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

**Band:** 2 (1936)

**Artikel:** Résistance à la fatigue et sécurité des constructions soudées (ponts, charpentes, conduites forcées)

**Autor:** Roš, M.

**DOI:** https://doi.org/10.5169/seals-2929

**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:** 13.12.2025

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

# III a 2

## Résistance à la fatigue et sécurité des constructions soudées (Ponts, charpentes, conduites forcées).

# Ermüdungsfestigkeit und Sicherheit geschweißter Konstruktionen (Brücken- und Hochbauten und Druckrohre).

## Fatigue Strength and Safety of Welded Strucrures (Bridges, Structural Steel Work and Pressure Pipes).

Dr. Ing. h. c. M. Roš,
Professeur à l'Ecole polytechnique fédérale et
Directeur du Laboratoire fédéral d'essai des matériaux, Zurich.

*1. Introduction.*

Le métal d'apport est le produit d'une fonderie en miniature, il faut donc en principe le considérer et le traiter comme de l'acier moulé.

Les assemblages soudés sont plus sensibles aux sollicitations à la fatigue que les aciers de construction eux-mêmes assemblés par soudage ou que les assemblages rivés de ces aciers; cette plus grande sensibilité résulte d'inclusions de scories, en pratique inévitables, d'entailles dues à la pénétration de la fusion, d'endroits qui ne sont pas parfaitement liés, de fissures imperceptibles provoquées par des tensions internes, et du changement de la texture sous l'influence de la chaleur, en particulier dans la zone de pénétration de la fusion.

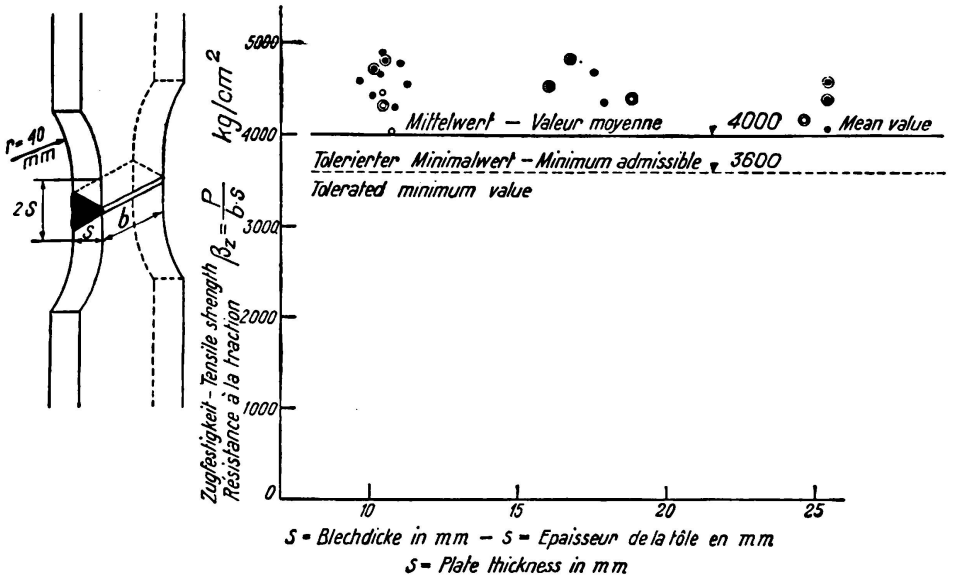
L'essai de résistance à la fatigue (endurance) entre différentes limites de tensions est spécialement indiqué pour mettre en valeur la qualité des cordons de soudure tant du point de vue métallurgique qu'au point de vue constructif.

Pour des aciers à teneur en carbone élevée ($C \geqq 0{,}15$ %) qui sont plus sensibles aux influences thermiques et mécaniques, on prendra, selon les possibilités et le but à atteindre, les mesures suivantes basées sur des connaissances métallurgiques: emploi d'électrodes spéciales appropriées, réchauffement préalable de la pièce, recuit au chalumeau, revenu faisant disparaître les tensions internes ou recuit de la pièce entière soudée. La mise en pratique de ces connaissances, en commun avec l'expérience acquise, a porté ses fruits; elle a exercé une influence prépondérante sur

l'évolution des électrodes,
la manière d'exécuter les assemblages soudés,
l'agencement des détails constructifs,
la méthode de calcul des assemblages soudés et
l'essai de réception de constructions soudées (essai de contrôle).

*II. Essais du laboratoire fédéral d'essai des matériaux 1927—1935.*

Les résultats des essais statiques et d'endurance les plus importants effectués au L.F.E.M. depuis 1927 ont été publiés dans le rapport N° 86 du L.F.E.M.[1] Les essais d'endurance furent exécutés dans 3 pulsateurs de 10, 30 et 60 t de capacité et 4 machines pour flexion rotative continue d' *Alfred J. Amsler & Cie.*, Schaffhouse, ainsi que dans la grande machine de *C. Schenck*, Darmstadt, pour les essais de fatigue à la torsion et à la flexion.



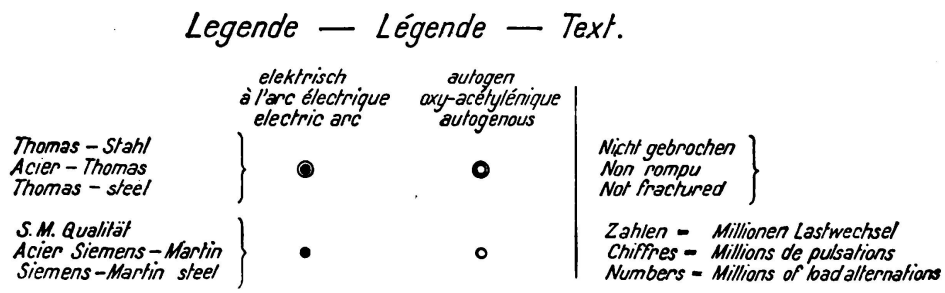




Fig. 1.

Soudure bout à bout. Résistance à la traction.

Toutes les valeurs des résistances se rapportent à des soudures *d'acier de construction, qualité normale,* ayant une résistance à la traction moyenne $\beta_z$ de $\cong 4000$ kg/cm², une teneur en carbone C $\cong 0{,}1$ % et une proportion de phosphore et de soufre aussi faible que possible (P + S < 0,1 %), techniquement libéré d'inclusions de scories, sans ségrégations, doublures, défauts de surface (petites fissures fines). Les soudures furent exécutées avec des *électrodes enrobées* et du courant continu; la qualité du métal d'apport correspondait à la qualité de résistance de l'acier.

Les plus intéressants de ces résultats sont représentés dans les figures 1 à 14. Les tableaux récapitulatifs suivants donnent dans différents cas les valeurs

[1] *M. Roš* et *A. Eichinger:* „Résistance des assemblages soudés — Festigkeit geschweißter Verbindungen", Bericht Nr. 86 der Eidg. Materialprüfungsanstalt Zürich, März 1935.

moyennes des résistances statiques à la traction ainsi que des résistances à la fatigue.

