

(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

(11) N° de publication : **2 632 661**

(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

(21) N° d'enregistrement national : **89 08611**

(51) Int Cl⁴ : C 30 B 33/00; B 23 D 55/00; B 22 D 1/08, 1/12;
B 23 P 23/02.

(12)

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

(22) Date de dépôt : 28 juin 1989.

(30) Priorité : DE, 17 février 1988, n° P 38 04 873.6-14.

(43) Date de la mise à disposition du public de la
demande : BOPI « Brevets » n° 50 du 15 décembre 1989.

(60) Références à d'autres documents nationaux appa-
rentés :

Division demandée le 28 juin 1989 bénéficiant de la date de
dépôt du 31 janvier 1989 de la demande initiale n° 89 01167
(art. 14 de la loi du 2 janvier 1968 modifiée).

(71) Demandeur(s) : Société dite : GMN Georg Müller
Nürnberg AG. — DE.

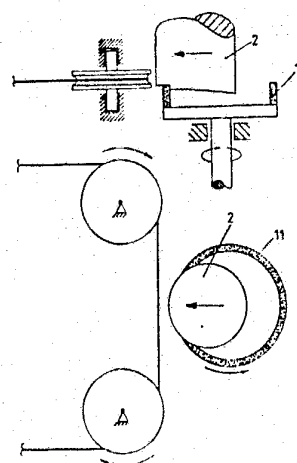
(72) Inventeur(s) : Hubert Hinzen.

(73) Titulaire(s) :

(74) Mandataire(s) : Cabinet Peuscet, Conseils en Brevets.

(54) Procédé et dispositif pour réaliser, à partir de lingots semi-conducteurs, des pastilles circulaires semi-conductrices
avec au moins une surface plane.

(57) Le procédé et le dispositif de mise en œuvre du procédé
permettent de réaliser des pastilles circulaires par découpe de
lingots monocristallins ou polycristallins en semi-conducteur au
moyen d'une scie à câble. Avant le découpage de chaque
pastille et en vue de réaliser une surface de référence plane
pour le traitement ultérieur de cette pastille, on donne à la
face frontale du lingot de semi-conducteur 2 une surface plane
correspondante par usinage.



FR 2 632 661 - A1

D

- 1 -

PROCEDE ET DISPOSITIF POUR REALISER, A PARTIR DE LINGOTS SEMI-CONDUCTEURS, DES PASTILLES CIRCULAIRES SEMI-CONDUCTRICES AVEC AU MOINS UNE SURFACE PLANE.

La présente invention concerne un procédé et un dispositif permettant de réaliser des pastilles circulaires avec au moins une surface plane par découpe de lingots monocristallins ou polycristallins en semi-conducteur au moyen d'une scie à câble.

L'invention vise plus particulièrement la division en plusieurs parties de matières non métalliques, dures et fragiles possédant une dureté Vickers allant jusqu'à 15.000 N/mm² et qui, en raison de leurs propriétés particulières, imposent des conditions extrêmes au processus d'usinage.

Le matériau semi-fini obtenu à partir de la coulée se présente sous une forme cylindrique, dite 'lingots'. La suite du traitement du matériau exige une division, du type de mise en pastilles, de ces lingots sous forme de disques circulaires, dits pastilles, ou plaquettes circulaires. Ce procédé de séparation se caractérise par les conditions requises suivantes :

a) étant donné que la matière est très onéreuse en raison de sa préparation, sous la forme la plus pure possible, à l'aide de moyens complexes, les pertes à l'usinage doivent être rendues minimales. La largeur de coupe doit se trouver nettement au-dessous de l'épaisseur des plaquettes qui est d'environ 1 mm.

b) les plaquettes obtenues par division doivent posséder des surfaces planes les plus parallèles possibles.

Pour la première condition indiquée, on dispose de la méthode de la division en plusieurs parties à l'aide de câbles, méthode qui est déjà connue depuis l'antiquité sous sa forme de principe. Lors de découpe de pierres sous formes de blocs parallélépipédiques, on tire un câble sur la pièce sous l'effet d'une force, la matière abrasive étant adjointe librement au

réfrigérant lubrifiant. Bien que la capacité d'abrasion de telles scies soit très modérée, on les utilise encore aujourd'hui dans les carrières. On a obtenu une amélioration significative de la productivité en appliquant la matière abrasive à demeure sur le câble. Ceci peut s'effectuer soit sous la forme d'éléments discontinus (des douilles, à surface cylindrique extérieure abrasive, entourant le câble et immobilisées sur lui par serrage), soit par dépôt direct sur ce câble. Etant donné que la précision de la coupe et la capacité d'abrasion deviennent plus importantes lorsque la tension du câble croît, il se présente des exigences accrues portant sur la résistance à la traction du câble, de sorte que le câble de chanvre traditionnel ne joue plus aucun rôle dans la pratique industrielle actuelle.

D'après l'état actuel de la technique, la découpe de matières très dures est absolument possible à l'aide de câbles en appliquant le principe de la séparation. Le problème particulier se trouve toutefois justifié par la condition d'une largeur de coupe la plus faible possible. Des câbles métalliques d'un diamètre de 1 mm et plus permettent, même en utilisant des mécanismes classiques d'entraînement, de transmettre au câble les efforts requis de tension et de coupe. La largeur de coupe ici requise rend toutefois nécessaire une réduction du diamètre du câble à quelques dixièmes de millimètre. Ceci ne peut toutefois réussir que si la résistance à la traction du câble est puisée d'une manière optimale dans la capacité de supporter les efforts de tension et de coupe. La conception du dispositif qui applique les efforts d'entraînement sur le câble revêt dans ce cas une importance toute particulière: il doit être agencé de façon que, en ce qui concerne la tension du câble qui est limitée par la résistance mécanique de la matière, une partie la plus importante possible puisse être convertie en effort de coupe.

Il se présente alors obligatoirement comme difficulté le fait que, d'une part, avec les efforts de traction et de

brin conduit qui existent dans le câble, on doit obtenir de force un glissement dans la coupe, car ce n'est qu'ainsi qu'on peut parvenir à une opération de séparation, mais, d'autre part, par le fait que, avec les mêmes efforts de traction et de brin conduit, un glissement doit en tout état de cause être évité sur le côté entraînement, étant donné que dans le cas contraire le mécanisme d'entraînement serait lui-même sectionné. Le problème ainsi posé est rendu plus difficile par les fortes variations du coefficient de frottement existant entre le câble et la pièce ou entre le câble et le mécanisme d'entraînement.

