

A1

**DEMANDE
DE BREVET D'INVENTION**

(21) **N° 82 01609**

(54) Banc d'essai de fatigue d'éprouvettes métalliques.

(51) Classification internationale (Int. Cl. 3). G 01 N 3/00; 3/32.

(22) Date de dépôt 29 janvier 1982.

(33) (32) (31) Priorité revendiquée :

(41) Date de la mise à la disposition du
public de la demande B.O.P.I. — « Listes » n° 31 du 5-8-1983.

(71) Déposant : LABORATOIRE DE MECANIQUE PHYSIQUE et UNIVERSITE DE BORDEAUX I. —
FR.

(72) Invention de : Georges Duchein, Roland Harry, François Joubert, Gilles Lemagnen, Michel
Nouillant, Alain Sendat et Bernard Tournerie.

(73) Titulaire : *Idem* (71)

(74) Mandataire : Jean-Louis Thebault, conseil en brevets d'invention,
3, rue du Professeur-Demons, 33000 Bordeaux.

- 1 -

BANC D'ESSAI DE FATIGUE D'ÉPROUVENTES MÉTALLIQUES

La présente invention concerne la réalisation de bancs d'essai de fatigue d'éprouvettes métalliques et plus particulièrement de bancs d'essai permettant notamment la détermination du bilan énergétique résultant de la mesure simultanée, 5 d'une part, de l'énergie mécanique nécessaire à l'entretien de modes d'oscillations sinusoïdales d'éprouvettes à la fréquence de résonance et, d'autre part, de l'énergie thermique restituée par ces dernières.

Si la connaissance des caractéristiques mécaniques d'un 10 matériau (limite élastique, limite à la rupture, dureté,...) peut être obtenue de façon simple, l'utilisation de ces matériaux pour la réalisation d'ensembles mécaniques se heurte à une difficulté majeure : le problème de la rupture par fatigue d'un ou de plusieurs constituants de ces ensembles.

15 De façon générale, on peut définir la fatigue comme un processus de dégradation susceptible d'aboutir à la rupture d'un organe mécanique soumis à des charges cycliques ou aléatoires induisant, dans le matériau, des contraintes inférieures à la limite de rupture. Ces phénomènes de fatigue apparaissent dans tout ensemble mécanique, les ingénieurs s'efforcent depuis longtemps de les maîtriser, soit par une étude statistique aux moyens d'essais simples, soit par des essais en vraie grandeur.

20 L'étude statistique revient à étudier un matériau en le soumettant à des sollicitations simples (torsion alternée, traction-compression) et à en déduire un certain nombre de caractéristiques en fatigue (limite d'endurance, probabilité de rupture pour un niveau donné).

Ces essais ne rendent évidemment pas compte de la réa-

lité des sollicitations pour un ensemble mécanique donné et, malgré leur caractère répétitif, conduisent à une dispersion importante des résultats.

Par suite de ces insuffisances, le type d'essais en vraie grandeur sur des organes réels a pris de plus en plus d'importance. L'exemple le plus flagrant est celui des essais effectués en aéronautique : il s'agit de simuler, de la façon la plus réaliste possible, les charges pouvant intervenir dans des configurations de vol, sur une cellule complète, et d'étudier la durée de vie de celle-ci. Il est inutile de revenir sur la complexité de tels essais, sur leur durée, sur leur coût.

Dans tous les cas, le dimensionnement et le calcul d'organes mécaniques sont effectués à l'aide de lois, souvent empiriques, issues des essais en laboratoires, essais portant sur des sollicitations élémentaires.

Deux attitudes sont possibles :

- la première consiste à surdimensionner les pièces lorsque c'est possible (industrie automobile par exemple),
- la deuxième consiste à utiliser des matériaux dont on peut contrôler la fissuration (aéronautique), les pièces devant être remplacées régulièrement.

Une grande partie des recherches effectuées en fatigue concerne l'étude de la formation et de l'évolution des fissures. Cependant, un certain nombre de travaux se sont orientés vers la recherche du seuil d'endommagement ou de la limite d'endurance.

Parmi les nombreux paramètres étudiés comme éventuels indicateurs du seuil de fatigue d'un matériau, il y a la dissipation thermique.

D'autres travaux ont établi la notion de bilan énergétique impliquant la connaissance de deux grandeurs :

- d'une part, l'énergie mécanique absorbée par le matériau testé et communiquée à l'aide de systèmes d'auto-entretien de divers modes de sollicitation (flexion alternée symétrique, torsion alternée symétrique, traction-compression),
- d'autre part, l'énergie thermique restituée par ce matériau.

La comparaison de ces deux grandeurs et notamment l'apparition d'un déficit énergétique a été corrélé avec la notion de limite d'endurance (valeur de la sollicitation au dessus de laquelle la durée de vie est infinie au sens de l'ingénieur).

5 C'est ainsi qu'il a été établi, lors de mesures de dissipation thermique d'une éprouvette sollicitée en torsion alternée symétrique à la résonance, que la contrainte de transition τ_t qui marque la limite entre deux régimes de dissipation thermique marque aussi la limite entre deux comportements mécaniques : l'endurance limitée et l'endurance illimitée, cette valeur τ_t étant la limite d'endurance actuelle qui est propre à une éprouvette.

10 D'autres travaux ont également établi que les mesures de coefficient de surtension permettent d'accéder à une évaluation 15 de la limite d'endurance d'un matériau. Cette évaluation ne nécessite qu'un temps d'essai extrêmement court comparé aux essais classiques de détermination de limite d'endurance.

Le but de la présente invention est de réaliser des bancs 20 d'essais mettant en application les résultats de ces divers travaux à l'aide de divers modes de sollicitations entretenues à la résonance et appliquées à des éprouvettes métalliques en vue de la détermination rapide, précise et non endommageante pour les éprouvettes, de divers paramètres notamment la limite d'endurance.

A cet effet, l'invention a pour objet un banc d'essai de 25 fatigue d'éprouvettes métalliques caractérisé en ce qu'il comprend un système résonnant constitué de deux masses inertielles se déplaçant en opposition de phase sous l'action de moyens de sollicitation appropriés et liées entre elles par l'éprouvette à tester, des moyens pour mesurer au cours des essais de 30 fatigue l'énergie communiquée à l'éprouvette et des moyens pour mesurer l'énergie thermique dissipée par l'éprouvette au cours de ces mêmes essais.

Suivant un premier mode de réalisation, le banc comprend une première masse inertie dite d'encastrement supportée 35 par des colonnes sur un bâti et solidaire d'un axe d'excitation de préférence vertical soumis à des contraintes de torsion alternée symétrique et auquel est fixée l'éprouvette, l'extrémité inférieure de celle-ci étant solidaire d'un disque d'inertie constituant la seconde masse inertie, maintenu et 40 guidé par des moyens appropriés.

L'axe d'excitation est sollicité par un excitateur électrodynamique constitué par exemple par un générateur piézoélectrique ou un système à pot vibrant.

- Quant aux moyens de mesure ils consistent, d'une part,
- 5 en des moyens de mesure de l'accélération angulaire de l'éprouvette à l'encastrement et de mesure du déplacement angulaire à l'extrémité libre de l'éprouvette en vue de déterminer la courbe de coefficient de surtension et, par là-même, l'énergie mécanique communiquée à l'éprouvette et, d'autre
- 10 part, en des moyens de mesure du profil thermique le long d'une génératrice de l'éprouvette en vue du calcul de la puissance thermique totale restituée.

Ces deux types de mesure permettent de déterminer séparément la limite d'endurance d'un matériau.

- 15 Suivant un second mode de réalisation, l'éprouvette est disposée de préférence à l'horizontale entre deux masses d'inertie suspendues dont l'une est soumise à des tractions-compressions par l'intermédiaire d'une barre de liaison sollicitée par un excitateur électrodynamique, tel qu'un pot vibrant par exemple, fixé sur un bâti portant également le carter auquel sont suspendues les deux masses d'inerties susdites.