*Notations.*

Résistances à la fatigue

- $\sigma_D$ = Résistance à la fatigue par oscillation harmonique — $\sigma_{max} = +\sigma_D$, $\sigma_{min} = -\sigma_D$
- $\sigma_U$ = Résistance à la fatigue par efforts répétés variant entre — $\sigma_{max} = +\sigma_U$, $\sigma_{min} = 0$
- $^1/_2\sigma_W$ = Résistance à la fatigue par efforts répétés variant entre — $\sigma_{max} = +\sigma_W$, $\sigma_{min} = +\,^1/_2\sigma_W$

perturbation visible de l'équilibre moléculaire — $\sigma_f$ limite apparente d'élasticité

force de traction maximum rapportée à la section primitive telle qu'elle était au début de l'essai — $\beta_z$ résistance à la traction

Tableau 1

| | Résistances à la fatigue valeurs moyennes en kg/cm² | |
|---|---|---|
| Sollicitations à la traction: | $\sigma_U$ | $^1/_2\sigma_W$ |
| soudure bout à bout | | |
| soudure (surface de contact) . . . . . | 1400 | 2000 |
| zone de pénétration de la fusion . . . . | 1600 | 2300 |
| | — fig. 2 et 13 — | |
| soudure d'angle | | |
| soudure (surface de contact) . . . . . | 600 | 800 |
| zone de pénétration de la fusion . . . . | 1000 | 1500 |
| | — fig. 4 et 14 — | |
| soudure latérale | | |
| soudure (surface de contact) . . . . . | 800 | 1200 |
| zone de pénétration de la fusion . . . . | 1000 | 1500 |
| | — fig. 6 et 14 — | |
| soudure frontale | | |
| soudure (surface de contact) . . . . . | 800 | 1200 |
| zone de pénétration de la fusion . . . . | 1000 | 1500 |
| | — fig. 8 et 14 — | |

Les soudures du type d'angle, du type latéral et du type frontal, considérées provisoirement comme étant pratiquement équivalentes, furent classées dans un même groupe; on peut donc donner pour ce groupe les valeurs moyennes générales suivantes:

| | | |
|---|---|---|
| soudure (surface de contact) | $\sim$ *700* | *1100* |
| zone de pénétration de la fusion | $\sim$ *1000* | *1500* |

Pour les soudures types d'angle, latéral et frontal, on a toujours donné les tensions par rapport à la surface de contact, parce que la rupture par fatigue

s'amorce en général dans cette zone. La rupture par fatigue pouvant se produire le long de la surface de contact du cordon de soudure, ainsi que dans la zone de pénétration de la fusion, il faut examiner ces deux endroits et tenir compte des résultats obtenus.

La résistance à la fatigue du groupe des soudures d'angle dépend des dimensions des tôles et des cordons de soudure, et par suite, des grandeurs de déformation qui en découlent; les données concernant les résistances à la fatigue — Tableau 1 — ainsi que les rapports des résistances — Tableau 7 — ne doivent être considérées que provisoirement comme directives obligatoires. Des essais approfondis devraient encore permettre de déterminer quelle est l'influence de la longueur du cordon, de la largeur du couvre-joint, de la hauteur du cordon et de l'épaisseur de la tôle.

Les valeurs moyennes générales des résistances à la fatigue de soudures bout à bout et des soudures du groupe des 3 autres types sont représentées par les diagrammes des fig. 13 et 14 pour la surface de contact et la zone de pénétration de la fusion.[2]

Les moyennes des *résistances statiques à la traction*[3] de soudures bout à bout et soudures d'angle exécutées selon les règles de l'art, de même que les *coefficients de pliage*[3] ressortent du tableau récapitulatif 2 suivant. Les résultats des résistances à la traction sont représentés graphiquement dans les fig. 1, 3, 5 et 7.

Tableau 2.

| Sollicitation à la traction | Résistances statiques à la traction kg/cm² | |
|---|---|---|
| | Moyenne | Minimum |
| soudure bout à bout . . . . . | 4000 | 3600 |
| soudure d'angle . . . . . | 2500 | 2250 |
| soudure latérale . . . . . | 2500 | 2250 |
| soudure frontale . . . . . | 3500 | 3150 |

[2] Les résistances à la fatique par oscillations harmoniques (traction — compression, volume) ne purent pas être déterminées directement par des essais. Les résistances à la fatigue par flexion et torsion (fibre extérieure) obtenues dans la machine de *Schenck* donnèrent les valeurs relatives suivantes:

$$\text{flexion } \frac{\sigma_D}{\sigma_U} = 0{,}7 \qquad \text{— fig. 9 et 10 —}$$

$$\text{torsion } \frac{\tau_D}{\tau_U} = 0{,}6 \qquad \text{— fig. 12 —}$$

soit en moyenne 0,65. On se basa sur cette valeur moyenne de 0,65 pour déterminer la résistance à la fatigue par oscillations harmoniques dans l'essai de traction — compression; par conséquent pour la soudure bout à bout, cette résistance est de $\sigma = 0{,}65 \cdot 1400 \cong 900\,\text{kg/cm}^2$. La valeur de $\sigma$, déterminée de cette manière, correspond fort bien à la valeur relative obtenue par *Haigh* dans sa machine à oscillations pour traction-compression

$$\frac{\sigma_D}{\sigma_U} = \frac{930}{1470} = 0{,}64$$

[3] Les valeurs contenues dans les tableaux 2 — Résistances statiques à la traction — et 3 — Taux de fatigue (tensions admissibles) sont basées sur les essais exécutés de 1927 à 1935 au Laboratoire fédéral d'essai des matériaux, et elles ont été admises sans aucun changement dans la *nouvelle ordonnance fédérale* du 14 mai 1935 *concernant le calcul, l'exécution et l'entretien des constructions métalliques placées sous le contrôle de la Confédération.*

| Epaisseur du cordon de soudure | Coefficient de pliage $K = 50 \cdot \frac{s}{r}$ | |
|---|---|---|
| | Racine dans la zone comprimée | tendue |
| < 12 mm . . . . . | 28 | 20 |
| 12—20 mm . . . . . | 20 | 16 |
| > 20 mm . . . . . | 16 | 12 |

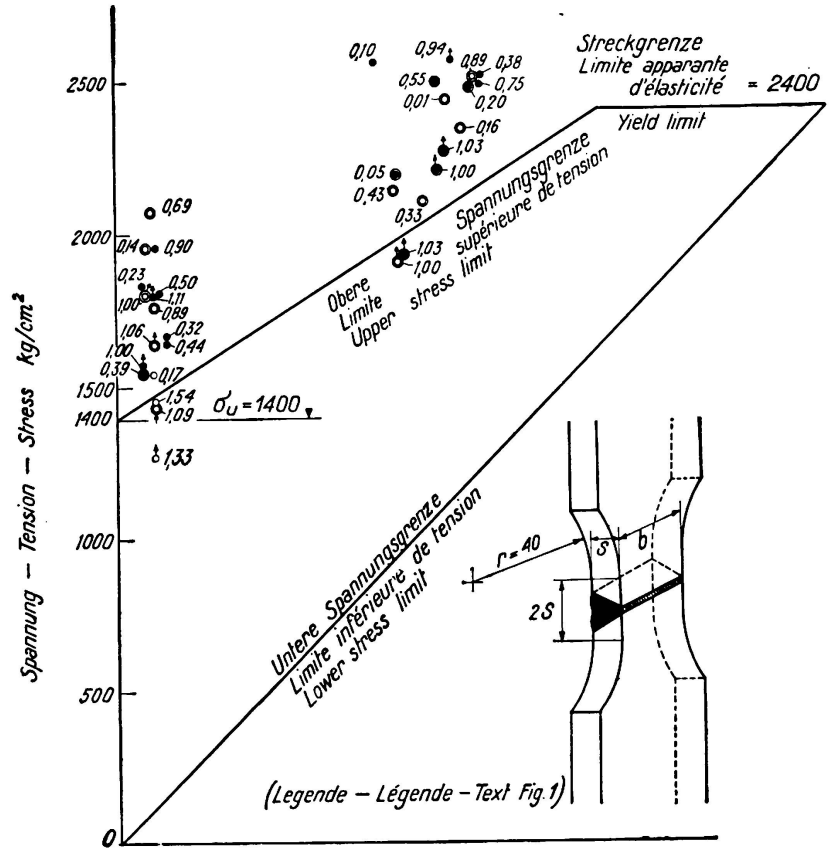



Fig. 2.

Soudure bout à bout. Essais de fatigue à la traction.

Lorsque la teneur en carbone augmente dans le but d'améliorer les résistances mécaniques, les précautions pendant le soudage ou le découpage à la flamme augmentent et les difficultés s'accroissent. Parmi ces mesures citons:
un réchauffement préalable, un réchauffement pendant le soudage, un soudage avec des électrodes épaisses et par couches plus épaisses (ce dernier mode opératoire ne peut être exécuté lors d'un soudage au plafond), ensuite, lorsque les soudures sont exécutées: un recuit au-dessus de la température supérieure de transformation (normalisation; pour l'acier moulé, cette opération est liée à la stabilisation de la structure par une chauffe de longue durée), un revenu éliminant les tensions internes (jusqu'en dessous de la température inférieure de transformation) et, cas échéant, un recuit au chalumeau.

