



LA

Technique Moderne

Revue Universelle des Sciences appliquées à l'Industrie

Paraissant le 1^{er} et le 15 de chaque mois

Rédacteur en chef : Georges LÉVY, Ingénieur des Arts et Manufactures

COMITÉ DE RÉDACTION

AUBRUN, O *, Ingénieur au Corps des Mines.
 AURIC, O *, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées.
 BARBILLION, O *, Prof. à la Fac. des Sciences de l'Université de Grenoble.
 BERGERON, C *, Professeur à l'École Centrale des Arts et Manufactures.
 L. BIETTE, C *, Inspecteur Général des Ponts et Chaussées.
 A. BLONDEL, C *, Membre de l'Institut; Inspecteur Général des Ponts et Chaussées.
 BLUM, C *, Ancien Élève de l'École Polytechnique.
 BRANLY, G. O. *, Membre de l'Institut.
 J.-L. BRETON, Membre de l'Institut; D^r de l'Office nat^l des Recherches et Inventions.
 C.-B. BRULL, *, Ing^r des Arts et Manuf^{es}; Dir. G^d de la Société française des Munitions.
 A. CAQUOT, C *, Membre de l'Institut; Professeur à l'École supérieure des Mines.
 R. CHAMBAUD, Ing^r des Arts et Manuf^{es}, Ingénieur en Chef du Bureau Considère.
 G. CHAMPETIER, Chef des Travaux à la Faculté des Sciences de Paris.
 CHARPY, O *, Membre de l'Institut; Prof. à l'École Polytechnique.
 P. CHEVENARD, *, D^r scientifique de la Soc. Commentry-Fourchambault-Decazeville.
 J. DANTZER, C *, Prof. de Filature et Tissage au Conser^{vo} nat^l des Arts et Métiers.
 R. DAUTRY, C *, Directeur Général hon^{or} des Chemins de fer de l'État.
 E. DAVAUX, C *, Ingénieur Général du Génie maritime.
 DESOMBRE, *, Administrateur-délégué de la Compagnie Electro-Mécanique.
 J. DRACH, O *, Professeur à la Faculté des Sciences de Paris.
 P. DROSNE, *, Ingénieur-Conseil de l'Union d'Élect. et de la C^{ie} P^o de Dist. d'Élect.
 P. DUMANOIS, C *, Inspecteur Général de l'Aéronautique.
 DUMUIS, *, Directeur Général de la Société des Acieries et Forges de Firminy.
 ERNAULT, *, Ingénieur des Arts et Manufactures; Ingénieur-constructeur.
 EYDOUX, O *, D^r des Études de l'Éc. Polytechnique; Prof. à l'Éc. des Ponts et Chaussées.
 C. FABRY, C *, Membre de l'Institut, Directeur général de l'Institut d'Optique.
 FRIEDEL, Ing^r en chef des Mines; Sous-Directeur de l'École supérieure des Mines.
 GANNE, C *, Insp^r Gén^l de l'Ens^g techn.; Prof^r hon. à l'Éc. Cent^l des Arts et Man^{es}.

GIRARDEAU, C *, Administr^r-direct^r de la Société Française Radio-Électrique.
 GUILLERY, *, Ingénieur des Arts et Métiers.
 L. GUILLET, C *, Membre de l'Institut; Dir^r de l'École C^{ie} des Arts et Manuf^{es}.
 LABBÉ, G. C. *, Directeur honoraire de l'Enseignement Technique.
 P. LANGEVIN, C *, Membre de l'Institut; Dir^r de l'Éc. de Physique et de Chimie de Paris.
 LAUBEUF, C *, Membre de l'Institut.
 Th. LAURENT, G. O. *, Président de la C^{ie} des Forges et Acieries de la Marine et d'Homécourt.
 LEBOUCHER, *, Ingénieur en Chef à la Compagnie des Chemins de fer du Midi.
 LECORNU, C *, Membre de l'Institut; Inspecteur Général des Mines.
 G. LEINEKUGEL LE COCQ, O *, Ancien Ing^r hydrographe de la Marine.
 LUC, C *, Directeur Général de l'Enseignement Technique.
 L. LUMIERE, C *, Membre de l'Institut.
 MARCHIS, O *, Professeur d'Aviation à la Faculté des Sciences de Paris.
 C. MONTEIL, C *, Professeur à l'École Centrale des Arts et Manufactures.
 A. MOUTIER, C *, Ingénieur en chef à la Compagnie du Chemin de fer du Nord.
 NICOLARDOT, O *, Prof. à l'École Supérieure d'Optique.
 L. NISOLLE, *, Rép. à l'École C^{ie}, Prof. à l'École des Combustibles liquides.
 D'OCAGNE, C *, Membre de l'Institut; Prof. à l'École Polytechnique.
 J. PÉRARD, O *, Prof. à l'École Centrale des Arts et Manufactures.
 J. PERRIN, G. O. *, Membre de l'Institut, Ancien sous-secrét. d'État à la Rech. Scient.
 L. PINEAU, C *, Directeur de l'Office national des Combustibles liquides.
 J.-B. POMEY, C *, Inspecteur Général des Télégraphes.
 A. PORTEVIN, O *, Directeur de l'École Supérieure de Fonderie.
 C. M. STEIN, *, Ingénieur civil des Mines; Ingénieur-constructeur.
 M. VÉRON, Prof. à l'École Centrale et au Conservatoire national des Arts et Métiers.
 A. VICAIRE, O *, Directeur Général des Établissements Schneider.
 WALL, O *, Ingénieur principal de la Marine.

SOMMAIRE DU NUMÉRO DU 15 MARS 1938

L'ÉLECTRICITÉ DANS L'INDUSTRIE MODERNE

INTRODUCTION. — Quelques perspectives d'avenir dans le domaine de l'électrotechnique, par R. ROUGE, Ancien Élève de l'École Polytechnique. p. 179

L'évolution des foyers de cuisson électrique, par L. VOLANT, Ingénieur à la C. P. D. E. p. 181

L'oscillographe à rayons cathodiques et ses usages industriels. Applications industrielles de l'oscillographe cathodique, par Marcel DEMONTVIGNIER, Ingénieur E. P. C. I., Ingénieur en chef à la Société anonyme Hewittic p. 187

Les fours électriques à résistance, par A. CLERGEOT, Ingénieur I. E. M., Electrometallurgiste. p. 195

Le four électrique dans l'industrie céramique, par H. MEUCHE, Travaux des Sociétés scientifiques et industrielles. — Pénétration de l'eau dans le réseau de la cellulose. Réaction d'échange entre la cellulose et l'eau lourde (p. 226). — Un nouveau principe d'exploration des images en télévision (p. 226). — Les oscillations électroniques des lampes triodes (p. 226).

