

Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens
Herausgeber: Association suisse des électriciens
Band: 35 (1944)
Heft: 2

Artikel: Le procédé de soudage "Alutherm" pour la jonction de conducteurs en aluminium et en alliages d'aluminium
Autor: Schiltknecht, A.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1056932>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 18.01.2025

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

Le procédé de soudage „Alutherm“ pour la jonction de conducteurs en aluminium et en alliages d'aluminium

Par Ad. Schiltknecht, Neuhausen

621.791 : 669.71

[Communication des Laboratoires de recherches de la S.A. pour l'Industrie de l'Aluminium (AIAG)]

Après un rappel des méthodes usuelles l'auteur donne la description d'un nouveau procédé spécialement adapté à la soudure sur le pylône qui ne nécessite aucune source de courant ou de gaz et dans lequel les extrémités des conducteurs fondus au moyen d'une cartouche chauffante sont poussées l'une contre l'autre par un dispositif approprié. Les caractéristiques de la soudure et d'autres possibilités d'emploi du nouveau procédé sont indiquées. Les titres de publications se rapportant à la technique de la soudure de conducteurs en alliage léger sont mentionnés à la fin de l'article.

Nach einem Hinweis auf die bisher gebräuchlichen Methoden für die Schweissung von Leichtmetall-Leitern wird ein neues Verfahren beschrieben, das speziell für die Schweissung auf dem Freileitungsmast bestimmt ist, und bei dem ohne Anwendung einer Gas- oder Stromquelle die Leiterenden durch eine Heizpatrone verflüssigt und gleichzeitig mit einem Spannaparat zusammengestaucht werden. Die Eigenschaften der Schweißstelle, weitere Anwendungsmöglichkeiten und einige Literaturangaben über die Verbindungstechnik von Leichtmetall-Leitern sind erwähnt.

(Traduction)

Le problème du contact. Etant donné que les métaux légers se recouvrent immédiatement, à l'air, d'une pellicule d'oxyde qui offre une certaine résistance au passage du courant, l'emploi de métaux légers comme conducteurs d'électricité demande une préparation soignée et une construction adéquate des connexions pour garantir un contact inaltérable.

Quand la connexion de conducteurs massifs est réalisée par des vis, il faut veiller à ce que celles-ci exercent une pression d'environ 1 kg/A sur le point de contact. Cette pression peut être maintenue au moyen de rondelles «Belleville» (VSM 12745 E et 12746 E) qui, en même temps, empêchent la pression spécifique de dépasser les limites admissibles. Il est notablement plus difficile de remplir ces conditions quand il s'agit de cordes ou de câbles, vu que le courant doit être également transmis de façon certaine des fils intérieurs de l'un des câbles à ceux de l'autre. Pour les câbles isolés, on obtient facilement un bon contact en les soudant dans un tube en cuivre ou en aluminium. Des douilles de jonction sans soudure ont également été appliquées aux conducteurs en aluminium; le contact est alors assuré par l'écrasement des fils en aluminium.

Divers types de mouffles et de pièces d'extrémité pour cordes sont employés actuellement. La conductibilité transversale est obtenue pour les uns en prenant les différentes couches séparément, pour les autres en déformant suffisamment la corde, comme p. ex. dans les douilles de connexion à encoches ou dans les joints étirés. Mais c'est la soudure qui constitue en tout cas la connexion électrique la plus simple et celle qui offre le maximum de sécurité, aussi bien pour les conducteurs massifs que pour les conducteurs à fils multiples. C'est qu'il n'y a dans ce cas pas de discontinuité entre les différentes parties de la corde.

Procédés de soudage existants

Parmi les méthodes connues il faut citer les procédés suivants:

La soudure électrique à rapprochement avec les méthodes dérivées de la soudure par condensateur et de la soudure des torons métalliques. Ensuite un procédé de compression latérale des extrémités torsadées du câble au moyen de coquilles semi-circulaires chauffées au rouge vif par le passage d'un courant intense. Dans la construction

d'appareils, les fils fins du câblage, torsadés peuvent être soudés avec un crayon de charbon; il se forme une petite perle assurant un bon contact. L'utilisation de la soudure électrique à arc, avec électrodes enrobées non hygroscopiques, est indiquée pour des sections plus importantes, mais l'exécution de ce travail demande une grande habileté de la part du soudeur.

Pour les travaux de montage un procédé indépendant de toute source de courant serait préférable; en premier lieu, il faut envisager la soudure oxy-acétylénique avec coquille ouverte qui exige un lavage méticuleux de la soudure pouvant être évité cependant par l'emploi d'un décapant garanti non-hygroscopique. Pour accélérer la fusion on peut entourer le joint d'une coquille en deux pièces et l'on arrive ainsi à la soudure à coquille fermée ou à la soudure par coulée. Les deux procédés se prêtent bien à de fortes sections et l'appareillage est suffisamment mobile, car on a même développé des appareils de soudure à l'acétylène portatifs avec bouteilles en alliage léger, qui permettent la soudure sur le poteau. Cependant les travaux nécessaires pour fixer et rendre étanche la coquille ne sont pas simples et l'échauffement rapide et uniforme est assez difficile à obtenir quand souffle un vent violent. De plus, la capacité des bouteilles portatives est faible. Les difficultés d'allumage et le refroidissement désagréable du réservoir dans le manche, s'opposent à l'utilisation d'un brûleur oxygène-benzol pour des travaux sur les pylônes.

