

Demande de brevet

Déposant: ARBED S.A.
Avenue de la Liberté
L-2930 Luxembourg

Procédé de laminage d'ébauches en vue
de la production de gros profilés

Procédé de laminage d'ébauches en vue de la production de gros profilés

La présente invention concerne un procédé de laminage d'ébauches en vue de la production de gros profilés en acier, notamment de grosses poutrelles à larges ailes à hauteurs d'âme de 1 m.

Les procédés classiques de laminage font habituellement intervenir les étapes suivantes:

- 10 - On produit une section rectangulaire ou carrée (bloom) par laminage d'un lingot sur une cage comportant deux cylindres horizontaux (blooming ou break-down). Cette section rectangulaire peut aussi être produite par coulée continue avec ou sans laminage subséquent sur une cage dégrossisseuse blooming ou break-down afin d'obtenir les dimensions souhaitées. La section doit avoir une largeur légèrement inférieure à la largeur de la première cannelure profileuse qui est ensuite utilisée.
- 15 - Cette cannelure profileuse est généralement disposée sur une cage comportant deux cylindres horizontaux (blooming ou break down). En effectuant plusieurs passes de laminage dans cette cannelure profileuse on obtient une ébauche dont la forme est telle qu'elle permette le laminage subséquent sur les autres cages du laminoir jusqu'à l'obtention du produit fini. L'épaisseur de la section
- 20 rectangulaire doit être choisie de manière à obtenir un remplissage correct de toutes les parties de la section de l'ébauche.
- 25

Ces procédés classiques présentent plusieurs inconvénients :

- la nécessité de produire soit des lingots, soit des sections de sou-
- lée continue de forte épaisseur.
- 5 - La perte de matière due au fait que les extrémités des ébauches doivent dans certains cas être chutées avant de poursuivre le lami-
- nage sur les autres cages du laminoir.

Afin d'éliminer ces inconvénients, on a proposé d'utiliser comme
10 produit de départ des brames de section rectangulaire au lieu de lin-

gots. L'idée à la base de ces procédés est la suivante :

Par refoulement de la largeur d'une brame entre deux cylindres horizon-
taux ou verticaux il se forme aux extrémités de la brame des ailes
15 qui permettent d'obtenir une ébauche en soumettant la brame élargie aux
extrémités à un laminage soit en cannelure profileuse classique soit en
cage universelle.

L'élargissement des extrémités d'une brame soumise au refoulement est
20 un phénomène bien connu des lamineurs, dont il faut tenir compte lors
du laminage de produits de section rectangulaire.

L'évolution de la forme des bords libres d'une section rectangulaire
soumise au laminage est étroitement liée à un paramètre défini comme
25 étant le rapport entre la longueur projetée de l'arc de contact et la
hauteur moyenne du produit.

Si l'on désigne par : R le rayon des cylindres

ho la hauteur initiale de la section rectangulaire

30 hl la hauteur finale de la section rectangulaire

ce rapport peut s'écrire : $g = \frac{ld}{hm}$

35 avec $ld = \sqrt{R(ho-hl)}$

et $hm = \frac{ho + hl}{2}$

L'élargissement est défini comme étant l'écoulement de matière s'effectuant dans la direction perpendiculaire aux directions de laminage et de réduction.

5 Pour un rapport g faible, l'élargissement des bords libres non-soumis à la pression de laminage directe, est localisé préférentiellement aux extrémités des bords libres conduisant à une forme évoquant un diabolo. L'épaisseur à mi-hauteur de la section n'est pas affectée par la déformation et reste constante.

10

Pour un rapport g élevé, l'élargissement est concentré à mi-hauteur de la section, conduisant à une forme évoquant un tonneau.

15 La valeur du rapport g séparant les deux modes d'élargissement est 0,6 à 0,7.

Pour cette valeur limite l'élargissement des bords libres est constant sur toute la hauteur des bords libres.

20 Tous les procédés de laminage de poutrelles à partir de brames sont basés sur le mode d'élargissement obtenu pour des faibles valeurs du rapport g .

25 Cependant les procédés qui utilisent une cage universelle pour la production de l'ébauche sont difficilement applicables aux cas des poutrelles de grande hauteur et ayant des ailes extra-larges.

30 De même, un refoulement de la largeur de la brame dans des cannelures roulantes de largeur croissante ne permet pas de contrôler parfaitement la forme des ailes de l'ébauche. En outre, la largeur de table des duos dégrossisseurs est souvent limitée, ce qui interdit de placer une série de cannelures roulantes sur les cylindres dans le cas des poutrelles de grande hauteur d'âme et ayant des ailes extra-larges.

35 Le but de l'invention était de proposer un procédé de laminage d'ébauches aux dimensions requises et qui nécessite seulement l'intervention d'une cannelure roulante et d'une table lisse.

Suivant l'invention, la réalisation de l'ébauche s'effectue en trois étapes:

5 a. Refoulement de la largeur d'une brame dans une cannelure roulante dont les faces latérales présentent une inclinaison déterminée et dont la largeur du fond est inférieure à égale à l'épaisseur de la brame.

10 L'élargissement conduit au remplissage de cette cannelure et la brame présente aux extrémités suivant la largeur des excroissances dont la forme évoque un champignon parfaitement symétrique.

15 b. Refoulement sur table lisse de la largeur de la brame produite suivant l'étape a.

Ce refoulement a pour effet de déformer le champignon par réduction de l'épaisseur et par élargissement jusqu'à l'obtention d'ailes qui s'adaptent le plus parfaitement possible à la forme de la cannelure profileuse.

20 c. Laminage de la pré-ébauche produite suivant l'étape b. dans une cannelure profileuse classique jusqu'à obtention de l'ébauche.

25 Suivant l'invention, une combinaison adéquate de l'angle d'inclinaison des faces de la cannelure roulante et des réductions imposées en cannelure roulante et sur table lisse permet d'obtenir pour chaque poutrelle une forme de pré-ébauche aux dimensions requises.

30 D'autres caractéristiques et avantages du procédé suivant l'invention vis-à-vis des procédés classiques ressortiront de la description des dessins.

35 La fig. 1 montre schématiquement le procédé classique de laminage d'une ébauche pour poutrelles à larges ailes. Il est représenté en traits pointillés la section rectangulaire dont l'épaisseur H est suffisante pour garantir le remplissage correct de la cannelure

profileuse.

La fig. 2 montre une extrémité d'une ébauche obtenue après laminage de la section rectangulaire d'épaisseur H dans la cannelure profileuse de la figure 1. On remarque que les différences d'allongement entre
5 âme et ailes produisent une langue de laminage dont la longueur l constitue une perte de matière appréciable.

En outre, la forte épaisseur de la section rectangulaire conduit à une
10 doublure D qui nécessite le chutage de l'extrémité avant de poursuivre le laminage sur cage universelle.

La fig.3 montre le schéma d'un procédé de laminage qui utilise une brame comme produit de départ. On remarque que les cannelures refouleu-
15 ses présentent des largeurs croissantes $b_1 < b_2 < b_3$.

La largeur des ailes de la pré-ébauche (b_3) doit être suffisante pour garantir le remplissage de la cannelure profileuse (4).

20 La fig. 4 montre les extrémités des ébauches obtenues par l'utilisation de brames comme produit de départ.

Au cours du refoulement, l'allongement des extrémités soumises au laminage est plus important que l'allongement du centre (âme, fig. 4a).
25 L'allongement de l'âme en cannelure profileuse étant supérieur à l'allongement des ailes, il y a compensation et il en résulte une langue de laminage de l'ébauche dont la longueur l (fig. 4b) est inférieure à celle obtenue suivant le procédé classique utilisant des lingots. La perte de matière est ainsi considérablement réduite.

30

Le refoulement simple en cannelures refouleuses de largeur croissantes ne garantit cependant pas l'obtention d'une forme correcte des ailes de la pré-ébauche.

