

EXPOSITION DE DUSSELDORF

L'ALUMINOTHERMIE

PAR V. FIRKET

Ingénieur au Corps des mines,
Répétiteur à l'Université de Liège.

Le procédé aluminothermique du docteur Hans Goldschmidt, d'Essen, est basé sur les propriétés réductrices de l'aluminium métallique.

L'inventeur a donné le nom de « Thermit » au mélange intime de l'aluminium pulvérulent et de l'oxyde à réduire, et il provoque la réaction, sans aucun chauffage préalable de ce mélange non plus que du vase réfractaire qui le contient, par inflammation d'une petite quantité d'une poudre spéciale contenant du peroxyde de baryum, inflammation qui se propage rapidement dans la masse avec un dégagement de chaleur considérable. L'aluminium n'étant pas volatil, il ne se produit ni gaz ni vapeur, et la réaction est tranquille.

Le docteur Goldschmidt utilise de diverses façons les hautes températures ainsi réalisées, le métal réduit obtenu à l'état fondu et exempt de carbone et enfin la scorie contenant de l'alumine résultant de la combustion de l'aluminium. Ses premiers travaux dans cette voie datent de 1895, et il a fait connaître son procédé à l'assemblée générale de la Société Electro-technique allemande tenue à Leipzig

en 1898. L'*Allgemeine Thermit Gesellschaft*, qu'il a créée en 1897, exposait à Paris en 1900; au Congrès des mines et de la métallurgie, de la même année, un mémoire sur l'aluminothermie a été présenté par M. Clerc à la séance du 22 juin (1); la *Revue Industrielle* lui a également consacré un article dans son numéro du 10 novembre 1900.

Toutefois, l'on en était encore en 1900 à la période des essais, mais les diverses applications du procédé, devenues réellement industrielles, se sont depuis rapidement développées, spécialement en Allemagne; elles se sont également introduites en Russie et en Angleterre, et plusieurs usines belges en ont fait l'essai.

L'aluminothermie reste malgré cela peu connue dans notre pays et nos principales revues techniques la mentionnent à peine; j'ai cependant trouvé dans les *Annales de l'Association des Ingénieurs de Gand*, tome I, 1902, une note de M. J.-B. Ménart, qui donne le principe du procédé, d'après le rapport déjà cité de M. Clerc.

Les nombreux ingénieurs et industriels belges qui se sont rendus à Dusseldorf auront, pour la plupart, visité le pavillon Goldschmidt (n° 79 du plan) où se trouvent réunis le matériel et les produits de l'*Allgemeine Thermit Gesellschaft*; il s'y faisait assez fréquemment des démonstrations publiques des procédés de soudure aluminothermique.

Ces procédés attirent actuellement l'attention de beaucoup de nos techniciens et présentent ainsi un intérêt d'actualité. C'est ce qui m'a déterminé à consacrer aux découvertes du docteur Goldschmidt, le premier article rédigé pour les *Annales des Mines de Belgique*, à la suite de la mission qui m'a été confiée par M. le Ministre de l'Industrie et du Travail, sur l'imposante manifestation industrielle de Dusseldorf.

(1) *Bulletin de la Société de l'industrie minérale*, t. XV, 1901.

Je dois à l'obligeance du représentant en Belgique de l'*Allgemeine Thermit Gesellschaft*, M. A. Champy, ingénieur à Anvers, de nombreux documents et renseignements qui m'ont facilité la rédaction de ce qui suit, ainsi que les quelques clichés insérés dans le texte.

Étude théorique du procédé.

Le pouvoir réducteur de l'aluminium métallique, sa grande affinité pour l'oxygène et son pouvoir calorifique élevé sont connus depuis longtemps.

Depuis sa préparation en 1854, en quantité notable, par Henri Sainte-Claire-Deville, de nombreux savants ont étudié la réduction des oxydes métalliques par l'aluminium; mais, cette question ne pouvait sortir du domaine de la science pure qu'après la découverte d'un procédé économique de production de l'aluminium.

Le coût élevé du métal obtenu par Deville ne permettait aucune utilisation industrielle de ses propriétés remarquables; depuis qu'il se prépare en grande quantité au four électrique, il n'en est plus de même. A ce sujet, le tableau publié par M. Ménart, dans son travail précité, est intéressant; il donne, de 1885 à 1898, la production et le prix de l'aluminium et l'on y voit que, tandis que l'une s'élevait de 13,100 à 4,030,000 kilogrammes, l'autre durant la même période fléchissait de 125 francs à fr. 2-75 le kilog.

Depuis quelques années, les recherches ont été poursuivies simultanément en Amérique, en Allemagne et en France, en vue de rendre pratique l'utilisation des propriétés réductrices de l'aluminium. On trouvera dans le travail de M. Clerc, des renseignements au sujet de ces recherches.

Il est d'autre part question des premiers travaux d'aluminothermie dans les divers articles publiés par M. P. Chalon, dans la *Revue Universelle des Mines et de la*

Métallurgie, en ce qui concerne les applications de l'électrométallurgie. C'est ainsi que, dans son premier mémoire (t. XLV, 1899), il mentionne que divers chimistes ont proposé d'utiliser la grande chaleur de combustion de l'aluminium, pour produire de hautes températures et réduire certains oxydes métalliques; il cite la préparation de petites quantités de chrome, titane et manganèse et l'obtention de températures de 3,000°, en ajoutant qu'il ne s'agit que d'essais.