- Quant aux moyens de mesure, ils sont tout-à-fait similaires à ceux du premier mode de réalisation et comprennent,
- 25 d'une part, un capteur de force et un capteur d'accélération montés sur ladite barre de liaison et permettant la mesure du coefficient de surtension et donc de l'énergie mécanique communiquée à l'éprouvette et, d'autre part, des moyens de mesure du profil thermique le long d'une génératrice de l'éprouvette.

- 30 Les moyens de mesure du profil thermique sont avantageusement constitués par un pointeur infra-rouge et sa chaîne de mesure et de traitement des signaux.

- Par ailleurs, les essais de l'éprouvette peuvent s'effectuer dans l'air bien que de préférence ils sont réalisés
- 35 sous vide pour optimiser les conditions expérimentales mécaniques et thermiques.

- D'autres caractéristiques et avantages ressortiront de la description qui va suivre de modes de réalisation de bancs d'essai conformes à l'invention, description donnée à titre
- 40 d'exemple uniquement et en regard des dessins annexés sur

lesquels :

- Fig. 1 illustre la corrélation entre un bilan énergétique au cours d'essais de fatigue d'une éprouvette métallique, le coefficient de surtension et la limite d'endurance pour l'éprouvette considérée,
- 5 - Fig. 2 représente le schéma de principe d'un banc d'essai en torsion alternée symétrique selon l'invention;
- Fig. 3 représente une vue en coupe axiale verticale d'un banc d'essai suivant la Fig. 2;
- 10 - Fig. 4 représente une vue en éclaté partielle du système de suspension inférieure des éprouvettes du dispositif de la Fig. 3;
- Fig. 5 représente schématiquement le banc d'essai de la Fig. 3 avec ses divers ensembles de mesure;
- 15 - Fig. 6 représente schématiquement une variante de réalisation des moyens de sollicitation en torsion des éprouvettes du banc d'essai des Fig. 2 à 5;
- Fig. 7 représente schématiquement le principe d'un banc d'essai en traction-compression conforme à l'invention
- 20 avec les mêmes ensembles de mesure que le banc de la Fig. 5;
- Fig. 8 représente une vue en coupe axiale verticale plus détaillée du banc d'essai de la Fig. 7 et
- Fig. 9 illustre une série de mesures de la puissance thermique restituée par une éprouvette sollicitée en traction-compression.

Le bilan énergétique consiste en une mesure simultanée d'une part, de l'énergie mécanique nécessaire à l'entretien d'un mode de contrainte des éprouvettes et, d'autre part, de l'énergie thermique restituée par ces dernières.

Les autres sources de dissipation énergétique étant minimisées (amortissement visqueux dû aux mouvements dans l'air, pertes par conduction, rayonnement et convection), le "déficit" énergétique représenté par la différence entre l'énergie mécanique fournie à l'éprouvette et l'énergie thermique restituée par cette dernière, peut être interprété comme une variation de l'énergie interne du matériau. Cette variation correspond à une modification structurale propice à une fissuration et à une déterioration par fatigue.

- 6 -

On a représenté sur la Fig. 1, dans un même graphique les variations de ces deux grandeurs. Ce graphique ne fait que schématiser un ensemble de résultats d'essai et montre que :

- 5 - L'énergie fournie à un matériau, pour compenser les pertes hystérisiques et mécaniques, est restituée partiellement ou en totalité suivant le niveau de sollicitation global du matériau.
- 10 - A faible niveau, les manipulations entreprises ne montrent pas de différence significative entre l'énergie mécanique fournie (ΔW_1) et l'énergie thermique restituée (ΔW_2).
- 15 - Au niveau plus élevé, on constate un écart significatif des courbes pouvant être interprété comme une perte énergétique liée à une variation d'énergie interne du matériau.
- 20 - La limite de ces deux régimes de fonctionnement semble coïncider avec la limite d'endurance (σ_S) estimée du matériau.

Sur la Fig. 1 on a également représenté l'allure des courbes de coefficient de surtension :

$$Q = f(\sigma)$$

σ étant défini comme étant la contrainte maximale à la surface du matériau en torsion ou comme la contrainte uniforme dans le matériau en traction-compression.

Cette courbe "moyenne" du coefficient de surtension montre trois régimes de comportement du matériau et deux seuils dont l'un semble coïncider avec la limite d'endurance (σ_S) estimée du matériau.

Les Fig. 2 à 4 illustrent un premier mode de réalisation d'un banc d'essai selon l'invention propre à évaluer le bilan énergétique complet lors d'un essai de fatigue consistant à appliquer à une éprouvette une torsion alternée symétrique.

Un tel banc permet grâce à ce mode particulier de sollicitation de l'éprouvette et du fait de la brièveté des essais d'effectuer un "suivi" du bilan énergétique pendant la durée de vie de l'éprouvette afin de connaître la variation d'énergie interne totale jusqu'à la rupture pour un échantillon.

Le banc d'essai représenté sur les Fig. 2 à 4 comprend

- 7 -

une masse d'inertie formant bâti 1 et supportant par trois colonnes 2 une masse d'inertie d'encastrement 3.

La masse d'encastrement 3 supporte un axe d'excitation 4 vertical maintenu et guidé par deux dispositifs à lames de 5 suspension monoblocs 5.

L'éprouvette à tester 6 est rendue solidaire de l'axe d'excitation 4 par un dispositif de serrage par cône 7.

Le déplacement angulaire à l'encastrement est communiqué par divers excitateurs. Celui représenté sur les Fig. 2 10 à 4 est un générateur piézoélectrique constitué par quatre empilements 8 de pastilles piézoélectriques.

Il est prévu par exemple pour chaque empilement quatorze pastilles de 6 mm d'épaisseur et de 30 mm de diamètre, disposées en série mécaniquement et en parallèle électriquement.

15 Les empilements 8 sont disposés à l'horizontale de manière à solliciter l'axe 4 en torsion alternée symétrique.

Les empilements 8 sont précontraints à l'aide de vis 9 entre deux rotules réalisées par un système à billes 10, un tel montage permettant d'imposer des déformations planes aux 20 empilements.

Des joints toriques assurent l'étanchéité entre les dispositifs 5 et la masse 3, d'une part, et entre les vis 9 et la masse 3, d'autre part, la partie supérieure du banc devant recevoir de l'huile pour des questions d'isolation électrique 25 au niveau des pastilles 8.

A l'extrémité inférieure de l'éprouvette 6 est fixé un disque d'inertie 11 guidé en rotation par un système de suspension à lames croisées 12 solidaires des colonnes 2.

Plus précisément (Fig. 4) le disque d'inertie 11, qui 30 est solidarisé de l'éprouvette 6 par un dispositif à cône 13 analogue à celui utilisé pour l'encastrement de l'éprouvette, comporte à sa partie inférieure un manchon 14 coulissant dans une bague 15 sur laquelle sont fixées trois lames 12 elles-mêmes maintenues par un triangle 16 suspendu par des lames 17 35 solidaires de noix 18 pouvant coulisser le long des colonnes 2 pour s'adapter aux différentes longueurs d'éprouvettes.

Des conduits 19 et 20 permettent par une circulation de fluide appropriée de thermostater les têtes de l'éprouvette 6.

40 L'éprouvette 6 est enfermée dans une cloche à vide 21 reliant les deux masses 1 et 3, un hublot 22 perméable aux

- 8 -

infra-rouges étant installé en regard de l'éprouvette.

L'intérieur de la cloche 21 est relié à une pompe à vide 23 (Fig. 5).

Sur la Fig. 5 est schématisé l'environnement de mesure 5 associé au banc d'essai représenté très schématiquement par son bâti 1, sa masse d'encastrement 3, les colonnes 2 et l'éprouvette 6.

Cet environnement de mesure comprend deux ensembles. L'un comporte un pointeur infra-rouge 24 et ses sous-ensembles 10 25 de traitement des signaux. L'autre comprend les éléments de mesure de l'énergie mécanique fournie à l'éprouvette.

Ces éléments comprennent un accéléromètre sensible 26 dont l'axe est perpendiculaire à l'axe de rotation de l'éprouvette 6. Cet accéléromètre est chargé de mesurer les très faibles déplacements angulaires de l'éprouvette à l'encastrement. Ils comprennent également un capteur de déplacement sans contact 27 dont la cible est solidaire du disque d'inertie inférieur 11.