Le procédé de soudage «Alutherm»

Le problème se posait donc de créer un procédé de soudage indépendant de toute source de courant ou de gaz, qui serait capable de créer des jonctions de forte section sans nettoyage préalable des fils de la corde. L'emploi d'un décapant devait être proscrit sans que la rapidité et la bonne exécution du travail n'en souffrent. Tout échauffement exagéré des zones adjacentes et des travaux de parachèvement devaient être évités. Le travail ne devait exiger aucune connaissance spéciale de la soudure; un seul ouvrier devait suffire à l'exécution du travail sur place dans n'importe quelle position, tout en garantissant un résultat impeccable.

Après des recherches nous avons trouvé une solution simple qui répond aux desiderata énoncés ci-dessus (fig. 1). On introduit les extrémités

des câbles à souder dans une cartouche à forte réaction exothermique dans laquelle elles sont portées à la température de fusion; simultanément a

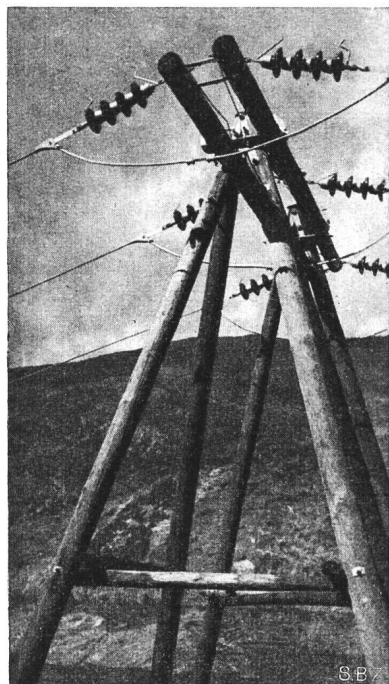


Fig. 1.

Soudures «Alutherm» dans les boucles de la ligne 65 kV Mörel-Tourtemagne (Valais) Corde en aluminium pur de 300 mm²

lieu un refoulement dans la direction axiale et il se forme un bloc de fonte à l'endroit de la jonction dont le diamètre correspond à l'alésage de la coquille de la cartouche. Celle-ci se laisse intro-

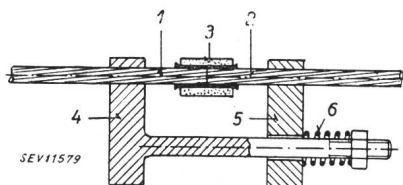


Fig. 2.

Principe du procédé de soudure «Alutherm»

1, 2 extrémités des conducteurs, 3 cartouche, 4, 5 mordaches, 6 ressort

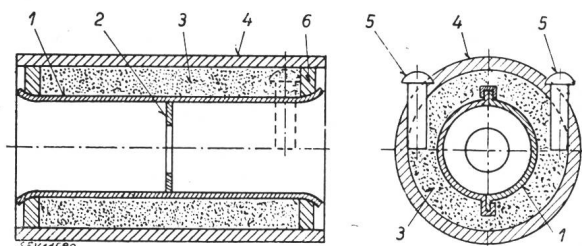


Fig. 3.

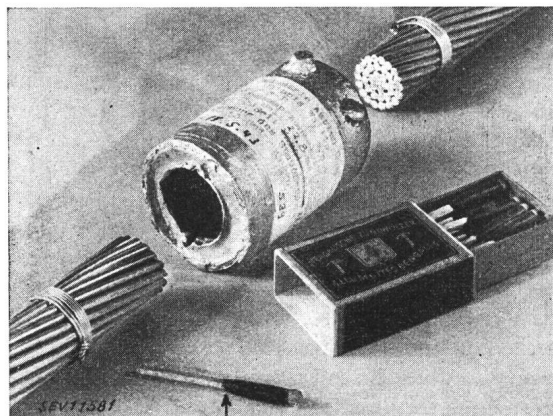
Cartouche «Alutherm»

1 coquille
2 anneau de centrage
3 mélange «Alutherm»
4 enveloppe en carton
5 bouchons de fermeture, à remplacer pour l'allumage par une allumette Bengale, tête vers l'extérieur
6 couvercles en carton

duire avec un faible jeu sur les extrémités à souder. Le principe de la soudure ressort de la fig. 2.

La cartouche de soudure se compose d'une coquille en deux pièces, en tôle de fer, assemblée

d'un côté par un pli, de l'autre, par une agrafe en forme de U. La coquille empêche les produits de la réaction d'entrer en contact avec la soudure et lui donne la forme voulue. En même temps elle sert de guide aux extrémités pendant la soudure, de sorte que les câbles ne peuvent ni s'ouvrir ni se décaler. Un traitement spécial de la douille permet d'éviter un collage pendant la soudure, de sorte qu'on peut l'enlever facilement après le soudage. On ne doit surtout craindre aucune corrosion ultérieure de la soudure par du fer qui se serait dissout dans le bain de fusion. Au centre de la cartouche se trouve un anneau de centrage de l'alliage à souder qui fixe la cartouche automatiquement au milieu du joint (fig. 3). Le mélange chauffant est entouré d'une enveloppe imperméable à l'eau. L'une des extrémités est pourvue de deux bouchons de fermeture, dont l'un est remplacé par une allumette Bengale pour l'allumage. De ce fait les cartouches sont insensibles aux chocs pendant le transport et le stockage, de sorte qu'aucune mesure de précaution spéciale n'est nécessaire (fig. 4).



casser pour l'allumage

Fig. 4.

