiques de la surface à évaluer, et aux erreurs d'appariement pouvant survenir à l'étape précédente. De plus, ce type de transformation autorise des déformations de toute nature dont il est difficile de limiter les amplitudes.

15 [058] Aussi, selon un mode préférentiel de mise en œuvre de l'invention la première fonction de transformation est une fonction affine qui est composée par la combinaison d'une rotation, d'un déplacement et d'une déformation ou d'une homothétie dont le rapport a une valeur absolue différente de 1 selon une direction donnée, ainsi que d'une mise à l'échelle selon chacun des axes de coordonnées. Le centre de l'homothétie est constitué en
20 règle générale par un point de l'axe de rotation du pneumatique.

[059] Ces fonctions affines présentent l'intérêt de conserver les caractéristiques géométriques des surfaces telles que le parallélisme, le milieu, les rapports de distance et les barycentres. Il en résulte que la détermination des paramètres est plus facile à réaliser, et requière des temps de calcul moins importants.

25 [060] Par ailleurs, la recherche de la première fonction de transformation affine est grandement simplifiée, lorsqu'elle s'effectue sur les images de la surface de référence et de la surface à inspecter en deux dimensions. Ce qui est l'objet des étapes de simplification explicitées ci-dessus au cours desquelles, chacune des surfaces est successivement déroulée, mise à plat, dans lesquelles la valeur du relief a été transformée en niveau de gris

ou de couleur, et sur lesquelles est appliquée la rotation et la translation dans le plan radial.

[061] Les coordonnées images ou objet (x' , y' , 1) d'un point (x , y , 1) de l'image de référence ainsi simplifiée s'obtiennent à partir de la transformation qui s'exprime sous la forme vectorielle suivante :

5

$$x' = H_{Affine} x$$

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & t_x \\ a_{21} & a_{22} & t_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ 1 \end{pmatrix}$$

et qui peut se réécrire sous la forme suivante :

$$p' = H_A p = \begin{bmatrix} A & t \\ 0^T & 1 \end{bmatrix} p$$

où t représente une translation dans le plan et A une matrice affine 2x2 qui peut s'écrire sous la forme d'une rotation dans le plan, et d'un étirement, ou déformation, non isotrope selon deux axes perpendiculaires faisant un angle donné par rapport aux axes du repère orthonormé.

[062] En première approche on observe toutefois que la recherche de cette première fonction de transformation appliquée à l'ensemble de la surface reste pertinente en ce que les déformations constatées s'opèrent essentiellement dans la direction radiale et sont relativement homogènes sur toute la circonférence du pneumatique. Ainsi les effets d'éventuelles déformations locales dues à des anomalies restent mineurs.

[063] Comme cela a été évoqué ci-dessus, la recherche des paramètres décrivant la première fonction de transformation est très sensible aux erreurs d'appariement. Aussi, on utilisera un algorithme de recherche permettant à chacune des boucles d'optimisation de conserver les données « pertinentes » et d'éliminer les données jugées « aberrantes ». A titre d'exemple, l'algorithme de la moindre médiane des carrés tels que la fonction Lmeds décrite par Peter J. Rousseeuw & Annick M. Leroy dans l'article « Robust regression and outliers detection », John Wiley and Sons, Inc ISBN 0-471-85233-3, New York, 1987,

donne de bons résultats. Cet algorithme consiste à effectuer des tirages aléatoires parmi les couples de points caractéristiques appariés et à estimer la transformation de ces points. Les points obtenus sont alors classés selon les critères de pertinence retenus à la suite d'une analyse statistique sur les erreurs résiduelles. Cette méthode permet de déterminer les

5 paramètres de la première fonction de transformation lorsque les données contiennent jusqu'à 50% de données jugées aberrantes.

[064] En raison des simplifications proposées dans les étapes précédentes, le nombre de paramètres nécessaires pour décrire la première fonction de transformation affine est faible, et le nombre de couples de points caractéristiques appariés nécessaires pour estimer

10 linéairement ces paramètres peut être réduit à un minimum de six, comme cela est illustré à la figure 12.

[065] On observe, à ce stade de la mise en œuvre de la méthode selon l'invention, que la recherche de cette première fonction de transformation peut se faire indépendamment des simplifications et des changements de repères décrits ci-dessus. On observe également que

15 les étapes de mise à plat, de rotation et de translation sont elles-mêmes des transformations affines qui, en se combinant avec une première transformation affine donnent également une transformation affine.

[066] Une fois la première fonction de transformation déterminée on applique cette fonction à l'ensemble des points de la surface de référence. Ceci permet d'obtenir une

20 surface de référence transformée et recalée par rapport à la surface à inspecter et dont tout les points, qu'ils appartiennent à un élément de surface lisse ou à un élément en relief sont recalés.

[067] On choisit ici de transformer la surface de référence et non pas la surface à inspecter. Comme on le verra par la suite, ce choix délibéré permet de se doter d'un moyen

25 d'analyse supplémentaire dans la recherche des anomalies susceptibles de se trouver sur la surface à inspecter.

[068] La figure 13 illustre la superposition de l'image de la surface à inspecter S_i et de l'image de la surface de référence transformée à l'aide de la première fonction de transformation S_{r1} . On remarquera que le recalage est très précis dans l'aire placée à

proximité du bourrelet, dans laquelle les deux images se superposent presque parfaitement. En revanche, le recalage des parties du flanc, situées à proximité de l'épaule du pneumatique, est moins précis. Ceci est dû en grande partie au plus faible nombre de points caractéristiques dans cette zone comme cela a été évoqué plus haut.

5 [069] Un premier perfectionnement de l'invention consiste donc à corriger, si nécessaire, ces erreurs résiduelles en procédant à une deuxième étape de recalage au cours de laquelle on va rechercher des deuxième fonctions de transformations, dont l'application locale aura pour effet de recaler localement la surface de référence.

