Influence de la forme des assemblages soudés sur leur résistance

Autor(en): **Graf, O.**

Objekttyp: **Article**

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

Band (Jahr): **2 (1936)**

PDF erstellt am: **18.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-2930

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

IIIa 3

Influence de la forme des assemblages soudés sur leur résistance.

Einfluß der Gestalt der Schweißverbindung auf ihre Widerstandsfähigkeit.

Influence of the Form of Welded Connections to Strength and Resistance.

O. Graf,
Professor an der Technischen Hochschule Stuttgart.

Les conceptions sur la conformation appropriée des assemblages soudés, surtout des assemblages qui subissent principalement des sollicitations souvent répétées, se sont largement modifiées depuis 1931 dans tous les pays qui s'occupent de la question. Cela a fortement influencé la conformation des ouvrages soudés, leur disposition constructive et leur exécution. Jusqu'à l'époque indiquée, on n'avait pas tenu compte dans les prescriptions officielles des connaissances et des observations sur la résistance à la fatigue des éléments de construction.[1] Il fut démontré en 1931, par quelques essais,[2] que les usages pour l'exécution des assemblages soudés pour les machines et les ponts ne pouvaient être conservés ou en tous cas devaient être limités. C'est alors qu'au premier plan de l'art de la soudure s'est placée la tâche de fournir à l'ingénieur constructeur et surveillant les principes qui lui permettent de construire d'une façon appropriée à l'emploi de la soudure et d'exécuter des ouvrages dimensionnés et réalisés d'une manière adéquate.

Les questions que nous nous sommes posées et que nous nous posons encore sont les suivantes:

1° Comment doit être exécutée une soudure lorsque dans les cordons bout à bout, frontaux ou latéraux, elle est soumise à des sollicitations souvent répétées ou à des sollicitations immobiles, jusqu'aux limites possibles actuellement?

2° Quel type d'assemblages soudés (Soudure bout à bout, latérale, etc.) est spécialement propre à supporter des surcharges souvent répétées (traction, compression, traction et compressions alternées, flexion, cisaillement, etc.)?

3° Comment faut il appliquer les résultats de 1 et 2 à la conformation des éléments de construction, entre autres à l'assemblage des barres tendues, aux joints des poutres, aux renforcements de poutres par des semelles, aux assemblages des entretoises aux poutres-maîtresses, etc.?

---

[1] cf. *Graf:* Die Dauerfestigkeit der Werkstoffe und der Konstruktionselemente, Edition Julius Springer, Berlin 1929.

[2] cf. entre autres *Graf:* Dauerfestigkeit von Stählen mit Walzhaut, ohne und mit Bohrung, von Niet- und Schweißverbindungen, Edition VDI, 1931.

4° Quelle importance faut-il attribuer aux contraintes qui se produisent pendant et après le soudage?

Il est possible de répondre en principe à ces questions d'après les connaissances actuelles; dans le détail, il existe encore bien des questions particulières qui intéressent souvent l'ingénieur constructeur et surveillant et qui n'ont pas encore été assez étudiées pour que l'on puisse sans autre appliquer les connaissances actuelles.

a) Comme première question faisons remarquer ce qui suit: Beaucoup d'anciens essais à la fatigue ont montré que des éléments de construction, qui doivent supporter des charges souvent répétées, doivent être prévus avec raccords adoucis entre sections différentes, afin d'éviter autant que possible les variations brusques de contrainte. A ce sujet il fallait s'attendre à ce que des soudures bout à bout, qui sont chargées à la traction ou à la compression, soient moins résistantes lorsqu'elles présentent, suivant la fig. 1, des irrégularités au bords ou

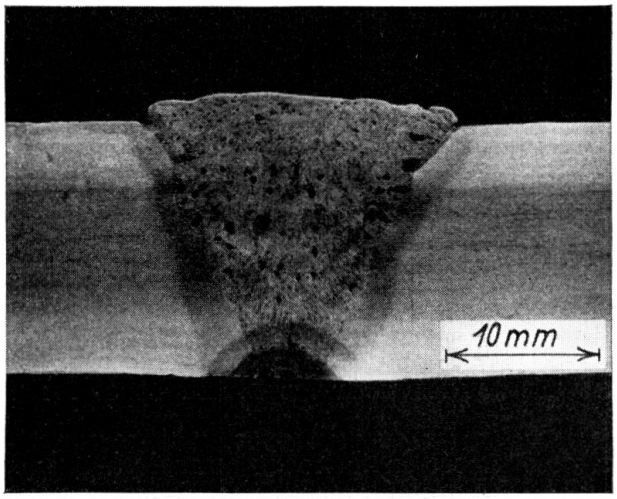

Fig 1.

dans la racine ou lorsqu'elles contiennent des fautes de liaison. Les essais ont naturellement démontré que cette conception est exacte et que des soudures possèdant peu de pores, avec reprises à la racine et avec soudures raccordées progressivement possèdent une beaucoup plus grande résistance à la fatique que les soudures suivant la fig. 1.

Dans les soudures d'angle il fallait aussi déterminer l'influence de la forme du cordon. Des soudures suivant la fig. 2 n'ont qu'une faible résistance tandis que des soudures suivant la fig. 3 sont très résistantes.[3]

Il en résulte la condition que l'exécution d'assemblages soudés fortement sollicités doit dépendre d'un contrôle approprié du soudeur chargé de ce travail et des matériaux que l'on veut utiliser. Les ouvriers doivent connaître à fond l'exécution des soudures. *Pour les matériaux et pour les électrodes employés, principalement pour les matériaux à haute résistance, il faut contrôler d'une façon tout-à-fait objective qu'une soudure bonne à l'intérieur et à l'extérieure peut être exécutée et le fournisseur doit donner d'une façon univoque quelle*

[3] cf. entre autres *Graf:* „Der Stahlbau", 1933, p. 81 et ss, et Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure, 1934, p. 1423 et ss.

doit être la composition du métal de base et de quelle façon l'on doit ou l'on peut procéder si l'on veut ou si l'on doit obtenir une bonne soudure.

