Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 35 (1944)

Heft: 2

Artikel: Das Alutherm-Schweissverfahren zur Verbindung von Leitern aus Aluminium und Aluminium-Legierungen

Autor: Schiltknecht, Adolf

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-1061542

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: 08.08.2025

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

Das Alutherm-Schweissverfahren zur Verbindung von Leitern aus Aluminium und Aluminium-Legierungen

Von *Adolf Schiltknecht*, Neuhausen
(Mitteilung des Forschungslaboratoriums der AIAG)

621.791 : 669.71

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 Spannapparat zusammengestaucht werden. Die Eigenschaften der Schweißstelle, weitere Anwendungsmöglichkeiten und einige Literaturangaben über die Verbindungstechnik von Leichtmetall-Leitern sind erwähnt.

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 fondues 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 leger sont mentionnés à la fin de l'article.

Das Kontaktproblem. Bei der Verwendung von Leichtmetall als Werkstoff für Elektrizitätsleiter soll die konstruktive Ausbildung und die Vorbereitung der Verbindungsstellen sorgfältig auf die Eigenschaften des Metalls Rücksicht nehmen, damit auf die Dauer ein einwandfreier Kontakt erreicht wird, weil es sich an der Luft sofort mit einer dünnen, festhaftenden Oxydschicht überzieht, die dem Strom einen gewissen Widerstand entgegensetzt.

Schraubenverbindungen von massiven Leitern aus Aluminium sollen einen Kontaktdruck von 1 kg/A aufweisen, der durch Federscheiben nach VSM 12745E und 12746 E aufrecht erhalten wird und den spezifischen Flächendruck in zulässigen Grenzen hält.

Die Erfüllung dieser Vorschriften ist bei Kabeln und Seilen wesentlich schwerer, weil der Strom auch von den innersten Lagen zuverlässig abgenommen und in das nächste Leiterstück übergeführt werden muss. Man erreicht dies beim Kabel in verhältnismässig einfacher Weise durch Verlöten in Hülsen aus Kupfer oder Aluminium. Auch lötfreie Hülsen sind entwickelt worden, in welche die Aluminiumdrähte eingequetscht werden.

Für Seile sind verschiedenartige Verbinder und Endstücke gebräuchlich, die entweder die einzelnen Drahtlagen getrennt fassen oder das Seil so stark deformieren, dass eine gute Querleitfähigkeit erreicht wird, z. B. beim Kerb- oder beim Ziehverbinder. Die einfachste und sicherste elektrische Verbindung wird aber in allen Fällen wie auch bei Massivleitern durch Schweissung erreicht, weil dann die einzelnen Leiterstücke ohne jegliche Kontaktfläche ineinander übergehen.

Bisherige Schweissverfahren

Von den verschiedenen Schweissverfahren sind als wichtigste zu nennen:

Die elektrische Stumpf- und Abbrennschweissung mit den Abarten des Kondensator- und des Litzenschweissverfahrens, ferner eine Methode, bei der das verdrillte Leitungsende durch hoch erhitzte Halbschalen seitlich zusammengequetscht wird; schliesslich kann man auch die verdrillten Enden mit einem Kohlengriffel zu einer Perle verschweissen, was besonders im Apparatebau für feine Drähte angezeigt ist. Grössere Querschnitte lassen sich mit Hilfe elektrischer Lichtbogenschweissung mit nicht hygroskopischer Umhüllung der Elektrode ausführen, doch verlangt diese Arbeit ziemlich viel Geschick. Für Montagearbeiten wird man ein Verfahren vorziehen, das von jeglicher Stromquelle unabhängig ist. In erster Linie kommt die Acetylenschweissung als offene Formschweissung in Betracht, wobei die gründliche Reinigung durch Waschen wegfällt, wenn ein sicher nicht hygroskopisches Flussmittel verwendet wurde. Der Schmelzvorgang lässt sich beschleunigen, wenn man die ganze Schweißstelle mit einer zweiteiligen Kokille umgibt und zur geschlossenen Formschweissung oder zum Gießschweissverfahren übergeht. Beide Verfahren eignen sich für grössere Querschnitte und sind ortsbeweglich; man hat sogar Acetylenschweissapparate mit Leichtmetallflaschen entwickelt, die auf dem Rücken tragbar sind und die Ausführung der Schweissung auf dem Mast gestatten, jedoch ist das Anbringen und die Abdichtung der Form etwas umständlich und die schnelle und gleichmässige Erwärmung bei heftigem Wind schwer zu erreichen. Zudem ist die Speicherfähigkeit der tragbaren Gasflaschen gering. Der Verwendung eines Benzol-Sauerstoffbrenners auf dem Mast steht die schwierige Inbetriebsetzung und die starke Abkühlung des Benzolreservoirs im Handgriff entgegen, die das Arbeiten beschwerlich machen.

