

Quelques Propriétés du Fer électrobévé

Par M. Auguste BOUCHAYER, *Ingénieur des Arts et Manufactures.*

Le fer électrobévé est du fer électrolytique obtenu par les Etablissements Bouchayer et Viallet qui possèdent, pour la France, les licences de la Société « Le Fer ».

Cette fabrication datant d'une dizaine d'années déjà, on songea pendant la guerre à l'utilisation de ce nouveau métal dans les éléments de Munitions.

En 1915, sur la demande de M. le général Dumézil, M. Portevin, Secrétaire général de la *Revue de Métallurgie*, fit quelques essais mécaniques sur des tôles de fer électrolytique envoyées par les Etablissements Bouchayer et Viallet à l'Atelier de constructions de Puteaux. Mais, en raison de la faible épaisseur de ces tôles, plus petite que $0,5 \text{ m/m}$, les valeurs de l'allongement de rupture trouvées étaient faussées et ne permettaient pas de se faire une idée correcte de la malléabilité de ce produit. C'est avec juste raison que les Cahiers des Charges de l'Artillerie spécifient que pour le laiton spécial en bandes ou en feuilles, il ne sera pas fait d'essais de traction pour les épaisseurs en dessous de 1 m/m . L'atelier de Puteaux ne disposait pas, à cette époque, d'appareils pour l'essai de poinçonnage des tôles qui fournit les meilleures évaluations de la facilité d'emboutissage.

Dans la suite, en 1916, au moment où on se préoccupait par tous les moyens, de réduire la consommation de cuivre et de ses alliages, on pensa que l'on pourrait avoir recours au fer électrolytique pour la confection de certains éléments de munitions en tôle emboutie exécutés jusqu'alors en laiton.

Il fut utilisé, à ces essais, ce qui restait des échantillons de tôle de 3 dixièmes de millimètres d'épaisseur, pour faire exécuter, grâce à l'obligeance de la Compagnie des Compteurs, divers essais d'emboutissage, notamment de queue de bouchons de gaines-relais.

Les résultats ont été très satisfaisants ; les figures 1, 2 et 3 donnent des photographies des pièces embouties ainsi obtenues par M. Portevin. La figure 1 représente des emboutis obtenus en une seule passe ; les figures 2 et 3 montrent la série complète des opérations pour la queue de bouchons, jusques, y compris, la soudure et l'étamage.

Cet essai montrait, en outre, qu'il n'y avait, pour ainsi dire, pas de modifications à faire subir à l'outillage pour le passage de l'exécution de la pièce de laiton à celle de la pièce en fer électrolytique.

A la suite de ces essais, il fut demandé aux Etablissements Bévé d'envoyer à l'Atelier de Constructions de Puteaux, des feuilles de fer électrolytique pour confectionner des étuis de cartouches à balles, pièces dont l'emboutissage est beaucoup plus complexe ; ces essais ont également donné satisfaction au point de vue facilité d'emboutissage.

Enfin, en 1917, M. Portevin avait songé à expérimenter la substitution du fer électrobévé au cuivre pour le ceinturage des obus.

Des anneaux de fer électrolytique ont été envoyés dans ce but par l'usine de Grenoble et se sont parfaitement ceinturés sur obus de 75 et de 155. Ces essais ont été effectués aux Usines Ernault.

Mais ces expériences n'ont pu être poursuivies plus loin, l'opérateur étant de plus en plus absorbé par les services de l'Aéronautique.

A cette dernière occasion, il avait procédé à une étude préli-

minaire de l'écroissage du fer électrolytique et du recuit après écroissage, en se servant pour cela des barrettes obtenues en déployant les anneaux ceintures d'obus de 74 ; ils avaient 4 m/m d'épaisseur et 8 m/m de largeur.