On ne peut remplir simultanément toutes les conditions requises indiquées ci-dessus que si l'arc d'enroulement sur le côté entraînement du câble est suffisamment important. On doit toutefois prévoir dans ce cas un arc d'enroulement qui ne doit nullement être appliqué sur une poulie, mais doit être réparti sur plusieurs poulies. On ne peut cependant utiliser avantageusement la répartition de l'effort sur plusieurs poulies que si les effets d'entraînement des différentes poulies, avec, pour chacune, son moteur, sont accordés de manière précise entre eux. Une répartition des couples, qui alimente toutes les poulies à partir d'un moteur commun, n'est pas ici réalisable, car, dans ce cas, l'usure inévitable du fait du glissement longitudinal se concentrerait nettement, en particulier dans la zone des charges partielles, sur la première poulie, ce qui aurait des effets nuisibles sur la période d'entretien et donc sur les durées d'arrêt de la machine. Par ailleurs, le couplage mécanique des poulies d'entraînement l'une derrière l'autre, conformément à l'état de la technique, ne serait pas possible sans prendre d'autre disposition : dans le cas des vitesses élevées du câble qui sont ici recherchées et des vitesses de rotation qui y sont liées, une boîte de répartition des couples par éléments à forme complémentaire (par exemple boîte à engrenages) se heurte très rapidement à des limites concernant la technique de graissage et n'importe quel type de

répartition de couple à éléments à friction ne convient déjà pas du seul fait que le glissement qui se produit dans ce cas d'une façon inévitable s'étend obligatoirement aux emplacements de contact poulie d'entraînement-câble à diamants et y provoque une usure accrue.

On n'a jusqu'à ce jour découvert aucune solution satisfaisante à ce cycle fermé de problèmes. C'est pour cette raison que, là où il s'agit de la plus haute précision, par exemple dans le secteur des semi-conducteurs, les scies à câble métallique n'ont pas encore dépassé le stade des essais et n'ont pas pu s'imposer encore jusqu'ici dans la pratique industrielle.

Conformément à l'invention, la solution du problème consiste à pourvoir individuellement d'un moteur chacune des poulies participant à l'entraînement et, en faisant s'accorder entre elles, par des moyens électriques ou mécaniques, leurs caractéristiques vitesse de rotation-couple de rotation, à partager l'effort total sur les différents groupes d'entraînement de façon telle que:

1. les différentes poulies d'entraînement participent à l'entraînement avec la même, ou au moins sensiblement la même, sécurité à l'égard du glissement, de sorte que l'effort transmissible s'accroît jusqu'à une valeur maximale et

2. l'usure provoquée dans chaque cas par le glissement longitudinal se partage de façon pratiquement uniforme entre toutes les poulies.

Un exemple peut éclairer cette situation: un mécanisme d'entraînement constitué de trois poulies et à conditions limites structurelles données peut, sans accord des entraînements individuels, transmettre un effort de près de 8 N, mais, avec un tel accord des entraînements individuels, cet effort peut s'élever à presque 10 N. En cas d'adaptation, le partage de l'usure s'élève toujours, indépendamment de l'effort effectivement transmis, à 34,0% pour la première poulie, à 38,9% pour la deuxième et à 27,2% pour la troisième. En l'absence d'accord

des entraînements individuels et à pleine charge, le premier poulie subit 37,7% de l'usure, le deuxième poulie 43,2% et le troisième poulie 19,1%. Si la charge descend à 70% de sa valeur maximale, c'est 46,6% de l'usure qui est subie par la première poulie et 53,4% par la deuxième poulie, tandis que la troisième poulie n'est pratiquement plus soumise à aucune usure. Si l'effort transmis vaut moins du quart de la valeur maximale, l'usure se concentre alors exclusivement sur la première poulie.

Cette situation revêt une signification particulière du fait qu'on ne fait travailler essentiellement les scies à câble que dans la zone des charges partielles et que ce n'est que pour des charges très importantes se présentant occasionnellement, et pour le risque de glissement qui y est lié, qu'on doit leur donner des dimensions d'une importance qui est en conséquence.

Suivant une réalisation particulière de l'invention, une unité d'entraînement du type indiqué au début est caractérisée en ce qu'il est prévu au moins deux poulies d'entraînement qui sont entraînées individuellement par des moteurs d'entraînement à fonctionnement en dérivation et son accordées entre elles, en ce qui concerne la vitesse de rotation et le moment et compte tenu des efforts qu'elles transmettent au câble de scie, de façon telle que toutes les poulies d'entraînement participent à l'entraînement avec essentiellement la même sécurité à l'égard du glissement.

Suivant également une réalisation particulière de l'invention, un procédé du type indiqué au début est caractérisé en ce que, avant le découpage de chaque pastille et en vue de réaliser une surface de référence plane pour le traitement ultérieur de cette pastille, on donne à la face frontale du lingot de semi-conducteur une surface plane correspondante au moyen d'une phase de procédé d'usinage.

Un exemple de réalisation de l'invention est décrit ci-dessous à titre d'exemple et en regard des dessins. On voit sur ceux-ci que :

La figure 1 représente l'agencement de principe des éléments structurels essentiels d'une telle machine,

La figure 2 représente la répartition, rendu nécessaire par le frottement du câble, de l'effort total sur les différentes poulies,

La figure 3 représente la mise en oeuvre de cette répartition nécessaire des efforts qui s'effectue en accordant et exploitant les caractéristiques couple de rotation-vitesse de rotation des moteurs d'entraînement.

La figure 1 représente les éléments les plus importants d'une telle machine. Le câble de scie 1 attaque la pièce 2 à tronçonner et est entraîné par plusieurs, dans ce cas trois, poulies 3 dont chacune est elle-même accouplée à un moteur ici non représenté. Les poulies 4 ne servent que de poulies de renvoi ou de guidage et n'ont aucune influence sur la capacité de traction du câble métallique. Les trois poulies d'entraînement sont disposées très près les unes des autres, avec leurs axes de rotation parallèles constituant les sommets d'un triangle équilatéral, afin d'obtenir l'angle total d'enroulement le plus grand possible. Pendant la coupe, il résulte des forces intervenant dans le processus une force de frottement R qui s'avère être la différence entre l'effort S_1 du brin de traction et l'effort S_4 du brin conduit. En vue d'une précontrainte constante, cet effort S_4 du brin conduit est maintenu à une valeur constante au moyen d'un mécanisme à poids ou à ressort. Les trois poulies d'entraînement sont entraînées par leurs moteurs dans une direction telle que c'est en fonction de la force requise pour la coupe que l'effort de brin de traction est créé dans le brin 1 et l'effort de brin conduit dans le brin 4. C'est en fonction de la répartition de l'entraînement entre les différentes poulies que se forment les niveaux intermédiaires S_2 et S_3 établis entre l'effort maximal S_1 du brin de traction et l'effort minimal S_4 du brin conduit.

Un fonctionnement de la machine conforme aux prescriptions exige une transmission sûre de la force de frottement aux

trois poulies d'entraînement. Cette situation est expliquée à la figure 2:

5 Le mécanisme d'entraînement, en tant qu'unité complète, est représenté dans le 1^{er} quadrant. L'effort de brin conduit S_4 est - comme décrit ci-dessus - maintenu constant pour
10 tous les états de fonctionnement. Si le câble n'attaque pas la pièce, tous les efforts de brin, donc aussi S_1 , sont tous aussi grands que S_4 et l'état de fonctionnement se trouve situé sur la bissectrice de l'angle. Si l'attaque du câble dans la pièce
15 introduit une force de frottement dans ce câble, il apparaît, en tant que force périphérique U_{ges} dans le mécanisme d'entraînement, une force identique sur le plan valeur qui accroît l'effort S_1 du brin de traction par rapport à l'effort S_4 du brin conduit. Cette différence d'effort $U_{ges} = S_1 - S_4$ provo-
20 quée par le processus de coupe doit, d'une part, devenir assez importante pour autoriser le coefficient de frottement et l'angle d'enroulement de toutes les poulies d'entraînement ; la figure 2 représente, dans le 1^{er} quadrant, le cas extrême, critique pour la transmission des efforts, de la limite de glissement (droite ayant la plus grande pente).

