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

Band: 2 (1936)

Artikel: Prüfungsmethoden im Werk und auf der Baustelle

Autor: Pinczon, M.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-2698

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: 24.05.2025

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

IIIc 2

Prüfungsmethoden im Werk und auf der Baustelle.

Méthodes d'essai à l'atelier et sur le chantier.

Testing Methods in Workshop and ad Site.

M. Pinczon,
Ingénieur en Chef Conseil des Chantiers et Ateliers de Saint Nazaire.

Das Laboratorium für mechanische Versuche, das der Schweißwerkstatt der Werft in Penhoët angegliedert wurde, ist nicht zu dem Zweck errichtet worden, theoretische Versuche über die Schmelzschweißung anzustellen. Der Zweck dieses Laboratoriums ist vielmehr der, eine wissenschaftliche und möglichst methodische und laufende Kontrolle der Schweißarbeiten jeder Art, die in dieser Werkstatt geleistet werden, sicherzustellen.

Diese Arbeiten sind in der großen Mehrzahl Lichtbogenschweißungen, und von dieser besonderen Art der Schmelzschweißung wird im vorliegenden Bericht ausschließlich die Rede sein. Wir werden somit weder von der Widerstandsschweißung noch von der Punktschweißung reden, wenngleich beide für die Stahlkonstruktionen von Interesse sind. Auch die Schmelzschweißung mittels des Brenners, deren Anwendung auf unserer Werft nur in beschränktem Maße vorkommt, werden wir nicht behandeln.

Diese Werft ist, wie wir glauben, hinreichend bekannt; es sei nur erwähnt, daß auf ihr der Übersee-Dampfer „Normandie" gebaut worden ist. Außer Schiffskörpern werden hier noch Dampf- und Verbrennungsmaschinen, Land- und Schiffskessel hergestellt. Es ergeben sich somit viele und verschiedenartige Anwendungen für die Lichtbogenschweißung; immer mehr verdrängt sie die Nietung beim Verbinden von Blechen und Profilen, sowie das Gießen für gewisse Bau- und Maschinenteile.

Auf diese letzteren Anwendungen wollen wir nicht eingehen; wir beschränken uns auf die Schweißnähte der Baukonstruktionen aus Stahl und wollen hier lediglich von der Auswahl der Werkstoffe und von deren Verwendung sprechen.

Zur Erforschung dieser beiden Fragen wurde ein mechanisches Versuchslaboratorium eingerichtet, und wir wollen im nachstehenden die Methode der Kontrollen erläutern, die von uns angewandt wird, sowie die Versuchsergebnisse besprechen, die wir erhalten haben.

1. Der Werkstoff.

Bei einer geschweißten Konstruktion ist der Werkstoff und das Schweißgut zu unterscheiden. Wir behandeln zunächst den ersteren. Die Auswahl der mechanischen Eigenschaften, die er haben muß, wird nicht durch schweißtechnische

Überlegungen bestimmt; dasselbe gilt jedoch nicht von seiner chemischen Zusammensetzung, denn der Einfluß dieser Zusammensetzung auf die Eigenschaften der Schweißverbindung und sogar auf die Möglichkeit der Ausführung dieser Verbindung unterliegt keinem Zweifel.

Es gibt in der Tat schweißbare und nicht schweißbare Stahlarten. Es genügt übrigens nicht, diese Einteilung zu rubrizieren, man muß auch deren Sinn erläutern; außerdem ist eine Versuchsmethode auszuarbeiten, die es gestattet, eine gegebene Stahlsorte in die eine oder andere Kategorie einzuordnen.

Was ist also ein schweißbarer Stahl? Bevor wir die Frage beantworten, erinnern wir daran, daß man in jeder Schweißverbindung drei verschiedene Zonen unterscheidet: in der Mitte das Schweißgut, an den Seiten den Werkstoff und zwischen beiden eine wenig ausgedehnte Zone, die man Zwischenzone nennt.

Diese drei Zonen sind durch ihren Ursprung und durch ihre thermische Behandlung verschieden. Das Schweißgut stammt von der Elektrode und, in gewissem Maße, von deren Umkleidung; es wurde durch vollständiges Schmelzen bei einer mehr oder weniger hohen Temperatur und durch schnelle Abkühlung erhalten.

Die Zwischenzone wird durch die mehr oder weniger innige Mischung des Elektrodenmetalles und des Werkstoffes gebildet. Im Laufe des Schweißvorganges lag die Temperatur zwischen der der mittleren Zone und der des beginnenden Schmelzvorganges.

Schließlich wurde der Werkstoff in der Nähe der Zwischenzone im Augenblick des Schweißens auf eine hohe Temperatur gebracht, die allerdings niedriger ist als die Schmelztemperatur, und dann an der Luft mehr oder weniger schnell abgekühlt. Diese thermische Behandlung hat seine mechanischen Eigenschaften in einem bestimmten Grade abgeändert.

Es sind dies wohlbekannte Tatsachen, auf die hier näher einzugehen nicht nötig ist. Sie bildeten den Gegenstand eines gründlich durchgearbeiteten Vortrages an der Liller Universität am 23. Februar 1933, den der Vortragende, Herr *Portevin*, mit dem Vorschlage beschloß, die Schweißbarkeit wie folgt zu definieren: „Es ist die Fähigkeit der Metalle, bei Befolgung durchgebildeter Regeln der Schweißtechnik ein kompaktes und kontinuierliches Ganzes zu bilden, welches frei von physikalischen Fehlern und dabei so homogen wie möglich ist, d. h., daß es in der bestmöglichen Weise die Gleichförmigkeit derjenigen Eigenschaften verwirklicht, die die Verwendung des Schweißstückes verlangt." Diese Definition kann in ihrer Gesamtheit angenommen werden, obschon sie Anlaß gibt zu einigen Beschränkungen, auf die hier indessen nicht eingegangen werden soll. Welche Methode muß herangezogen werden, um obige Definition bezüglich der Frage der Schweißbarkeit eines Stabes anzuwenden? Theoretisch müßte man alle drei Teile der Schweißverbindung von einander trennen: Schweißgut, Werkstoff in der angewärmten Zone und Zwischenzone, und deren metallurgische und Festigkeits-Eigenschaften bestimmen, um sie mit denen des Werkstoffes in seinem ursprünglichen Zustand zu vergleichen. Hierin liegt, sofern es sich um das Schweißgut handelt, keinerlei Schwierigkeit, denn man kann Probekörper in normalen Abmessungen aus ihm herstellen, die man nach üblichen Methoden und mittels der gebräuchlichen Maschinen prüfen kann.

Anders verhält es sich mit der angewärmten Zone und mit der Zwischen-

zone. Beide, und im besonderen die letztere, weisen in der Querrichtung der Schweißnaht sehr geringe Ausdehnung auf und eignen sich schlecht zur Entnahme von Prüfkörpern normaler Art, mit Ausnahme derjenigen für die Kerbschlagprobe. Darauf weist denn auch *H. Portevin* in seinem Vortrag hin:

„Die Prüfmethoden, die zur Verwendung kommen, müssen notwendigerweise auf lokale Untersuchung zugeschnitten sein . . .; sie sollen zweckdienlich mit sehr kleinen Prüfkörpern und mittels eigens zu dem Zweck konstruierter Maschinen durchgeführt werden."