10 [070] Une première méthode consiste tout simplement à constituer des sous ensemble de points caractéristiques appariés appartenant à une même zone ou portion de la surface de référence et de la surface à inspecter. Ces sous ensembles doivent comporter un minimum de six paires de points caractéristiques appariés.

15 [071] On recherche alors, pour chacune des zones ou portions de surface considérées, et selon la même méthodologie que celle qui a été utilisée pour la détermination de la première fonction de transformation, des secondes fonctions de transformations affines comportant une homothétie dont la valeur absolue du rapport est différente de 1.

20 [072] Chacune des secondes fonctions de transformation, de la même manière que cela a été développé ci-dessus, minimise, dans la zone considérée, la valeur représentant la somme des distances entre chacun des points caractéristiques de la surface de référence transformés successivement à l'aide de la première et de la seconde fonction de transformation et le point de la surface à inspecter qui leur sont appariés.

25 [073] Il importe là encore de définir des portions de surface suffisamment homogènes et dont la superficie soit adaptée de manière à réduire les effets des anomalies de la surface à inspecter. En pratique, on découpera la surface de référence en portions ou en zones comprenant un ou plusieurs caractères ou dessin distinctif préalablement identifiés.

[074] A titre d'illustration, le découpage en zones peut se faire en découplant la surface en secteurs angulaires (entre quatre et douze) et en secteurs radiaux (entre deux et trois) pour autant que le nombre de point caractéristiques appariés à l'intérieur de chaque zone soit supérieur à six. On obtient autant de secondes fonctions de transformation que de

zones.

[075] On applique alors cette seconde transformation affine à l'ensemble des points de ladite zone après leur avoir appliqué la première fonction de transformation. Alternativement on combine la première et la seconde transformation et on applique cette
5 nouvelle transformation à la zone considérée.

[076] Le processus décrit ci-dessus peut évidemment se répéter de manière itérative sur des zones de plus en plus petites, pour autant qu'elles contiennent un nombre de points caractéristiques appariés minimum. Dans ces conditions on combine une première fonction de transformation applicable à l'ensemble des points de la surface, avec une seconde
10 fonction de transformation applicable à l'ensemble des points d'une zone donnée, avec une troisième fonction de transformation établie pour une sous zone de la zone considérée à la manière de systèmes emboîtés les uns dans les autres.

[077] On observera alors que, en choisissant des portions de surface dont la superficie est de plus en plus réduite, il devient difficile de minimiser les effets des anomalies de surface de la surface à inspecter. La fonction de transformation aura alors tendance à déformer la portion de surface de référence de manière à l'adapter aux anomalies de la surface à inspecter. C'est pourquoi, en pratique, on limite à deux le nombre de découpages en zones ou portions de surface ce qui revient à calculer des premières des deuxièmes et au plus des troisièmes niveaux de transformations affines en réalisant les découpages
20 appropriés.

[078] Un découpage fin, ne permet pas d'éviter les écueils signalés ci-dessus et liés à l'utilisation des homothéties. Cet inconvénient peut toutefois se retourner en avantage en ce qu'il est alors possible de calculer une valeur, ou norme, représentant la déformation moyenne de la portion de surface de référence par rapport à la surface de référence
25 d'origine. L'écart de cette valeur par rapport à une valeur moyenne établie en calculant la moyenne des déformations de la surface de référence permet de détecter les zones ou portion de surface présentant potentiellement une anomalie sur la surface à inspecter.

[079] Cette méthode présente un intérêt en ce qu'on peut choisir les zones sur lesquelles il s'avère utile de rechercher une seconde fonction de transformation, voire dans des cas

exceptionnels, une troisième fonction de transformation, en particulier les zones situées dans les parties radialement extérieures du flanc, que l'on distinguera des zones dans lesquelles cette recherche n'est pas nécessaire, ce qui est le cas des zones proches du bourrelet du pneumatique, et où l'application de la seule première fonction de transformation est suffisante.

[080] Une seconde méthode consiste à s'intéresser de manière préférentielle aux contours des éléments en relief situés sur l'image de référence et sur l'image à inspecter. Ces contours sont obtenus à partir des données tridimensionnelles en utilisant, par exemple, les images des surfaces déroulées et mises à plat de la surface de référence transformée à l'aide de la première fonction de transformation, et de la surface à inspecter. En effet, cette seconde méthode ne s'applique de manière efficace que sur les données en deux dimensions de l'image de la surface de référence et de la surface à inspecter.

[081] On détermine alors des surfaces élémentaires qui vont contenir une ou plusieurs parties du contour d'un ou plusieurs objets en relief, et dont le contour présentera une variation du niveau de gris ou de couleur, tels qu'un caractère alphanumérique seul, ou une partie de motif et une partie de caractère alphanumérique, plusieurs caractères alphanumériques, ou encore un motif décoratif particulier.

[082] De même, il peut s'avérer intéressant, comme cela a été évoqué ci-dessus, de se limiter aux seules surfaces élémentaires situées dans la zone épaule du flanc.

[083] A l'intérieur de chacune des surfaces élémentaires, on calcule la somme des distances entre les points appartenant au contour de l'image de la surface de référence, transformée à l'aide de la première fonction de transformation et compris dans ladite surface élémentaire, et les points du contour de l'image de la surface à inspecter les plus proches.

[084] On recherche de manière itérative une seconde fonction de transformation, appliquée sur lesdits points dudit contour de la surface de référence et compris dans ladite surface élémentaire, de telle sorte que la valeur représentant ladite somme des distances, soit minimale.

[085] Une alternative consiste à déterminer cette deuxième fonction de transformation

affine locale à l'aide de la méthode dite des cartes de distances, telle que décrite par H.G. Barrow, J.M. Tenenbaum, R.C. Baum & H.C. Wolf dans l'article « Parametric correspondance and chamfer matching ; two techniques for image matching » in Proc. Int. Joint Conf. Artificial Intelligence 977, p. 659-663. L'intérêt de cet algorithme
5 d'optimisation réside dans sa simplicité.

