Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande
Band: 52 (1926)
Heft: 2

Artikel: La soudure autogène à l'arc éléctrique au moyen du courant alternatif
Autor: Burnand, G.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-40256

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 15.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

» Les essais exécutés au Laboratoire fédéral d'essai des matériaux de construction font l'objet d'un chapitre très détaillé. Sans vouloir nous étendre plus longuement sur ce sujet, nous relèverons seulement que ces essais ont mis en lumière l'influence de la proportion de ciment et d'eau et confirmé dans l'ensemble les théories d'Abrams. En introduisant un facteur que le rapport dénomme le facteur ciment-eau, c'est-à-dire le rapport de la quantité de ciment à la quantité d'eau, on obtient pour un ballast donné une relation très simple entre la résistance à l'écrasement et ce facteur ciment-eau. Cette relation se traduit graphiquement par une ligne droite. »

Le fait que les recherches résumées dans cette publication ont été faites sur de grands chantiers, ne doit pas faire croire que ces théories modernes du béton, n'ont de valeur que pour les barrages. J'ai souvent entendu dire à ce sujet : « Tout cela est très intéressant sans doute, mais n'a aucun intérêt pour les petits chantiers de béton et de béton armé ». Il va sans dire que sur un chantier moyen on n'entreprendra pas des essais de l'envergure de ceux que relatait M. *Bolomey* dans le *Bulletin technique*. C'est bien pour cela que le « *Groupe des ingénieurs du béton* » a tenu à ce que ces résultats d'expériences ne restent pas connus que des constructeurs de grands travaux, mais qu'au contraire ils soient mis à la disposition de tous ceux qui font du béton et du béton armé. En terminant, je rappelle encore que depuis longtemps déjà M. le Professeur Paris avait à juste titre, comme on le voit aujourd'hui, appelé l'attention des constructeurs de béton armé sur ces problèmes. Il a donné sur ce sujet plusieurs notes fort intéressantes au *Bulletin technique*, qui doivent aussi être rappelées ici.

Bâle, décembre 1925.

La soudure autogène à l'arc électrique au moyen du courant alternatif[1].

par *G. Burnand*, ingénieur.

La soudure autogène consiste à faire fondre le métal des deux pièces que l'on veut assembler et à remplir l'intervalle par du métal en fusion, métal dit d'apport.

La soudure autogène au chalumeau oxhydrique et oxy-acétylénique est bien connue et ce procédé rend, depuis de nombreuses années, des services appréciés. Malheureusement le chalumeau, comme toute flamme ouverte, développe une quantité de chaleur assez importante ; il ne permet pas de localiser l'échauffement à proximité immédiate des lèvres de la fente. Le rendement thermique de l'opération est donc assez faible et l'échauffement des pièces produit des tensions intérieures qui se traduisent par des fentes dans les objets en fonte ou qui voilent les tôles et les profilés. Le procédé oxy-acétylénique nécessite un appareillage assez compliqué ; si l'on produit l'acétylène dans un générateur, l'opération, le nettoyage surtout, n'est pas sans danger ; si l'on emploie l'acétylène dissous, le réapprovisionnement dépend de l'exactitude des fournisseurs, ce qui présente des inconvénients.

L'électricité constitue une source de chaleur qui est exempte des défauts que nous venons de signaler. L'arc électrique en particulier est le siège d'une température élevée et absolument localisée ; il était donc tout indiqué de chercher à l'employer pour la soudure autogène. Pour cela, on réunira un pôle du circuit (à basse tension) à la pièce à souder, l'autre à un bâtonnet de métal d'apport et on fera jaillir l'arc en rapprochant le bâtonnet (l'électrode) des lèvres de la fente. La chaleur intense de l'arc (3500° environ) fera fondre le métal adjacent tandis que la température du reste de la pièce restera sensiblement constante car, si le potentiel thermique de l'arc est considérable, la quantité de chaleur développée (en calories) est relativement très faible. Les tensions intérieures seront donc si minimes qu'elles ne seront nullement gênantes.

