

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

Band: 1 (1932)

Rubrik: III. Welding in steel structural work

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: 06.02.2026

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

III

Troisième séance de travail.

Dritte Arbeitssitzung.

Third Working Meeting.

LA SOUDURE DANS LES CONSTRUCTIONS EN ACIER

SCHWEISSEN IM STAHLBAU

WELDING IN STEEL STRUCTURAL WORK

III 1.

LA SOUDURE DANS LES CONSTRUCTIONS MÉTALLIQUES. RAPPORT D'INTRODUCTION

SCHWEISSEN IM STAHLBAU. EINLEITENDES REFERAT.

WELDING IN STEEL STRUCTURAL WORK. INTRODUCTORY REPORT

T. GODARD,

Ancien Professeur à l'École Nationale des Ponts et Chaussées, Pau.

Voir « Publication Préliminaire », p. 303. — Siehe « Vorbericht », S. 303. See “Preliminary Publication”, p. 303.

III 2.

CALCUL ET CONSTRUCTION DES CHARPENTES MÉTALLIQUES SOUDÉES
BERECHNUNG UND BAULICHE DURCHBILDUNG GESCHWEISSTER
STAHLBAUTEN.

CALCULATION AND DETAILS OF WELDED STEEL STRUCTURES

Dr. Ing. KOMMERELL,

Direktor bei der Reichsbahn im Reichsbahnzentralamt für Bau-und Betriebstechnik.
Berlin.

Voir aussi « Publication Préliminaire », p. 315. — Siehe auch « Vorbericht », S. 315. — See also
“Preliminary Publication”, p. 315.

- 1) Beim Schweißen dürfen nicht sogleich zu dicke Schweissdrähte verwendet werden, weil sonst der seitliche Einbrand in das Werkstück zu gross wird. Der elektrische Strom sucht den Weg des geringsten Widerstandes. Wie aus dem Bilde ersichtlich ist, kommt man mit zu dicken Schweissdrähten

gar nicht in die Wurzel der Naht, ein Einbrand an dieser Stelle ist also nicht oder nur ungenügend zu erreichen. Wir beabsichtigen daher jetzt in Ergän-

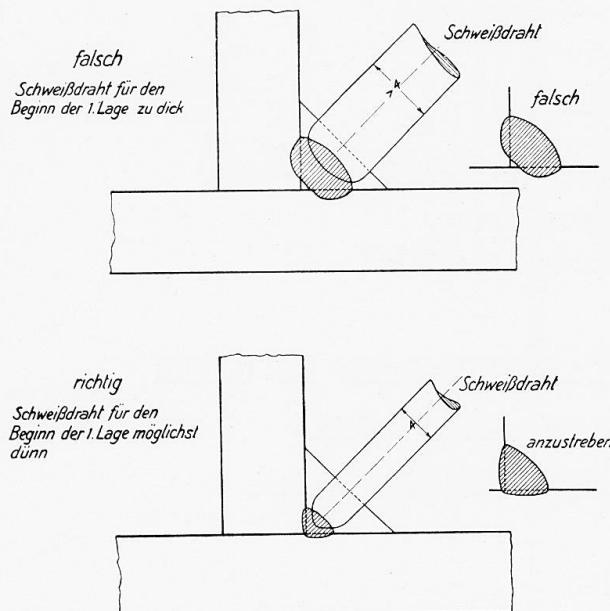


Fig. 1.

Faux = Falsch = Incorrect.

Cordon de soudure trop gros pour le commencement de la première couche = Schweißdraht für den Beginn der 1. Lage zu dick = Welding wire too thick for beginning the first layer.

Juste = Richtig = Correct.

Cordon de soudure aussi mince que possible pour le commencement de la première couche = Schweißdraht für den Beginn der 1. Lage möglichst dünn = Welding wire as thin as possible for beginning the first layer.

Aspirer à obtenir cette forme = Anzustreben = Result to be aimed at.

zung unserer Schweißvorschriften vorzuschreiben : Mit blanken und leicht getauchten Schweißdrähten von höchstens 1 mm Umhüllungswanddicke und von höchstens 4 mm Drahtdicke können Schweißnähte bis zu 6 mm Dicke, mit stärker umhüllten Schweißdrähten von höchstens 3 mm Drahtdicke können Schweißnähte bis zu 5 mm Dicke in einer Lage geschweisst werden. Bei dickeren Nähten muss nach diesen Vorschriften zunächst vorgeschweisst werden, für die weiteren Lagen können dickere Schweißdrähte verwendet werden.

Bei Verwendung umhüllter Schweißdrähte darf von diesen Vorschriften abgewichen werden, wenn der Nachweis erbracht ist, dass auch bei Verwendung dickerer Schweißdrähte ohne Vorschweissen der Schweiß-Stoff mit dem Werkstoff im Scheitel der Naht gut bindet, ohne dass der seitliche Einbrand in dem Werkstoff zu tief wird.

In allen Fällen sind Schweißdrahdurchmesser und Stromstärke so zu wählen, dass möglichst geringe Wärmespannungen entstehen¹.

Benennung Désignation Term	Sinnbild Symbole Symbol
V-Naht Soudures en V Butt weld in V	↗
x - Naht Soudures en x Butt weld in x	↖ ↘ ↙
Volle Kehlnaht, durchlaufend Soudures d'angle renforcées continues Reinforced fillet weld continuous	↓
Volle Kehlnaht, unterbrochen Soudures d'angle renforcées discontinues Reinforced fillet weld interrupted	↓
Leichte Kehlnaht, durchlaufend Soudures d'angle en congé discontinues Light fillet weld continuous	↓

Fig. 2.

1. (Diese Ergänzungsbestimmungen hat die Deutsche Reichsbahn-Gesellschaft für ihren Verwaltungsbereich bereits seit 25.7.1932 eingeführt.)

2) Es wäre im Interesse des internationalen technischen Verkehrs erstrebenswert, wenn einheitliche Sinnbilder für Schweissnähte eingeführt würden. Ich verspreche mir einen grossen Vorteil, wenn man sich zunächst auf wenige grundsätzliche Zeichen, die in der Anlage zusammengestellt sind und die bereits in merheren Ländern benutzt werden, einigen könnte.

Traduction.

1. — En matière de soudure, il convient de ne pas adopter des électrodes d'un diamètre trop fort, faute de quoi la pénétration latérale de la fusion dans la pièce à souder serait trop importante. Le courant électrique suit le parcours présentant la résistance électrique minimum. Ainsi qu'on peut le voir sur la figure, lorsque l'on travaille avec une électrode de trop fort diamètre, on ne peut pas atteindre la racine de la soudure et la pénétration de la fusion à cet endroit ne se fait pas, ou, à tout le moins, est insuffisante. Nous prévoyons donc l'addition suivante à nos Prescriptions concernant la Soudure :

Avec des électrodes nues ou légèrement enduites, admettant un enrobage ayant au plus 1 mm. d'épaisseur et un diamètre d'au plus 4 mm., on ne pourra souder en une seule couche que jusqu'à concurrence d'une épaisseur de cordon de 6 mm. ; avec des électrodes à enrobage fort, ayant un diamètre de 3 mm. au plus, on ne pourra souder en une seule couche que jusqu'à concurrence d'une épaisseur de cordon de 5 millimètres.

Lorsque les cordons de soudure doivent avoir une épaisseur plus forte, on passera tout d'abord une première couche en tenant compte des prescriptions qui précèdent ; pour les couches ultérieures, on pourra employer des électrodes de plus forts diamètres.

Lorsque l'on travaille avec des électrodes enrobées, on pourra toutefois s'écartier de ces prescriptions s'il est prouvé qu'en employant des électrodes de diamètres plus forts, le métal s'accroche dans de bonnes conditions sur le métal de base au sommet ou racine de la soudure, sans soudure préalable et sans toutefois que la pénétration de la fusion latéralement soit trop forte.

Dans tous les cas, il importe de choisir les diamètres des électrodes et les intensités de courant de telle sorte que les tensions résultantes d'origine thermique soient aussi faibles que possible¹.

2. — Il serait désirable, dans l'intérêt même des échanges techniques internationaux, que des symboles unifiés fussent adoptés en ce qui concerne la représentation des cordons de soudure. Je considère qu'il serait très avantageux d'adopter pour commencer, d'une manière uniforme, quelques signes principaux, qui sont groupés dans le tableau ci-joint, et que de nombreux pays ont déjà adoptés.

1. La Société des Chemins de fer Allemands a déjà mis ces prescriptions complémentaires en vigueur dans son domaine depuis le 25 juillet 1932.

Participants à la discussion.*Diskussionsteilnehmer.***Participants in the discussion.**

a. Les bases des résistances statique et dynamique des constructions en acier.

Grundlagen der statischen und dynamischen Festigkeit von Schweisskonstruktionen.

Fundamentals of the Static and Dynamic Strength of Welded Constructions.

Dr. h. c. M. ROŠ¹,

Professor an der Eidgenössischen Technischen Hochschule,
Direktor der Eidg. Materialprüfungsanstalt, Zürich.

Für die Berechnung und bauliche Durchbildung geschweisster Stahlbauten sind nicht allein die Ergebnisse der statischen Bruchversuche massgebend, sondern es ist vielmehr auch den Ergebnissen wiederholter Beanspruchungen, der Wechselfestigkeit (Ermüdung), das gebührende Mitspracherecht einzuräumen. Beide Festigkeiten sind für die Praxis von Bedeutung, da Stahlbauten, abgesehen von der Knickstabilität, nachgewiesenermassen sowohl infolge statischer Ueberanstrengung als auch zufolge der Ermüdung ihre Tragfähigkeit einbüßen können. Bei der Aufstellung der zulässigen Spannungen sowohl für genietete als auch für geschweisste Stahlbauten besteht daher deren Berücksichtigung zu Recht.

Die Entwicklung der statischen Festigkeit und des statischen Verformungsvermögens geschweißter Verbindungen zeigt, insbesondere in den letzten vier Jahren, ausgesprochene, zum Teil sehr beachtenswerte Fortschritte². Der Wechselfestigkeit wurde erst in der allerletzten Zeit, in den Jahren 1931 und 1932, in den Materialprüfungsanstalten von Stuttgart³ und Zürich die gebührende Beachtung zuteil.

Die Form und Abmessungen der geschweißten Versuchsstäbe der E. M. P. A., sowie die in der schweiz. Brückenbauverordnung (1933) in Aussicht genommenen, auszuweisenden statischen Zugfestigkeiten und Biegezahlen, sodann die Ursprungsfestigkeiten σ_u mit wiederholtem Lastwechsel zwischen 0 und σ_{max} (Zug), für

1. Texte des figures voir page 225.

Text der Figuren siehe Seite 225.

Text of the figures see page 225.

2. M. Roš, « Ergebnisse der an der Eidg. Materialprüfungsanstalt in den Jahren 1930-31 durchgeföhrten Versuche mit autogen und elektrisch geschweißten Stäben. » Bericht No. 19 des Schweiz. Verbandes für die Materialprüfungen der Technik, Zürich, Mai 1932.

3. O. GRAF, « Dauerfestigkeit von Stählen mit Walzhaut ohne und mit Bohrung, von Niet- und Schweissverbindungen. » V. D. I.-Verlag Berlin, 1931.

K. SCHÄCHTERLE, « Die zulässigen Spannungen bei genieteten und geschweißten Stahlbrücken. » Bautechnik, Heft 44-45, Berlin, 1932.

die Stumpfschweissung,
die Stoss-, Flanken- sowie Stirn-Kehlschweissung
sind aus der Abb. 1 ersichtlich.

Solange neben den Versuchsergebnissen einaxiger Ermüdungsversuche nicht auch die Ergebnisse systematischer zwei- und dreiaxialer Ermüdungsversuche, welch letztere sich in der E. M. P. A. im Gange befinden, zutreffendere

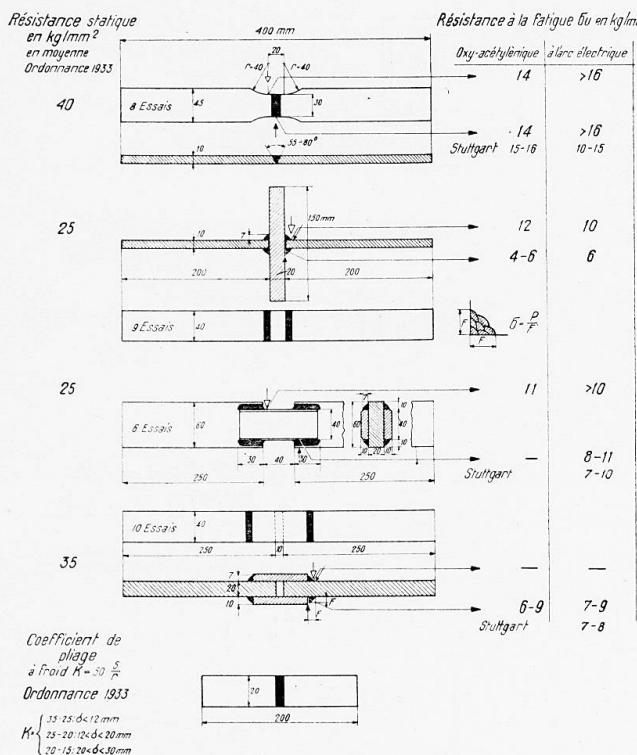


Fig. 1.

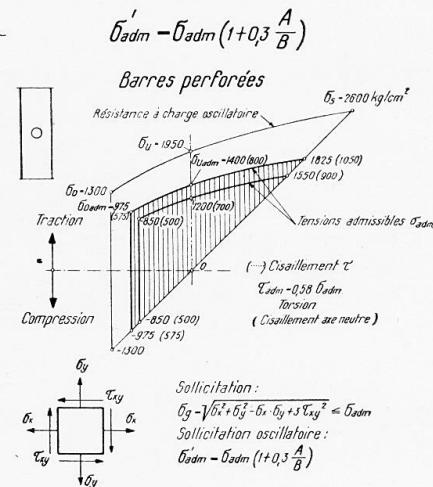


Fig. 2.

Grundlagen betreffend Ermüdungsfestigkeit liefern und dadurch eine genauere Festsetzung der zulässigen Spannungen ermöglichen, werden für gelochten Konstruktionsstahl — genietete Konstruktionen — in Anpassung an die Versuchsergebnisse nachfolgende Beziehungen empfohlen

$$\text{zul } \sigma = \text{zul } \sigma_u \left\{ 1 + 0.3 \frac{A}{B} \right\}$$

In der Abb. 2 sind diese zulässigen Spannungen für die durch Niet- bzw. Schraubenlöcher geschwächten Stäbe aus normalem Konstruktionsstahl — Muttermaterial — graphisch dargestellt.

Es bedeuten :

$$\text{zul } \sigma_u = \text{zulässige Spannung für Ursprungsbeanspruchung,}$$

A den kleinsten, B den grössten Grenzwert der Kräfte, Momente, bzw. Spannungen ; den Zugspannungen ist das Zeichen (+), den Druckspannungen das Zeichen (-) vorzusetzen.

Für auf Schwingung beanspruchte Elemente, bei welchen jede der Hauptspannungen zwischen zwei gleichgrossen Spannungsgrenzen entgegengesetzten Vorzeichens schwankt, darf auf Grund der bisherigen Ermüdungsversuche

die durch statische Versuche von Göttingen¹ und Zürich² ausgewiesene Theorie der konstanten Gestaltänderungsenergie, als zutreffend angenommen werden.

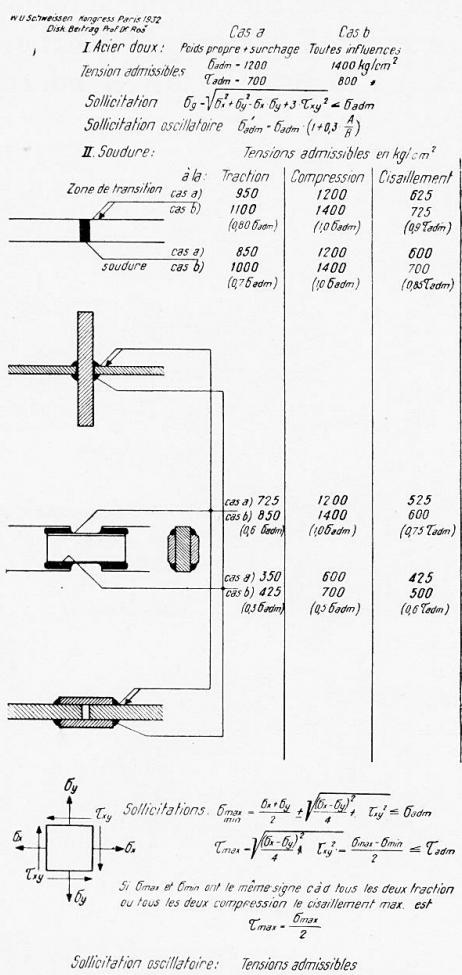


Fig. 3.

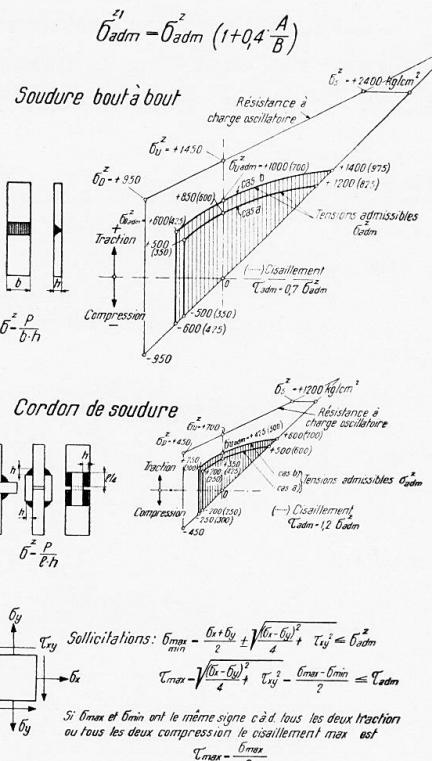


Fig. 4.

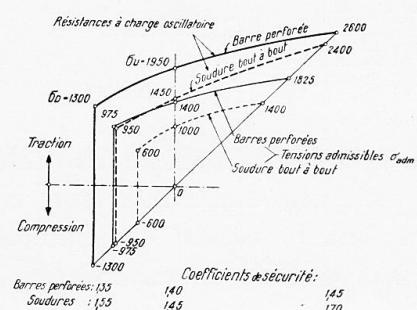


Fig. 5.

Bei gleichzeitigem Zusammenwirken von Normalspannungen σ_x und σ_y und Schubspannungen $\tau_{x,y}$ — zwei- bzw. dreiaxige Spannungszustände — wird gleichfalls die Theorie der konstanten Gestaltänderungsenergie als gültig ange-

1. A. NÁDAI, « Zur Mechanik der bildsamen Formänderungen. » Berichte der Fachausschüsse des Vereins Deutscher Eisenhüttenleute, Werkstoffausschuss Bericht No. 56, 1925.

W. LODE, « Versuche über den Einfluss der mittleren Hauptspannung auf das Fließen der Metalle ». Zeitschrift für Physik, 1926, Heft 11-12.

2. M. Roš und A. EICHINGER, « Versuche zur Klärung der Frage der Bruchgefahr. » Bericht des 2. Internationalen Kongresses für angewandte Mathematik und Mechanik, Zürich 1926 und Diskussionsbericht No. 34 der Eidg. Materialprüfungsanstalt Zürich, 1929.

nommen. Statisch gleich stark angestrengte Elemente d. h. von gleicher Grösse der Vergleichsspannung

$$\sigma_g = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \sigma_y + 3 \tau_{x,y}^2}$$

sind auch inbezug auf Wechselfestigkeiten gleichwertig, vorausgesetzt, dass alle Hauptspannungen in gleichem Verhältnis wechseln, wie bei der entsprechenden einaxigen Wechselfestigkeit.

Auf Grundlage der Versuchsergebnisse mit ungeschweissten und geschweissten Verbindungen betreffend

die Ursprungsfestigkeit σ_u ($\sigma_{\min} = 0$) $< \sigma_u (+ \sigma_{\max})$

die Schwingungsfestigkeit $\sigma_w (- \sigma_{\max}) < \sigma_w < (+ \sigma_{\max})$ und die statische Fliessgrenze σ_f

des einaxigen Zugversuches, wurden, wie erwähnt, die zulässigen Spannungen des Muttermaterials — voll und gelocht —, sodann der Uebergangszone und der Schweissnaht selbst für Zug, Druck und Schub seitens der E. M. P. A. festgelegt. — Abb. 3. Die Klammerwerte der Abb. 3. geben die Verhältniszahlen der zulässigen Spannungen der Schweissnähte zu den entsprechenden zulässigen Spannungen des Muttermaterials an. Während für das homogene Muttermaterial (Konstruktionsstahl), entsprechend der durch Versuche ausgewiesenen Theorie der konstanten Gestaltänderungsenergie, die jeweilige Vergleichsspannung σ_g der mehraxigen Beanspruchung mit der zulässigen Spannung σ_{zul} als der massgebenden zu vergleichen ist, werden für die weniger homogenen Schweissungen die Theorien der konstanten Reissfestigkeit und der grössten Schubspannung nach Mohr als für die Praxis ausreichend genau gewertet.

In der Abb. 4 sind die zulässigen Spannungen für Lastwechsel, ausschliesslich im Zug- oder Zug-Druckgebiet, sowohl für Stumpf- als auch für die Kehlnähte in Form von Graphikons der Beziehung

$$_{zul} \sigma^z = _{zul} \sigma_u^z \left(1 + 0,4 \frac{A}{B} \right) \dots \dots \dots \dots \dots \dots \quad (2)$$

folgend, zur Darstellung gebracht. Es gelten des fernerne die Beziehungen

$$\tau_{zul} = 0,70 \cdot \sigma_{zul}^z \text{ für Stumpfnähte und}$$

$$\tau_{zul} = 1,20 \cdot \sigma_{zul}^z \text{ für Kehlnähte.}$$

Es bedeuten

$_{zul} \sigma_u^z$ = zulässige Spannung für die Ursprungsbeanspruchung auf Zug

A den kleinsten,

B den grössten Grenzwert der Kräfte, Momente bezw. Spannungen ; den Zugspannungen ist das Zeichen (+), den Druckspannungen (—) vorzusetzen.

Für Kraft- bzw. Spannungswechsel ausschliesslich im Druckgebiet gilt für die zulässigen Normalspannungen die gleiche Beziehung wie für das Muttermaterial

$$_{zul} \sigma_u^p = _{zul} \sigma_u^p \left(1 + 0,3 \frac{A}{B} \right) \dots \dots \dots \dots \dots \dots$$

und für die zulässigen Schubspannungen

$$\tau_{zul} = 0,7 \sigma_{zul}^D \text{ --- für Stumpfnähte und}$$

$$\tau_{zul} = 1,20 \sigma_{zul}^D \text{ --- für Kehlnähte.}$$

Für zwei- bzw. dreiachsig Spannungszustände müssen die Bedingungen erfüllt sein.

Hauptspannungen

$$\sigma_{min} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \sqrt{\frac{(\sigma_x - \sigma_y)^2}{4} + \tau_{xy}^2} \dots \dots \dots (3)$$

kleiner oder höchstens gleich der zulässigen Spannung σ_{zul} (Theorie der konstanten Reissfestigkeit)

und gleichzeitig muss auch die

Grösste Schubspannung τ_{max} kleiner oder höchstens gleich der entsprechenden zulässigen Schubspannung τ_{zul} sein (Mohr'sche Theorie der grössten Schubspannung). Es gelten somit gleichzeitig auch die Beziehungen

$$\tau_{max} = \sqrt{\frac{(\sigma_x - \sigma_y)^2}{4} + \tau_{xy}^2} \leq \tau_{zul} \dots \dots \dots (4)$$

$$\text{bezw. } \tau_{max} = \frac{\sigma_{max}}{2} \leq \tau_{zul} \dots \dots \dots (5)$$

Die Beziehung (5) gilt, wenn

σ_{max} und σ_{min} gleichen Vorzeichens sind.

* * *

Entsprechend dem heutigen Stande der materialtechnischen Eigenschaften der Schweissungen, insbesondere aber der jetzigen konstruktiven Durchbildung von Schweissverbindungen, sind Niet- und Schweissverbindungen in bezug auf die Ermüdungsfestigkeit und das statische Verformungsvermögen nicht als numerisch gleich zu werten. — Abb. 5.

Die Nietung ist der Schweissung in dieser Beziehung heute noch überlegen. Die zulässigen Spannungen für Schweissungen wurden, unter Beachtung des gleichen Sicherheitsgrades von 1,5 wie für die Nietung festgesetzt. — Abb. 5.

Auf Grund unserer bisherigen Kenntnisse und Erfahrungen können, bei Einhaltung der seitens der E. M. P. A. aufgestellten und empfohlenen zulässigen Spannungen, sowie sachgemässer Würdigung der Eigenheiten von Schweissverbindungen zur Schweissung zugelassen werden :

Hochbauten, in Vollwand- und Fachwerkkonstruktion,

Vollwandige Eisenbahnbrücken und vollwandige sowie Fachwerk-Strassenbrücken.

Erst auf Grund weiterer Erfahrung sollten Fachwerk-Eisenbahnbrücken in geschweisster Ausführung von Fall zu Fall zugelassen werden. In diesem Sinne lauten auch die in Beratung sich befindlichen neuen schweizerischen Vorschriften für Stahlbauten (1933).

Traduction.

Les résultats des essais statiques de rupture ne sont pas les seuls à intervenir d'une manière capitale dans le calcul et la construction des ouvrages métalliques soudés ; il faut accorder aux essais de sollicitations répétées — résistance alternée, fatigue — l'importance qui leur est due. Chacune des caractéristiques correspondantes a son importance en pratique, du fait que la capacité de charge des constructions métalliques — à part la stabilité au flambage, — peut être annihilée aussi bien par des surcharges statiques que dynamiques. En établissant les contraintes admissibles pour les ouvrages métalliques rivés ou soudés, il faut donc considérer les deux influences.

Le développement de l'étude de la résistance statique des assemblages soudés et des déformations qui en découlent a fait, spécialement pendant ces quatre dernières années, des progrès remarquables¹. Ce n'est que tout dernièrement, pendant les années 1931 et 1932, que les laboratoires d'essai des matériaux de Stuttgart² et Zürich ont accordé à la résistance aux efforts alternés l'attention qui lui revient.

La fig. 1 reproduit la forme et les dimensions des éprouvettes soudées du L. F. E. M. ; elle indique en outre les résistances à la traction statique et les coefficients de pliage que prévoit l'Ordonnance Suisse concernant la construction des Ponts (1933), ainsi que les résistances à la fatigue σ_u dans le cas de sollicitations répétées entre 0 et σ_{\max} (traction), pour

- les cordons de soudure en bout,
- les cordons de soudure latéraux et frontaux.

Tant que les résultats des essais de fatigue selon deux et trois axes (essais actuellement en cours au L. F. E. M.) n'auront pas, en complétant les résultats des essais de fatigue selon un axe, fourni des bases plus précises concernant la résistance à la fatigue, en permettant de fixer plus exactement les fatigues admissibles, il est à conseiller d'utiliser pour l'acier employé en construction rivée la relation suivante :

$$\text{adm}\bar{\sigma} = \text{adm}\sigma_u \left\{ 1 + 0,3 \frac{A}{B} \right\} \quad (1)$$

qui concorde avec les résultats d'essai déjà obtenus.

Sur la fig. 2 on a reporté graphiquement les tensions admissibles ainsi obtenues pour des barres en acier de construction normal en tenant compte de la réduction de section par les trous des boulons et de rivets.

$\text{adm}\sigma_u$ est la tension admissible correspondant à la sollicitation $0 < \sigma_u < \sigma_{\max}$ (traction).

A représente la valeur limite minimum, B la valeur limite maximum des

1. Voir note 2, p. 218.

2. Voir note 3, p. 218.

forces, des moments et des contraintes, les contraintes de traction sont pourvues du signe +, les contraintes de compression du signe —.

Pour les éléments sollicités par des efforts oscillatoires, où chacune des contraintes principales varie entre deux contraintes limites égales mais de signe contraire, on peut admettre, en se basant sur les essais de fatigue qui sont connus jusqu'à aujourd'hui, que la théorie de la constance de l'énergie de déformation, prouvée par les essais statiques de Göttingen¹ et Zürich² est juste.

Lors d'une action simultanée des contraintes normales σ_x et σ_y et des contraintes de cisaillement τ_{xy} — état de tension selon deux ou trois axes — on admet comme valable la théorie de la constance de l'énergie de déformation. Des éléments soumis à sollicitation statique égale, c'est-à-dire de même grandeur de la tension de comparaison

$$\sigma_g = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \sigma_y + 3 \tau_{xy}^2}$$

sont aussi équivalents au point de vue de résistance à la fatigue, à condition que toutes les contraintes principales varient dans les mêmes limites que dans le cas de la sollicitation oscillatoire suivant un seul axe principal.

En se basant sur les résultats des essais effectués sur des assemblages soudés et non soudés, au sujet de la résistance aux efforts répétés de différentes formes ($0 < \sigma_u < \sigma_{max}$ et $-\sigma_{max} < \sigma_w < +\sigma_{max}$), et au sujet de la limite statique d'écoulement à la traction suivant un axe, le L. F. E. M. a déterminé, ainsi que nous l'avons signalé, les contraintes admissibles à la traction, à la compression et au cisaillement, tant pour le métal plein qu'en tenant compte des trous des rivets, ainsi que, dans le cas des assemblages soudés, pour la zone de transition et le cordon de soudure lui-même (figure 3). Les chiffres entre parenthèses sur la figure 3 indiquent les rapports entre les contraintes admissibles dans les cordons de soudure et les valeurs correspondantes des contraintes admissibles dans le métal de base. Pour un métal homogène (acier de construction), et suivant la théorie de la constance de l'énergie de déformation, sanctionnée expérimentalement, la contrainte de comparaison pour une contrainte suivant plusieurs directions, doit être rapportée à la contrainte admissible, tandis que pour les assemblages soudés, qui sont moins homogènes, on peut considérer comme suffisamment exacte pour la pratique la théorie de la constance, de la résistance à la fracture et de la contrainte maximum de cisaillement suivant Mohr.

Sur la fig. 4 on a reporté graphiquement les contraintes admissibles pour des charges alternées uniquement dans le cas de la traction ou de la traction-compression, aussi bien pour les soudures en bout que pour les cordons de soudure latéraux et frontaux suivant la formule

$$\text{adm}\sigma^z = \text{adm}\sigma_u^z \left\{ 1 + 0,4 \frac{A}{B} \right\}.$$

1. Voir note 1, page 220.

2. Voir note 2, page 220.

En outre les relations suivantes sont valables :

$\tau_{\text{adm}} = 0,7 \sigma_{\text{adm}}^z$ pour la soudure en bout et

$\tau_{\text{adm}} = 1,20 \sigma_{\text{adm}}^z$ pour les cordons de soudure latéraux et frontaux.

σ_{adm}^z désignant la contrainte admissible pour $0 < \sigma_u^z < +\sigma_{\text{max}}$, A la valeur limite minimum, B la valeur limite maximum des forces, des moments et des contraintes ; les contraintes de traction sont affectées du signe +, les contraintes de compression du signe —.

Pour des variations de l'effort ou de la contrainte, dans le cas de la compression exclusivement, la relation indiquée pour le métal de base même (acier de construction) est aussi valable pour les contraintes normales admissibles des soudures.

$$\sigma_{\text{adm}}^p = \sigma_{\text{adm}}^p \left\{ 1 + 0,3 \frac{A}{B} \right\}$$

et pour les contraintes de cisaillement admissibles :

$\tau_{\text{max}} = 0,7 \sigma_{\text{adm}}^p$ pour les soudures en bout,

$\tau_{\text{max}} = 1,20 \sigma_{\text{adm}}^p$ pour les cordons de soudure latéraux et frontaux.

Dans le cas d'efforts suivant deux ou trois axes, il faut que les conditions suivantes soient remplies, c.-à-d. que les contraintes principales

$$\sigma_{\text{min}}^{\text{max}} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \sqrt{\frac{(\sigma_x - \sigma_y)^2}{4} + \tau_{xy}^2}. \dots \dots \dots \quad (3)$$

soient inférieures ou au plus égales à la contrainte admissible σ_{adm} — théorie de la constance de la résistance à la fracture — et en même temps les tensions de cisaillement maxima

$$\tau_{\text{max}} = \sqrt{\frac{(\sigma_x - \sigma_y)^2}{4} + \tau_{xy}^2}$$

ou, si σ_{max} et σ_{min} sont de même signe

$$\tau_{\text{max}} = \frac{\sigma_{\text{max}}}{2}$$

qu'elles soient inférieures ou au plus égales aux contraintes de cisaillement admissibles τ_{adm} correspondantes.

* * *

Si on considère le comportement pratique des assemblages soudés actuels, et, en particulier, le mode d'assemblage au point de vue constructif, on doit reconnaître que les assemblages soudés et rivés ne peuvent être mis numériquement sur le même pied en ce qui concerne la résistance à la fatigue et la résistance aux déformations statiques (fig. 5). La rivure est à ce point de vue actuellement encore supérieure à la soudure. Les contraintes admissibles pour la soudure ont été fixées comme pour la rivure, en tenant compte d'un coefficient de sécurité d'env. 1,5 (fig. 5).

En se basant sur nos connaissances et sur notre expérience actuelles, on peut admettre la soudure dans les constructions suivantes :

charpentes métalliques — poutres à âme pleine et à treillis,
ponts-rails à âme pleine,
ponts-routes à âme pleine et à treillis

si on observe les tensions admissibles fixées et préconisées par le L. F. E. M. et si on tient compte des particularités qui caractérisent les assemblages soudés. On ne devrait admettre la construction de ponts-rails en treillis soudés que lorsque l'on pourra se baser sur des expériences complémentaires et en en faisant un cas d'espèce. C'est dans ce sens que s'exprime la nouvelle Ordonnance Suisse pour la Construction métallique (1933) qui est actuellement à l'examen.

Texte des figures.

Text der Figuren.

Text of the figures.

Résistance Statique — Statische Festigkeit — Static strength.

En moyenne — Im Mittel — Average.

Ordonnance — Vorschriften — Rules.

Résistance à la fatigue — Ermüdungsfestigkeit — Fatigue strength.

Coefficient de pliage à froid — Koeffizient der Kaltbiegeprobe — Coefficient of bending (cold)

Essais — Versuche — Tests.

Oxy-acétylénique — Sauerstoffacetylen-schweissung — Oxy-acetylene welding.

A l'arc électrique — Elektrische Schweissung — Arc welding.

Barres perforées — Gelochte Stäbe — Perforated bars.

Résistance à charge oscillatoire — Festigkeit gegen schwingende Belastung — Resistance to oscillating Stressing.

Traction — Zug — Tension.

Compression — Druckspannung — Compression.

Tensions admissibles — Zulässige Spannungen — Permissible stresses.

Cisaillement — Abscheren — Shearing stress.

Torsion — Torsion — Torsion.

Cisaillement axe neutre — Abscheren neutrale Axe — Shearing stress neutral axis.

Sollicitation — Beanspruchung — Stressing.

Sollicitation oscillatoire — Schwingungsbeanspruchung — Oscillating stressing.

Acier doux — Flusseisen — Mild steel.

Cas — Fall — Case.

Poids propre + Surcharge — Eigengewicht + Nutzlast — Own weight + Traffic load.

Toutes Influences — Alle Einflüsse — All Influences.

Soudure — Schweissen — Weld.

Zone de transition — Uebergangszone — Transition zone.

Si σ_{\max} et σ_{\min} ont le même signe c.-à-d. tous les deux traction ou tous les deux compression, le cisaillement max est...

Wenn σ_{\max} und σ_{\min} das gleiche Vorzeichen haben, dh. beide Zug oder beide Druck, ist das max Abscheren...
If σ_{\max} and σ_{\min} have both the same sign, i. e. both tension or both compression, the maximum shearing stress

\dots

Soudure bout à bout — Stumpfschweissung — Butt weld.

Cordon de soudure — Schweissraupe — Bead welds.

Coefficient de sécurité — Sicherheitsgrad — Factors of safety.

Dr.-Ing. Albert DÖRNEN,
Dortmund-Derne.

Beim Schweissen von Stahlbauten entstehen Schrumpfspannungen. Ueber ihre Grösse und ihren Einfluss auf die Tragfähigkeit der geschweißten Stahlbauten gehen die Meinungen auseinander. Die Herren Prof. Godard sowie Kopeček und Dr. Faltus vertreten in ihren Referaten die Auffassung, dass man die Schädlichkeit der Schrumpfspannungen nicht überschätzen solle. Dieser Auffassung möchte ich mich auf Grund eigener Versuche, die ich in meinem Werk angestellt habe, anschliessen. Diese Versuche haben ergeben,

dass durch plastische Verformungen in geschweißten und gewalzten Trägern während des Schweißens und Abkühlens elastische Spannungen (Schrumpfspannungen) entstehen, die aber in gewalzten Trägern viel grösser sind als in geschweißten Trägern¹.

Auf die inneren Spannungen in Walzträgern hat man bisher bei deren Verwendung kaum Rücksicht genommen. Die Erfahrung hat auch gelehrt, dass dies nicht nötig war, denn irgendwelche Nachteile haben sich bei der Verwendung der Träger unter den zulässigen Spannungen nicht gezeigt. Man kann folgern, dass eine Rücksichtnahme auf diese Spannungen auch in richtig berechneten und ausgeführten geschweißten Trägern sich erübrigkt, in denen sie nach den Versuchsergebnissen viel kleiner sind. Man weiss ferner aus Erfahrung, dass in gewalzten Trägern die inneren Spannungen im Laufe der Zeit während des Gebrauches sich ausgleichen. Dasselbe wird auch in geschweißten Trägern vor sich gehen. Bei dem angestellten Vergleich ist zugunsten der geschweißten Träger noch zu berücksichtigen, dass die Walzträger rd. $1\frac{1}{2}$ Jahre alt und mehrfach als Gerüstträger verwendet worden waren, während die geschweißten Träger beim Durchtrennen erst rd. 3 Tage alt waren.

Natürlich sind die Schrumpfspannungen möglichst klein zu halten. Geeignete Mittel sind :

- 1) Richtige Reihenfolge beim Schweißen nach einem sorgfältig aufgestellten Schweißplan.
- 2) Vermeidung vermeidbarer und überflüssig starker Nähte.
- 3) Schweißen mit nicht zu starken Elektroden und nicht unnötig grosser Stromstärke. Es ist besser, mit dünnen Elektroden und kleiner Stromstärke in mehreren Lagen zu schweißen als mit einer starken Elektrode und grosser Stromstärke in einer Lage.
- 4) Leichtes und vorsichtiges Hämmern der Schweißnähte mit leichten Presslufthämmern.

Vereinzelt sind Bedenken bzgl. der Zuverlässigkeit der Schweißnähte gegenüber Wechselbeanspruchungen zum Ausdruck gekommen. Die Deutsche Reichsbahn-Gesellschaft lässt seit längerer Zeit mit Schweißnähten Schwingungsversuche auf den Material-Prüfungsämtern in Berlin-Lichterfelde und Stuttgart durchführen. Bei diesen Versuchen ist die Frequenz der Kraftwechsel sehr hoch, rd. 300 Wechsel in der Minute. In meinem Werke habe ich solche Versuche, aber — um der Wirklichkeit näher zu kommen — mit geringerer Frequenz (8 Wechsel in der Minute) und zwar zunächst an X-Nähten ange stellt zu dem Zweck, die Sicherheiten zu vergleichen, die Stäbe aus St 37 nach Abb. 4 ungeschweißt und mit einer X-Naht verschweisst vergleichsweise haben. Die Spannungen sind dabei für die ungeschweißten und geschweiß-

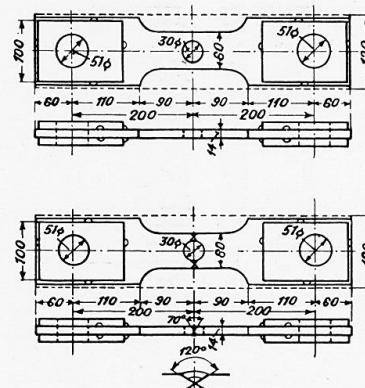


Fig. 1.

1. Der Stahlbau, 1933, no 3.

ten Stäbe gegeneinander entsprechend den zulässigen Spannungen abgestimmt worden. Die Anzahl der bis zu einem bestimmten Grade der Zerstörung ausgehaltenen Wechsel gibt dann unmittelbar den Vergleich der Sicherheiten. Für die Folgerungen aus diesem Vergleich kann angenommen werden, dass der St 37 ungeschweisst bei den für ihn zulässigen Spannungen reichliche Sicherheit bietet.

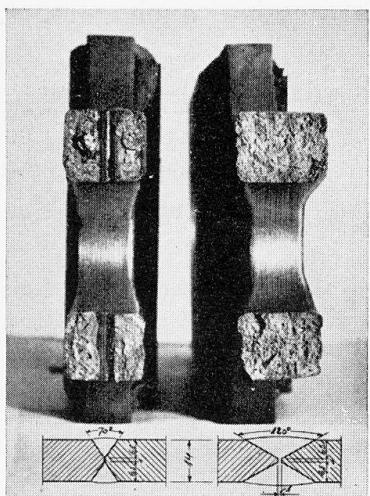


Fig. 2.

rechnerischen Spannung von $\pm 536 \text{ kg/cm}^2$ im kleinsten Querschnitt untersucht. Diese Spannung entspricht für die Schweissnaht den $\pm 1400 \text{ kg/cm}^2$ im Mutterstoff, wenn man die Stäbe entsprechend den Vorschriften berechnet. Von diesen sechs geschweissten Stäben zeigte einer nach erst 130000 Wechseln die ersten Haarrisse. Fünf wurden sogar nach mehr als 150000 Wechseln heil ausgebaut. Hieraus kann man schon folgern, dass X-Nähte, nach den Schweissvorschriften berechnet und hergestellt, wesentlich höhere Sicherheit bieten als der ungeschweisste St. 37. Dieselben geschweissten Stäbe, mit $\pm 1400 \text{ kg/cm}^2$ beansprucht, brachen bei weniger als 16000 Wechseln. Vergrösserte man den Flankenwinkel der X-Naht von 70° auf 120° und beanspruchte die Stäbe mit $\pm 1400 \text{ kg/cm}^2$, so zeigten sich von vierzehn untersuchten Stäben im Mittel bei rd. 50000 Wechseln die ersten Haarrisse. (Ausführliche Beschreibung der Versuche siehe « Der Stahlbau » 1932 Heft 21.)

Traduction.

Dans la soudure des constructions métalliques, se manifestent des contraintes de retrait. Toutefois, les opinions sont très partagées en ce qui concerne leur valeur et l'influence qu'elles exercent sur la capacité de charge des ouvrages soudés. Dans leurs rapports, le Professeur Godard, M. Kopeček et le Dr. Ing. Fr. Faltus émettent l'opinion qu'il faut se garder de surestimer l'influence nuisible de ces contraintes de retrait. Je me rallierai pour ma part à cette conception, en me basant sur les essais que j'ai effectués dans mon usine. Ces essais ont montré que par suite des déformations plastiques qui se manifestent dans les poutres soudées et laminées, au cours des processus de

soudure et de refroidissement, des contraintes élastiques prennent naissance (contraintes de retrait) qui sont toutefois notablement plus importantes dans les poutres laminées que dans les poutres soudées¹.

Jusqu'à maintenant on n'a pas eu beaucoup à se plaindre, au cours de leur emploi, des contraintes internes qui se manifestent dans les éléments profilés. L'expérience a même montré qu'il n'y avait pas lieu de s'en préoccuper, car on n'a jamais éprouvé d'ennuis de ce fait, à faire travailler des poutrelles laminées au taux de contrainte admissible. On peut en conclure qu'il n'y a pas lieu non plus de se préoccuper des contraintes de cet ordre qui se manifestent dans les assemblages soudés convenablement calculés et exécutés, puisque, suivant les résultats des essais, ces contraintes sont beaucoup plus faibles que les précédentes. C'est en outre un fait d'expérience que dans les poutrelles laminées, les contraintes internes arrivent à se compenser, en service, avec le temps. Il en est de même pour les poutrelles soudées. Pour continuer la comparaison indiquons encore, à l'avantage des poutrelles soudées, que les poutrelles laminées que nous avons essayées dataient d'environ un an et demi, et avaient été déjà utilisées à plusieurs reprises comme éléments de charpentes, tandis que les poutrelles soudées ne dataient que de trois jours.

Naturellement, il faut s'efforcer de maintenir les contraintes de retrait à une valeur aussi faible que possible. Les mesures à prendre sont les suivantes :

1. — Succession des opérations de soudure dans un ordre judicieux, après établissement d'un programme de travail minutieusement étudié ;

2. — Élimination des cordons de soudure inutiles ou des cordons trop « copieux » ;

3. — Emploi d'électrodes qui ne soient pas trop grosses et d'intensités de courant non exagérées. Il est préférable de souder en plusieurs couches, en travaillant avec des électrodes de faible diamètre, et de faibles intensités de courant, plutôt que de prendre de fortes électrodes et de travailler en une seule couche avec un courant de forte intensité :

4. — Martelage des cordons de soudure d'une manière légère avec précaution, au moyen de marteaux à air comprimé suffisamment légers.

Les critiques qui se sont élevées au sujet de la sécurité que confèrent les soudures vis-à-vis des contraintes alternées sont peu nombreuses. La Société des Chemins de Fer Allemands a en cours depuis longtemps des essais de cordons de soudure aux oscillations, dans les Laboratoires d'Essais des Matériaux de Berlin-Lichterfelde et de Stuttgart. Les fréquences adoptées pour ces essais sont très élevées, environ 300 alternances à la minute. J'ai également effectué des essais de cet ordre dans mon usine, mais en adoptant des fréquences plus faibles (8 alternances à la minute), afin de rester dans le cadre de la pratique. Ces essais ont en fait porté tout d'abord sur des cordons de soudure en X, afin d'établir une comparaison entre les conditions de sécurité sur barreaux en acier St.37 non soudés et soudés avec un cordon en X (fig. 1). Les contraintes effectives pour les barreaux soudés et non soudés ont été réglées aux mêmes valeurs correspondant aux contraintes admissibles. Le nombre d'alternances supportées jusqu'à apparition d'un degré de destruction déterminé

1. Der Stahlbau, 1933, no 3.

donne alors directement la comparaison entre les marges de sécurité. On peut, pour la suite de la comparaison, admettre que l'acier St. 37 non soudé donne, pour les tensions admissibles qui lui correspondent, une sécurité surabondante.

De la moyenne de 14 essais, il en résulte que pour une contrainte calculée, dans la plus faible section, de $\pm 1400 \text{ kg/cm}^2$, les premières fissures se sont manifestées dans les barreaux non soudés après environ 60.000 alternances. Pour interpréter la valeur de ce chiffre moyen, indiquons qu'une contrainte alternée de $\pm 1400 \text{ kg/cm}^2$ dépasse de 30 % la contrainte admissible prévue par les Règlements. En effet, en tenant compte des efforts alternés, on n'admet dans ce cas qu'une contrainte de $\pm 1080 \text{ kg/cm}^2$. La contrainte périphérique sur les bords des trous des sections les plus faibles atteint même environ deux à trois fois la valeur calculée. Les essais ont également porté sur six barreaux assemblés avec cordons de soudure en X, suivant figure 2, dans les mêmes conditions que pour les barreaux non soudés, mais avec une contrainte calculée de $\pm 536 \text{ kg/cm}^2$ dans la plus petite section. Cette contrainte correspond pour le cordon de soudure à la contrainte de $\pm 1400 \text{ kg/cm}^2$ dans le métal de base, en calculant les barreaux suivant les Règlements. Sur ces six barreaux soudés, l'un accusa les premières fissurations après seulement 130.000 alternances. Les cinq autres étaient encore en bon état après plus de 150.000 alternances. On peut donc en déduire, dès maintenant, que des cordons de soudure en X, calculés et exécutés suivant les Règlements concernant la Soudure, confèrent une sécurité notablement plus élevée que celle que donnent les barreaux non soudés en acier St.37. Les mêmes barreaux soudés, soumis à une contrainte de $\pm 1400 \text{ kg/cm}^2$, se sont rompus après moins de 16.000 alternances. En augmentant l'angle du cordon de soudure en X de 70° à 120° et en soumettant les barreaux à une contrainte de $\pm 1400 \text{ kg/cm}^2$, on a obtenu, sur 14 barreaux essayés, une moyenne d'environ 50.000 alternances avant l'apparition des premières fissurations (voir Description détaillée des Essais dans Der Stahlbau, 1932, n° 21).