On peut appliquer ces mesures lors de la construction de conduites forcées ou de pièces en acier moulé, mais lorsqu'il s'agit de ponts ou de charpentes métalliques, elles ne sont praticables que dans certains cas extrêmement rares (distorsion, frais).

*III. Contraintes admissibles (taux de fatigue).*

Pour des assemblages soudés en acier de construction, qualité normale ($\beta_z \cong 4000$ kg/cm²), les contraintes admissibles en kg/cm² sont les suivantes:

Tableau 3.

| | Ponts | Charpentes métalliques[4] |
|---|---|---|
| *Soudures bout à bout* | | |
| Traction | $850\left(1+0{,}4\,\frac{A}{B}\right)$ — fig. 16 — | $1000\left(1+0{,}4\,\frac{A}{B}\right)$ — fig. 16 — |
| Compression | $1200\left(1+0{,}3\,\frac{A}{B}\right)$ — fig. 15 — | $1400\left(1+0{,}3\,\frac{A}{B}\right)$ — fig. 15 — |
| Cisaillement | $660\left(1+0{,}4\,\frac{A}{B}\right)$ | $770\left(1+0{,}4\,\frac{A}{B}\right)$ |
| *Soudures d'angle* | | |
| Traction | $425\left(1+0{,}4\,\frac{A}{B}\right)$ — fig. 17 — | $500\left(1+0{,}4\,\frac{A}{B}\right)$ — fig. 17 — |
| Compression | $600\left(1+0{,}3\,\frac{A}{B}\right)$ | $700\left(1+0{,}3\,\frac{A}{B}\right)$ |
| Cisaillement | $480\left(1+0{,}4\,\frac{A}{B}\right)$ | $560\left(1+0{,}4\,\frac{A}{B}\right)$ |

Dans ces formules A désigne la plus petite limite des forces extérieures en valeur absolue (Moment, force axiale ou effort tranchant), et B la plus grande limite de ces mêmes forces extérieures, en valeur absolue; le signe (+) devient (—) si les limites sont de signes contraires. Le tableau récapitulatif 4 permet de comparer entre elles rivures et soudures; il donne les valeurs relatives des taux de fatigue des soudures par rapport aux rivures pour le cas où A = 0 (Résistance aux efforts répétés variant entre $\sigma_{max} = +\sigma_U$ et $\sigma_{min} = 0$).

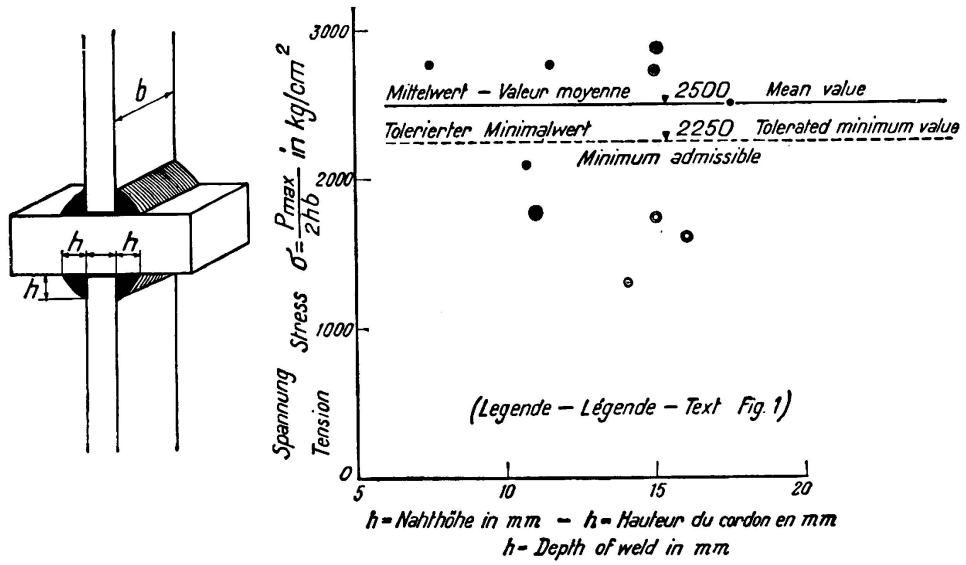



Fig. 3.
Soudure d'angle. Résistance à la traction.

[4] Ces valeurs sont aussi valables pour les ponts si l'on tient compte de toutes les influences secondaires, c'est-à-dire des efforts dus au freinage, au frottement, aux variations de température et autres. En même temps les taux de fatigue de la colonne »ponts« ne doivent pas être dépassés lorsqu'il s'agit des efforts principaux dus aux charges permanentes, aux surcharges stables et mobiles accidentelles, à la force centrifuge et aux actions dynamiques.

Tableau 4.

— Valeurs relatives[5] —

| Genre de sollicitation | Rivure | Soudure bout à bout | Soudure d'angle |
|---|---|---|---|
| Traction . . . . . | 1,00 | 0,70 | 0,35 |
| Compression . . . . . | 1,00 | 1,00 | 0,50 |
| Cisaillement — torsion — | 0,58 | 0,55 | — |
| Cisaillement . . . . . | 0,80 | — | 0,40 |

Les valeurs relatives pour les autres valeurs de $\frac{A}{B}$ sont pratiquement du même ordre de grandeur.

[5] Les rapports donnés correspondent dans chaque cas aux valeurs relatives des résistances à la fatigue des soudures par rapport aux rivures. Les résultats des essais de résistance à la fatigue caractérisent les assemblages soudés d'une manière beaucoup plus nette que les résultats des essais de résistance statique; les grandes différences des valeurs des résistances à la fatigue permettent de mieux distinguer les assemblages soudés corrects des assemblages incorrects. Ce fait important a été déterminant dans le choix des rapports des résistances à la fatigue, et cela abstraction faite des variations plus ou moins fortes des sollicitations qui peuvent se produire en service entre certaines limites de diverses grandeurs. (Alternance des tensions, coups de bélier, interruptions dans l'exploitation, variations de pression, changements de température, etc.). Des cordons de soudure ayant de légères fissures (fine fissuration) et dont le matériau a des défauts, se comportent même sous une charge surtout statique de longue durée, comme un matériau pratiquement sans défauts soumis à des changements de charges répétés; la fissure se propage avec le temps jusqu'à ce que finalement la rupture ait lieu.

En nous basant sur les essais du L.F.E.M., nous donnons ci-après les valeurs relatives des résistances à la fatigue des soudures par rapport aux rivures, pour des efforts répétés variant entre $\sigma_{max} = +\sigma_U$ et $\sigma_{min} = 0$.