Les essais étant conduits en maintenant l'éprouvette à 20 la fréquence de résonance, il est prévu un système d'asservissement du signal injecté dans les empilements piézoélectriques 8 en vue de maintenir cette fréquence de résonance.

Le système de mesure comportant une mesure de l'accélération à l'encastrement 26 et du déplacement à l'extrémité 27, 25 il apparaît un déphasage (encastrement-extrémité) égal à -90° . On se sert de ce déphasage comme référence d'asservissement du signal appliqué aux empilements piézoélectriques 8. Cette technique étant bien connue ne sera pas expliquée en détail.

Cet asservissement est assuré par l'ensemble électronique 30 28 comprenant notamment un amplificateur de puissance 29 relié à l'excitateur piézoélectrique 8, un phasomètre 30, un amplificateur de charge 31, un microprocesseur de gestion 32 et une table traçante 33.

L'ensemble 25 associé au pointeur infra-rouge 24 prend 35 une centrale 34 du pointeur, une mémoire 35 affectée aux températures $\theta(t)$ relevées par le pointeur, une mémoire 36 affectée aux déplacements $X(t)$ du pointeur, une centrale 37 de commande du système (acquisition et restitution) et une table traçante 38 de la courbe $\theta(X)$.

- 9 -

Le fonctionnement du banc d'essai représenté et décrit ci-dessus est le suivant.

L'éprouvette 6 à tester est mise en place soigneusement grâce aux dispositifs de serrage à cône destinés à éviter tout 5 micro-glisement de l'éprouvette par rapport à l'axe 4 et au disque 11.

La cloche 21 est mise sous vide et l'équipage 4-6-11 est sollicité en torsion alternée symétrique par les empilements piézoélectriques 8 qui travaillent en push-pull de façon 10 que ledit équipage soit maintenu à la fréquence de résonance.

A cet effet, le signal appliqué par l'amplificateur de puissance 29 aux pastilles piézoélectriques 8 est asservi aux signaux de mesure fournis par l'accéléromètre 26 et le capteur de déplacement 27 et aux conditions de l'essai en vue d'assurer 15 le maintien de ladite fréquence de résonance.

Le banc permet l'obtention de la courbe du coefficient de surtension de l'échantillon testé suivant deux méthodes.

Dans l'une d'elles (méthode par lâcher) on enregistre 20 la courbe d'oscillations amorties du système résonnant. Cette méthode permet la mesure du décrément logarithmique et donc du coefficient de surtension d'après la formule :

$$Q = \frac{\pi}{\lambda} = \frac{1}{2} \cdot \frac{\Delta W_1}{W_1}$$

La connaissance de W_1 (énergie élastique) permet de calculer ΔW_1 (énergie absorbée).

25 Une deuxième méthode consiste en une mesure directe de la puissance mécanique d'auto-entretien. Dans le cas de la torsion :

$$\Delta W_1 = C \dot{\theta} \sin \psi$$

C étant le couple appliqué à l'éprouvette

30 $\dot{\theta}$ étant la vitesse angulaire à l'encastrement

ψ étant le déphasage entre ces deux grandeurs

Dans le cas de la résonance :

$$\sin \psi \approx 1$$

les deux paramètres C et $\dot{\theta}$ étant mesurés indirectement grâce 35 à la métrologie décrite on accède à ΔW_1 , à l'évolution de ΔW_1 en fonction du niveau de sollicitation (σ).

L'ensemble 28 permet d'obtenir des courbes du genre de celle représentée sur la Fig. 1 ($Q = f(\sigma)$). Ces courbes peuvent être tracées sur la table 33.

40 Enfin, à partir de la valeur du coefficient de surten-

- 10 -

sion; il est facile de tracer les courbes représentant la puissance mécanique injectée au système en fonction de la contrainte.

Le pointeur 24 et son ensemble de traitement 25 permettent 5 de mesurer l'énergie thermique totale restituée par l'échantillon.

La mesure du profil thermique le long d'une génératrice de l'éprouvette 6 permet d'accéder par le calcul à la puissance moyenne par unité de volume, quelle que soit la distribution radiale de source envisagée, et, par là même, d'obtenir 10 la puissance thermique totale restituée. Cela s'opère grâce au pointeur 24 à travers le hublot 22 du banc.

Le mode opératoire consiste en la mesure de profils thermiques obtenus au bout d'un temps t (de l'ordre de 30 15 secondes par exemple) de sollicitation à un certain nombre de niveaux constants avec, entre chaque mesure, un retour à l'état isotherme de l'échantillon afin de réaliser les conditions théoriques de résolutions de l'équation de la chaleur dans le cadre des calculs effectués. On déduit de ces résultats une 20 courbe $Q = f(\sigma)$ dont l'analyse conduit à la détermination de la limite d'endurance.

Cette méthode ainsi que le principe de fonctionnement du pointeur étant bien connus ne seront pas explicités plus en détail.

25 On peut ainsi obtenir sur la table traçante 38 des courbes du profil thermique $\theta(X)$ le long d'une génératrice de l'éprouvette 6.

A partir de l'énergie thermique totale restituée par l'échantillon, on peut déterminer facilement (Fig. 9) la limite 30 d'endurance estimée du matériau.

Cette Fig. 9 illustre une série de mesures de la puissance thermique restituée par une éprouvette testée à dix niveaux de sollicitation en traction-compression. Le report des dix mesures des puissances thermiques en fonction des niveaux de sollicitation permet de tracer une courbe d'allure voisine de la courbe ΔW_2 de la Fig. 1 à partir de laquelle on détermine 35 la limite d'endurance (σ_S) du matériau considéré au niveau de la seconde rupture de pente.

Le déplacement du pointeur, l'enregistrement et la 40 restitution des signaux doivent être parfaitement synchronisés.

C'est précisément le rôle de la centrale de commande 37.

Le banc d'essai selon l'invention, associé à ses ensembles de mesure permet de faire varier de façon continue, sans interruption de l'essai, le niveau de sollicitation, de tester 5 plusieurs types d'échantillons, de mesurer l'énergie mécanique injectée à tous les niveaux de sollicitation, d'obtenir les courbes de coefficient de surtension, fonction de la contrainte, jusqu'à la limite élastique de l'échantillon, de mesurer l'énergie thermique restituée.

10 Par ailleurs, le micro-processeur 32 permet d'automatiser intégralement des séquences d'essai. Il permet également la détermination automatique de la fréquence de résonance de chaque échantillon testé.

D'autre part, la souplesse d'emploi du banc permet d'envisager, outre des mesures de bilans énergétiques globaux, 15 d'innombrables applications, par exemple :

- variation de la limite d'endurance au cours d'un essai de fatigue (vérification des phénomènes d'over et d'understressing);
- 20 - étude de l'influence de traitement de surface (grenailage, ...) par mesure du décrément avant et après traitement;
- étude de la variation de la limite d'endurance par entaillage de l'éprouvette.

25 Il est à noter par ailleurs que les essais sur les éprouvettes pourraient être effectués dans l'air et non plus sous vide comme représenté sur les dessins.

La Fig. 5 illustre une variante de réalisation du banc des Fig. 2 à 4 suivant laquelle l'excitateur électrodynamique 30 n'est plus un générateur piezoélectrique mais un pot vibrant.

A cet effet, le banc comporte deux pots vibrants identiques 40 et 41 avec leur masse associée 42, les deux pots étant montés tête-bêche sur la masse d'encastrement 3 du banc. Le reste du banc est par ailleurs identique à celui représenté 35 sur la Fig. 2.

Les deux pots vibrants 40, 41 travaillent en push-pull de manière tout-à-fait analogue à celle des empilements piezoélectriques.

Les Fig. 7 et 8 illustrent un autre mode de réalisation 40 d'un banc conforme à l'invention, suivant lequel la sollicita-

tion de l'éprouvette se fait par traction-compression.