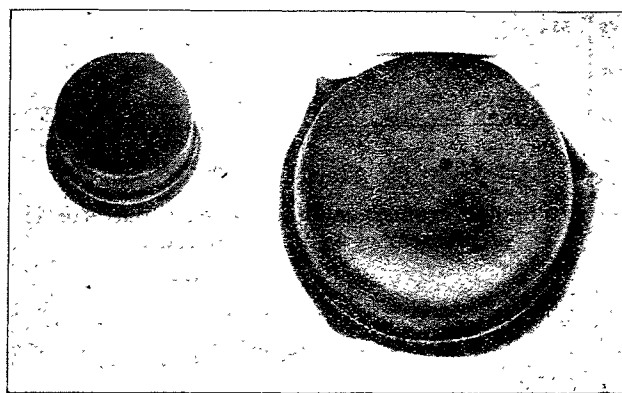


Fig. 1. — Emboutissage d'éléments de munitions. Pièces obtenues en une seule passe.

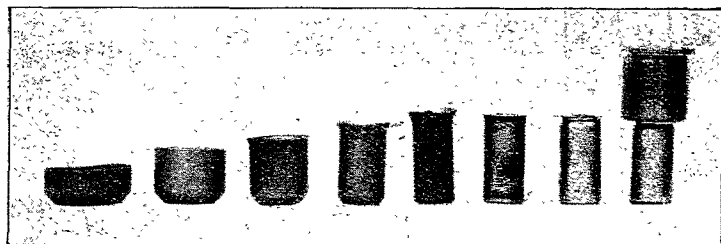


Fig. 2. — Emboutissage d'éléments de munitions. Série complète des opérations pour queue de bouchons.

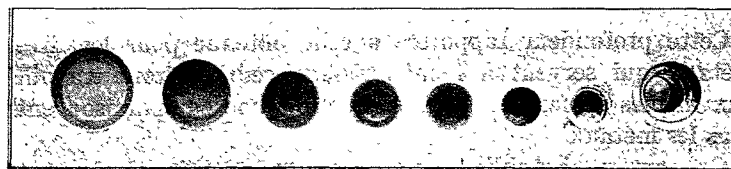


Fig. 3. — Emboutissage d'éléments de munitions. Série complète des opérations pour queue de bouchons.

Les résultats sont donnés dans les deux graphiques, figures 4 et 5. L'auteur ajoute qu'ils devraient être vérifiés, notamment en ce qui concerne le recuit, en raison surtout de ce qu'il n'a été procédé qu'à une série de déterminations.

Les essais de poinçonnage qui n'avaient pu être faits à Puteaux avaient été entrepris déjà par la Société des Usines de Sainte-Marie et Gragny.

Cette dernière avait installé dans les locaux des Etablissements Bouchayer et Viallet, un laboratoire pour l'étude des tôles électrolytiques.

Ces essais d'emboutissage furent poursuivis à l'aide de l'appareil Erichsen et portèrent sur un très grand nombre d'échantillons.

La tôle à éprouver est maintenue devant un orifice en face

duquel une vis micrométrique déplace un poinçon demi-sphérique de 19^m/m de diamètre. Le poinçon avance horizontalement, touche la tôle, puis l'emboutit dans l'orifice. On observe la surface déformée à l'aide d'une petite glace qui permet d'arrêter l'avancement du poinçon au moment précis où le métal commence à criquer ; on note alors la profondeur d'emboutissage.

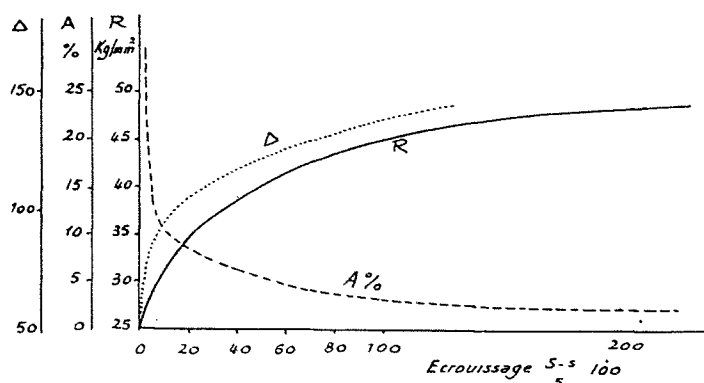


Fig. 4. — Etude de l'écrouissage du fer bévé sur barrette de 4 m/m d'épaisseur et 8 m/m de largeur.