ANNEXE. — Catalogues (p. II et IV). — Encartages (p. IV.) — Documentation bibliographique : Analyse systématique des principaux articles techniques parus dans les Revues et Périodiques français et étran-

gers (p. VI). — Liste des ouvrages parus en janvier 1938 (p. VI). — Analyse des principaux ouvrages récemment parus (p. VI, X et XVIII).
Biographie : Les Grands chefs de l'industrie : M. Pierre CHEVENARD (p. XXIII et XXVI).
Renseignements économiques. — Échos économiques et industriels (p. XX, XXVI et XXXVI). — Brevets (p. XXXVIII). — Petites informations (p. XL et LIV). — Cours commerciaux et industriels (p. XLVI). — Adjudications à l'Étranger (p. XLIV) et XLVIII). — Petites annonces (p. XLVIII).

Ingénieur à la Société Brown-Boveri, et R. HUGOT, Ingénieur à la C^{ie} Electro-Mécanique p. 201

Télécommande et automatisme par équipements à contacteurs. Quelques réalisations récentes. p. 205

Dispositif d'alimentation des caténaires de la gare du Mans. p. 209

Le poste de Distré de la S. A. T. E. C. O. p. 212

Les applications de l'électricité dans les silos à céréales, par M. LALLOX, Ingénieur du Génie rural p. 215

L'équipement des stations de pompage des communes rurales, par H. LAFERRÈRE, Ingénieur du Génie rural. p. 220

Les applications du chauffage électrique en horticulture, par J. NIVARD, Ingénieur à la Société électrique de Travaux agricoles p. 224

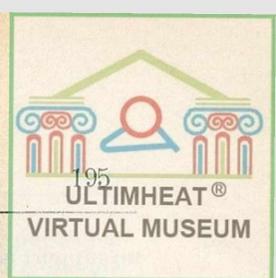
ÉDITEUR **DUNOD** PARIS (6^e)

Chèques postaux : Paris 75-45

RÉDACTION (Tél. : Danton 05-22) — 92, Rue Bonaparte. — ADMINISTRATION (Tél. : Danton 99-15)

La présente livraison est vendue séparément : 13 fr. 50

Chaque demande de changement d'adresse doit être accompagnée de 0 fr. 80 en timbres-poste et nous parvenir huit jours avant la date de la première livraison à envoyer à la nouvelle adresse.



LES FOURS ÉLECTRIQUES A RÉSISTANCE

Le chauffage électrique par résistance, qui a précédemment fait l'objet dans La Technique Moderne d'une importante étude de M. A. Clergeot (1), repose sur l'échauffement produit par effet Joule du courant traversant une résistance électrique qui peut être pratiquement constituée :

Soit par une « résistance auxiliaire », ou « résistor », dont la chaleur émise est rayonnée, plus ou moins directement, sur les corps à chauffer ;

Soit par la substance elle-même.

La première modalité se retrouvant dans la majeure partie des multiples applications industrielles du chauffage par résistance ainsi que le montre le tableau dressé par M. A. Clergeot dans l'étude d'ensemble que nous rappelons ci-dessus c'est, de ce fait, celle qui est habituellement sous-entendue dans cette appellation générique de chauffage ou de four électrique par résistance.

Parmi les nombreux appareils : fours, étuves, réchauffeurs d'air... de cette catégorie et intervenant dans des domaines si divers : métallurgie, verrerie, céramique, alimentation commerciale..., l'auteur s'est proposé, dans l'article ci-dessous, d'examiner plus particulièrement les fours électriques à résistance utilisés en métallurgie soit pour le traitement thermique, soit pour la fusion des métaux et alliages ferreux ou non ferreux. Et, comme il ne peut être question de ces fours sans parler des « résistors » entrant dans leur construction, M. A. Clergeot consacre tout d'abord un chapitre à ces résistances de chauffage.

Dans l'examen des multiples types de fours à résistance pour traitements thermiques et pour fusion, l'auteur n'a pas manqué de citer de nombreux exemples des fabrications métallurgiques appropriées à chacun d'eux.

1. Constitution et propriétés des résistors (2).

I. ALLIAGES MÉTALLIQUES. Ce sont de beaucoup les plus employés (3).

1° Alliages à base de nickel : nickel-chrome, nickel-chrome-fer, nickel-chrome-fer-manganèse. Les tableaux I et II donnent la composition et les propriétés de quelques-uns d'entre eux.

2° Alliages à base de fer. Nous trouvons ici, notamment,

TABLEAU I. COMPOSITION DE QUELQUES ALLIAGES A BASE DE NICKEL POUR RÉSISTORS

DÉSIGNATION	FABRICANT	COMPOSITION			
		Ni	Cr	Fe	Mn
Chromel A ..	Hoskins.	80	20		
Kromore ..	Driver Harris.	85	15		
Calido.	Electrical Alloy Co.	65	12	23	
Nichrome.	Driver Harris.	60	12	26	2
Uranus	Jacob Holtzer.	81	13	5,5	0,5

le Kanthal, produit contenant aussi de l'aluminium, du cobalt et du chrome.

Cet alliage a un point de fusion de 1 650° environ et peut être utilisé comme résistor jusqu'à des températures de l'ordre de 1 350° en régime permanent. Sa résistance varie, pour chacune de ses trois qualités (A₁, A et D) respectivement, de 145 à 135 μohms/cm à froid, et de 155 à 148 à 1 300°.

En dehors de son utilisation pour l'obtention de températures

élevées, le Kanthal présente, aux températures plus basses, l'avantage d'un faible poids, joint à celui d'une longue durée, ce qui se traduit, pour les appareils, par un bon rendement et un prix de revient réduit.

TABLEAU II. — CARACTÉRISTIQUES DE QUELQUES ALLIAGES A BASE DE NICKEL POUR RÉSISTORS

FABRICANTS	DÉSIGNATION de l'alliage	RÉSISTIVITÉ à 0°C en micrhm/cm	POINT de fusion.	TEMPÉRATURE maximum de régime permanent dans l'air.
Driver Harris. ..	Nichrome.	110	—	1 000
Hoskins ..	Chromel A.	104	1 405	1 100
Electrical Alloy Co ..	Calido.	100	1 450	1 000
Acieries et forges de Firminy ..	Nicrofy.	100 à 110		1 050
		RÉSISTIVITÉ à 15°C microhms/cm		
Acieries d'Imphy ..	RNC 1	100 ± 4	1 450	600 à 700
	2	111 ± 4	1 450	900 à 1 000
	3	102 ± 4	1 475	1 100 à 1 150

Le Mégapyr est un alliage semblable au précédent. Dans ce groupe figure également le RNC 44, dont la résistivité atteint 140 ohms/cm, avec un coefficient de température sensiblement nul.

3° Métaux précieux. Nous trouvons ici le molybdène, le platine, qui sont plus spécialement utilisés pour l'équipement des fours de laboratoire.

Les alliages métalliques peuvent être utilisés :

1° Soit nus, à l'air libre : Ils sont alors ordinairement employés sous forme de fils, de diamètre variant de 0,08 à 8 mm, de rubans, dont l'épaisseur peut varier de 0,05 à 1 mm et la largeur de 0,35 à 10 mm, ou de bandes, se trouvant en largeurs de 5 à 250 mm pour des épaisseurs de 0,10 à 2 mm ;

Dans la majorité des cas, les fils sont spiralés, soit qu'ils encerclent un moufle (petits fours), soit qu'ils soient montés sur

(1) A. CLERGEOT : Le chauffage électrique industriel, La Technique Moderne, t. XXVIII, n° 6 (15 mars 1936), p. 206.