J. RIDET,

Ingénieur en chef adjoint au Service des Voies et Travaux, Chemins de Fer de l'Est, Paris.

A) Préambule.

Les études théoriques et pratiques sur la soudure des constructions en acier ont surtout porté sur l'utilisation des cordons de soudure déposés soit par l'arc électrique, soit par le chalumeau. Or, il existe un autre procédé qui permet de souder par points des tôles jusqu'à 12 m/m d'épaisseur, en utilisant la résistance électrique au contact des pièces et l'effet Joule qui en résulte.

B) La soudure par résistance.

Ce procédé pourrait être dit « électro-mécanique » en raison du fait que, contrairement à la soudure par cordon, il comporte un serrage assez énergique des pièces entre les deux électrodes.

En raison de la valeur relativement faible de la résistance électrique au contact des pièces, une très forte intensité (10.000 à 20.000 ampères) sous une

tension de quelques volts seulement, est nécessaire pour l'élévation rapide de la température. Ceci conduit à l'emploi du courant alternatif, dont la transformation convenable peut être obtenue à l'aide d'un simple transformateur statique.

Essais à la bille de 5 mm pression 500 kg.
Le 1^{er} chiffre indique le diamètre des empreintes
en mm.
Le 2^e chiffre est celui de la résistance à la trac-
tion déduit du 1^{er} chiffre.

Kugelprobe mit 5 mm Kugeln, 500 kg Druck.
Die 1. Zahl gibt den Durchmesser des Ein-
drückes in mm an. Die 2. Zahl ist die der
Zugfestigkeit, abgeleitet aus der 1. Zahl.

Ball tests with 5 mm balls, pressure 500 kg.
The 1st figure gives the diameter of the im-
pression in mm. The 2nd figure is the ten-
sile strength deduced from the 1st figure.

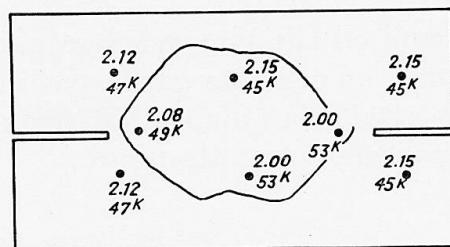


Fig. 1.

Trois facteurs principaux déterminent la soudure de deux tôles d'épaisseur et de qualité données, ce sont :

L'intensité du courant I en ampères ou l'énergie développée E en Watts-secondes.

La durée de passage t_s , du courant, en secondes,

La pression de serrage P, entre les électrodes en kg.

Ces facteurs étant représentés par des valeurs aisément contrôlables, les

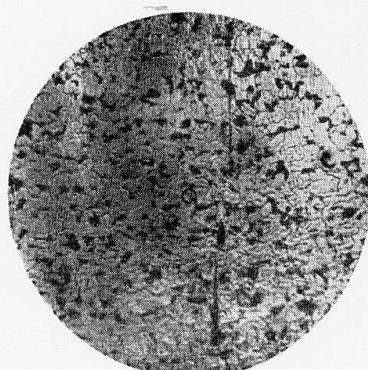


Fig. 2.

Micrographie.

Mikrophotographie.

Microphotograph.

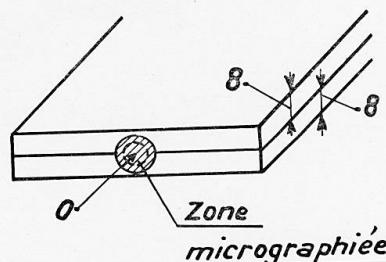


Fig. 3.

Zone micrographiée.

Mikrophotographisch dargestellte Zone.

Zone microphotographed.

soudures peuvent être exécutées par des machines automatiques. Ce pro-
céde permet par conséquent d'éliminer en grande partie le facteur humain
et d'obtenir des liaisons d'une grande sécurité.

Un autre grand avantage de la soudure par résistance est celui de ne néces-
siter aucun métal d'apport.

La machine à souder fonctionne automatiquement en trois temps :

1. Accostage des pièces, en exerçant une pression de quelques tonnes, par
le moyen des électrodes convenablement dimensionnées ;

2. Passage du courant.

3. Après l'interruption du courant, la pression est maintenue et sert à former les pièces.

C) Quelques indications sur la résistance
et la valeur économique de la soudure par point.

Quand on fait une macrographie dans une coupe passant par un point de soudure, on constate que l'aspect est celui donné par la figure 1.

Un essai à la bille en différents points donne par exemple les chiffres qui sont reportés sur cette figure.

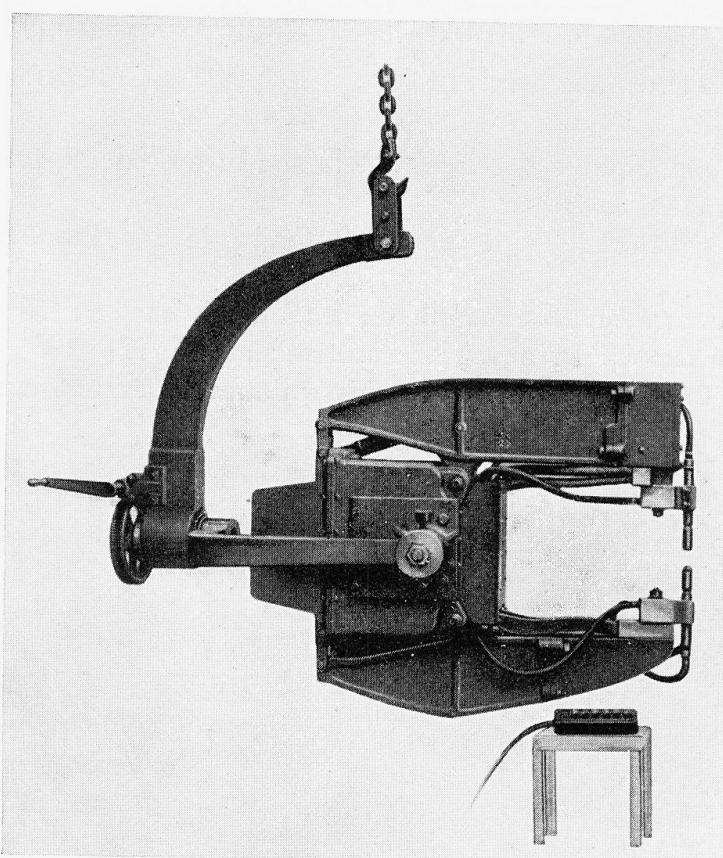


Fig. 4. — Machine suspendue en position de travail = Aufgehängte Maschine in Arbeitsstellung = Machine suspended in working position.

On constate sur le croquis que dans la zone de soudure la dureté du métal est légèrement augmentée par rapport à celle du métal sain. Ce résultat est confirmé par d'autres essais en grand nombre, d'après lesquels la résistance au cisaillement des points de soudure est du même ordre que la résistance au cisaillement du métal sain et légèrement supérieure.

En ce qui concerne la limite d'élasticité et l'allongement, il résulte d'essais effectués au Laboratoire du Conservatoire National des Arts et Métiers que par exemple :

Pour un acier donnant à l'état vierge 32 kg de limite d'élasticité, ce chiffre

passe pour du métal soudé à 33 kg ; par ailleurs l'allongement passe de 27 % pour du métal vierge à 22,5 % pour du métal soudé.

Ces chiffres se trouvent corroborés par les résultats d'examens micrographiques révélant une structure homogène et la continuité de la matière dans la partie soudée.

Les figures 2 et 3 représentent une micrographie réalisée sur la tranche d'une éprouvette (2 fers plats 8 + 8 m/m réunis par un point de soudure), sciée perpendiculairement à sa surface, suivant un plan passant par le centre « O » du point de soudure. On s'est arrangé pour que le centre de la photographie corresponde à un point de la surface de contact entre les deux plats. Ceci étant, on constate qu'il n'y a, suivant un diamètre quelconque passant par le centre, aucune hétérogénéité visible du métal. Les deux traits sensiblement horizon-

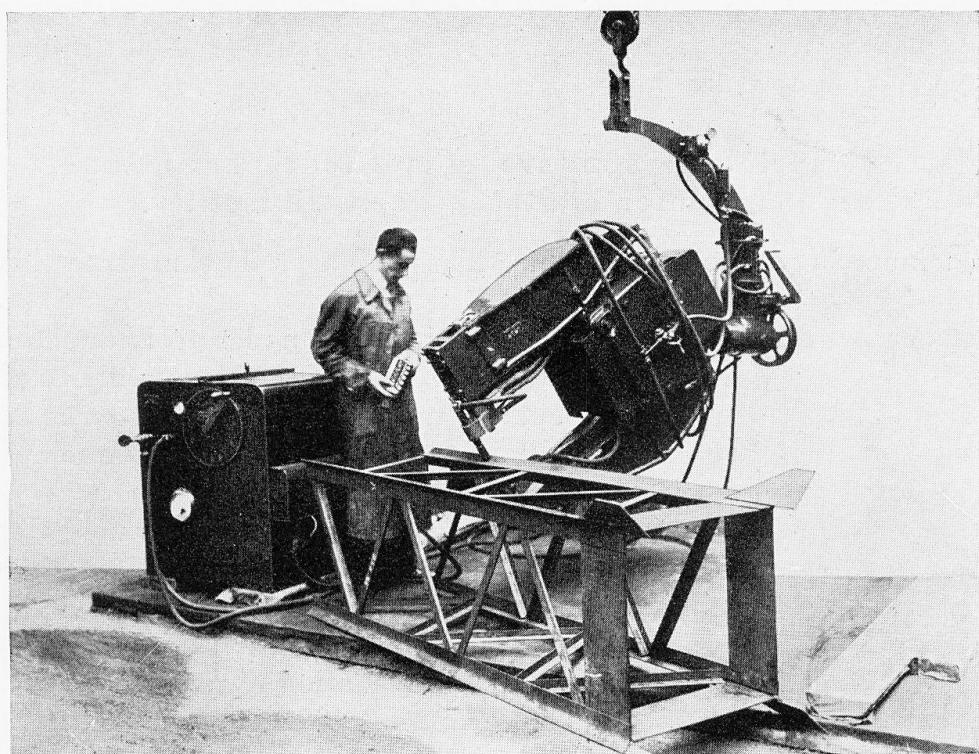


Fig. 5. — Machine inclinée soudant un pylône = Geneigte Maschine beim Schweißen eines Mastes = Machine inclined, welding a pylon.

taux représentent apparemment des irrégularités de structure non-inhérentes à la soudure (lignes de laminage), le plan de cette dernière passant horizontalement par « O ».

Le calcul des assemblages soudés par points peut donc être basé sur la valeur de résistance du métal que l'on emploie et sur la section des points de soudure. Certains coefficients permettent de tenir compte de la perte d'allongement. L'absence de trous de rivets permet, dans un but de plus grande sécurité, d'augmenter le nombre de points de soudure, sans perte de section utile.

Quant à la valeur économique du procédé, elle est intéressante : on a d'abord une économie de poids résultant de l'absence de l'affaiblissement produit par les trous de rivets ; ensuite on supprime du travail les opérations suivantes :

une grande partie du traçage, le perçage, l'alésage, la chauffe du rivet et son aménagement. Quant à la consommation de courant, elle est le plus souvent inférieure au coût du rivet lui-même.

Voici à titre d'exemple quelques chiffres concernant la soudure par points de 2 largets de 120×10 :

Pour un point de soudure.

durée totale de l'opération	15 secondes
durée de passage du courant	10 »
consommation de courant	0,4 kw.-h.
consommation d'air comprimé à la pression atmosphérique	5 à 6 litres
Consommation d'eau pour le refroidissement des électrodes, environ	3 litres
Diamètre du point de soudure, relevé après cisaillement, environ	21 m/m
soit une section soudure de	345 m/m ² env.

D) Matériel de soudure et méthode permettant un premier contrôle de la liaison.

Une machine conçue pour la soudure d'assemblages de charpente est représentée à la fig. 4.

Cette machine, du type suspendu, est articulée dans les trois directions. Sa forme rappelle celle des riveuses hydrauliques. Elle peut être utilisée à l'atelier ou sur le chantier chaque fois que la riveuse hydraulique ou pneumatique peut l'être.

Les bras sont en position de travail. Le courant transformé dans le transformateur statique logé dans la machine, arrive par de forts conducteurs aux deux électrodes en cuivre qui peuvent être refroidies par circulation d'eau.

La boîte à boutons sert pour la commande automatique à distance.

Capacité : 3 épaisseurs de 12 m/m chacune.

La fig. 4 nous montre la machine en position de dégagement. L'ouverture des électrodes est de 250 m/m.

Fig. 5. : La même machine fonctionnant en position inclinée : soudure par points d'un pylône.

Un avantage de ces machines automatiques est qu'elles permettent un contrôle facile. Sans changer le réglage, on peut souder une éprouvette de contrôle. Le facteur humain disparaît. La sélection des soudeurs n'est plus indispensable.

Fig. 6.
Éprouvette II + II + II débou-
tonnée = Versuchskörper II +
II + II aufgeknöpft = Test
piece II + II + II pulled apart.

Sur la fig. 6 on voit une éprouvette arrachée pour un premier examen à l'atelier. L'absence de cratères sur la surface du cône de striction, la finesse et la régularité du grain, le diamètre du cône à la

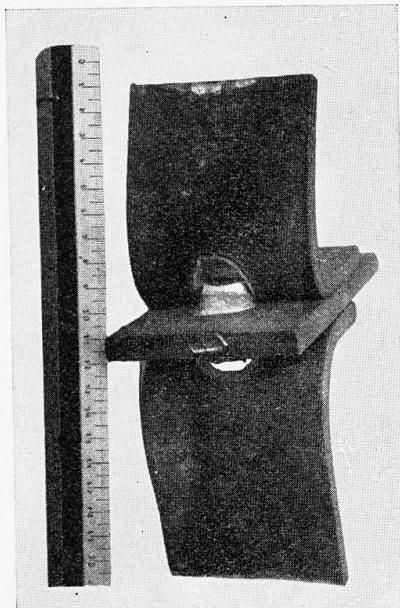




Fig. 7. — Bâtiment soudé par Points = Punktgeschweiste Halle
= Building constructed by spot welding.

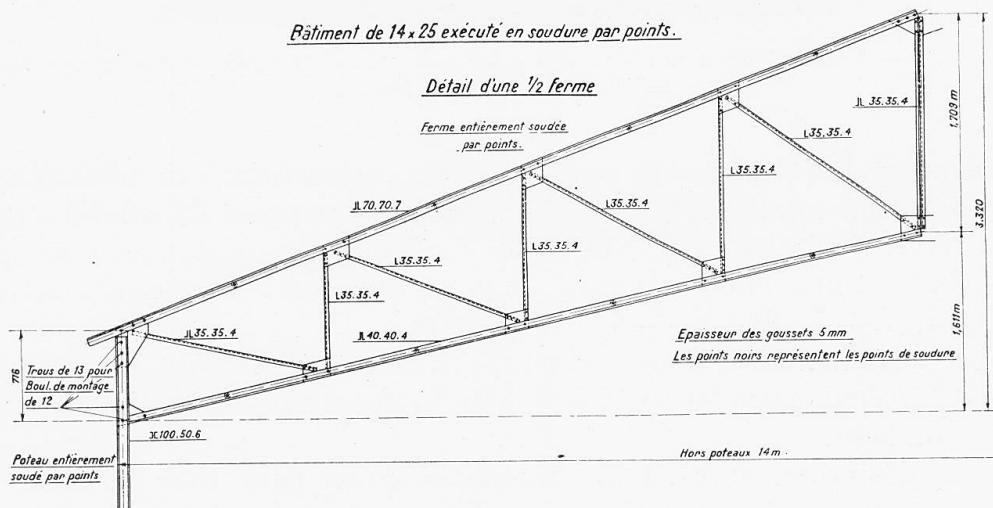


Fig. 8.

Bâtiment de 14×25 exécuté en soudure par points. Détail d'une 1/2 ferme. Ferme entièrement soudée par points. Épaisseur des goussets 5 mm. Les points noirs représentent les points de soudure. Trous de 13 mm pour Boul. de montage de 12 mm. Poteau entièrement soudé par points. Hors poteau 14 m.

Bauwerk von 14×25 m Grunfläche, durch Punktschweissung ausgeführt. Detail eines halben Binders. Binder ausschliesslich durch Punktschweissung ausgeführt. Dicke der Knotenbleche 5 mm. Die schwarzen Punkte stellen die Schweißpunkte dar. 13 mm Loch für 12 mm Montage bolzen. Stütze ganz durch Punktschweissung ausgeführt. Ausserkante Stütze 14 m.

Building covering 14×25 m. constructed by spot welding. Detail of half a roof truss. Truss constructed entirely by spot welding. Thickness of gusset plates 5 mm. The black dots show the welding spots. 13 mm holes for 12 mm erecting bolts. Stanchions constructed entirely by spot welding. 14 m between stanchions.

base, permettent de tirer, avec assez de certitude, une première conclusion quant à la valeur de la liaison.

E) Quelques assemblages réalisés par soudure par points.

Tandis que la soudure par cordon est déjà appliquée actuellement à la charpente, l'emploi de la soudure par points dans ce domaine n'en est qu'à ses débuts.

La première réalisation en France (1930) a été, à notre connaissance, celle

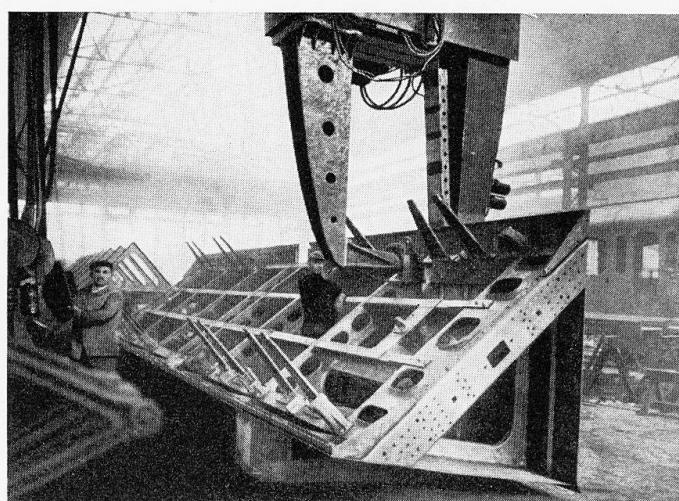


Fig. 9. — Fond de wagon en cours de soudure = Schweissung eines Wagenrahmens
= Welding a wagon frame.

d'un bâtiment de 15 mètres de portée ; cette construction (voir photographie 7 et plan 8) est en totalité soudée par points, chaque point de soudure remplaçant un rivet. Seuls les assemblages des fermes sur les poteaux, et des pannes sur les fermes, ont été boulonnés lors du montage. Epaisseurs soudées : $7 + 7 + 4$, $7 + 7$, $6 + 4 + 6$, $5 + 4$ m/m.

A titre documentaire, nous reproduisons sur la fig. 9 un assemblage de tôles profilées-épaisseurs $10 + 4$, $8 + 8$ m/m (fond de wagon de 60 tonnes) en cours de soudage.

Il serait désirable, et c'est la conclusion qu'on peut tirer de cette courte communication, que l'emploi de ces machines automatiques se généralise, car, outre ses avantages propres de rapidité et d'économie, il permet d'éliminer le facteur humain et, en facilitant le contrôle de la soudure, il en augmente la sécurité.

b) Calcul et construction des bâtiments en acier.

Berechnung, Konstruktion und Herstellung geschweißter Stahlbauten.

Calculation, Design and Construction of Welded Steel Structures.

Dr. Z. BAŽANT,

Professeur à l'École Technique Tchèque, Prague.

Discussion à la communication de M. Kommerell : Calcul et construction des charpentes métalliques soudées (voir Publ. prél. page 315).

Dans le calcul de la soudure à l'appui d'une poutre (fig. 5 et 6) on obtient un effort de flexion ρ_1 et un effort de cisaillement ρ_2 . Leur résultante ρ (d'après la fig. 6) est oblique à la section et ne représente pas la plus grande valeur de l'effort au point envisagé. Le maximum de l'effort est donné par la tension principale :

$$\max \rho = \frac{1}{2} (\rho_1 + \sqrt{\rho_1^2 + 4\rho_2^2})$$

pour laquelle on aurait comme limite l'effort de traction admissible (valeur moindre que l'effort de compression). Cela donnerait, pour le cas envisagé par l'auteur :

$$\max \rho = \frac{P}{2} (0,0974 + \sqrt{0,0974^2 + 4 \cdot 0,0435^2}) = 0,114 P.$$

et pour $\rho_{\text{adm}} = 0,6 \sigma_{\text{adm}} = 7,2 \text{ kg. par mm}^2$ on aurait

$$P = \frac{720}{0,114} = 6310 \text{ kg}$$

contre $P = 5620 \text{ kg}$ d'après l'auteur, on a alors une sécurité moindre que celle déduite de l'effort $\rho = \sqrt{\rho_1^2 + \rho_2^2}$.

On peut calculer de la même façon également la longueur de soudure nécessaire dans le cas d'une plaque (aile de cornière), fixée à une tôle (gousset) perpendiculaire. En supposant une barre de section rectangulaire b, h (v. fig. 1) soumise à une traction P , on obtient dans le bas de la barre un moment fléchissant $M = P \frac{h}{2}$ qui donne un effort normal aux extrémités de la soudure :

$$\rho_1 = \frac{M}{W} = \frac{\frac{1}{2} P \cdot h}{\frac{1}{6} b x^2} = \frac{3 P \cdot h}{b x^2}$$

La force P donne aussi, approximativement, un effort de cisaillement :

$$\rho_2 = \frac{P}{b x}$$

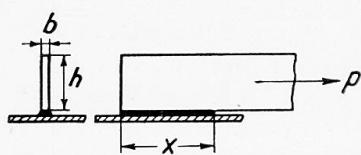


Fig. 1.

De là résulte la tension principale :

$$\max \sigma = \frac{1}{2} (\sigma_1 + \sqrt{\sigma_1^2 + 4 \sigma_2^2}) = \frac{3 P \cdot h}{2 b x^2} \left[1 + \sqrt{1 + \left(\frac{2x}{3h} \right)^2} \right]$$

Pour avoir la même sécurité dans la barre tendue que dans l'assemblage (en supposant la largeur utile de la soudure plus grande que celle de la barre), on peut poser : $\max \sigma = \frac{P}{bh}$ ce qui donne la condition :

$$\frac{3}{2} \left(\frac{h}{x} \right)^2 \left[1 + \sqrt{1 + \left(\frac{2x}{3h} \right)^2} \right] = 1 \text{ ou } \left(\frac{x}{h} \right)^2 = 4$$

d'où $x = 2h$. Pour cette valeur x la barre perpendiculaire est assemblée d'une façon telle qu'elle résiste à l'extrémité du joint par sa section pleine que l'on n'a pas besoin d'amoindrir, ainsi que cela se fait en pareil cas pour les joints rivés. Il serait prudent de faire $x > 2h$, car les efforts vrais, notamment au cisaillement, sont plus grands que les efforts calculés.

Dr. Ing. KOMMERELL,

Direktor bei der Reichsbahn im Reichsbahnzentralamt für Bau- und Betriebstechnik,
Berlin.

Berechnet man beim gleichzeitigen Auftreten von Biegemomenten und Querkräften die schiefen Hauptspannungen nach der Formel

$$(1) \quad \sigma = \frac{1}{2} \left(\sigma_1 + \sqrt{\sigma_1^2 + 4 \sigma_2^2} \right),$$

so erhält man nach dem angezogenen Beispiel, Abschnitt V, Seite 326 meines Berichtes ($\frac{0,1140}{0,1067} = 1,069$) um 6,9 % höhere Spannungen als nach der einfachen Formel

$$(2) \quad \sigma = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}$$

Dafür kann im Falle (1) mit der zulässigen Spannung höher, also etwa bis zu der für Zug massgebenden Spannung $\sigma_{zul} = 0,6$. σ_{zul} gegangen werden, während wir bei der Berechnungsart (2) nur die für Abscheren massgebende zul. Spannung $\sigma_{zul} = 0,5 \sigma_{zul}$ einsetzen.

In der Praxis sind bei jedem Schweißanschluss die äusseren Kräfte gegeben. An dem angezogenen Berechnungsbeispiel sei die Auswirkung beider Berechnungsarten gezeigt :

Gegeben : $P = 5620 \text{ kg}$.

Aus der Biegung $\sigma_1 = \frac{M}{W} = \frac{22,5 \cdot 5620}{231} = 548 \text{ kg/cm}^2$

Aus der Querkraft $\sigma_2 = \frac{P}{F} = \frac{5620}{23} = 244 \text{ kg/cm}^2$

Nach der genaueren Formel wird :

$$(1) \quad \rho = \frac{1}{2} \left(\rho_1 + \sqrt{\rho_1^2 + 4 \rho_2^2} \right)$$

$$\rho = \frac{1}{2} \left(548 + \sqrt{548^2 + 4 \cdot 244^2} \right) = 641 \text{ kg/cm}^2$$

$$\rho_{zul} (Z_{ug}) = 0,6 \sigma_{zul} = 0,6 \cdot 1200 = 720 \text{ kg/cm}^2$$

Nach der Annäherungsformel wird :

$$(2) \quad \rho = \sqrt{\rho_1^2 + \rho_2^2}$$

$$\rho = \sqrt{548^2 + 244^2} = 600 \text{ kg/cm}^2$$

$$\rho_{zul} (\text{Absch}) = 0,5 \sigma_{zul} = 0,5 \cdot 1200 = 600 \text{ kg/cm}^2$$

Im Falle (1) mit der genaueren Formel sind die zulässigen Spannungen nicht ausgenutzt, es könnte, um dies zu erreichen, der Schweißnahtquerschnitt verringert werden.

Es zeigt sich also, dass unter einer gegebenen Kraft P bei Benutzung der genaueren Berechnungsweise ein etwas geringerer Schweißnahtquerschnitt genügt als man mit unserer einfachen Formel $\rho = \sqrt{\rho_1^2 + \rho_2^2}$ errechnet. Wir bewegen uns somit mit unsren Vorschriften auf der sicheren Seite.

Traduction.

Lorsque l'on calcule les efforts principaux obliques, dans le cas où s'exercent simultanément des moments fléchissants et des contraintes de cisaillement, suivant la formule :

$$(1) \quad \rho = \frac{1}{2} (\rho_1 + \sqrt{\rho_1^2 + 4 \rho_2^2})$$

on obtient, d'après l'exemple du paragraphe V, page 339 de mon rapport ($\frac{0,4440}{0,4067} = 1,069$) des valeurs d'efforts supérieures d'environ 6,9 % à celles que donnent la formule simple :

$$(2) \quad \rho = \sqrt{\rho_1^2 + \rho_2^2}$$

Par suite, dans le premier cas, on peut travailler avec un effort admissible plus élevé, pouvant aller à peu de chose près jusqu'à l'effort correspondant au cas de la traction, soit : $\rho_{zul} = 0,6 \sigma_{zul}$. Par contre, en adoptant le calcul suivant la formule (2), on adoptera l'effort admissible correspondant au cisaillement, soit $\rho_{zul} = 0,5 \sigma_{zul}$.

Dans la pratique, pour tout assemblage soudé, on connaît les efforts extérieurs. Pour mettre en évidence l'influence des deux modes de calcul qui précédent, appliquons-les à l'exemple indiqué.

Soit $P = 5.620 \text{ kg}$

Pour la flexion, on a :

$$\rho_1 = \frac{M}{W} = \frac{22,5 \cdot 5620}{234} = 548 \text{ kg/cm}^2$$

Pour le cisaillement, on a :

$$\sigma_2 = \frac{P}{F} = \frac{5620}{23} = 244 \text{ kg/cm}^2.$$

En adoptant le mode de calcul exact, on obtient :

$$(1) \quad \rho = \frac{1}{2} (\sigma_1 + \sqrt{\sigma_1^2 + 4\sigma_2^2})$$

$$\rho = \frac{1}{2} (548 + \sqrt{548^2 + 4 \cdot 244^2}) = 641 \text{ kg/cm}^2$$

$$\rho_{zul} \text{ (traction)} = 0,6 \cdot \sigma_{zul} = 0,6 \cdot 1200 = 720 \text{ kg/cm}^2$$

Avec la formule approchée, on obtient :

$$(2) \quad \rho = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}$$

$$\rho = \sqrt{548^2 + 244^2} = 600 \text{ kg/cm}^2$$

$$\rho_{zul} \text{ (cisaillet.)} = 0,5 \sigma_{zul} = 0,5 \cdot 1200 = 600 \text{ kg/cm}^2$$

Dans le premier cas, en adoptant la formule exacte, les contraintes admissibles ne sont pas atteintes; on pourrait donc, si l'on voulait les atteindre, réduire la section des cordons de soudure.

On constate donc que, pour un effort donné, et en faisant appel au mode de calcul rigoureux, on peut adopter pour les cordons de soudure une section plus faible que celle que l'on obtient avec notre formule simplifiée :

$$\rho = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}$$

En ce qui concerne nos Prescriptions, nous nous tenons donc à la méthode donnant la plus grande sécurité.

Dr.-Ing. St. BRYLA,
Professeur à l'Ecole Polytechnique, Lwów.

Le travail de M. le Rapporteur, extrêmement intéressant, est basé sur les prescriptions allemandes et ne prend pas en considération celles des autres pays. Il est vrai qu'il n'en existe, jusqu'à présent, que dans peu de pays. Je dois donc mentionner les prescriptions polonaises qui ont même été les premières prescriptions officielles concernant les constructions soudées, puisqu'elles ont été publiées dès 1928 (les prescriptions allemandes ne furent publiées qu'en 1930). Comme l'indique M. le Dr Rosenberg dans le « Zeitschrift des österr. Ing. und Arch. Vereines » 1930, Nr. 38, elles ont servi de base dans d'autres pays (« Les autorités compétentes.... ont dû tenir compte.... soit des prescriptions du Ministère Polonais des Travaux Publics, soit de celles qui ont été publiées par l'American Welding Society »). Cela indique aussi un développement important des constructions soudées en Pologne. Je mentionne dans le tableau ci-dessous les constructions les plus remarquables qui ont été exécutées jusqu'à aujourd'hui dans notre pays.

Année	Ouvrage	Dimensions	Poids	Economie de poids	Construction
1927	Verrières, Varsovie...				Entièrement soudée. Première construction soudée en Pologne.
1927	Charpente à Nowy Bytom	$l = 6 \text{ m.}$			Entièrement soudée.
1928	Pont route (I) à Lowicz.	$l = 27 \text{ m.}$	52 t.	22 %	" "
1928	Pont soutenant câbles à Nowy Bytom.....	$l = 30 \text{ m.}$	45 t.		" "
1929	Usine à Skarzysko....	$l = 42 \text{ m.}$		20 %	" "
1929	Bâtiment à Katowice.	6 étages	480 t.	20 %	" "
1929	" " "	14 "	500 t.		Rivée avec application de soudure.
1930	Pont route (II) à Lowicz.....	$l = 17 \text{ m.}$	22,3 t.	12 %	Entièrement soudée.
1930	Usine à Varsovie.....	$l = 12,6 \text{ m.}$			" "
1930/2	Caisse Postale d'Epargne à Varsovie..	7 étages	800 t.	15 %	" "
1930/4	Plusieurs villas en charpente métallique à Katowice.....	2-3 étages		20 %	Entièrement soudée.
1931	Bâtiment à Varsovie (rue Nowowiejska)				
	Construction élevée.	2 étages	78 t.	10 %	Soudée dans l'usine, rivée au chantier.
1932	Usine à Ostrowiec....	$l = 25,65 \text{ m.}$	84 t.	10 %	Entièrement soudée.
1932	Bâtiment « Prudential » à Varsovie.....	16 étages	1.200 t.	10 %	Soudée dans l'usine rivée au chantier (fig. 4).
1932	Usine à Ostrowiec....	$l = 16,48 \text{ m.}$	120 t.	15 %	Entièrement soudée.
1932	Château d'eau à Okecie.		21 t.	12 %	" "
1932	Tour pour l'extraction des mines.....	$h = 12 \text{ m.}$		18 %	" "

Les profilés complètement et spécialement étudiés pour la soudure n'existent pas encore ; la question est à étudier. Leur normalisation internationale est une des questions dont devrait s'occuper l'Association Internationale des Ponts et Charpentes.

En ce qui concerne les poutres laminées en général, ce sont celles en T qui ont trouvé dernièrement une application plus répandue à cause de la facilité de leur emploi dans diverses constructions, entre autres dans des charpentes comportant des éléments tubulaires. A défaut de poutre en T, on a adopté souvent (p. exemple à la construction de Skarzysko en 1929) les poutres en double T découpées.

L'utilisation des éléments tubulaires pour la construction, quoiqu'économique du point de vue du poids de la construction, est rarement appliquée à cause de leur prix presque deux fois plus élevé que celui d'autres profilés. Je citerai donc deux constructions, où ils ont été employés : la charpente de la Caisse d'Épargne Postale à Varsovie et la coupole du même bâtiment.

Afin de protéger les éléments tubulaires contre la rouille, on peut les remplir avec du béton de la même manière que dans certains systèmes des pieux. Le problème de l'entretien et du contrôle dont parle le rapport : « L'applica-

tion de la soudure aux constructions métalliques » ne présente alors pas de difficultés. Cette méthode est à appliquer avec des éléments de petits diamètres.

Je voudrais souligner ici aussi la possibilité et l'avantage des tôles de grande épaisseur, qui permettent de diminuer le travail du soudage. Ceci concerne les éléments (membrures) des ponts en treillis (jusqu'à 30 mm, p. ex. Pont I de Lowicz $e = 29$ mm), des ponts à âme pleine (jusqu'à 30 mm, p. ex. 2^e pont de Lowicz $e = 18$ mm), des colonnes (même épaisseur, p. ex. Caisse d'Épargne Postale de Varsovie), des pieds des colonnes (jusqu'à 100 mm,

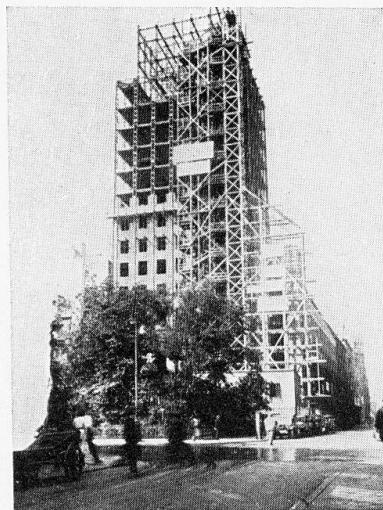


Fig. 1

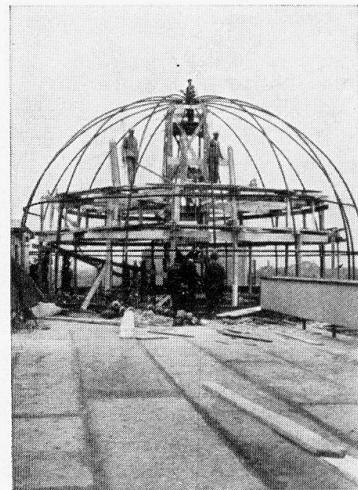


Fig. 2

Fig. 1. — Ossature métallique du bâtiment Prudential à Varsovie = Stahlskelett des Neubaues Prudential in Warschau = Steel framework of the new Prudential Buildings at Warsaw.

Fig. 2. — Bâtiment de la Caisse d'Epargne Postale à Varsovie en construction. Coupole soudée construite exclusivement en tubes = Bauzustand der Post-Ersparniskasse in Warschau geschweißte Kuppel aus Röhren konstruiert = Post Office Savings Bank, Warsaw, in course of construction. Welded cupola, constructed solely of tubes.

bâtiment à Katowice et bâtiment de la Société Prudential à Varsovie), etc. (je ne cite que des constructions exécutées en Pologne).

Comme je l'ai mentionné au début, M. le Dr Kommerell a considéré uniquement les prescriptions allemandes concernant les calculs et l'exécution des constructions; toutefois, à mon avis, le second problème serait l'étude des prescriptions internationales concernant ces travaux.

Les principes généraux des calculs sont à vrai dire suffisamment mis au point, mais ils ne s'appliquent ni aux tensions admissibles ni aux essais qui doivent être exécutés pour l'examen, soit du métal d'apport, soit des soudeurs. Il existe cependant des différences et c'est surtout dans le calcul à la résistance au cisaillement.

Par exemple, les prescriptions de certains pays admettent la tension stable au cisaillement en kg/cm^2 indépendamment de l'épaisseur de la soudure. Par exemple, les prescriptions américaines prévoient 800 kg/cm^2 ; les prescriptions allemandes — 0,5 de la tension du matériel utilisé c'est-à-dire $600 - 700 \text{ kg/cm}^2$ pour les constructions civiles. Ce calcul, quoique très simple, n'est pourtant

pas rationnel. La résistance unitaire des cordons latéraux travaillant au cisaillement croît plus lentement que la dimension transversale. Cela provient du fait que les petites soudures sont exécutées d'une manière plus uniforme, les tensions d'origine thermique y sont inférieures ; leur travail est plus uniforme, les écailles peuvent se produire entre les différentes couches, on ne réalise pas la fusion complète entre deux couches successives et enfin la profondeur de pénétration de la soudure dans l'angle, même exécutée dans les conditions favorables (2 à 3 mm), a une influence plus grande sur la résistance de la petite soudure que sur celle de la grande.

Les premières prescriptions polonaises de 1928 prévoyaient alors le calcul de la résistance au cisaillement des soudures d'après la formule : $k_c = (k_o - \mu \cdot a) \cdot a$, en kg/cm, dans laquelle k_o représente la résistance admissible au cisaillement en kilogrammes par centimètre de longueur du cordon, a étant la largeur du cordon (supposé isocèle et légèrement bombé) exprimés en centimètres. Cette formule indique que la résistance en kg/cm² varie suivant une droite d'après l'équation : $k_c = (k'_o - \mu \cdot a) \cdot a$.

En calculant le pont de Lowicz (1928) on a admis $k = 640$, $\mu = 0,80$ d'où $k_c = (640 - 80 \cdot a) \cdot a$ kg/cm².

Les essais exécutés par moi pendant les dernières années sur plusieurs cen-

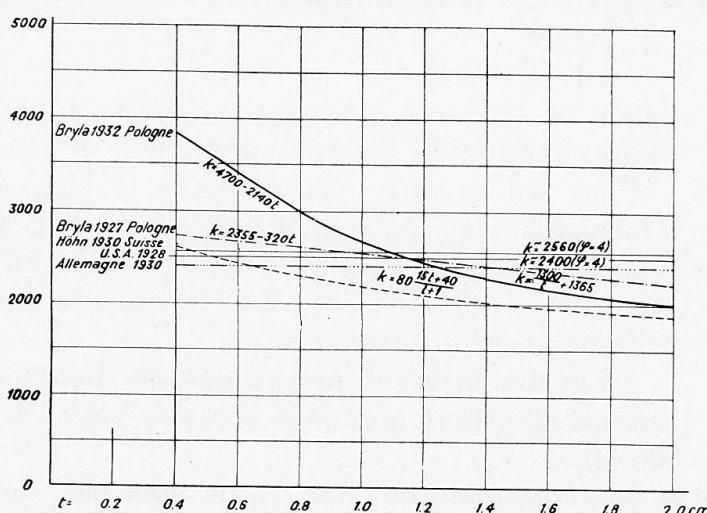


Fig. 3.

taines d'échantillons ont démontré qu'on peut admettre que la résistance des soudures latérales varie pour $a = 8$ mm, suivant la droite dont l'équation est $k = 4700 - 2140 a$ et pour $a = 8$ mm suivant la courbe hyperbolique dont l'équation est $k = \frac{1300}{t} + 1365$ (figure 3).

Sur la fig. 3 je donne les diagrammes concernant la résistance des soudures latérales de différentes épaisseurs,

- 1) d'après les prescr. polonaises 1928 (Bryla) $k = 2355 - 320 t$.
- 2) " " " américaines 1928
- 3) " " " allemandes 1930.

Dans les deux derniers cas, je considère qu'on a admis le coefficient φ de sécurité égal à $\varphi = 4$. C'est une supposition arbitraire mais probable.

Au cas où le coefficient φ serait différent de la valeur considérée, il faudrait changer en conséquence la position des droites :

4) d'après la formule de M. Höhn de 1930 (Suisse) :

$$k = 80 \frac{152 + 40}{t + 1} \text{ (elle se rapproche de la formule 1)}$$

5) d'après ma formule de 1932, qui se compose de la ligne droite et de l'hyperbole comme ci-dessus.

Les prescriptions polonaises de 1930, d'après lesquelles on a calculé les hautes constructions de Katowice et de Varsovie mentionnées plus haut, prévoient la résistance au cisaillement, comme suit :

On doit admettre :

Pour des dimensions de : 5 6 8 10 12 14 16 18 mm

Tension admissible dans les sou-

dures latérales : 240 280 350 420 480 530 570 600 kg/cm

Dans les soudures frontales : 280 320 400 480 550 600 650 700 kg/cm

En cas d'application dans la construction, d'une tension admissible k_m autre que celle de 1200 kg/cm², il faut multiplier les chiffres ci-dessus par le coefficient $\frac{k_m}{1200}$.

Si les essais mettent en évidence, pour les soudures, des résistances admissibles supérieures, on peut augmenter les tensions admissibles.

Pour les soudures au plafond, il faut admettre comme admissible une tension égale à 60 % de celle qui est admise pour les soudures normales (quoique les soudures au plafond bien exécutées accusent des résistances à peu près égales à celle des cordons normaux).

« Les assemblages provisoires de montage sont à calculer selon les tensions normales admises pour les constructions en acier augmentées de 50 %.¹ ».

Je me permets de remarquer ici, que je ne suis pas du même avis que M. Kommerell qui dit : « Les trous éventuels de montage doivent, dans les calculs, être déduits de la section utile ».

Considérons le détail de l'assemblage suivant, fig. 4 ; dans une section telle que ss l'effort transmis par la barre P est déjà fortement diminué par la présence des cordons de soudure ts et t's ! Toutefois le trou doit être assez éloigné c.-à-d. que la distance b doit être aussi grande que possible.

Ceci concerne également les soudures à entaille surtout si les trous sont complètement remplis par le métal de l'électrode, bien déposé.

Pour conclure, je voudrais insister, en ce qui concerne l'application de la soudure à la construction, sur la nécessité de se baser sur des essais, dont on tirera les conséquences qui s'imposent.

1. Je ne cite que les plus importantes indications des prescriptions polonaises qui diffèrent des autres prescriptions.

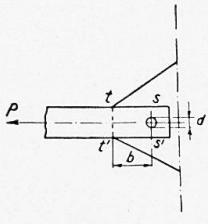


Fig. 4.

Il faut à la fois de l'audace et de la prudence, sans que ni l'une ni l'autre de ces deux qualités ne soit poussée à l'excès.

JAMES CALDWELL,
Chartered Civil Engineer, London.

Welding by means of the oxy-acetylene blow-pipe has not met with much support in Great Britain for the assembly and the reinforcement of steel bridges, but has been most extensively applied to the purpose of cutting shapes in new work and the removal of defective steel members.

Electric welded construction on the other hand has developed into general practice during recent years and therefore this report deals exclusively with the application of electric arc welding to steel structures.

In reviewing the present position of electric arc welding as applied to the fabrication and erection of structural steelwork it is of interest to recall the early steps in the development of the process and its application.

Historical Progress

The carbon arc process was introduced in 1885, the arc being maintained through the medium of a carbon pencil and metal added by means of a filler rod. In 1890 carbon was replaced by a soft iron wire, thus eliminating the necessity for the filler rod and what is commonly known as "bare-wire welding" was introduced. The process is substantially the same to-day except for improvements in the welding equipment and the analysis of the wire.

In 1907 the first light coated electrode was introduced by covering the wire with a thin coating of paste in order to stabilize the arc. A close study was made at that time of the metallurgical side of the problem, and in 1911 the first heavy coated electrode was produced in Great Britain.

As confidence in the process grew, the welding of steel structures became a practical proposition. British welding engineers, faced with conservatism and unfavourable regulations in their own country, were forced to go further afield to introduce their ideas. The results and progress of their initial pioneering have been particularly marked in Europe¹ and Australia, and their work throughout has been based on the application of the heavy coated electrode. In America welding engineers have progressed on parallel lines and to a more advanced degree in the quantity of welded steelwork erected, but the bulk of their work has been carried out with bare-wire welding. The differentiation is important in view of the marked variation in characteristics of design and methods of fabrication produced by the two processes in their respective spheres.

The British welding engineer, in pinning his faith to the heavy coated electrode, maintains that the production of a metallurgically sound weld under practical conditions should not depend entirely on the skill of the operator,

1. Belgium and Switzerland.

but as far as possible on the natural function of the electrode during fusion. In other words he considers that a suitable covering should be provided on the electrode to form an active slag that will (1) clean the surface of the parent plates from oxide during welding : (2) protect the weld metal whilst molten from atmospheric gases and therefore prevent oxide and nitride defects from forming in the metal ; and (3) melt at a low temperature and thereby not be trapped in the weld metal as slag inclusions. Considering the extensive practical experience of American engineers in the erection of steel structures with bare-wire welding, the marked tendency apparent in the U. S. A. during the last 18 months to employ heavy coated electrodes provides some justification that the claims of European engineers are sound in this connection.

Design

It is certain that success in welding constructions depends very largely on the initiative shown by the designer and his ability to break away from existing practice developed essentially for riveting.

Bare-wire welded structures of the opentruss type, with their general use of the simple lapped joint and rolled steel sections, do not appear to differ very largely in form from riveted structures. On the other hand in Europe there is a more advanced tendency to design welded structures on a monolithic basis with a general use of butt welded joints, even in main members.

A further characteristic of considerable importance and individual to structure welded with heavy coated electrodes, is the general application of light single run fillet welds. This practice, although of comparatively recent introduction, has been successfully developed to an advanced degree both in Switzerland and Australia. The linear strength of a fillet weld is approximately proportional to the square root of the linear volume of weld metal deposited, so that the economic advantages of the light single run fillet weld are paramount. A further asset is that welding contractual stresses are reduced to a minimum, but what may perhaps be regarded as the most important advantage, is the fact that the soundness of a weld can be judged by expert visual inspection, provided that correctly constituted heavy coated electrodes are applied. Thus the problem of control and inspection is solved in a simple, economical and efficient manner.

Building Regulations and Investigations.

One of the most important developments in welded structural steelwork in recent years is the movement on the part of public bodies to draft regulations for its control. Under the usual forms of building regulations, no methods may be used which are not definitely sanctioned with appropriate specifications and provisions for inspection. Therefore, the essential first step is to get welding recognised, naturally with safeguards for its proper execution. Welding committees have been formed in many parts of the world, and their research engineers are submitting welded construction to a more exacting scrutiny in many respects than has ever been made of riveted construction in the past. It may be ventured that more is now known of the behaviour of welded joints

than the behaviour of riveted joints. There have been cases of the failure of riveted joints which have passed the scrutiny of boiler insurance inspector and hydraulic tests, traceable to the faulty manipulation of hydraulic riveters. Hence it is inaccurate to say that riveted joints can always be guaranteed after inspection by established methods.

In framing regulations one of the most important factors to be considered is the subject of "allowable stresses" or "factor of safety." Needless to say most public bodies are inclined to err on the side of safety by specifying low allowable stresses. Whilst this is quite justifiable within reason, it should be borne in mind that the specification of a too high factor of safety is quite sufficient in itself to prohibit or seriously limit the welding of structural steelwork on economic grounds.

The recent report of the Structural Steel Welding Committee of the American Bureau of Welding states that the average ultimate tensile strength they obtained on butt welds (bare-wire) was 22.1 tons sq. in., on which the proposed allowable working stress of 5.8 tons per sq. in gives a factor of 3.81, which they assume to be satisfactory, as it compares with their normal steel-work factor of 3.1/3.

The generally accepted purpose of a "factor of safety" is to keep the load stresses well below the yield point, to allow a margin for indeterminate stresses, and for practical variations in materials and workmanship. Provided suitable specifications are drawn up to control the ability of the operator, electrodes, design and preparation of material, etc., there would appear little reason to anticipate greater variation in the quality and workmanship in welding than riveting. In other words it would not appear unreasonable to assume practically the same factor for welding as for riveting or the steel itself.