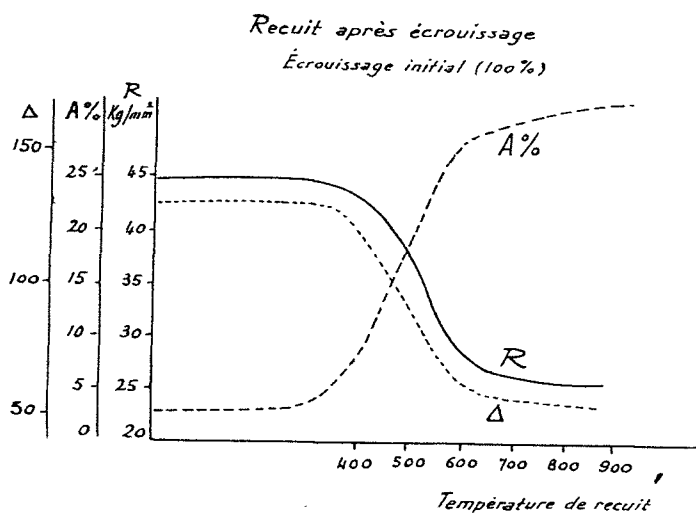


Fig. 5. — Recuit après écouissage sur du fer bévé sur barrette de 4 m/m d'épaisseur et 8 m/m de largeur.

Cette profondeur rapportée à celle obtenue pour les divers métaux qui servent à l'emboutissage, ceux-ci étant travaillés aux mêmes épaisseurs, permet d'établir une comparaison entre tous les métaux.

On peut aussi établir les courbes de comparaison qui ont été tracées sur le graphique de la figure 6.

Ce graphique donne les courbes des métaux différents. Nous les désignons ci-dessous dans l'ordre de plus grande résistance à l'emboutissage, c'est-à-dire dans l'ordre de préférence :

- Laiton à emboutir.
- Cuivre.
- Fer électrolytique.
- Fer feuillard blanc.
- Aluminium.
- Zinc.

Le cuivre et le fer électrobévé sont très rapprochés surtout en allant vers les fortes épaisseurs.

Ce graphique donne aussi les courbes des différentes qualités de fer et d'acier qu'on emploie, en général, pour les travaux d'emboutissage. Je les désigne, comme précédemment, dans l'ordre de qualité :

Fer électrobévé.

Fer feuillard blanc.

Tôle de fer Siemens-Martin à emboutir.

Tôle à plier double décapage.

Tôle à plier simple décapage.

Tôle à plier ordinaire et fer blanc.

Ces résultats expliquent la complète réussite des essais lents pendant la guerre pour le remplacement du laiton et du cuivre rouge.

Ils expliquent également qu'on ait pu entreprendre avec succès des essais de repoussage du métal.

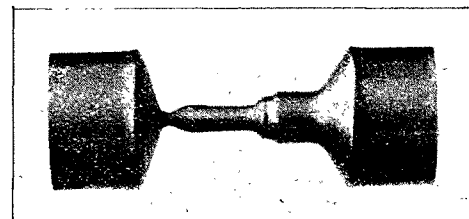


Fig. 7. — Essai de repoussage sur un tube de fer électrolytique de 120 m/m de diamètre et de 1 m/m d'épaisseur.

L'industrie livre des milliers de petits objets, articles parisiens, fabriqués en cuivre rouge, laiton et surtout aluminium, ayant la forme de corps de révolutions. On part généralement d'un flanc qu'on fixe dans un touret qui marche à grande vitesse et à l'aide d'un levier de forme spéciale, on appuie sur le flanc qui plie, se déforme et se moule sur le modèle de l'objet à produire qui est aussi fixé sur le touret. Parfois, on prend le flanc avec des pinces, d'autres fois, on travaille à creux sur des tubes pour la confection de petits flacons et d'autres objets.