Le même auteur, en exposant dans le tome XLIX de la dite *Revue* les progrès de l'électrométallurgie en 1899, s'occupe, au chapitre de l'aluminium, des travaux de MM. Goldschmidt, Sautin et Franck; ce dernier cherchait à obtenir du phosphore.

Enfin, dans son rapport sur 1900 (*Rev. Univ.*, t. LV), M. P. Chalon décrit sommairement le procédé Goldschmidt pour la soudure des rails.

Ajoutons que dans le même numéro de la *Revue Universelle*, l'auteur d'un travail consacré au joint Falk mentionne le procédé Goldschmidt comme l'application la plus récente de la soudure électrique.

Se fondant sur ce que l'aluminium est un produit de l'électrométallurgie, M. Clerc, à la page 593 du mémoire déjà cité, dit que l'on peut considérer le creuset dans lequel s'opère la réaction, comme un four électrique secondaire.

Cette dénomination ne me paraît pas justifiée et l'aluminothermie est sans aucun rapport avec l'électrométallurgie; d'autre part, elle se distingue très nettement, dans son mode d'action et dans ses effets, des procédés de soudure électrique qui rencontrent en elle un concurrent redoutable.

Lors de sa récente communication faite à l'assemblée générale des chimistes allemands réunie à Dusseldorf le 23 mai 1902 (1), M. H. Goldschmidt a tout d'abord rappelé

(1) Voir *Zeitschrift für Angewandte Chemie*, 1902, n° 28.

qu'en 1898, à Leipzig, M. Ostwald caractérisa d'une façon humoristique le nouveau procédé en disant que c'était « un haut-fourneau et une forge dans une poche de gilet ». Voulant justifier cette boutade, l'auteur s'est efforcé de rendre tangible par quelques chiffres, la grande énergie intrinsèque du mélange auquel il a donné le nom de *thermit*. Je résumerai ci-dessous cette partie de sa communication, qui renferme les divers renseignements numériques affichés dans le pavillon Goldschmidt, à Dusseldorf.

En reproduisant d'après von Landolt et Börstein (2^{me} édition, 1894), le tableau des chaleurs de combustion dans l'oxygène, l'auteur y ajoute, pour l'aluminium, le chiffre de 7,140 calories qu'il doit au D^r Strauss, chef du laboratoire de la firme F. Krupp.

Faisant abstraction des quantités perdues par conductibilité et rayonnement, et admettant qu'un kilogramme de fer est produit par 0^k484 d'aluminium suivant la réaction $Al^{\ell} + Fe^2O^3 = Fe^{\ell} + Al^2O^3$, il établit que la combustion de l'aluminium fournit 3,455^{cal}.76, dont 1,768 sont absorbées par la réduction du fer, 337 pour la fusion de celui-ci et son échauffement à 1,600°, et 425.71 pour la fusion de la scorie. Il en résulte que, par kilogramme de fer produit, il reste disponible 925^{cal}.05 et par kilogramme de mélange renfermant 50 p. c. de fer, environ 450 calories.

Quant à la vitesse de combustion de ce mélange, il affirme qu'elle est de 1 à 2 secondes par kilog. pour une quantité voisine de 10 kilog., ce qui rend disponibles par seconde 300 calories, énergie qu'il réduit en chevaux et en watts, afin de la comparer à ce qui est absorbé par un arc électrique.

On trouve facilement que cette énergie est comparable à celle de 30,000 ampères, sous la tension de 40 volts.

Admettant ensuite, ce que l'expérience confirme, que l'on peut brûler 100 kilog. de thermit en 15 secondes, il établit

de même qu'il se dégage par seconde 3,000 calories, ce qui correspond à un arc de 300,000 ampères à 40 volts.

Un tel dégagement de chaleur dans un volume aussi faible n'est pas atteint même dans les fours électriques, et l'auteur affirme que la température réalisée par le thermit surpasse celle des fours à carbure ; mentionnant un travail de Gintl sur la fusion de l'alumine au four électrique, il rappelle que l'on n'a pu obtenir qu'une fusion pâteuse, même en présence d'un peu de silice. Or, par la combustion du thermit, même par petites quantités, on obtient à l'état liquide de l'alumine qui ne contient que très peu d'oxyde de fer.

Poursuivant sa comparaison entre l'énergie du four électrique et celle du thermit, qu'il exprime en *ergs*, sans autre utilité que d'obtenir des nombres plus imposants, M. Goldschmidt prend comme exemple le four Stassano d'un mètre cube de capacité, absorbant 500 chevaux ; il établit très simplement que dans le cas de la combustion de 10 kilog. de thermit en 16 secondes, l'énergie par centimètre cube dégagée par ce mélange est 1,000 fois celle du dit four Stassano. Il a, de plus, consigné dans un tableau qui est reproduit dans son pavillon, tous les chiffres exprimant d'une part l'énergie totale et l'énergie disponible en calories, en chevaux et en ergs, de 10 kilog. de thermit brûlant en 15 secondes dans un volume de 3,500 centimètres cubes ; d'autre part, l'énergie absorbée par un four à carbure de 50 litres, consommant 500 chevaux. En rapportant tout au centimètre cube et à la seconde, on trouve que le thermit possède une énergie totale égale à 188 fois, et une énergie disponible égale à 50 fois celle du four à carbure.

Après une démonstration expérimentale de la vitesse de combustion de son mélange, M. Goldschmidt a fourni à son auditoire quelques renseignements relatifs aux applications de l'aluminothermie, tout en faisant remarquer que

ce procédé, quittant le domaine de la chimie, est entré dans celui des ingénieurs constructeurs.

