

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

Band: 2 (1936)

Rubrik: IIIc. Prüfung der Schweißnähte

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>

III c

Prüfung der Schweißnähte.

Contrôle des soudures.

Inspection and control of welded joints.

Leere Seite
Blank page
Page vide

III c 1

Prüfungs- und Überwachungsverfahren für die elektrische Schweißung der gewöhnlichen Stähle.

Méthodes d'essais et de contrôle de la soudure électrique des aciers ordinaires.

Testing and Control in the Electric Welding of Ordinary Steels.

G. Moressée,
Ingénieur des Constructions Civiles et Coloniales, Liège.

Die elektrische Lichtbogen- oder Widerstandsschweißung der Stähle, welche normalerweise für Brücken- und Hochbaukonstruktionen verwendet werden, bietet kaum noch Schwierigkeiten. In dem Maße jedoch, wie diese Schweißung auf Grund wirtschaftlicher Erwägungen sowie infolge ihrer leichten Ausführbarkeit oder ästhetischen Wirkung gefördert wird, wird es mehr und mehr erforderlich, die Prüfungs- und Überwachungsmethoden zu vervollkommen.

Die Bau- und Lieferungsvorschriften schreiben im allgemeinen nur die Art der zu verwendenden Elektroden sowie die Überwachung der Handarbeit und die Prüfung der eingebrachten Schweißlagen oder der geschweißten Punkte vor.

Der gewissenhafte Konstrukteur jedoch, welcher eine schwere sowohl rechtliche als auch moralische Verantwortung trägt, muß jedoch bedeutend schärfner in seinen Anforderungen sein und eingehendere Untersuchungen anstellen, um die Sicherheit zu besitzen, daß seine Arbeit gelingen wird.

I. Die elektrische Lichtbogenschweißung.

Anwendungsmöglichkeiten.

Die elektrische Lichtbogenschweißung der weichen Baustähle (37—44 kg/cm², 42—50) und der halbharten Baustähle (St. 52, MS. 60—70, C. 58—65 usw.) erfolgt in Belgien fast ausschließlich unter Verwendung umhüllter Elektroden. Die Schweißung mit blanker Elektrode ist für die auf Festigkeit beanspruchten Verbindungen aufgegeben worden, da dieses Schweißgut spröde ist und leicht oxydiert infolge der darin eingeschlossenen Oxyde und Nitrate (SiO_2 in Form kleiner Kügelchen) oder der darin gelösten Verbindungen (FeO und Nitrate bis zu einem festen Gehalt von 0,12 %).

Wechselstrom wird häufiger verwendet als Gleichstrom, da er infolge der Spannungsschwankungen eine energische Durchrührung der geschmolzenen Masse hervorruft, wodurch die Schlackenteilchen und Lunker ausgetrieben werden. Der Wechselstrom erfordert aus Gründen der Stabilität einen kurzen Licht-

bogen, wodurch sich infolge der Wärmekonzentration zahlreiche Tröpfchen bilden, welche einen wirksamen Schutz des geschmolzenen Metalles ergeben.

Die höheren Stromstärken werden unter Innehaltung des Bereichs des stabilen Lichtbogens besonders angestrebt, da sie eine wesentliche Beschleunigung des Schweißens ermöglichen, woraus sich geringere Gestehungskosten sowie eine Verringerung der inneren Spannungen, ein besserer Einbrand und eine gesunde und einschlußfreie Schweißnaht ergeben.

Wahl der Elektroden.

Die Wahl der für eine bestimmte Arbeit geeigneten Elektroden ist ein wichtiger Gesichtspunkt, welcher zu häufig dem kaufmännischen Ermessen überlassen bleibt. Die Wahl der Elektroden hängt von der Art des zu schweißenden Stahles, von der Art der herzustellenden Verbindungen (starre, halbelastische, elastische), von der Lage der Konstruktionsteile (Stumpfschweißung, V- und X-Nahtschweißung usw.), von ihrer Anordnung im Raum (horizontale, vertikale, oder über Kopf geschweißte Schweißnähte), von dem Ort, wo die Schweißarbeit durchgeführt wird (Werkstätte, Baustelle) und sogar auch von den atmosphärischen Bedingungen ab.

Nachdem die Art der zu verwendenden Elektroden festgestellt ist, empfiehlt es sich, einen möglichst großen Durchmesser für dieselben zu verwenden, soweit dieser sich mit der Dicke der zu schweißenden Stücke und der Lage der Schweißnähte verträgt. Geht man von einer bestimmten Stromstärke aus, so wächst die Schweißgeschwindigkeit gleichzeitig mit der Leistung des Gerätes und der Arbeiter, während die inneren Spannungen sich entsprechend verringern.

Die Schweißer.

Der gute Erfolg hängt zum großen Teil von der Qualität und der Gewissenhaftigkeit der Schweißer und der Überwachungspersonen ab.

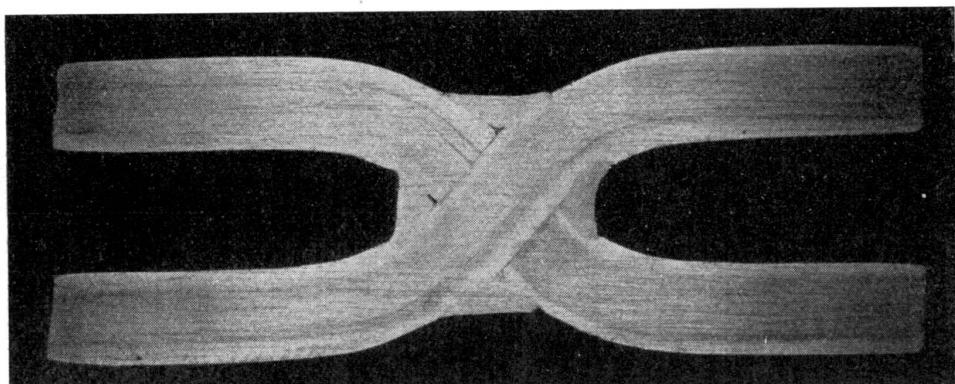
Regelmäßige ärztliche Untersuchungen gewährleisten einen guten Gesundheitszustand des Personals. Es ist darauf zu achten, daß die Arbeit unter gesundheitlich einwandfreien und günstigen Bedingungen durchgeführt wird.

Jede Woche oder höchstens alle vierzehn Tage, und zwar entweder zu Beginn oder am Ende der Woche muß jeder Schweißer ein Probestück schweißen, welches im kalten Zustand gebogen und weiteren Festigkeitsprüfungen unterworfen wird, wobei das Probestück reißen muß, ohne daß die Schweißstellen sich ändern. Anschließend wird das Probestück im Schnitt auf makrographischem Wege untersucht (Fig. 1).

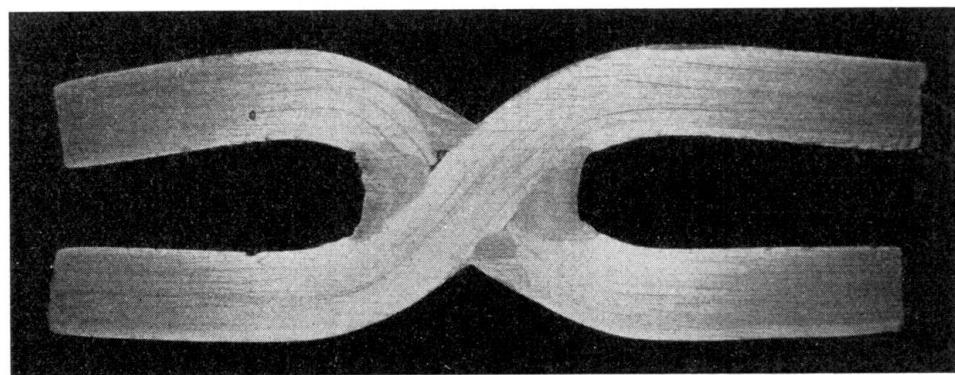
Das Schweißgut.

Das Schweißgut muß auf seine Beschaffenheit chemisch untersucht werden (Feststellung der Qualitätsbeständigkeit), sowie auf sein Gefüge durch die mikrographische Analyse (Einfluß des Bearbeitungsverfahrens auf die Korngröße, den Einbrand, die Einschlüsse), auf seinen Reinheitsgrad durch die makrographische Analyse (Einschlüsse, Porosität), auf seine Festigkeitseigenschaften durch Festigkeitsprüfungen (wobei die Bruchdehnung das Kriterium für die

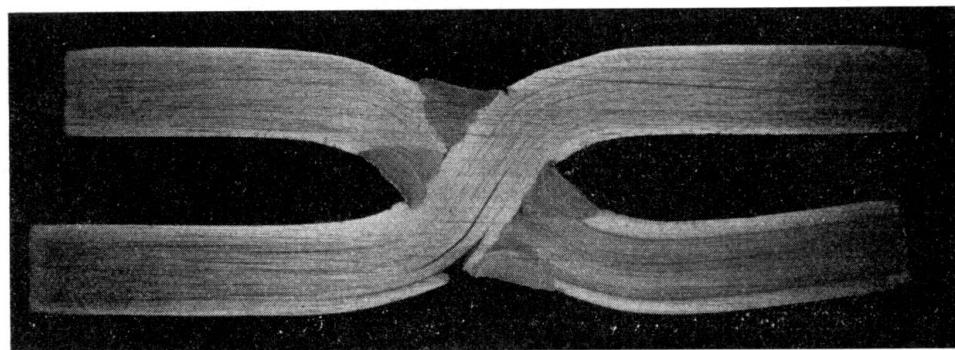
Qualität ist). Die Figuren 2, 3, 4 und 5 zeigen ein Beispiel für die Untersuchung der Schweißnaht eines Kohlenstoffstahles Ougrée 58—65 kg unter Verwendung von Arcos-Stabilend-Elektroden.



Schweißung mit 4 mm Elektroden. Stromstärke 190 A.



Schweißung auf Abschrägung mit 6 mm Elektroden. Stromstärke 250 A.



Schweißung auf Abschrägung mit 8 mm Elektroden. Stromstärke 500 A.

Fig. 1.

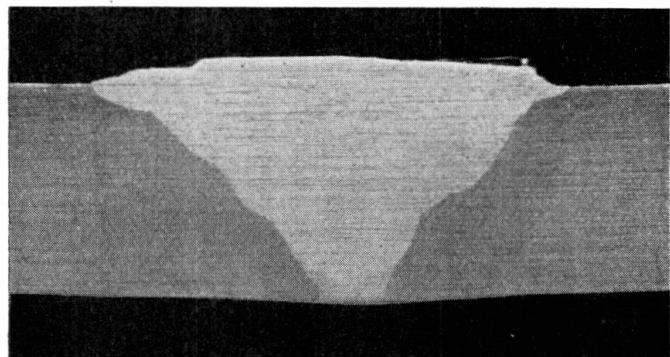
Kreuzförmige Versuchsstücke nach der Zusammendrückung.

Die Nähte müssen unversehrt bleiben.

Die Schweißverbindungen.

Was den Konstrukteur interessiert, ist jedoch nicht lediglich das Verhalten des Schweißguts, sondern auch die Festigkeit der Schweißverbindung gegen Beanspruchungen und gegen die korrodierenden Einflüsse der Atmosphäre.

Untersuchung eines
geschweißten Stoßes.



Chemische Analyse.

Stahl 58—65		Schweißgut aus „Arcos Stabilend“ Elektroden	
C.	0,310	C.	0,080
Mn.	0,836	Mn.	0,430
P.	0,060	P.	0,014
Si.	0,075	Si.	0,015
S.	0,037	S.	0,032

Mechanische Versuche.

Bruchlast	58 kg/mm ²	50 kg/mm ²
Elektrizitätsgrenze	38 kg/mm ²	36 kg/mm ²
Bruchdehnung	24 %	28 %
Kerbzähigkeit	6 mkg/cm ²	10,6 mkg/cm ²

Mittelwerte von 80 Versuchen.

Prüfung durch Anfräsen.

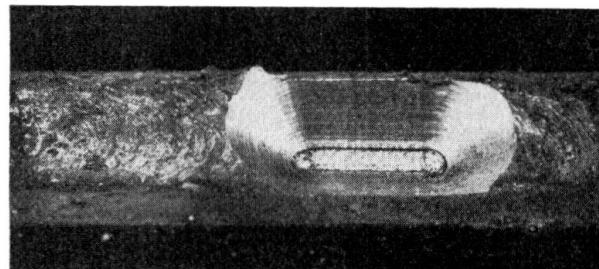


Fig. 2.

Untersuchung eines Versuchskörpers, geschweißt mit Wechselstrom und mit „Arcos Stabilend“ Elektroden; der Mutterwerkstoff ist Stahl 58—65.

Abnahmeprüfung von Stahl 37—44 (24 Versuche)

Bruchlast	min.	50	kg/mm ²
	max.	56	kg/mm ²
	mittel	54	kg/mm ²
Kerb- zähigkeit	min.	8,9	mkg/cm ²
	max.	12,6	mkg/cm ²
	mittel	11	mkg/cm ²

Biegen über Dorn $\phi = 3$ e.
Gut für 180°.

Abnahmeprüfung von Stahl 58—65 (24 Versuche)

Bruchlast	min.	55	kg/mm ²
	max.	69	kg/mm ²
	mittel	58,5	kg/mm ²
Kerb- zähigkeit	min.	5,52	mkg/cm ²
	max.	8,27	mkg/cm ²
	mittel	6,7	mkg/cm ²

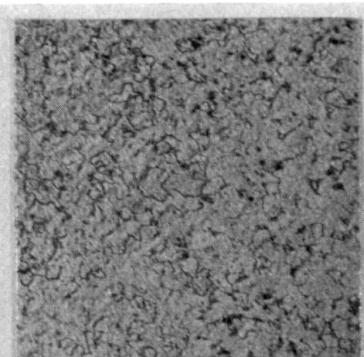
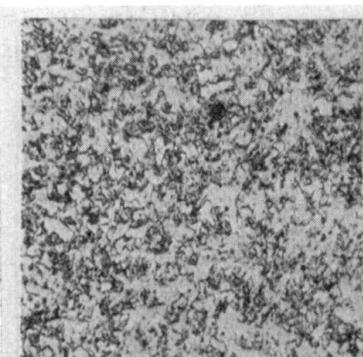
Biegen über Dorn $\phi = 5$ e.
Gut für 180°.

Fig. 3.

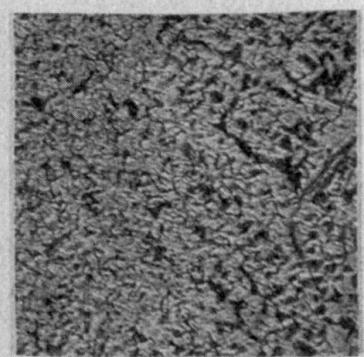
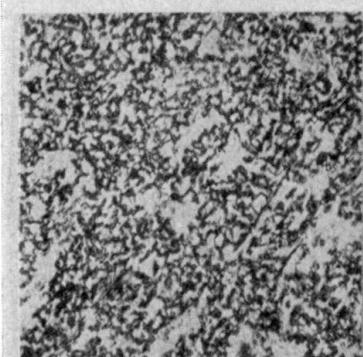
Ohne thermische Behandlung.

Nach dem Ausglühen.

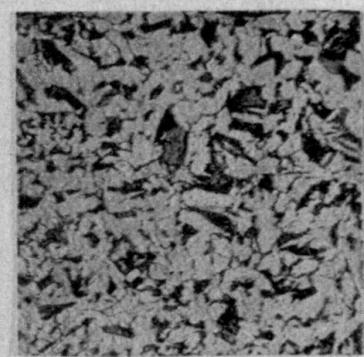
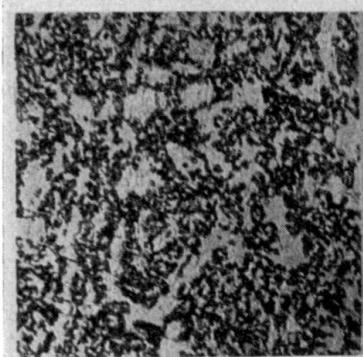
Schweißgut.



Schweiß-Stoß.



Nahe beim Stoß.



Roheisen.

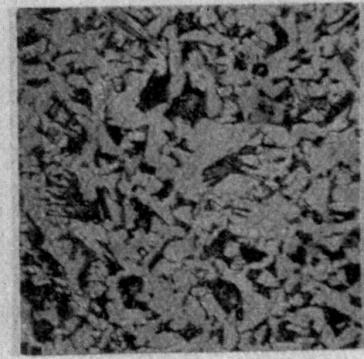
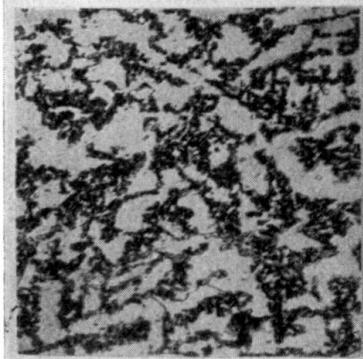


Fig. 4.

Mikro-Aufnahmen eines Schweiß-Stoßes.

Kohlenstahl 58—65. Elektrode: Arcos-Stabilend.

Die Prüfungen der Schweißbarkeit eines Stahles bieten in dieser Beziehung einen großen Vorteil, weil sie sich den praktisch vorhandenen Arbeitsbedingungen nähern und dabei doch vollkommen genaue Ergebnisse über das Verhalten des Stahles bei Zugbeanspruchung (mit Bestimmung der Elastizitätsgrenze) und Schlagbeanspruchungen (Kerbzähigkeitsprüfungen von *Mesnager* oder *Charpy*) liefern.

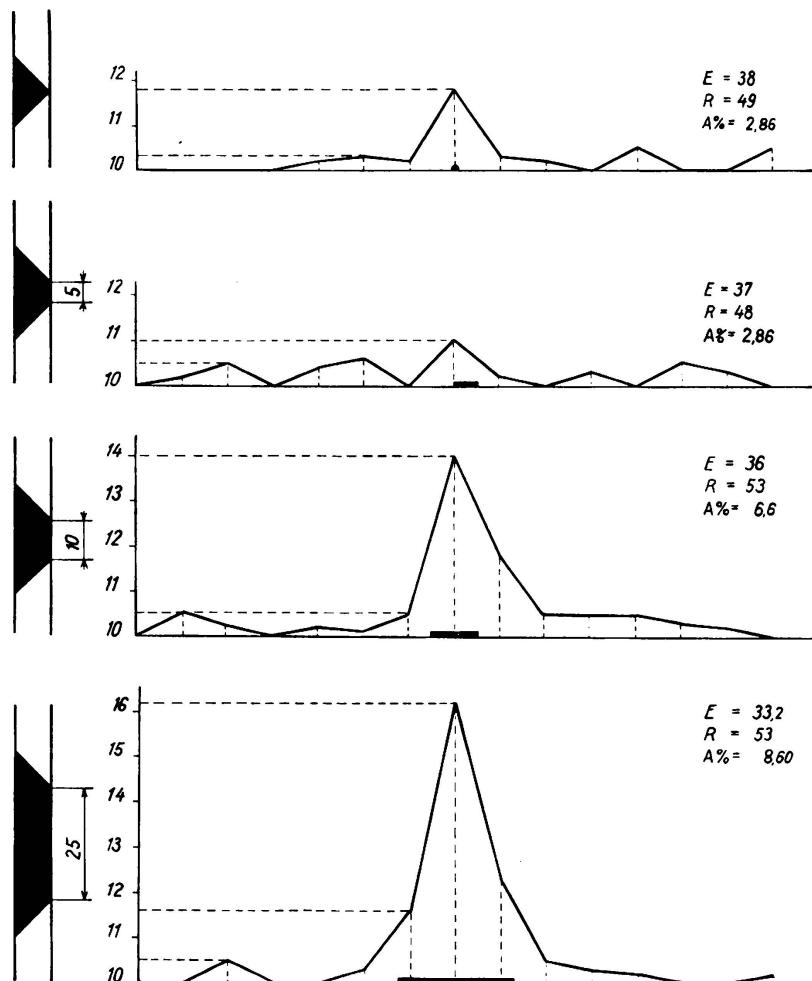


Fig. 5.

Zugversuch an Flacheisen-Stab von 100 mm^2 Fläche und 140 m Länge mit veränderlicher Schweißgutmenge. Messung der Bruchdehnungen von 10 zu 10 mm. Kohlenstahl 58—65, Arcos-Stabilend Elektrode. Man beachte die Verteilung der Dehnungen und die schwache Gesamtdehnung. Ein Vergleichs-Prüfstab aus Blech gibt 20 %.