[086] Il est également possible d'accroître la robustesse de la méthode en utilisant des cartes de distance orientées selon des directions données. La distance prise en compte correspond alors à la distance du point au contour le plus proche selon une direction donnée correspondant sensiblement à la direction du segment sur lequel se situe ce point,
10 et telle que décrite par Clark F. Olson & Daniel P Huttenlocher dans l'article « Target Recognition by Matching Oriented Edge Pixels » IEEE, Transactions on Image Processing, Vol 6, N° 1 Janvier 1997. Cet artifice permet de fiabiliser les résultats obtenus en « filtrant » des contours peu pertinents pour le recalage localisé tels que les stries présentes à l'intérieur de certains motifs en relief.

15 [087] Lorsque les paramètres de la seconde fonction de transformation locale ont été déterminés, on applique cette seconde fonction de transformation à l'ensemble des points de ladite portion de surface élémentaire de la surface de référence transformée à l'aide de la première fonction de transformation.

20 [088] On obtient donc autant de seconde fonction de transformation que de portions de surface élémentaires. Chacun des points de la surface de référence est donc transformé une première fois à l'aide de la première fonction de transformation, et une seconde fois à l'aide de la seconde fonction de transformation correspondant à la surface élémentaire à laquelle il appartient.

[089] La figure 14 représente une vue des contours de la surface de référence S_r . La
25 figure 15 représente une vue de l'image des contours de la surface de référence transformée à l'aide de la première fonction de transformation S_{r1} , superposée sur la vue des contours de l'image S_i de la surface à inspecter. Enfin, la figure 16 illustre la superposition des contours de l'image de la surface de référence transformée successivement à l'aide de la première fonction de transformation et des secondes
30 fonctions de transformation, S_{r2} , avec l'image S_i , des contours de la surface à inspecter.

Les figures 14, 15 et 16 ont été dilatées pour les besoins de l'explication, de manière à faire apparaître les différences.

[090] L'intérêt de l'utilisation de deux séries de fonctions de transformation, dont la première est appliquée à l'ensemble de la surface de référence, et les secondes sont
5 appliquées selon une direction particulière ou de manière localisée à des surfaces élémentaires, réside dans le fait que, lorsque la première fonction affine a été déterminée, elle peut s'appliquer à l'ensemble des pneumatiques de la même dimension, et seules les secondes fonctions de transformation localisées doivent être recalculées pour chacun des pneumatiques à inspecter. Ceci a pour avantage de limiter les temps de calcul, et de
10 simplifier les opérations de contrôle.

[091] Un autre perfectionnement de la méthode concerne la mise en adéquation du modèle de référence avec les reliefs réels du moule utilisé pour effectuer l'opération de vulcanisation. Comme cela a été évoqué dans les paragraphes précédents, les données permettant de décrire la surface servant de référence sont préférentiellement issues des
15 données de réalisation du moule de cuisson. Il est fréquent que le moule réel servant à vulcaniser le pneumatique fasse l'objet de modifications mineures pendant la durée de son exploitation. C'est le cas par exemple lorsque l'on perce des événements pour faciliter l'évacuation des gaz, ou encore lorsque l'on change les plaquettes amovibles portant les indications de la date à laquelle s'effectue la cuisson.

[092] Pour réaliser cette mise en conformité, il est proposé d'utiliser un pneumatique considéré comme un pneumatique de référence et de déterminer le profil tridimensionnel de sa surface. On compare alors par superposition la surface de référence transformée selon les étapes décrites ci-dessus avec la surface du pneumatique de référence. Les différences entre ces deux surfaces sont présentées à un opérateur qualifié qui identifie ces
25 évolutions.

[093] Lorsque l'opérateur apprécie qu'une différence n'est pas le fruit d'une anomalie de fabrication, il a alors la possibilité de remplacer la portion de surface de référence correspondante, par les données provenant de la portion de surface du pneumatique de référence et comprenant l'évolution de marquage en relief en question. La surface de
30 référence est ainsi modifiée et enrichie des évolutions réalisées sur le moule de fabrication.

Cette référence enrichie sert alors de nouvelle référence pour l'inspection des pneumatiques suivants.

[094] L'appréciation de la conformité de la surface à inspecter par rapport à la référence, ne fait pas l'objet de manière explicite de la présente invention, mais on observera que l'étape préparatoire qui consiste à mettre en œuvre la méthode de recalage telle que décrite dans les paragraphes qui précèdent permet de rendre plus pertinente l'analyse des écarts entre la surface à inspecter et la surface de référence. En particulier, il en résulte une diminution importante du nombre de détection à tort, et une meilleure appréciation des anomalies de fabrication dans les parties de la surface ne comportant pas de reliefs.

[095] La méthode divulguée par la présente description s'applique particulièrement bien aux zones du pneumatique situées dans les flancs qui comportent de nombreux marquages en relief formés de caractères alphanumériques facilement identifiables.

[096] La mise en œuvre de la méthode pour l'analyse de la conformité de la surface interne du pneumatique nécessite en conséquence quelques adaptations. En particulier, la recherche des points caractéristiques ne peut plus être basée sur la recherche de caractères alphanumériques et l'utilisation d'une méthode de recherche de type OCR. On s'arrange alors pour identifier des motifs particuliers, que l'on peut éventuellement créer à cet usage.

[097] Il est aussi tout à fait possible d'envisager l'utilisation d'une méthode selon l'invention pour l'inspection de la bande de roulement. On observe néanmoins que les mouvements dus au montage et au gonflage sont de très faible amplitude dans cette partie du pneumatique. Il en résulte que les besoins de recalage des surfaces est de moindre ampleur et que, par voie de conséquence, les algorithmes de calcul peuvent être grandement simplifiés et se limiter à la seule recherche de la première fonction de transformation.