Celui qui doit garantir que des soudures fortement sollicitées sont suffisamment résistantes, doit avoir à sa disposition des moyens de reconnaître la qualité de la soudure; ce n'est que sur la base de déterminations sur des soudures terminées qu'il peut contrôler qui est capable d'exécuter des soudures suffisamment bonnes; il doit vérifier si les ouvriers qui exécutent ces travaux prennent complètement la responsabilité qu'exigent de tels travaux.

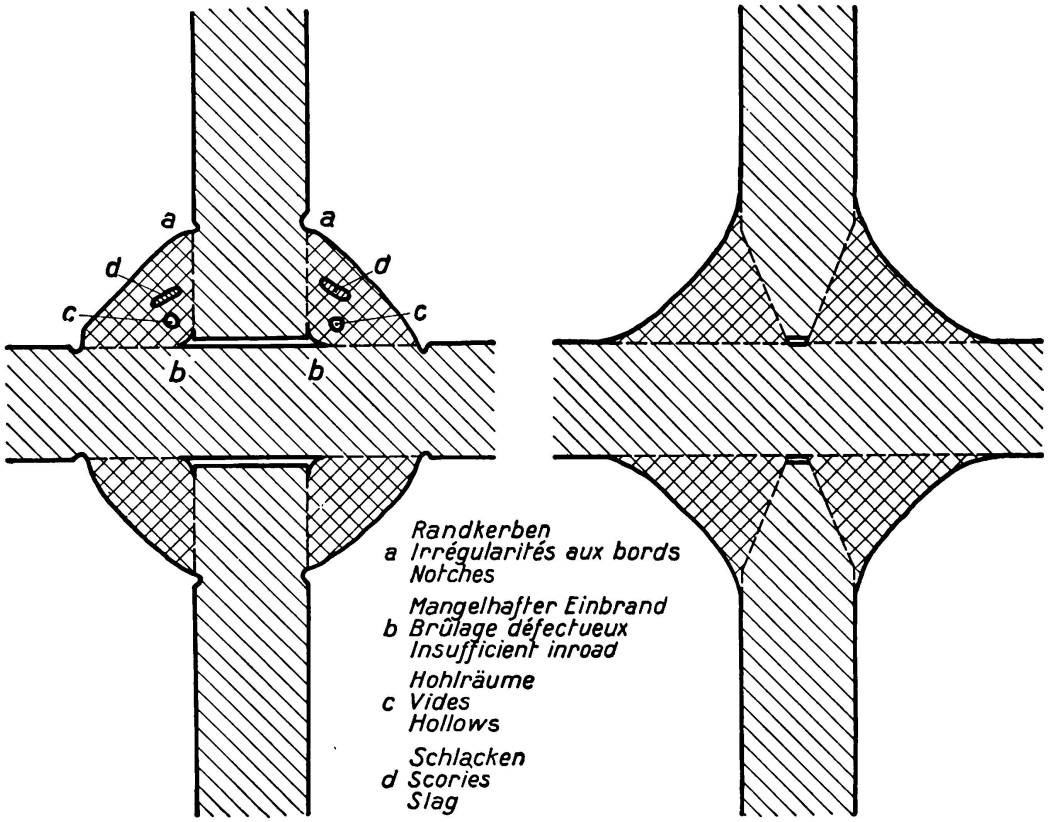

Fig. 2. Fig. 3.

On a nettement amélioré les méthodes de contrôle de la qualité des soudures. Les installations pour le contrôle aux rayons X des assemblages soudés possèdent un meilleur rendement et sont devenues meilleur marché. Il est ainsi devenu possible d'exiger pour les soudures bout à bout importantes et fortement sollicitées un contrôle aux rayons X avant la livraison.[4]

b) Sur la deuxième question — *quel type d'assemblage est à préférer dans les différentes conditions pratiques* — on a fait des constatations beaucoup plus étendues que sur la première question, car le développement des principes pour la construction des ouvrages soudés est apparu comme beaucoup plus urgent.

On a souvent fait remarquer autrefois et encore aujourd'hui que la résistance des assemblages avec soudures latérales, soumis à la traction, est beaucoup moins atteinte par des fautes de soudage que la résistance des soudures bout à bout. La disposition des assemblages à soudures latérales est plus simple que lors

[4] cf. Vorläufige Vorschriften für geschweißte, vollwandige Eisenbahnbrücken, Compagnie des Chemins de fer allemands, Berlin 1935, p. 11 et 13.

d'emploi des soudures bout à bout. C'est à partir de ces constatations que l'on a donné autrefois la préférence aux assemblages avec soudures latérales. Il faut ajouter que de bonnes soudures bout à bout, exécutées d'une façon appropriée, sont beaucoup plus résistantes aux efforts souvent répétés que les assemblages avec soudures latérales car, au début des soudures latérales, il se produit toujours de grandes variations brusques de contrainte, en tous cas toujours plus grandes que dans les soudures bout à bout.[5] La rupture se produit suivant la fig. 4 dans un essai à la fatigue avec surcharge originelle; la comparaison avec la fig. 5, valable pour l'essai simple de rupture avec éprouvette identique

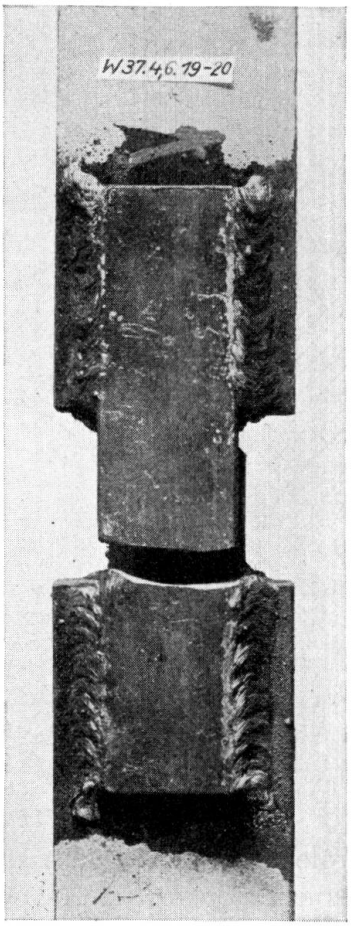

Fig. 4.
Assemblage avec soudures latérales après l'essai à la fatigue.