Es ist dann noch erforderlich, die Festigkeit der verschiedenen Schweißnähte festzustellen, die von dem Entwurfsbüro vorgeschlagen sind und zwar unter den wirklich vorhandenen Ausführungs- und Ermüdungsbedingungen. Ferner ist die Formänderung der Schweißnähte vor Erreichen der Elastizitätsgrenze zu ermitteln.

Die Spannungsverteilung kann an einem verkleinerten oder einem Modell natürlicher Größe ermittelt werden, und zwar nach der Methode, die von Professor *Campus* an den geschweißten Knotenpunkten der Fachwerkkonstruktion

des Chemischen und Bautechnischen Institutes der Universität Lüttich durchgeführt worden ist.

Die Besichtigung der Schweißnähte durch eine besonders ausgebildete Überwachungsperson ist die erste Prüfung. Die Schweißnähte werden vom Schweißer mit einer Nummer versehen, so daß derselbe für seine Arbeit verantwortlich gemacht werden kann, auch wenn Fehler erst lange Zeit nach der Ausführung auftreten. Die Nummern werden in ein besonderes Register eingetragen, in dem auch alle anderen Anmerkungen verzeichnet werden.

Die Prüfung der eingebrachten Schweißraupen durch Herausfräsen kann vor Aufnahme der Fabrikation von Nutzen sein, um den Einbrand usw. feststellen zu können. Später hat dieses Verfahren, welches eine Zerstörung der Schweißnaht erfordert, nur noch untergeordnete Bedeutung infolge seiner moralischen Einwirkung auf den Arbeiter, welcher sich überwacht fühlt.

Die Kontrolle mit dem Stethoskop ist für die ins Auge gefaßten Verwendungsgebiete von untergeordneter Bedeutung.

Die magnetographische Kontrolle, bei welcher die durch die Schweißnaht hervorgerufenen Abweichungen der Kraftlinien eines durch einen Magneten erzeugten Magnetfeldes festgestellt werden, kann in besonderen Fällen wertvolle Ergebnisse liefern und zwar insbesondere bei der Voruntersuchung stumpfgeschweißter Prüfstücke. Die Steigerung des magnetischen Widerstandes in der Schweißstelle an den fehlerhaften Zonen (Risse, Blasen usw.) ist an den Kraftlinien des Spektrums zu erkennen.

Die Metalloskope von *Giraudi* ergeben beachtliche Resultate, aber nur bei der Untersuchung kleiner Stücke, da die Intensität des Feldes so groß sein muß, daß sie zu einer Sättigung führt. Magnetische Metalloxyde, in einer Flüssigkeit suspendiert, werden auf die Prüfstücke gegossen und an den Stellen angezogen, wo die Kraftlinien aus dem Prüfstück austreten, so daß an der Oberfläche der Stücke die im Inneren derselben vorhandenen Fehler aufgezeichnet sind.

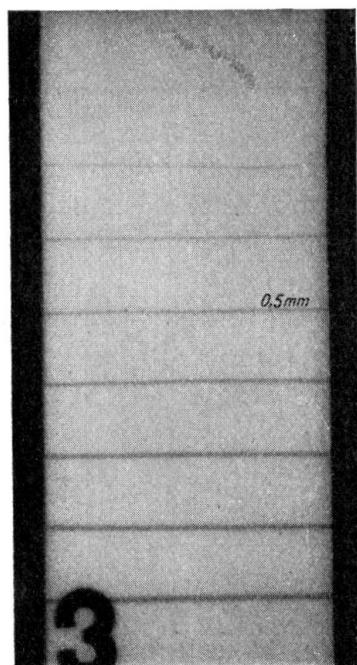
Die Prüfung mit Hilfe der Röntgenfotografie, welche darin besteht, daß die Schweißnähte mit Hilfe von Röntgenstrahlen fotografiert werden, ist das einzige wirksame Prüfverfahren, welches praktisch durchgeführt worden ist. Die Intensität der Strahlen muß entsprechend der Stärke der Stücke und der Abmessungen der aufzudeckenden Fehler gewählt werden. Die ortsfesten oder fahrbaren Röntgengeräte von Philips ermöglichen es, eine Durchdringungstiefe der Röntgenstrahlen von 80 mm zu erzielen. Die Elektronenintensität wird durch einen Widerstand geregelt; ein vollkommener Schutz der Arbeiter ist gewährleistet (Fig. 6, 7, 8 und 9).

II. Die Punktschweißung.

Anwendungsformen.

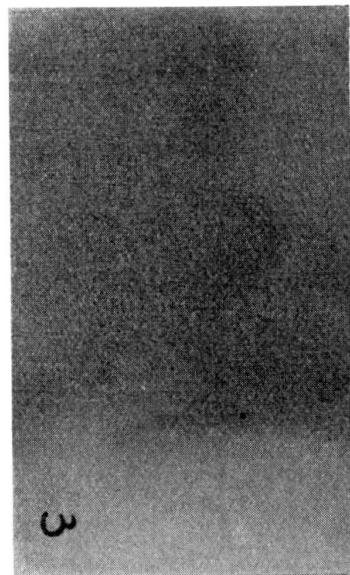
Die elektrische Widerstandsschweißung in Form der Punktschweißung wird bis jetzt fast nur für den Bau von Trägern, Gitterwerken oder sekundären Teilen im Brücken- und Hochbau verwendet. Sie findet jedoch in zunehmendem Maße Anwendung.

Die gute Ausführung eines Schweißpunktes hängt im wesentlichen von drei Bedingungen ab, nämlich: von der Temperatur der Schweißzone, der Schweiß-



Röntgenbild.

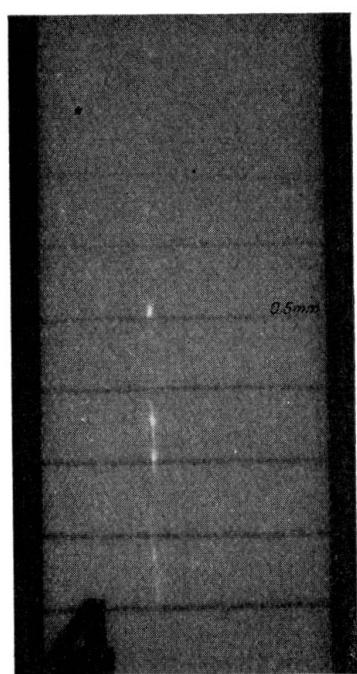
(Belichtung: 10 Minuten. 70 KV. 4 m A.
Erkennung von Fehlern von 0,1 mm).



Magnetonskopisches Bild.

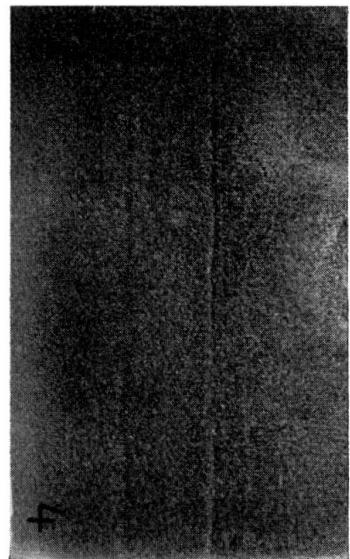
Fig. 6.

Durch V-Naht geschweißter Stoß; Dicke 10 mm. Elektroden Esab. OK. 47.
Fluß-Stahl. Gesunde Schweißung.



Röntgenbild.

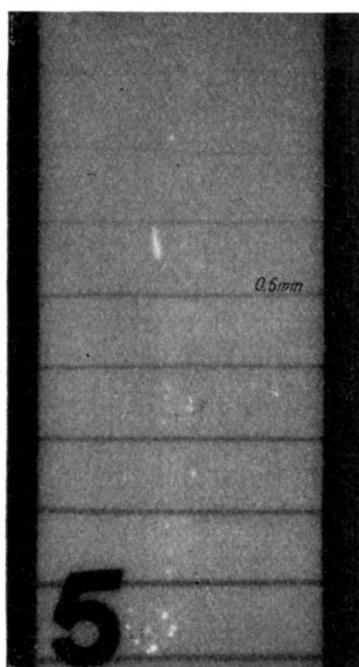
(Belichtung: 15 Minuten. 70 KV. 4 m A.)



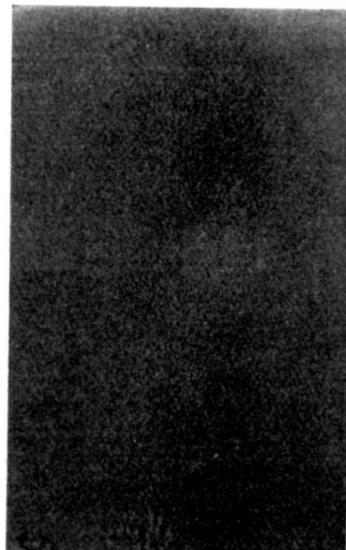
Magnetonskopisches Bild.

Fig. 7.

Durch V-Naht geschweißter Stoß. Dicke 10 mm, Elektroden Esab. OK. 47.
Kohlenstahl: 58—65. Man bemerkt einen Längsriß infolge Schrumpfen. Die
Schweißung schien äußerlich vollkommen zu sein.



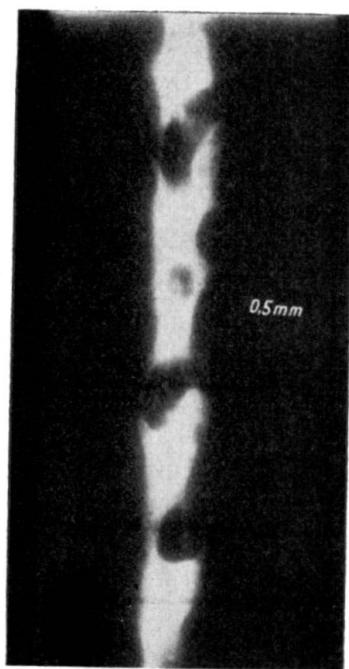
Röntgenbild.
(Belichtung: 15 Minuten. 70 KV. 4 m A.)



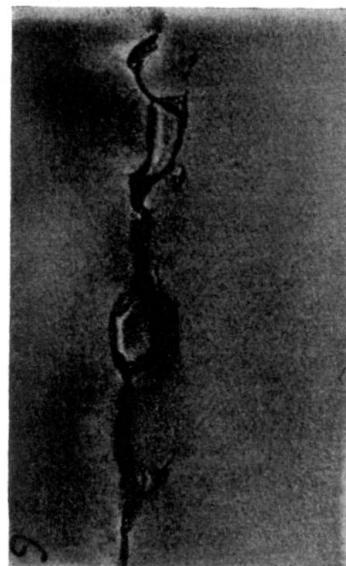
Magnetoskopisches Bild.

Fig. 8.

Durch V-Naht geschweißter Stoß. Dicke: 10 mm. Elektroden: Arcos-Veloxend.
Poren in der Größenordnung von 0,1—0,2 mm infolge einer übertriebenen Stromstärke.



Röntgenbild.
(Mögliche Erkennung von Fehlern > 0,3 mm.
Belichtung 4 Sekunden. 90 KV. 4 m A.)



Magnetoskopisches Bild.

Fig. 9.

Durch V-Naht geschweißter Stoß: Dicke 10 mm. Elektroden: Arcos-Veloxend.
Man beobachtet auf die ganze Nahtlänge eine Höhlung mit Metalltropfen,
umgeben von Schlacke.

zeit und dem Druck, welcher auf die zu verbindenden Stücke während und am Ende des Schweißvorganges ausgeübt wird.

Die Temperatur des Stahles an der Schweißstelle ist schwer direkt zu messen. Die Schweißzeit muß bisweilen außerordentlich kurz sein ($1/50$ Sekunde für die nicht oxydierenden Stähle 18/8, um bestimmte chemische Umsetzungen zu vermeiden), und muß sich in Abhängigkeit von der Art der Stücke ändern. Der Druck wird für einen bestimmten Fall konstant gehalten und durch mechanische, pneumatische, hydraulische oder elektrische Geräte eingestellt.

Sehr hohe Drücke, welche während sehr kurzer Zeit zur Einwirkung kommen und selbsttätig durch Einrichtungen abgestellt werden, die sofort nach der Unterbrechung des Stromes in Wirksamkeit treten, ergeben die besten praktischen Resultate.

Die Steuerung.

Die Steuerung der Schweißung durch geeignete Unterbrecher, welche den Strom im richtigen Augenblick unterbrechen, ergibt heute sehr befriedigende Resultate.

Die mit konstanter Zeit arbeitenden Unterbrecher gleichen in allen Fällen diejenigen Unregelmäßigkeiten nicht aus, welche durch die Verrostung und die Unregelmäßigkeiten in der Berührung der zu verbindenden Stücke bedingt sind, da sie auf der Annahme beruhen, daß die Schweißtemperatur für zwei aufeinanderfolgende Schweißungen konstant bleibt, was nur dann zutrifft, wenn die in dem Sekundärstromkreis induzierte elektromotorische Kraft konstant ist und die Summe der Kontaktwiderstände zwischen den Werkstücken und den Elektroden in jedem Augenblick den gleichen Wert besitzt. Diese Resultate werden jedoch nur erzielt, wenn die Bleche vollkommen sauber sind.

Die Unterbrecher mit konstanter Mindeststromstärke unterbrechen den Strom, wenn die Stärke des in der Schweißstelle fließenden Stromes einen bestimmten Wert erreicht. Sie ergeben eine empfindliche Regelung und hängen von der Spannung ab.

Die Unterbrecher, welche die Ampère-Sekunden zählen, unterbrechen den Strom, wenn eine bestimmte Anzahl von Ampère-Sekunden durch die Maschine hindurchgeflossen ist. Das Verhältnis zwischen dem den Transformator durchfließenden Strom und der an die Schweißmaschine abgegebenen Leistung ändert sich dauernd und hängt im wesentlichen von der Oberfläche der zu schweißenden Stücke, sowie von dem Anpreßdruck und der Änderung desselben während des Schweißens ab.

Die Unterbrecher, welche die Watt-Leistung messen, arbeiten in Abhängigkeit von der der Maschine zugeführten wirklichen Leistung oder einer Funktion dieser Leistung. Es ist vorzuziehen, sie in den Sekundärstromkreis einzuschalten und an die Elektrodenspannung zu legen, da sie in dieser Weise genauer arbeiten. In diesem Fall ist jedoch erforderlich, einen Transformator und eine komplizierte Abzweigung vorzusehen.

Ein selbst aufzeichnendes Kontrollgerät druckt bei jedem Schweißpunkt eine Kurve auf einen Papierstreifen, welche in Abhängigkeit zu der zugeführten Leistung steht und somit eine Prüfung der Qualität des Schweißpunktes ermöglicht. Bei Unglücksfällen, schlechten Kontakten, falsch verbundenen Leitern,

defekten Reglern, Spannungsabfällen usw. ertönt ein Läutwerk, welches die Überwachungsperson aufmerksam macht. Die Schweißmaschine hält an, bis wieder normale Bedingungen vorhanden sind.

Man darf nur vollkommen saubere Stücke zum Schweißen verwenden, welche so weit wie möglich geschliffen oder mit dem Sandstrahlgebläse behandelt sind.

Die Schweißpunkte.

Die Schweißpunkte müssen im Laboratorium auf mikrographischem Wege untersucht werden, besonders wenn es sich um Stähle mit Kupfer-, Nickel- oder Chromgehalt handelt. Die in der Kontaktzone vorhandenen Verunreinigungen bleiben im geschmolzenen Metall eingeschlossen und konzentrieren sich darin (Fig. 10).

Prüfungen auf Schubbeanspruchung müssen vorausgehen. Man kann dann gewiß sein, daß man mit den modernen Geräten, welche mit in Abhängigkeit von der Watt-Leistung arbeitenden Unterbrechern ausgerüstet sind, vollkommen konstante Resultate erzielt; da die Schweißzeit stets verhältnismäßig sehr kurz ist und daher wenig kostet, ist die Anzahl der Schweißpunkte reichlich zu bemessen, damit die Be-

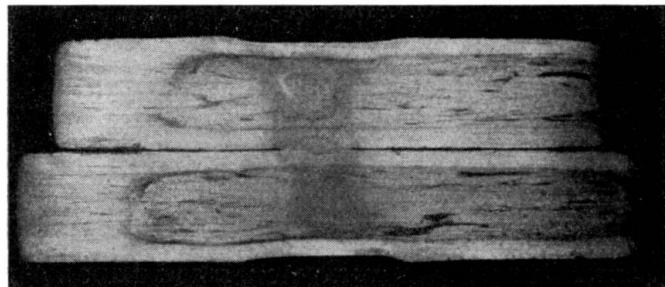
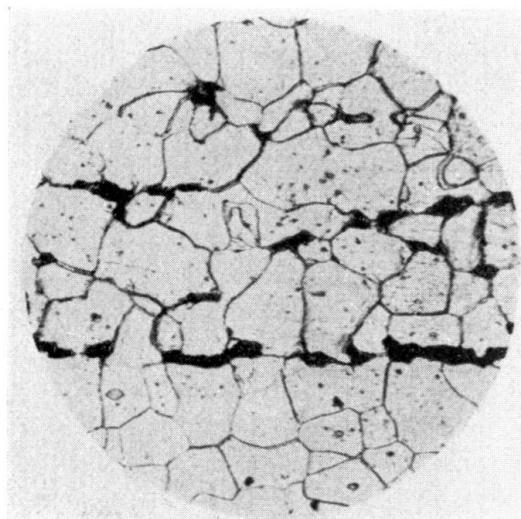
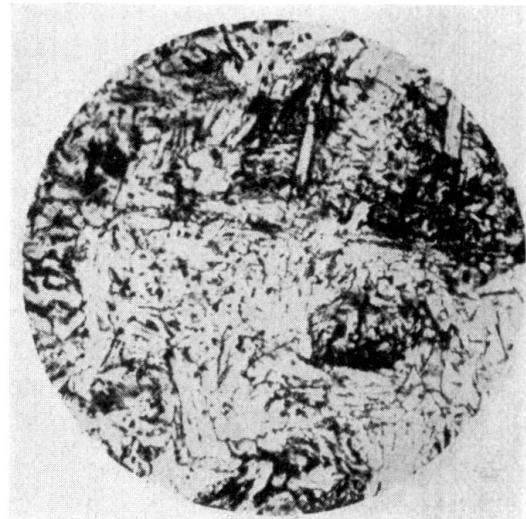


Fig. 10a.

Makrobild eines geschweißten Punktes. Stahl: 42—50.



Mutterwerkstoff.



Schweißgut.

Fig. 10b.

Mikrobild eines geschweißten Punktes. Stahl 42—50.

anspruchung der Schweißpunkte klein wird. Auf Grund der praktischen Ergebnisse konnte festgestellt werden, daß bis zu Blechstärken von 2×10 mm die Sicherheit der Schweißstellen die gleiche ist wie bei Nietverbindungen.

III c 2

Prüfung der geschweißten Brücken und Hochbauten.

Contrôle des ponts et charpentes soudés.

The Testing of Welded Bridges and Structures.

F. Campus,

Professeur à l'Université de Liège, Directeur du Laboratoire d'essais du Génie Civil.

Die geschweißten Bauwerke erfordern nicht nur eine Prüfung der Güte der Schweißungen. Sie verlangen eine aufmerksamere Prüfung des Stahls und seiner Bearbeitung als die genieteten Bauwerke. Diese Feststellung wird vielleicht nicht allgemein genug beachtet, sie erklärt viele Schwierigkeiten und Fehlschläge.

Ich fasse nicht nur die Güte des Stahls ins Auge, wie sie durch normale Versuche bestimmt wird. Sie muß sowohl durch metallographische als auch durch mechanische Schweißbarkeitsversuche ermittelt werden, die darauf abzielen, ein geeignetes Grundmetall und ein geeignetes Zusatzmetall vorteilhaft zu verbinden. Bei dieser Prüfung ist es wichtig, bereits die Konstruktionseinzelheiten des geplanten Bauwerks zu berücksichtigen.