In Great Britain, for a 28/30 tons per sq. in. steel we have an allowable working stress in tension of 8.0 tons per sq. in (i. e., a factor of 3.5). It is generally recognised, and has been proved by test, that owing to the unequal distribution of stress induced in tension members by riveted joints, the actual breaking strength is reduced by 20 per cent., so that the effective factor of safety is 2.8 and not 3.5. In compression the allowable working stress is 6.5 tons per sq. in., which when compared with the yield strength of the steel 18.0 tons per sq. in. (the point of failure in compression) shows a factor of safety of 2.77, which is roughly the same as that for tension. The calculations assume that the shearing strength of the rivets bears a definite relation to the tensile strength of the parts joined; often it is assumed that the two are equal. This strength does not come into full play unless all the rivets are equally good fits in their holes. The 20 per cent. reduction is meant to allow for possible departure from this condition; it may sometimes be insufficient. Under these circumstances a factor for welding equal to that for the steel, or at the most 4.0 would appear to be ample.

In published results of recent investigations it would appear that much importance is attached to the determination of the static strengths of welded joints. Such values are of secondary importance except for use in design. Factors that deserve more attention are the resistance of welded joints to

dynamic stresses, corrosion, solidity and ductility in the weld metal, and above all "consistency under practical conditions." The future of welded steelwork must depend to a very large extent on its consistency under practical working conditions; in other words on its reliability.

The main factors controlling economic and consistent welded production include intelligent design, sound organization and welding procedure, thoroughly trained operators and inspectors, and the employment of correct welding equipment and electrodes.

These factors would appear to present much more fruitful fields for investigation and subsequent control than the physical properties, of various types of welds, which are meaningless unless they forecast with a reasonable degree of accuracy the results that one may expect to obtain in practice.

Strengthening of Steel Structures by Welding.

The application of electric welding to the strengthening of steel structures has offered a valuable solution to railway and municipal engineers faced with the problem of coping with increased traffic loads and depreciation due to corrosion. Well over hundred bridges have been strengthened by welding on Australian railways, and quite a considerable amount of important work has been carried out in Great Britain. Similar operations are either in progress or contemplated in India, South Africa and certain of the Crown Colonies.

The main advantages claimed for the application of electric welding to the strengthening of bridges are briefly :

1. — In some cases the only alternative to strengthening by welding is complete renewal.

2. — Cost is invariably much less than when other methods of reinforcement are employed.

3. — Delays to traffic passing over the bridges are avoided or greatly reduced.

4. — In most cases underpinning or staging is unnecessary, and on principle the existing structure is not weakened or disturbed by the replacement of members and rivets in the initial stages as is often the case with alternative methods.

The strengthening of structures by welding may be divided into three broad classes :

1. — The reinforcement of riveting or riveted joints in which the welding and riveting act conjointly in carrying the stresses, as in the strengthening of lattice girder connections or plate girder flange angle and web splice riveting.

2. — The reinforcement of existing members by welding on additional plates or sections.

3. — The strengthening of girders by increasing their depth or by adding new members such as extra ties struts or cross girders, etc.

Combination of riveted and welded construction.

The question is sometimes raised as to how riveting and welding act in conjunction with each other, or in other words : "What is the strength of a riveted and welded joint?"

It is quite possible for a riveted connection to be reinforced by welding, and for the welding to bear the whole of the load and fracture before the riveting comes into play, due to the presence of "slip" in the rivets. In the case of an existing bridge, however, it must be borne in mind that the members are already bearing their dead load before the welding is applied, and furthermore it would appear safe to assume that the initial "slip" in the riveted joints has already been taken up owing to the continual variation in the stresses transmitted and the natural vibration of the structure. It has been found that the strength of a combined welded and riveted joint may be estimated as the ultimate strength of the welding plus the yield point strength of the riveting.

In strengthening lattice girder joints it is necessary to ensure that the additional stresses carried by the welding are transmitted across the joint to the member of either side; that is to say, clear of the sections that are weakened by the existing rivet holes, and this may entail the use of extra gusset plates.

Annexes auxquelles M. Caldwell se réfère et qui ont été déjà publiées :

Anhänge, auf die sich Herr Caldwell bezieht, und die bereits veröffentlicht worden sind :

Annexes to which M. Caldwell refers and which have been previously published :

H. E. Grove, Construction Engineer, Melbourne "Welded Steel Structures in Australia" (Electric Welding, June 1932).

H. B. Hanna, Plant Engineer, Toronto,

"Electric Welded Factory Building in Canada at Peterborough Works, Toronto" (Electric Welding, June 1932).

Rupert Worley, Chartered Civil Engineer, Hamilton and James R. Baird, Civil Engineer, Hamilton,

"Arc Welding Employed on the Hamilton (New Zealand) Stand Pipe Reservoir" (Electric Welding, June 1932).

Wilfred D. Chapman, Railway Construction Engineer, Melbourne,

"Notes on Arc Welding of Bridgework in Australia" (Electric Welding, June 1932).

Traduction.

L'emploi du procédé de soudure au chalumeau oxy-acétylénique n'a pas reçu, en Angleterre, un développement considérable en ce qui concerne l'assemblage et le renforcement des ponts métalliques; par contre, ce procédé a été beaucoup employé pour le découpage dans les travaux neufs et pour l'enlèvement des éléments de charpentes défectueux.

Par ailleurs, au cours de ces dernières années, la construction soudée électriquement s'est beaucoup développée; c'est la raison pour laquelle nous nous

occuperons exclusivement, dans le présent rapport, de l'application de la soudure électrique à la construction métallique.

Historique.

Le procédé de soudure à l'arc de carbone a été introduit en 1885 ; l'arc était alors entretenu au moyen d'un crayon de charbon, l'alimentation en métal étant assurée, au moyen d'une baguette. En 1890, le crayon fut remplacé par un fil en fer doux, ce qui permettait d'éviter l'emploi de la baguette auxiliaire d'apport ; on en arrivait ainsi à ce que l'on désigne couramment sous le nom de « soudure à l'électrode nue ». Le procédé est d'ailleurs, en somme, le même que celui que l'on emploie aujourd'hui, si ce n'est que des perfectionnements ont été apportés au matériel employé et à la composition des baguettes.

En 1907, apparut la première électrode couverte d'un enrobage léger ; cet enrobage consistait en une couche mince d'une pâte destinée à stabiliser l'arc. Une étude serrée de la question, du point de vue métallurgique, fut alors effectuée, pour aboutir, en 1911, à la fabrication en Angleterre des premières électrodes à fort enrobage.

Le nouveau procédé gagnant la confiance des techniciens, la question se posa de l'employer pratiquement à la soudure des constructions métalliques. Les ingénieurs anglais, rencontrant devant eux, dans leur propre pays, la routine et des règlements défavorables, durent chercher ailleurs un débouché leur permettant de mettre leurs idées en pratique. Les progrès ainsi réalisés furent par suite particulièrement marqués en Europe (Belgique et Suisse) et en Australie, les travaux réalisés étant basés uniquement sur l'emploi des électrodes à fort enrobage. En Amérique, les ingénieurs soudeurs purent donner à cette méthode une évolution parallèle, aboutissant même à un emploi encore plus large de la soudure en construction métallique, quoique la majeure partie des travaux fussent exécutés avec électrodes nues. Ce point est d'ailleurs important à mentionner et il explique les différences que l'on a pu constater dans la conception et les méthodes de réalisation respectives.

L'ingénieur soudeur anglais, fermement attaché à l'électrode à fort enrobage, soutient que, dans les conditions pratiques normales, l'obtention d'une soudure métallurgiquement saine ne doit pas dépendre exclusivement de l'habileté du soudeur, mais bien dans toute la mesure du possible, de la manière dont se comporte l'électrode au cours de sa fusion. En d'autres termes, il considère qu'il faut munir l'électrode d'un revêtement judicieusement composé, susceptible de constituer un laitier actif jouant le rôle suivant : 1^o nettoyage de la surface du métal de base par élimination de l'oxyde au cours de la soudure ; 2^o protection du métal de la soudure, en fusion, contre les gaz de l'atmosphère, afin d'éviter la formation des défauts que peut provoquer la constitution d'oxydes et de nitrures ; 3^o fusion de cet enrobage lui-même à basse température, afin d'éviter sa présence ultérieure dans le cordon de soudure sous forme d'inclusions de laitier. Si l'on considère quelle grande expérience pratique les Américains ont acquise en matière de construction métallique, en utilisant les électrodes nues, la tendance qu'ils manifestent d'une manière très marquée depuis 18 mois, à employer les électrodes à fort enrobage n'est pas sans justifier les points de vue soutenus à ce sujet par les ingénieurs européens.

Conception.

Il est évident qu'en construction métallique soudée, le succès dépend pour une grande part des initiatives de l'ingénieur qui étudie la construction et de l'adresse avec laquelle il sait se détacher de la pratique couramment adoptée pour le rivetage.

Les constructions soudées avec électrodes nues, appartenant au type ouvert, et dans lesquelles on emploie généralement les assemblages à couvre-joint simple, avec profilés, ne semblent pas différer sensiblement, du point de vue de la forme, des constructions rivées. Par contre, en Europe, on tend plutôt à concevoir les constructions soudées sous la forme monolithique, en employant généralement les joints en bout, même dans les éléments principaux des ouvrages.

Une autre caractéristique d'importance considérable, particulière d'ailleurs à la construction soudée réalisée avec électrodes à fort enrobage, est l'adoption générale de cordons de soudure d'angle en simple couche. Cette disposition, quoique récente, a été l'objet d'un développement très important à la fois en Suisse et en Australie. La résistance linéaire d'un cordon de soudure d'angle est approximativement proportionnelle à la racine carrée du volume de métal déposé par unité de longueur, de sorte que les avantages économiques que présente le cordon de soudure d'angle léger à une seule couche peuvent prendre toute leur importance. Un autre avantage de cette disposition est de conduire à un minimum de tensions internes de retrait; toutefois, l'avantage le plus important est probablement la possibilité de juger de la qualité d'une soudure par simple examen visuel, sous cette réserve que les soudures ont été effectuées avec des électrodes à fort enrobage de fabrication convenable. Dans ces conditions, le problème du contrôle et de l'inspection se trouve résolu d'une manière simple et économique, tout en restant effective.

Études et réglementations.

L'un des faits les plus caractéristiques de ces dernières années, en matière de construction métallique soudée, est la tendance, de la part des autorités officielles, à édicter des réglementations spéciales. Suivant la forme habituellement adoptée pour les réglementations concernant la construction, aucune méthode de construction ne peut être employée si elle n'est définitivement admise, suivant des spécifications appropriées, prévoyant les possibilités du contrôle; le point essentiel est donc de faire admettre la soudure, sous réserve de toutes conditions garantissant une bonne exécution. Des Comités de Soudure ont été constitués dans de nombreux pays et les ingénieurs qui sont chargés des recherches correspondantes étudient la construction soudée dans des conditions beaucoup plus strictes et rigoureuses, à de nombreux égards, qu'il n'a jamais été fait pour la construction rivée. Il faut évidemment reconnaître que l'on possède beaucoup plus de données au sujet du comportement des assemblages soudés qu'en ce qui concerne les joints rivés. Il s'est trouvé des cas de rupture de joints rivés qui ont échappé aux inspecteurs d'assurance des chaudières et aux essais sous pression, ruptures que l'on a dû attribuer à une utilisation défectueuse des riveuses hydrauliques. Il ne serait donc pas exact

de dire que les assemblages rivés sont garantis par une inspection suivant les méthodes établies.

Dans l'établissement des réglementations, l'un des points les plus importants est celui des « efforts admissibles », ou du « coefficient de sécurité ». Il est superflu d'ajouter que la plupart des services officiels sont enclins à s'orienter du côté de la sécurité systématique, en adoptant des spécifications d'efforts admissibles faibles. Ceci se justifie pleinement du point de vue de la raison ; néanmoins, il ne faut pas perdre de vue que l'adoption d'un coefficient de sécurité est tout à fait suffisante, par elle-même, pour rendre prohibitif, ou tout au moins pour entraver sérieusement le développement de la construction métallique soudée, par suite de considérations économiques.

Le Rapport qui vient d'être publié par le Structural Steel Welding Committee of the American Bureau of Welding (Comité de Construction Soudée) précise que la charge de rupture moyenne obtenue au cours des essais avec électrodes nues en soudure bout à bout a été de 35 kg/mm^2 , valeur par rapport à laquelle l'effort admissible proposé de $9,15 \text{ kg/mm}^2$ représente un coefficient de sécurité de 3,81 ; ce facteur est considéré comme satisfaisant, étant donné que le coefficient normalement adopté pour la construction métallique est de $3\frac{1}{3}$.

L'objectif que l'on recherche généralement en adoptant un coefficient de sécurité est de maintenir la contrainte qui résulte des efforts bien au-dessous de la limite d'écoulement et de permettre une certaine marge pour les efforts qui ne sont pas déterminés, ainsi que pour les variations qui peuvent résulter des matériaux ou de la main-d'œuvre. Si l'on prévoit des spécifications convenables pour le contrôle de l'habileté professionnelle de l'opérateur, pour les électrodes, la conception des ouvrages, l'élaboration des matériaux, etc..., il ne semble pas opportun de prévoir, en construction soudée, dans la qualité et la main-d'œuvre, des écarts de valeur plus importants que ceux que l'on prévoit dans la construction rivée. En d'autres termes, il ne paraît pas déraisonnable d'adopter pratiquement le même coefficient de sécurité pour la construction soudée, que pour la construction rivée, ou pour le métal pris en lui-même.

En Angleterre, pour un acier de 44 à 47 kg/mm^2 , nous admettons un effort de traction normal de $12,5 \text{ kg/mm}^2$, ce qui correspond à un coefficient de sécurité de 3,5. Il est généralement admis, et des essais l'ont confirmé, que par suite de la non-uniformité de répartition des efforts dans les éléments travaillant à la traction, dans les assemblages rivés, la charge de rupture effective se trouve réduite de 20 %, de telle sorte que le coefficient de sécurité effectif se trouve être 2,8 et non plus 3,5. En compression, l'effort admissible normal est de $10,2 \text{ kg/mm}^2$; la limite correspondante d'écoulement de l'acier étant de $28,4 \text{ kg/mm}^2$ (limite pratique de résistance à la compression) il en résulte un coefficient de sécurité de 2,77, valeur voisine de celle qui correspond à la traction. Les calculs semblent montrer que la résistance des rivets au cisaillement est en relations définies avec la charge de rupture des pièces de l'assemblage ; on admet souvent que les deux valeurs sont équivalentes. Cette résistance n'intervient pas entièrement, à moins que tous les rivets ne portent également bien dans leurs trous. La réduction de 20 % est précisément destinée à tenir compte des écarts pratiques par rapport à cette condition théorique ; elle peut être insuffisante. Dans ces conditions, il semble que l'adoption, pour

la soudure d'un coefficient de sécurité équivalent à celui qui est adopté pour l'acier, ou tout au plus de 4, serait largement suffisant.

Des résultats qui ont été publiés au sujet de recherches récentes, il apparaît que l'on attache une grande importance à la détermination de la résistance statique des assemblages soudés. Sauf en ce qui concerne le calcul, ces valeurs n'ont toutefois qu'une importance secondaire. L'attention doit être bien plus largement attirée sur la résistance des assemblages soudés aux efforts dynamiques, à la corrosion, sur la ténacité et la ductilité du métal d'apport et, tout particulièrement, sur le « comportement dans les conditions pratiques de service ». L'avenir de la construction soudée doit dépendre dans une large mesure du comportement effectif en service, c'est-à-dire sur la sécurité effective en service.

Les principaux facteurs qui interviennent dans l'obtention d'assemblages soudés économiques et convenables sont : une conception judicieuse, une organisation bien conçue, de bonnes méthodes de travail, des soudeurs et des inspecteurs possédant à fond leur métier, et l'emploi d'un matériel et d'électrodes convenables.

Ces facteurs ouvrent aux recherches et au contrôle ultérieur un champ beaucoup plus important que les caractéristiques physiques utiles des différents types d'assemblages, qui sont sans signification tant qu'elles ne sont pas susceptibles de pré déterminer, avec une exactitude suffisante, les résultats que l'on est en droit d'attendre en pratique.

Renforcement des Constructions Métalliques par soudure.

L'application de la soudure électrique au renforcement des constructions métalliques a constitué une solution très intéressante pour les ingénieurs des chemins de fer et des services publics, dans l'obligation où ils se sont trouvés de faire face à un trafic croissant et à une dépréciation des ouvrages sous l'influence de la corrosion. Plus de cent ponts ont déjà été renforcés par soudure, sur les chemins de fer australiens et des travaux déjà très importants ont été effectués en Angleterre. Des travaux du même ordre sont actuellement en cours, dans l'Inde, en Afrique du Sud et dans certaines Colonies de la Couronne.

Les principaux avantages que l'on reconnaît à l'emploi de la soudure électrique pour le renforcement des ponts sont, en gros, les suivants :

1. — Dans certains cas, la seule solution à laquelle on serait obligé de se rallier, faute de pouvoir appliquer la soudure, serait le remplacement pur et simple ;

2. — Prix régulièrement bien inférieur à celui des autres méthodes de renforcement ;

3. — Suppression, ou tout au moins notable réduction des interruptions dans le trafic ;

4. — Dans la majorité des cas, l'étayage est inutile et, en principe, au début des travaux, la résistance de l'ouvrage n'est ni diminuée ni compromise par le remplacement des divers éléments, comme c'est le cas avec les autres méthodes.

Le renforcement des ouvrages par soudure peut être divisé en trois classes principales :

1. — Renforcement des rivures ou des assemblages rivés conçus de telle sorte que les rivets et les cordons de soudure collaborent conjointement à supporter les charges, par exemple dans le cas du renforcement des poutres en treillis ou des cornières d'aile des poutres en tôle et des éclisses d'âme ;

2. — Renforcement d'éléments déjà existants par soudure de plaques ou de profilés additionnels ;

3. — Renforcement de poutres par augmentation de hauteur d'âme, ou par addition de nouveaux éléments, tels que : entrails supplémentaires, éléments de poutres transversales, etc.....

Construction mixte rivée et soudée.

On s'est fréquemment demandé dans quelles conditions s'effectue la collaboration entre la rivure et la soudure, ou, en d'autres termes, « quelle résistance peut-on obtenir, par rivure et soudure combinées ? ».

Un assemblage rivé peut parfaitement être renforcé par soudure, dans des conditions telles que la soudure supporte la totalité de la charge et même la rupture avant que la rivure elle-même n'intervienne, par suite de la présence de jeu dans le rivetage. Toutefois, dans le cas d'un pont déjà existant, il ne faut pas perdre de vue que les différents éléments supportent déjà leur propre poids avant l'application de la soudure ; il paraît donc légitime d'admettre que dans ce cas le jeu antérieur dans les joints rivés a déjà été compensé sous l'influence des variations incessantes des efforts transmis et des vibrations propres de l'ouvrage. On a constaté que la résistance d'un assemblage mixte par rivure et soudure pouvait être considérée comme égale à la somme de la charge de rupture de la soudure et de la limite d'écoulement correspondant au rivetage.

Dans le renforcement des assemblages sur poutres en treillis, il est nécessaire de s'assurer que les efforts supplémentaires supportés par la soudure sont effectivement transmis, par l'intermédiaire de l'assemblage, d'un élément à l'autre de cet assemblage ; c'est-à-dire sans faire intervenir les sections qui sont affaiblies par les trous de rivets ; cette condition peut conduire à adopter des goussets supplémentaires.

Bibliographie.

Voir page 249 : 4^{me} alinéa.

F. CAMPUS
Professeur à l'Université de Liège.

A. SPOLIANSKY,
Ingénieur à Enghien.
Ex-assistant à l'Université de Liège.

Le pont de Lanaye est un pont-route de 88 m. de longueur. La travée centrale a 68 m. de portée libre ; les travées d'approche ont 10 m. d'ouverture. Les poutres de la travée centrale sont des poutres paraboliques Vierendeel ayant

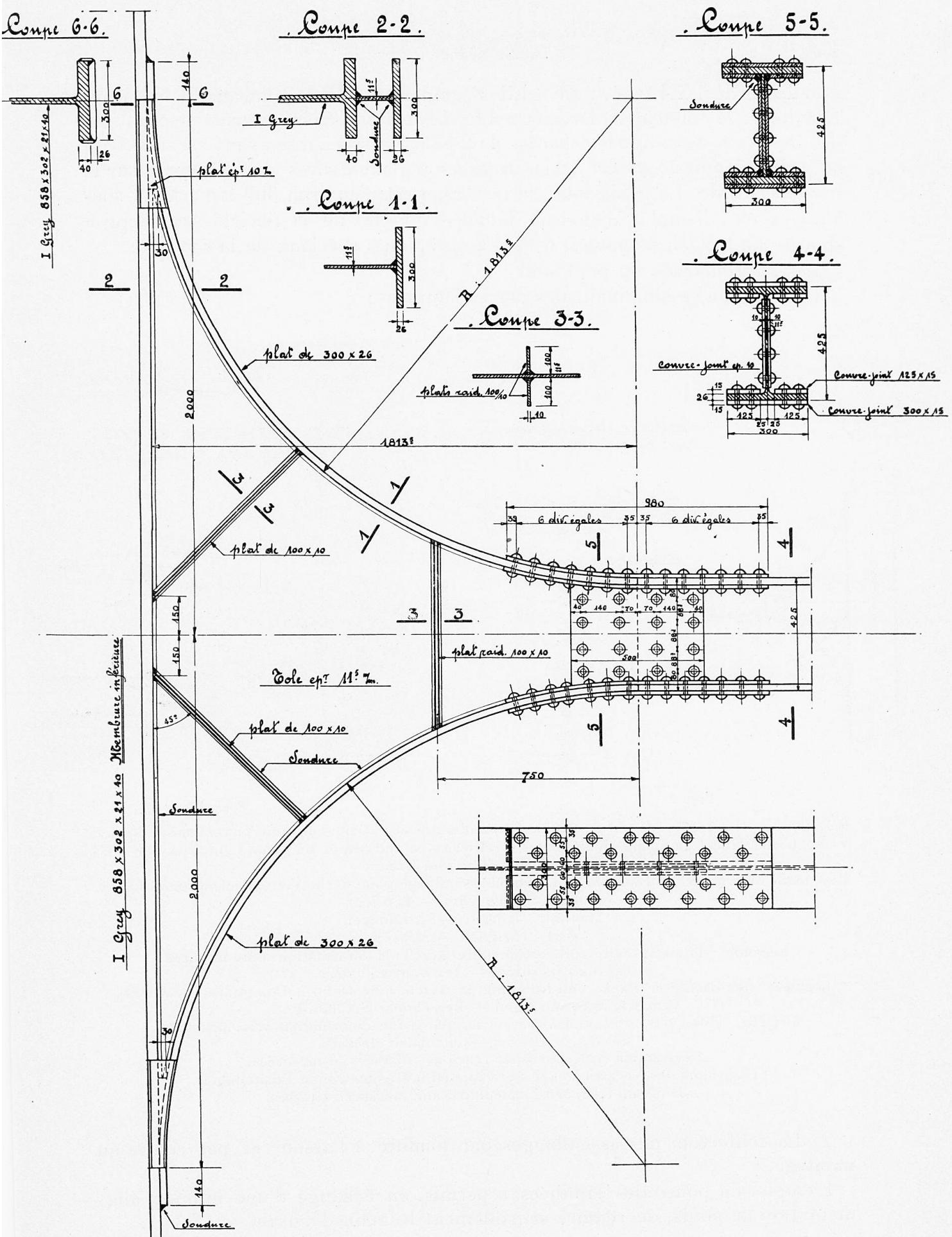


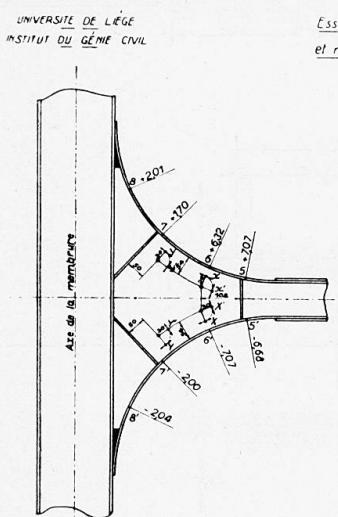
Fig. 1

Coupe = Schnitt = Section. — Plat = Flacheisen = Flat iron. — Couvre-joint = Stosslasche
 = Butt straps. — Soudure = Schweißung = Welding. — Membrure inférieure = Untere Gur-
 tung = Lower flange. — Tôle = Blech = Plate.

une flèche de 1/7.40 soit 9.200. Elles comportent douze panneaux de 5.666 m. Le tablier, de 9.500 m. de largeur, est formé de dalles en béton armé reposant sur des traverses métalliques espacées de 2.833. La surcharge ayant servi de base au calcul comporte quatre trains routiers réglementaires de 32 tonnes sur la travée centrale. La poids total de l'ouvrage est d'environ 300 tonnes. La soudure exigera l'emploi d'environ 30.000 baguettes de la Société Arcos, qui a apporté un concours apprécié à l'étude des points spéciaux de la soudure.

Les particularités du pont sont :

- 1) L'emploi prédominant des barres laminées ;



Essai effectué sur un modèle de nœud soudé et rivé pour le pont Vierendeel de Lanay

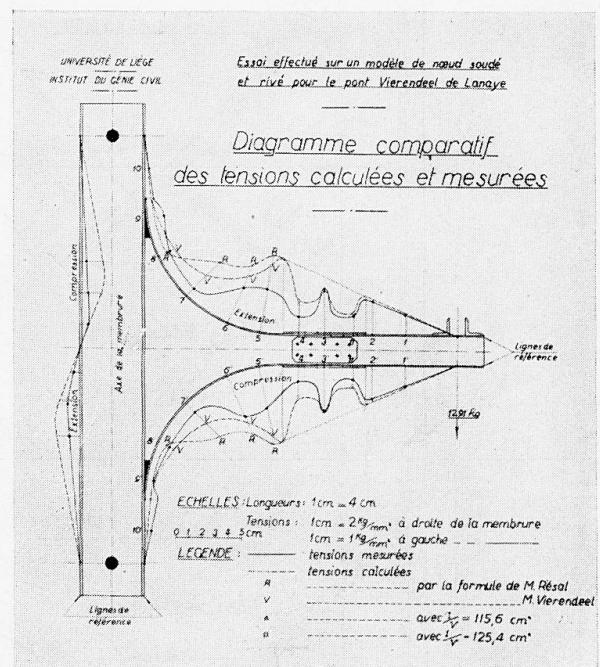


Fig. 2.

Fig. 3.

Fig. 2 et 3. — Essai effectué sur un modèle de nœud soudé et rivé pour le pont Vierendeel de Lanay. Versuch ausgeführt an einem Modell eines geschweißten und genieteten Knotenpunktes der Vierendeel Brücke von Lanay.

Test made on a model of a welded and riveted assemblage point of the Vierendeel bridge at Lanay.

Échelle : Longueurs — Tensions

Masstab : Längen — Spannungen

Scale : Lengths — Stresses.

Légende : Point ausculté et direction dans laquelle la déformation a été mesurée.

Tensions mesurées — Tensions calculées.

Legende : Beobachteter Punkt und Richtung, in welcher die Deformation gemessen wurde.

Gemessene Spannungen — Berechnete Spannungen.

Legend : Observed point, and direction in which the deformation was measured.

Measured stresses — Calculated stresses.

Diagramme comparatif des tensions calculées et mesurées.

Diagramm des Vergleichs der berechneten und gemessenen Spannungen.

Diagram comparing calculated and measured stresses.

- 2) La confection des assemblages par soudure à l'atelier et par rivure au montage.

L'emploi de poutrelles laminées a permis, en échange d'une minime augmentation de poids, de réduire sensiblement la main-d'œuvre.

La rivure au montage évite les sujétions et les aléas que présente encore actuellement la soudure au montage pour un ouvrage de cette importance. La membrure inférieure, les montants et les entretoises sont en poutrelles Grey

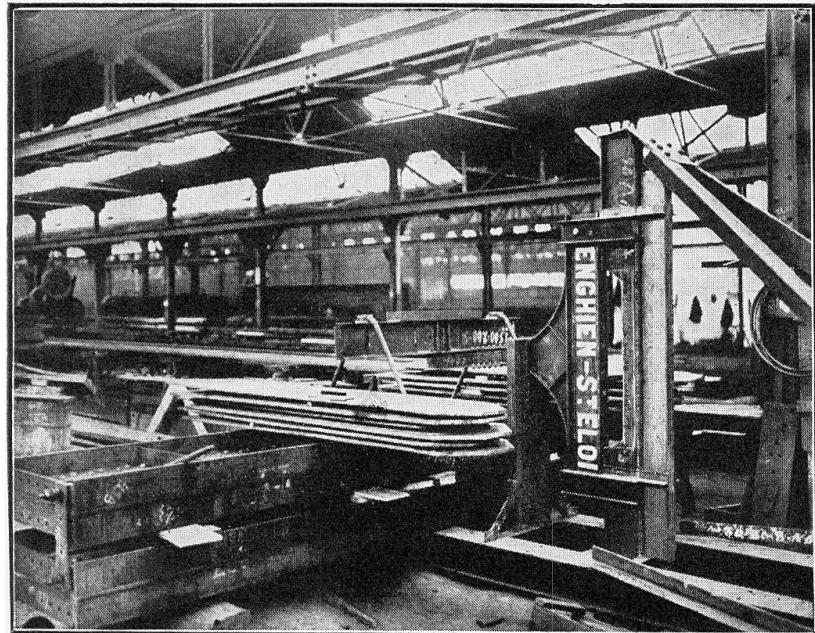


Fig. 4.

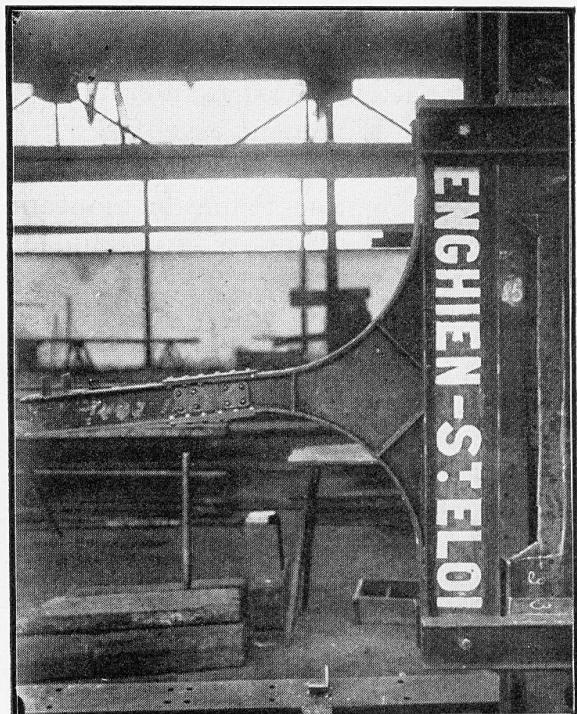


Fig. 5.

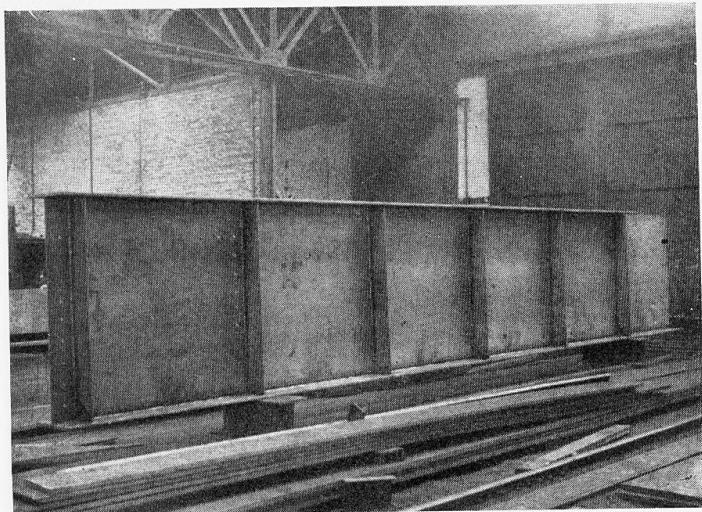


Fig. 6.

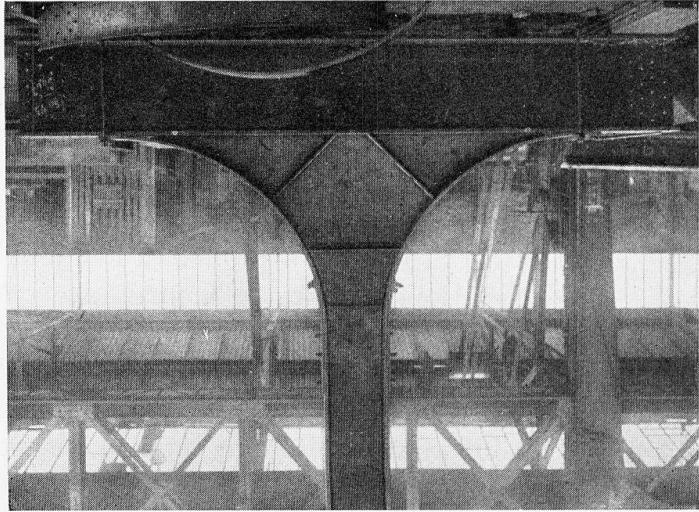


Fig. 7.

à larges ailes. Des plats sont soudés aux abouts des entretoises pour permettre le rivetage sur les membrures. La membrure supérieure est composée d'une âme de 850×12 et des semelles de 500×37 entièrement assemblées par soudure. Un nombre suffisant de raidisseurs écarte tout danger de voilement.

Les membrures seront expédiées à pied d'œuvre par tronçons, avec goussets centraux. Les montants seront rivés aux membrures sur place, de même que les joints de membrure, également rivés au montage. Ces derniers joints sont au milieu du panneau, où la flexion est faible. Les joints rivés ont été étudiés pour perdre le moins possible le bénéfice des sections nettes des barres obtenues par la soudure. En général, tous ces assemblages ont fait l'objet d'une attention particulière.

L'élément essentiel d'assemblage est le nœud de jonction d'un montant et d'une membrure (fig. 1). Le gousset est constitué d'une tôle de même épaisseur que l'âme du montant assemblée par soudure à la membrure continue. Les ailes du nœud, soudées au gousset, ont mêmes dimensions que les ailes des

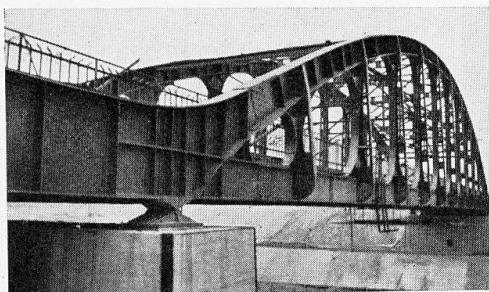


Fig. 8.

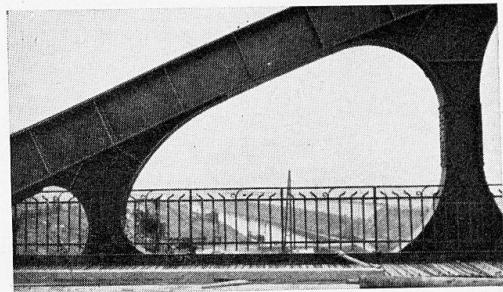


Fig. 9.

montants et se raccordent tangentiellellement à ces dernières ainsi qu'aux ailes des membrures.

On réalise de la sorte :

- 1) Une continuité complète entre les éléments à assembler.
- 2) Un raccordement graduel et continu, évitant toute surtension dans l'élément capital de l'ouvrage.
- 3) De très faibles fatigues dans les assemblages uniquement soudés au nœud.

Ce nœud, de conception nouvelle et différent de dispositions beaucoup plus compliquées utilisées dans d'autres pays, a été soumis à des essais d'élasticité et de rupture. Un modèle à l'échelle réduite de 1/4.25 a été confectionné à cet effet. Les auteurs de la présente communication ont procédé à cet essai, aux ateliers de la Société Métallurgique d'Enghien Saint-Eloi. La charge appliquée pour les essais d'élasticité était de 1291 kg. et dépassait de 53 %, à l'échelle des forces, l'effort tranchant maximum prévu pour les montants, égal à 11000 kgs. Il a été effectué 133 mises en charge et 504 lectures au moyen d'extensomètres Huggenberger. Au total, 72 points ont été auscultés, les lectures étant répétées 6 à 7 fois. Les fig. 2 et 3 reproduisent les résultats des essais. Les diagrammes montrent que les tensions mesurées sont partout modérées et inférieures aux tensions calculées par la formule de Navier pour les parties prismatiques des barres et par les formules de Résal ou Vierendeel pour les ailes courbes, sauf vers le raccord tangentiel des ailes avec les membrures, où elles ne sont plus soutenues par le gousset, découpé carrément. Dans le nœud réel (fig. 1), ce fait ne se produira pas, car des tôles en biseau sont soudées

sur les tranches extérieures à l'endroit en question. Les résultats de cet essai concordent avec ceux qui ont été effectués par les auteurs de cette communication sur des modèles de nœuds en tôle et sur des nœuds entièrement rivés mais de forme analogue¹.

Il a été procédé ensuite à un essai de rupture sur le modèle, après quelques mises en charge dynamiques sans effet. La pièce s'est rompue sous la charge de 5200 kgs par rupture de l'aile tendue dans la section affaiblie par la rangée de rivets la plus voisine du nœud. La soudure s'est rompue dans la même section; nulle part ailleurs elle n'a montré de défaillance.

A l'échelle du modèle, le coefficient de sécurité est d'environ 6.36. Il importe d'ajouter que si le modèle était en général correctement à l'échelle, on n'avait pu éviter un écart en ce qui concerne la rivure d'aile qui était trop faible et créait néanmoins un déforcement excessif de l'aile. En d'autres termes, le nœud réel présentait une sécurité encore plus grande.

Les fig. 4 et 5 montrent le modèle supportant sa charge de rupture et une vue de modèle rompu.

Le pont est actuellement en exécution à l'usine et nous sommes heureux de pouvoir présenter quelques photographies des pièces déjà soudées (fig. 6 et 7). La conception de l'ouvrage a été inspirée par les règles de la plus stricte prudence. Des types d'assemblages nouveaux ont été conçus, mais n'ont été adoptés qu'après des essais rigoureux et concluants. L'aspect du pont est heureux et donne l'impression d'une grande légèreté et d'une réelle élégance (fig. 8 et 9)².

Après l'achèvement, l'ouvrage sera soumis à des essais, qui seront comparés aux calculs.

Au point de vue économique, il faudra attendre la fin de l'entreprise pour en tirer des conclusions certaines.

H. DUSTIN,

Professeur à l'Université de Bruxelles,
Directeur du Laboratoire des Matériaux, Faculté technique, Bruxelles.

Au moment où l'A. B. S. vient de mettre sur le métier la rédaction de ses prescriptions relatives aux constructions soudées, il était indiqué de faire l'étude des règlements étrangers visant le même objet.

Le but de la présente note est de résumer les observations auxquelles ont donné lieu, de notre part, les dernières prescriptions allemandes. Avril/mai 1931.

Le texte réglementaire a été l'objet d'un commentaire circonstancié et illustré de nombreux exemples par le Dr O. Kommerell, l'un des auteurs principaux du règlement. Ce commentaire est nécessaire pour la compréhension et

1. Cfr. Études et expériences sur des nœuds de charpente, par F. Campus. (Communication faite à l'Association belge pour l'essai des matériaux le 11 mai 1925.)

2. Les figures 8 et 9, représentant le pont achevé, sont d'avril 1933.

l'interprétation correcte des articles principaux ; texte officiel et commentaire formant un tout indivisible.

Pour abréger, nous examinerons en groupe l'ensemble des prescriptions relatives à :

- 1^o la qualification du métal et du procédé de soudure ;
- 2^o la qualification du soudeur ;
- 3^o les taux de travail admissibles dans les divers types de soudure ;
- 4^o les prescriptions et recommandations diverses.

1. — Qualification du métal et du procédé de soudure.

La résistance à exiger du métal déposé est déterminée par trois essais :

1. Un essai identique à l'essai de qualification du soudeur. Cet essai, que nous analyserons plus tard, conduit à exiger du métal déposé une résistance vraie en traction de 3100 kg. par cm².

2. Un essai de traction sur un assemblage bout à bout, brut d'usinage dans une tôle de 10 mm., la section de rupture conventionnelle étant celle de la tôle. Le croquis indiquant pour la soudure une surépaisseur possible de 2,5 mm., la section de rupture réelle admise est donc de 1,25 cm² par cm² de joint.

Dans cet essai, on exige seulement une résistance de 3000 kg. par cm² de section conventionnelle, ce qui fait $3000 \times \frac{1.00}{1.25} = 2400$ kg. par cm² de section de rupture réelle.

Des chiffres aussi bas ne peuvent être obtenus que par l'emploi d'un métal de qualité excessivement médiocre, ce qui constitue, à notre avis, un réel danger pour la sécurité des constructions.

3. Un essai sur cordons latéraux, essai dans lequel on exige une résistance de 2400 kg. par cm² de section de rupture réelle.

Les cordons essayés ayant 6 mm. de hauteur de la section de rupture, soit $8\frac{1}{2}$ à 9 mm., de hauteur h (voir plus haut), ce Z" correspond à un Z" propre du métal d'apport d'au moins 2600 kg. Un tel Z" ne peut être obtenu dans ces conditions que par un métal dont le Z en traction soit d'environ $\frac{2600}{70\%} = 3800$ kg / cm².

Il y a donc contradiction entre les exigences des trois essais destinés à fixer la résistance du métal de soudure.

Nous considérons, quant à nous, que le chiffre de soudure de l'essai sur cordons latéraux représente un minimum qu'on peut exiger franchement d'une soudure d'exécution moyenne, faite en partant d'un fil de qualité également moyenne.

L'aptitude du métal à la déformation se détermine par un essai de pliage sur soudure bout à bout : l'éprouvette en acier extra doux (St. 34), épaisse de 10 mm. seulement, est pliée à 60° seulement sur des rouleaux de 100 mm. de diamètre, écartés de 50 mm. et la soudure reste brute d'usinage.

La réunion de ces conditions fait que le faible angle de pliage exigé peut être obtenu sans déformation appréciable de la soudure elle-même.

Les soudures les moins ductiles sont acceptées par un tel essai.

Les commentaires de l'article 9 montrent pour le surplus que les auteurs considèrent le métal déposé comme normalement dépourvu de toute ductilité.

En ce qui concerne le procédé à employer, le § 3 du règlement ne fait pas de distinction entre le courant continu et le courant alternatif, mais le commentaire qui en est inséparable déclare : la soudure par courant continu sera provisoirement la règle.

Le travail en courant alternatif est pratiquement exclu, malgré ses avantages pratiques et économiques évidents, malgré son développement rapide et son avenir certain, malgré les résultats obtenus dans les pays où son emploi est devenu normal.

Dès l'instant où on impose au métal déposé un ensemble de qualités déterminées, il est arbitraire de vouloir intervenir dans la façon de réaliser ces qualités.

Tandis que, d'une façon générale, le règlement admet pour les soudures un métal de basse qualité et non ductile, le commentaire, en différentes pages, nous recommande un métal « pas trop fragile », « d'une certaine ductilité » et quand il s'agira de travaux tels que le renforcement de ponts, le règlement prescrira l'emploi d'électrodes de qualité : « hochwertige Schweissdrähte ».

II. — Qualifications du soudeur.

Comme pièce d'épreuve il doit exécuter, art. 7 du règlement, une éprouvette en croix, comportant quatre soudures frontales sans recouvrement. L'éprouvette étant rompue par traction, la soudure doit résister à au moins 2500 kg/cm^2 de la section de rupture réelle.

En métal peu ductile, tel que celui défini par les essais qui précèdent, cela fait, suivant notre expérience pour le métal déposé, une résistance propre en traction de 3100 kg/cm^2 environ.

Avec quel métal d'apport cette résistance doit-elle être obtenue ?

Avec le métal défini par l'essai de traction (donnant 2400 kg/cm^2) ? L'épreuve est simplement impossible.

Avec le métal défini par l'essai sur éprouvette en croix donnant 3100 kg/cm^2 ? Dans ce cas, tous les soudeurs du chantier devraient pouvoir, à un moment quelconque, réussir l'épreuve qui a servi à l'agrément du métal et du système de soudure, épreuve pour laquelle on a évidemment choisi le meilleur des spécialistes. Cela paraît excessif.

Avec le métal obtenu par l'essai sur cordons latéraux donnant en traction 3800 kg/cm^2 environ, le soudeur à l'épreuve, qui est naturellement supposé travailler aussi bien que possible, dispose, pour réussir, d'une marge de résistance d'environ 20 %. L'épreuve n'est plus suffisante pour éliminer l'ouvrier médiocre.

Ces incertitudes ont, pour origine, le manque d'unité des essais imposés pour l'agrément du métal et du procédé.

Ajoutons que, pour la qualification et la surveillance de la main-d'œuvre, une épreuve qui exige l'emploi d'une machine d'essai — donc d'un laboratoire

— est peu commode et de nature à raréfier un contrôle qu'il faudrait, au contraire, encourager en le facilitant.

Il en est tout autrement des épreuves de qualification du métal et du procédé, épreuves qui, normalement, sont faites, une fois pour toutes, à l'origine d'un travail important.

Ayant des buts et des objets complètement différents, les deux épreuves doivent, à notre sens, être basées sur des essais différents.

III. — Taux de travail admissibles.

Le règlement, art. 5, spécifie que ces prescriptions s'appliquent seulement aux constructions en acier St. 37. Ensuite, il fixe le taux de travail des soudures, dans leur section dangereuse, en fonction du taux de travail admis pour le métal des pièces à réunir.

Le commentaire et le rapport du Dr Kommerell au Congrès indiquent que ce principe a été adopté en vue de donner, à toutes les parties de la construction, le même coefficient de sécurité.

L'examen des exemples chiffrés montre qu'il s'agit de sécurité à la rupture.

Remarquons tout d'abord qu'en partant de ce principe, il était aussi simple d'édicter des prescriptions générales s'appliquant indifféremment à tous les métaux bien soudables ; il suffisait d'imposer au métal de soudure des résistances en rapport avec celles du métal de construction.

Le règlement allemand fixe la proportion des taux de travail admissibles dans un tableau.

TENSIONS ADMISSIBLES DANS LES SOUDURES :

Nature du joint.	Nature de la sollicitation.	Remarque.
Bout à bout.	Extension!..... 0.60 σ Compression 0.75 σ Flexion { partie tendue 0.60 σ " comprimée... 0.75 σ	σ est la tension admissible dans le métal des pièces soudées conformément aux règlements en vigueur.
En cordons (frontaux ou latéraux).	Cisaillement 0.50 σ Toutes sollicitations 0.50 σ	

Ce tableau appelle des questions et des objections.

1. Comment faut-il définir et interpréter la tension admissible de base σ ?

Pour cela, il faut nous reporter aux exemples chiffrés du règlement commenté ou au tableau explicatif donné par le Dr Kommerell dans son rapport au Congrès.

Nous voyons bien ainsi qu'il s'agit effectivement des charges de sécurité admises par les règlements administratifs pour les diverses pièces de la construction.

En d'autres termes, le taux de travail admis pour une soudure est fixé, sans tenir compte de l'état de sollicitation réel de ladite soudure. Conventionnellement et arbitrairement, cet état de sollicitation est supposé identique à celui qui existe dans le corps des pièces soudées.

Cette conception paraît issue du désir de réaliser des constructions dont toutes les parties aient le même coefficient de sécurité ; ce résultat n'est pas atteint dans la réalité, comme nous le verrons.

La méthode de calcul qui en résulte conduit forcément, dans la pratique, à certains résultats choquants.

2. Pourquoi, dans ces conditions, adopter des coefficients de réduction variant entre 0.75 et 0.50 ?

Il semblerait aussi logique et plus simple de choisir un coefficient unique ; par exemple, 0.70 comme le propose le projet de règlement des Chemins de fer suisses, lequel suit les principes du règlement allemand.

3. Les cordons d'angle (Kehlnähte) représentent à eux seuls la grosse majorité des soudures intervenant dans la charpente.

Aucune discrimination n'est faite quant à la position du cordon relativement à l'effort qui le sollicite. Ceci, par raison de simplification, dit le commentaire, pour tenir compte de la moindre aptitude de la déformation des cordons frontaux, dit le rapport au Congrès.