En effet le refoulement de la brame de largeur initiale h_0 jusqu'à la largeur finale h_n produit une forme d'ailes qui dépend essentiellement des réductions imposées lors du refoulement ($\sum \Delta h$).

5 Comme la réalisation d'une largeur finale h_n et d'une largeur finale des ailes b_n dépend de la largeur initiale h_0 de la brame, on ne dispose d'aucun degré de liberté permettant de contrôler la forme des ailes lors du refoulement.

10 Un exemple d'un résultat défavorable obtenu par refoulement simple d'une brame en cannelures roulantes est repris en fig. 5. On remarque que malgré l'obtention d'une largeur d'ailes suffisante de la pré-ébauche (1) il existe un défaut de remplissage (3) qui ne pourra pas être éliminé lors du laminage en cannelure profileuse (2).

15

Il est également possible que dans certaines conditions de refoulement on obtienne des ailes trop épaisses ce qui peut conduire à la formation des repliures et une largeur insuffisante des ailes de l'ébauche.

20 Il résulte de ces considérations que le refoulement simple de la largeur d'une brame ne permet pas de contrôler la forme et l'épaisseur des ailes de la pré-ébauche.

25 Le procédé suivant l'invention, tout en réduisant le nombre des cannelures nécessaires, introduit un degré de liberté supplémentaire qui permet de contrôler la forme et l'épaisseur des ailes de la pré-ébauche de manière à garantir le remplissage correct de la cannelure profileuse.

30 Le schéma de principe du procédé suivant l'invention est représenté à en fig. 6.

Les étapes du procédé sont les suivantes:

35 a. Une brame (1) est soumise au refoulement dans une cannelure roulante jusqu'à obtention d'un "champignon" (2).

b. La déformation du "champignon" sur table lisse conduit à la formation d'une pré-ébauche (3) dont les contours s'emboîtent le plus parfaitement possible dans la cannelure profileuse.

5 c. Obtention de l'ébauche (4) par laminage de la pré-ébauche (3) dans une cannelure profileuse classique.

En fig. 7 il est expliqué la formation de la pré-ébauche à partir du champignon réalisé en première cannelure. On voit que le laminage sur
10 table lisse engendre les phénomènes suivants:

a. Réduction de l'épaisseur du "champignon" d'une valeur

$$\Delta e = e_1 - e_2$$

b. Elargissements $\Delta b_0 = b_2 - b_0$

15 et $\Delta b_1 = b_2 - b_1$

c. Annulation de l'inclinaison des facettes du "champignon"

$$\lim_{r \rightarrow r_{\text{tot}}} \alpha_1 = 0$$

$$r \rightarrow r_{\text{tot}}$$

20 Le principe du procédé suivant l'invention repose donc sur les différences d'élargissement entre tête de largeur b_0 et base de largeur b_1 du "champignon" lorsque celui-ci est soumis à un refoulement sur table lisse.

25
$$\frac{\partial (\Delta b_0)}{\partial r} \quad \frac{\partial (\Delta b_1)}{\partial r}$$

En choisissant convenablement l'angle d'inclinaison α_1 des facettes du "champignon" il devient possible d'obtenir des ailes de pré-ébauche de dimensions requises.

30

La fig. 8 montre différentes formes d'ailes de pré-ébauche obtenues en modifiant la valeur de l'angle d'inclinaison α_1 de la première cannelure. Sur cette figure n_1 et n_2 sont le nombre de passes effectuées en cannelure refouleuse resp. sur table lisse.

35

La fig. 9 montre la possibilité offertes par le procédé suivant l'invention dans le contrôle de l'épaisseur des ailes de la pré-ébauche.

Cette épaisseur est essentiellement déterminée par l'épaisseur du "champignon" produit en cannelure refouleuse.

La fig. 10 montre les principales dimensions qui interviennent dans le procédé suivant l'invention.

Afin de laminier des pré-ébauches aux dimensions requises il faut pouvoir calculer la déformation en fonction des conditions imposées.

La fig. 11 montre l'élargissement de la base du "champignon" en fonction de la réduction imposée.

Pour un angle α_1 , l'élargissement de la base du "champignon" peut être exprimé par la relation suivante:

$$\frac{\Delta b_1}{b_0} = a_1 \cdot \left(\frac{\Delta h_1}{h_0} \right)^{a_2} \quad (1)$$

Les coefficients a_1 et a_2 sont fonctions de la largeur initiale h_0 de la brame et peuvent être exprimés par les équations suivantes:

$$a_1 = c_1 + d_1 \cdot h_0 \quad (2)$$

$$a_2 = c_2 + d_2 \cdot h_0 \quad (3)$$

Pour un angle α_1 et une largeur initiale donnée, les relations (1), (2) et (3) permettent de déterminer la largeur b_1 de la base du champignon pour une réduction absolue Δh_1 donnée.

L'épaisseur du "champignon" est proportionnelle à la largeur b_1 et peut être exprimée par la relation suivante:

$$e_1 = \frac{\Delta b_1}{2 \operatorname{tg} \alpha_1} \quad (4)$$

avec
$$\Delta b_1 = b_1 - b_0 \quad (5)$$

Dès lors, on peut définir une largeur moyenne du "champignon"

$$b_{m_1} = \frac{b_0 + b_1}{2} \quad (6)$$

La fig. 12 montre l'évolution de la largeur moyenne en fonction de la réduction imposée sur table lisse. Cette évolution peut être exprimée par la relation suivante:

$$\frac{\Delta b m_2}{b m_1} = a_3 \cdot \frac{\Delta h_2}{h_1} \quad (7)$$

5 Le coefficient a_3 est une fonction linéaire de la hauteur h_1 de la brame à la sortie de la cannelure refouleuse et peut être exprimé par la relation suivante:

$$a_3 = c_3 + d_3 \cdot h_1 \quad (8)$$

10

La fig. 13 montre la réduction de l'épaisseur du "champignon" en fonction de la réduction sur table lisse.

Avec une bonne approximation on peut admettre une diminution de
15 l'épaisseur de 12 % pour un angle $\alpha_1 = 50$ % :

$$\frac{\Delta e_2}{e_1} = a_4 \approx 0,12 \quad (9)$$

La fig. 14 montre la réduction par passe de l'angle α_1 au cours du
20 refoulement sur table lisse en fonction de l'épaisseur initiale du "champignon".

Les différents coefficients intervenant dans les relations (1) - (9)
doivent être déterminés expérimentalement pour différentes valeurs de
25 l'angle α_1 .

Dès lors il est possible de déterminer les principaux paramètres du
procédé suivant l'invention à partir des dimensions de l'ébauche qu'on
désire obtenir.

30

La fig. 15 montre les dimensions principales de l'ébauche et de la
pré-ébauche.

A partir des dimensions de l'ébauche, on peut déterminer les dimensions
35 de la pré-ébauche en utilisant les relations suivantes:

$$e_p = e_e \quad (10)$$

$$h_2 = h_p = h_e - (20 \sim 30 \text{ mm}) \quad (11)$$

$$b m_2 = b_p = s_p + (b_e - s_e) \quad (12)$$

L'épaisseur e_1 visée en première cannelure est donnée par la relation (9).

La fig. 16 montre un schéma de calcul qui conduit à la détermination
5 des principaux paramètres du procédé suivant l'invention.

Ce calcul sera effectué avantageusement sur ordinateur.

En utilisant le procédé suivant l'invention, il a été possible de lami-
10 ner des poutrelles jusqu'à une hauteur d'âme de 1000 mm et jusqu'à des largeurs d'ailes de 425 mm en partant de brames de dimension 2000 x 300 mm².

Le refoulement de brames de grande largeur sur table lisse peut cepen-
15 dant provoquer des phénomènes d'oblicité indésirables.