*Soudures bout à bout*

| | Traction | Compression | Cisaillement |
|---|---|---|---|
| non recuit | $\alpha_1 = \frac{1400}{1900} \cong 0{,}7$ | $\alpha_1 = 1{,}0$ | $\alpha = \frac{1100}{1900} \cong 0{,}55$ |
| | $\alpha_2 = \frac{1600}{1900} \cong 0{,}85$ | $\alpha_2 = 1{,}0$ | |
| recuit | $\alpha_1 = \frac{1500}{1900} \cong 0{,}8$ | | |
| | $\alpha_2 = \frac{1800}{1900} \cong 0{,}95$ | | — fig. 13 — |
| *Soudures types d'angle, latéral et frontal* | | | |
| | $\alpha_1 = \frac{700}{1900} \cong 0{,}35$ | $\alpha_1 = 0{,}5$ | $\frac{750}{1900} \cong 0{,}4$ |
| | $\alpha_2 = \frac{1600}{1900} \cong 0{,}85$ | $\alpha_2 = 1{,}0$ | — fig. 14 — |
| *Zone de pénétration de la fusion* | | | |
| *Soudures bout à bout* | | | |
| | $\alpha_1 = \frac{1600}{1900} \cong 0{,}85$ | $\alpha_1 = 1{,}0$ | 0,58 |
| | $\alpha_2 = \frac{1600}{1900} \cong 0{,}85$ | $\alpha_2 = 1{,}0$ | |
| *Groupe des soudures d'angle* | | | |
| | $\alpha_1 = \frac{1100}{1900} \cong 0{,}6$ | $\alpha_1 = 0{,}9$ | 0,53 |
| | $\alpha_2 = \frac{1600}{1900} \cong 0{,}85$ | $\alpha_2 = 1{,}0$ | — fig. 14 et 15 — |

Lorsque la soudure bout à bout est uniquement sollicitée à la *compression* et qu'il n'y a pas de risque de flambage, la résistance à la fatigue est passablement plus grande que lorsqu'il s'agit d'une sollicitation à la traction; la limite

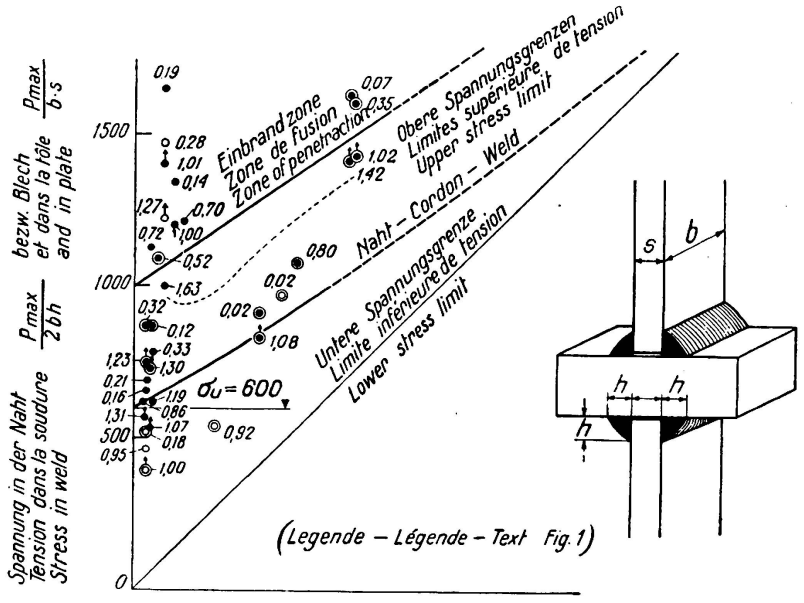



Fig. 4.

Soudure d'angle. Essais de fatigue à la traction.

apparente d'élasticité est un peu moins haute par suite de l'influence thermique ($\sigma_f = 2400$ kg/cm$^2$ au lieu de $\sigma_f = 2600$ kg/cm$^2$). Il est ainsi justifié d'admettre le taux de fatigue valable pour les assemblages rivés, en acier de construction de qualité normale ($\beta_z \cong 4000$ kg/cm$^2$), sollicités à la compression.

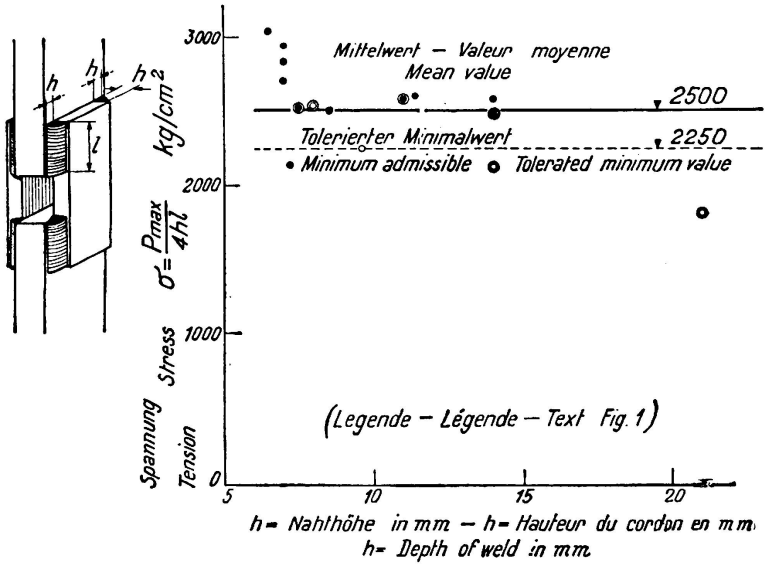



Fig. 5.

Cordons de soudure latéraux. Essais de fatigue à la traction.

En ce qui concerne la sollicitation au cisaillement pur, les soudures bout à bout ne purent être soumises qu'à l'essai de fatigue par torsion dans la machine de *Schenck*. Les valeurs des résistances à la fatigue par torsion ainsi

calculées sont trop grandes, par suite de la répartition plus favorable des tensions dans la section sollicitée. Il en est de même pour les éprouvettes sollicitées à la flexion.

Si l'on se base sur les valeurs relatives des résistances à la fatigue par torsion et flexion pour les soudures bout à bout sollicitées au cisaillement et à la traction, on obtient les valeurs suivantes:

Tableau 5

| Résistance à la fatigue par | Sollicitation au cisaillement $\tau_S$ fig. 12 | Sollicitation à la flexion $\sigma_B$ fig. 9 et 10 | Valeurs relatives $\frac{\tau_S}{\sigma_B}$ |
|---|---|---|---|
| oscillation harmonique variant entre $+\sigma_D$ et $-\sigma_D$ | 11 | 15 | 0,74 |
| efforts répétés variant entre $+\sigma_U$ et O | 18 | 21 | 0,86 |
| efforts répétés variant entre $+\sigma_W$ et $+ {}^1/_2\sigma_W$ | 29 | 40 | 0,73 |
| | | Moyenne: | $\sim$0,78 |

Si l'on admet que les valeurs relatives des taux de fatigue pour le cisaillement et la traction sont les mêmes que celles données par le tableau 4, on obtient le rapport

$$\frac{\tau_{adm}}{\sigma_{adm}} = \frac{0{,}55}{0{,}70} \cong 0{,}78$$

qui est le même que celui trouvé précédemment.

On a choisi comme valeur des taux de fatigue des *soudures d'angle* pour la traction et la compression la moitié (facteur 0,5) des taux de fatigue des sou-

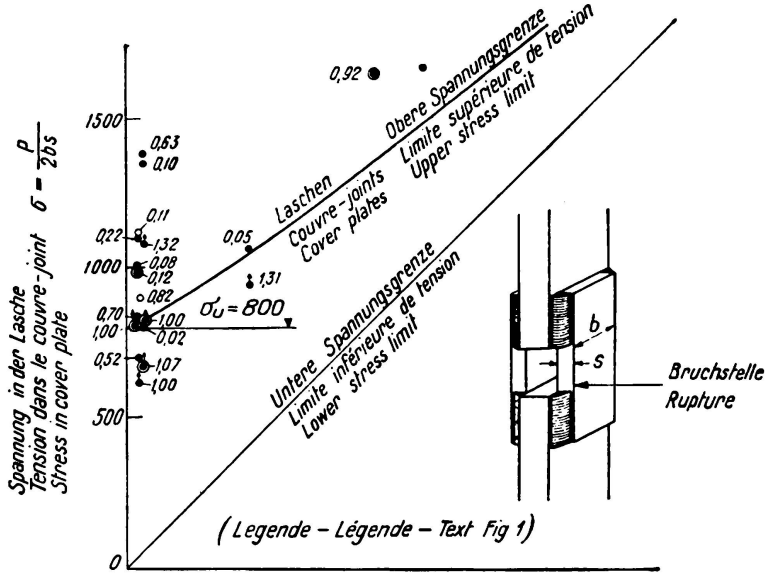



Fig. 6.

Cordons de soudure latéraux. Essais de fatigue à la traction.

dures bout à bout pour la traction et la compression, ce qui correspond au rapport des résistances à la fatigue, qui est pratiquement le même.

