LES FOURS A INDUCTION

ET LEUR APPLICATION

dans l'industrie du fer et de l'acier

CHAPITRE IV

MOUVEMENTS CARACTÉRISTIQUES DE LA MASSE EN FUSION
Les matériaux introduits dans le four ne subissent aucun

puissantes forces centrifuges. Ce phénomène me fut expliqué de différents côtés (Hochenegg, Korda) de la manière suivante : (Figure 19).

Outre les flux primaire et secondaire Φ'_2 et Φ''_1 qui se composent dans le noyau pour donner le flux Φ , il y a des flux de fuite $\Phi's$ et $\Phi''s$ qui passent entre le circuit secondaire. Ces flux ne seront pas négligeables, — surtout le flux secondaire qui se ferme en partie dans le métal fondu. Par ailleurs ces flux ne sont que légèrement déphasés;

Fig. 19.

Fig. 20.

brassage, non pas que celui-ci soit inutile, mais quiconque a vu fonctionner un four à induction sait bien que le four se charge lui-même d'agiter son contenu.

Il y a d'abord un mouvement de la masse en fusion provenant de ce que dans un four à induction la surface libre du bain n'est pas horizontale. Sur tout le pourtour du canal annulaire le liquide qui est en contact avec la paroi externe du canal se soulève comme s'il était soumis à l'action de

on peut donc les considérer comme étant de même sens. Comme les lignes de forces parallèles se repoussent et exercent par conséquent des pressions perpendiculaires à leur direction, le tore de métal fondu tend à s'élargir. Il est donc soumis à deux forces, la pesanteur g et une force radiale P_s comparable à une force centrifuge. La surface du bain sera naturellement perpendiculaire à la résultante de ces deux forces (Figure 19).

C'est à ce relèvement du bord externe du bain qu'il faut attribuer sans doute ce fait que l'on peut observer une rotation de la masse métallique dans des plans perpendiculaires au canal, rotation dirigée vers l'intérieur de l'anneau, donc en sens inverse de ce qui se produit dans un anneau de fumée. On peut à ce propos hasarder l'hypothèse que dans les parties supérieures le refroidissement est plus rapide — le métal refroidi retombe, et c'est ainsi que naît le mouvement de rotation. — La non horizontalité du bain dans les fours à induction a été également signalée dans les derniers temps par les auteurs américains. (Hering).

Ce phénomène ne doit cependant pas être confondu avec ce que Hering a appelé « Pinch phenomenon » et que l'on observe quand on fait passer directement un courant dans une résistance constituée par un métal liquide. (Hering, 11^e assemblée de la Société électrochimique américaine, à Philadelphie, 2 au 4 mai 1907). D'après les observations d'Hering si l'on augmente suffisamment la densité de courant dans un métal liquide remplissant un canal ouvert, il se produit une contraction de la veine métallique, et cela tout particulièrement aux endroits où il préexistait un léger étranglement du canal. Cette contraction correspond par sa forme à une empreinte faite dans une matière plastique, — d'où l'appellation d'Hering. Avec des densités de courant suffisantes on arrive, paraît-il, à pousser la contraction si loin que le sillon creusé dans le métal atteint le sol du canal ce qui interrompt le courant. L'explication théorique de ces phénomènes a été donnée entre autres par Northrup. (Conférence donnée à la Société de Physique, à Philadelphie) et par Bary (« l'Eclairage Electrique », 13 avril 1907). Au point de vue des fours à induction ce qu'il y a de plus intéressant, c'est l'expérience de Bary qui opérait sur du mercure et du zinc fondu et avec du courant alternatif : il obtint au lieu d'un seul sillon, une surface multiplement ondulée, ce qui permettrait un rapprochement avec les dénivellations observées dans les fours à induction.

CHAPITRE V

CONDUITE DES FOURS ÉLECTRIQUES

Au point de vue de l'effet thermique à obtenir, les fours à induction sont particulièrement avantageux, puisque la chaleur se dégage à l'intérieur de la masse. Nous avons déjà précisé les rapports entre la forme du canal et les pertes thermiques. Il va de soi que l'on emploie, pour la construction, des matériaux mauvais conducteurs de la chaleur, et qu'en outre on couvre le canal avec des couvercles mobiles ou, quand cela est admissible, par des voûtes en maçonnerie afin d'empêcher le rayonnement. En tout cas, pour diminuer les pertes de chaleur, il faut que la durée de l'opération soit aussi brève que possible, c'est-à-dire qu'il faut pousser la densité de courant jusqu'à la plus haute valeur acceptable. Il est à peine besoin de faire remarquer que, plus les fours sont grands, plus la perte de chaleur rapportée à l'unité de poids est faible.

Je ne passerai pas en revue toutes les opérations métallurgiques que comporte la conduite d'un four électrique, ce qui sortirait du cadre de la présente communication. Mais je signalerai brièvement les points principaux.