Les premiers essais de soudure à l'arc ont été faits, croyons-nous, au moyen de courant alternatif ; l'auteur de ces lignes se souvient d'avoir bouché des soufflures dans des pièces fondues en utilisant comme transformateur de soudure un vieil induit Gramme dont l'enroulement servait de primaire tandis

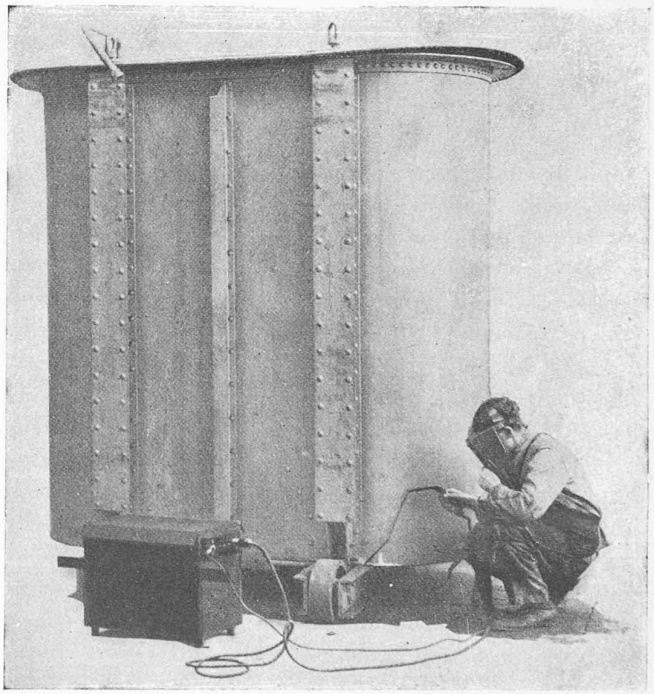

Fig. 1. — Réparation, au moyen de la soudure électrique à l'arc alternatif, d'une cuve non étanche, pour transformateur.

que l'arbre formait le secondaire. On constata bientôt que, si sous courant coutinu, l'arc électrique reste relativement stable entre électrodes métalliques, même si la tension est basse, l'arc à courant alternatif est instable même si la tension est élevée. On renonça donc à regret au courant alternatif et, jusqu'à ces dernières années, on n'utilisa guère que le courant continu pour la soudure à l'arc. On aurait eu pourtant tout intérêt à utiliser l'alternatif car la grande majorité des usines produisent l'électricité sous cette forme et la soudure électrique constitue un débouché précieux pour l'énergie de jour. Il fallut donc se résoudre à employer un groupe convertisseur rotatif transformant le courant alternatif simple ou polyphasé à tension usuelle (110 à 500 volts en général) en courant continu à la tension la plus favorable pour l'arc, soit 45 à 65 volts à vide, 20 à 30 volts en charge.

Il n'y a que quelques années que l'on a pu déterminer sous quelles conditions il était possible de souder au courant alternatif. En soudant au courant continu, on remarqua que l'électrode constituant le métal d'apport ne devait pas être nue. En

[1] Voir sur la soudure électrique à l'arc les notices publiées, page 229 du tome 49 (1923), pages 203 et 255 du tome 50 (1924) et page 172 du tome 51 (1925) du *Bulletin technique*. *(Réd.)*

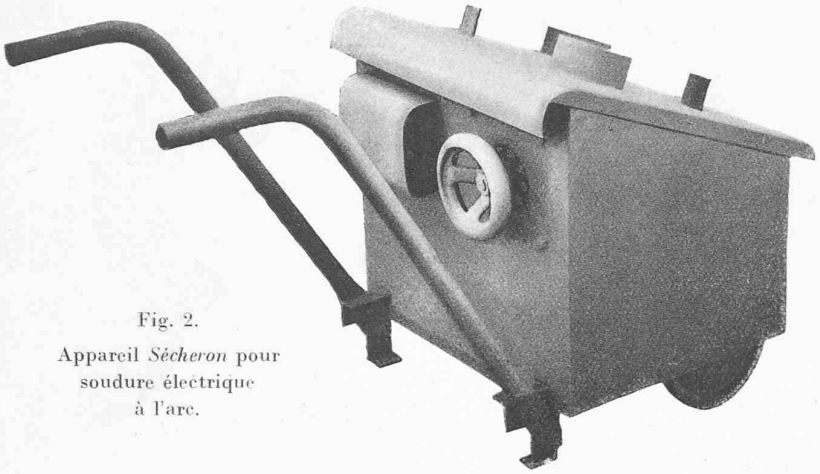

Fig. 2.
Appareil *Sécheron* pour soudure électrique à l'arc.