Solche Maschinen sind in einer Mitteilung von *H. Pierre Chenevard* an die französische Akademie der Wissenschaften vom 30. Januar 1935 behandelt worden (siehe «Technique Moderne» vom 1. Mai und 1. Juni 1935); aber, wenn Forschungen dieser Art im Laboratorium eines Hüttenwerkes angebracht sind, da wo es sich um die Durchbildung einer Formel und um die Ausarbeitung eines Herstellungsverfahrens für einen neuen Stahl handelt, so bieten sie dem Industriellen keine Handhabe, der weder über die Zeit noch über die erforderliche Ausrüstung verfügt, und der lediglich, schnell und ohne große Unkosten, zu erfahren sucht, ob ein Stahl, den er zu verwenden gedenkt, praktisch schweißbar ist, d. h. ob es im Handel Elektroden gibt, mit denen dieser als Werkstoff gedachte Stahl praktisch homogene Schweißverbindungen herzustellen gestattet.

Wenn die Frage so gestellt wird, scheint es, als ob sie einer einfachen Lösung zugänglich wäre, die wir bereits vor mehreren Jahren anzuwenden Gelegenheit hatten, und zwar bei Schweißarbeiten an Bord des Ozeandampfers „Paris".

Diese Lösung besteht darin, die angewärmte Zone und die Zwischenzone zu gleicher Zeit an einem in folgender Weise hergestellten Prüfkörper zu erforschen. Aus dem ursprünglichen Werkstoff schneidet man einen gewöhnlichen Prüfkörper für Zugversuche mit rechteckigem Querschnitt (Fig. 1). Auf diesen Prüfkörper wird mittels der Elektrode, die man zu verwenden gedenkt, eine Längs-Schweißnaht, symmetrisch zur Achse des Prüfkörpers und diese völlig überdeckend, gelegt. Das aufgetragene Metall wird weggeschliffen und es verbleibt dann ein Prüfstab, der in seinem Molekularzustand ein praktisch hinreichend treues Abbild der zu erforschenden beiden Zonen darbietet.

Damit dem so sei, muß die Dicke des Prüfstabes gering sein. Sie hängt vom Durchmesser der Elektrode, die man bei der Schweißarbeit zu verwenden gedenkt, ab. Für eine Elektrode von 3,8 mm Φ hat der Prüfstab eine Stärke von 10 mm.

Dieser Stab wird auf einer der üblichen Maschinen geprüft (wir verwenden im Laboratorium eine Amsler-Maschine von 50 t) und man vermerkt Elastizitätsgrenze, Bruchlast, Dehnung und Einschnürung.

Vorher sind ähnliche Messungen auf demselben Stab des Werkstoffes, jedoch ohne Auftragung einer Schweißnaht, vorgenommen worden.

Der Vergleich der beiden Meßreihen ermöglicht bereits eine erste Schätzung der Homogenität der Verbindung; man ergänzt sie indessen durch einen anderen Versuch, der die Dehnung des Werkstoffes in der Zwischenzone ins Licht rückt. Dazu stellt man einen Prüfstab für den Biegeversuch her (Fig. 2), auf dessen eine Seite wieder eine Schweißnaht aufgetragen wird; nachdem diese weggeschliffen ist, führt man den Versuch durch, indem man die Seite, auf die

die Schweißnaht aufgetragen wurde, nach der auf Zug beanspruchten Seite anordnet. Der Vergleich des vor Rißbildung auftretenden Biegewinkels mit dem beim ursprünglichen Metall gefundenen ergibt die Grundlage für den Vergleich der Dehnungen.

Ein dritter Versuch ist endlich die Kerbschlagprobe. Wir verwenden im Allgemeinen die Mesnager-Prüfstäbe und legen die Schweißnaht (Fig. 3) auf eine der senkrecht zur Kerbe gerichteten Längsseiten. Wie bei den früher besprochenen Versuchen wird die Schweißnaht weggeschliffen und es wird ein Vergleichs-Prüfstab dem ursprünglichen Werkstoff entnommen.

Gewiß erhält man mit diesem Verfahren eine geringere Anzahl Meßergebnisse als mit der von *H. Portevin* ins Auge gefaßten Versuchsreihe und man kann den Einwand machen, daß hinsichtlich der Zugprobe nicht zwischen den beiden Zonen unterschieden wird. Indessen ermöglicht das Verfahren billig und schnell eine hinreichende Klärung, ob es sich um schweißbare oder nicht schweißbare Stahlsorten handelt und wir haben bisher mit seiner Verwendung niemals Schwierigkeiten gehabt.

Hier folgen einige typische Ergebnisse.

Alle Versuche, die wir im folgenden anführen, wurden mit derselben Elektrodentype durchgeführt, die wir mit E_1 bezeichnen und die uns bereits früher zufriedenstellende Ergebnisse geliefert hatte.

Das Elektrodenmetall hatte folgende mechanische Eigenschaften:

$$E = 47{,}3 \qquad R = 59 \qquad A = 20$$

$$\rho \text{ (Mesnager)} = 6{,}42 \qquad \alpha = 135^0$$

(E = Streckgrenze und R = Bruchspannung in kg/mm², A = Dehnung in % ρ = Schlagarbeit in m kg/cm², α = Biegewickel. Red.)

Die Prüfstäbe Nr. 1 sind diejenigen der Figuren 1 bis 3; die Prüfkörper Nr. 2 sind in den Figuren 4 bis 6 dargestellt und wurden stumpfgeschweißt.

Wir bezeichnen die einzelnen Stahlsorten, die den Proben unterlagen, mit A, B, C usw.

Fig. 1.

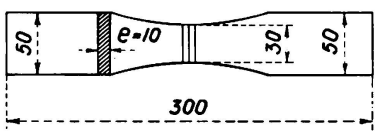


Fig. 4.

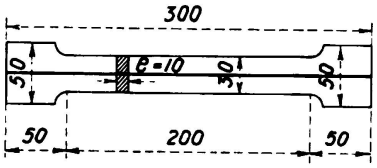


Fig. 2.

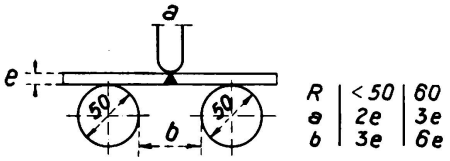


Fig. 5.

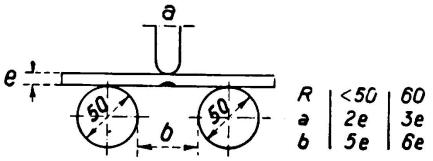


Fig. 3.

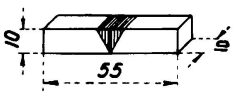
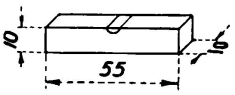


Fig. 6.