Dans ces applications, qui font l'objet du chapitre suivant, on utilise soit le métal réduit, soit simplement la haute température des matières fondues, soit enfin la scorie produite, sorte de corindon artificiel, désigné sous le nom de *corubin* par l'inventeur.

Applications de l'aluminothermie.

Dans les paragraphes suivants, j'examinerai successivement la soudure autogène des tuyaux, les procédés de soudure des rails et des barres, l'emploi en fonderie du thermit et du titan-thermit, la production et l'utilisation des métaux exempts de carbone et les usages du « Corubin ».

Soudure autogène des tuyaux en fer et en acier.

La soudure des éléments constituant une conduite pour vapeur, air comprimé, gaz, eau chaude, liquides caustiques, etc., en supprimant les joints, met à l'abri des fuites et des inconvénients bien connus qui en résultent.

Le prix de la soudure est d'autre part inférieur à celui d'un bon joint, ce qui contribuera évidemment au succès du procédé qui a trouvé des applications nombreuses depuis la fin de 1899. Il en est fait mention dans le travail déjà cité de M. Clerc, et l'on y voit cinq figures montrant la série des opérations pour la soudure de tubes horizontaux.

L'appareil de serrage a été depuis amélioré; la figure 1 représente celui qui était exposé à Dusseldorf; il maintient l'une contre l'autre les deux extrémités à souder, préalablement rafraîchies à la lime et au papier de sable.

A l'endroit du joint, on adapte un moule en tôle entouré de sable fin, légèrement humide, soutenu par une boîte

extérieure également en tôle; les figures 2 et 3 montrent les dispositions en usage dans le cas de tuyaux horizontaux et verticaux.

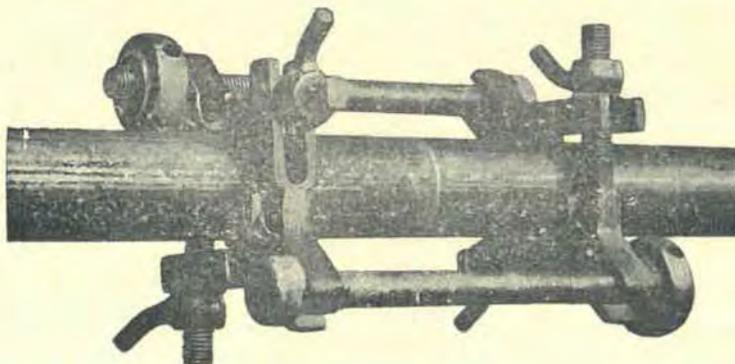


FIG. 1. — Tubes avec appareil de serrage.

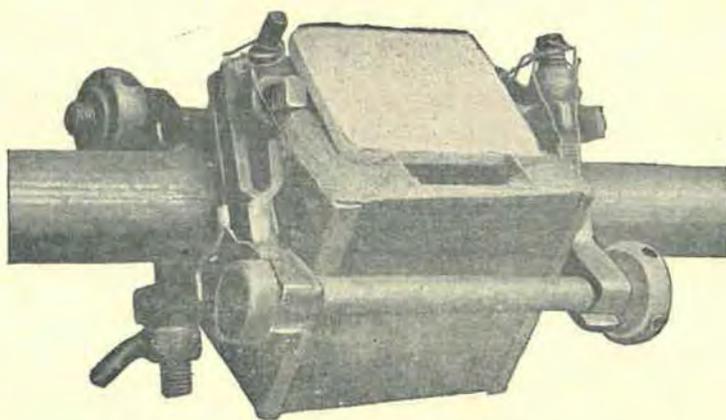


FIG. 2. — Tubes horizontaux avec moule et enveloppe.

La forme et les dimensions du moule varient avec le diamètre et l'épaisseur des tubes à souder; une brochure de l'*Allgemeine Thermit Gesellschaft* donne à ce sujet des renseignements complets, sous forme de tableau, pour les

diamètres de 19 à 165 millimètres; on y trouve également la quantité de thermit nécessaire pour chaque soudure et le numéro du creuset à employer.

Une portion convenable du mélange, dont on vérifie l'homogénéité, étant placée dans ce creuset, on y ajoute une petite quantité de la poudre d'allumage et on en détermine

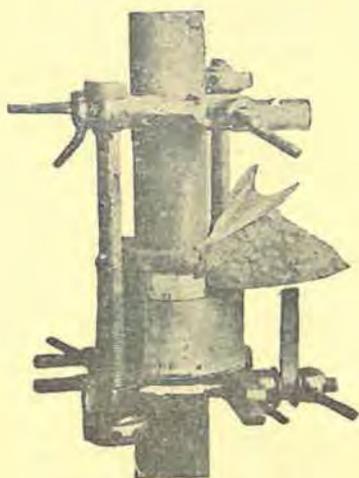


FIG. 3. — Tubes verticaux (moule avec canal de coulée).

l'ignition au moyen d'une allumette spéciale. L'opérateur, les yeux protégés par des lunettes noires, achève ensuite de verser dans le creuset la quantité voulue de thermit, dont la combustion est complète après quelques secondes. Il soulève alors le creuset au moyen d'une pince et en déverse le contenu dans le moule.

Cette opération réclame une certaine adresse et il faut éviter que le jet de métal fondu ne vienne en contact direct avec le tuyau; celui-ci est toutefois protégé par la brique plate représentée dans la figure 2; d'autre part, la scorie qui, coulée en premier lieu, se fige rapidement sur les parois

métalliques froides, empêche le contact du fer thermit et des pièces à souder. La masse incandescente, remplissant le moule, a ici pour rôle unique de porter ces pièces à une haute température; il suffit ensuite de serrer les boulons visibles dans les figures ci-dessus pour exercer sur le joint une pression qui détermine la soudure.