effet, la surface de la partie soudée reste ardente et s'oxyde rapidement au contact de l'air ambiant. On chercha à empêcher l'arrivée d'air au métal incandescent en enrobant l'électrode dans un corps inerte. Les corps les plus divers ont été essayés et le nombre de brevets pour électrodes enrobées est considérable. Avec le courant continu, l'arc dégage le maximum de chaleur au pôle positif ; si donc on emploie pour la soudure des électrodes nues ou très légèrement enrobées, on placera le pôle positif à la pièce à souder. Si l'on emploie des électrodes à enrobage épais, on réunira le positif à l'électrode. Cette considération montre que le sens du courant n'a pas l'importance qu'on lui attribuait jadis et que, par un choix judicieux de l'enrobage des électrodes, la soudure par courant alternatif doit être possible.

L'expérience a prouvé qu'il en était bien ainsi et, avec certaines électrodes enrobées on obtient, avec l'alternatif, des résultats qui ne sont nullement inférieurs à ceux que donnent les meilleures machines à souder à courant continu. L'enrobage de l'électrode a un triple but, empêcher le refroidissement trop rapide, dissoudre les oxydes qui ont pu se former, s'opposer à l'arrivée de l'air et enfin ioniser l'air à proximité immédiate de l'arc. Nombre d'électrodes actuellement sur le marché donnent d'excellents résultats. Un industriel qui désire acquérir une installation de soudure à l'arc pourra donc se laisser guider, dans le choix du genre de courant, par des considérations exclusivement financières et nous verrons plus loin que ces considérations sont tout au bénéfice du courant alternatif. Il est évident que, pour la simplicité, la commodité, l'encombrement, le poids et la rusticité, l'appareil à courant alternatif — qui n'est en somme qu'un simple transformateur statique — l'emporte et de loin sur le groupe convertisseur rotatif imposé par le courant continu.

Les systèmes en présence peuvent se grouper comme suit :

Courant continu.

Génératrice spéciale à forte chute de tension, actionnée par un moteur quelconque, électrique, hydraulique ou thermique ou même par la transmission de l'atelier. Le réglage du débit se fait par le rhéostat de champ, une résistance et une réactance servent généralement à stabiliser l'arc.

Courant continu ou alternatif.

Si la tension fournie par le réseau ne dépasse pas 110 volts et si la puissance disponible est grande par rapport à la puissance nécessaire à la soudure, on se servira d'un simple rhéostat en série avec l'arc. Le réglage du débit s'obtient en variant la résistance du rhéostat. Cette solution, très simple, a l'inconvénient d'un très mauvais rendement ; elle convient aussi bien au courant alternatif qu'au courant continu.

Courant alternatif.

Transformateur statique spécial. Le réglage du débit peut se faire suivant diverses méthodes qui toutes ont pour base le changement de la dispersion du transformateur. Quelques constructeurs obtiennent cette variation de la dispersion en déplaçant la bobine primaire par rapport à la bobine secondaire. D'autres munissent leur transformateur d'une série de prises d'ajustage. La *Soudure électrique autogène S. A.*, de Bruxelles, utilise une bobine de réactance à prises.

Toutes ces solutions, dont les résultats sont du reste satisfaisants, ne sont pas parfaites car la tension à vide au secondaire du transformateur ne s'ajuste pas automatiquement à la valeur optimum pour le débit désiré. Il s'ensuit que l'absorption du transformateur de soudure en volt-ampères est plus élevée qu'il ne serait strictement indispensable ; autrement dit, le facteur de puissance de l'appareil est relativement bas. Or les Compagnies productrices d'électricité tiennent toujours plus à un facteur de puissance élevé. L'absorption élevée se traduit par une augmentation des dimensions avec augmentation correspondante du prix de revient, partant du prix de vente de l'appareil.