Nous savons cependant dans quelle large mesure varie la résistance spécifique d'un cordon suivant sa position. En effet, soit Z_c la charge de rupture du métal d'apport dans un essai normal de traction, a la hauteur de la section de rupture et l la longueur du cordon.

Nous savons, avec certitude, par des essais extrêmement nombreux, que par exemple :

Pour une soudure frontale avec recouvrement (Stirnnähte), on a $Z_c = \pm 95\%$ de $a.l$.

Tandis que pour une soudure latérale un peu forte (Flankennähte) où $\alpha \geq 15$ mm., on a seulement $Z_c = \pm 50\%$ de $a.l$.

En d'autres termes, un même cordon de dimension $a.l$. voit sa résistance varier, à peu près, du simple au double, suivant sa position.

Nous voyons dans le règlement que les soudures en cordon sont celles pour lesquelles le coefficient de charge est le plus faible : 0.50. Nous voyons dans les exemples et le rapport au Congrès, que cette charge peut varier de 500 à 800 kg/cm² de la section de rupture vraie du cordon.

Une telle façon de calculer serait plus ou moins compréhensible s'il était entendu que les prescriptions doivent s'interpréter dans ce sens, que les tensions admissibles les plus fortes sont applicables à des cordons travaillant essentiellement en traction (cordons frontaux) et les sollicitations les plus faibles à ces cordons travaillant essentiellement au cisaillement (cordons latéraux).

Mais telle n'est nullement la pensée des auteurs : les exemples de calcul donnés par le Dr Kommerell montrent clairement que les charges admissibles dans les cordons sont choisies sans se préoccuper aucunement de la nature de la sollicitation des dits cordons. Nous verrons ainsi admettre des charges unitaires de 700 kg/cm² pour des cordons cisaillés et 500 kg/cm² pour des cordons tendus.

Ceci, évidemment, est peu logique.

Ce mode de calcul spécial entraîne comme conséquence immédiate ceci : un cordon placé dans des conditions de sollicitations très défavorables peut se

trouver assimilé, au point de vue des tensions admissibles, à une pièce de la charpente où les règlements admettent un taux de travail particulièrement élevé. Pour éviter la possibilité de tensions dangereuses, il est indispensable de fixer à un chiffre très bas le rapport des taux de travail dans les pièces et dans les soudures.

Les possibilités de résistance de la soudure sont donc nécessairement mal utilisées pour un grand nombre de cordons ; il en résulte fréquemment des assemblages inutilement coûteux et peu élégants.

Certains des exemples chiffrés donnés par le Dr Kommerell sont typiques à ce point de vue.

Prenons l'exemple le plus simple, n° 5, assemblage d'un plat sur un gousset, par deux cordons frontaux et deux cordons latéraux ; ces derniers sont strictement inutiles, les deux premiers ayant, suivant notre expérience, même avec un métal d'apport de qualité très modérée, une résistance de rupture supérieure à celle du plat en St. 37.

L'exemple immédiatement suivant, n° 6, assemblage bout à bout dans l'âme d'une poutre double T mérite d'être analysé. L'auteur nous propose deux variantes :

1^o L'âme de 12×1750 mm. a ses deux moitiés réunies par deux couvre-joints de 11 mm. avec soudures continues et en plus 68 « Schlitznähte » (Soudures sur entailles) rondes de 33 mm. Celles-ci, d'exécution incommode et rendant l'assemblage excessivement onéreux, sont parfaitement superflues : les cordons travaillant comme des soudures frontales à recouvrement, ont à eux seuls une résistance à la rupture supérieure à celle de l'âme.

2^o Les deux moitiés de l'âme de 12×1750 mm. sont réunies à une fourrure transversale de 24 mm. d'épaisseur, par quatre cordons continus de 18 mm. Suivant notre expérience, ces cordons frontaux sans recouvrement ont une résistance à rupture supérieure de plus de 50 % à celle de l'âme elle-même ; leur section dépasse celle qui est autorisée par l'article 6-8 du règlement limitant l'épaisseur des cordons, en fonction de l'épaisseur de la tôle.

Par contre, l'assemblage par double couvre-joints, sans soudure bout à bout d'une âme de poutre double T, autorisé dans le commentaire de l'article 6/12, est nettement trop faible : l'épaisseur trop réduite des couvre-joints ne permet pas d'y accrocher des cordons dont la résistance soit en rapport avec celle de l'âme. Il ne paraît pas utile d'insister.

IV. — Prescriptions et recommandations diverses.

a) L'article 6/5 limite à quarante fois leur épaisseur, la longueur des cordons latéraux fixant une barre.

Il ne semble pas que cette prescription puisse jamais trouver d'application pratique, faute de la place nécessaire pour loger pareilles soudures ; mais l'auteur du commentaire en prend texte pour recommander la soudure par cordons ininterrompus, système dont les inconvénients pratiques et économiques sont connus.

b) La règle de l'art. 4/6, relatif au renforcement des ponts par l'usage d'as-

semblages mixtes (rivés et soudés) fixant le partage des charges entre rivets et soudures, est purement conventionnelle.

c) Page 40 du règlement commenté, le Dr Kommerell envisage que, pour utiliser pleinement la résistance de certains éléments de construction, l'assemblage pourra être calculé en partant de la section propre de ces éléments.

Ce mode de calcul s'écarte absolument de celui qui est imposé par le règlement; mais il est logique, c'est une des bases du calcul que nous n'avons nous-mêmes cessé de préconiser depuis 1927.

Résumé.

Le règlement allemand de 1931 est présenté dans une forme parfaite, il n'en est que plus nécessaire d'en marquer les insuffisances.

Les essais destinés à qualifier, une fois pour toutes, le métal d'apport et le procédé de soudure sont contradictoires entre eux. Ils manquent de la précision indispensable dans une opération aussi importante. Ils admettent, comme suffisant, un matériau médiocre, donc peu sûr.

L'épreuve imposée pour la qualification du soudeur manque de simplicité et de commodité. Mise en rapport avec les divers essais précédents, elle se montre tantôt excessive, tantôt insuffisante.

La méthode de calcul imposée est purement conventionnelle; elle conduit dans l'application, à des résultats choquants et à des assemblages où la résistance des soudures est mal utilisée.

Les taux de travail admis sont énoncés de telle façon qu'ils ne se comprennent exactement que grâce à un commentaire et à des exemples chiffrés.

Enfin, ce règlement renferme diverses prescriptions qui paraissent difficiles à justifier.

Un tel règlement n'est pas fait pour améliorer la technique; les pays où la science et l'art de souder ont atteint un stade élevé de leur développement, n'ont pas intérêt à s'en inspirer.

L'auteur tient à souligner que les considérations ci-dessus ont été rédigées au printemps 1932 et se rapportent aux prescriptions de 1931. Depuis lors, ces prescriptions ont été améliorées.

Zusammenfassung.

Die deutschen Bestimmungen von 1931 sind in mustergültige Form gekleidet; es ist deshalb umso notwendiger, ihre Unzulänglichkeiten hervorzuheben.

Die Versuche, die ein für allemal zur Qualifikation des Schweissgutes und der Schweissmethoden bestimmt sind, widersprechen sich gegenseitig. Es fehlt die für eine so wichtige Arbeit erforderliche Genauigkeit. Sie lassen ein mittelmässiges, mithin wenig sicheres Material zu.

Der zur Qualifikation des Schweissers vorgeschriebenen Prüfung fehlt es an Einfachheit und Bequemlichkeit. Im Verhältnis zu den verschiedenen früheren Versuchen erweist sie sich bald als übertrieben, bald als ungenügend.

Die vorgeschriebene Berechnungsmethode ist rein konventionell; in der

Anwendung führt sie zu missfälligen Resultaten und zu Verbindungen mit schlecht ausgenutzten Schweißfestigkeiten.

Die zulässigen Spannungen sind so ausgedrückt, dass sie nur auf Grund eines Kommentars und numerischen Beispielen verstanden werden können.

Endlich enthalten diese Bestimmungen Vorschriften, die schwierig zu rechtfertigen scheinen.

Solche Bestimmungen sind nicht berufen, die Technik zu verbessern ; die Länder, in denen die Wissenschaft und die Kunst des Schweißens einen hohen Stand ihrer Entwicklung erreicht, haben kein Interesse daran, sich von diesen beeinflussen zu lassen.

Der Verfasser legt Wert darauf festzustellen, dass obige Betrachtungen im Frühjahr 1932 abgefasst wurden und dass sie sich auf die Vorschriften von 1931 beziehen. Seither sind diese Vorschriften verbessert worden.

Summary.

The German rules of 1931 are expressed in a perfect manner ; it is consequently all the more necessary to point out their insufficiencies.

The tests which are intended to specify, once for all, the metal and the methods used in welding, are contradictory. They lack the precision indispensable in a matter of such importance, and permit the use of second-rate material providing an inadequate degree of safety.

The examination stipulated for determining the qualifications of a welder is lacking in simplicity and practicability ; in comparison with the various tests formerly employed, its demands are in some respects excessive, in others insufficient.

The stipulated method of calculating is purely conventional ; in practice it is liable to lead to extremely unsatisfactory results and to constructions in which the strength of the weld is badly utilised.

The stresses admissible are defined in such a way as to be unintelligible without the use of a commentary and numerical examples.

Finally, these rules include several stipulations which it would appear difficult to justify.

Such rules do not tend to technical improvement ; countries in which the science of welding has attained a high degree of development, have no interest in allowing themselves to be influenced by them.

The author especially emphasises the fact that the above considerations were written in Spring 1932 and that they refer to the prescriptions of 1931. Since that time these prescriptions have been improved.

A. GOELZER,

Directeur de la Société Secrom, Paris.

I. — Calcul des soudures.

Nous nous proposons tout d'abord de montrer la possibilité du calcul précis de la fatigue des cordons de soudure, calcul qui a un caractère tout différent de celui d'une rivure.

Nous désignons par cordon de soudure la chenille de métal fondu déposée entre les bords des pièces à souder, qui se trouvent eux-mêmes amenés à fusion au cours de l'opération.

Classification des soudures.

Deux catégories principales de cordons de soudure sont à considérer au point de vue de leur calcul :

1^o Cordons transversaux ou frontaux orientés perpendiculairement à la direction générale de l'effort qui sollicite le joint ;

2^o Cordons longitudinaux orientés parallèlement à cette même direction.

Forme des cordons de soudure.

La section des cordons de soudure se trouve déterminée par la nature même du joint. Les joints bout à bout entraînent des cordons rectangulaires ou triangulaires ; les joints à recouvrement et les joints d'angle, des sections triangulaires.

Principes du calcul des cordons de soudure.

En charpente soudée, le cordon de soudure jouit de propriétés tout à fait différentes de celles du rivet. L'étude métallographique des soudures montre qu'il existe une continuité moléculaire complète entre le métal fondu du cordon de soudure et le métal laminé des pièces adjacentes. Autrement dit, il n'existe pas de surface de discontinuité entre le cordon de soudure et le métal des pièces assemblées. Toutes les expériences de rupture faites sur des pièces correctement soudées montrent qu'il ne se produit pas de décollement des cordons de soudure. Lorsque la cassure intéresse la soudure, elle traverse toujours à la fois l'acier du cordon de soudure et celui des pièces voisines.

On doit conclure immédiatement de cette remarque expérimentale que l'acier d'un cordon de soudure fait partie intégrante de l'ensemble du joint soudé. La fig. 1 montre clairement ce fait.

Dans la rivure, au contraire, il existe une surface de contact entre les rivets et la paroi de leur trou.

Avec la soudure, les efforts moléculaires ou contraintes peuvent se transmettre librement de molécule à molécule, à travers tous les joints. Il est donc possible de trouver des procédés de calcul rigoureux permettant de déterminer les déformations et les tensions élastiques d'un joint soudé.

Si on considère l'ensemble du solide formé par les pièces à souder et les cor-

dons de soudure, le problème est complexe à résoudre par la théorie de l'élasticité. Mais on peut le simplifier d'une manière utile en faisant des hypothèses logiques sur la répartition des tensions le long des faces du cordon de soudure. On envisagera alors, non pas l'équilibre élastique de l'ensemble du solide, mais celui du cordon de soudure pris isolément.

Soudures transversales.

Le calcul des soudures frontales est plus complexe que celui des soudures longitudinales. Le fait important est qu'un tel cordon, représenté figure 2, est

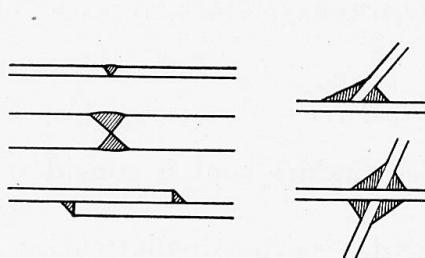


Fig. 1.

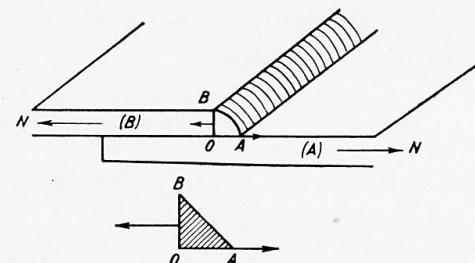


Fig. 2.

sollicité à la traction sur une de ses faces et au cisaillement sur l'autre. Il conviendra donc de vérifier la fatigue à la traction du cordon sur la face OB et la fatigue au cisaillement sur la face OA.

En traction :

$$n = \frac{F}{OB}$$

Au cisaillement :

$$\tau = \frac{F}{OA}$$

F désignant l'effort transversal par unité de longueur du cordon.

Soudures longitudinales.

La fig. 3 montre un exemple de soudure longitudinale dans un assemblage à double couvre-joint.

Isolons le cordon de soudure C. Les deux faces OA O'A' et OB O'B' en contact avec les pièces à souder sont sollicitées par 2 efforts tangentiels égaux et opposés, dont la répartition dans le plan de ces faces est inconnue.

Découpons dans le cordon OA B O'A'B' un petit prisme de longueur infiniment petite Δl . L'effort tangentiel pour cet élément sera :

$$\Delta n = \tau \cdot a \cdot \Delta l$$

τ représentant l'effort tangentiel par unité de surface $o o'$, $m m'$ et $o o' p p'$. On démontre que suivant le plan $o P o' P'$ il s'exerce un effort tangentiel égal à :

$$\Delta Z = \frac{\Delta n}{oP \cdot \tau \Delta l}$$

d'où

$$\Delta Z = \frac{a}{o P}$$

Le cisaillement maximum se produit donc dans le plan O H, normal à la surface extérieure A B de la soudure. Il est à remarquer que cette dernière propriété reste vraie quelle que soit la loi qui régit τ .

Loi des variations du cisaillement τ .

Le métal des tôles A et des couvre-joints B, compris entre les cordons de soudure longitudinaux C, se trouve placé dans des conditions tout à fait particulières. L'étude de la déformation de ces portions de tôles est très intéressante non seulement en elle-même, mais aussi vis-à-vis de la déformation du cordon de soudure.

Il est en effet relativement facile de faire des vérifications expérimentales sur la déformation des tôles A et des couvre-joints B.

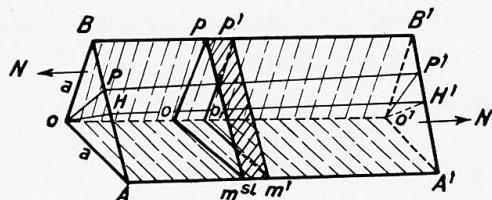


Fig. 3.

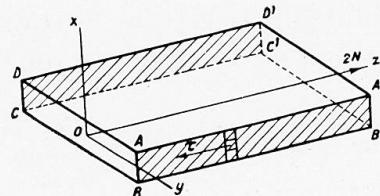


Fig. 4.

Soit une tôle de section droite A B C D, A'B'C'D' que nous supposerons rapportée aux axes ox , oy , oz . Les deux faces parallèles A B A'B' et C D C'D' sont soumises à l'effort de cisaillement τ que nous supposerons variable, dirigé dans leur plan parallèlement à oz . τ est une fonction de la variable z .

La tôle est supposée d'épaisseur indéfinie dans le sens ox . Si on envisage, par exemple, la section A'B'C'D' d'abscisse z , l'effort normal total $2 N$ se trouve équilibré par les deux efforts tangentiels totaux ayant chacun pour valeur :

$$N = \int_0^z \tau \cdot a \cdot dz$$

Admettons que l'effort normal N_3 s'exerçant sur une section transversale du couvre-joint est constant, pour une section donnée, il est donc seulement fonction de z . Dans ces conditions, l'effort total s'exerçant sur la section est $N_3 S$. On doit donc avoir dans la section z :

$$N_3 S + 2 N = 0$$

ou

$$N_3 S + 2 \int_0^z \tau \cdot a \cdot dz = 0$$

d'où l'on tire par dérivation :

$$\tau = \frac{S}{2 a} - \frac{d N_3}{dz}$$

Or si on se rapporte aux expériences faites à l'Université de Pittsburgh par M. le professeur Hammond Smith, résultats expérimentaux qui ont été résumés dans un mémoire de M. le Professeur William Hovgaard à l'Institution of Naval Architects, en mars 1931, on constate le fait suivant :

L'effort de tension dans le couvre-joint N_3 présente la variation indiquée sur la figure ci-dessous (fig. 5). L'effort normal dans la tôle sous le couvre-joint suit d'ailleurs une loi analogue en sens inverse.

On est forcé de constater que la courbe représentative de N_3 en particulier

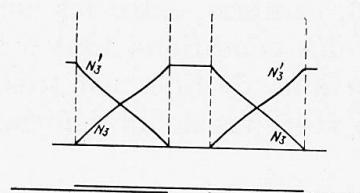


Fig. 5.



Fig. 6.

est très voisine d'une ligne droite. Aux erreurs d'expérience près, il semble permis d'admettre que la courbe représentative de N_3 est une droite. L'origine étant placée à l'extrémité du couvre-joint, on aurait donc :

$$N_3 = K z$$

d'où

$$\tau = \frac{SK}{2a}$$

résultat qui justifie l'hypothèse du cisaillement constant le long du couvre-joint.

Même dans le cas où N_3 ne serait pas constant dans une section quelconque d'abscisse z , le calcul précédent reste exact, à condition de considérer N_3 comme la valeur moyenne de la tension dans la section déterminée.

Il conviendrait de contrôler ces résultats par des expériences très précises, ils sont en tous cas admis le plus souvent dans les calculs pratiques pour les projets de construction soudée. On se contente de calculer le taux de cisaillement des cordons de soudure longitudinaux.

Le calcul des soudures est donc régi, aussi bien pour les soudures transversales que pour les soudures longitudinales, par les lois théoriques assez simples qui permettent dès maintenant de faire des calculs suffisamment précis pour les besoins de la pratique.

II. — Constitution des pièces d'une charpente soudée.

Bien que nous ne disposions pas encore pour la charpente soudée d'une documentation comparable à celle qui existe pour la charpente métallique rivée, on peut déjà faire des remarques d'ordre pratique, utiles pour le développement futur de la charpente soudée.

Lorsqu'on étudie les projets de charpente métallique soudée, on est frappé du fait suivant : le plus difficile n'est pas d'employer la soudure comme moyen

d'assemblage, mais de conditionner les pièces pour qu'elles se prêtent à une attache économique par la soudure.

Considérons deux cordons de soudure longitudinaux de 1 cm de gorge et de 10 cm de longueur attachant une tôle par ses bords (fig. 6). Ces cordons équilibreront réellement, en travaillant à 8 kg par mm^2 , un effort de 16 T. Pour obtenir le même résultat en rivure, il faut au minimum 6 rivets de 18 mm.

On peut donc être facilement amené à prévoir trop de soudure dans un assemblage ; on devra donc s'efforcer d'employer des profilés de manière à limiter au strict nécessaire l'emploi des pièces composées qui utilisent en général trop de soudure.

Il en résulte que le problème de la charpente soudée est autant un problème de forge qu'un problème de soudure. On tirera seulement de la soudure tout le bénéfice qu'on peut en attendre, le jour où les forges livreront une gamme suffisante de profilés répondant aux besoins de la soudure.

Nous signalerons les deux exemples suivants qui ont été certainement observés par tous les utilisateurs de la soudure en charpente. Deux profilés extrêmement utiles et même indispensables avec la soudure, sont le fer à T et le fer U. Si on considère le fer à T, beaucoup de ceux existants sont utilisables, mais il n'existe pas de gros échantillons, et si on veut, par exemple, constituer une membrure de pont avec un seul fer à T, on ne peut y arriver dans bien des cas. On est alors obligé d'assembler 2 fers à T, opération inutile entraînant l'augmentation du tonnage et de la soudure. En ce qui concerne le fer U, nous signalons que pour les attaches, leur âme est généralement trop mince ; il y aurait intérêt à disposer de fers U dont l'épaisseur serait sensiblement constante.

D'une manière générale, on constate qu'une simple mise au point des échantillons suffirait et nous ne pensons pas qu'il y ait lieu, tout au moins pour l'instant, de créer des profilés complètement nouveaux ; les types de profilés existants ayant été bien étudiés et offrant en général des inerties avantageuses.

Il n'est pas douteux que l'intérêt des forges et de l'industrie de la charpente métallique est d'étudier avec les ingénieurs soudeurs les meilleurs types de profilés qui permettront d'édifier des constructions métalliques résistantes, légères et économiques.

Résumé.

Le calcul des soudures peut se faire d'une manière suffisamment exacte pour les besoins de la pratique suivant des formules très simples. On distinguera essentiellement deux sortes de cordons de soudure : les cordons frontaux et les cordons longitudinaux.

Pour les cordons longitudinaux, qui sont les plus couramment employés, on peut admettre, tout au moins en première approximation, une répartition uniforme de la tension de cisaillement sur toute la longueur du cordon.

Le choix des sections à adopter dans un projet de charpente soudée dépend en grande partie des sujétions créées par l'emploi de la soudure dans les assemblages. En se référant à des constructions soudées existantes, on constate que la constitution des projets serait facilitée par la création de profilés nouveaux.

Il semble d'ailleurs que l'on obtiendrait déjà des résultats très intéressants par des modifications légères apportées aux profilés existants et dans chaque type par une augmentation du nombre des gros échantillons.

Zusammenfassung.

Die Berechnung der Schweißungen kann für die praktischen Bedürfnisse in genügender Weise nach sehr einfachen Formeln geschehen. Man unterscheidet hauptsächlich zwei Arten von Schweißnähten : die Stumpfnähte und die Längsnähte.

Für die Längsnähte, welche die am meisten angewendeten sind, kann, wenigstens in erster Annäherung, angenommen werden, dass sich die Schubspannungen gleichmäßig über die ganze Länge der Naht verteilen.

Die Wahl der für das Projekt einer geschweißten Hochbaukonstruktion anzunehmenden Querschnitte hängt zum grossen Teil von den Besonderheiten der Anwendung der Schweißung für die Verbindungen ab. Bezugnehmend auf bestehende, geschweißte Konstruktionen erkennt man, dass das Konstruieren durch die Schaffung neuer Profile erleichtert werden könnte. Es scheint übrigens, dass man durch kleine Änderungen der bestehenden Profile und durch Vergrösserung der Zahl der Walz-Vorprofile für jede Type sehr interessante Resultate erhalten würde.

Summary.

The calculation of welds may be made in a sufficiently exact manner for practical requirements by means of very simple formulae. An essential distinction will be made between two kinds of joints : butt joints and longitudinal joints.

For the latter, which are most usually employed, it may be assumed, at least in a first approximation, that the shearing stress is distributed uniformly over the whole length of the joint.

The choice of sections to be adopted in a welded structure depends to a large extent on the conditions created by the use of welding for making the connections. When existing welded structures are examined, it will be seen that the construction could be simplified by the creation of new rolled sections. Further, it seems that very interesting results might be obtained by slight modifications in existing sections and by increasing the number of rolled sections of each type.

Dr.-Ing. Albert DÖRNEN,
Dortmund-Derne.

In die Schweißvorschriften ist zweckmässig eine genaue in Einzelheiten gehende Anweisung für die Herstellung der Nähte aufzunehmen. So müsste beispielsweise (mit einem gewissen Spielraum) der Durchmesser der für die



Fig. 1. — Cadres soudés pour un ouvrage de croisement à Vohwinkel, portée 10 mètres.
Geschweißter Rahmen für ein Kreuzungsbauwerk bei Vohwinkel, Stützweite 10 m.
Welded frames for an overhead crossing at Vohwinkel; span 10 metres.

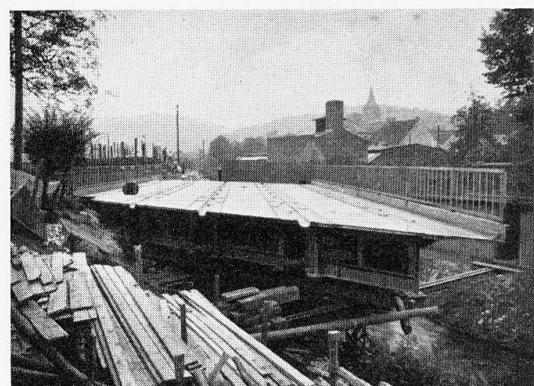
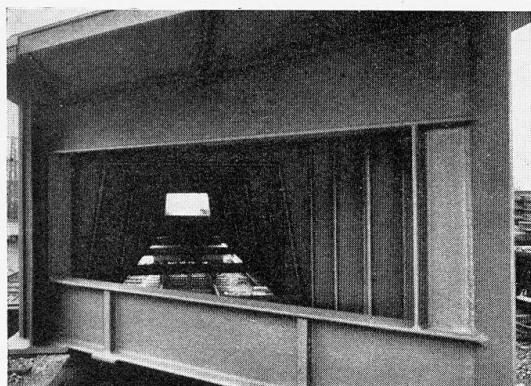


Fig. 2 et 3. — Quatre superstructures pour le pont de la Leppe à Engelskirchen,
portée environ 20 mètres.

Vier Ueberbauten für die Leppebrücke bei Engelskirchen. Stützweite rd. 20 m.
Four box girders for the Leppe bridge at Engelskirchen; span about 20 metres.

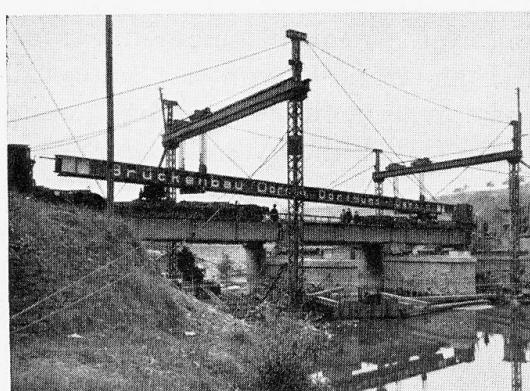


Fig. 4. — Quatre superstructures pour le pont sur la Sieg à Eiserfeld.
Poutres reposant sur quatre appuis, chaque travée ayant une ouverture d'environ 14 mètres.
Vier Ueberbauten für die Siegbrücke bei Eiserfeld. Balken auf vier Stützen,
deren jede Oeffnung rd. 14 m beträgt.
Four box girders for the Sieg bridge at Eiserfeld.
Girders resting on four supports about 14 metres apart.

verschiedenen Nahtstärken zu verwendenden Elektroden vorgeschrieben werden. Die Praxis nimmt gern zu starke Elektroden, weil die Nähte sich damit billiger stellen. Die Schweissnähte werden aber besser, und die Schrumpfspannungen bleiben kleiner, wenn man mit dünnen Elektroden und gleichzeitig in mehreren Lagen schweist. Ohne Rücksicht auf die Kosten ist vor allem eine möglichst hohe Güte der Nähte anzustreben. Aus dem gleichen Grunde wäre vorzuschreiben, dass die erste Lage mit einer Elektrode von höchstens 4 mm ø gelegt werden darf, damit die Raupe sich unter allen Umständen auch in der Wurzel der Naht mit dem Mutterstoff innig verbindet. Hierzu ist keineswegs ein tiefer Einbrand erforderlich. Es ist letzten Endes gleichgültig, wo

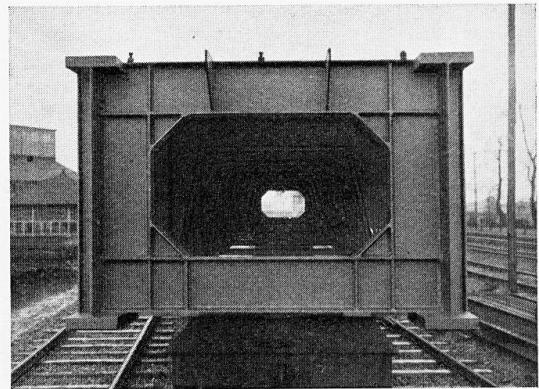
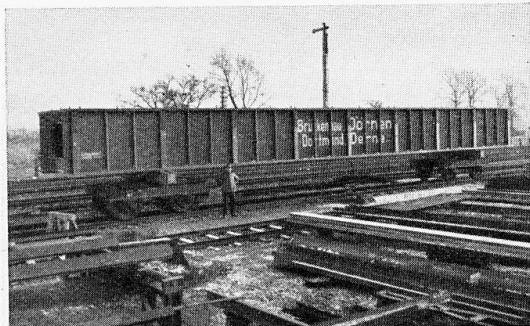


Fig. 5 et 6. — Superstructure pour la gare de Barmbeck, portée environ 22 mètres.
Ueberbau beim Bahnhof Barmbeck, Stützweite rd. 22 m.
Box girder at Barmbeck railway station; span about 22 meters.

sich Raupe und Mutterstoff miteinander verbinden, Hauptsache ist, dass sie sich möglichst innig und auf der ganzen Berührungsfläche miteinander verbinden. Dazu genügt unter Schonung des Mutterstoffs ein flacher Einbrand. Nimmt man zu starke Elektroden, so springt der Lichtbogen seitlich ab und kommt in die Wurzel nicht hinein. Man erhält dann zwar seitlich einen starken Einbrand, die Wurzel aber bleibt frei. Bei der Deutschen Reichsbahn ist eine solche Vorschrift vorbereitet. Wenn bei meinen Versuchen die X-Nähte nach Vergrösserung des Flankenwinkels von 70° auf 120° gegen Dauerbeanspruchungen soviel besser waren, führe ich dies in erster Linie darauf zurück, dass bei dem grösseren Winkel die Wurzel der Naht besser erfasst wird. (Abb. 2. zu III, 2, a.)

Der Bau geschweisster eiserner Ueberbauten ist inzwischen bei der Deutschen Reichsbahn-Gesellschaft dank der Anregung und Förderung durch Herrn Reichsbahn-Direktor Geheimrat Dr. Schaper bereits über das Versuchsstadium hinausgekommen. Es handelt sich jedoch bei den bis heute geschweißten Reichsbahn-Brücken zunächst nur um vollwandige Träger. Zu Fachwerkbrücken soll erst übergegangen werden, wenn durch Versuche festgestellt ist, dass man auch Fachwerkbrücken einwandfrei konstruieren und schweissen kann. Es sei noch bemerkt, dass alle ausgeführten geschweißten Ueberbauten bzw. ihre Hauptträger bereits in der Werkstatt einer Probebelastung unterzogen worden sind.

Ich kann eine Reihe Bilder von für die Deutsche Reichsbahn-Gesellschaft geschweißten Eisenbahnbrücken zeigen, die in der letzten Zeit fertig geworden sind :

A) Reichsbahndirektion Wuppertal.

Geschweißter Rahmen für ein Kreuzungsbauwerk bei Vohwinkel, Stützweite 10 m. (fig. 1).

B) Reichsbahndirektion Wuppertal.

4 Ueberbauten für die Leppebrücke bei Engelskirchen. Stützweite rd. 20 m. (fig. 2 und 3).

C) Reichsbahndirektion Wuppertal.

4 Ueberbauten für die Siegbrücke bei Eiserfeld. Balken auf 4 Stützen, deren jede Oeffnung rd. 14 m beträgt. (fig. 4).

D) Reichsbahndirektion Altona.

Ueberbau beim Bahnhof Barmbeck, Stützweite rd. 22 m. (fig. 5 und 6).

Traduction.

Il est nécessaire, dans les Règlements concernant la Soudure, de donner toutes indications précises de détail pour l'exécution des cordons de soudure. C'est ainsi qu'avec une certaine marge de tolérance, il conviendrait d'y prévoir les diamètres des électrodes à employer pour les différentes épaisseurs des cordons de soudure. En pratique, on a trop tendance à adopter des électrodes de trop fort diamètre, afin de réduire le prix de revient de la soudure. Les cordons sont toutefois meilleurs et les contraintes de retrait moins importantes lorsque l'on travaille avec des électrodes de faible diamètre et que l'on soude en même temps en plusieurs couches. Il importe avant tout de s'efforcer de donner à la soudure une qualité d'exécution aussi bonne que possible, sans faire intervenir les considérations de prix. Pour la même raison, il y aurait lieu de prescrire l'exécution de la première couche avec une électrode ayant au plus 4 mm de diamètre, afin de réaliser, dans tous les cas, un accrochage intime du cordon de soudure sur le métal de base, à la racine même de l'assemblage. Il n'est nullement nécessaire de réaliser une pénétration profonde de la fusion. L'endroit où le métal d'apport et le métal de base s'accrochent l'un à l'autre est, en fin de compte, absolument indifférent ; ce qui importe essentiellement, c'est que cet accrochage soit aussi intime que possible, sur la totalité de la surface de contact. Il suffit pour cela, sous réserve de la forme propre de la pièce de base, que la pénétration de la fusion se fasse suivant une surface plane. Si l'on prend des électrodes de trop fort diamètre, l'arc jaillira sur les côtés et n'atteindra pas le sommet, la racine de l'assemblage. On aura alors en pratique une forte pénétration de la fusion sur les côtés, mais le sommet de l'assemblage n'accusera aucun accrochage. Les Chemins de Fer Allemands ont élaboré une prescription à ce sujet. Si, au cours de mes essais, j'ai pu améliorer dans une telle proportion les contraintes à l'essai de durée des cordons de soudure en X après avoir augmenté l'angle de 70° à 120°, j'attribue précisément ce résultat, en

premier lieu, au fait qu'avec un angle plus grand, le cordon de soudure intéresse mieux le sommet de l'assemblage (figure 2, voir III, 2, a).

Grâce aux efforts et à l'activité du Directeur et Conseiller Privé Dr. Schaper, l'emploi de la soudure pour la construction des superstructures métalliques, à la Société des Chemins de Fer Allemands, a déjà dépassé la phase des recherches expérimentales. On n'en est toutefois actuellement encore qu'à la construction des ponts-rails soudés à poutres pleines. On ne pourra passer à la construction des ponts en treillis que lorsque les essais auront montré que cette construction peut être abordée, avec la soudure, dans des conditions parfaites. Il faut remarquer d'ailleurs que toutes les superstructures qui ont été exécutées par soudure, c'est-à-dire toutes leurs poutres principales, ont été soumises, à l'atelier même, à des essais de mise en charge.

Je puis indiquer toute une série d'éléments de ponts de chemin de fer qui ont été exécutés récemment en construction soudée par la Société des Chemins de Fer Allemands :

A. Direction des Chemins de Fer de Wuppertal : Cadres soudés pour un ouvrage de croisement à Vohwinkel, portée 10 mètres (fig. 1).

B. Direction des Chemins de Fer de Wuppertal : Quatre superstructures pour le pont de la Leppe à Engelskirchen, portée environ 20 mètres (fig. 2 et 3).

C. Direction des Chemins de Fer de Wuppertal : Quatre superstructures pour le pont sur la Sieg à Eiserfeld. — Poutres reposant sur 4 appuis, chaque travée ayant une ouverture d'environ 14 mètres (fig. 4).

D. Direction des Chemins de Fer d'Altona : Superstructure pour la gare de Barmbeck, portée environ 22 mètres (fig. 5 et 6).

K. SIEMS,

Fabrikdirектор, Niesky O./L.

Ich beschränke mich auf die Beschreibung eines Lamellenstosses für einen geschweissten Blechträger. Die einfachste Konstruktion eines solchen Blechträgers besteht aus Stehblech mit unmittelbar aufgeschweißten Gurtplatten verschiedener Stärke ohne Gurtwinkel. Die Gurtplatten werden durch Kehlnähte mit dem Stehblech verbunden unter Verwendung eines Automaten.

Die entsprechend dem jeweiligen Maximalmoment verschiedenen starken Gurtplatten müssten durch Stumpfschweissung miteinander verbunden werden. Dabei wäre die Länge der Schweissnaht gleich der Breite der Gurtplatte. Nach den deutschen Vorschriften reicht eine solche Stumpfnaht nicht aus, um bei voller Ausnutzung des Materials die auftretenden Kräfte zu übertragen. Ist die Schweissnaht so dick, wie die dünnere anzuschliessende Lamelle, so ergibt die folgende Umformung der Formel für die ideelle Kraft, dass die Schweissnaht 3 bis 4 mal so lang sein muss wie die Breite der Gurtplatte.

Anzuschliessende Kraft in der dünneren Lamelle

$$S = \int_u^o \sigma \cdot dF = \frac{M.S.}{J}$$

max S absolut grösste Kraft in der Lamelle

min S absolut kleinste Kraft in der Lamelle

nach DIN 4100 § 4 ist für die Schweissnaht massgebend die ideelle Kraft

$$\begin{aligned} S_i &= \max S + \frac{1}{2} (\max S - \min S) \\ &= \frac{\max S}{2} \left(3 \mp \frac{\min S}{\max S} \right) \end{aligned}$$

erforderliche Schweissnaht

$$F_{\text{Schw}} = \frac{\max S}{2 \rho_{\text{zul}}} \left(3 \mp \frac{\min S}{\max S} \right)$$

$$\rho_{\text{zul}} = \alpha \cdot \sigma_{\text{zul}}$$

am Stoss ist

$$\sigma = \sigma_{\text{zul}} = \frac{\max S}{F_{\text{Lam}}}$$

damit ist

$$\rho_{\text{zul}} = \alpha \frac{\max S}{F_{\text{Lam}}} \quad \text{für } \alpha = 0,5$$

$$F_{\text{Schw}} = F_{\text{Lam}} \left(3 \mp \frac{\min S}{\max S} \right)$$

- wenn max S und min S gleiches Vorzeichen
- + wenn max S und min S verschiedenes Vorzeichen
- Grenzwert für min S = 0 $F_{\text{Schw}} = 3 F_{\text{Lam}}$
- Grenzwert für min S = $-\max S \quad F_{\text{Schw}} = 4 F_{\text{Lam}}$

Einfache Stumpfschweissung war daher nicht verwendbar. Die Firma

Momentschema

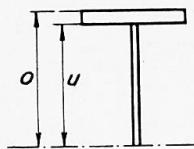


Fig. 1.

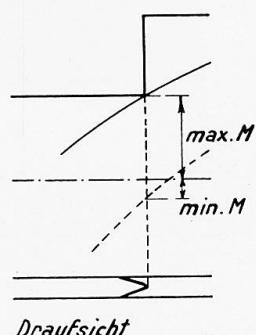


Fig. 2

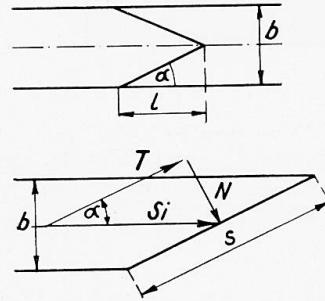


Fig. 3.



Fig. 4.

Fig. 2. — Schéma des moments = Momentschema = Diagram of moments.
Vue en plan = Draufsicht = Viewed from above.

Christoph & Unmack hat deshalb einen keilförmigen Stoss entwickelt, siehe Abbildung 1 und 2. Auf Abbildung 2 ist ein Träger beim Zusammenbau dargestellt und zeigt an den Gurtplattenenden die Form des Stosses. Bei dieser Ausbildung des Stosses erhält die Schweissfuge die erforderliche Länge. Die Naht besteht aus einer V-Naht auf der Seite nach dem Stehblech zu und aus einer Kehlnaht aussen, wo die Gurtplatten verschieden stark sind, siehe

Abbildung 4 und 6. Für die Berechnung der Schweissnaht gilt folgende Entwicklung.

$F =$ Querschnittsfläche bei Normalschnitt

$F_s =$ Querschnittsfläche bei Schrägschnitt

massgebende Anschlusskraft für die Schweissnaht S_i .

Für Normalschnitt ist

$$\rho = \frac{S_i}{F}$$

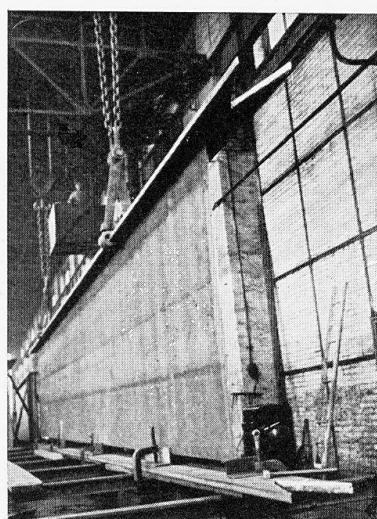
für den Schrägschnitt ist

$$F_s = F \frac{1}{\sin \alpha}$$

S_i zerfällt in die

Tangentialkraft $T = S_i \cos \alpha$

Normalkraft $N = S_i \sin \alpha$



5



6

Fig. 5. — Montage d'une poutre principale. Assemblage des semelles — Ansicht eines Hauptträgerstosses. Montage der Lamelle — Main girder joint ; erection of the end plate.

Fig. 6. — Assemblage des semelles par soudure sur le chantier — Schweissen des Lamellenstosses auf der Baustelle — Welding the end plates on site.

damit ergeben sich in der schrägen Schweissfuge

$$\text{Scherspannung : } \rho_T = \frac{T}{F_s} = \frac{S_i \sin 2\alpha}{2F} = \rho \frac{\sin 2\alpha}{2}$$

$$\text{Normalspannung : } \rho_N = \frac{N}{F_s} = \frac{S_i \sin^2 \alpha}{F} = \rho \sin^2 \alpha$$

Die Anstrengung in der Schweissnaht ergibt sich aus der reduzierten Spannung

$$\begin{aligned} \rho_{\text{red}} &= 0,35 \rho_N + 0,65 \sqrt{\rho_N^2 + 4 \rho_T^2} \\ &= \rho (0,35 \cdot \sin^2 \alpha + 0,65 \sin^2 \alpha \sqrt{1 + 4 \operatorname{ctg}^2 \alpha}) \\ &= \rho \sin^2 \alpha (0,35 + 0,65 \sqrt{1 + 4 \operatorname{ctg}^2 \alpha}) \end{aligned}$$

Die ideelle Kraft S_i ist in eine Scherspannung und eine Normalspannung zerlegt und für die Beanspruchung der Schweisse selbst die reduzierte Spannung entwickelt. Diese Stossform ist meines Wissens von der Firma Christoph & Unmack A.-G. Niesky O.L. zum ersten Male ausgeführt bei der Schlachthofbrücke in Dresden.

Um die Zuverlässigkeit dieser neuen Stossanordnung nachzuweisen, hat die Firma mit Probestäben Zerreissversuche ausgeführt. Der eine Probestab war der wirklichen Ausführung in der Brücke entsprechend in verkleinertem Maßstab ausgeführt und riss im vollen Blech an der Stelle, wo durch das Schweißen eine Kerbwirkung vorlag bei 3560 kg/cm^2 . Bei dem anderen Probestab wurde die Schweissnaht so schwach ausgebildet, dass der Bruch unbedingt in der Naht erfolgen musste, was auch geschah. Der erste Anbruch begann bei 2140 kg/cm^2 , der endgültige Bruch bei 2470 kg/cm^2 . Der Riss verlief in der vollen Schweissnaht. Ein weiterer Versuch in natürlicher Größe für etwa 700 t Bruchlast wird demnächst ausgeführt, ebenso einige Dauerversuche auf einer Pulsationsmaschine, deren Ergebnisse veröffentlicht werden.

Traduction.

Je me limiterai ici à la description d'un assemblage de semelle sur une poutre en tôle construite par soudure. La disposition la plus simple à adopter pour une poutre de cette nature consiste à assembler directement par soudure, sur l'âme en tôle, des semelles de membrure de différentes épaisseurs, sans interposition de cornières de membrure. Les semelles sont assemblées avec l'âme en tôle au moyen de cordons de soudure d'angle, l'opération étant effectuée à l'aide d'une machine automatique.

Les semelles, dont les épaisseurs sont différentes suivant le moment maximum considéré, devraient être assemblées entre elles par soudure en bout. La longueur des cordons de soudure correspondants serait alors égale à la largeur de la semelle elle-même. Toutefois, d'après les prescriptions allemandes, un tel assemblage par soudure en bout est insuffisant pour pouvoir supporter les efforts qui sont mis en jeu lorsque la poutre est soumise à la charge maximum.

Si le cordon de soudure présente la même épaisseur que la semelle la plus mince à assembler, l'emploi de la formule donnant l'effort théorique, transformée ainsi qu'il est indiqué ci-dessous, montre que la longueur du cordon de soudure doit être égale à 3 ou 4 fois la largeur de la semelle de la membrure.

Effort s'exerçant dans l'assemblage de la semelle plus mince :

$$S = \int_u^o \sigma \cdot dF = \frac{M \cdot S}{J}$$

Désignons par :

$\max S$ la valeur absolue de l'effort maximum dans la semelle ;
 $\min S$ la valeur absolue de l'effort minimum dans cette semelle ;
on obtient alors, suivant la norme DIN 4100 § 4 l'effort théorique suivant qui intéresse essentiellement le cordon de soudure :

$$\begin{aligned} S_i &= \max S + \frac{1}{2} (\max S - \min S) \\ &= \frac{\max S}{2} \left(3 \pm \frac{\min S}{\max S} \right) \end{aligned}$$

La section du cordon de soudure nécessaire est donc :

$$F_{schw} = \frac{\max S}{2 \rho_{adm.}} \left(3 \pm \frac{\min S}{\max S} \right)$$

$$\rho_{adm.} = \alpha \cdot \sigma_{adm.}$$

A l'assemblage, on a :

$$\sigma = \sigma_{adm.} = \frac{\max S}{F_{lam}}$$

F_{lam} désignant la section de la semelle ; on a donc :

$$\rho_{adm.} = \alpha \frac{\max S}{F_{lam}}$$

et pour

$$\alpha = 0,5$$

$$F_{schw} = F_{lam} \left(3 \pm \frac{\min S}{\max S} \right)$$

On adoptera le signe — si $\max S$ et $\min S$ sont de même sens et le signe + si $\max S$ et $\min S$ sont de sens contraire.

Valeur limite pour $\min S = 0$ $F_{schw} = 3 F_{lam}$.

Valeur limite pour $\min S = -\max S$ $F_{schw} = 4 F_{lam}$.

Il n'est donc pas possible d'employer la simple soudure en bout. La firme Christoph & Unmack a par suite mis au point un système d'assemblage en forme de coin, représenté par les figures 1 et 2. La figure 2 représente une poutre en cours de montage ; on peut remarquer, à l'extrémité de la semelle, la forme de l'assemblage. Cette disposition d'assemblage permet de donner au cordon de soudure la longueur nécessaire. Ce cordon se compose d'un cordon en V du côté de l'âme en tôle et d'un cordon de soudure d'angle à l'extérieur, à l'endroit où les plaques de semelle ont des épaisseurs différentes (voir figures 4 et 6). Le calcul des cordons de soudure est effectué ainsi qu'il est indiqué ci-après.

Désignons par :

F la section en coupe normale ;

F_s la section en coupe diagonale ;

S_i l'effort à prendre considération, à l'endroit de l'assemblage, pour le calcul du cordon de soudure ;

On a pour la section suivant la normale :

$$\varphi = \frac{S_i}{F}$$

Pour la section suivant la diagonale, on a :

$$F_s = F \frac{1}{\sin \alpha}$$

L'effort S_i se décompose de la manière suivante :

$$\begin{array}{ll} \text{Effort tangentiel :} & T = S_i \cos \alpha \\ \text{Effort normal :} & N = S_i \sin \alpha \end{array}$$

On a donc, dans l'assemblage diagonal par soudure :

Contrainte de cisaillement :

$$\rho_T = \frac{T}{F_s} = \frac{S_i \sin 2\alpha}{2F} = \rho \cdot \frac{\sin 2\alpha}{2}$$

Contrainte normale :

$$\rho_N = \frac{N}{F_s} = \frac{S_i \sin^2 \alpha}{F} = \rho \cdot \sin^2 \alpha$$

La contrainte dans le cordon de soudure est donnée par l'équation réduite :

$$\begin{aligned} \rho_{\text{rédu}} &= 0,35 \rho_N + 0,65 \sqrt{\rho_N^2 + 4 \rho_T^2} \\ &= \rho (0,35 \cdot \sin^2 \alpha + 0,65 \sin^2 \alpha \sqrt{1 + 4 \operatorname{ctg}^2 \alpha}) \\ &= \rho \sin^2 \alpha (0,35 + 0,65 \sqrt{1 + 4 \operatorname{ctg}^2 \alpha}). \end{aligned}$$

L'effort théorique S_i est décomposé en un effort de cisaillement et un effort normal et l'équation réduite fournit la contrainte dans la soudure elle-même. Cette disposition d'assemblage a été, à ma connaissance, employée pour la première fois, par la firme Christoph & Unmack A.G., de Niesky O.L., pour la construction du pont des abattoirs de Dresde.