Cartouche pour 300 mm² avec câble et allumette Bengale

Le dispositif de refoulement (fig. 2) comprend deux mordaches 5, adaptées au diamètre du câble 1 et 2 par deux coquilles semi-circulaires qui refroidissent le câble après la soudure. Un ressort 6, tendu avant la soudure, rend le processus automatique. Dans l'exécution pratique de l'appareil pour la soudure de cordes, l'agencement des différentes pièces a été modifié quelque peu, pour rendre le dispositif plus maniable. Un couvercle amovible qu'on abaisse pendant la combustion est fixé au support à chaînette qui permet la suspension de l'appareil sur le pylône. La fig. 5 donne une vue de l'appareil, le couvercle est relevé, une cartouche est introduite. Pour le transport on démonte le support et on le fixe à la place de la corde dans les mordaches. Le poids de l'appareil complet pour des sections de câbles de 95...400 mm² ne dépasse pas 4,5 kg. La force de compression du ressort est suffisante pour permettre la suspension du dispositif à l'une des extrémités des câbles sans en entraver le bon fonctionnement.

Le soudage. On enlève d'abord avec la scie quelques millimètres à chaque extrémité des conducteurs pour obtenir une surface droite et propre.

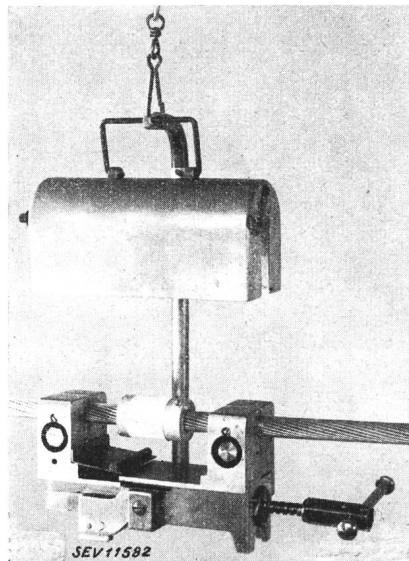


Fig. 5.

Dispositif de refoulement pour la soudure «Alutherm» prêt à l'emploi

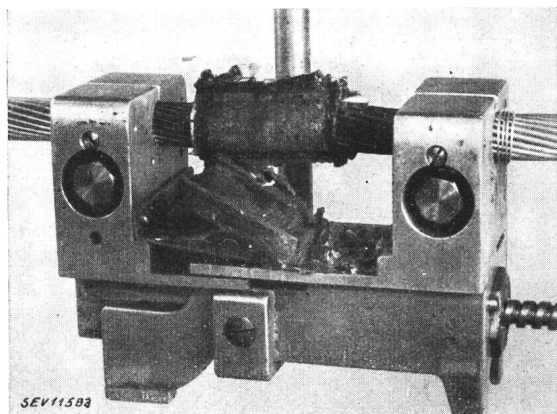


Fig. 6.

Soudure terminée, scorie enlevée partiellement

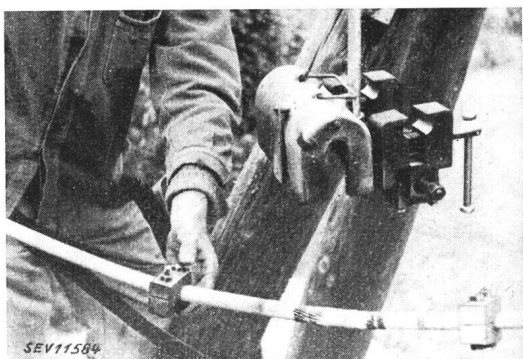


Fig. 7.

Soudure terminée sur le poteau
dispositif de refoulement enlevé

On relâche quelque peu la ligature ou la bride provisoire (fig. 7) et les câbles sont glissés jusqu'à l'anneau de centrage de la cartouche. On serre les mordaches, tend le ressort et allume en

suite la cartouche. La réaction dure 25 secondes. Le refoulement automatique commence une demi-minute après l'allumage. Il est à peu près égal au

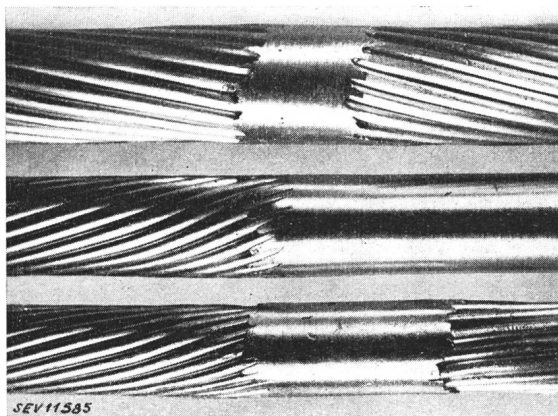


Fig. 8.

Exemples de soudures «Alutherm»
Câble en aluminium pur de 300 mm² à un câble identique
Câble en Aldrey de 240 mm² à une tige d'Anticorodal
Câble en aluminium pur de 185 mm² de compositions différentes

diamètre du câble. La coquille est enlevée (fig. 6 et 7). Au moyen d'une pince et d'une lime on enlève la petite bavure provenant des plis et la soudure est débarrassée des résidus de l'enduit avec une brosse métallique. Un bloc homogène en fonte s'est formé à l'endroit du joint (fig. 8).