Etant donné la place qu'occupe le fer électrobévé dans la gamme d'emboutissage, nous l'essayâmes à ce travail de repoussage.

Les résultats obtenus furent concluants. Nous donnons, figure 7, la photographie d'un échantillon de tube travaillé à creux par les procédés que nous venons d'indiquer. Ce tube a un diamètre intérieur de 120^m/m et une épaisseur de 1^m/m. Nous sommes arrivés comme le montre la figure, à réduire le diamètre à 12^m/m dans sa section la plus réduite, soit dix fois moins que le diamètre primitif.

Le métal s'est refoulé sur lui-même et son épaisseur a diminué d'autant. Pour arriver à ces résultats extrêmes, on a dû enlever du métal au tour afin de ramener l'épaisseur à des dimensions convenables.

On concevait que cette méthode devait permettre l'exécution de récipients ou corps creux pour gaz comprimés, tout à fait homogènes, c'est-à-dire monoblocs. C'est ce qui a été tenté avec des épaisseurs plus fortes de 2^m/m par exemple.

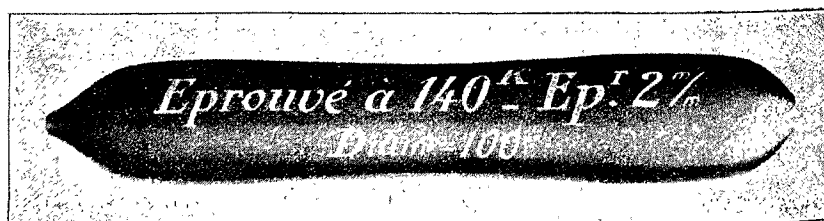


Fig. 8. — Bouteille pour gaz sous pression en fer électrobévé de 2 m/m d'épaisseur, obtenue sans aucune soudure, par repoussage.

La figure n° 8 montre le résultat obtenu sur un tube de 100^m/m

Emboutissage

— Appareil Erichsen —

Tôles minces. Courbes normales d'emboutissage
 Pointon demi-sphérique diam^{tre} 19^m/_m.
Essai à l'Emboutissage de Fer Bêvé.

