

Zeitschrift: Technische Mitteilungen / Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafienbetriebe = Bulletin technique / Entreprise des postes, téléphones et télégraphes suisses = Bollettino tecnico / Azienda delle poste, dei telefoni e dei telegrafi svizzeri

Herausgeber: Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafienbetriebe

Band: 61 (1983)

Heft: 6

Artikel: Über das Verzinnen von Aluminium und das Weichlöten von Bleimuffen auf Aluminium-Kabelmäntel = Etamage de l'aluminium et soudure à l'étain de manchons de plomb sur des gaines de câbles en aluminium

Autor: Staub, Thomas

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-875704>

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: 30.04.2026

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

Über das Verzinnen von Aluminium und das Weichlöten von Bleimuffen auf Aluminium-Kabelmänteln

Etamage de l'aluminium et soudure à l'étain de manchons de plomb sur des gaines de câbles en aluminium

Thomas STAUB, Bern

Zusammenfassung. Die beim Verzinnen von Aluminium-Kabelmänteln des Typs ALU und ALUW sowie beim Auflöten von Bleimuffen bestehenden Probleme werden erläutert. Zudem wird gezeigt, wie anhand praktischer Betriebserfahrungen und von Laboruntersuchungen mögliche Fehlerquellen und damit Wege und Mittel zur Verbesserung der Verzinnungs- und Lötmethode gefunden werden konnten.

Résumé. Les problèmes inhérents à l'étamage des gaines de câbles en aluminium types ALU et ALUW ainsi qu'à la soudure de manchons de plomb sont évoqués. L'auteur montre en outre comment il a été possible de détecter d'éventuelles sources de défauts et d'améliorer les méthodes d'étamage et de soudure par des essais pratiques dans l'exploitation et des études en laboratoire.

Stagnatura di alluminio e saldatura di muffole di piombo su guaine di alluminio per cavi

Riassunto. Si illustrano i problemi inerenti alla stagnatura delle guaine di alluminio per cavi del tipo ALU e ALUW e alla saldatura delle muffole di piombo. Viene inoltre mostrato come le esperienze fatte e le ricerche di laboratorio abbiano permesso di rilevare le fonti di errore e di trovare i mezzi per il miglioramento dei metodi di stagnatura e saldatura.

1 Einleitung

Aluminium kommt in der Natur seiner grossen Sauerstoffaffinität wegen nicht gediegen, sondern nur in Form oxidischer Verbindungen in den Mineralien Feldspat, Glimmer, Korund und Diaspor vor. Mit einem Anteil von etwa acht Gewichtsprozent ist es das weitestverbreitete Metall der Erdkruste und damit ein ökonomisch interessanter Rohstoff.

Trotz der hohen Energiekosten, die bei der Gewinnung von Reinaluminium durch Schmelzelektrolyse von Aluminiumoxiden anfallen, liegen die Grosshandelspreise dieses Metalls heute so günstig, dass es ständig an technischer Bedeutung gewinnt. Dazu tragen auch einige seiner besonderen Eigenschaften bei, wie seine niedrige Dichte von $2,7 \text{ g/cm}^3$.

Die Reaktion von Aluminium mit Sauerstoff verläuft stark exotherm, das bedeutet, dass sich das Metall nach der Reaktionsgleichung



unter beträchtlicher Wärmeabgabe mit Sauerstoff verbindet.

Auf diese Weise bilden sich auf Aluminiumwerkstücken immer natürliche Oxidfilme aus. Diese bestehen nach *Altenpohl* (1970) aus einer äusserst dünnen, kompakten Grundschicht (Sperrschicht) und einer daraufliegenden, wasserhaltigen Deckschicht, wie sie in *Figur 1* dargestellt sind. Die Dicke dieser Schichten beträgt insgesamt etwa $0,005 \dots 0,01 \mu\text{m}$. Solch dünne Oxidschichten haben Poren und Schwachstellen, an denen ein Inlösengehen des metallischen Aluminiums doch noch möglich ist. Bei Lösungsvorgängen entstehen Korrosionsprodukte, sie verstopfen aber im allgemeinen die Angriffsstellen, so dass der korrosive Angriff rasch zum Stillstand kommt.

1 Introduction

En raison de sa forte affinité pour l'oxygène, l'aluminium se rencontre rarement à l'état pur dans la nature, mais seulement sous forme d'oxydes dans les minéraux tels que le feldspath, le mica, le corindon et le diaspore. Représenté dans l'écorce terrestre dans une proportion pondérale d'environ 8 %, ce métal est le plus répandu sur le globe et, par conséquent, une matière première économiquement intéressante. Malgré les frais d'énergie élevés qu'entraîne sa production à l'état pur par fusion électrolytique d'oxydes d'aluminium, les prix du marché de gros de ce métal sont aujourd'hui si favorables que son importance sur le plan technique ne cesse de croître. Quelques-unes de ses propriétés particulières y contribuent d'ailleurs, notamment sa faible densité de $2,7 \text{ g/cm}^3$.

La réaction de l'aluminium avec l'oxygène est fortement exothermique, ce qui signifie que le métal s'allie à l'oxygène en dégageant beaucoup de chaleur, selon la formule suivante:



De ce fait, les pièces d'aluminium à usiner se recouvrent toujours d'un film d'oxyde naturel. Selon *Altenpohl* (1970), ce film consiste en une couche primaire compacte très mince et en une couche de revêtement hydratée, comme on le voit sur la *figure 1*. L'épaisseur de ces couches est d'environ $0,005 \dots 0,01 \mu\text{m}$. Les minces couches d'oxyde de ce genre contiennent des pores et des points faibles, au niveau desquels une dissolution de l'aluminium métallique est encore possible. Or, des produits de corrosion qui bouchent en général les points d'attaque, si bien que celle-ci est rapidement arrêtée, apparaissent lors de ces phénomènes de dissolution.