A cet effet, l'éprouvette 6 est disposée à l'horizontale et solidarisée à ses deux extrémités d'une masse 43,44 de 40 à 45 Kg. Les deux masses 43, 44 sont suspendues par des 5 lames 45 à un carter 46 enveloppant les deux masses et dans lequel on fait le vide par une pompe 23.

L'éprouvette 6 est rendue solidaire des masses 43 et 44 par des dispositifs de serrage par cône 7 identiques au dispositif 7 de la Fig. 3.

10 L'une des masses (43) est sollicitée par un pot vibrant 47 par l'intermédiaire d'une barre de liaison horizontale 48, le pot vibrant étant fixé sur le même bâti 49 que le carter 46, l'ensemble étant représenté en vue de dessus sur la Fig. 7.

15 Le pot vibrant 47 est excité à partir de l'amplificateur de puissance 29 de l'ensemble 28 identique à l'ensemble 28 de la Fig. 5.

Sur la barre de liaison 48 est disposé un capteur de force piézoélectrique 50 et un capteur d'accélération piézoélectrique 51. Les signaux fournis par ces deux capteurs 50 20 et 51 sont analogues à ceux fournis par les capteurs 26 et 27 du banc de la Fig. 5 et servent à asservir, comme dans le cas de cette figure 5, par l'intermédiaire de l'ensemble 28, le signal d'excitation envoyé par l'amplificateur 29 au pot vibrant 47 afin de maintenir constamment l'équipage mobile 43- 25 6-44 à la fréquence de résonance.

Ainsi, l'ensemble 28 et les capteurs 50 et 51 permettent, tout comme dans le dispositif de la Fig. 5, la détermination de la courbe du coefficient de surtension Q de l'échantillon et le traçage de la courbe sur la table 33.

30 On peut utiliser les deux types de méthodes exposées plus haut à propos de la torsion.

Dans le cas de la traction-compression $\Delta W_1 = f \cdot V \sin \Psi$
f étant la force délivrée par l'excitateur (pot vibrant 47)

35 . V étant la vitesse de déplacement de la masse excitée 43.

Dans le cas de la résonance : $\sin \Psi \approx 1$.

La limite d'endurance du matériau testé est alors déterminée à partir de cette courbe.

40 Cette limite peut être également déterminée, comme on l'a

vu plus haut à partir de la courbe de la puissance thermique dissipée au cours de l'essai de fatigue à l'aide du pointeur à infra-rouge 24 et de son ensemble de traitement des signaux 25, suivant le même processus opératoire.

5 Les mesures thermiques s'effectuent au travers d'un hublot 52 disposé en regard de l'éprouvette 6.

Le banc d'essai des Fig. 7 et 8 permet donc les mêmes types d'essai et de mesure que le banc des Fig. 2 à 4 et utilise les mêmes moyens de mesure et de traitement des signaux 10 de mesure.

Suivant un avantage substantiel des bancs conformes à l'invention, on peut déterminer les limites d'endurance d'éprouvettes en quelques heures, voire quelques jours, au lieu d'un an si on utilise les techniques traditionnelles. De plus, 15 à l'issue des essais de fatigue menés avec les bancs selon l'invention les éprouvettes ressortent dans un état identique à l'état initial alors que, suivant les techniques traditionnelles, les éprouvettes subissent des modifications et ne sont pas réutilisables.

20 Bien entendu, l'invention n'est évidemment pas limitée aux modes de réalisation représentés et décrits ci-dessus mais en couvre au contraire toutes les variantes.

C'est ainsi que d'une manière générale, l'invention concerne des systèmes résonnantes constitués de masses inertielles 25 se déplaçant en opposition de phase et liées entre elles par l'éprouvette à tester, des moyens étant prévus pour mesurer l'énergie communiquée à l'éprouvette ainsi que l'énergie thermique dissipée par cette dernière. Dans cet esprit, il est à noter que dans le cas de la sollicitation en torsion 30 l'axe d'excitation 4 pourrait être disposé à l'horizontale et que dans le cas de la sollicitation en traction-compression l'axe de l'ensemble éprouvette 6 - masses 43,44 pourrait être vertical.

REVENDEICATIONS

1. Banc d'essai de fatigue d'éprouvettes métalliques caractérisé en ce qu'il comprend un système résonnant constitué de deux masses inertielles se déplaçant en opposition de phase sous l'action de moyens de sollicitation appropriés et liées entre elles par l'éprouvette à tester (6), des moyens (26,27,28) pour mesurer au cours des essais de fatigue l'énergie communiquée à l'éprouvette (6) et des moyens (24,25) pour mesurer l'énergie thermique dissipée par l'éprouvette au cours de ces mêmes essais.
 - 10 2. Banc d'essai suivant la revendication 1, caractérisé en ce qu'il comprend une première masse inertielle dite d'encastrement (3) supportée par des colonnes (2) sur un bâti (1) et solidaire d'un axe d'excitation de préférence vertical (4) soumis à des contraintes de torsion alternée symétrique et auquel est fixée l'éprouvette (6), l'extrémité inférieure de celle-ci étant solidaire d'un disque d'inertie constituant la seconde masse inertielle, maintenu et guidé par des moyens appropriés (12 à 18).
 - 15 3. Banc d'essai suivant la revendication 2, caractérisé en ce que l'axe d'excitation (4) est sollicité par un excitateur électrodynamique (8; 40,41) monté sur la masse d'inertie d'encastrement (3).
 - 20 4. Banc d'essai suivant la revendication 3, caractérisé en ce que l'excitateur électrodynamique est un générateur piézoélectrique constitué d'empilements (8) de pastilles piézoélectriques fonctionnant en push-pull.
 - 25 5. Banc d'essai suivant la revendication 3, caractérisé en ce que l'excitateur électrodynamique est un système de pots vibrants (40,41) montés tête-bêche.
 - 30 6. Banc d'essai suivant la revendication 2, caractérisé en ce que le disque d'inertie (11) fixé à l'extrémité inférieure de l'éprouvette (6) est guidé par des lames de suspension (12) fixées à un support (16) relié par des lames de suspension (17) à des noix (18) montées coulissantes le long des colonnes (2) et réglables en hauteur.
 - 35 7. Banc d'essai suivant l'une des revendications 1 à 6 caractérisé en ce qu'il comporte des moyens (26) de mesure

de l'accélération angulaire de l'éprouvette (6) à l'encastrement et des moyens (27) de mesure du déplacement angulaire du disque d'inertie (11) solidaire de l'extrémité inférieure de l'éprouvette, afin de déterminer la courbe de coefficient de 5 surtension et l'énergie mécanique communiquée à l'éprouvette.

8. Banc d'essai suivant la revendication 1 caractérisé en ce que l'éprouvette (6) est disposée, de préférence à l'horizontale, entre deux masses d'inertie suspendues (43,44) dont l'une (43) est soumise à des tractions-compressions par l'intermédiaire d'une barre de liaison (48) sollicitée par un excitateur électrodynamique (47) fixé sur un bâti (49) portant le carter (46) auquel sont suspendues les deux masses d'inertie (43,44) susdites.

9. Banc d'essai suivant la revendication 8 caractérisé 15 en ce que l'excitateur électrodynamique est un pot vibrant (47).

10. Banc d'essai suivant la revendication 8 ou 9 caractérisé en ce qu'il comporte un capteur d'accélération et un capteur de force montés sur ladite barre de liaison (48) et permettant la mesure du coefficient de surtension et de l'énergie mécanique communiquée à l'éprouvette (6).

11. Banc d'essai suivant l'une des revendications 1 à 10 caractérisé en ce qu'il comporte, en outre, des moyens (24,25) de mesure du profil thermique le long d'une génératrice de 25 l'éprouvette (6) en vue de déterminer l'énergie thermique totale restituée par cette dernière.

12. Banc d'essai suivant la revendication 11, caractérisé en ce que lesdits moyens de mesure du profil thermique comprennent un pointeur infra-rouge (24) associé à une chaîne 30 (25) de mesure et de traitement de signaux.

13. Banc d'essai suivant l'une des revendications 2 à 12 caractérisé en ce que l'éprouvette (6) est montée dans une cloche à vide (21, 45) pourvue d'un hublot (22,52) perméable aux infra-rouges.