Das Alutherm-Schweissverfahren

Es bestand somit die Aufgabe, ein Schweissverfahren zu schaffen, das unabhängig von jeder Strom- und Gasquelle gestattet, auch kräftige Querschnitte ohne vorherige Reinigung der einzelnen Seildrähte oder Anwendung eines Flussmittels rasch und einwandfrei zu verschweissen. Jede unerwünschte Erwärmung der Nebenzonen und Nacharbeit an der Schweißstelle muss vermieden werden. Die Arbeit darf keine besondern Schweisskenntnisse verlangen und soll von einer einzigen Person in jeder beliebigen Lage an Ort und Stelle ausführbar sein, ohne dass dadurch die gut leitende, zuverlässige Verbindung Not leidet.

Nach längeren Untersuchungen ist es dem Verfasser gelungen, eine ausserordentlich einfache Lösung zu finden, die allen obigen Forderungen entspricht (Fig. 1). Sie besteht darin, dass die zu verschweissenden Leiterenden durch eine übergeschobene Patrone aus einer stark exotherm reagierenden Masse geschmolzen und gleichzeitig in axia-

ler Richtung zusammengeschoben werden, wodurch an der Stoßstelle ein Gussblock entsteht, der dem Durchmesser der Bohrung der in der Patrone ein-

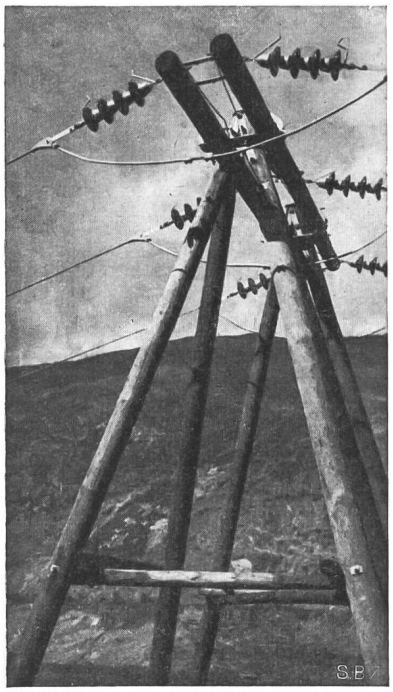


Fig. 1.

Alutherm-Schweissung in den Seilschlaufen

65-kV-Freileitung Mörel-Turtmann (Wallis) Reinaluminium-Seil von 300 mm²

gelegten Kokille entspricht, die nur wenig weiter als die zu verschweissenden Leiterenden ist. Das Prinzip ist in Fig. 2 dargestellt.

Die Schweisspatrone besteht aus einer zweiteiligen Kokille aus Eisenblech, die auf einer Seite mit einem Falz, auf der andern mit einer U-för-

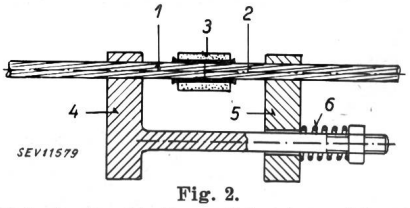


Fig. 2.

Prinzip des Alutherm-Schweissverfahrens

1, 2 Leitungsenden; *3* Patrone, *4, 5* Spannbacken, *6* Spannfeder

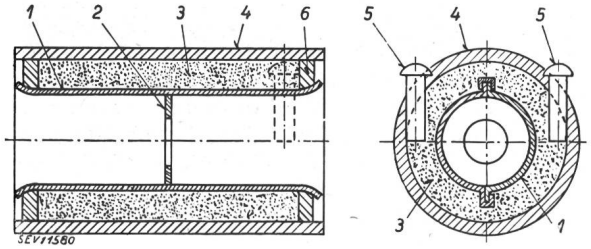
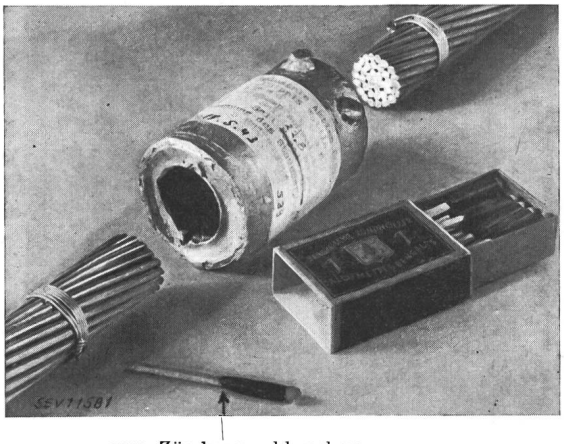


Fig. 3.