Dans le tableau de la brochure spéciale déjà citée, on trouve, pour les divers diamètres, le temps qui doit s'écouler entre le remplissage du moule et le serrage des boulons; il varie de 1/2 minute à 2 1/4 minutes.

Après démoulage, on détache l'anneau de scorie et de métal qui n'adhère pas à la pièce soudée.

Le procédé de soudure autogène ci-dessus décrit est réalisé rapidement au moyen d'un matériel peu compliqué et peu coûteux; la consommation de thermit est assez minime; elle est de 1^{kil}.10 par joint pour les tubes de 51 millimètres de diamètre intérieur et de 4 millimètres d'épaisseur.

Depuis la fin de 1899, il a été fait avec succès de nombreuses applications du procédé et l'on pouvait voir à Dusseldorf une conduite de vapeur fonctionnant à 11 atmosphères, longue de 100 mètres et comprenant une vingtaine de soudures.

Dans le pavillon Goldschmidt étaient exposés, outre le matériel représenté par les figures ci-dessus, divers tubes essayés à l'écrasement dont la soudure a bien résisté, et des éprouvettes, essayées à la traction, prélevées sur un tube soudé. J'ai noté, à titre d'exemple, les résultats d'un essai de ce genre déjà cité dans le numéro indiqué de la *Revue Industrielle*: tandis qu'une éprouvette sans soudure provenant du même tube a résisté, avant rupture, à 38^{kil}.5 par millimètre carré, avec un allongement de 15 %, celle qui comprend la soudure donne 36^{kil}.8 et 11.5 %; la

rupture s'est au surplus produite à une certaine distance du joint.

Le procédé de soudure autogène, qui convient tout spécialement pour la soudure des tuyaux, a été appliqué également aux rails et aux barres de toutes espèces; il ne donne toutefois de bons résultats que pour les sections ne dépassant pas 100 centimètres carrés; pour les barres plus grosses l'inventeur préconise l'interposition entre les pièces à souder de fer thermit, ou la coulée autour de ces pièces d'un anneau du même métal, en opérant comme il sera dit plus loin.

Soudure des rails.

Les avantages des joints soudés, spécialement pour les lignes de tramways à traction électrique, sont bien connus. Ils concernent la douceur du roulement, l'usure plus régulière des rails, leur bonne conservation et celle du matériel roulant; la conductibilité électrique de la voie est en outre meilleure et l'on peut supprimer les fils de connexion en cuivre utilisés généralement pour assurer le retour du courant.

L'expérience a dès maintenant démontré le peu de fondement des objections théoriques basées sur l'action de la dilatation, tout au moins pour les voies de tramways. Le problème à résoudre n'est donc plus de savoir s'il faut souder les rails, mais uniquement de rechercher le meilleur procédé à adopter pour réaliser cette soudure sans qu'il en résulte une altération nuisible des propriétés mécaniques et de la nature physique ou chimique du métal.

Trois procédés sont actuellement en présence: la soudure électrique par les courants de grande intensité; le joint Falk, qui englobe les bouts de rails dans une sorte de man-

chon de fonte, coulé sur place ; enfin, le procédé aluminothermique du docteur Goldschmidt.

Le système Falk, d'origine américaine, a été utilisé à Bruxelles. Il nécessite une véritable usine ambulante comprenant cubilot, générateur et moteur à vapeur, ventilateur, etc.; on ne peut mettre en mouvement cet ensemble encombrant qu'après la préparation de cinquante à septante joints, ce qui oblige à laisser la voie inachevée assez longtemps et constitue une entrave à la circulation.

En outre, certains ingénieurs reprochent au joint Falk de constituer non pas une soudure, mais une simple éclisse en fonte dépourvue d'élasticité, créant ce que l'on appelle des points durs; d'autres appréhendent une altération du rail par le carbone de la fonte.

Quant à la soudure électrique, dont il a été beaucoup question il y a quelques années, elle ne semble pas avoir progressé; elle exige un matériel encore plus encombrant que le système Falk et une dépense d'énergie élevée. Par suite d'un chauffage prolongé à très haute température, la texture du métal, dans le voisinage du joint, est modifiée d'une façon très défavorable ainsi que l'a rappelé M. Howe, à la suite de la communication de M. Clerc, au Congrès de Paris en 1900. Cet illustre métallurgiste semble craindre que le procédé Goldschmidt n'ait les mêmes conséquences néfastes. A la séance du 23 juin, M. E. Vanderheyem, ingénieur de la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée, a relevé l'observation du professeur Howe. Il a tout d'abord déclaré qu'il reste très difficile de bien souder l'acier à lui-même; puis, rappelant les travaux décisifs, sur le forgeage et les effets du refroidissement brusque, du professeur Tschernhoff qui présidait la séance, il a émis l'avis que le refroidissement nécessairement rapide de l'acier fondu entre les deux pièces froides et très rapprochées produira,

au point de vue de la texture, le même effet que le martelage (1).

Au contraire, lors de la soudure électrique, une partie notable des rails est portée à une haute température et les régions voisines, déjà échauffées, ne peuvent après l'opération déterminer un abaissement suffisamment rapide de la température de la soudure.

Ces considérations théoriques, qui cependant peuvent être discutées, semblent donc établir la supériorité du procédé aluminothermique.