Charakteristiken		Grundwerkstoff	Prüfstäbe Nr. 1	Verhältnisse 3/2	Prüfstäbe Nr. 2
1		2	3	4	5
		Stahlsorte A			
Zug	E	35,9	46,2	1,29	
	R	62,4	64,6	1,04	55,3
	A	24 %	7 %	*0,29*	
	R + 2A	110	79	0,72	
	Einschnürung	64 %	32 %	0,50	
Biegeprobe	Erster Riß	180°	62°	*0,35*	
	Bruch	—	69°	—	
Kerbschlag (Mesnager)		7,4	3,1	0,42	6,6
		Stahlsorte B			
Zug	E	36,9	—	—	
	R	54,7	57	1,04	52,7
	A	25 %	16,4 %	0,64	
	R + 2A	105	90	0,86	
	Einschnürung	56 %	31 %	0,55	
Biegeprobe	Erster Riß	—	—	—	
	Bruch	180°	147,0	0,82	
Kerbschlag	(Mesnager)	21,6	9,1	*0,42*	
	U. F.	10,9	7,9		5,5
		Stahlsorte C			
Zug	E	42,1	48,6	1,16	37,9
	R	68,2	56,8	*0,83*	50,7
	A	25 %	3 %	*0,12*	
	R + 2A	118	63	0,53	
	Einschnürung	54	8 %	0,15	
Biegeprobe		180°	39°	*0,22*	
Kerbschlag		6,8	0,9	0,13	6,9
		Stahlsorte D			
Zug	E	34,6	33	0,96	Keine Aufnahme
	R	54,5	59,5	1,09	
	A	23 %	17 %	0,74	
	R + 2A	100	94	0,94	
	Einschnürung	52	33	0,64	
Biegeprobe		180°	107°	0,60	
Kerbschlag		7,8	7,5	0,97	

Bezeichnungen und Angaben		Elektroden			Schweiß-strom		Gewichts-verlust pro kg Schweißgut		pro kg Schweißgut benötigte Zeit		Elastizitätsgrenze	Bruchlast	Dehnung auf 50 mm	Winkel der Rißbildung	Winkel der Biegung ohne Rißbildung	Kerbschlag-probe		Brinellhärte	Bruchfestigkeit des Werkstoffes
		⌀	Gewicht	Länge	Amp.	Volt	Verflüchtigung	Insgesamt	Schmelzzeit	Insgesamt						Mesnager	UF		
		mm	gr	cm			gr	gr			kg	kg	%						kg
E_1	Schweißgut	4	44	45	160	22	137	261			44,2	55,2	16,5	125°			7,2	142	
	Stumpfschweißung P	4	44	45	155	22	180	270	46 m 30 s	1h 1 m		55,9		146°			6,6	142	55
E_2	Schweißgut	4	44	45	160	26	59	179			47,3	59	20				8,2	155	
	Stumpfschweißung P	4	44	45	150	26	109	227	44 m 6 s	1h 37 m		59,7		120°			7,03		60
E_5	Schweißgut	4	39	40	147	19	185	330	1h 17 m	2h 30 m	32	40	15,6	16°		4		113	
	Stumpfschweißung P	4	39	40	130	22	93	222	1h 8 m	2h 46 m		42		88°					40
	Stumpfschweißung V	4	39	40	145	21	103	233	1h 8 m	2h 17 m		40							
	Stumpfschweißung T	4	39	40	140	20	157	310	1h 17 m	2h 42 m		44							
E_9	Schweißgut	4	44	45	170	22	75	222			48,7	57,8	27			21,6	13,7	155	
	Stumpfschweißung P	4	44	45	170	22			48 m 30 s	1h 27 m		61,6			180				60
	Stumpfschweißung V	4	44	45	170	22						62,6							
	Stumpfschweißung T	4	44	45	170	22						64,6							

Letztere Stahlsorte ist von den vier geprüften die beste; sie gibt eine praktisch homogene Verbindung mit dem aufgetragenen Schweißgut. Von den Stahlsorten A und C gilt dies nicht. Bei letzterer ist zu bemerken, daß sie als einzige einen Wert R aufweist, der in der angewärmten Zone kleiner ausfällt als im ursprünglichen Werkstoff. Das liegt daran, daß die hohe Festigkeit des ursprünglichen Werkstoffes durch Ausglühen beim Walzen erhalten wurde; die Wirkung dieses Ausglühens wurde durch die Erwärmung aufgehoben und die Festigkeit hat nachgelassen.

Wir gehen nicht weiter hierauf ein. Die Versuche, von denen wir einige Ergebnisse mitteilten, haben uns in den Stand gesetzt, eine Auswahl zwischen den einzelnen Zusammensetzungen von Stahlsorten zu treffen, die uns für einen ganz besonderen Verwendungszweck, nämlich halb-rostfreier Stahl mit hoher Festigkeit für den Schiffskörper eines Ozeandampfers, angeboten worden waren.

2. Das Schweißgut.

Die Erforschung des Schweißgutes ist identisch der Erforschung der verschiedenen Elektroden-Eigenschaften. Elektrodenfabrikate kommen im Handel in stets wachsender Anzahl vor. Ihre Hersteller betonen der einkaufenden Industrie gegenüber die Eigenschaften, die sie für ihre Erzeugnisse in Anspruch nehmen. Diese Behauptungen sind zweckdienlich durch eigene Versuche nachzuprüfen und das tun wir denn auch laufend.

Unsere Versuche gelten nicht nur der Feststellung der mechanischen Eigenschaften; wir beziehen in sie auch andere Daten hinein, die vielleicht weniger wissenschaftlich aber dafür wirtschaftlich wichtig sind.

Die Versuche umfassen im Allgemeinen:

1. *für das Schweißgut:*
   a) einen Zugversuch an zylindrischen Prüfstäben,
   b) einen Kerbschlagversuch am UF- oder Mesnager-Prüfstab, je nach dem Kunden, für den das geschweißte Werkstück bestimmt ist; die Versuchsmaschine ist ein Charpy-Bock,
   c) eine Biegeprobe,
   d) die Messung der scheinbaren Dichte;
2. *für eine stumpfgeschweißte Verbindung:*
   a) einen Zugversuch am rechteckigen Prüfstab (ohne Messung der Dehnung),
   b) eine Biegeprobe;
3. *in beiden Fällen:* die praktische Aufnahme der erreichten Schweißgeschwindigkeit und des durch Verflüchtigung oder Verspritzung verlorenen Elektrodengewichtes.

Als Beispiel geben wir nachstehend eine vollständige Tabelle der Ergebnisse, die mit einer Elektrodenmarke E_2 gewonnen wurden.

Diese Ergebnisse werden den Lieferanten im Allgemeinen mitgeteilt, damit sie in den Stand gesetzt werden, die vorgebrachten Beanstandungen zu berücksichtigen.

So haben wir bei Elektroden Marke E_3 folgende allgemeine Ergebnisse gefunden:

Aufgetragenes Metall: R = 43; E = 38; A = 48

$\alpha = 18^0$; ρ (M) = 11,1.

Versuch an der Stumpfschweißung: R = 47 kg.