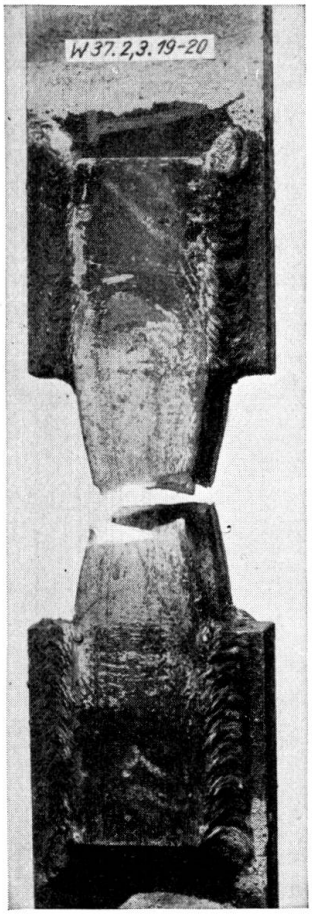

Fig. 5.
Assemblage avec soudures latérales après l'essai de rupture (dimensions avant l'essai comme dans la fig. 4).

et utilisable pour la détermination de la résistance aux charges immobiles, rappelle que l'essai de rupture ne donne aucun renseignement sur l'importance des sauts de contrainte. Les fig. 4 et 5 nous rendent attentifs au fait que *l'assemblage avec soudures latérales peut être utilisé avec avantage pour la transmission de charges immobiles, mais non pas pour la transmission de charges mobiles.*

Il faut observer en outre que l'exécution de bonnes soudures bout à bout

[5] cf. entre autres „Stahlbau" 1933, p. 81 et ss.

a été si fortement améliorée par le développement des transformateurs à souder, par la préparation d'électrodes appropriées, par l'instruction beaucoup plus poussée des soudeurs et des ingénieurs, par les progrès dans les méthodes de contrôle, etc., qu'il est possible actuellement d'exécuter de bonnes soudures bout à bout dans les ateliers bien organisés.

Avec cette distinction fondamentale sur la convenance du type d'assemblage et sur le domaine approprié d'application des différents types, il était nécessaire de rechercher si la résistance des assemblages aux tractions souvent répétées est déterminée sans restriction par la résistance à la traction répétée par rapport à l'origine.[6] On a donc étudié si, pour une variation souvent répétée entre des forces de traction et de compression de même grandeur et aussi pour l'action simultanée de tractions immobiles et souvent répétées, l'amplitude d'oscillation qui peut être supportée, est exactement ou à peu près égale à la résistance à la traction répétée par rapport à l'origine. Plusieurs essais[7] ont montré que la résistance à la traction répétée par rapport à l'origine donne d'une façon suffisante l'amplitude supportable pour le domaine pratique. C'est de là qu'est sortie la proposition[8] d'appliquer au dimensionnement des assemblages soudés les directives simples qui suivent:

a) La limite d'écoulement du matériau est déterminante pour les charges immobiles et pour la surcharge totale.

b) Pour les charges mobiles il faut se baser sur l'amplitude qui peut être supportée pour des charges souvent répétées et qui peut être déterminée de la façon la plus simple en tant que résistance à la fatigue par rapport à l'origine.[9]

La fig. 6 montre comme exemple les résultats de l'essai d'une soudure bout à bout. La résistance à la charge immobile et à la charge totale est limitée par la résistance à la traction et par la limite d'écoulement. L'amplitude qui peut être supportée pour une charge souvent répétée est fixée, d'après la résistance à la fatigue par rapport à l'origine, à $S = 14{,}5$ kg/mm² et, d'après la limite d'écoulement, à $S = 13{,}1$ kg/mm².

On peut ainsi choisir la contrainte admissible pour la charge immobile et pour la charge totale et, indépendamment de cela, la contrainte admissible pour la charge souvent répétée. Si par exemple on fixe la contrainte admissible à 0,8 fois la résistance déterminée, on aurait dans le cas de la fig. 6 les contraintes admissibles:

a) pour charges immobiles et pour les charges totales,

$$37{,}8 \cdot 0{,}8 = \sim 30 \text{ kg/mm}^2 \text{ et}$$

b) pour charges souvent répétées, $14{,}5 \cdot 0{,}8 = \sim 11$ kg/mm². La contrainte maxima admissible serait donc de 30 kg/mm². De cette contrainte maxima, 11 kg/mm² devraient être engendrés par les charges mobiles.

D'après cela, on pourrait établir pour l'ingénieur un tableau simple qui donne avant tout les contraintes de traction admissibles pour les charges mobiles et ensuite les contraintes maxima pour efforts de traction immobiles et mobiles.

---

[6] Efforts répétés variant de 0 à une valeur déterminée (Réd.).

[7] cf. entre autres „Stahlbau" 1933, p. 92 et ss, „Stahlbau" 1935, p. 164 et ss.

[8] cf. „Stahl und Eisen" 1933, p. 1218 et ss.

[9] Ici, ainsi que dans les explications qui vont suivre, on entend par résistance à la fatigue par rapport à l'origine, la charge qui peut encore juste être supportée après 2 millions de cycles.

Le type d'acier est déterminant pour la sollicitation maxima par charges immobiles; le type d'assemblage peut par conséquent ne pas entrer en ligne de compte lorsqu'il faut remplir certaines conditions minima pour leur exécution. Pour la limitation des sollicitations admissibles pour les forces souvent répétées, il est nécessaire d'établir une graduation suivant le type d'assemblage (soudures bout à bout, latérales, frontales).