La durée totale de l'opération sur le pylône dépend des conditions de travail, différentes dans chaque cas. En moyenne on compte de 10...30 minutes par soudure «Alutherm» y compris les travaux préparatoires et le nettoyage. Si l'on doit, par exemple, faire 6 jonctions sur un pylône, on devra compter, pour un monteur et 1...2 aides une durée totale de travail de 2...3 heures, c'est-à-dire moins de temps que pour l'établissement de la jonction la plus simple par raccord mécanique. La soudure proprement dite peut être faite par le monteur seul, tandis que les aides font les travaux accessoires nécessités par le travail sur le pylône. L'opération de soudage est automatique et le travail peut même être exécuté par des ouvriers qui n'ont pas de connaissances spéciales de la soudure. Ni la position verticale ni les intempéries ne peuvent entraver le travail, qui est indépendant de la disposition des conducteurs et qui peut même être entrepris quand le câble est gelé. Lorsqu'il est fortement givré on brûle d'abord une cartouche plus faible, sans tendre le ressort, parce que le câble rempli et recouvert de glace demande un supplément de chaleur d'environ 40 % par rapport à une soudure ordinaire.



Fig. 9.

Coupe longitudinale à travers une soudure «Alutherm»,

préparée à l'acide.
Câble en aluminium pur de 300 mm²

Les propriétés de la soudure. L'homogénéité parfaite de la jonction ressort de la fig. 9. Elle est confirmée par l'examen métallographique (fig. 10

et 11) qui montre l'interpénétration et le mélange des extrémités. Le traitement à l'acide (révélation du grain) et l'essai de dureté permettent de constater que la zone de recuit est très étroite (fig. 12 et 13).

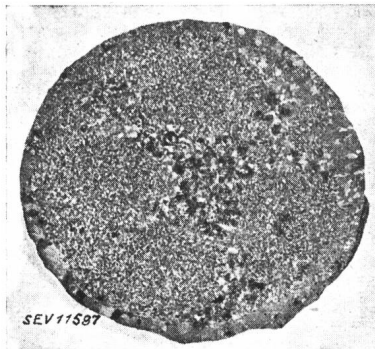


Fig. 10.
Coupe transversale à travers une soudure «Alutherm», préparée à l'acide. Câble en aluminium pur de 300 mm²

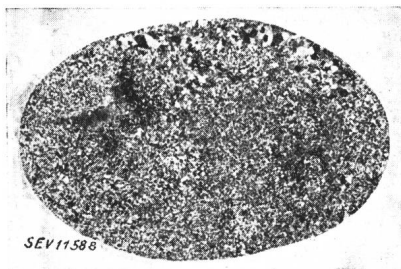


Fig. 11.
Coupe oblique à travers une soudure «Alutherm», préparée à l'acide. Câble en aluminium pur de 200 mm²

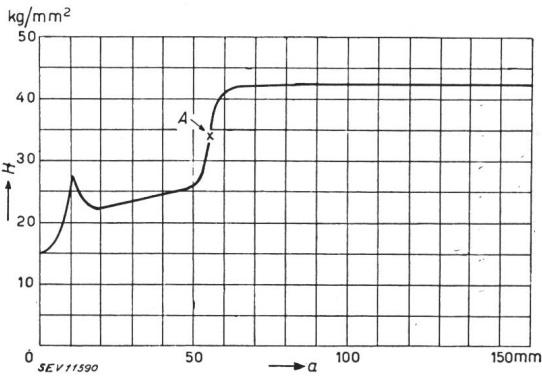
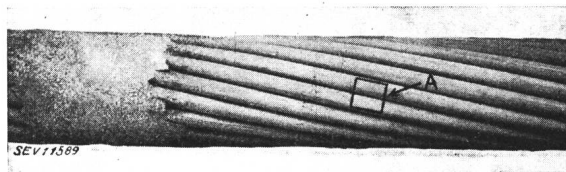


Fig. 12.
Soudage «Alutherm» d'un câble en aluminium de 300 mm²
Variation de la dureté dans la zone de recuit
H Dureté Vickers ou Brinell, a Distance du milieu de la soudure

D'après les mesures de température, fig. 14, celle-ci ne dépasse pas 100° C derrière les mordaches.

Propriétés mécaniques. La résistance à la traction de câbles en aluminium pur soudés varie entre 5 et 13 kg/mm². Il ressort du diagramme de traction fig. 15 et de la photographie fig. 16 que la rupture à lieu par paliers. D'abord c'est la couche extérieure qui se rompt au bord de la soudure. Son allongement est faible parce que des cristaux allongés se forment à cet endroit en raison de la

haute température et des conditions particulières de refroidissement. Les couches intérieures ont un bon allongement et la rupture a lieu en dehors de la soudure, dans la zone de recuit. La soudure