Des essais métallographiques seraient d'une grande utilité pour l'étude de cette question et pour la comparaison des divers procédés de soudure. Dans cette ordre d'idées, jé ne connais que cinq clichés de fer thermit dûs à un laboratoire de Cambrigde et reproduits dans le numéro du 22 mars 1902, de l'*Engineering*.

Le système Goldschmidt, grâce à la haute température qu'il réalise, donne une soudure réelle; il s'effectue à l'abri de l'air, en dehors de toute cause d'altération de la composition du métal du rail. Il a déjà reçu la sanction de la pratique, spécialement depuis environ un an, après l'invention par le docteur Goldschmidt du creuset à coulée automatique qu'il a décrit dans le numéro 21 de *Stahl und Eisen*, du 1^{er} novembre 1901.

Dans la méthode indiquée par M. Clerc, on obtenait une soudure autogène difficile à réussir pour des rails de 50 kilogrammes par mètre; il n'avait été fait d'ailleurs à cette époque que des essais, notamment à Essen.

En déversant la scorie hors du creuset avant de couler le métal fondu dans le moule, on a cherché à souder ce métal au rail; mais, outre qu'il en résulte une perte impor-

(1) *Industrie minérale*, t. XV, p. 633.

tante de calorique, il reste toujours un peu de scorie, qui nuit au résultat.

Le creuset représenté schématiquement par la figure 4, permet d'introduire en premier lieu dans le moule le métal thermit exempt de scorie; formé d'une enveloppe en tôle avec un garnissage réfractaire très soigné, il est de

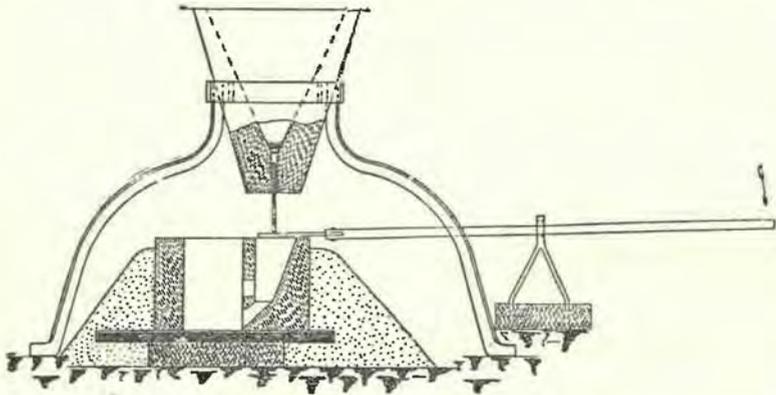


FIG. 4. — Creuset à coulée automatique.

forme conique; ses dimensions intérieures sont 0^m37 de haut et 0^m33 d'ouverture; il repose sur un trépied et est surmonté d'un couvercle percé d'une ouverture pour l'allumage. Il possède à son extrémité inférieure un trou de coulée de 30 à 60 millimètres de long et de 8 à 12 millimètres de diamètre légèrement évasé vers le haut.

Ce trou de coulée est bouché avant le remplissage du creuset, par une petite rondelle de tôle de 20 à 30 millimètres de diamètre enfoncée dans son orifice supérieur et recouverte d'une mince feuille d'amiante et d'un peu de sable; la tige métallique, visible dans la figure, repose sur

l'extrémité d'un levier de manœuvre de telle façon que sa pointe reste à environ 1 millimètre sous la rondelle précitée. En abaissant brusquement l'extrémité opposé du levier, on provoque la coulée en arrachant la rondelle de fermeture ; il faut alors déplacer vivement le levier, pour qu'il ne soit

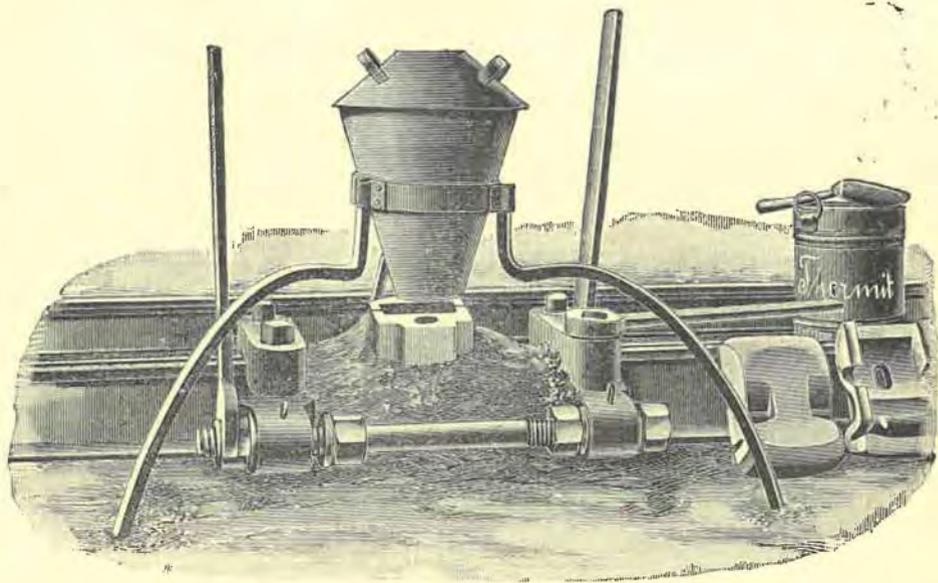


FIG. 5.

pas atteint par le jet de métal qui fond la rondelle et la tige et percerait le levier si on ne le mettait hors de son atteinte.