REVENDICATIONS

- 1) Méthode d'inspection d'une partie de la surface d'un pneumatique, ladite surface
5 comprenant des marquages en relief, dans laquelle
- on détermine le profil tridimensionnel de la surface à inspecter,
 - on localise des points caractéristiques sur la surface à inspecter, et on apparie ces points avec les points caractéristiques correspondants issus des données tridimensionnelles d'une surface de référence, de manière à créer un ensemble de
10 couples de points caractéristiques appariés,
 - on recherche, de manière itérative, une première fonction de transformation appliquée sur les points caractéristiques de la surface de référence, de telle sorte que la valeur représentant la somme des distances entre chacun des points caractéristiques de la surface de référence, transformés à l'aide de ladite première
15 fonction de transformation, et les points de la surface à inspecter qui leurs sont appariés, soit minimale,
 - on applique ladite première fonction de transformation à l'ensemble des points de la surface de référence pour obtenir une surface de référence transformée,
caractérisée en ce que la fonction de transformation est une fonction affine
20 comprenant une homothétie dont le rapport a une valeur absolue différente de 1.
- 2) Méthode d'inspection selon l'une des revendications 1 à 3, dans laquelle on détermine la localisation des points caractéristiques par reconnaissance optique des caractères alphanumériques et des textes ou des motifs en relief présents sur la surface à inspecter, en mettant en œuvre les étapes suivantes :
- 25
- on segmente la surface pour obtenir une image en noir et blanc de la surface dans un plan,
 - on associe à chaque caractère alphanumérique ou motif un tracé linéaire dont les branches représentent le squelette dudit caractère alphanumérique ou dudit motif,
 - on calcule pour chaque caractère alphanumérique ou pour chaque motif une
30 ou plusieurs valeurs numériques caractéristiques de sa géométrie, et on associe un

caractère alphanumérique ou une série de caractère alphanumérique de l'image de la surface à inspecter, à un caractère ou à un texte de l'image de la surface de référence, ou un motif de l'image de la surface à inspecter à un motif de l'image de référence,

- 5 - on choisit comme point caractéristique un ou plusieurs points de chacun des caractères alphanumériques ou des motifs ainsi identifiés et associés.

3) Méthode d'inspection selon la revendication 3, dans laquelle les points caractéristiques d'un caractère alphanumérique ou d'un motif sont choisis parmi les points tels que l'intersection des branches du tracé linéaire associé au squelette des
10 dits caractères ou desdits motifs, les points terminaux desdites branches, les coins d'un quadrilatère enveloppant le squelette du caractère alphanumérique ou du motif, ou un barycentre des points formant les lignes du caractère alphanumérique.

4) Méthode d'inspection selon l'une des revendications 1 à 3, dans laquelle, l'étape de sélection de ladite première fonction de transformation, est précédée d'une étape au
15 cours de laquelle,

- on détermine le profil radial moyen de la surface de référence et le profil radial moyen de la surface à inspecter,
 - on détermine la rotation et la translation à appliquer dans un plan radial au profil radial moyen de la surface de référence qui permet de faire coïncider ces
20 deux profils et,
 - on applique cette rotation et cette translation à l'ensemble des points de la surface de référence.

5) Méthode d'inspection selon l'une des revendications 1 à 4, dans laquelle, les coordonnées en trois dimensions (x, y, z) des données décrivant la surface de
25 référence et la surface à inspecter sont exprimées selon des axes orthonormés OX, OY et OZ, et dans laquelle l'axe OZ correspond sensiblement à l'axe de rotation du pneumatique.

6) Méthode d'inspection selon la revendication 5 dans laquelle, on convertit les valeurs (x, y) dans le plan OXY, en coordonnées polaires (ρ , θ).

- 7) Méthode d'inspection selon la revendication 6 dans laquelle, l'étape de sélection de ladite première fonction de transformation, est précédée d'une étape au cours de laquelle,
- on recherche dans le sous ensemble des points appariés le ou les points caractéristiques situés sur des marquages en relief et n'apparaissant qu'une seule fois sur la partie de surface à inspecter, et
 - on recale l'image de la surface de référence et l'image de la surface à inspecter en plaçant l'origine des valeurs angulaire (θ) et l'origine des valeurs radiales (ρ) de l'image de la surface de référence et de l'image de la surface à inspecter à la valeur angulaire et à la valeur radiale desdits points caractéristiques.
- 8) Méthode d'inspection selon l'une des revendications 1 à 7 dans laquelle, après avoir appliqué la première fonction de transformation à l'ensemble des points de la surface de référence :
- on constitue des sous ensemble de points caractéristiques appariés appartenant à une même zone ou portion de la surface de référence et de la surface à inspecter,
 - on recherche, de manière itérative, une seconde fonction de transformation affine comprenant une homothétie dont le rapport a une valeur absolue différente de 1, appliquée sur les points caractéristiques de la zone considérée transformés à l'aide de ladite première fonction de transformation et appartenant à ladite zone, de telle sorte que la valeur représentant la somme des distances entre chacun des points caractéristiques de la zone considérée de la surface de référence, transformés à l'aide de ladite première fonction de transformation et de ladite seconde fonction de transformation et les points de la surface à inspecter qui leurs sont appariés, soit minimale,
 - on applique ladite seconde fonction de transformation à l'ensemble des points de la surface de référence, transformés à l'aide de ladite première fonction de transformation, et appartenant à ladite zone.
- 9) Méthode d'inspection selon la revendication 7 dans laquelle, après avoir appliqué la première fonction de transformation à l'ensemble des points de la surface de référence :
- on détermine les contours de l'image de la surface de référence et de l'image

