

# Silindirik Saç Çekme Matrislerinin Dayanma Süresi

## Durée Des Matrices Cylindriques D'emboutissage

Nurettin ÇUHADAR <sup>1)</sup>

Salâhaddin ANIK <sup>2)</sup>

Levon ÇAPAN <sup>3)</sup>

Saç çekme matrisleri saçlara şekil vermede kullanılan takımların bir parçasıdır. Bunlardan silindirik bir kabin çekilmesinde pek yaygın olarak kullanılan halka biçimindeki matris endüstride büyük önem taşır. Her takım için olduğu gibi, saç çekme matrisleri için de bir dayanma süresi söz konusudur. Günümüze kadar yapılmış olan saç çekme ile ilgili araştırmaların büyük çoğunluğu kaliteli bir çekme parçasının elde edilebilmesi gayesine yönelmiş olup, matrislerin dayanma süresi hakkında herhangi bir çalışma bulunmamaktadır.

Bu çalışmada, silindirik kap çekmede kullanılan matrislerin çekme sırasında zorlanmaları önce teorik olarak incelenmiş ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir :

— Çekme saçımda teğetsel gerilmelerin radyal gerilmelerden büyük olduğu noktalarda matrise basınç gerilmeleri etki etmektedir;

— Teğetsel gerilmelerin radyal gerilmelerden küçük olduğu noktalarda, sürtünme dışında matrise etkiyen herhangi bir kuvvet yoktur;

— Çekme saçının, çekme kenarı yuvarlatması boyunca kırılmasından dolayı matrise etkiyen gerilmeler, yuvarlatma merkezinden geçer. Bu gerilmelerin bileşkesi de yine yuvarlatma merkezinden geçtiği gibi, matris eksenini ile de  $45^\circ$  lik bir açı yapar.

(1) Emekli Ord. Prof. İ.T.Ü. Makina Fakültesi Teknoloji Kürsüsü.

(2) Prof. İ.T.Ü. Makina Fakültesi Teknoloji Kürsüsü.

(3) Dr. Müh. İ.T.Ü. Makina Fakültesi Teknoloji Kürsüsü. (Université Technique d'Istanbul Faculté de Mécanique Chaire de Technologie)

*Ayrıca, matrislerin derin çekme sırasında presin çalışma frekansına eşit bir frekansla ve değeri sıfırla maksimum çekme kuvveti arasında değişen yatay bir kuvvetle radyal olarak açılmaya zorlandığı teorik ve deneysel olarak ispatlanmıştır.*

*Derin çekme sırasında, silindirik saç çekme matrislerine etkiyen gerilmelerin incelenmesinden sonra, geliştirilen bir metod ve özel olarak imal edilen deney tesisatı ile, herhangi bir derin çekme işlemi yapmadan matrisleri çekme kenarı yuvarlatması boyunca radyal olarak açılmaya zorlamak mümkün olmuş, bu metod ve deney tesisatı ile yapılan deneylerle silindirik saç çekme matrislerinin dayanma sürelerine etkiyen faktörler belirli bir takım çeliği ve belirli bir çekme kuvveti için araştırılmış ve saptanmıştır.*

---

*Les matrices d'emboutissage font partie des outils pour le formage des toles. Celles qui sont utilisées pour l'emboutissage des pièces cylindriques ont une grande importance dans l'industrie. Comme pour tout outil, pour les matrices d'emboutissage aussi il est question d'une durée. Le but de la plupart des recherches faites sur l'emboutissage étant d'obtenir un embouti de bonne qualité, aucun travail n'a été fait jusqu'à nos jours sur la durée des matrices.*

*Dans cette recherche, l'étude théorique de l'état de contrainte des matrices d'emboutissage de pièces cylindriques a conduit aux résultats suivants ;*

— *Dans la tôle d'emboutissage, aux points où les tensions tangentielles sont plus grandes que les tensions radiales la matrice est soumise à la compression ;*

— *Aux points où les tensions tangentielles sont plus petites que les tensions radiales aucune force n'agit sur la matrice exception faite des forces de frottement ;*

— *Les tensions tout au long de l'arrondi sur la matrice passent par le centre de l'arrondi ainsi que leur résultante. Cette dernière fait un angle de 45° avec l'axe de la matrice.*

On a démontré aussi théoriquement et expérimentalement que pendant l'emboutissage une force horizontale et égale à la force d'emboutissage agit radialement sur la matrice avec une fréquence égale à celle de la presse.

Après l'étude des tensions agissant sur la matrice pendant l'emboutissage, au moyen d'une nouvelle méthode et d'une machine d'essais conçue et construite spécialement, on a cherché et déterminé les différents facteurs qui influent à la durée des matrices pour un acier d'outil et pour une force d'emboutissage déterminés.

## 1 — INTRODUCTION

La durée des matrices d'emboutissage peut être étudiée en deux parties différentes :

- 1) Fatigue,
- 2) Frottement et usure.

Dans cette recherche, on a étudié la durée des matrices cylindriques d'emboutissage au point de vue des efforts alternés.

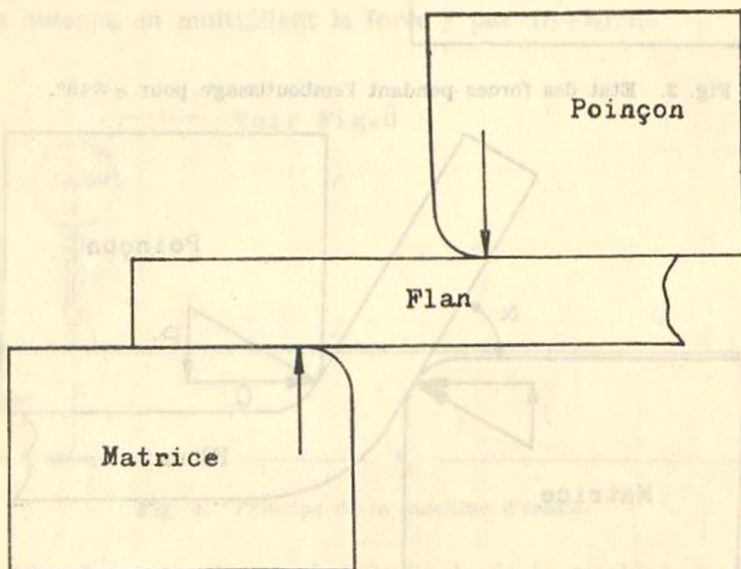


Fig. 1. Etat des forces au début de l'emboutissage, au moment où le poinçon touche le flan.