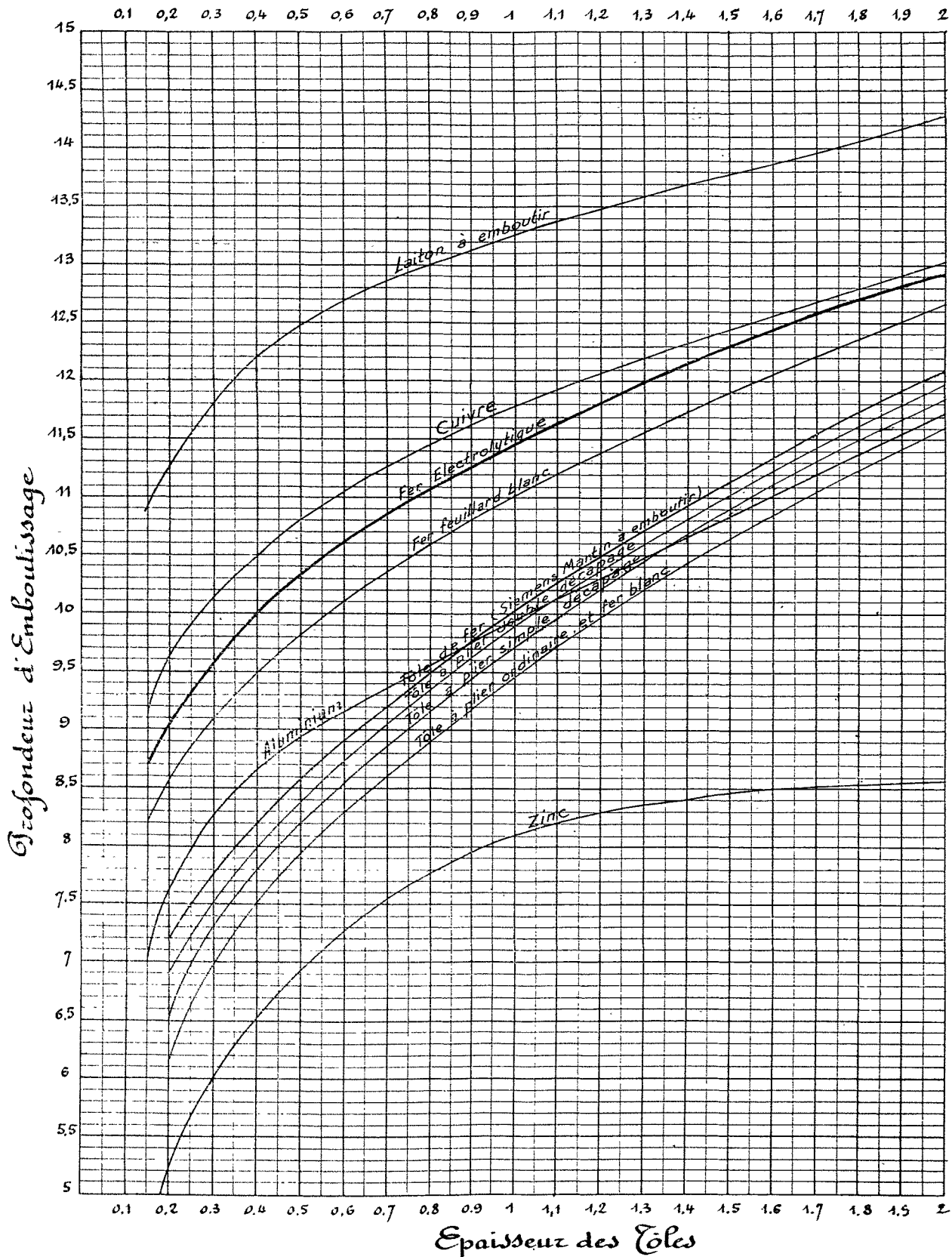


Fig. 6. — Courbes d'emboutissage des divers métaux, y compris le fer électrobêvé.

de diamètre extérieur. Les deux extrémités du tube ont été repoussés à creux sur un tour. Nous avons été obligés d'employer, comme outil, un levier à galet de diamètre approprié, le simple levier produisant des grippages.

Le repoussage des extrémités a donné deux fonds, l'un demi-cylindrique et l'autre conique avec des surépaisseurs telles qu'il était possible d'obturer l'extrémité avec des bouchons filetés.

L'échantillon représenté a été éprouvé à une pression de 140 atmosphères. Les deux extrémités de la bouteille qui avaient été recuits au maximum pour donner la plus grande ductibilité possible, se sont gonflées sous la pression tandis que la partie médiane légèrement écrouie n'a pas bougé.

D'après la formule de Lamé, le travail du métal avant la déformation des extrémités, était d'environ 32 kilogs par millimètre carré de section, ce qui correspond bien aux caractéristiques du fer électrolytique.

Aucune déformation permanente n'a été observée dans la partie centrale de la bouteille non recuite.

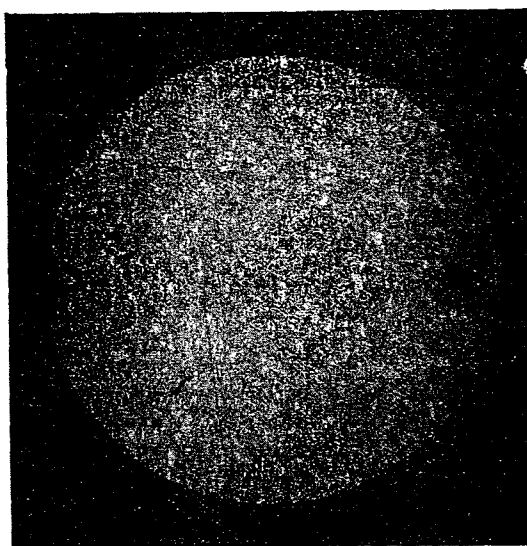


Fig. 9. — Essai micrographique. Structure fibreuse du fer bévé jusqu'à 860 degrés.