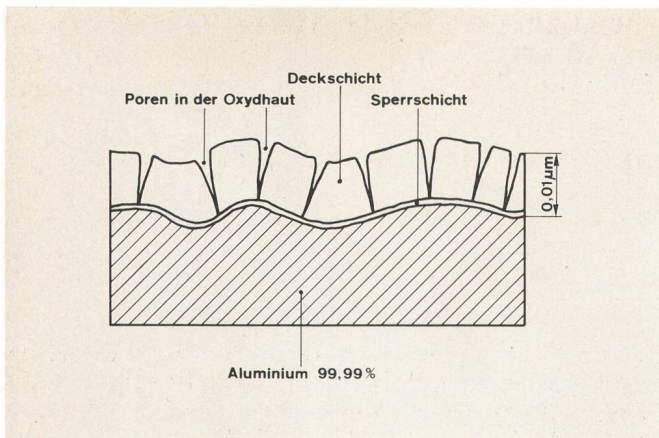


Fig. 1
 Natürliche Oxidhaut auf Reinstaluminium (99,99 %, nach Altenpohl 1970) — Couche d'oxyde naturelle sur de l'aluminium extra-pur (99,99 %, selon Altenpohl 1970)

Die Skizze zeigt die glasartige Bedeckung der Metalloberfläche durch die Oxidhaut. Die schematisch angegebenen Poren werden bei weiterer Oxidation durch deren Produkte aufgefüllt.

Le croquis montre comment la peau d'oxyde recouvre la surface métallique comme une glaçure. Lorsque l'oxydation se poursuit, ces produits finissent par remplir les pores indiqués schématiquement.

Diese Oxidschichten — selber eigentliche Korrosionsprodukte — schützen das Metall bei bestimmten Umgebungsbedingungen vor weiterer Korrosion.

Heute werden für gewisse Anwendungen des Aluminiums verschiedene chemische und elektrochemische Verfahren angewendet, die dazu dienen, diese Oxidschichten zu verstärken. Solche Verfahren werden als Eloxalverfahren bezeichnet.

Oxidschichten auf Aluminium sind aber nicht in jedem Fall nützlich und erwünscht. Sie verunmöglichen zum Beispiel das Verzinnen einer Metalloberfläche, indem sie, als Trennschicht dem Aluminium aufliegend, die Benetzung des Metalls mit Lot und damit die Bildung einer metallischen Verbindung zwischen Aluminium und Lötzinn verhindern.

Nach der Einführung glatter und gewellter Kabelmäntel aus Aluminium sind bei den PTT-Betrieben anfänglich hiermit in Zusammenhang stehende Schwierigkeiten aufgetreten. Man ist auf einwandfreie Weichlotverbindungen zwischen Aluminium und Blei angewiesen, wenn Kabel mit Aluminiummantel durch Bleimuffen verbunden werden sollen. Anhand von Laborversuchen und metallographischen Untersuchungen an Probelötungen wurde festgestellt, welche der heute bekannten Verzinnungsmethoden sich für diesen Fall am besten eignet und mit Hilfe welcher besonderen Massnahmen die vorerst gewählte Methode allenfalls optimiert werden könnte. Folgende Grundsätze waren dabei zu berücksichtigen:

- Die Methode muss felddauglich, d. h. sie muss ohne erhebliche Schwierigkeiten und Unannehmlichkeiten im Feld anwendbar sein.
- Den kabelseitigen Gegebenheiten muss Rechnung getragen werden (Schutz des Kabelinneren vor Überhitzung, Anwendbarkeit sowohl bei glatten als auch bei gewellten Kabelmänteln verschiedenen Durchmessers).
- Der materielle und der technische Aufwand sollten möglichst klein gehalten werden.

Les couches d'oxyde — elles-mêmes de véritables produits de corrosion — protègent donc le métal contre d'autres attaques dans un environnement déterminé.

Aujourd'hui, on utilise divers procédés chimiques et électrochimiques pour renforcer ces couches d'oxyde dans certains domaines d'application de l'aluminium. On parle alors d'oxydation anodique.

Pourtant, les couches d'oxyde recouvrant l'aluminium ne sont pas utiles et souhaitables dans tous les cas. Elles rendent par exemple l'étamage d'une surface métallique impossible, en ce sens qu'elles forment une couche de séparation entre l'aluminium et la soudure, ce qui empêche la création d'une jonction soudée métallique entre l'aluminium et l'étain à souder.

L'introduction des gaines de câbles en aluminium lisses ou ondulées provoqua initialement certaines difficultés à cet égard. En effet, on ne saurait se passer de soudures irréprochables en métal tendre, entre l'aluminium et le plomb, lorsque le câble à gaine d'aluminium doit être relié à un manchon de plomb. C'est pourquoi on s'est appliqué à déterminer, lors d'essais en laboratoire et d'examen métallographiques d'échantillons de soudure, quels étaient les moyens d'étamage actuellement connus se prêtant le mieux à ce cas et quelles étaient les mesures particulières à prendre en vue d'optimiser la méthode préalablement choisie. Ce faisant, on devait tenir compte des principes suivants:

- La méthode doit être utilisable en campagne, c'est-à-dire qu'il doit être possible de l'utiliser sans inconvénients dans le terrain.
- Les conditions en ce qui concerne les câbles doivent être prises en considération (protection de l'intérieur des câbles contre la surchauffe, possibilité d'appliquer la méthode aussi bien pour des gaines de câbles lisses que pour des gaines ondulées de divers diamètres).
- Les frais de matériel et la complexité technique doivent être aussi faibles que possible.
- La méthode doit permettre d'obtenir des jonctions soudées à l'étain répondant aux exigences du point de vue de la solidité mécanique et de la durabilité.