Il est évident que pendant l'emboutissage la matrice est soumise à une déformation radiale. Comme on sait la force d'emboutissage, il faut aussi connaître la force radiale qui s'exerce sur la matrice et qui la déforme radialement. Au début de l'emboutissage, c'est-à-dire au

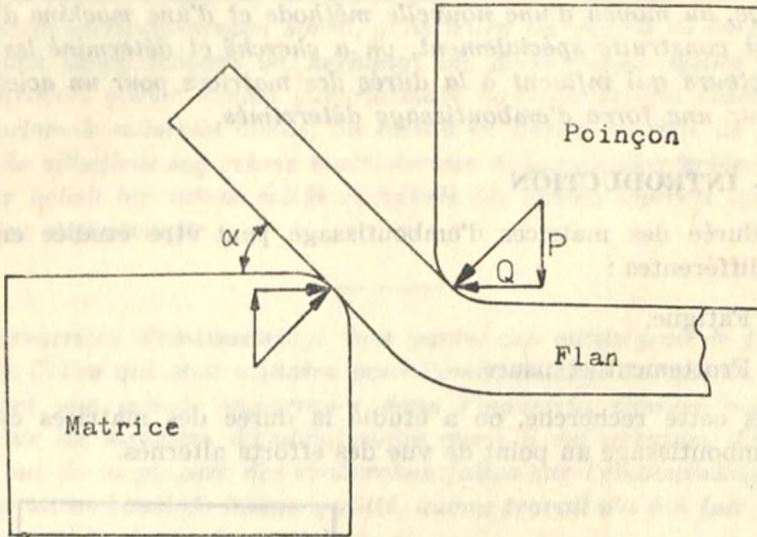


Fig. 2. Etat des forces pendant l'emboutissage pour  $\alpha = 45^\circ$ .

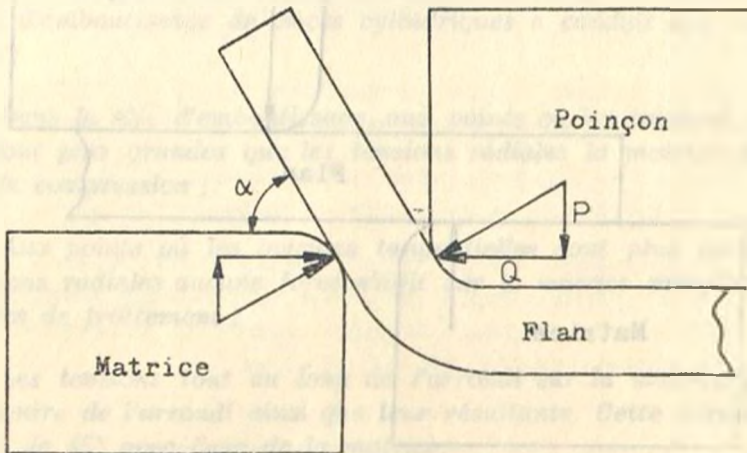


Fig. 3. Etat des forces pendant l'emboutissage pour  $\alpha = 60^\circ$ .

moment où le poinçon touche le flan, il n'y a aucune force radiale qui agit sur la matrice (Fig. 1).

Quand le flan commence à être embouti, une force radiale s'exerce sur la matrice et oblige cette dernière à se déformer radialement (Fig. 2 et 3).

Comme  $\text{tg } \alpha = Q/P$ , pour  $\alpha = 45^\circ$ , la force radiale  $Q$  atteint la valeur de la force maximum d'emboutissage. Pendant l'emboutissage, les matrices sont soumises à des déformations radiales sous l'influence de la force  $Q$  dont la valeur change pendant l'opération entre zéro et la force maximum d'emboutissage. Cette idée sera étudiée plus tard et prouvée expérimentalement.

## 2 — LA MACHINE D'ESSAIS

Au moyen de cette machine d'essais, conçue et construite spécialement dans les laboratoires et ateliers de la Chaire de Technologie de la Faculté de Mécanique de l'Université Technique d'Istanbul, il a été possible d'étudier la durée des matrices au point de vue des efforts alternés dans les mêmes conditions que l'emboutissage. On voit sur la Fig. 4 le principe de cette machine. La force  $F$  qui s'exerce sur la matrice est obtenue en multipliant la force  $f$  par  $(l_1 + l_2)/l_1$ .

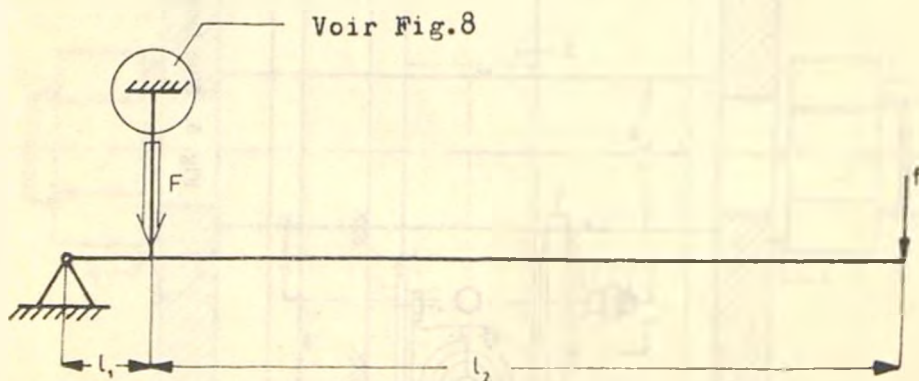


Fig. 4. Principe de la machine d'essais.

La Fig. 5 montre la vue longitudinale de la machine, la Fig. 6 la coupe A-A, la Fig. 7 la coupe B-B, la Fig. 8 la coupe C-C, la Fig. 9 la coupe D-D.