D'après l'auteur, ce jet suffit pour trouser une tôle de 20 à 25 millimètres d'épaisseur, avec une hauteur de chute de 10 à 20 centimètres et une consommation de 2 1/2 kilogrammes de thermit.

La figure 5 montre la disposition adoptée pour la soudure des rails ; on y voit les vis de serrage et les deux

parties du moule réfractaire qui comporte un orifice de coulée latéral.

Les extrémités à souder sont nettoyées à la lime et très soigneusement séchées de même que le moule, dont les deux pièces sont assemblées par une pince à vis; on les entoure de terre et de sable pour assurer l'étanchéité du moule.

La coulée s'effectue comme il a été dit et le métal vient entourer le patin et une partie de l'âme, tandis que la scorie

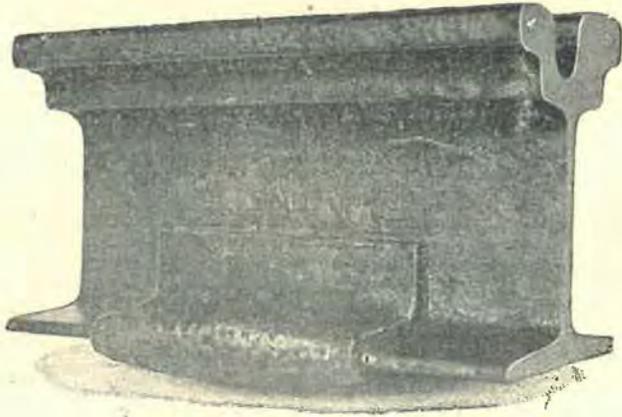


FIG. 6.

chauffe le bourrelet de telle façon que le serrage des vis en détermine la soudure.

Cette soudure peut être parachevée à la lime; elle présente alors l'aspect de la figure 6.

La coupe de la figure 7 montre qu'il y a union intime entre le métal du patin et le fer thermit qui constitue une sorte d'éclisse; plusieurs coupes de ce genre étaient exposées à Dusseldorf.

Dans son mémoire de novembre 1901, déjà cité, M. Goldschmidt rapporte les résultats d'une série de six essais de rails à gorge autour desquels il a été coulé du fer

thermit; il en résulte que la résistance à la traction, qui était de 68.9 à 84.7 kilogrammes par millimètre carré, a été abaissée à 66.2 à 80.8 kilogrammes, tandis que l'allongement de 8 à 16.5 % descendait à 9.5 à 12 %.

L'auteur estime que cette diminution de la résistance est

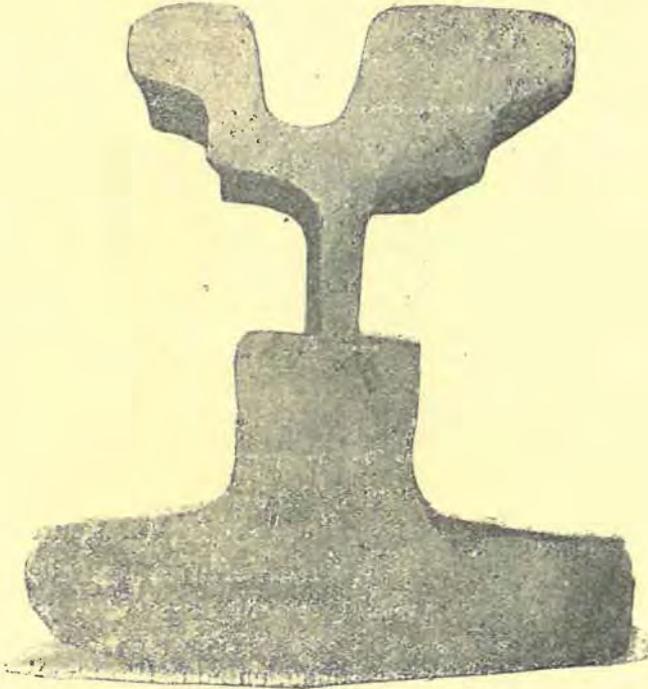


FIG. 7.

compensée largement par la forte éclisse constituée sous le patin par le fer thermit.

Voici d'ailleurs, en ce qui concerne ce fer, quelques chiffres dont j'ai pris note à Dusseldorf; ils se rapportent à une barrette exposée, ayant donné à la traction 39 kilogrammes par millimètre carré et 19 % d'allongement et qui contient :

Carbone	0.10 %
Manganèse	0.08 %
Soufre	0.03 %
Phosphore	0.04 %
Silicium	0.09 %
Cuivre	0.10 %

Les premiers essais de soudure de rails par le procédé qui vient d'être décrit, ont eu lieu à Berlin, Dresde et Brunswick. Pendant l'hiver de 1900-1901, alors que la température descendait parfois à 20° Réaumur sous zéro, l'inventeur affirme qu'il ne s'est produit que 1 à 2 % de rupture; il n'a, d'autre part, constaté à la soudure qu'un léger durcissement du métal sans importance pratique.

La question ayant une importance capitale, je résumerai ici les appréciations données par les directeurs de la Société de Tramways de Brunswick et de Dresde, dans divers certificats publiés par l'*Allgemeine Thermit Gesellschaft*.