D'autre part par contre, on n'est assuré d'éviter le phénomène de glissement endommageant le matériau que lorsque l'entraînement par friction de chaque poulie individuelle n'est pas dépassé. Pour expliquer cette situation, les trois poulies
25 différentes sont représentées d'une manière analogue à la figure 2 dans les trois autres quadrants. Le rayon vecteur de la limite de glissement dans ces trois quadrants s'étend naturellement d'une façon sensiblement plus plate que dans le 1^{er} quadrant, étant donné que, à partir d'un coefficient de frotte-
30 ment critique identique pour toutes les poulies, dans le 1^{er} quadrant, c'est l'angle total d'enroulement des trois poulies qu'on prend en considération, tandis que, dans les trois autres quadrants, ce n'est que l'angle d'enroulement associé, d'une manière proportionnelle, à la poulie considérée. Il ressort de
35 cette représentation que l'effort périphérique appliqué sur les

5 poulies individuelles doit seulement être d'une valeur telle
que cela résulte de l'effort de brin conduit existant à chaque
fois. Les efforts périphériques U_1 , U_2 et U_3 appliqués sur les
différentes poulies donnent finalement, par leur somme, l'ef-
fort périphérique total U_{ges} . Pour obtenir le fonctionnement
optimal, la répartition de U_{ges} parmi les trois composantes
individuelles U_1 , U_2 et U_3 doit donc toujours offrir une pro-
portionnalité parfaitement déterminée, indépendamment de la
10 précontrainte S_4 . La limite est toutefois atteinte là où
l'effort maximal de brin S_1 qui se présente alors dépasse vers
le haut la résistance à la traction du câble. En ce qui concer-
ne l'usure uniforme des trois poulies et une puissance égale
des trois moteurs d'entraînement, une répartition de l'effort
périphérique total en trois composantes individuelles égales
15 serait souhaitable. On ne peut toutefois y parvenir que de
façon approchée. C'est aussi pour cette raison que les trois
poulies sont disposées de manière non symétrique (figure 1),
afin de pouvoir demander sensiblement plus d'effort périphéri-
que, en accroissant son angle d'enroulement, à la troisième
20 poulie précédemment désavantagée. Grâce à cet agencement,
l'angle d'enroulement de la première poulie devient plus petit,
ce qui est également utile à une égalisation des efforts
périphériques entre eux.

25 Le problème essentiel à résoudre consiste donc à
accorder individuellement, au moyen du moteur qui les entraîne,
les efforts périphériques appliqués sur les trois différentes
poulies. Cette opération doit de préférence être exécutée à
l'aide de moyens simples, donc sans besoin en moyens apparte-
nant à la technique de la mesure et de la régulation.

30 La solution à ce problème de la répartition des ef-
forts d'entraînement s'obtient dans le présent exemple à l'aide
d'une adaptation des propriétés électromagnétiques des diffé-
rents moteurs aux conditions momentanées de transmission
d'efforts qui sont requises.

35 Le principe en est expliqué à la figure 3 :

On a porté dans le 1^{er} quadrant les caractéristiques des moteurs qui doivent traduire une caractéristique shunt, étant donné que, dans le cas contraire, l'entraînement doit supporter, dans l'état hors charge, une vitesse d'une importance excessive. La vitesse de rotation de chaque moteur, multipliée par le rayon de la poulie qui lui est associée, fournit la vitesse périphérique des poulies qui doit être rendue égale à la vitesse du câble (quadrant 4). Le couple du moteur, divisé par le rayon de la poulie qui lui est associée, conduit à l'effort se présentant à la périphérie (2^d quadrant). Les deux relations sont linéaires et, avec un choix approprié d'échelle, on peut utiliser la même droite aussi bien dans le 2^d que le 4^{ème} quadrants.

Etant donné que les trois poulies d'entraînement sont toutes couplées par le câble commun, les vitesses périphériques de ces trois poulies doivent, pour un état déterminé de fonctionnement, être identiques. Etant donné que les différentes poulies possèdent des diamètres identiques, les trois moteurs tournent tous obligatoirement à la même vitesse de rotation. Pour expliquer de manière plus détaillée la répartition des efforts périphériques, on peut faire appel au 3^{ème} quadrant: les efforts périphériques U_1 , U_2 et U_3 , qu'on doit retrouver chacun en tant que composantes individuelles sur les abscisses, se portent en tant que somme $U_{ges} = U_1 + U_2 + U_3$ sur les ordonnées. La répartition optimale de ces efforts périphériques qui est déterminée à partir de la figure 2 peut alors se représenter sous forme d'un faisceau de droites dans le 3^{ème} quadrant de la figure 3. La proportionnalité entre U_1 , U_2 et U_3 doit contenir une valeur parfaitement déterminée indépendamment de la charge totale U_{ges} . Ces différents efforts périphériques donnent, en passant par le rayon de la poulie, des couples correspondants. Ces couples en général différents doivent toutefois agir sous la même vitesse de rotation. Il en résulte dans le 1^{er} quadrant des caractéristiques différentes pour les trois moteurs : en marche à vide, la même vitesse de rotation

est nécessaire, mais, en fonction de la charge, chaque moteur individuel prend à son compte autant de couple qu'il en est prévu pour lui d'après la proportionnalité représentée dans le 3^{ème} quadrant.

5 La seconde des conditions indiquées au début revêt une signification particulière du fait que l'outil de tronçonnage est dévié sous l'effet des forces relevant du processus et du pouvoir tranchant irrégulier de cet outil dû à l'usure et conduit ainsi à une géométrie de la pièce qui n'est pas précise. Les surfaces de découpe ne sont ni planes, ni parallèles, mais sont gauchies sur elles-mêmes, ce que l'on désigne simplement par "pliage" ou "torsion".

10

 Comme le montre la figure 4, ce défaut ne peut plus se supprimer, même par des opérations d'usinage interposées à la suite. La pastille découpée 1 possède deux surfaces extérieures qui ne sont pas planes, la "torsion" pouvant s'élever à quelques centièmes de mm. Si, en vue de l'usinage ultérieur, on bride cette pièce mince, avantageusement sous dépression, sur une surface plane, la surface de la pastille qui se trouve au contact de cette surface plane de bridage se trouve également astreinte à adopter une position plane en utilisant la déformabilité élastique de cette pastille (2). Dans cette position, on peut rendre plane la surface opposée au moyen d'un traitement appropriée d'usinage, si bien qu'il se présente, dans cette situation, deux surfaces planes parallèles (3). Si on débride toutefois à nouveau la pièce, la face de la pastille tournée vers l'emplacement plan de bridage reprend alors - en raison de son élasticité - sa forme initiale (4). N'importe quelle autre opération d'usinage interposée à la suite ne peut non plus supprimer cette situation défectueuse. On obtient deux surfaces qui, bien que parallèles, ne sont cependant pas planes.