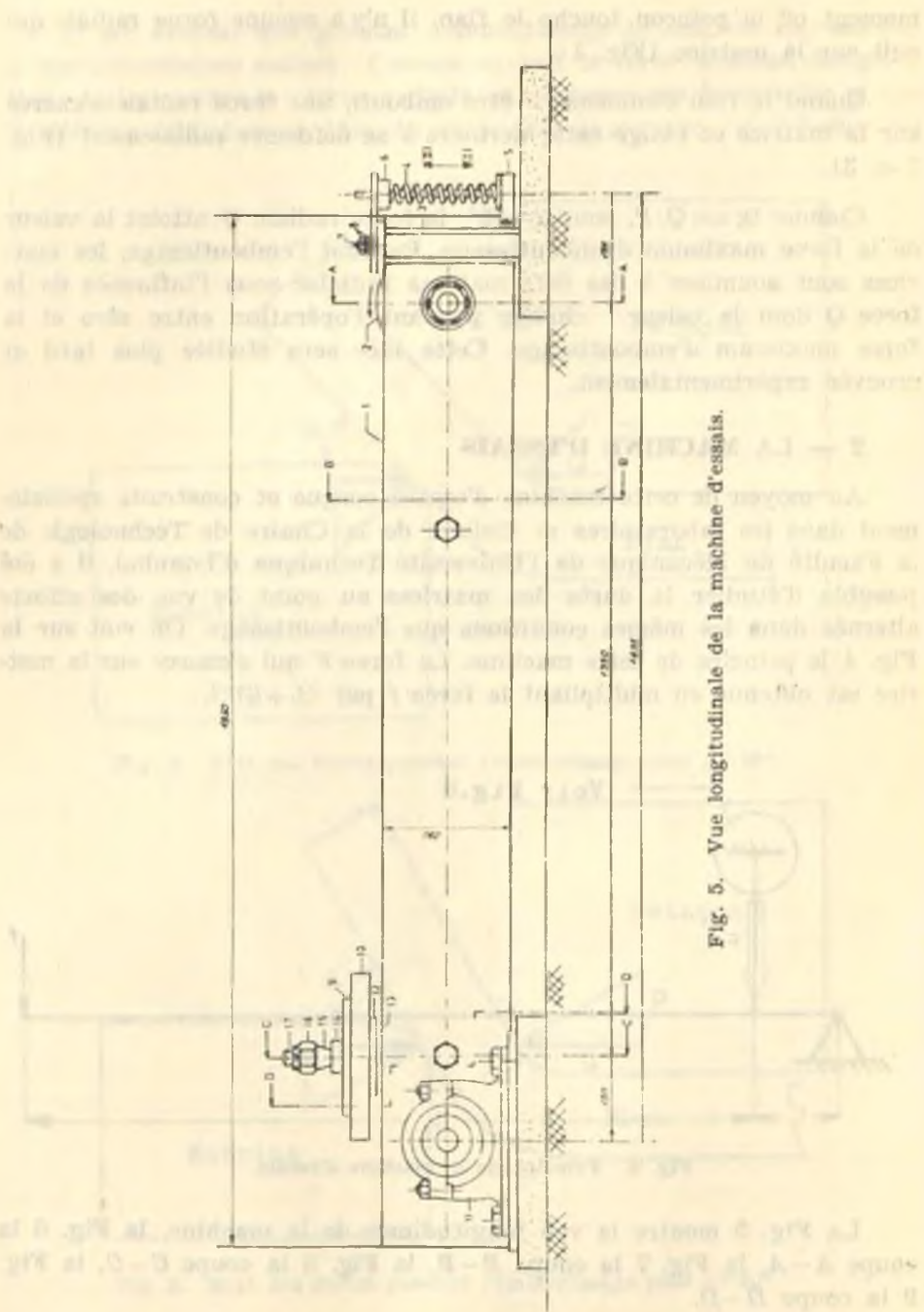


Fig. 5. Vue longitudinale de la machine d'essais.