Nachdem der Leiter der Firma, die diese Elektrodentype geliefert hatte, bei uns vorgesprochen und unser Laboratorium besichtigt hatte, wurde uns wenige Monate später eine neue Type E_4 angeboten, die folgende Kennzeichen aufwies:

Schweißgut: R = 48,7 E = 40,1 A = 27,9

ρ (M) = 13

Versuch an der Stumpfschweißung: R = 52,5 $\alpha = 132^0$.

Hieraus ist zu ersehen, daß, zugleich mit einer Erhöhung der Bruchfestigkeit, die anderen Eigenschaften der Schweißnaht und vor allem ihre Dehnbarkeit beträchtlich verbessert wurden. Die Stoßkanten-Schweißverbindung wurde mit Blechen von 50 kg/mm² Bruchfestigkeit vorgenommen, jedoch eignet sich diese Elektrode ganz gut für übliche Veritas-Stahlsorten von 48 kg/mm² max. Bruchfestigkeit und gibt mit diesen Stahlsorten homogene Schweißnähte.

Schließlich erscheint es uns wichtig, die Fortschritte zu beleuchten, die in wenigen Jahren bei der Erforschung der Lichtbogen-Schweißelektroden erzielt wurden und zu dem Zwecke in der Tabelle der Seite 539 die Versuche aufzuführen, die zu verschiedenen Zeiten mit den Erzeugnissen desselben französischen Lieferanten vorgenommen wurden.

Die E_6-Elektroden sind zur Verschweißung eines Metalles bestimmt, das folgende mechanische Kennzeichen aufweist und andererseits als mittels dieser Elektroden schweißbar erkannt wurde, wobei dieses Wort in dem von uns definierten Sinn zu deuten ist:

$$R = 60 \qquad A = 20 \qquad \rho\,(UF) = 6.$$

Die Homogenität der Schweißnaht ist, was die Abstimmung des Schweißgutes auf den Werkstoff betrifft, möglichst gut verwirklicht worden. Im übrigen hat der Schweißbarkeitsversuch bewiesen, daß diese Homogenität in den Übergangszonen genügend groß bleibt.

Man kann deshalb zuverlässig annehmen, daß dieser Stahl bei geeigneter Verwendung Schweißnähte herzustellen gestattet, die jegliche Gewähr bieten.

Wir können diese kurze Übersicht mit der Feststellung beschließen, daß es bereits jetzt eine Auswahl von Elektrodentypen gibt, mit denen homogene Schweißverbindungen hergestellt werden können, deren Zugfestigkeit 40 bis 60 kg/mm² beträgt, bei Dehnungen und Kerbschlagfestigkeiten, die mit denen des Werkstoffs verglichen werden können.

3. Ausführung.

a) *Das Personal.* — Wir müssen jetzt noch zeigen, wie die Kontrolle der Ausführung organisiert werden kann.

Gegen die Verallgemeinerung der Verwendung der Schmelzschweißung wurde hauptsächlich folgender Einwand erhoben: Die Qualität der Schweißverbindung

ist wesentlich bedingt durch die Gewandtheit und die Gewissenhaftigkeit des Schweißers. Wie sorgfältig der Ingenieur auch immer die herzustellenden Schweißnähte anordnen und angeben möge und wie gründlich die Forschungen auch seien, die durch geeignete Auswahl der Werkstoffe homogene Verbindungen zu erhalten suchen, das alles ist nutzlos, wenn die Schweißarbeit schlecht ausgeführt wird. Und da es kein praktisches Mittel zur Prüfung der Güte der Schweißarbeit gibt, so ist die Sicherheit, die man zu gewinnen hoffte, illusorisch.

Hierzu möchten wir zunächst bemerken, daß diese angebliche Unmöglichkeit, an dem fertigen Werkstück die Qualität der Ausführung nachzuprüfen, nicht ausschließlich für die Lichtbogenschweißung gilt. Sie gilt auch für Eisenbeton und man hat oftmals versucht, Unfälle bei Eisenbeton-Bauwerken durch schlechte Verarbeitung zu erklären.

Andererseits konnte man vor wenigen Jahren die ernsthaftesten Bedenken gegen die beruflichen Fähigkeiten derjenigen Arbeiter hegen, die sich Schweißer nannten. Aber dies trifft heute nicht mehr zu. Es gibt heute in allen Ländern zahlreiche Schweißerschulen, von denen die Mehrzahl ihr Entstehen der Privatinitiative verdankt, was u. E. sehr gut ist; die Kunst des Lichtbogenschweißens ist jedoch weit davon entfernt, ihre Entwicklung abgeschlossen zu haben. Jedes Jahr erfährt sie Wandlungen und Verbesserungen und nichts wäre ihr verderblicher als amtliche Bevormundung. Wir fordern also für die Schweißtechnik die Freiheit des Unterrichts und wir lehnen auch die Vergebung mehr oder weniger amtlicher Zeugnisse ab, die den Arbeitern als Bescheinigung der Teilnahme am Unterricht in einer Schule ausgestellt werden sollten.

Berufliche Gewandtheit schwindet in jedem Handwerk, am meisten vielleicht gerade in der Schweißerei, wenn sie nicht durch Ausübung aufrechterhalten wird. Zeugnisse hätten also nur für eine gewisse Zeit wirklichen Wert und infolgedessen wäre der Zweck ihrer Einführung hinfällig: Die Notwendigkeit periodischer Prüfungen, die unseres Erachtens unbedingt gegeben ist, wird in der Tat nicht durch die Zeugnisse behoben.

Unsere Schweißerschule wurde 1930 gegründet; die Arbeiter, die durch sie hindurchgegangen sind, führen Stumpf- und Kreuzschweißungen in den drei Hauptstellungen aus: waagerecht, senkrecht und über Kopf. Von den Schweißstücken werden Prüfstäbe entnommen und die Ergebnisse der damit durchgeführten Zugversuche werden ausgewertet, um die Arbeiter einzuteilen. Diejenigen, die in einer bestimmten Stellung ein gewisses Minimum nicht erreicht haben, werden nicht ermächtigt, in dieser Stellung zu schweißen. Diese Maßnahme gilt besonders für die Überkopfschweißung, hinsichtlich welcher, wie wir nebenbei bemerken, durch gewisse Vorschriften ein übertriebenes Mißtrauen an den Tag gelegt wird. Zwei Drittel unserer Schweißer sind imstande, Überkopf-Nähte auszuführen, deren Versuchsergebnisse denen der waagrechten Nähte ebenbürtig sind und in Wirklichkeit werden solche Schweißnähte laufend im Schiffbau hergestellt, ohne daß bislang Mißhelligkeiten daraus entstanden wären. Die Herabsetzung der für über Kopf ausgeführte Schweißnähte zulässigen Beanspruchung ist unberechtigterweise verfügt worden. Es würde genügen, zu bestimmen, daß diese Schweißnähte ausschließlich von Schweißern auszuführen sind, die bei den Eignungsprüfungen bewiesen haben, sie einwandfrei herstellen zu können.

Das ursprünglich für die Zulassung zum Schweißen verlangte Minimum war 35 kg/mm² bei der Stumpfschweißung und 28 kg/mm² beim Versuch der Kreuzschweißung. Dadurch, daß die Qualität der Elektroden verbessert wurde, konnte das Minimum heraufgesetzt werden und beträgt jetzt bei E_6-Elektroden und Blechen mit 50 kg/mm² Bruchfestigkeit 46 kg/mm² beim Versuch auf Stumpfschweißung und 33 kg/mm² beim Versuch auf Kreuzschweißung.