Afin de garantir une stabilité suffisante à la brame on prévoit au mi-
lieu de la table lisse un profilage du cylindre qui assure le guidage
de la brame en cours de laminage.

20

La fig. 17 montre un tel profilage. Les contre-patins de guidage (1), peuvent être éliminés par refoulement de la brame sur la table lisse constituée par l'âme de la cannelure profileuse classique.

25 La table lisse peut être remplacée par une cannelure roulante comportant un profilage en fond de cannelure. Dans ce cas, les flancs de la cannelure roulante assurent un guidage latéral à l'engagement de la brame au cours des dernières passes de refoulement.

30 Le principe du procédé suivant l'invention peut également être appliqué pour le laminage d'autres gros profilés comme p. ex. de palplanches à inertie en forme de Z ou de U, de palplanches plates sollicitées en traction sur les griffes, des fers U à ailes parallèles etc.

Revendications

1. Procédé de laminage d'ébauches en vue de la production de poutrelles caractérisé en ce que l'on utilise comme produit de départ une brame de section rectangulaire et que l'on soumet cette brame à un laminage en trois étapes:
 - a. Un refoulement dans une cannelure roulante dont la largeur de fond est inférieure à égale à l'épaisseur de la brame utilisée et dont les faces latérales sont inclinées d'un angle α qui est fonction des dimensions de l'ébauche, l'épaisseur du "champignon" ainsi obtenu étant supérieure d'environ 12 % à l'épaisseur des ailes de l'ébauche.
 - b. Un refoulement de la brame obtenue suivant l'étape a., sur une table lisse de manière à ce que la réduction totale imposée produise un élargissement tel que les largeurs du sommet et de la base du "champignon" deviennent sensiblement égales en fin de refoulement avec l'annulation approximative de l'angle α et l'obtention d'une épaisseur d'ailes correspondante à l'épaisseur des ailes de l'ébauche.
 - c. Un laminage en cannelure profileuse classique de l'ébauche obtenue suivant l'étape b., jusqu'à l'obtention de l'ébauche finale, la largeur moyenne des ailes de l'ébauche obtenue suivant l'étape b. devant être sensiblement égale à l'épaisseur de la brame augmentée de la différence entre la largeur d'ailes et l'épaisseur d'âme de l'ébauche.
2. Procédé suivant la revendication 1, caractérisé en ce que les principaux paramètres du procédé sont déterminés suivant le schéma de calcul exposé en figure 16.