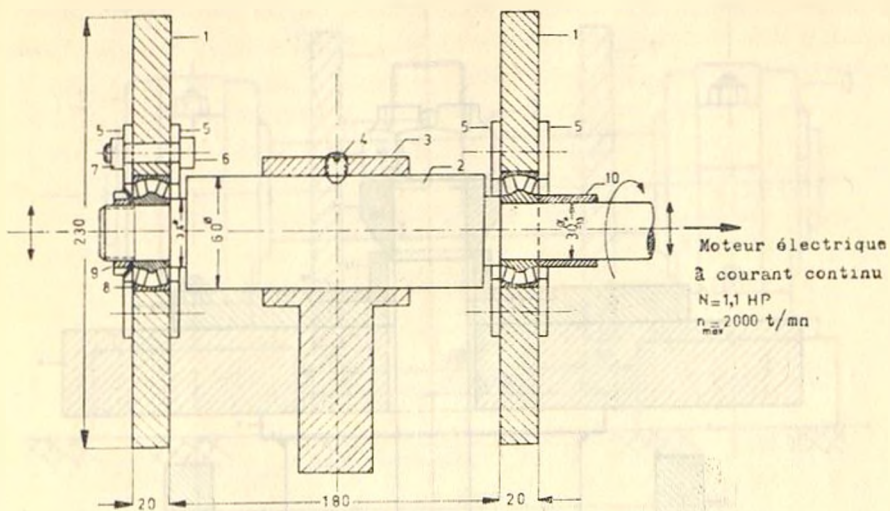


Fig. 6. Coupe A—A, Fig. 5

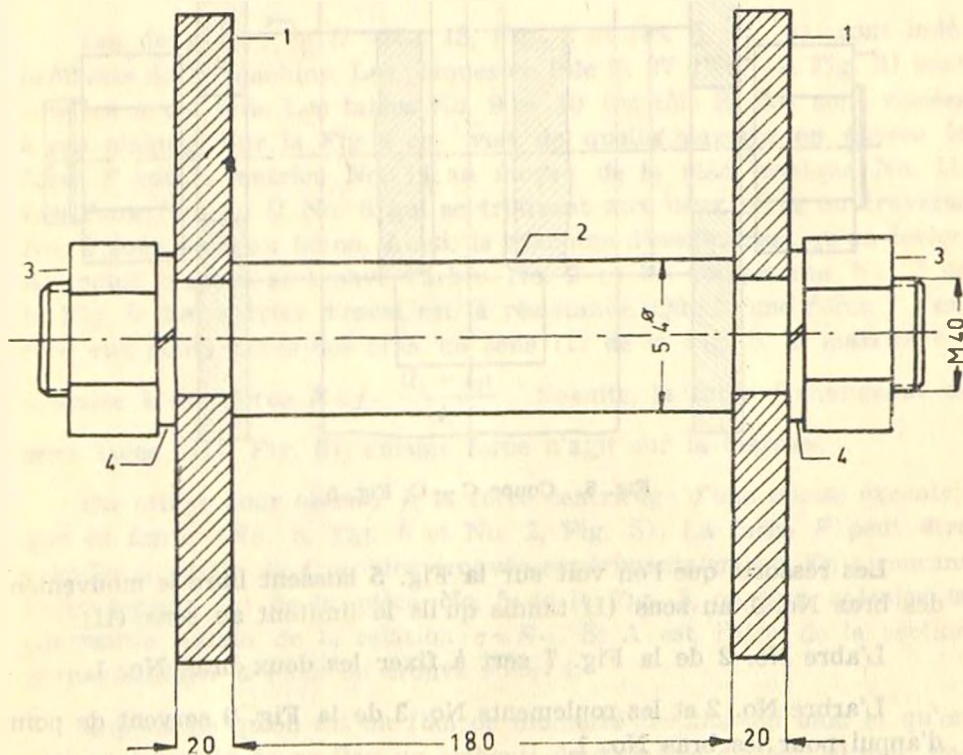


Fig. 7. Coupe B—B, Fig. 5

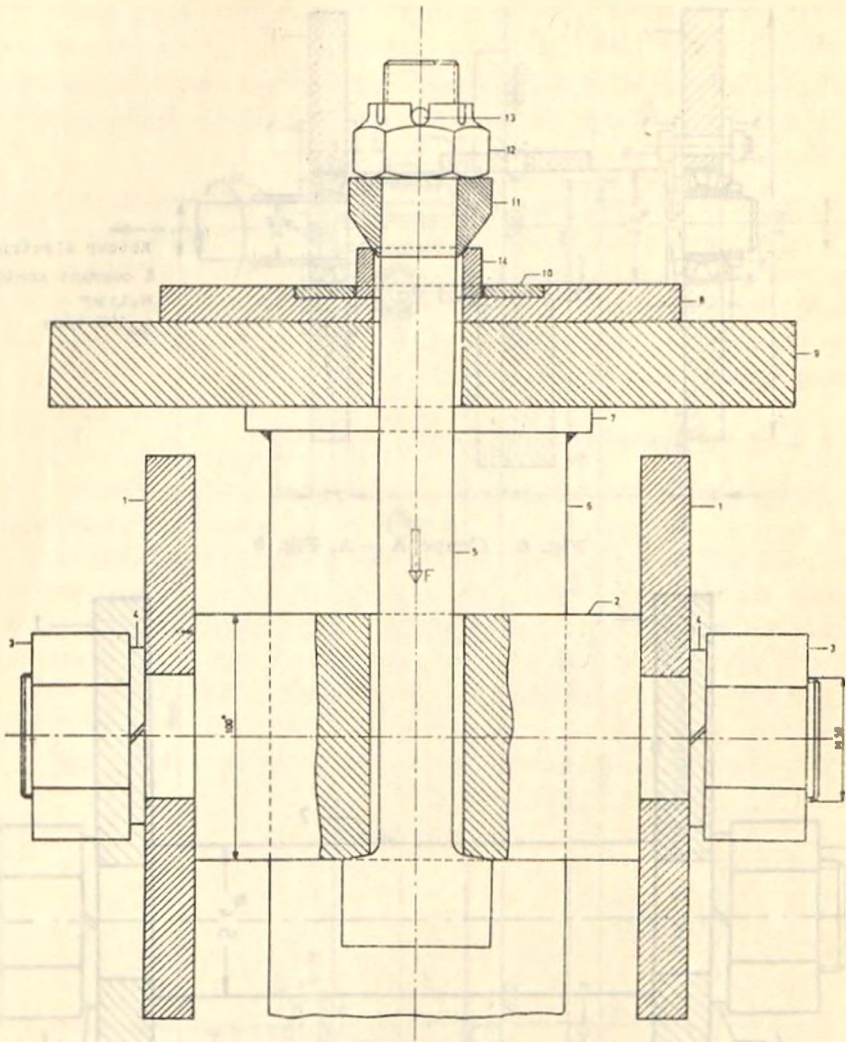


Fig. 8. Coupe C — C, Fig. 5

Les ressorts que l'on voit sur la Fig. 5 laissent libre le mouvement des bras No. 1 au sens (I) tandis qu'ils le limitent au sens (II).

L'arbre No. 2 de la Fig. 7 sert à fixer les deux bras No. 1.

L'arbre No. 2 et les roulements No. 3 de la Fig. 9 servent de point d'appui pour les bras No. 1.



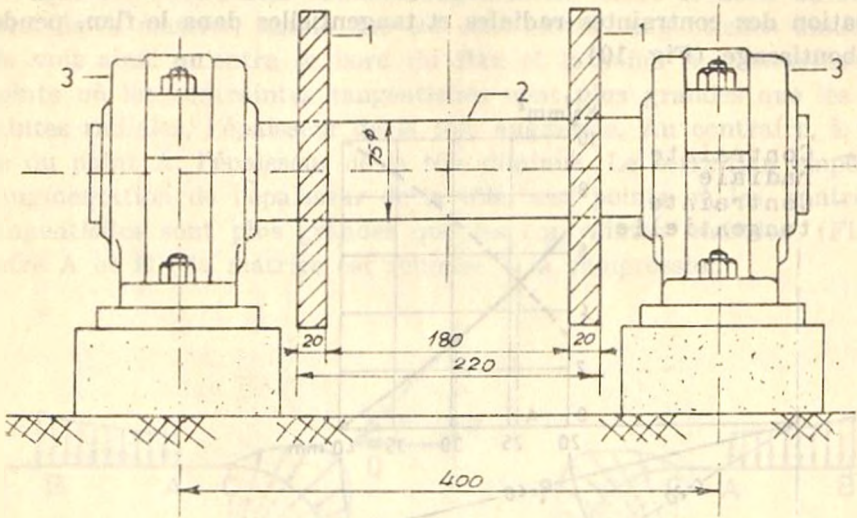


Fig. 9. Coupe D — D. Fig. 5

Les deux fers en U (No. 13, Fig. 5 et No. 6 Fig. 8) sont indépendants de la machine. Les plaques en tôle St 37 (No. 12, Fig. 5) sont soudées à ces fers. Les tables No. 9 et 10 (en tôle St 50) sont vissées à ces plaques. Sur la Fig. 8 on voit de quelle manière on exerce la force  $F$  sur la matrice No. 14 au moyen de la pièce conique No. 11. Les deux fers en U No. 6 qui se trouvent aux deux côtés du traverse No. 2 sont fixés au béton. Ainsi, la machine d'essais n'est qu'un levier. Au point d'appui se trouve l'arbre No. 2 et les roulements No. 3 de la Fig. 9. La matrice d'essai est la résistance. Quand une force  $f$  s'exerce aux bouts libres des bras, au sens (I) de la Fig. 5, la matrice est soumise à une force  $F = f \cdot \frac{(l_1 + l_2)}{l_1}$ . Ensuite, la force  $f$  changeant de sens (sens (II), Fig. 5), aucune force n'agit sur la matrice.

On utilise pour obtenir  $f$ , la force centrifuge d'une masse excentrique en fonte (No. 3, Fig. 6 et No. 2, Fig. 5). La force  $F$  peut être calculée à partir de  $f$  ou bien trouvée expérimentalement. En mesurant l'allongement ( $\varepsilon$ ) de la pièce No. 5 de la Fig. 8, on peut calculer la contrainte axiale de la relation  $\sigma = E \cdot \varepsilon$ . Si  $A$  est l'aire de la section perpendiculaire à l'axe on trouve  $F = \sigma \cdot A$ .

Supposons qu'on ait un flan de diamètre  $D = 2R_0 = 80$  mm. et qu'on obtient à partir de ce flan un embouti de diamètre  $d = 2r_3 = 40$  mm. Po-

int d'écoulement de la tôle  $\sigma_0 = 10 \text{ Kg/cm}^2$ . Cherchons à déterminer la variation des contraintes radiales et tangentielles dans le flan, pendant l'emboutissage (Fig. 10).

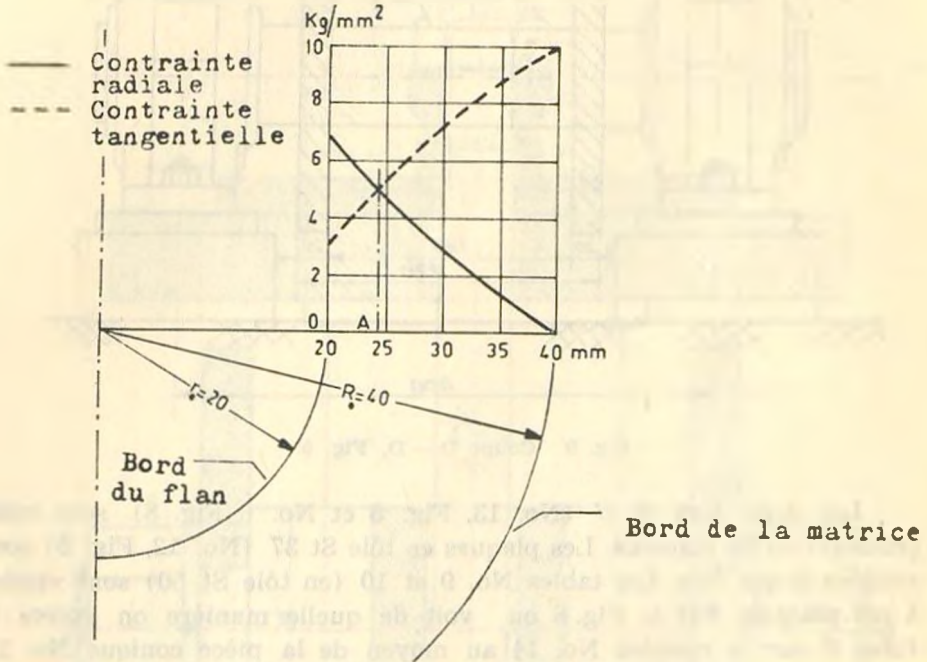


Fig. 10. Variation des contraintes radiales et tangentielles dans le flan, pendant l'emboutissage.