Aufbau der Alutherm-Schweisspatrone

1 Kokille
2 Zentrierungsring
3 Alutherm
4 Kartonhülle
5 Verschlusszapfen zur Zündung, durch abgebrochenes Sturmholz mit Kopf nach aussen ersetzt
6 Abschlussdeckel aus Karton

migen Klammer zusammengehalten wird. Es fällt ihr die Aufgabe zu, die Reaktionsprodukte von der Schweißstelle fernzuhalten und dieser die gewünschte Form zu geben. Gleichzeitig dient sie den zu verschweissenden Leitungsenden als Führung während des Schweissvorganges, so dass sich die Seile nicht öffnen und kein Versetzen eintreten kann. Eine besondere Vorbehandlung verhindert das Anlegieren während der Schweissung, wodurch die Kokille immer ohne jegliche Schwierigkeit abgenommen werden kann und auch keine spätere Korrosion der Schweißstelle durch Eisenaufnahme des Schmelzbades zu befürchten ist. In der Mitte des Rohres ist ein Anschlagring aus der zu verschweissenden Legierung eingepresst, so dass die Patrone automatisch immer genau über die Mitte der Stoßstelle zu liegen kommt (Fig. 3). Die Erwärmungsmasse ist mit einer wasserdichten Umhüllung umgeben. An einem Ende sind zwei Verschlusszapfen eingelassen, deren einer zur Zündung durch ein Sturmstreichholz (Bengalholz) ersetzt wird, damit die Patronen absolut stoss- und schlagsicher sind und für den Transport und die Lagerung keinerlei Vorsichtsmassnahmen getroffen werden müssen (Fig. 4).



zur Zündung abbrechen

Fig. 4.

Ansicht einer 300-mm²-Schweisspatrone mit Seil und Sturmholz

Der Spannapparat (Fig. 2) besteht aus den Klemmbacken *5*, die durch Halbschalen dem Durchmesser der Leiter *1* und *2* angepasst sind und nach der Schweissung als Kühlbacken wirken. Eine Feder *6*, die vor der Schweissung gespannt wird, automatisiert den Vorgang. Zwecks Raum- und Gewichtsersparnis wurde bei der praktischen Ausführung für die Seilschweissung die Anordnung der einzelnen Teile des Spannapparates etwas abgeändert. Zur Aufhängung am Mast ist ein Bügel vorgesehen, an dem ein aufziehbarer Schutzdeckel befestigt ist, der während des Abbrennvorganges herabgelassen wird. Fig. 5 gibt die Ansicht des Apparates mit aufgezogenem Deckel und eingelegter Schweisspatrone wieder. Für den Transport kann der Aufhängebügel demontiert und an Stelle des Seils in die Klemmbacken eingespannt werden. Das Gewicht des Spannapparates für Schweissungen von 95 bis 400 mm² Seilquerschnitt beträgt nur 4,5 kg. Die Stauchkraft der Feder ist so gross, dass der Apparat auch an den Seilenden aufgehängt werden darf, ohne dass dadurch die Schweissung gefährdet wird.

Die Schweissung. Nachdem von jedem Seilende einige Millimeter abgesägt worden sind, damit eine

ebene, frische Schnittfläche entsteht, werden die leicht abgebundenen oder durch Briden zusammengehaltenen Seilenden (Fig. 7) in den Klemmbacken

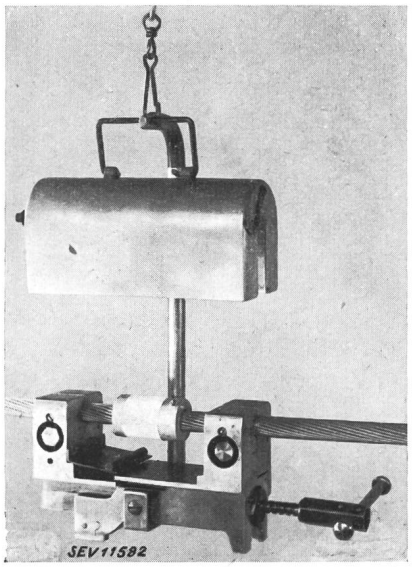


Fig. 5.
Spannapparat, bereit zur Schweissung

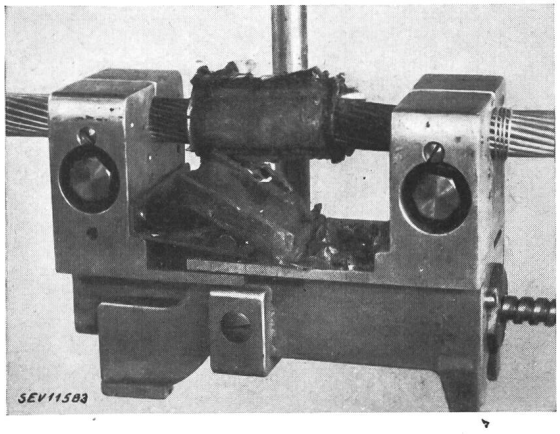


Fig. 6.
Schweissen beendigt, Schlacke teilweise weggeschlagen

Fig. 7.
Fertige Schweissung auf dem Mast
Spannapparat abgenommen

bis zum Anschlag in die Patrone vorgeschoben. Nun zieht man die Klemmbacken an, spannt die Feder und brennt die Patrone ab. Die Reaktion dauert 25 Sekunden. Eine halbe Minute nach der Zündung setzt die Stauchung automatisch ein. Sie ist von der Grössenordnung des Seildurchmessers. Sodann wird die Kokille abgenommen (Fig. 6 und 7), der von