Die besonderen Formen, in denen Bauteile aus einem als schweißfähig bekannten Stahl verarbeitet werden, verlangen eine große Aufmerksamkeit. Die Schweißbauweise hat den Vorteil, den sie aus der Verwendung von Walzprofilen, Träger oder Flacheisen von großen Abmessungen oder Stärken ziehen konnte, nicht unbeachtet gelassen. Die metallurgische Herstellung dieser Bauelemente ist recht schwierig, und die Teile können auf Grund der thermischen und mechanischen Arbeitsgänge, denen sie bei ihrer Herstellung unterworfen werden, unbekannte Eigenschaften annehmen, die ihnen ein manchmal schlechtes, häufig empfindliches Verhalten erteilen. Die spätere Anwendung der Schweißung auf diese Teile kann für dieselben eine ungünstige Reizung bedeuten. Es ist auch nicht selten der Fall, daß die Einzelteile der geschweißten Bauwerke entsprechende Vorbereitungen erfahren, häufig mit dem Brenner in manchmal verwickelte Formen zerschnitten werden. Die Vorgänge genügen, um vor dem Schweißen Störungen in den zu vereinigenden Teilen hervorzurufen. Wenn diese Fehler von großem Ausmaß sind, so sind sie vom Gesichtspunkt der Prüfung sicher und das Stück wird ausgeschieden. Schwerwiegender ist der geringfügige Fehler, der wieder korrigiert, sogar einfach verdeckt werden kann. Aber im Bereich dieser Fehler, die vor oder nach der Schweißung auftreten können, kann es unsichtbare Fehler in Form von nicht erkennbaren Rissen geben. Wie soll man anders die Bildung von sichtbaren Rissen erklären, die manchmal erst lange nach der Prüfung und der Inbetriebnahme von Bauwerken erkennbar sind. Sie

sind keineswegs eine Wirkung der Belastung oder eine Ermüdungserscheinung, sondern treten in einer den oben betrachteten Rissen ganz entsprechenden Form auf. Es ist übrigens allgemein so, daß diese Risse nicht ganz plötzlich auftreten, sondern nach Ablauf einer veränderlichen Zeit nach der sie erzeugenden Behandlung.

In den Fällen, von denen ich Kenntnis bekommen habe, ist der Riß nur ausnahmsweise in der Schweißung aufgetreten. Im allgemeinen verlief er in dem Stahl des Grundmetalls. Wie kann unter diesen Umständen die Prüfung der Güte der Schweißungen gegen einen derartigen Vorfall schützen, der sich manchmal erst viele Monate nach der Abnahme ereignet?

Es ist ersichtlich, daß die Schweißbauweise von den zu vereinigenden Teilen sowie den Hilfsmitteln für den Zusammenbau ganz bestimmte Güteeigenschaften verlangt. Herstellungsverfahren des Stahls, Walzverfahren, Abmessungen der Bauteile, etwaiges Anlassen — soviele einzelne Punkte, deren Bedeutung bei einem Bauwerk ebenso wesentlich ist wie die der Güte der Schweißungen. Die Bearbeitung ist von ebensolcher Wichtigkeit: Zerschneiden, mechanisches Einschneiden, Bohren usw. Zahlreiche Fälle von Rißbildung, die manchmal verspätet eintraten, waren auf diese Arbeitsgänge zurückzuführen, besonders wenn letztere Anfänge von Rißbildungen erzeugten oder bestehen ließen. Soweit man diese Arbeitsgänge nicht vermeiden kann, wird man es also vorziehen, Bohrungen anstatt Lochungen anzubringen, das Zertrennen mit der Säge anstatt mit der Schere oder mit dem Wärmeschneidverfahren vorzunehmen usw. Zumindest müssen die Kanten der Wärmeschnitte geschliffen oder gefräst, die gelochten Löcher nachgebohrt werden usw., kurz das Metall muß sorgfältig bearbeitet werden, soweit dies wirtschaftlich möglich ist. Schließlich sind diese Bedingungen — nämlich die Abmessungen und Formen der Einzelteile, die Formgebung und Bearbeitung — eng mit der Konstruktion des Bauwerks verknüpft. Infolgedessen ergeben sich die wesentlichen Elemente der Sicherheit und der Prüfung und die Wichtigkeit derselben aus der Anfertigung des Entwurfs. Die Anwendung der Schweißung bringt in den Bau der metallischen Brücken und Hochbauten eine Verwicklung hinein, die einen Umschwung darstellt, der demjenigen durch den Eisenbeton im Massivbauwesen durchaus entspricht.

Die Ähnlichkeit mit den Besonderheiten des Eisenbetons besteht in mehrfacher Hinsicht. Bezuglich der Prüfung ist diese Ähnlichkeit gut dazu geeignet, den Unterschied zwischen der Prüfung der Güte der Schweißungen und der Prüfung der geschweißten Bauwerke aufzuhellen. Die verhältnismäßig alte Erfahrung mit dem Eisenbeton trägt dazu bei, die Illusionen und Übertreibungen zu vermeiden. Man handhabt seit langem die Prüfung der Güte des Zements und des Betons. Aber die Prüfung der Bauwerke aus Eisenbeton ist ein verwickelterer Gesichtspunkt. Man kann auf sie fast all das übertragen, was oben für die geschweißten Bauwerke ausgesprochen ist, und der gegenwärtige praktische Stand der Prüfung der Bauwerke aus Eisenbeton kann in nützlicher Weise auf dem Gebiet der geschweißten Bauwerke den Bestrebungen eine Richtung geben, sowie die Forderungen abschwächen.

Die Prüfung der Güte der Schweißungen bildet trotzdem ein hervorstechendes Element der Sicherheit der Brücken und Hochbauten, bei denen diese Art des Zusammenbaues angewendet wird. In dem ersten Teil sind die Verfahren dar-

gelegt worden, über die man verfügt. Ihre praktische Anwendung auf die Brücken und Hochbauten ist mit ernsten Schwierigkeiten behaftet, die von einer gewissen Verwickeltheit und in zahlreichen Fällen von Unmöglichkeiten herrühren. Man muß zugeben, daß die Schweißung bei den Brücken und Hochbauten nicht den Gegenstand einer ebenso vollkommenen Prüfung bilden kann, wie sie bei anderen, einfacheren Gegenständen angewendet wird, wie zum Beispiel bei Behältern, in Reihenfertigung hergestellten Teilen von geringen Abmessungen, Schienenstößen, gewissen mechanischen Sonderkonstruktionen usw. Diese Aufzählung legt übrigens den Gedanken nahe, daß eine derartige Prüfung für die Hochbauten nicht ebenso notwendig ist oder, wenn man so will, daß die wirtschaftliche Auffassung von der Schweißung der Brücken und Hochbauten davon durchdrungen sein soll, daß die Prüfung nicht absolut, sondern relativ und unvollkommen ist. Der kluge Weg besteht also darin, die Sicherheit ungeachtet dieser Unvollkommenheit anzustreben und zu gewährleisten, und dies ist durchaus möglich. Wenn man so konstruiert, was ein Sonderstudium der konstruktiven Formen und der Zusammenbauverfahren erfordert, kann man zu dem Ergebnis kommen, daß trotz ihrer Unvollkommenheit nicht die Schweißung es ist, die das am wenigsten sichere Element der Konstruktion bildet. Die obige Bemerkung bezüglich der größeren Häufigkeit der Risse in dem Grundmetall als in dem Zusatzmetall verleiht diesem Grundsatz seine ganze Bedeutung sowie seine praktische Bestätigung. Man kann ihn in einer bündigen Form aussprechen: der Bruch darf niemals in der Verbindung entstehen. Dies ist durchaus zu verwirklichen und ist verwirklicht, selbst bei den dynamischen Versuchen an gut durchkonstruierten Bauwerken. Ein derartiges Ergebnis kann durch die Nietung nicht erzielt werden.

Wenn eine derartige Auffassung, was die Zeit entscheiden muß, ausreichend sowie vorläufig zulässig ist, so bleibt es doch nützlich und notwendig, hinsichtlich der Güte der Schweißungen die höchste Gewähr zu fordern durch ein System, welches sich an das beim Eisenbeton gebräuchliche anlehnt, das in Wahrheit schon von größerer Genauigkeit ist.

Diese Verfahren sind ziemlich allgemein in Anwendung und unterscheiden sich von einem Land zum anderen und von einem Bauwerk zum anderen nur durch Ausführungseinzelheiten. Sie bestehen in einer Gesamtheit von Vorbeugungsmaßnahmen, die in einer Anweisung oder einer Vorschrift festgelegt sind und die dazu bestimmt sind, ein Netz von praktisch wirksamen und ausreichenden Garantien zu schaffen. Um ein Beispiel zu geben, will ich kurz die Vorschriften erwähnen, die bei Hochbauten angewendet wurden, welche ich in Belgien in den Jahren 1932, 1933 und 1934 geleitet habe und die in einer zu Beginn des Jahres 1932 abgefaßten Anweisung umrissen waren, welche die erste amtliche Urkunde dieser Art in Belgien darstellt. Eine später in Belgien herausgegebene Vorschrift unterscheidet sich davon kaum.

Die Grundbedingung ist eine Konstruktion, die bezüglich der Sicherheit der Verbindungen dem weiter oben ausgesprochenen Grundsatz entspricht. Dann kommt die Prüfung der Güte des Zusatzmetalls. In der in dem vorliegenden Fall zutreffenden Annahme, daß Sonderstahl verwendet wird, muß diese Prüfung gleichzeitig ein regelrechter Nachweis der Schweißbarkeit sein. Die verwendeten Stähle waren von der Güte 42/50 (Belgischer Staat) und 58/65. Für

den letzteren wurden metallographische Schweißversuche angestellt. Die Abnahmeversuche der Elektroden umfaßten:

1. Einen Zerreißversuch an zylindrischen Proben von 10 mm Durchmesser ganz aus abgelagertem Zusatzmetall mit Bestimmung der Zerreißfestigkeit, der Fließgrenze, der Dehnung, die zwischen Marken von 50 mm Abstand gemessen wurde, und der Einschnürung.

2. Einen Kerbzähigkeitsversuch an einer Mesnager-Probe in kleiner Ausführung mit einer Kerbe in der vollen Masse des aufgebrachten Zusatzmetalls. Als Abart wurden auch Versuche an Proben ausgeführt, die eine Schweißung in V-Form aufwiesen, in welcher die Nut entweder im Scheitel des V oder gegenüber oder längs der Winkelhalbierenden des V angebracht war. Das Grundmetall bestand aus Stahl 42/50 oder aus Stahl 58/65. Diese weniger der Regel entsprechenden Versuche sprechen für die Probe, bei welcher die Nut in ein ausreichendes Volumen von Zusatzmetall in genügender Entfernung vom Grundmetall eingeschnitten ist. Die Probe mit einfacher Schweißung in V-Form kann als Nachweis der Schweißfähigkeit gelten, aber die Lage der Nut in Bezug auf das sehr kleine Volumen des Zusatzmetalls muß genau festgelegt werden.

3. Einen Biege-Versuch an einer Platte aus Stahl 42/50 von 10 mm Stärke nach der Formgebung, von 200 mm Länge und von 40 bis 70 mm (im Mittel 50) Breite, mit einer Schweißung in V-Form, welche Platte um einen Dorn von 30 mm Durchmesser gebogen wird, bis die beiden geraden Schenkel parallel sind (180°), wobei die Schweißung in der Achse der Biegung liegt und der Scheitel des V mit dem Dorn in Berührung steht.

Dieser letzte Versuch konnte fortgelassen und nur der Zulassung der Schweißer vorbehalten werden.

Die Zulassungsversuche für die gelernten und geübten Schweißer umfaßten:

1. Einen Biege-Versuch wie zuvor und für den Fall der Verwendung von Stahl 58/65 einen entsprechenden Versuch, jedoch mit einem Dorn von 75 mm Durchmesser an Stelle von 30 mm. Die Proben können flach geschweißt sein, und zwar entweder waagerecht oder senkrecht, je nach der Art der auszuführenden Arbeiten.

2. Einen etwas ausgefallenen Biege-Versuch an einer Probe in Kreuzform, ähnlich der Probe nach deutscher Vorschrift. Das Kreuz hat Schenkel von 150 mm Gesamtlänge, 100 mm Breite und 15 mm Stärke. Ein Schenkel besteht aus 2 Stücken, die je nachdem durch Schweißungen an den Kanten oder in V-Form oder in doppelter V-Form aneinandergeschweißt sind. Dieses Kreuz wird dann unter einer Presse längs der Diagonale flachgedrückt, zuerst bis die Schenkel parallel und 30 mm entfernt sind, dann bis auf 15 mm. Das Grundmetall war Stahl 42/50. Dieser Versuch ist verhältnismäßig streng, besonders für die Schweißungen in V-Form oder K-Form. Die Schweißungen dieser Kreuze waren je nachdem waagerecht oder senkrecht ausgeführt.

Nach der Zulassung wurden die Schweißer periodisch zu Kontrollversuchen angehalten, die in der Anfertigung von gewöhnlichen Biege-Proben nach 1. bestanden. Es empfiehlt sich für alle diese Biege-Proben, besonders für die Zulassung der Schweißer, eine metallographische Prüfung vorzunehmen, oder eine Reihe von Härteprüfungen mit dem Härtmesser von *Brinell* oder *Rockwell*,

oder eine Prüfung durch Zersägen oder mittels Röntgenstrahlen. Der Härteversuch ist besonders brauchbar, um die Güte des Grundmetalls festzustellen und eine etwaige thermische Behandlung der Proben aufzudecken. Die Prüfung durch Zersägen oder mit Röntgenstrahlen gibt Aufschluß über die Regelmäßigkeit und die Güte der Schweißung im einzelnen. Nachdem die Schweißer zugelassen waren, richtete man einen Nachweis der Schweißungen des Bauwerks durch die Führung einer Liste ein, welche genau die von den einzelnen Schweißern während der Dauer der Arbeit ausgeführten Schweißungen festhielt. Gleichzeitig wurden alle sonstigen Beobachtungen aufgezeichnet. Die von Zeit zu Zeit vorgenommene Überwachung der Schweißstromstärke kann nach Belieben ausgedehnt werden. Es kann nicht bestritten werden, daß diese Verfahren der Abnahme der Baustoffe, der Zulassung der Schweißer und der Überwachung der Ausführungen, wenn sie auch keine absolute Gewähr verschaffen, immerhin den Verfahren überlegen sind, die für die Prüfung der Bauwerke aus Eisenbeton gebräuchlich sind. Es ist schon lange her, daß die Betonarbeiter nicht mehr der Zulassung unterworfen sind. Selbst das Schütteln des Betons ist hinsichtlich des Personals nicht mit den gleichen Garantien umgeben, wie sie für die Schweißung der Brücken und Hochbauten gefordert werden.

Nach der Fertigstellung der Schweißungen sind zahlreiche Prüfungen möglich. Die einfachste ist die Prüfung der Abmessungen der Wulste an den Ecken, die mittels Schablonen erfolgt, welche auf bequeme Weise zu Bunden vereinigt sind. Für die Schweißungen in V-Form und in X-Form bestimmt die Formgebung der vor der Schweißung nachgesehenen Teile die Abmessungen. Es ist zu untersuchen, ob keine gegenseitigen Verlagerungen oder keine Verformungen der zusammengebauten Teile stattgefunden haben.

Daran schließt sich die Untersuchung des Aussehens der Schweißung an, die recht trügerisch ist, wenn man nicht die Eigenheiten des Schweißers kennt. Indessen sind gewisse Punkte besonders ins Auge zu fassen: die Krater, die Ansätze, gegebenenfalls die Einschnitte in dem Grundmetall. Das Anschlagen mit dem Hammer, zwecks Tonprobe ist selbst bei Zuhilfenahme eines Stethoskops unwirksam, sofern nicht ein schwerer, mit bloßem Auge sichtbarer Fehler vorhanden ist.

Die nichtzerstörenden Prüfungsverfahren: magnetisch, mit Röntgenstrahlen usw., scheinen in der Anwendung häufig unbequem und auf der Baustelle und selbst in der Konstruktionswerkstatt nicht allgemein durchführbar zu sein. Ihre Anwendung in dem möglichen Umfang ist sicher wünschenswert. Der Bericht von *Berthold* eröffnet interessante Aussichten, aber er bedingt eine Organisation, die nicht den Gewohnheiten aller Länder entspricht und deren allgemeine Einführung ein Problem ist. Die magnetische Untersuchung scheint trügerisch zu sein. Das von *Schmuckler* vorgeschlagene Verfahren der Fräsprüfungen ist recht praktisch, aber von begrenzter Bedeutung. Es ist bei den Bauten, die ich oben erwähnt habe, angewendet worden. Da es sich um Stahl 58/65 als Grundmetall und um widerstandsfähige Schweißung handelte, war das Fräsen der Wülste schwierig. Außerdem waren die Arbeitsgänge verhältnismäßig langwierig und kostspielig. Es wurden insgesamt 73 Fräslagen ausgeführt auf 593 Tonnen Eisenkonstruktion (1 Fräslage auf je 8 Tonnen). Von diesen 73 Stichproben haben fünf bedeutende Fehler ergeben (Löcher von bemerkenswerten Abmessungen auf dem Grunde der Kehlnähte) und 9 leichte Fehler (Blasen von geringen Abmessungen). Einige

Risse sind in der Werkstatt festgestellt worden an Flanken-Kehlnähten von Flacheisen mit Trägerschenkeln bei sehr kaltem Wetter, sowie an einigen unbedeutenden Schweißungen an den Enden von Rollträgern.

Diese schon ziemlich weit getriebene Prüfung an der Baustelle sowie in der Werkstatt, die in Belgien nicht üblich ist, hat ergeben, daß trotz der getroffenen Vorsichtsmaßnahmen, die für die Baustoffe und die Arbeitskräfte Gewähr bieten sollten, die Schweißungen einen geringen Prozentsatz an Unvollkommenheiten aufwiesen. Dies rechtfertigt die vorstehend ausgesprochenen Ansichten über die Notwendigkeit, bei der Konstruktion der geschweißten Bauwerke darauf Rücksicht zu nehmen, um eine reichliche Sicherheit zu gewährleisten.

Wie eingangs dargelegt wurde, kann der Grundmetallstahl ebenso viele Fehler wie die Schweißung aufweisen, was durch die *Baumann-Abdrücke*, die *Makrographien* und *Mikrographien* und auch durch die Störungen aufgedeckt wird, die sich bei den geschweißten Bauwerken eingestellt haben: Dublieren von Blechen, innere Spannungen, harte Stellen, Anfänge von Rißbildung, Überhitzungen usw. Es ist gut, wenn der Konstrukteur sich genügend vergegenwärtigt, daß er nicht über vollkommene Baustoffe für seine Arbeiten verfügt. Diese Kenntnis ist mehr wert als die einer trügerischen Vollkommenheit, deren Verwirklichung nicht möglich ist. Sie schwächt auch die schwierige und zweischneidige Lehre von der Anpassung ab. Sie verlangt für den Entwurf und für die Ausführung der geschweißten Bauwerke technische Fachleute von hoher Bildung und großem persönlichen und beruflichen Wert. Es ist übrigens gewiß, daß die Strenge einer absoluten aber notwendigerweise nachträglichen Prüfung in der Praxis der Brücken und Hochbauten abgeschwächt werden muß durch eine gewisse Nachsicht, in vernünftiger Abwägung der in Betracht kommenden Interessen. Dies ergibt sich aus den Feststellungen von *Berthold* bezüglich der Prüfung mittels Röntgenstrahlen. Für ein sicheres und wirtschaftliches Bauwerk, wie es das Ideal des Ingenieurs ist, soll man sich mit der Prüfung der Schweißungen zur Genüge aber ohne Übertreibung befassen. Die nützlichste Prüfung ist zweifellos diejenige des Verhaltens der Bauwerke, insbesondere der Brücken, im Betrieb. Es kann eine periodische Untersuchung der Schweißungen mit jedem beliebigen Hilfsmittel umfassen, entsprechend der periodischen Untersuchung der Niete.

IIIc 3

Prüfung der Güte der Schweißungen.

Contrôle de la qualité des soudures.

Quality Control in Welding.

A. Goelzer,

Directeur de la Société Secrom, Paris.

Für die gute Ausführung der geschweißten Eisenkonstruktionen ist die Prüfung der Güte der Schweißungen wesentlich. Tatsächlich hat man es hier mit einem verhältnismäßig neuen Zusammenbauverfahren zu tun, das sich gegen etwaige Schwächen selbst verteidigen muß.

Alle Pflichtenhefte und Vorschriften für das Schweißen schreiben Proben vor, die zum Ziel haben, die Güte der Schweißungen auf möglichst bequeme Weise zu prüfen.

Wenn man bedenkt, daß die Güte einer Schweißung einerseits von der Beschaffenheit des Zusatzmetalls selbst und andererseits von der Geschicklichkeit des Schweißers abhängt, so wird man dazu veranlaßt, in Übereinstimmung mit der französischen Vorschrift die folgenden Prüfungen vorzunehmen:

a) *Prüfungen des Zusatzmetalles.*

Diese Prüfungen sind Zugversuche und Kerbschlagversuche. Die Proben werden aus dem Metall der Elektroden angefertigt, das beispielsweise in einer Stahlform geschmolzen wird.