Si on ne tient pas compte du frottement, la contrainte radiale d'un point du flan, à une distance  $r$  de l'axe de la matrice est donnée par

$$\sigma_r = \int_r^{R_0} \sigma_\theta \frac{dr}{r}$$

Quant à la contrainte tangentielle, on la calcule de la relation

$$\sigma_\theta = \sigma_r - \sigma_0$$

La contrainte radiale étant nulle au bord du flan, la contrainte tangentielle prend la valeur  $-\sigma_0$ . On voit ainsi qu'au bord du flan, la tôle est soumise aux contraintes tangentielles compressives. Si, aux différents points du flan, on calcule les contraintes  $\sigma_r$  et  $\sigma_\theta$  on voit (Fig.

10) que les contraintes radiales augmentent entre le bord du flan et celui de la matrice, tandis que les contraintes tangentielles diminuent. On voit ainsi qu'entre le bord du flan et le point A, c'est-à-dire aux points où les contraintes tangentielles sont plus grandes que les contraintes radiales, l'épaisseur de la tôle augmente. Au contraire, à gauche du point A, l'épaisseur de la tôle diminue. Le serre-flan empêchant l'augmentation de l'épaisseur de la tôle, aux points où les contraintes tangentielles sont plus grandes que les contraintes radiales (Fig. 11, entre A et B), la matrice est soumise à la compression.

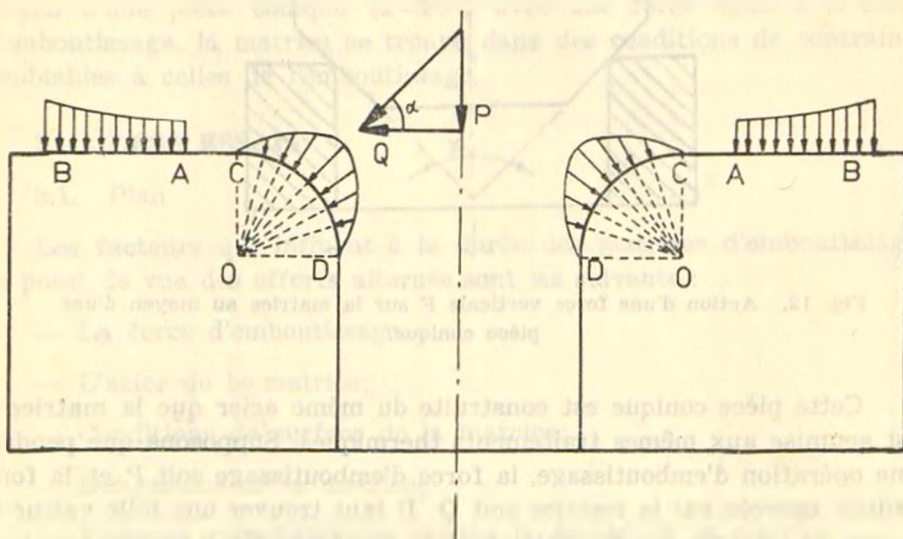


Fig. 11. Tensions agissant sur la matrice, pendant l'emboutissage.

Entre A et C où les contraintes tangentielles étant plus petites que les contraintes radiales, l'épaisseur de la tôle diminue, si on néglige le frottement, aucune force n'agit sur la matrice. L'idée que les tensions qui agissent sur la matrice entre les points C et D passent par le centre O de l'arrondi a été prouvée expérimentalement. Comme après le point D il n'y a aucune force qui agit sur la matrice, les tensions entre C et D doivent passer par un maximum (Fig. 11). Comme les tensions passent par 0, leur résultante aussi doit passer par le même point en faisant un angle de  $45^\circ$  par l'horizontal. La composante horizontale Q de cette résultante est égale à la force d'emboutissage P (puisque  $\text{tg } \alpha = P/Q$  et  $\alpha = 45^\circ$ ).

A l'étude expérimentale du problème, la matrice est soumise à l'action d'une force verticale  $F$  au moyen d'une pièce conique (Fig. 12 et No. 11, Fig. 8; No. 15, Fig. 5).

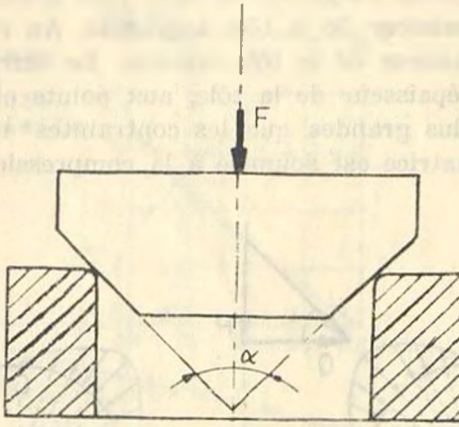


Fig. 12. Action d'une force verticale  $F$  sur la matrice au moyen d'une pièce conique.

Cette pièce conique est construite du même acier que la matrice et est soumise aux mêmes traitements thermiques. Supposons que pendant une opération d'emboutissage, la force d'emboutissage soit  $P$  et la force radiale exercée sur la matrice soit  $Q$ . Il faut trouver une telle valeur de  $\alpha$  que, si on agit sur la matrice avec une force  $F=P$  au moyen de la pièce conique, la force radiale développée soit égale à  $Q$ .

Pour cette étude, trois flans de la même tôle et du même diamètre ont été emboutis. Pendant l'emboutissage de ces flans on a mesuré la force d'emboutissage pour chaque millimètre de la course du poinçon ainsi que le changement en longueur de la périphérie de la matrice. Les résultats obtenus sont les suivants:

Essai No.	Force Maximum d'emboutissage (Kg)	Déformation ( $\Delta l/l_0$ ) ( $\mu/\mu$ )
1	4120	$90 \cdot 10^{-6}$
2	4150	$92 \cdot 10^{-6}$
3	4140	$92 \cdot 10^{-6}$

Quand on agit sur la matrice au moyen d'une pièce conique avec  $F=P=4120, 4150$  et  $4140$  Kg, on voit que pour obtenir les mêmes déformations que pendant l'emboutissage des flans, il faut que  $\alpha$  soit égal à  $90^\circ$ . Les déformations trouvées pour  $\alpha=90^\circ$  sont pour  $F=4120$  Kg,  $88.10^{-6} \mu/\mu$ , et pour  $F=4150$  Kg,  $93.10^{-6} \mu/\mu$ .

Ces études théoriques et expérimentales montrent que pendant l'emboutissage une force horizontale dont la valeur change entre zéro et la force maximum d'emboutissage agit radialement sur la matrice avec une fréquence égale à celle de la presse. Si on agit sur la matrice au moyen d'une pièce conique ( $\alpha=90^\circ$ ) avec une force égale à la force d'emboutissage, la matrice se trouve dans des conditions de contrainte semblables à celles de l'emboutissage.