Les *Ateliers de Sécheron* à Genève, après étude approfondie de la question, ont établi un transformateur pour soudure à l'arc (demande de brevet déposée) qui tient compte de ce désir des fournisseurs d'énergie électrique. Dans cet appareil, la tension à vide s'ajuste automatiquement au débit par le simple déplacement du curseur d'un cadran à touches. Le dispositif adopté permet de réduire l'absorption (en volt-ampères) de 25% par rapport aux appareils similaires donnant les mêmes résultats. A cette absorption réduite correspond naturellement un meilleur rendement.

Quels sont les résultats techniques que l'on peut attendre de la soudure autogène à l'arc électrique? La solidité mécanique dépend de la qualité des électrodes employées. Avec les électrodes de qualité courante, elle sera sensiblement celle de l'acier doux, soit environ 40 kg/mm². L'emploi d'électrodes spéciales permet d'atteindre des résistances beaucoup plus considérables, 70 kg/mm² par exemple ; les électrodes bon marché, simplement trempées dans le laitier, donnent à la soudure une résistance de 25 à 38 kg. Les microphotographies que nous reproduisons ci-contre (fig. 4 à 6) montrent que la structure du métal d'apport est très homogène et ne diffère pas beaucoup, si l'on fait abstraction des lignes provenant du laminage, de celle de la pièce elle-même qui, en l'occurence, était de l'acier doux (Fluss). Les figures 7 et 8 représentent des éprouvettes pliées qui permettent de se rendre compte de ce que l'on peut attendre des pièces soudées électriquement.

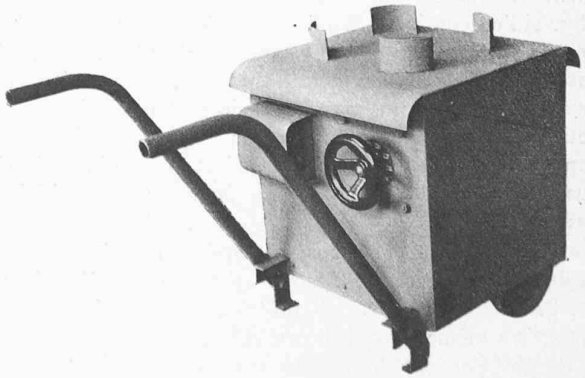

Fig. 3. — Appareil *Sécheron* pour soudure électrique à l'arc.

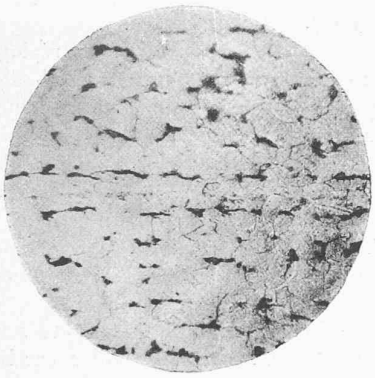

Fig. 4. — Microphotographie du métal de la pièce à souder.
Grossissement : 400 diamètres.

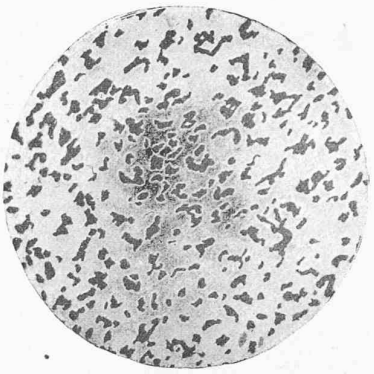

Fig. 5. — Microphotographie du métal d'apport.
Grossissement : 400 diamètres.