1° A Brunswick. — Il y a été soudé, en mai 1901, deux tronçons de 250 mètres et 600 mètres pour voitures motrices de sept tonnes. On n'a constaté nulle part une détrempe ou une décarburation de la matière soudée; plusieurs joints montrent un certain durcissement; mais la petite bosse qui s'y produit s'enlève aisément par quelques coups de lime à rails;

2° A Dresde. — On y a soudé, en août 1900, près de un kilomètre de double voie, en laissant toutefois un joint éclissé sur six; mais, il ne s'est montré aucun jeu à ce joint. Il s'est produit quatre ruptures lors des premières nuits froides, ce qui correspond à moins de 1 %; l'on a également constaté un léger accroissement de dureté à la soudure, sans inconvénient pratique.

Plus récemment des applications du procédé ont eu lieu avec succès à Aix-la-Chapelle et à Rouen.

Quant au coût et à la durée de l'opération, l'on a constaté

à Dresde que le soudage ne dure pas plus longtemps qu'un éclissage; avec six appareils de serrage et quatre hommes, on a fait 30 joints par jour; d'après M. Champy, une telle équipe peut actuellement faire par jour de 40 à 50 joints; d'autre part, un creuset du prix de 13 à 15 francs, peut faire 20 coulées environ; il faut en outre divers accessoires peu coûteux. Les moules en terre de deux pièces valant quelques centimes ne servent qu'une fois; on en chasse toute trace d'humidité en les plaçant au-dessus d'une coulée récente; selon les conditions locales, le placement du moule demande de 20 à 30 minutes, toujours d'après M. Champy. Il suffit de 3 à 4 minutes pour monter le creuset et préparer la coulée, qui se fait 30 à 40 secondes après l'allumage. Après un refroidissement d'une heure, il ne faut que 8 à 10 minutes pour enlever le moule et la scorie. La charge de thermit, qui est de 8 à 12 kilogrammes par joint suivant les profils, comprend le manganèse pulvérisé et la grenaille de fer ajoutée à la coulée; elle est contenue dans des sacs préparés à l'avance et revient à moins de 2 francs le kilogramme.

Soudure des arbres de navire.

Dans le numéro 21 déjà cité de *Stahl und Eisen*, on trouve une application du procédé aluminothermique à la soudure des arbres de navire; elle a eu lieu en juillet 1901, chez MM. Lester et Perkins, à Londres. Sur un arbre de 10 pouces, soit 254 millimètres, on a coulé un anneau de 80 millimètres de long et de 60 millimètres d'épaisseur, en consommant 100 kilogrammes de thermit. A ce sujet, l'auteur observe que son procédé peut sans difficulté être utilisé à bord, en cas de rupture accidentelle de l'arbre moteur.

Réparation de pièces en fonte, en acier ou en fer.

De très nombreuses pièces en fonte, en acier ou en fer forgé réparées par l'aluminothermie, étaient exposées à

Dusseldorf. Par la coulée d'une petite quantité de métal thermit, dont on règle la composition à volonté, on peut rendre utilisable soit une pièce de fonderie mal réussie, soit une pièce brisée. Les publications déjà citées donnent un grand nombre d'exemples d'application de cette nature et l'on utilise ainsi le procédé Goldschmidt dans beaucoup de fonderies et d'ateliers en Allemagne et en Russie; il s'applique tout spécialement pour la suppression des défauts des pièces en acier coulé.

Des essais ont d'autre part eu lieu, notamment dans deux usines du bassin de Liège, pour souder de nouveaux touril-

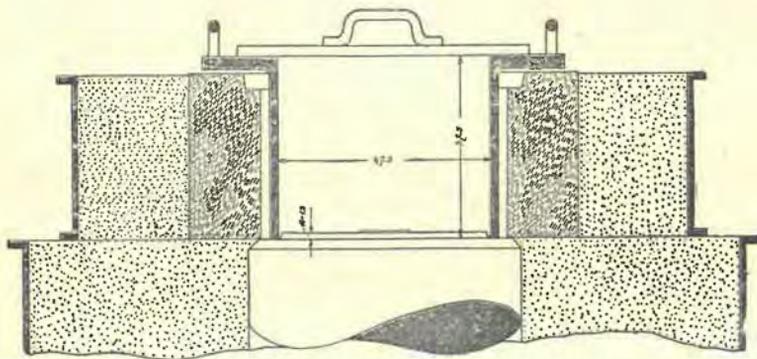


FIG. 8.

lons à des cylindres de laminoirs brisés; les résultats n'étant pas encore concluants, je ne donnerai ici qu'une description sommaire du procédé; j'aurai peut-être sous peu l'occasion d'y revenir, après que j'aurai pu assister à de nouveaux essais.

Le moyen employé par les fondeurs pour réparer les cylindres est bien connu: après avoir chauffé au rouge, par un feu de coke, la surface de la cassure, ils coulent sur cette surface de la fonte bien chaude. On préconise l'usage du thermit pour réaliser un chauffage énergique de la surface à souder, que l'on doit cependant au préalable chauffer

soit au coke, soit au moyen d'une couche de métal fondu, afin d'éviter que la scorie ne vienne se figer sur la surface froide.