Die Zugversuche müssen die folgenden Ergebnisse liefern:

	Grundmetall	
	Stahl Ac 42	Stahl Ac 54
Geringste Zugfestigkeit ,	38 kg/mm ²	48 kg/mm ²
Geringste Bruchdehnung, zwischen Marken gemessen . .	15 %	12 %

Die Kerbzähigkeit soll nicht kleiner als 8 mkg/cm² sein.

b) *Versuche an geschweißten Verbindungen.*

Diese Versuche überwachen in Wirklichkeit gleichzeitig die Beschaffenheit des Schweißgutes und die gute Ausführung der Schweißungen. Sie umfassen Zugversuche und Biegeversuche an Proben, die durch stumpfes Aneinanderschweißen von flachen Eisenstücken erhalten werden.

Bei den Zugversuchen soll erzielt werden: 42 kg/mm², wenn das Grundmetall Stahl 42 ist und 54 kg/mm², wenn das Grundmetall Stahl 54 ist. Die sich in der Schweißung einstellenden Brüche dürfen weder Blasen, noch geschwärzte Zonen, noch Schaum- oder Schlackeneinschlüsse aufweisen.

Der Biegeversuch erfolgt auf zwei zylindrischen Auflagern von 100 mm Durchmesser, deren Mitten 150 mm Abstand haben, wobei die Schweißung in gleichem Abstand von den Auflagern und mit der Öffnung des V nach unten gekehrt aufgelegt wird. Unter Vermittlung eines Stößels, der genau über der Schweißung aufgesetzt wird, lässt man eine Presse einwirken, bis die beiden Schenkel des geschweißten Flacheisens einen Winkel von 60° bilden. Hierbei dürfen weder in der Schweißung noch in dem Grundmetall Anrisse oder Risse auf der gezogenen Seite auftreten.

Man kann mit diesen verschiedenen Prüfungsverfahren die für die Zulassung der Schweißarbeiter vorgesehenen Prüfungen verbinden. Übrigens ist in praktischer Hinsicht die denkbar beste Gewähr die ausschließliche Verwendung von Arbeitern, die eine ausreichende Ausbildung besitzen und deren Eignung man durch periodische Prüfungen unter Beweis stellt.

Außer diesem gewissermaßen amtlichen Standpunkt, den wir vorstehend besprochen haben, hat man versucht, verschiedene unmittelbare Prüfverfahren auszubilden. Hierbei wurde das Ziel verfolgt, die Fehler nachzuweisen, die bei dem metallurgischen Arbeitsverfahren im Kleinen, wie es die Schweißung darstellt, auftreten. Die hauptsächlichen dieser Verfahren sind die folgenden¹:

Radiographische Prüfung.

Die radiographische Prüfung der Schweißungen erfolgt entweder mittels des Radiums oder mittels des Radons.

Bekanntlich wandelt sich das Radium in Radon um unter Aussendung von α-Strahlen, die aus Heliumatomen mit doppelter positiver Ladung gebildet werden, welche sich sehr schnell fortbewegen. Das Radon wandelt sich übrigens seinerseits in Radium B und dann in Radium C um unter Aussendung der β- und der γ-Strahlen. Die β-Strahlen werden von sehr schnellen Elektronen gebildet. Die sehr schnellen α- und β-Strahlen sind physiologisch gefährlich und für die Radiographie unbrauchbar. Man verhindert ihren Austritt durch Verwendung von Kapseln aus Kupfer, Silber oder Platin, welche die γ-Strahlen hindurchlassen.

Die Radiographie gestattet beispielsweise, die Schweißungen von Hohlkörpern zu photographieren, indem eine Kapsel im Innern des Körpers angebracht wird.

Magnetische Prüfung.

Die magnetische Prüfung nach Professor Roux von der Ecole Centrale des Arts et Manufactures beruht auf folgendem Prinzip:

Wenn man über einen Magneten ein Eisenblech legt, das mit einem Blatt Papier bedeckt ist, und dann Eisenfeilicht auf das Papier streut, so erhält man ein magnetisches Spektrum, dessen Aussehen wohlbekannt ist.

¹ Vgl. „La soudure à l'arc électrique et la soudure à l'hydrogène atomique“ von Maurice Lebrun, Ingenieur A. & M., Doktor der Universität Paris, Laureat des Instituts.

Wenn man das Eisenblech durch zwei einwandfreie, d. h. ohne Blasen oder sonstigen Fehler verschweißte Eisenbleche ersetzt, läßt das Spektrum die Schweißnaht in Erscheinung treten, weil die magnetische Permeabilität des Schweißgutes von derjenigen des Eisenblechs abweicht infolge der Verdickung der Schweißung. Wenn die Schweißung gut ausgeführt ist, ist das Spektrum der Schweißnaht regelmäßig und zeigt kein ungewöhnliches Aussehen.

Die verschiedenen wohlbekannten Fehler der Schweißungen geben Veranlassung zu charakteristischen Bildern. In dem Fall mangelhafter Durchdringung beispielsweise, also einem ziemlich verbreiteten Fehler, erkennt man eine schwarze Linie, die auf die Steigerung der Dichte der Kraftlinien an den dünnsten Stellen zurückzuführen ist. Ferner im Fall eines vollständigen Fehlens der Schweißung in der Mitte der zu schweißenden Stärke erkennt man ein hervorstechendes schwarzes Band.

Das magnetische Verfahren gestattet die Prüfung von Schweißungen an Ort und Stelle, vorausgesetzt, daß die Masse der zu prüfenden Teile nicht zu stark ist (man kann beispielsweise nicht die Wandung eines großen Schiffes prüfen). Um von den auf diese Weise durchgeföhrten Prüfungen Belege zurückzubehalten, benutzt man Blätter von transparentem Papier, die mit einer Leimlösung überzogen sind, auf welche man das Feilicht aufträgt. Man kann dieses Verfahren in allen Stellungen anwenden. Für die Prüfung der geschweißten Teile an Ort und Stelle sind tragbare Apparate ausgebildet worden.

Magnetisch-akustische Prüfung.

Das Verfahren nach *Roux* ist vervollständigt worden durch den Zusatz eines Abhörapparates, der vielleicht geeignet ist, bedeutsame Ergebnisse zu liefern.

Dieses Verfahren besteht darin, daß in das magnetische Feld, das von einem Elektromagneten in dem geschweißten Blech erzeugt wird, eine kleine, periodischen Bewegungen unterworfen Spule gebracht wird. Diese Spule wird der Sitz einer induzierten Spannung, deren Wert der Änderung des magnetischen Feldes längs der Schweißung, über der sie bewegt wird, proportional ist.

Die induzierten Spannungen erzeugen Oberwellen, die in einem Verstärker verstärkt werden, der den in der drahtlosen Telegraphie verwendeten Verstärkern entspricht. Die Oberwellen werden alsdann in einem Hörer, den man an die Ohren nimmt, hörbar gemacht.

Der Nachteil der magnetisch-akustischen Prüfung ist der, daß in die Beurteilung etwaiger Schweißfehler ein subjektiver Faktor eingeschaltet wird.

Direkte Prüfung durch Anfräsen.

Dieses Verfahren besteht darin, daß mittels eines Spezialfräzers ein kleiner Metallpropfen herausgearbeitet wird, der dann einer makroskopischen und gegebenenfalls einer mikroskopischen Prüfung unterworfen wird. Der Fräser von *Schmuckler* ist besonders für diese Art Untersuchung geschaffen worden.

Der Vorteil dieses Verfahrens liegt darin, daß es eine unmittelbare Prüfung darstellt und die Möglichkeit des Bestreitens ausschaltet. Sein Nachteil ist der, daß es nur Stichproben ermöglicht.

Es mögen ferner zwei praktische Verfahren erwähnt werden, die auf die elektrische Bogenschweißung anwendbar sind:

Prüfung der elektrischen Eigenschaften des Bogens.

Die vorstehend beschriebenen Verfahren weisen sämtlich den Übelstand auf, daß sie nachträgliche Prüfverfahren sind.

Man kann nun im Laufe der Schweißung eine Überwachung von wenigstens einem der Merkmale des Bogens ausüben, nämlich des Stromverbrauchs in Ampere. Die Überwachung der Potentialdifferenz an den Klemmen des Bogens hat keine praktische Bedeutung.

Ohne daß man zu einem registrierenden Strommesser zu greifen brauchte, stehen bewegliche Apparate zur Verfügung, die keinen Eingriff in den elektrischen Kreis erforderlich machen und die eine Messung des Verbrauchs in jedem Augenblick gestatten. Dieselben arbeiten genau so gut für Gleichstrom wie für Wechselstrom.

Wenn der Verbrauch dem Durchmesser der Elektrode entspricht, so ist man sicher, daß das ganze aufgebrachte Metall geschweißt wird. Es treten unter Umständen Unterbrechungen in der Schweißung auf, aber derartige Fehler werden leicht durch einen hydraulischen Abdrückversuch aufgedeckt.

Mit diesem Verfahren sind wir, ausgehend von der Prüfung des aufgebrachten Metalls, bei der Überwachung des Schweißarbeiters angelangt, der das Metall aufbringt. Diese Überwachung kann ergänzt werden durch die Überwachung der Zeit, während welcher der Schweißer arbeitet.

Überwachung der Schweißzeit.

Man legt in eine Abzweigung des Schweißstromkreises eine elektrische Uhr, die genau die Zeit aufzeichnet, während welcher der Arbeiter gearbeitet hat. Diese Zeit ist veranschlagt in Hundertsteln einer Stunde. Die Uhr wird angehalten während der Pausen, in denen der Schweißer nicht arbeitet und selbst während des Kurzschließens der Elektrode.

Bei den Prüfversuchen, die wir erwähnt haben, ist nur die Bruchfestigkeit unter statischen Kräften und die Messung der Kerbzähigkeit ins Auge gefaßt worden. Seit einiger Zeit zieht man auch in größerem Maßstab die Ermüdungsversuche an geschweißten Proben heran. Diese Versuche ermöglichen, die schädlichen Wirkungen aufzudecken, die durch die Schweißung hinsichtlich der Ermüdungsfestigkeit ausgelöst werden können.

Systematische Untersuchungen von *Dutilleul*, Ingénieur au Génie Maritime, haben gezeigt, daß immer dann, wenn die Ermüdungsfestigkeit der Schweißungen in Bezug auf das gesunde Blech herabgesetzt war, dies fast ausschließlich von in den Schweißungen vorhandenen Blasen, d. h. also von der Porösität der Schweißungen herrührte.

Man ist manchmal geneigt, die Ermüdungsfestigkeit als absolutes Kriterium zu betrachten. Es scheint, daß dieselbe vorwiegend bei solchen Teilen von Bedeutung ist, die tatsächlich im Betrieb wechselnden, unbegrenzt wiederholten Belastungen ausgesetzt sind, wie dies im Flugzeugbau und für die Maschinenteile der Fall ist; was jedoch die gewöhnliche Eisenkonstruktion anbetrifft, so ist der Wert der Ermüdungsversuche sehr strittig. In dieser Beziehung kann man übrigens häufig bemerken, daß die Ermüdungsfestigkeit und die Kerbzähigkeit sich im entgegengesetzten Sinne ändern.

III c 4

Werkstattprüfung der Schweißung.

Le contrôle des soudures à l'atelier.

Workshop Control of Welding.

W. Heigh,
Welding Superintendent, Babcock & Wilcox, LTD., Glasgow.

Grundsätzlich hängt die Prüfung der Güte der Schweißung von der Überwachung der Schweißer ab, vorausgesetzt, daß die verwendeten Elektroden die wesentlichen Eigenschaften besitzen.

Es müssen Arbeitsweisen für alle Schweißbedingungen entwickelt werden, und wenn dieselben ausprobiert worden sind und sich bewährt haben, dann müssen diese Schweißverfahren dem Schweißer so eingedrillt werden, daß sie ihm in Fleisch und Blut übergehen.

Die Feststellung ist vielleicht von Interesse, daß ein derartiges Vorgehen nicht nur eine gute Schweißung ergibt, sondern auch die eigentliche Arbeitsausführung beschleunigt. Der Grund liegt klar auf der Hand. Wenn der Schweißer genau weiß, was er zu tun hat, so vergeudet er seine Zeit nicht mit Überlegungen, wie er vorgehen soll.

Der Hauptteil jeder Schweißoperation ist die Nahtwurzel — ob es sich nun um eine Kehlschweißung oder eine Stumpfschweißung handelt. Es verlangt einen höheren Grad von Geschicklichkeit, bei einer Schweißung in irgend einer Lage (waagerecht, senkrecht oder überkopf) die erste Raupe zu machen, als sie für die folgenden Lagen erforderlich ist. Die üblichen Fehler bei der ersten Lage sind mangelnde Durchdringung und Reißer. Selbst das Reißen kann bis zu einem gewissen Grad durch die Geschicklichkeit des Schweißers beeinflußt werden.

Es hat sich allgemein als wünschenswert herausgestellt, die Ausbildung der Schweißer auf die Vermeidung von Schlackeneinschlüssen und von Nähten mit mangelhafter Schmelzung hinzu lenken. Die Arbeitsweisen sind entsprechend gewählt worden.

Die beste Art der Beobachtung des erzielten Grades der Ausbildung ist eine Röntgenaufnahme einer Stumpfschweißung oder das Anätzen einer Reihe von Querschnitten einer beliebigen Schweißungsart. Diese werden dem Schweißer gezeigt.

Der Wert dieser beiden Verfahren, einem Schweißer die Fehler seiner Arbeit zu zeigen, ist viel größer als der aller anderen, weil beide ihm eine bildliche Vorstellung geben. Reihen von Abbildungen von mechanischen Versuchen sind für den Arbeiter bedeutungslos, wenigstens in diesem Stadium. Das einzige

sonstige Bild von dem Inneren einer Schweißung, das dargeboten werden kann, wird dadurch erhalten, daß die Schweißung zerstört und dem Schweißer mit den erforderlichen Erklärungen vorgezeigt wird. Die Erläuterungen verwirren im allgemeinen die einfachen Tatsachen, und sehr oft werden die Schlackeneinschlüsse selbst dem geübten Beobachter nicht offenbar. Röntgenaufnahmen und Ätzungen von Querschnitten sind die am meisten überzeugenden Verfahren, um dem Schweißer seine Fehler zu zeigen.

Bei einer abgeschlossenen Ausbildung — durch schrittweisen Übergang von der waagerechten zu der Überkopf-Schweißung und schließlich durch kombinierte Einübung einer Stumpfschweißung und einer Kehlschweißung an einem Rohr von kleinem Durchmesser in fester Lage — wurden die mechanischen Ergebnisse der Prüfungen stets für recht gut befunden. Die einzigen Ausfälle in einem großen Unternehmen, das 130 Schweißer beschäftigt, hatte man mit solchen Leuten, die schließlich ausgeschieden werden mußten, weil sie für die Verwendung als Schweißer nicht geeignet waren.

Der hauptsächliche Fehler bei den Leuten, die zu Schweißern untauglich sind, scheint darin zu bestehen, daß sie die Schweißung, die sie ausführen, nicht sehen können oder nicht mit Überlegung sehen können — vielleicht eine Art von Farbenblindheit in manchen Fällen und nur ein Mangel an Intelligenz in anderen Fällen.

Die mechanischen Ergebnisse bei Schweißungen in senkrechter und Überkopflage genügten stets den Vorschriften für die Art der Arbeit, in der die betreffenden Elektroden und Schweißer verwendet wurden. Im übrigen scheint die einzige Schwankung in den Prüfungsergebnissen ausschließlich von der Natur der verwendeten Elektroden abzuhängen.

Während die beschriebenen Verfahren benutzt werden, um die Leute für die Herstellung von Schweißungen an Kesseln und Rohren für Betriebsdrücke von über 1000 Pfund je Quadratzoll (70 kg/cm^2) auszubilden, haben wir festgestellt, daß der mit der Zeit erreichte Grad der Geschicklichkeit uns in die Lage versetzt, bei allen Arten von Arbeiten hochwertige und feste Schweißungen zu erhalten mit den Schweißern, welche die ganze Ausbildung durchlaufen haben.

III c 5

Über die Prüfung von Schweißnähten.

Le contrôle des soudures.

The Testing of Welds.

Dr. Ing. habil. A. Matting,

Professor an der Technischen Hochschule Hannover.

Neben sorgfältiger Überwachung des Schweißvorganges ist wegen des hohen Persönlichkeitsanteils beim Schweißen eine Nachprüfung der Nähte unerlässlich. Außerdem müssen die Schweißer in regelmäßigen Zeitabständen geprüft werden (vgl. z. B. DIN 4100). Die Nachprüfung muß schnell und mit einfachen Mitteln genügend aufschlußreich durchführbar sein.

Sehr einfach ist der Faltversuch, der in Deutschland nach der Anordnung Fig. 1 bis 3 durchgeführt wird. Der wissenschaftliche Wert ist umstritten.¹ Er kann außerordentlich stark abgewandelt werden (Warmbiegeversuch, Abschreckbiegeversuch usw.), was die Gütwerte erheblich beeinflußt. Trotz vieler Bedenken wird er besonders zur werkstattmäßigen Prüfung herangezogen. Für hochwertige Schweißungen hat er sich jedoch als nicht genügend aufschlußreich erwiesen.²

Der Zugversuch hat in erster Linie laboratoriumsmäßige Bedeutung. Es gibt verschiedene Probeformen. Die üblichen für Stumpfnähte zeigt Fig. 4. Beim Rundkerbstab wird der Bruch in der Schweißnaht erzwungen. Er dient mit abgearbeiteter Wulst zur Werkstoffprüfung. Der prismatische Stab, bei dem der Bruch auch im Übergang oder im Baustoff eintreten kann, ist zur Arbeitsprüfung bestimmt. Die Ermittlung von Streckgrenze und Dehnung ist schwierig und ungenau.

Im Stahlbau wird besonders die Kreuzstabprobe angewandt, die zur Prüfung von Kehlnähten dient, Fig. 5. Die Anforderungen sind in DIN 4100 genau festgelegt.

Die Bedeutung von Dauerbiege- und Dauerzugversuchen wird immer mehr anerkannt. Bei geeigneter Formgebung, fehlerfreien Nähten und allmählichen Übergängen zwischen Werkstoff und Zusatzstoff³ werden Werte von 15 kg/mm² erreicht und überschritten. Richtig hergestellte Schweißverbindungen sind damit den genieteten durchaus gleichwertig, oft sogar überlegen.⁴ Genormte Probeabmessungen für Dauerversuche liegen noch nicht vor.

¹ G. Fiek und A. Matting: Autogene Metallbearbeitung 27 (1934), H. 4, S. 61.

² A. Matting und H. Otte: Autogene Metallbearbeitung 29 (1936), H. 19, S. 289.

³ A. Matting und G. Oldenburg: Elektroschweißung 7 (1936), H. 6, S. 108.

⁴ O. Kommerell: „Erläuterungen zu den Vorschriften für geschweißte Stahlbauten“, II. Teil: Vollwandige Eisenbahnbrücken. Verlag Wilhelm Ernst u. Sohn, Berlin 1936.

Härteprüfungen dienen in erster Linie zur Untersuchung von Auftragschweißungen. Der Kerbschlagversuch, Fig. 6, wird im Stahlbau nach DIN 1913 nur zur Elektrodenprüfung dann herangezogen, wenn es sich um die Herstellung hochbeanspruchter Schweißverbindungen handelt. Diese Untersuchung ist als Abnahmeprüfung der betriebsmäßigen Verwendung der Zusatzstoffe vorgeschaltet. Die verlangten Gütekriterien von 5 bis 7 mkg/cm² werden im allgemeinen ohne Schwierigkeit erreicht.⁵

Zur Beurteilung von Schweißdrähten dient neben den mechanisch-technologischen Prüfverfahren auch der Kletterversuch, Fig. 7, der Aufschluß darüber gibt, ob die Drähte auch in schwieriger Schweißlage verarbeitbar sind. Gasschweißdrähte und blanke Elektroden klettern im allgemeinen gut. Mit der Höhe des Kohlenstoffgehaltes kann die Kletterfähigkeit abnehmen. Schwieriger ist gute Kletterfähigkeit mit umhüllten, besonders dick umhüllten Elektroden zu erzielen, obgleich es auch hier schon hervorragend entwickelte Erzeugnisse gibt. Zur Prüfung der Kletterfähigkeit umhüllter Elektroden dienen nach DIN 1913 heute senkrechte Kehlnähte, von denen eine Lage abwärts und dann eine halbe Lage aufwärts geschweißt wird. Die Kletterprobe erlaubt bedingt gleichzeitig Rückschlüsse auf das Verhalten der Drähte bei Überkopfschweißungen.