Pour confirmer la sécurité conférée par cette nouvelle disposition d'assemblage, cette firme a procédé à des essais de rupture sur des éprouvettes d'essai. L'une des éprouvettes a été réalisée, à échelle réduite, sous une forme correspondant à l'exécution effective sur le pont lui-même ; la rupture s'est produite en pleine tôle, à l'endroit où, par suite de la soudure, s'est manifesté, pour 3560 kg/cm², un effet d'entaille.

Dans l'autre éprouvette, on a exécuté l'assemblage au moyen d'un cordon de soudure faible, de telle sorte que la rupture se produise obligatoirement dans ce cordon, ce qui est effectivement arrivé. La rupture s'est amorcée pour un effort de 2140 kg/cm², pour se produire pleinement à 2470 kg/cm². La fracture s'est localisée pleinement dans le cordon de soudure.

Un autre essai doit être effectué en vraie grandeur, avec une charge de rupture d'environ 700 tonnes ; on doit effectuer également quelques essais de fatigue avec une machine d'oscillations et les résultats obtenus seront également publiés.

P. STURZENEGGER,
Direktor der Eisenbaugesellschaft Zürich.

Berechnung, Konstruktion und Herstellung geschweisster Hochbauten.

Eine bedeutende schweizerische Stahlskelettbau nach Bild 1 mit 125,000 m³ umbautem Raum, einer Höhe von 38 m des Gebäudeblockes bzw. 66,7 m bis

zur Turmbekrönung bei 2000 t Stahl 37 bot vergangenes Jahr aus Wirtschaftlichkeitsüberlegungen Anlass zur vollständig geschweißten Ausführung im

Werk wie auf Baustelle. Die Gewichtseinsparung in geschweißter Ausführung wurde zu angenähert 10 % gegenüber der genietet geschraubten Ausbildung errechnet, während in den Kosten die Ersparnis sich auf 5 % reduzierte in Anbetracht der Baustellenschweissung.

Der Entschluss zur vollständigen Schweißung gab Anlass zum Versuch mit einer geschweißten Rahmenkonstruktion, um das vorgesehene Berechnungsverfahren nach Kommerell zu überprüfen. Die Anschlusschweißung des unteren Unterzuges der Versuchseinrichtung nach Bild 2 war mit geringerer Sicherheit ausgebildet als die verbundenen Konstruktionselemente und deren übrige Schweißverbindungen, um sicher den zu prüfenden Schweißanschluss zum Bruch zu bringen. Zur Verwendung kamen umhüllte Elektroden Exotherm SCW mit einer Festigkeit von $3,8 \text{ t/cm}^2$ bei 18% Dehnung an Zugfestigkeit bei 24% Dehnung im Bruch.

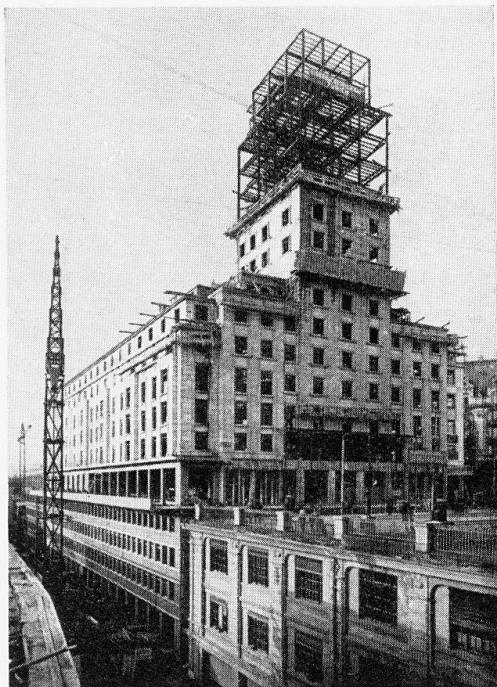


Fig. 1.

der Streckgrenze und von 5,0 t/cm² Zugfestigkeit bei 24 % Dehnung im Bruch. Bei der Schweißanordnung wurden mit Rücksicht auf die Baustellentätigkeit

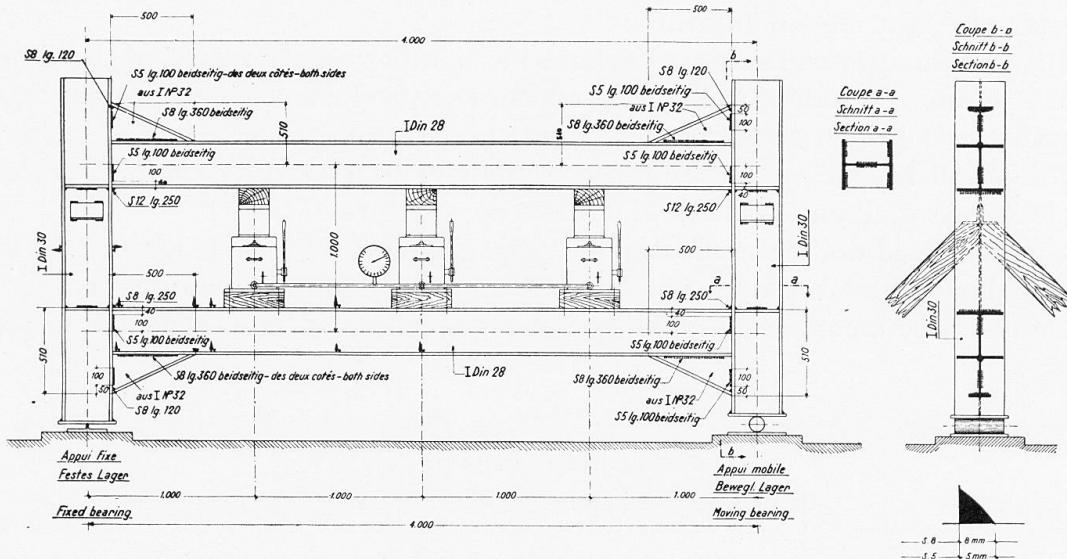


Fig. 2.

Ueberkopfschweissungen vermieden. Die Stegschweissungen waren nicht durchgehend, sondern streckenweise, sodass sie neben der Aufnahme der Querkräfte im Schweissträgheitsmoment wirksam mitarbeiteten. Mit Rück-

sicht auf den Beginn der Konsolen in Nähe des Momentennullpunktes und Lage des Trägerunterflansches in Nähe der Neutralaxe wurde derselbe an den Ständern nicht angeschweisst. Die Versuchsdurchführung erfolgte unter jeweiliger Entlastung auf O für drei Laststufen von $3 \times P$ mit 10, 20 und 33 Tonnen, erzeugt durch unter sich verbundene hydraulische Pressen. Der Bruch der

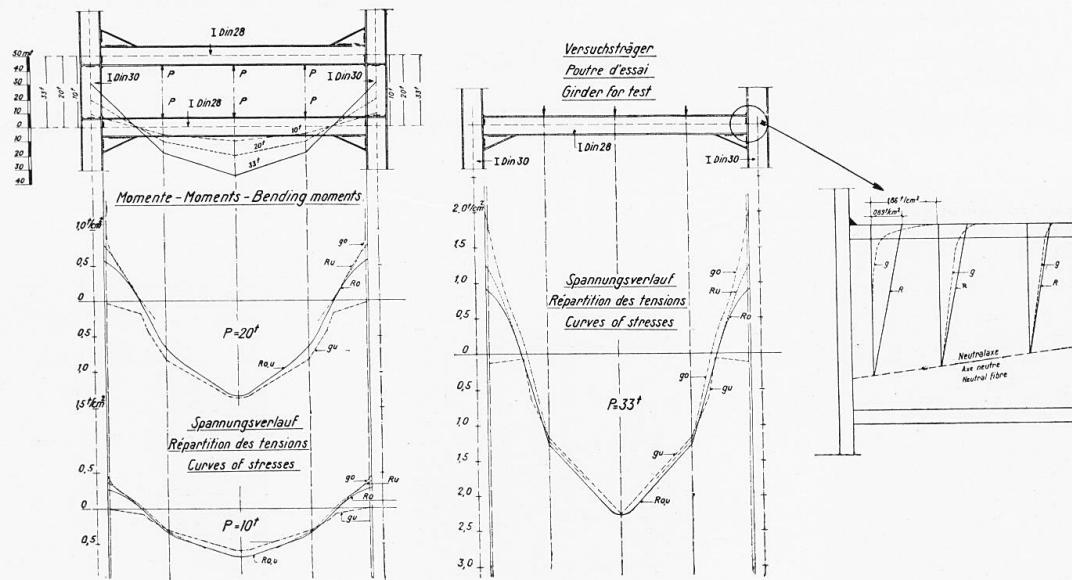


Fig. 3.

Schweissnaht trat bei $3 \times 35,1$ t ein gegenüber einem rechnerischen Wert von 3×32 t. Spannungsmessungen erfolgten mittelst Tensometer in Nähe des Trägeranschlusses, im Bereich des Momentennullpunktes und gegen Trägermitte.

Die Spannungsmessungen in den Ständern wie im Bereich des Trägerfeld-

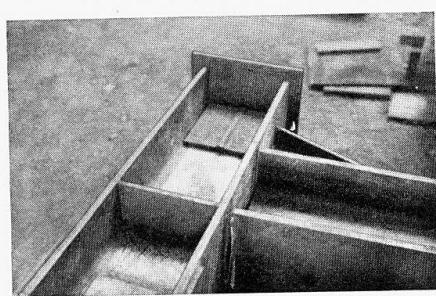


Fig. 4.

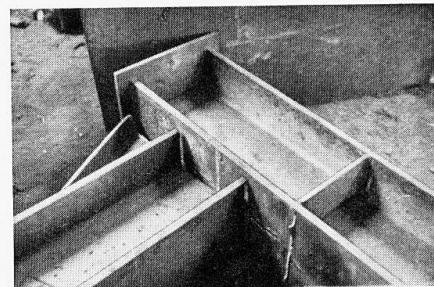


Fig. 5.

momentes ergaben, wie Bild 3 für die drei Laststufen erkennen lässt, gute Uebereinstimmung mit den rechnerischen Werten, ausgenommen den Messquerschnitt in unmittelbarer Nähe des Schweissanschlusses, wo die gemessene Randspannung im obern Flansch wesentlich höher als der rechnerische Wert lag. In diesem Querschnitt ist voraussichtlich durch die Kraftübertragung aus der Schweissnaht auf die äusserste Faser des Oberflansches eine Span-

nungskonzentration unter Verwölbung des Querschnittes entstanden, wie im Bilde rechts dargestellt ist. In den folgenden, weiter nach Trägermitte liegenden Querschnitten, stellt sich relativ rasch die ebenem Querschnitt entsprechende Spannungsverteilung ein. Die gute Uebereinstimmung der berechneten und gemessenen Bruchlast lässt in Bestätigung der Dresdener Versuche die zuverlässige Anwendungsmöglichkeit des Berechnungsverfahrens Kommerell erkennen, mit Bestimmung der massgebenden Spannung $\sigma_s = \sqrt{\left(\frac{M}{W_s}\right)^2 + \left(\frac{Q}{F_s}\right)^2}$, wobei F_s die Fläche und W_s das Widerstandsmoment der Anschlussenschweissung mit Umklappung des Winkelstahlquerschnittes

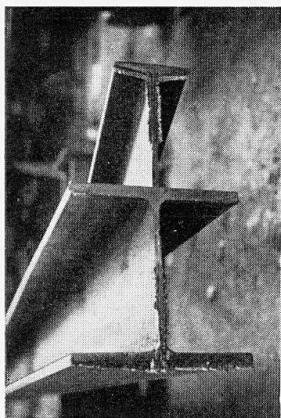


Fig. 6.

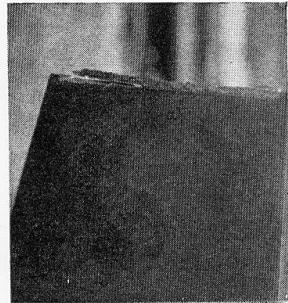


Fig. 7.

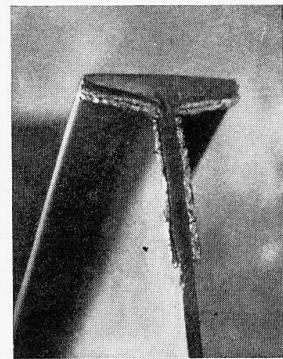


Fig. 8.

in die Anschlussebene bedeuten. Die deutsche Vorschriftenbestimmung, dass die massgebende Spannung $\leq 0,5 \cdot \sigma_{zul}$ des Grundmaterials sein muss, enthält eine zusätzliche Sicherheit gegenüber den der Schweissung anhaftenden Ausführungszaufälligkeiten. Nachdem wir in der Schweiz bis zur weitern Versuchsabklärung die Flankenschweissung eher tiefer als die deutschen Richtlinien ansprechen, ist ein Berechnungsverfahren nach Vorschlag Rosenthal fragwürdig, nach welchem Grundmaterial und Schweissverbindung gleiche Sicherheit zugewiesen erhalten.

Bild 4 zeigt den Bruch der Schweissverbindung einer Anschlusseite, während Bild 5 den zerstörten Schweissanschluss der Gegenseite erkennen lässt. Bild 6, 7 und 8 lassen Bruchquerschnitte der Schweissnähte erkennen.

Zur Bestimmung der Schrumpfspannungen aus thermischen Einflüssen wurden beim eingangs gezeigten Bauwerk an den zwei vorgesehenen Rahmenotypen mit und ohne Eckkonsolen Spannungsmessungen im Unterzug während des Schweissvorganges nach Bild 9 gemacht. Die Unterzüge waren vor der Messung einseitig an die Ständer angeschlossen, während mittelst Tensometer die Spannungen im Träger für die schrittweise Aufbringung der Schweissraupen 1-6 der Gegenseite gemessen wurden. Die Versuchsanordnung erlaubte nur die Grössenordnung der Schrumpfspannungen zu bestimmen, die sich für die Messquerschnitte zu $0,20 \text{ t/cm}^2$ beim kürzern bzw. zu $0,18 \text{ t/cm}^2$ beim längeren Unterzug mit ca. 14 % der zulässigen Beanspruchung des Grundma-

terials ergaben. Der mit vorschreitender Schweißung sich einstellende Wechsel der Schrumpfspannungen ist in den Kurven vorliegenden Bildes zu erkennen. Um die Einflüsse aus Längskräften sowie der vertikalen und horizontalen Biegemomente aus der Schrumpfung in der Verteilung über den Querschnitt der Messtellen zu erfassen, bedarf es mindestens 4-6 Messapparate per Querschnitt. Die Untersuchungen sind daher lediglich richtunggebend für ausgedehntere Versuche.

Traduction.

Calcul, Construction et montage de charpentes soudées.

Une grande charpente complètement soudée de 2.000 t. a été exécutée en Suisse l'année passée. Par rapport à une construction rivée et boulonnée on a calculé une économie de métal d'env. 10 %, celle-ci se réduit à 5 % pour le prix de revient, par suite principalement du montage par soudure sur le chantier.

La décision de monter complètement par soudure a donné lieu à l'étude d'un cadre d'essais, pour vérifier la méthode de calcul de Kommerell. La sécurité

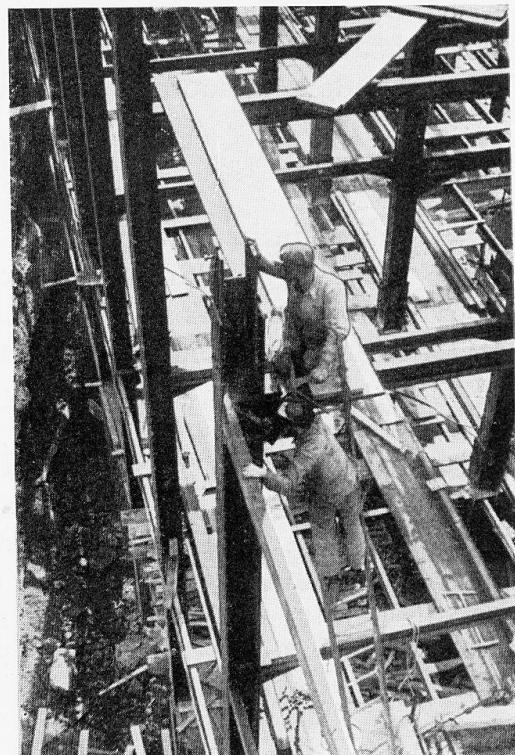


Fig. 9.

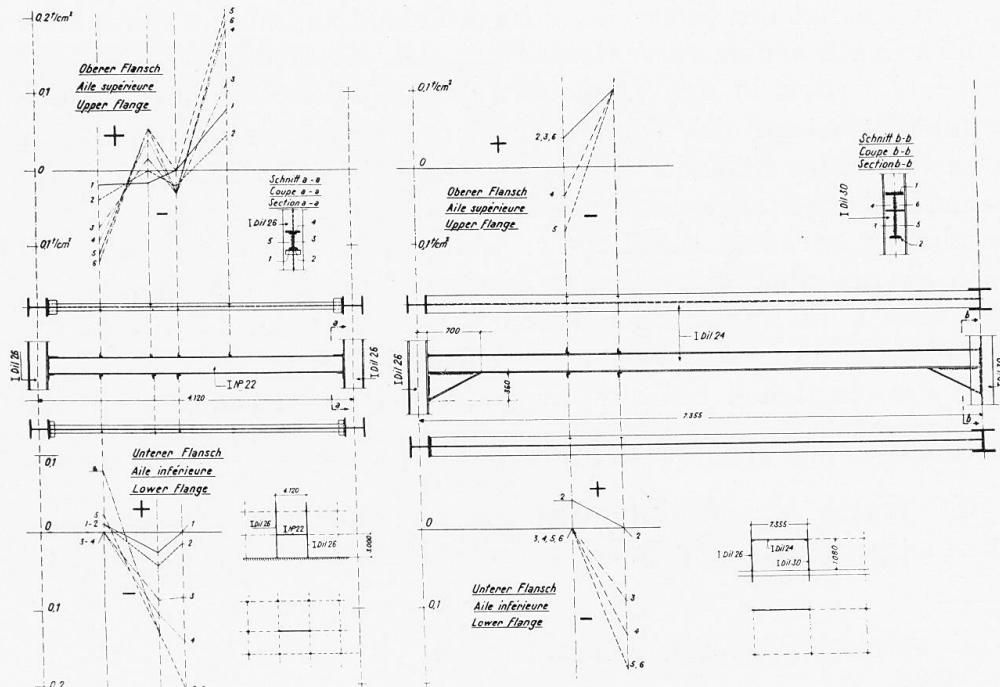


Fig. 40.

de l'assemblage a été admise plus faible que celle de la poutrelle pour faire porter à coup sûr la rupture sur la soudure elle-même. On a utilisé des électrodes enrobées Exotherm SCW accusant une résistance à la rupture de 5, 0 t/cm² et un allongement de 24 %.

Le résultat de ces essais a justifié la méthode de Kommerell. On obtient la contrainte dans la soudure par la formule :

$$\sigma_s = \sqrt{\left(\frac{M}{W_s}\right)^2 + \left(\frac{Q}{F_s}\right)^2}$$

F_s = section de la soudure,

W_s = moment résistant de la soudure,

La contrainte admissible dans la soudure est $\sigma_{adm.} \leq 0,5$, $\sigma_{adm.}$, donc la moitié de celle du métal de base. Le calcul d'après Rosenthal, qui admet la même sécurité pour l'assemblage et pour la poutrelle, ne nous semble pas assez sûr d'après les essais effectués.

Calcul des tensions de retrait dues aux influences thermiques. Essais sur deux nœuds de cadre avec et sans console, Les poutrelles étaient déjà soudées d'un côté ; au moyen de tensomètres on a mesuré les tensions pendant la soudure des cordons 1-6 de l'autre côté. La grandeur des tensions de retrait varie de 0,18 t/cm² à 0,20 t/cm², soit env. 14 % des contraintes admissibles dans le métal de base. Pour obtenir des résultats plus précis, il faudra faire des essais détaillés.

D. EFSTRATIADIS,

Chef du Service des Ponts aux Chemins de Fer Pirée-Athènes-Péloponèse, Athènes.

Ich möchte Ihre Aufmerksamkeit auf einen Punkt der dargelegten Berechnungsart betreffend das Schweißen im Brückenbau unter wechselnder Belastung lenken. Nach der im Bericht des Herrn Dr. Kommerell erwähnten Berechnungsart¹, die auch in den Deutschen Vorschriften² enthalten, ist im Falle wechselnder Belastung eine Verminderung der höchsten zulässigen Spannungen relativ zu den unter ruhender Belastung bezeichneten zulässigen Spannungen vorgesehen. Welches aber die Funktion dieser Verminderung ist, geht aus dieser Berechnungsart nicht klar hervor. Wir werden versuchen, diese Funktion graphisch darzustellen. Sie führt zu Ergebnissen, die die Wirtschaftlichkeit des Schweißens in ungünstiger Weise beeinflussen können, ohne dass wissenschaftliche Gründe dies verlangen würden.

Um die verschiedenen Fälle wechselnder Belastung zum Ausdruck zu bringen, betrachten wir das Verhältnis $\frac{\min S}{\max S}$ (bezw. $\frac{\min M}{\max M}$), wobei die S (bezw. M) Werte als absolute Größen angenommen werden sollen. Das Verhältnis ist positiv bzw. negativ, wenn es sich um eine wechselnde Belastung

1. Siehe « Vorbericht » III-2, 6./Seite 322 u. 323.

2. Din. 4100.

im gleichen bzw. im entgegengesetzten Sinne handelt. Die Schwankung dieses Verhältnisses zwischen + 1,0 und — 1,0 umfasst sämtliche Fälle der wechselnden Belastung von dem äussersten Fall der ruhenden Belastung ($\frac{\min S}{\max S} = + 1$), bis zum Falle der Ursprungsfestigkeit ($\frac{\min S}{\max S} = 0$) und von diesem bis zum äussersten Fall der Schwingfestigkeit ($\frac{\min S}{\max S} = - 1$).

Wir ordnen nun einem jeden Wert des Verhältnisses $\frac{\min S}{\max S}$ den entsprechenden Wert der höchst zulässigen Spannung bei, oder allgemein, den Wert des Verhältnisses der höchst zulässigen Spannung unter wechselnder Belastung zu einer solchen unter ruhender Belastung, die als Grundlage angenommen wird. Dies liefert uns ein Diagramm, das den Verlauf der Aenderung der zulässigen Spannungen im Bereich der wechselnden Belastung zum Ausdruck bringt. Ein solches Diagramm hat den Vorzug von den Spannungswerten (verschieden je nach dem Werkstoff) unabhängig zu sein und folglich, auch für verschiedene Materialien einen leichten Vergleich des Spannungsänderungsgesetzes zu ermöglichen.

Nach der in dem Referat erwähnten Berechnungsart, mittels der Formel (6')

$$\sigma_{zul} = \frac{\max S + \frac{1}{2}(\max S - \min S)}{F_{schw}}$$

tritt die höchst zulässige Spannung in jedem Falle nicht sofort in Erscheinung, kann aber mittelbar errechnet werden durch geeignete Umformung und ist :

$$\sigma_{D,zul} = \frac{\max S}{F_{schw}} = \frac{\sigma_{zul}}{1 + \frac{1}{2}\left(1 - \frac{\min S}{\max S}\right)}$$

Das zur Bildung des obigen Diagrammes gesuchte Verhältnis k wird also in diesem Falle

$$k_A = \frac{\sigma_{D,zul}}{\sigma_{zul}} = \frac{1}{1 + \frac{1}{2}\left(1 - \frac{\min S}{\max S}\right)}$$

sein. Die Aenderung seiner Werte (schwankend zwischen 1 und 0,50) erscheint auf der Abbildung (Linie A). In derselben Abbildung erscheinen zum Vergleich die Werte ähnlicher Koeffizienten k_B für den gewöhnlichen Baustahl, ebenfalls nach den Deutschen Brückenvorschriften¹ bestimmt, d. h.

$$k_B = \frac{\sigma_{D,zul}}{\sigma_{zul}} = \frac{1}{1 + 0,3 \frac{\min S}{\max S}}$$

wobei $\frac{\min S}{\max S}$ nur zwischen 0 und — 1 schwankt. In der gleichen Abbildung

1. Be 1925, DIN 1073.

erscheint ferner die Zone C-C, welche Koeffizienten k_c gleicher Natur umfasst, die sich aus Ergebnissen von Versuchen von Smith und Moore, die von Graf² erwähnt werden, für verschiedene Stahlsorten ergeben.

Aus dem Diagramm ist ersichtlich, dass die Kurven der zulässigen Spannungen der Schweißnähte bei wechselnder Belastung verschiedenen Verlauf nehmen, ganz unbedacht der bedeutenden Verminderung, die in der Schweißnaht für die Schwingungsfestigkeit angenommen wird. Die Verminderung ist im Bereich gleichartiger Belastungen grösser (Kurve A nach oben konkav), während für den Baustahl im Gegenteil die Verminderung in dem Bereich der ungleichartigen Belastungen beschleunigt wird. Daraus entsteht ein beträcht-

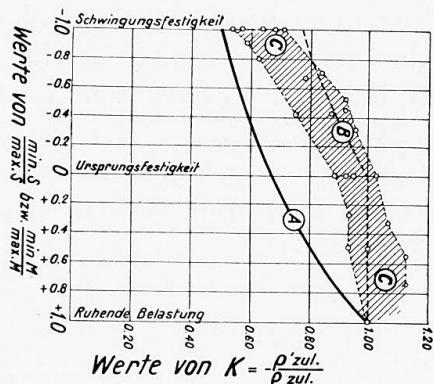


FIG. 1.

Résistance aux efforts alternés = Schwingungsfestigkeit
= Vibration strength

Résistance aux efforts répétés non alternés = Ursprungsfestigkeit = Resistance to repeated non alternating stresses.

Charge fixe = Ruhende Belastung = Dead load.

$$\text{Valeurs de } K = \frac{\rho'_{\text{adm}}}{\rho_{\text{adm}}} = \text{Werte von } K = \frac{\rho'_{\text{zul}}}{\rho_{\text{zul}}} =$$

$$\text{Value of } K = \frac{\rho'_{\text{permissible}}}{\rho_{\text{permissible}}}$$

licher Verlust in der Schweißung, insbesondere in den in der Mitte liegenden Wechselsfällen, welche auch die gewöhnlicheren sind.

Worauf stützt sich nun dieser ungünstige Umstand?

Es muss vorerst hervorgehoben werden, dass dieser mit dem Streben nach grösserer Sicherheit im Schweißen nichts zu tun hat, weil die grössere Sicherheit schon durch die geeignete Wahl des Wertes der als Grundlage angenommenen zulässigen Spannung ρ_{zul} erreicht und auf diese Weise in dem ganzen Bereich der wechselnden Belastung aufrecht erhalten wird. Dieser Umstand scheint keine wissenschaftlich begründete Erklärung zu finden. Alle Versuchs-Ergebnisse, nach dem Verhältnis $\left(\frac{\min S}{\max S} \right)$ eingeordnet, beweisen, dass der Verlauf der kritischen Spannungen in dem Bereich der wechselnden Belastung eine nach oben gebogene Kurve ergeben (wie in Abb. die Zone c-c). Der Verlauf der zulässigen Spannungen muss also dem gleichen Gesetz folgen, damit eine ungerechtfertigte Schwankung des Sicherheitsgrades von Fall zu Fall vermieden wird. Wir vertreten natürlich nicht die Ansicht, dass der Verlauf der Änderung der zulässigen Spannungen der Schweißnähte genau mit dem des Baustahles zusammenfallen soll, wir sehen aber keinen Grund, der den Verlauf der Kurve in umgekehrter Richtung rechtfertigen würde. Das ist einfach die Folge des Mechanismus der erwähnten Berechnungsart und ist auf den Umstand zurückzuführen, dass man nicht versucht hat, das Gesetz der

4. O. GRAF, Die Dauerfestigkeit der Werkstoffe und der Konstruktionselemente, Berlin, 1929, Seite 18, 19, 21. Obige Werte von k_c sind lediglich zur allgemeinen Orientierung festgesetzt worden und zwar durch Bestimmungen des Verhältnisses (Arbeitsfestigkeit) (Streckgrenze). Siehe auch « Abhandlungen » der I. V. B. H., 1. Band S. 104.

Aenderung der zulässigen Spannungen zu ergründen und festzustellen, sondern eine mittelbare Lösung vorgezogen hat, nämlich durch die Feststellung einer ideellen Vergrösserung der Belastung, aus welcher sich das Aenderungsgesetz der zulässigen Spannungen ergibt.

Wir sind der Meinung, dass die Berechnungsart in dem Falle der wechselnden Belastung mehr der Wirklichkeit angepasst werden sollte und zwar so :

1) Auf Grund entsprechender Versuche soll eine empirische Linie der kritischen Spannungen bestimmt werden (in Abhängigkeit von $\frac{\min S}{\max S}$). Wir glauben, dass wir bereits zu diesem Zwecke über ausreichende Kenntnisse verfügen.

2) Es sollen daraus die Koeffizienten k für jeden Fall des Verhältnisses $\frac{\min S}{\max S}$ festgesetzt werden, d. h. für Schweißnähte :

$$k = \frac{\sigma_{D \text{ zul}}}{\sigma_{zul}} = \frac{\sigma_{D \text{ krit}}}{\sigma_{krit}}$$

3) Es sollte für die Berechnung die allgemeine, der Wirklichkeit entsprechende und einfache Formel

$$\frac{\max S}{F_{schw.}} \leq k \sigma_{zul} \text{ oder } \frac{\max S}{k \cdot F_{schw.}} \leq \sigma_{zul}$$

eingeführt werden.

Durch diese Formel wird gewiss wiederum eine ideelle Vergrösserung der Belastung (oder Verminderung der Querschnitte) erfolgen, mit dem Unterschied freilich, dass diese Vergrösserung nicht willkürlich gewählt wird, wie in der erwähnten Berechnungsart, sondern dass sie sich aus dem Gesetz der Aenderung der zulässigen Spannungen ergibt, welches auf Grund der Ergebnisse von Versuchen bestimmt werden wird, und folglich in jedem Falle des Wechsels die gleiche Sicherheit wird bieten können.

Wir sind der Meinung, dass, solange die Laboratoriumserfahrung uns die Kenntnis der tatsächlichen Spannungen gibt, wir es vermeiden sollten, indirekte Berechnungsarten zu benutzen, die weder einfacher sind, noch sich der Wirtschaftlichkeit dienlich erweisen.

Traduction.

Je désirerais attirer l'attention sur une question que pose le mode de calcul proposé, en ce qui concerne l'emploi de la soudure dans la construction des ponts, lorsqu'il s'agit de charges variables. Suivant le mode de calcul signalé par M. le Dr Kommerell dans son rapport¹, mode de calcul figurant également dans les Règlements Allemands², et dans le cas d'une charge variable, il est prévu une réduction des contraintes admissibles maxima par rapport aux contraintes admissibles envisagées dans le cas d'une charge de valeur constante. Toutefois, le rôle que l'on assigne à cette réduction ne résulte pas nettement de ce mode de calcul prévu. Nous nous proposons d'interpréter ce

1. Voir Publication Préliminaire, III, 2, 6, pages 334 à 336.

2. DIN 4100.

rôle graphiquement. La réduction prévue conduit à des résultats qui peuvent en effet influencer d'une manière défavorable l'économie de la soudure, sans toutefois qu'elle paraisse nettement justifiée du point de vue scientifique.

Afin de pouvoir traduire les différentes formes sous lesquelles se présentent les charges variables, nous avons pris en considération le rapport $\frac{\min S}{\max S}$ ou $\frac{\min M}{\max M}$ dans lequel la valeur S ou M doit être considérée comme représentant une valeur absolue. Le rapport est donc positif ou négatif suivant que la charge considérée, variable, conserve toujours le même sens ou change de sens. Le champ de variation de ce rapport, entre $+1$ et -1 englobe tous les cas auxquels peut se rattacher la charge variable, depuis le cas limite de la charge fixe, représenté par $\frac{\min S}{\max S} = +1$ jusqu'au cas limite opposé, correspondant aux oscillations complètes et représenté par $\frac{\min S}{\max S} = -1$ en passant par le cas intermédiaire représenté par $\frac{\min S}{\max S} = 0$.

Rapportons maintenant à chacune des valeurs du rapport ci-dessus la valeur correspondante de la contrainte admissible maximum ou, d'une manière plus générale, la valeur du rapport entre la contrainte admissible maximum sous charge variable et la contrainte sous charge fixe, en considérant cette dernière comme base de comparaison. Nous pouvons en déduire un diagramme exprimant la variation que subissent les contraintes admissibles dans le domaine correspondant aux charges variables. Un diagramme de cette nature présente cet avantage qu'il est indépendant des valeurs des contraintes elles-mêmes (ces dernières étant différentes suivant le matériau considéré) ; par suite, même pour des matériaux différents, il sera possible d'établir une comparaison facile sur l'allure des variations de ces contraintes.

Suivant le mode de calcul exposé dans le rapport et qui fait appel à la formule (6') :

$$\rho_{\text{adm.}} = \frac{\max S + \frac{1}{2}(\max S - \min S)}{F_{\text{schw}}}$$

la contrainte maximum admissible n'est pas en évidence au premier abord pour chaque cas particulier ; on peut toutefois la déterminer indirectement, grâce à une transformation appropriée et l'on obtient :

$$\rho_{D \text{ adm.}} = \frac{\max S}{F_{\text{schw}}} = \frac{\rho_{\text{dam}}}{1 + \frac{1}{2}\left(1 - \frac{\min S}{\max S}\right)}$$

Le rapport k , dont l'étude permet d'établir le diagramme ci-dessus, devient dans ce cas :

$$k_A = \frac{\rho_{D \text{ adm.}}}{\rho_{\text{adm.}}} = \frac{1}{1 + \frac{1}{2}\left(1 - \frac{\min S}{\max S}\right)}$$

On trouvera sur la courbe A de la figure 1 la représentation des variations de sa valeur, entre 1 et 0,50. Sur la même figure, on a porté, à titre de comparaison, les valeurs du coefficient semblable k_B pour l'acier de construction ordinaire, également déterminé d'après les Prescriptions Allemandes concernant la construction des Ponts¹, soit :

$$k_B = \frac{\sigma_{D \text{ adm}}}{\sigma_{\text{adm}}} = \frac{1}{1 + 0,3 \frac{\min S}{\max S}}$$

expression dans laquelle $\frac{\min S}{\max S}$ ne varie qu'entre 0 et —1.

Enfin, sur la même figure, est mise en évidence la zone C-C, qui englobe les coefficients de même nature k_c que l'on déduit des résultats fournis par les essais de Smith et Moore, pour différentes sortes d'acières et qui ont été signalés par Graf².

Ce diagramme permet de constater que les courbes représentant les contraintes admissibles maxima pour les cordons de soudure accusent des parcours différents, dans le cas des charges variables, ceci tout à fait indépendamment d'ailleurs de la réduction importante qui est admise dans le cordon de soudure pour la résistance aux oscillations. La réduction est plus importante dans la zone des charges de même nature (courbe A concave vers le haut), tandis que pour l'acier de construction, par contre, la réduction est plus accusée dans la zone des charges de nature différente. Il en résulte une mauvaise utilisation notable, en ce qui concerne la soudure, cela tout particulièrement pour les cas de charges alternatives du milieu, qui sont d'ailleurs les plus courants.

Quelle est donc la cause de cette circonstance défavorable ?

Il importe tout d'abord de remarquer qu'elle n'a rien à voir avec les efforts qui sont faits en vue d'augmenter la sécurité en matière de soudure. On obtient en effet une sécurité qui est déjà supérieure en choisissant judicieusement la valeur de la contrainte admissible σ_{zul} qui sert de base, de sorte que cette sécurité élevée puisse être maintenue dans tous les cas des charges variables. Le fait en question ne semble avoir aucune justification du point de vue scientifique. Tous les résultats expérimentaux rapportés au rapport $\frac{\min S}{\max S}$ montrent que l'allure de la variation des contraintes critiques dans la zone correspondant aux charges variables conduit à une courbe incurvée vers le haut (de même que la zone C-C dans la figure). La variation des efforts admissibles doit donc suivre la même loi, faute de quoi on aboutirait à une variation injustifiée du coefficient de sécurité d'un cas à l'autre. Nous ne soutenons naturellement pas ce point de vue suivant lequel l'allure de la variation des contraintes admis-

1. Berechnungsgrundlage für eiserne Eisenbahnbrücken, 1925, DIN 1073.

2. O. GRAF, Die Dauerfestigkeit der Werkstoffe und der Konstruktionselemente, Berlin, 1929, pages 18, 19, 21. Les valeurs de k_c ci-dessus ont été déterminées uniquement à titre d'indication générale, d'après le rapport : $\frac{\text{Contrainte critique}}{\text{Limite d'écoulement}}$. Voir également les Mémoires de l'Association Internationale des Ponts et Charpentes, 1^{er} volume, p. 104.

sibles pour les cordons de soudure doit suivre rigoureusement celle qui se rapporte à l'acier de construction ; cependant, nous ne voyons aucune raison susceptible de justifier une variation en sens inverse. Il y a là purement et simplement une conséquence du mécanisme inhérent au mode de calcul indiqué, conséquence qu'il faut attribuer à ce fait que l'on n'a pas cherché à étudier et à déterminer la loi de variation des contraintes admissibles ; on s'est plutôt arrêté à une solution indirecte, en particulier en procédant par majoration théorique de la charge, de laquelle on déduit alors cette loi de variation des efforts admissibles.

Nous sommes d'avis que dans le cas d'une charge variable, le mode de calcul devrait être plus conforme à la réalité, c.-à-d.

1) Il conviendrait, sur la base d'essais correspondants, de déterminer une courbe empirique des contraintes critiques (en fonction de $\frac{\min S}{\max S}$). Nous estimons en effet que nos connaissances actuelles sont suffisantes pour le faire.

2) On en déduirait les coefficients k pour chacune des valeurs du rapport $\frac{\min S}{\max S}$ c'est-à-dire pour les cordons de soudure.

$$k = \frac{\rho_{D \text{ adm}}}{\rho_{adm}} = \frac{\rho_{D \text{ crit}}}{\rho_{crit}}$$

3) Il conviendrait d'adopter pour le calcul la formule générale simple et correspondant à la réalité :

$$\frac{\max S}{F_{schw}} \leq k \cdot \rho_{adm} \text{ ou } \frac{\max S}{k \cdot F_{schw}} \leq \rho_{adm}$$

En employant cette formule, on introduirait certainement une majoration théorique de la charge (ou une réduction de la section), avec toutefois cette différence que cette majoration ne serait pas choisie arbitrairement, ainsi que c'est le cas dans le mode de calcul présenté ; au contraire, cette majoration de la charge résulterait de la loi de variation des contraintes admissibles, déterminée elle-même à partir des résultats expérimentaux ; on arriverait ainsi, pour chaque cas de variation de la charge, au même degré de sécurité.

A notre avis, et pour autant que les recherches expérimentales de laboratoire sont susceptibles de nous fixer sur les contraintes critiques effectives, il conviendrait d'éviter l'emploi de méthodes indirectes de calcul, qui ne simplifient nullement les choses et qui ne conduisent pas à des résultats plus économiques.

c) Contrôle des soudures.

*Prüfung der Schweissnähte.**Testing of Welded Joints.*

Dr. Ing. e. h. H. SCHMUCKLER,
Beratender Ingenieur, Berlin.

Prüfung der Schweissverbindungen am fertigen Stück.

Prof. Godard erwähnt in seinem Referat als Prüfmethoden nur die durch Röntgenstrahlen und das Verfahren von Roux mit Hilfe von Eisenfeilspänen und einem zweiarmigen Elektromagneten.

Das letztere Verfahren hat sich im Stahlbau nicht eingeführt; im Kesselbau wird es mit mehr oder weniger Erfolg zur Vorprüfung benutzt.

Auch die Röntgenprüfung hat für den Stahlbau bisher nur geringe Bedeutung gewonnen. In erster Linie wegen der hohen Anschaffungs- und Betriebskosten,

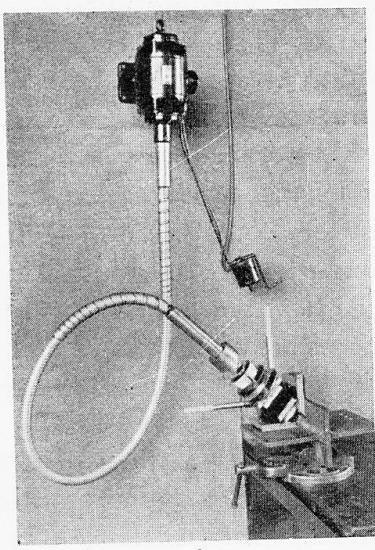


Fig. 1. — Appareil pour le contrôle des cordons de soudure.
Prüfgerät für Schweissnähte. (D. R. P. a., Auslandspatente.)
Apparatus for testing welded joints.

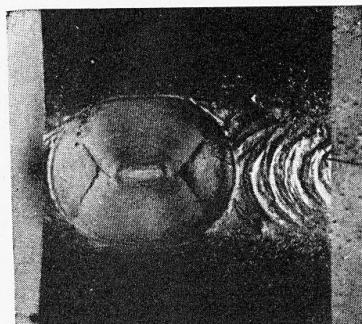


Fig. 2. — Cordon de soudure fraisé et soumis à l'attaque,
accusant de graves défauts de pénétration de la fusion.
Angefräste und geätzte Kehlnaht mit groben Einbrandfehlern.
Milled and etched fillet weld with bad penetration defects.

zum andern, weil es wegen der erforderlichen Vorkenntnisse nicht von jedem benutzt werden kann. Schliesslich auch, weil es die Einbrandfrage nicht klarlegt.

Die Frage des Einbrandes ist aber viel wichtiger als Poren und kleine Schlackeneinschlüsse, die für die Festigkeit der Verbindung geringere Bedeutung haben.

Das gleiche wie für die Röntgenprüfung gilt auch für die von Herrn Lebrun erwähnten Gammastrahlen.

Die Versuche mit dem Stethoskop, die in Amerika Erfolg gehabt haben sollen, führten in Deutschland zu keinem Ergebnis.

Auch das Preisausschreiben der Zeitler-Stiftung Berlin auf ein Prüfgerät, hat keine neue Lösung des Prüfproblems gebracht.

Im Gegensatz zu Herrn Kopeček möchte ich darauf hinweisen, dass der äussere Befund einer Naht nicht genügt und leicht zu falschen Schlüssen führt, z. B. dann, wenn eine äusserlich gut erscheinende Naht keine Bindung und keine Durchschweissung in der Nahtwurzel zeigt.

Mein einfaches Prüfverfahren mit Anfrägung der Nähte und Aetzung der angefrästen Stellen, kann von jedem Ingenieur oder Meister zur Prüfung von Schweißnähten jeder Form angewendet werden. Hierzu dient der Spezialfrässapparat. (Abb. 1.)

Schon die Anfrägung an sich, die etwa 1/2 mm tief in den Mutterstoff eindringen soll, lässt die mehr oder weniger gute Bindung und die Durchschweissung in der Wurzel erkennen.

Ein deutlicheres Bild wird durch Aetzung mit einem makroskopischen Aetzmittel, z. B. Kupfer-Ammonium-Chlorid erreicht, da die verschiedene Färbung von Muttermaterial und Schweißstoff, die Verbindungsleitung zwischen beiden klar hervortreten lässt. (Abb. 2.)

Das Verfahren ist, wie fast alle Verfahren der Technik, ein Stichprobenverfahren. Es genügt aber in der Praxis vollkommen.

Der Hauptzweck einer Prüfung ist es nicht, Fehler am fertigen Stück zu suchen, sondern sie bei der Ausführung zu verhüten. Dies geschieht, indem die Schweißer durch Stichproben dauernd unter Kontrolle gehalten werden.

Als Beispiele hiefür verweise ich auf die Dauerkontrolle der Schweißer bei der Schlachthofbrücke in Dresden, durch Herrn Stadtamtsbaurat Dr. Reinhold, mit meinem Prüfgerät, wodurch eine vorzügliche Schweißarbeit erreicht wurde und von 200 Prüfstellen nur 3 kleine Fehler aufwiesen. (Dr. Reinhold, « Die Elektroschweissung » 1932.)

Eine Zerstörung oder unzulässige Schwächung stellen die Anfrägungen in keinem Falle dar ; sie sind bei der Schlachthofbrücke offen geblieben und können zum Zwecke dauernder Ueberwachung mit durchsichtigem Lack überzogen werden. Im übrigen macht die Zuschweissung keinerlei Schwierigkeiten. Das Verfahren ermöglicht auch eine bessere Ausbildung der Schweißer und auf Grund der durch die Anfrägungen gewonnenen Erkenntnisse, eine Verbesserung der Arbeitsmethoden.

Traduction.

Dans son rapport, le Professeur Godard ne signale, comme méthodes de contrôle, que la méthode d'observation au moyen des rayons X et le procédé de Roux, qui fait appel à un électro-aimant à deux bras et à la limaille de fer.

Cette dernière méthode n'a pas été adoptée en construction métallique ; dans la construction des chaudières, elle est utilisée avec plus ou moins de succès à titre de contrôle préliminaire.

Le contrôle par les rayons X lui-même n'a pris que peu d'extension dans le domaine de la construction métallique. Ceci est dû, tout d'abord, au prix élevé

des installations et aux frais d'exploitation également élevés, puis au fait qu'il ne peut pas être utilisé par quiconque ne possède pas les connaissances préalables nécessaires. Enfin, il ne permet pas d'obtenir des renseignements précis en ce qui concerne la question de la pénétration de la fusion.

Cette dernière question est cependant beaucoup plus importante que celle des porosités et des petites inclusions de scories, qui ne présentent qu'une influence faible sur la résistance des assemblages.

Ce que nous venons de remarquer au sujet de la méthode d'examen par les rayons X s'applique également à l'examen par les rayons γ , signalée par M. Lebrun.

Les essais au stéthoscope, qui paraissent avoir eu quelque succès en Amérique, n'ont abouti en Allemagne à aucun résultat satisfaisant.

La mise au concours d'un appareil de contrôle, par les soins de la fondation Zeitler, à Berlin, n'a pas permis non plus d'apporter une solution neuve à ce problème du contrôle.

Contrairement à ce que pense M. Kopeček, je ne suis pas d'avis que l'aspect extérieur d'un cordon de soudure soit suffisant ; j'estime au contraire qu'il peut conduire à des conclusions erronées ; c'est le cas, par exemple, lorsqu'une soudure ayant un bon aspect extérieur ne présente pas un bon accrochage à la racine.

Ma méthode d'essai, d'ailleurs simple et qui consiste à fraiser les cordons et à faire une attaque à l'endroit du fraisage, peut être employée par tout ingénieur ou tout contremaître pour le contrôle des cordons de soudure de toute nature. On emploie à cet effet un appareil de fraisage spécial (figure 1).

Le fraisage, qui doit pénétrer dans le métal de base sur environ 1/2 mm, doit déjà par lui-même permettre de se rendre compte du plus ou moins bon accrochage dans la racine de la soudure.

On obtient enfin une indication sûre par attaque avec un réactif d'examen macroscopique, par exemple le chlorure de cuivre ammoniacal, car on peut ainsi mettre en évidence des teintes différentes caractérisant le métal de base, le métal d'apport et la zone d'accrochage entre les deux (figure 2).

Comme dans presque tous les procédés employés dans la pratique, il s'agit évidemment là d'un essai localisé. Il est toutefois parfaitement suffisant en pratique.

Le but principal d'un contrôle n'est pas de déterminer les défauts sur les pièces une fois terminées, mais surtout de permettre de les éviter en cours de fabrication. Ceci sera réalisé en soumettant le travail des soudeurs à un contrôle permanent pendant toute la durée de leur travail.