### 3 — LESS ESSAIS

#### 3.1. Plan

Les facteurs qui influent à la durée des matrices d'emboutissage, au point de vue des efforts alternés sont les suivants :

- La force d'emboutissage;
- L'acier de la matrice;
- Conditions de surface de la matrice;
- Dimensions de la matrice;
- Facteurs métallurgiques comme la dureté de la matrice.

Pour limiter le nombre des essais, les trois premiers facteurs n'ont pas été changés.

Pour déterminer l'influence des dimensions, en tenant constant la hauteur  $h$ , le diamètre intérieur  $d$  et le rayon  $r$  de l'arrondi, on a changé le diamètre extérieur  $D$  de la matrice. Ensuite les mêmes essais ont été refaits pour une hauteur différente de la matrice.

Après avoir trempé les matrices dans le même milieu et à la même température, mais en changeant la température de revenu, on a pu chercher aussi l'influence de la dureté sur la durée.

#### 3.2. L'acier

L'acier utilisé pour la construction des matrices avait la composition suivante :

C : 1,00 %    Mn : 0,30 %    Si : 0,25 %    P : 0,035 %  
 S : 0,035 %

### 3.3. Les essais

#### Essais groupe A

Acier	: C 100 W1 (DIN)
Hauteur de la matrice	: $h = 20$ mm
Diamètre intérieur de la matrice	: $d = 36$ mm
Rayon de l'arrondi sur la matrice	: $r = 2$ mm
Force	: $F = 2772,5$ Kg.

En tenant constant ces paramètres, dans ce groupe d'essais, on a changé le diamètre extérieur  $D$  des matrices qui avaient été trempées à  $790^{\circ}\text{C}$  dans l'eau. Température de revenu :  $100^{\circ}\text{C}$ . Dureté :  $65 R_c$ . (Fig. 13).

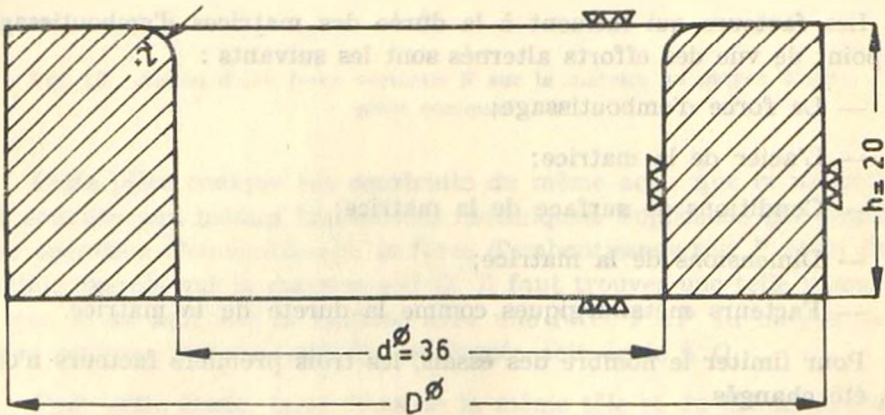


Fig. 13. Dimensions et état de surface des matrices d'essais.

#### Essais groupe B

Les matrices utilisées dans ce groupe d'essais diffèrent de celles du groupe A seulement par leur dureté qui est  $62 R_c$  (Température de revenu  $200^{\circ}\text{C}$ ).

Les courbes obtenues de ces deux groupes d'essais sont données sur la Fig. 14 ( $s = (D - d)/2$ ).

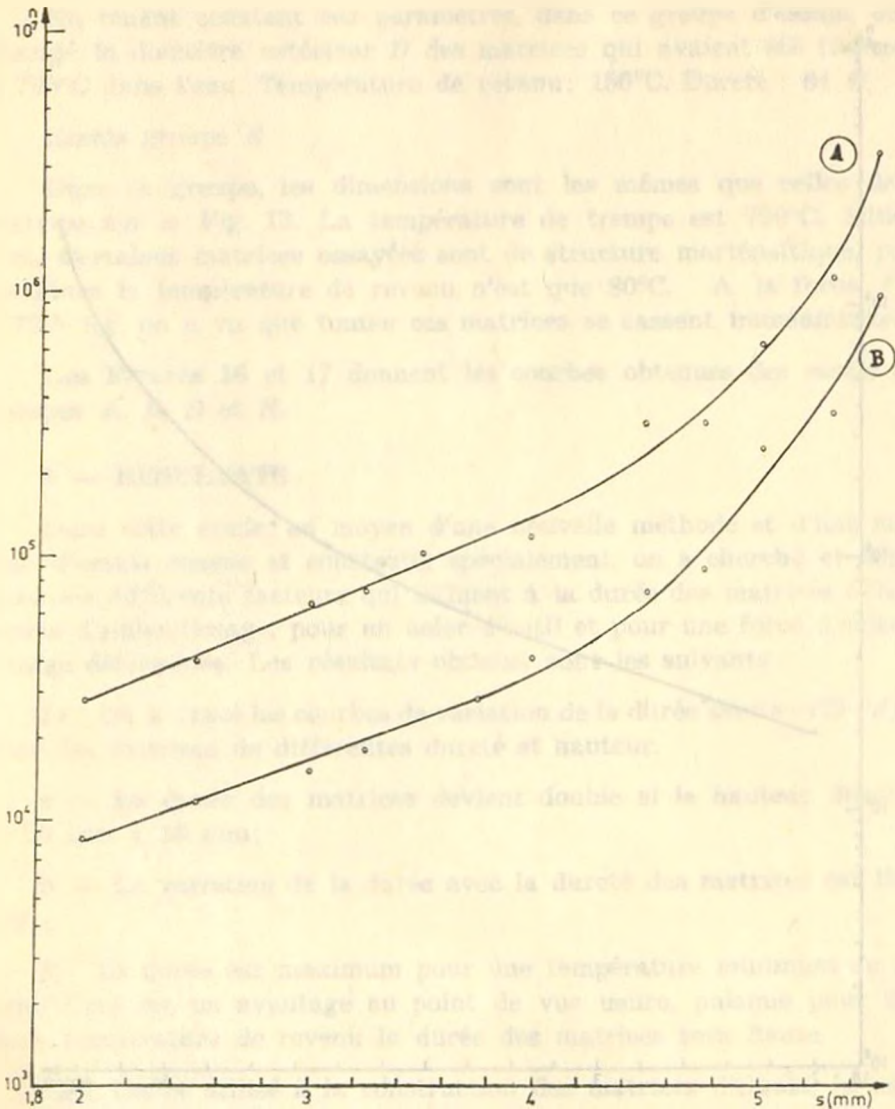


Fig. 14. Variation de la durée des matrices avec  $s = (D - d)/2$ . ( $d = 36 \phi$ ,  $h = 20$ ,  $r = 2$ ,  $F = 2772,5$  Kg. .

#### Essais groupe C

Ce groupe d'essais a été fait dans les mêmes conditions que le groupe B. La seule différence est la hauteur de la matrice qui est  $h = 10$  mm. (Fig. 15).