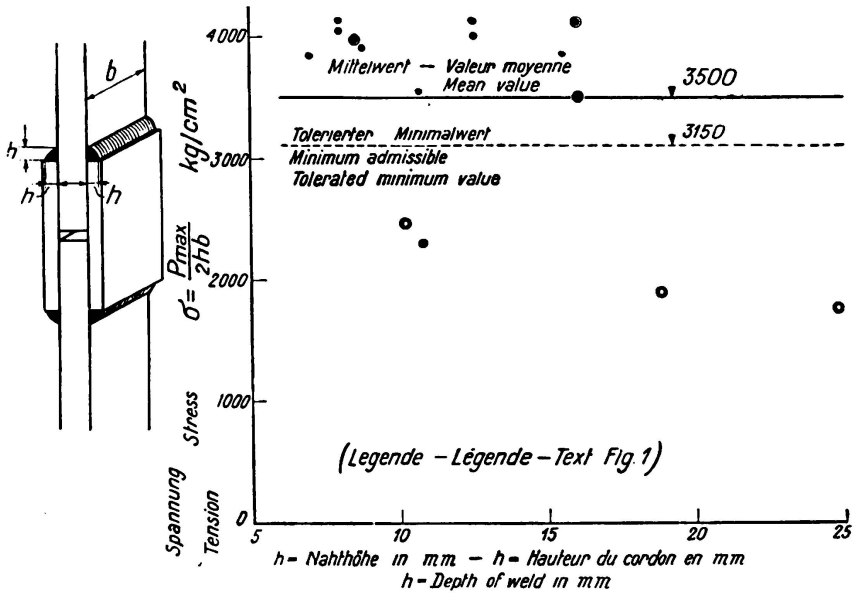



Fig. 7.

Cordons de soudure frontaux. Résistance à la traction.

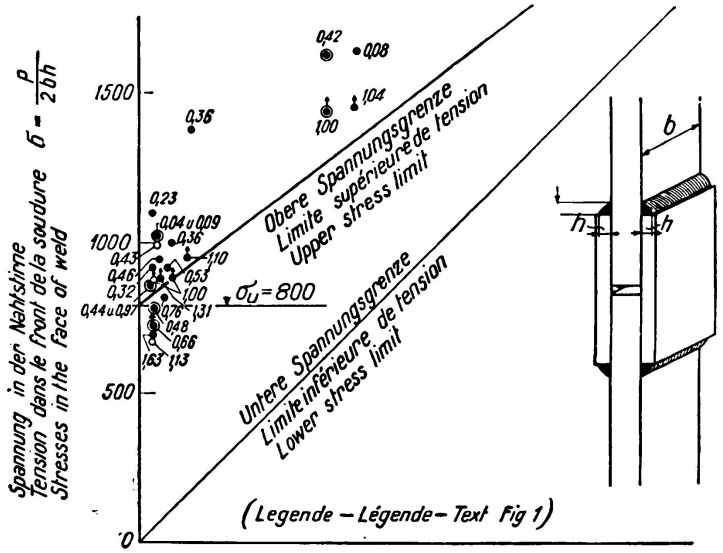



Fig. 8.

Soudure frontale. Essais de fatigue à la traction.

Tableau 6

| | Résistances à la fatigue kg/cm² | |
|---|---|---|
| | $\sigma_U$ | $^1/_2\sigma_W$ |
| Soudures bout à bout — fig. 13 — . . . | 1400 | 2000 |
| Groupe des soudures d'angle — fig. 14 — . | 700 | 1100 |
| Rapport . . . . . | 0,5 | 0,55 |

Dans le cas de soudures d'angle sollicitées au *cisaillement* (p. ex. des soudures latérales) les résistances à la fatigue des zones de contact elles-mêmes sont.

plus élevées que celles de soudures d'angle soumises à la traction. On a tenu compte de ce fait en majorant le taux de fatigue pour la traction de

$$\left(\frac{0{,}40 - 0{,}35}{0{,}35}\right) = \frac{1}{7}$$

afin d'obtenir le taux de fatigue pour le cisaillement.

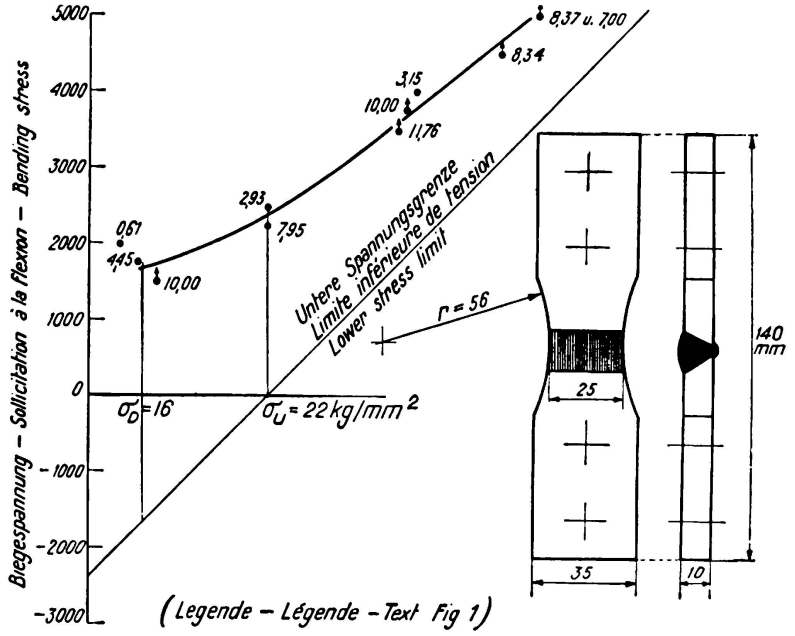



Fig. 9.

Soudure bout à bout; les proéminences du cordon de soudure ne sont pas rabotées. Essais d'endurance par flexion pulsatoire.

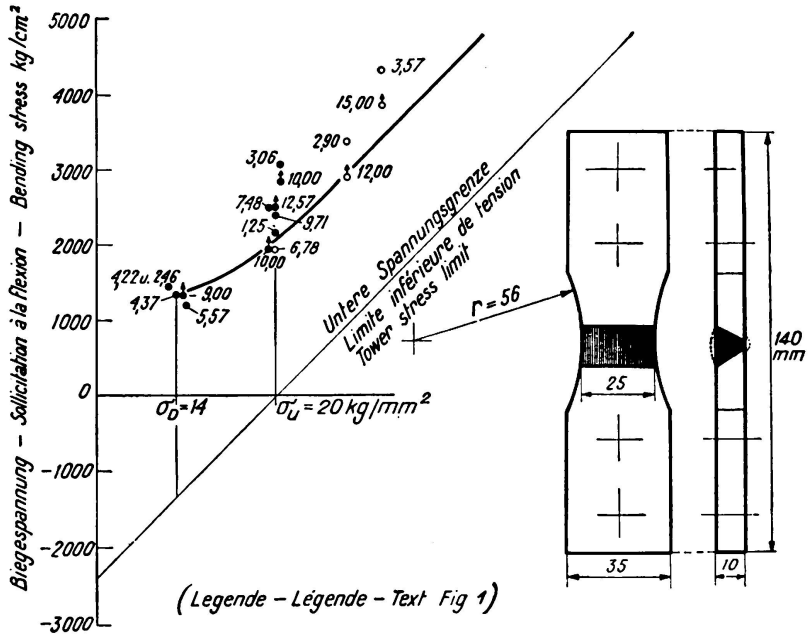



Fig. 10.

Soudure bout à bout; ce qui dépasse du cordon de soudure est raboté. Essais d'endurance par flexion pulsatoire.

Lorsqu'il s'agit de soudures d'angle — fig. 4 —, il ne faut jamais oublier que le matériau acier est sollicité très défavorablement quand on est en présence de rangées de scories et de doublures, qui peuvent provoquer des fentes dans le sens transversal de l'acier. Pour cette raison, il faut prescrire dans tous les cas de quelque importance un matériau autant que possible libéré de scories et doublures, que l'on peut contrôler par des essais macrographiques de texture et des examens aux rayons Roentgen.