A titre d'exemple, je signalerai le contrôle permanent des soudeurs au cours de la construction du pont des Abattoirs de Dresde, contrôle qui a été effectué par le Dr Reinhold, Conseiller de la ville en matière de construction, au moyen de mon appareil ; on a pu obtenir ainsi un travail remarquable, dans lequel, sur 200 essais, on n'a constaté que 3 défauts de peu d'importance (Dr Reinhold, « Die Elektroschweissung », 1932).

Le fraisage ne provoque en aucun cas une destruction des pièces, pas plus qu'un affaiblissement inadmissible. Sur le pont de Dresde, les endroits fraisés n'ont pas été rebouchés ; pour permettre un contrôle permanent, on peut d'ailleurs les recouvrir d'un vernis transparent. Par ailleurs, le bouchage à la sou-

dure ne fait aucune difficulté. Le procédé permet également de pousser davantage la formation des soudeurs eux-mêmes et, grâce aux connaissances qu'il permet d'acquérir, d'améliorer également les méthodes de travail.

M. LEBRUN,
Administrateur-Délégué de la Société Secrom, Paris.

La question de l'examen interne des métaux sera toujours une des préoccupations majeures des constructeurs employant, soit de l'acier moulé, soit des pièces soudées, tant que l'on n'aura pas trouvé le moyen d'éviter les soufflures dans l'acier moulé, et tant que l'on ne sera pas sûr d'avoir des soudures absolument saines, exemptes de collages ou de porosités.

Le perfectionnement constant de la technique en matière de soudure autogène a donné de sérieux apaisements quant à la valeur de ce procédé d'assemblage

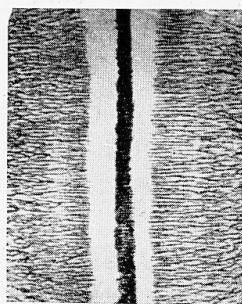


Fig. 1.

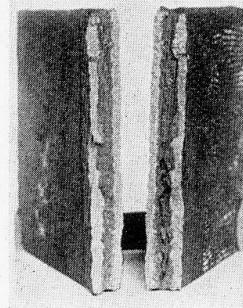


Fig. 2.

des métaux, mais l'acier moulé est resté sujet à caution. Des moyens de contrôle sont donc toujours nécessaires, ne serait-ce que pour ce métal.

Nous rappellerons brièvement ceux qui sont déjà en usage avant d'en arriver à la description d'une nouvelle méthode qui utilise le radium ou ses émanations.

Examen magnétographique.

L'examen magnétographique, imaginé il y a quelques années par M. Roux, Chef du Laboratoire de la Société « La Soudure Autogène Française », et Chef des Travaux pratiques à l'École Centrale des Arts et Manufactures, n'a encore reçu qu'assez peu d'applications.

Il consiste essentiellement à placer la pièce à essayer sur un électro-aimant. La pièce est ensuite saupoudrée de limaille de fer, et l'on arrive ainsi à déceler facilement certains défauts du métal.

La méthode de M. Roux n'est pas applicable à des pièces de très forte masse, tout au moins quand on utilise des électro-aimants facilement transportables. Telle qu'elle est, elle pourrait cependant rendre de très bons services pour la formation des soudeurs.

Ceux-ci ont tendance à croire que leur travail ne peut être contrôlé qu'en

cassant des éprouvettes dont ils soignent l'exécution d'une façon toute spéciale.

Il conviendrait peut-être qu'on les détrompât en leur enseignant l'existence d'essais « non destructifs » que l'on peut faire, non seulement sur des éprouvettes, mais aussi sur des pièces destinées à servir.

L'efficacité de la méthode magnétographique peut être mise particulièrement en valeur par l'examen d'une soudure double, c'est-à-dire exécutée sur un chanfrein en X.

La soudure a été mal faite intentionnellement. Elle n'intéresse pas toute l'épaisseur du métal, mais son aspect extérieur est parfait.

Soumettons-la à l'action de la limaille de fer. Nous voyons immédiatement apparaître au milieu de la soudure une ligne noire qui caractérise un grave défaut.

En cassant l'éprouvette, on vérifie que la partie centrale de la pièce n'a pas été soudée.

Il n'était pas besoin d'une rupture pour s'en convaincre. La limaille avait indiqué d'une façon précise l'étendue de la malfaçon.

D'autres exemples n'ajouteraient rien à la valeur d'une méthode de contrôle, que nous nous bornons simplement à rappeler à l'attention des techniciens.

Examen du métal au moyen des rayons X.

L'emploi des rayons X est antérieur à celui du spectre magnétique. Mais l'appareillage relativement compliqué qu'il exige, et l'impossibilité où l'on se trouve de le déplacer, en ont limité les applications.

En outre, les rayons X ont mauvaise réputation. L'exemple de nombreux radiologues qui ont dû subir amputations sur amputations n'est pas fait pour développer l'enthousiasme en faveur de cette méthode de contrôle.

Elle a, cependant, donné des précisions intéressantes sur certains défauts des soudures ou des pièces d'acier moulé, mais son application est limitée pratiquement à des pièces de 100 mm. d'épaisseur. Encore faut-il, pour arriver à les traverser, pouvoir disposer d'appareils extrêmement puissants.

Il est nécessaire pour ces fortes masses d'avoir des tubes de Coolidge à 200.000 volts et même davantage.

La longueur d'onde des rayons X est fonction inverse de la différence de potentiel aux bornes du tube de Coolidge. Elle varie, pour les applications industrielles, entre $1/1.000.000$ et $1/10.000.000$ de mm.

La perméabilité des métaux aux rayons X dépend de leur poids atomique et de leur épaisseur.

Il n'est, cependant, pas possible de fixer des limites de temps absolument précises pour l'examen d'un métal de densité et d'épaisseur connues. Le défaut que l'on cherche peut être plus ou moins accentué, et par suite faire augmenter ou diminuer la durée de la pose.

Il y a encore d'autres variables, comme la qualité des plaques photographiques destinées à enregistrer ce défaut, et dont l'influence est capitale.

Nous avons cherché à résumer entre deux courbes des résultats d'expériences.

L'examen d'une tôle de 10 mm. peut durer de 1 à 2', celui d'une tôle de 40 mm. de 30 à 120'.

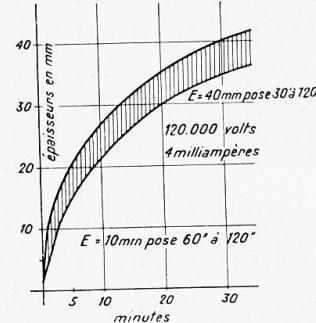


Fig. 3.

Ces courbes correspondent à un courant de 4 milliampères sous 120.000 volts.

L'augmentation de la tension diminue la longueur des ondes et la durée d'examen des pièces à contrôler.

Des essais entrepris dans un laboratoire américain, dont nous allons parler, ont montré qu'avec 200.000 volts au lieu de 120.000, il suffisait de 40" pour traverser 60 mm. d'acier. Mais, quelle que soit la tension adoptée, l'examen des pièces épaisses reste très difficile, car nos deux courbes tendent à devenir parallèles à la ligne des abscisses.

Même avec 200.000 volts, il faut 20 heures pour examiner une pièce de 100 mm d'épaisseur.

Examen au moyen du radium et des rayons Gamma.

Les difficultés pratiques résultant de temps d'exposition aussi longs pour les tôles épaisses et l'impossibilité où l'on se trouve de déplacer les appareils de contrôle, ont conduit le Capitaine de Vaisseau Oberlin, de la Marine Américaine, à faire entreprendre dans le Naval Research Laboratory, des essais d'examen des métaux au moyen des rayons Gamma, émanés du radium.

Ces essais ont été conduits par M. Mehl, Directeur de la Section de Physique de ce laboratoire, assisté par MM. Barrett et Doan.

On pourrait croire, en lisant la relation qui en a été faite dans le « Journal of the American Society on Naval Engineers », que l'emploi des rayons Gamma en métallurgie était, jusqu'ici, entièrement inconnu. Il n'en est rien. M^{me} Curie en avait déjà parlé, et avait même réalisé des expériences intéressantes. Le mérite des Américains est, cependant, réel. Il consiste surtout à avoir réalisé des choses pratiques, et établi des chiffres précis pour l'examen des métaux en fonction de leur épaisseur et de la distance de la source des rayons Gamma à la pièce à examiner.

Il nous a été tout particulièrement agréable de retrouver le nom du Capitaine de Vaisseau Oberlin dans cette affaire. Cet officier est d'origine alsacienne, M^{me} Oberlin est française, et nous n'avons eu qu'à nous louer de leur accueil lorsque nous avons visité, il y a près de deux ans, le chantier naval de Newport-News, où le Capitaine de Vaisseau Oberlin remplissait les fonctions d'Inspecteur des Machines.

Physique du radium.

Tous les éléments radioactifs, parmi lesquels le radium est le plus connu, présentent la caractéristique suivante :

Ils subissent une décomposition atomique et se transforment en d'autres éléments, dont les propriétés physiques et chimiques sont différentes.

Durant le passage d'élément à élément, des rayons divers sont émis, parmi lesquels on trouve les rayons Gamma qui ne diffèrent des rayons lumineux ordinaires ou des rayons X que par une longueur d'onde extrêmement courte et de l'ordre de 0,008 angström. Ils sont beaucoup plus courts que les radiations extrêmes du rayonnement X, réalisés industriellement, qui atteignent 1 angström (1/10.000.000 de mm.).

On a, cependant, construit des ampoules à 400.000 volts, dans lesquelles la

longueur d'onde des rayons X, si elle n'atteint pas encore celle des rayons Gamma, tend cependant à s'en rapprocher.

Cette émission de rayons Gamma s'effectue d'après le cycle suivant :

Le radium se transforme d'abord en une émission appelée radon, en émettant des rayons α constitués par des atomes d'hélium à charge positive double, se déplaçant très rapidement.

Le radon se transforme à son tour en radium B, puis en radium C, en émettant des rayons β et des rayons γ , les rayons β étant composés d'électrons très rapides.

Les rayons α et β sont inutilisables au point de vue radiographique et dangereux physiologiquement. On peut, heureusement, s'en préserver sans difficultés.

La vie du radium est presque illimitée, puisqu'au bout de 1600 ans le radium n'a perdu que la moitié de sa force d'émission en rayons α , β et γ .

Il n'en est pas de même du radon, pour lequel cette force d'émission a diminué de moitié en 4 jours environ.

On ne peut pas indiquer un temps total pour la conservation du radium ou de ses dérivés, car le décroissement de puissance s'effectue d'une façon logarithmique.

Quand le radium lui-même est utilisé comme source de rayons Gamma, il est enfermé dans des capsules en forme d'aiguilles, et l'on utilise un sel de radium, généralement le sulfate insoluble.

Le radon est un gaz se dégageant du radium. Quand on désire le préparer, le radium mère est mis sous forme de sel soluble dans une solution aqueuse. Le récipient contenant cette solution est relié au moyen de tubes à un dispositif de pompage et d'emmagasinement.

Chaque gramme de radium fournit de 150 à 180 millicuries par jour, suivant l'efficacité du pompage.

Le millicurie est la force d'émanation d'un milligramme de radium, duquel on n'a extrait aucune émanation.

L'opération de pompage ne présente aucune difficulté.

Quand l'émanation de radium a été extraite du radium, ce dernier est privé de son activité en rayons Gamma jusqu'au moment où il libère spontanément une nouvelle émanation.

En d'autres termes, la radioactivité du radium est transférée aux séries de capsules dans lesquelles on renferme le radon.

Le volume occupé par l'émanation de radium est très petit. Mille millicuries occupent seulement $0,6 \text{ mm}^3$. Le gaz peut donc être contenu dans des capsules très petites, ce qui est avantageux pour la radiographie.

Le radium et le radon émettant tous deux les rayons Gamma dont nous allons avoir besoin, quelle source d'émission convient-il de choisir ?

Si l'on dispose d'une certaine quantité de radium, la production journalière de radon sera suffisante pour tous les travaux à exécuter.

Si, au contraire, on ne dispose que d'une petite quantité de radium, $1/4$ de gramme par exemple, on ne pourrait en extraire chaque jour que 45 millicuries, ce qui limiterait par trop les dimensions des pièces à examiner, comme le montre le tableau suivant :

Milligrammes de radium ou millicuries nécessaires pour l'examen d'une pièce en fonction de la distance de la source de rayons Gamma à la pièce.

Épaisseur à examiner	Distance en mm.							
	300		450		600		750	
	Ra m/mgr.	Radon millicuries	Ra m/mgr.	Radon millicuries	Ra m/mgr.	Radon millicuries	Ra m/mgr.	Radon millicuries
25	5,3	5,6	12,0	12,7	21,3	22,5	33,3	35,2
50	12,6	13,3	28,3	29,9	50,3	53,1	78,6	83
75	29,3	31,0	66,0	69,7	117,3	123,8	183,3	193,6
100	63,0	66,6	141,6	149,6	251,6	265,8	393,4	415,3
125	132,5	140,0	298,2	315,0	530,0	560,0	828,4	873,0
150	296,5	313,0	666,6	704,0	1185	1252	1852	1956

Temps d'exposition : 15 heures.

Le temps de pose est constant dans notre tableau, seule la quantité de radium en milligrammes, ou de radon en millicuries, a varié suivant l'épaisseur et suivant la distance de la source de rayons gamma à la pièce à examiner.

A puissance égale, il faudrait 45 fois plus de temps pour inspecter, avec les rayons gamma, une pièce de 150 mm qu'une pièce de 75 mm d'épaisseur.

Dans les mêmes conditions, dans le cas des rayons X, ce temps de pose serait 5.000 fois plus élevé pour 150 mm que pour 75 mm.

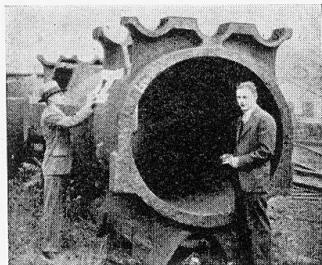


Fig. 4.

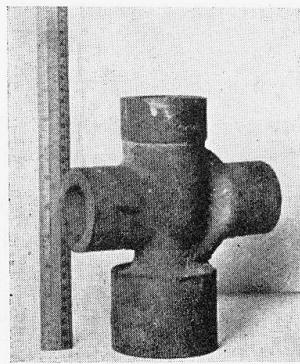


Fig. 5.

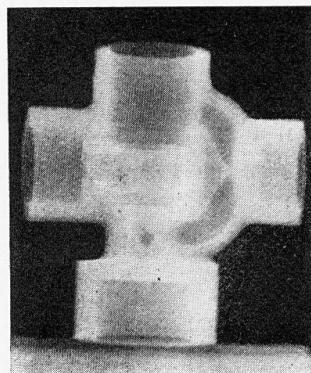


Fig. 6.

Exécution des radiographies.

Le radium ou le radon peuvent être indifféremment employés, comme nous venons de le dire. Le choix dépend uniquement de la quantité de radium dont on dispose.

Quand on se sert de radon, il est enfermé dans une capsule ayant les dimensions d'une cartouche de calibre 22. Dans le but d'absorber les rayons α et β , dangereux physiologiquement, et sans utilité pour la radiographie, la capsule est enfermée dans une enveloppe de cuivre, d'argent ou de platine, ces

métaux empêchant le passage des rayons nocifs, tout en laissant passer les rayons Gamma.

L'avantage d'une aussi petite source d'émission de rayons Gamma n'a pas besoin d'être expliqué.

Les photographies peuvent être faites en plaçant la capsule à l'intérieur d'une pièce.

L'émission des rayons Gamma étant sphérique, on peut aussi faire plusieurs photographies à la fois.

Sur la photographie qui représente une coulisse de canon en acier moulé

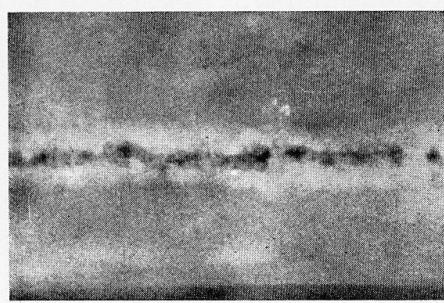


Fig. 7.

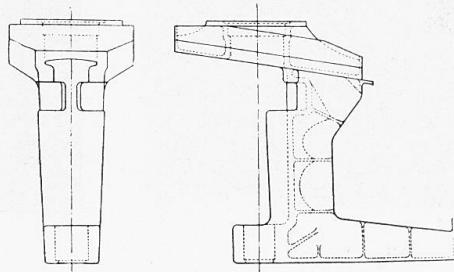


Fig. 8.

d'une épaisseur de 100 mm, on a pu impressionner 50 films d'un seul coup. Les images obtenues sont parfaitement nettes.

Voici maintenant une pièce de 250 mm de hauteur, avant et après radiographies.

Puis une soudure de 25 mm.

La soudure est poreuse, et tous ses défauts sont mis en évidence.

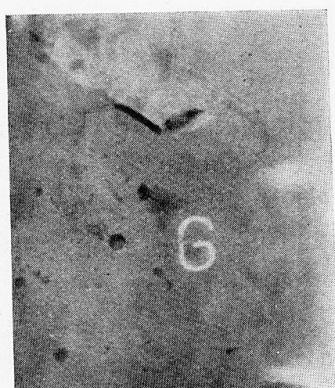


Fig. 9.



Fig. 10.



Fig. 11.

Le travail le plus intéressant qui ait été fait sous la direction du Capitaine de Vaisseau Oberlin est l'inspection de l'étambot en acier moulé du croiseur « CHESTER ». Cette pièce pesait 9 tonnes. Elle avait la forme de la figure 8. Des défauts s'étant révélés, on les avait réparés par soudure, mais un doute restait sur la qualité générale de la pièce.

Une inspection au moyen des rayons Gamma fut décidée et réalisée au moment du passage du « CHESTER » en cale sèche à Norfolk.

Nous donnons quelques-unes des 24 photographies qui ont été prises à ce moment-là et qui ont amené l'Amirauté Américaine au remplacement de la pièce.

Les photographies n°s 10 et 11 sont continues, la même crique s'y retrouve. Elle avait une longueur totale de 500 mm. Les points noirs correspondent à des soufflures. Les sections examinées avaient 37,5 mm. d'épaisseur.

La figure 12 correspond à la radiographie de la figure 9. Elle représente la

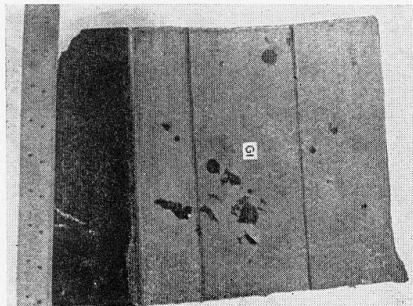


Fig. 12.

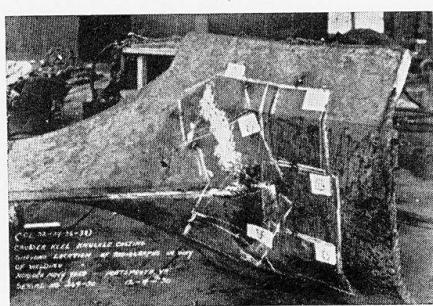


Fig. 13.

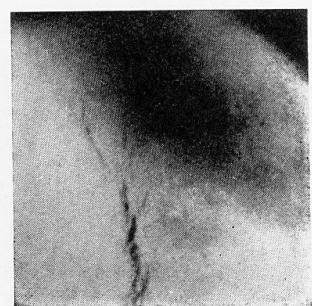


Fig. 14.

pièce coupée et confirme toutes les indications données par les rayons Gamma.

Les rayons Gamma furent également appliqués sur le même croiseur à l'examen d'une pièce de quille.

L'épaisseur de cette pièce variait de 62,5 mm. à 175 mm. La radiographie a été prise à l'endroit le plus épais. Elle indique la présence d'une crique très importante.

D'autres exemples n'ajouteraient rien à cet exposé.

H. MICHEL,

Directeur de la Soudure Électrique Autogène S. A. Arcos, Bruxelles.

La sécurité d'une construction soudée dépend en première ligne de la qualité des soudures et celle-ci, à son tour, dépend de nombreux facteurs.

Un certain nombre de ces facteurs peuvent être mesurés mathématiquement ; d'autres, au contraire, sont du domaine psychologique. Ce serait donc une erreur que de vouloir contrôler les soudures par une épreuve unique.

L'objet de la présente étude est d'établir une séparation entre les deux ordres de facteurs et de préciser pour chacun d'eux une méthode de contrôle indépendante.

Tout autre procédé empêche de déterminer l'origine d'un défaut éventuel.

1) Éléments dont les caractéristiques peuvent être déterminées mathématiquement.

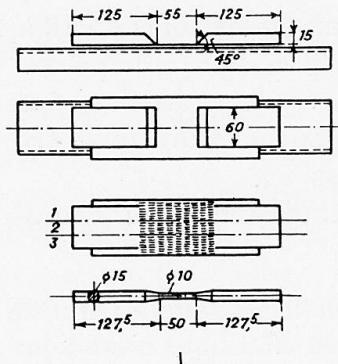
On peut déterminer par des moyens scientifiques et avec une grande précision, les caractéristiques propres des matériaux mis en œuvre, c'est-à-dire des soudures.

Remarque : Le matériau que nous avons à considérer n'est pas l'électrode, mais la soudure obtenue au moyen de cette électrode ; or, pour passer de l'électrode à la soudure, il faut faire intervenir l'ouvrier, c'est-à-dire, un élément dont les variations ne sont pas mathématiquement mesurables. Il en résulte que pour connaître vraiment les caractéristiques d'une soudure, il faut faire exécuter celle-ci par le meilleur soudeur possible et dans les meilleures conditions possibles sans aucune considération relative à la pratique industrielle. On obtiendra de la sorte la meilleure soudure possible, c'est-à-dire, un maximum maximorum, donnant véritablement les caractéristiques de la soudure dans les meilleures conditions possibles. Les ouvriers chargés de faire des éprouvettes seront des spécialistes. L'éprouvette ainsi obtenue sera une éprouvette de Laboratoire.

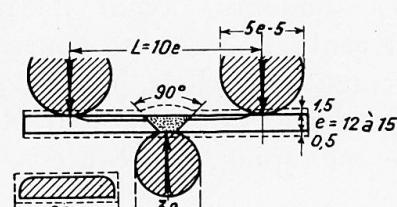
On procédera donc sur les électrodes à une épreuve d'agrément donnant les caractéristiques propres de la soudure obtenue dans les meilleures conditions.

1. Essai de traction :

La résistance à la traction doit se mesurer sur une éprouvette entièrement



1



2

Fig. 1.

Éprouvette de traction, type Arcos, avec prise d'allongement dans le métal de soudure.

Zug-Versuchskörper, Typus Arcos, Messung der Dehnung im Schweißgut.

Tensile piece, Arcos type ; measurement of elongation in the weld metal.

Fig. 2.

Éprouvette de pliage = Biegungs-Versuchskörper = Bending-test piece.

en métal déposé exécutée suivant le croquis ci-contre. La charge de rupture devra être comprise entre 45 et 52 kg/mm².

L'allongement entre les repères écartés de 50 mm. ne sera pas inférieur à 22 %.

Le produit AR ne sera pas inférieur à 1.000.

2. Essai de résilience :

On peut aisément réserver dans l'éprouvette ci-dessus une éprouvette de résilience qui, avec l'entaille Charpy doit donner au moins 7 kgm/cm².

2) Éléments dont les caractéristiques ne peuvent pas être déterminées mathématiquement :

Mise en œuvre :

Si les essais répondent aux prescriptions ci-dessus, les électrodes destinées au travail seront agréées et pourront être mises en œuvre. Il y aura lieu, à ce

moment, de procéder à une série d'essais pour contrôler les capacités des soudeurs.

Ges épreuves n'auront point pour but d'établir les caractéristiques mécaniques des électrodes, mais seulement de préciser dans quelle mesure les capacités des soudeurs s'approchent du maximum.

A cet effet, le soudeur démonstrateur exécutera une éprouvette de flexion suivant la fig. 2, en ayant soin d'utiliser des tôles d'acier à chaudière, de bonne qualité.

La pièce sera pliée sur un manchon cylindrique jusqu'à ce que les deux branches du pli soient parallèles.

Le diamètre du mandrin sera déterminé par l'expérience du soudeur-démonstrateur, selon la sévérité que l'on veut imposer à l'essai, mais toujours de manière à faire le pliage à 180° . Cet angle est, en effet, facilement mesurable. Il n'est d'ailleurs pas nécessaire de l'observer avec une précision mathématique attendu qu'il est démontré qu'à partir de 120° ce n'est plus la soudure mais seulement la tôle qui subit l'allongement.

Pratiquement, pour la construction en acier doux et des tôles de 10 à 15 mm., le diamètre du mandrin peut être égal à 2 fois l'épaisseur de la pièce.

Tous les soudeurs, avant d'être agréés, devront pouvoir répéter cette épreuve. Éventuellement, on pourrait admettre pour eux un diamètre de mandrin légèrement supérieur, soit $2\frac{1}{2}$ fois l'épaisseur.

L'épreuve susmentionnée peut être répétée inopinément au cours des travaux : elle est rapide, peu coûteuse et pratique.

Remarque : Nous insistons sur la nécessité d'usiner les soudures avant de faire cet essai de pliage. Nous rappelons, une fois de plus, qu'en effet nous n'essayons pas dans cette épreuve les caractéristiques des soudures, mais uniquement les capacités des ouvriers. En conséquence, il faut éliminer tous les éléments de variabilité dans les soudures, c'est-à-dire, les ramener à une épaisseur et à une surface uniformes.

Contrôle de l'exécution.

Tant qu'il n'existe pas d'appareil capable d'indiquer mathématiquement si une soudure est bonne ou mauvaise, il faut se garder d'employer, comme méthode de contrôle, un procédé dont les résultats ne seraient pas péremptoires. On pourrait, en effet, être entraîné ainsi à des conclusions tout à fait fallacieuses. A l'heure actuelle, le seul procédé efficace, justifié par dix ans de pratique, consiste à faire peser lourdement la responsabilité sur le constructeur. En conséquence, il faut tenir un journal de soudage, dans lequel on enregistrera systématiquement, les conditions d'exécution de chaque filet (date, nom du soudeur, électrodes et courant employé, observations diverses et toutes les conditions qui pourraient avoir une influence sur la soudure).

Outre que ce journal peut éventuellement servir à retrouver l'origine d'un défaut, il a sur l'ouvrier un effet moral très appréciable.

Le journal de soudage oblige en outre l'entrepreneur à faire un plan d'exécution très soigné en indiquant chaque soudure, son numéro d'ordre et ses dimensions. De cette manière, on astreint le personnel du bureau de calcul et de dessin à travailler avec précision et méticuleusement ; c'est encore une garantie de bonne exécution.

Résumé.

Les méthodes d'agrération pour les matériaux de soudure et pour leur mise en œuvre doivent être distinctes.

Pour les matériaux, on procédera à des essais mécaniques sur des soudures exécutées dans les meilleures conditions possibles, par le meilleur soudeur possible, de manière à préciser les meilleurs résultats mécaniques auxquels on peut arriver avec les électrodes considérées. Nous recommandons l'essai de traction avec prise d'allongement et éventuellement l'essai de résilience.

Pour les soudeurs, on procédera à de simples essais de pliage, sur des soudures ramenées à une forme et à des dimensions absolument précises, de manière à éliminer toute variable indépendante du soudeur.

Un journal de soudage sera tenu au cours des opérations.

Toute épreuve dans laquelle interviendraient simultanément l'habileté professionnelle, la forme, le volume et la disposition des soudures, ne convient pas à l'agrération d'un procédé.

Zusammenfassung.

Die Methoden zur Genehmigung der Schweißmaterialien und zur Verwendung derselben, müssen unterschieden werden.

Für die Materialien wird man zu mechanischen Versuchen an Schweißungen schreiten, die vom besten Schweißer und unter den denkbar besten Bedingungen ausgeführt wurden, um so die besten Ergebnisse, zu denen man mit betrachteten Elektroden gelangen kann, genau angeben zu können. Wir empfehlen den Zugversuch mit Messung der Dehnung und unter Umständen die Kerbschlagprobe.

Für die Schweißer wird man mit gewöhnlichen Biegeproben auf Schweißungen von absolut präziser Form und Abmessungen verfahren, um so jeden vom Schweißer unabhängigen Einfluss auszuschalten.

Während der Dauer der Arbeiten ist ein Schweiß-Protokoll zu führen.

Versuche, in denen gleichzeitig die handwerkliche Geschicklichkeit, die Form, das Volumen und die Anordnung der Schweißungen von Einfluss sind, eignen sich nicht für die Zulassung eines Verfahrens.

Summary.

The methods adopted for accepting welding materials and for using them must be distinguished.

For the materials, mechanical tests will be made on welds executed under the best possible conditions and by the best possible welder, so as to find the best possible results attainable with the electrodes under consideration. The tensile test with measurement of the elongation is recommended and possibly also the impact test.

For the welders, simple bending tests are made on welds of exactly defined shape and dimensions, so as to eliminate every factor not depending on the welder.

During the course of the operations, a continuous record of the welding is to be kept.

Tests which may be influenced by the skill of the welder, or by the shape, volume, and arrangement of the welds, are not suitable for investigating the possibility of accepting a method of welding.

d) Organisation des travaux de recherches.

Organisation der Forschungsarbeit.

Organisation of Research Work.

Dr. Ing. St. BRYLA,
Professeur à l'École Polytechnique, Lwów.

En 1930, j'ai exécuté plusieurs séries d'essais avec des assemblages soudés et rivés soumis à une charge préliminaire. Les éprouvettes rivées furent introduites dans des appareils d'essai, puis renforcées par soudure au laboratoire (fig. 1). La charge préliminaire fut appliquée de telle manière, que les tensions dans les rivets étaient à peu près égales aux tensions admissibles.

En ce qui concerne les résultats, on peut dire qu'il n'y avait qu'une petite différence entre les éprouvettes ordinaires (O) et les éprouvettes admettant une charge préliminaire (P). Toutefois elle existait.

Les éprouvettes P ont donné des résultats qui surpassaient les résultats obtenus avec des éprouvettes O, quoique la différence ne dépassait pas, en moyenne, 5 à 10 %. Néanmoins, dans certains cas, cette différence atteignait 20 %; dans d'autres cas elle n'existe pas; enfin, dans quelques cas exceptionnels, les résultats fournis par les éprouvettes P étaient inférieurs.

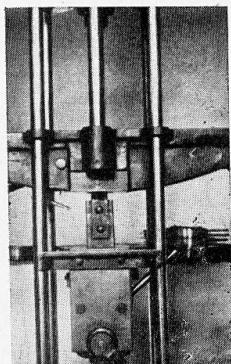


Fig. 1.

P. STURZENEGGER,

Direktor der Eisenbaugesellschaft Zürich.

Die Diskussion lässt erkennen, dass eine Reihe von Fragen des Schweißens im Stahlbau noch weiterer Versuche und theoretischer Verfolgung bedarf. Es ist zu prüfen, ob der bedeutsame Vorzug der Nietverbindung mit dem plastischen Verhalten des Baustahles bei örtlicher Ueberanstrengung auch für die Schweißverbindung gilt. Der Abklärung bedürfen: die Spannungsverteilung in der Schweißraupe in deren Querschnitt, wie die Kraftaufnahme in deren Länge, Form und Stärke der Schweißnaht, Bezugsgrösse der Berechnung von Kehlnähten mit Winkelot oder Kathete des Schweißdreiecks, Fe-

stigkeit der Stumpf-, Stirn- und Flankenschweissung und deren Kombinationen bei statischer wie dynamischer Einwirkung, Dauerfestigkeit bei Wechselbeanspruchung, Werkstoffänderung in der Einschmelzzone mit der allfälligen Forderung lokaler Verstärkungen des Grundmaterials im Bereich derselben. Analoge Schwächungen des Grundmaterials wie bei Nietverbindungen müssen vermieden werden, soll die Schweissverbindung eines ihrer Hauptvorteile in Richtung der Wirtschaftlichkeit nicht verlustig gehen.

In der konstruktiven Durchführung ist in Anpassung an die Festigkeitsgesetze der Schweißtechnik eine planmässige Verfolgung der Grundelemente zu treffen. Ferner sind Leitsätze über das Vorgehen in der Erstellung der Schweissverbindung zur Erzielung geringster Schrumpfspannungen aus thermischen Einflüssen aufzustellen. Durch Versuche sind die Fragen der Latschenverstärkung bei Kopfplatten und Stössen von Vollwandträgern, der Knotenbleche bei Fachwerkträgern zwecks Vermeidung von Spannungsanhäufungen, die Nachprüfung der Berechnung von Schweissanschlüssen von auf Biegung beanspruchten Konstruktionsverbindungen weiter abzuklären. Hinsichtlich der Erstellung der Schweissverbindung ist zu prüfen, ob Vorwärmnen vergünstigend auf die Schrumpfspannungen einwirkt. Die Abhängigkeit der Güte der Schweissverbindung von der fachgemässen und seriösen Leistung des Schweißers verlangt Richtlinien über die Ausbildung, Ueberwachung und Prüfung desselben. Für die Prüfung der Schweissnähte ist ein Verfahren zu suchen, das im Werk wie auf der Baustelle mit einfachen Mitteln ohne Zerstörung der Schweissnaht arbeitet. Abnahme, Prüfung und Normung für Berechnung und konstruktive Grundsätze bedürfen normalisierter Richtlinien und Vorschriften.

Von besonderer Bedeutung sind die Fragen des Zusammenwirkens von Niet- und Schweissverbindungen und des Schweissens von Baustahl verschiedener Spannungs-Dehnungs-Diagramme.

Erst die Erkenntnis aller dieser grundsätzlichen Probleme wird die volle wirtschaftliche Auswertung des Schweissverfahrens ermöglichen. Die praktische Anwendung der Schweissung ist der wissenschaftlichen und versuchstechnischen Ueberprüfung weit vorangeilt, nicht zum geringsten geleitet von der Freude des Ingenieurs am Gestalten der Werkstoffe.

Die internationale Vereinheitlichung der Anschauungen über Festigkeit, Berechnung, konstruktive Durchbildung und Fabrikationsvorgehen ist anzustreben. In der Gasschweissung ist ein weitgehender Zusammenschluss in einer internationalen Organisation mit Sitz in Paris getroffen. Einer solchen Führung bedarf meines Erachtens auch die Verfolgung der Probleme der Lichtbogen-schweissung. In einer Grosszahl von Ländern sind Fachausschüsse und Arbeitskommissionen mit der versuchstechnischen und wissenschaftlichen Prüfung der erwähnten Fragen beschäftigt. In der Schweiz verfolgt beispielsweise die Vereinigung der Materialprüfung der Technik die allgemeinen Schweissprobleme und eine Arbeitskommission des Schweiz. Ingenieur- und Architektenvereins befasst sich mit besonderen Fragen des Schweissens im Brückenbau und Hochbau.

Ich möchte anregen, dass wir eine Delegation innerhalb unserer Vereinigung schaffen, die als Spitzengruppe aus 1-2 Landesvertretern die Verbindung

unter den Ländern zum Austausch der Erfahrungen und der Arbeitsteilung in den zu verfolgenden Problemen übernimmt.

Traduction.

Une série de questions relatives à la soudure mérite d'être étudiée en théorie et en pratique. Par exemple : répartition des tensions et des forces dans le cordon de soudure, détermination de la dimension et la forme de la soudure pour les différents assemblages, influence d'une modification du matériel au voisinage de la soudure sur le calcul de l'assemblage, renforcement des pièces à souder dans cette zone. Il faut éviter les réductions de section comme l'exigent les constructions rivées, pour maintenir les avantages économiques de la soudure.

Tout en tenant compte de la résistance des soudures et de la manière de construire, il faudra prévoir des éléments de construction normalisés. L'étude de l'influence thermique est aussi très importante pour les sections composées et les assemblages de tôles. C'est au moyen d'essais que ces questions pourront être élucidées de la meilleure manière. Le calcul des assemblages dans les parties soumises à la flexion devra être vérifié en étudiant spécialement les tensions locales provenant d'une superposition des influences de forces et moments extérieurs. La qualité des assemblages dépend du travail du soudeur. Des bases pour la préparation et la surveillance des soudeurs seront utiles. Il faut aussi chercher à établir des appareils simples pour ausculter les soudures à l'usine et au chantier sans endommager le cordon.

Une autre question importante à résoudre au moyen d'essais est celle de l'action combinée des constructions rivées et soudées.

Seule la connaissance de toutes ces questions permettra une économie réelle à l'actif des constructions soudées. Les applications pratiques de la soudure ont devancé les recherches scientifiques et expérimentales.

Il faut arriver à une unification internationale des opinions concernant la résistance, le calcul, la disposition des constructions et les procédés de fabrication. Un organisme international dont le siège est à Paris, centralise les questions intéressant la soudure autogène. Il me semble qu'un organisme analogue devrait étudier le problème de la soudure à l'arc. Dans plusieurs pays des comités spéciaux et commissions de travail s'occupent des études scientifiques et expérimentales des questions mentionnées. En Suisse par exemple, l'Association d'Essai des matériaux étudie les problèmes généraux de la soudure et une commission de la Société Suisse des Ingénieurs et Architectes s'occupe des questions spéciales intéressant la soudure dans les ponts et charpentes métalliques.

Je propose de créer au sein de notre association une délégation d'un ou deux membres par pays. Ces délégués auraient l'occasion d'échanger leurs idées sur les expériences faites et de répartir le travail relatif aux problèmes à étudier.

III 3

L'APPLICATION DE LA SOUDURE AUX CONSTRUCTIONS MÉTALLIQUES
DIE PRAXIS DES SCHWEISSENS IM STAHLBAU
APPLICATION OF WELDING ON STEEL STRUCTURES

Ingénieur Leoš KOPEČEK,

Vice-directeur de la Société Anonyme des anciens Etablissements Skoda,
Plzeň (Č.S.R.).

Voir aussi « Publication Préliminaire », p. 343. — Siehe auch « Vorbericht », S. 343.
See also “ Preliminary Publication ”, p. 343.

Application de la soudure aux constructions métalliques.

En me référant au rapport publié, je ne ferai que mentionner quelques questions importantes pour le développement des constructions soudées :

1) Les bases de la résistance statique et dynamique.

En première ligne, c'est la durée de résistance dynamique qui est décisive pour la construction des ponts. Les recherches respectives, aux laboratoires, doivent être poursuivies sur une base aussi large que possible.

Les meilleures valeurs, soit au point de vue de la durée de résistance, soit au point de vue de l'allongement, ont été obtenues jusqu'à présent sous la protection des scories, c'est-à-dire avec des électrodes enrobées. Cependant, une préparation parfaite, spécialement dans le cas de la soudure en plusieurs couches, qui nécessite une élimination soignée des scories, est plus difficile et ne peut pas être surveillée d'une manière aussi facile que l'exige le travail d'usine.

Les électrodes fabriquées sur le principe d'un câble à âme spéciale occupent une place intermédiaire ; les résultats obtenus jusqu'à présent sont remarquablement satisfaisants.

2) Calcul et construction.

a) Calcul : En général, on doit adopter, pour le calcul des cordons, des méthodes aussi simples que possible. Les règlements allemands sur les charpentes soudées prescrivent les efforts admissibles d'une manière très simple, c'est-à-dire par un coefficient de diminution « α ». Cette conception est à recommander pour unifier les règlements officiels. Les soudures à entailles y sont traitées comme des soudures d'angle. Dans les normes tchécoslovaques, on a cependant considéré la soudure à entaille comme une soudure particulière qui doit être calculée au cisaillement dans le plan de la base ou dans le plan des deux flancs de l'entaille.

b) Construction : On a généralement adopté le principe consistant à utiliser des profilés d'une épaisseur assez grande pour éviter des assemblages d'attachments (semelles et tôles jusqu'à 50 mm. d'épaisseur).

Les poutres à âme pleine sont construites suivant deux dispositions :

- a) une âme pleine et deux fers larges,
 b) " " deux profilés en T.

La dernière disposition est surtout recommandée par les constructeurs allemands, qui ont un grand choix des profilés à larges ailes, qu'ils utilisent par division en deux. Dans d'autres pays, cependant, on construit plutôt d'après le procédé *a*).

3) Contrôle.

D'après les expériences faites jusqu'à maintenant, je suis d'avis que, dans les conditions normales, une auscultation visuelle satisfait les exigences pratiques. L'examen des cordons de soudure au point de vue de la bonne pénétration, la surveillance continue des soudeurs, et des épreuves régulières des soudeurs, doivent suffire à garantir la sécurité de travail exigée. Dans les cas douteux, le fraisage des cordons de soudure et l'essai à l'acide sont d'une grande valeur pour le constructeur.

4) Combinaison de la rivure et de la soudure.

La question de la résistance des assemblages mixtes n'étant pas encore éclaircie, on doit éviter ce mode d'assemblage en construction soudée. En cas de nécessité absolue, par ex. pour le renforcement des ponts, il faut faire supporter à la soudure la totalité de la charge roulante.

5) Économie des constructions soudées.

L'économie des constructions soudées résulte :

- a) de la simplification de la forme,
 - b) de la réduction du poids,
 - c) d'une méthode convenable de montage.

La question, si importante pour le développement des charpentes soudées, est traitée dans le rapport d'une manière assez détaillée. Il faut ajouter que, dans certains cas, le prix unitaire d'une construction soudée doit être égal ou inférieur à celui d'une construction rivée.

6) Organisation des travaux de recherches.

Sans doute, il est désirable de rationaliser des travaux de recherches. D'après mon avis, les problèmes les plus importants sont les suivants :

- 1) La durée de résistance des assemblages soudés,
 - 2) Le retrait des pièces assemblées pendant la soudure,
 - 3) La résistance des assemblages mixtes,
 - 4) Unification internationale : *a)* des principes de calcul,
b) des désignations des cordons dans les dessins.

Participants à la discussion*Diskussionsteilnehmer***Participants in the discussion:****L'ÉCONOMIE DE LA SOUDURE DANS LES CONSTRUCTIONS EN ACIER****WIRTSCHAFTLICHKEIT GESCHWEISSTER STAHLBAUTEN****ECONOMY OF WELDED STEEL STRUCTURES**

Dr. Ing. St. BRYLA,

Professeur à l'École Polytechnique, Lwów.

Il serait absolument illogique d'adopter la construction soudée, si elle n'était pas susceptible de permettre une économie remarquable par rapport à la construction rivée. Je voudrais citer à ce sujet des conclusions auxquelles j'ai été amené en me basant sur plusieurs constructions remarquables, que j'ai exécutées en Pologne.

Le prix de la construction métallique est composé des frais de matériel et des frais de main-d'œuvre.

En ce qui concerne le poids de l'acier, les constructions soudées sont notablement plus légères que les constructions rivées, non seulement à cause de la suppression des têtes des rivets et de la réduction des goussets des couvre-joints (plats et cornières), mais aussi à cause de la diminution du poids propre de la construction et de l'application de l'encastrement, ce qui donne de grandes économies. Par exemple, dans le bâtiment de 8 étages, à Katowice, l'économie due uniquement à l'application de l'encastrement des poutres dans la charpente a été de 8 % du poids général de la construction. Dans la construction des ponts de Lowicz, sur la rivière Sudwia, on a obtenu 12 % d'économie sur le poids du tablier du pont, grâce à la continuité des longerons (sur des appuis élastiques).

La suppression des têtes des rivets augmente aussi l'économie, dans une certaine proportion, étant donné que les cordons de soudure pèsent moins.

Le poids des cordons dans la construction soudée et rivée de la maison « Prudential » à Varsovie est de 0,5 % tandis que dans celle de la Caisse d'Épargne Postale à Varsovie entièrement soudée il est de moins de 0,8 %. Les cordons doivent peser, en général, de 15 à 30 % du poids des rivets.

On peut dire en général, qu'en appliquant la soudure on peut économiser de 10 à 30 % du poids de la construction. D'ailleurs, en Pologne, on a obtenu dans un cas tout à fait particulier presque 50 % d'économie. L'économie dans les poutres à âme pleine est de 10 % à 20 %, en moyenne de 15 %. L'économie dans les poutres en treillis est de 15 à 30 %, en moyenne de 20 %, l'économie dans les constructions en carcasse est de 15 à 25 %, en moyenne de 18 %.

En ce qui concerne les frais de main-d'œuvre en Pologne, jusqu'ici le prix

du kilogramme, en construction soudée, est d'environ 5 % plus cher que celui de la construction rivée; il y a quatre ans cette différence atteignait jusqu'à 25 %; il est probable que dans quelques mois les prix unitaires seront égaux.

Vu le poids moins grand du métal employé pour la construction soudée, j'en arrive à cette conclusion que l'application de la soudure dans les constructions donne, tout au moins chez nous, une économie de 10 à 20 % sur le prix général de la construction.

Il faut prendre en considération que pour le moment on a encore quelquefois intérêt à appliquer la soudure, dans les ateliers et l'assemblage rivé ou par boulons, au chantier.

Il faut toutefois regarder cette conception comme provisoire. Elle n'est recommandée que quand les usines, appréciant la valeur de la soudure, veulent utiliser leurs anciennes installations de rivetage. L'économie sur le poids est alors beaucoup moins grande.

Dans les constructions à ossature métallique, elle n'est que de 10 % tout au plus, c'est-à-dire $\frac{1}{2}$ à $\frac{1}{3}$ d'économie sur le poids que peut donner la construction uniquement soudée.

Dr. Ing. Albert DÖRNEN,
Dortmund-Derne.

Bezüglich der Wirtschaftlichkeit kann gesagt werden, dass bei den gezeigten geschweißten Brücken gegenüber dem Nieten im Endergebnis durchweg eine erhebliche Ersparnis hat erzielt werden können. Wenn der Einheitspreis geschweißt teilweise zunächst höher gewesen ist als genietet, so war die erzielte Gewichtsersparnis stets derartig, dass trotz des höheren Einheitspreises eine Verminderung der Gesamtkosten von mindestens 5-6 % hat erreicht werden können. Es gibt aber auch Konstruktionen, bei denen der Einheitspreis geschweißt nicht höher ist als genietet, z. B. bei den bekannten ein- oder zweistieligen Bahnsteigüberdachungen, wie sie in Deutschland vielfach gebaut werden. Bei diesen Ueberdachungen wird eine Gewichtsersparnis von 20 % erzielt, um die sich die Gesamtkosten durch das Schweißen senken. Sind bei solchen Ueberdachungen nur wenige Rahmen gleich, so bedeutet dies bei genieteter Ausführung eine ganz erhebliche Steigerung des Einheitspreises. Diese Steigerung ist in geschweißter Ausführung kleiner, so dass in solchen Fällen der Einheitspreis geschweißt sogar niedriger ist als genietet. Nun stehen wir aber bezüglich des Schweißens immerhin erst am Anfang der Entwicklung. Gesetzt den Fall, wir hätten bis jetzt unsere Stahlbauten geschweißt und sollten zum Nieten übergehen, so würden die genieteten Konstruktionen im Einheitspreis zunächst wesentlich teurer sein als die geschweißten. Es würde eine ganze Weile dauern, bis wir alle die Erfahrungen zusammengetragen hätten, mit denen wir heute so billig und zuverlässig nielen können. Wenn nun das Schweißen schon ohne weiteres grosse Gewichtsersparnisse möglich macht, so kann man nicht auch sofort verlangen, dass es von heute auf morgen auch bzgl. des Einheitspreises die grössten erzielbaren Vorteile

bringt. Ich darf auf zwei Punkte aufmerksam machen, wo man bzgl. der Senkung der Gesamtkosten Vorteile erzielen kann. Zunächst darf man nicht unter allen Umständen nur auf Gewichtsersparnis hinarbeiten und hierbei so viel Schweißnähte in Kauf nehmen, dass deren Kosten die Gewichtsersparnisse aufzehren. Ich denke dabei z. B. an Blechträger. Der wirtschaftlichste und zuverlässigste Blechträger besteht aus dem Stegblech und je einem Breiteisen als Gurtung, die über die ganze Länge in einer Stärke und ohne Stoss durchgehen. Man steckt allerdings dabei nicht ausgenutztes Material in die Gurtungen, hat aber am eigentlichen Träger nur insgesamt 4 Schweißnähte zu ziehen. Nach meinen Erfahrungen ist dies für Blechträgerbrücken bis rd. 21 m die zweckmässigste Ausführung. Sodann muss man sich nicht darauf versteifen, an einem geschweissten Bauwerk nun alles schweissen zu wollen. Mit einer Schraube und einem Niet erreicht man in manchen Fällen dasselbe wie mit langen Schweißnähten. Besonders soll man auf Niet- oder Schraubenverbindungen zurückgreifen, wenn man dadurch das Schweissen auf der Baustelle vermeiden kann. Ich kann mir die Ausführung grösserer Fachwerkbrücken sehr gut in der Weise denken, dass man die Längsträger, Querträger, und die Fachwerkstäbe als solche aus den Walzprofilen für sich zusammenschweisst und dass man die Verbindung derselben zur Brücke auf der Baustelle durchweg nietet. Die Schwächungen durch die Nietlöcher kann man durch aufgeschweißte Verstärkungen ausschalten, so dass man überall mit dem vollen Querschnitt rechnen kann.