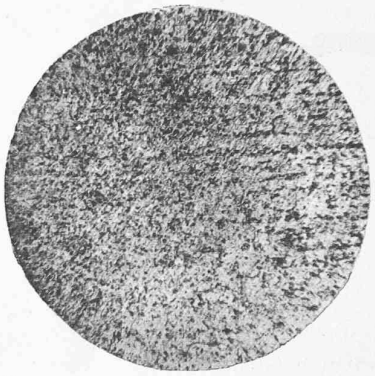

Fig. 6. — Microphotographie de la soudure.
A gauche : métal d'apport.
A droite : métal de la pièce.
Grossissement : 100 diamètres.

La soudure à l'arc est tout indiquée pour l'acier doux, elle s'applique également bien à l'acier fin, à l'acier coulé et aux aciers spéciaux. Pour éviter la décarburation de la fonte de fer à proximité immédiate de la soudure, il suffira de bien recuire la pièce avant le soudage qui devra avoir lieu à chaud. Le travail du cuivre et du laiton est plus délicat, il est néanmoins possible moyennant certaines précautions. La soudure électrique est particulièrement avantageuse pour les tôles épaisses. Pour celles de moins de 2,5 mm., elle n'est guère supérieure à la soudure oxy-acétylénique ; les bons appareils permettent toutefois de souder cette épaisseur ; avec certains,

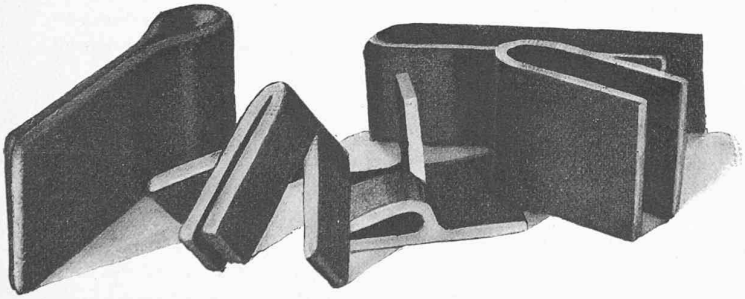

Fig. 7. — Pièces soudées et pliées ensuite.

celui de Sécheron est du nombre, on peut même descendre à 1,5 mm. Le procédé à l'arc électrique permet de souder sur l'acier ordinaire les aciers spéciaux les plus divers tels que les aciers inoxydables, les aciers au manganèse et au chrome-nickel, les aciers à coupe rapide ; cette propriété permet de limiter l'emploi de ces aciers spéciaux aux parties qui sont réellement exposées aux conditions qui les rendent indispensables. Si l'on considère que l'appareil à courant alternatif est d'un prix minime, ne tient presque pas de place, peut facilement se transporter d'un point à un autre, ne nécessite aucun entretien, ne consomme pas d'énergie tant qu'il n'est pas en fonction et peut, sans danger, être mis entre les mains les plus inexpérimentées, on conclura qu'il n'est guère d'exploitation industrielle qui n'ait avantage à se procurer cet auxiliaire si apprécié.

Nous terminerons cet exposé par une comparaison des frais d'exploitation des divers systèmes de soudure électrique à l'arc. Si nous supposons que toutes les installations aient à effectuer un même travail, les frais pour les électrodes (et ce sont les plus élevés) et les salaires payés aux ouvriers que nous admettons tous également habiles, seront identiques quel que soit le système employé.

L'ouvrier soudeur doit préparer ses pièces avant de procéder au travail proprement dit ; une fois la soudure effectuée, il doit la nettoyer au marteau et à la brosse ; ces opérations accessoires lui prendront à peu près les deux tiers de son temps. Pendant ces arrêts qui, s'ils sont fréquents, ne sont jamais de longue durée, il n'arrêtera généralement pas sa machine.

Calculons sur ces bases, le coût approximatif de la soudure électrique d'après les différents systèmes que nous avons énumérés plus haut :

1. *Rhéostat branché directement sur le réseau.*

Nous supposerons une tension de 110 volts et une intensité de 150 ampères ; l'absorption sera donc de $110 \times 150 = 16\,500$ watts, soit, en supposant, suivant nos prémisses, un travail effectif de vingt minutes par heure, une consommation de $16{,}5 \times 0{,}333 = 5{,}5$ kWh par heure et, à raison de huit heures par jour pendant vingt-six jours par mois, une consommation annuelle de $8 \times 26 \times 12 \times 5{,}5 = 13\,730$ kWh. Au prix de 12 centimes par kWh, la dépense annuelle pour l'énergie électrique sera de 1647 fr. 50.