de la surface à inspecter,

- on découpe l'image de la surface de référence en surfaces élémentaires,
 - à l'intérieur de chacune des surfaces élémentaires on calcule la somme des distances entre les points du contour de l'image de la surface de référence transformés à l'aide de ladite première fonction de transformation et appartenant à ladite surface élémentaire, et les points du contour de l'image de la surface à inspecter le plus proche et,
 - on recherche de manière itérative une seconde fonction de transformation affine comprenant une homothétie dont le rapport a une valeur absolue différente de 1, appliquée sur lesdits points sélectionnés dudit contour de la surface de référence transformés à l'aide de ladite première fonction de transformation et appartenant à ladite surface élémentaire, de telle sorte que la valeur représentant ladite somme des distances, soit minimale.
 - on applique ladite seconde fonction de transformation à l'ensemble des points de la surface élémentaire de la surface de référence transformés à l'aide de ladite première fonction de transformation et appartenant à ladite surface élémentaire.
- 10) Méthode selon l'une des revendications précédentes dans laquelle les données tridimensionnelles de la surface de référence proviennent des données de réalisation du moule destiné à la cuisson des pneumatiques à inspecter.
- 20 11) Méthode d'inspection selon l'une des revendications précédentes dans laquelle on apprécie la conformité de la zone à inspecter en comparant les données numériques décrivant la surface à inspecter avec les données numériques décrivant la surface de référence transformées à l'aide de la première et des deuxièmes fonctions de transformation.
- 25 12) Méthode d'inspection selon l'une des revendications précédentes dans laquelle l'étape au cours de laquelle on détermine le profil tridimensionnel de la surface à inspecter est précédée d'une étape au cours de laquelle le pneumatique à inspecter est gonflé à une pression de référence.
- 30 13) Dispositif d'inspection de la surface d'un pneumatique comprenant des moyens permettant de déterminer le profil tridimensionnel de la surface à inspecter, des

moyens de stockage des données numériques décrivant la surface de référence, et des moyens de calcul par ordinateur aptes à mettre en œuvre les algorithmes de calcul comprenant les étapes dans lesquelles :

- on détermine le profil tridimensionnel de la surface à inspecter,
- 5 - on localise des points caractéristiques sur la surface à inspecter, et on apparie ces points avec les points correspondants issus des données tridimensionnelles d'une surface de référence, de manière à créer un ensemble de couples de points appariés,
- 10 - on recherche, de manière itérative, une première fonction de transformation affine comprenant une homothétie dont le rapport a une valeur absolue différente de 1, appliquée sur les points caractéristiques de la surface de référence, de telle sorte que la valeur représentant la somme des distances entre chacun des points caractéristiques de la surface de référence transformés à l'aide de ladite première fonction de transformation et les points de la surface à inspecter qui leurs sont
- 15 appariés, soit minimale,
- on applique ladite première fonction de transformation à l'ensemble des points du de référence pour obtenir une surface de référence transformée.