* * *

Les résistances à la fatigue des *zones de pénétration de la fusion* sont plus grandes que celles des cordons de soudure eux-mêmes (fig. 13 et 14); par conséquent on a choisi pour les zones de pénétration de la fusion des taux de

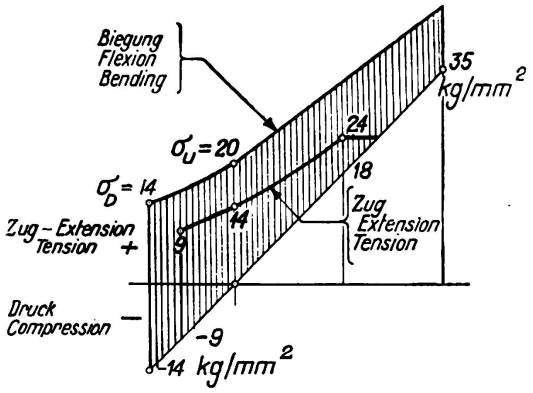



Fig. 11.
Soudure bout à bout.
Résistance à la fatigue.

fatigue plus élevés que ceux des cordons de soudure; les valeurs relatives des taux de fatigue de la zone de pénétration de la fusion par rapport à la rivure seront donc plus grandes.[6]

Tableau 7

— Valeurs relatives[5] A = 0 —

| Genre de sollicitation | Rivure | Zone de pénétration de la fusion. Soudure: bout à bout | d'angle |
|---|---|---|---|
| Traction . . . . . | 1,0 | 0,85 | 0,60 |
| Compression . . . . . | 1,0 | 1,0 | 0,90 |
| Cisaillement-torsion . . . | 0,58 | 0,58 | — |
| Cisaillement . . . . . | 0,8 | — | 0,53 |

[6] De grandes contraintes dans les soudures d'angle peuvent exercer une influence très défavorable sur la résistance à la fatigue de la zone de pénétration de la fusion. Cela s'explique par le fait que le système de contraintes est ici très compliqué. La concentration de tensions qui se produit à l'endroit-même du raccordement reliant le cordon d'angle à l'acier est d'autant plus forte que la soudure d'angle est plus faible; cela aussi parce que le cisaillement latéral $\tau'$ croît; or $\tau'$ a une influence sur la fatigue car il entre dans l'expression de la contrainte de comparaison résultant de la théorie de la constance de l'énergie de déformation

$$\sigma_g = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - \sigma_1 \cdot \sigma_2 + 3\,(\tau^2 + \tau'^2)}$$

Cette contrainte est déterminante.

*IV. Coefficient de sécurité.*

*Les coefficients de sécurité théoriques calculés* en se basant sur les valeurs données dans les chapitres II — Essais du L.F.E.M. — et III — Contraintes admissibles — sont donnés dans le tableau suivant:

Tableau 8.

Ponts

— Soudures bout à bout sollicitées à la traction — (fig. 16 et 17)

| Genre de sollicitation | Tensions en kg/cm² | | | Coefficient de sécurité |
|---|---|---|---|---|
| | | σ admissible | σ fatigue | $n_r$ |
| fatigue par oscillation harmonique ($\sigma_{max} = +\sigma_D$, $\sigma_{min} = -\sigma_D$) | $\sigma_D$ | 500 | 900 | 1,80 |
| fatigue par efforts répétés ($\sigma_{max} = +\sigma_U$, $\sigma_{min} = 0$) | $\sigma_U$ | 850 | 1400 | 1,65 |
| fatigue par efforts répétés ($\sigma_{max} = +\sigma_W$, $\sigma_{min} = +\frac{1}{2}\sigma_W$) | $\frac{1}{2}\sigma_W$ | 1020 | 2000 | 1,95 |
| $\frac{A}{B} = 1$ (écoulement $\sigma_f$) | $\sigma_f$ | 1200 | 2400 | 2 |
| | | | Moyenne: | 1,85 |
| | | | | ~ 1,8 |

Charpentes métalliques

— Soudures bout à bout sollicitées à la traction — (fig. 16 et 17)

| Genre de sollicitation | Tensions en kg/cm² | | | Coefficient de sécurité |
|---|---|---|---|---|
| | | σ admissible | σ fatigue | $n_r$ |
| fatigue par oscillation harmonique ($\sigma_{max} = +\sigma_D$, $\sigma_{min} = -\sigma_D$) | $\sigma_D$ | 600 | 900 | 1,50 |
| fatigue par efforts répétés ($\sigma_{max} = +\sigma_U$, $\sigma_{min} = 0$) | $\sigma_U$ | 1000 | 1400 | 1,40 |
| fatigue par efforts répétés ($\sigma_{max} = +\sigma_W$, $\sigma_{min} = +\frac{1}{2}\sigma_W$) | $\frac{1}{2}\sigma_W$ | 1200 | 2000 | 1,65 |
| $\frac{A}{B} = 1$ (écoulement $\sigma_f$) | $\sigma_f$ | 1400 | 2400 | 1,72 |
| | | | Moyenne: | 1,57 |
| | | | | ~ 1,5 |

Pour les zones de pénétration de la fusion (zones de transition), les coefficients de sécurité sont pratiquement du même ordre de grandeur. A titre de comparaison, le tableau suivant donne les coefficient de sécurité $n_r$ pour la rivure.

Tableau 9.

Ponts

— fig. 15 —

| Genre de sollicitation | Tensions en kg/cm² σ admissible | | σ fatigue | Coefficient de sécurité $n_r$ |
|---|---|---|---|---|
| fatigue par oscillation harmonique ($\sigma_{max} = +\sigma_D$, $\sigma_{min} = -\sigma_D$) | $\sigma_D$ | 840 | 1300 | 1,55 |
| fatigue par efforts répétés ($\sigma_{max} = +\sigma_U$, $\sigma_{min} = 0$) | $\sigma_U$ | 1200 | 1900 | 1,58 |
| fatigue par efforts répétés ($\sigma_{max} = +\sigma_W$, $\sigma_{min} = +\frac{1}{2}\sigma_W$) | $\frac{1}{2}\sigma_W$ | 1380 | 2400 | 1,75 |
| $\frac{A}{B} = 1$ (écoulement $\sigma_f$) | $\sigma_f$ | 1560 | 2600 | 1,67 |
| | | | Moyenne: | 1,64 |
| | | | | ≈ 1,6 |

Charpentes métalliques[4]

— fig. 15 —

| Genre de sollicitation | Tensions en kg/cm² σ admissible | | σ fatigue | Coefficient de sécurité $n_r$ |
|---|---|---|---|---|
| fatigue par oscillation harmonique ($\sigma_{max} = +\sigma_D$, $\sigma_{min} = -\sigma_D$) | $\sigma_D$ | 980 | 1300 | 1,33 |
| fatigue par efforts répétés ($\sigma_{max} = +\sigma_U$, $\sigma_{min} = 0$) | $\sigma_U$ | 1400 | 1900 | 1,36 |
| fatigue par efforts répétés ($\sigma_{max} = +\sigma_W$, $\sigma_{min} = +\frac{1}{2}\sigma_W$) | $\frac{1}{2}\sigma_W$ | 1610 | 2400 | 1,50 |
| $\frac{A}{B} = 1$ (écoulement $\sigma_f$) | $\sigma_f$ | 1820 | 2600 | 1,43 |
| | | | Moyenne: | 1,41 |
| | | | | ≈ 1,4 |

De cette comparaison des coefficients de sécurité calculés pour les rivures et les soudures, il résulte que les coefficients de sécurité des soudures sont en moyenne de ~ 10 % supérieurs à ceux des rivures; on peut donc les considérer comme pratiquement équivalents.