Le prix d'achat du rhéostat avec accessoires pourra atteindre fr. 1400.— et devra être amorti en quinze ans ; l'amortissement et l'intérêt représenteront donc 12,5 % du prix d'achat, soit 175 francs. On peut admettre 5 % pour l'entretien, donc 70 francs.

Les frais totaux annuels seront ainsi en chiffres ronds de 1890 francs.

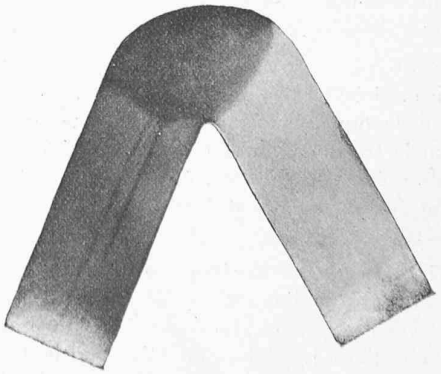

Fig. 8. — Soudure attaquée à l'acide.

2. *Groupe convertisseur triphasé-continu (avec rhéostat et bobine de réactance).*

Si l'on admet un rendement de la génératrice de 75 % et de 82 % pour le moteur, le rendement du groupe sera de 62 %. La soudure prend 150 ampères sous 25 volts, la résistance de stabilisation et la bobine de réactance absorbent 5 volts, le groupe fournit donc $150 \times 30 = 4500$ watts et absorbe $4{,}5 : 0{,}62 = 7{,}3$ kW. Pendant les arrêts, le groupe absorbera à vide, environ 20 % de sa consommation normale, soit 1,6 kW ; la consommation horaire sera de $7{,}3 \times 0{,}333 + 1{,}6 \times 0{,}667 = 3{,}5$ kWh. La consommation annuelle de courant sera de $2500 \times 3{,}5 = 8750$ kWh et la dépense, à raison de 0,12 fr. par kWh, de 1050 francs environ. Le prix d'achat de 4000 fr. devra être amorti en dix ans, l'amortissement et les intérêts représenteront donc 15 % du prix d'achat, soit 600 francs. Les frais d'entretien, de graissage, de réparations, tournage du collecteur absorberont au moins 10 %, donc 400 francs. Les frais totaux annuels seront en définitive de 2050 francs.

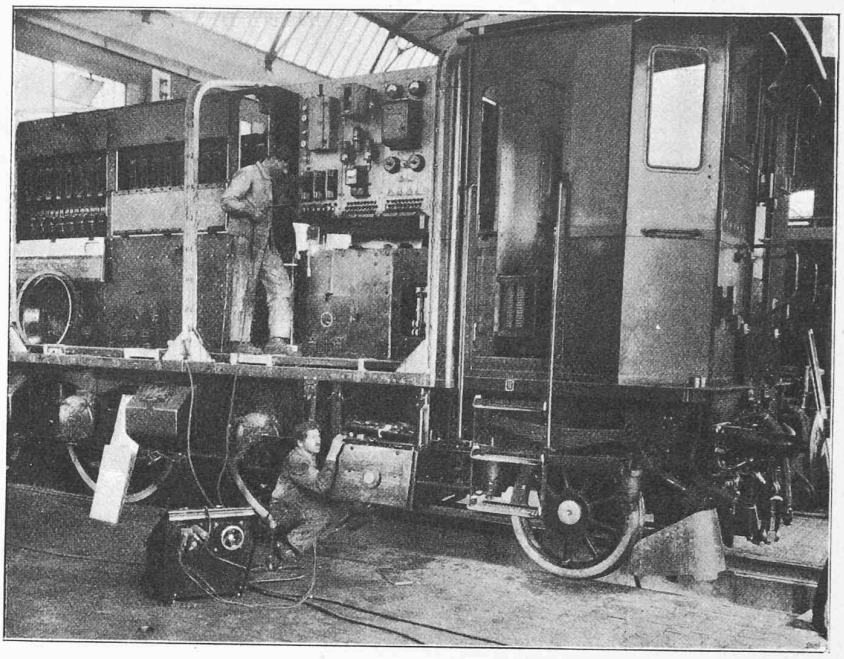

Fig. 9. — Soudage d'une tôle de protection sur une locomotive électrique.