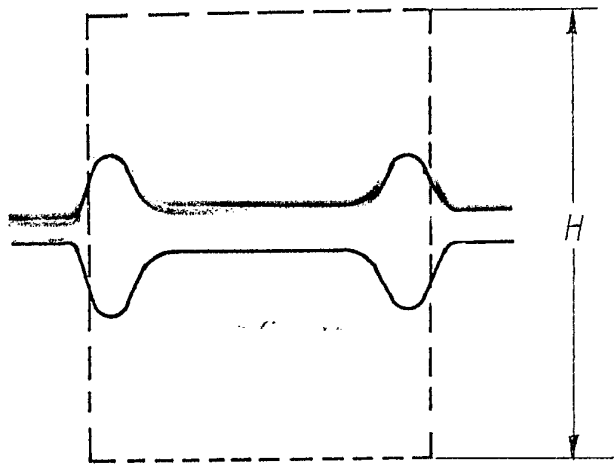


FIG. 1

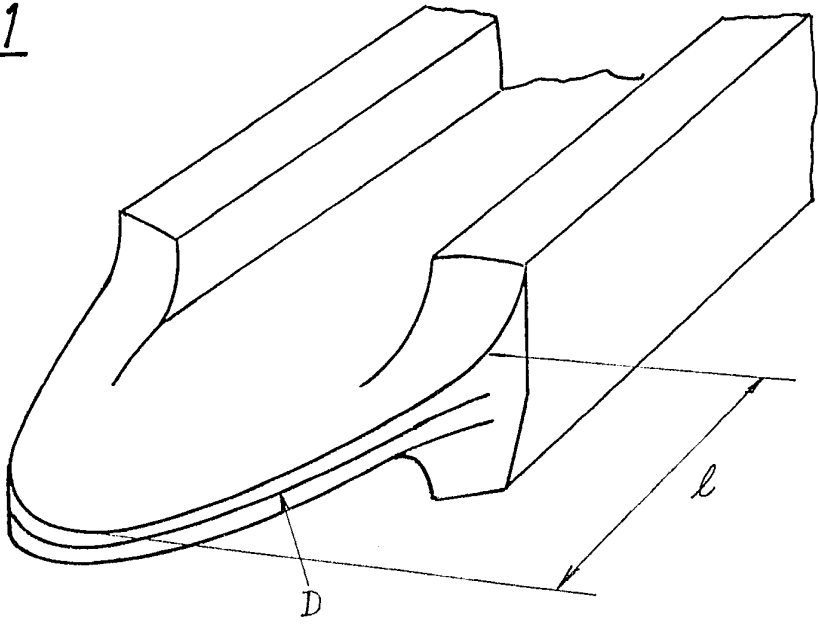


FIG. 2

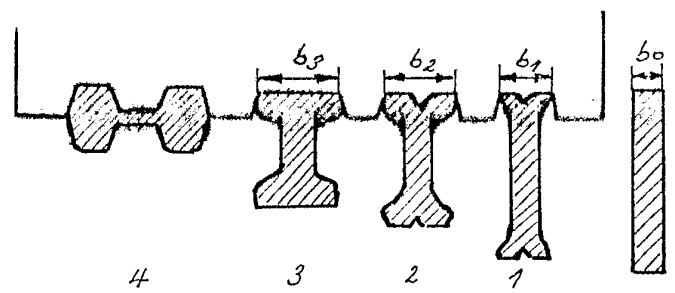


FIG. 3

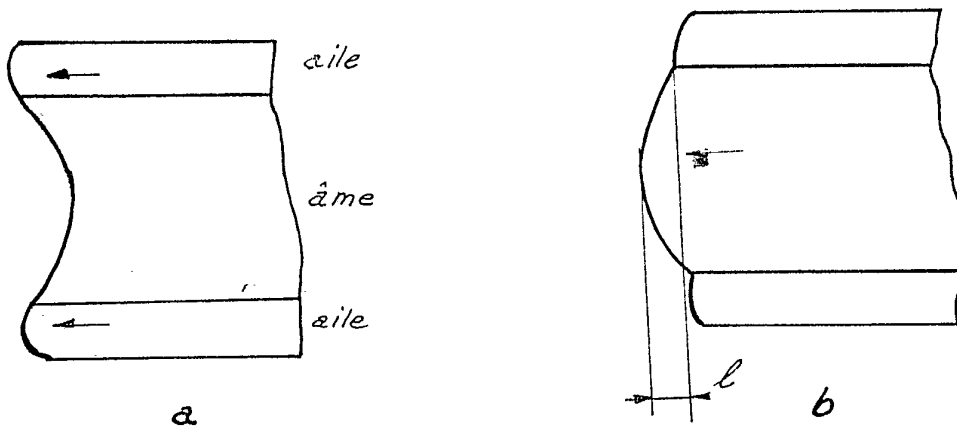


FIG. 4

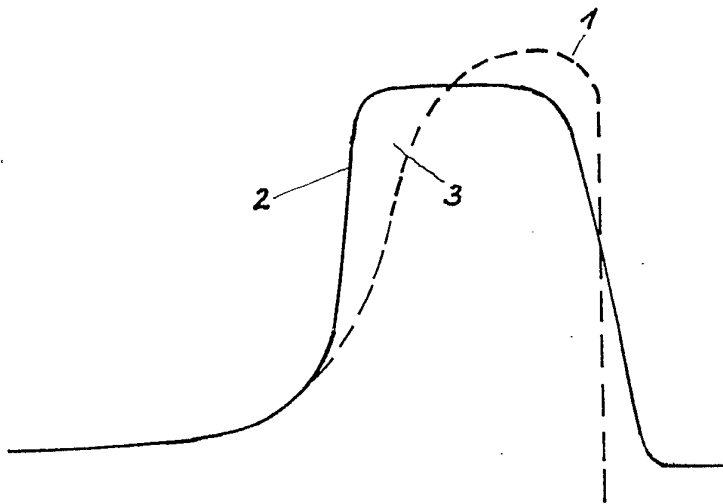


FIG. 5

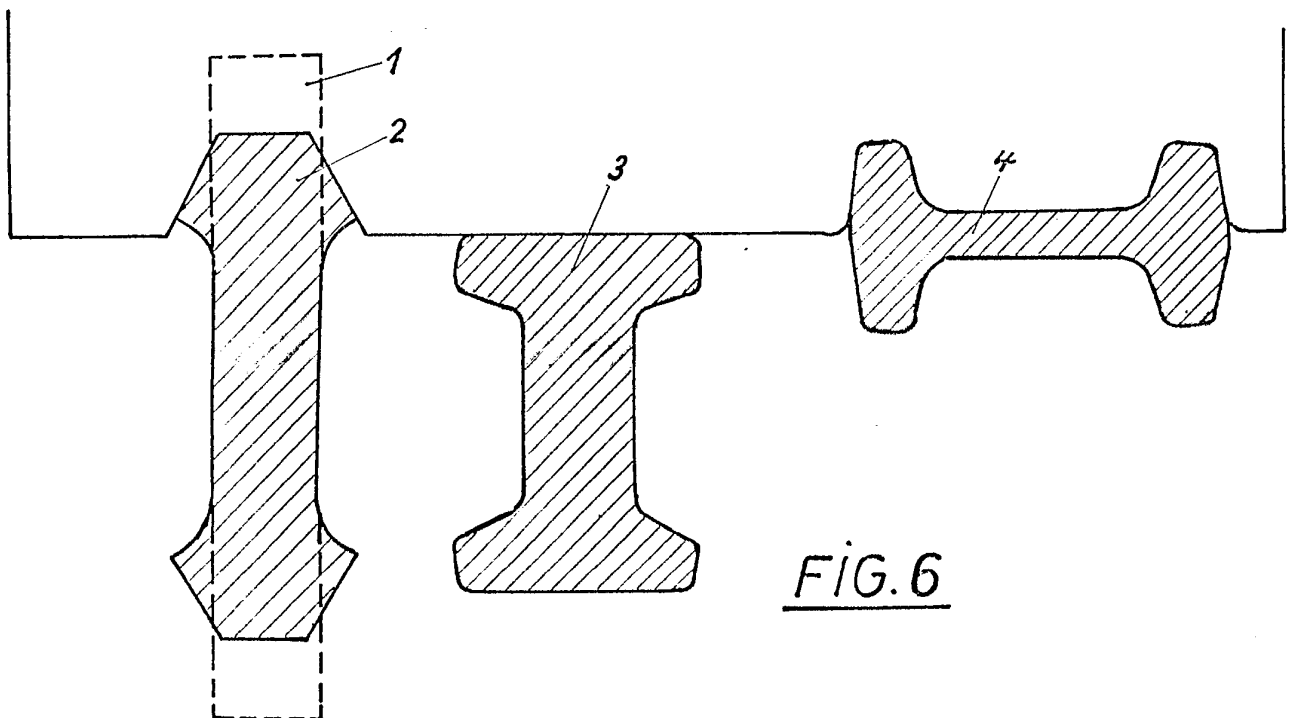


FIG. 6

3/11

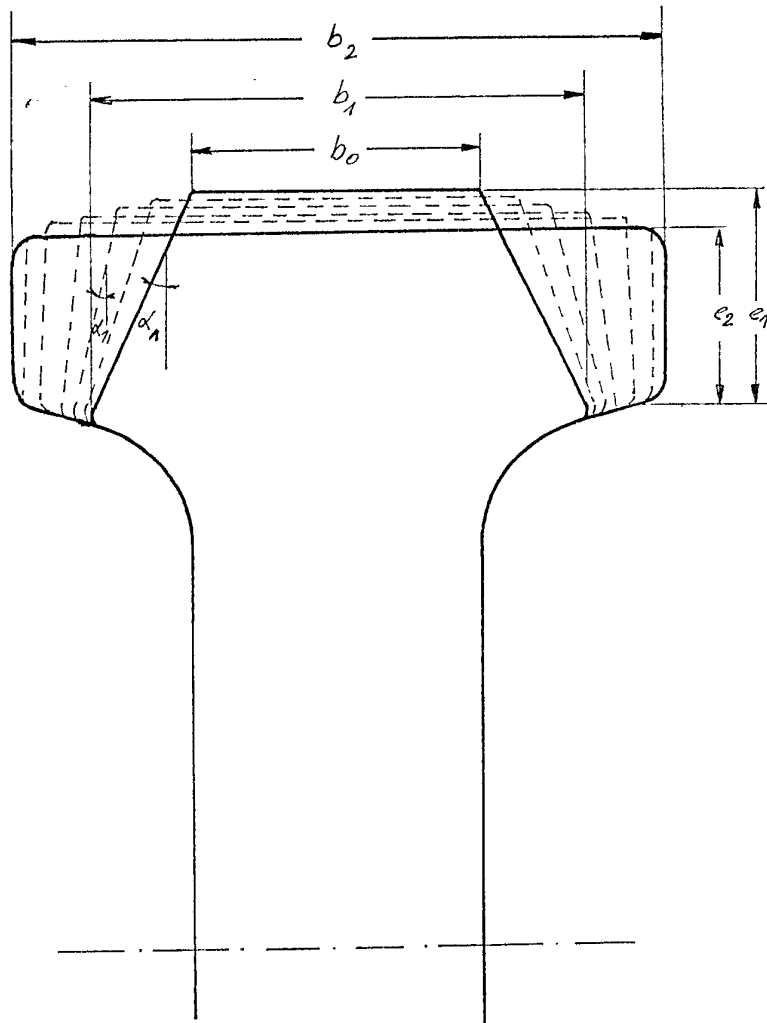


FIG. 7

4/11

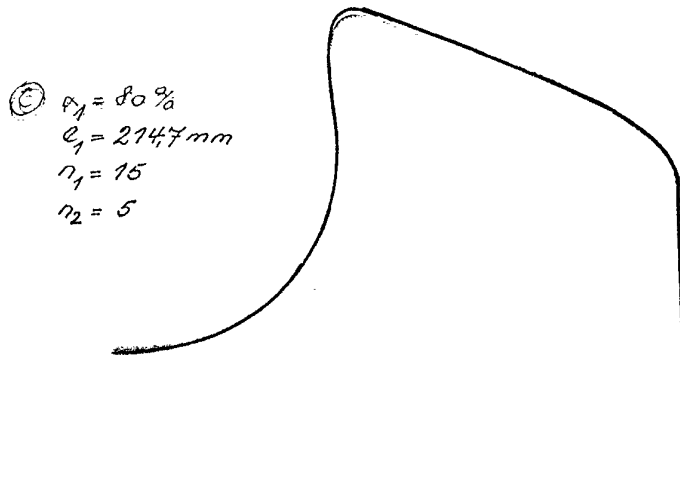