1/8

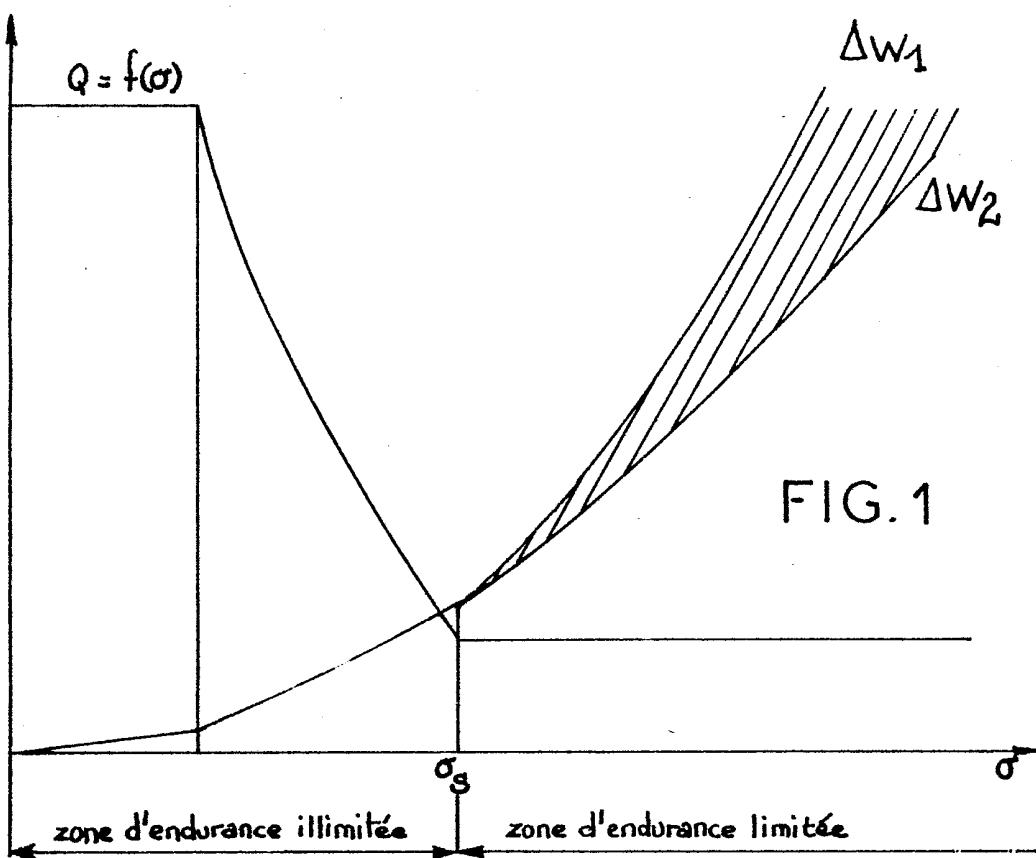


FIG. 1

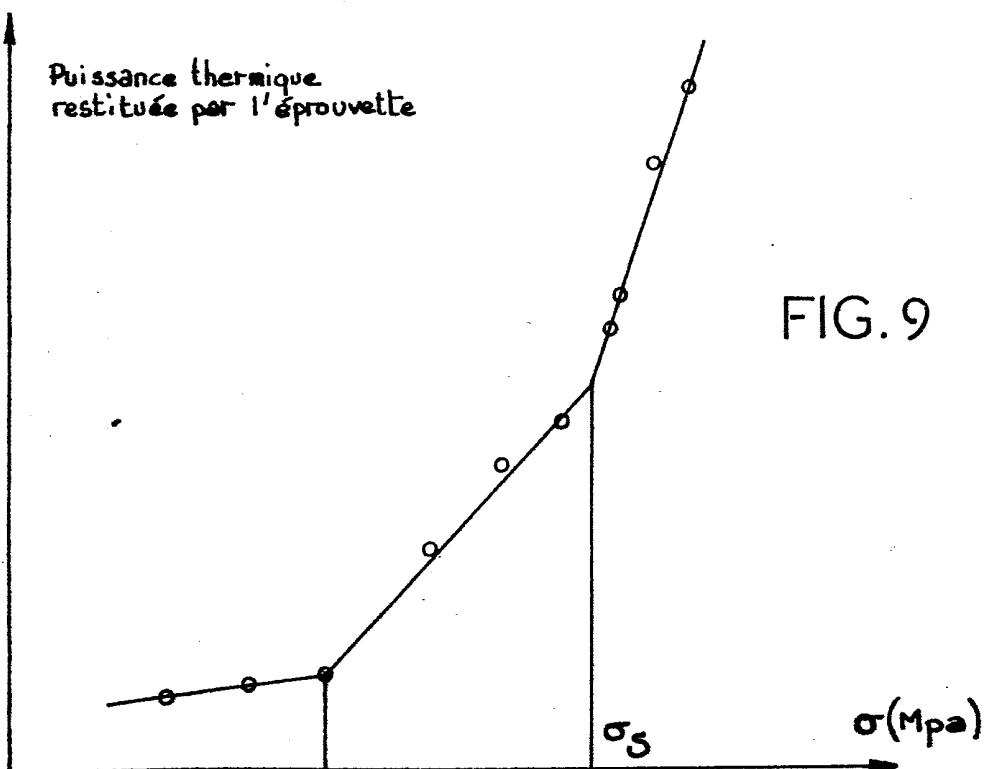


FIG. 9

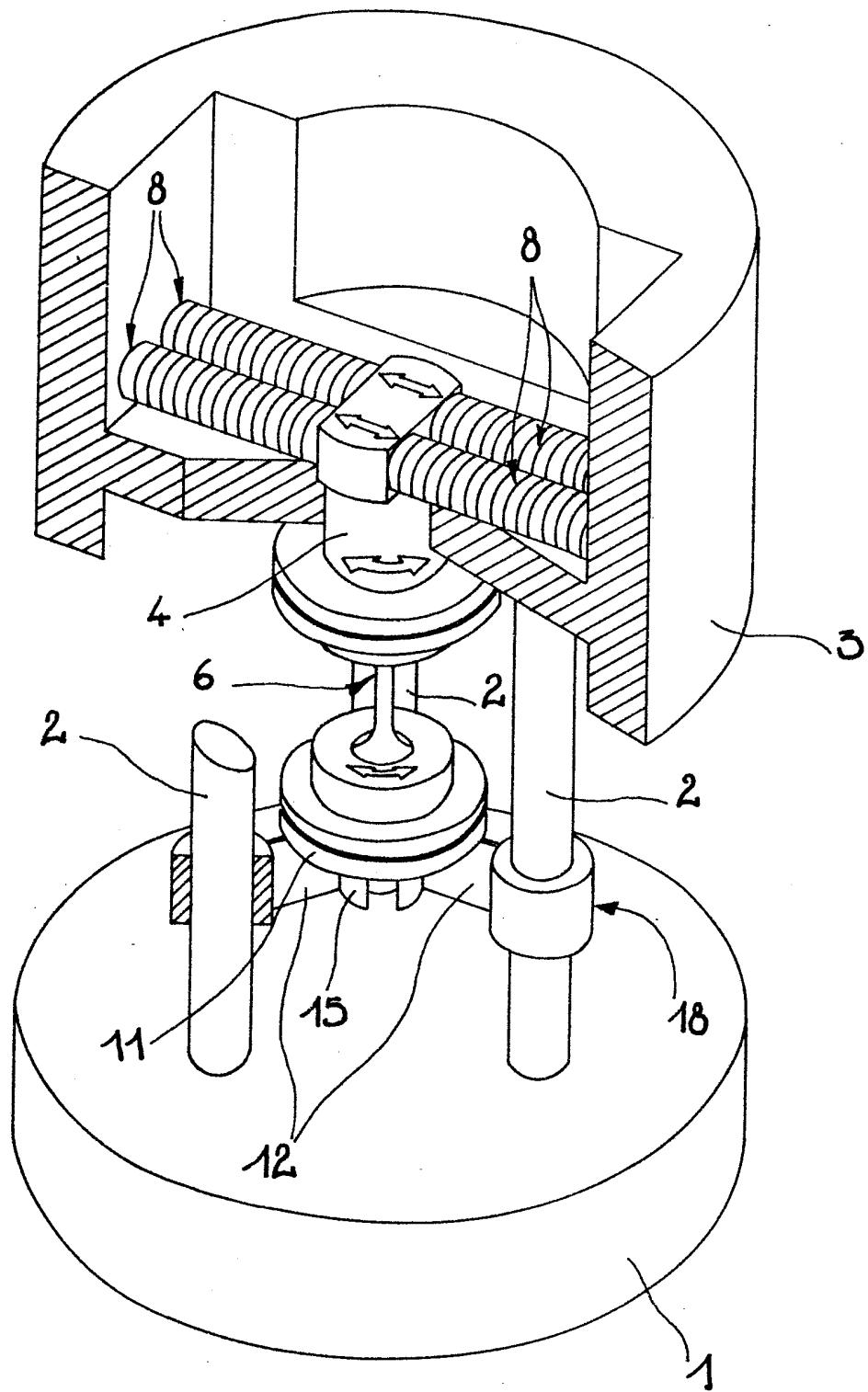