2 Principes de l'étamage de l'aluminium

L'étamage de l'aluminium est toujours une opération difficile. Lors de travaux à la soudure à l'étain, à des températures normales, on ne peut enlever durablement le film d'oxyde au moyen de décapants. C'est pourquoi toute méthode d'étamage appropriée repose sur le principe suivant: la soudure liquide doit déjà se trouver sur la surface d'aluminium à étamer au moment de l'éloignement de la couche d'oxyde. Ce n'est qu'à cette condition que la soudure peut s'allier au métal avant que l'oxygène de l'air n'oxyde à nouveau l'aluminium.

En principe, on peut aussi souder l'aluminium sous atmosphère de protection gazeuse. Cependant, cette méthode est relativement complexe. C'est pourquoi on ne l'utilise que rarement pour les câbles de télécommunications, si ce n'est, par exemple, dans le cas de câbles sous-marins ou si, pour des raisons de solidité, on veut utiliser des manchons en aluminium au lieu de man-

- Die Methode muss Weichlotverbindungen ergeben, die den Anforderungen hinsichtlich der mechanischen Eigenschaften und der Dauerhaftigkeit genügen.

2 Grundlagen der Verzinnung von Aluminium

Das Verzinnen von Aluminium ist grundsätzlich schwierig. Mit Flussmitteln kann der Oxidfilm bei normalen Weichlöttemperaturen nicht bleibend entfernt werden. Jede geeignete Verzinnungsmethode baut daher auf einem Prinzip auf, bei dem sich das schmelzflüssige Lot im Augenblick der Beseitigung der Oxidschicht bereits über der zu verzinnenden Aluminiumoberfläche befindet. Nur so kann sich das Lot mit dem Metall verbinden, bevor der Luftsauerstoff erneut mit dem Aluminium reagiert.

Grundsätzlich besteht auch die Möglichkeit, Aluminium unter Schutzgas zu schweißen. Diese Methode ist aber verhältnismässig aufwendig. Bei Fernmeldekabeln gelangt sie nur in Ausnahmefällen zum Einsatz, beispielsweise bei Seekabeln, falls aus Festigkeitsgründen anstelle von Bleimuffen solche aus Aluminium verwendet werden müssen. Grundsätzlich bleiben somit zwei mögliche Vorgehensweisen:

- Man verwendet ein sogenanntes Reiblot nach DIN 1707 mit der Bezeichnung L-SnZn40. Derartige Lote bestehen aus 55...70 % Zinn und 30...45 % Zink. In schmelzflüssigem Zustand verbleiben in diesen Loten zahlreiche kleine, harte Zinkkristalle, die bei richtig gewählter Arbeitstemperatur noch nicht schmelzen und dadurch für eine gewisse abrasive Wirkung sorgen. Auf diese Weise wird die Beseitigung der Aluminiumoxidschicht während des Verzinnungsvorganges möglich
- Mit Hilfe eines kratzenden Werkzeugs (vornehmlich mit einer Stahldrahtbürste) können auch Blei-Zinn-Lote auf die zu verzinnende Fläche aufgerieben werden

Bei jedem Vorgehen muss das Aluminiumwerkstück vor dem Verzinnen durch Abkratzen gründlich gereinigt werden. Während des Verzinnens ist zudem der für Aluminium charakteristischen, schnellen Wärmeableitung Rechnung zu tragen, indem der Lötstelle genügend Wärme zugeführt wird. Damit die kristalline Zinkphase nicht schmilzt, darf das Reiblot selber nicht zu stark erhitzt werden.

3 Verzinnen von Aluminium-Kabelmänteln

31 Allgemeines zum Vorgehen

Die Bearbeitung von Kabelmänteln aus Aluminium mit Reiblot ist mit einigen zusätzlichen Schwierigkeiten verbunden:

- Die zu verzinnende Fläche bildet nicht eine Ebene, sondern eine zylindrisch gewölbte Form. Im Falle gewellter (ALUW-)Kabelmäntel liegt sogar eine wechselweise konvex-konkave Form vor, deren lückenlose Bearbeitung nicht einfach ist
- Bei Arbeiten im Kabelschacht entzieht sich dem Handwerker zudem etwa die Hälfte des Mantelumfanges der direkten Beobachtung

chons de plomb. Cela étant, deux procédés fondamentaux subsistent:

- L'étamage par friction au moyen de soudure selon DIN 1707, dont la formule est L-Sn-Zn40. Une telle soudure se compose de 55...70 % d'étain et de 30...45 % de zinc. A l'état de fusion, cette soudure renferme de nombreux petits cristaux de zinc durs, qui ne fondent pas encore lorsque la température de travail est bien choisie et qui ont de ce fait un certain effet abrasif. De cette manière, il est possible d'éliminer la couche d'oxyde pendant le procédé d'étamage.
- Il est également possible d'étamer par friction une surface d'aluminium au moyen de soudure étain-plomb en la raclant avec un outil (de préférence avec une brosse à fils d'acier).

Avant de procéder à l'étamage, il est toujours nécessaire de nettoyer soigneusement la pièce d'aluminium en la brossant avec l'outil précité. Pendant l'étamage, il importe alors de tenir compte d'une des caractéristiques de l'aluminium, à savoir qu'il évacue rapidement la chaleur, et de chauffer suffisamment le point de soudure. Pour que la phase cristalline du zinc ne fonde pas, la soudure pour étamage par friction ne doit pas être trop fortement chauffée.