(2) Voir aussi La Technique Moderne, t. XXIX, n° 4 (15 février 1937), p. 118.

(3) Les alliages servant ordinairement à constituer les rhéostats ont été rejetés, soit parce que ne supportant pas la température à atteindre dans les fours électriques, soit en raison de leur grande oxydabilité.

3° MÉTHODE PIEZO-ÉLECTRIQUE. On sait qu'une lame de quartz ou d'autres cristaux, taillée convenablement et soumise à une pression, acquiert une polarisation diélectrique susceptible de charger deux armatures de condensateur entre lesquelles on la place. La tension qui apparaît ainsi est proportionnelle à la pression, et il suffit de l'amplifier pour pouvoir oscillographier cette dernière.

Les manographes fondés sur ce principe ont l'inconvénient de nécessiter des amplificateurs très sensibles. Néanmoins, ils ont pu être utilisés en particulier à l'étude des pressions dans les armes à feu.

4° MÉTHODE PHOTO-ÉLECTRIQUE. La cellule photo-électrique peut également être utilisée à la transformation d'une pression en phénomène électrique. C'est le cas du manographe Labarthe, dans lequel on utilise une membrane plane réfléchissante sur une de ses faces, l'autre étant en contact avec le fluide dont on mesure la pression. La membrane se déforme, devenant un miroir convexe sous une pression et un miroir concave sous une dépression. Si l'on fait tomber sur la membrane un faisceau de lumière parallèle et uniforme, le faisceau réfléchi présente en son milieu une densité variable avec la pression, et l'expérience montre que cette variation est linéaire. Il suffit donc de faire tomber le faisceau réfléchi, convenablement diaphragmé, sur une cellule photo-électrique et d'amplifier le courant de celle-ci (un seul étage suffit) pour obtenir une tension variant linéairement avec la pression. Si donc on envoie cette tension sur une paire de plaques déviateuses d'un oscillographe cathodique, la déviation correspondante du spot sera proportionnelle à la pression, l'étalonnage étant facile à effectuer. L'autre paire de plaques déviateuses peut recevoir soit une tension de balayage proportionnelle au temps, soit, dans le cas d'un moteur thermique, une tension proportionnelle aux déplacements linéaires du piston; cette tension s'obtient facilement au moyen d'un excentrique se déplaçant devant une fente, et occultant d'une façon variable un faisceau lumineux uniforme plat tombant sur une cellule photo-électrique dont on amplifie le courant. Dans ces conditions, on verra apparaître sur l'écran le diagramme du moteur thermique étudié.

2. Etude des grandeurs optiques.

Comme nous l'avons vu plus haut, une variation de flux lumineux est facile à oscillographier en passant par l'intermédiaire d'une cellule dont on amplifie le courant photo-électrique. Cette méthode peut être appliquée à l'étude de la variation de l'éclairissement des sources lumineuses en fonction du temps, ce qui permet en particulier l'étude des scintillations ou des variations rapides de température.

3. Applications biologiques et médicales.

Parmi les applications biologiques de l'oscillographe cathodique, l'une des plus intéressantes est certainement l'étude de l'influx nerveux; on sait, en effet, que la propagation d'une excitation le long d'un nerf s'accompagne de celle d'une zone portée à un potentiel négatif de l'ordre d'une vingtaine de millivolts. Cette propagation est d'ailleurs liée si intimement à l'influx nerveux qu'elle semble bien lui être identique.

L'oscillographe cathodique, grâce à la puissance extrêmement faible qu'il nécessite, et à son inertie minimum, a permis, sans l'emploi d'amplificateurs très sensibles, le tracé exact des courbes donnant le potentiel en un point d'un nerf en fonction du temps. Le schéma du montage utilisé pour cette étude par Gastein et Erlanger est représenté par la figure 12 : les plaques N et O de l'oscillographe reçoivent la tension entre l'extrémité

écrasée m du nerf Ne et un point voisin, après amplification par l'amplificateur A . L'autre paire de plaques PQ est reliée à un condensateur C , qui peut être chargé par une source à courant continu E à travers une résistance R (qu'on pourrait remplacer avantageusement par une impédance à courant constant). L'extrémité libre du nerf Ne reçoit deux fils provenant du secondaire d'une bobine d'induction, dont le primaire est alimenté par une source à courant continu. Un commutateur tournant double, à came, répète, à des instants convenables, l'ouverture du primaire de la bobine d'induction et le déclenchement de la charge du condensateur, à travers la résistance, suivi d'une remise en court-circuit. On obtient donc, sur l'écran de l'oscillographe, la courbe, en fonction du temps, du potentiel du point du nerf voisin de l'extrémité écrasée.

On obtient des enregistrements dans lesquels on remarque, outre la courbe cherchée, un crochet représentant l'instant de l'excitation et provenant de l'action de la bobine sur l'amplificateur. On peut ainsi mesurer la vitesse de propagation de l'influx nerveux, et étudier facilement la variation de potentiel qui l'accompagne. Ce procédé, qui est l'application de la méthode de répétition périodique des régimes variables décrite plus haut, a permis l'obtention de résultats du plus haut intérêt physiologique.

Parmi les applications médicales, la plus répandue est celle qu'on peut faire à l'électrocardiographie, qui permet l'étude des anomalies du cœur, en utilisant les différences de potentiel minimales apparaissant entre des électrodes convenablement disposées à la surface du corps, sous l'action des contractions du cœur et du système circulatoire.

Là encore, l'oscillographe cathodique, grâce à la très faible puissance qui lui suffit, a permis de simplifier les amplificateurs utilisés. A cause de la très basse fréquence du phénomène étudié, il est bon de faire usage d'un oscillographe à écran phosphorescent, à longue durée de persistance; on peut ainsi observer visuellement la courbe du potentiel étudié, ou l'enregistrer photographiquement. Les courbes obtenues peuvent être soit la variation du potentiel en fonction du temps, soit la variation d'un potentiel en fonction d'un autre. Des indications médicales très précieuses peuvent être tirées de telles observations.

CONCLUSION

Nous avons étudié, dans ce qui précède, la construction des oscillographes cathodiques et leurs applications. On a pu se rendre compte de la très grande variété de ces dernières, bien que nous n'ayons pas parlé de celle qui sera peut-être la plus importante, commercialement, c'est-à-dire la réception des images de télévision. En fait, l'oscillographe à rayons cathodiques est aujourd'hui devenu un instrument si commode que sa place est non seulement dans tous les laboratoires, mais s'étend de plus en plus, son utilisation étant aussi simple que celle des instruments de mesure courants.

Marcel DEMONTVIGNIER,

Ingénieur E. P. C. I.,

Ingénieur en chef à la Société anonyme Hewittic.

