Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 34 (1943)
Heft: 23

Artikel: Das Punktschweissen von Aluminium und Aluminiumlegierungen
Autor: Irmann, R.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-1061778

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: 02.10.2025

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

formatorenkern abhängig. Je grösser die Eisensättigung ist, um so grösser wird der Einschaltstromstoss. Bekanntlich erfolgt die Stromregulierung von Schweissmaschinen wegen den grossen Schweissströmen primärseitig, durch Aenderung der Primärwindungszahl. Dadurch ändert sich auch die Sättigung im Eisen, wobei die grösste Sättigung bei der max. Stromstufe auftritt. Die Einschaltströme treten, je nach der Grundsättigung, nur bei den oberen Stromstufen auf.

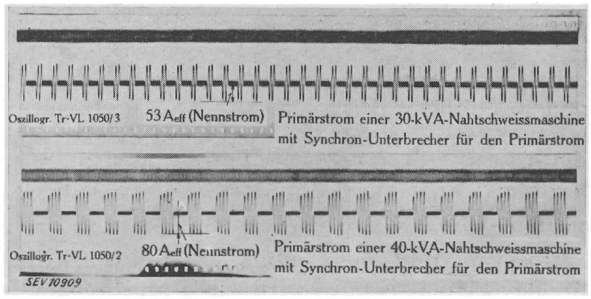

Fig. 25.
Oszillogramme vom Primärstrom von Nahtschweissmaschinen mit Synchronunterbrecher
Die Synchronunterbrecher geben keine Einschaltstromspitzen. Die Schweisszeit ist für jeden Punkt genau gleich.

Die Erkenntnis dieser Mängel veranlasste Brown Boveri, einen neuen Unterbrecher zu entwickeln, der mit einem Synchronmotor angetrieben wird.

Der Synchronmotor gestattet, den Einschaltmoment so einzustellen, dass absolut keine Stromspitzen entstehen und die Schweisszeit regelmässig ist, was durch die Oszillogramme Fig. 25 bewiesen wird.

Fig. 26 zeigt den Aufbau des Brown Boveri Synchron-Unterbrechers.

Der Betrieb hat gezeigt, dass wegen den kleinen Ausschaltfunken der Kontaktverschleiss beim Synchronunterbrecher ein Mehrfaches kleiner ist als bei einem gewöhnlichen Unterbrecher. Das für ein

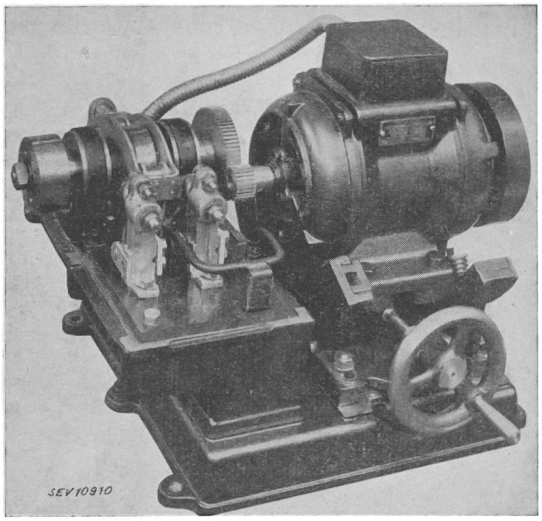

Fig. 26.
Brown Boveri-Synchronunterbrecher
der saubere Schweissnähte, genaue Schweisszeiten und keine Stromspitzen gibt.

richtiges Arbeiten des Schalters nötige Nachstellen der Kontakte bietet auch für einen ungelernten Arbeiter keine Schwierigkeiten. Dadurch ist die Wartung für den Synchronunterbrecher eher geringer als für einen gewöhnlichen Unterbrecher. Hauptbedingung für das einwandfreie Arbeiten des Synchronunterbrechers ist die richtige Einstellung des Ein- und Ausschaltmomentes. Dies muss bei der Ablieferung in der Anlage unbedingt durchgeführt werden.