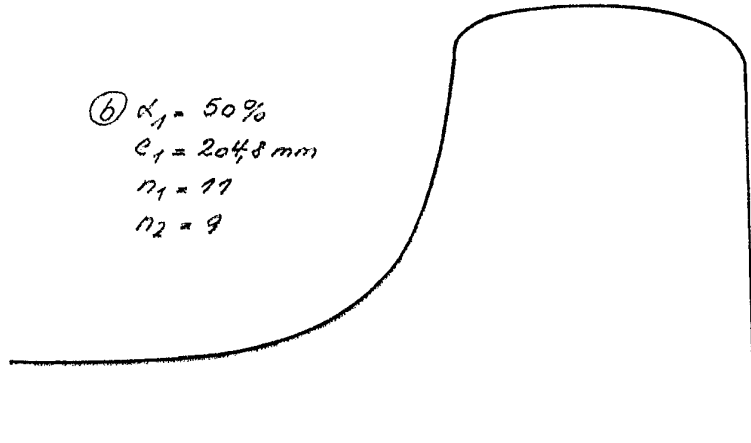
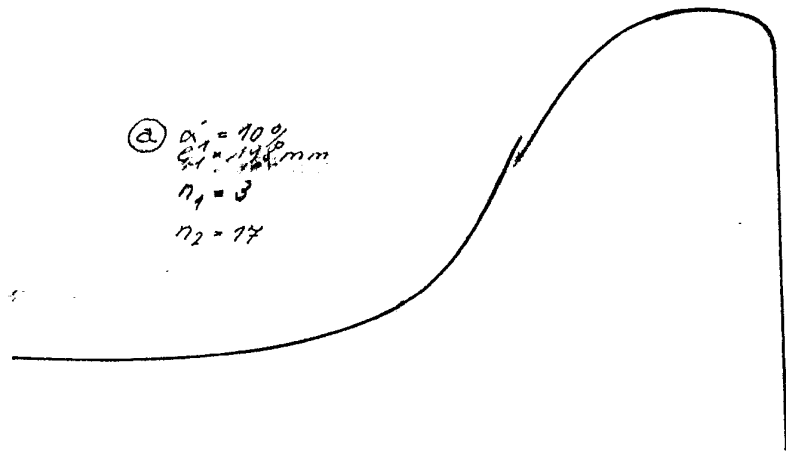


FIG. 8

5/11

$$\alpha \div n_1 = 9 \quad n_2 = 11$$

$$b \div n_1 = 6 \quad n_2 = 14$$

$$h_0 = 1800 \text{ mm}$$

$$b_0 = 300 \text{ mm}$$

$$h_2 = 1080 \text{ mm}$$

$$\alpha_1 = 50\%$$

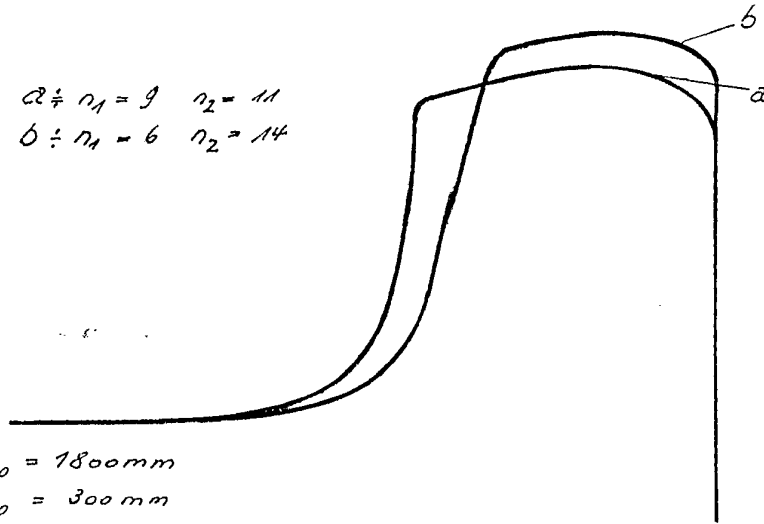
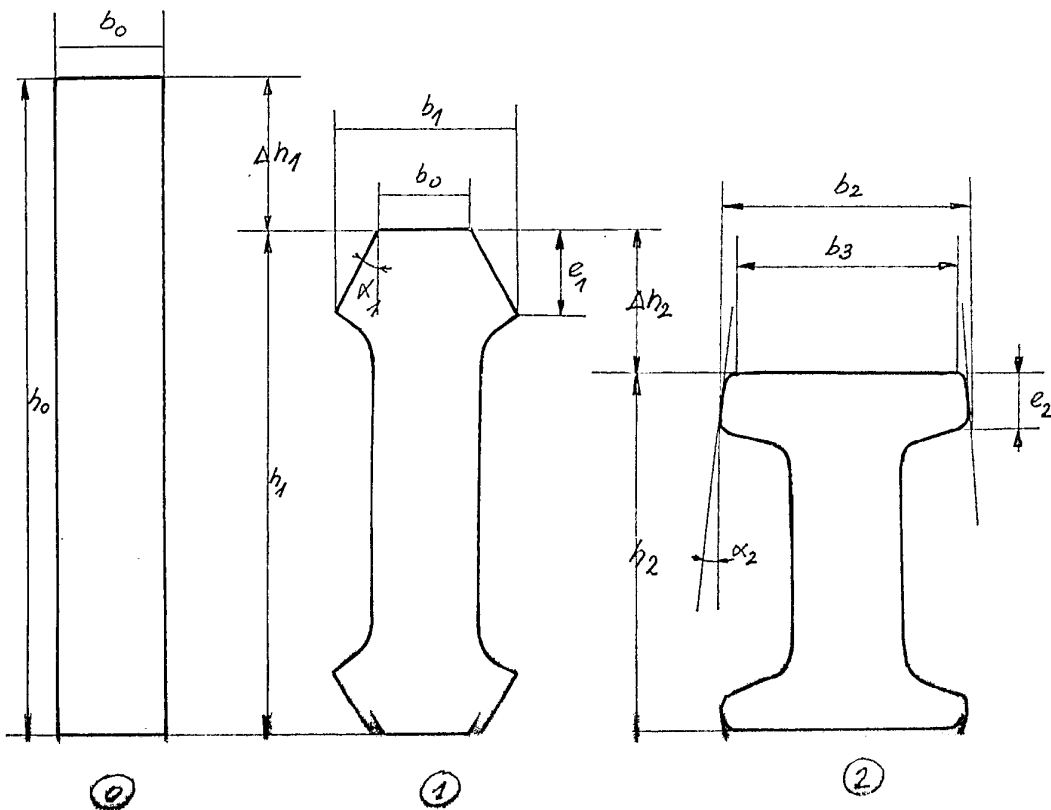


FIG. 9



Relations g n rales:

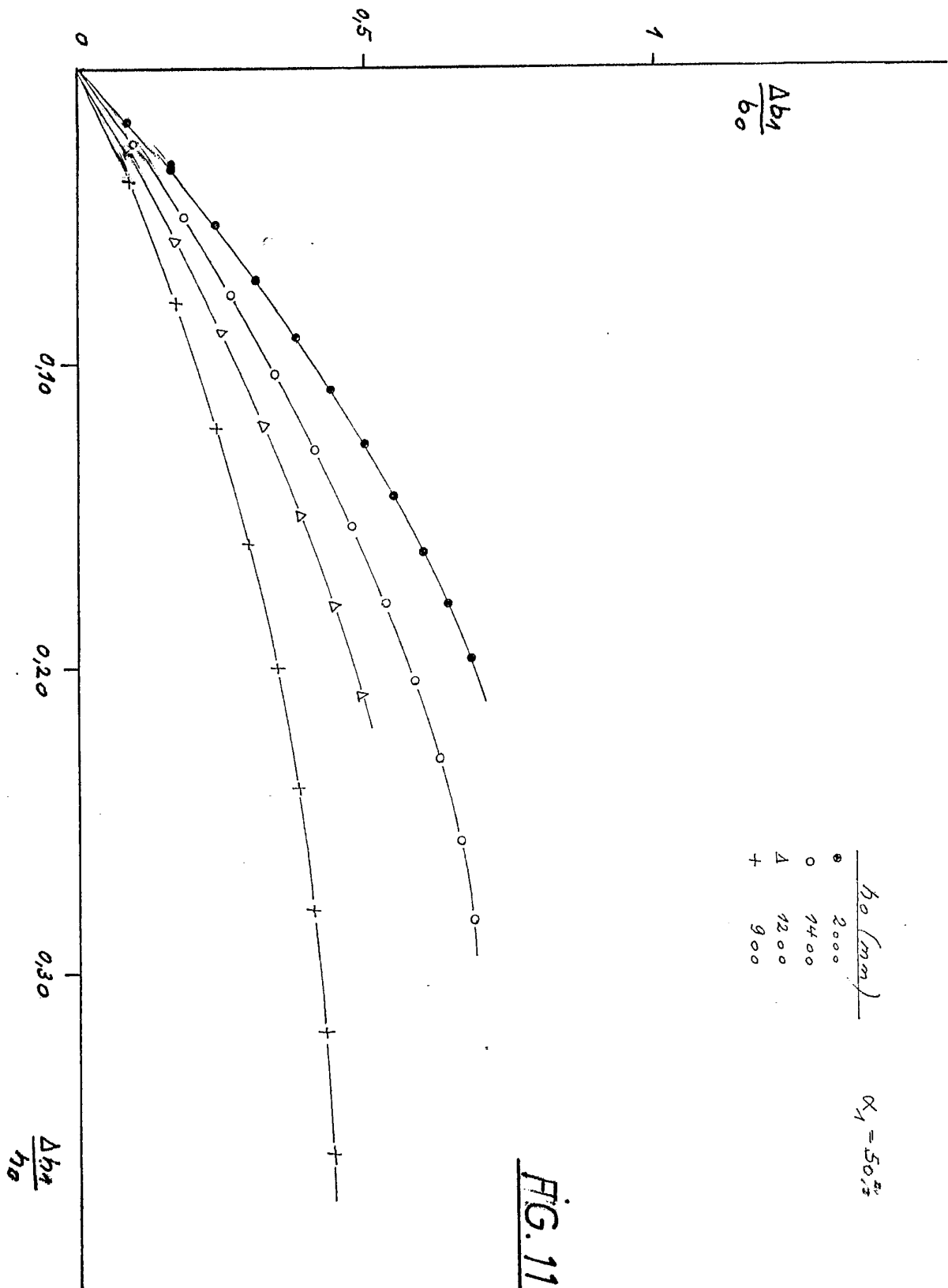
$$\textcircled{1} : \tan \alpha = \frac{\Delta b_1}{2 e_1}$$