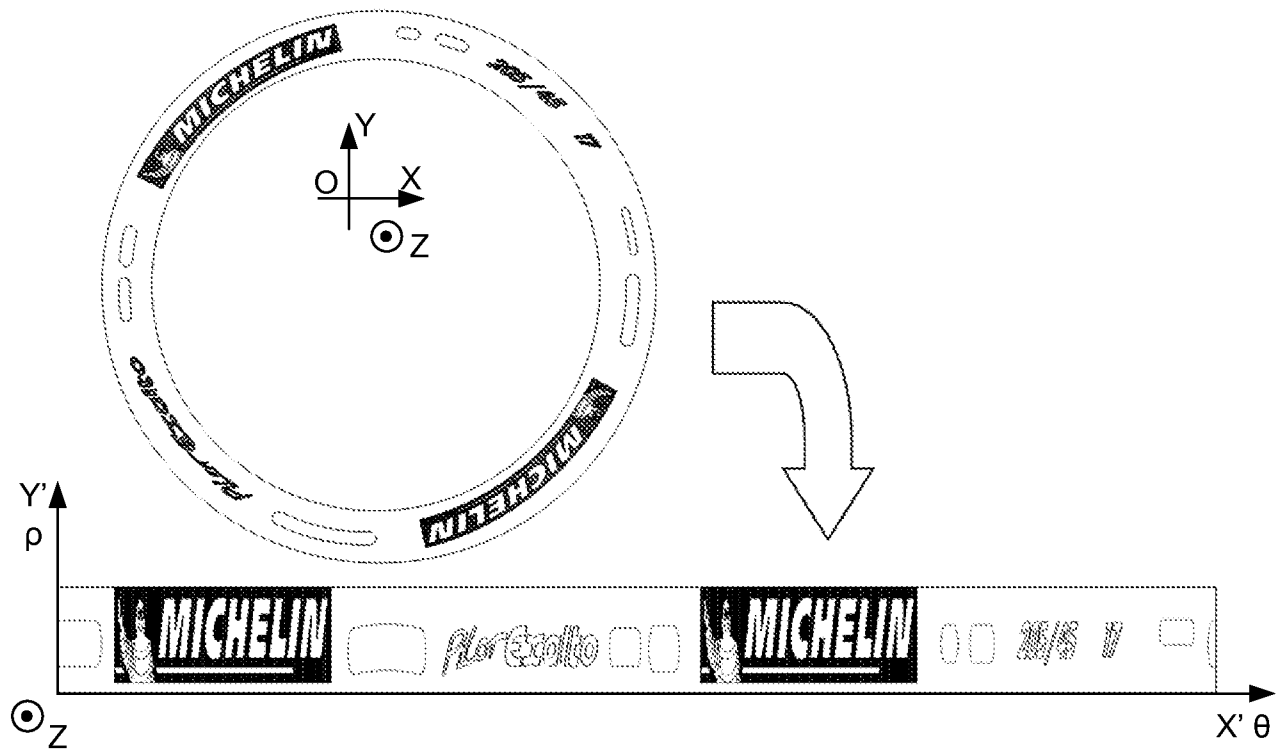


Fig 1

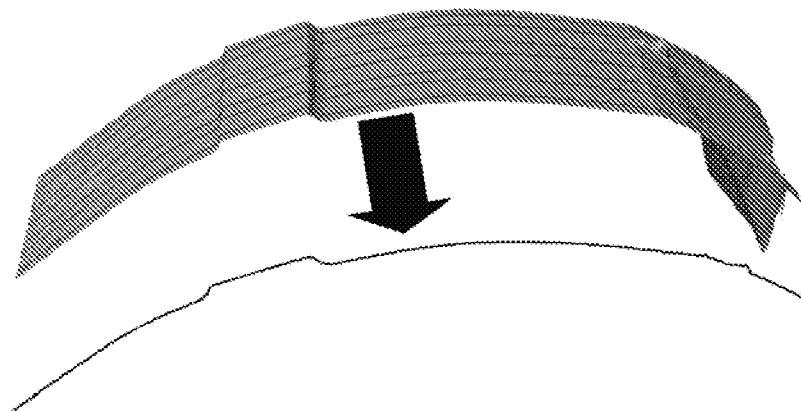


Fig 2

Fig 3

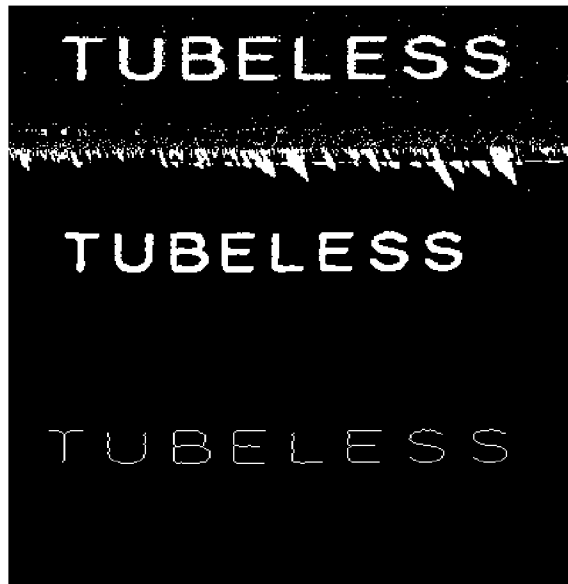


Fig 4



Fig 5