Je remarquerai avant tout que l'on aurait tort de considérer le traitement au four électrique comme un procédé spécial de traitement du fer et de l'acier. En ce sens l'expression de « Procédé Kjellin » est erronée. Les divers fours électriques ne sont que des appareils spéciaux dans lesquels on applique tous les procédés ordinaires de la métallurgie, mais souvent d'une manière un peu différente et avec de meilleurs résul-

tats. En somme on peut exécuter trois groupes d'opérations ayant respectivement pour but : l'obtention du métal, l'affinage et la refonte. Il y aura, suivant les cas indépendamment de la dépense différente d'énergie, des différences dans les manœuvres que le four devra permettre d'exécuter.

En tout cas le brassage doit être constamment entretenu pour que la coulée donne une masse homogène. Les fours à induction ont toujours satisfait à cette condition depuis le début de leur emploi. Je n'en veux pour preuve que les deux tableaux suivants extraits du rapport d'un expert anglais : ils sont relatifs à deux coulées faites en 1902, à Gyryng sur le four Kjellin, le premier four à induction qui fut exploité industriellement.

Fig. 21. — Circuit magnétique d'un four de 750 kw, 4,500-4,900 volts. 5 périodes avec chapeaux de protection contre la poussière.

TABLEAU I — Poids de la coulée : 327 kilos.

NUMÉRO DES PRISES		2	3	8	12
		au pied	au sommet	au pied	au sommet
Teneur en	Phosphore . . .	0,015	0,014	0,015	0,016
	Soufre	0,012	0,014	0,012	0,014
	Silicium	0,093	0,095	0,093	0,098
	Manganèse	0,440	0,440	0,429	0,440
	Carbone	1,330	1,330	1,330	1,335

TABLEAU II — Poids de la coulée : 328 kilos.

NUMÉRO DES PRISES		1	2	3	13
		au pied	au sommet	au pied	au sommet
Teneur en	Phosphore	0,010	0,018	0,010	0,012
	Soufre	0,016	0,018	0,014	0,015
	Silicium	0,051	0,084	0,064	0,049
	Manganèse	0,393	0,360	0,396	0,310
	Carbone	1,153	1,090	1,146	1,065

Une seconde exigence d'ordre général est la protection du noyau et de la bobine primaire contre le rayonnement de la chaleur du four. Kjellin y a pourvu déjà dans ses premiers types par un emploi simultané de circulation d'air et de circulation d'eau, cette dernière se faisant par des canaux en métal non magnétique (fer blanc). Dans quelques installations postérieures on a appliqué avec succès la ventilation toute seule. Divers constructeurs, par exemple la « Gröndal Kjellin Company », à Londres, ont adopté une bobine primaire creuse pour y faire passer l'eau froide, mais il s'agit surtout de petites unités. A propos de la ventilation, il ne faut pas oublier que l'air dans les fonderies est

fusion pour pouvoir y introduire de gros morceaux de métal. Il faut de plus que le canal soit accessible pour permettre la réparation du revêtement en cours d'exploitation.

Dans ces opérations de refonte il ne se forme que peu ou point de scorie, la masse du chargement est relativement faible et le chargement se fait en plusieurs heures ; aussi les fours correspondants sont en général fixes et se vident par coulée. Quand on traite ainsi des matières solides, comme le four ne peut être mis en service qu'avec du liquide, il faut avoir la précaution à chaque coulée de laisser au fond du four une flaque de métal qui sert d'amorce pour la prochaine opération. Pour changer la qualité du métal traité, il faudra donc

Fig. 22. — Four renversable Kjellin pour 750 kw. avec le gabarit du canal de fusion.

toujours chargé de particules de métal, de minerai, d'oxyde et de suie, et il serait fâcheux d'introduire ces poussières dans la bobine. Il faudra donc filtrer l'air au préalable.

Une dernière exigence générale est que le fonctionnement du four soit continu, sans quoi le revêtement du four se fissure en refroidissant et son usure est rapide. Si l'on ne travaille que pendant le jour, on peut, il est vrai, laisser dans le four une petite quantité de métal pour servir de résistance de réchauffement et entretenir le revêtement à une température convenable. Mais sans parler de la dépense inutile d'énergie, cela n'est évidemment qu'un mauvais expédient.

Les autres soins exigés par la fonderie diffèrent suivant les opérations à exécuter. Ainsi pour la simple refonte, par exemple, pour la préparation de l'acier par fusion de saumons de fonte pure avec des débris de fer, il faut un large canal de

ou bien mettre des charges de nature intermédiaire ou bien vider le four complètement et l'amorcer avec du métal fondu ailleurs.