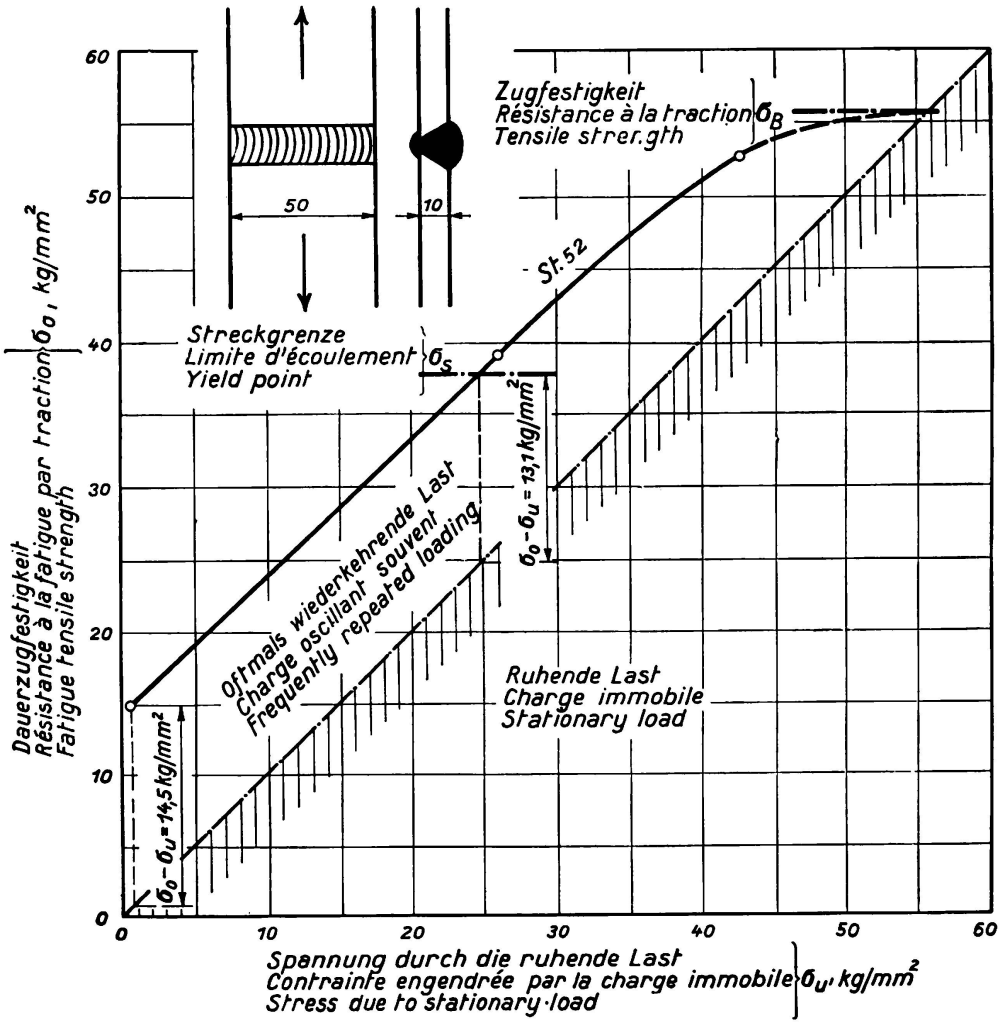

Fig. 6.

Les rapports sont encore plus simples lorsqu'il s'agit d'assemblages soumis à la *compression*. Il est de toute évidence que la soudure bout à bout est préférable en général pour la transmission des forces de compression. Dans la règle, il n'est pas difficile d'exécuter des soudures bout à bout qui permettent une transmission des forces immobiles de compression aussi bien que dans des pièces sans soudure. S'il s'agit de la transmission de forces de compression souvent répétées, il faut remarquer qu'aux variations de section non continues, c'est-à-dire aux irrégularités des bords des soudures bout à bout, aux irrégularités dans la racine de ces soudures, il se produit des variations brusques de contrainte[10] qui conduisent, à la limite supérieure de charge, à des déformations

[10] cf. Stahl und Eisen 1933, p. 1219.

permanentes locales d'où il résulte, lors de la décharge, des sollicitations de traction dans le fond de l'entaille. C'est pourquoi il se produit, dans les soudures bout à bout non travaillées, des fissures transversales, sous l'effet de compressions souvent répétées ainsi que sous l'effet de tractions souvent répétées, toutefois pour une sollicitation totale beaucoup plus élevée.[11] On peut admettre que la résistance à la fatigue par rapport à l'origine, des soudures bout à bout exécutées de façon courante avec acier St. 37, se trouve à peu près à la limite d'écrasement; c'est pourquoi l'on peut choisir de la même grandeur la contrainte de compression admissible des pièces en acier St. 37 sans et avec soudures bout à bout, dans les limites actuellement en usage.

D'autres observations conduisent finalement à la conception que les résultats des essais de traction et de compression sont aussi valables pour les zones de traction et de compression des profilés.[12]

Il fallait encore rechercher comment doivent être dimensionnées les soudures latérales et frontales lorsque les forces agissent comme forces de cisaillement. Dans les assemblages avec soudures latérales, d'après la fig. 4, qui, avec différentes longueurs de soudures étaient sollicitées par des forces de traction souvent répétées, on a pu évaluer la résistance à la fatigue aux efforts de cisaillement par rapport à l'origine au moins à 10 kg/mm^2.[13]

Pour les barres assemblées au moyen de soudures latérales et chargées par des forces de compression souvent répétées, on a déterminé une résistance à la fatigue aux efforts de cisaillement par rapport à l'origine allant jusqu'à env. 12 kg/mm^2.