Die Schweißer-Schulung dauert durchwegs sechs Wochen bis zwei Monate. Es kann natürlich nicht behauptet werden, daß eine so kurze Spanne Zeit genügt, um einen Schweißer vollständig auszubilden. Dieser wird vielmehr, während der ersten Monate der Ausübung seines neuen Berufes, fortfahren, seine Handfertigkeit zu steigern.

Daher ist es elementare Vorsicht, ihm anfänglich nur Arbeiten anzuvertrauen, die für die Sicherheit des Bauwerkes unerheblich sind und obendrein durch Kontrollversuche, die häufig wiederholt werden, die Fortschritte zu beobachten, die er macht und die gegebenenfalls Rückschritte sein können. Anfänglich hatten wir als Grundsatz angenommen, während des ersten Jahres der Ausübung die Versuche zur Einteilung der Schweißer alle drei Monate zu wiederholen. Die Erfahrung hat uns gezeigt, daß diese Zeit etwas länger bemessen werden kann und diese Proben finden nunmehr alle vier Monate statt.

Nach einem Jahr kann ein Arbeiter, der seine berufliche Eignung aufrechterhalten hat, Vertrauen erwecken und man kann ihm dann Arbeiten anvertrauen, deren Wichtigkeit der Klasse entspricht, in die er eingeteilt wurde, aber nach wie vor wird nachgeprüft, daß er an Gewandtheit nichts einbüßt und die periodischen Versuche werden nicht fortgelassen; die Häufigkeit dieser Proben wird lediglich eingeschränkt und man nimmt sie nur noch alle sechs Monate vor.

Diese Methode hält das Personal dauernd im Zuge und die einzelnen Schweißer wetteifern miteinander, ein Umstand der sowohl ihnen wie auch dem Werke, das sie beschäftigt, zum Vorteil gereicht.

In der folgenden Tabelle sind die Prüfungsergebnisse der in unserer Schule ausgebildeten Arbeiter zusammengestellt:

Bruchfestigkeit von Stumpfschweißnähten.

Prüflingsnummer:		38.022	38.027	38.049	38.050	38.098
Versuch bei Schulentlassung	H	39.4	41.1	49.9	48.9	38.0
	V	34.8	35.7	45.8	45.5	31.4
	T	36.4	35.7	43.0	45.8	20.5
Erster Trimesterversuch	H	47.9	42.0	49.9	44,5	39.4
	V	39.1	38.1	45.3	45.3	41.9
	T	40.6	30.9	39.5	40.9	39.0
Zweiter Trimesterversuch	H	44.1	37.2	46.5	44.6	41.1
	V	38.6	40.8	40.8	42.2	45.9
	T	34.7	35.2	31.1	45.6	44.2
Dritter Trimesterversuch	H	44.4	43.5	47.6	45.7	45.4
	V	43.5	42.3	42.6	41.2	42.3
	T	43.8	36.1	47.2	42.0	47.6

Prüflingsnummer:		38.022	38.027	38.049	38 050	38 098
Erster Semesterversuch	H	45.6	40.7	48.7	46.9	46.6
	V	41.6	43.3	44.8	44.1	43.5
	T	45.6	42.4	44.2	44.0	41.2
Zweiter Semesterversuch	H	47.1	41.8	45.6	49.1	41.8
	V	40.2	42.8	44,8	44.6	42.1
	T	45.3	38.0	46.0	44.4	41.8

H = waagerechte V = senkrechte T = Überkopfschweißung

Alle diese Versuche wurden mit denselben Elektroden durchgeführt, deren Schweißgut eine geringste Bruchfestigkeit von 40 kg/mm² aufwies, wobei die verwendeten Bleche von der üblichen Güte waren. Seit ungefähr einem Jahre verwendet man Elektroden mit einem Schweißgut höherer Festigkeit und Bleche aus einem Werkstoff von entsprechender und kontrollierter Güte.

Die letzte Prüfung, die den obigen Schweißern unter diesen Umständen abgenommen wurde, ergab folgendes Bild:

H	55,3	64,9	58,4	62,9	54,3
V	55,8	73,0	57,0	57,3	46,5
T	59,8	70,0	57,9	63,2	59,1
Werkstoff	50	60	50	60	50 kg/mm²

Die Daten dieser Tabelle zeigen, daß ein aus der Schule hervorgegangener Arbeiter, der einwandfrei Flachnähte ausführen kann, erst nach einjähriger Praxis dauernd senkrechte oder Überkopfnähte herzustellen in der Lage ist.

Zugleich geht daraus die große Bedeutung hervor, die den von uns seit Anfang der Schule eingeführten periodischen Prüfungen beizumessen ist. Diese stellen gewiß eine Erhöhung der allgemeinen Unkosten der Werkstatt dar, aber wir sehen darin die Gewähr gegen Unfälle, die durch fehlerhafte Schweißungen entstehen könnten. Wir sind der Ansicht, daß kein Werk mit der Ausführung geschweißter Bauwerke, die die öffentliche Sicherheit beeinträchtigen können, betraut werden dürfte, falls es nicht nachweist, daß ihm seit wenigstens einem Jahre eine ähnliche Organisation zu Gebote steht. Die Vorschrift, die man in Pflichtenheften findet, und die lediglich Einzelprüfungen am Anfang der Arbeiten vorsieht, bietet keine genügende Gewähr.

b) *Das Material.*

Wir haben gesehen, wie man ein Schweißerpersonal ausbilden und erhalten kann, das imstande ist, die verschiedenartigsten Arbeiten zu bewältigen. Um diesem Personal Gelegenheit zu geben, seine Befähigung bestens zur Geltung zu bringen, muß man es in geeigneter Weise ausrüsten. Der wichtigste Teil dieser Ausrüstung ist derjenige, der die Stromzuführung übernimmt. Es fällt nicht in den Rahmen dieses Berichtes, die einzelnen Verfahren der Stromverteilung und die Bedingungen, die erfüllt werden müssen, um eine einwandfreie Schweißung zu gewährleisten, zu besprechen. Wir begnügen uns damit, daran zu erinnern, daß die Regelung der Stromstärke eine der wichtigsten dieser Bedingungen ist. Unseres Erachtens ist es somit unerläßlich, daß jeder Schweißer ein in Reihe mit der Elektrode geschaltetes Ampèremeter im Sichtbereich hat.

Die Angaben dieses Stromzeigers werden dem Arbeiter nicht nur dadurch dienen, daß er die ihm vorgeschriebene, geeignete Stromstärke wählen kann, sondern sie werden auch den Vorarbeiter in den Stand setzen, nachzuprüfen, ob die einzelnen unter seiner Leitung arbeitenden Schweißer diesen Vorschriften nachkommen, wobei seine Kontrolle leicht und schnell möglich ist. Der Ausschlag des Ampèremeters gibt also über die gute Ausführung der Arbeit eine direkte und dauernde Auskunft und dies ist unsere zweite Antwort auf den Einwand gegen die allgemeine Anwendung der Lichtbogenschweißung bei Stahlkonstruktionen, den wir oben streiften. Nicht nur wird die Auswahl des Schweißerpersonals so methodisch wie in keinem anderen Beruf durchgeführt, sondern es kann dazu einer der Hauptfaktoren der Ausführung zu jeder Zeit kontrolliert werden.