15

20

25

30

 Le problème posé par les surfaces absolument planes et parallèles peut être résolu, comme décrit dans DE-A-3.613.132, grâce à une intégration des processus de découpe et d'aplanissement.

35

Comme montré sur la figure 5, la face frontale non plane du lingot (1) est aplanie en ôtant la matière par usinage ; à cet effet, outre le meulage qu'on utilise de préférence, un fraisage, un tournage et un usinage électrolytique et par érosion sont aussi possibles. L'opération de tronçonnage qui suit, au moyen d'une scie à câble, laisse subsister une surface extérieure non plane aussi bien sur le lingot que sur l'une des faces de la pastille découpée (3). Etant donné toutefois que la pastille découpée possède une surface de référence absolument plane, on peut la brider sur celle-ci sans déformation, de sorte qu'on peut alors usiner aussi la surface opposée de façon qu'elle soit plane et parallèle à celle-ci. Si on éloigne ensuite la pastille de l'emplacement de bridage, elle ne se gauchit plus. Avant une nouvelle opération de tronçonnage, on aplanit à nouveau la face frontale du lingot. Avec ce procédé, il importe peu que l'opération de tronçonnage ou d'usinage se rapportent à une surface perpendiculaire à l'axe du lingot ou adoptent une position inclinée - cependant faible la plus part du temps - par rapport à cette position perpendiculaire.

Un dispositif qui remplit les deux conditions posées au début en utilisant les explications ci-dessus doit donc être constitué de la combinaison d'une scie à câble et d'une machine d'usinage, tandis que, pour des raisons de gain de temps, on recherche un agencement multiple qui exécute l'usinage ou l'égalisation de la surface frontale du lingot et le découpage de la pastille non pas de manière successive dans le temps, mais en se chevauchant dans le temps.

Les figures 6 à 10 montrent les éléments constitutifs essentiels d'un dispositif destiné au procédé décrit ci-dessus.

La figure 6 représente la position de départ de l'opération de découpe : le lingot 2 à diviser en plusieurs parties, qui, dans le cas général, ne possède pas de surface frontale plane, pénètre dans la partie annulaire de meule 11 d'une meule rotative en forme de coupelle, la surface frontale du lingot devant s'enfoncer complètement dans l'anneau 11.

REVENDICATIONS

1. Procédé permettant de réaliser des pastilles circulaires par découpe de lingots monocristallins ou polycristallins en semi-conducteur au moyen d'une scie à câble, caractérisé en ce que, avant le découpage de chaque pastille (13) et en vue de réaliser une surface de référence plane pour le traitement ultérieur de cette pastille (13), on donne à la face frontale du lingot de semi-conducteur (2) une surface plane correspondante au moyen d'une phase de procédé d'usinage.

2. Procédé suivant la revendication 1, caractérisé en ce qu'on produit la surface frontale plane par meulage.

3. Dispositif pour la mise en oeuvre du procédé suivant l'une quelconque des revendications 1 ou 2, caractérisé en ce qu'il comprend la combinaison d'une scie à câble (12) et d'une machine de meulage (11) qui permet un usinage de meulage dans le bridage de pièce de la scie à câble (12).

4. Dispositif suivant la revendication 3, caractérisé en ce que la machine de meulage (11) constitue un ensemble unitaire avec la scie à câble (12).

5. Procédé suivant la revendication 1, caractérisé en ce que l'usinage de meulage frontal du lingot (2) et le découpage d'une autre pastille (13) au moyen de la scie à câble (12) sont exécutés successivement dans le temps.

6. Procédé suivant la revendication 1, caractérisé en ce que l'usinage de meulage frontal du lingot (2) et le découpage d'une autre pastille (13) sont exécutés en se chevauchant dans le temps et en utilisant le même mouvement d'avance.

Si on déplace alors le lingot 2, de la manière représentée à la figure 7, perpendiculairement à l'axe de rotation de la meule 11, cette meule ôte de la matière à l'extrémité du lingot, si bien que, malgré sa géométrie d'origine, la surface frontale de ce lingot devient entièrement plane.

Lors de la poursuite de ce mouvement d'avance, le lingot 2 vient en prise avec le câble de scie 12 (figure 8). Ce câble de scie 12 est disposé par rapport à la meule 11 de façon telle qu'il découpe une plaquette dans le lingot 2, l'épaisseur étant d'une dimension telle qu'on doit encore augmenter d'un excès de dimension, établi par l'expérience, la dimension finale.

Le mouvement continuant de se poursuivre (figure 9), la meule 11 n'est plus en prise, tandis que le processus de tronçonnage dure encore. Sous l'effet des forces relevant de ce processus, le câble de scie 12 est aussi déporté légèrement suivant la direction axiale du lingot, de sorte que la coupe laisse subsister des irrégularités tant sur le lingot que sur la surface de plaquette qui vient d'être découpée.

Après la fin de l'opération de découpe (figure 10), la plaquette 13 est transportée hors de la zone d'usinage, ce qui, dans le cas de la scie à câble, est particulièrement simple, étant donné que l'outil, dans ce cas le câble, ne peut plus exercer de forces gênantes sur la pièce.

Grâce à l'usinage par meulage, l'une des faces de la plaquette 13 a reçu une surface absolument plane, de sorte qu'on peut ensuite brider cette plaquette, sans déformation et par cette première surface plane, sur une surface également plane, de préférence sous vide, si bien qu'on peut usiner la surface opposée dans le but d'obtenir une surface, également plane, parallèle à la première surface. Cette dernière opération d'usinage s'exécute également de préférence par meulage.