La figure 8 donne la disposition d'un premier moule avec coquille en fonte de 12 à 15 millimètres, que l'on rend étanche par un peu d'argile. On y verse tout d'abord une

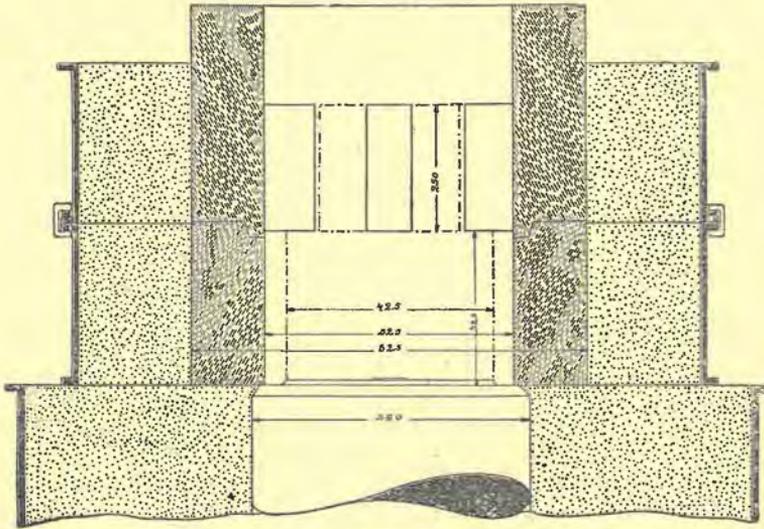


FIG. 9.

couche de fonte ou d'acier de 12 millimètres, puis on y projette 1 kil. 5 de thermit par décimètre carré de surface de fonte à souder; pour l'acier, on en utilise 10 à 20 % en plus. Avec ce dernier métal, lorsqu'il est bien chaud, l'allumage du thermit est spontané; dans le cas de la fonte, on procède à l'allumage par le procédé ordinaire.

Pendant la réaction, qui dure quelques secondes, on couvre le moule d'un couvercle métallique, enlevé ensuite pour brasser et faciliter le dégagement de la scorie; puis on remplit le moule jusqu'au tiers de sa hauteur et on procède très soigneusement au décrassage; le second moule est enfin mis en place (fig. 9) et on achève la coulée.

Ces opérations étant assez complexes, la réussite doit, pour beaucoup, dépendre de l'habileté du fondeur; la consommation de thermit est considérable et coûteuse; mais son emploi élève d'une façon très notable la température de la surface à souder, donne de la fluidité au métal ajouté et réduit le volume de la masselotte nécessaire en diminuant les soufflures.

Ces avantages sont d'ailleurs obtenus dans toutes les applications du thermit à la fonderie et spécialement par l'usage du mélange dit « titan-thermit », qui remplace avantageusement l'aluminium métallique, dont les effets sont bien connus.

Le titan-thermit placé dans la poche de coulée est allumé par l'acier ou la fonte lorsqu'elle est bien chaude; il donne naissance à un alliage contenant 20 à 25 % de titane, qui se répand dans le bain, élève sa température et le désoxyde; on obtient des pièces plus saines à texture plus serrée. L'inventeur préconise l'addition de 1/2 à 1 % de titan-thermit à la fonte et de 1/4 à 1/2 % pour l'acier; ce mélange vaut actuellement fr. 2-25 le kilogramme.

Je ne ferai que mentionner tout un groupe d'opérations qui utilisent les hautes températures réalisées d'une façon si aisée par l'aluminothermie; on peut utiliser ces températures pour la *trempe locale* d'une pièce ou son *recuit partiel*, pour le *décalage* des roues de locomotives, manivelles, hélices, etc. M. Champy, ingénieur à Anvers, poursuit des essais à ce sujet; il a aussi *soudé du cuivre* et *brasé du fer sur du cuivre*.

Je serai également très bref en ce qui concerne la *production de métaux et d'alliages exempts de carbone*.

M. Clerc a montré l'importance théorique et pratique de cette production, tant au point de vue de l'étude des qualités données à l'acier par les divers métaux étrangers, tels que

le manganèse, le nickel, etc., que pour la réalisation industrielle de ces alliages, que l'on a introduits dans beaucoup de fabrications spéciales.

L'on pouvait admirer dans les vitrines du pavillon Goldschmidt, à Dusseldorf, les produits nouveaux dus à l'aluminothermie; ces produits, décrits par M. Clerc, sont intéressants pour le métallurgiste. Malheureusement, ils conservent le défaut de coûter assez cher; mais c'est là un défaut qui pourra disparaître, avec un nouvel abaissement du prix de l'aluminium.

Voici au surplus, le tableau des métaux et alliages préparés par l'*Allgemeine Thermit Gesellschaft*, avec leur prix à la date du 15 mai 1902 :

Chrôme exempt de carbone, environ 98 à 99 % de chrôme	fr.	6 55
Manganèse exempt de carbone, traces de fer, environ 98 à 99 % de manganèse	fr.	5 35
Ferro-Titane exempt de carbone, environ 20 à 25 % de titane :	fr.	5 00
Ferro-Bore exempt de carbone, environ 20 à 26 % de Bore.	fr.	22 00
Cuivre manganésifère, traces de fer, environ 20 % de manganèse	fr.	4 25
Id. 30 %		4 50
Zinc manganésifère exempt de plomb, environ 20 % de manganèse.	fr.	3 50
Etain manganésifère exempt de plomb, environ 50 % de manganèse	fr.	6 00
Titane manganésifère exempt de carbone, environ 30 à 35 % de titane	fr.	8 75
Chrôme manganésifère exempt de carbone, environ 70 % de manganèse.	fr.	6 75
Chrôme-cuivre exempt de carbone, environ 10 % de chrôme	fr.	5 75

Je n'ajouterai rien à ce qu'a déjà dit M. Clerc de l'utilisation du corindon artificiel ou *Corubin*, qui constitue la scorie du procédé aluminothermique. On en confectionne surtout des meules pouvant remplacer les meules en émeri; il s'en trouvait une collection complète à l'Exposition de Dusseldorf. L'on y voyait aussi des rubis artificiels provenant de la préparation du chrome.

Septembre 1902.