Wir verwenden zwei Arten der Stromverteilung. Bei der ersten verfügt jeder Schweißer über einen Umformersatz, dem der Netzstrom unter 440 V zugeführt wird und der den niedriggespannten Schweißstrom hergibt. Wir haben Wert darauf gelegt, daß jeder Satz nicht nur mit einem Stromstärkemeßgerät, von dem wir eben sprachen, sondern auch mit einem Spannungsmeßgerät ausgerüstet wurde, dessen Angaben natürlich nicht vom Schweißer abgelesen werden können, die aber wohl dem Vorarbeiter eine sehr nützliche Handhabe für die Beurteilung der Schweißarbeit bieten.

Bei der zweiten Art der Verteilung ist eine von einer Zentrale gespeiste Niederspannungsverteilung vorgesehen, die drei Hellinge und zwei schwimmende Fertigbaustellen bedient und wobei der Netzstrom (5000 V-Wechselstrom) in der Zentrale in Gleichstrom von 45 V umgeformt wird. Die Querschnitte dieser Verteilung wurden so bemessen, daß die Mindestspannung 35 V beträgt. Jeder Schweißer kann eine „Regler" genannte Spezialsteckdose an einem beliebigen Punkte des Netzes anschließen; sie enthält Widerstände, die nicht nur dazu dienen, die Stromstärke des Abzweigs zu regeln, sondern auch dazu, beim Zünden des Lichtbogens und bei jedem Kurzschluß, den die Oszillogramme des Schweißstromes aufzeigen, eine zusätzliche Spannung von 20—25 V zu liefern. Die Stabilität des Lichtbogens wird somit völlig gewährleistet. An jedem Regler befindet sich ein Ampèremeter, jedoch kein Voltmeter, denn der Regler ist einpolig geschaltet; die Rückleitung führt direkt vom Schweißstück zur festverlegten Leitung.

Diese Art der Stromverteilung wurde in einem Artikel der „Technique Moderne" vom 1. Juni 1932 besprochen und die damit gewonnenen Ergebnisse waren so zufriedenstellend, daß im Jahre 1935 eine zweite Zentrale, die einen anderen Teil unserer Werft bedient, erstellt und in Betrieb genommen wurde.

4. Versuche an Schweißverbindungen.

Wir haben an Hand von zahlenmäßigen Angaben über die Ergebnisse von Versuchen mit geschweißten Konstruktionen zeigen wollen, daß die in den vorhergehenden Darlegungen beschriebenen Methoden wohl die Sicherheit gewährleisten, für die sie durchgebildet wurden; indessen haben wir diese Methoden nur bei Schiffskörpern angewandt und bisher wurden noch keine zuverlässigen Versuche an fertiggestellten Konstruktionen durchgeführt. Erst nach einer gewissen Zeit und unter mehr oder weniger ungünstigen Verhältnissen der Schif-

fahrt kann man aus dem Fehlen oder Vorhandensein von örtlichen Formänderungen oder Brüchen schließen, ob die Schweißarbeit wertvoll war oder nicht.

Wir müssen uns somit darauf beschränken, daran zu erinnern, daß die Presse vor ungefähr einem Jahre über die Probefahrten berichtete, die der von unserer Werft für die französische Marine gebaute Kreuzer „Emile Bertin" ausgeführt hat. Beim Bau dieses Schiffes war die Schweißung in reichlichem Maße herangezogen worden. Etliche Probefahrten wurden bei sehr hohem Seegang durchgeführt; trotzdem wies keine Schweißverbindung Spuren von Ermüdung oder Dichtigkeitsmangel auf. Nach sechsmonatiger Winterfahrt im Atlantik führte die Nachprüfung des Schiffskörpers des „Emile Bertin" zu denselben günstigen Feststellungen.

Beim Bau des Ozeandampfers „Normandie" wurde eine große Anzahl Schweißverbindungen hergestellt; zeitweise waren an Bord dieses Dampfers nicht weniger als 140 Schweißer beschäftigt. Indessen sind die wesentlichen Teile dieses Dampfers nicht in geschweißter Konstruktion ausgebildet worden; andererseits ist das Schiff noch nicht lange genug im Dienst, um Schlüsse ziehen zu können.

Wir wollen daher, wenn auch diese Art Arbeiten nicht direkt in den Rahmen der auf dem Kongreß behandelten Gebiete fallen, einige Beobachtungen mitteilen, die wir beim Schweißen von Stahl gemacht haben. Sie beziehen sich auf die Stumpfschweißung starker Bleche, und Schweißungen dieser Art können im Stahlbau (z. B. Gurtplatten von Brücken) vorkommen.

Zunächst möchten wir den Fall einer aus zwei Blechen von 20 mm Dicke mit 60 kg/mm^2 Bruchlast bestehenden Fundamentplatte erwähnen. Sie war waagerecht gelagert und konnte im Laufe der Arbeiten nicht gewendet werden. Da wegen der großen Stärke eine X-Schweißnaht gewählt wurde, ergab sich die Notwendigkeit, den oberen Teil der Platte flach und die untere Hälfte über Kopf zu schweißen.

Die Arbeit wurde wie folgt durchgeführt. Die beiden zu verschweißenden Bleche wurden auf beiden Seiten unter einem Winkel von 60^0 abgeschrägt, dann unter Belassung eines 5 mm großen Luftspaltes zwischen vorstehenden Kanten parallel angeordnet.

Ein Kupferdraht von 10 mm Φ wurde in die untere Abschrägung gelegt und eine erste Schweißnaht flach aufgetragen. Die hierbei verwendete Elektrode hatte einen Durchmesser von 6,4 mm. Es war die im Obigen mit E_6 bezeichnete Type; sie ist stark umkleidet und dieser Umstand führte dazu, den negativen Pol mit dem Schweißstück zu verbinden, was eine Abweichung von unserer üblichen Praxis darstellt.

Nachdem die Naht 1 aufgetragen war, wurde sie von unten mit dem Meißel bearbeitet, um die auf die Berührung mit der Luft während des Auftragens zurückzuführenden Unregelmäßigkeiten und oberflächlichen Fehler zu beseitigen, die trotz des Vorhandenseins des Kupferdrahtes entstanden waren; dann wurde eine symmetrische Naht 2 auf der ganzen Länge des Stoßes aufgetragen, diesmal von unten, also über Kopf.

Die folgenden Nähte wurden dann von oben und von unten durch zwei Schweißer aufgetragen, die zu gleicher Zeit arbeiteten und ihr Vorrücken so abstimmten, daß sie sich stets auf derselben Senkrechten befanden.

Das Auftragen der Naht erfolgte durch Schwenken der Elektrode von rechts

nach links und von links nach rechts, so daß zur Achse des Stoßes senkrechte Striche statt paralleler Striche entstanden. Dadurch gelang es, den Einfluß des Schrumpfens beträchtlich herabzusetzen.