I/9

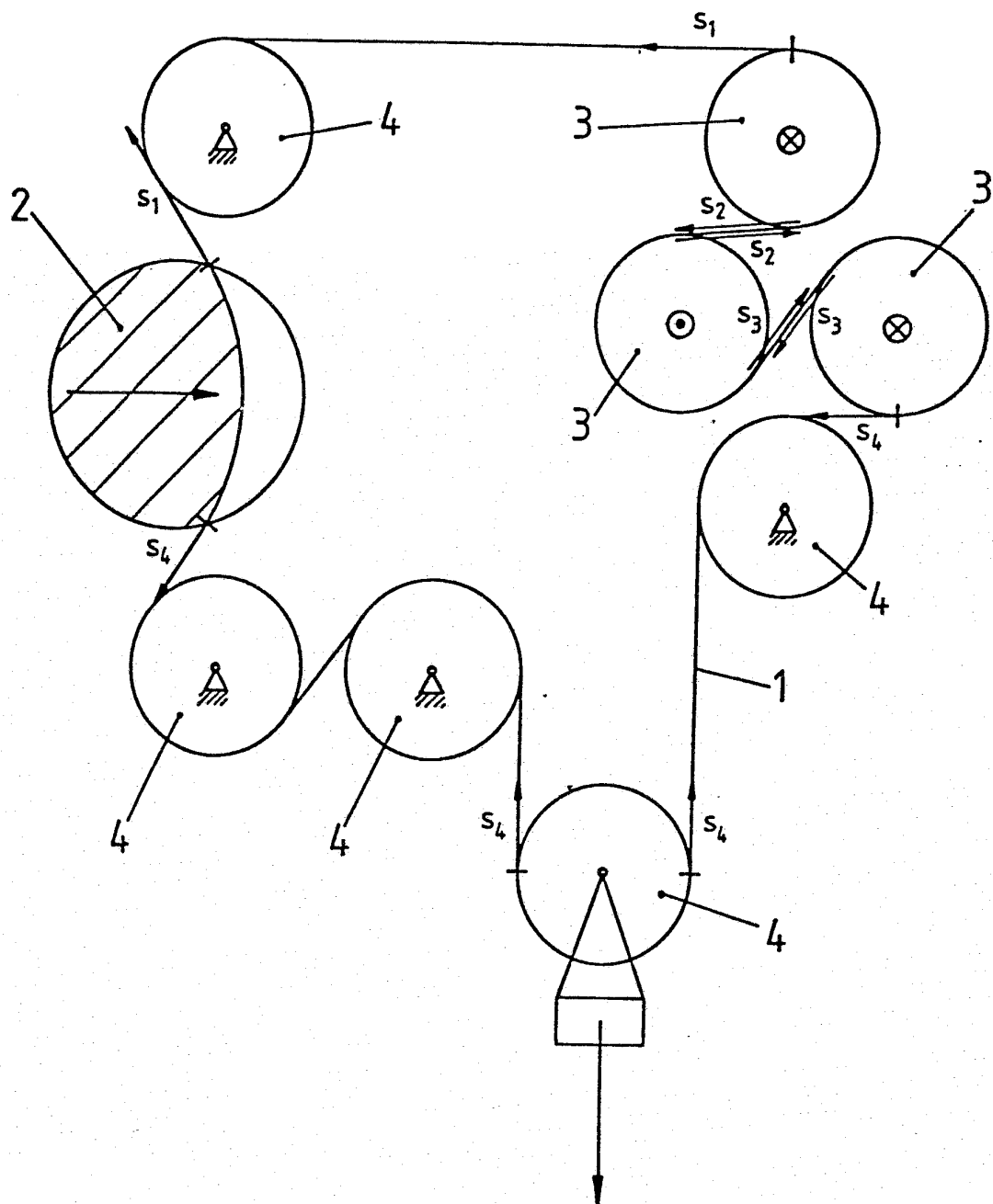


FIGURE I

2/9

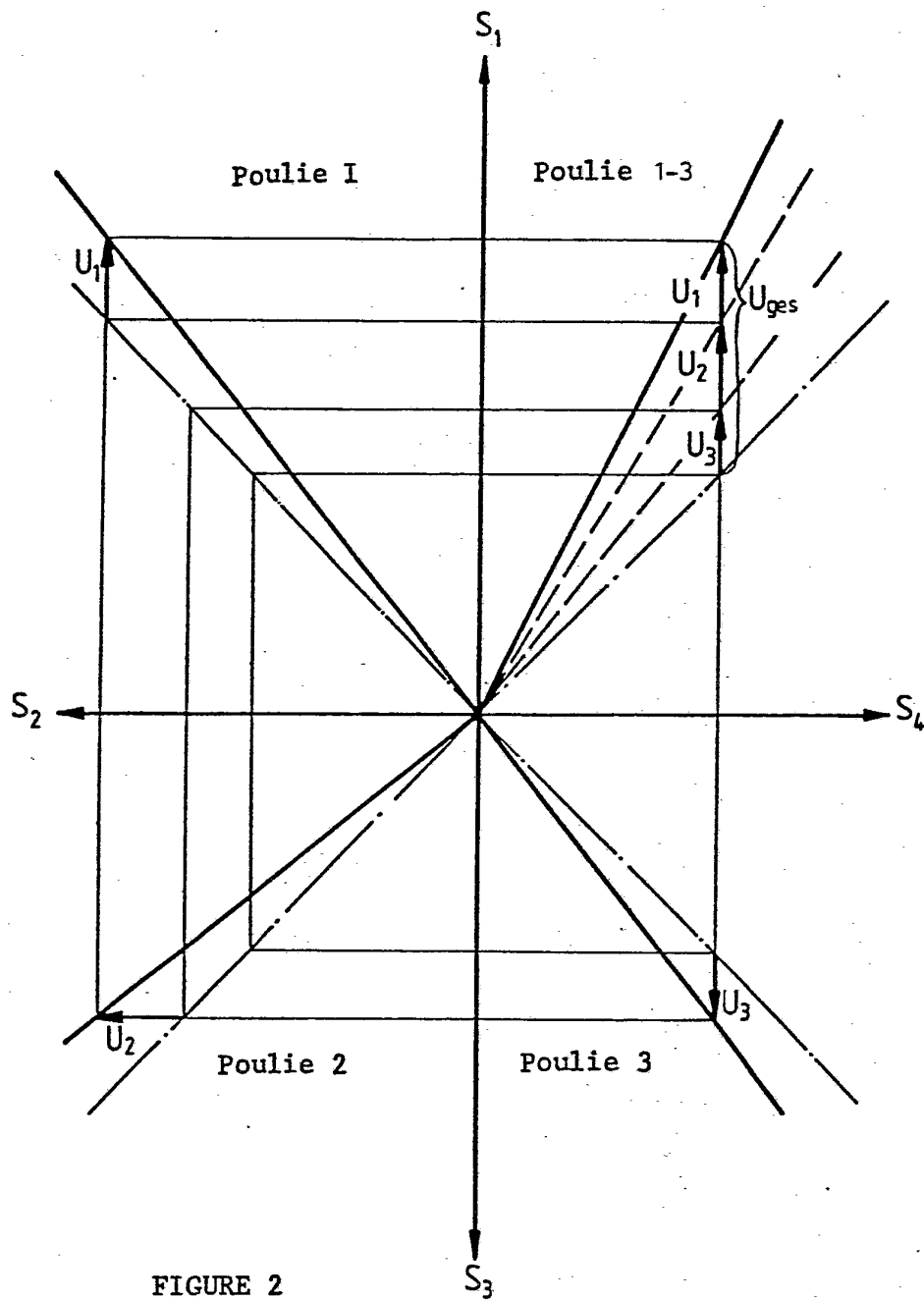


FIGURE 2