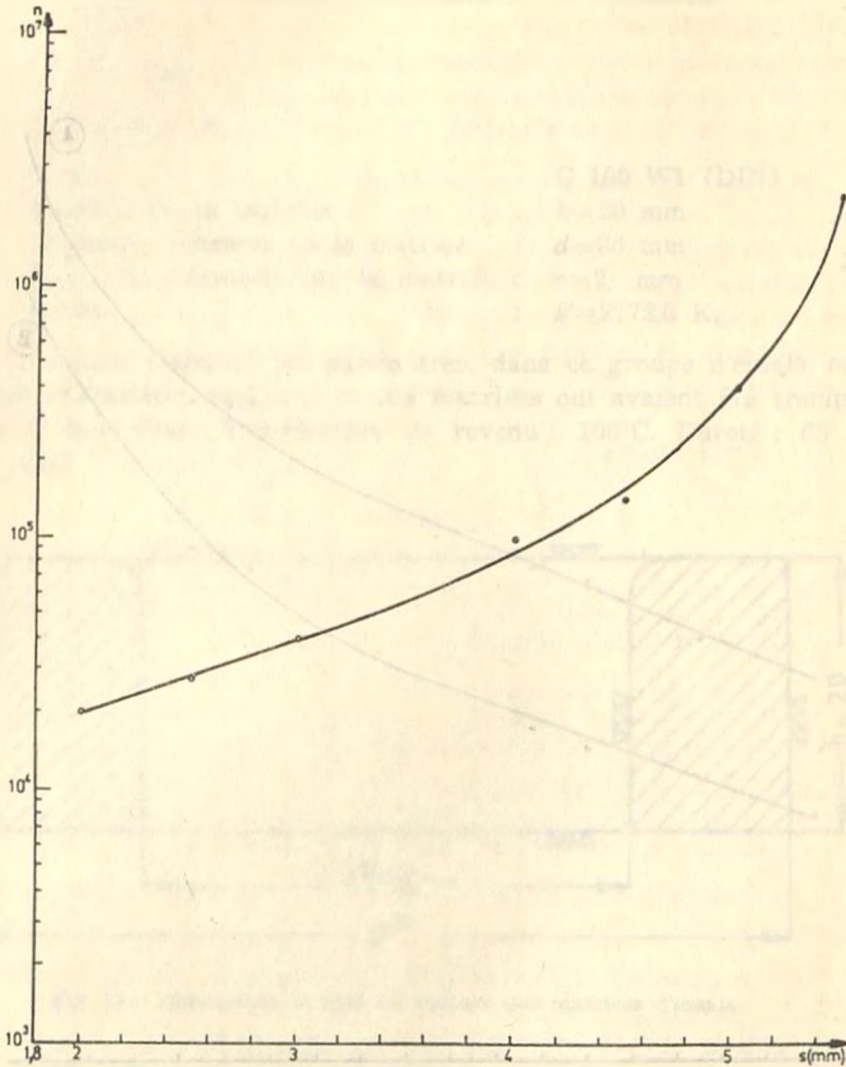


Fig. 15. Variation de la durée des matrices avec  $s = (D - d)/2$ . ( $d = 36 \phi$ ,  $h = 10$ ,  $r = 2$ ,  $F = 2772,5$  Kg.).

#### Essais groupe D

Acier	: C 100 WI (DIN)
Hauteur de la matrice	: $h = 20$ mm.
Diamètre intérieur de la matrice	: $d = 36$ mm.
Rayon d'arrondi sur la matrice	: $r = 2$ mm.
Force	: $F = 2772,5$ Kg.



En tenant constant ces paramètres, dans ce groupe d'essais, on a changé le diamètre extérieur  $D$  des matrices qui avaient été trempées à  $790^{\circ}\text{C}$  dans l'eau. Température de revenu:  $150^{\circ}\text{C}$ . Dureté : 64 R.

#### Essais groupe E

Dans ce groupe, les dimensions sont les mêmes que celles de la matrice sur la Fig. 13. La température de trempe est  $790^{\circ}\text{C}$ . Milieu: Eau. Certaines matrices essayées sont de structure martensitique, pour certaines la température de revenu n'est que  $80^{\circ}\text{C}$ . A la force  $F = 2772,5$  Kg. on a vu que toutes ces matrices se cassent immédiatement.

Les Figures 16 et 17 donnent les courbes obtenues des essais des groupes A, B, D et E.

### 4 — RESULTATS

Dans cette étude, au moyen d'une nouvelle méthode et d'une machine d'essais conçue et construite spécialement, on a cherché et déterminé les différents facteurs qui influent à la durée des matrices cylindriques d'emboutissage, pour un acier d'outil et pour une force d'emboutissage déterminés. Les résultats obtenus sont les suivants :

1) On a tracé les courbes de variation de la durée avec  $s = (D - d) / 2$  pour des matrices de différentes dureté et hauteur.

a — La durée des matrices devient double si la hauteur diminue de 20 mm à 10 mm;

b — La variation de la durée avec la dureté des matrices est linéaire.

2) La durée est maximum pour une température minimum de revenu. Ceci est un avantage au point de vue usure, puisque pour une basse température de revenu la durée des matrices sera haute.

Pour l'acier utilisé à la construction des matrices d'essais, la température minimum de revenu est  $100^{\circ}\text{C}$ .

3) Il est sans utilité que la durée de rupture soit plus longue que la durée au point de vue usure. On voit en plus sur les Figures 14 et 15 que pour une certaine valeur de  $s = (D - d) / 2$  (ou  $d / D$ ) la durée de rupture va à l'infini. Il semble nécessaire de faire une recherche sur la durée d'usure pour pouvoir choisir une valeur optimum de  $s$  soit au point de vue durée de rupture soit au point de vue usure. Si  $s$  est supérieure

à cette valeur optimum, la durée de rupture sera longue mais la matrice sera usée plus tôt. En plus une grosse matrice ne sera pas économique et présentera des difficultés pratiques de manutention.