FIG. 2

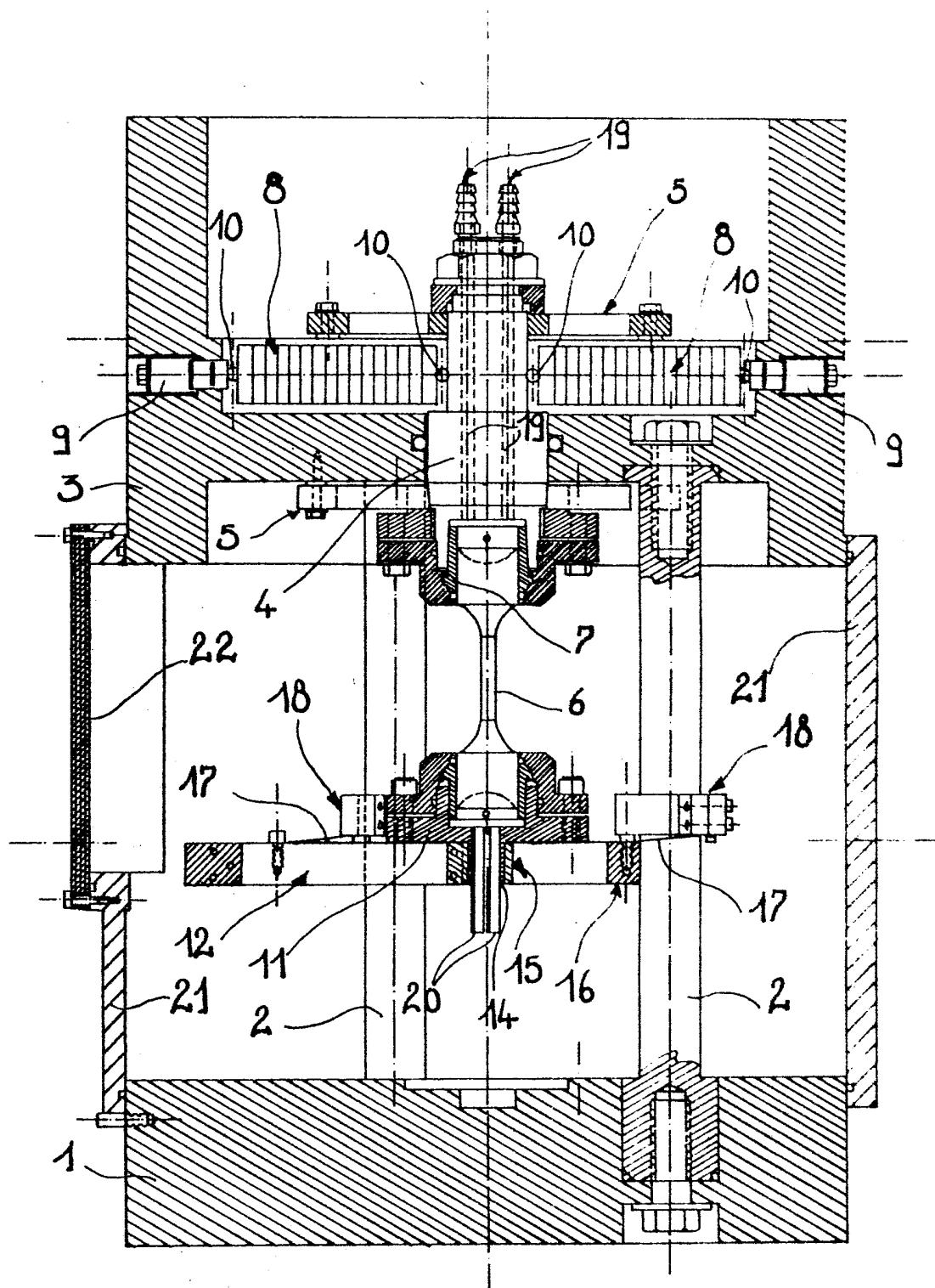


FIG. 3

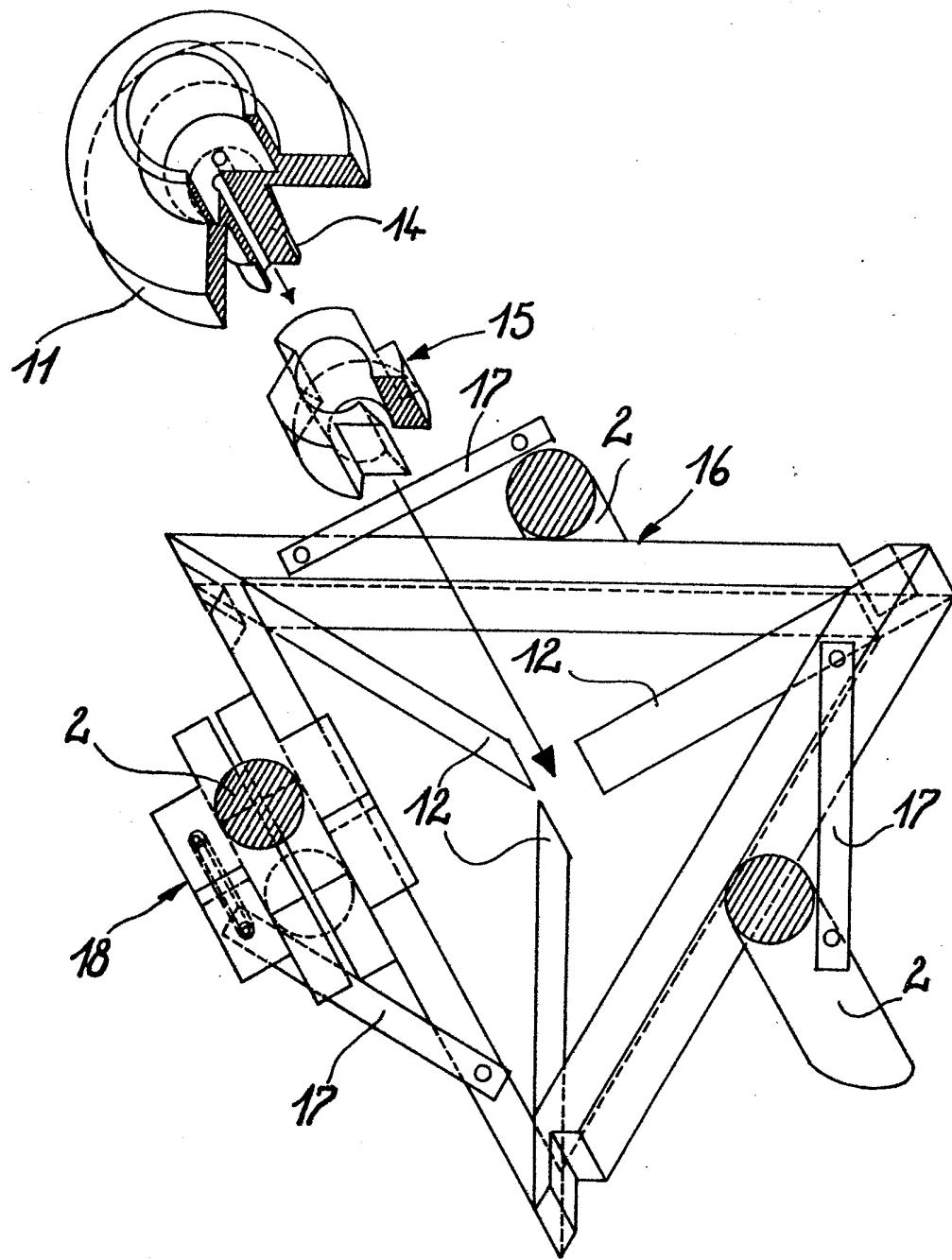


FIG.4

