

**Zeitschrift:** Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins  
**Herausgeber:** Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke  
**Band:** 45 (1954)  
**Heft:** 25

**Artikel:** Moderne elektrische Widerstands-Stumpfschweissung  
**Autor:** Wegmann, E.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1061217>

#### 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:** 16.01.2026

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

## Moderne elektrische Widerstands-Stumpfschweissung<sup>1)</sup>

Von E. Wegmann, Zollikon

621.791.76

Der Verfasser gibt einen Überblick über die verschiedenen Arten der elektrischen Stumpfschweissung. Behandelt werden die Probleme der Grossquerschnitt-Schweissung, und es wird gezeigt, dass mit der normalen Schweißstromfrequenz von 50 Hz die für gute Schweissqualitäten unerlässlichen Voraussetzungen infolge des stark in Erscheinung tretenden Skineffektes nicht mehr erfüllt werden können. Bei Verwendung eines Schweißstromes von geringerer Frequenz dagegen ist diese Schwierigkeit behoben, und es ergeben sich dazu eine Reihe weiterer Vorteile. Es wird ferner auf die Bedeutung hoher und schlagartig wirkender Stauchdrücke hingewiesen.

Für den Praktiker, welcher sich mit Aufgaben der elektrischen Widerstands-Stumpfschweissung befasst, erhebt sich vor allem die Frage über deren Anwendungsmöglichkeit. Um mit Erfolg von diesem modernen, wirtschaftlichen, material- und lohnsparenden Fertigungsverfahren Gebrauch machen zu können, müssen gewisse Voraussetzungen sowohl in Bezug auf die zur Verfügung stehenden Maschinen, als auch in Bezug auf Material und Formgebung der zu schweisenden Werkstücke erfüllt sein.

Bezüglich der Schweissmaschinen ist zu sagen, dass qualitativ hochwertige Schweissverbindungen nur mit modernen Maschinen zu erzielen sind, welche dank vollautomatischer Arbeitsweise die Unsicherheiten manueller Betätigung ausschliessen und eine genaue Steuerung der thermischen und mechanischen Abläufe beim Schweissvorgang gewährleisten. Ferner sollen die Schweissenden der zu verbindenden Werkstücke in Form und Dimension ungefähr übereinstimmen. Sind diese Bedingungen erfüllt, so lassen sich mit wenig Ausnahmen alle Metalle und Metallegierungen mit Erfolg stumpfschweissen. Ebenso bereitet das Zusammenschweißen vieler verschiedenartiger Metalle und Metalllegierungen, z. B. Eisen—Nickel, Kupfer—Aluminium, Kupfer—Messing und andere, keine besonderen Schwierigkeiten.

Man unterscheidet zur Zeit zwei Arten der elektrischen Widerstands-Stumpfschweissung:

1. Die Preßstumpfschweissung, auch Wulstschweissung genannt;

2. Die Abbrennschweissung.

Bei der Abbrennschweissung kann noch unterschieden werden zwischen reiner Abbrennschweissung und Abbrennschweissung mit Vorwärmung.

### 1. Preßstumpfschweissung

Von den verschiedenen Arten der elektrischen Widerstandsschweissung ist die Preßstumpfschweissung ohne Zweifel das am frühesten bekannte Verfahren. Ursprünglich dem Vorbilde der Feuerschweissung nachgebildet, beschränkte man sich darauf, die Werkstücke statt wie bis anhin im Kohlenfeuer, auf elektrischem Wege auf Schweissstemperatur zu erhitzen und anschliessend mit hohem Druck zusammenzustauen. Fig. 1 veranschaulicht das Prinzip dieses Verfahrens. Das zu schweis sende

Après un aperçu des différents modes de soudage électrique en bout, les problèmes du soudage de grandes sections sont étudiés et il est montré que le courant de soudage normal à la fréquence de 50 Hz ne permet pas, dans ce cas, de satisfaire aux exigences posées à une soudure de bonne qualité, à cause de la prédominance de l'effet pelliculaire. Cette difficulté peut toutefois être surmontée en utilisant un courant de soudage à une fréquence moins élevée, ce qui offre en outre plusieurs avantages. Des pressions de refoulement élevées et agissant brusquement ont une importance particulière.

Werkstück 3 liegt im Stromkreis der Sekundärwicklung des Schweisstransformators 1. Von den Klemmelektroden 2, die gleichzeitig die Stromzuführung zum Werkstück vermitteln, ist die eine von Hand oder auf mechanischem Wege in Richtung gegen die andere, feststehende Elektrode, verschiebbar. Die möglichst plan geschnittenen Stückenden werden mit einem Druck von einem bis mehreren kg/mm<sup>2</sup> gegeneinander gepresst und hierauf durch einen die Stoßstelle durchfliessenden Strom hoher Intensität auf Schweissstemperatur erhitzt. Unter dem Einfluss der Achsialpressung verschweissen die

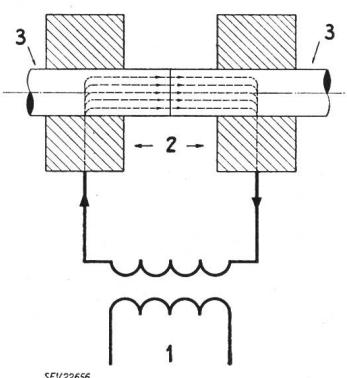


Fig. 1

Preßstumpfschweissung  
1 Schweisstransformator  
2 Klemmelektroden  
3 Werkstück

Stückenden zu einer soliden Verbindung, wobei die auf Weissglut erhielten Materialpartien zu einer wulstförmigen Verdickung aufgestaucht werden.

Fig. 2 zeigt ein nach dem Preßstumpfschweissverfahren geschweisstes Stück Rundstahl mit charakteristischem Stauchwulst. Auf dem darunter befindlichen Schweißstrom-Oszillogramm ist deutlich ersichtlich, wie die Schweißstromstärke im Verlaufe der Schweissung, infolge der zunehmenden Erhitzung und der dadurch bedingten Widerstandszunahme des Materials, ziemlich stark zurückgeht.

Dieses primitive Verfahren ist jedoch mit verschiedenen Nachteilen behaftet, welche seinem Anwendungsbereich enge Grenzen setzen. Damit eine einigermassen gleichmässige Erwärmung über den ganzen Schweissquerschnitt eintritt, müssen die Schweissenden der Werkstücke gleiche Form und gleichen Querschnitt besitzen und planparallele Stoßflächen aufweisen. Während die Auswirkung sich einstellender, ungleicher Stromkonzentration in der Schweisszone bei kleinquerschnittigen Werkstücken durch den verhältnismässig rasch wirkenden Wärmefluss noch einigermassen kompensiert wird, ergeben sich mit zunehmendem Stückquer-

<sup>1)</sup> Vortrag, gehalten an der Schweisstechnischen Tagung vom 5...7. April 1954 in Stuttgart.

schnitt in dieser Beziehung vermehrte Schwierigkeiten. Auch wird es schwieriger, die bei unvollkommener Berührung der Stossflächen sich bildenden Oxyde durch die Stauchung aus der Bindestelle auszupressen. Nachteilig ist im allgemeinen auch der unter ständiger Einwirkung des Stauchdruckes sich bildende massive Stauchwulst.

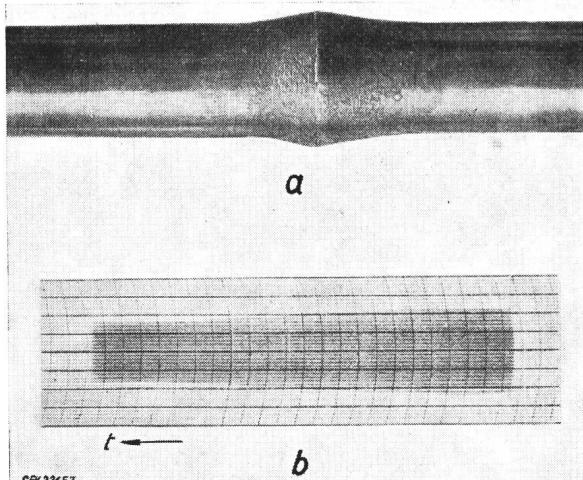


Fig. 2  
Preßstumpfschweißung

a geschweisstes Werkstück; b Oszillogramm der Stromaufnahme

Diese Nachteile bewirken, dass das Preßstumpf-schweißverfahren heute sozusagen ausschliesslich auf kleinquerschnittige Artikel beschränkt bleibt. Es hat sich besonders in der Draht- und drahtverarbeitenden Industrie recht gut bewährt, und zwar sowohl für Stahl, als auch für andere Metalle, wie Kupfer, Aluminium und deren Legierungen.

## 2. Abbrennstumpfschweißung

### A. Abbrennschweißung ohne Vorwärmung

Die Abbrennschweißung ohne Vorwärmung hat sich besonders für dünnwandige, grossflächige Werkstücke, wie sie in der Blechwarenfabrikation, im Autokarosseriebau und anderen blechverarbeitenden Fabrikationszweigen vorkommen, aber auch im allgemeinen für kleinquerschnittige Fertigteile bewährt. Speziell findet sie auch Anwendung beim Schweißen von Teilen aus Materialien hoher thermischer Leitfähigkeit, z. B. Aluminium, Kupfer und deren Legierungen.

Im Gegensatz zur Preßstumpfschweißung werden die von Anfang an an der Sekundärspannung eines Schweisstransformators liegenden Werkstücke mit sehr kleiner, wenige mm/s betragender Geschwindigkeit einander angenähert. Bei Berührung bilden sich an den in Kontakt kommenden Punkten Strombrücken. Die sich einstellende hohe Stromdichte hat eine fast augenblickliche Erhitzung bis auf Schmelz- und Verdampfungstemperatur der vorspringenden Metallpartien zur Folge. Da diese aufgeschmolzenen und teilweise zur Verdampfung gebrachten Metallpartikel unverzüglich aus den Berührungszonen herausgeschleudert werden, kom-

men immer wieder neue Punkte der Stossflächen in Kontakt. Weil der elektrische Übergangswiderstand der gleichzeitig nur an einzelnen Punkten der Stossflächen sich bildenden Strombrücken zum Widerstand in den übrigen Teilen des Werkstückes relativ hoch ist, so konzentriert sich die Erhitzung zur Hauptsache auf die vordersten Schichten der Stückenden. Sobald sich diese gleichmassig auf Schweißtemperatur erwärmt haben, erfolgt schlagartig und mit hoher Presskraft die Stauchung, wobei das aufgeschmolzene und plastisch verformbare Material aus der Bindestelle herausgepresst wird, so dass eine kompakte und von Einschlüssen freie Schweißverbindung entsteht. Fig. 3 zeigt ein abbrenngeschweisstes Stück Rundstahl. Der Stauchgrat ist verhältnismässig klein und leicht zu entfernen. Die Stromaufnahme während der Schweißung verläuft entsprechend den rasch wechselnden Übergangsverhältnissen beim Abbrennen sehr unregelmässig und zeigt grössere und kleinere Stromspitzen, gefolgt von Strompausen.

Für das gute Gelingen einer Abbrennschweißung ist es äusserst wichtig, dass der Abbrennvorgang ohne Unterbruch abläuft. Die Kontinuität des Abbrennprozesses ist aber nur dann möglich, wenn die durch den Sekundärstrom pro Zeiteinheit in Joulesche Wärme umgesetzte Energiemenge genügend gross ist, um sowohl die im gleichen Zeitintervall vorgeschobenen Materialquanten auf Abbrenntemperatur zu erhitzen, als auch die anfallenden

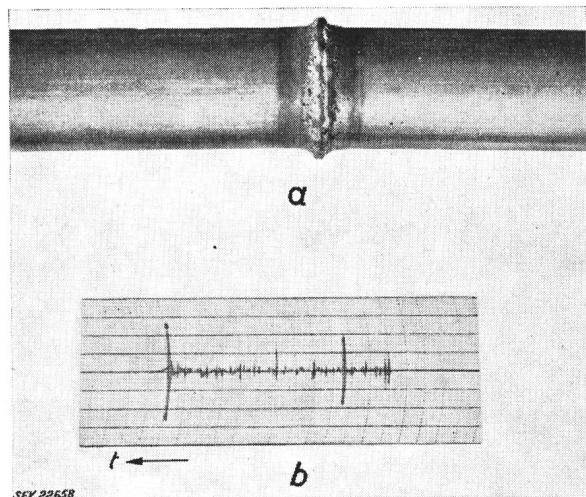


Fig. 3  
Abbrennschweißung ohne Vorwärmung  
a und b wie bei Fig. 2

Wärmeverluste zu decken. Die zur Erreichung dieses Zustandes in einem beliebigen Zeitintervall notwendige Energiemenge  $W$  ist abhängig von der momentanen an den Stückenden herrschenden Ausgangstemperatur und deren relativen Annäherungsgeschwindigkeit  $v$ , vom Abbrennquerschnitt  $A$  sowie von einer Anzahl anderer Faktoren (spezifische Wärme, Schmelz- und Verdampfungstemperatur, ferner den Verlusten durch Ableitung, Abstrahlung und Konvektion). Es ist somit:

$$\Delta W = (t_2 - t_1) v A c \gamma + k$$

Darin bedeuten

- $\Delta W$  zugeführte Energiemenge
- $t_2$  Abbrenntemperatur an den Stückenden
- $t_1$  Ausgangstemperatur an den Stückenden
- $c$  spezifische Wärme des Materials
- $\gamma$  spezifisches Gewicht des Materials
- $k$  Verlustfaktor, welcher die Verluste durch Ableitung, Abstrahlung und Konvektion berücksichtigt

Die Verluste durch Abstrahlung und Konvektion sind um so grösser, je grösser sich das Verhältnis von Oberfläche zu Querschnitt stellt. Im allgemeinen liegen sie unter 1 % der zugeführten Energie und sind daher praktisch für den Schweißvorgang ohne Bedeutung.

Da sich die Differenz zwischen der an den Werkstückenden herrschenden Temperatur und der Abbrenntemperatur mit dem Fortschreiten des Abbrennprozesses bis zum Eintritt eines gewissen Beharrungszustandes stetig verringert, kann bei gleichbleibender Energiezufuhr die Annäherungsgeschwindigkeit der Werkstücke entsprechend beschleunigt werden. Um die Einleitung des Abbrennvorganges aus dem kalten Zustand zu erleichtern, werden die Stirnflächen der Werkstücke oftmals angeschrägt. In diesem Falle wird durch Verkleinerung der Berührungsflächen erreicht, dass pro Zeiteinheit weniger Material zum Abbrand kommt. Der Abbrennprozess ist solange aufrechtzuerhalten, bis die Stossflächen der Arbeitsstücke gleichmässig auf Schweisstemperatur erhitzt sind, worauf die Stauchung erfolgt. Eine Verlängerung des Abbrennprozesses über diesen Punkt hinaus bedeutet lediglich Materialverschwendungen und die Schweissbedingungen werden verschlechtert, indem in die der Abbrandzone näher rückenden kalten Elektroden mehr Wärme abzufließen beginnt.

Gegenüber der Preßstumpfschweissung besitzt die Abbrennschweissung den grossen Vorteil, dass bei intensivem Abbrennprozess sich in der Abbrennzzone keine Oxyde bilden können, weil die mit grosser Intensität aus der Berührungszone ausgeschleuderten flüssigen und gasförmigen Abbrandprodukte dem Sauerstoff der Luft den Zutritt verwehren. Als weitere Vorteile anzusprechen sind ferner, dass die Stossflächen der zu schweisenden Werkstücke keinen sauberen Schnitt besitzen müssen und die Schweißstelle nur einen relativ kleinen und leicht zu entfernen Grat aufweist.

Leider sind der einfachen Abbrennschweissung in ihrer Anwendung insofern Grenzen gesetzt, als sich dieselbe für massive und grossquerschnittige Werkstücke nicht mehr eignet. Es zeigt sich nämlich, dass sich die beim Abschmelzen in den Stossflächen bildenden Krater und Vertiefungen bei der verhältnismässig geringen erreichbaren Tiefe der Glühzone auch bei Anwendung hoher spezifischer Stauchkräfte bei grösseren Querschnitten nicht mehr restlos verpressen lassen und daher Porenbildung und Bindefehler auftreten. Ferner führt das Abbrennen aus dem kalten Zustand mit zunehmendem Schweissquerschnitt zu entsprechend höheren Sekundärspannungen, die nicht nach Belieben gesteigert werden können. Die Grenze, bis zu welcher die Abbrennschweissung noch zu empfehlen ist, liegt beispielsweise bei Rundstahl bei etwa 40 mm Durchmesser.

### B. Die Abbrennschweissung mit Vorwärmung

Bei der Abbrennschweissung mit Vorwärmung werden die der einfachen Abbrennschweissung anhaftenden Nachteile dadurch vermieden, dass die zu schweisenden Werkstücke auf elektrischem Wege auf eine schweisstechnisch günstige Temperatur und Schichttiefe vorgewärmt werden, worauf anschliessend der Abbrennprozess einsetzt. Die für den Abbrennvorgang aufzubringende Leistung reduziert sich in diesem Falle je nach der Höhe der Vorwärmtemperatur, und es ist möglich, die Ein dringtiefe der Hitze durch Wahl eines entsprechenden Vorwärmprogrammes nach Bedarf festzulegen.

Der Vorwärmvorgang besteht bei modernen Schweissautomaten darin, dass die beiden zu verschweisenden und unter Spannung stehenden Werkstückenden zu wiederholten Malen bis zur Berührung zusammengeföhrt und nach kurzer, höchstens einige Sekunden betragender Kontaktzeit wieder getrennt werden. Bei jeder Annäherung werden Teile der vorspringenden, zuerst Kontakt bildenden Materialpartien abgebrannt. Dieses Spiel der Berührung und Trennung setzt sich automatisch so lange

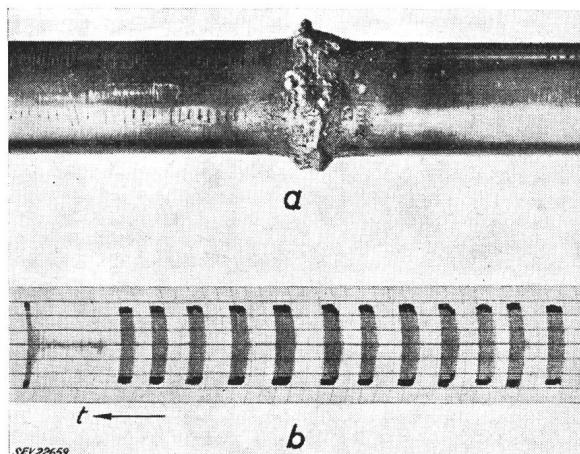


Fig. 4  
Abbrennschweissung mit Vorwärmung  
a und b wie bei Fig. 2

fort, bis sich die Stossflächen aufeinander abgleichen und die Stückenden eine solche Temperatur erreicht haben, dass bei Wiederannäherung ein kontinuierlicher Abbrennvorgang einsetzt. Dieser Zustand ist dann erreicht, wenn die vom Schweißtransformator gelieferte Energie genügt, um nach Dekkung der Verluste die mit bestimmter Vorschubgeschwindigkeit vorstossenden Materialpartien von der erreichten Vorwärmtemperatur auf Abschmelztemperatur zu erhitzten. Wie Fig. 4 zeigt, bildet sich bei der Abbrennschweissung mit Vorwärmung ein etwas grösserer Stauchgrat als bei Abbrennschweissung ohne Vorwärmung. Dieser ist jedoch, besonders in noch warmem Zustand, ebenfalls verhältnismässig leicht zu entfernen. Auf dem Oszillogramm der Stromaufnahme sind Vorwärm- und Abbrennphase deutlich erkennbar.

Durch entsprechende Wahl der Vorschubgeschwindigkeit und der spezifischen Stromdichte im Werkstück, bzw. der Transformator-Sekundärspan-

nung, hat man es in der Hand, die Temperatur, bei welcher der kontinuierliche Abbrennprozess beginnen soll, festzulegen. Auch lässt sich durch den Rhythmus der wechselweisen Berührung und Trennung der Stückenden beim Vorwärmten die Tiefe der Erhitzungszone den metallurgischen Erfordernissen entsprechend anpassen.

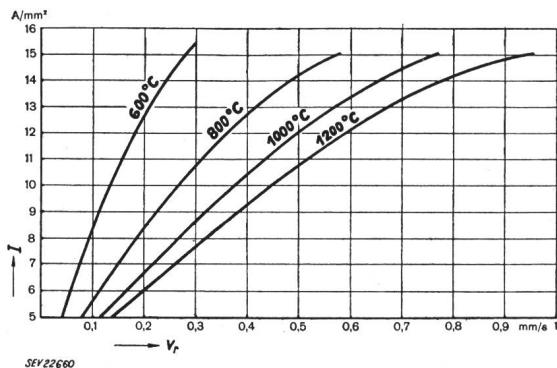


Fig. 5  
Abbrenn-Stumpfschweißung

Untere Grenztemperaturen für den Abbrennprozess in Funktion der spezifischen Stromdichte  $I$  und der relativen Annäherungsgeschwindigkeit  $v_r$  für Flussstahl

Fig. 5 zeigt die Abhängigkeit der Vorwärm-Endtemperatur, d. h. derjenigen Temperatur, bei welcher der kontinuierliche Abbrennprozess einsetzen kann, von der spezifischen Stromdichte im Werkstück und der relativen Annäherungsgeschwindigkeit  $v_r$  der Stückenden.

Von einer guten Abtrennstumpfschweißverbindung wird verlangt, dass die Bindestelle eine kompakte, von Schlageneinschlüssen und Poren freie Struktur und ein möglichst homogenes, nicht zu grobkristallines, perlitisches Gefüge aufweist. Diese Forderungen in Bezug auf die Schweissqualität sind, besonders wenn es sich um grössere Schweissquerschnitte (von einigen tausend  $\text{mm}^2$  an aufwärts) oder um hochgekohlte oder legierte Stähle handelt, nur zuverlässig mit automatisch arbeitenden Maschinen zu erfüllen. Dabei kommt den nachstehenden Faktoren eine ausschlaggebende Bedeutung zu:

a) Rasche Erhitzung der Stossenden auf Schweisstemperatur zwecks Erzielung kleinerer der Wärmebeeinflussung ausgesetzter Zonen und Vermeidung von Grobgefügebildung als Folge langer Glühzeiten. Auch erfordern kleine Erhitzungszonen kleineren Arbeitsaufwand, so dass sich Einsparungen an Energiekosten ergeben.

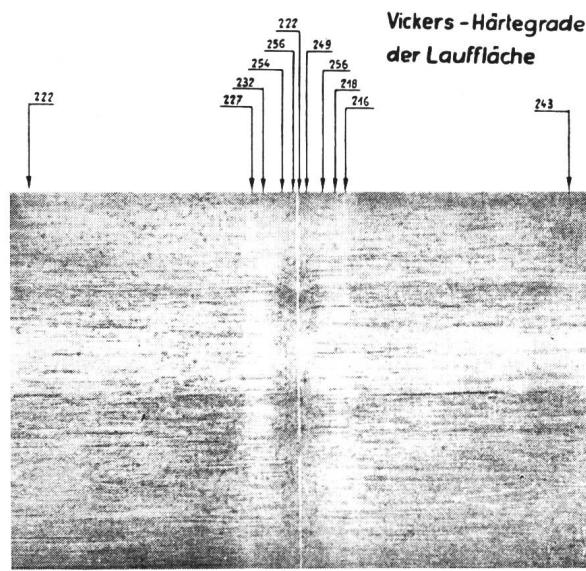
b) Über den ganzen Querschnitt gleichmässige, mit der Entfernung von der Stoßstelle abklingende Temperatur. Dies ist unerlässlich zur Erzielung gleichmässig durchgeschweißter Verbindungen eines homogenen Gefüges und zur Vermeidung von inneren Materialspannungen.

c) Anwendung hoher, schlagartig einsetzender und durch ihren Schmiedeeffekt nachwirkender, spezifischer Stauchkräfte, um die durch den Abbrennprozess in den Stossflächen entstandenen Krater und Hohlräume mit Sicherheit porfrei zu verpressen. Ferner müssen zur Erzielung einer günstigen, von Grobkristallen freien Gefügestruktur nicht nur die flüssigen, sondern auch alle über den Soliduspunkt erhitzten Materialteile aus der Bindestezone herausgequetscht werden. Die noch verbleibenden, glühenden Materialpartien werden schliesslich durch die nachwirkende Stauchkraft noch weiter verformt, wodurch die Bildung einer technologisch günstigen Feinstruktur begünstigt wird.

Fig. 6 zeigt die Gefügestruktur eines abbrennstumpfgeschweißten Eisenbahnschienenstückes im

Längsschnitt. Die nur als Linie sichtbare Bindestelle besitzt ein ferritisches Gefügebild. Anschliessend folgt eine Zone mit einer gegenüber dem Walzgefüge verfeinerten Struktur, die auf den Einfluss eines beim Schweißen auftretenden Normalisierungseffektes zurückzuführen ist. Auffallend ist die sehr schmale, total nur ca. 3 cm betragende Wärmezone. Wie den am Schienenkopf eingetragenen Zahlen der Vickershärte entnommen werden kann, weist diese in der Lauffläche in den verschiedenen Punkten der wärmebeeinflussten Zone und des Ursprungsmaterials nur geringe Unterschiede auf. Die Schweisszeit dieser Schiene betrug ca. 50 s.

Im allgemeinen sind diese Voraussetzungen, wie kurze Schweisszeit, gleichmässige Temperaturverteilung im Schweissquerschnitt und hohe, spezifische Stauch- und Spannkräfte, die zur Erzielung hochwertiger Schweissverbindungen vorhanden sein müssen, für kleine und mittlere Querschnitte bei Verwendung entsprechend leistungsfähiger Maschinen der bisher üblichen Bauart noch einigermassen erfüllbar. Mit steigender Querschnittgrösse stellen sich jedoch in zunehmendem Masse Schwierigkeiten ein, deren Überwindung besondere Massnahmen erfordert, auf die nachfolgend kurz eingetreten werden soll.



Fortsetzung von Seite 1074

### Moderne elektrische Widerstands-Stumpfschweissung (Fortsetzung)

einer unbegrenzten Erhöhung der Sekundärspannung insofern eine Grenze gesetzt, als bei ca. 15 V eine den Vorwärm- und Abbrennprozess störende Lichtbogenbildung einzutreten beginnt. Es muss also danach getrachtet werden, Schweißmaschinen zu bauen, welche sowohl kleine Ohmsche, als be-

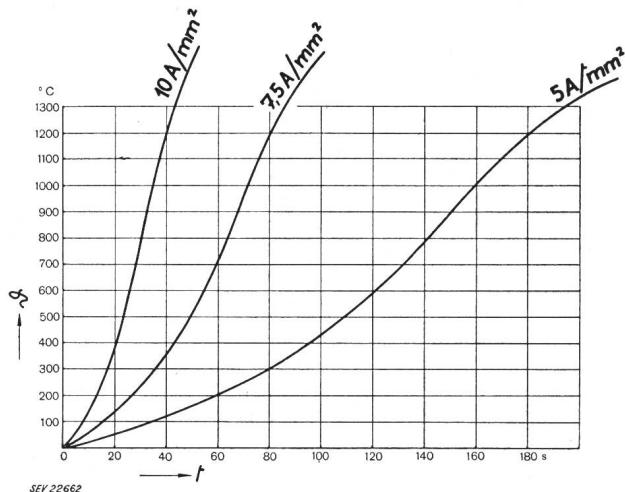


Fig. 7

Abbrenn-Stumpfschweissung

Spezifische Stromdichte in Funktion der Temperatur  $\vartheta$  bzw.  
der Vorwärmzeit  $t$  bei Flußstahl

sonders auch kleine induktive Widerstände aufweisen. Leider können diese Widerstände aus konstruktiven Gründen nicht beliebig tief gehalten werden. So ist es in der Praxis kaum möglich, grössere Stumpfschweißmaschinen zu konstruieren, deren sekundäre Impedanzwerte bei 50 Hz unter  $0,15$  bis  $0,2 \cdot 10^{-3} \Omega$  liegen. Es bleibt somit noch die Möglichkeit einer Reduktion der Schweißstromfrequenz, da ja die induktive Komponente  $\omega L$  der Impedanz ausser mit der Induktivität des Stromkreises auch mit der Frequenz proportional abnimmt.

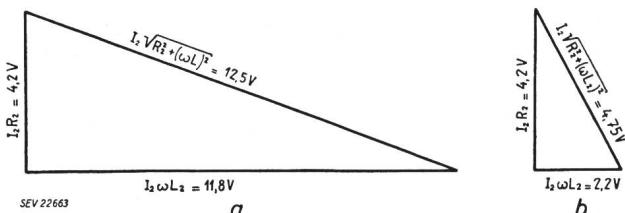


Fig. 8

Diagramm der Sekundärspannungen von Abbrenn-Stumpfschweissmaschinen

Schweißquerschnitt 8000  $\text{mm}^2$ ; Sekundärstrom 80 kA

	a	b
Frequenz:	50 Hz	$\approx 9$ Hz
Schweißleistung:	1040 kVA	400 kVA
$\cos \varphi$	0,34	0,88

Die in Fig. 8 gezeigten Diagramme veranschaulichen die sekundären Spannungsverhältnisse einer Schweißmaschine bei gleichem Sekundärstrom, aber verschiedenen Frequenzen. Bei gleichbleibender Ohmscher Spannungskomponente resultiert bei der beispielsweise auf 9 Hz reduzierten Frequenz

(Fig. 1b) eine gegenüber 50 Hz (Fig. 1a) auf 38 % reduzierte Sekundärspannung und dementsprechend bei einem stark verbesserten Leistungsfaktor eine von 1040 kVA auf 400 kVA vermindernde Sekundärleistung.

Es ist allerdings auch nicht möglich, mit der Schweißstromfrequenz beliebig tief zu gehen, da sehr kleine Frequenzen zu unwirtschaftlichen Maschinenkonstruktionen führen und außerdem der zwischen den einzelnen Halbwellen liegende Bereich ungenügender Abschmelzspannung so gross würde, dass die Kontinuität des Abbrennprozesses in Frage gestellt wäre. Wenn das Abbrenn-Stumpfschweißen so grosser Querschnitte, bei welchen das Prinzip mit reduzierter Frequenz nicht mehr zum Ziele führt, in Frage kommt, so müsste zum Gleichstrom übergegangen werden.

b) die Erzielung gleichmässiger Temperatur in allen Punkten des Schweißquerschnittes ist von verschiedenen Faktoren abhängig, wie gleichmässige Stromdichte über dem ganzen Querschnitt, sowie Wärmeentzug durch Abstrahlung, Konvektion und Ableitung. Wie bereits gesagt, betragen die Verluste durch Abstrahlung und Konvektion bei den im Rahmen dieser Betrachtung in Frage kommenden kurzen Schweißzeiten und Schweißquerschnitten unter 1 % der gesamten Schweißleistung. Da auch der Wärmeabzug im Werkstück nach den weiter von der Schweißzone entfernten Partien bei gleichmässiger Temperatur innerhalb der vordersten Schichten der Stoßflächen über den gesamten Stückquerschnitt als angenähert gleichmässig angenommen werden kann, bleibt als ausschlaggebender Faktor für die örtliche Temperaturbildung im Werkstück die Art der Stromverteilung über den Querschnitt. Diese unterliegt zwei verschiedenen Einflüssen, nämlich dem Einfluss, welcher durch die Art der Anordnung der Zuleitungsselektroden bedingt ist, und demjenigen des Skineffektes.

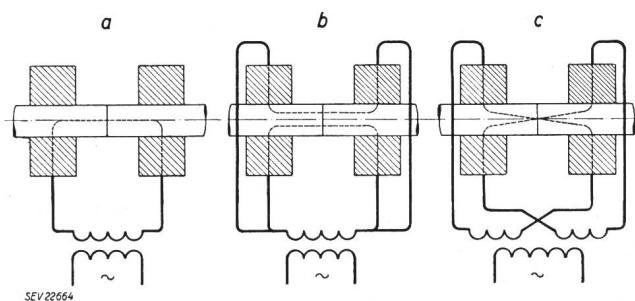


Fig. 9

Elektrodenanordnungen von Stumpfschweissmaschinen

a Stromübertritt einseitig nur durch untere Elektroden;  
b Stromübertritt doppelseitig durch untere und obere Elektroden;  
c Stromübertritt doppelseitig mit sich kreuzenden  
Strombahnen durch obere und untere Elektroden

Fig. 9 zeigt die in der Praxis zur Hauptsache in Gebrauch stehenden Elektrodenanordnungen. In der Anordnung nach Fig. 9 a, welche nur für kleinere Maschinen mit Schweissbereichen bis zu einigen tausend  $\text{mm}^2$  in Frage kommen kann, erfolgt die Stromzuführung lediglich durch die beiden unteren, aus Hartkupfer oder einer harten Kupferlegierung bestehenden Elektroden, während die oberen aus Stahl bestehenden Backen lediglich zur Übertragung des Klemmdruckes dienen.

Grössere Maschinen weisen in der Regel eine Anordnung der Elektroden gemäss Fig. 9 b auf. Hier bestehen auch die oberen Backen aus Elektrodenmaterial, so dass der Stromübertritt sowohl von oben als auch von unten in das Werkstück erfolgen kann, wodurch eine gleichmässigere Verteilung des Stromflusses im Querschnitt bewirkt wird. Fig. 9 c stellt eine Variante zu Fig. 9 b dar. Der Nachteil dieser Anordnung besteht darin, dass der Transformator zwei elektrisch getrennte Sekundärwicklungen aufweisen muss, die mit ihren Enden kreuzweise an je eine obere und eine untere Elektrode angeschlossen sind.

die, um ein Rutschen des Werkstückes in den Elektroden auszuschliessen, mindestens das anderthalb- bis zweifache des Stauchdruckes betragen müssen. Bei den bei grossen Maschinen notwendigen hohen Spannkräften ist das bisher übliche Verfahren, die mechanische Klemmung über die Elektroden vorzunehmen, nicht mehr anwendbar. Um Deformationen und eine rasche Abnutzung der aus einer Kupferlegierung bestehenden Elektroden zu vermeiden, müssten diese eine entsprechend grosse Auflagefläche aufweisen. In diesem Falle ergäben sich nicht genau definierte, von Zufälligkeiten der Oberflächenbeschaffenheiten abhängige Stromübergänge

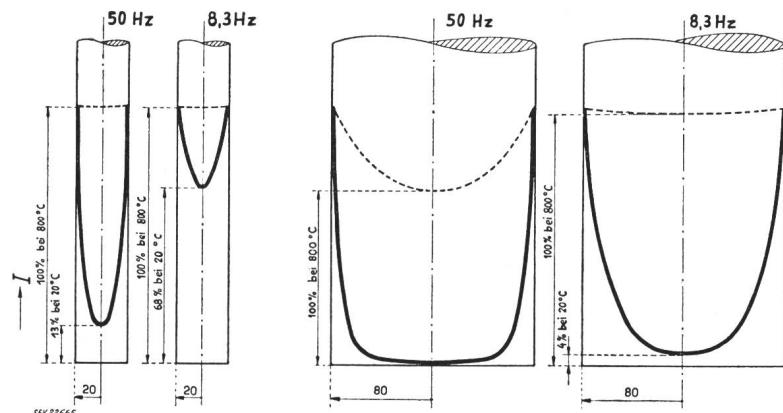


Fig. 10  
Stromverdrängung in Flußstahl bei  
Abbrenn-Stumpfschweißung

Masse in mm  
I Stromdichte  
— Änderung der Stromdichte in  
Funktion des Radius bei 20 °C  
- - - Änderung der Stromdichte in  
Funktion des Radius bei 800 °C

Ausschlaggebende Bedeutung kommt bei Grossquerschnittschweißung dem Skineffekt zu. Dieser ist um so höher, je höher die Frequenz des Schweißstromes, je grösser der Werkstückdurchmesser, die Leitfähigkeit und die Permeabilität des Materials sind. Es ist ausserordentlich schwierig, den Einfluss dieses Effektes auf den Erhitzungsvorgang rechnerisch zu erfassen, da verschiedene der massgebenden Faktoren, wie elektrische Leitfähigkeit und Permeabilität, sich mit der Temperatur nach schwer darstellbaren Funktionen weitgehend verändern.

Die Beispiele in Fig. 10 zeigen, wie sich die Frequenz, die Temperatur und der Stückdurchmesser bei Flussstahl auf den Skineffekt auswirken. So ist z. B. bei einem Rundstahl von 40 mm Durchmesser der Skineffekt bei 50 Hz in kaltem Zustand beträchtlich, bei 800 °C dagegen, also nach Überschreitung des Curiepunktes, verschwindet derselbe infolge Wegfall des Ferromagnetismus und infolge des auf rund den neunfachen Betrag angestiegenen Ohmschen Widerstandes sozusagen vollständig. Der Einfluss des Stückdurchmessers zeigt sich darin, dass z. B. beim Rundstahl von 160 mm Durchmesser und 50 Hz die Verhältnisse auch in warmem Zustand so ungünstig liegen, dass bei dieser Frequenz keine auch nur einigermassen gleichmässige Hitzeverteilung im Querschnitt zu erzielen ist, es sei denn, dass die Erhitzung so langsam vorgenommen wird, dass ein genügender Ausgleich durch Wärmeleitung innerhalb des Querschnittes zustande kommt. Da aber, wie bereits erwähnt, lange Schweisszeiten sich aus verschiedenen Gründen auf die Schweissqualität ungünstig auswirken, ergibt sich die Notwendigkeit einer Reduktion der Schweißstromfrequenz.

c) Der Einsatz hoher Stauchkräfte bedingt auch die Anwendung entsprechend hoher Spannkräfte,

zwischen Elektroden und Werkstück, die auch zu Unregelmässigkeiten des Erhitzungsvorganges im Schweissquerschnitt führen müssten. Man ist daher dazu übergegangen, die der Stromzuführung dienenden Elektroden von den hohen Spanndrücken zu entlasten und zur mechanischen Klemmung von den Elektroden unabhängige, mit Stahlbacken ausge-

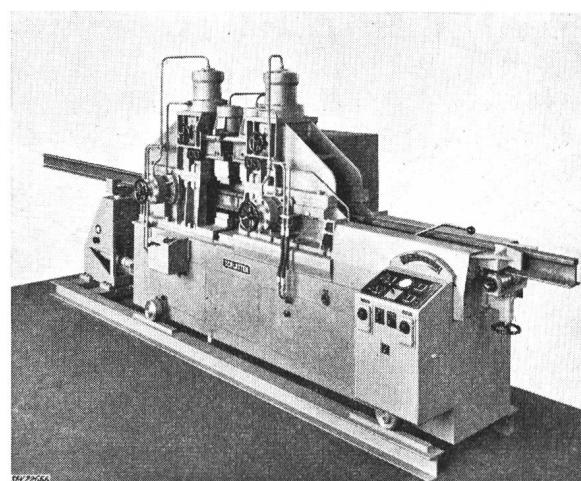


Fig. 11  
Vollautomatische Stumpfschweißmaschine für  
Eisenbahnschienen

rüstete Klemmvorrichtungen zu benutzen. Kontaktfläche und Kontaktdruck der Elektroden brauchen dann lediglich mit Rücksicht auf die Erfordernisse eines genügend guten Stromübertrittes bemessen zu werden.

Fig. 11 zeigt eine Abbrenn-Stumpfschweißmaschine für Eisenbahnschienen bis 10 000 mm<sup>2</sup> Quer-

schnitt. Die Stauchkraft beträgt maximal 50 t und der Spanndruck maximal 100 t. Die Maschine besitzt neben den lediglich der Stromzuführung dienenden Elektroden separate, öldruckbetätigten Spannvorrichtungen. Die Schweißstromstärke beträgt maximal 100 kA bei einer Frequenz von 25 Hz.

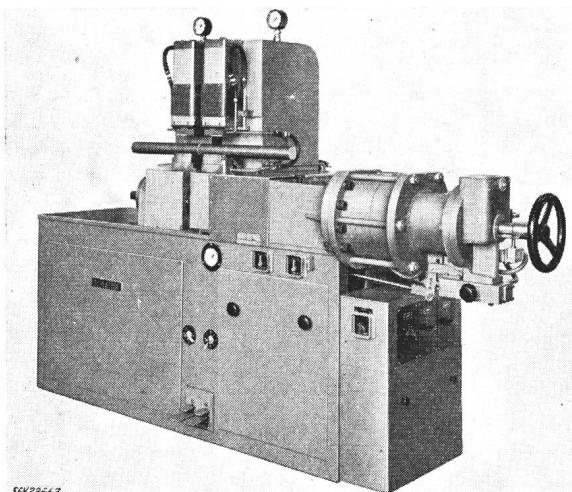


Fig. 12  
Vollautomatische pneumatische Abbrenn-Stumpfschweissmaschine

Fig. 12 zeigt eine pneumatisch betätigtes Abbrenn-Stumpfschweissmaschine für Stahl, Aluminium und Kupfer für Stahlquerschnitte bis 2500 mm<sup>2</sup>. Hier dienen die Stromzuführungselektroden auch zur Übertragung des maximal 15 t betragenden Spann-druckes. Der Schweißstrom beträgt etwa 25 kA.

In Fig. 13 ist eine Abbrenn-Stumpfschweissmaschine für Gehrungsschweissung von Profilen aus Stahl-, Aluminium- und Kupferlegierungen dargestellt. Das mit Druckluft arbeitende Stauchaggregat erzeugt Drücke bis 20 t. Die Spannvorrichtungen sind druckölbetätigt. Der Schweissbereich für Aluminium beträgt 1500 mm<sup>2</sup>. Zur Schaltung des Primär-Schweißstromes dienen Hochleistungs-Elektronenröhren, sog. Ignitrons. Der maximale Schweiss-strom beträgt bei Aluminiumschweissung 120 kA.

### 3. Zusammenfassung

Es kann festgestellt werden, dass dank der besonders in den letzten Jahren erfolgten Entwicklung des elektrischen Abschmelz-Stumpfschweissverfahrens und der entsprechenden Schweissmaschinen es heute möglich ist, die üblichen Konstruktionsstähle mit Hilfe dieser Schweissart so einwandfrei zu verbinden, dass die Festigkeit der Bindestelle innerhalb des Streubereiches der Festigkeit des Grundmaterials liegt. Auch bei hochgekohlten und bei legierten Stählen lassen sich recht gute Resultate erzielen.

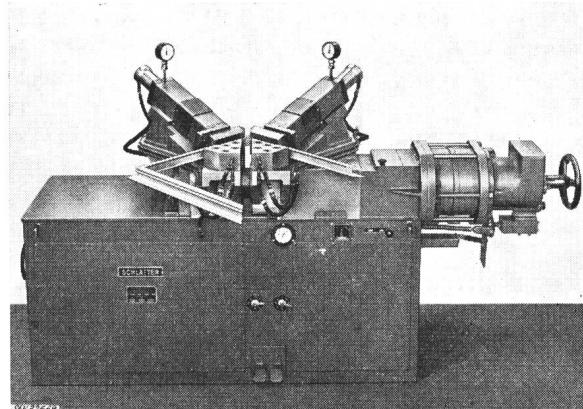


Fig. 13  
Vollautomatische Abbrenn-Stumpfschweissmaschine  
für Gehrungsschweissung

Das Schweissen grosser Massivquerschnitte erfordert allerdings besondere Massnahmen, d. h. die Verwendung eines niederfrequenten Schweißstromes zwecks Unterbindung des Stromverdrängungseffektes im Werkstück. Praktische Erfahrungen haben außerdem bestätigt, dass der Anwendung hoher spezifischer, schlagartig einsetzender Stauchdrücke und kurzer Schweiss- bzw. Erhitzungszeiten für die Bildung eines technologisch günstigen Materialgefüges in der Schweisszone und damit hochwertiger Schweissqualität grosse Bedeutung kommt.

#### Adresse des Autors:

E. Wegmann, Ingenieur, H. A. Schlatter A.-G., Zollikon (ZH).

## Technische Mitteilungen — Communications de nature technique

### Die Schiffahrtsanlagen des Kraftwerks Birsfelden

621.311.21(494.232.2) : 626.4

Am zweiten Novembersonntag 1954 ist mit dem Aufstau des Rheins durch Schliessen der Schützen des Kraftwerks Birsfelden begonnen worden. Damit wurde der Schiffahrtsweg im Rheinbett unterbrochen. Schon am 12. November 1954 wurden die zur Aufrechterhaltung der Schiffahrt über diese Staustufe hinweg geschaffenen Anlagen offiziell eingeweiht. Das Personenboot «Rheinfelden» benützte als erstes die Schleuse und trug auf dieser Fahrt die Spalten der Regierung der Kantone Basel-Stadt und -Landschaft, der eidg. Behörden und derjenigen des Landes Baden-Württemberg, sowie Vertreter weiterer Fachkreise von Basel flussaufwärts. Im schönsten Novembersonnenschein flatterten die vier Fahnen der Staaten und Kantone, deren Vertreter auf dem Schiff mitfuhren, begleitet vom Verwaltungsrat, der Direktion und der Bauleitung der Kraftwerk Birsfelden A.G. Unter Kanonenschüssen und Freudenraketen näherte sich das Schiff dem unteren Schleusentor, gemächlich an dem

der Vollendung entgegengehenden Maschinenhaus des Kraftwerks vorüberziehend. Die Ufer waren gesäumt mit dichten Zuschauerreihen. Die Birsfelder Schuljugend, die von den Mauerkrönen der Schleuse Besitz ergriffen hatte, gab ihrer Freude über den schulfreien Vormittag durch lauten Jubel Ausdruck.

Nachdem das mit 60 m<sup>3</sup>/s einströmende Wasser das Schiff gehoben hatte, galt es vor der Weiterfahrt das symbolisch über die Schleuse hinweggespannte Band zu zerschneiden. Der Präsident der Kraftwerk Birsfelden A.-G., Regierungsrat Kaufmann, Sissach, vollzog diesen feierlichen Akt unter Würdigung seiner Bedeutung für die Zukunft der Schiffahrt und als Zeichen der Zusammenarbeit zweier Schweizer Kantone im Einvernehmen mit dem Land Baden-Württemberg.

Die Birsfelder Kraftwerks- und Schiffahrtsanlagen sind generell beschrieben worden<sup>1)</sup>. Das untere Schleusentor ist ein Stemmtor üblicher Bauart, wogegen das obere als

<sup>1)</sup> H. Leuch: Das Kraftwerk Birsfelden, Bull. SEV Bd. 42 (1951), Nr. 18, S. 689..692.