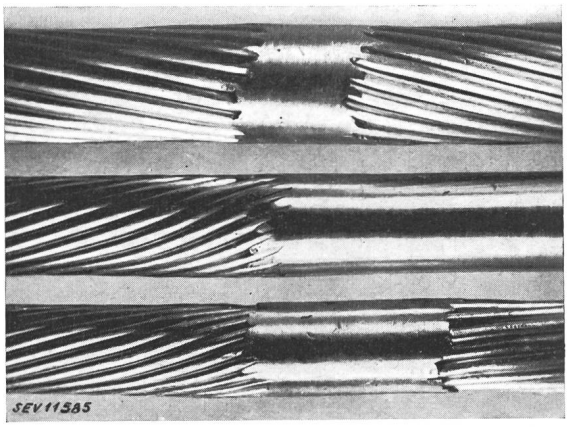


Fig. 8.
Beispiele von Aluthermschweissungen
300 mm² Reinaluminium-Seil mit Seil verschweisst
240 mm² Aldrey-Seil mit Anticorodal-Bolzen verschweisst
185 mm² Reinaluminium-Seile verschiedenen Aufbaues, verschweisst

ihren Fälzen herrührende kleine Grat abgefeilt und die Schweißstelle mit der Drahtbürste von der anhaftenden Kokillenfarbe gereinigt. An der Stoßstelle ist jetzt ein homogenes Gußstück entstanden (Fig. 8).

Die Gesamtdauer einer Schweissung auf dem Mast hängt von den örtlichen Verhältnissen ab. Im Durchschnitt kann man mit einem Gesamtzeitaufwand von nur 10...30 Minuten pro Aluthermschweissung auf dem Mast inklusive allen Vor- und Nacharbeiten rechnen. Handelt es sich z. B. um die Herstellung von 6 Schweissungen auf einem Mast, so braucht ein Monteur mit 1...2 Hilfskräften etwa 2...3 Arbeitsstunden, also weniger als für das Aufsetzen der einfachsten Verbindungsklemmen. Die Schweissung selbst kann vom Monteur allein ausgeführt werden, wobei die wie bei allen Arbeiten auf dem Mast nötigen Gehilfen nur Handreichungen zu besorgen haben. Der Schweissvorgang verläuft automatisch, weshalb die Arbeit auch durch ungelernte Arbeiter zuverlässig ausgeführt werden kann. Die Arbeit kann unabhängig von der Lage des Leiters bei jeder Witterung, auch bei Regen, Wind und Eis vorgenommen werden. Bei stark vereistem Seil brennt man zuerst eine schwächer dosierte Patrone ab, weil der Wärmebedarf sonst fast 40 % grösser wäre.

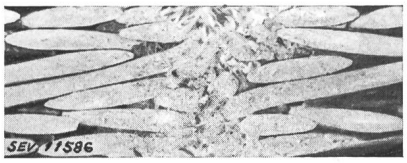


Fig. 9.
Längsschliff durch eine Alutherm-Seilschweissung,
300 mm² Reinaluminium-Seil, auf Korngrösse geätzt

Die Eigenschaften der Schweißstelle. Schon aus Fig. 9 ist ersichtlich, dass sich die Verbindung durch vollkommene Homogenität auszeichnet. Die metallographische Prüfung (Fig. 10 und 11) bestätigt die vollständige Verschmelzung und Vermischung der Enden. Die Aetzung auf Korngrösse und die

Härteprüfung (Fig. 12 und 13) zeigen, dass die Erweichungszone sehr schmal ist. Wie aus Temperaturmessungen (Fig. 14) hervorgeht, bleibt sie hinter den Klemmbacken unter 100° C.

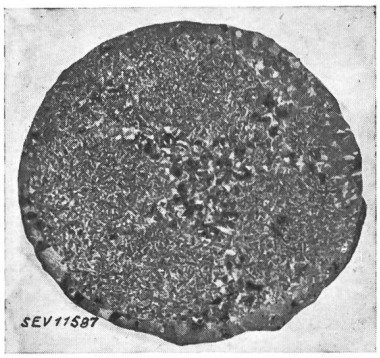


Fig. 10.

Querschliff durch eine Alutherm-Schweißstelle

300 mm² Reinaluminiumseil, auf Korngrösse geätzt

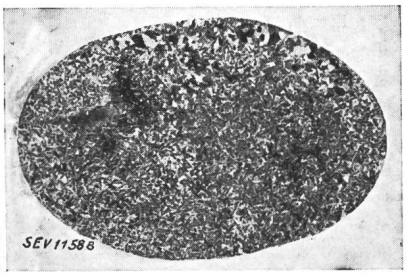
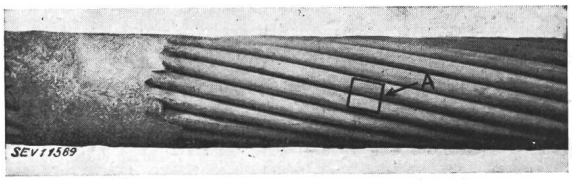


Fig. 11.