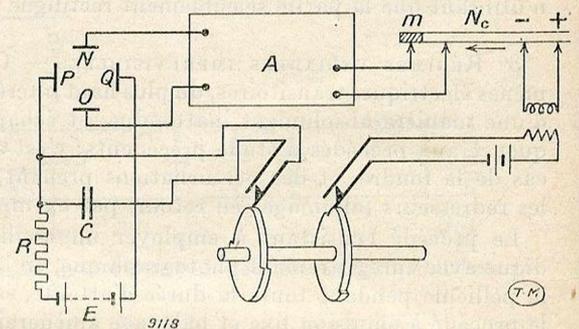


Fig. 12. — Montage permettant l'étude de l'influx nerveux.

un support isolant ou simplement boudinés. Pour les plus grandes sections, ils peuvent être utilisés sous forme de tiges ou recevoir toute forme (en épingle à cheveux, par exemple) augmentant leur résistance mécanique;

2° *Soit blindés* : Dans ce cas, le résistor est noyé dans une matière isolante maintenue dans une cuirasse métallique de forme et de matière appropriées; la chaleur fournie par le résistor est transmise par rayonnement de cette cuirasse. Tels sont les éléments *Calrod, Backer, Chromalox*.

Ces résistors, ayant déjà fait l'objet d'une étude détaillée (1) et trouvant d'ailleurs leurs principales applications dans des domaines différents de celui que nous nous sommes assigné, ne seront pas examinés dans la présente étude.

Signalons toutefois les éléments Calrod enrobés dans des blocs en fonte au moment du coulage et dont une des applications réside dans la fusion des métaux blancs. Ces éléments sont alors accrochés sur le bord du récipient, les crosses plongeant dans le bain même du métal (fondeuses d'imprimerie, par exemple).

II. RÉSISTORS DE CARBONE. Le carbone peut être employé soit *amorphe*, soit *graphité*, et sous diverses formes dont, notamment les suivantes :

1° *Kryptol*, ou grains de carbone en contact les uns avec les autres.

Ces grains proviennent généralement de débris d'électrodes; leur diamètre peut varier de 2 à 20 mm. La résistance de l'ensemble étant principalement constituée par celle des contacts, elle est d'autant plus élevée que les grains sont plus fins (augmentation des résistances de contact) et que la pression de contact est plus faible.

Pour compenser l'effet de la différence de température qui peut exister d'un endroit à l'autre du résistor granulé, on peut radier la chaleur vers la voûte du four, qui la répartit ensuite uniformément sur la masse à traiter.

Ce résistor est peu coûteux et très facilement remplaçable ou renouvelable; il doit, en principe, fonctionner à l'abri de l'air; même dans un four bien clos, l'usure des granulés est considérable et celle du caniveau en carborundum qui les contient, très appréciable elle-même.

Ce système est employé principalement sur des fours à résistance de fusion (fours Baily, four Rennerfelt-Reverberatory).

2° *Pièces façonnées, en contact les unes avec les autres*. Elles ont généralement la forme de plaques ou de briques dont on fait varier le degré de serrage pour régler la résistance.

Ces pièces finissent parfois par se souder les unes aux autres pour ne plus former qu'un conducteur unique.

3° *Résistors d'une seule pièce*, qui sont généralement obtenus par moulage sous pression d'une pâte convenable de carbone amorphe, calcinée à haute température (four électrique) pour graphitisation.

D'une façon générale, la résistance électrique d'un tel résistor est faible; aussi est-elle soit augmentée en fendant par exemple le tube suivant une hélice ou en y pratiquant de multiples fentes, soit compensée par une intensité suffisamment élevée.

Les fours à résistance de carbone sont en général alimentés à basse tension (emploi, le plus souvent, d'un transformateur-abaisseur).

Ces résistors se présentent sous les formes les plus diverses :

a) *Tubes formant moufle chauffant*, à parois pleines ou découpées en hélice, surtout utilisés pour les fours de laboratoire (four Garvin et Chaudron, pour traitements dans le vide); par exemple, un tube de 52 mm de diamètre et 260 mm de lon-

gueur, découpé en hélice, absorbe une puissance de 15 kw à la température de 2 300° C;

b) *Pièces en U*, à section carrée ou rectangulaire (fours construits par la Compagnie générale de Radiologie, pour le dégazage des pièces entrant dans la fabrication des lampes de T. S. F.; chaque four, d'une puissance de 60 kw, permet d'atteindre une température de 2 000° C sous un vide correspondant à 0,01 mm de mercure);

c) *Tiges de graphite* de différents diamètres (four de Saint-Gobain), à rayonnement.

d) *Creusets de graphite* pur, ou mélangé d'argile (pour augmenter sa résistance électrique), et séparé du bain par un enduit empêchant les dérivations de courant (four Morgan).

III. RÉSISTORS EN COMPOSÉS DE CARBORUNDUM. Il est impossible de dépasser 1 400° à la périphérie des baguettes à base de carborundum, même les plus fines, en raison du fait que, la région axiale atteignant alors 2 000° C, il s'y produit une dissociation du carbure avec volatilisation et oxydation du silicium, ce qui rend la pièce inutilisable dans les conditions voulues (1). Au surplus, il est douteux que l'oxydation superficielle de la baguette soit absolument négligeable.

Pratiquement, on admet que ces baguettes peuvent donner des résultats satisfaisants pour une température normale du four ne dépassant pas 1 300° et une température maximum de 1 350°.

Comme résistors à base de carborundum en usage (2), nous citerons les suivants :

1° *Baguettes de Silite*, obtenues en chauffant, dans un gaz inerte ou réducteur, un mélange de carborundum et de silicium liés avec de la glycérine et de l'acide borique (ou de la résine, de la paraffine, du brai...). Elles sont pleines ou creuses (ceci, en principe, seulement au-dessus de 6 mm de diamètre). Pour éviter un échauffement exagéré des extrémités, ces dernières sont renforcées par des manchons de même nature, au bout desquels on fixe les connexions métalliques. Le refroidissement est naturel.

2° *Baguettes de Quartzilite*, ou *Globar*, constituées par du carborundum (75 %) aggloméré avec du *Siloxicon* (3) [25 %], ce mélange étant additionné de 25 % de silicium dans les régions terminales, afin de diminuer la résistivité des extrémités, qui restent ainsi relativement froides, favorisant la conservation de la connexion. Elles se présentent sous forme de tiges pleines, de section relativement importante, donc de bonne résistance mécanique.

Les éléments de petite puissance, ou montés dans des fours à moyenne température (1 000° C par exemple), sont à refroidissement naturel; les autres sont à refroidissement par eau.

Voici quelques caractéristiques des baguettes Globar :

Densité moyenne.	..	2,2
Résistivité, en microhms par centimètre et par centimètre carré..	..	900 à 5 000
Température pratique maximum d'emploi dans les fours industriels, en degré Centigrade .		1 400

(1) C'est la raison pour laquelle les baguettes actuelles n'ont plus guère que 5 à 10 mm de diamètre.

(2) Ont été définitivement rejetées : a) les baguettes qui se préparaient par chauffage de cylindres de carbone dans la silice en poudre fine. Il se formait à la périphérie une couche de carbure dont l'épaisseur ne dépassait guère 1 à 2 mm; b) les baguettes qui s'obtenaient par chauffage de crayons de carbone dans du silicium qui pénétrait plus ou moins profondément suivant la température et la durée de l'opération.