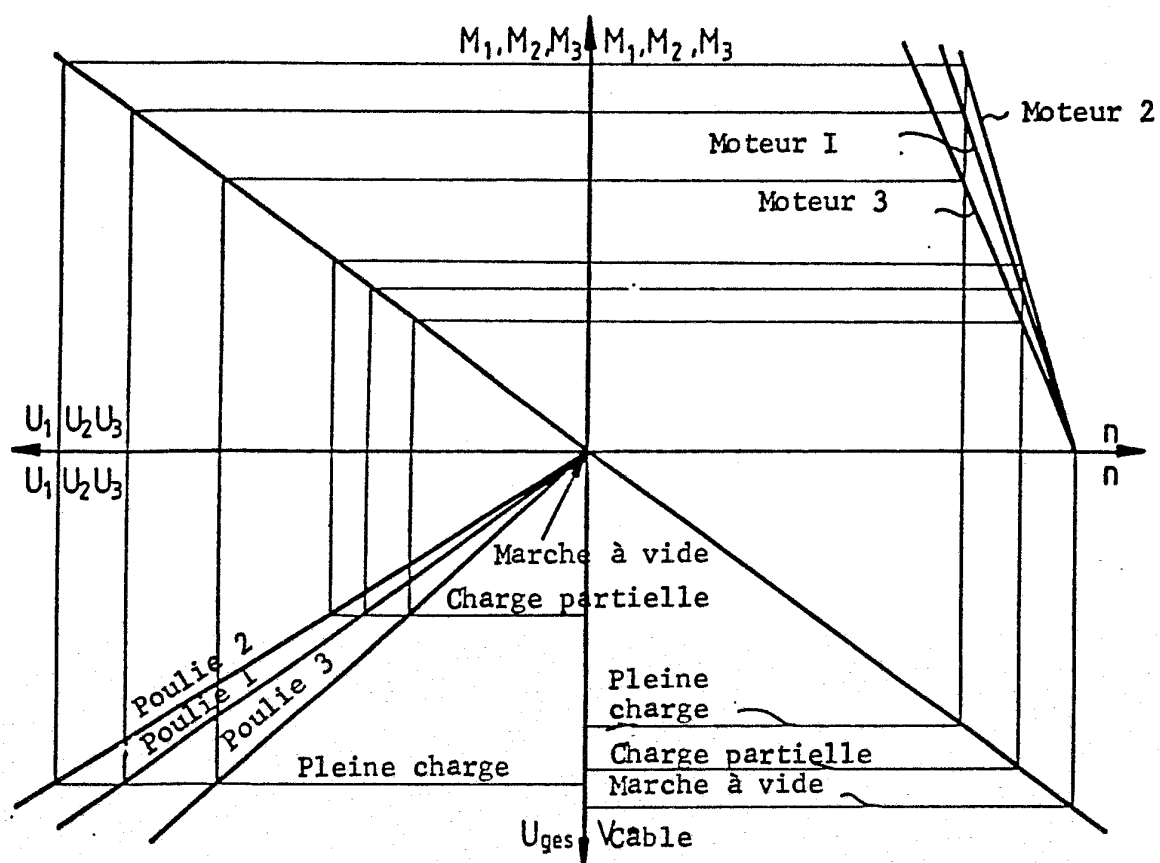


FIGURE 3

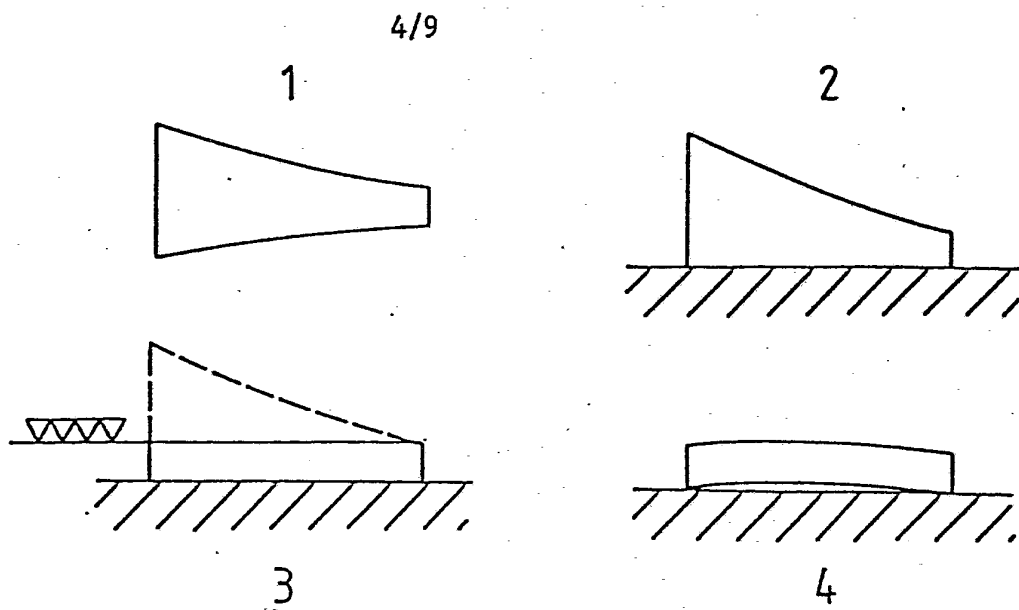


FIGURE 4

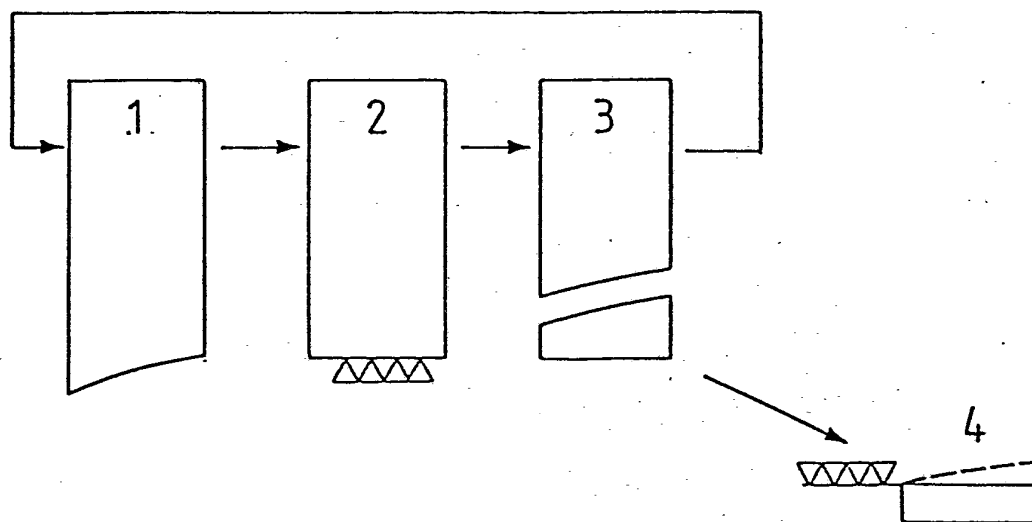