Das Punktschweissen von Aluminium und Aluminiumlegierungen

Referat, gehalten an der Diskussionsversammlung des SEV vom 5. Mai 1943 in Basel,
von *R. Irmann*, Neuhausen

621.791.76

Die Materialeigenschaften (elektrische Leitfähigkeit und Schmelzintervall) des Aluminiums und seiner Legierungen werden erwähnt. Es werden die Wahl des Schweißstromes und des Elektrodendruckes in Abhängigkeit der Blechdicke angegeben. Die mechanischen Eigenschaften der Schweisspunkte und die Festigkeit der Schweissverbindungen werden ausführlich behandelt.

L'auteur expose les propriétés de l'aluminium et de ses alliages (conductibilité électrique et intervalle de fusion). L'intensité du courant de soudure et la pression des électrodes sont indiquées en fonction de l'épaisseur de la tôle. Les qualités mécaniques des points de soudure et la solidité de ces liaisons sont traitées en détail.

Das Punktschweissen erfordert für Aluminium einen viel höhern Energieaufwand als bei Eisen, da Aluminium eine wesentlich höhere Leitfähigkeit besitzt. Ausserdem liegt der Schmelzpunkt des Aluminiums und seiner Legierungen tiefer als bei Eisen. Die Aluminiumlegierungen weisen ein Schmelzintervall auf und besitzen eine bedeutend geringere Warmfestigkeit als Eisen. Diese Eigenschaften des Aluminiums müssen durch genaue Dosierung der Stromstärke und der Schweisszeit berücksichtigt werden und der Elektroden-Anpressdruck bedarf einer genauen Regulierung. Eine Uebersicht über die elektrische Leitfähigkeit und die Schmelzpunkte bzw. Schmelzintervalle von Aluminium und seinen Legierungen gibt Tabelle I.

Man sieht, dass die Leitfähigkeit selbst bei Peraluman 7 noch wesentlich grösser als die von Eisen ist, welche etwa 10 beträgt.

Zu berücksichtigen ist ferner beim Punktschweissen, dass der Stromdurchgang zwischen Elektrode und Al durch die isolierende Wirkung des auf jeder Al-Oberfläche vorhandenen Oxydfilmes stark beeinflusst werden kann. Die Oberflächenbehandlung zur Beseitigung dieses mehr oder weniger starken Oxydfilmes spielt also beim Al eine ausschlaggebende Rolle.

Physikalische Eigenschaften von Aluminium und seinen Legierungen

Tabelle I

Legierung	Schmelzintervall von °C	Schmelzintervall bis °C	Elektrische Leitfähigkeit bei 20° $\frac{m}{\Omega \cdot mm^2}$
Reinaluminium	658		34 ... 36
Aluman	640 ... 650		22 ... 28
Peraluman 1	620 ... 635		20 ... 26
Peraluman 3	580 ... 640		20 ... 23
Peraluman 5	570 ... 635		15 ... 18
Peraluman 7	540 ... 610		13 ... 16
Anticorodal	590 ... 645		24 [1]) ... 32 [2])
Avional	530 ... 650		19 [1]) ... 30 [2])

[1]) vergütet [2]) weich

Erschwerend kommt beim Schweissen von Al hinzu, dass die wegen ihrer guten Leitfähigkeit verwendeten Cu-Elektroden sich leicht mit dem Al legieren, was bei Fe nicht der Fall ist.

Wir haben also zu berücksichtigen:

1. Die Schweißstromstärke und die Schweisszeit.
2. Den Elektrodendruck.
3. Die Oberflächenbeschaffenheit des Materials.

Fig. 1 gibt eine Uebersicht über die bei verschiedenen Blechstärken von 0,5...3,0 mm in der Praxis [1]) angewandten Stromstärken, Schweisszeiten (in Periodendauern) und den Elektrodendruck in kg. Man sieht, dass diese etwa linear mit der Materialdicke anwachsen. Die Zahlen beziehen sich auf Al-Cu-Mg und sind nicht ohne weiteres auf Reinaluminium und die andern Aluminiumlegierungen übertragbar. Es bedarf ausserdem des Hinweises, dass besonders die Ausladung der Elektrodenarme einen massgebenden Einfluss auf die Leistung der Maschine hat. Die Arbeitsweise muss daher, was Schweißstrom und Schweisszeit betrifft, für eine Maschine gründlich ausprobiert werden.