En somme, cette bouteille pour fluide sous pression correspond aux données suivantes :

Pression d'épreuve : 140 kgs.
Volume à la pression atm. : 5 litres.
Poids du récipient : 3 kgs environ.

Etant donné l'homogénéité très grande du métal dont on a la preuve en constatant l'allongement permanent du métal sous la forme d'un accroissement régulier de diamètre, on peut ainsi compter avec cette bouteille sur une pression de service de 100 kgs par centimètre carré.

Ce procédé de repoussage nous a permis d'obtenir des creusets d'analyse qui nous ont été demandés par M. le Professeur Flusin, de la Faculté des Sciences de Grenoble.

Ces creusets doivent servir à la désagrégation des ferro-alliages par les alcalis et notamment par le peroxyde de sodium.

Nous avons fourni au Laboratoire une série de ces creusets de diverses épaisseurs qui avaient été obtenus comme nous l'avons indiqué plus haut en partant de petits flancs. Voici les renseignements intéressants que M. Flusin a bien voulu nous donner à leur sujet.

L'attaque des ferro-alliages s'effectue généralement dans des creusets en nickel ou en fer, qui sont eux-mêmes attaqués plus ou moins profondément au cours de la désagrégation. Ces

creusets ne peuvent servir qu'à un nombre d'opérations limité ; de plus, une certaine quantité de métal du creuset et les impuretés du métal se retrouvent dans le produit de l'attaque.

Pour certains ferro-alliages, en particulier pour les ferro-chromes à haute teneur en chrome, les creusets en nickel doivent être proscrits, car l'oxyde de nickel provoque la décomposition d'une petite partie du chromate formé, et fausse les résultats du dosage volumétrique. D'une façon générale, l'élimination de l'oxyde de nickel dans le produit de l'attaque est une opération ennuyeuse et assez longue ; enfin, les creusets en nickel contiennent parfois assez de soufre pour faire rejeter leur emploi lorsqu'il s'agit d'un dosage de soufre.

Les creusets en fer, quoiqu'un peu plus attaquables, seraient presque toujours préférés s'il n'était pas souvent difficile et parfois presque impossible de s'en procurer ; certaines usines électro-métallurgiques fabriquent elles-mêmes leurs creusets ou leurs capsules, en emboutissant de la tôle de fer.

On reproche aussi à ces creusets leur impureté. On éprouve

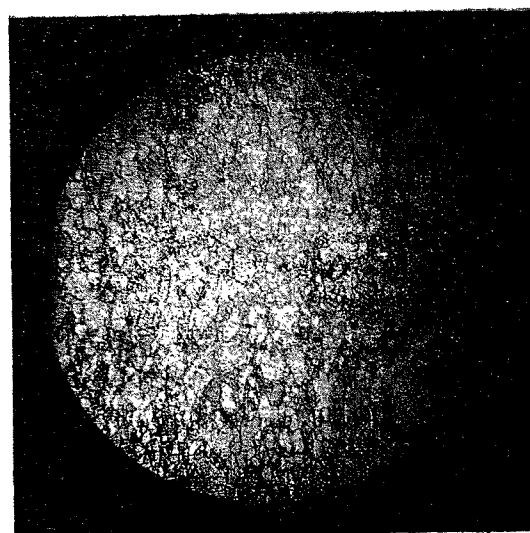


Fig. 10. — Essai micrographique. Structure cristalline du fer bévé après 880 degrés.

parfois au laboratoire des ennuis assez sérieux résultant de la présence, dans le nickel ou dans le fer, de certaines impuretés, telles que soufre, manganèse, etc...