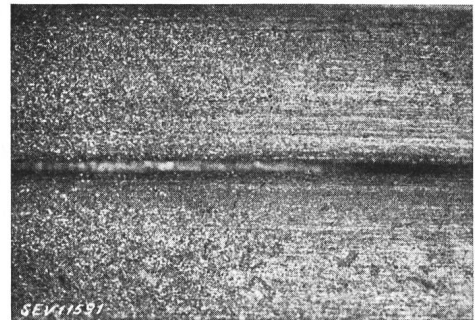


Fig. 13.
Zone de transition A (fig. 12) préparée à l'acide

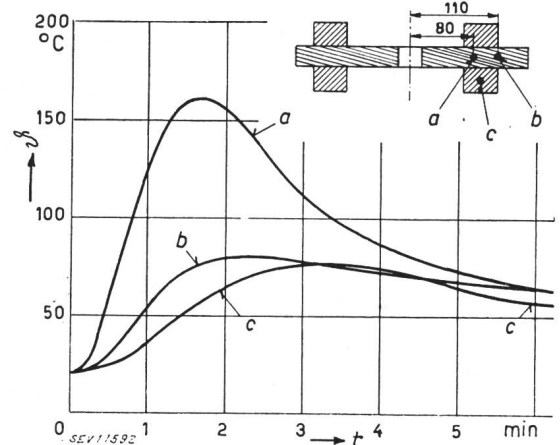


Fig. 14.
Variation de la température pendant la soudure «Alutherm» d'un câble en aluminium pur de 300 mm²
θ température, t temps.
a Température du câble à 80 mm du milieu de la soudure
b Température du câble à 110 mm du milieu de la soudure
c Température des mordaches

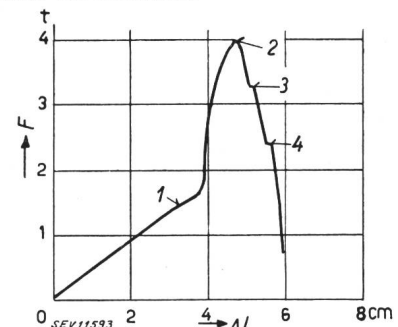


Fig. 15.
Essai de traction sur un câble en aluminium pur de 300 mm² soudé par le procédé «Alutherm»
F: traction totale en fonction de l'allongement Δl;
1 Serrage des mordaches, 2 la couche extérieure se rompt, 3 la deuxième couche se rompt, 4 la troisième couche et le fil central se rompent.

supporte plusieurs pliages alternés, bien que la couche extérieure soit un peu fragile. Par principe, une soudure «Alutherm» doit toujours être placée à l'endroit où ne s'exerce aucun effort de traction. Si une jonction est soumise à la traction, il faut décharger la soudure par un renforcement mécanique. Des sollicitations de flexion doivent également être évitées par un dispositif approprié (fig. 17).

La résistance à la corrosion. Pour examiner cette propriété, des coupes obliques à travers les soudures et les câbles correspondants furent exposés au brouillard salin pendant une durée de 15 jours sans qu'une attaque des soudures ou des câbles ne

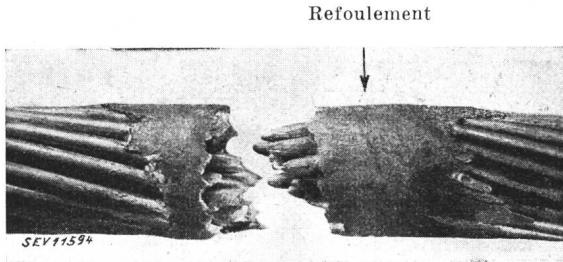


Fig. 16.
L'éprouvette après l'essai de traction
selon fig. 15

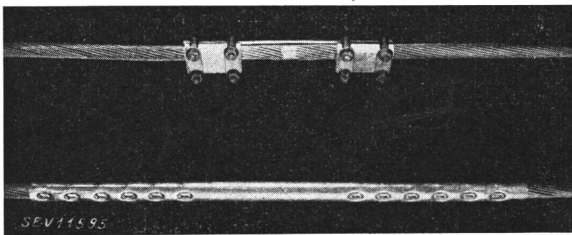


Fig. 17
Soudure
Possibilités de renforcement mécanique de la soudure
En haut: Renforcement par demi-tube
En bas: Renforcement par douille de connexion à encoches

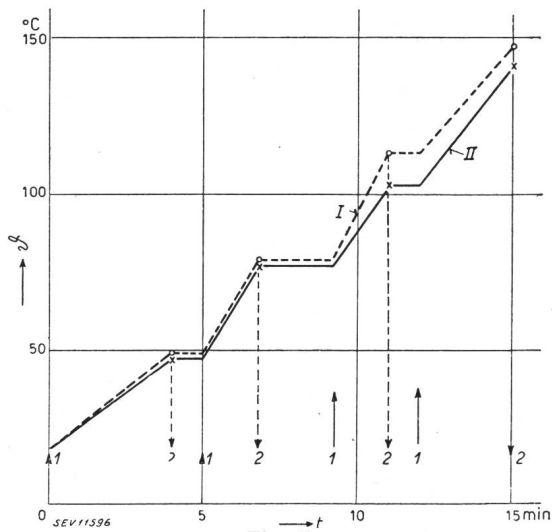


Fig. 18.

Essai d'échauffement d'une soudure sur un câble de 300 mm²
I Corde. II Soudure. 1 Enclenchement. 2 Déclenchement.
t Temps. θ Température. \times \circ Valeurs mesurées au moment de déclenchement

puisse être constatée. Des essais de cordes en Aldrey donnèrent le même résultat.