3 Etamage de gaines de câbles en aluminium

31 Généralités concernant la méthode appliquée

Traiter des câbles à gaines d'aluminium avec de la soudure pour étamage par friction provoque un certain nombre de difficultés supplémentaires:

- Après application de l'étain, la surface à étamer n'est pas plane mais représente un renflement cylindrique. Dans le cas des câbles à gaines d'aluminium ondulées (ALUW), on observe même une surface passant alternativement d'une forme convexe à une forme concave qu'il n'est pas facile d'usiner sans imperfections
- L'artisan travaillant dans une chambre à câbles ne peut en outre observer directement qu'environ la moitié de la gaine.
- La chaleur apportée par la lampe à souder doit être dosée de manière qu'elle soit suffisante pour l'opération d'étamage mais n'endommage pas pour autant le faisceau de conducteurs (disques de centrage des câbles coaxiaux, isolation des conducteurs de cuivre en matière synthétique, en tissu ou en papier).
- A divers égards, la méthode d'apport de soudure lors de l'étamage de l'aluminium diffère sensiblement de celle qu'on utilise pour l'étamage du plomb. La chaleur doit se concentrer principalement sur la gaine d'aluminium. Contrairement à ce que l'on fait pour les gaines de plomb, on n'applique pas la soudure par fusion, mais par friction. L'apport de chaleur ne doit pas être excessif, sinon la soudure perd son effet abrasif. La soudure pour étamage par friction ne convient pas à la confection de bourrelets. C'est pourquoi il faut utiliser une soudure différente pour l'étamage de l'aluminium et la confection du bourrelet. Dans le cas des gaines de plomb, la même soudure peut être utilisée pour les deux travaux. La chaleur doit alors être dirigée surtout sur la soudure, si l'on veut éviter une fusion rapide du plomb de la gaine.

- Die mit dem Lötbrenner zugeführte Wärme muss so dosiert werden, dass sie — ohne das Kabelbündel (Zentrierscheiben bei Koaxialkabeln, Aderisolation bei Kupferleitern, Kunststoff-, Stoff- und Papierumwicklungen) zu beschädigen — für das Verzinnen ausreicht
- Die Lotauftragetechnik beim Verzinnen von Aluminium unterscheidet sich in verschiedener Hinsicht wesentlich von jener beim Verzinnen von Blei. Die Wärme muss hauptsächlich dem Alu-Mantel zugeführt werden. Das Verzinnungslot wird nicht wie beim Bleimantel aufgeschmolzen, sondern es wird aufgegeben. Es darf nicht zu stark erwärmt werden, da es sonst seine kratzende Wirkung verliert. Reibloten sind für den Aufbau von Lötplomben nicht geeignet. Für das Verzinnen und anschließende Löten auf Aluminium müssen daher zwei verschiedene Lote verwendet werden. Beim Blei werden dagegen beide Arbeitsgänge mit dem gleichen Lot ausgeführt. In diesem Fall wird die Wärme vor allem dem Lot zugeführt, da man sonst ein rasches Wegschmelzen des Mantelbleis riskiert.

32 Anfängliche Schwierigkeiten — Erkennen und Eliminieren der Ursachen

Metallographische Untersuchungen an schlecht verlöteten Muffen und an Probelötungen, die unter Verwendung verschiedener Lote und Hilfsmittel angefertigt wurden, liessen einen engen Zusammenhang zwischen der Qualität der Lötstellen und dem gewählten Vorgehen erkennen:

- Flussmittel (z. B. Stearin) verunmöglichen das Verzinnen von Aluminium, weshalb sie überhaupt nicht verwendet werden dürfen.
- Alle Hilfsmittel für die Mantelreinigung müssen sauber und absolut fettfrei sein.
- Die zu verzinnende Wellmanteloberfläche lässt sich mit einem flexiblen Werkzeug, das sich der gewellten Mantelform gut anpassen lässt, am besten reinigen.

In einer Reihe von Lötversuchen wurden einige denkbare Reinigungswerkzeuge ausprobiert, namentlich Feile und Messer, Drahtbürste, Schmirgelpapier, Stahlwolle und Stahlschwamm. Für Stahlwolle und Schmirgelpapier fielen die Ergebnisse ungünstig aus. Alle übrigen Werkzeuge ergaben Verzinnungen vergleichbar guter Qualität. Die Verwendung eines Stahlschwammes zeigte sich als überaus günstige Lösung, weshalb der Betrieb diese Idee — aus einem Verbesserungsvorschlag — bereits übernommen hat.

Schmirgelpapier hinterlässt auf der bearbeiteten Aluminiumoberfläche Karborundum-Partikel, die beim Verzinnen zu Hohlraum- und Einschlussbildungen führen, die die Verzinnungsschicht schwächen und ihre metallische Bindung an das Grundmetall stellenweise verhindern (Fig. 2).

Stahlwolle wird, wie die Abklärungen ergaben, als Schutz für die Lagerhaltung mit etwa 0,3 Gewichtsprozenten Mineralöl imprägniert. Sie ist deshalb schon für die Reinigung des Aluminiums ungeeignet. Ihre abrasive Wirkung ist zudem so schwach, dass die Oberflächenstruktur eines Aluminiummantels (Zugrillen) lediglich geglättet wird, was einen politurartigen Glanz hervor-

32 Difficultés initiales — manière de les reconnaître et de les éliminer

Des examens métallographiques de manchons mal soudés et d'échantillons de soudure, confectionnés au moyen de diverses soudures et adjuvants, ont révélé l'étroite relation entre la qualité des soudures et le procédé choisi:

- Un décapant (par exemple de la stéarine) empêche l'étamage de l'aluminium, raison pour laquelle il ne faut jamais l'utiliser.
- Tous les moyens abrasifs utilisés pour le nettoyage de la gaine doivent être propres et absolument exempts de graisse.
- Le meilleur moyen de nettoyer la surface de la gaine ondulée à étamer est d'utiliser un outil souple pouvant être adapté à la forme ondulée de la gaine.