5/8

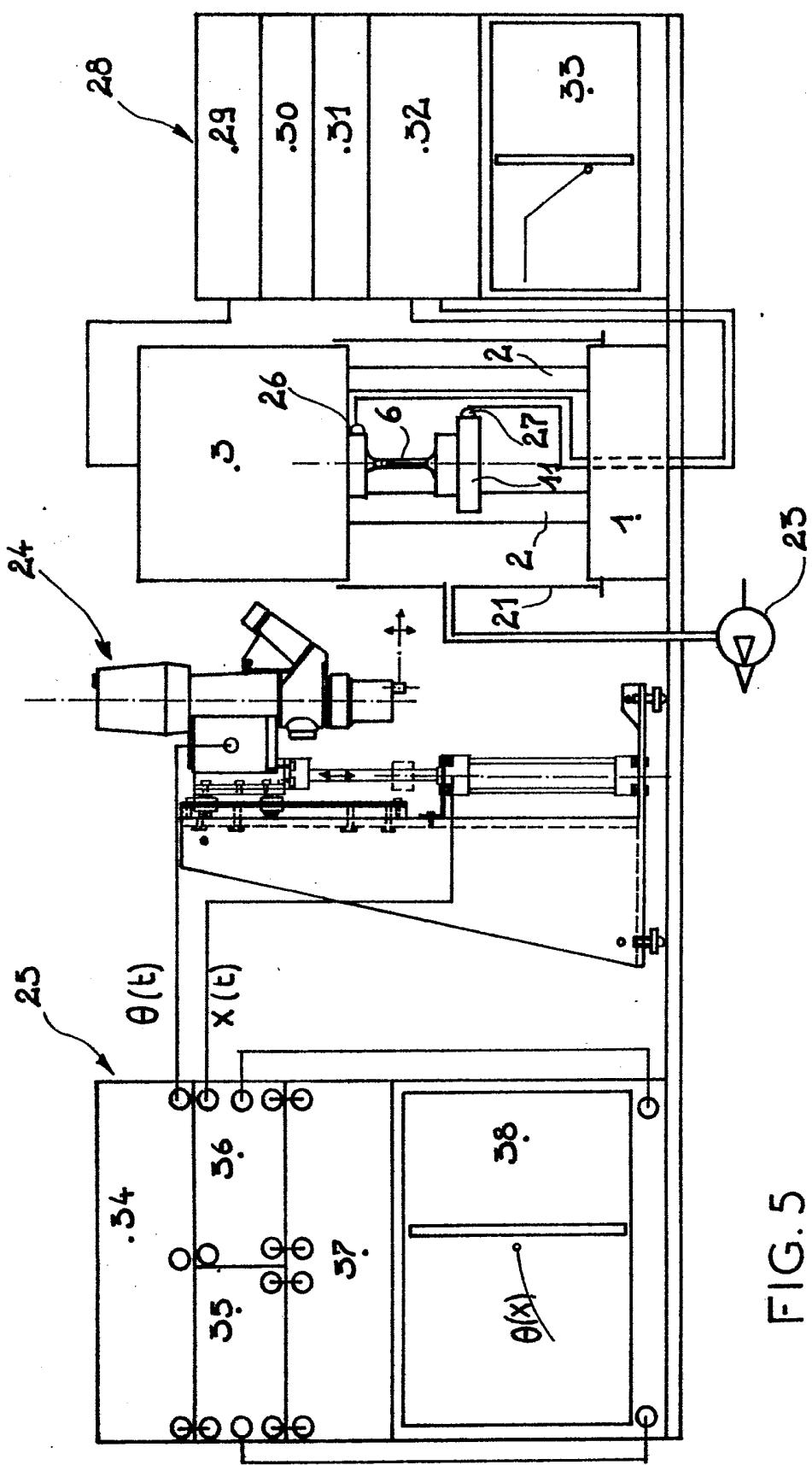
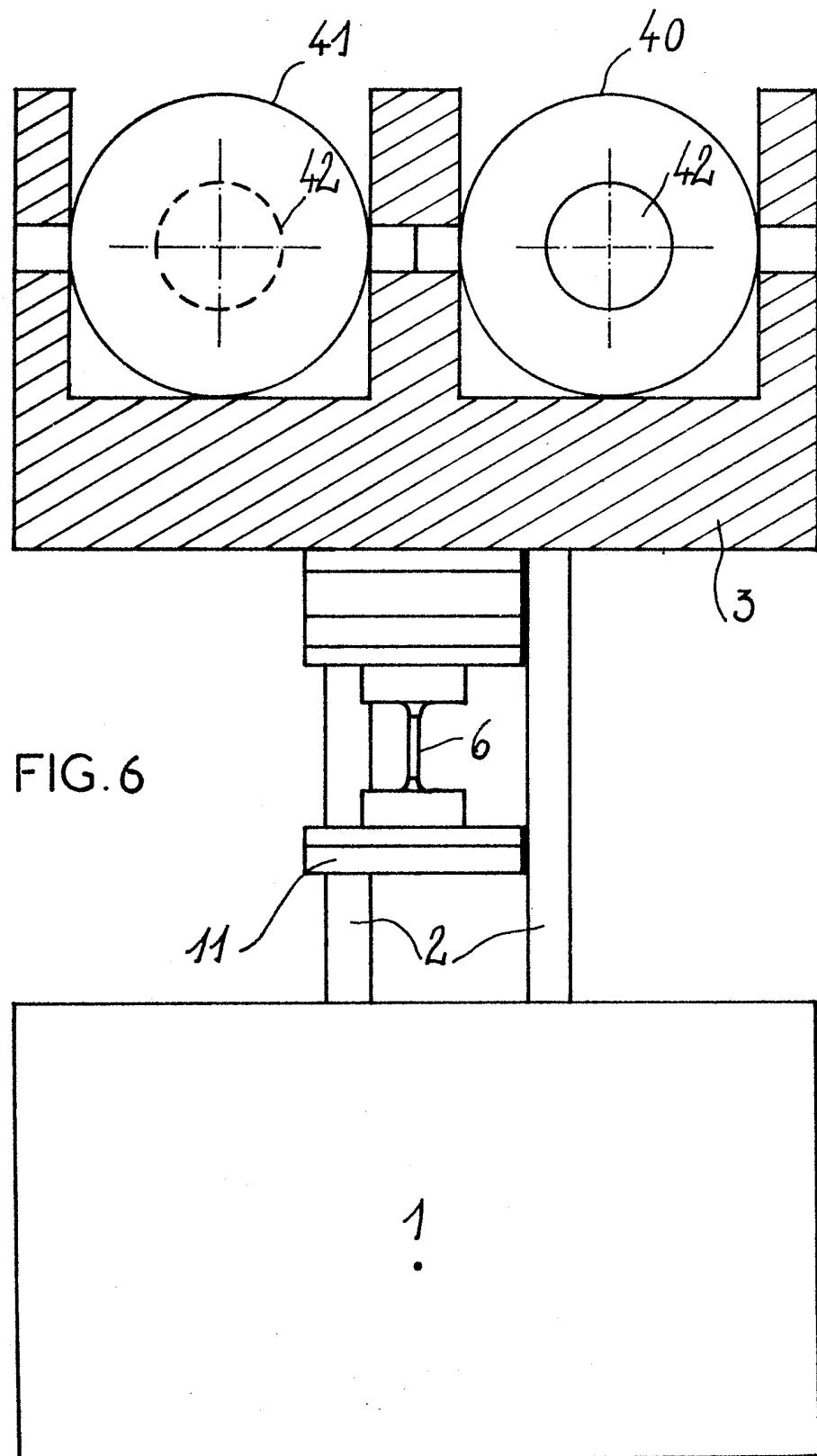
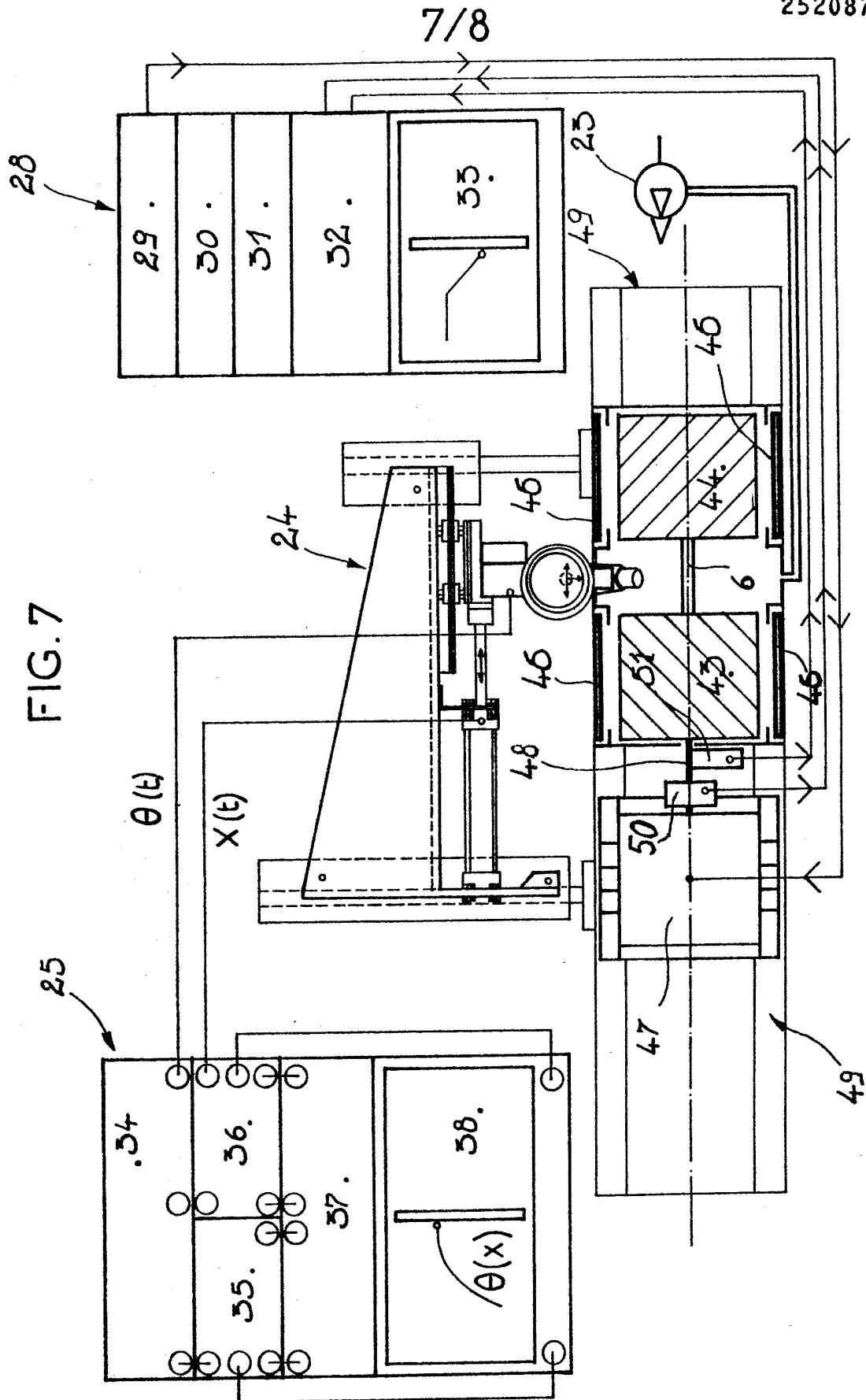