(3) C'est un sous-produit — de formule (C.Si)^xO_y — de la fabrication du carborundum. Il se présente sous la forme d'une poudre qui, mouillée et comprimée, fait prise comme de l'argile.

Les proportions indiquées ici sont approximatives.

(1) H. LALITTE, *La Technique Moderne*, t. XXIX, n° 6 (15 mars 1937, p. 202. — Voir aussi p. 179 de la présente livraison.



Charge maximum superficielle, en watts par centimètre carré à l'air libre.	35
Charge maximum superficielle, en watts par centimètre carré en fours fermés	22
Durée moyenne ⁽¹⁾ , pour des températures normales (1 200° à 1 350° C), en heures...	1 000

Le libre jeu des contractions et dilatations successives est assuré par un système de connexions avec ressort compensateur dont le montage doit être particulièrement soigné pour :

- Éviter tout effort mécanique qui briserait les baguettes;
- Assurer un contact suffisant pour le passage du courant;
- Assurer une circulation correcte de l'eau de refroidissement (sans calcaire et non acide).

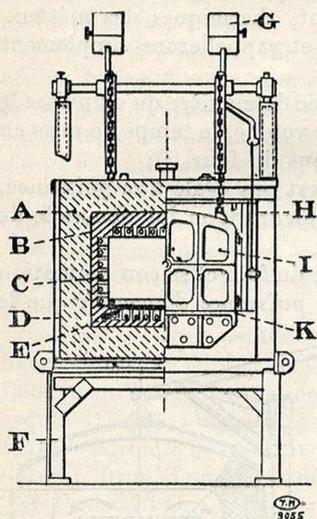


Fig. 1. — Four à chambre horizontale.

A, Isolement thermique; — B, Support d'éléments chauffants; — C, Élément chauffant; — D, Enveloppe en tôle; — E, Tôle de protection de la sole; — F, Carcasse métallique; — G, Contrepoids; — H, Tirette de manœuvre de la porte; — I, Porte à guillotine; — K, Plateau de chargement.

La durée des baguettes en carborundum est, beaucoup plus que celle des résistors métalliques ou en carbone, fonction de la construction et de l'utilisation judicieuses du four, de la température et de l'atmosphère qui y règnent. Signalons, en particulier, l'action nocive des substances suivantes : oxydes de cuivre, de fer, de nickel, etc..., vapeurs de chlore, de soufre, oxyde de carbone, métaux fondus, sur les éléments Global.

Les baguettes de Silite sont plus conductrices, électriquement et thermiquement, que les baguettes agglomérées au Siloxicon. Par contre, la solidité mécanique de ces dernières est meilleure.

Au fur et à mesure de leur utilisation, les baguettes en silite ou Global vieillissent ⁽²⁾ et nécessitent, pour pouvoir donner la même puissance, une légère augmentation de tension.

TABLEAU III. DOMAINES D'UTILISATION DES DIFFÉRENTS RÉSISTORS

TEMPÉRATURE NÉCESSAIRE	NATURE DES RÉSISTORS
Jusqu'à 500 à 600°	Éléments blindés. Alliages ferreux ou cuivreux, au nickel et au chrome.
Jusqu'à 1 100°	
De 700 à 2 500°	Alliages nickel-chrome.
De 1 100 à 1 350°	Résistors en carbone.
De 1 200 à 1 400°	Kanthal ou Mégapyr.
	Global ou Silite.

Pour neutraliser les effets de ce vieillissement et utiliser au mieux les baguettes, on peut avoir recours à plusieurs solutions :

(1) Les limites inférieure et supérieure indiquées par les fabricants sont respectivement de 800 et 1 400 h, mais les résultats d'exploitation semblent montrer que ces éléments peuvent durer de 1 500 à 2 000 h pour des fours convenablement construits et utilisés.

(2) Ce vieillissement résulte de deux actions simultanées : oxydation et désagrégation. On constate ainsi qu'après un certain nombre d'heures de travail, la résistance R de l'ensemble du résistor augmente; cette variation est d'abord rapide (60 à 150 h), puis très lente.

Emploi de baguettes de puissance supérieure à la puissance de régime (pour les petits fours, parce que ceci évite d'avoir recours à un dispositif spécial et coûteux de réglage);

- Emploi de résistances de compensation;
- Emploi de résistances de réglage, ou de selfs de compensation;
- Emploi de selfs de réglage;

Emploi d'un auto-transformateur de réglage qui, d'une part, assure une meilleure utilisation des baguettes (en permettant de les survolter après un certain temps de service) et, d'autre part, permet de régler l'allure du four et d'éviter de surcharger les

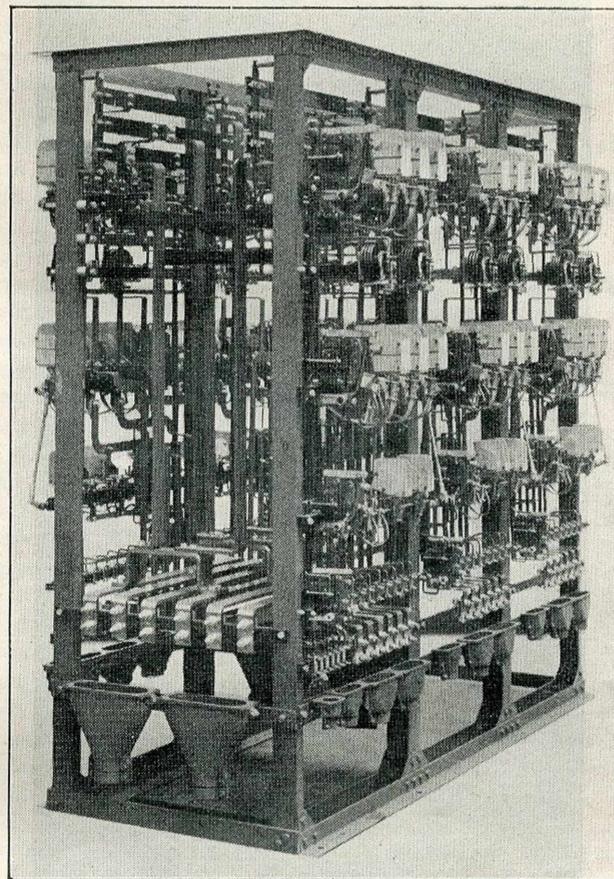


Fig. 2. — Équipement à contacteurs, sur charpente métallique, pour contrôle automatique d'un four à résistances triphasées, 400 kw, 220 v, 50 pér/sec, six zones de chauffage, à couplage étoile-triangle (La Télémechanique Electrique, Constructeur).

baguettes au cours de leur utilisation normale. C'est la solution généralement adoptée.

Le tableau III donne une idée d'ensemble des limites d'emploi des divers types de résistors.

2. Fours électriques à résistance pour traitements thermiques des métaux et alliages ferreux et non ferreux.

L'emploi systématique du four électrique pour le traitement thermique industriel des métaux ferreux et non ferreux n'a pris de réelle extension que depuis quelques années, malgré les imperfections reconnues des fours à combustible.

Les causes ayant retardé cette extension sont d'ordre beaucoup plus économique que technique.