Au cours d'une série d'essais de soudure, on a examiné un certain nombre d'outils de nettoyage, notamment des limes et des couteaux, des brosses métalliques, du papier d'émeri, de la laine d'acier et de l'éponge en mailles d'acier. La laine d'acier et le papier d'émeri ont donné des résultats peu satisfaisants. L'étamage réalisé au moyen de tous les autres outils était de bonne qualité et homogène. Cependant, l'utilisation d'une éponge en mailles d'acier a donné les résultats de loin les meilleurs, raison pour laquelle cette solution — préconisée par une proposition d'amélioration — a déjà été adoptée dans l'exploitation.

Après l'utilisation de papier d'émeri, la surface d'aluminium à traiter est parsemée de particules de carborundum, qui, lors de l'étamage, conduisent à la formation de pores et à l'inclusion de particules, qui affaiblissent la

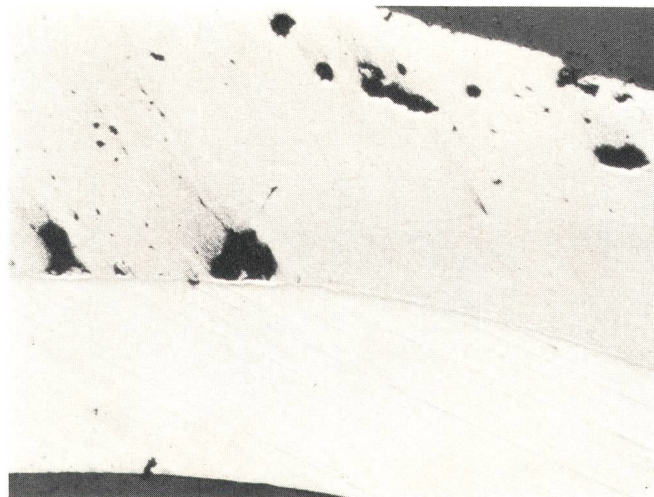


Fig. 2
Probelötung (lineare Vergrößerung etwa 12,5 x) — Essai de soudure (agrandissement linéaire environ 12,5 x)

Das Aluminium wurde mit Schmirgelpapier gereinigt, anschliessend mit Alutinol verzinkt und mit einer Schmierzinnplombe überzogen. Das Bild zeigt unten den Aluminiummantel, oben die Schmierzinnplombe in schwacher Vergrößerung. In der Schmierzinnplombe und am Übergang zum Grundmetall sind zahlreiche Schmutzeinschlüsse zu erkennen, die die Lötverbindung mechanisch schwächen.

L'aluminium a été nettoyé avec du papier d'émeri puis étamé avec de l'Alutinol, avant la confection d'un bourrelet en soudure pour manchons de plomb. A la partie inférieure de la figure, on voit la gaine d'aluminium et à la partie supérieure le bourrelet en soudure pour manchons de plomb faiblement agrandi. La couche de soudure pour manchons de plomb et la zone de transition vers le métal de base renferment de nombreuses impuretés affaiblissant mécaniquement la soudure.

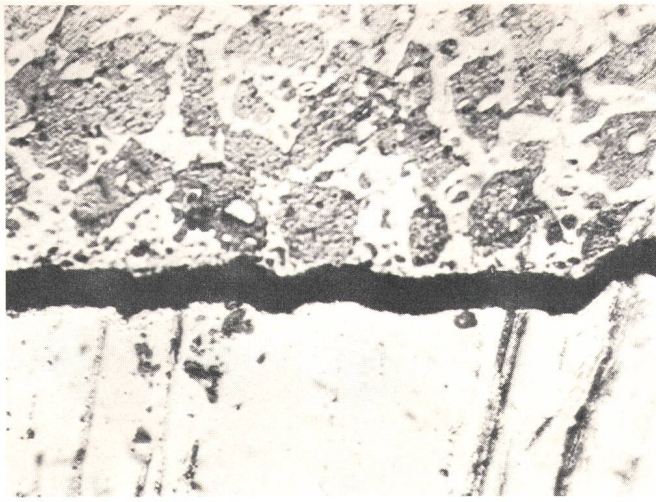


Fig. 3
Schliffprobe aus undichter Lötung (lineare Vergrößerung etwa 400 x)
— Echantillon poli d'une soudure non étanche (agrandissement linéaire environ 400 x)

Das Aluminium wurde vor dem Verzinnen mit Stahlwolle «gereinigt». Verzinnung und Schmierzinnauftrag erfolgten wie bei der Probe in Figur 1. Dank starker Vergrößerung ist die Feinstruktur der aus zwei Komponenten aufgebauten Schmierzinnschicht zu erkennen. Zwischen Grundmetall (unten) und Lötplombe (oben) ist als Trennfläche eine durchgehende, verunreinigte Grenzschicht ausgebildet, die eine intensive metallische Verbindung zwischen Aluminium und Lötplombe verhindert. Aus dieser Schmutzschicht ausgerissene Partikel des Stahlwolleabriebs verursachten beim Polieren zahlreiche nach unten laufende Kratzer.

Avant l'étamage, l'aluminium a été «nettoyé» avec de la laine d'acier. L'étamage et l'apport de soudure pour manchons de plomb ont été réalisés comme pour l'échantillon de la figure 1. Le fort agrandissement montre la structure fine de la couche de soudure pour manchons de plomb formée de deux composants. Le métal de base (en bas) et le bourrelet de soudure (en haut) sont séparés par une couche limite continue d'impuretés, qui empêche une combinaison métallique franche entre l'aluminium et le bourrelet de plomb. Les particules de laine d'acier arrachées à cette couche d'impuretés lors du polissage ont produit de nombreuses rayures dirigées vers le bas.

ruft, der völlige Sauberkeit der bearbeiteten Fläche vor-täuscht. In Wirklichkeit erzeugt man damit lediglich eine dünne Schmutzschicht, die die metallische Verbindung des Lotes mit dem Aluminium weitgehend verhindert (Fig. 3).