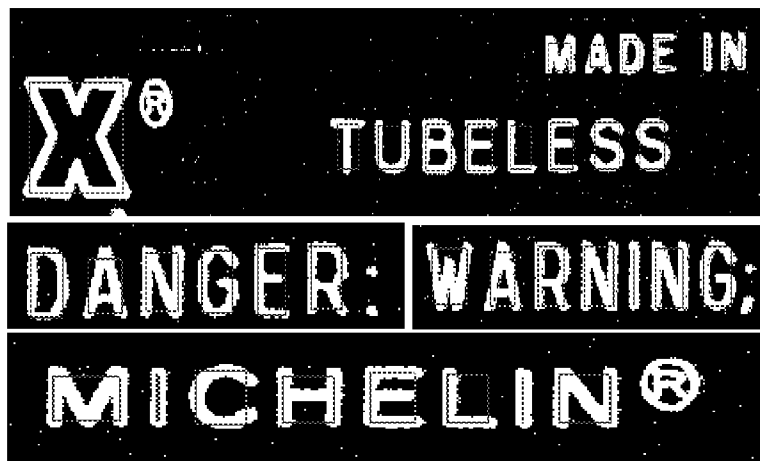


Fig 6

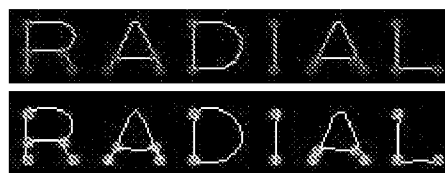


Fig 7

Fig 8

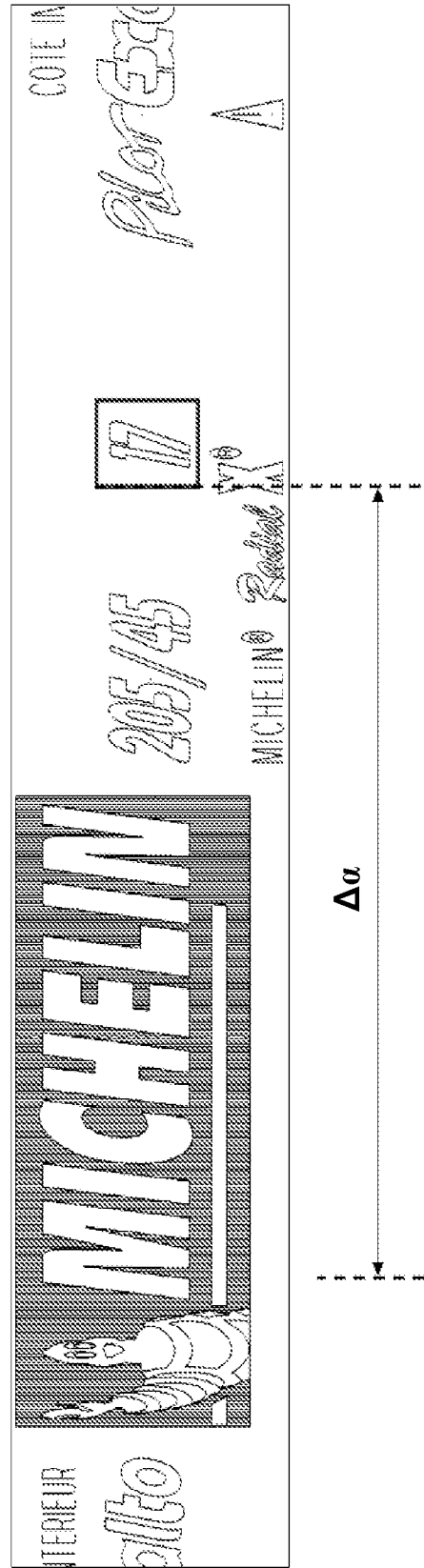
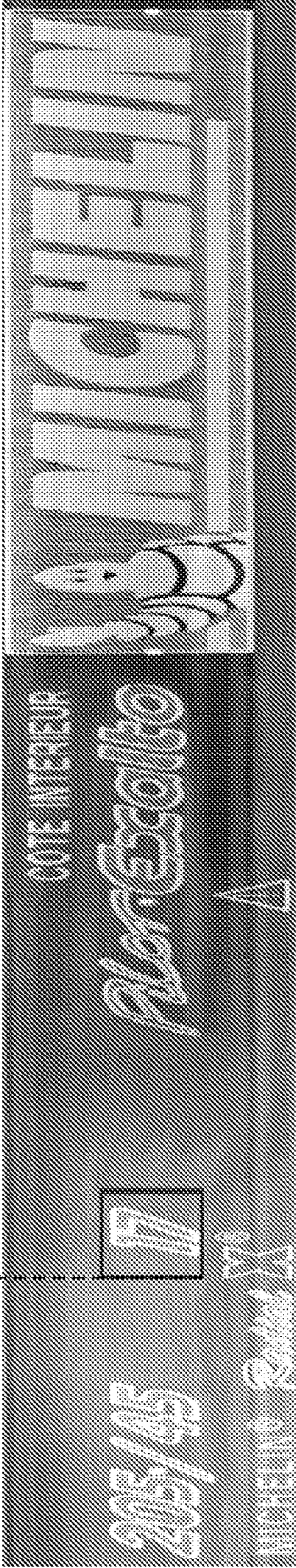