Si l'on avait voulu dimensionner les soudures des assemblages avec soudures latérales sur la base de ces indications, on serait arrivé à des soudures plus petites que celles exigées actuellement. Ce résultat ne peut pas être appliqué sans autre aux assemblages souvent chargés, car les dimensions des soudures influencent les variations brusques de contrainte au début de la soudure. C'est pourquoi l'on a pour le moment une limitation du rapport de la contrainte de cisaillement de la soudure à la sollicitation de la barre fermée. Dans les pièces suivant la fig. 4, la résistance à la fatigue par traction par rapport à l'origine a augmenté avec la décroissance de $\rho : \sigma$; avec $\rho : \sigma = 0{,}5$ la valeur maxima de la résistance à la fatigue par traction par rapport à l'origine était à peu près atteinte.[14]

c) A la troisième question, qui se rapporte à l'application des déterminations fondamentales, il n'est possible de répondre que graduellement, car la conformation constructive des assemblages a des limites techniques et économiques.

Dans l'application des assemblages avec soudures latérales, il faut ou bien se contenter pour le moment du fait que ces assemblages sont moins appropriés à la transmission des charges souvent répétées et qu'il faut choisir une con-

---

[11] cf. Stahlbau 1936, p. 71 et 72.

[12] cf. entre autres Stahlbau 1934, p. 169 et ss. Nous présenterons spécialement un rapport sur les essais effectués sur des profilés de laminage assemblés par des soudures bout à bout.

[13] Bautechnik 1932, p. 415.

[14] Bautechnik 1932, p. 415 et encore „Dauerversuche mit Schweißverbindungen", Edition VDI 1935, p. 25.

trainte admissible plus petite que pour les assemblages avec soudures bout à bout, ou bien chercher, par le choix d'un matériau approprié ou par une modification constructive de l'assemblage, à réduire la variation brusque de contrainte. On a entre autres recherché la résistance des assemblages avec soudure latérale par une forme spéciale de la soudure et par différentes répartitions du métal d'apport, par exemple par une soudure raccordée graduellement, par une variation de l'épaisseur et de longueur de la soudure latérale, par le choix de différentes forme de section de la soudure. Mais on a trouvé que l'on ne peut pas arriver à grande chose avec les moyens donnés pour la construction métallique. On arrivera à un meilleur résultat par un choix spécial de formes de section des barres assemblées et par une disposition des soudures s'y rapportant. Dans une section rectangulaire des barres assemblées soumises à la traction, on relèverait la résistance à la fatigue par traction par rapport à l'origine si, au lieu de fers plats avec section 80,10 mm, on avait choisi de ceux de 50,16 mm ou des fers carrés et si, dans ce cas, on avait prévu la liaison au moyen de soudures latérales fortes et courtes.[15] On a obtenu une résistance à la fatigue par traction par rapport à l'origine beaucoup plus élévée lorsque les assemblages étaient constitués de fers en [et de soudures frontales; la plus haute résistance, 12 kg/mm², fut trouvée pour des assemblages suivant la fig. 7.[16]

Ainsi, la différence de résistance des assemblages soudés importants qui sont employés pour des assemblages soumis à une traction souvent répétée — la soudure bout à bout brute d'une part, les assemblages avec soudure latérale brute d'autre part — est devenue insensiblement plus petite. Alors que l'on peut admettre pour les bonnes soudures bout à bout une résistance à la fatigue par traction par rapport à l'origine de $\sim$ 18 kg/mm² on peut s'attendre actuellement pour des assemblages constructivement bien développés, avec soudures latérales d'après la fig. 7, à une résistance allant jusqu'à 12 kg/mm². On ne peut garantir une telle résistance pour une soudure bout à bout que lorsque une radiographie l'a montré comme parfaite. L'emploi des rayons X n'est pas nécessaire pour les assemblages avec soudures latérales lorsque l'exécution fut faite par des soudeurs exercés et travaillant avec soin.

En conséquence de ces explications, on comprend qu'autrefois — lorsque l'exécution de bonnes soudures bout à bout était encore moins sûre — on ait remédié d'avance au manquement des soudures bout à bout, dans des cas importants, au moyen de *couvre-joints* qui étaient placés au dessus de la soudure. Il est ainsi nécessaire d'assurer la résistance aux charges mobiles de telle sorte que la résistance de la section fermée soit tout-à-fait suffisante dans un essai à la rupture. Lorsqu'il fallait transmettre des charges souvent répétées, le couvre-joint simple n'a apporté une amélioration que lorsque les soudures bout à bout étaient mauvaises. Avec de bonnes soudures bout à bout on obtient des ruptures pour les sollicitations indiqués à la fig. 8, parce qu'au début des couvre-joints il existait une forte variation de contrainte par suite de la variation brusque de section. On devait donc rechercher le genre de construction

[15] Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure, 1934, p. 1424.
[16] Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure, 1934, p. 1424.

des couvre-joints qui procure là même résistance qu'une bonne soudure bout à bout seule. On a d'abord obtenu cela avec des couvre-joints travaillés suivant la fig. 9. Dans le cas de la fig. 9 le couvre-joint est aussi large que possible, il est relié aux surfaces frontales par de fortes soudures d'angle b partant d'une manière douce et continue, il est fixé latéralement par des soudures plus faibles et usiné autant que possible de telle sorte que toutes les irrégularités en c sont éliminées, qui pouvaient avoir de l'importance dans le domaine de la transmission