Ces ennuis sont supprimés par l'emploi du fer électrolytique qui, grâce à sa pureté supérieure à celle de tous les fers connus, grâce aussi à sa grande malléabilité, paraît être une matière de choix pour les fabrications des creusets.

Ceux mis à l'essai avaient tous la même dimension : 45 m/m de diamètre supérieur, 25 m/m de diamètre inférieur, et 40 m/m de hauteur. C'est la grandeur courante pour les désagrégations du ferrochrome.

La livraison contenait sept séries correspondantes à des épaisseurs différentes de la paroi ; elles croissaient par 1/10, de 4/10 pour la première série à 10/10 pour la septième série.

Les épaisseurs de 4/10 et 5/10 doivent être abandonnées ; le creuset est trop mince et se perce, en cours d'opération, à la première attaque au peroxyde. L'épaisseur de 6/10 est déjà utilisable, mais celle de 7/10 paraît être l'épaisseur optimum. Les creusets de 7/10 supportent toujours quatre et souvent cinq désagrégations au peroxyde de sodium, ce qui correspond au service normal d'un creuset en fer ordinaire de même épaisseur.

Avec les creusets de 8/10 à 10/10, nous avons constaté que l'attaque était trop lente ; mais cet inconvénient est imputable à la très faible pression du gaz d'éclairage à Grenoble, et il est

probable que dans les laboratoires ou dans les villes où le gaz est distribué à une pression normale, les creusets de 8 à 10/10 seraient utilisables.

En somme, les creusets de 7/10 donnent toute satisfaction et le ferbêvé paraît tout à fait recommandable.

L'attaque des ferrosilicium par les alcalis exige des creusets de plus grandes dimensions ; ceux dont on se sert mesurent 55^m/m de diamètre supérieur, 30^m/m de diamètre inférieur, et 55^m/m de hauteur.

Les essais vont se poursuivre avec la Faculté des Sciences de Grenoble, et il y a tout lieu de penser que les deux propriétés du ferbêvé : sa pureté et sa malléabilité, en feront, comme le dit le professeur Flusin, une matière de choix pour cette nouvelle application.

Toutes les opérations mécaniques dont nous avons parlé et que peut supporter le ferbêvé, grâce à ses propriétés spéciales, demandent cependant que le dit métal ait acquis son état *définitif* obtenu par un recuit se rapprochant de 900°.

C'est aux environs de cette température que le fer électrobêvé possède ses qualités de malléabilité qui en font un métal particulièrement convenable aux emplois que nous avons décrits.

Dans cet état, la structure du fer électrolytique est cristalline, tout à fait analogue à celle des fers purs obtenus par la grosse sidérurgie. Dans l'état précédent celui-ci, la structure est fibreuse.

Nous avons demandé aux laboratoires des Etablissements Bouchayer et Viallet, de rechercher le point de passage entre les deux structures et de déterminer, si possible, à quoi correspond ce point.

Des essais ont été conduits dans ce sens à différentes températures et pendant des temps variant de quelques minutes à trois heures. Il a été constaté ce qui suit :

— Jusqu'à une température voisine de 860° et quel que soit le temps de chauffe dans les limites indiquées ci-dessus, aucun changement ne se produit dans la structure micrographique du fer électro. Elle reste celle du fer brut aciculaire ou fibreuse. (Voir figure 9.)

— A une température voisine de 860° et quel que soit le temps de chauffe, il se produit un certain empatement des fibres ou aiguilles sans qu'il soit possible de déceler encore des cristaux individualisés.

— A une température comprise entre 875° et 880°, le changement de structure se produit brusquement et instantanément. Nous sommes en présence de gros cristaux de ferrite. (Voir figure 10.)

— Point remarquable : ce point de passage entre la structure fibreuse et la structure cristalline correspond exactement au point de transformation allotropique du fer donné par la courbe de dilatation.