La conductibilité électrique. La conductibilité électrique est de la plus haute importance, elle a donc été mesurée très soigneusement. Bien que la mesure directe avec du courant continu puisse être exécutée avec une précision satisfaisante¹⁾, la méthode indirecte par mesure de l'échauffement fut

¹⁾ K. Stender, Essais de serre-fils pour câbles en aluminium, Aluminium 1942, mai, p. 185...187, allem.

choisie, parce qu'elle imite mieux les conditions de service. En tout cas la soudure reste sensiblement plus froide que le câble et des différences de température dépassant 10° C furent mesurées. Les résultats d'une série de mesures se trouvent dans la fig. 18. La courbe donnant la différence de température entre le câble et la soudure en ordonnée, et la différence de température entre câble et ambiance en abscisse, permet le calcul de la conductibilité de la soudure par rapport à la valeur connue du câble. Le chiffre de 33,25 m/ Ω mm² ainsi obtenu concorde bien avec la valeur de 30...35 m/ Ω mm² pour de l'aluminium coulé (feuille VSM 10845 E). L'échauffement plus fort du câble s'explique par le fait que la section du câble n'est que d'environ ³/₄ de la section pleine, telle qu'elle est réalisée par la soudure. Pour les mesures de températures on a employé différentes méthodes, telles que des couleurs thermosensibles, des thermomètres à mercure, des thermocouples et un thermocouple à contact. La concordance était bonne, mais la dernière méthode s'est révélée comme étant la plus sûre.

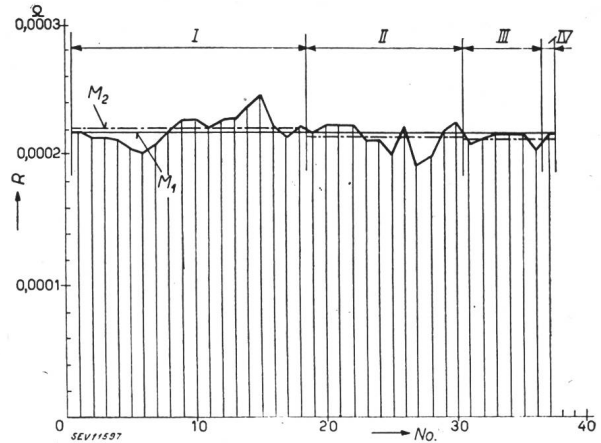


Fig. 19.

Mesures individuelles au moyen du pont de Thomson des différents fils après soudure d'une corde en aluminium de 300 mm²
I...III Couches 1 à 3. IV Couche intérieure (fil central).
M₁ Valeur moyenne calculée. M₂ Valeur moyenne d'une couche.
R Résistance de la soudure (Ω). No. Numéro du fil.

Il est impossible de vérifier la qualité de la soudure pour chacun des fils avec l'essai d'échauffement. Pour la contrôler, une soudure fût découpée et la conductibilité de chacun des fils fut mesurée sur le pont Thomson. Les résultats d'une série de mesures sont rassemblés dans le diagramme de la fig. 19. Les mesures sont faciles à reproduire et les écarts faibles. Dans les limites de précision des lectures, la moyenne correspond à la valeur calculée d'une jonction correspondante. Une résistance de passage n'a pas pu être constatée. L'écart maximum de 13 0/0 qui se trouve dans la couche extérieure, correspond à une longueur de 8 mm de fil seulement, ce qui est de l'ordre de grandeur des écarts dans la longueur de la soudure. L'écart moyen est de 3,6 0/0. Le résultat confirme les mesures favorables de l'essai d'échauffement. Aussi longtemps qu'il n'y a pas de corrosion, il ne faut craindre aucune altération, même si les soudures restent en service pendant des années.

Possibilités d'applications supplémentaires. Le procédé de soudage «Alutherm» est tout aussi intéressant lorsqu'il s'agit d'établir des connexions démontables. A cet effet on soude une tige massive ou une cosse à la place du second câble (fig. 8). On obtient ainsi des conditions meilleures pour l'établissement d'un bon contact qu'avec les dispositifs de jonction par serrage. La soudure n'est guère plus grosse que le câble, au maximum 7% en diamètre; il est donc possible de glisser sans aucune difficulté des tiges d'extrémité à travers les armatures. Dans ce cas, il est certainement avantageux de pouvoir souder au conducteur des pièces massives en Anticorodal B (cosses, pièces de jonction, etc.), dont l'extrémité peut être façonnée à volonté et, en cas de besoin, cuivrée ou argentée. Il suffit que la pièce massive ait, sur une longueur suffisante, un diamètre identique à celui du câble auquel on va la souder pour pouvoir placer convenablement et sans difficultés le dispositif de refoulement. Il arrive, spécialement pour les lignes aériennes, que les jonctions de ce genre soient sollicitées par des vibrations dues à l'action du vent. Dans ce cas, il est recommandé de renforcer la soudure par un tube spécial en Anticorodal qui soulage la soudure elle-même, tout en évitant les phénomènes de fatigue. Dans certains cas il est plus avantageux d'établir le contact entre métaux lourds. Dans ce but, on soude une douille de cuivre, fermée à l'une des extrémités et étamée à l'intérieur, sur le câble (fig. 20). Elle peut se terminer à l'extrémité libre par une tige ou une cosse; c'est seulement la partie tubulaire qui est entourée de la cartouche. Le bout du câble fondu remplit la douille et forme un alliage avec elle, de sorte qu'un bon passage de courant est établi entre l'aluminium

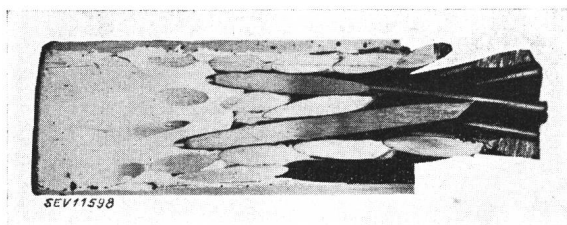


Fig. 20.