* * *

La différence entre le coefficient de sécurité *réel* et le coefficient de sécurité théorique calculé dépend des facteurs suivants:

degré de concordance des hypothèses de calcul statique et dynamique et des conditions réelles de travail (forces extérieures, système, tensions),
agencement constructif des détails,
qualité et caractéristiques mécaniques des matériaux employés,
sévérité du contrôle pendant l'exécution,
bienfacture de l'exécution elle-même.

Le *coefficient de sécurité réel* ne peut donc être jugé que dans chaque cas individuellement.

*V. Méthode de calcul.*

Nous développons une méthode de calcul qui permet de déterminer exactement la contrainte produite par des composantes de tension isolées ($\sigma_1$, $\sigma_2$ et $\tau$) dans un élément d'un corps sollicité suivant plusieurs axes, tel par exemple l'élément d'une soudure en forme d'hélice d'une conduite forcée ou d'une chaudière. — fig. 18 —

La théorie de la constance de l'énergie de déformation[7] est valable pour l'acier doux, ainsi que des essais l'ont montré, jusqu'à des sollicitations voisines de la

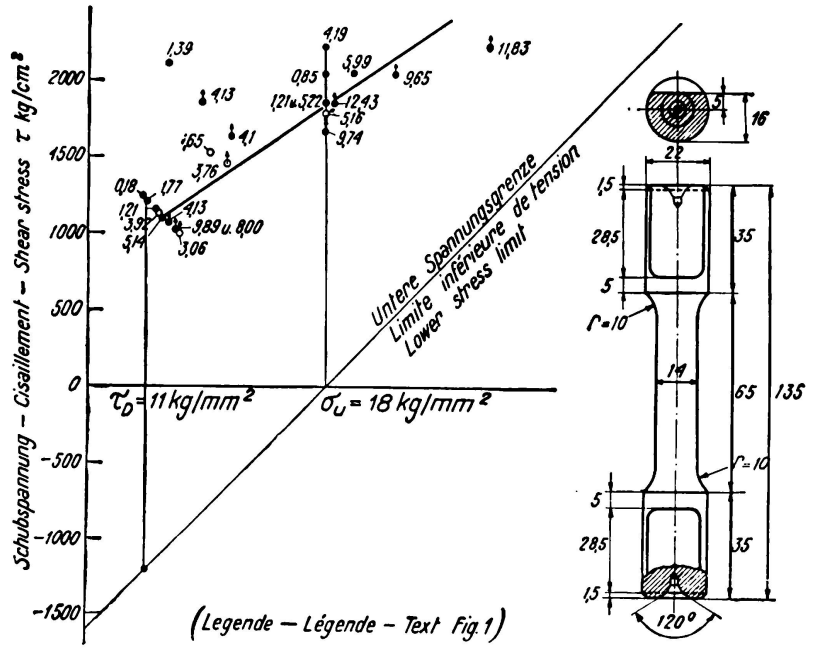



Fig. 12.

Torsion. Résistance à la fatigue.

résistance à la rupture; car l'acier doux est pratiquement homogène et quant à ses caractéristiques mécaniques — résistance, déformation — quasi isotrope, c'est-à-dire qu'il a la même résistance dans deux directions principales.

La contrainte de comparaison pour un élément sollicité suivant deux axes ($\sigma_1$, $\sigma_2$ et $\tau$ — fig. 18 —) est donnée par l'expression[8]

$$\sigma_g = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - \sigma_1 \cdot \sigma_2 + 3\tau^2} \qquad (1)$$

Dans un assemblage soudé, la résistance perpendiculaire au cordon de soudure et la résistance dans le sens longitudinal du cordon ne sont cependant pas égales;

[7] *M. Roš* und *A. Eichinger:* „Versuche zur Klärung der Frage der Bruchgefahr, III Metalle". Rapport N° 34 du Laboratoire fédéral d'essai des matériaux, Zurich, février 1929.

[8] La théorie de la constance de l'énergie de déformation de *Huber-Mises-Hencky* qui est, ainsi que l'ont montré les essais du L.F.E.M. Zurich, la théorie généralisée de *Mohr*, est à la base du calcul de la contrainte d'éléments sollicités suivant un ou plusieurs axes dans la Nouvelle Ordonnance fédérale du 14 mai 1935 concernant le calcul, l'exécution et l'entretien des constructions métalliques placées sous le contrôle de la Confédération.

il faut, afin de se tenir à des principes uniformes, transformer l'expression de la contrainte fictive de comparaison, valable pour des corps quasi isotropes, de telle manière que l'anisotropie des assemblages soudés ne soit pas négligée. Le moyen

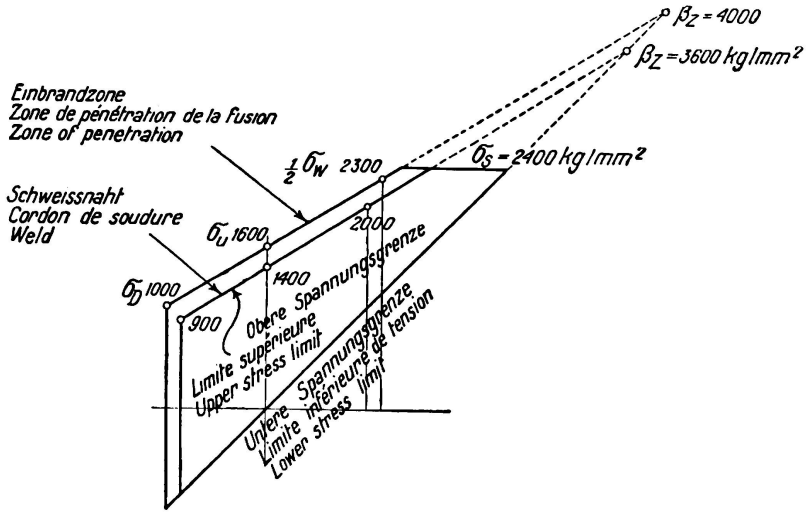



Fig. 13.

Soudures bout à bout. Limites de résistance à la fatigue.

le plus simple et le plus juste d'effectuer cette transformation consiste dans l'introduction du rapport des résistances $\alpha$ où

$$\alpha = \frac{\text{Résistance du cordon de soudure}}{\text{Résistance de l'acier(rivure)}}$$

et en tenant compte des facteurs $\beta$ et $\gamma$ multipliant les termes $\sigma_1 \cdot \sigma_2$ et $\tau$; ces facteurs sont déterminés expérimentalement.

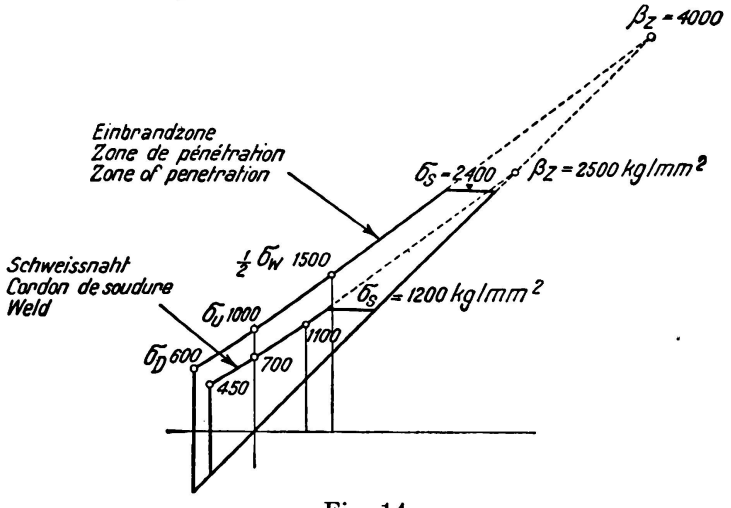



Fig. 14.

Soudures d'angle, soudures latérales et soudures frontales. Limites de résistance à la fatigue.