L'opération de l'affinage, au contraire, fait intervenir de grandes masses de chargement et il doit se produire des réactions chimiques entre le métal et la scorie. D'autre part, le chargement devant être effectué en un temps très court, il faut que toutes les opérations mécaniques et chimiques : remplissage, coulée, soutirage de la scorie, action de la scorie sur le métal, réparation du revêtement, soient exécutées très rapidement. Aussi ces fours sont-ils en général renversables et l'on tient à ce que la scorie y soit fluide et chaude. A ce dernier point de vue, les fours mixtes l'emportent sur les fours à induction pure.

CHAPITRE VI

DESCRIPTION DES FOURS KJELLIN ET DE LEUR MACHINERIE.

Je renvoie, pour les détails précis et l'histoire des fours Kjellin, aux nombreuses monographies parues sur ce sujet dans les périodiques.

Je citerai seulement ici que le premier four Kjellin fût bâti en 1899 pour une puissance de 78 kw. On lui fit subir de multiples transformations ; puis on construisit un second four Kjellin pour 165 à 170 kw. qui donna déjà en 1901 des résultats satisfaisants, au double point de vue technique et économique. Lorsqu'en 1904, la « Metallurgiska Patentaktiebolaget », à Stockholm prit les brevets Kjellin, elle donna les licences d'exploitation à divers groupes d'actionnaires. C'est ainsi que la Société Siemens et Halske, de Berlin, acquit la licence pour l'Allemagne, le Luxembourg, l'Autriche-Hongrie et la Russie ; la Société Groendal Kjellin, de Londres, la licence pour l'Angleterre, les Etats-Unis et les colonies anglaises ; Gredt-Luxembourg ces mêmes droits pour les pays latins ; tandis que la « Metallurgiska Patentaktiebolaget » gardait la licence pour les pays scandinaves. Ces différents groupes ont fusionné ensemble récemment pour former la « Gesellschaft für Elektrostahlanlagen » à Berlin, Nonneudamm ; et plusieurs grandes maisons de l'industrie du fer et de l'acier ont adhéré à cette nouvelle Société.

Le premier four Kjellin, universellement connu grâce aux nombreux articles de revue dont j'ai parlé plus haut, fut perfectionné de bien des manières par les soins réunis des divers exploitants.

Dans la construction du four fixe on fit un plus grand emploi du fer même pour le bâtis, qui à Gysinge était en maçonnerie. Les figures 19 et 20 montrent un nouveau type d'exécution pour une puissance de 170 kw et un débit journalier de 5 tonnes chaque coulée étant de 1 tonne — ce qui fait cinq coulées par 24 heures — et on charge ce four avec des matériaux froids. Il comporte une double circulation d'air et d'eau. La bobine primaire repose sur un épaulement du noyau ; le circuit magnétique et la bobine primaire d'un four de même type, mais de 750 kw sont représentés sur la figure 21 et l'on remarque que les deux noyaux sont munis de couvercles de protection contre la poussière. Le four auquel appartient ce transformateur a été bâti dans les usines Siemens-Schackert et a été livré par Siemens et Halske aux « Röchlingschen Eisen-und Stahlwerke » à Völklingen. Le transformateur est calculé pour une tension primaire de 4500-4900 volts, une fréquence de 5 périodes et il a un poids d'environ 40 tonnes pour une distance de 2 m. 50 entre les axes des noyaux.

Le corps du four lui-même se compose d'une cuve ronde en fer dans laquelle on a construit d'abord de la maçonnerie incombustible, et qu'on a fini de remplir avec de l'argile en ménageant un canal annulaire qui est plus étroit à sa partie inférieure. Avec les minerais européens on est amené à employer des revêtements basiques de composition analogue à celle usitée dans les convertisseurs Thomas ou les fours basiques Martin-Siemens. Mais rien n'empêche, si

l'opération l'exige, de faire un revêtement acide comme dans un Bessemer. Pour ménager dans l'argile la forme du canal on se sert d'un gabarit : on a représenté dans la figure 22 le four de 750 kw de Völklingen et son gabarit.

Avant la mise en service l'argile dans laquelle on vient de modeler le canal doit être séchée et chauffée et l'on se sert à cet effet, de chargements métalliques spéciaux que l'on

Fig. 23 — Four de 330 kw. de Gurlmellen.

Fig. 24. — Four de 750 kw. de Völklingen.

échauffe à la manière habituelle par le courant secondaire. Dans le four à induction pure de Kjellin le canal est, pendant le fonctionnement, recouvert par des plaques infusibles en forme de segments et munies d'une armature de fer. Ces couvercles sont manœuvrés au moyen de petites grues tournantes.

Les figures 23 et 24 montrent deux types différents de grues ; la première sur le four de 330 kw, 3000 à 4000 volts primaires, appartenant à la « Allgemeine Calcium Carbide Gesellschaft », la seconde sur le four de 750 kw. de Völklingen.

(A suivre.)

W. ENGELHARDT.