Schrägschliff an einem 200 mm² Reinaluminiumseil,

nach dem Alutherm-Verfahren geschweisst. Aetzung auf Korngrösse



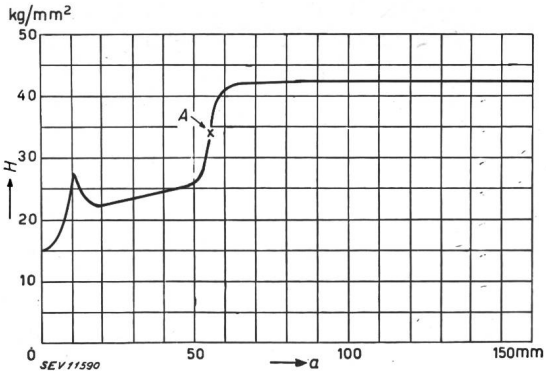


Fig. 12.

Alutherm-Seilschweissung von 300 mm² Reinaluminium-Seil

Härteverlauf in der Erweichungszone

H Härte (Vickers oder Brinell). *a* Abstand von der Mitte der Schweißstelle

Mechanische Eigenschaften. Die Zerreissfestigkeit von geschweissten Reinaluminiumseilen beträgt 5...13 kg/mm². Wie aus dem Zerreissdiagramm (Fig. 15) und dem Bruchbild (Fig. 16) ersichtlich, tritt der Bruch stufenweise ein, indem zuerst die äusserste Drahtlage mit geringer Dehnung am Rand der Schweißstelle einreisst, weil dort infolge der hohen Temperatur sich Stengelkristalle bilden. Die inneren Drahtlagen weisen gute Dehnung auf und der Bruch geht dort ausserhalb der Schweißstelle durch die entfestigte Zone. Trotz der etwas spröden Aussenschicht hält die Schweißstelle ein mehrmaliges Hin- und Herbiegen ohne Schaden aus. Prinzipiell muss eine Aluthermschweissung aber

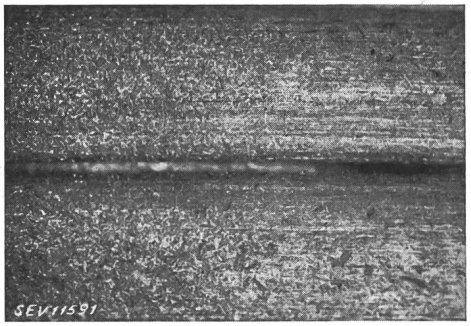


Fig. 13.

Aetzung auf Korngrösse

Uebergangsstelle *A* in Fig. 12

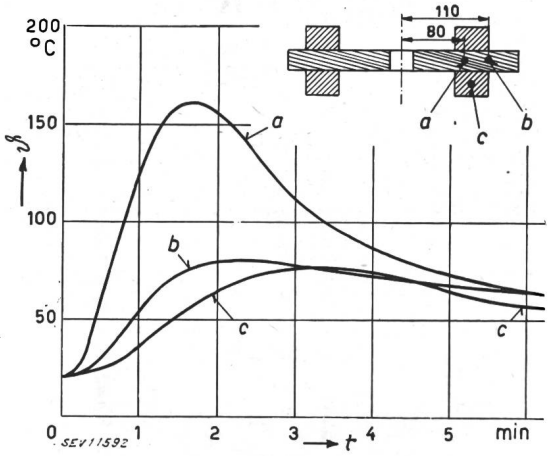


Fig. 14

Temperaturverlauf der Alutherm-Seilschweissung 300 mm² Reinaluminium-Seil gegen Seil

ϑ Temperatur. *t* Zeit.

a Temperaturverlauf 80 mm neben der Mitte der Schweißstelle
b Temperaturverlauf 110 mm neben der Mitte der Schweißstelle
c Temperaturverlauf in den Klemmbacken

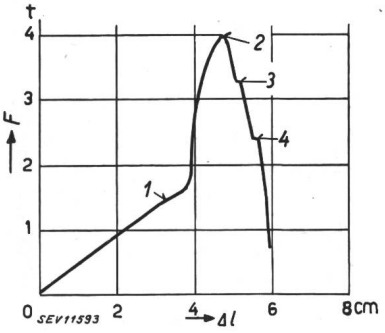


Fig. 15.