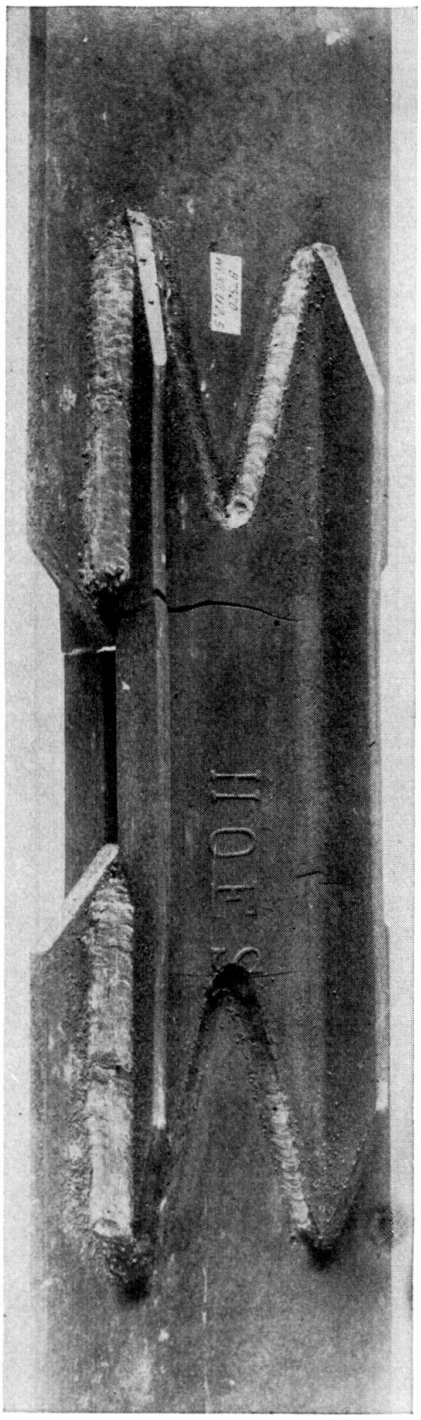

Fig. 7.

Fig. 8.

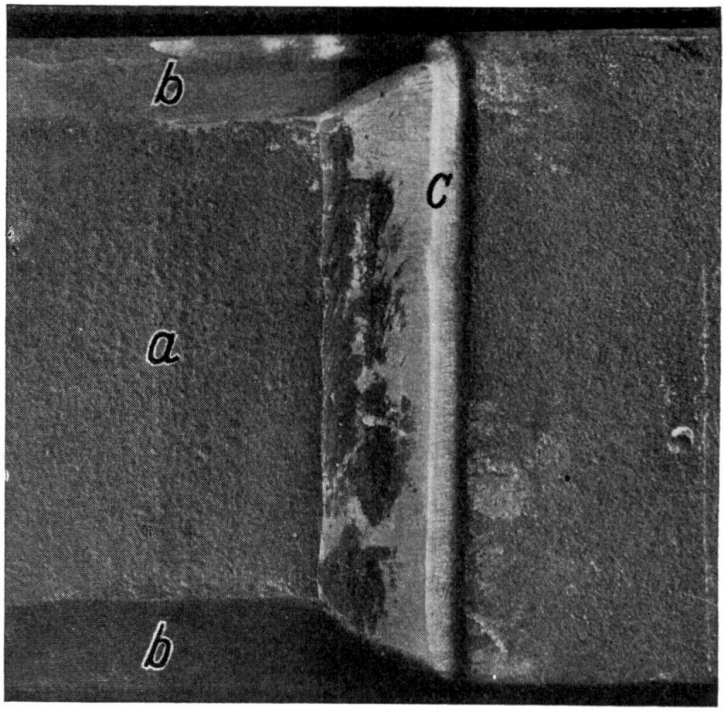

Fig. 9.

des forces.[17] Ces conditions ne peuvent toutefois être remplies que lorsque l'on utilise de bonnes électrodes.

Ce que nous avons dit sur la conformation des couvre-joints est en principe valable pour le renforcement des semelles dans les poutres. Nous présenterons prochainement un rapport spécial sur les essais s'y rapportant.

De même, il faut observer, dans l'application de raidisseurs d'âmes, le fait que la membrure tendue perd de sa résistance aux efforts souvent répétés lorsque les raidisseurs sont soudés à la membrure tendue.[18] Dans ce cas il est aussi à remarquer que les raidisseurs soudés peuvent aussi réduire la résistance de l'âme.[18]

Nous avons étudié aussi la résistance des soudures d'angle qui sont à dimensionner non seulement pour supporter un effort tranchant, mais aussi un moment de flexion.

Pour la construction des charpentes, on a exécuté des essais à Dresde.[19] Pour la construction des ponts, on peut tirer des éclaircissements par des essais sur grands modèles, par exemple d'après la fig. 10. Les contraintes des

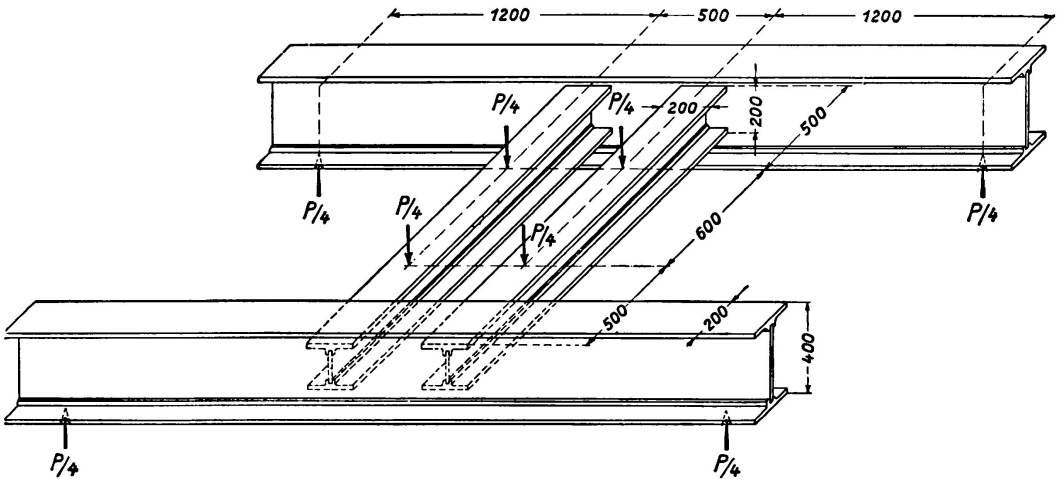

Fig. 10.
Essais sur des systèmes soudés.

entretoises ou des poutres-maîtresses sont à déterminer comme l'exige les prescriptions alors valables, ou comme on le propose pour de futures prescriptions. Dans le cas de la fig. 10 on avait une liaison avec soudures d'angle de tous les côtés et les renforcements habituels. La rupture se produisit dans les entretoises sous des sollicitations qui ne sont pas éloignées de celles que l'on constate dans une poutre sur appuis simples du même genre. Il est important de remarquer qu'il se produisit dans l'âme de la poutre principale, avant la rupture de l'entretoise, une fissure suivant la fig. 11, parce que dans la zone tendue de l'âme il existait une forte variation brusque de contrainte. Le fer en ⊥ que l'on voit à la fig. 11, était le raidisseur extérieur de l'âme.