En effet, après la réalisation d'éléments chauffants de formes, dimensions et composition appropriées pour diminuer leur fragilité, prolonger leur durée, les rendre facilement interchangeables et permettre d'obtenir les températures désirées, restait la principale objection : le coût encore relativement élevé de l'énergie électrique.

Or, à ce point de vue, et en première approximation, l'avantage du four électrique sur le four à combustible ne peut apparaître nettement, car la comparaison des frais propres de chauffage, d'entretien et d'amortissement, ne peut en aucun cas suffire. Il faut également tenir compte des facteurs suivants :

- a) Amélioration de la qualité des produits traités;
- b) Diminution des déchets, qui prend ici une importance primordiale en raison de la valeur et de la quantité des pièces

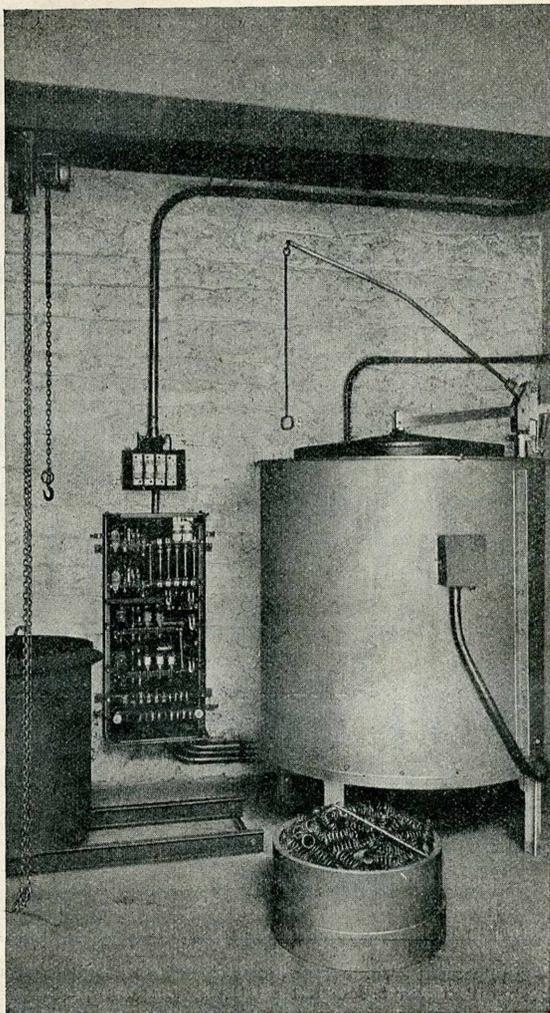


Fig. 3. — Four de revenu M. E. C. I. pour ressorts, à régulation automatique de température, et son appareillage à contacteurs de La Télémechanique Electrique pour couplage série-parallèle des résistances.

traitées (telles que des engrenages dans une fabrique d'automobiles, par exemple.)

c) Précision, régularité absolues de la température désirée, dans toute l'enceinte du four, par suite :

- α) De la disposition et de la répartition judicieuses des éléments chauffants;
- β) De la régulation automatique permettant de mener le processus de chauffe suivant une courbe bien déterminée;
- d) Enfin, en corollaire de ce qui précède, suppression de la main-d'œuvre de surveillance.

Il faut encore ajouter, relativement aux fours à combustibles solides :

- e) Meilleur rendement calorifique;
- f) Diminution des causes d'oxydation.

L'expérience née des installations existantes aidant, le four électrique a pris peu à peu, dans le domaine des traitements thermiques, la place prépondérante qui lui revenait, et la pratique a chaque fois confirmé les avantages que nous avons énumérés.

Les fours électriques à résistors utilisés pour les traitements thermiques étant identiques — à quelques types particuliers près — et seulement différenciés par des conditions de température, détails de construction, etc... pour les métaux ferreux et non ferreux, nous avons étudié ici d'une façon très générale les différents types de fours utilisés dans cette application.

I. FOURS A MOUFLE OU A CHAMBRE HORIZONTALE. 1° Four d'atelier. L'appareil de la figure 1 représente le type classique bien connu de four pour traitements thermiques des métaux. Nous ne le décrirons donc pas (1) et rappellerons simplement que :

α) La puissance du four est calculée de manière qu'on puisse le porter rapidement à la température voulue, le temps de mise en route diminuant avec des dimensions du four (2);

β) La consommation d'un four n'est pas égale à sa puissance, mais correspond à la quantité de chaleur qu'on lui demande de fournir;

γ) La différence entre la puissance du four et sa consommation en régime permanent constitue la puissance disponible que le four est en état de fournir, en admettant que la charge puisse absorber la chaleur au fur et à mesure de sa production.

L'énergie fournie par le four peut être limitée en rapport avec la faculté d'absorption de la chaleur par les pièces, en réglant :

Soit la température (par régulateur pyrométrique automatique);

Soit la puissance du four (par transformateur à plots modifiant la tension aux bornes).

2° Fours à deux chambres.

Ils sont spécialement construits pour le traitement thermique des aciers dits « à coupe rapide », dont la trempe s'effectue entre 1 350-1 400° C et qui nécessitent un chauffage progressif préalable jusqu'à 850° environ.

Ils se composent de deux chambres superposées, juxtaposées ou complètement séparées, mais, de toute façon, indépendantes l'une de l'autre, et disposées soit dans une seule, soit dans deux carcasses métalliques montées sur un châssis commun.

La chambre de préchauffage, dont la puissance n'excède généralement pas 3 à 5 kw et la température 1 000°, est équipée avec résistor en alliages nickel-chrome; par suite, son réglage est normalement prévu au moyen d'un simple rhéostat à commande à main.

La chambre à haute température (disposée à la partie supérieure dans le cas de chambres superposées) est généralement équipée d'éléments en carbure de silicium, couplés en triangle

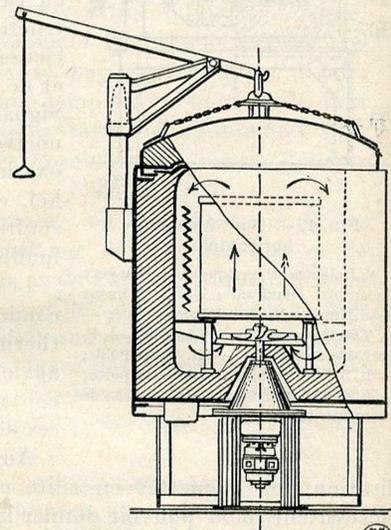


Fig. 4. — Four vertical à ventilation forcée.

(1) Voir *La Technique Moderne*, t. XXVI, n° 10 (15 mai 1934), p. 342.

(2) Par exemple, il faudra 1 h 30 pour porter un four complètement froid et d'une puissance de 16 kw à 800° et 2 h pour le porter à 1 000°. Dans les mêmes conditions, mais avec un four de 34 kw, il faudrait, par exemple, respectivement 2 h et 2 h 45. Le premier four, arrêté à 16 h et à 800°, peut encore être à 400° le lendemain matin à 8 h. Le temps nécessaire pour le porter à nouveau à 800° sera donc sensiblement plus faible que celui indiqué plus haut.

avec inverseur pour couplage en étoile pendant la période de mise en température, et auto-transformateur à prises multiples (1).