Traduction.

Du point de vue économique, on peut dire que l'adoption de la soudure, pour la construction des ponts indiqués, a permis de réaliser, par rapport à la construction rivée, une économie notable. Si le prix de revient unitaire semble tout d'abord plus élevé qu'en construction rivée, il n'en est pas moins vrai que la soudure permet de réaliser une économie de poids de matière, de telle sorte qu'en définitive, malgré ce prix unitaire plus élevé, le prix d'ensemble est de 5 à 6 % inférieur au moins. Il existe toutefois des ouvrages dans lesquels le prix unitaire de la construction soudée n'est pas plus élevé que celui de la construction rivée, c'est ce qui se produit pour les quais de chemin de fer avec toiture à double ou à simple pente, tels qu'on les construit souvent en Allemagne. Dans ces couvertures, on réalise une économie de 20 % sur le poids, ce qui permet, grâce à la soudure, de réduire notablement les prix d'ensemble. Si, dans ces couvertures, il n'y a qu'un petit nombre de fermes qui soient semblables, le prix unitaire en construction rivée augmente considérablement. Par contre en construction soudée cette augmentation est notamment plus faible, de sorte que, en pareil cas, le prix unitaire de la construction soudée arrive même à être inférieur au prix de la construction rivée.

Nous ne sommes d'ailleurs encore qu'au début du développement de la soudure. Si nous avions tout d'abord soudé nos ouvrages et si nous nous trouvions amenés ensuite à les riveter, les prix que nous obtiendrions en construction rivée seraient tout d'abord sensiblement supérieurs à ceux de la construction

soudée. Il faudra encore compter un temps assez long avant que nous ne possédions, en soudure, l'expérience que nous avons acquise et les prix relatifs auxquels nous sommes arrivés avec le rivetage. La soudure permet déjà de réaliser une large économie de poids de matière ; nous ne pouvons pas lui demander, du jour au lendemain, de nous procurer des avantages aussi élevés que possible sous le rapport du prix unitaire.

J'attirerai l'attention sur deux points sur lesquels on peut réaliser des avantages en ce qui concerne la réduction du prix d'ensemble. Tout d'abord, il ne faut pas, dans tous les cas, chercher à réaliser *uniquement* une économie de poids, quitte à employer une proportion de cordons de soudure telle qu'elle réduise à néant l'économie de poids. Considérons l'exemple des tôles. La poutre en tôle la plus économique est constitué par une âme et deux fers plats allant chacun d'un bout à l'autre sans joint, en une seule pièce, avec la même épaisseur. On a évidemment dans les membrures des parties de métal qui ne sont pas intégralement utilisées ; par contre, il n'y aura à exécuter sur cette poutre que 4 cordons de soudure. D'après mon expérience, c'est là la solution la plus intéressante pour les ponts à poutres à âmes pleines allant jusqu'à une portée d'environ 21 mètres. Il ne faut pas non plus vouloir, dans une construction soudée, réaliser tous les assemblages systématiquement par soudure *exclusivement*. Dans de nombreux cas, un boulon, un rivet permettent d'obtenir le même résultat qu'une bonne longueur de cordon de soudure. En particulier il convient de recourir aux assemblages boulonnés ou rivés lorsqu'ils permettent d'éviter d'utiliser la soudure sur le chantier. Pour les ponts en treillis de grandes dimensions, je conçois fort bien la disposition suivante : exécuter les poutres longitudinales, les poutres transversales et les éléments du treillis indépendamment, à partir des profilés convenables, en les assemblant par soudure, puis réaliser le montage de ces différentes pièces elles-mêmes, sur le chantier, en adoptant le rivetage. L'affaiblissement qui résulte des trous des rivets peut être compensé par des renforcements réalisés en recharge à la soudure de telle sorte que l'on puisse compter partout sur la section pleine.

K. SIEMS,

Fabrikdirектор, Niesky O./L.

Wirtschaftlichkeit beim Schweißen.

Bei der Frage über die Wirtschaftlichkeit bei geschweißten Konstruktionen möchte ich nochmals auf die heute schon mehrmals erwähnte Schlachthofbrücke in Dresden hinweisen, bei der sich die Ausführung der geschweißten Konstruktionen wirtschaftlich sehr günstig ausgewirkt hat. Die Brücke war zunächst als Holzbrücke mit hölzernen Jochen geplant, weil die Baubehörde annahm, dass dieses die unbedingt billigste Lösung sei. Die Brücke ist alsdann nach dem Verwaltungsentwurf in Holz ausgeschrieben worden mit dem Anheimstellen, auch Sonderangebote in Beton und Eisen vorzulegen. Der von der Firma Christoph & Unmack gemachte Versuch, durch eine geschweißte Blechträger-

konstruktion mit der sonst allgemein billigeren Holzkonstruktion in Wettbewerb zu treten, hatte den Erfolg, dass das Angebot der geschweißten Blechträger das billigste war. Der Unterschied war sehr erheblich, während die Brücke in Holzkonstruktion etwa 450.000 Mark gekostet hätte, hat die Ausführung in Blechträgerkonstruktion mit daraufliegender durchgehender Eisenbetonfahr-

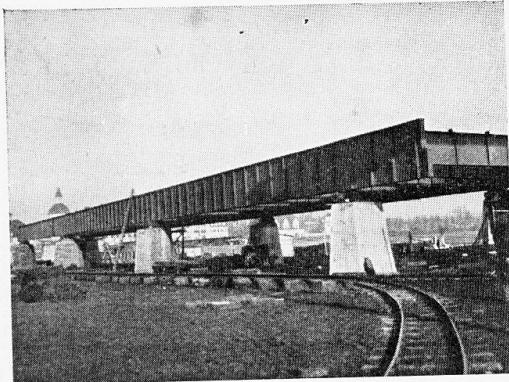


Fig. 1.

Fig. 1. — Vue partielle du pont des Abattoirs.

Teilansicht der Schlachthofbrücke.

View of part of the abattoir bridge.

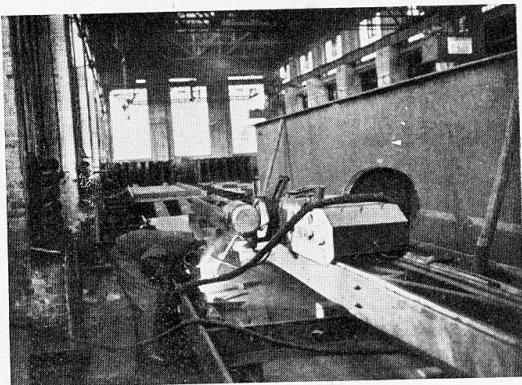


Fig. 2.

Fig. 2. — Soudure automatique transversale des pièces de renforcement.

Automat schweiss auch quer für Aussteifungen.

Automat also welds across for stiffenings.

bahnplatte und massiven Pfeilern nur etwa 400.000 mark gekostet. Es dürfte dies der erste Fall sein, dass eine eiserne Brücke mit Erfolg gegen eine hölzerne Brücke konkurrieren konnte. Dieser Erfolg ist hauptsächlich auf folgende Ursachen zurückzuführen :

1. Wurde die Konstruktion der stählernen Ueberbauten so durchgebildet, dass sich die Schweissnähte mit den geringsten Kosten ausführen liessen und dass das Gesamtgewicht der Konstruktion ein äusserst geringes wurde. Dies wurde dadurch erreicht, dass die Blechträger ohne Verwendung von Gurtwinkeln, nur aus Stehblech und verschiedenen starken Gurtlamellen zusammengeschweisst wurden. Auf diese Weise war eine erhebliche Gewichtersparnis möglich, denn eine Ausführung in genieteter Konstruktion wäre kaum billiger geworden als das billigste Angebot für eine hölzerne Brücke.

2. Der zweite Grund, der eine bedeutende Herabsetzung der Herstellungs kosten gestattete, ist der, dass bei der grössten Anzahl der Schweissnähte ein neuartiger Schweissautomat verwendet wurde, der von der A.E.G. Berlin erstmalig in dieser Ausführung geliefert ist. Mit diesem Automaten war es

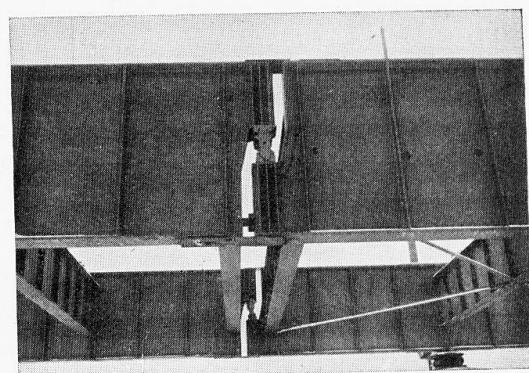


Fig. 3. — Articulation permettant un allongement de 150 mm. avec renforcement de la tôle d'âme = Bewegliches Gelenk für 150 mm Ausdehnung, Stehblech verstärkt = Movable joint allowing for 150 mm expansion; Strengthened web.

möglich, die Schweißnähte wesentlich billiger herzustellen als von Hand. Die von Hand hergestellten Schweißnähte kosten pro lfdm etwa das Vierfache der mit dem Automaten hergestellten Nähte. Für den Automaten wurden Seelenelektroden Böhler-Elite verwendet, und zwar verbraucht der Automat :

bei 4 mm starken Elektroden	210 Amp.
» 5 mm » » 250 Amp.	
» 6 mm » » 300 Amp.	

Die Schweißspannung betrug 18-20 Volt, der Elektrodenverbrauch in der Stunde 1,8-2,5 kg.

Traduction.

L'économie de la Soudure.

Au sujet du caractère d'économie que présentent les constructions soudées, je voudrais attirer l'attention, une fois de plus, sur la construction du pont des Abattoirs de Dresde, au cours de laquelle l'emploi de la soudure a mis en relief un caractère économique très net à l'avantage de ce procédé. On avait tout d'abord projeté la construction d'un pont de bois, sur pieux, les autorités compétentes estimant que c'était certainement là la solution la plus économique. Dans le projet administratif, le pont fut donc tout d'abord prévu comme pont en bois ; on laissait toutefois toute latitude aux constructeurs pour remettre des propositions concernant l'exécution en béton ou en métal. La firme Christoph et Unmack effectua donc des essais en vue de concurrencer la construction en bois, généralement moins chère, au moyen d'une disposition en tôle soudée ; ces essais eurent pour conséquence l'élaboration d'un projet de construction métallique, avec poutres en tôle, qui constitua l'offre la plus intéressante au point de vue du prix. La différence était très sensible ; le pont en bois aurait coûté environ 450.000 marks, l'exécution en poutres en tôles avec plafelage continu en béton armé et piles pleines ne coûtant que 400.000 marks environ. C'était ainsi la première fois qu'un pont métallique se trouvait soutenir avec succès la concurrence avec un pont en bois. Ce succès doit être attribué aux principales causes suivantes :

1. — La disposition de la superstructure métallique a été prévue de telle sorte que l'exécution des cordons de soudure puisse être effectuée avec un minimum de frais et que le poids d'ensemble de la construction soit aussi faible que possible. Cette condition a été réalisée grâce à l'adoption de poutres en tôle sans cornières de membrure, avec assemblages de semelles soudées de différentes épaisseurs. On a pu réaliser ainsi une économie de poids très importante. Par contre, l'adoption de la construction rivée aurait conduit à un prix à peine inférieur à celui de l'offre la plus intéressante pour construction en bois.

2. — La deuxième raison pour laquelle on a pu réaliser une notable réduction du prix est que, étant donné le nombre considérable de cordons de soudure à poser, on a adopté une nouvelle machine automatique, d'une conception réalisée pour la première fois par l'A.E.G. de Berlin. L'emploi de cette machine automatique a permis d'exécuter les cordons de soudure dans des conditions sensiblement plus économiques qu'à la main. Les cordons exécutés à la main

coûtent environ quatre fois plus cher que ceux qui sont posés à la machine automatique. On a employé des électrodes à âme spéciale Böhler-Elite ; la consommation de courant a été la suivante :

électrodes de 4 mm. de diamètre	210 Ampères ;
» 5 »	250 Ampères ;
» 6 »	300 Ampères ;

La tension employée est de 18 à 20 volts, la consommation en électrodes atteignant à l'heure 1,8 à 2,5 kg.

III 4

ACTION COMBINÉE D'ASSEMBLAGES RIVÉS ET SOUDÉS ZUSAMMENWIRKEN VON NIET- UND SCHWEISSVERBINDUNGEN COMBINATION OF RIVETED AND WELDED CONNECTIONS

H. DUSTIN,

Professeur à l'Université libre et Directeur du Laboratoire des matériaux,
Bruxelles.

Voir « Publication Préliminaire », p. 359. — Siehe « Vorbericht », S. 359. — See « Preliminary Publication », p. 359.

Participants à la discussion

Diskussionsteilnehmer

Participants in the discussion :

Dr. Ing. e. h. H. KAYSER,

Professor an der Technischen Hochschule, Darmstadt.

Meine bisherigen Veröffentlichungen über das Problem « Zusammenwirkung von Nietverbindung und Schweissnaht » haben in den beteiligten Fachkreisen erfreulicherweise Interesse gefunden, das sich in zustimmenden und abweichenden Stellungnahmen äusserte. Ich habe eindeutig darauf hingewiesen, dass die durchgeföhrten Versuche als Beitrag zur Lösung des Problems, nicht als die Lösung selbst aufzufassen sind. Andererseits lassen die Ergebnisse, die auch durch die Versuche von Prof. Dustin bestätigt werden, schon jetzt bestimmte Folgerungen zu, die ich nochmals in den Satz zusammenfassen möchte :

« Bei richtiger Anordnung nehmen Schweissnaht und Niete gemeinschaftlich an der Kraftübertragung teil ; dabei werden die Niete zu etwa 2/3 ihrer Tragfähigkeit, die Schweissnaht voll ausgenutzt. Als « richtige Anordnung » kommen im allgemeinen nur Flankennähte in Betracht, d. h. Anordnungen bei denen die Kraftlinie der Nietreihen die Schweissnähte nicht schneidet. Denn es ist einleuchtend, dass auf eine Mitwirkung der Niete in der kombi-

nierteren Verbindung nur dann zu rechnen ist, wenn der Anschluss so ausgebildet wird, dass die Nieten durch die elastische oder plastische Verformung der Bleche zur Mitwirkung gezwungen sind. (Abb. 1.)

In diesen Ueberlegungen glaube ich mit den Ausführungen von Professor Dustin vollkommen einig zu gehen. Die von ihm durchgeföhrten Versuche sind in ihrem Ergebnis so interessant und wertvoll, dass sie hohe Beachtung verdie-

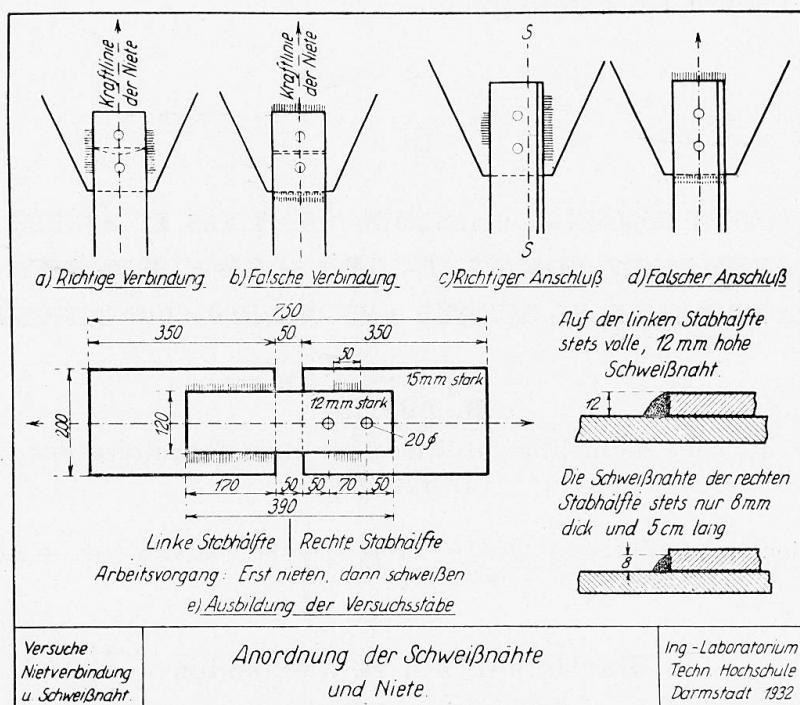


Fig. 1. — Disposition des cordons de soudure et des rivets
Anordnung der Schweißnähte und Niete = Arrangement of the welded joints and rivets.

Bon assemblage — Richtige Verbindung — Correct joint.

Mauvais assemblage — Falsche Verbindung — Incorrect joint.

Bon assemblage — Richtiger Anschluss — Correct connection.

Mauvais assemblage — Falscher Anschluss — Incorrect connection.

Ligne de force du rivelage — Kraftlinie der Niete — Line of action of the rivets.

... mm d'épaisseur — ... mm stark — ... mm thick.

Moitié de gauche — Linke Stabhälfte — Left half of piece.

Moitié de droite — Rechte Stabhälfte — Right half of piece.

Disposition des éprouvettes d'essai — Ausbildung der Versuchsstäbe — Form of the test piece.

Mode opératoire : rivet, puis souder — Arbeitsvorgang : erst nielen, dann schweissen — Prepared by first riveting and then welding.

Sur la moitié de gauche, cordon de soudure plein, de 12 mm. de hauteur — Auf der linken Stabhälfte stets volle, 12 mm hohe Schweißnaht — On the left half of the piece, always a full weld, 12 mm. high.

Sur la moitié de droite, cordons de soudure de 8 mm. d'épaisseur seulement et de 5 cm. de longueur — Die Schweißnähte der rechten Stabhälfte stets nur 8 mm dick und 5 cm lang — The welds on the right half of the piece always only 8 mm thick and 5 cm long.

nen. Sie bestätigen in vollem Umfange die von mir veröffentlichten Untersuchungen¹. Gerade die Feststellung, dass das Zusammenwirken von Nietverbindung und Schweißnaht innerhalb gewisser Grenzen eine Funktion der Laschenbreite ist, bestätigt meine theoretischen Annahmen, die sich in

1. KAYSER, Vers. über das Zusammenwirken von Nietverbindung und Schweißnaht. Stahlbau, 1930, Heft 13, desgl. Stahlbau 1931 Heft 11.

weitgehendem Massen auf die elastischen Formänderungen der Laschen und Bleche stützen.

Auch die ausserordentlich günstige Uebereinstimmung der einzelnen Versuchswerte Dustins mit den meinigen dürfte die Richtigkeit meiner Ansichten dartun. Die wesentliche Erhöhung der Festigkeit der kombinierten Verbindung gegenüber der nur geschweissten oder nur genieteten ist doch nicht zu leugnen. (Abb. 2.) Mit der von mir vorgeschlagenen Formel, bei der die Niete mit 2/3 ihrer Tragfähigkeit, die Schweissnähte als voll wirksam angesetzt

1 Gruppe Nr	2 Stab- bezeich- nung	3 Ausbildung der rechten Stabhälfte	4 Niet- quer- schnitt (cm ²)	5 Schweiß- quer- schnitt (cm ²)	6 Fließ- grenze σ_F (t)	7 Fließ- spannung σ_F (t/cm ²)	8 Bruch- grenze σ_B (t)	9 Bruch- spannung σ_B (t/cm ²)	10 Umgerechnete Bruchlast der Schweißnaht P_{BS} (t)	11 2/3 Niet- bruch- last (t)	12 Vorausberech- nete kombin. Bruchlast P_{BK} (t)
I	A_I		12,5	—	29,93	2,39	46,22	3,70	—	—	—
II	A_{II}		—	13,96	34,00	2,36	63,15	4,49	—	—	—
III	A_{III}		12,5	12,00	nicht feststellbar	79,28	—	1200-449-539	30,8	84,60	
IV	A_{IV}		—	12,03	38,27	3,20	49,23	4,11	—	—	—
V	A_I		12,5	12,53	62,66	—	88,46	—	12,03-4,11-4,95	30,8	80,20
VI	A_{II}		—	12,17	41,90	3,50	55,57	4,58	—	—	—
VII	A_{III}		12,5	12,60	51,90	—	81,40	—	12,6-4,58-5,77	30,8	88,50
Versuche Nietverbindung u. Schweißnaht		Versuchsergebnisse von Probestäben aus St. 37.						Ing.-Laboratorium Techn Hochschule Darmstadt 1930.			

Fig. 2. — Résultats des essais sur éprouvettes en acier St 37

= Versuchsergebnisse von Probestäben aus St 37 = Test results with test pieces of St. 37.

Groupe n° Désignation de l'éprouvette — Gruppe Nr Stabbezeichnung — Group No. Mark on test piece.
Disposition de la moitié de droite — Ausbildung der rechten Stabhälfte — Form of right half of piece.
Section de rivure — Nietquerschnitt — Riveted cross-section.
Section de soudure — Schweissquerschnitt — Welded cross-section.
Limite d'écoulement en t — Fliessgrenze — Yield point.
Contrainte d'écoulement en t/cm² — Fliessspannung — Yield stress.
Charge de rupture en t — Bruchgrenze — Breaking point.
Contrainte de rupture en t/cm² — Bruchspannung — Breaking stress.
Charge de rupture calculée pour le cordon de soudure en t — Umgerechnete Bruchlast der Schweissnaht
— Calculated breaking load of the welded joint.
2/3 de la charge de rupture des rivets en t — 2/3. Nietbruchlast — 2/3 rivet breaking load.
Charge de rupture combinée résultante en t — Vorausberechnete kombin. Bruchlast — Combined breaking load, calculated beforehand.

wurden, sollte das Problem in allen Einzelheiten noch nicht gelöst sein. Immerhin scheinen mir gerade die Ergebnisse von Professor Dustin zu beweisen, dass die Formel sehr wohl anwendbar ist. Denn wenn sich zwar Abweichungen bis zu 20% zwischen dem vorberechneten und gemessenen Wert ergeben, so ist doch mit grösster Betonung darauf hinzuweisen, dass die Abweichungen stets auf der sicheren Seite liegen und damit die Formel vom Standpunkt der Sicherheit sehr wohl vertretbar ist, auch wenn sich vielleicht auf Grund weiterer versuchstechnischer Ermittlungen noch Abänderungen ergeben sollten.

Welche Sicherheitsgrade bei Nieten, bei Schweissnähten und kombinierten Verbindungen vorhanden sind, zeigt die Abb. 3.

Wenn ich die Versuchsergebnisse Dustins nochmals zusammenfassend überblicken, kann ich nicht ganz verstehen, dass Prof. Dustin zu den Schlussfolgerungen seines Referates kommt, in denen er eine Vereinigung von Nie-

tung und Schweißung im allgemeinen als wenig zweckmässig erachtet. M. E. sind diese Versuchsergebnisse eine ausserordentlich wertvolle Bestätigung meiner Auffassung, umso wertvoller als sie von völlig neutraler Stelle durchgeführt wurden, und beweisen gerade, dass ein Zusammenwirken beider Verbindungsarten stattfindet. Sehr anschaulich zeigt das folgende Lichtbild (Abb. 4) diese gemeinschaftliche Wirkung kurz vor dem Bruch der Naht in der plastischen Deformation der Niete.

Bestimmte Diskussionen in der Fachliteratur über das gleiche Problem

Nietung							Schweißung σ_{zul} Abscheren = 0,75 t/cm ²							
Gruppe	Niet-querschnitt F_N (cm ²)	Zulässige Beanspruchung der Niete σ_{aN} (t/cm ²)	Nutzlast P_{zulN} (t)	Bruchlast P_{BN}	Sicherheitsgrad $\frac{P_{BN}}{P_{zulN}} = n_N$	Mittlerer Sicherheitsgrad n_{Nm}	Schweiß-querschnitt F_S (cm ²)	Nutzlast P_{zulS} (t)	Bruchlast P_{BS} (t)	Sicherheitsgrad $\frac{P_{BS}}{P_{zulS}} = n_S$	Mittlerer Sicherheitsgrad n_{Sm}			
I	12,5	0,8 · 1,400	14,0	45,41	3,24	3,30	14,0	10,5	62,65	5,95	6,03			
	12,5	0,8 · 1,400	14,0	46,45	3,31		14,7	11,0	63,77	5,80				
	12,5	0,8 · 1,400	14,0	46,80	3,34		13,2	9,9	63,02	6,36				
Kombinierte Verbindung														
Gruppe	Niet-querschnitt F_N (cm ²)	Zulässige Beanspruchung der Niete σ_{aN} (t/cm ²)	Nutzlast P_{zulN} (t)	Schweiß-querschnitt F_S (cm ²)	Nutzlast P_{zulS} (t)	Nutzlast $P_{zulS} + P_{zulN}$ (t)	Bruchlast P_B (t)	Sicherheitsgrad $\frac{P_B}{P_{zul}} = n$	Mittlerer Sicherheitsgrad n_m					
II	12,5	0,850	10,5	12,10	9,10	19,70	81,06	4,11	4,11					
	12,5	0,850	10,5	11,30	8,50	19,10	79,28	4,15						
	12,5	0,850	10,5	12,60	9,45	19,05	77,51	4,06						
Versuche Nietverbindung u Schweißnaht		Zulässige Belastung und Sicherheitsgrad bei Probestäben aus St 37							Ing -Laboratorium Techn. Hochschule Darmstadt 1932.					

Fig. 3. — Charge admissible et degré de sécurité pour les éprouvettes en acier St. 37 = Zulässige Belastung und Sicherheitsgrad bei Probestäben aus St 37 = Permissible loading and factor of safety with test pieces of St. 37.

Rivure — Nietung — Riveting.

Soudure — Schweißung — Welding.

Assemblage mixte — Kombinierte Verbindung — Combined connection.

Section de rivetage — Nietquerschnitt — Welded cross-section.

Contrainte admissible dans les rivets — Zulässige Beanspruchung der Niete — Permissible stressing of the rivets.

Charge de rupture — Bruchlast — Breaking load.

Charge utile — Nutzlast — Working load.

Coefficient de sécurité — Sicherheitsgrad — Factor of safety.

Coefficient de sécurité moyen — Mittlerer Sicherheitsgrad — Average factor of safety.

veranlassen mich, auf einen weiteren Punkt noch einzugehen. Meine Versuche sind zunächst nur auf die Feststellung der Bruchlasten abgestellt gewesen. Ich gebe ohne weiteres zu, dass diese Beschränkung zunächst in der Schwierigkeit der Messungen im elastischen Bereich begründet ist. Auch bei anderen statischen Problemen ist man gewöhnt, bei der Bemessung der zulässigen Belastung von der Bruchlast auszugehen. Ich erinnere an die Verhältnisse des Eisenbetonbaus, bei dem ja die gesamten Berechnungsgrundlagen auf den Bruchzustand eingestellt sind. Demnach scheint es mir auch bei den kombinierten Niet- und Schweißverbindungen berechtigt, zunächst von der Bruchlast auszugehen; dies umso mehr, als die Erforschung

des elastischen Bereiches grosse Schwierigkeiten bereitet und wenn man auf deren Ueberwindung warten wollte, die Einführung des Schweissens im Stahlbau vielleicht noch recht lange zurückstellen müsste. Damit soll nun keineswegs gesagt sein, dass die Feststellung des Verhaltens im elastischen Bereich selbst nicht wichtig wäre.

Aus den in meinem Laboratorium durchgeföhrten Versuchen folgt, dass die Behauptung, die man vielfach in der Literatur findet, dass im untern Lastbereich

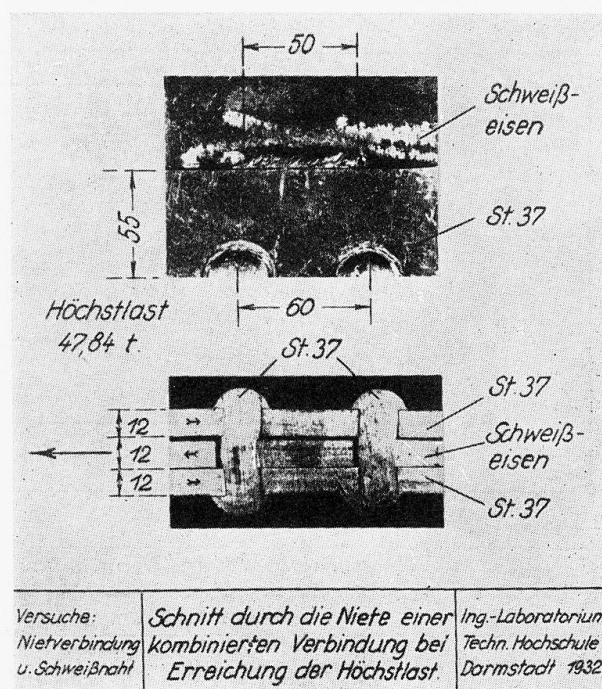


Fig. 4. — Coupe effectuée à la charge maximum dans un assemblage mixte, au milieu du rivetage = Schnitt durch die Niete einer kombinierten Verbindung bei Erreichung der Höchstlast = Section through the rivets of a combined connection on reaching maximum load.

Fer — Schweißeisen — Weld iron.
Charge maximum — Höchstlast — Max load.

allein die Schweißnaht die Kraft zu übertragen hätte und die Niete so gut wie nicht mitwirken, nicht haltbar ist. Man vergegenwärtige sich, dass in Wirklichkeit die Niete nicht nur durch ihre Abscher- oder Lochleibungsfestigkeit tragen, die ja zweifellos erst nach gewissen Formänderungen eintreten kann, sondern bereits von der geringsten Laststufe an durch ihren Reibungswert mitwirken. Dieser Reibungswert zwischen den Blechen wird noch verstärkt durch die Reibung der Bleche infolge der Abkühlungsschrumpfung der Schweißnaht selbst. Allein schon diese Überlegungen zeigen, dass die Tragfähigkeit der Verbindung im elastischen Bereich bereits durch weitere Nietkräfte beachtlich beeinflusst wird. (Vgl. Abb. 5.)

Neuere Versuchsergebnisse¹ beweisen eindeutig, dass bei den kombinierten

1. Vgl. KAYSER, Ueber das Zusammenwirken von Nietverbindungen und Schweißnaht. Zeitschr. «Der Stahlbau», 1932, Heft 19, Seite 145 & ff.)

Verbindungen von Schweißeisenblechen mit gleichartigen oder St 37 Laschen die Niete und Schweißnähte zusammenwirken. Setzt man die Niete mit 2/3 ihrer vollen Nutzlast ein, so ergeben sich für die kombinierten Verbindungen Sicherheitsgrade, die als völlig ausreichend zu bezeichnen sind. Es dürfte damit der Beweis erbracht sein, dass meine früher vorgeschlagene Berechnungsmethode auch bei schweißeisernen Konstruktionen anwendbar ist, und dass das Stahlmaterial — ob Laschen aus Schweißeisen oder aus St 37 — für die Ergebnisse ohne Belang bleibt.

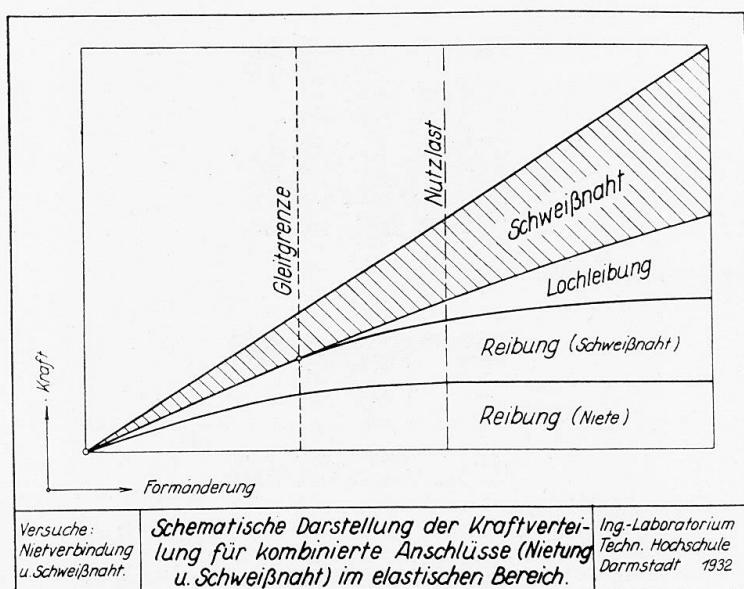


Fig. 5. — Représentation schématique de la répartition des efforts dans un assemblage combiné (rivure et soudure), dans le domaine élastique = Schematische Darstellung der Kraftverteilung für kombinierte Anschlüsse (Nietung und Schweißnaht) im elastischen Bereich = Diagrammatic representation of the distribution of forces in combined connections (riveting and welding) in the elastic zone.

Efforts, — Kraft — Force.
Déformations — Formänderung — Deformation.
Limite de glissement — Gleitgrenze — Slip limit.
Charge utile — Nutzlast — Working load.
Cordon de soudure — Schweißnaht — Weld.
Parois des trous de rivets — Lochreibung — Hole friction.
Frottement (cordon de soudure) — Riebung (Schweißnaht) — Friction (Welded joint).
Frottement (rivets) — Reibung (Niete) — Friction (rivets).

Wenn die erhaltenen Versuchsergebnisse die Richtigkeit meiner Behauptung über das Zusammenwirken von Nieten und Schweißnaht auch bei Verwendung von Schweißeisen beweisen, so darf ich mit Befriedigung feststellen, dass sich neuerdings auch andere Forscher zu der gleichen Auffassung bekennen¹.

1. Vgl. Prof. BRYLA, Versuche über die Verstärkung von Nietverbindungen durch Schweißen. Erster Band der «Abhandlungen» der Intern. Vereinigung für Brückenbau und Hochbau 1932, Seite 9 & ff.

Vgl. Prof. GABER, Zusammenwirken von Nietung und Schweißung bei Zug und Druck. «Der Bauingenieur»: 1932, S. 290 & ff.

Diese andern Forschungsergebnisse sind durchaus geeignet, meine über dieses Problem angestellten Erwägungen und eigenen Versuchsarbeiten zu bestätigen.

Traduction.

J'ai été satisfait de constater que les travaux que j'ai déjà publiés sur le problème de l'« Action combinée de la Rivure et de la Soudure » ont éveillé l'intérêt des milieux spécialisés, que cet intérêt se soit traduit par des appro-

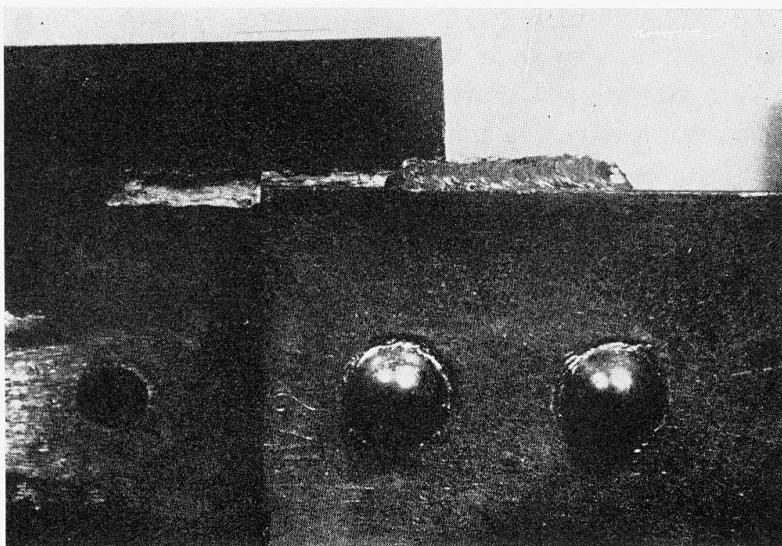


Fig. 6.

bations ou par des désapprobations. J'ai indiqué d'une manière très nette que les essais qui ont été ainsi effectués ne doivent être considérés que comme une contribution à l'étude du problème, mais qu'ils n'en constituent nullement la solution elle-même. Par ailleurs, les résultats obtenus, qui se sont trouvés également confirmés par les essais du Professeur Dustin, permettent déjà des conclusions précises, que je résumerai à nouveau ci-dessous :

En ayant soin d'adopter une disposition judicieuse, le cordon de soudure et les rivets participent tous deux aux efforts à supporter ; les rivets sont utilisés aux 2/3 de leur capacité et le cordon de soudure est intégralement utilisé. Par « disposition judicieuse », on n'entend, en général, que les cordons latéraux, c'est-à-dire ceux qui sont disposés de telle sorte que la direction suivant laquelle s'exerce l'action des rivets ne coupe pas le cordon de soudure. Il est en effet évident que l'on ne peut compter réaliser la participation du rivetage à l'assemblage combiné que si cet assemblage est conçu de telle sorte que les rivets se trouvent précisément contraints à travailler également par suite de la déformation élastique ou plastique des tôles (figure 1).

Dans cet ordre d'idées, je crois être parfaitement d'accord avec le Professeur Dustin. Les essais qui ont été effectués par lui conduisent à un résultat si

intéressant et si remarquable qu'ils méritent une extrême attention. Ils confirment dans leur intégralité les études que j'ai publiées¹. Il a établi précisément que l'action combinée du rivetage et de la soudure est, dans une certaine limite, fonction de la largeur du recouvrement ; ceci confirme les hypothèses théoriques que j'ai émises et qui s'appuient, dans une large mesure, sur les modifications élastiques des recouvrements et des tôles.

La coïncidence extrêmement favorable entre les valeurs des différents résultats obtenus par Dustin et des miens prouve la légitimité de mon point de vue. L'augmentation notable de la résistance de l'assemblage combiné par rapport à celle de l'assemblage soit uniquement rivé, soit uniquement soudé ne peut plus être contestée (figure 2). La formule que j'ai proposée, et dans laquelle la capacité des rivets intervient pour les 2/3 de sa valeur, les cordons de soudure étant intégralement utilisés, ne peut toutefois pas permettre de résoudre tous les cas particuliers que pose le problème. Quoi qu'il en soit, les résultats obtenus par le Professeur Dustin semblent confirmer que cette formule est susceptible d'un emploi très large. Si, en effet, on peut constater en fait des écarts atteignant jusqu'à 20 % entre les valeurs prévues et mesurées, il faut toutefois insister tout particulièrement sur le fait que ces écarts se manifestent toujours dans le sens d'une plus grande sécurité ; la formule peut donc être utilisée en toute quiétude du point de vue de la sécurité, en admettant même que par la suite des déterminations expérimentales accusent encore de nouveaux écarts.

La figure 3 indique les degrés de sécurité que l'on peut obtenir avec le rivetage, la soudure et l'assemblage combiné.

En examinant à nouveau, dans leur ensemble, les résultats des essais de Dustin, je ne sais pas toutefois pas nettement pourquoi, dans ses conclusions, le Professeur Dustin considère comme peu intéressant la combinaison du rivetage et de la soudure. A mon avis, ces résultats expérimentaux constituent une confirmation extrêmement marquée de mon point de vue et cette confirmation a d'autant plus de poids qu'elle émane d'une source absolument impartiale ; elle prouve précisément qu'il se produit bien une action combinée des deux modes d'assemblage. La photographie ci-contre (figure 4) met très nettement en évidence cette action commune, peu de temps avant la rupture du cordon de soudure, par la déformation plastique des rivets.

Des études qui ont été publiées dans la presse technique au sujet de ce problème me conduisent à aborder encore cette question sous un autre angle. Mes essais se sont limités tout d'abord à la détermination des charges de rupture. Je conviendrais sans aucune difficulté que cette limitation doit être attribuée principalement aux difficultés qu'offrent les mesures dans le domaine élastique. Il est courant, dans l'étude de différents problèmes statiques, de partir de la charge de rupture pour déterminer la charge admissible. Je rappellerai à ce sujet la méthode employée dans la construction en béton armé, dans laquelle, en fait, tous les calculs sont basés sur la considération des conditions de rup-

1. KÄYSER, Versuche über das Zusammenwirken von Nietverbindung und Schweissnaht, Stahlbau, 1930, n° 13, et Stahlbau, 1931, n° 11.

ture. Il me paraît donc légitime de partir également de la charge de rupture pour l'étude des assemblages combinés de rivetage et de soudure ; cela d'autant plus que les investigations dans le domaine élastique présentent de grosses difficultés ; s'il fallait attendre qu'elles soient surmontées, il est probable que l'introduction de la soudure en construction métallique serait encore différée pour longtemps. Ceci ne veut d'ailleurs nullement dire que l'étude des conditions qu'offre le domaine élastique soit sans intérêt.

Les essais qui ont été effectués dans mon Laboratoire montrent que l'opinion souvent exprimée dans la littérature technique, et suivant laquelle, dans les zones de charge que nous avons à considérer, la soudure seule serait susceptible d'intervenir pour supporter les efforts, la rivure n'intervenant pour ainsi dire pas, n'est pas fondée. Il faut considérer qu'en réalité non seulement les rivets travaillent par suite de leur résistance au cisaillement, ou par intervention des parois de leurs trous, cette résistance ne pouvant sans aucun doute intervenir qu'après certaines déformations, mais également par suite du frottement dont ils sont le siège, et qui se manifeste dès les plus faibles charges. Cet effet de frottement entre les tôles est encore renforcé par l'effet de frottement entre ces tôles, qui se produit par suite du retrait de refroidissement des cordons de soudure. Ces considérations suffisent déjà par elles-mêmes à montrer que la résistance d'un assemblage, dans le domaine élastique, est notablement influencée par les efforts que le rivetage ultérieur met en jeu (voir figure 5).

Les résultats fournis par de nouveaux essais montrent d'une manière très nette¹ que dans les assemblages combinés en tôle de fer, avec recouvrements de même nature ou d'acier St 37, les rivets et les cordons de soudure contribuent ensemble à la résistance. Si l'on suppose aux rivets une influence correspondant au 2/3 de leur résistance propre, on obtient pour les assemblages mixtes des degrés de sécurité qui doivent être considérés comme parfaitement suffisants. Ceci montre que la méthode de calcul que j'ai proposée peut même être employée pour les ouvrages en fer et que le métal employé pour le recouvrement, pièces en fer ou acier St 37, ne présente aucune importance en ce qui concerne les résultats.

Si les résultats des essais effectués montrent par eux-mêmes la légitimité de mon point de vue en ce qui concerne l'action combinée des rivets et des cordons de soudure, même lorsqu'il s'agit de pièces en fer, je n'en constate pas moins avec satisfaction que tout récemment, d'autres investigateurs ont exprimé la même opinion².

Les résultats de ces nouvelles investigations sont tout à fait propres à confirmer les considérations que j'ai exposées au sujet de cette question et mes propres travaux de recherche.

1. KAYSER, Über das Zusammenwirken von Nietverbindungen und Schweissnaht — « Der Stahlbau », 1932, n° 19, pages 145 et suivantes.

2. Prof. BRYLA, Versuche über die Verstärkung von Nietverbindungen durch Schweißen — Vol. I, Mémoires de l'Ass. Int. des Ponts et Charpentes, 1932, p. 9 et suiv. — Prof. Gaber, Zusammenwirken von Nietung und Schweißung bei Zug und Druck — Bauingenieur, 1932, p. 290 et suivantes.

Zusammenfassung.

1. Auch die Versuche von Prof. Dustin beweisen, dass ein Zusammenwirken von Niet- und Schweißverbindungen stattfindet.
2. Die von mir abgeleiteten Formeln zur Berechnung kombinierter Verbindungen liefern brauchbare Werte und bieten im Vergleich mit der Nutzlast ausreichende Sicherheit.
3. Die gemeinsame Wirkung beider Verbindungen kann daher in Rechnung gestellt werden, wenn die Wirtschaftlichkeit der Arbeiten es verlangt oder die technischen Voraussetzungen der Konstruktionen es erfordern.
4. Die Anwendungsmöglichkeit der kombinierten Verbindung besteht sowohl für die Verstärkung alter Bauwerke in Schweißeisen oder Stahl, als auch für die Herstellung neuer Bauten.

Résumé.

1. Les essais de M. le Prof. Dustin montrent qu'il se produit, dans les assemblages rivés et soudés, un effet de combinaison entre la rivure et la soudure.
2. Les formules que j'ai établies pour le calcul des assemblages combinés donnent des valeurs pratiques effectives et offrent une sécurité suffisante, en ce qui concerne la charge effective.
3. L'action commune résultante, fournie par les deux modes d'assemblages, employés simultanément, peut donc être prise en considération, qu'il s'agisse d'aboutir à des conditions économiques convenables ou d'observer les conditions techniques de la construction.
4. On peut recourir à l'emploi des assemblages combinés non seulement pour renforcer d'anciens ouvrages en fer forgé ou en acier, mais également pour la construction de nouveaux ouvrages.

Summary

1. Also Prof. Dustin's test prove that there is collaboration between riveted and welded joints.
2. The formulae derived by the author for calculating combined joints give serviceable values and offer ample safety in comparison with the working load.
3. The acting in common of the two joints may therefore be taken into account, when the economy of the work demands or the technical assumptions of the design require.
4. The possibility of adopting the combined joint arises both when strengthening old wrought iron or steel structures, and when erecting new ones.

Dr. Ing. KOMMERELL,
Direktor bei der Reichsbahn im Reichsbahnzentralamt
für Bau- und Betriebstechnik, Berlin.

Die Deutsche Reichsbahn-Gesellschaft führte zusammen mit dem Staatlichen Materialprüfungsamt in Berlin-Dahlem Versuche über das Zusammenwirken von Nietung und Schweißung aus. Die genieteten Versuchskörper wurden unter einer Vorlast, die Stabkraft aus Eigengewicht bei einer durch Schweißung zu verstärkenden genieteten Brücke darstellend, zusätzlich geschweisst. Die Schweißnähte wurden für eine angenommene Verkehrslast nach den deutschen Schweißvorschriften berechnet, wonach theoretisch den Nieten außer der Eigengewichtslast äußerstenfalls noch 1/3 der Verkehrslast und der Schweiße 2/3 der Verkehrslast zugewiesen wird. Die statischen Versuche zeigten, dass die Mitwirkung der Schweiße vom Gleitwiderstand der Nietung abhängig war. Nach den Messergebnissen betragen die Kraftanteile aus Verkehrslast an der Zulässigkeitsgrenze für den Versuchsstab, die bei 6 t Eigengewicht + 12 t Verkehrslast = 18 t Gesamtlast lag :

$$\begin{aligned} \text{Nietung} &= 53 \% \\ \text{Schweiße} &= 47 \%. \end{aligned}$$

Bei höheren Verkehrslasten nahm der Kraftanteil der Nietung ab und der der Schweiße entsprechend zu.

Eine reine Nietverbindung und eine kombinierte Verbindung wurden weiter Dauerversuchen in einer Pulsatormaschine unterworfen. Es zeigte sich, dass die kombinierte Verbindung der reinen Nietverbindung überlegen ist. Diese Dauerversuche sind noch nicht abgeschlossen. Die gesamten Versuche werden demnächst veröffentlicht werden¹.

Bemerkt sei noch, dass man aus einer Versuchsreihe mit einer bestimmten Anordnung der Schweißnähte nicht ohne weiteres allgemein gültige Schlüsse auf das Zusammenwirken von Nietung und Schweißung ziehen kann. Es ist für das Zusammenwirken beider Verbindungsarten durchaus nicht gleichgültig, ob der Kraftverlauf erst durch die Schweißung geht und dann auf die Nietung trifft oder umgekehrt.

Traduction.