Fig 9



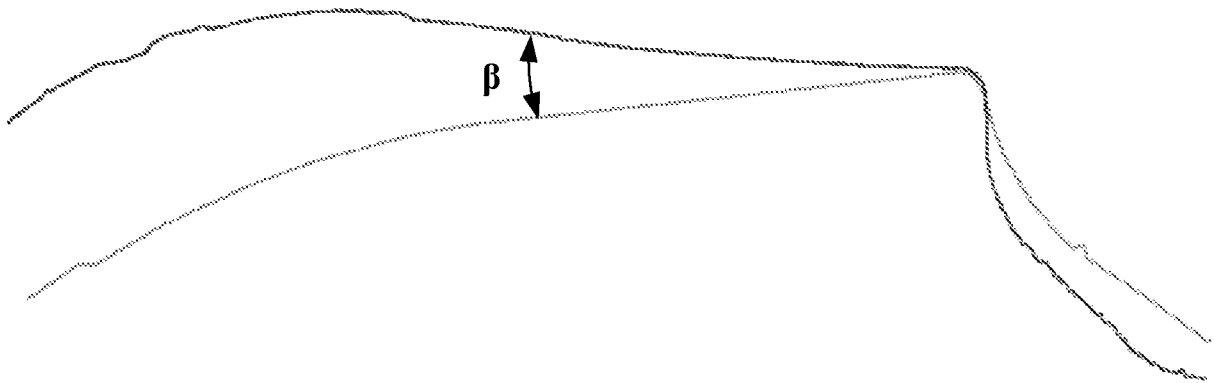


Fig 10

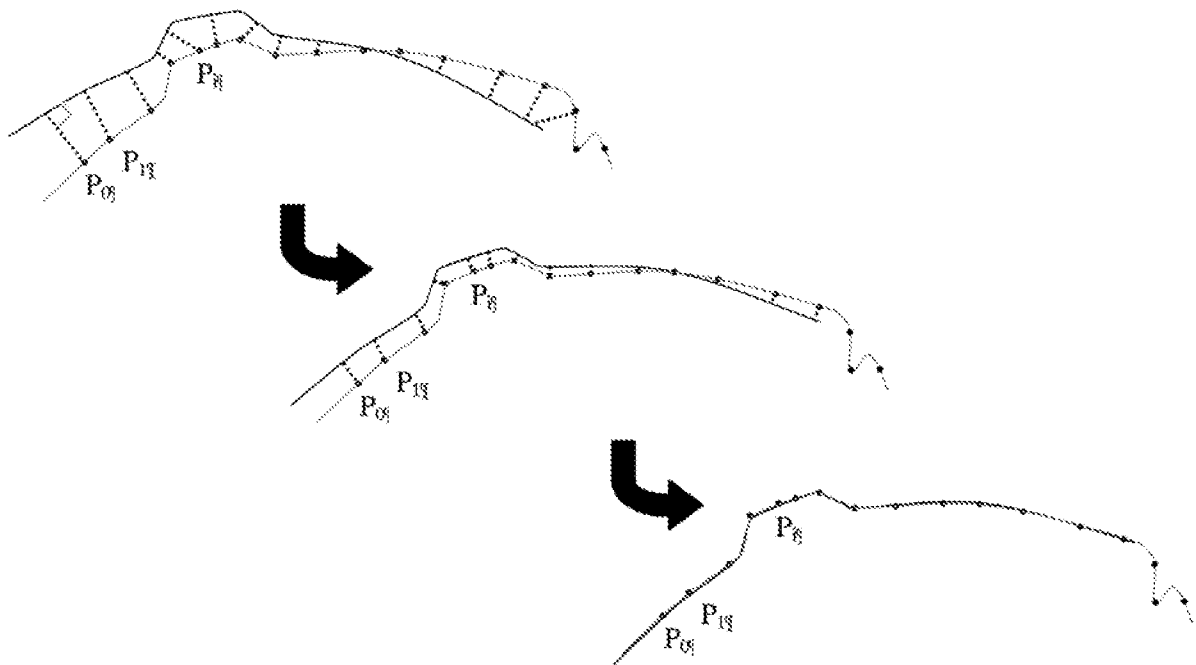


Fig 11

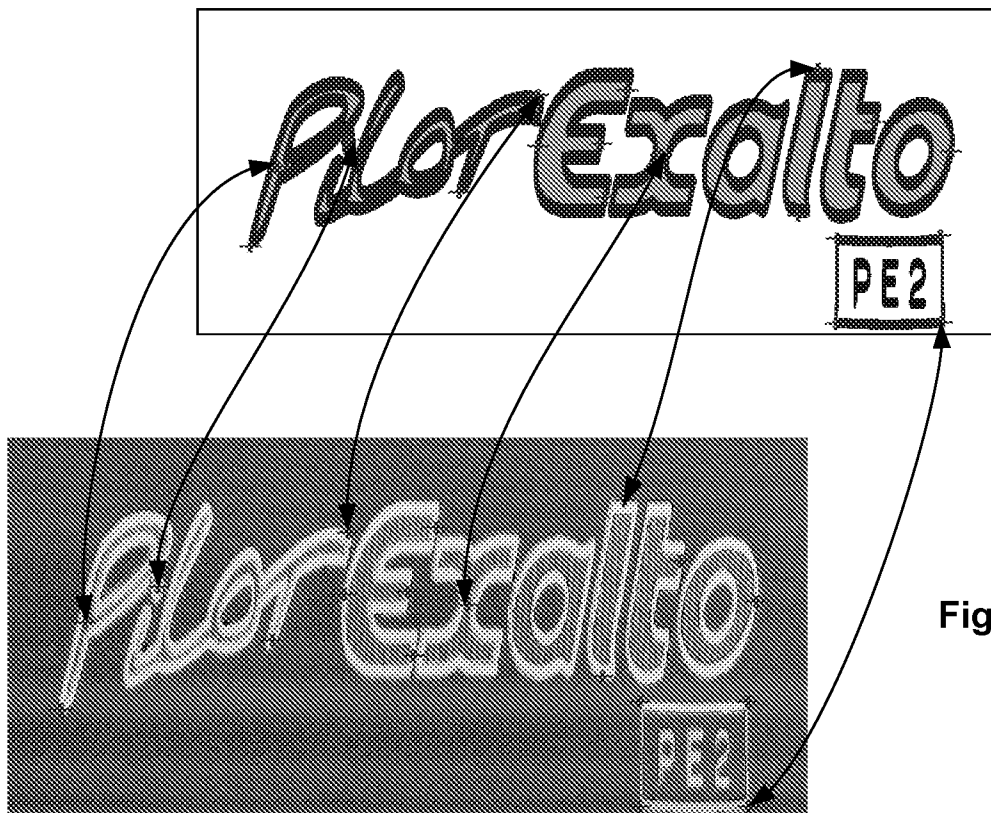


Fig 12

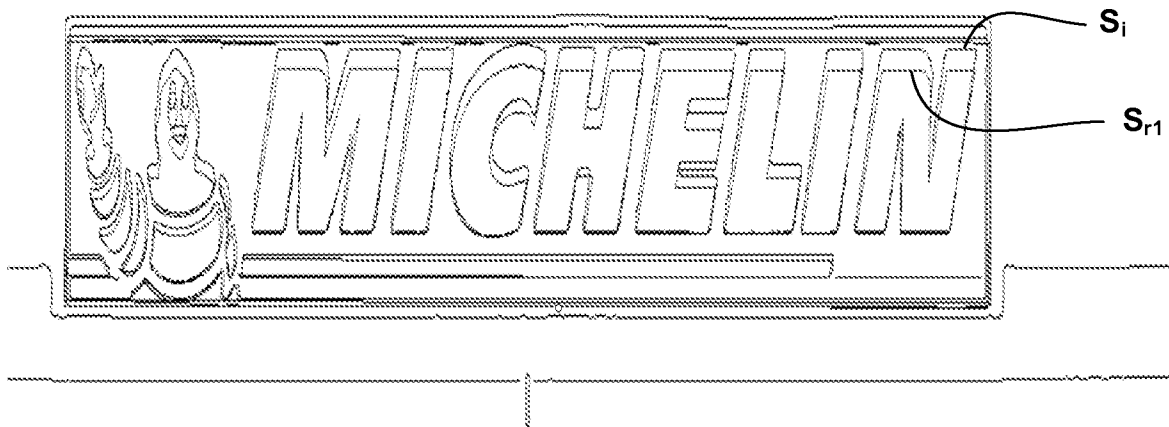


Fig 13

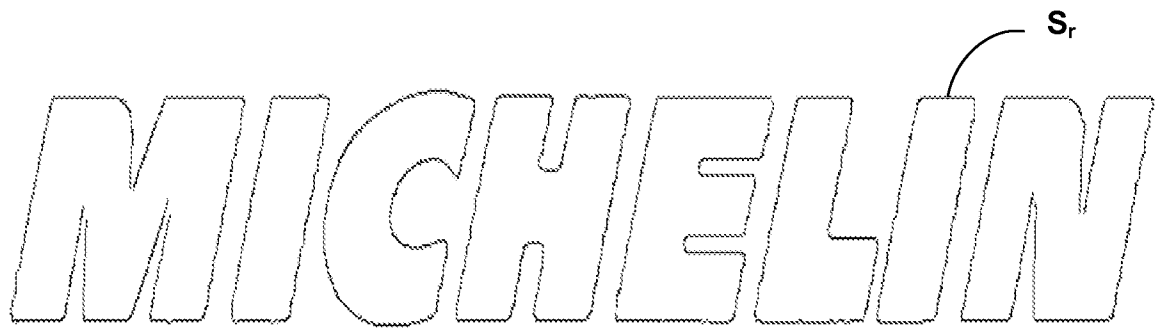


Fig 14



Fig 15



Fig 16