FIG. 5

1
•

2520874



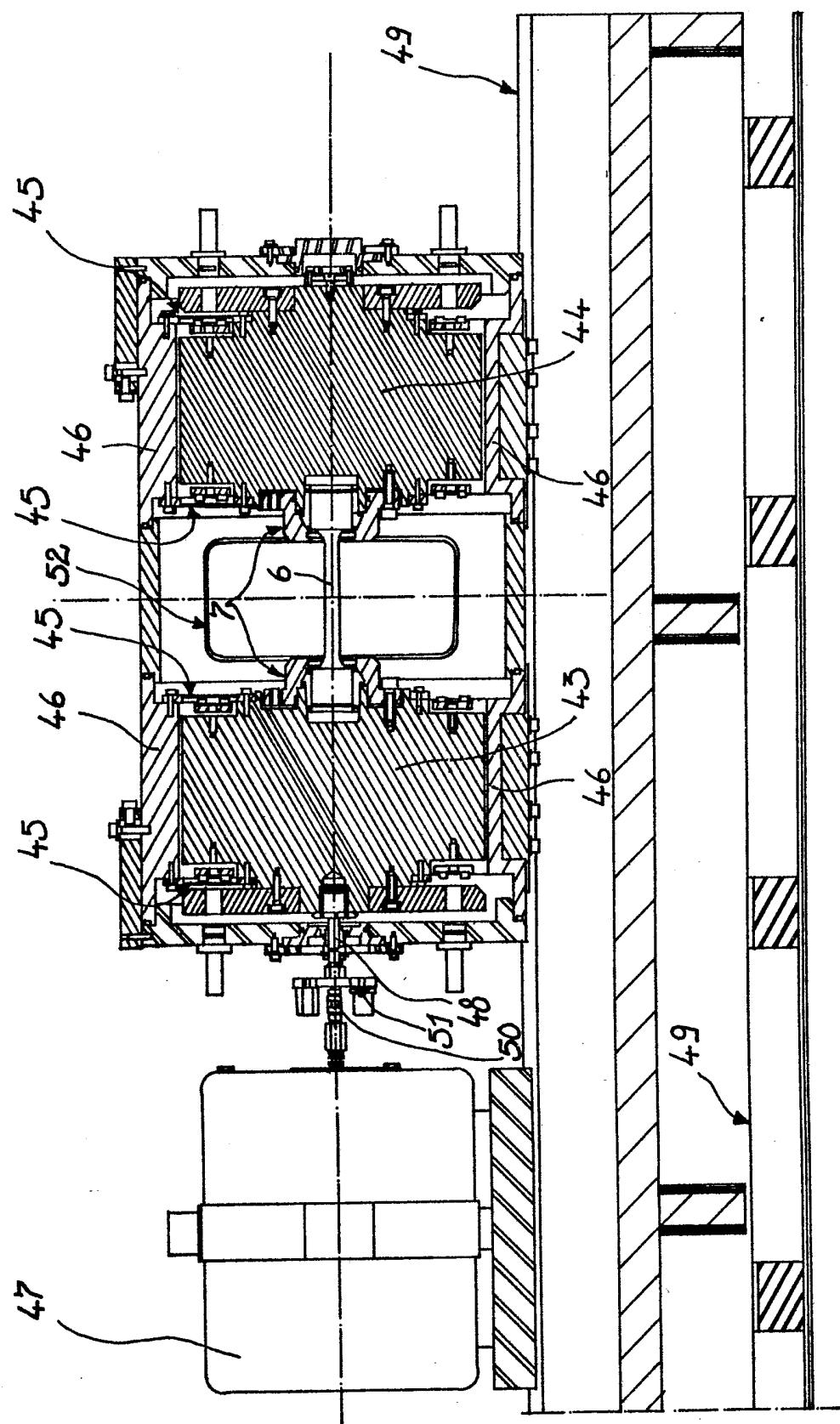


FIG. 8