La Société des Chemins de Fer Allemands, en collaboration avec le Laboratoire Officiel d'Essai des Matériaux de Berlin-Dahlem, a effectué des essais sur l'action combinée de la rivure et de la soudure. Les éprouvettes rivées ont été soumises à une charge préliminaire, représentant l'effort dans la barre résultant du poids propre, dans le cas d'un pont rivé à renforcer par soudure ;

1. Der ausführliche Versuchsbericht ist in der Fachzeitschrift : die Bautechnik, Fachschrift für das gesamte Bauingenieurwesen, Heft 42 vom 23.9.1932, Verlag Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin W. 8. erschienen.

elles ont été ensuite l'objet d'une soudure additionnelle. Les cordons de soudure ont été calculés d'après les Prescriptions Allemandes concernant la soudure, pour une charge roulante déterminée, de telle sorte que, en principe, les rivets aient à supporter, outre le poids propre, encore le 1/3 de la charge roulante totale, la soudure supportant les 2/3 de cette charge roulante totale. Les essais statiques ont montré que la participation de la soudure à la résistance dépendait de la résistance au glissement de la rivure. Suivant les résultats des mesures, la participation des deux modes d'assemblage à la charge roulante, à la limite supérieure et pour la barre soumise aux essais (poids propre de 6 tonnes, charge roulante de 12 tonnes, soit une charge totale de 18 tonnes) était la suivante :

Rivetage.....	53 %
Soudure.....	47 %

En augmentant la charge roulante, la part de charge supportée par le rivetage a diminué, celle qui était supportée par la soudure augmentant en proportion.

Un assemblage par rivure seule et un assemblage mixte ont été en outre soumis à des essais de fatigue au moyen d'un oscillateur. On a constaté que l'assemblage mixte était supérieur à l'assemblage simple par rivetage. Ces essais de fatigue ne sont toutefois pas encore terminés. Les résultats définitifs seront publiés ultérieurement¹.

Il convient en outre de remarquer que l'on ne peut pas tirer des conclusions, valables d'une manière générale, sur l'action combinée de la rivure et de la soudure, à partir d'une série d'essais qui ont été effectués avec une disposition déterminée des cordons de soudure. Il n'est en effet pas indifférent pour la répartition de la charge entre les deux systèmes d'assemblage que la direction des efforts traverse tout d'abord les cordons de soudure pour n'intéresser le rivetage qu'ultérieurement, ou bien que ce soit l'inverse.

Dr. Ing. St. BRYLA,
Professeur à l'École Polytechnique, Lwów.

Si les prescriptions concernant les autres modes de construction : rivetage, béton armé, etc., ont été établies au moment où la collaboration internationale n'embrassait pas de grands horizons, par contre, les constructions soudées se développent actuellement, dans des conditions de contact constant entre les nations et en collaboration avec l'Association Internationale des Ponts et Charpentes, qui peut se charger du problème de l'unification de toutes les prescriptions.

Il y a beaucoup de questions qui se trouvent réglées différemment, dans les cahiers des charges des différents pays ; dans la plupart des cas, elles ne sont pas réglées du tout ; ce sont les questions suivantes :

1. Le rapport détaillé concernant ces essais a été publié dans la revue Die Bautechnik, n° 42 du 23 sept. 1932, Verlag Wilhelm Ernst & Sohn, éditeur, Berlin, W 8.

- 1° Méthodes de calcul des joints soudés.
- 2° Essais d'électrodes.
- 3° Méthode de contrôle des soudeurs.
- 4° Profilés adaptés à la soudure.
- 5° Symboles des soudures.

Je dois rendre honneur ici à M. Hilpert qui a envisagé l'unification des symboles des soudures sur une base internationale en s'adressant à M. Dustin (Belgique), M. Kommerell (Allemagne), M. Sonderegger (Suisse), et à moi-même (Pologne). La proposition est tout à fait d'actualité.

Je m'y rallie et propose une motion formelle en vue de l'élection, au sein de l'Association Internationale des Ponts et Charpentes, d'une commission composée des délégués des pays dans lesquels les constructions soudées se développent d'une façon très active, en vue d'élaborer des prescriptions communes concernant les questions mentionnées.

Ce ne serait pas seulement un travail scientifique, ou technique, mais également un rapprochement des nations tout au moins dans cette branche de la technique.

Dr. Ing. F. RAPATZ,
Düsseldorf-Oberkassel.

Die Prüfung und Beurteilung der Schweißnähte und der hiefür erforderlichen Schweißdrähte muss von verschiedenen Gesichtspunkten aus geschehen. Die

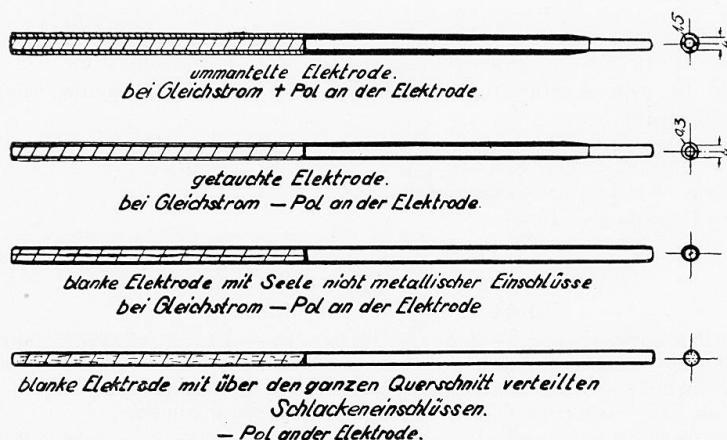


Fig. 1. — Electrodes pour soudure d'assemblage
Elektroden für Verbindungsschweissung
Electrodes for welding joints.

Electrode enrobée. Courant continu, Pôle + sur l'électrode = ummantelte Elektrode, bei Gleichstrom + Pol an der Elektrode = Covered electrode, with direct current + pole on electrode.

Electrode enduite — Courant continu, Pôle — sur l'électrode = getauchte Elektrode, bei Gleichstrom — Pol an der Elektrode = Coated electrode, with direct current — pole on electrode.

Electrode nue avec âme spéciale non métallique — Courant continu, pôle — sur l'électrode = blanke Elektrode mit Seele nicht metallischer Einschlüssen, bei Gleichstrom — Pol an der Elektrode = Bare electrode, with core of nonmetallic inclusions, with direct current — pole on electrode.

Electrode nue avec inclusions réparties sur toute la section, pôle — sur l'électrode = blanke Elektrode mit über den ganzen Querschnitt verteilten Schlackeneinschlüssen — Pol an der Elektrode = Bare electrode, with slag inclusions distributed over the whole cross-section. — pole on electrode.

Herren Godard und Dustin haben in ihren Beiträgen die Vorteile der ummantelten gegenüber den blanken Elektroden hervorgehoben. Da mit der Elektrodenfrage die Wettbewerbsfähigkeit des Schweißens gegenüber anderen Ver-

fahren sowohl vom Standpunkte der Güte wie der Wirtschaftlichkeit verbunden ist, ist es wichtig, über die Elektrodenfrage nicht hinwegzugehen.

Zunächst ist die Unterscheidung in « blanke » und « ummantelte » Elektroden unvollständig. Es gibt noch eine dritte Elektrodenart, die « Seelenelektrode ».

Die Eigenschaften der aus blanken Elektroden hergestellten Schweissverbindungen sind tatsächlich nicht hervorragend, da man die Menge und Verteilung der nichtmetallischen Bestandteile schwer beherrschen kann, die Zugabe

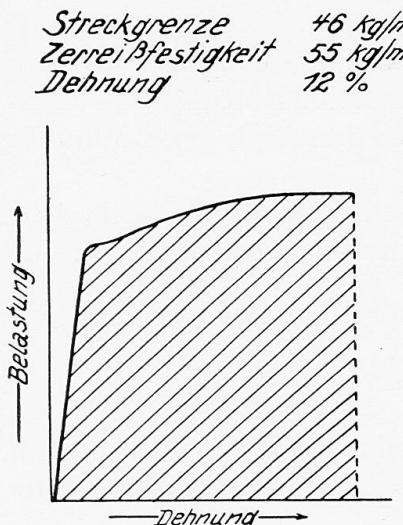


Fig. 2.

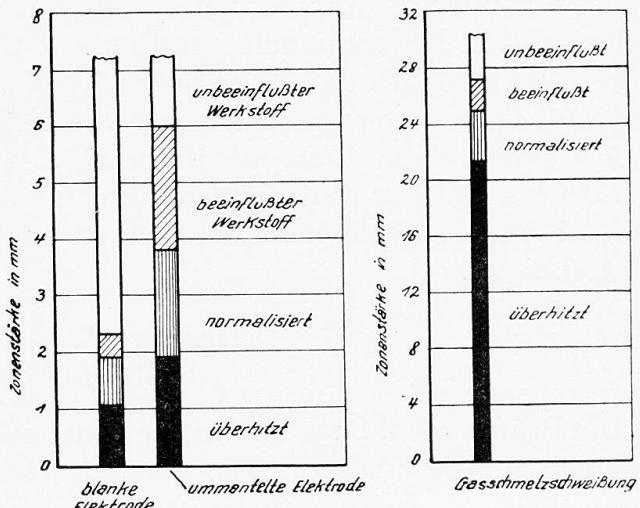


Fig. 3.

Fig. 2. — Diagramme de traction d'éprouvettes de 10 mm de diamètre en métal d'apport = Zerreissdiagramm von 10 mm Ø Stäben aus Schweißgut = Stress-strain diagram of rods weld metal 10 mm in diameter.

Limite d'écoulement — Streckgrenze — Yield point.

Charge de rupture — Zerreißfestigkeit — Breaking strength.

Allongement — Dehnung — Elongation.

Charge — Belastung — Load.

Fig. 3. — Influence de la chaleur sur le métal

Wärmebeeinflussung des Werkstoffes

Effect of heat on the material.

Epaisseur des zones en mm. — Zonenstärke in mm. — Length of zone in mm.

Electrode nue — Blanke Elektrode — Bare electrode.

Electrode enrobée — Ummantelte Elektrode — Covered electrode.

Soudure au gaz — Gasschmelzschweißung — Gas fusion welding.

Métal n'ayant subi aucune influence — Unbeeinflusster Werkstoff — Unaffected material.

Métal ayant subi une influence — Beeinflusster Werkstoff — Affected material.

Normalisé — Normalisiert — Normalised.

Surchauffé — Überhitzt — Overheated.

von Desoxydationsmitteln kaum möglich ist und Legierungsbestandteile wegen der dann fehlenden Verschweissbarkeit am Minuspol nicht gegeben werden können. Die Seelenelektroden besitzen diesen Nachteil nicht. Man kann die Menge und Art der nichtmetallischen Bestandteile auswählen, Desoxydationsmittel zugeben und die Schweißbarkeit am Minuspol bis zu mehreren Prozentsätzen Legierungsbestandteilen erreichen. Die Seelenelektroden sind nicht wie die blanken als unlegierte, sondern als legierte anzusehen. Die Abbildung 4 zeigt schematisch die Eigenschaften der drei Elektrodenarten. Der Nachteil der Seelenelektrode gegenüber der ummantelten ist geringere Zähigkeit, wobei

hier nicht erörtert werden soll, ob die Forderung grosser Zähigkeit in allen Fällen immer berechtigt ist, wenn sie gestellt wird. In der Festigkeit unterscheiden sich die beiden Elektroden nicht, und auch die Zähigkeit ist bei Seelenelektroden immerhin bemerkenswert (Abb. 2).

Die Nachteile der ummantelten Elektroden sind

1. die lästige Schlacke, die die Arbeit verzögert und deren Entfernung Sorgfalt und Zeit verursacht, die nicht immer angewendet werden,
2. die schwierigere Ueberkopf- und Senkrechtschweissbarkeit (Die Seelen-elektrode hat diesen Nachteil nicht, wodurch sie allgemeiner verwendbar

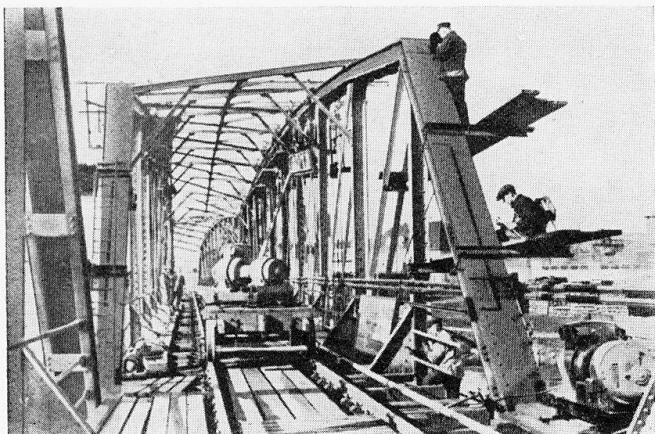


Fig. 4.
Fig. 4. — Renforcement du pont métallique de Landsberg-sur-la-Warthe.
Verstärkung der Eisenbahnbrücke Landsberg a. d. Warthe.
Strengthening the railway bridge at Landsberg on the Warthe.

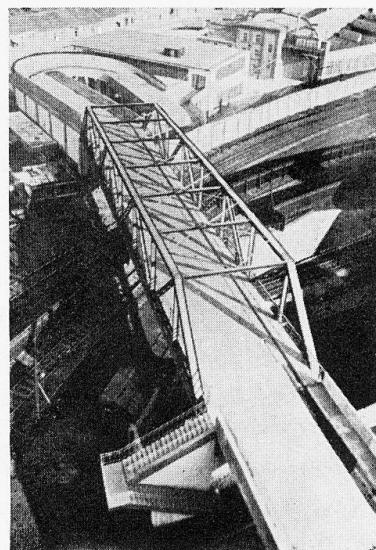


Fig. 5.
Fig. 5. — Pont-route, portée 49,2 m., largeur 8,35 m.
Strassenbrücke, Stützweite 49,2 m, Breite 8,35 m.
Road bridge, span 49,2 metres, breadth 8,35 metres.

ist, da ein und derselbe Stahl für verschiedene Schweissarbeiten herangezogen werden kann),

3. die höheren Kosten, die nicht nur in dem höheren Preise, sondern auch in dem grösseren Strom- und Arbeitsaufwand begründet sind,

4. schliesslich die stärkere Erwärmung der Nachbarschaft (Abb. 3), die stärkere Gefügeverschlechterung im Grundwerkstoff und grössere Spannungen verursacht, ein Nachteil, durch den der Vorteil der grösseren Zähigkeit unter Umständen aufgehoben werden kann.

Diese Vor- und Nachteile gerecht gegeneinander abgewägt, wird man für hochbeanspruchte Hoch- und Brückenbauten auch andere, nicht nur ummantelte Elektroden heranziehen können. Die Praxis hat daraus bereits die Folgerung gezogen, und aus der grossen Anzahl der Beispiele kann ich infolge der kurz bemessenen Zeit nur 2 Abbildungen (Nr. 4, 5¹) zeigen. Man würde also den

1. Siehe auch Vorbericht S. 350.

Fortschritt hemmen, wenn man die Elektrodenfragen nur von einer Seite ansähe.

Traduction.

Le contrôle et l'appréciation de la valeur des cordons de soudure, ainsi que des électrodes qu'il est nécessaire d'employer, est nécessaire à différents points de vue. MM. Godard et Dustin ont mis en évidence, dans leurs Mémoires, les avantages que présentent les électrodes enrobées par rapport aux électrodes nues. Or, la question de la qualité et du prix de revient des soudures, c'est-à-dire la possibilité, pour la soudure, de lutter avec les autres procédés d'assemblage, est liée à cette question des électrodes. Il importe donc de ne pas la négliger.

Disons tout d'abord que la distinction entre électrodes « nues » et « enrobées » est insuffisante. Il existe une troisième catégorie : celle des « électrodes à âme spéciale ».

Les caractéristiques des assemblages soudés exécutés avec des électrodes nues ne sont, en fait, pas remarquables, car elles ne permettent pas de régler facilement la quantité et la répartition des éléments non métalliques ; l'adjonction d'agents de désoxydation est à peine possible et il n'est pas possible de réaliser l'apport d'éléments additionnels destinés à constituer des alliages, par suite du manque de soudabilité au pôle moins. Les électrodes à âme spéciale ne possèdent pas ces inconvénients. Elles permettent de régler la quantité et la nature des constituants non métalliques, de fournir des agents de désoxydation et la soudabilité au pôle négatif est poussée jusqu'à plusieurs unités pour cent pour les éléments métalliques additionnels. Ces électrodes à âme spéciale doivent être, à l'inverse de ce qui se passe pour les électrodes nues, considérées comme des électrodes spéciales. On trouvera résumées d'une manière schématique sur la figure 1, les caractéristiques principales de ces trois catégories d'électrodes. L'inconvénient des électrodes à âme spéciale par rapport aux électrodes enrobées, consiste en une plus faible ténacité ; ceci ne veut d'ailleurs pas dire que dans tous les cas, il soit nécessaire d'avoir une ténacité élevée. Du point de vue de la résistance, les deux types d'électrodes ne se différencient pas ; d'ailleurs, la ténacité elle-même est encore très bonne dans les électrodes à âme spéciale (figure 2).

Les inconvénients des électrodes enrobées sont les suivants :

1. — La gène causée par les scories en cours de travail, leur élimination nécessitant du soin et du temps, sans que l'on y réussisse d'ailleurs toujours ;

2. — La difficulté des soudures au plafond et des soudures verticales (les électrodes à âme spéciale ne possèdent pas cet inconvénient ; elles sont donc d'un emploi plus général, la même qualité d'acier pouvant être utilisée pour des travaux différents) ;

3. — Un prix de revient du travail plus élevé, non seulement parce que le prix d'achat en soi est plus élevé, mais parce que la consommation de courant et le temps passé sont plus importants ;

4. — Enfin un échauffement plus prononcé des régions voisines de la sou-

dure (figure 3) ; il en résulte des modifications défavorables plus accusées dans la structure du métal de base et des tensions internes plus élevées, cet inconvénient étant d'ailleurs, dans certains cas, susceptible d'annihiler l'avantage que procure la plus forte ténacité.

Si l'on fait le bilan de ces avantages et de ces inconvénients, on sera amené, pour les travaux de charpente métallique et de construction de ponts, où les contraintes peuvent être élevées, à ne pas se contenter d'employer des électrodes enrobées ; cette conclusion est déjà admise dans la pratique et, faute de temps, je me contenterai de ne citer ici que trois cas parmi les nombreux exemples qui se présentent (figures 4 et 5)¹. Ce serait donc retarder les progrès de la soudure que d'envisager cette question d'un seul côté.

Dr. Ing. V. TESÁR,

Paris.

Le but de ma communication à la discussion sur les problèmes de la soudure, est d'attirer l'attention sur un procédé qui fournit le moyen de baser les calculs des taux de fatigue des soudures sur les faits expérimentaux.

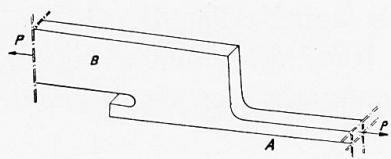


Fig. 1.

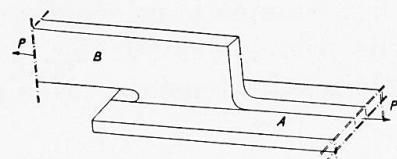


Fig. 2.

Pour calculer ces taux de fatigue on admet jusqu'à présent certaines hypothèses simplifiées sur la répartition des tensions normales et des cisaillements dans les soudures en négligeant les tensions longitudinales.

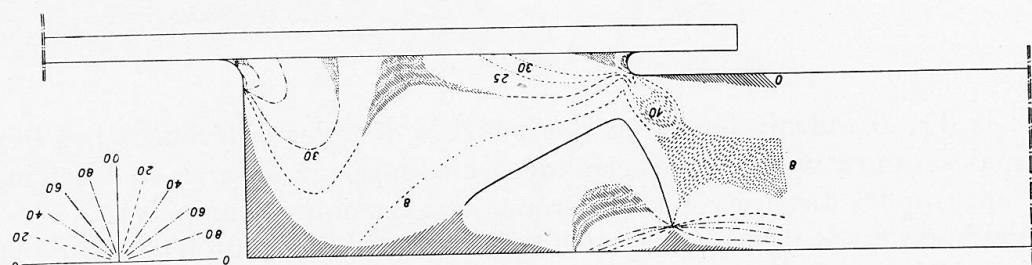


Fig. 3.

D'après les conceptions différentes on obtient des résultats qui sont loin d'être unanimes.

J'estime que l'étude des modèles en matières transparentes à l'aide de la

1. Voir également Publ. Prélim., p. 350.

lumière polarisée (la photo-élasticimétrie) est tout particulièrement appelée à offrir aussi dans ce domaine un concours précieux pour le projet et une bonne exécution des soudures.

Je crois que les figures représentant quelques résultats expérimentaux, exécutées à l'aide de la méthode signalée, seront beaucoup plus éloquentes qu'une longue description.

A titre d'exemple, j'ai entrepris l'étude expérimentale sur deux modèles

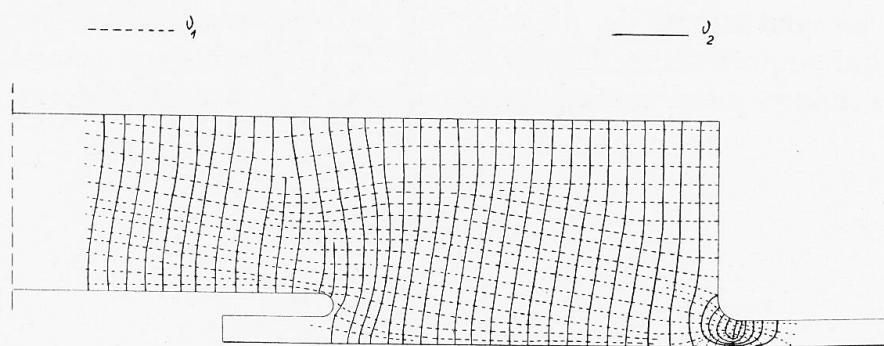


Fig. 4.

(fig. 1 et 2) représentant les assemblages par soudure de deux lamelles soumises à un effort de traction suivant les flèches.

La fig. 3 donne le relevé des courbes isoclines (courbe d'égale orientation des tensions principales); la fig. 4 représente le tracé des courbes isostatiques (trajectoires des tensions principales le long desquelles les cisaillements sont

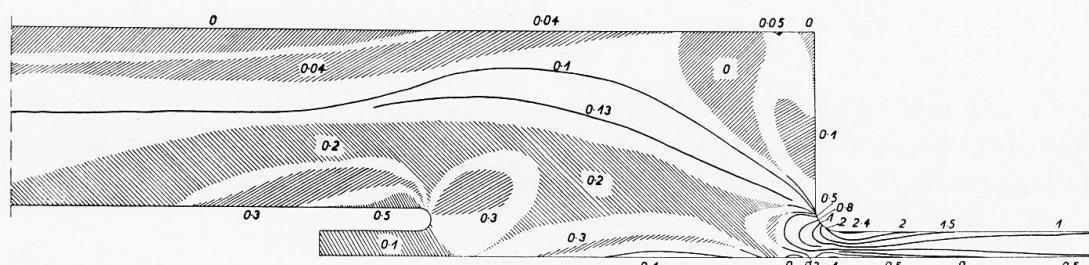


Fig. 5.

nuls); la fig. 5 fournit le réseau des courbes d'égales différences des tensions principales, leurs valeurs sont graduées en longueur d'onde, la biréfringence étant en rapport direct avec la différence des tensions principales.

A l'aide de ces 3 figures on peut facilement déduire tous les taux de fatigue que l'on désire connaître.

La fig. 6 donne à titre d'exemple l'état des contraintes le long de la section a-a : 1^e cisaillement τ ; 2^e tensions longitudinales v_x de la section a-a (cette tension est généralement à tort négligée dans les calculs); 3^e tensions normales v_y et enfin en 4^e et 5^e les valeurs des tensions principales v_1 , v_2 .

Les valeurs numériques des tensions de la fig. 6 ont pour unité la tension moyenne idéale $\frac{P}{h}$.

Ces résultats expérimentaux ne sont évidemment valables que pour le cas étudié (fig. 4). Dès qu'on change les proportions des dimensions, la sollicita-

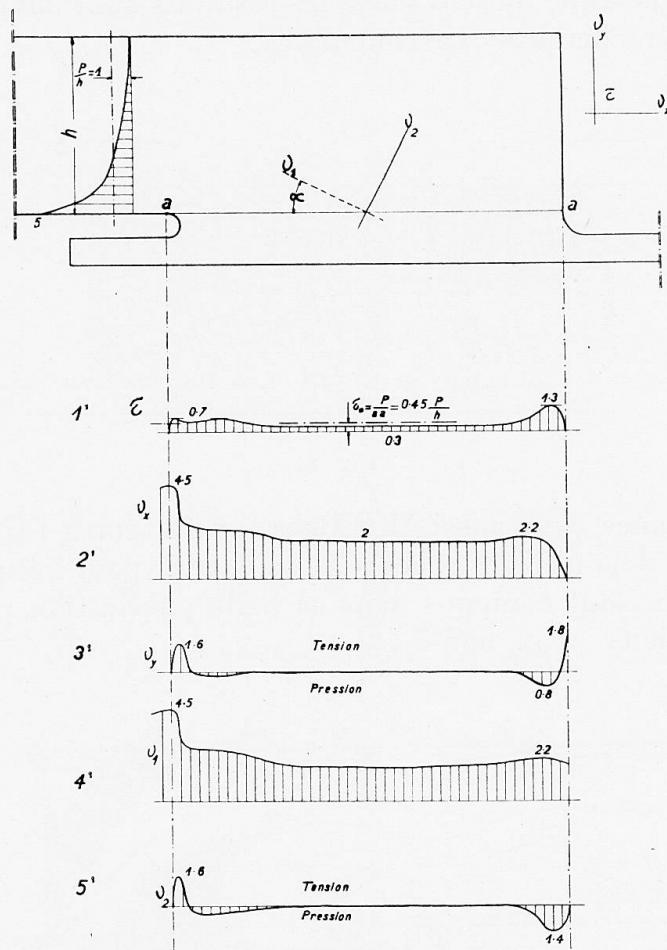


Fig. 6.

tion par les forces, ou la rigidité de l'une ou l'autre des deux lamelles soudées, la répartition est différente.

Pour en avoir une idée, les fig. 7, 8 et 9 (analogues aux dessins 3, 4 et 5)

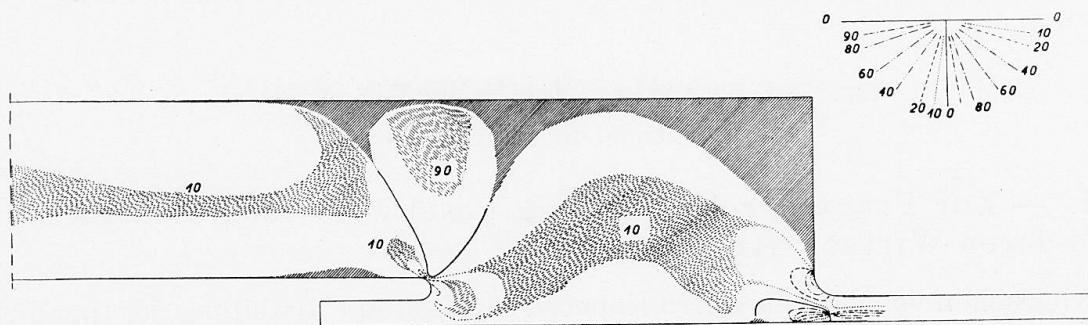


Fig. 7.

représentent les courbes isoclines, isostatiques et d'égales différences des tensions principales du même modèle que le précédent, mais modifié de façon que la lamelle A soit rendue plus rigide (v. fig. 2); on voit immédiatement en com-

parant les dessins 7, 8, 9 aux dessins 3, 4, 5 que l'état des tensions ne sera pas identique au précédent.

Pour être bref j'estime que ces quelques résultats suffisent déjà pour montrer l'utilité de telles recherches expérimentales.

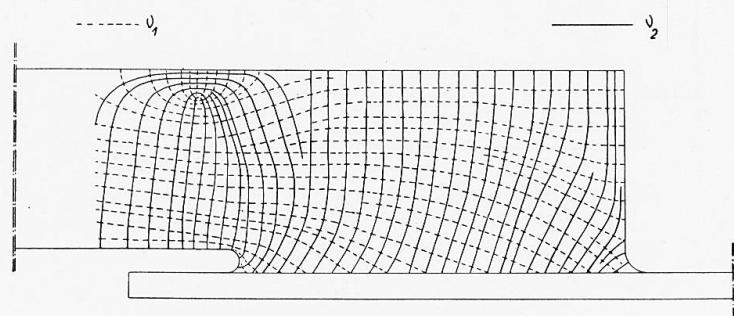


Fig. 8.

A ma connaissance c'est aussi M. COKER, professeur à l'University College de Londres, qui a déjà utilisé la photo-élasticité pour l'étude des soudures; quelques exemples sont contenus dans sa belle publication récente « A Treatise of Photoelasticity » (p. 685-7).

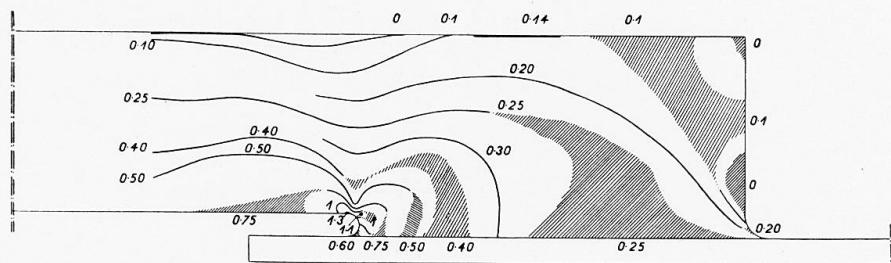


Fig. 9.

Pour terminer j'utilise cette occasion pour signaler que le laboratoire où je dirige les recherches de photo-élasticité est une Annexe (créée par M. MESNAGER) des Laboratoires des Ponts et Chaussées, 3, avenue d'Iéna à Paris.

Dr. Ing. e. h. H. SCHMUCKLER, V. D. J.
Beratender Ingenieur, Berlin.

1. — Zur Frage der Ausführung geschweißter Konstruktionen und deren Wirtschaftlichkeit.

Abgesehen von der von Herrn Kopeček erwähnten Umstellung der Ingenieure auf die Besonderheiten der Schweißtechnik, beeinträchtigt auch der Mangel an geeigneten Profilen die Wirtschaftlichkeit geschweißter Stahlbauten.

Die vom Peiner-Walzwerk auf meine Anregung gewalzten halben I NP und I P, die infolge ihrer einfachen Herstellungsart nur geringe Aufpreise bedingen, entsprechen den Anforderungen der Schweißtechnik. Die Profilzahl ist indes

noch zu gering und sollte vergrössert werden. Auch die neuen Profile der Vereinigten Stahlwerke (Abb. 1) bedeuten einen grossen Fortschritt ; mit ihnen kann man hohe Walzprofile wirtschaftlicher durch geschweisste ersetzen. Dagegen ist die Verwendung von quadratischen Rohrquerschnitten, aus zwei Winkelreisen zusammengeschweisst, nicht vorteilhaft. Rechnet man beispielsweise für 1 Rohr aus $2 < 60.60.6$ (Abb. 2) mit einem Gewicht von $2.5,42 = 10,84 \text{ kg/m}$; 2 m Schweissnaht von $a = 4 \text{ mm}$ mit ca. $0,85 \text{ RM} : 2,0,0,85 = 1,70 \text{ RM/m}$, so ergibt sich, dass dieses Rohrprofil $\frac{1,70}{0,01084} = 169 \text{ RM/t}$ an Schweissunkosten allein beansprucht.

Selbst bei Strichnähten von 5 cm Länge und 20 cm Abstand sind die Kosten für das Schweißen allein : $\frac{169}{5} = 34\text{.-RM/t}$. Hierzu kommt die teure



Fig. 1 et 2.

Cordon d'angle = Kehlnaht = Fillet
Profilé spécial = Spezialprofil = Special section
Tôle d'âme = Blech = Plate

Bearbeitung der Stabenden und die schwierige und nicht immer einwandfreie Schweißarbeit an den übrigen Anschlüssen, schliesslich auch die Rostgefahr. Aehnlich liegen in wirtschaftlicher Beziehung die Verhältnisse bei Verwendung runder Rohre. Hier sind die hohen Preise der Rohre, abgesehen von den teuren Verbindungen, ausschlaggebend.

Wenn bei geschweissten Konstruktionen der Vorteil vorläufig in der Gewichtersparnis (gegenüber genieteten 15-25 %) liegt und an der Werkarbeit trotz einfacherer Arbeitsvorgänge noch nichts gewonnen wird, so liegt das an den unzureichenden Einrichtungen der Werkstätten und an der noch unzureichenden Arbeitspraxis. In dieser Beziehung lässt sich durch geeignete Einrichtungen, die das teure Zusammenklemmen der Konstruktionsglieder entbehrlich machen, mancherlei erreichen. Auch auf den Baustellen liegt es ganz ähnlich. Dort sollte man zweckmässig noch schrauben und nielen bis man über geeignete Montageeinrichtungen verfügt.

2. — Dr. Kommerell sagte in seinem Referat : Dicke Nähte seien wegen etwaiger Schlackeneinschlüsse, Poren etc. unsicherer als dünne. Das dürfte zutreffen ; man sollte aber schon aus wirtschaftlichen Gründen dünne und lange Nähte den dicken und kurzen vorziehen.

1 m Kehlnaht von $a = 5$ mm trägt bei $\rho_{zul} = 0,600 \text{ t/cm}^2$: $P = 30 \text{ t}$ und kostet ca. 1,35 RM/m.¹

0,5 m Naht von $a = 10$ mm tragen gleichfalls 30 t, kosten aber 2,30 RM oder 70 % mehr.

Dr. Kommerell sagt ferner, dass leichte Nähte (Hohl-Kehlnähte) viel billiger seien als Vollkehlnähte, dass erstere aber viel weniger tragfähig sind. M. A. n. treffen beide Auffassungen nicht zu.

Nach Abb. 3 ergibt sich für die Vollkehlnaht ein Verbrauch an Schweissgut entsprechend $F_{Schw} = 1,414 \cdot a^2$, während für die Hohlkehlnaht von gleichem « a » nach Abb. 4) $F_{Schw} = 1,37 \cdot a^2$ ist.

Da die Nahtkosten proportional dem Schweissnahtquerschnitt sind, so ist die Hohlkehlnaht nur um 3 % billiger als die Vollkehlnaht von gleichem « a ».

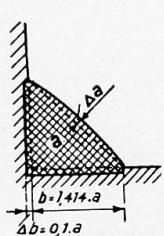


Fig. 3.

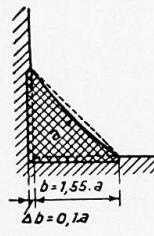


Fig. 4.

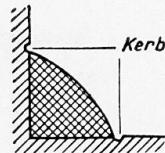


Fig. 5

Fig. 5. — Entaille = Kerb = Notch.

Dagegen erscheint die Hohlkehlnaht in konstruktiver und statischer Beziehung besser als die Vollkehlnaht.

Nach Abb. 4 hat die Hohlkehlnaht eine Anlageschenkel von $b = 1,55 \cdot a$, während die Vollkehlnaht nur $b = 1,414 \cdot a$ hat.

Der längere Einbrand gibt eine höhere Sicherheit als der kürzere der Vollkehlnaht. Ausserdem ist die Dehnbarkeit der Hohlkehlnaht grösser und die Gefahr von Einkerbungen, die ja bei der Vollkehlnaht gemäss Abb. 5 häufig vorkommen, geringer. Am wirtschaftlichsten und konstruktiv vorteilhaftesten sind aber V- und X-Nähte. Die Verwendung derselben ist durch die bestehenden Vorschriften noch stark eingeschränkt. Ich schliesse mich in dieser Beziehung den von Herrn Caldwell geäusserten Ansichten an, im Stahlbau, wo angängig, V- und X-Nähte zu verwenden. Dies ist aber erst möglich, wenn die zulässigen Beanspruchungen für Schweissnähte wesentlich erhöht werden.

Im Kesselbau lässt man heute, bei sorgfältiger Ausführung, für die Schweissnähte schon bis zu 90 % der Blechfestigkeit zu, und man sollte doch annehmen, dass für den Stahlbau dasselbe möglich ist, wobei die Forderung des Herrn Prof. Godard, auch die Qualität der Schweissnaht und der dabei verwendeten Elektroden zu berücksichtigen, zu unterstützen ist.

3. — Die Frage der Einbrandtiefe ist ebenso wichtig, wie bisher ungeklärt. Frühere Forderungen von 2-3 mm Einbrand-Mindesttiefe, dürften heute als überholt gelten. Ein zu tiefer Einbrand bedeutet nicht nur eine Verteuerung,

1. Vgl. Techn. Zentralblatt April — Heft 1932).

sondern auch eine Schädigung der Konstruktion infolge Kerbgefahr. Wichtig ist nur, dass ein einwandfreier Einbrand, gleichgültig welcher Tiefe, bis in die Nahtwurzel erreicht wird (Abb. 3).

Bei dicken Flankennähten ist eine Vorschweissung mit dünnen Elektroden, wie sie Dr. Kommerell vorschlägt, zu fordern.

In Bezug auf die Nahtdicke sagt Din 4100 mit Recht, dass die Ueberhöhung der Vollkehlnähte bei den statischen Berechnungen zu vernachlässigen ist. Es wird nun häufig die Nahtdicke mit den im Handel befindlichen Messinstrumenten falsch ermittelt, indem statt des richtigen « a » der Din-Vorschriften ($a + \Delta a$) gemessen wird (Abb. 3). Dabei werden Fehler, je nach der Nahtüberhöhung bis zu 20 % gemacht. Noch häufiger werden ungleichschenklige Nähte (Abb. 6) im Betriebe als gleichschenklige angesehen. In diesem Falle ist

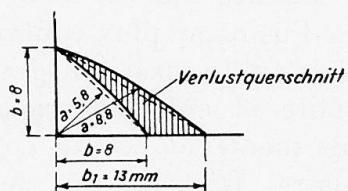


Fig. 6.

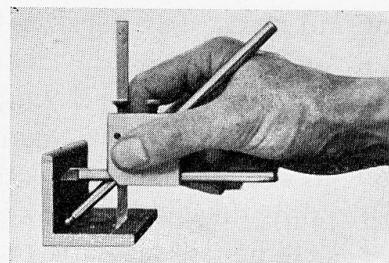


Fig. 7.

Fig. 6. — Section perdue = Verlustquerschnitt = Reduction in cross-section.

Fig. 7. — Appareil traceur pour l'étude des cordons de soudure d'angle, du Dr. Schmuckler
Anreissgerät für Kehlnähte nach Dr. Schmuckler.
Dr Schmuckler's marking-out device for fillet welds.

der Messfehler in Bezug auf « a » bis zu 50 %, während der Querschnitt bis 70 % grösser ist, als der zur Wirkung kommende Nutzquerschnitt. Abb. 7 zeigt ein Anreissgerät¹, welches diese Fehler zu vermeiden gestattet.

Traduction.

1. — L'exécution pratique des constructions soudées et l'économie du procédé.

Le développement de la soudure, en construction métallique, exige, ainsi que M. Kopeček l'a signalé, une évolution de la part des Ingénieurs ; en outre, le manque de profils appropriés n'est pas sans nuire au caractère économique de la construction soudée.

Les profils en demi-I NP et P laminés, sur mes suggestions, par les Peiner-Walzwerke, correspondent aux nécessités de la technique de la soudure. La simplicité de leur fabrication conduit à une faible augmentation de prix. Le nombre de profils dont on dispose est toutefois actuellement encore trop réduit, et devrait être augmenté. Les nouveaux profils des Vereinigte Stahl-

1. Z.d.V. d. J. 1932/34.

werke (figure 1) représentent également un progrès considérable; ils permettent de remplacer les profils de laminage de grandes dimensions par des assemblages soudés, dans des conditions économiques. Par contre, l'emploi des sections tubulaires carrées, constituées par un assemblage de cornières, n'est pas avantageux. Considérons par exemple un élément tubulaire constitué par deux cornières de 60.60.6 (figure 2), ayant un poids de 2 fois $5,42 = 10,84 \text{ kg/m}$; on devra employer pour la soudure 2 mètres de cordon de 4 mm. à environ 0,85 RM, soit :

$$2 \times 0,85 = 1,70 \text{ RM/m.}$$

Il en résulte que rien que pour la soudure, on arrivera à un prix de :

$$\frac{1,70}{0,01084} = 169 \text{ RM à la tonne.}$$

En adoptant même des cordons de soudure discontinus, de 5 cm. de longueur, séparés par des intervalles de 20 cm., les frais de soudure seuls se monteraient à $169/5 = 34 \text{ RM/tonne}$. Il faut ajouter à cela l'usinage plus coûteux des bords des éléments, la plus grande difficulté des autres assemblages, dont l'exécution en soudure ne sera pas toujours parfaite et enfin les risques de rouille. Du point de vue économique, il en est de même en ce qui concerne l'emploi des éléments tubulaires de section circulaire. Dans ce cas, les prix élevés des éléments tubulaires deviennent prohibitifs, sans compter les frais élevés d'assemblage.

L'avantage que présente la construction métallique soudée repose encore actuellement uniquement sur l'économie de poids (15 à 25 % par rapport à la construction rivée); on ne gagne encore rien sur l'usinage malgré sa simplification possible; ceci tient à ce que les installations réalisées dans les ateliers sont encore insuffisantes, de même que la pratique du travail. On gagnerait beaucoup, dans cet ordre d'idées, à adopter des dispositifs de montage plus économiques pour les différents éléments de construction à assembler. On pourrait dire la même chose en ce qui concerne la soudure sur le chantier. Il est préférable de s'y contenter du boulonnage et du rivetage, en attendant que l'on puisse disposer d'appareils de montage appropriés.

2. — Les dimensions des cordons de soudure.

Dans son rapport, le Dr. Kommerell déclare : les cordons de soudure de forte épaisseur offrent une moins grande sécurité que les cordons minces, par suite de la présence éventuelle d'inclusions de scories, de porosités, etc... C'est possible; toutefois, les soudures minces et longues doivent être déjà préférées aux soudures courtes et épaisses pour des raisons économiques.

Un cordon de soudure d'angle de 1 mètre, ayant une épaisseur $a = 5 \text{ mm.}$ présente, pour $\rho_{zul} = 0,600 \text{ t/cm}^2$, une capacité $P = 30 \text{ t}$ et son prix est d'environ 1,35 RM/mètre¹.

Un cordon de soudure de 0,50 mètre, ayant une épaisseur $a = 10 \text{ mm.}$ a également une capacité de 30 t, mais coûte 2,30 RM soit 70 % de plus.

Le Dr. Kommerell dit en outre que les cordons de soudure concaves ou

1. Voir Techn. Zentralblatt, numéro d'avril 1932.

légers sont beaucoup moins chers que les cordons normaux pleins, mais que les premiers ont une capacité beaucoup plus faible que les seconds. A mon avis, cette manière de voir n'est pas exacte.

Suivant la figure 3, pour un cordon de soudure d'angle plein normal, la consommation de métal d'apport est définie par la section $F_{schw} = 1,414 \text{ a}^2$ tandis que pour le cordon de soudure concave de même « a » cette consommation (figure 4) est définie par la section $F_{schw} = 1,37 \text{ a}^2$.

Comme le prix de cordon de soudure est proportionnel à sa section, on trouve que le cordon concave n'est meilleur marché que de 3 % environ par rapport au cordon plein de même « a ». Par contre, le cordon concave est d'un meilleur effet en construction; du point de vue statique, il est également préférable au cordon plein.

La figure 4 montre que le cordon concave possède une largeur d'accrochage $b = 1,55 \text{ a}$ tandis que celle du cordon plein n'est que $b = 1,414 \text{ a}$.

Cet accrochage plus large donne une sécurité plus grande que celle du cordon plein. En outre, les possibilités d'allongement du cordon concave sont meilleures que celles du cordon plein; il en résulte une diminution des risques de fissuration, risques qui sont fréquents avec des cordons pleins tels que celui de la figure 5. Toutefois, tant du point de vue économique que du point de vue constructif, ce sont les cordons en V et en X qui sont les plus intéressants. Leur emploi est encore étroitement limité par les Règlements actuels. Je me rallie à ce point de vue à l'opinion exprimée par M. Caldwell, qui recommande d'employer les cordons de soudure en V et en X, en construction métallique, lorsque cela est possible. Cela ne sera toutefois possible que lorsque les contraintes admissibles pour les cordons de soudure auront été notablement élevées.

Dans la construction des chaudières, on admet actuellement avec une exécution soignée, pour les cordons de soudure, une résistance atteignant 90 % de celle des tôles à assembler et il faut admettre que la même chose doit être possible en construction métallique; on ne peut donc qu'approuver le Professeur Godard, lorsqu'il demande que l'on veille également à la qualité des cordons et à celle des électrodes que l'on y emploie.

3. — La pénétration de la fusion.

Cette question est importante et jusqu'à maintenant assez mal définie. Les exigences antérieures, prévoyant une profondeur minimum de pénétration de la fusion de 2 à 3 mm., doivent actuellement être considérées comme périmées. Une pénétration trop forte implique non seulement une augmentation du prix de revient, mais également un dommage à la construction, le métal pouvant être trop entamé. Il est essentiel, surtout, que la pénétration soit parfaite et qu'elle porte bien sur toute la soudure, jusqu'à la racine (sommet), mais peu importe son épaisseur (figure 3).

Lorsqu'il s'agit de cordons de forte épaisseur, il faut prévoir une soudure préliminaire avec des électrodes de faible diamètre, ainsi que l'indique le Dr. Kommerell.

En ce qui concerne l'épaisseur des cordons, la norme DIN 4100 prévoit, à juste titre, que dans les calculs statiques, on négligera la surépaisseur ou

arrondi des cordons pleins dans les soudures d'angle. L'épaisseur d'un cordon est d'ailleurs souvent déterminée d'une manière inexacte avec les appareils courants ; au lieu de la cote « a » prévue par les Prescriptions, c'est ($a + \Delta a$) que l'on mesure (figure 3). Il en résulte des erreurs qui peuvent atteindre jusqu'à 20 %, suivant l'arrondi du cordon. Plus souvent encore, on considère des cordons scalènes comme isocèles (figure 6). Il en résulte par rapport à « a », des erreurs allant jusqu'à 50 %, tandis que la section calculée est supérieure de 70 % parfois à la valeur utile effective. La figure 7 représente un appareil traceur qui permet d'éviter ces erreurs¹.

H. MICHEL,

Directeur de la Soudure Électrique Autogène S. A. Arcos, Bruxelles.

M. le professeur Roš et M. le Docteur Schmuckler ont soulevé la question de la résistance des soudures aux sollicitations répétées et c'est en effet une des questions les plus intéressantes à étudier pour le moment.

Sans vouloir prendre dès à présent une position définitive à ce sujet, je crois pouvoir affirmer que nos études et expériences nous fournissent déjà des résultats très rassurants. Une expérience de douze ans sur des constructions importantes sollicitées par des efforts alternatifs et des vibrations, ne nous a pas encore montré un seul cas de faiblesse.

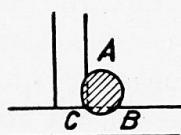


Fig. 1.

Les essais que nous avons poursuivis dans nos laboratoires en soumettant des barreaux de soudure et des assemblages soudés à la flexion répétée, ont démontré qu'à l'heure actuelle l'endurance du matériau soudure est comparable à celle des meilleurs aciers de construction. Nous obtenons régulièrement, à la flexion répétée, une endurance supérieure à 25 kg/mm².

En principe, nous pouvons être assez tranquilles, mais il y a un point qui demande encore une étude approfondie.

Les assemblages soudés présentent en effet, d'une façon générale, une certaine fragilité de forme qui est due à deux causes :

La forme bombée de certaines soudures d'angles détermine fatallement, aux points où la soudure rencontre la tôle, des entailles (A, B) dont l'effet sur l'endurance est néfaste. Il y aura lieu d'examiner si les soudures plates ou même concaves ne sont pas préférables.

D'autre part, comme l'a montré M. Fry à La Haye, il existe fatallement au fond de la soudure une entaille (C) constituée par la face de contact des deux tôles. Cette entaille pourrait déterminer une surtension locale et une fatigue prématuée si la soudure n'avait aucune ductilité ; mais, comme l'a démontré M. Rosenthal à La Haye, la ductilité propre des soudures apporte un remède à ce défaut en permettant une distribution régulière des tensions dans toute la section de la soudure.

Je pense que les électrodes actuelles, qui donnent des soudures plates et ductiles, apportent une solution radicale au problème exposé et qu'il n'y a pas lieu de s'en émouvoir.

1. Z. d. V. D. I., 1932/31.