Einwandfreie Verzinnungen sind im metallographischen Anschliffbild am Fehlen irgendwelcher Trennschichten zwischen Grundmetall und Lotschicht zu erkennen (Fig. 4).

33 Verzinnungsversuche mit verschiedenen legierten Reibloten

Weitere Versuche dienten der praktischen Erprobung einiger chemisch verschieden zusammengesetzter Reibloten. Insgesamt wurden 13 Lote nach verschiedenen Bibliographieangaben und eigenen Ideen im Labor legiert. Die Arbeitsbereiche dieser Lote und einiger im Handel erhältlichen Reibloten waren durch Aufnahme der Erstarrungskurven zu bestimmen. Die chemische Zusammensetzung, Liquidus- und Solidus-Temperaturen sowie Arbeitsbereiche dieser Lote sind in *Tabelle 1* zusammengestellt.

Verzinnungs- und Lötversuche mit verschiedenen Reiblot/Schmierzinn-Kombinationen ergaben, dass sich die im Handel erhältlichen Reibloten (Alutinol V, Siemenslote L-111 und L-211, Pirellilot BSZ 1) für das Verzinnen von Aluminium am besten eignen. Diese vier Produkte unter-

couche d'étamage et empêchent en partie son alliage au métal de base (fig. 2).

Comme on l'a constaté, la laine d'acier est imprégnée d'huile minérale pour améliorer sa conservation (environ 0,3 % du poids). De ce fait, elle est absolument impropre au nettoyage de l'aluminium. Son effet abrasif est par ailleurs si faible que la structure superficielle d'une gaine d'aluminium (rainures imputables au tirage) est simplement polie — la surface métallique brille — ce qui donne un effet trompeur de propreté parfaite. En réalité, le polissage à la laine d'acier produit une fine couche d'impuretés qui empêche l'alliage de la soudure à l'aluminium (fig. 3).

La coupe métallographique polie d'un étamage parfait se caractérise par l'absence de couches intermédiaires entre le métal de base et l'étain (fig. 4).

33 Essais d'étamage avec diverses soudures pour étamage par friction

Divers essais ont servi à déterminer en pratique les caractéristiques d'un certain nombre d'échantillons de soudure pour étamage par friction de composition chimique différente. On a tout d'abord allié en laboratoire 13 soudures selon diverses indications bibliographiques et d'après des idées personnelles. Il s'agissait de déterminer les plages de travail de ces soudures et d'un certain nombre de soudures pour étamage par friction du commerce par l'enregistrement de courbes de solidification. La composition chimique ainsi que les températures de liquéfaction et de solidification, de même que les plages de travail de ces soudures ressortent du *tableau 1*.



Fig. 4
Probelötung (lineare Vergrößerung etwa 400 x) — Essai de soudure (agrandissement linéaire 400 x)

Bei dieser Probe wurde das Aluminium mit einer Drahtbürste gereinigt, danach mit Alutinol verzinkt und mit niedrigschmelzendem Spezialschmierzinn überdeckt. Wie in Figur 3 ist hier die Feinstruktur der Schmierzinnschicht zu erkennen. Am Übergang Aluminium—Lötplombe sind keinerlei Trennschichten oder Lunker zu beobachten. Kratzer treten hier nur vereinzelt auf.

Pour cet échantillon, l'aluminium a été nettoyé avec une brosse métallique, étamé avec de l'Alutinol, puis recouvert de soudure pour manchons de plomb à point de fusion bas. Comme dans la figure 3, on reconnaît la structure fine de la couche de soudure pour manchons de plomb. A la transition aluminium—bourrelet de plomb, on n'aperçoit ni couches de séparation, ni bulles. Seules quelques rayures isolées sont visibles.

Tabelle I. Liquidus- und Solidustemperaturen sowie Arbeitsbereich der praktisch erprobten Aluminium-Reibloten und einiger gebräuchlicher Normalloten

Tableau I. Températures de liquéfaction et de solidification, ainsi que plages de travail des soudures pour étamage de l'aluminium par friction pratiquement testées et de certaines soudures normales usuelles

Bezeichnung Désignation	Chemische Zusammensetzung Composition chimique	Solidustemperatur t_s in °C Température de solidification t_s en °C	Liquidustemperatur t_l in °C Température de liquéfaction t_l en °C	Arbeitsbereich Plage de travail
<i>Alutinol V</i>	SnZn40	200	310	230–290
Pirelli BSZ/1	SnZn50	200	345	230–300
Siemens L-111	SnCd20Zn50	173	335	220–320
Siemens L-211	SnCd30Zn30	160	297	180–260
Italienisches Patent 349575				
Brevet italien 349575	SnZn82(Al,Cu,Ag,Bi)	367	397	370–395
Alutinol + Zn	SnZn70	196	362	280–350
Alutinol + Al	100 + 2	198	300	210–290
Alutinol + Bi	SnZn20Bi50	133	327	
Alutinol + Bi + Cd	SnZn21Bi26Cd21,5	129	284	
Alutinol + Schmierzinn				
Alutinol + soudure pour manchons de plomb	1 + 1	138	320	150–160
Alutinol + Schmierzinn				
Alutinol + soudure pour manchons de plomb	1 + 2	133	319	140–150
Alutinol + Schmierzinn				
Alutinol + soudure pour manchons de plomb	1 + 4	132	284	
Alutinol + Schmierzinn				
Alutinol + soudure pour manchons de plomb	2 + 1	133	317	
	CdZn60	261	330	290–330
	CdZn57A13	265	360	310–340
	SnZn57A13	261	333	270–320
	CdZn25	266	280	
DIN 1707				
<i>Schmierzinn MPG</i>				
spezieller Schmierzinn, niederschmelzend				
<i>Soudure pour manchons de plomb MPG</i>	SnPb72	183	255	210–240
Soudure spéciale à bas point de fusion	SnPb60Cd15Bi8	130	190	150–180
Lötdraht		(eutektisch)		
Soudure filiforme	SnPb40	(eutectique)		184
Stangenzinn		(eutektisch)		
Soudure à l'étain en barre	SnPb40	(eutectique)		184

scheiden sich bezüglich Zusammensetzung und Arbeitsbereich nur geringfügig. Dementsprechend lassen sie sich alle etwa gleich gut auf Aluminium verarbeiten.