$$b_{m1} = \frac{b_0 + b_1}{2}$$

$$\textcircled{2} \quad b_{m2} = \frac{b_2 + b_3}{2}$$

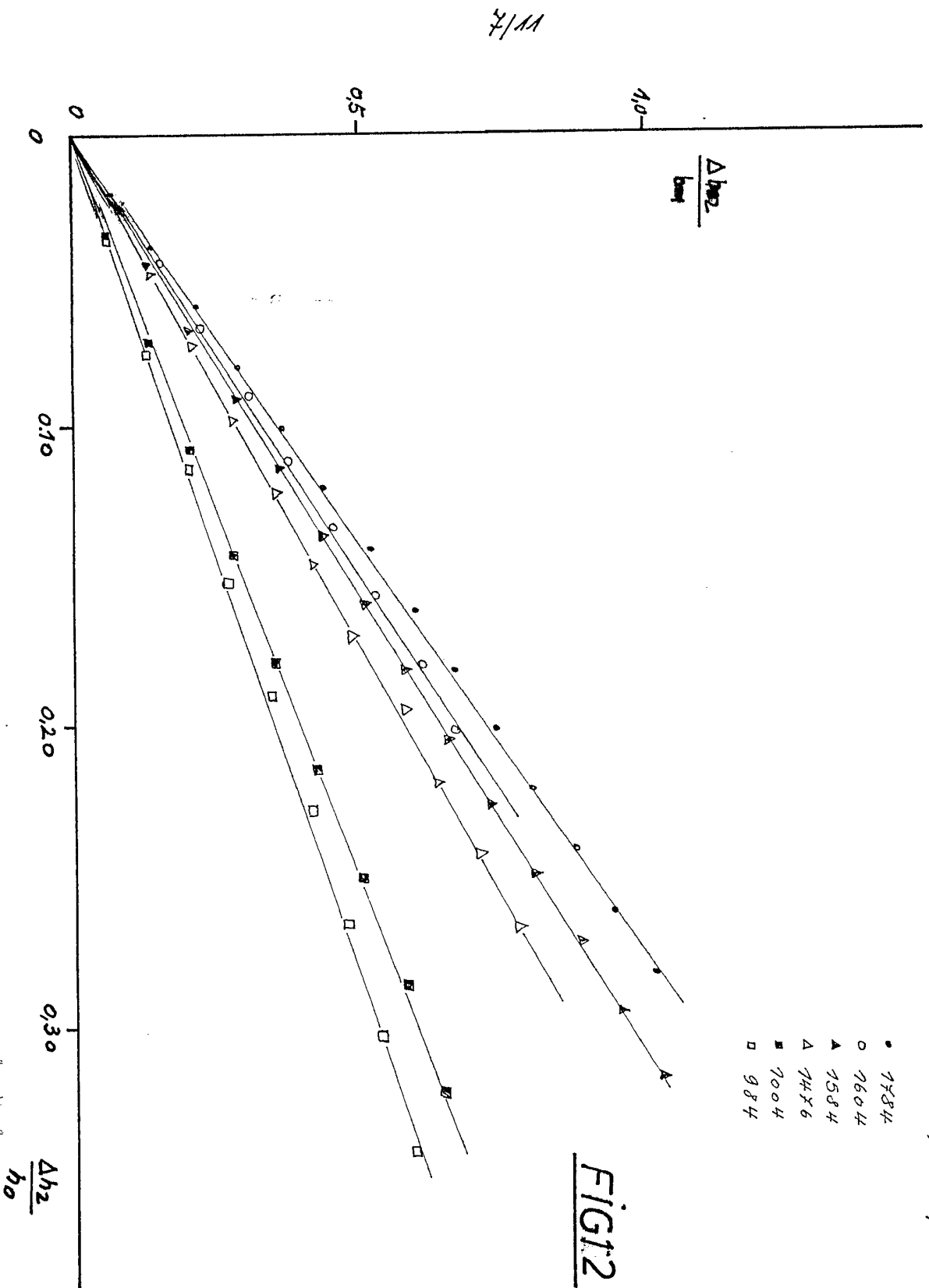
FIG. 10

6/11



$\frac{\Delta h_1}{h_0}$

$\frac{\Delta h_1}{b_0}$



b_1 (mm) $\alpha_1 = 50\%$

- 1784
- 1604
- ▲ 1584
- △ 1476
- 1004
- 984