Die Kontrolle nach Ausführung wurde in doppelter Weise vorgenommen. An jedem Ende des Stoßes belassene Ansätze wurden in derselben Weise und zugleich mit der Naht verschweißt und darauf die üblichen Prüfstäbe entnommen:

Die mechanischen Versuche dieser Prüfstäbe ergaben folgendes:

$R = 61{,}5$ kg/mm²
Biegewinkel (ohne Rißbildung) 118^0 [1]
ρ (UF) $= 7{,}6$.

Andererseits wurde die Schweißstelle selber auf ihrer ganzen Länge mit Röntgenstrahlen geprüft, um örtliche Fehler aufzusuchen und gegebenenfalls zu beseitigen.

Der Apparat, den wir zu diesem Zweck benutzen, ist ein Philips-Fabrikat. Wir erreichen bei diesem Apparat eine Spannung von 180 kV zwischen Anode und Kathode und bei Dicken bis 90 mm gibt er noch zufriedenstellende Aufnahmen.

Wir geben das Bild einer Aufnahme wieder, die bei der Erforschung der fraglichen Platten gemacht wurde. Die weißen Kreise, die man auf diesem Bilde sieht, dienen als Anhalt um die Röntgenaufnahme auf die Platte zu übertragen und den Fehlerort wieder aufzufinden. Zu beachten ist, daß man zwei Röntgenaufnahmen in verschiedener Achsrichtung herstellen muß, um den Fehlerort im Raume zu bestimmen (Fig. 9).

Als zweites Beispiel möchten wir die Verschweißung, und zwar abermals Stumpfschweißung, von merklich dickeren Blechen als die vorigen aufführen. Diese Bleche hatten folgende Merkmale:

$$A = 49{,}6 \qquad R = 27{,}8 \qquad \rho \text{ (Mesnager)} = 14$$

Die Blechdicke ging bis 55 mm. Solche Bleche dürften im Stahlbau kaum Verwendung finden, aber unsere Beobachtungen können bei etwas weniger dicken Blechen, z. B. von 25 bis 30 mm, von Wichtigkeit sein (Fig. 10).

Bevor mit der eigentlichen Ausführung angefangen wurde, sind Versuche mit Blechausschnitten von 600×300 mm, die stumpfgeschweißt wurden, vorgenommen worden.

Wegen der Blechstärke wurde das Profil der Abschrägung in Gestalt zweier U-Buchstaben mit gemeinsamer Grundlinie (siehe Fig. 7) gewählt. Es wurde dieselbe Elektrode wie im vorhergehenden Fall verwendet. Die Aufeinanderfolge der Arbeitsgänge, die Stromstärke und die Spannung wurden anfänglich gemäß folgender Tabelle eingestellt:

Durchmesser der Elektroden	Reihenfolge der Arbeitsgänge	T Amp.	V Volt
3,25	1	80	24—26
4	2, 3, 4, 5	180	24—26
5	6—17	230—240	20—24
6,4	18—29	320—350	20—24

[1] Der Versuch wurde abgebrochen, als die Dehnung der auf Zug beanspruchten Faser das im Pflichtenheft vorgesehene Minimum erreicht hatte.

Um den ersten Arbeitsgang durchzuführen, wurde in die untere Hälfte des Stoßes ein Streifen Tombak gelegt; die Schweißnähte wurden sämtlich flach aufgetragen, wobei das Werkstück so oft als nötig gewendet wurde. Zwischen Naht Nr. 3 und Naht Nr. 4 wurde Naht 1 abgemeißelt, um ihr die obere Schicht zu entfernen, die in Berührung mit der Luft trotz Vorhandenseins des Tombaks entstanden war, damit Naht Nr. 4 nur auf unbedingt gesunde Unterlage aufgetragen werde.

Trotz dieser Vorkehrung zeigten mechanische Versuche, die an Prüfkörpern durchgeführt wurden, welche teilweise an der Oberfläche der Naht, teilweise in der Mitte (wobei letztere also den Arbeitsgang Nr. 1 enthielten) entnommen worden waren, beträchtlichen Unterschied in der Dehnbarkeit zwischen Oberfläche und Mitte der Schweißstelle, was dazu Anlaß gab, ein etwas anderes Verfahren anzunehmen.

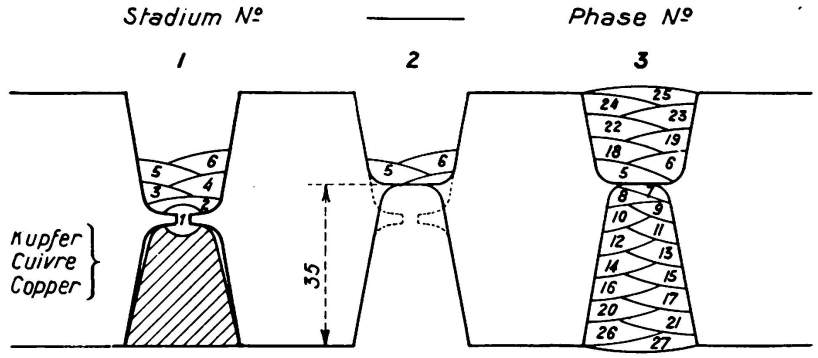


Fig. 7.

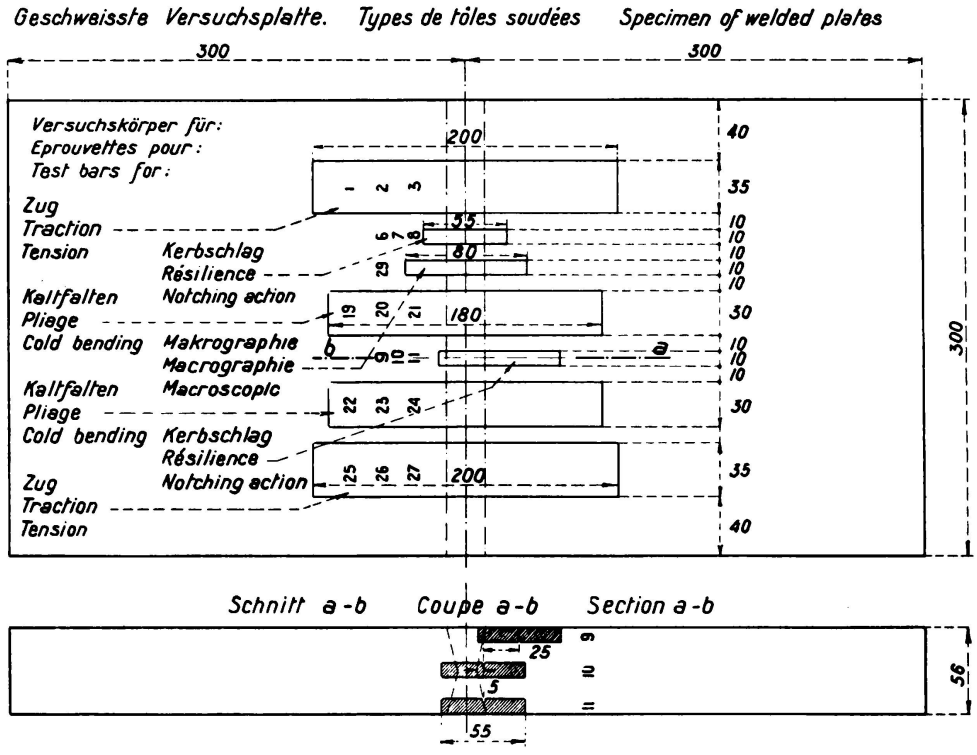


Fig. 8.