Zerreissversuch einer 300 mm² Rein-Al-Seilschweissung

Totale Zugkraft *F* in Funktion der Dehnung *Δ l*

1 Festziehen der Muffen, *2* äusserste Lage bricht, *3* zweite Lage bricht, *4* dritte Lage und Kerndraht brechen

immer an zugentlastete Stellen verlegt werden. Liegt eine Verbindungsstelle unter Seilzug, dann muss die Schweißstelle durch Anbringen einer mechanischen Verbindung entlastet werden. Biegebeanspruchungen sollen durch eine entsprechende Verstärkung von der Schweißstelle ferngehalten werden (Fig. 17).

Die Korrosionsbeständigkeit. Zur Prüfung wurden Schrägschliffe 14 Tage dem Salzsprühbad ausgesetzt, wobei die Schweißstelle ebenso wenig wie der Leiterwerkstoff angegriffen wurde. Versuche an Aldreyseilen ergaben dasselbe Resultat.

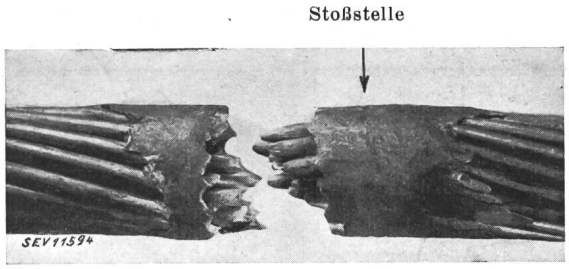


Fig. 16.
Zerreissversuch nach Fig. 15, Bruchbild

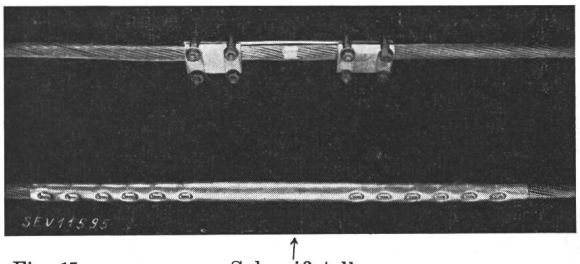


Fig. 17. Schweißstelle
Oben: Halbrohrverstärkung; unten: Verstärkung durch übergeschobenes, verkerbtes Rohr

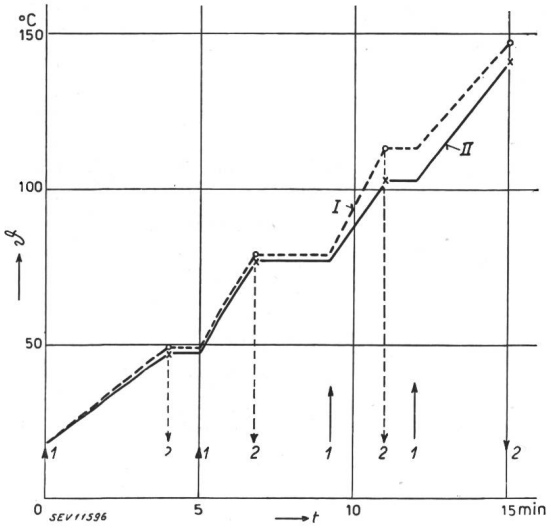


Fig. 18.
Erwärmungsversuch an einer 300-mm²-Seil-Schweissung
I Seil. *II* Schweißstelle, *1* ein. *2* aus
t Zeit. *ϑ* Temperatur. ×, o Messpunkte bei Strom «aus».

Die elektrische Leitfähigkeit. Als wichtigste Eigenschaft wurde die elektrische Leitfähigkeit sorgfältig geprüft. Obwohl die direkte Messung der Leitfähigkeit nach K. Stender, Untersuchungen an Klemmen für Aluminiumkabel [1]) mit zufriedenstellender Genauigkeit mit Gleichstrom ausgeführt werden kann, wurde die indirekte Methode des Erwärmungsversuches gewählt, weil sie das Betriebsverhalten am besten wiedergibt. In allen Fällen bleibt die Schweißstelle wesentlich kälter als das Seil, wobei Temperaturdifferenzen bis über 10° C gemessen wurden. Die Messwerte einer Versuchsreihe finden sich in Fig. 18. Trägt man die Temperaturdifferenz zwischen Seil und Schweißstelle als Ordinate mit der Uebertemperatur des Seils über die Lufttemperatur als Abszisse auf, so lässt sich daraus die Leitfähigkeit der Schweißstelle in bezug auf den bekannten Wert des Seils berechnen. Der so erhaltene Wert von 33,25 m/Ohm mm² stimmt nach VSM-Blatt 10845 E mit dem Leitfähigkeitswert von 30...35 m/Ohm mm² für gegossenes Reinaluminium überein. Die stärkere Erwärmung des Seils ist darauf zurückzuführen, dass der leitende Querschnitt der Seildrähte nur etwa $^3/_4$ des umschriebenen Kreises ausmacht, während die Schweißstelle diesen ganz ausfüllt. Die Temperaturmessungen wurden auf verschiedene Arten, mit Thermocolorfarben, aufgesetzten Quecksilberthermometern, angelegten Thermoelementen und mit einem Stechpyrometer ausgeführt, wobei sich gute Uebereinstimmung ergab und sich die letztgenannte Methode als die zuverlässigste erwies.