En résumé, le fer électrolytique Bêvé, offre cette particularité de présenter un point de passage très net entre la structure fibreuse et la structure cristalline. Ce point de passage correspond à une température de 875° C. et coïncide exactement avec le point de transformation allotropique du fer donné par la courbe de dilatation.

Il convient de remarquer que ce n'est pas cette transformation qui peut être cause du retrait qui est constaté dans le métal, car cet état une fois établi, l'opération de dilatation donne à nouveau la même anomalie dans l'allongement du métal. Ce sont là des coïncidences dont on n'a pu déterminer jusqu'ici les relations.

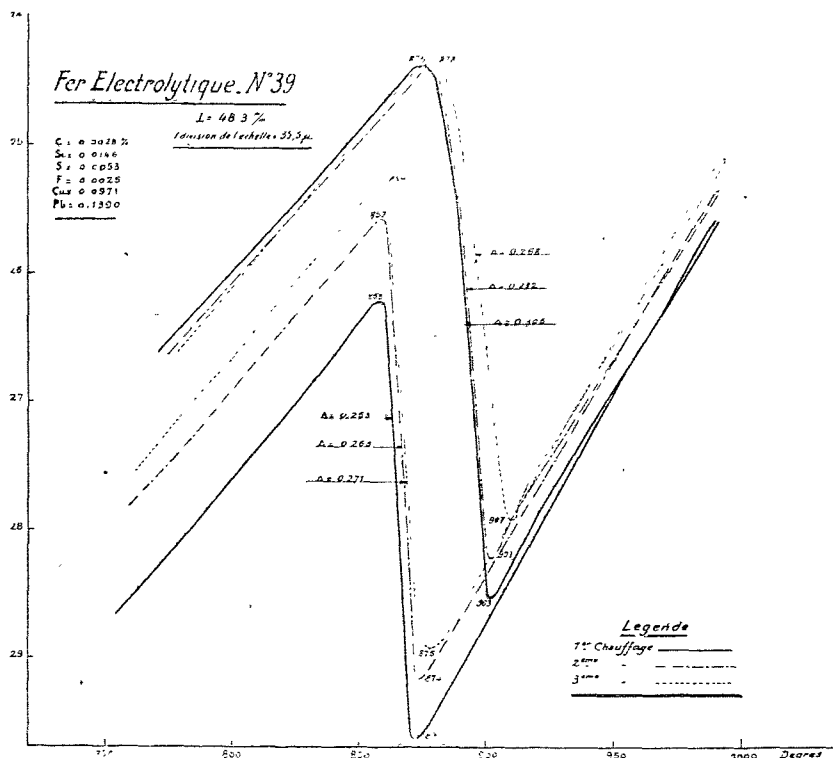


Fig. 11. — Courbes de dilatation donnant les dilatations anormales d'un fer électrobêvé pour trois chauffages successifs.

On constatera par la figure 11, que la température du point de passage est bien celle de l'anomalie de dilatation du fer électrolytique. Nous devons ajouter, à ce sujet, que le coefficient de dilatation anormale à l'échauffement diminue à la suite de plusieurs chauffages subits par un même échantillon, tandis que le coefficient de dilatation anormale au refroidissement augmente.

Nous avons reproduit, superposés sur la figure 12, trois chauffages successifs :

1^o Chauffage : trait plein :

$$\begin{aligned} \Delta \text{ échauffement} &= 0,306 \\ \Delta \text{ refroidissement} &= 0,253 \end{aligned}$$

2^o Chauffage : trait mixte :

$$\begin{aligned} \Delta \text{ échauffement} &= 0,282 \\ \Delta \text{ refroidissement} &= 0,263 \end{aligned}$$

3^o Chauffage : trait pointillé :

$$\begin{aligned} \Delta \text{ échauffement} &= 0,268 \\ \Delta \text{ refroidissement} &= 0,271 \end{aligned}$$

Le Δ moyen reste constant.

N'y aurait-il pas lieu de révérier ces particularités ? C'est probable, mais il nous a semblé qu'elles devaient être signalées