Aus verschiedenen Gründen trifft dies für die meisten versuchsweise im Labor hergestellten Lote dagegen nicht zu. Bei Erwärmung scheiden sie sich zum Beispiel rasch in eine dünnflüssig abtropfende und eine feste, bröcklige Phase, weshalb gleichmäßiges Verzinnen kaum verwirklicht ist. Die Arbeitsbereiche verschiedener Versuchslote liegen zudem zu hoch (Lot nach italienischem Patent, Cadmiumlote) oder zu tief (Mischlote mit Alutinol).

Damit Reiblot und Schmierzinn sich miteinander metallisch verbinden können, müssen ihre Arbeitsbereiche aufeinander abgestimmt sein. In *Figur 5* werden drei denkbare Fälle veranschaulicht:

- *Beispiel a)* stellt den Idealfall dar. Die Arbeitsbereiche beider Lote überlappen gerade so weit, dass die bestehende Reiblotschicht bei erreichter oberer Arbeitstemperatur des Schmierzinns leicht anschmilzt, womit die metallische Verbindung der Lote gewährleistet wird.
- In *Beispiel b)* liegen die Arbeitsbereiche der Lote zu weit auseinander. Das Schmierzinn wird beim Soliduspunkt des Reiblotes bereits so dünnflüssig, dass es abtropft und der Aufbau einer Lötplombe unmöglich wird.
- In *Beispiel c)* überschneiden sich die Arbeitsbereiche von Reiblot und Schmierzinn zu stark. Beim Auftragen der Schmierzinplombe entsteht dadurch die Gefahr

Des essais d'étamage et de soudure avec diverses combinaisons de soudure pour étamage par friction et de soudure pour manchons de plomb ont montré que les produits suivants, en vente dans le commerce (Alutinol V, soudure Siemens L-111 et L-211, soudure Pirelli BSZ 1) convenaient le mieux à l'étamage de l'aluminium. Pour ce qui est de leur composition et de leur plage de travail, il existe peu de différences entre ces quatre produits. Par conséquent, ils se prêtent tous aussi bien l'un que l'autre au traitement de l'aluminium.

En revanche, cette même remarque ne s'applique pas, pour diverses raisons, à la plupart des soudures alliées en laboratoire. A l'échauffement, on observe en partie deux phases: l'une caractérisée par un passage rapide à l'état liquide avec formation de gouttes, et l'autre où l'alliage reste plus consistant, avec apparition de grumeaux, qui rendent l'étamage pratiquement impossible. Les températures de travail des divers alliages d'essai étaient par ailleurs trop élevées (soudures selon le brevet italien, soudures au cadmium), ou trop basses (soudures mixtes avec Alutinol).

Afin que la soudure pour étamage par friction et la soudure pour manchons de plomb puissent se combiner métalliquement, il est nécessaire que leur plage de travail soit harmonisée. La *figure 5* montre trois cas qui pourraient se produire:

- *L'exemple a)* représente le cas idéal. Les plages de travail des deux soudures se chevauchent suffisamment pour que la couche de soudure pour étamage

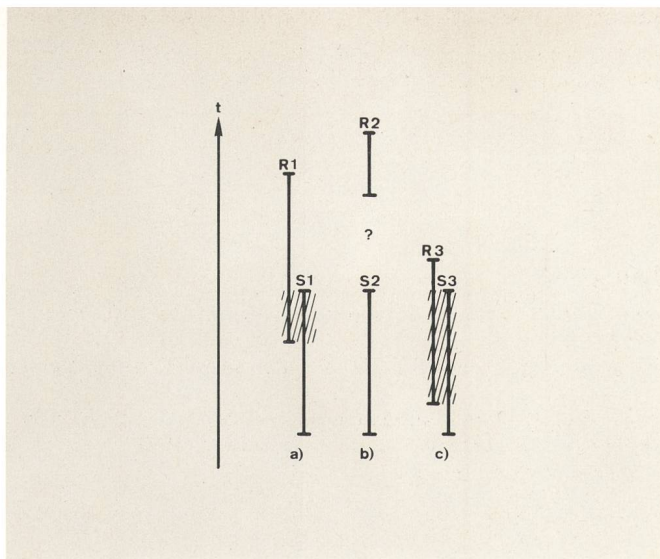


Fig. 5
Lage der Arbeitsbereiche dreier Reiblot/Schmierzinn-Paare — Position des plages de travail de trois paires de soudures à l'étain et par friction

- a) Idealfall: Überlappung der Arbeitsbereiche von Reiblot und Schmierzinn ist eng begrenzt
 Cas idéal: Le chevauchement des plages de travail de la soudure par friction et de la soudure à l'étain est compris dans des limites étroites
- b) Ungünstig: Arbeitsbereiche überlappen überhaupt nicht
 Défavorable: Les plages de travail ne se chevauchent pas du tout
- c) Ungünstig: Arbeitsbereiche überlappen zu weitgehend
 Défavorable: Les plages de travail se chevauchent par trop
- t = Arbeitstemperatur der Lote — Température de travail des soudures
 R = Reiblot — Soudure par friction
 S = Schmierzinn — Soudure à l'étain

zu weit gehenden Wegschmelzens der Reiblotschicht, was zu vollständigem Entblößen und erneuter Oxidation der Aluminiumoberfläche führen kann.