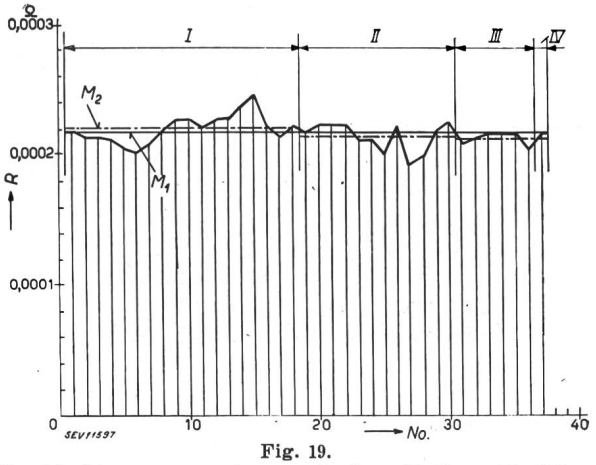


Fig. 19.
Einzeldrahtmessungen einer nach dem Alutherm-Verfahren hergestellten Seilschweissung mit der Thomson-Brücke, 300 mm² Reinaluminium-Seil
I...III 1. ... 3. Lage. *IV* 4. Lage (Kerndraht)
M_1 Durchschnitt und gerechneter Wert. M_2 Mittelwert der betr. Lage. *R* Widerstand der Schweißstelle in Ohm.
No. Draht-Nummer.

Die Qualität der Einschweissung der einzelnen Drähte kann mit dem Erwärmungsversuch nicht nachgeprüft werden, vielmehr wurde zu diesem Zweck eine Schweißstelle herausgeschnitten und die Leitfähigkeit jedes Einzeldrahtes bis und mit Schweißstelle auf der Thomsonbrücke gemessen. Die Resultate einer solchen Messung sind in Fig. 19 festgehalten. Die Messwerte sind genau reproduzierbar und sehr ausgeglichen. Ihr Durchschnitt entspricht innerhalb der Messgenauigkeit dem gerechneten Widerstandswert einer entsprechenden Verbindung. Ein Uebergangswiderstand konnte nicht festgestellt werden. Die maximale Abweichung von 13 % in der äussersten Lage entspricht einer Drahtlänge von 8 mm. Sie liegt in der Grössenordnung der Längenunterschiede in der Schweißzone. Die mittlere Abweichung vom Durchschnittswert ist 3,6 %, das Ergebnis steht somit im Einklang mit dem günstigen Verhalten bei Erwärmung durch Stromdurchgang. Sofern keine Korrosion auftritt,

[1]) Aluminium, Mai 1942, S. 185—187.

ist selbst nach langjährigem Gebrauch keine Veränderung der Verbindung zu befürchten.

Weitere Anwendungsmöglichkeiten. Das Alutherm-Verfahren ist ferner dann wertvoll, wenn es sich darum handelt, lösbare Verbindungen herzustellen. Es können zu diesem Zweck in gleicher Weise an Stelle des zweiten Seiles massive Bolzen oder Kabelschuhe aus einer geeigneten, harten Legierung angeschweisst werden (Fig. 8), wodurch wesentlich bessere Kontaktverhältnisse erzielt werden als mit Klemmverbindungen. Weil die Schweißstelle gegenüber dem Seil kaum eine Verstärkung aufweist (max. 7 % im Durchmesser), so lassen sich massive Enden ohne weiteres mit der Schweissung durch die Armaturen schieben. Es ist ein grosser Vorteil, an Verbindungsstellen massive Leiterstücke (Anschlussbolzen, Kabelschuhe usw.) aus Anticorodal B anschweissen zu können, deren Ende beliebig geformt und, wenn erwünscht, auch verkupfert oder versilbert werden kann. Es genügt, wenn auf der Schweißseite ein genügend langes Stück den gleichen Durchmesser aufweist wie das Seil, um den Spannapparat ohne Schwierigkeit ansetzen zu können. Bei Freiluftanlagen kann es vorkommen, dass Schweißstellen derartiger Anschlussbolzen infolge Windwirkung auf Wechselbiegung beansprucht werden. Es empfiehlt sich dann, über die Schweissung eine Verstärkung anzubringen, durch welche eine Ermüdungsbeanspruchung der eigentlichen Schweißstelle vermieden wird. In gewissen Fällen ist es vorteilhafter, bei solchen Verbindungen die Stromübergangsstelle zwischen Schwermetalle zu verlegen. Man schweisst hierzu über das Kabelende eine einseitig geschlossene, innen verzinnte Kupferhülse nach Fig. 20, die