[17] Le rapport détaillé pour la Commission allemande pour la construction métallique est en préparation.

[18] cf. *Schulz* und *Buchholtz:* Stahl und Eisen 1933, p. 551.

[19] *Schmuckler:* Stahlbau 1931, p. 133 et ss, et *Köppel:* Stahlbau 1933, p. 14 et ss.

Dans de telles investigations il y a deux problèmes partiels à traiter; il faut d'abord rechercher les formes de liaison appropriées; ensuite il faut décider de la grandeur du moment qui doit être supporté.

En ce qui concerne les formes d'assemblage il faut entre autres remarquer que les semelles des entretoises sont de préférence à assembler à la traction, c'est-à-dire que le plus simplement elles seront fixées à l'âme de la poutre maîtresse au moyen d'une soudure bout à bout. La fixation de l'âme des entretoises se fera avec de simples soudures d'angle dont on recherche actuellement l'épaisseur nécessaire. Lorsque les entretoises reposent directement sur la semelle tendue de la poutre-maîtresse et sont assemblées à cette semelle par soudure, il est évident qu'il apparaît dans la semelle tendue de la poutre-maîtresse,

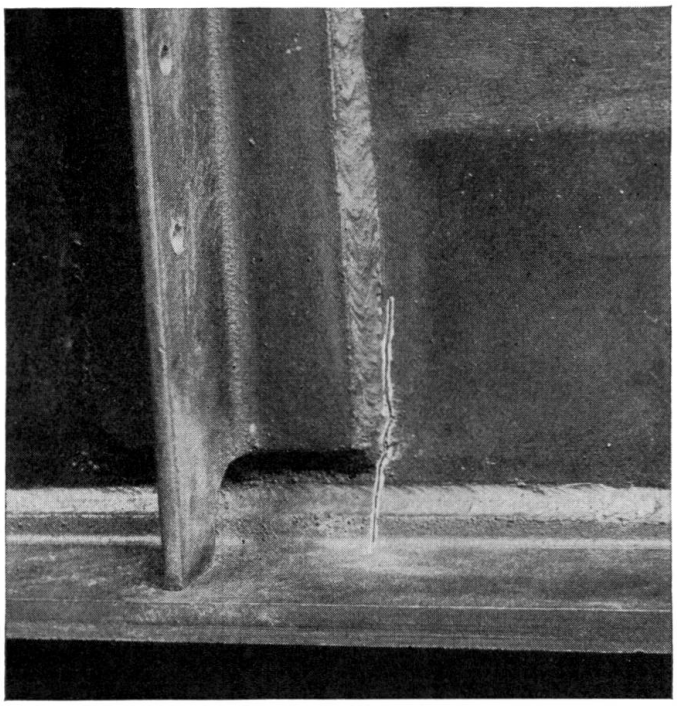

Fig. 11.

à l'endroit de la soudure pour l'entretoise, une variation brusque de contrainte qui réduit d'une façon appréciable la résistance aux charges souvent répétées. Cette réduction de la résistance de la zone tendue de la poutre-maîtresse doit souvent être prise en considération si l'on veut réaliser de bonnes liaisons pour les entretoises. La contrainte dans la poutre principale est à choisir en tenant compte de cela.

d) La quatrième question se rapporte à l'importance des *contraintes qui se produisent avec le soudage.* Nous ne voulons pas expliquer ici comment se développent ces contraintes; nous nous basons seulement sur les résultats des constatations faites jusqu'à ce jour. On sait qu'il se produit dans les soudures bout à bout et les soudures d'angle de fortes sollicitations locales qui peuvent aller jusqu'à la limite d'écoulement.[20] Ces sollicitations se répartissent dans les soudures bout à bout, exécutées sans interruption, de telle sorte qu'il se produit

[20] *Graf:* Stahlbau 1932, p. 181 et 182, et 1933 p. 93 et 94, ainsi que le Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure, 1934, p. 1426.

au bord, perpendiculairement à la soudure, des contraintes de compression et au milieu des contraintes de traction.[21] Les contraintes maxima règnent localement d'une façon strictement limitée; c'est pourquoi de petites modifications permanentes sont seules nécessaires pour réduire sensiblement les sollicitations qui se produisent localement.[22] Beaucoup d'essais nous permettent d'estimer que les contraintes engendrées par le soudage (contraintes propres) restent sans influence importante sur la résistance des assemblages, aussi longtemps qu'il s'agit de pièces qui sont conformées comme barres tendues et qui étaient libres à leurs extrémités lors du soudage. On peut d'autre part influencer les contraintes propres par le procédé de soudage ainsi que par le métal de base.[23] L'apparition dont nous allons parler doit être plus importante que les contraintes propres.