Es wurden ohne vorheriges Abmeißeln die Arbeitsgänge 1 bis einschl. 6 durchgeführt, dann wurde alles Metall von den Arbeitsgängen 1 bis 4 entfernt (einschl. des Werkstoffes in der Nähe des eingeschnürten Teiles, wie Fig. 7 zeigt) und schließlich wurden die Arbeitsgänge 7 und folgende ausgeführt.

Das Werkstück wurde dann bei 640° geglüht, und zwar während 2 Stunden und 17 Min. (1 Stunde pro 25 mm Dicke).

Dann wurden Prüfstäbe für Zug- und Kerbschlagversuche, die einen an der Oberfläche des Werkstückes, die anderen in der Mitte der Dicke, entnommen; Fig. 8 zeigt die Verteilung der einzelnen Prüfkörper.

Wie die nachstehende Tabelle zeigt, ergab diese Methode ganz zufriedenstellende Ergebnisse:

Zug						Biegung			Kerbschlag		
Reihe	Abm. der Prüfst.	Querschnitt	Bruchlast			Reihe	Biegungswinkel	A % äuß. Faser auf 20 mm²	Reihe	ρ (Mesnager)	Mittelwert
		mm²	Gesamt	kg/mm²	Mittelwert						
1	19.8×13.6	270	12 800	47.4					7 F_1	15.4	
									7 F_2	12.4	14.4
3	18.6×13.6	254	12 100	47.6		20	130°	38	7 F_3	15.4	
					47.9						
25	19.5×13.6	266	12 800	48.1		23	107°	36	7 F_4	14	
									7 F_5	14	14
27	19.8×13.7	272	13 300	48.8					7 F_6	14	

Die Röntgenaufnahme zeigte keinen nennenswerten Fehler; wir lassen eine Wiedergabe einer bei diesen Versuchen hergestellten Röntgenaufnahme folgen.

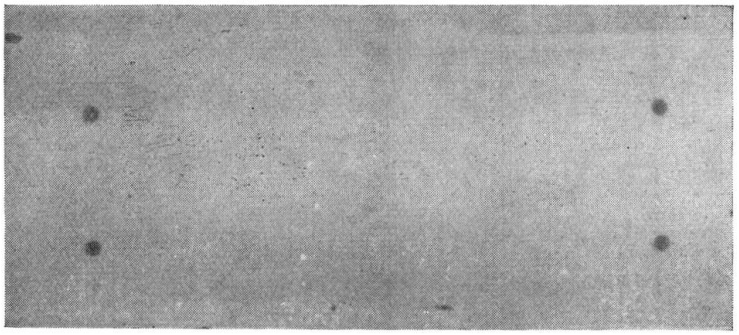


Fig. 9.

Röntgenaufnahme einer Stumpfschweißung zwischen zwei Blechen von 20 mm.



Fig. 10.

Röntgenaufnahme einer Stumpfschweißung zwischen zwei Blechen von 55 mm.
Die Schweißstelle liegt in allen Fällen zwischen den langen Seiten des von den vier schwarzen Punkten bestimmten Rechteckes. Das Kontrollzeichen des Bureau Veritas erscheint unten links in der zweiten Röntgenaufnahme. Die verschiedene Färbung der beiden Röntgenaufnahmen ist aus der verschiedenen Dicke zu erklären.

Schlußfolgerungen.

Die bei der Verwendung der Lichtbogenschweißung für die verschiedenartigsten Arbeiten gewonnene Erfahrung ermächtigt zur Feststellung, daß diese Art der Verbindung bei guter Organisation der Kontrolle der Werkstoffe und bei deren guter Verarbeitung eine ebenso gute Sicherheit bietet wie die anderen Konstruktionsmethoden, wie etwa Nietung oder Eisenbeton. Ein Vorbehalt ist indessen geboten. Die Versuche, die wir bisher durchgeführt haben, sind entweder statische oder Stoßversuche. Sie hätten durch Dauerversuche unter veränderlicher Belastung ergänzt werden müssen. Wenn wir auch unserem Laboratorium einen Amslerschen Pulsator-Apparat, der solche Versuche durchzuführen ermöglicht, hinzugefügt haben, so haben wir die fraglichen Versuche bisher nur in beschränkter Anzahl ausgeführt.

Radiographische Untersuchungen können bis zu einem gewissen Grade die fehlenden Ermüdungsprüfungen ersetzen, denn sie zeigen örtliche Fehler wie Blasen oder Einschlüsse auf, die nur geringen Einfluß auf die Festigkeit bei statischen Versuchen ausüben, aber bei wechselnder Belastung zu vorzeitigem Bruch führen würden. Sie sind also überall zu empfehlen, wo sie praktisch möglich sind. Aber es wäre schwer, ihre Anwendung zu verallgemeinern, wenigstens bei Stahlkonstruktionen. Der Apparat, mit dem sie ausgeführt werden, ist verhältnismäßig schwer und umfangreich. Vorkehrungen sind zu treffen, um das Personal gegen die Sekundärstrahlen zu schützen. Schließlich, und vor allem, sind die Röntgenaufnahmen von Werkstücken merklich verschiedener Dicke ziemlich undeutlich, eben wegen des Vorhandenseins der Sekundärstrahlen. Eine Röntgenaufnahme von Kreuznahtverbindungen ist also beinahe unmöglich. Man kann dies zwar mittels der γ-Strahlen erreichen, aber die hohen Anschaffungskosten der Apparatur und die Gefahren dieser Strahlen für das Personal machen sie in der nicht spezialisierten Industrie unverwendbar.

Wir haben geglaubt, in diesem Bericht die übrigens wenig zahlreichen Versuche, die wir über das Schrumpfen angestellt haben, nicht streifen zu sollen. Sie hatten auch nicht den Zweck, die auf das Schrumpfen zurückzuführenden Restspannungen zu bestimmen, sondern lediglich die Änderungen der Abmessungen und der Form bei den Bauteilen eines Schiffsgerüstes, sowie die zu befolgende Methode zu deren Beseitigung im voraus. Daher haben wir uns damit begnügt, die Gesamt-Formänderungen zu erwähnen, die nach vollständiger Erkaltung auftreten, was allerdings nicht ermöglicht, die Restspannungen mit Sicherheit abzuschätzen.

Zusammenfassung.

In einer Schweißwerkstätte kann man zum vornherein eine Kontrollorganisation schaffen, welche jede Sicherheit bietet. Diese Kontrolle kann in Sonderfällen durch Röntgenaufnahmen ergänzt werden. Es scheint jedoch, daß die Verwendung der Röntgenstrahlen nicht verallgemeinert werden kann.