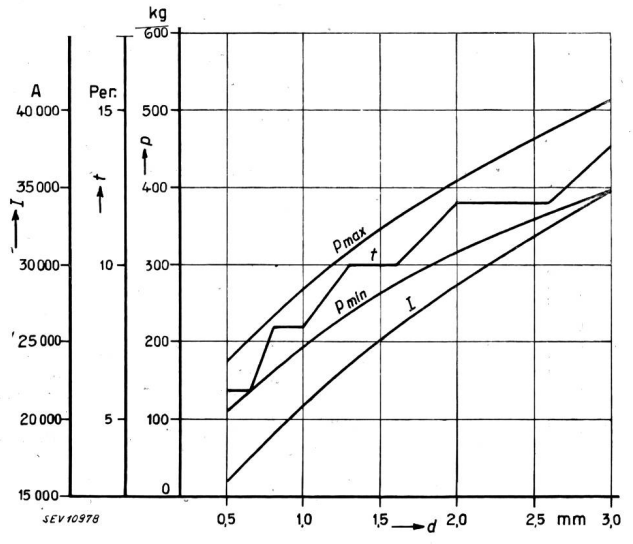

Fig. 1.
Strom *I*, Schweisszeit *t* und Druck *p* beim Punktschweissen in Funktion der Blechdicke *d*

[1]) Nach amerikanischen Angaben (60 Per./s).

Die Elektroden, welche aus hartgezogenem Elektrolytkupfer bestehen und wassergekühlt sind, werden oft bombiert oder konisch, meist jedoch flach verwendet. Die Elektrode muss öfters durch Abschmirgeln gereinigt werden. Darum eignet sich die flache Elektrode am besten. Ein Ankleben der Elektrode am Aluminium vermeidet man durch Bestreichen mit Talg. Bei den üblichen Materialstärken von 2 × 0,5 bis zu 2 × 3 mm nimmt man Elektroden von 5...12 mm Durchmesser. Nur in besonderen Fällen, in denen man einen Eindruck der Elektrode auf der Blechoberfläche möglichst vermeiden will, verwendet man Elektroden von grösserem Durchmesser. Generell ist zu sagen, dass der Elektrodendurchmesser mit zunehmender Blechstärke so vergrössert werden muss, dass die spezifische Stromdichte gleichbleibt.

Ebenso soll der Druck der Elektroden der Materialdicke und der Festigkeit des Aluminiums oder der Aluminiumlegierung angepasst werden. Ist der Druck zu klein, so besteht die Gefahr, dass ein zu hoher Uebergangswiderstand zwischen Elektrode und Blech und damit ein Anschmoren der Elektrode durch Legieren mit dem Aluminium auftritt. Ist der Druck zu gross, so kommt das Aluminium zu stark zum Fliessen, und es entsteht ein unschöner, tiefer Eindruck. Naturgemäss wird auch der Schweissvorgang zwischen den Blechen stark durch den Elektrodendruck beeinflusst. Generell kann man für Bleche bis zu 1,5 mm einen mittleren Druck von ca. 200 kg, für Bleche von 1,5...3,0 mm einen Druck von 300 kg empfehlen. Eine solche Abstufung dürfte betriebsmässig genügen. Zur Erzielung optimaler Gütewerte der Schweissung empfiehlt es sich jedoch, den Druck je nach Material und Blechstärke noch weiter abzustufen.

Sehr wesentlich ist beim Punktschweissen von Aluminium und seinen Legierungen die Behandlung der Blechoberfläche vor dem Schweissen. Will man eine äusserlich saubere Schweissung erzielen, welche auch in ihrer Festigkeit an die Optimalwerte heranreicht, so ist auf alle Fälle die stark isoliernd wirkende Oxydschicht an der Berührungsstelle der Elektroden zu entfernen. Dies geschieht am einfachsten durch Bürsten mit feiner Stahlbürste oder Abschmirgeln. Bei Reinaluminium ist die Oxydschicht weniger stark als bei Peraluman, Anticorodal und Avional, weshalb bei diesen letztgenannten besondere Sorgfalt erforderlich ist. Nichtentfernen der Oxydhaut führt zur Ueberhitzung zwischen Elektrode und Blechoberfläche, so dass Anschmorungen am Blech und Beschädigung der Elektrode durch Legieren mit dem Aluminium verursacht werden. Ein leichtes Fetten der Blechoberfläche mit Talg lässt diese Erscheinungen vermindern, aber auch nicht ganz vermeiden. Wenn die Blechoberfläche vom Oxyd befreit ist, hilft jedoch ein solches Fetten, die Lebensdauer der Elektrode zu verlängern, und man kann 100 und mehr Punkte ausführen, ohne dass die Elektrode durch Abschmirgeln von anhaftendem Aluminium gereinigt

werden muss. Bei Blechen unter 0,5 mm ist es oft erforderlich, die Bleche auf der Innenseite zu bürsten oder zu schmirgeln, da sonst leicht wegen zu hohen Uebergangswiderstandes das Metall zwischen den Blechen in Form von Metalltropfen verspritzt und eine schlechte Verbindung entsteht.

Die richtige Wahl der Schweissbedingungen kann festgestellt werden durch die
1. äussere Beschaffenheit der Schweisspunkte;
2. mechanischen Eigenschaften der Schweissung;
3. Struktur der Schweisspunkte.

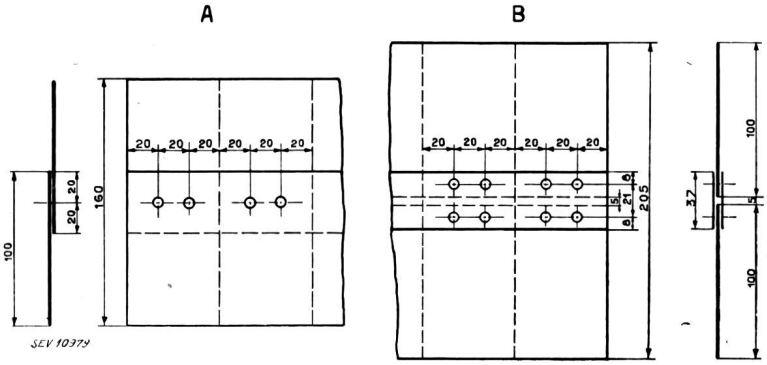

Fig. 2.
Zerreissproben

Die Güte der äusseren Beschaffenheit ist leicht durch Augenschein zu ermitteln. Es dürfen keine Anschmorungen am Schweisspunkt feststellbar sein und der Elektrodeneindruck darf nicht zu tief sein.

Die einfachste Art der Bestimmung der mechanischen Eigenschaften der Punktschweissung besteht im Zerreissen einer nach Fig. 2 ausgeführten Schweissung. Die einfach überlappten Proben nach Methode A werden mit einem Punktabstand von z. B. 20 mm ausgeführt und jeweils Streifen mit einem, zwei oder mehr Punkten herausgeschnitten und zerrissen. Als Festigkeit wird die Bruchlast in kg pro Schweisspunkt bestimmt. Es ist nicht richtig, die Festigkeit auf den Querschnitt des Schweisspunktes zu errechnen, da der Querschnitt sich nicht genau bestimmen lässt und von den Schweissbedingungen stark abhängig ist. In gleicher Weise dient die Schweissmethode nach B, doppelt überlappt,

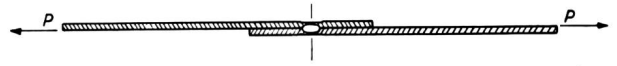

Fig. 3a.

Fig. 3b.
Beanspruchung des Schweisspunktes durch Zug

zur Bestimmung der Festigkeit. Die erreichbare Festigkeit ist etwa doppelt so gross als bei der Methode A.

Der Bruch beim Zerreissen der Punktschweissverbindung kann entweder derart erfolgen, dass das Blech rings um den Schweisspunkt ausreisst, was meist nur bei Blechen unter 1 mm und weichem Material der Fall ist, oder indem ein Abscheren mitten durch den Schweisspunkt zwischen den Blechen erfolgt.

Es bedarf des Hinweises, dass je nach Legierung und Blechstärke die Festigkeit schon dadurch verschieden sein kann, dass nach Fig. 3a die Schweisspunkte nicht immer auf reine Scherung beansprucht sind, da die Bleche sich vor dem Zerreissen verbiegen und durch diese zusätzliche Biegebeanspruchung eine niedrigere Scherfestigkeit resultiert. Biegt man die geschweissten Bleche nach Fig. 3b rechtwinklig um und zerreisst sie mit Einlagen «E», so ergibt sich eine wesentlich geringere Festigkeit, da die Schweisspunkte nicht mehr auf Scherung, sondern auf Zug beansprucht sind. Die geringere Festigkeit ist erklärlich, da der Schweisspunkt Gussgefüge aufweist, dessen Zerreissfestigkeit geringer ist als die des Bleches, während bei reiner Scherbeanspruchung praktisch kein Festigkeitsunterschied zwischen Guss und Blech besteht. Es bedeutet dies, dass man die Punktschweissung so anordnen soll, dass sie wie eine Nietung möglichst nur auf Scherung beansprucht wird. Auf einer Maschine von 150 kVA Leistung haben wir bei 350 mm Ausladung mit einer Elektrode von 5 mm ⌀ und 20 mm Punktabstand die in Fig. 4 eingetragenen Festigkeitswerte erreicht. Bei ausreichender Maschinenleistung rechnet man, dass die Festigkeit etwa linear mit der Blechstärke ansteigt. Schweisst man in den gewünschten Punktabständen, so geht ein Teil des Stromes durch den zunächst liegenden Schweisspunkt, so dass im Nebenschluss ein Teil des Schweißstromes verlorengeht und sich nicht die ganze Schweissenergie im Schweisspunkt auswirken

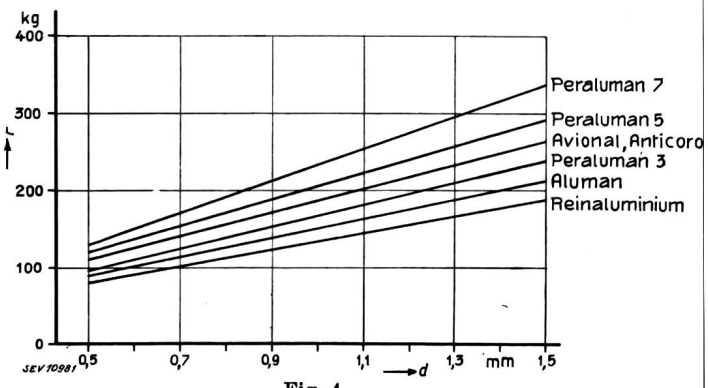

Fig. 4.
Scherkraft F in kg pro Schweisspunkt in Funktion der Blechdicke d in mm

kann. Je näher die Schweisspunkte aneinanderliegen, um so grösser ist dieser Energieverlust, der sich naturgemäss auf die Festigkeit der Punkte auswirken muss. Dies zeigt Fig. 5, auf welcher die Festigkeit pro Punkt an Peraluman 7 und Anticorodal B 1 mm in Abhängigkeit von dem Punktab-

stand aufgetragen ist. Man sieht, dass mit zunehmendem Punktabstand bis zu etwa 40 mm die Festigkeit ansteigt. Allerdings ist die Festigkeit der ganzen Schweissung bei gleicher Länge immer noch besser bei kleinerem Punktabstand. Bei Peraluman 7 tragen z. B. 4 Punkte bei 10 mm Abstand $4 \times 180 = 720$ kg, 2 Punkte mit 40 mm Abstand dagegen nur $2 \times 270 = 540$ kg.

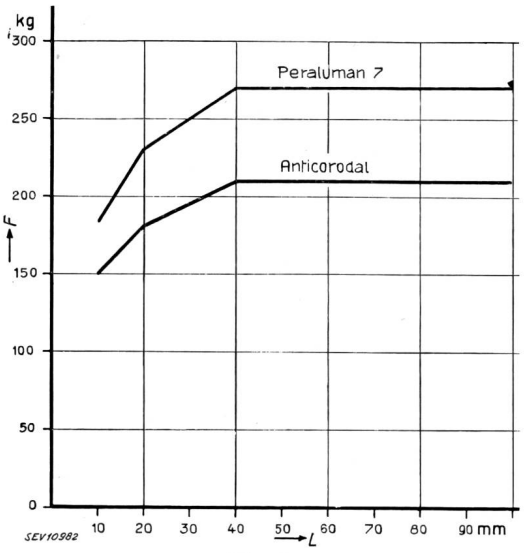

Fig. 5.
Scherkraft F in kg pro Schweisspunkt in Funktion des Schweisspunktabstandes L

Bei der autogenen und elektrischen Schmelzschweissung tritt bekanntlich neben der Schweissnaht eine Erweichung des Materials auf, welche

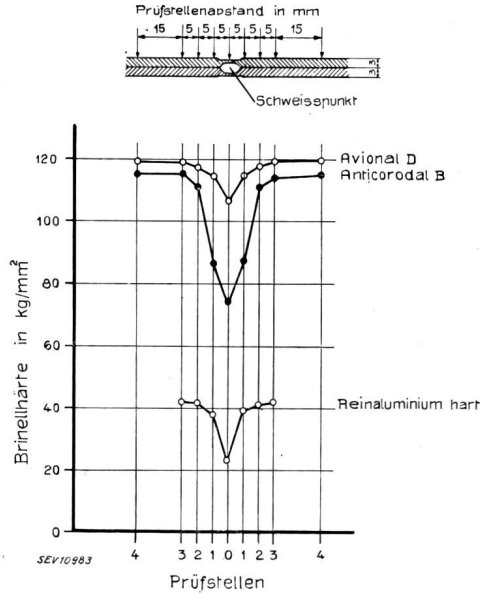

Fig. 6.
Erweichung beidseitig des Schweisspunktes

sich mehrere cm beidseitig der Schweißstelle ausdehnt. Auch beim Punktschweissen von hartgewalzten oder vergüteten Legierungen, wie Anticorodal und Avional, ist direkt auf dem Schweisspunkt und neben diesem eine Erweichung feststellbar, da das Material zwischen den Blechen bis zum Schmelzen erhitzt wurde. Diese Erweichung ist jedoch eng begrenzt auf eine Zone von etwa 5 mm beidseitig des Schweisspunktes. Naturgemäss ist die Erweichung bei einer Legierung mit hoher Warmfestigkeit wie Avional geringer als bei Reinaluminium hart oder Anticorodal B, wie Fig. 6 zeigt. Ein Nachvergüten von punktgeschweisstem Avional und Anticorodal, das bei der autogenen und elektrischen Schmelz-

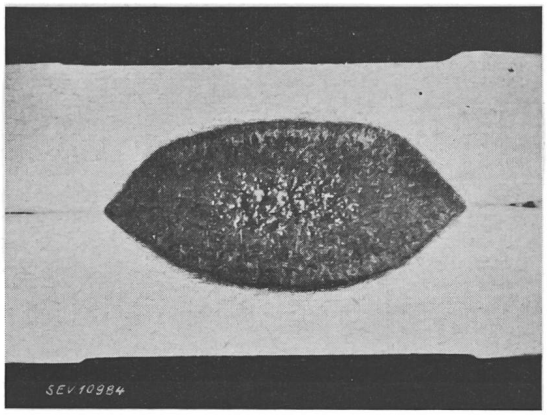

Fig. 7.
Schnitt durch gesunden Schweisspunkt

schweissung erforderlich ist, muss also bei punktgeschweisstem Avional und Anticorodal nicht vorgenommen werden.

Die Struktur der Schweisspunkte lässt sich nur durch Herstellen eines Schliffes durch den Schweisspunkt ermitteln. Fig. 7 zeigt das typische Aussehen eines gesunden, in seiner Grösse richtig bemessenen Schweisspunktes. Fig. 8 stellt einen zu kleinen, in seiner Festigkeit ungenügenden Punkt dar. In Fig. 9 ist ein wegen zu hoher Stromstärke oder zu langer Schweisszeit zu grosser Schweisspunkt dargestellt, welcher wegen Ueberhitzung des Materials voller Risse und Poren ist und fast bis an die Blechoberfläche heranreicht. Der Elektrodeneindruck ist in-

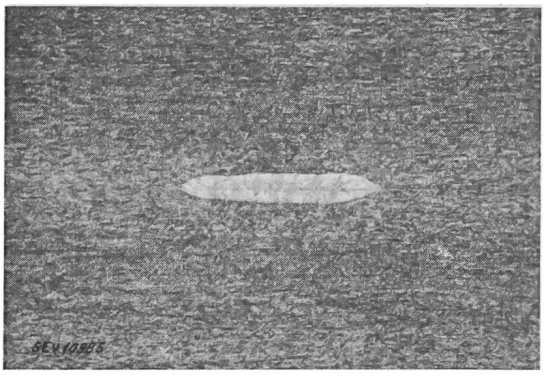

Fig. 8.
Schnitt durch zu kleinen Schweisspunkt

folge der zu starken Erweichung auch wesentlich tiefer als bei der gesunden Schweissung nach Fig. 7.

Die Anwendung der Punktschweissung für Al und seine Legierungen ist heute nichts mehr Neues und war bisher meist durch das Fehlen einer bezüglich Schweissleistung und Schweisszeitregulierung

geeigneten Maschine begrenzt. Die Punktschweissung kann als vollwertiger Ersatz für die Nietung angesehen werden, ausgenommen von einigen Sonderfällen, in denen keine reine Scherbeanspruchung oder starke dynamische Kräfte vorhanden sind. Es lassen sich Bleche auf Bleche schweissen und Bleche auf Profile (Fig. 10 und 11). Durch Anwendung flacher Spezialelektroden lassen sich Schweissungen nach Fig. 12 erzielen, welche bereits ähnlich der Nahtschweissung sind. Im Waggonbau soll der Bau besonders kräftiger Maschinen mit grosser Ausladung der Punktschweissung neue Wege öffnen, welche im Flugzeugbau für Verschalungen bereits seit längerer Zeit angewandt wird.

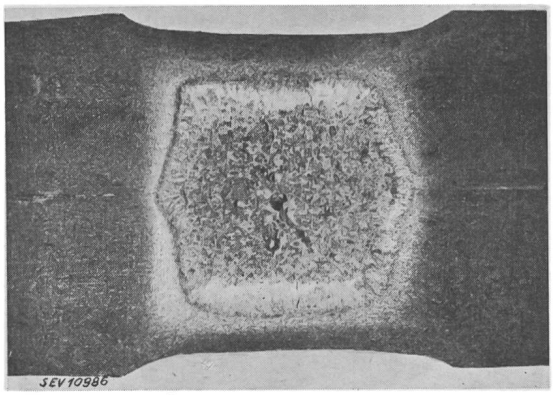

Fig. 9.
Schnitt durch zu grossen Schweisspunkt

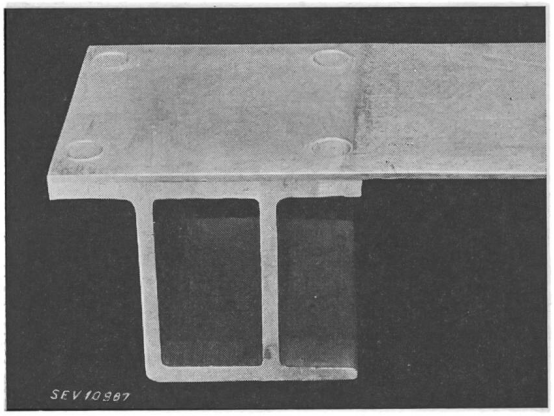

Fig. 10.
Schweissung von Al-Profil auf Blech

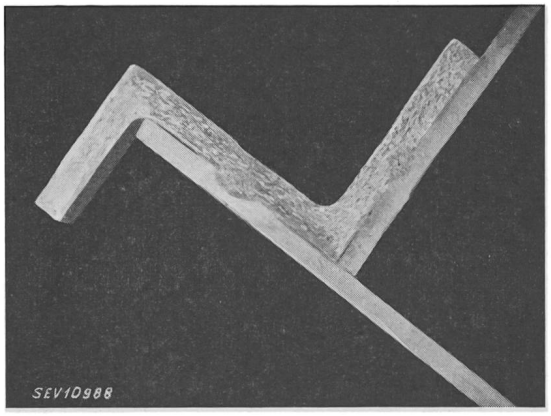

Fig. 11.
Schweissung von Z-Profil auf Bleche

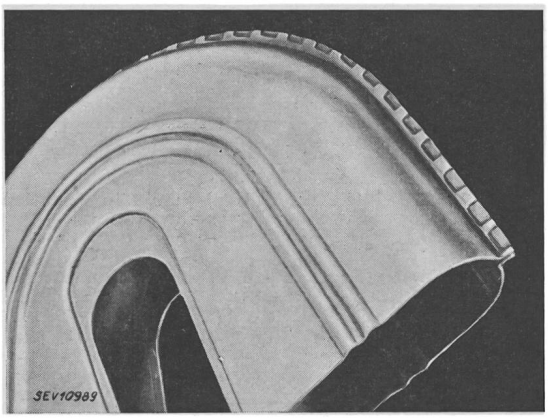

Fig. 12.
Beispiel einer Punktschweissung, die der Nahtschweissung nahekommt

(Fortsetzung des Berichtes über die Tagung des SEV für elektrisches Schweissen folgt)

Technische Mitteilungen — Communications de nature technique

Elektrifizierung der Eisenbahnen im Ausland

621.331 : 625.1

Der Tagespresse entnehmen wir folgendes:

1. Frankreich. Von einem Gesamtnetz mit 43 000 km Streckenlänge wurden im Jahrzehnt vor dem gegenwärtigen Kriege 3326 km auf elektrischen Betrieb umgestellt. Die Elektrifizierung wurde vor allem auf den südwestlichen und südlichen Linien [1]) in Angriff genommen. Als grosse Strecken sind zu erwähnen:

Paris-Bordeaux-Hendaye (824 km)
Paris-Brive (503 km)
Montauban-Cête (270 km)

Gegenwärtig ist die Elektrifizierung der Linie Brive-Montauban (163 km) im Gange. Abgeschlossen sind auch die Vorarbeiten für die Strecke Paris-Lyon (512 km). Für später ist die Betriebsumstellung folgender Linien geplant:

Paris-Nîmes (724 km)
Lyon-Marseille (2 Linien)
Lyon-Genf (167 km).

Man nimmt in Frankreich allgemein an, dass der Betrieb einer elektrifizierten Linie nur dann wirtschaftlich sei, wenn pro Streckenkilometer eine jährliche Kohlenersparnis von mindestens 300 t erreicht wird, d. h. wenn die Strecke in beiden Richtungen täglich von mindestens 16 Zügen befahren wird [2]).

2. Spanien. Für die in Staatsbesitz übergegangenen grossen spanischen Eisenbahnlinien wurde ein Plan aufgestellt, der innerhalb von 12 Jahren die Elektrifizierung von 4055 km

[1]) Bull. SEV 1939, Nr. 10, S. 255, und Nr. 20, S. 666.

[2]) Zum Vergleich erwähnen wir, dass die Kohleneinsparung auf den elektrischen Linien der Schweizerischen Bundesbahnen im Jahre 1942 pro Streckenkilometer durchschnittlich etwa 500 t betrug. Diese Zahl darf aber nicht zu falschen wirtschaftlichen Schlüssen führen, da die Kohlenbeschaffung in Frankreich und in der Schweiz stark verschieden ist.