Douille en cuivre soudée sur l'extrémité d'une corde en aluminium pur de 300 mm²

et le cuivre. Les jonctions entre conducteurs en aluminium et en cuivre peuvent être faites de la même manière. La soudure se fait sans décapant; il n'y a donc aucun danger d'absorption d'humidité par des résidus d'un décapant qui attaquerait l'aluminium. Toutefois il est indispensable de protéger une connexion aluminium/cuivre contre l'accès de l'humidité par une méthode éprouvée, surtout quand il s'agit d'installations en plein air ou dans des locaux humides. Les conducteurs massifs de forte section se soudent comme les câbles au moyen d'une coquille dans la cartouche. Par contre il est possible de renoncer à la coquille pour des fils uniques ayant jusqu'à 10 mm de diamètre au maximum. Au point de soudure il se forme alors une

bavure qu'on enlève avec la pince. Les différentes phases sont reproduites dans la fig. 21. La suppression de la coquille améliore la transmission de la chaleur et la soudure ne dure que 4 secondes. L'appareil de compression pour les faibles sections pèse seulement 1200 g.

Le travail au chalumeau. Il est intéressant de signaler qu'on peut également faire des soudures semblables à celles obtenues au moyen des cartouches «Alutherm» en utilisant simplement les coquilles en deux pièces et l'appareil de refoulement

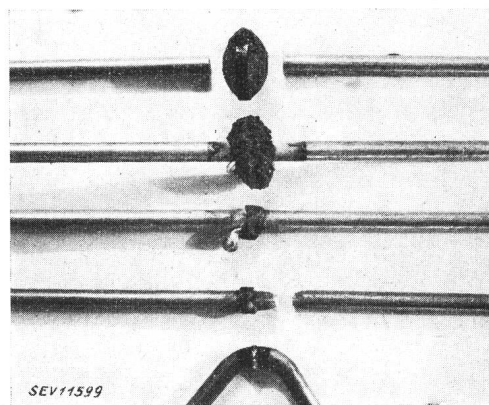


Fig. 21.

Soudure «Alutherm» de fils Aldrey de 7 mm Ø
De haut en bas: avant la soudure; après la réaction; scorie enlevée; essai de traction; essai de pliage

ment «Alutherm». Le chauffage doit se faire alors avec le chalumeau oxy-acétylénique ou oxygène-benzol. Cette méthode est surtout indiquée quand l'appareil de soudure se trouve déjà sur place pour d'autres travaux. Pour de grosses sections, la puissance du bec devient tellement élevée qu'on est obligé d'employer plusieurs bouteilles de gaz assemblées en batterie. Malgré cela la durée de chauffage est encore supérieure à celle des cartouches «Alutherm».

Les appareils de refoulement et les cartouches sont dimensionnés d'après les normes pour câbles en aluminium ou en Aldrey VSM 24010 E, ainsi que pour les barres rondes correspondantes en Anticorodal, mais il est possible de souder des sections quelconques avec du matériel adapté spécialement.

Littérature concernant la technique de jonction de conducteurs en métal léger

Bewag: Herstellung der Aluminiumleiterverbindungen bei Kabeln; Elektrizitätswirtschaft, Bd. 34 (1935), Nr. 28, S. 633.

Büngner W. und Hammerschmidt: Einfache Schmelzverbindungen für Aluminiumkabel; Elektrizitätswirtschaft, Bd. 36 (1937), Nr. 11, S. 275...278.

Aluminiumverbindungen und Aluminiumkupferübergänge im Starkstromkabelbau; AEG-Mitteilungen, März 1939, S. 215...218.

Schulze R.: Verfahren zur Verbindung von Aluminiumkabeln; Aluminium, Oktober 1939, S. 701...707.

Höhme: Untersuchungen des Kondensatorschweißverfahrens bei hartgezogenen Aluminiumdrähten; Archiv für Elektrotechnik, Bd. 34 (1940), Heft 8, S. 441.

Otten F.: Hartlöten und Schweißen an Stelle von Weichlöten in der Starkstromtechnik; Metallwirtschaft 1940, S. 735...738.

Zwehl A.: Verbindungsverfahren für Aluminiumkabel; Aluminium, Januar 1941, S. 41...46.

Raabe W.: Schweißen von Kabeln aus Leichtmetall für die Licht- und Kraftstromversorgung; Autogene Metallbearbeitung, Bd. 34 (1941), Nr. 23, S. 375...376.

Sachs K. und Noack G.: Zeitgemässe Werkstofffragen; Brown-Boveri-Mitt., Januar/März 1942, S. 78...83.

Stender K.: Untersuchungen an Klemmen für Aluminiumkabel; Aluminium, Bd. 24 (1942), S. 185...187.

Kleinschweissgeräte mit Lichtbogenschweissung; ETZ, Bd. 63 (1942), S. 448.

Günther H.: Das Litzenschweissverfahren; ETZ, Bd. 63 (1942), Nr. 49/50, S. 587...591.

Messung des Uebergangswiderstandes zwischen Kupfer und Aluminium in plattierten Blechen; Aluminium, Oktober 1942, S. 358...360.

Riepl W.: Verschweissen der Verbindungen an Freileitungen mit Reinaluminiumseilen; Elektrizitätswirtschaft, Bd. 41 (1942), S. 417...419.

Willers E.: Aluminiumverbindungen und Aluminiumkupferübergänge im Kabelbau; Elektrizitätswirtschaft, Bd. 42 (1943), Nr. 6, S. 124...127.