Proben, die durchgehend aus Schweißgut bestehen, haben sich bisher in größerem Umfange nicht einzuführen vermocht. Die Bestimmung der Verformbarkeit an geschweißten Proben ist schwierig und unzuverlässig. Der Vorschlag, Dehnungsmessungen an Kreuzstäben auszuführen,⁶ wird zur Zeit geprüft. Beim Reckversuch,⁷ Fig. 8, wird ein Proportionalstab mit längs verlaufender Schweißnaht verwendet. Der Anteil der Schweiße am Gesamtquerschnitt beträgt etwa 30 %. Die Probe wird in einer Zerreißmaschine so lange gereckt, bis das Dehnungsvermögen der Schweiße erschöpft ist. Das unterschiedliche Dehnvermögen einzelner Schweißdrahtsorten, der Baustoffeinfluß und die Auswirkung des Schweißverfahrens lassen sich hierdurch gut erkennen. Proben ohne Wulst ergeben im allgemeinen um 2 bis 3 % höhere Dehnwerte. Von einer allgemeinen Einführung dieser Probeform ist bisher abgesehen worden.

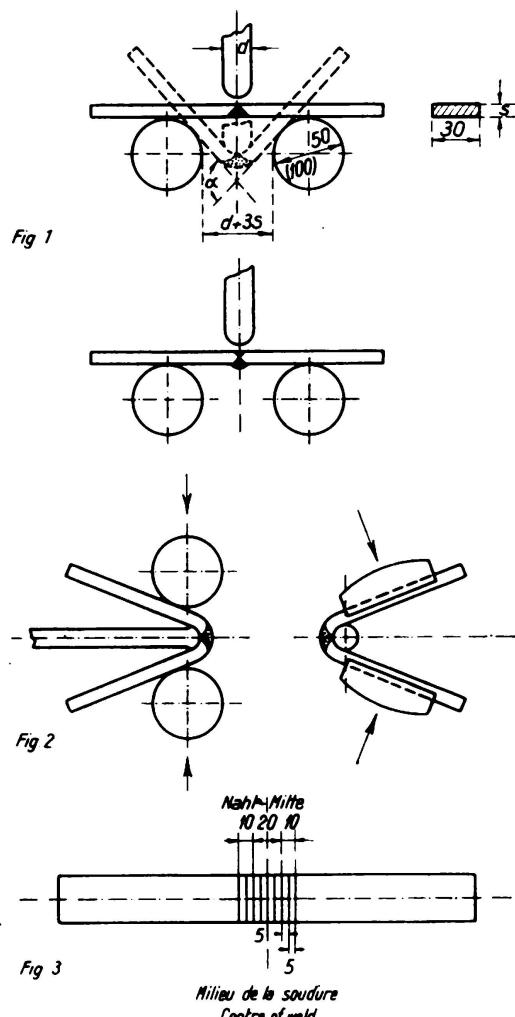


Fig. 1—3,

Anordnung beim Faltversuch nach
Din-Vornorm DVM A 121.

⁵ P. Bardtke und A. Matting: Autogene Metallbearbeitung 26 (1933), H. 18, S. 279 u. H. 19, S. 290.

⁶ H. Blomberg: Elektroschweißung 6 (1935), H. 4, S. 61.

⁷ A. Matting: Elektroschweißung 7 (1936), H. 3, S. 53.

Stichprobenweise lassen sich Schweißer und Schweißverbindungen durch einfache Schweißarbeiten überwachen, wie sie die Keilprobe und Winkelprobe darstellen, Fig. 9. Genauere Anweisungen sind hier nicht erforderlich. Häufig werden auch Probestreifen aus der laufenden Fertigung herausgeschnitten, die in geeigneter Weise durch Zerstörung geprüft werden.

Dicke a	10 ¹ bis 25	über 25-35	über 35-45
Stablänge l	250	300	350
Meßlänge L ₀	soll gleich Breite der Schweiße b _s + 5 bis 10 mm sein		
b ₁	30	35	40
b ₂	20	25	30
r	15	20	25

Dicke a	6	8	10	12	14	16	18	20
Stablänge l	250	250	250	250	250	250	250	250
b ₁	18	24	30	36	42	48	54	60
b ₂	12	16	20	24	28	32	36	40
r	18	24	30	36	42	48	54	60

¹ Für a = 6 mm ist der Stab der DVL zu verwenden.

Fig. 4.

Formen für Zerreißstäbe nach Din-Vornorm DVM A 120.

Zahlenmäßige Beziehungen zwischen den einzelnen Prüfverfahren bestehen offenbar bei Schweißverbindungen nicht, abgesehen von dem Zusammenhang zwischen Festigkeit, Dehnung und Härte bei Kohlenstoffstählen. Die Umrechnungszahl, d. h. der Quotient Bruchfestigkeit zur Härtezahl beträgt bei Schweißen nicht 0,36, sondern 0,29 bis 0,32.⁸ Die Kerbschlagzähigkeit ist nur von der Gefügeausbildung abhängig und lässt sich weder zur Bruchdehnung noch zur Dauerfestigkeit ohne weiteres in Beziehung setzen. Auch besteht keine einwandfreie Beziehung der Dauerfestigkeit zur Zugfestigkeit, Streckgrenze oder Dehnung. Es ist nicht zu umgehen, die jeweils gewünschten Eigenschaften durch Sonderuntersuchungen zu ermitteln.

Grobgefugeuntersuchungen, Fig. 10, sind sehr geeignet zur Prüfung des Einbrandes und des Porengrades sowie zur Feststellung von Schlackeneinschlüssen. Kleingefügeaufnahmen, Fig. 11, dienen zur Ergänzung und zum Nachweis von Fremdstoffen. Besondere Aufmerksamkeit wird heute dem Verhalten von Schweißverbindungen gegenüber Korrosionseinflüssen zugewendet.⁹

⁸ A. Matting und H. Koch: Elektroschweißung 5 (1934), H. 7, S. 127.

⁹ E. Diepschlag: Autogene Metallbearbeitung 29 (1936), H. 8, S. 113.

Um die zusätzliche Belastung der Fertigung durch die Prüfung der Schweißnähte — abgesehen von der Sicherheit — wirtschaftlich rechtfertigen zu können,

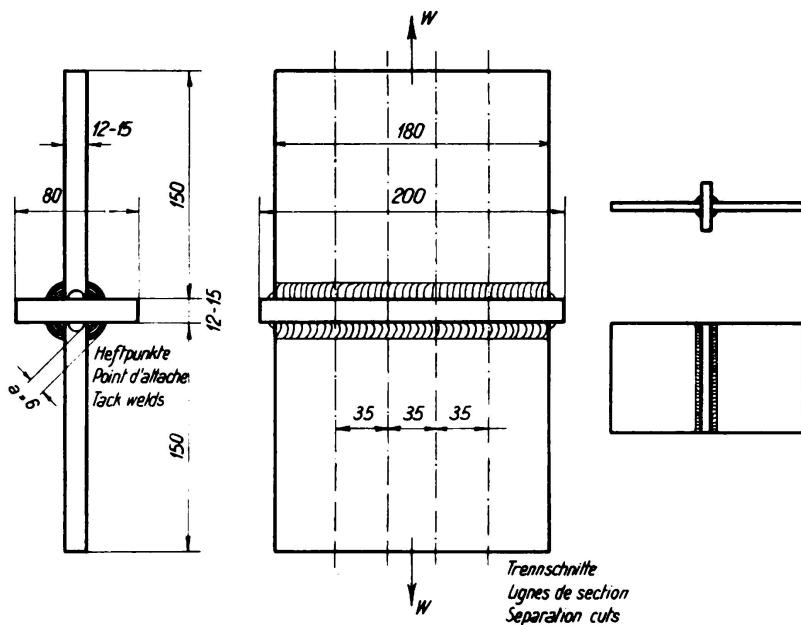


Fig. 5.

Prüfung von Stirnkehlnähten.

ist erschöpfende Auswertung¹⁰ und sinnvolle Anwendung und Ergänzung der Prüfverfahren anzustreben. Immerhin sind die hohen Anforderungen, die heute an Schweißnähte gestellt werden können — neben der rein menschlichen

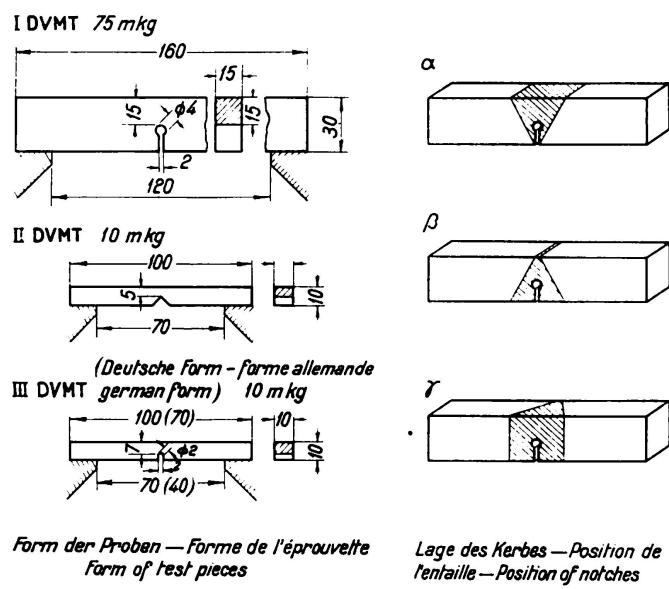


Fig. 6.

Kerbschlagproben.

Leistungssteigerung — nur möglich geworden, weil es gelungen ist, sich einwandfrei von der Güte der hergestellten Nähte zu überzeugen.

¹⁰ H. Koch: Stahlbau 9 (1936), H. 26, S. 206.

Bei der Prüfung des fertigen Arbeitsstückes sind die zerstörungsfreien Prüfverfahren den zerstörenden vorzuziehen. Die Herbeiführung eines nahtschwächenden Öffnungsbefundes hat zwar einen gewissen erzieherischen Wert, ist aber

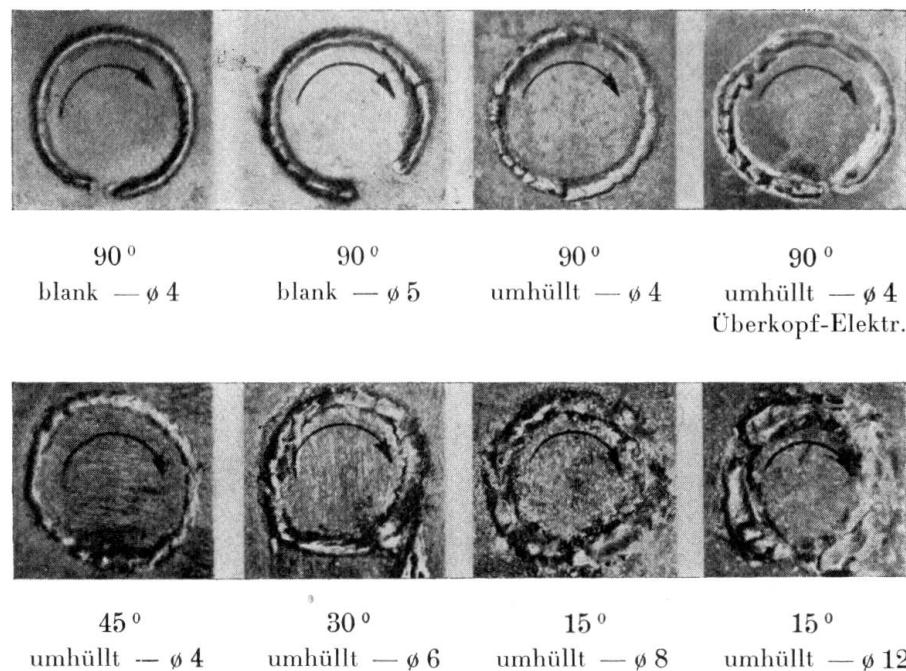


Fig. 7.

Kletterproben.

im übrigen als sehr oberflächliche Stichprobe abzulehnen.¹¹ Die zerstörte Stelle kann wieder zugeschweißt werden. Damit sind aber zusätzliche Wärmespannungen zu befürchten. Auch wird hierdurch wieder etwas Unbekanntes an die Stelle des bekannt gewordenen gesetzt, Fig. 12.

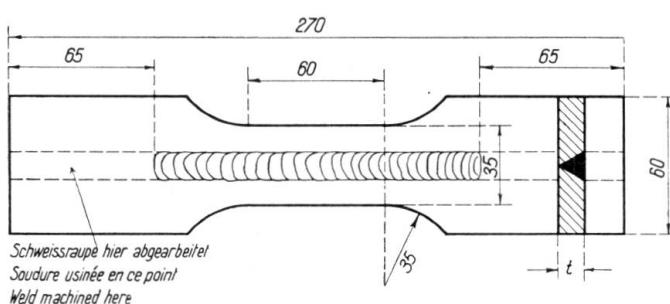


Fig. 8.

Reckstab.

Wenn die Schweißnaht nicht verletzt werden soll, muß eine der zerstörungsfreien Prüfarten gewählt werden. Hierzu kann auch der äußere Befund gerechnet werden, der dem Kundigen Rückschlüsse auf die Güte der Naht gestattet. Im Behälterbau sind Wasserdruck-, Luftdruck- und Dampfdruckversuche möglich. In Sonderfällen sind derartige Untersuchungen, jedoch zerstörend, als Spreng-

¹¹ R. Bernhard und A. Matting: Stahlbau 5 (1932), H. 15, S. 114.

versuche an Behältern ausgeführt worden.¹² Bei geschweißten Bauwerken werden statt dessen Belastungsproben oder Dauerprüfungen bei gleichzeitigen Spannungsmessungen vorgenommen.¹³

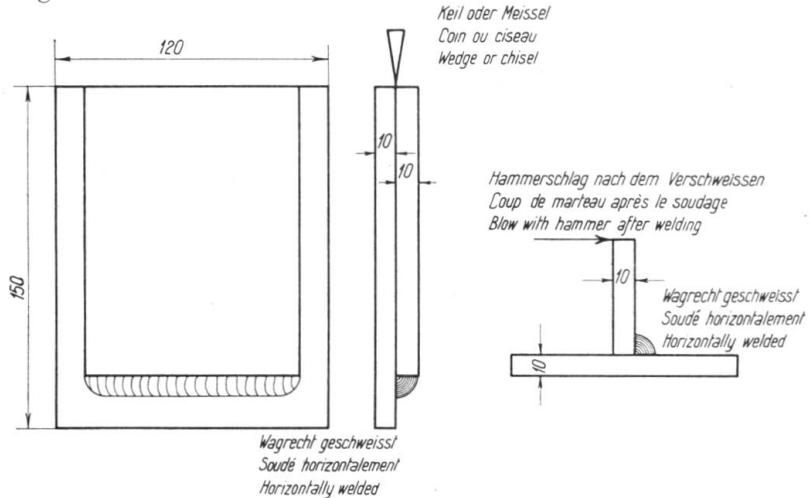


Fig. 9.

Keil- und Winkelprobe.

Verfahren, Schweißnähte akustisch zu untersuchen oder mit elektrischen Spannungsfeldern abzutasten, hatten keinen Erfolg. Besser haben sich die magnetischen Verfahren bewährt. Das magnetisierte Werkstück wird hierbei mit Eisen-

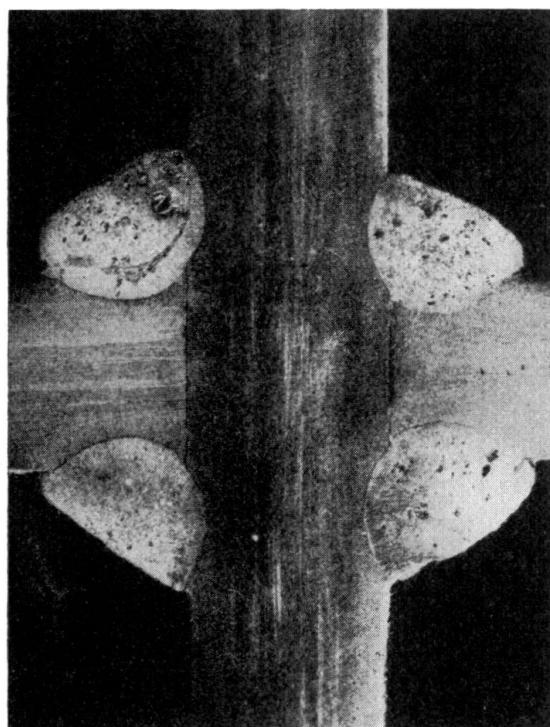


Fig. 10.

Grobgefüge einer
Kehlschweißung mit
blanken Elektroden.
Guter Einbrand.

feilspänen bestreut. Die regelmäßige Anordnung der Eisenfeilspäne wird durch Hohlräume, Schlackeneinschlüsse und Bindefehler gestört.

¹² E. C. Hutchinson: „Power“, vom 7. 10. 1930.

¹³ W. Rostek: Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens 1934, H. 10 u. 11, S. 187 u. 197.

Der elektromagnetisch-akustische Schweißnahtprüfer¹⁴ hat m. E. die auf ihn gesetzten Erwartungen nicht restlos erfüllt. Die Schweißnähte werden elektro-

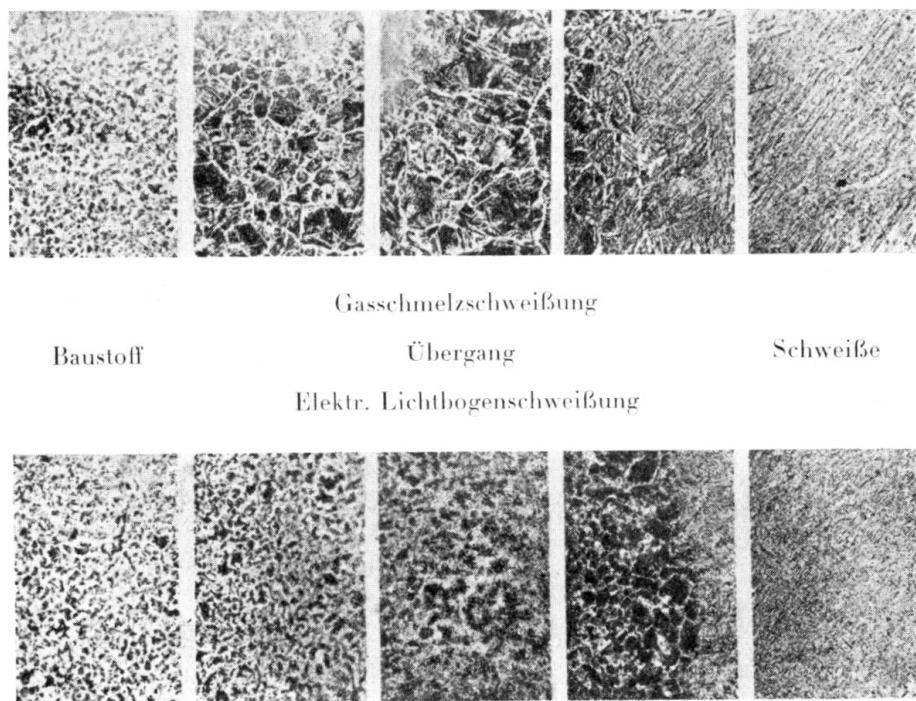


Fig. 11.
Kleingefügeaufnahmen einer Gas- und einer Lichtbogenschweißung.

magnetisch abgetastet und die Stromimpulse in einem Kopfhörer hörbar gemacht. Es gelingt jedoch nicht, Fehlstellen stets eindeutig festzulegen.

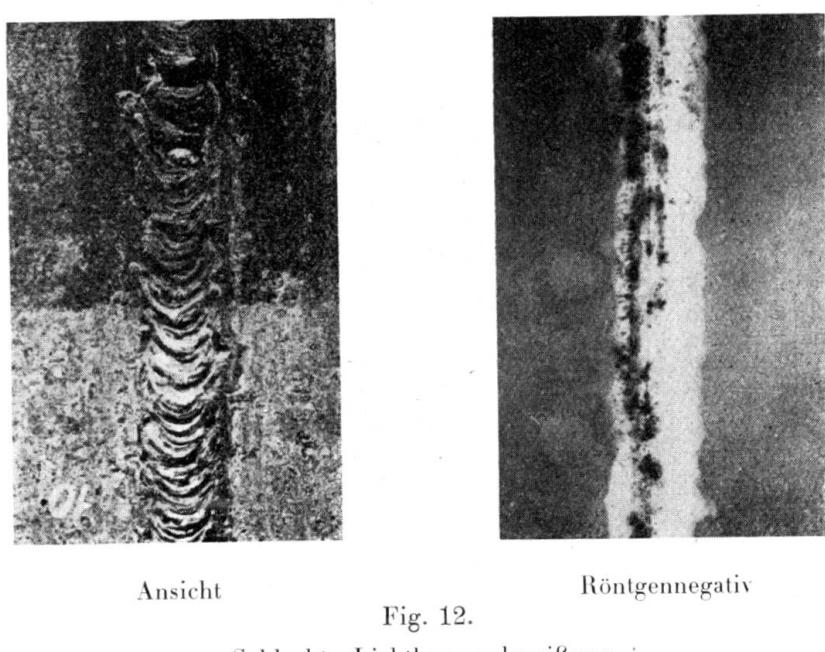


Fig. 12.
Schlechte Lichtbogenschweißung.