3. *Transformateur spécial.*

Rendement à 150 ampères et 25 volts, 86 %.
Consommation aux bornes de l'arc, 3,75 kW.
Consommation prise au réseau, $3{,}75 : 0{,}86 = 4{,}37$ kW.
Consommation en 20 min. de marche en charge, 1,46 kWh.
Consommation en 40 min. de marche à vide à 200 watts environ, 0,13 kWh.
Consommation horaire totale, 1,6 kWh.
Débours annuels pour la consommation d'énergie, sous les mêmes conditions que ci-dessus, 480 fr.
Coût de l'appareil, 1400 fr.
Amortissement en 15 ans et intérêts, 12,5 %, 175 fr.
Entretien, environ 5 %, 70 fr.
Frais totaux annuels, 725 fr.

On constatera que le coût de la soudure par courant alternatif, si l'on fait abstraction du prix des électrodes et de la main-d'œuvre, que l'on doit supposer constant, est inférieur à la moitié de celui de la soudure avec rhéostat dans les meilleures conditions et le tiers environ de celui par groupe convertisseur rotatif. L'économie réalisée en un an couvre sensiblement le prix d'achat de l'appareil à courant alternatif.

La comparaison de la soudure électrique avec celle par le chalumeau oxy-acétylénique est moins facile à établir, les conditions étant très différentes. Pour fixer les idées, nous dirons simplement que 1 kg. d'acétylène dissous permet d'exécuter le même travail que 3 à 5 kWh. (par l'arc alternatif) suivant la forme de la pièce à souder.

Concours pour l'étude d'un projet du nouveau bâtiment aux voyageurs de la gare de Fribourg.

Rapport du Jury,
(Suite.) [1]

N° 3 Simple course: Ce projet est bien étudié et présente une disposition en deux corps de bâtiments qui a certains avantages en ce qui concerne les rapports des masses avec les conditions de la situation.

[1] Voir *Bulletin technique* du 2 janvier 1926, page 10.

L'accès des W.-C. depuis la place n'est pas recommandable. Certains locaux de service du rez-de-chaussée pourraient être mieux éclairés, notamment la salle d'attente de 2e classe. Le portique réduit inutilement la place devant les guichets.

Certains locaux de service au premier étage ne répondent pas, dans leurs communications, aux conditions du programme.

L'architecture est bonne et bien appropriée.

(Clichés de la *Schweizer. Bauzeitung.*) *(A suivre.)*

Dessableur automatique,

brevets H. Dufour[1], de l'Usine du Liro inférieur, Italie.

Cette usine, décrite dans le numéro 9 de l'« Energia Electrica » 1925, Milan, est prévue pour une puissance installée de 210 000 ch. et deviendra l'une des plus puissantes de l'Europe centrale. Par suite des conditions topographiques spéciales, le dessableur automatique, prévu pour éviter ou au moins atténuer le colmatage du réservoir et l'usure des turbines, et actuellement presque terminé, est placé immédiatement en amont du tunnel-réservoir débouchant lui-même dans la chambre de mise en charge des conduites. Comme ce dessableur devait être entièrement excavé dans le rocher, il a été nécessaire de rechercher une solution spéciale prenant peu de place.

La fig. 1 montre la disposition qui, sur le vu des bonnes expériences faites dans l'entretemps avec d'autres dessableurs, a été adoptée. Cette disposition, avec un seul canal de décantation, utilise à un très haut degré les avantages présentés par l'évacuation automatique

[1] Voir *Bulletin technique* des 13 et 27 décembre 1919 ; 7 et 21 février, 3 mars, 1er mai et 12 juin 1920 ; 29 octobre 1921 ; 21 janvier et 4 février 1922.