Die Eichung von Manometern

Bericht an das Fachkollegium 4 des Schweizerischen Elektrotechnischen Komitees (CES), Wasserturbinen,
von Hans Gerber, Zürich

531.787.089.6

Zwischen den Angaben eines Gewichtsmanometers und der entsprechenden statischen Wassersäule sind Abweichungen festgestellt worden. Die Erscheinung lässt sich vorläufig nur bei Gefällen von rund 2000 m durch die Kompressibilität des Wassers erklären, während bei kleinern Gefällen teilweise erhebliche Differenzen auftreten.

Des écarts ont été constatés entre les indications fournies par un manomètre à contrepoids et la colonne d'eau statique correspondante. Pour l'instant, ce phénomène ne s'explique par la compressibilité de l'eau que pour les chutes de 2000 m environ, tandis que pour les chutes moins élevées les différences sont parfois considérables.

Die Druckmessungen zur Bestimmung der Nettofälle bei Abnahmeversuchen an Wasserkraftmaschinen werden gewöhnlich mit den handelsüblichen Federmanometern vorgenommen. Für die Eichung dieser Instrumente stehen die Manometer-Eichapparate mit Gewichtsbelastung zur Verfügung, die von den Herstellern der Manometer in den Handel gebracht werden. Fig. 1 zeigt einen von Escher Wyss besonders konstruierten, für Auswärtsversuche bestimmten transportablen Eichapparat mit Gewichtsbelastung für Federmanometer.

ren Nettogefällen, als wenn die Ergebnisse der an Ort und Stelle mit Hilfe der statischen Wassersäule durchgeführten Eichungen verwendet wurden.

Die systematische Sammlung der vorliegenden Eichungen zeigte, dass es sich nicht um Zufallsergebnisse handeln konnte. Um jeden Zweifel auszuschalten, der insbesondere den vorhandenen Manometer-Eichapparat betreffen konnte, wurde der in Fig. 1 dargestellte neue Manometer-Eichapparat mit einem auswechselbaren Kolben von 1 und 2 cm² Kolbenfläche konstruiert. Eine Reihe von Federmanometern wurde mit allen drei zur Verfügung stehenden Kolben geeicht, und die Ergebnisse deckten sich im Rahmen der Ablesegenauigkeit.

Bei Abnahmeversuchen im Ausland hatte der Verfasser Gelegenheit, bei einem Gefälle von 830 m mit einem Gewichtsmanometer «Marex» zu arbeiten, welches der Experte zur Verfügung gestellt und unmittelbar für die Gefällsmessung verwendet hatte. Die wiederholten Eichungen deckten sich gut und ergaben im Mittel eine Differenz von 3,55 m zwischen Gewicht und statischer Wassersäule. Das Ergebnis lag eindeutig in der Richtung der bisher indirekt mit Hilfe der Federmanometer festgestellten Unterschiede.

Um die Verhältnisse abzuklären, entschloss sich die Firma Escher Wyss, zwei Gewichtsmanometer selbst zu bauen, die ohne weiteres an Stelle von Federmanometern an die Turbinen angeschlossen werden können. Die Konstruktion dieser Manometer geht aus Fig. 2 hervor. Sämtliche verwendeten Gewichte wurden amtlich geprüft und der verwendete Kolben auf 1/100 mm genau geschliffen.

Diese beiden Gewichtsmanometer wurden nun in verschiedenen geeigneten Anlagen mit Hilfe des statischen Gefälles geeicht, und es sei an dieser Stelle den Unternehmungen, welche ihre Werke zu diesem Zwecke zur Verfügung stellten, der beste Dank ausgesprochen. Die Eichungen konnten bis zu dem Gefälle von 1740 m ausgedehnt werden. Die Ergebnisse sind in Fig. 3 dargestellt und mit den früheren Eichungen der Federmanometer verglichen:

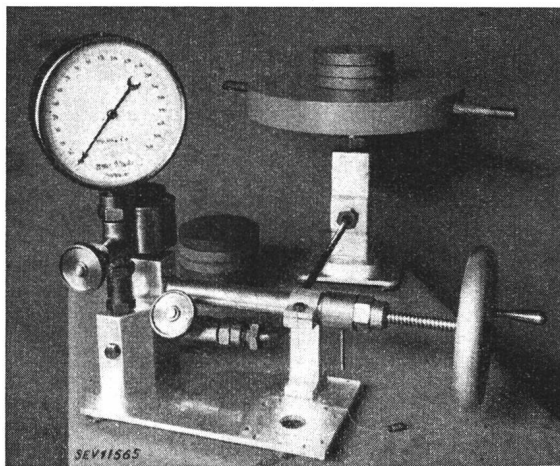


Fig. 1.
Transportabler Manometer-Eichapparat
mit Gewichtsbelastung

In Anlagen, welche über genaue Nivellements des Ober- und Unterwasserspiegels verfügten, ergab sich gelegentlich die Möglichkeit, die verwendeten Federmanometer auch mit dem statischen Gefälle bei vollständig ruhender Wassersäule zu eichen. Der Vergleich dieser statischen Eichungen mit Wassersäule mit den Gewichtseichungen im Laboratorium zeigte nun gewisse Differenzen, die abgesehen von einer unvermeidlichen Streuung immer in derselben Richtung hinwiesen:

Die Berücksichtigung der Laboratoriumseichung mit Gewichtsbelastung führte durchwegs zu höhe-