8/11

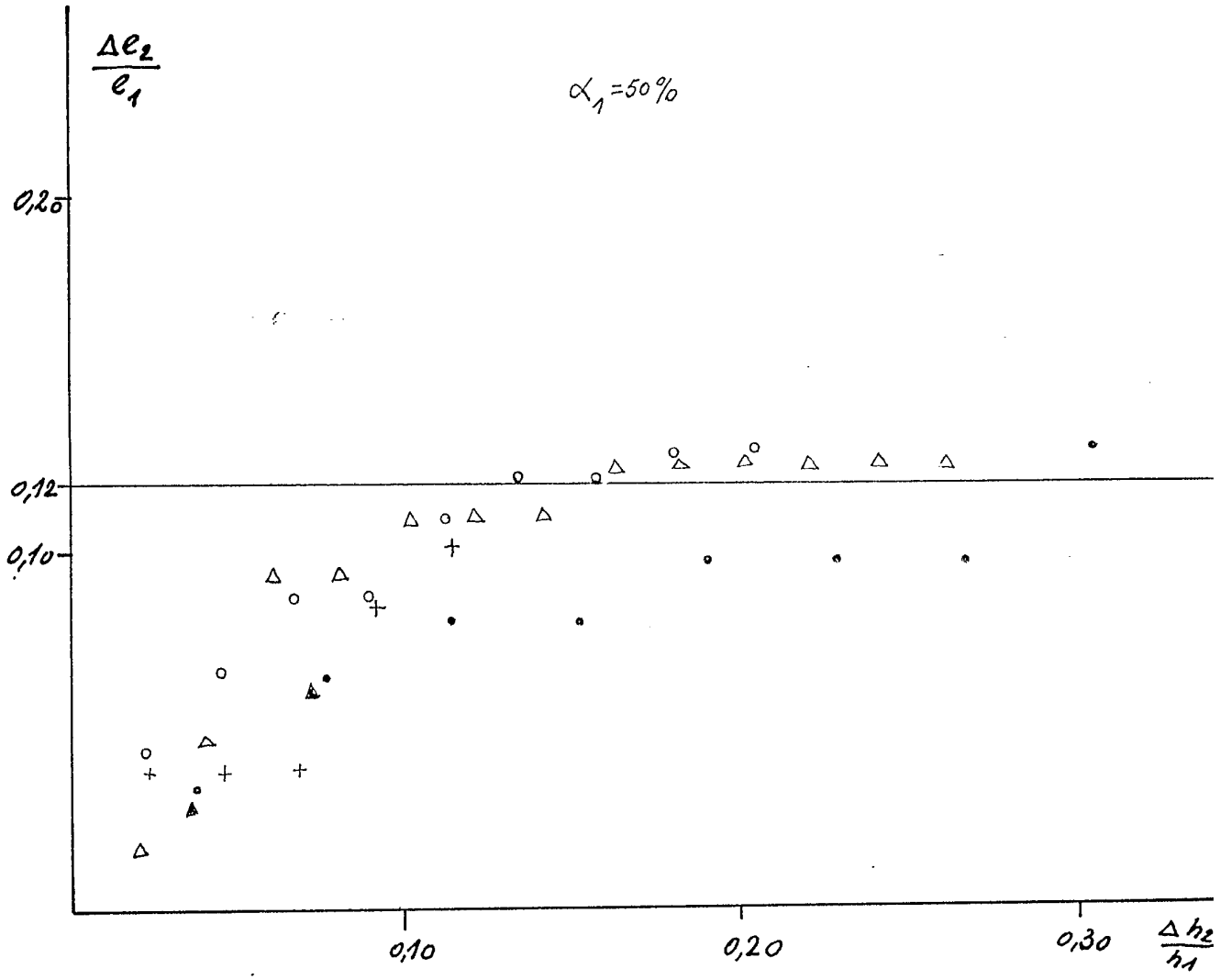


FIG.13

9/11

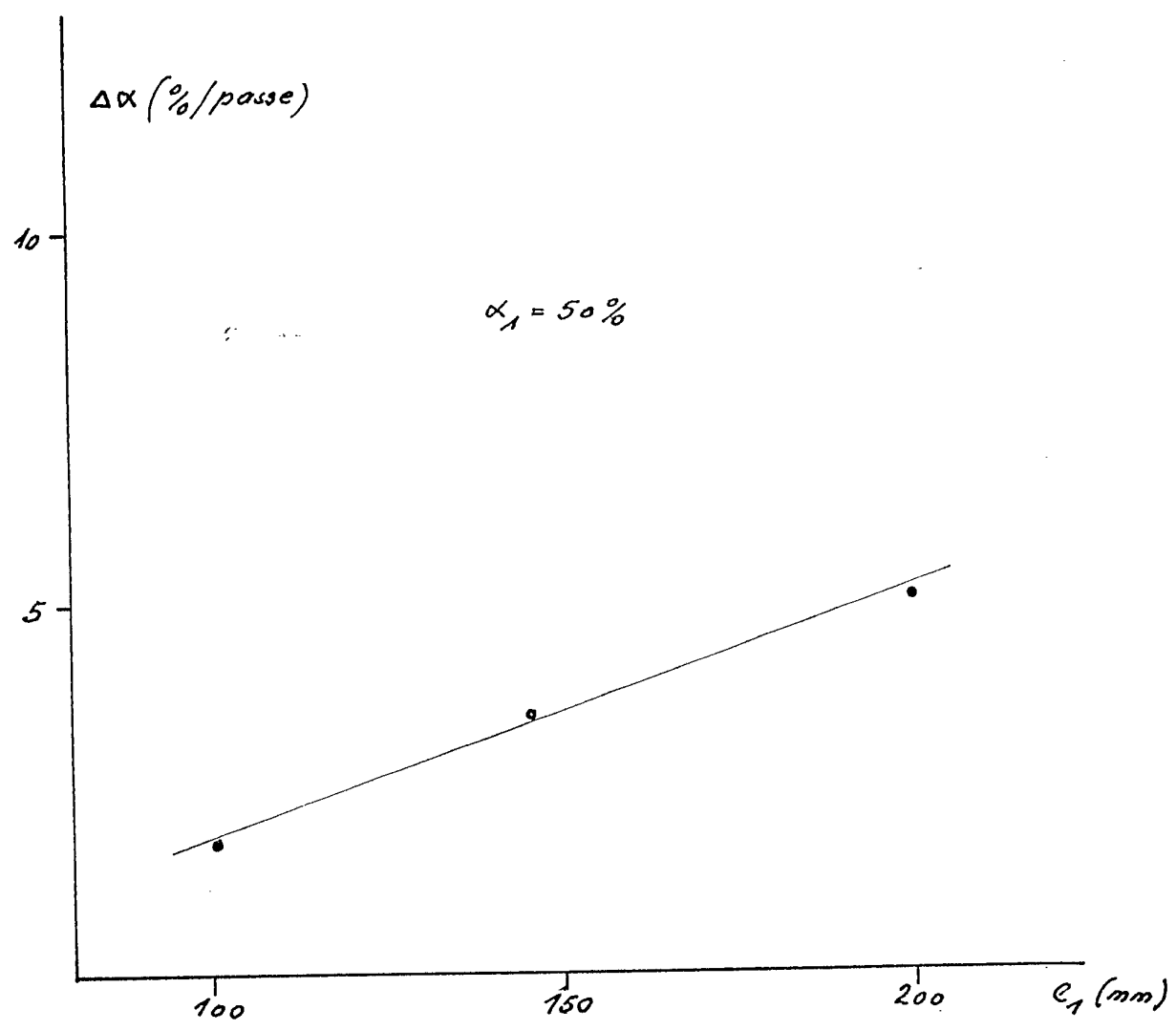


FIG. 14

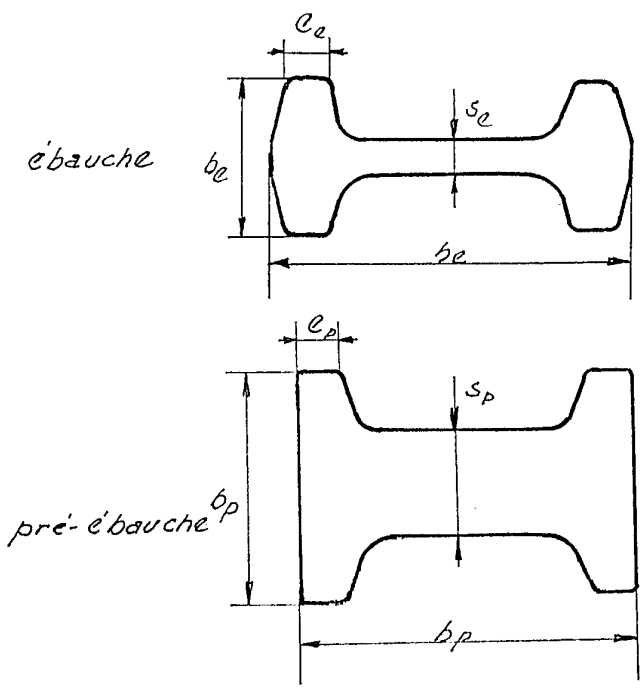


FIG. 15

10/11

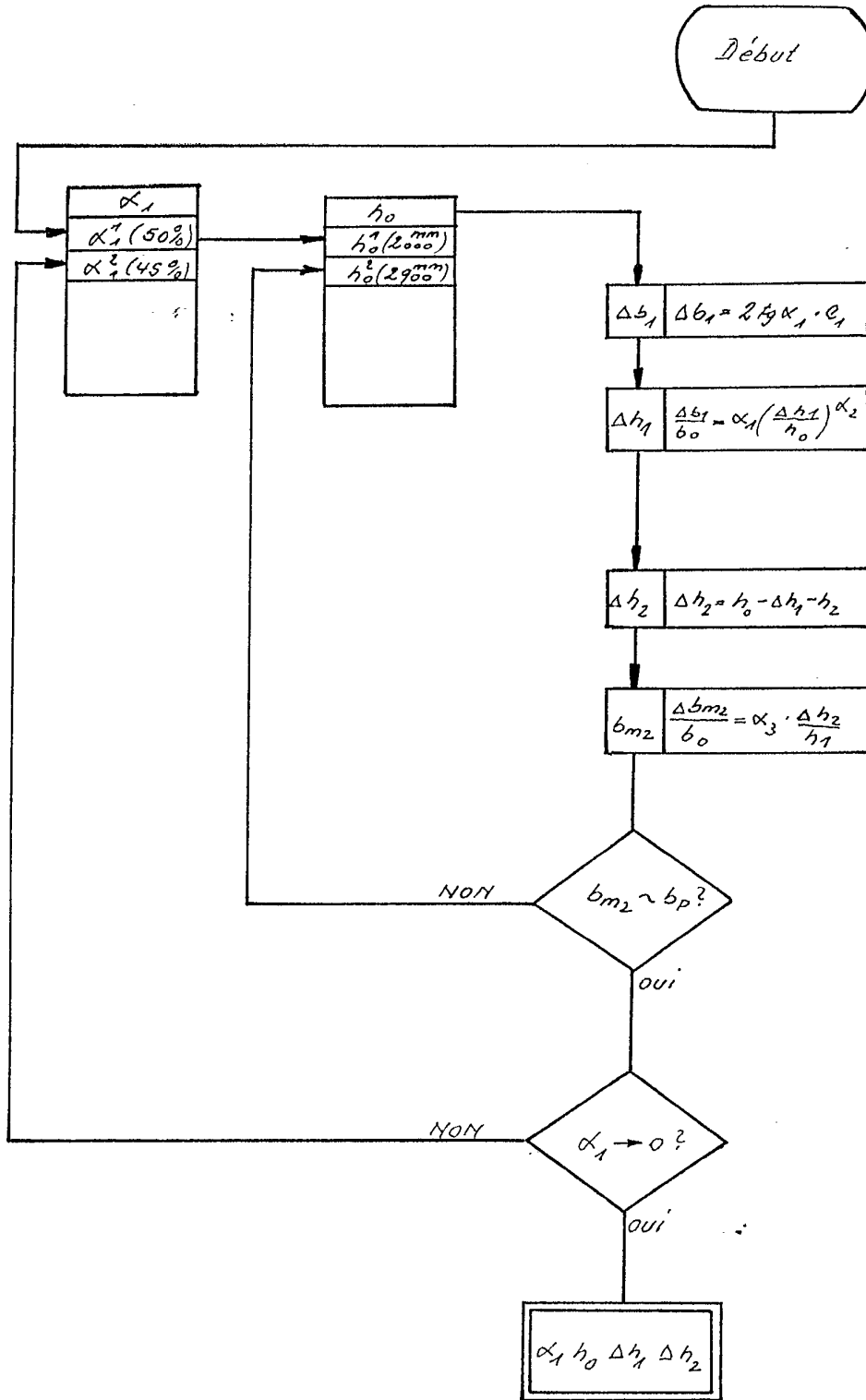


FIG. 16

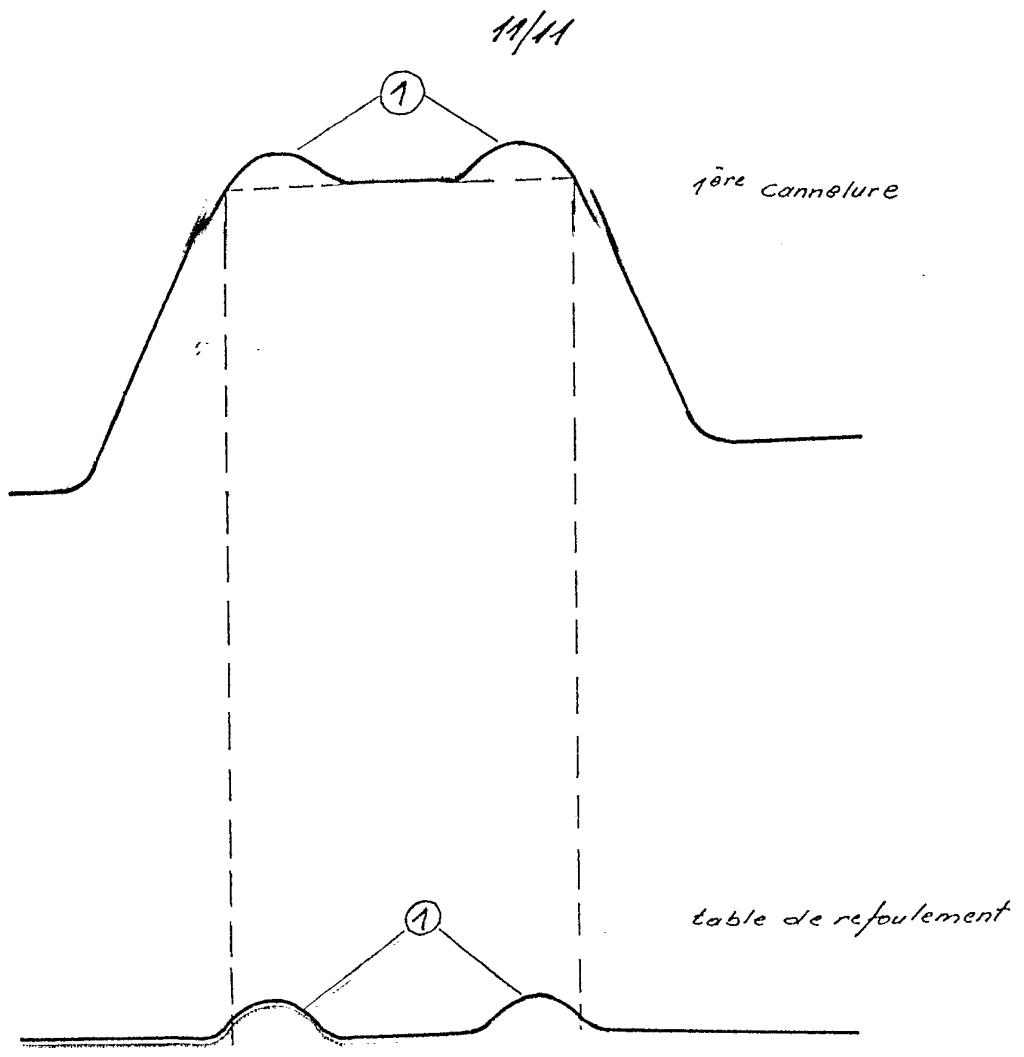


FIG.17