Die Wahl der Lotlegierungen wird somit durch drei Faktoren eingeschränkt:

- Die chemische Zusammensetzung des Reiblotes muss so gewählt werden, dass eine metallische Verbindung zwischen Grundmetall und Verzinnungsmetall möglich ist.
- Die zum Verzinnen und Löten erforderlichen Temperaturen müssen in einem vernünftigen Bereich liegen, damit das Kabelbündel nicht beschädigt werden kann.
- Die Arbeitsbereiche von Reiblot und Schmierzinn sind in der eben dargelegten Weise aufeinander abzustimmen.

4 Schlussfolgerungen

Wie die Untersuchungen ergaben, lassen sich die grundsätzlich beim Verzinnen von Aluminium bekannten Schwierigkeiten nicht einfach durch Änderung der Methode oder der gebräuchlichen Verzinnungs- und Lotlegierungen beseitigen.

Anhand der Ergebnisse metallographischer Untersuchungen an einer Anzahl Probelötungen konnten dagegen einige mögliche Fehlerquellen analysiert und geeignete Gegenmassnahmen ausgearbeitet werden.

Es zeigte sich, dass besonders der Fettfreiheit und der Sauberkeit der zu verzinnenden Aluminiumoberflächen, den spezifischen Eigenschaften der zur Anwendung ge-

par friction existante fonde légèrement au moment où la soudure pour manchons de plomb atteint la température de travail supérieure, ce qui assure l'alliage des soudures.

- Dans l'exemple b), les gammes de températures des soudures sont par trop espacées. La soudure pour manchons de plomb devient déjà liquide au point de solidification de la soudure pour étamage par friction, de manière qu'elle s'égoutte et empêche la confection d'un bourrelet de plomb.
- Dans l'exemple c), les plages de travail de la soudure pour étamage par friction et de la soudure pour manchons de plomb se chevauchent trop fortement. Lorsqu'on confectionne le bourrelet de plomb, on court le risque de faire fondre trop largement la couche de soudure pour étamage par friction, ce qui pourrait dénuder entièrement la surface d'aluminium qui risque à nouveau de s'oxyder.

Trois facteurs limitent de ce fait le choix de l'alliage de soudure:

- La composition chimique de la soudure pour étamage par friction doit être choisie de manière qu'une combinaison métallique entre le métal de base et le métal d'étamage soit possible.
- Les températures nécessaires à l'étamage et à la soudure doivent se situer à un niveau raisonnable, pour éviter tout endommagement du faisceau de conducteurs des câbles.
- Les plages de températures de la soudure pour étamage par friction et de la soudure pour manchons de plomb doivent être harmonisées comme cela a été expliqué précédemment.

4 Conclusions

Les essais ont montré que les difficultés fondamentales connues, qui apparaissent lors de l'étamage de l'aluminium, ne peuvent être simplement supprimées par une modification de la méthode ou des alliages d'étamage et de soudure usuels.

Au vu d'examen métallographiques d'un certain nombre d'échantillons de soudure, on a, en revanche, pu analyser certaines sources possibles de défauts et élaborer des contre-mesures appropriées.

Durant l'étamage et la soudure, il s'est révélé que les facteurs suivants revêtaient une importance particulière: absence de graisse et propreté parfaite des surfaces d'aluminium à étamer, caractéristiques spécifiques des outils de nettoyage utilisés, dosage judicieux de l'apport de chaleur pendant les opérations.

Divers essais entrepris avec des soudures pour étamage par friction alliées en laboratoire n'ont ni amélioré ni facilité la méthode d'étamage. Les soudures pour étamage par friction vendues dans le commerce ne diffèrent que très peu à l'égard de leur composition chimique, de leur propriété physique et de leurs caractéristiques de traitement. Leur emploi a assuré les meilleurs résultats lors des essais. Il est apparu que les soudures pour étamage par friction selon DIN 1707 étaient les alliages convenant le mieux à l'étamage de l'aluminium.

langenden Reinigungswerkzeuge und der richtigen Steuerung der Wärmezufuhr während des Verzinnens und Lötens grosse Bedeutung zukommen.

Versuche mit verschiedenen, im Labor legierten Reibloten brachten keine Verbesserung oder Erleichterung der Verzinnungsmethode. Die im Handel erhältlichen Reibloten unterscheiden sich bezüglich chemischer Zusammensetzung, physikalischer Eigenschaften und Verarbeitbarkeit kaum. Unter ihrer Verwendung wurden die besten Versuchsergebnisse erzielt. Reibloten nach DIN 1707 sind somit die bestgeeigneten Mittel für das Verzinnen von Aluminium. Eine qualitative Verbesserung der Lötungen auf Aluminium ist daher nur unter Berücksichtigung der oben erwähnten, besonders kritischen Punkte möglich.

Seule une observation des points particulièrement critiques, évoqués ci-dessus, permet dès lors d'améliorer qualitativement les soudures sur l'aluminium.

Bibliographie

- Altenpohl D.* Aluminium von Innen betrachtet. Düsseldorf, 1970.
Holleman A. F. Lehrbuch der anorganischen Chemie. Berlin, 1971.
Krauskopf W. Metall- und Legierungsregister. München, 1950.
Lewis W. R. Weichlöt-Handbuch. Düsseldorf, 1963.
Stäger H. Werkstoffkunde. Basel, 1947.

Die nächste Nummer bringt unter anderem

Vous pourrez lire dans le prochain numéro

7/83

Haller H. P. Architektur des IFS
Moser A.

K. Brand Statistische Untersuchungen an einem modernen Kabelverteilnetz für Fernsehen und Hörfunk

Debrunner W. E. Der Vertrauensbereich von Ausbreitungsstatistiken