Les chambres superposées ou juxtaposées sont réservées aux fours de petites dimensions, les fours plus importants étant généralement à chambres séparées, qui offrent l'avantage de ne pas être immobilisées toutes deux en cas de réparation de l'une d'elles.

3° *Grands fours industriels.* Ce sont les fours que réclame le traitement de pièces de grandes dimensions, dans le cas de productions importantes.

a) *Fours à auge.* Ce sont des fours à chambre horizontale en forme d'auge, d'une longueur moyenne de 6 à 7 m, utilisés plus spécialement pour le recuit de barres d'acier.

Les éléments chauffants, répartis dans les parois latérales, la sole et le couvercle mobile, sont subdivisés le long du four en plusieurs groupes qui sont, indépendamment les uns des autres, réglés à la même température.

Le refroidissement lent (exigé le plus souvent par le traitement lui-même) de la charge se fait presque toujours dans le four même.

Exemple. Une installation de deux fours à auge de 180 kw chacun (courant triphasé, 500 v) pouvant recevoir des charges allant jusqu'à 4 T, pour le recuit entre 600-700° de barres d'acier jusqu'à 7 m de longueur, a une capacité totale de 80 T/mois (charge refroidie lentement dans les fours mêmes), avec une consommation d'environ 280 kwh/T.

b) *Fours à chariot.* Ils sont généralement utilisés pour le recuit de lingots d'acier, de pièces de grandes dimensions, le refroidissement lent de lingots chargés à chaud.

La charge est placée sur un chariot formant sole du four. Les résistances sont réparties sur les parois latérales, dans la voûte du four et dans la sole du chariot, recouverte d'une tôle de protection en alliage inoxydable. L'alimentation électrique du chariot s'effectue par câble souple et prise de courant à verrouillage. Ces fours travaillent surtout en service intermittent et principalement avec le courant de nuit.

Comme dans le type précédent, le refroidissement des lingots se fait dans le four. Le refroidissement peut être sensiblement activé en retirant le joint de sable colmatant le chariot et la porte du four.

Exemple. Four d'une puissance de 350 kw (courant triphasé 500 v), d'une capacité de 20 T, pour le recuit à 800° de lingots d'acier avant laminage. Marche intermittente avec courant de nuit et des jours fériés.

Une charge de 20 T de lingots froids, chargés dans le four froid, nécessite environ 14 h pour être portée à 800°, avec une consommation de courant de 150 kwh/T environ. Le refroidissement jusqu'à 300° dure à peu près 60 h.

c) *Fours tunnels continus.* Alors que, dans les cas de pièces de grandeurs et de quantités différentes, le traitement dans les fours intermittents est plus simple et moins coûteux, le four continu devient intéressant pour traiter les pièces de série subissant toujours le même traitement. L'exactitude du réglage exclut les cas de traitements manqués, et son automaticité permet de réduire la surveillance.

La chambre de chauffe est constituée par trois chambres calorifugées entre elles. La première sert à la préchauffe et au recuit, tandis que la charge refroidit lentement dans les deux autres. Un quatrième chariot est toujours en dehors du four pour achever le refroidissement de la charge, effectuer son déchargement et le chargement d'une nouvelle fournée. Ce chariot peut être chauffé en dehors du four, si l'on veut éviter

l'introduction directe de la charge froide, qui est alors recouverte d'une cloche de protection reposant sur le chariot au moyen d'un joint de sable. On peut ainsi effectuer une préchauffe de 200 à 300° C. Les éléments chauffants sont répartis sur les parois latérales et dans la voûte du four. Pour compenser les pertes occasionnées par la porte, des éléments supplémentaires, indépendants des précédents, sont répartis sur sa paroi intérieure. De plus, chaque chariot est muni de résistances pouvant être mises sous tension pendant le passage du chariot dans la chambre de recuit et dans la première des deux chambres de refroidissement.

Des bouches d'air réglables sont ménagées dans la dernière chambre pour y régler la vitesse de refroidissement.

Exemple. — Four tunnel de 200 kw, pouvant recevoir trois chariots de 4,80 m de longueur chacun.

Chaque chariot peut recevoir 5 à 10 T de barres de 4,50 m de longueur. La durée de la préchauffe et du recuit est de 15 à 24 h. La préchauffe s'effectue entre 200 et 300°. La consommation, pour le recuit à 800° environ, est de 250-300 kwh/T.

Pour le traitement de pièces de faibles dimensions, les fours tunnels continus comportent simplement une sole intérieure mobile sur laquelle les charges sont disposées à une extrémité du four, et recueillies à l'autre extrémité.

d) *Fours continus à récupération.*

— En raison de son prix relativement élevé, il est particulièrement intéressant d'utiliser au maximum l'énergie électrique destinée au chauffage. A cet effet, on a réalisé des fours continus possédant deux rangées de produits à traiter, avançant chacune en sens inverse l'une de l'autre, la zone de chauffage existant seulement sur le tiers moyen de la longueur du four. Un tel four, possédant une longueur suffisante, ne nécessiterait théoriquement, comme apport de chaleur, que la compensation des pertes par les parois du four, les produits chauds cédant toutes leurs calories aux produits froids. En réalité, on est limité par :

α) La longueur du four (qui peut être horizontal ou vertical; dans ce dernier cas, moindre encombrement);

β) La température à partir de laquelle l'échange de chaleur des produits chauds aux produits froids devient extrêmement lent.

Avantages. 1° Économie d'énergie de 20 à 30 % sur celle nécessitée par les fours électriques ordinaires;

2° Dépense inférieure à la dépense en huile lourde d'un four à combustible.

Les produits froids présentent toujours le même côté aux produits chauds qui leur cèdent leurs calories. On peut y remédier par une judicieuse disposition des éléments chauffants.

Utilisation. Pour la cémentation, le recuit, le séchage des noyaux de fonderie, l'émaillage, la cuisson de la porcelaine....

II. **FOURS VERTICAUX.** Ces fours (fig. 3) peuvent être utilisés :

1° *Avec convection forcée* (fig. 4) pour des températures jusqu'à 650°, c'est-à-dire pour le revenu, pour le recuit des laitons et la trempe des alliages légers.

Les pièces à traiter sont disposées dans un panier en forme de

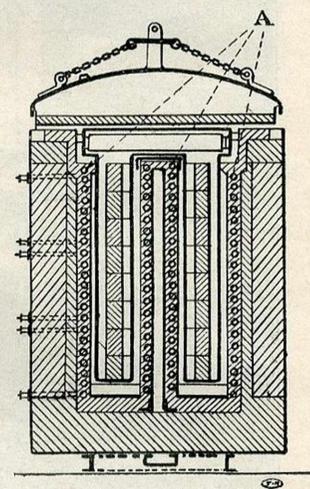


FIG. 5. — Four vertical à chauffage axial.
A, Éléments chauffants.