Si une barre tendue est exécutée par une soudure bout à bout, il se produit des raccourcissements dans la soudure, parallèlement à la force agissant dans la barre, entre autres parce que le métal fondu dans le joint à souder se rétrécit en durcissant et en refroidissant; le coefficient de retrait croît avec la largeur du joint à souder et par conséquent aussi avec la grandeur de l'angle d'ouverture.[24] Si les barres tendues sont encastrées à leurs extrémités, le retrait de la soudure est plus ou moins entravé; en outre on peut remarquer les variations de volume qui se produisent par le chauffage et le refroidissement du matériau qui avoisine la soudure. Il se produit ainsi dans la soudure, en plus des contraintes propres dont nous venons de parler, des surcharges extérieures. Ces surcharges extérieures (charges de retrait) sont maxima lorsque les barres sont très courtes et lorsque l'encastrement est rigide. Le retrait doit alors être amorti avec une faible longueur de barre. Lorsque la barre est longue et l'encastrement plus ou moins élastique, la charge de retrait devient plus faible par suite de l'allongement plus grand de la longue barre et à cause de la déformation des éléments de construction qui doivent influencer l'encastrement. Si par exemple une barre a une longueur de 3 m et si les encastrements ne cèdent pas pour un effort dans la barre de $\sigma = 1050$ kg/cm^2, il se produit pour cette contrainte un allongement d'environ 1,5 mm. D'après nos connaissances actuelles le retrait d'une section de soudure d'env. 100 mm^2 serait égalisé. Si la longueur libre de la barre n'était que de 0,5 m et si l'encastrement était de nouveau rigide, la contrainte de retrait monterait au dessus de la limite d'écoulement pour égaliser un retrait de 1,5 mm.

Les charges de retrait calculées ainsi sont plus petites en réalité, car il se développe des déformations pendant le refroidissement du matériau, à côté de la soudure et dans la soudure elle-même. Toutefois les exemples nous montrent que lors de l'assemblage des ouvrages soudés, le choix de la succession des endroits de soudage exige la plus grande attention.

Il faut remarquer en outre que les charges de retrait dans la soudure, qui se produisent durant l'exécution de la soudure, peuvent engendrer de très fortes sollicitations, aussi longtemps qu'une partie de la soudure est exécutée et que

[21] cf. *Bierett:* Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure 1934, p. 709 et ss.

[22] *Bollenrath:* Stahl und Eisen 1934, p. 877.

[23] Ici s'ajoute encore la tendance à la fissuration, cf. *Bollenrath* et *Cornelius:* Stahl und Eisen, 1936, p. 565 et ss.

[24] cf. entre autres *Lottmann:* Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure 1930, p. 1340 et ss. *Malisius:* Elektroschweißung 1936, p. 1 et ss.

cette partie peut se refroidir. La charge de retrait n'est pas encore grande dans de tels cas mais l'élasticité des élements est très petite, de telle sorte que le retrait doit presque complètement être supporté par la soudure partiellement appliquée. C'est pourquoi il faut autant que possible exécuter la soudure en une fois, en retardant le refroidissement; la première partie de la soudure doit aussi être très extensible.

Pour obtenir une image des charges de retrait effectives, l'auteur a entrepris en 1934 des essais pour la détermination des charges de retrait. Un tréteau d'après la fig. 12 porte à ses extremités de fortes pièces transversales avec

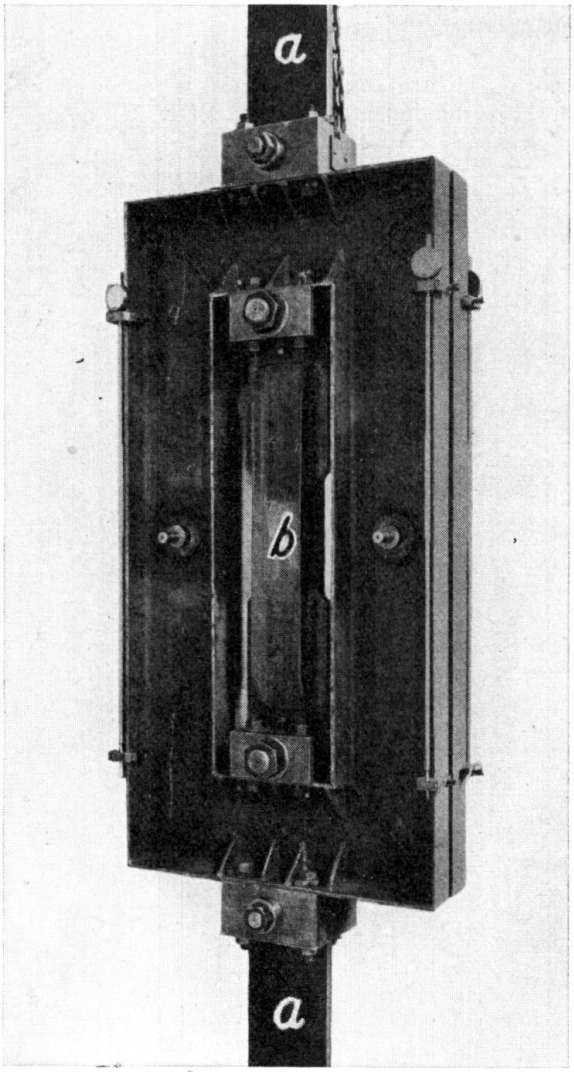

Fig. 12.

chacune un trou. Au moyens d'écrous qui sont placés dans ces trous et dont un a été usiné en forme de cône, il est possible d'encastrer, d'une façon pratiquement rigide, des fers plats très forts a—a. Les extrémités intérieures des fers plats seront assemblées par soudure dans le cas de la fig. 12 avec des fers en [(b) au moyen de soudures latérales. Les essais exécutés jusqu'à ce jour ont fourni sous les rapports choisis, pour les soudures bout à bout, des charges de retrait d'env. 250 kg/cm.^{2} D'autres communications sur ces essais suivront dans un rapport spécial.

Résumé.

L'application de la soudure en Allemagne, dans la construction des ponts et des charpentes, fut accompagnée de nombreuses investigations qui, avant tout, permettent de choisir le type des assemblages et leur conformation pour les problèmes qui se posaient alors. Des travaux spécialement vastes s'étendent à la détermination de la résistance des assemblages soudés et des éléments de construction soumis à des charges souvent répétées, comme cela se produit dans les ponts, les grues, etc.[25] De nombreux essais sont encore consacrés à la détermination des sollicitations qui persistent, après le soudage, dans l'assemblage lui-même et dans la construction.

[25] Voir entre autres parmi les travaux déjà cités la publication parue en 1935 „Dauerfestigkeitsversuche mit Schweißverbindungen". Édition VDI.