¹⁴ S. Kießkalt: Autogene Metallbearbeitung 27 (1934), H. 5, S. 65.

Weitaus am besten geeignet sind die Durchstrahlungsverfahren, besonders durch Röntgenstrahlen.¹⁵ Auch Gammastrahlen sind zu Prüfzwecken verwendet worden.¹⁶ Für den Stahlbau kommt dieses Verfahren zunächst jedoch nicht in Betracht.

Bei der Grobstrukturuntersuchung mit Röntgenstrahlen kann das Bild unmittelbar auf einem Leuchtschirm, sofern es sich um geringe Werkstoffdicken handelt, oder auf einem Röntgenfilm sichtbar gemacht werden, Fig. 13.

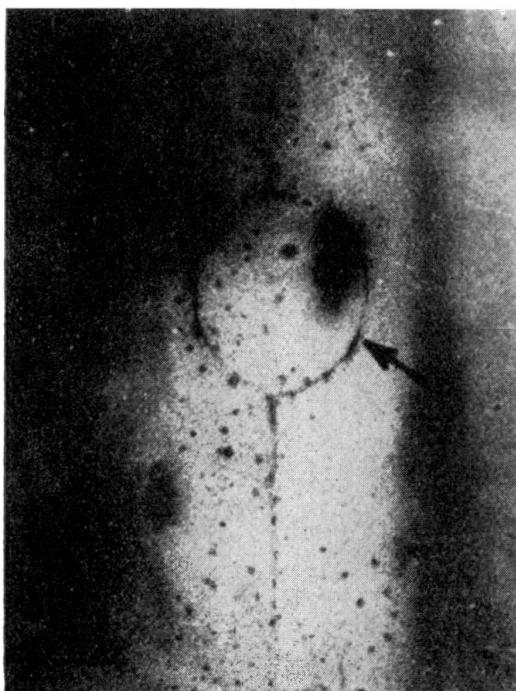


Fig. 13.

Mangelhaft verschweißte Nahtöffnung im Röntgennegativ.

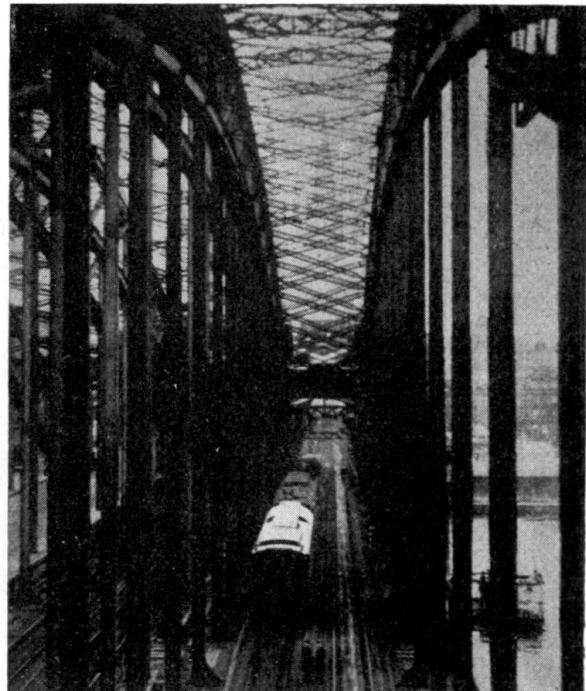


Fig. 14.

Röntgenprüfwagon auf der Hohenzollernbrücke in Köln.

Die Anlagen sind derart entwickelt worden, daß Untersuchungen auch im Betriebe und auf der Baustelle möglich sind. Fig. 14 zeigt eine fahrbare Röntgenanlage bei einer besonders schwierigen Untersuchung. Fig. 15 und 16 lassen erkennen, daß Röntgenuntersuchungen auch an Eisenbetonbrücken möglich sind. Die Grenzen der Röntgentechnik liegen in apparativen Schwierigkeiten, der beschränkten Fehlererkennbarkeit und Werkstoffdicke.

Die zerstörungsfreien Prüfverfahren lassen sich auch mit den zerstörenden verbinden. Umstritten ist noch, wie weit die Ergebnisse zerstörungsfreier Prüfung mit denen der mittelbaren Prüfung in Einklang zu bringen sind.¹⁷

¹⁵ A. Matting: Anwendung der Durchstrahlungsverfahren in der Technik. Akademische Verlagsanstalt m. b. H., Leipzig, 1935, S. 51.

¹⁶ R. Berthold: Z.V.D.I. 78 (1934), H. 6, S. 173.

¹⁷ A. Matting und C. Stieler: Stahlbau 6 (1933), H. 24, S. 185.

Durch das Zusammenwirken verschiedener Prüfverfahren gelingt es meistens schnell, genügend aufschlußreiche Kenntnisse von dem Schweißnahtaufbau zu gewinnen.

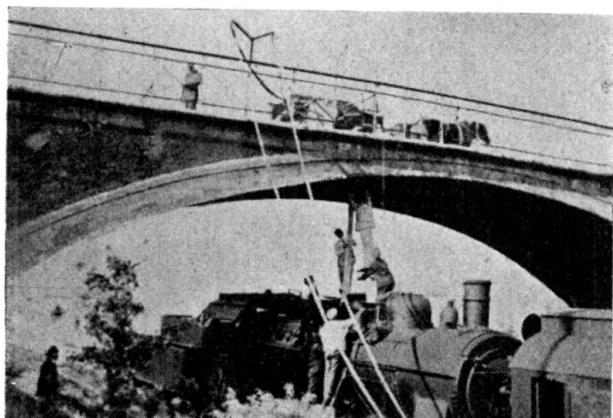
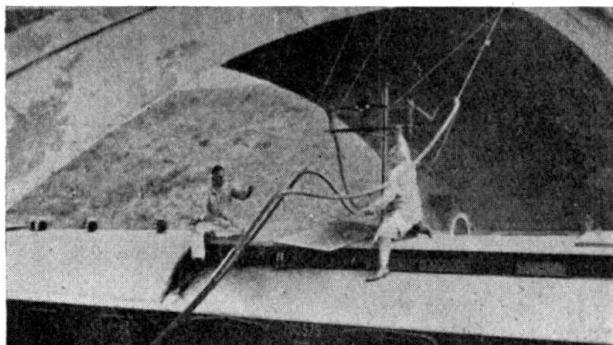


Fig. 15.
Röntgenuntersuchung einer Eisenbetonbrücke.

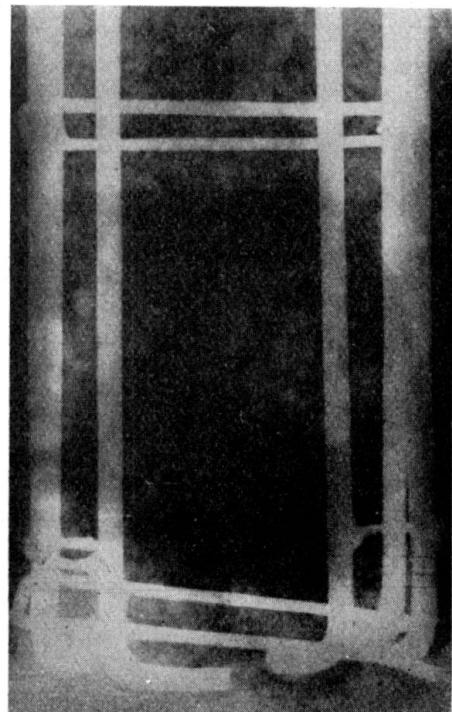


Fig. 16.
Träger aus Eisenbeton im Röntgennegativ.

IIIc 6

Prüfung der Schweißnähte.

Essai et contrôle des cordons de soudure.

Examination of weld-seams.

Dr. Ing. h. c. M. Roš,

Professor an der Eidg. Techn. Hochschule und Direktionspräsident der Eidg. Materialprüfungs- und Versuchsanstalt für Industrie, Bauwesen und Gewerbe, Zürich.

Die Prüfung erstreckt sich auf

1. die Schweißstäbe (Elektroden),
2. die Schweißer,
3. die Schweißnähte im Bauwerk selbst.

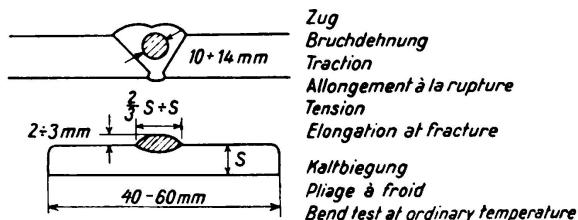


Fig. 1.

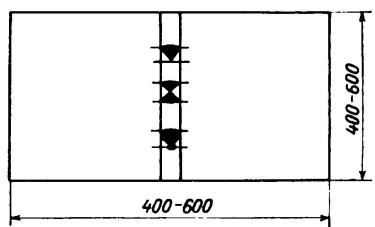


Fig. 2.

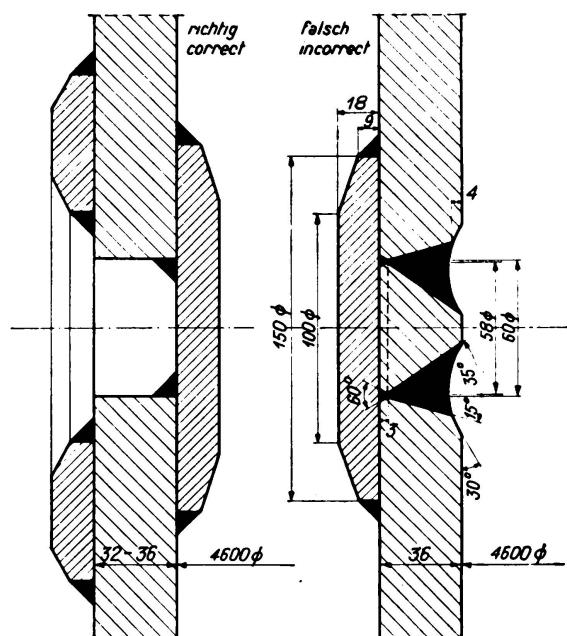


Fig. 3.

Richtige und verfehlte Schließung der Entnahmestelle durch Schweißungen.

1. *Schweißstäbe (Elektroden)*. Das niedergeschmolzene Schweißgut wird geprüft auf Festigkeit, Verformung und Abschreckempfindlichkeit (Fig. 1).

Stab der Schweißung entnommen — Schweißgut —

Verbindliche Werte:

Härte nach Brinell H = 115 — 160

Zugfestigkeit für normalen Konstruktionsstahl

($\beta_z = 36 — 44 \text{ kg/mm}^2$, C $\leqq 0,15\%$): $\beta_z = 40 — 55 \text{ kg/mm}^2$;

Bruchdehnung $\lambda_{10} = 15 — 25\%$.

Schweißraupe dünn aufgebracht — Abschreckempfindlichkeit —

Biegezahl K = $50 \cdot \frac{s}{r} = 32 — 48$.

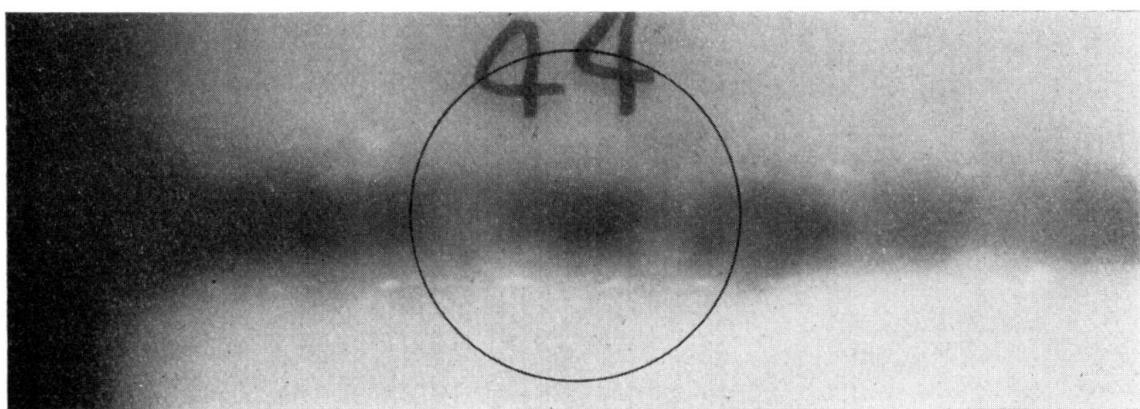


Fig. 4.

Mikroriß im Schweißgutgefüge, röntgenographisch nicht feststellbar.

Unverbindliche Werte:

Streckgrenze $\sigma_s = 25 — 35 \text{ kg/mm}^2$

Kerbzähigkeit kleiner Normenstab der EMPA x $\geqq 4 \text{ mkg/cm}^2$.

Für hochwertige Stähle Sondervereinbarungen.

2. Schweißer — Werkstätte —. In normaler Lage und überkopfgeschweißte Tafeln bzw. Stäbe, dünnster und dickster der vorkommenden Abmessungen — Stumpfstoß und Kreuzstoß — wurden röntgenographisch durchleuchtet und sodann geprüft auf Grob- (Makro) und Fein- (Mikro) Gefüge, Härte, Zugfestigkeit, Faltsbiegevermögen, Ursprungsfestigkeit und ausnahmsweise auf Kerbzähigkeit. Die Auswahl der Versuchsstäbe richtet sich nach dem Ergebnis der röntgenographischen Durchleuchtung (Fig. 2).

Ungebundene Stellen sind nicht statthaft. Das Gefüge muß rißfrei sein. Für normalen Konstruktionsstahl wird verlangt: Härte — Querschnitt — $H = 115 - 160 \text{ kg/mm}^2$, — Oberfläche — $H \leq 180 \text{ kg/mm}^2$; Zugfestigkeit — Stumpfstoß — gleich der des Stahles, $\beta_z = 36 - 44 \text{ kg/mm}^2$, Zugfestigkeit — Kreuzstoß — Mittelwert $\beta_z = 25 \text{ kg/mm}^2$, Mindestwert $22,5 \text{ kg/mm}^2$; Faltsbiegevermögen $K = 20 - 28$ (Blechdicke $\delta < 12 \text{ mm}$), $K = 16 - 20$ ($\delta = 12 - 20 \text{ mm}$) und $K = 12 - 16$ ($\delta > 20 \text{ mm}$);

Ursprungsfestigkeit — Stumpfstoß — $\sigma_u \geq 15 \text{ kg/mm}^2$ — Normallage —
 $\sigma_u \geq 12 \text{ kg/mm}^2$ — Überkopf —

Ursprungsfestigkeit — Kreuzstoß — $\sigma_u \geq 6 \text{ kg/mm}^2$.

Für hochwertige und Sonderstähle Bestimmungen von Fall zu Fall.

3. Schweißnähte — Baustelle —. Die dem geschweißten Bauwerke oder Konstruktionsglied an geeigneter Schweißstelle entnommenen Scheiben bzw. Stäbe von zweckdienlicher Form (rund, oval) werden in gleicher Weise und auf die gleichen Festigkeits- und Verformungseigenschaften wie unter Abschnitt „Schweißer“ geprüft. Die festgestellten Gütezahlen müssen sich in den gleichen Grenzen bewegen; zulässig sind nur geringfügige Unterschiede. Die Schließung der Entnahmestellen muß mit besonderer Rücksichtnahme auf Vermeidung der Anhäufung des Schweißgutes und weitestgehender Verminderung von inneren und Schrumpfspannungen erfolgen (Fig. 3).

Die röntgenographische Durchleuchtung vermag ungebundene Stellen, Poren, Schlackeneinschlüsse und Risse aufzudecken, nicht aber die feinsten, unerwünschten oft gefährlichen Haarrisse (Fig. 4). Oft ist zweimalige Durchleuchtung erforderlich, zuerst der Schweißnähte, auch an Stellen der Entnahme der Versuchsscheiben, nach Fertigstellung und sodann nach Entfernung (Hobeln, Schleifen, Fräsen) der Unebenheiten der Decklagen.

III c 7

Einige Beispiele von geschweißten Stahlkonstruktionen in der Tschechoslowakei.

Quelques exemples de constructions soudées en Tchécoslovaquie.

Some Examples of Welded Steelwork in Czechoslovakia.

A. Brebera,

Ingénieur Conseiller Supérieur au Ministère des Travaux Publics à Prague.

Die Anwendungen der elektrischen Schweißung auf dem Sondergebiet der Stahlkonstruktion für Brücken und Hochbauten führen die beträchtlichen Fortschritte vor Augen, die in den letzten Jahren durch die Einführung dieses Verfahrens erzielt worden sind.

Im Jahre 1935 sind unter anderem große Hallen ausgeführt worden, die einen Flächenraum von 1500 m^2 überdecken. Der interessanteste Teil dieser Eisenkonstruktion ist der Rahmen von 50 m Öffnung (Fig. 1), der die Fachwerkbinder aufnimmt, die untereinander 10 m Abstand haben (Fig. 2).

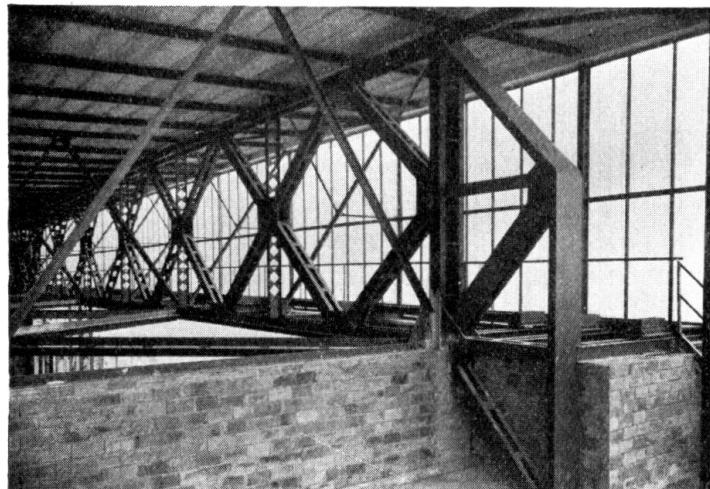


Fig. 1.

Um sich ein Bild von den Vorzügen der Bogenschweißung machen zu können, ist der gesamte Entwurf gleichzeitig als genietete und als geschweißte Konstruktion ausgearbeitet worden. Der Vergleich der beiden Lösungen hat zu interessanten Feststellungen geführt. Zunächst war für den Rahmen

von 50 m Stützweite für den geschweißten Entwurf gewöhnlicher Stahl C 38 vorgesehen, während für den genieteten Entwurf Stahl von hoher Festigkeit C 52 herangezogen wurde. Obwohl man für den zweiten Entwurf die zulässigen Spannungen um 50 % höher angenommen hatte als für den ersten, waren die Gewichte der beiden Rahmen gleich.

Was die übrige Tragkonstruktion der Halle anbetrifft, für die in beiden Fällen gewöhnlicher Stahl C 38 gewählt worden war, so betrug die durch die Anwendung der Schweißung erzielte Gewichtersparnis 20 % (5210 kg gegenüber 6500 kg).

Auf Grund dieser Ergebnisse und aus wirtschaftlichen Gründen ist das ganze Bauwerk aus gewöhnlichem Stahl C 38 mittels elektrischer Schweißung ausgeführt worden, und zwar sowohl die Arbeit in der Werkstätte als auch die auf der Baustelle.

Für die Schweißung sind zwei verschiedene Arten von Elektroden verwendet worden. Beide Arten haben wesentlich voneinander verschiedene Eigenschaften, wie aus den in Tafel I vorgeschriebenen Mindestwerten ersichtlich ist.

Tafel I.

Elektrodentype	I	II	
Zugfestigkeit	in kg/mm ²	38	42
Elastizitätsgrenze	in kg/mm ²	23	26
Dehnung	in %	12	20
Kerbzähigkeit (Mesnager)	in kgm/cm ²	3	6

Für diejenigen Teile der Konstruktion, deren Spannweite 15 m nicht überschritt, wurde die Benutzung der Elektrodentype I zugelassen.

Für Flankennähte jener Konstruktionsteile, die diese Spannweite überschritten, wurde diese Elektrodentype auch zugelassen unter Berücksichtigung des Umstandes, daß die zulässige Scherspannung hier niedriger anzunehmen war.

Die Höchstspannungen, die für den Stahl selbst einerseits und für das Schweißgut andererseits zugelassen wurden, sind für die verschiedenen Beanspruchungen in der Tafel II zusammengestellt.