(1) Signalons l'emploi généralisé des contacteurs pour le couplage et le contrôle automatiques sur les fours à résistances petits ou grands (fig. 2).

tambour métallique dont les deux fonds sont à claire-voie. Ce panier est disposé dans l'axe du four vertical. Un ventilateur, placé à l'intérieur du four, sous le tambour, assure une circulation d'air continue; l'air parcourt un circuit fermé dans lequel il rencontre successivement : les résistances qui sont disposées dans l'espace annulaire existant entre les parois internes du four, et les pièces placées à l'intérieur de ce dernier, qu'il traverse ⁽¹⁾ et auxquelles il cède sa chaleur.

Afin d'assurer une homogénéité de température de la charge aussi complète que possible, un dispositif automatique inverse périodiquement le sens de circulation de l'air de long de son circuit, par inversion du sens de rotation du moteur d'entraînement.

Ce système, en augmentant les échanges de chaleur, qui deviennent alors très actifs ⁽²⁾, remédie au défaut de rayonnement calorifique pour des températures inférieures à 700°. Il permet

du gaz de protection ⁽¹⁾ pour le recuit en blanc; ils sont alors chauffés et refroidis avec la charge.

Les fours à atmosphère artificielle sont principalement employés pour :

Le recuit des tôles d'acier au silicium : notable amélioration des propriétés magnétiques; réduction de 50 % du coût de l'opération par la suppression de l'emploi de lourdes caisses, longues à chauffer ou à refroidir et se détériorant rapidement dans les fours à combustible;

Le brasage du cuivre, remplaçant soudure, rivetage ou tout autre assemblage mécanique;

Le recuit brillant des fils et tubes en métaux non ferreux, de bandes d'acier laminées à froid.

On peut signaler, comme utilisations futures, le recuit des tôles pour zincage, étamage, pour l'industrie automobile.

Fours à chauffage axial (fig. 5). Ils comportent un élément de chauffe supplémentaire, dans l'axe du four, ce qui permet d'obtenir une température à peu près égale à l'extérieur et à l'intérieur des couronnes ou rouleaux de bandes ou de fils minces, pour le recuit desquels ces fours sont particulièrement intéressants.

Avantages. — La capacité du four peut être augmentée de 30 %.

Meilleur recuit, le chauffage étant plus régulier (on ne constate généralement qu'une différence de 15° entre l'extérieur et l'intérieur de la charge).

Un four permettant le recuit d'une charge de 2,5 T de laiton en 6 h consomme environ 125 kwh/T

Fours verticaux à marche continue.

Lorsqu'on ne risque pas de tremper le métal, le refroidissement de la charge peut être effectué hors du four. On peut alors faire se succéder les charges dans un four constamment en température. On utilise généralement des fours à soles mobiles, sur lesquelles sont disposées les charges et servant à la manutention de celles-ci lors des enfournements et défournements.

Citons les types suivants :

a) Fours à cloche. Le four est composé d'une cloche calorifugée, à la périphérie intérieure de laquelle sont disposés les éléments chauffants. Cette cloche est mobile seulement dans le plan vertical et vient ainsi coiffer la charge portée par des wagonnets qu'on amène sous le four.

b) Fours élévateurs (fig. 6). Ils ne diffèrent des précédents qu'en ce que le four, également en forme de cloche, est fixe et situé à un niveau supérieur à celui du chargement. La charge est disposée sur une plate-forme qui se déplace verticalement et constitue la sole du four.

Ces fours peuvent être utilisés pour le traitement de couronnes de bandes ou de fils, de bandages de roues, etc.

(A suivre)

A. CLERGEOT,
Ingénieur I. E. M.,
Electrometallurgiste.

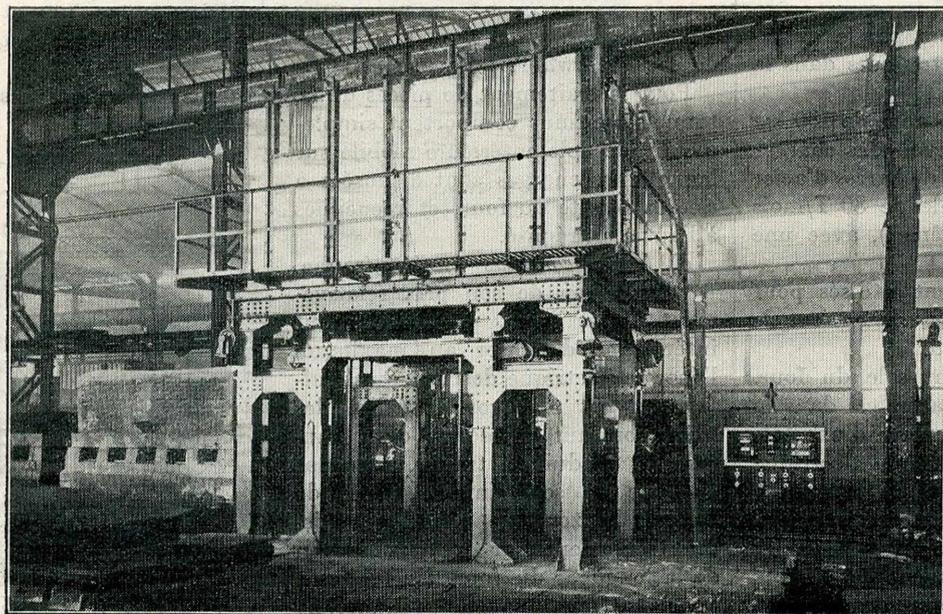


FIG. 6. — Vue d'ensemble d'un four à élévateur (Ripoche, constructeur).

une densité de chargement élevée et un chauffage rapide, d'où économie et souplesse.

Exemples. — Avec un four de ce genre, de 550 mm de diamètre utile et 450 mm de profondeur, il a été traité, par heure, 400 kg de ressorts à 400° avec une consommation inférieure à 18 kwh ou 200 petits boulons en aciers spéciaux, à 580°, avec une dépense de 18 kwh.

Ces fours peuvent être utilisés en marche continue ou intermittente. Il existe également des fours continus, du type tunnel, dans lesquels est réalisé le chauffage par convection au moyen d'une circulation permanente d'air chaud.

2° Pour des températures supérieures à 650°, c'est-à-dire plus spécialement pour le recuit et la trempe.

Ce sont des fours analogues aux précédents, mais sans ventilation forcée ⁽³⁾ et qui peuvent être spécialement utilisés avec

(1) Ceci pour éviter la surchauffe des pièces les plus proches du résistor et le chauffage insuffisant de celles placées au centre du four, qui sont les plus éloignées de la source de chaleur.

(2) Ces échanges sont fonction de la puissance du four et de la vitesse du ventilateur.

(3) En effet, dans ce cas, les échanges de chaleur se font principalement par rayonnement, et la ventilation forcée ne pourrait les activer sensiblement.

(1) Réalisant une atmosphère différente de celle susceptible de réagir avec les produits traités. Le gaz le plus employé est l'hydrogène; on emploie aussi l'électrolène (qui résulte de la dissociation, par la chaleur, du gaz de four à coke) et des mélanges d'azote et de gaz d'éclairage. Les gaz employés n'ont pas besoin d'être purs.