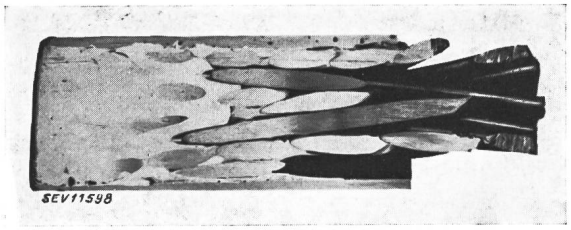


Fig. 20.
Aufgeschweisste Kupferhülse (Schnitt)
300 mm² Reinaluminium-Seil

auch in einem Anschlußstab oder einem Kabelschuh endigen kann und an Stelle der Kokille in die Patrone eingepresst ist. Das verflüssigte Kabelende füllt die Hülse auf und legiert sich mit ihr, so dass ein einwandfreier Stromübergang Aluminium/Kupfer gewährleistet ist. Auf ähnliche Art lassen sich Uebergänge von Aluminium auf Kupferleitungen herstellen. Die Schweissung wird ohne Flussmittel ausgeführt; es besteht also keine Gefahr, dass durch zurückgebliebene Reste des Flussmittels Feuchtigkeit aufgenommen und das Aluminium angegriffen wird. Verbindungsstellen Aluminium-Kupfer müssen bei Verwendung in Freiluft und in stark feuchten Räumen zuverlässig gegen Zutritt von Feuchtigkeit an die Berührungsstelle beider Metalle geschützt werden. Stärkere Massivleiter werden wie Seile mit einer Kokille verschweisst, hingegen ist es möglich, bei Drähten bis höchstens 10 mm Durchmesser ohne Kokille auszukommen. An der Stossstelle entsteht dann wie bei der elektrischen Stumpfschweissung ein Wulst, der mit der Zange abgeknipst wird. Die einzelnen Phasen sind in Fig. 21 dargestellt. Infolge des Wegfalls der Kokille ist der Wärmeübergang viel besser, so dass die Schweissung nur 4 s dauert. Der Spannapparat für diese kleinen Durchmesser wiegt nur 1200 g.

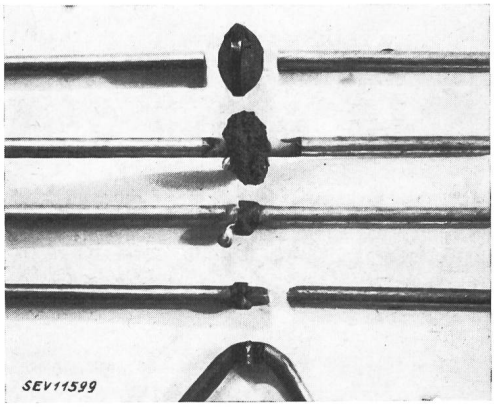


Fig. 21.
Alutherm-Schweissung von Adrey-Drähten von 7 mm ∅
Von oben nach unten: vor der Schweissung; nach dem Abbrennen; Schlacke weggeschlagen; Zerreissversuch; Biegeprobe

Arbeiten mit dem Schweissbrenner. Es ist noch zu erwähnen, dass sich unter Zuhilfenahme der einfachen zweiteiligen Kokille und des Alutherm-Spannapparates mit der Acetylen-Sauerstoffflamme oder einem Benzolsauerstoffbrenner bei schon an Ort und Stelle vorhandener Schweissapparatur ähnliche Schweissungen ausführen lassen. Für grössere Querschnitte wird aber die nötige Brennerleistung so hoch, dass mehrere Gasflaschen zusammengeschaltet werden müssen und trotzdem die Erwärmung noch wesentlich länger dauert als bei der Verwendung von Alutherm-Patronen. Die Spannapparate und Patronen sind den Seiltypen und zugehörigen massiven Rundstangen nach VSM 24010 E entsprechend konstruiert, doch können auch beliebige Querschnitte mit besonders angepasstem Material verschweisst werden.

Literatur über Verbindungstechnik von Leichtmetall-Leitern

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 Aluminium-kupferübergänge 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 Nettogefälle 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.

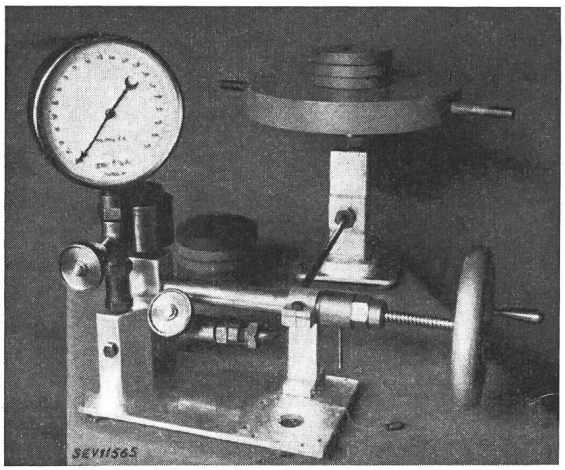


Fig. 1.
Transportabler Manometer-Eichapparat
mit Gewichtsbelastung

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 höheren 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: