

Zeitschrift: IABSE congress report = Rapport du congrès AIPC = IVBH
Kongressbericht

Band: 2 (1936)

Artikel: Einfluss des Schweissens auf die inneren Spannungen

Autor: Sarazin, R.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-2692>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 02.02.2025

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

IIIb 1

Einfluß des Schweißens auf die inneren Spannungen.

Influence du soudage sur les efforts internes.

The Influence of Welding on Internal Stresses.

R. Sarazin,

Ingénieur Soudeur, Neuilly-sur-Seine.

Die Spannungen, die beim Schweißen in stählernen Werkstücken hervorgerufen werden, sind mannigfaltiger Art; sie erstrecken sich in zwei Richtungen und verursachen in dem der Schweißnaht benachbarten Werkstoff zusätzliche Beanspruchungen, die verhältnismäßig schwer kontrollierbar sind.

Man war lange der Meinung, daß die Messung der Schrumpfung des bei der Schweißung aufgetragenen Materials ein ziemlich genaues Bild von dem Wert der beim Übergang vom plastischen zum kristallinen Zustand verursachten Beanspruchungen ergäbe.

Die Schrumpfung einer mittels Lichtbogenschweißung hergestellten Naht äußert sich durch eine Quer- und eine Längszusammenziehung. Es ist schwierig, den Anteil der Beanspruchungen, der auf die Schrumpfung des Schweißwerkstoffes entfällt, von demjenigen zu trennen, der durch die Erwärmung des Grundwerkstoffes bedingt ist, welcher beim Schweißen auf eine Temperatur in der Nähe des Schmelzpunktes gebracht wird und dann mehr oder weniger langsam auf die Umgebungstemperatur abgekühlt wird.

In der vorliegenden Abhandlung werden wir versuchen, eine Unterscheidung der beiden Vorgänge zu machen und zwar für den einfachen Fall der Auftragung einer Schweißraupe auf ein breites Flachstahlstück.

Wenn man Bleche oder Flachstahlstäbe durch eine Stumpfnahht verbindet, so findet eine so starke Zusammenziehung in der Naht statt, daß die Elastizitätsgrenze in dem Auftragsmetall in der Nähe der Bleche überschritten, und eine bleibende Dehnung hervorgerufen werden kann.

Begnügt man sich dann damit, die auf die Schweißung folgende Schrumpfung durch zwei symmetrisch zur Achse der Naht angebrachte Merkzeichen zu messen, so kann man einen groben Fehler begehen, wenn man den ursprünglichen Abstand zwischen den beiden Merkzeichen z. B. durch Hämmern wieder herzustellen sucht, wie wir es gelegentlich einer Mitteilung an den Kongreß für Autogenschweißung in Rom 1934 bewiesen. Das Hämmern kann einen viel schlimmeren Fehler verursachen als das Übel an sich, da das Auftragsmetall dadurch weit über das richtige Maß hinaus erhärten kann.

Die Kontrolle einer Schweißstelle muß sich unbedingt auch auf die Untersuchung des Grundwerkstoffes in der Nähe der Schweißnaht erstrecken; seit

ungefähr 5 Jahren haben wir eine Markierungsmethode entwickelt, die wir inzwischen immer weiter vereinfacht und verbessert haben.

1. Methode für das Anbringen der Merkzeichen bei den Schweißstellen.

Diese Markierungsmethode ist auf dem Kongress für Schweißung in Rom beschrieben worden; wir beschränken uns daher auf eine kurze Beschreibung und bitten den Leser, Einzelheiten im vorgenannten Bericht nachlesen zu wollen.

Im Laufe unserer zahlreichen Versuche zur Nachprüfung der Schrumpfung in geschweißten Bauteilen haben wir feststellen können, daß die auf dieses Schrumpfen zurückzuführenden inneren Spannungen über die Bleche nicht gleichmäßig sondern sehr unterschiedlich verteilt waren, wobei die Spannungen in einem gewissen Abstand von der Schweißnaht ungefähr konstant waren, in einem Abstand von 30 bis 40 cm zu steigen begannen und ihren Höchstwert an der Kontaktstelle mit dem Schweißwerkstoff erreichten.

In bestimmten Fällen konnte die fortschreitende Bildung dieser inneren Spannungen im Verlaufe der Schweißung beobachtet werden. Ebenso eine Änderung des Dehnungs-Koeffizienten, die in der Nähe der Schweißnaht zu einer Umkehrung der Beanspruchung führen kann, so daß an Stelle der Dehnung eine Zusammenziehung auftritt. In den meisten Fällen brachten aber die letzten Schweißarbeitsgänge die Druckspannung zum Verschwinden und bewirkten eine Dehnung der ganzen Schweißstelle.

Wir waren der Ansicht, daß sich diese in der Nähe der Schweißnaht auftretende Wechselwirkung: Dehnung — Zusammenziehung — Dehnung, durch das Zusammenwirken von Quer- und Längszusammenziehungen erklären ließe, wodurch sehr erhebliche Veränderungen der inneren Spannungen auftreten können.

Wir werden später bei der Untersuchung der Stumpfschweißung von breiten Flachstählen sehen, wie sich zwei geschweißte Streifen verhalten und wie sich die inneren Spannungen in der Nähe der Schweißnaht verteilen.

Wir bedienen uns bei diesen Untersuchungen des Verfahrens, die zu schweißenden Bleche zu markieren und die Lageveränderungen der Meßpunkte im Laufe der fortschreitenden Schweißarbeit nachzuprüfen; diese Marken sind sehr schwer anzubringen, und es ist oft außerordentlich schwierig, Messungen auf $\frac{1}{1000}$ m genau auszuführen.

2. Beschreibung des R. Sarazin-Tensiometers.

Diese Schwierigkeit wurde dank unserer neuen Meßmethode, die für nahe aneinander liegende Meßpunkte durchgebildet ist, sowie dank der Benutzung eines „Tensiometers“ genannten Apparates und der Anwendung eines besonderen Eindruckverfahrens (Körnerschlag) behoben.

Die Meßpunkte werden mit einem besonderen Körner eingeschlagen, der einen ganz bestimmten Abstand ergibt, welcher so bemessen ist, daß die Veränderungen in sicherer Weise in den Bereich der durch das Gerät möglich gemachten Ablesungen gebracht werden. Es ist selbstverständlich, daß ein sehr empfindliches Gerät keine sehr ausgedehnte Teilung aufweisen kann. Der erwähnte Körner gibt die Möglichkeit, die Marken in einem genügend gleichmäßigen Abstand mit einer Toleranz von $\frac{1}{10}$ oder höchstens $\frac{2}{10}$ mm zu setzen. Für unsere Versuche haben wir einen Abstand von 25 mm zwischen den Marken gewählt.

Nach zahlreichen Versuchen haben wir uns für ein Eindrückverfahren entschieden, das absolut genaue Ablesungen ermöglicht und das darin besteht, kleine Löcher von $2\frac{1}{2}$ mm \varnothing und $1\frac{1}{2}$ mm Tiefe zu bohren, und zwar in den Körnerschlag, der mit dem oben erwähnten Körner hergestellt wurde. Auf diese Löcher setzen wir eine Kugel von 3 mm \varnothing ; die Kugel hinterläßt bei Schlag auf dem Rand des Loches eine kugelförmige Prägung. Die Abtaster des Tensiometers sind ebenfalls mit Kugeln versehen; die Verschiebung der Marken wird also keinen wesentlichen Fehler herbeiführen, da die Kugelform des Sitzes während der elastischen Formänderung deutlich beibehalten wird.

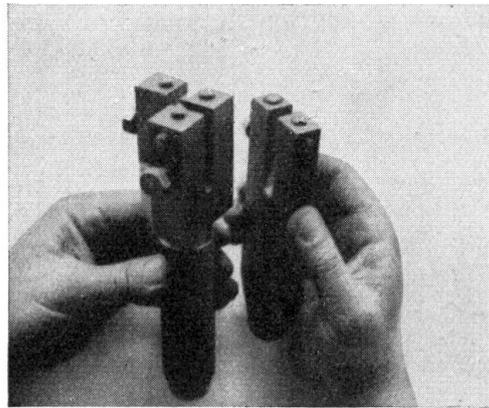


Fig. 1.

Körner mit regelbarem Abstand zum Eindrücken der Meßmarken in 1 oder 2 Richtungen.

Das Tensiometer selbst besteht aus einem festen Arm, der mit einem Gehäuse fest verbunden ist und eine besondere Lehre trägt; ein beweglicher Arm, der um einen Festpunkt drehbar gelagert ist, bildet einen übersetzten Hebelarm und drückt auf den Abtaster der Lehre. Das Gerät gibt genaue Ablesungen; jeder Teilstrich der Lehre entspricht einem Tausendstel Millimeter und mit etwas Übung kann man mit Sicherheit auf $\frac{1}{1000}$ mm genau ablesen.

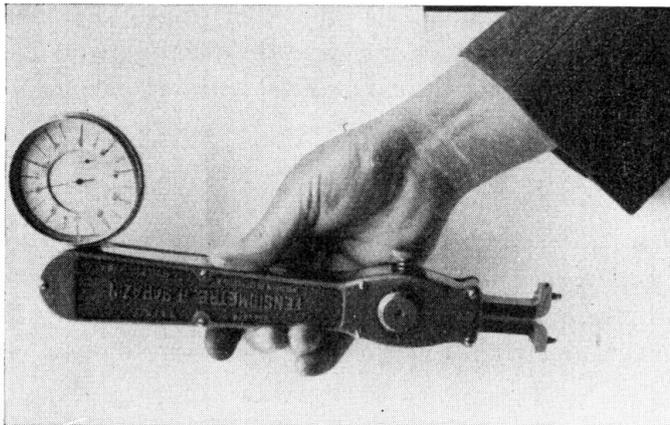


Fig. 2.

Dehnungsmesser oder Tensiometer nach R. Sarazin, in der Hand des Prüfers.

Der Abstand zwischen den Marken wurde mit 25 mm gewählt, das entspricht einer inneren Beanspruchung von $0,8 \text{ kg/mm}^2$ für den Zeigeranschlag von der Größe einer Einheit.

Das Gerät und die Meßmethode zeigen also eine Veränderung der Beanspruchung von 1 kg/mm^2 oder maximal 2 kg/mm^2 noch genau an.

Die beiliegende Photographie zeigt das Tensiometer, in der Hand gehalten zwecks Messung der Merkzeichen an Blechen. Das Gerät wiegt kaum 1 kg, ist handlich und gestattet, die Messungen selbst an schwer zugänglichen Stellen vorzunehmen. Seine versetzte Lehre erlaubt es ohne Schwierigkeit, an eine senkrechte Wandung zu gelangen, auch dann, wenn das erste Merkzeichen 15 mm vom Fuß der Wandung entfernt angebracht wird, wie im Fall des Innenwinkels von U- oder I-Trägern.

Im Nachstehenden werden wir verschiedene Fälle untersuchen, in denen das Tensiometer die Messung der durch das Schrumpfen der Schweiße hervorgerufenen inneren Spannungen ermöglichte; diese Messungen dienen zum Feststellen der nach Ausführung einer Schweißnaht in deren Nähe auftretenden Spannungen.

3. Messungen an einem breiten Flachstahl nach Auftragen einer Schweißraupe.

Die nachstehende Zeichnung zeigt die einfachste Art der Ausführung einer Lichtbogenschweißung, d. h. das Auftragen einer Schweißraupe auf einem Blech oder auf einem breiten Flachstahl. Man sieht, daß die Markierungsmethode in Verbindung mit dem Tensiometer zu sehr interessanten Feststellungen führte.

Die Tafel I zeigt, daß auf einem 10 mm starken Flachstahl die Ausführung einer Schweißraupe eine Zusammenziehung in der Längsrichtung hervorruft, die bei einem Meßpunktabstand von 25 mm durchschnittlich $\frac{50}{1000}$ mm beträgt; das bedeutet für einen Baustahl von 40 kg/mm^2 Bruchfestigkeit ein ausgesprochenes Überschreiten der Elastizitätsgrenze.

In 25 mm Abstand von der Naht beträgt diese parallel zur Naht gemessene Längszusammenziehung noch $\frac{20}{1000}$ bis $\frac{25}{1000}$ mm, was einer örtlichen Beanspruchung von ungefähr 8 kg/mm^2 entspricht. In der Querrichtung beträgt die gemessene Zusammenziehung ca. $\frac{280}{1000}$ mm; das bedeutet eine ganz erhebliche Überschreitung der Elastizitätsgrenze, und es ist klar, daß eine so bedeutende Kontraktion im Falle eines genügend langen Bleches in den der Schweißraupe zunächst liegenden Teilen eine Reckung hervorrufen würde. Wir haben diese verschiedenen Werte in Tafel I in Form zweier Kurven dargestellt; die Kurve A zeigt die Zusammenziehung in der Querrichtung, die Kurve B diejenige in Längsrichtung.

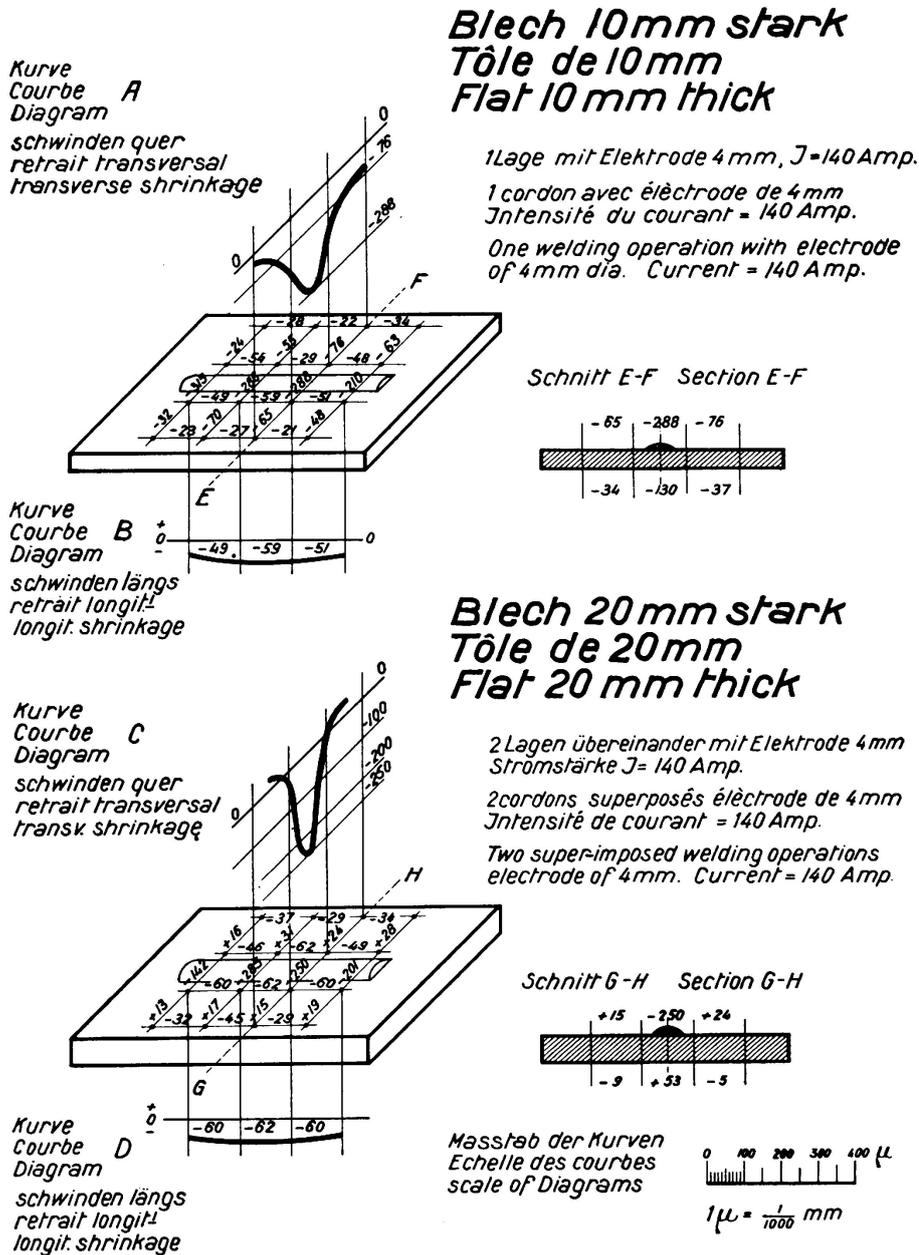
Wir haben festgestellt, daß in einem Blech von 10 mm Dicke die auf der Rückseite gemessenen inneren Spannungen die gleiche Richtung, aber einen kleineren Wert aufweisen als die auf der Vorderseite gemessenen; man kann daher mit Bestimmtheit sagen, daß der Vorgang sich auf die ganze Masse des Werkstoffes überträgt und sich allmählich, je nach der Dicke des Werkstoffes, verliert.

Wir wollten den gleichen Vorgang an einem Blech von 20 mm Dicke beobachten, um festzustellen, ob es sich auch tatsächlich so verhält, und wir haben festgestellt, daß es eine innere neutrale Zone gibt, da die Beanspruchungen auf der der Schweißnaht gegenüberliegenden Seite das umgekehrte Vorzeichen annehmen.

Die Kurve C zeigt die Veränderungen in der Querrichtung in Tausendstel Millimetern, d. h. der Unterschied, zwischen dem Wert, der vor der Schweißung

zwischen den Meßpunkten abgelesen wurde, und dem Wert nach der Ausführung von 2 normalen übereinanderliegenden Schweißraupen mit einer Elektrode von 4 mm \varnothing und bei einer Stromstärke von 140/150 A.

Das geschweißte Probestück ist so ziemlich eben geblieben; übrigens zeigt die Untersuchung der Veränderungen recht deutlich, daß wir es neben einer Aus-



Tafel I.

dehnung mit einer Zusammenziehung zu tun haben, was einen Zustand des ungefähren Gleichgewichtes vermuten läßt.

Man sieht, daß auf der Seite, auf der die Schweißraupe aufgebracht wurde, eine sehr starke Zusammenziehung beidseitig des Schweißgutauftrages stattfindet, welche bewirkt, daß in einer ziemlich dicken Werkstoffschicht die Elastizitätsgrenze überschritten wird, während auf der andern Seite eine sehr starke

örtliche Ausdehnung auftritt; die Kurven zeigen die örtlichen Werte der inneren Spannungen.

Es ist sicher, daß die von uns bei der Auftragung einer Schweißraupe festgestellten Vorgänge einerseits auf die örtliche Erwärmung der Bleche auf eine Temperatur von 1000° bis 1200° , und andererseits auf eine Abkühlung zurückzuführen sind, die sich durch eine Zusammenziehung äußert. Beide Zusammenziehungen bestimmen die Größe der inneren Gesamtspannung.

Die folgenden Versuche zeigen welcher Anteil den beiden Vorgängen beim Entstehen der inneren Spannungen zukommt.

4. Messungen des Schrumpfens bei Probestücken, die der Hitze des Lichtbogens ausgesetzt waren, ohne daß ein Metallauftrag stattgefunden hat.

Auf einem Probestück aus Blech von 10 mm Dicke, das genau dem unter (3) verwendeten entspricht, haben wir eine örtliche Erwärmung mittels eines Lichtbogens mit Graphitkohle vorgenommen und zwar mit Hilfe einer Maschine, um Gleichmäßigkeit zu gewährleisten. Die Länge war dieselbe wie bei der Schweißraupe.

Durch dieses Vorgehen wurde erreicht, daß das Probestück denselben Bedingungen unterworfen war wie beim Auftragen einer Schweißraupe, wobei wir aber nur die Erwärmung des Bleches in Erscheinung treten lassen, die Schrumpfung des aufgetragenen Schweißwerkstoffes dagegen ausschalten.

Um die für das Schmelzen der Elektrode selbst benötigte Wärmemenge zu berücksichtigen, wurde die Stromstärke im Lichtbogen von 140 auf 100 Ampère herabgesetzt, eine Graphitkohle von 6 mm benutzt und mit der gleichen Geschwindigkeit wie bei Benutzung einer normalen Elektrode von 4 mm gearbeitet.

Die Resultate sind auf Tafel II zusammengefaßt. Sie zeigen, daß die Schrumpfung in der Längsrichtung $15/1000$ bis $25/1000$ mm beträgt, gegenüber den zuvor gefundenen $50/1000$ mm; die Schrumpfung in der Querrichtung beträgt im Durchschnitt $200/1000$ mm, gegenüber $280/1000$ mm bei dem Probestück mit tatsächlich aufgetragener Schweißraupe.

Diese Zahlen zeigen, daß die Schrumpfung der Bleche bei einem Probestück von 10 mm Dicke einen großen Teil der Gesamtschrumpfung darstellt, wie sie bei einer unmittelbar auf die Bleche aufgetragenen Schweißraupe auftritt.

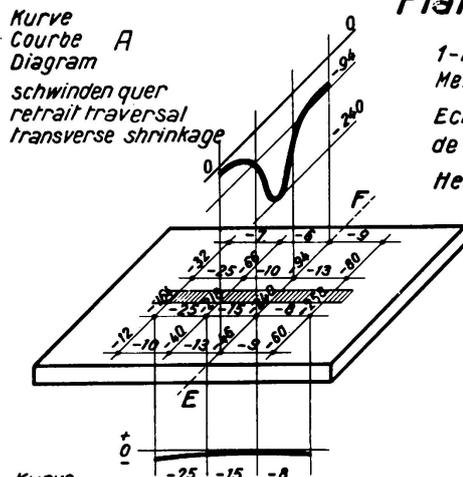
Bei einem Probestück von 20 mm Dicke haben wir zwei Arbeitsvorgänge unter den gleichen, oben angegebenen Bedingungen ausgeführt und feststellen können, daß die mittlere Schrumpfung in der Querrichtung $215/1000$ mm beträgt gegenüber $250/1000$ mm für das Probestück von gleicher Dicke (Blatt I), bei welchem zwei Schweißraupen aufgetragen worden waren. Die Schrumpfung in der Längsrichtung betrug nur $15/1000$ bis $20/1000$ mm gegenüber $50/1000$ bis $60/1000$ mm für das entsprechende Probestück mit aufgebrachtener Schweißraupe.

Auf der Rückseite des Bleches findet man in der Mitte eine Dehnung und etwas weiter davon eine leichte Zusammenziehung.

Zusammenfassend kann man sagen, daß bei einer auf eine Platte aufgetragenen Schweißraupe dem eigentlichen Auftragen von Metall etwa 30 % der Deformationen zuzuschreiben sind, während die durch das Schweißen eintretende Erwärmung der Bleche und die darauffolgende Abkühlung die Hauptursache

für die Verformungen darstellt; diese Behauptung muß nachgeprüft werden und gilt nur für diesen besonderen Fall.

**Blech 10 mm stark
Tôle de 10 mm
Flat 10mm thick**

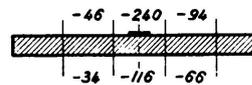


1-malige Erhitzung des Bleches ohne Metall aufzubringen. J= 100 Amp.

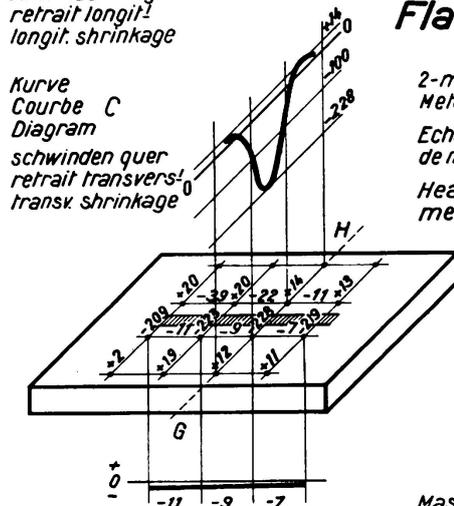
Echauffement de la tôle sans dépôt de métal: 1 passe. J= 100 Amp.

Heating of plate without depositing weld-metal: one operation. J=100 Amp.

Schnitt E-F Section E-F



Kurve
Courbe B
Diagram
schwinden längs
retrait longit.
longit. shrinkage



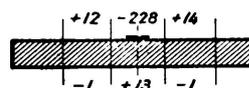
**Blech 20 mm stark
Tôle de 20 mm
Flat 20 mm thick**

2-malige Erhitzung des Bleches ohne Metall aufzubringen. J= 100 Amp.

Echauffement de la tôle sans dépôt de métal: 2 passes. J= 100 Amp.

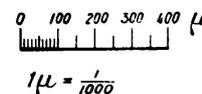
Heating of plate without depositing weld-metal: two operations. J=100 Amp.

Schnitt G-H Section G-H



Kurve
Courbe D
Diagram
schwinden längs
retrait longit.
longit. shrinkage

Masstab der Kurven:
Echelle des courbes:
Scale of Diagrams:



Tafel II.

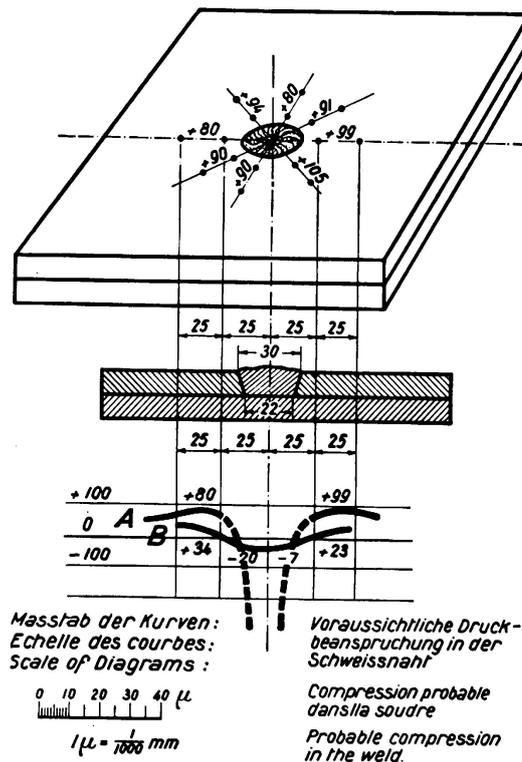
5. Untersuchung des Schrumpfens bei einer runden Schweißung, einer sogenannten „Zapfen“-Schweißung oder „Falschnietung“.

Für diesen Versuch wurden zwei Stahlbleche von 10 mm Dicke benutzt. In der Mitte eines dieser Bleche wurde ein konisches Loch von 22 mm \varnothing am unteren und 30 mm \varnothing am oberen Rand gebohrt. Dieses Loch wurde deshalb so gebohrt um eine gute Einwirkung des Lichtbogens auf das untere Blech zu ge-

währleiten. Die Schweißung wurde zuerst mit einer Elektrode von 3 mm \varnothing und dann mit einer solchen von 4 mm \varnothing ausgeführt, bis das Loch ausgefüllt war.

Eine derartige Zapfen-Schweißung ist ziemlich schwierig auszuführen und gibt zu manchen Fehlern Anlaß; es war jedoch interessant nachzuprüfen, wie sich diese Schweißung in Bezug auf das Schrumpfen verhielt und festzustellen, ob die Achsen der inneren Spannungen auch tatsächlich Radien sind, die im Mittelpunkt des Loches zusammenlaufen.

Zu diesem Zwecke wurde die obere Seite des Bleches wie in der Figur gezeigt markiert, desgleichen die Rückseite des zusammengesetzten Probestückes. Die auf Tafel III dargestellten Kurven geben die gemessenen Werte wieder. Die Ab-



Tafel III.

Lochschweißung.

Kurve A: Messungen zwischen den Marken auf der Vorderseite.

Kurve B: Messungen zwischen den Marken auf der Rückseite.

messungen am Tensiometer *R. Sarazin* ergaben ganz eindeutig die folgenden Resultate: Auf der Vorderseite zeigten sich die Formänderungen als radiale Ausdehnungen, die gefundenen Werte zwischen $\frac{80}{1000}$ und $\frac{100}{1000}$ mm stimmen überein. Auf der Rückseite des Probestückes ergab sich an den Meßpunkten in der Mitte eine Verkürzung von $\frac{7}{1000}$ mm, die Mehrzahl der benachbarten Meßpunkte zeigte eine Ausdehnung von $\frac{25}{1000}$ bis $\frac{30}{1000}$ mm, an gewissen Meßpunkten trat dagegen eine merkliche Verkürzung auf (s. Kurven A und B., Tafel III).

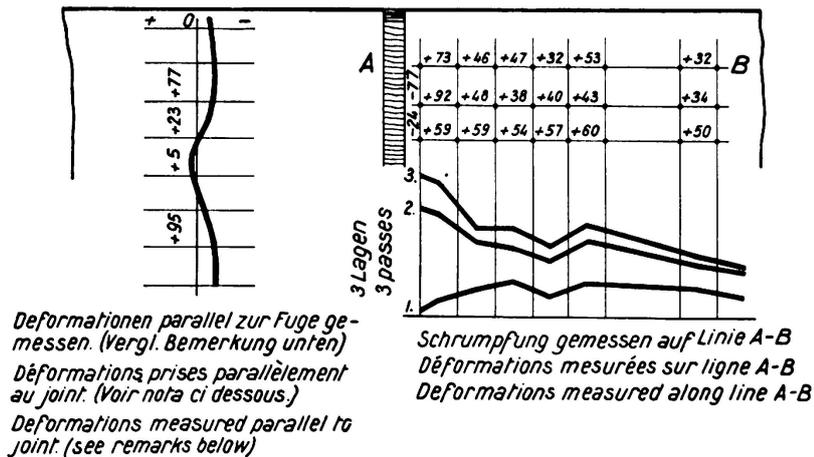
6. Stumpfschweißung von zwei Flachstählen (Tafel IV).

Die Stumpfschweißung von zwei Flachstählen läßt eigentümliche Vorgänge in Erscheinung treten und zwar in der Hinsicht, daß die inneren Spannungen verschieden verteilt sind, je nach dem Verhältnis der Dicke des Probestückes zu seiner Breite.

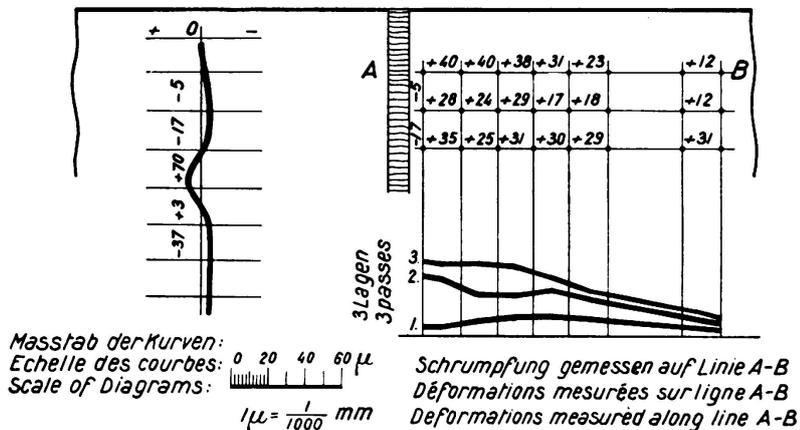
In der Tat setzt sich die Zusammenziehung in der Längsrichtung mit derjenigen der Naht in der Querrichtung zusammen und je nach der Anordnung der Schweißschichten zeigen sich sehr charakteristische Ergebnisse.

Bei Flachstählen von 8 mm Dicke und 250 mm Breite haben wir festgestellt, daß eine sehr deutliche Veränderung der inneren Spannungen selbst und ihrer

Zusammengehaltene Stücke
Pièces Bridées
Tacked pieces



Freie Stücke Pièces libres Pieces not held together



Tafel IV.

Stumpfschweißung zweier Flachstähe von 250 mm Breite und 8 mm Dicke.
Bemerkung: Der Übergang von Zug auf Druck läßt sich durch die geringe Breite der Probestücke erklären.

Verteilung stattfindet, und zwar je nachdem, ob die Stücke beim Schweißen freiliegend oder eingespannt waren.

Die Kurve auf Blatt IV zeigt die Verteilung der Spannungen bei freiliegenden Blechen und man sieht, daß man in einem Zustand von 25 mm von der Naht in einer zur Naht senkrecht stehenden Achse mit einer Zugspannung von maximal ungefähr 20 bis 24 kg/mm² rechnen kann. Die erste Schweißlage bewirkt eine

Dehnung mit nach der Naht zu steigenden Werten, deren Höchstwert in der Nähe der Schweißraupe erreicht wird.

Für die zweite Schweißlage steigert sich die Ausdehnung und die Kurve neigt zu einer Einbuchtung in der Nähe der Schweißnaht; wir haben festgestellt, daß dies zweifellos auf die Zusammenziehung in der Längsrichtung zurückzuführen ist, die in Verbindung mit den Ausdehnungsbeanspruchungen eine Verminderung des Ausdehnungswiderstandes zur Folge hat.

Die dritte Schweißlage ändert die Einbuchtung der Kurve, die ausschließlich steigenden Wert annimmt.

Zusammenfassend kann man sagen, daß bei zwei stumpf geschweißten Flachstählen von 8 mm Dicke, die bei der Schweißung frei lagen, etwa 200 mm von der Naht entfernt die allgemeine Ausdehnung einer Beanspruchung von etwa 8 kg/mm² entspricht; in einer Entfernung von 100 mm einer solchen von etwa 10 kg/mm² und bei 25 mm Entfernung von der Naht wird die größte Ausdehnung, gleich einer ungefähren Beanspruchung von 20 kg/mm² erreicht.

Bei den gleichen aber eingespannten Probestücken, bei denen die Enden auf einer großen Richtplatte festgeschweißt waren, so daß sie sich in keiner Weise mehr bewegen konnten, sind die Werte bedeutend höher; bei 200 mm Entfernung entspricht die allgemeine Ausdehnung einer Beanspruchung von etwa 10 bis 12 kg/mm², bei 100 mm einer Beanspruchung von ungefähr 20 kg/mm² und bei 25 mm von der Schweißnaht beträgt die innere Höchst-Beanspruchung 30 bis 35 kg/mm²; die Elastizitätsgrenze ist für den gebräuchlichen Baustahl überschritten.

Die Verformungen in der Längsrichtung auf einer zur Naht parallelen Linie und im geringen Abstand von ihr zeigen manchmal einige Verschiedenheit, auf die wir später näher eintreten werden; wir haben tatsächlich festgestellt, daß die Verformung sich an einigen Stellen als eine Zusammenziehung und an anderen benachbarten Stellen als eine Dehnung äußert. Es ist deshalb interessant, die Ursache für diese Schwankungen festzustellen, denn wir haben eine wenn auch nicht ganz einheitliche, so doch ziemlich regelmäßige Zusammenziehung bei stärkeren Probestücken festgestellt.

7. Überlappte Schweißung von zwei Flachstählen (Tafel V).

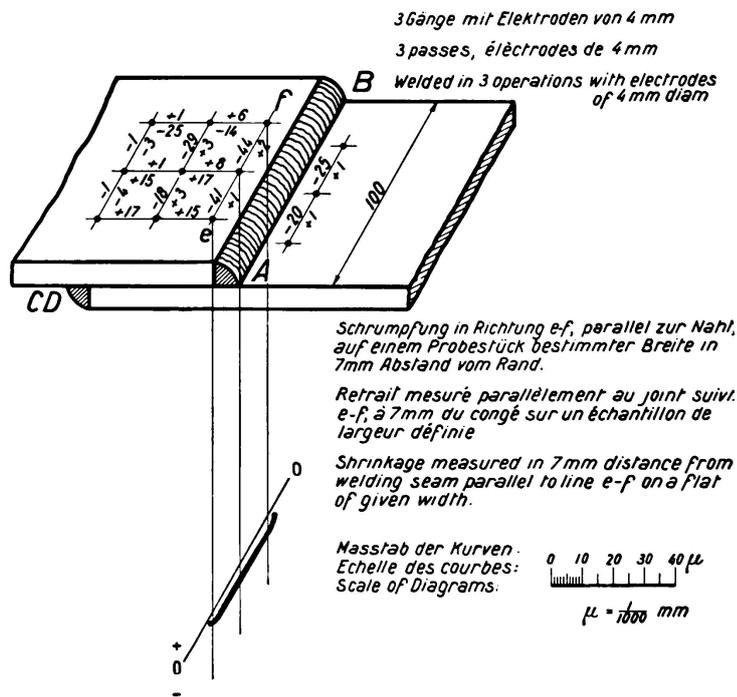
Diese Verbindungsart, die „überlappt“ genannt wird, ist eine Nachbildung der genieteten Verbindung; sie wurde zu Beginn der Entwicklung der Schweißtechnik zur Verbindung von Bauteilen besonders im Schiffbau angewandt und findet heute noch bei Stahlkonstruktionen in einigen Fällen Anwendung.

Diese Art der Verbindung ist nicht immer vorteilhaft, denn sie bewirkt eine Beanspruchung der Naht auf Abscherung und andererseits bedingt sie einen bedeutenden Auftrag von Metall, wodurch sie unwirtschaftlich wird.

Es ist jedoch interessant zu untersuchen, wie sich die geschweißten Teile verhalten, und wir haben deshalb eine überlappte Verbindung von 2 breiten Flachstählen von 10 mm Stärke, die vorher markiert worden waren, ausgeführt; Blatt V zeigt das geschweißte Probestück. Zwischen jedem Paar Meßpunkte haben wir zwei Werte eingetragen; der erste Wert wurde abgelesen nach Ausführung der Naht A—B in drei Schweißlagen mit Elektroden von 4 mm \varnothing bei einer Stromstärke von 140 Ampère.

Die nach dieser ersten Schweißung festgestellten Werte haben gezeigt, daß die Überdeckung der Nahtlinie groß genug war, um eine Verkürzung von ungefähr $\frac{40}{1000}$ mm auf dem Rand der linken Platten und eine Verkürzung von ungefähr $\frac{20}{1000}$ mm an der rechten Platte zu verursachen.

Man wird bemerken, daß diese beiden Verkürzungen zur Ausdehnung beigetragen haben, die man auf einer Senkrechten zur Naht vorfindet; die Ausdehnung ist teils auf die Quersammenziehung der Naht und zum Teil auf die Längszusammenziehung des aufgetragenen Schweißwerkstoffes zurückzuführen. In der Tat bewirkt letztere Kontraktion dadurch, daß sie den Stahl in der Querrichtung verkürzt, eine Dehnung in unmittelbarer Nähe.



Tafel V.

Überlappungsschweißung von 2 Flachstählen von 10 mm Dicke.

Bemerkung: Die 1. Zahl zwischen den Meßmarken gibt die Längenänderung nach Ausführung der Naht A B. Die 2. Zahl gibt die Längenänderung, die eingetreten ist nach Ausführung der Naht C D.

Die 2. Zahl ist zur ersten algebraisch zu addieren, um den Endzustand zu erhalten.

Nach Ausführung der Naht A—B wurde das Stück umgedreht, um die Naht C—D unter den gleichen Bedingungen auszuführen. Daraufhin wurden auf den Meßpunkten, die wir zuvor abgelesen hatten, neue Messungen vorgenommen. Diese ergaben eine leichte Veränderung und es ist zu beachten, daß diese neuen Ablesungswerte zu den bereits behandelten addiert werden müssen, um den Endzustand in der Naht nach der Schweißung zu erhalten.

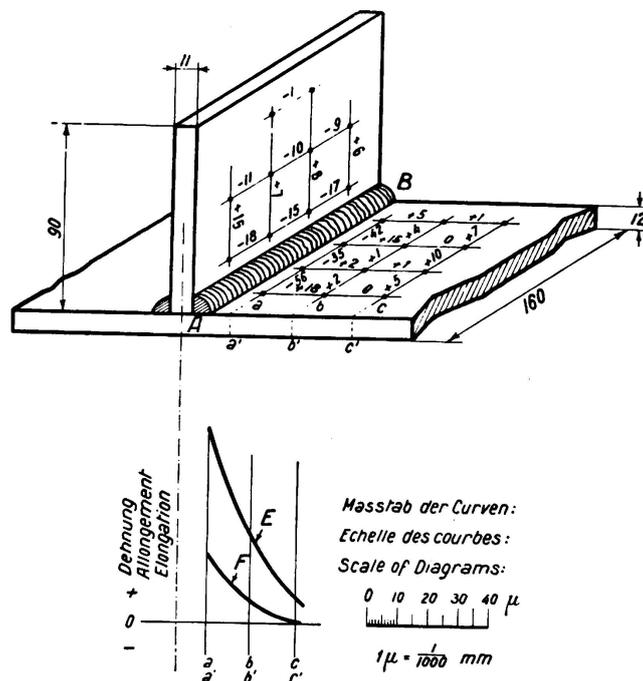
Die Messungen, die wir auf einer zur Naht parallel verlaufenden Linie ausgeführt haben, haben gezeigt, daß die Schrumpfung ziemlich regelmäßig verläuft, so wie es durch die Kurve (Tafel V) dargestellt ist.

8. Kehlnaht-Verbindung zweier Flachstähle (Tafel VI).

Blatt VI zeigt diese Verbindungsart, die man bei Stahlkonstruktionen am häufigsten findet; es ist interessant, nachzuprüfen, wie die Beanspruchungen auf die einzelnen Elemente verteilt sind.

Zu diesem Zweck wurde die Fußplatte auf der Vorderseite und auf der Rückseite markiert; die gleiche Markierung wurde auf den beiden Flächen des Steges vorgenommen. Die Markierungen wurden mit einem regelmäßigen Abstand von 25 mm mit Hilfe der besonderen Körner ausgeführt.

Durch die Anbringungsweise des Tensiometers war es möglich, Markierungen bis auf 15 mm in den Winkel oder auf 5 mm an den Rand der Schweißnaht



Tafel VI.

Kehlnahtverbindung zweier Flachstähle.

3 Lagen, 4 mm starke Elektroden. Stromstärke 140 A.

Die Nähte AB und CD sind abwechslungsweise hergestellt worden.

Bemerkung: Die Grundplatte wurde auf beiden Seiten ausgemessen;

die Kurven E und F zeigen die Größe der Formänderungen.

E auf der Rückseite senkrecht zu AB gemessene Formänderungen.

F auf der Vorderseite senkrecht zu AB gemessene Formänderungen.

heranzuführen. Die Messungen waren deshalb umso charakteristischer. Es scheint im allgemeinen, daß bei dieser Verbindungsart keine großen Veränderungen im Steg und auf dem oberen Teil der Fußplatte auftreten; dagegen zeigt die Rückseite der Fußplatte, d. g. die der Schweißnaht entgegengesetzte Seite eine sehr starke Ausdehnung, die sich übrigens auch durch die Neigung der Fußplatte, sich zu biegen, bemerkbar macht.

Die Winkel, die das Schweißgut aufnehmen, neigen dazu, sich zu verkleinern, doch zeigt sich diese Erscheinung nicht bei starren Stücken.

Bei der Untersuchung der auf dem flachen Teil der Fußplatte und auf dem

Steg abgelesenen Werte bemerkt man, daß die Zusammenziehung auf dem Steg nicht so stark ist. Es mußten zahlreiche Versuche mit verschiedenen Materialdicken durchgeführt werden, um die Ursache für diese Deformation des Steges genau zu ermitteln.

9. Anwendung des Tensiometers zur Feststellung der inneren Spannungen in einer geschweißten Konstruktion.

Nach den vorhergehenden Ausführungen könnte man glauben, daß die Untersuchung der inneren Spannung einer Konstruktion eine umfangreiche und kostspielige Markierung erfordere. Dem ist jedoch nicht so, denn für diese Zwecke ist es nicht notwendig, zahlreiche Meßpunkte anzuordnen, und nach den Erfahrungen, die wir bei der Verwendung des Apparates gemacht haben, genügen 3 oder 4 mit dem Körner in drei Richtungen längs der Nahtlinie verteilte Eindrücke, um 12 Marken zu erhalten, somit 12 Meß-Stellen, die vollauf genügen, um die Bedeutung des Vorganges festzustellen.

In der Praxis wird es zur Feststellung der inneren Spannungen nicht notwendig sein, auf der Vorder- und der Rückseite der geschweißten Konstruktionsteile Messungen vorzunehmen, denn wir haben gesehen, daß bei Materialdicken unter 10 mm die Deformationen auf der Rückseite um mehr als die Hälfte geringer sind als die, die auf der Schweißungsseite abgelesen werden. Es hat sich ferner gezeigt, daß bei Blechen von mehr als 20 mm Dicke diese Deformationen die umgekehrten sein können, aber ihr Wert wird sehr unbedeutend sein.

Die Verwendung des Tensiometers während der Schweißung einer Konstruktion wird es ermöglichen, die Unannehmlichkeiten, die aus dem Schrumpfen der Nähte entstehen können, zu vermeiden. Dies ist vor allem dann nötig, wenn die Konstruktion lang ist, denn die Schrumpfung kann bis 1 mm/m betragen, was bei einem Balken von 10 m eine Verkürzung von 1 cm ergibt, und deshalb nachteilig auf die Montage oder die Verteilung der Raster wirken kann.

Die Überwachung der inneren Spannungen während des Baues wird die Entstehung ungleichmäßiger Verhältnisse im Baustück vermeiden lassen; wir glauben, daß man in einer symmetrischen Konstruktion dank dieser Methode eine richtige Verteilung der Schrumpfungen erreichen müßte.

Es ist klar, daß man für die Berechnung der inneren Spannungen, die durch die Schweißung hervorgerufen werden, nur die elastischen Formveränderungen berücksichtigen muß; diese Spannungen können nach der Formel von Young leicht berechnet werden.

Zusammenfassend kann man sagen, daß geschweißte Konstruktionen fast immer an bestimmten Stellen eine Überschreitung der Elastizitätsgrenze des Werkstoffes aufweisen werden; unserer Ansicht nach ist dies ohne Bedeutung, denn die Konstruktion wird sehr schnell einen neuen Gleichgewichtszustand infolge der Wirkung der Betriebsbelastungen wiederfinden.

Einzelne Verfasser behaupten wohl mit Recht, daß ein leichtes Überschreiten der Elastizitätsgrenze den Vorteil der Orientierung der Werkstoffpartikel in der Richtung der Beanspruchungen aufweist, und es ist leicht deutbar, daß die geringe Erhärtung, die darauf erfolgt, ohne praktischen Einfluß auf die mechanischen Eigenschaften des Stahls bleibt.

10. *Beeinflussung und Verminderung der inneren Spannungen.*

Die vorgeschlagene Markierungsmethode und das von uns entwickelte Gerät haben es uns ermöglicht, die Verschiedenartigkeit der Verteilung der inneren Spannungen an den Knoten und sonstigen Stellen einer geschweißten Konstruktion genau kennen zu lernen.

Es gibt mehrere Methoden, um die inneren Spannungen zu vermindern und wir werden künftig versuchen, Schweißverfahren zu entwickeln, welche diese Spannungen auf den niedrigsten Wert zurückzuführen gestatten.

Zur Zeit können wir folgende allgemeine Empfehlungen machen:

Beim Schweißen von Konstruktionsteilen sollte man zuerst darauf achten, die einzelnen Elemente herzustellen, wobei man zunächst diejenigen schweißt, die stumpfgeschweißt werden müssen, und zwar so, daß die Formveränderung so klein wie möglich gehalten wird, wie wir es bei Tafel IV für freiliegende Stücke gesehen haben.

Danach führt man die Kehlnahtschweißungen aus, wie z. B. beim Zusammenfügen einer Fußplatte und eines Steges. Allgemein sollen die Kehlnähte gerade dick genug ausgeführt werden, um den Beanspruchungen, denen sie unterworfen sein werden, zu genügen, um das Schrumpfen in der Längsrichtung möglichst gering zu halten. In dieser Hinsicht haben wir festgestellt, daß die Kehlnähte oft zu dick bemessen sind und eine viel zu große Sicherheit geben, wodurch obige Bemerkung gerechtfertigt ist.

Wenn es sich darum handelt, Schweißnähte von großer Länge auszuführen, wird man mehrere Schweißer an derselben Naht gleichzeitig arbeiten lassen. Wenn die Teile sehr dick und von beiden Seiten zugänglich sind, so ist es von Vorteil, die Nahtstellen auf beiden Seiten durch Abfräsen der Kanten vorzubereiten, und die Schweißer auf beiden Seiten der Naht arbeiten zu lassen. Diese Arbeitsweise bietet auch Vorteile hinsichtlich der Verringerung der Verformungen.

Manche Ingenieure mögen sich wegen der Höhe der durch das Schweißen hervorgerufenen inneren Spannungen beunruhigen; doch können wir ihnen sagen, daß genietete Konstruktionen auch nicht frei von inneren Spannungen sind, und daß die Verwendung von Stanzen oder eine schlecht ausgeführte Nietung Spannungen auslösen kann, von denen wir annehmen, daß sie gleicher Art sind wie diejenigen, die sich aus unseren Versuchen ergaben; wir werden uns übrigens um die Untersuchung dieser Spannungen bemühen.

Es liegt Veranlassung vor, die Aufmerksamkeit der Schweißingenieure auf einen besonderen Punkt zu lenken, der die Schweißfähigkeit des für die Konstruktion verwendeten Stahles betrifft. Im Prinzip sind alle handelsüblichen Stähle gut schweißbar; für die Konstruktionen, bei denen es auf größere Sicherheit ankommt, wie z. B. Brücken, empfiehlt es sich jedoch festzulegen, daß der Stahl unter Zugrundelegung der auf diesem Gebiete angestellten Untersuchungen sich zum Schweißen eignet. Andererseits ist es zur Unterscheidung zweier Stahlsorten, die für einen Bau Verwendung finden können, notwendig, derjenigen Sorte den Vorzug zu geben, die nach Überschreitung der Elastizitätsgrenze fähig ist, im Verlaufe eines neuen Zugversuches die größte Dehnung vor dem Bruch auszuhalten. Diese Eigenschaft ist natürlich den mechanischen Eigenschaften, die sich

aus den für diese Art von Schweißarbeiten aufgestellten Vorschriften ergeben, gleichzusetzen.

Es gibt verschiedene Mittel, um die Verformungen zu verringern und zwar insbesondere: die Wahl der Elektrode, die Wahl der Stromstärke für eine gegebene Elektrode und schließlich die Wahl des Elektrodendurchmessers.

Bei der Verwendung von Schweißdrähten von großem Durchmesser und bei hohen Stromstärken erhitzt man eine breite Zone, und der Metallauftrag ist stellenweise bedeutend größer. Da das Werkstück länger warm bleibt, dehnt sich der Stahl und man kann feststellen, daß eine örtliche Schrumpfung von geringerer Bedeutung entsteht. Dies ist darauf zurückzuführen, daß eine breite Zone durch die sehr große Hitze des Lichtbogens geglüht worden ist; dies kann aber auch Nachteile mit sich bringen. Die Wahl des am besten geeigneten Durchmessers der Elektrode bedingt also einige Vorversuche, in dem Sinne, wie wir im Vorliegenden gezeigt haben.

Es gibt schließlich noch eine Art, um die inneren Spannungen zu verringern: es ist dies das Hämmern nach jeder Schweißlage, wobei dieses Hämmern systematisch vorgenommen werden muß, und zwar derart, daß die Werte der Schrumpfung, die zwischen den Merkzeichen abgelesen werden, nach jeder Schweißschicht auf die vorher vorhandenen Werte oder wenigstens angenähert auf diese Werte zurückgeführt werden. Wir haben in unserem Bericht auf dem Kongreß von Rom 1934 gezeigt, daß ein solches Hämmern die inneren Spannungen fast gänzlich aufzuheben gestattet, sofern beachtet wird, daß es mit Vorsicht ausgeführt wird, um ein unnützes Hartschlagen des aufgetragenen Metalls zu vermeiden.

Wir haben andererseits gezeigt, daß ein leichtes Hämmern der Kante der durch Schweißen verbundenen Stücke wirksam dazu beiträgt, die Spannungen zu beseitigen und wir haben genaue Angaben über die für bestimmte Probe­stücke erforderliche Leistung gemacht.

Die Betrachtung unserer Versuche löst sofort die wichtige Frage nach der Güte des durch die Schweißung aufgetragenen Metalles aus; die Elektrode muß so gewählt werden, daß ein gesunder und homogener Metallauftrag möglich ist, der eine gute Dehnung bei ausgezeichnete innerer Elastizität aufweist. Das aufgetragene Metall muß warm schmiedbar und kalt hämmerbar sein, ohne daß Haarrisse entstehen.

11. Benutzung des Tensiometers zur Feststellung des Arbeitens einer Fachwerk­konstruktion.

Wir haben verschiedene Versuche unternommen, um weitere Möglichkeiten zu finden, das Tensiometer nach Art eines üblichen Extensometers zu verwenden. Es ist möglich, daß unser Apparat etwas weniger genau ist als gewisse Extensometer, dafür bietet er aber den großen Vorteil, daß er bei Anwendung der vorgeschlagenen Markierungsmethode und eines Eindruckverfahrens an irgend einem Punkt der Fachwerk­konstruktion angesetzt und in jeder Lage benutzt werden kann.

Wir haben beispielsweise die Schwankungen der Spannungen in einer Diagonalstrebe beim Vorbeifahren eines Zuges ablesen und wir haben feststellen können, daß in einem gewissen Augenblick der Beanspruchungskoeffizient in

einem der Träger um 5 kg/mm^2 sank, um danach den durch die statische Last gegebenen Beanspruchungskoeffizienten um 7 kg/mm^2 zu übersteigen. Der Apparat wurde durch die beim Vorbeifahren des Zuges hervorgerufenen starken Vibrationen nicht beeinflußt und wir haben ihn in der Hand oder auf einem kleinen Aufbau (Fig. 3) benutzen können.



Fig. 3.

Anlegen des Tensiometers an die Meßmarken auf einer Diagonale einer genieteten Brücke, um die während der Überfahrt eines Zuges auftretenden Spannungsänderungen festzustellen.

Man kann das Tensiometer also dazu benutzen, um den Beanspruchungskoeffizienten in Bauteilen und selbst in Maschinenelementen festzustellen; wir können als Beispiel die Aufzeichnung der Spannungen in einer Presse aus Stahl anführen, wo jeder Arbeitsgang eine Bewegung des Zeigers an der Lehre verursachte, der eine höchste Dauerbeanspruchung von $10\text{--}12 \text{ kg/mm}^2$ anzeigte.

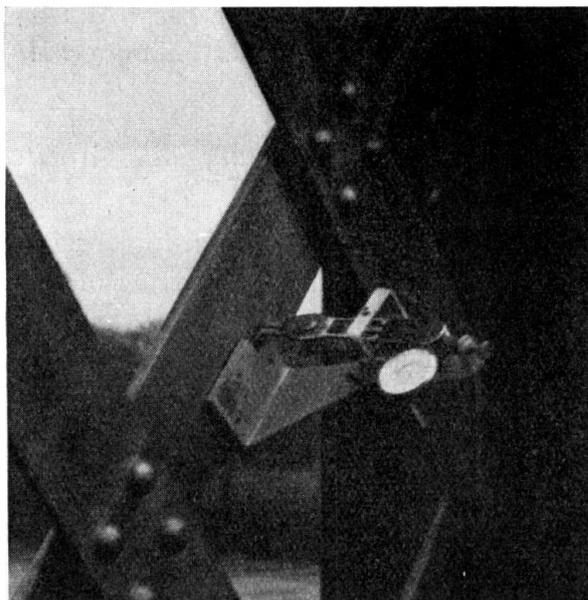


Fig. 4.

Der Tensiometer ist an der Diagonale durch einen Winkel befestigt, dieser gibt dem Instrument eine größere Stabilität.

Es wäre also möglich, beim Bau von geschweißten Maschinenrahmen den Ermüdungskoeffizienten von verschiedenen Teilen, die starken Beanspruchungen unterliegen, kennen zu lernen; diese Beanspruchungen sind meistens sehr schwierig zu berechnen, also so ziemlich unkontrollierbar; für solche Teile werden im Konstruktionsbüro immer viel zu starke Querschnitte vorgesehen.

Die Verwendung des Tensiometers würde es in diesem Falle ermöglichen, den Rahmen der Maschine den tatsächlichen Beanspruchungen genau anzugleichen; man könnte dann beim ersten Versuch der Maschine nachprüfen, ob der Ermüdungskoeffizient die vorgesehenen Werte auch nicht überschreitet.

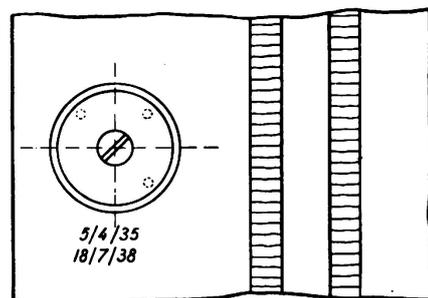
12. Überwachung der Stahlkonstruktion während ihrer Benutzung.

Wir sind der Ansicht, daß das Markierungssystem, nachdem das Bauwerk fertiggestellt ist, nicht vernachlässigt werden darf. Wenn man sich die Mühe nimmt, die Eindrückstellen gleich nach Anbringung durch eine sehr einfache Vorrichtung abzudecken, die beispielsweise aus einer Scheibe von ölgetränktem Filz und einer durch eine Schraube befestigten Metallscheibe bestehen kann, so daß die Eindrückstellen gut verdeckt sind, kann man periodisch nach Abdecken und Reinigen der Eindrückstellen neue Messungen vornehmen.

Das Tensiometer wird nach und nach an verschiedenen Stellen einer Konstruktion angesetzt, für die man während der Abnahme des Bauwerkes die Werte zwischen den Marken aufgenommen hat.



Bemerkung: Die Messstellen können beliebig angeordnet werden
 Nota: Les pièces peuvent être repérées dans une position quelconque.
 Note: The rest-marks can be arranged in any direction.



Angaben des Aufsichtsdienstes.
 Indications placées par le service de surveillance.
 Periodical inspection mark.

Tafel VII.

Herstellung der Meßmarken an Stahlkonstruktionen zu Kontrollzwecken.
 Bemerkung: Periodisch wird man Spannungsmesser an die ursprünglichen Meßmarken anlegen, um die vorgesehene Beanspruchung zu überprüfen.

Wenn der Kontrollbeamte alle zwei Jahre neue Messungen vornimmt, so ist er in der Lage anzugeben, ob sich der Ermüdungskoeffizient an der und der Stelle des Bauwerkes in gefährlicher Weise verändert hat; man wird dann erkennen können, ob einzelne Teile des Baues sich in einem Zustand befinden, der, ohne die Sicherheit des Bauwerkes zu gefährden, doch die besondere Aufmerksamkeit der Fachingenieure verdient.

Wir hoffen, daß diese kleine Abhandlung zur Entwicklung der Lichtbogenschweißung beitragen wird; wir glauben nämlich, daß die betreffenden Schweißingenieure dann die das Schweißverfahren beherrschenden Faktoren besser kennen lernen und andererseits die Vorteile dieses Verfahrens voll erkennen und seine Anwendung wärmer empfehlen werden.

Zusammenfassung.

Der Verfasser beschreibt in dieser Arbeit ein Gerät eigener Erfindung, das Verformungen zu messen gestattet und auf dem Grundsatz des Vergleiches beruht. Er bringt vor der Schweißung Festpunkte an, in die vor und nach der Ausführung die Spitzen seines Dehnungsmessers gesetzt werden. Der Bericht enthält die Beschreibung von ausgeführten Versuchen an verschiedenen Schweißverbindungen. Die Verlängerungen durch Erwärmung und Abkühlung werden gleichlaufend und senkrecht zur Schweißnaht aufgenommen und als Schaubilder aufgetragen.

Der Verfasser führt die Spannungen in Abhängigkeit des Abstandes von der Naht auf, die mit den Verlängerungen leicht bestimmt werden können.

Der Dehnungsmesser nach *R. Sarazin* kann sehr gut für Messungen an ausgeführten Bauten verwendet werden. Er bietet gegenüber ähnlichen Ausführungen den Vorteil einer sehr einfachen Verwendung; man kann ihn ohne jede Befestigung auf den zu untersuchenden Stab setzen. Die Fixpunkte können durch eine geölte Filzscheibe und eine metallische angeschraubte Scheibe zugedeckt werden; das gestattet eine regelmäßige Ausführung neuer Messungen.