Tafel II.

Zulässige Spannungen	Grundmetall	Schweißgut	
		Type I	Type II
Zug	$v = 1200$ (1400) kg/cm ²	0,75·v	0,85·v
Druck	$v = 1200$ (1400) kg/cm ²	0,95·v	1,00·v
Abscheren . . .	$\tau = 850$ (1000) kg/cm ²	0,60·v	0,65·v

Anmerkung: Die eingeklammerten Werte sind in den Fällen zugelassen worden, in denen die Berechnungen alle äußeren Einflüsse berücksichtigten, nämlich die Wirkung der Temperatur und den Winddruck.

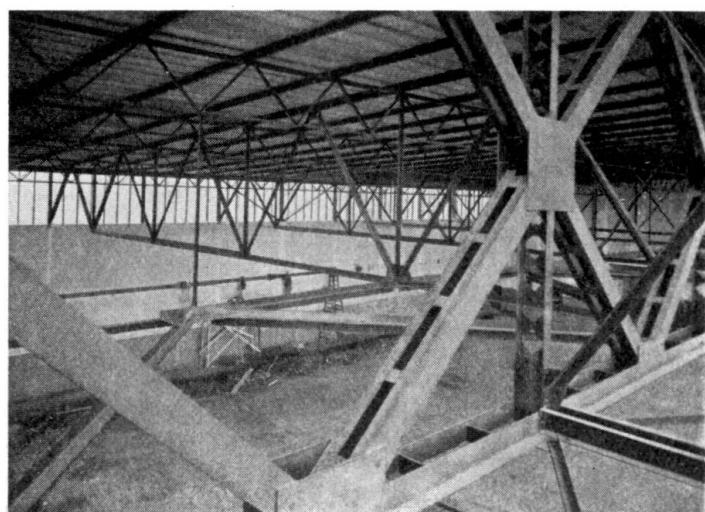


Fig. 2.

Vor der Durchführung der Schweißarbeiten sind die Schweißnähte sowie die Schweißer verschiedenen Prüfungen unterzogen worden. Die dabei vorgeschriebenen Mindestwerte sind in den Tafeln III und IV verzeichnet.

Tafel III.

Prüfungen des Schweißgutes	Elektroden type	
	I	II
Zugfestigkeit in kg/mm ²	38	42
Scherfestigkeit in kg/mm ²	28	30
Biegewinkel in Graden	120	180
Dehnung in %	12	18

Tafel IV.

Prüfungen der Schweißer	Elektroden type	
	I	II
Zugfestigkeit in kg/mm ²	34	40
Scherfestigkeit in kg/mm ²	26	29
Biegewinkel in Graden	90	120
Dehnung in %	10	15

Bei der Aufstellung des endgültigen Entwurfs sind alle Verbindungen so ausgebildet worden, daß sie den letzten Verbesserungen der Schweißtechnik Rechnung trugen.

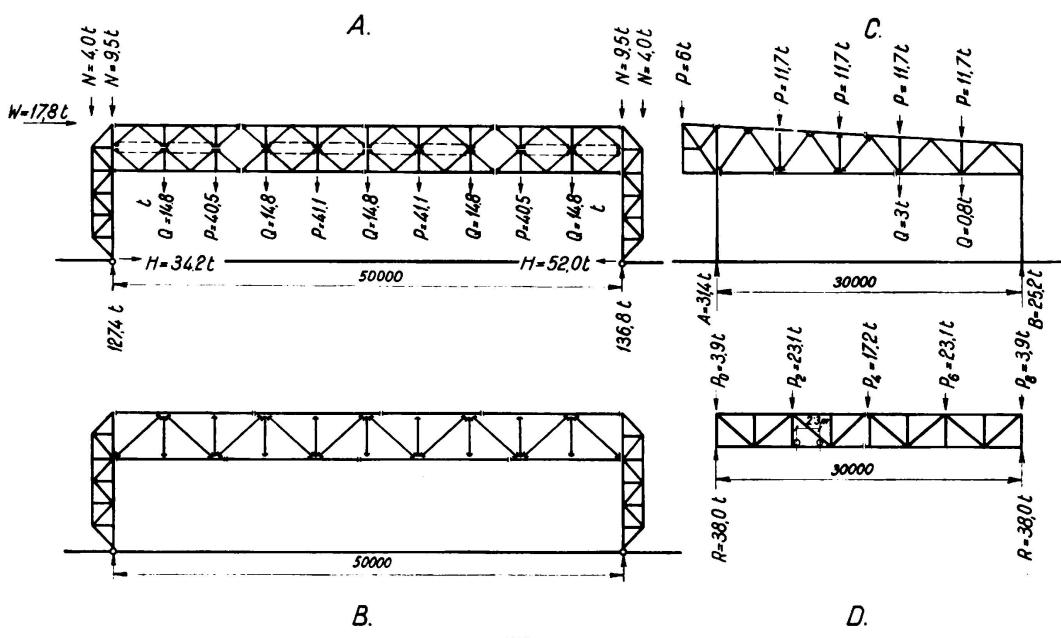


Fig. 3.

In sehr großem Maße hat man bei der Bestimmung der Profile auf die Verwendung von einfachen T-Querschnitten zurückgegriffen, die durch Zerschneiden von gewöhnlichen Walzträgern mit dem Schneidbrenner erhalten wurden.

Die obere Gurtung des Rahmenriegels hat einen äußerst einfachen Querschnitt

erhalten (Gurte 500×50 , Winkeleisen $100 \times 180 \times 18$), der für die Beanspruchung dieses Trägers besonders geeignet ist; die Stabkraft betrug hier 318 Tonnen.

Für gewisse Elemente, insbesondere für die Pfosten des Rahmenriegels, hat man Sonderprofile aus gewöhnlichen I-Walzprofilen hergestellt, indem man die letzteren nach einer Zickzacklinie zerschnitten und die beiden so erhaltenen Teile dann nach gegenseitiger Versetzung wieder zusammengeschweißt hat. Man erhielt so auf billige Weise einen Träger mit durchbrochenem Steg von demselben Gewicht wie der gewöhnliche Träger, aber von viel größerer Steifigkeit.

Zum größten Teil ist die Stumpfschweißung für die Verbindung der Profile unter sich angewendet worden. Die Anordnung der Montageverbindungsstellen ist in Fig. 3 dargestellt.

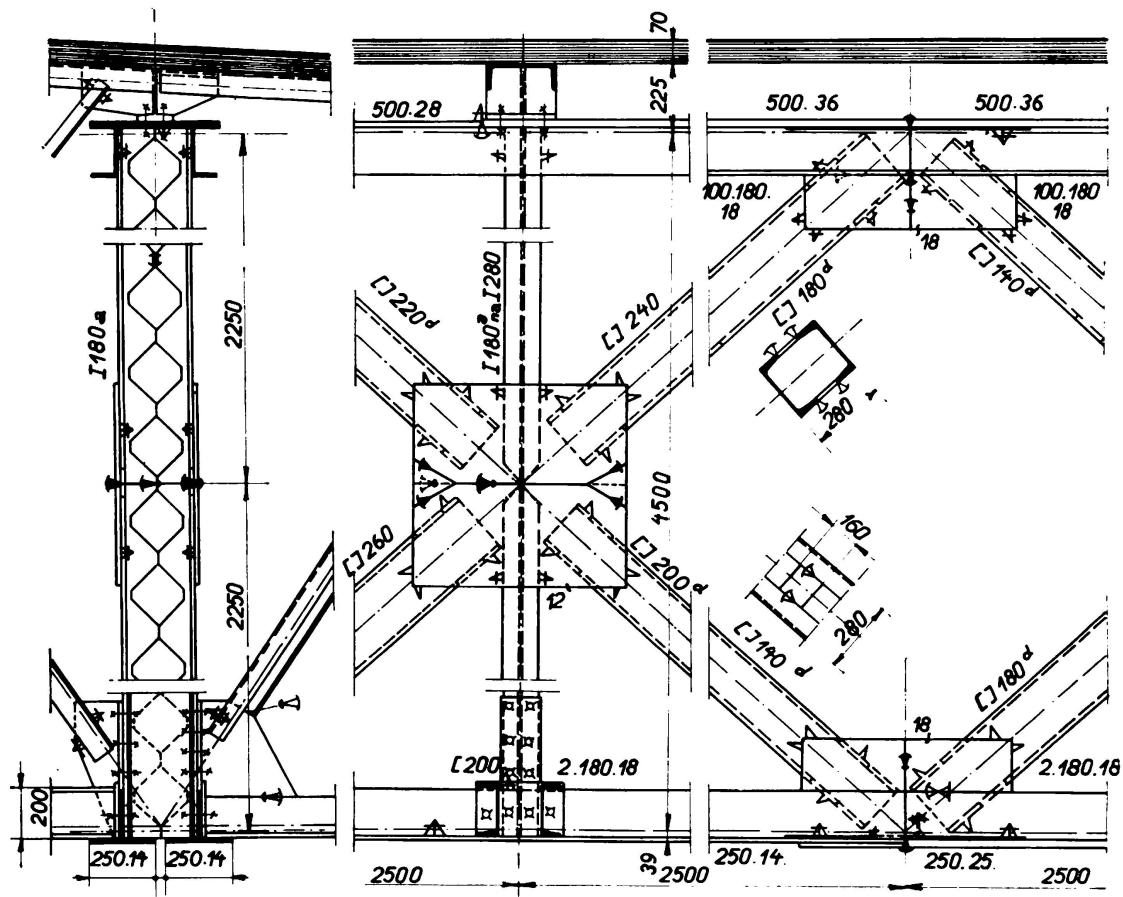


Fig. 4.

Sämtliche Träger sind an der Baustelle nach Möglichkeit flachliegend verschweißt worden; dann wurden sie sogleich in ihre endgültige Lage gebracht und die letzten Schweißnähte sind in der senkrechten Lage fertiggestellt worden. Die Montageschweißungen sind aus diesem Grunde im Hinblick auf die Lage, in der sie ausgeführt werden mußten, durchdacht und an leicht zugängliche Stellen verlegt worden.

Der Leitgedanke bei der Konstruktion des Rahmens war die Herabsetzung der Montageverbindungen auf ein Mindestmaß. Die Stiele des Rahmens konnten in einem Stück befördert werden. Der Riegel (Fig. 4) dagegen war zu groß

und zu hoch, um ebenso befördert werden zu können, und er mußte in mehrere Teile aufgeteilt werden. Um den Zusammenbau dieser einzelnen Teile zu erleichtern, ist der Rautenträger gewählt worden (Fig. 3), wodurch sich die Anzahl der Teile auf 8 verringerte, während für einen gewöhnlichen Fachwerkträger (Fig. 3b) sich diese Zahl auf 27 erhöht hätte.

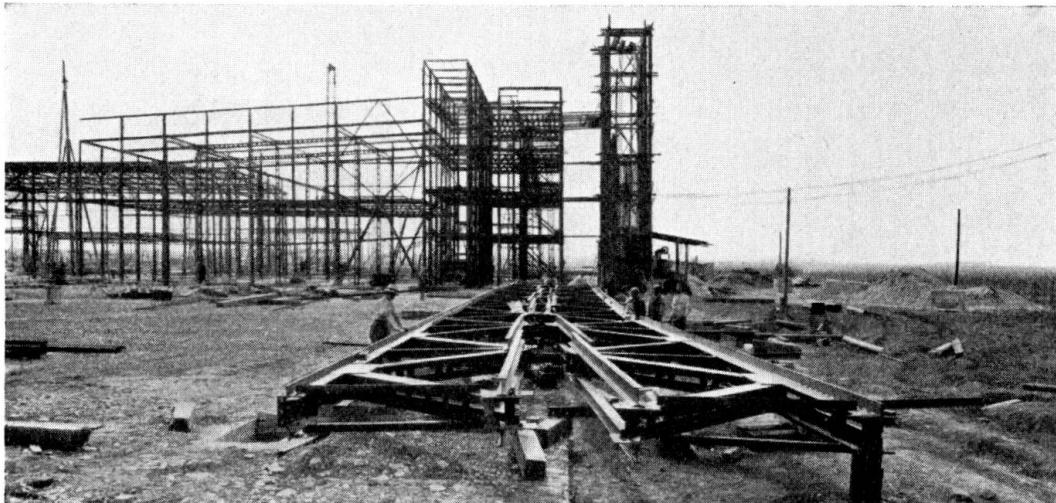


Fig. 5.

Um transportfähige feste Einheiten zu erhalten, sind die einzelnen Teile durch provisorische Gurtungen ergänzt worden, die an die mittleren Knotenbleche angeheftet wurden. Zu diesen Gurtungen hat man in geschickter Weise

die Sparren der Halle verwendet (Fig. 5).

Die Montageverbindungen befinden sich in den Gurtungen und den mittleren Knotenblechen, wie in Fig. 3 deutlich angegeben ist. Sehr bemerkenswert ist der Knoten der gekreuzten Diagonalen (Fig. 6). Um die Schweißung des unteren Knotenbleches zu erleichtern, ist das obere Knotenblech eingeschnitten worden. Die dreieckige Ergänzung ist in dem oberen Knotenblech fertig ver-

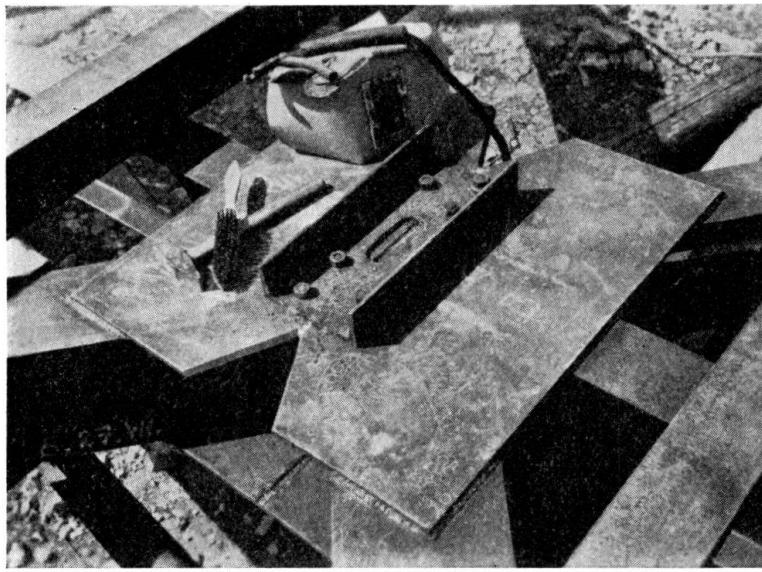


Fig. 6.

erst eingeschweißt worden, nachdem das untere verschweißt war.

Zuerst sind die waagerechten Teile des Rahmens zusammengefügt und mit Hilfe von aufgesetzten L-Stücken und Bolzen festgeklemmt worden, um ihre

genaue gegenseitige Lage zu sichern. Alsdann sind die Verbindungsstellen gehaftet und eine nach der anderen fertig geschweißt worden. Schließlich sind die Hilfsgurtungen entfernt und die Stiele angesetzt und verschweißt worden. Die Montage begann mit der Aufstellung des Torrahmens. Der ganze Rahmen von 50 m Spannweite und von 41,0 t Gewicht wurde aufgerichtet und mit Hilfe von Montageböcken in die Lager eingesetzt (Fig. 7). Das Aufrichten und Einsetzen eines Rahmens dauerte vier Stunden. Anschließend wurde die übrige Konstruktion nach den üblichen Verfahren montiert.

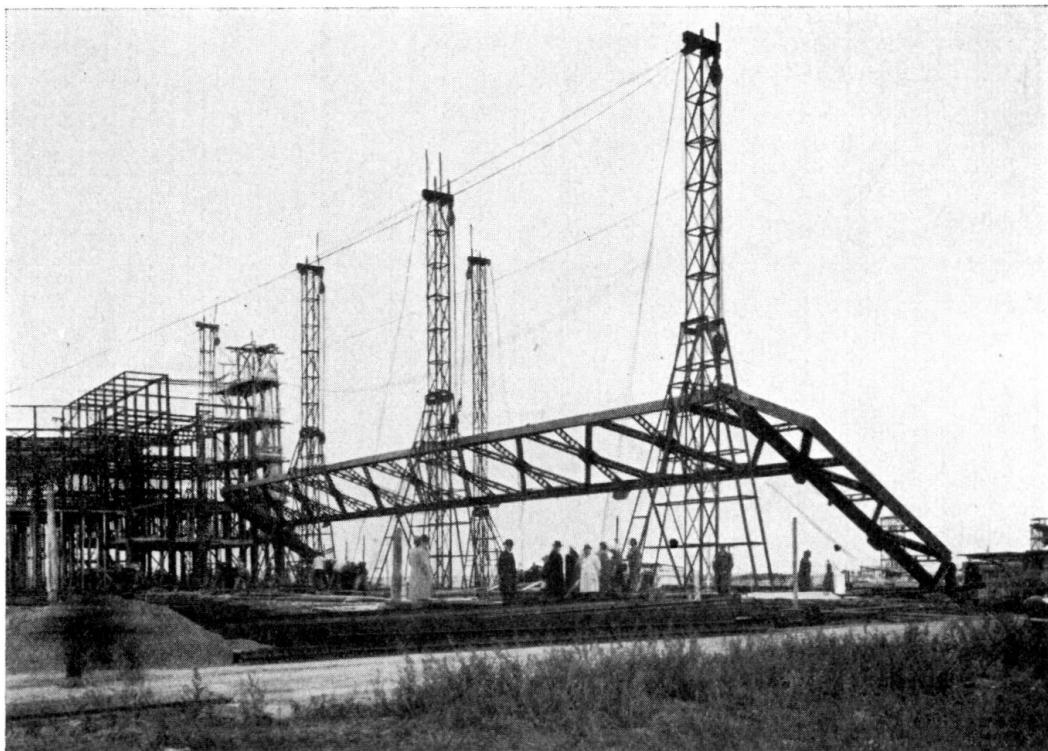


Fig. 7.

Die Schweißung erfolgte in den Werkstätten und auf der Baustelle durch Gleichstrom mit Hilfe eines Schweiß-Aggregats.

Die Herstellung der Stahlkonstruktion war aufgeteilt und den beiden nachstehenden Firmen zugeteilt worden: der S.A. des Anciens Etablissements Škoda in Pilsen und der Českomoravska-Kolben-Danek in Prag.

Die erste dieser beiden Firmen hat für die Schweißungen der Type I Elektroden Böhler-B-Elite-KVA. und für diejenigen der Type II Elektroden Arcos Stabilend benutzt; die zweite Firma hat ausschließlich Elektroden Elarc-Resistens verwendet.

Die Mittelwerte der Ergebnisse der Zulassungsprüfungen für die Elektroden, die Schweißungen und die Schweißer sind in der Tafel V niedergelegt. Den erzielten Ergebnissen sind die geforderten Mindestwerte gegenübergestellt. Im Ganzen sind 42 Schweißer der Zulassungsprüfung unterzogen worden.

Aus dieser Tafel geht hervor, daß die geforderten Mindestwerte trotz ihrer Höhe leicht erreicht worden sind.

Die Schweißungen sind während ihrer Anfertigung aufmerksam verfolgt worden. Nach der Fertigstellung sind sie einer sorgfältigen Prüfung unterzogen und ihre Abmessungen genau aufgenommen worden. Mehrere von ihnen sind durch Anfräsen im Innern untersucht worden.

Tafel V.

Zulassungs-prüfungen für die	Prüfungsart	Elektrodenotyp				
		Böhler B-Elite	verlangtes Minimum	Arcos Stabil.	Elarc Resist.	verlangtes Minimum
Elektroden	Elastizitätsgrenze in kg/mm ²	30,9	23	35,0	40,0	26
	Zugfestigkeit in kg/mm ²	46,5	38	46,3	48,7	42
	Dehnung in %	21,6	12	24,9	23,6	20
	Kerbzähigkeit in kgm/cm ²	4,3	3	8,5	9,7	6
Schweißungen	Zugfestigkeit in kg/mm ²	44,7	38	48,5	46,3	42
	Scherfestigkeit in kg/mm ²	34,1	28	34,6	37,1	30
Schweißer	Zugfestigkeit in kg/mm ²	waagr. Lage	47,2	—	49,6	46,8
		senkr. Lage	42,2	—	47,9	48,0
		Überkopflage	43,8	—	50,5	47,0
		im Mittel	44,5	34	49,5	47,3
	Zugfestigkeit in kg/mm ²	waagr. Lage	33,3	—	33,3	35,7
		senkr. Lage	33,7	—	35,7	36,1
		Überkopflage	31,3	—	35,1	34,2
		• im Mittel	33,1	26	34,8	35,3
Schweißungen in	I-Form: Zugfestigkeit in kg/mm ²	—	—	46,6	47,6	42
	V-Form: Zugfestigkeit in kg/mm ²	—	—	58,9	42,4	42

Die Entwürfe der Stahlkonstruktion sind von der S.A. des Anciens Etablissements Škoda in Pilsen angefertigt worden, die dabei ganz besonders auf die Einfachheit der Ausführung in der Werkstatt wie bei der Montage Wert gelegt hat.