FIGURE 5

5/9

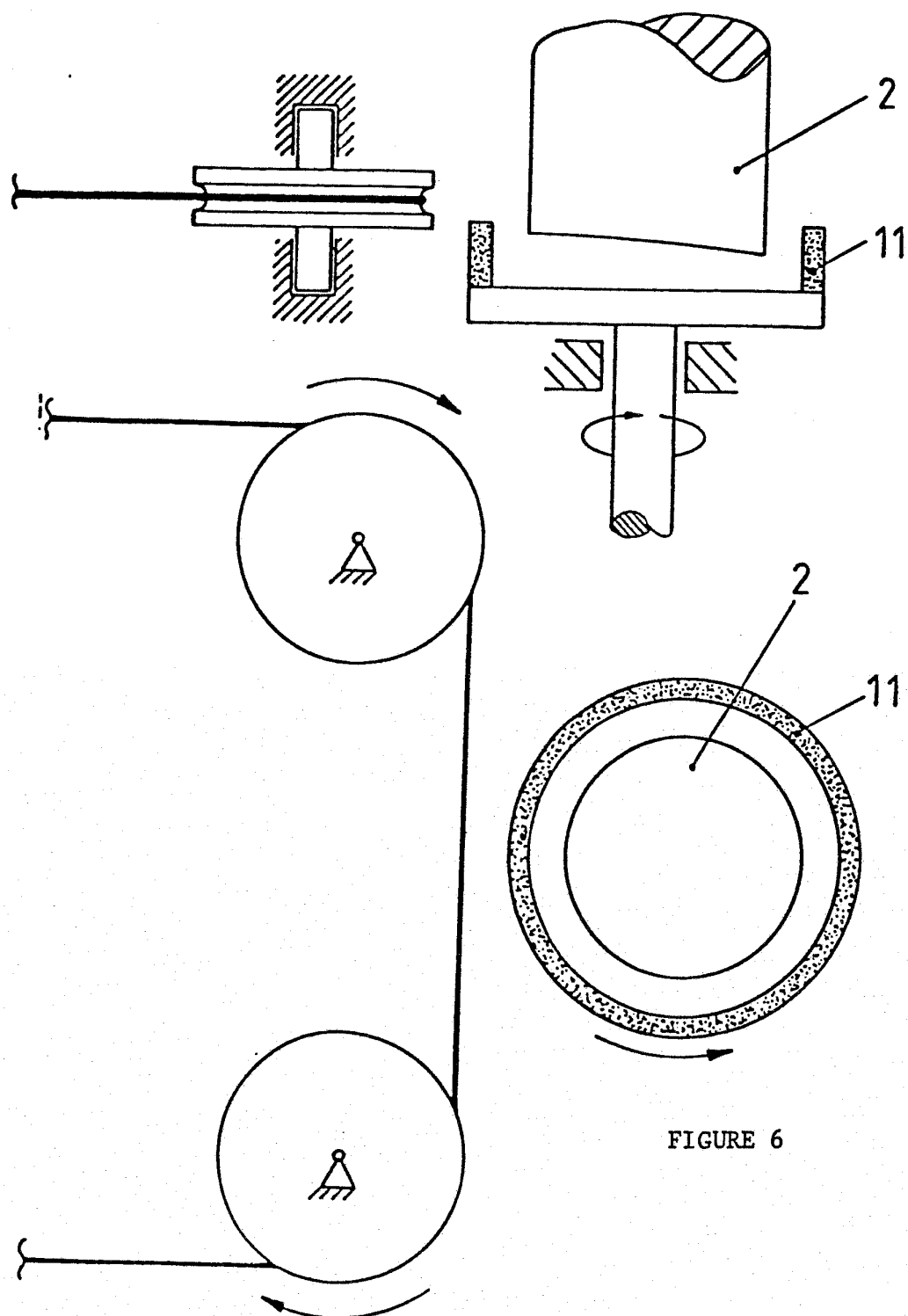


FIGURE 6

6/9

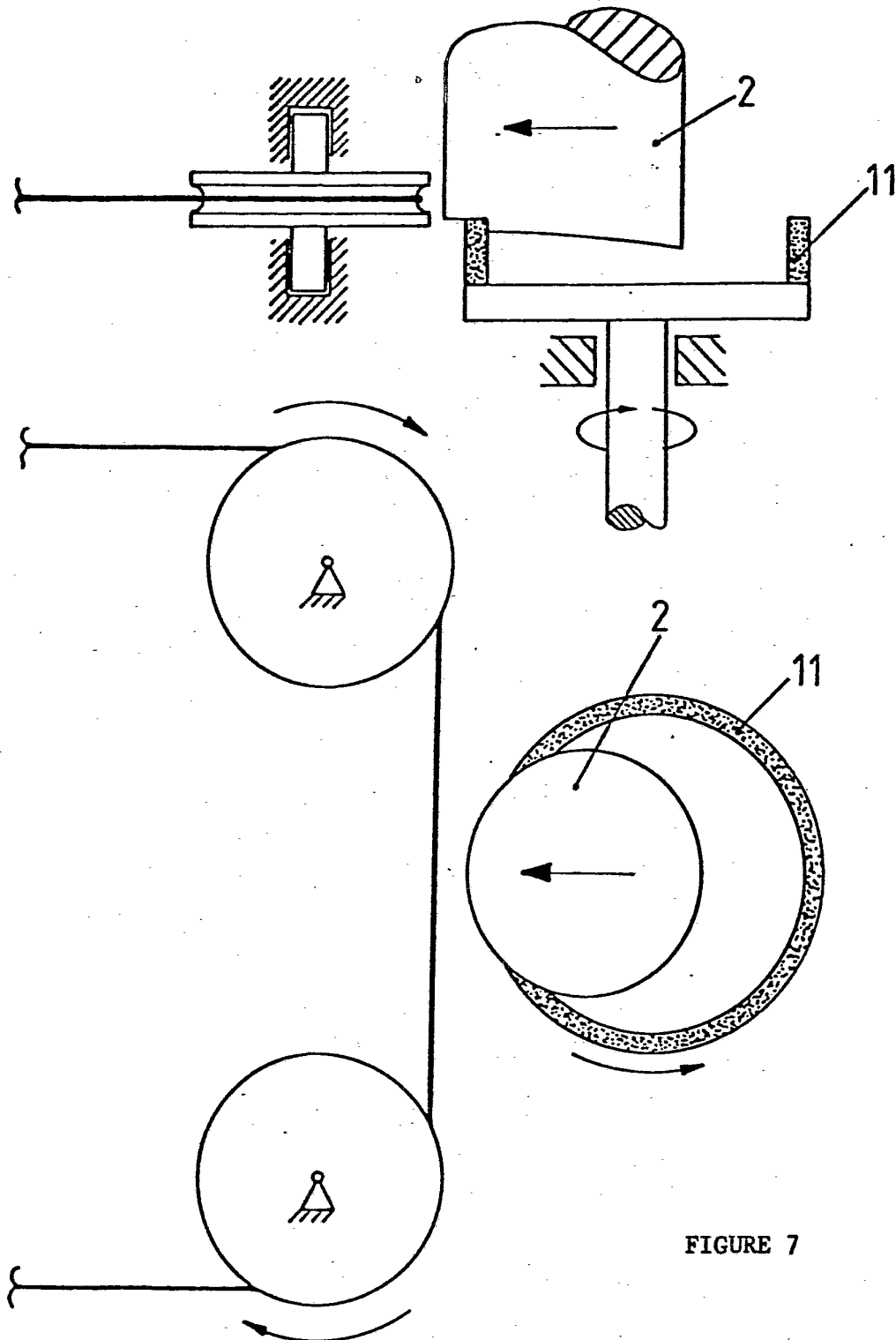