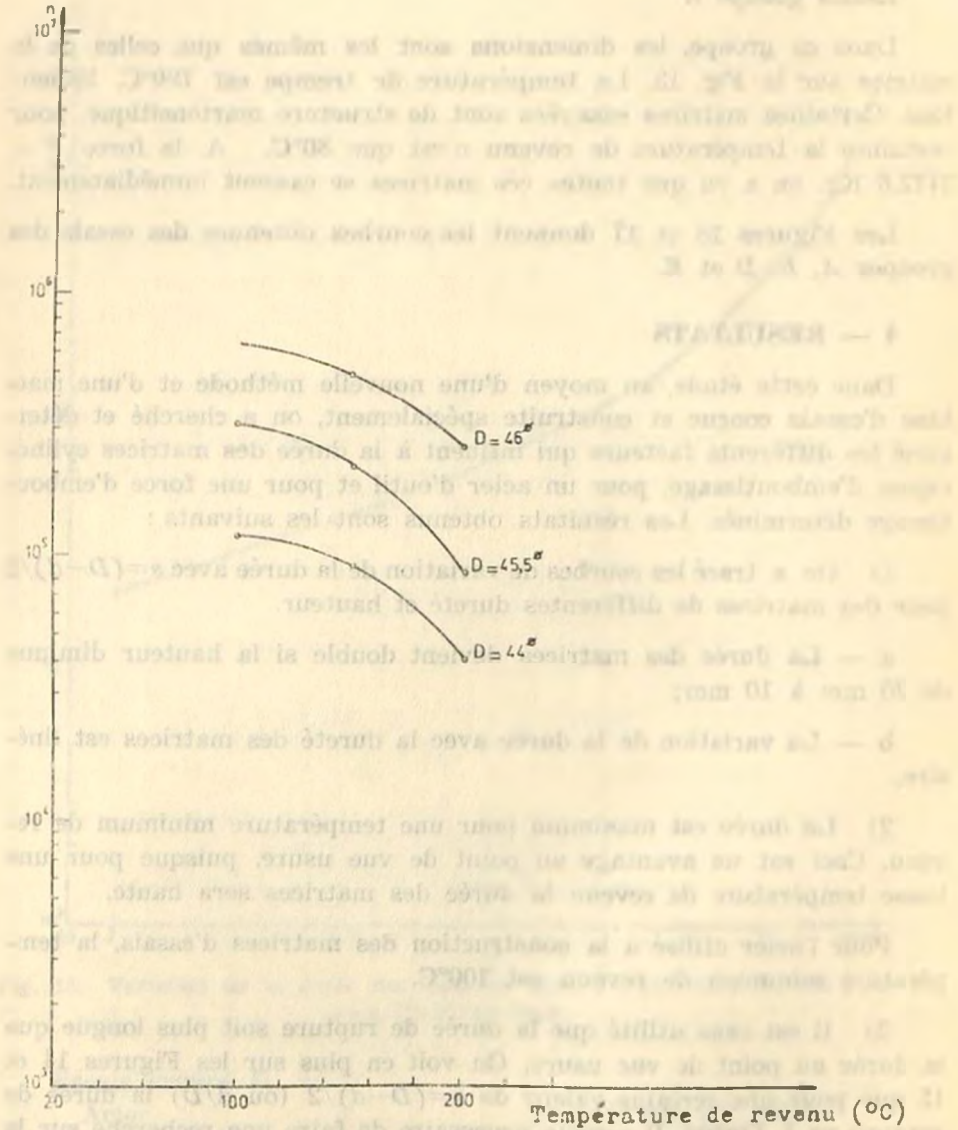


Fig. 16. Influence de la température de revenu sur la durée des matrices.

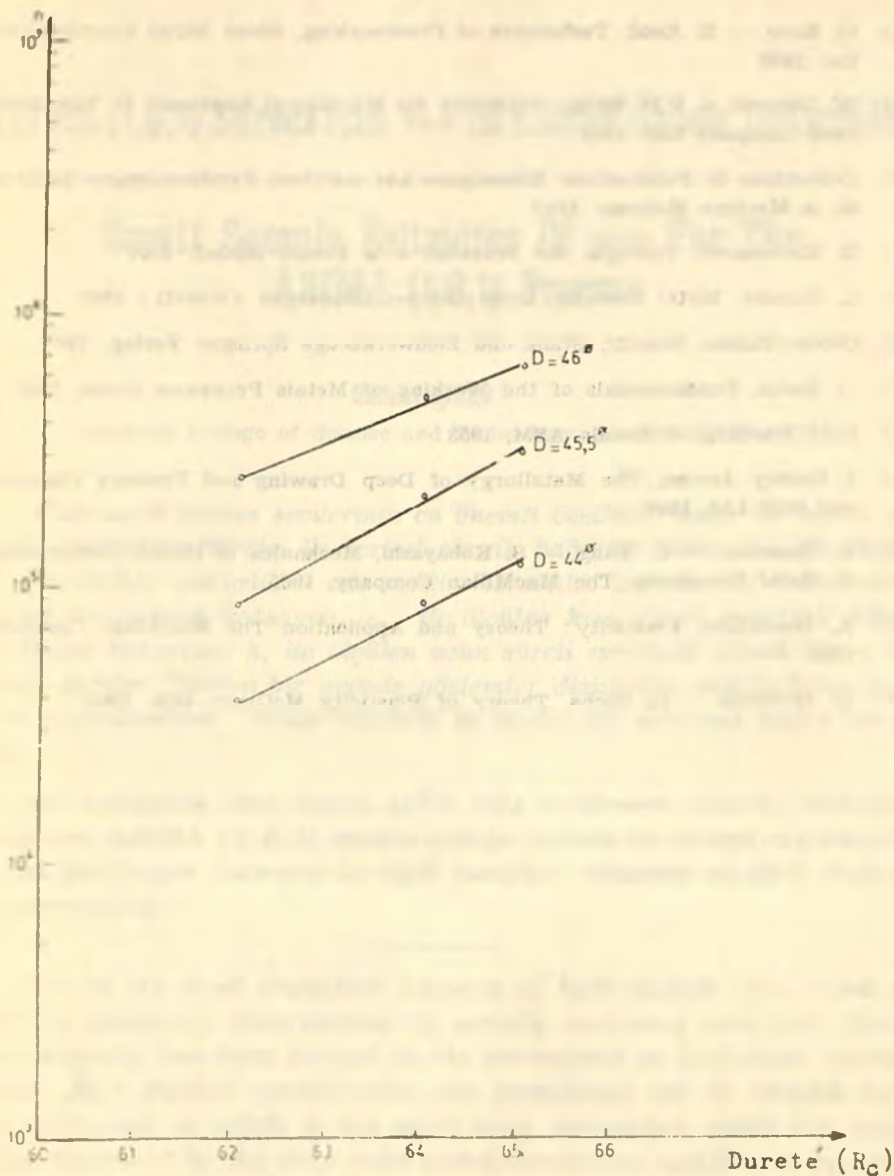


Fig. 17. Influence de la dureté sur la durée des matrices.

## REFERENCES

- (1) D. Eary — E. Reed, *Techniques of Pressworking, Sheet Metal* Prentice-Hall, Inc. 1958
- (2) W. Johnson — P.B. Mellor, *Plasticity for Mechanical Engineers* D. Van Nostrand Company Ltd. 1962
- (3) *Collections de Publications Mécaniques Les matrices d'emboutissages* Editions de la Machine Moderne. 1943
- (4) E. Kaczmarek, *Partique des Travalux à la Presse* Dunod, 1964
- (5) L. Schuler, *Metal Forming* Louis Schuler Göppingen (Wuertt.) 1966
- (6) Oehler/Kaiser, *Schnitt, Stanz und Ziehwerkzeuge* Springer Verlag, 1967
- (7) G. Sachs, *Fundamentals of the Working of Metals* Pergamon Press, 1960
- (8) *Cold Working of Metals* ASM, 1953
- (9) J. Dudley Jevons, *The Metallurgy of Deep Drawing and Pressing* Chapman and Hall Ltd, 1949
- (10) E. Thomsen — C. Yang — S. Kobayashi, *Mechanics of Plastic Deformation in Metal Processing* The MacMillan Company, 1965
- (11) A. Mendelson. *Plasticity : Theory and Application* The MacMillan Company, 1968
- (12) O. Hoffman — G. Sachs, *Theory of Plasticity* McGraw - Hill. 1953