Die Überwachung der Arbeiten erfolgte durch die Abteilung für Brücken im Ministerium für öffentliche Arbeiten.

Eine weitere sehr bedeutsame Anwendung ist die geschweißte Herstellung einer Straßenbrücke von 52,005 m Spannweite (Fig. 8).

Die Hauptträger sind hier von der Bauart *Vierendeel*, d. h. ohne Diagonalen. Diese Trägerbauart ist vor allem aus ästhetischen Gründen gewählt worden, bietet aber noch weitere Vorteile für die Schweißung, nämlich Einfachheit und Starrheit der Knoten.

Auch sind hier die Nebenspannungen Null, während sie bei den Fachwerk-systemen zwischen 10 und 15 % der Hauptspannungen schwanken können, insbesondere zufolge der großen Abmessungen der Knotenbleche und der Berechnungsweise dieser Systeme.

Infolgedessen ist bei Ausnutzung der zulässigen Spannungen die tatsächliche Sicherheit bei den Vierendeel-Trägern höher. Schließlich ist die

Durchbiegung der Brücken mit Hauptträgern nach der Vierendeel-Bauart infolge der großen Starrheit der Knoten dieses Systems viel geringer als diejenige der Brücken mit Fachwerk-Hauptträgern.

Diese Tatsache ist sehr günstig für die Erhaltung der Bauwerke.

Bisher bestand der einzige Nachteil der Verwendung von Vierendeel-Trägern in der schwierigen statischen Berechnung. Die Bestimmung der Einflußlinien nach dem Verfahren von *Beggs-Blažek* hat diese Schwierigkeit vollständig gelöst (Internationale Vereinigung für Brückenbau und Hochbau, 1. Kongreß, Schlußbericht, Seite 709).

Der Vorzug dieses Verfahrens liegt darin, daß es nicht mehr nötig ist, zu vereinfachenden Annahmen zu greifen und daß man der zusätzlichen Steifigkeit der Pfostenenden Rechnung trägt.

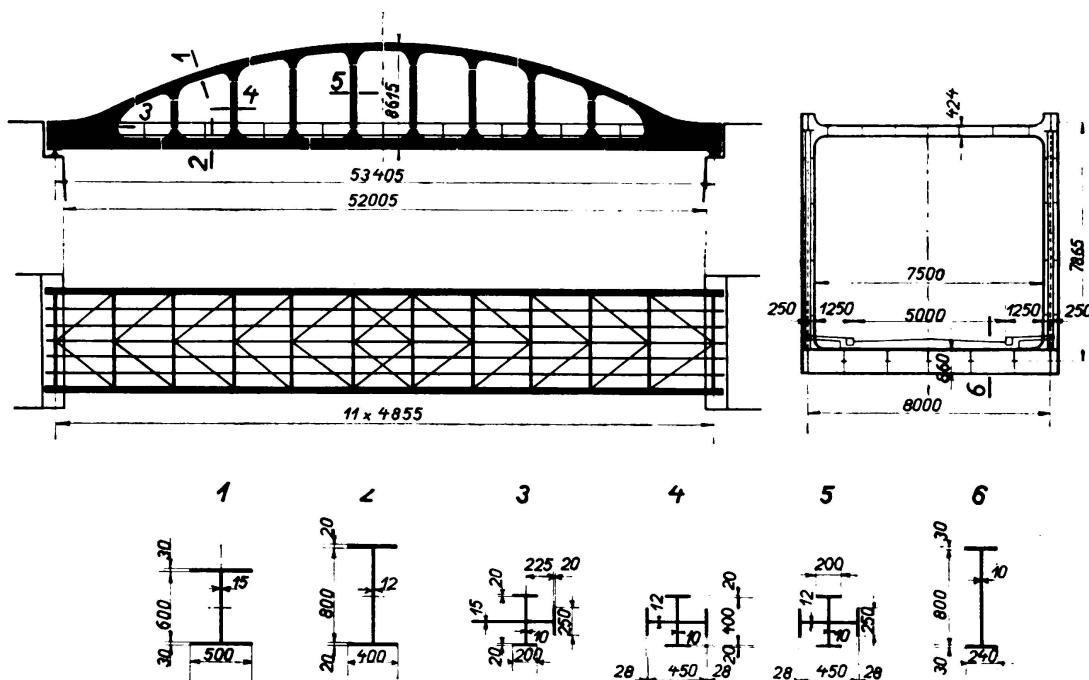


Fig. 8.

Der Verlauf der Einflußlinien kann in jedem beliebigen Punkt mit Genauigkeit bestimmt und anschließend bequem auf Grund der Gleichgewichtsbedingungen nachgeprüft werden.

Der Träger ist in der gewählten Form 33-fach statisch unbestimmt.

Außerdem sind die erhaltenen Ergebnisse durch eine Näherungsrechnung nachgeprüft worden. Bei dieser Rechnung wurde angenommen, daß die Trägheitsmomente der Gurtungen über jedes Feld konstant wären und von der Länge der Stäbe abhingen.

Dazu hat man noch vorausgesetzt, daß die Lasten nur über den Pfosten angreifen.

Auf diese Weise sank der Grad der statischen Unbestimmtheit auf 11, und die Berechnung wurde leichter.

Die ganze Stahlkonstruktion wurde aus gewöhnlichem Stahl C 38 hergestellt,

vollständig sowohl in der Werkstatt wie bei der Montage geschweißt. Für die Schweißung wurden nur die Elektroden Arcos Stabilend verwendet.

Die für den Stahl selbst und für die Schweißungen zugelassenen Spannungen sind in der Tafel VI angegeben:

Tafel VI.

Zulässige Spannungen	Teile der Fahrbahn		Hauptträger	
	Grundmaterial	Schweißgut	Grundmaterial	Schweißgut
Zug	$v = 850 \text{ kg/cm}^2$	0,75 v	$\begin{cases} 870 + 3 \cdot 1 \\ \text{höchstens } 1150 \text{ (1350)} \end{cases}$	0,85 v
Druck		0,90 v		1,00 v
Abscheren	$\tau = 700 \text{ (800) } \text{kg/cm}^2$	0,50 v	700 (800) kg/cm^2	0,60 v

Anmerkung: Die eingeklammerten Werte entsprechen dem Fall, daß die Berechnungen alle äußeren Kräfte berücksichtigen (Winddruck).

Für sämtliche Schweißverbindungen ist die Stumpfschweißung vorgezogen worden, unter grundsätzlicher Beseitigung der auf Zug beanspruchten Kreuzverbindungen. Die Querträger sind mit den Pfosten durch Stumpfschweißung

verbunden worden. Um die Häufung der Schweißungen zu vermeiden, sind die Aussteifungen der Querträger, der Gurtungen und der Pfosten in den Ecken ausgespart worden, wodurch gleichzeitig das Abfließen des Wassers erleichtert wird.

Das Stahlgewicht beträgt 154 t. Die Montageschweiß-

stellen waren derart bestimmt worden, daß möglichst große Einzelteile zum Versand kommen konnten (Fig. 8). Die Enden der Hauptträger, von 9,293 m Länge und 6,7 t Gewicht, sind in einem Stück auf die Baustelle befördert worden (Fig. 9).

Da die Montage der Brücke im Frühling, also zur Zeit des Hochwassers, vor sich gehen sollte, hatte man zuerst vorgesehen, die Einzelteile sogleich nach ihrer provisorischen Befestigung mit Bolzen durch Schweißen zu heften, sodaß diese Schweißpunkte gegebenenfalls das Eigengewicht der Eisenkonstruktion tragen könnten, falls das Montagegerüst durch das Wasser fortgerissen werden sollte.

Dann hatte man vorgesehen, die Fahrbahntafel in drei getrennten Abschnitten zu schweißen, um die durch die Schweißung hervorgerufenen Spannungen zu verringern.

Das zur Verfügung stehende günstige Wetter gestattete von diesen Plänen abzugehen: die Fahrbahntafel wurde zuerst mit den unteren Gurtungen verschweißt. Dieses Vorgehen verhinderte die Übertragung der Spannungen, die durch die Schweißung der Fahrbahntafel verursacht wurden, auf die Haupt-

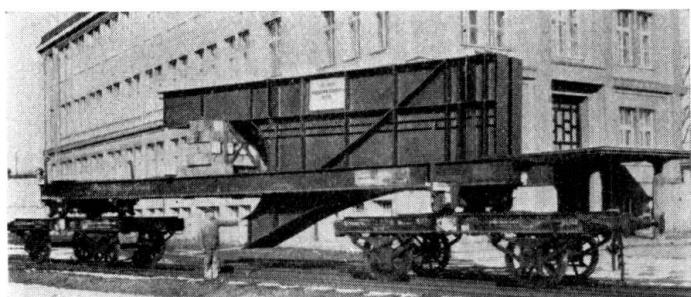


Fig. 9.

träger. Als dann ist man dazu übergegangen, die Pfosten und die oberen Gurtungen anzubringen, die alsbald verschweißt wurden (Fig. 10 bis 12).

Bei der Montage hat man den Hauptträgern eine Überhöhung von 15 mm

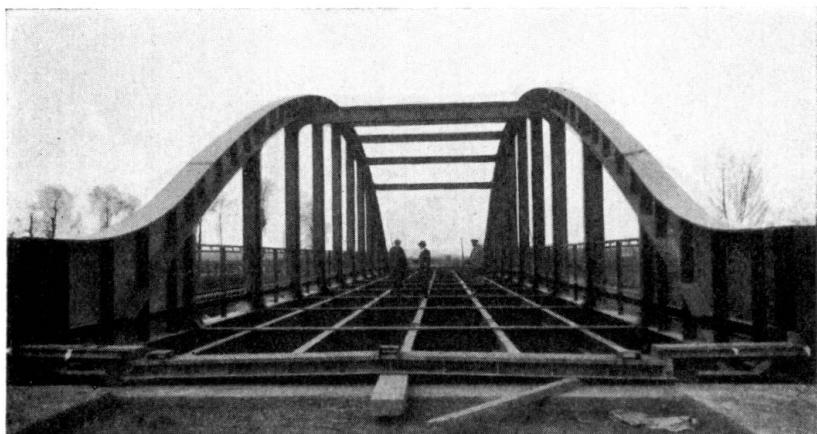


Fig. 10.

erteilt, die der Durchbiegung unter der ständigen Last einschließlich der halben Verkehrslast entspricht.

Außer den üblichen Prüfungen des Stahls, der Elektroden, der Schweißnähte und der Schweißer sind auch Ermüdungsversuche vorgenommen worden. Die Ermüdungsgrenze der Schweißnähte ist nach der Kurve von Wöhler bestimmt worden, die durch acht Versuche ermittelt wurde, welche mit zwei Millionen Wechseln bei 22 kg/mm^2 und mit zehn Millionen Wechseln bei $20,5 \text{ kg/mm}^2$ ausgeführt wurden. Diese Versuche sind an Proben von konischer Form in einem Pulsator von Amsler angestellt worden.

Ferner hat man es für nützlich befunden, die Schweißungen eines Teils der unteren Gurtung der Hauptträger mit Röntgenstrahlen zu untersuchen (Fig. 13).

Außerdem hat man ein Knotenmodell der unteren Gurtung statischen Versuchen unterzogen. Diese Versuche, die in dem Laboratorium für Materialprüfung der Technischen Hochschule in Prag ausgeführt wurden, haben ermöglicht, die Spannungen zu bestimmen, die durch das Eigengewicht und die als gleichmäßig verteilt angenommene bewegliche Verkehrslast hervorgerufen werden.

Später wird ein ähnlicher Knoten Ermüdungsversuchen unterworfen werden.

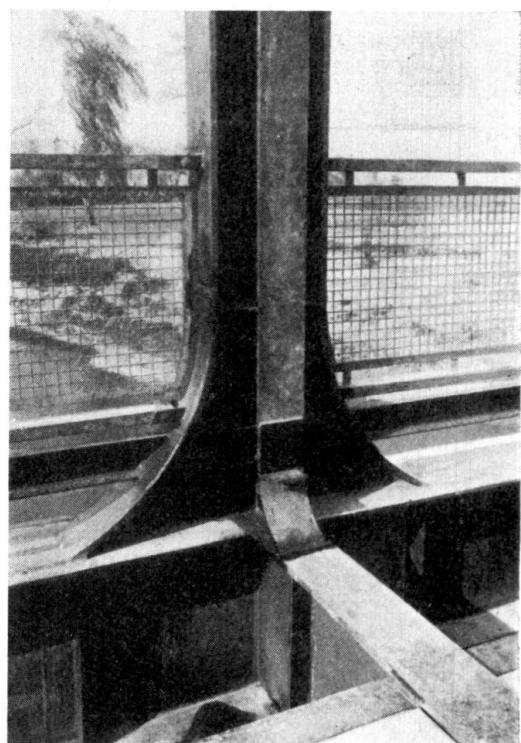


Fig. 11.

Nach Vollendung des Baues, werden auch mit Hilfe von Durchbiegungsmessern die Durchbiegungen der Querträger und der Hauptträger für ruhende und bewegliche Lasten ermittelt werden.



Fig. 12.

Die Gesamtanordnung der Stahlkonstruktion dieser Brücke war von der Brückenbauabteilung des Ministeriums für öffentliche Arbeiten ausgearbeitet worden. Die Durchkonstruktion des endgültigen Entwurfs und die Herstellung

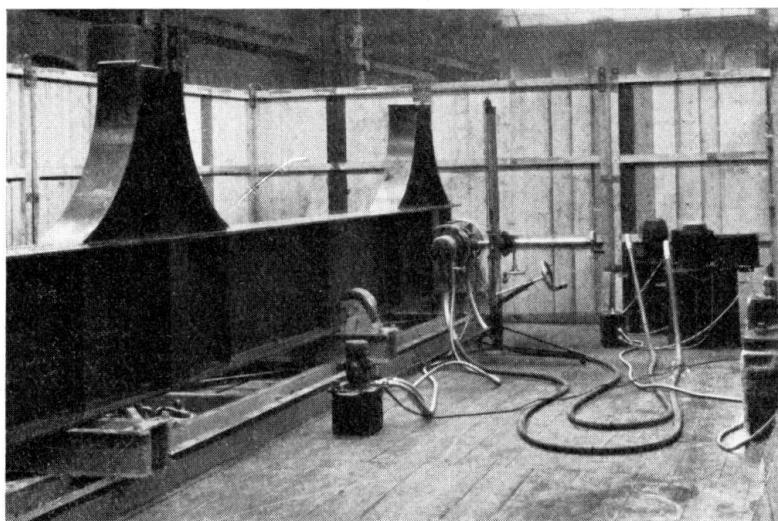


Fig. 13.

des Bauwerks sind der Firma S. A. des Anciens Etablissements Škoda in Pilsen übertragen worden, die sich dieser Aufgabe zur vollen Zufriedenheit des Ministeriums entledigt hat. Die Überwachung der Ausführung war der Brückenbauabteilung des Ministeriums für öffentliche Arbeiten anvertraut.

Zum Abschluß geben Fig. 14 und Tafel VII einen Überblick über die wichtigsten zur Zeit in der Tschechoslowakei existierenden geschweißten Straßenbrücken.

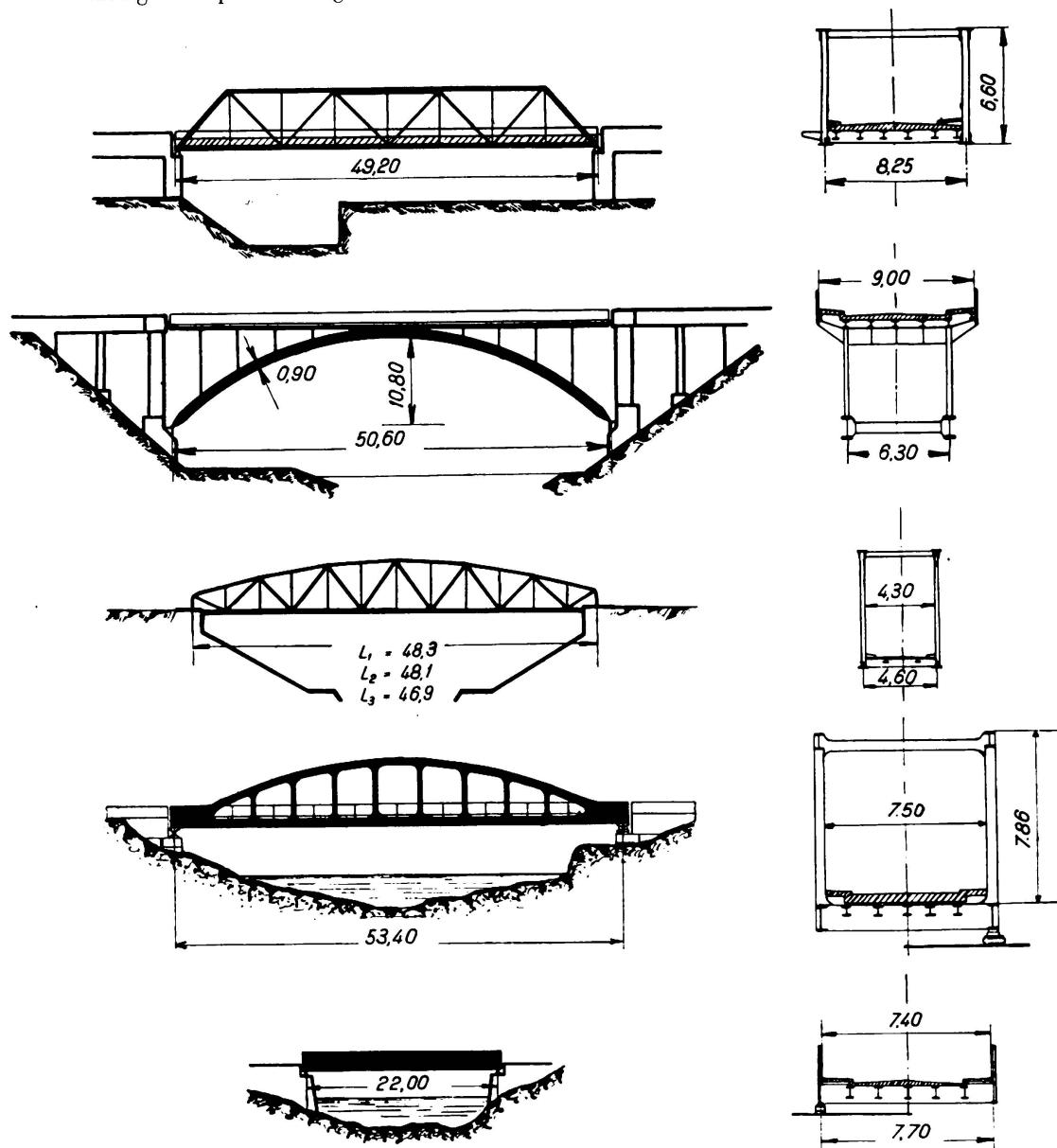


Fig. 14.

Tafel VII.

Nr.	Baujahr	Spannweite in m	Belastung	Gewicht in Tonnen	Hersteller
1.	1931	49,20	Klasse I	145,0	Škoda-Werke, Pilsen
2.	1933	50,60	„ I	111,0	“ “
3.	1933	22,00	„ I	37,6	Českomoravská-Kolben Danek
		48,30	„ III	52,0	
4.	1934	48,10	„ III	52,0	Brno-Kralovopolska
		46,90	„ III	49,1	
5.	1936	53,40	„ I	157,0	Škoda-Werke, Pilsen

Anmerkung: Die Klasse I entspricht einer gleichförmig verteilten Verkehrslast von 500 kg/m² oder einer Walze von 22 Tonnen.

Die Klasse III entspricht einer gleichförmig verteilten Verkehrslast von 340 kg/m² oder einem Wagen von 4 Tonnen.

III c 8

Berechnung der Schweißnähte.

Le calcul des soudures.

The Calculation of Weld Seams.

Ir. N. C. Kist,
Professor an der Technischen Hochschule in Delft, Haag.

In kurzer Zusammenfassung seines Referates zum Thema IIIc über die „Berechnung der Schweißnähte unter Berücksichtigung konstanter Gestaltänderungsenergie“ betont der Redner, daß für alle statisch unbestimmten Verbindungen die Richtung der von einer Naht übertragenen Kraft auf Grund der Plastizitätstheorie zu berechnen ist.