FIGURE 7

7/9

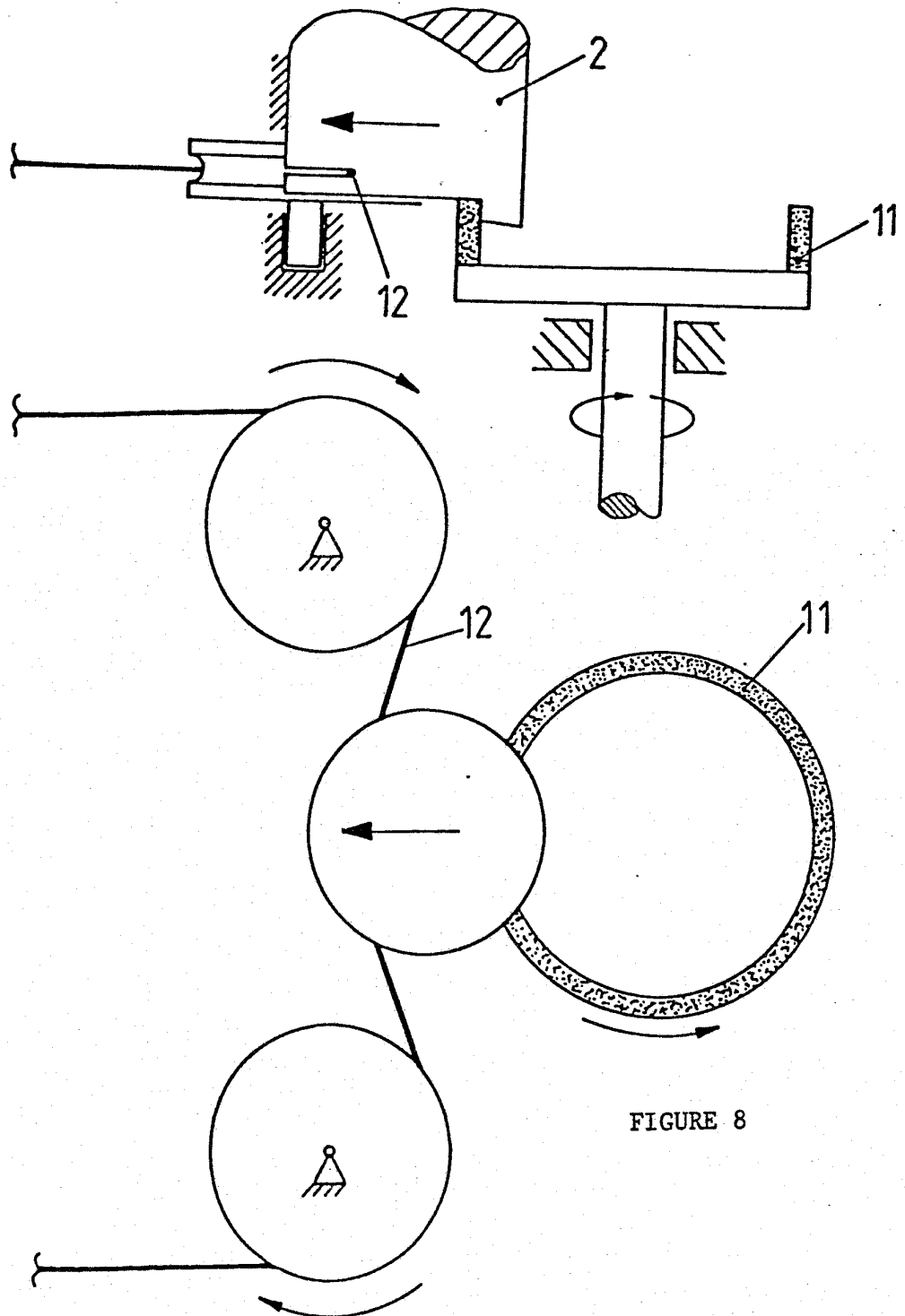


FIGURE 8

8/9

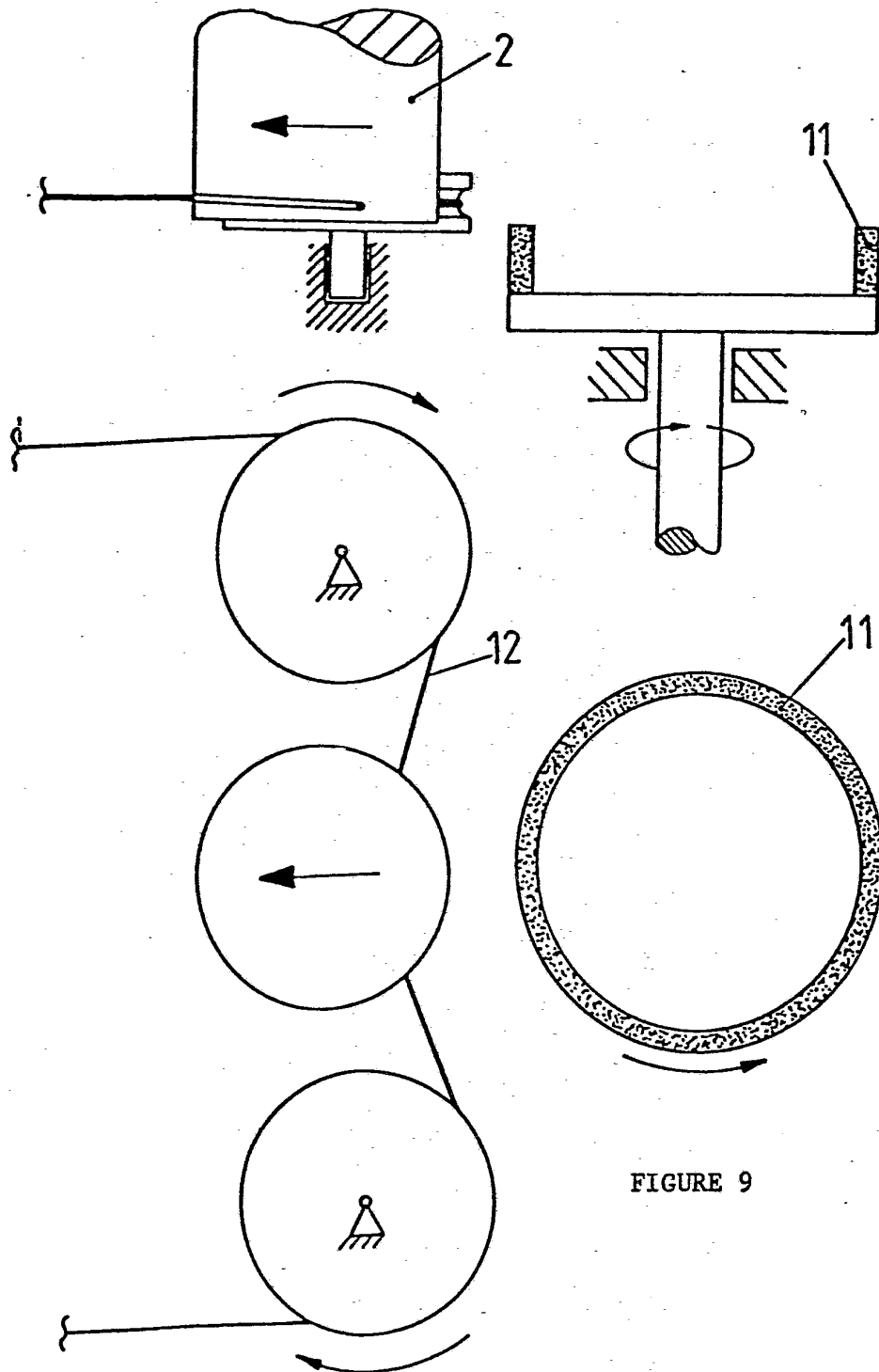


FIGURE 9