## Soudures bout à bout.

*Premier cas.*

Les tensions normales $\sigma_1$ et $\sigma_2$, perpendiculaires l'une à l'autre sont les deux ou des sollicitations à la traction ou des sollicitations à la compression. On a

alors les expressions suivantes:

$$\sigma_g = \sqrt{\left(\frac{\sigma_1}{\alpha_1}\right)^2 + \gamma \cdot \tau^2} \qquad (2)$$

$$\sigma_g = \sqrt{\left(\frac{\sigma_2}{\alpha_2}\right)^2 + \gamma \cdot \tau^2} \qquad (3)$$

— fig. 19 —

C'est la plus grande des deux valeurs qui est déterminante. — fig. 19 —

*Deuxième cas.*

Les tensions normales $\sigma_1$ et $\sigma_2$ ne sont pas de mêmes signes mais de signes contraires, alors on a:

$$\sigma_g = \sqrt{\left(\frac{\sigma_1}{\alpha_1}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_2}{\alpha_2}\right)^2 + \beta\left(\frac{\sigma_1\,\sigma_2}{\alpha_1\,\alpha_2}\right) + \gamma \cdot \tau^2} \qquad (4)$$

— fig. 19 —

Pour la sollicitation à la fatigue par efforts répétés variant entre $\sigma_{max} = +\sigma_U$ et $\sigma_{min} = 0$, on a les valeurs suivantes:

| | Traction | Compression | |
|---|---|---|---|
| $\alpha_1 =$ | 0,7 | 1,0 | — Voir tableau 4 — |
| $\alpha_2 =$ | 0,85 | 1,0 | |
| $\beta =$ | $^1/_2$ | | |
| $\gamma =$ | 3 | | |

$\alpha_2 = 0{,}85$ pour la traction résulte d'essais exécutés au L.F.E.M.; pour des soudures bout à bout sollicitées dans le sens longitudinal, la résistance à la fatigue par efforts répétés variant entre $\sigma_{max} = +\sigma_U$ et $\sigma_{min} = 0$ est en moyenne de 1600 kg/cm², pour la rivure cette valeur est de 1900 kg/cm², par conséquent

$$\alpha_2 = \frac{1600}{1900} \simeq 0{,}85$$

Les contraintes de comparaison ainsi déterminées peuvent être au plus égales aux tensions admissibles par efforts répétés variant entre $\sigma_{max} = +\sigma_U$ et $\sigma_{min} = 0$ fixées pour les assemblages rivés, soit

$\sigma_{o\,adm} = 1200$ kg/cm² pour les ponts
et $\sigma_{o\,adm} = 1400$ kg/cm² pour les charpentes métalliques[9]

— Tableau 9 —

Les mêmes procédés appliqués aux soudures d'angle et à la zone de pénétration de la fusion, toutefois en tenant compte des coefficients $\alpha$ s'y rapportant — voir tableaux 4 et 7 — aboutissent aux expressions suivantes:

[9] Dans le cas de conduites forcées, les taux de fatigue $\sigma_{o\,adm}$ suivants sont valables pour les soudures bout à bout et pour des sollicitations résultant de la pression en service, majorées de 10% afin de tenir compte des surpressions dues au coup de bélier.

| Conduites forcées | | Qualité de l'acier M I $\beta_z = 3500$—$4400$ kg/cm² | M II $\beta_z = 4100$—$4700$ kg/cm² |
|---|---|---|---|
| Conduite principale; | cordons longitudinaux | 900 | 1050 |
| | cordons en hélice | 1050 | 1230 |
| Embranchements: | cordons longitudinaux | 800 | 930 |
| | cordons en hélice | 930 | 1080 |

## Soudures d'angle.

*Troisième cas.*

Les tensions normales $\sigma_1$ et $\sigma_2$ sont les deux ou des sollicitations à la traction ou des sollicitations à la compression. La contrainte de comparaison est alors

$$\sigma_g = \sqrt{\left(\frac{\sigma_1}{\alpha_1}\right)^2 + \gamma \cdot \tau^2} \leqq \sigma_{o\ adm} \tag{5}$$

et

$$\sigma_g = \sqrt{\left(\frac{\sigma_2}{\alpha_2}\right)^2 + \gamma \cdot \tau^2} \leqq \sigma_{o\ adm} \tag{6}$$

— fig. 20 —

La plus grande des 2 valeurs de $\sigma_g$ est valable.

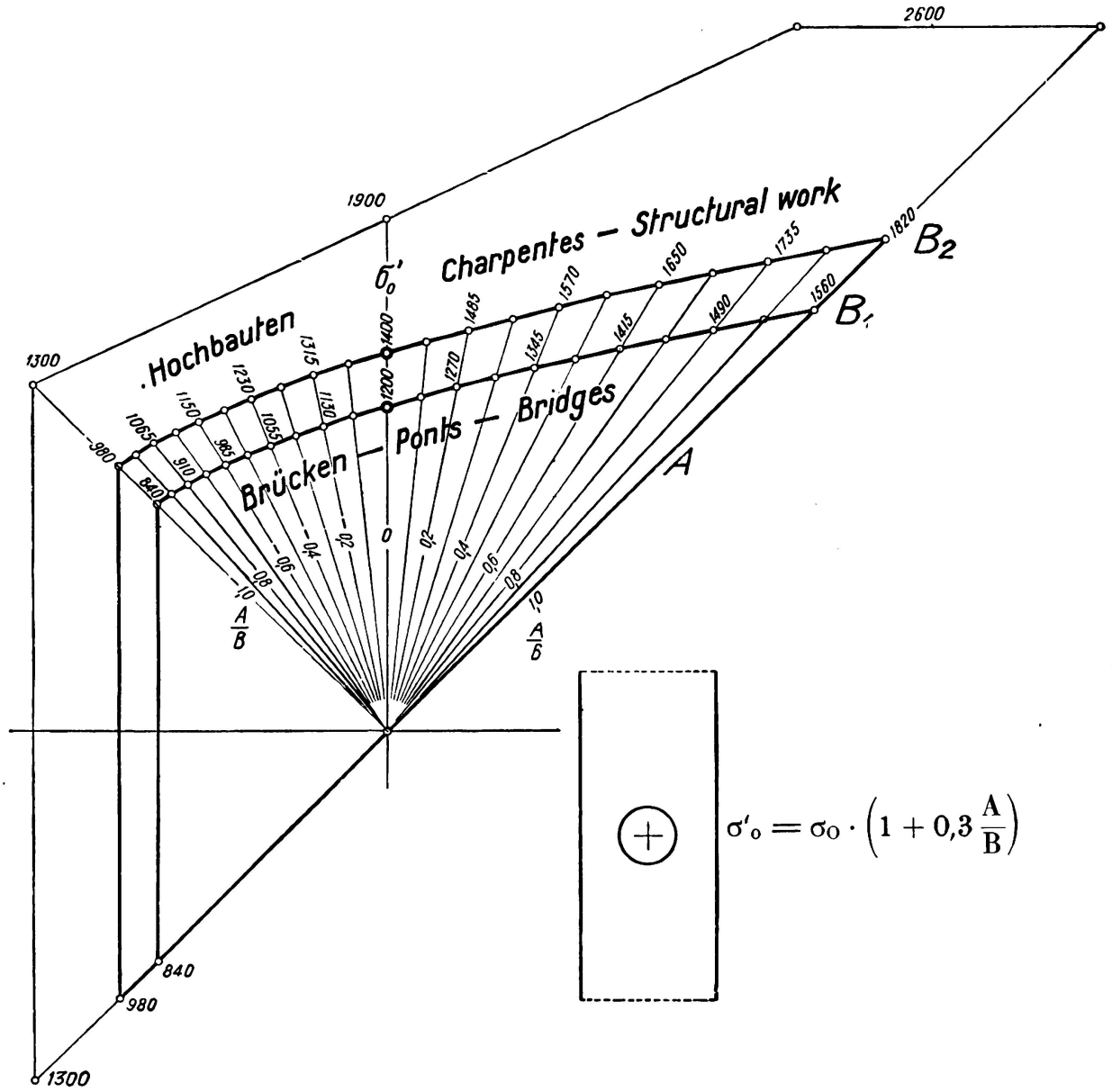



Fig. 15.

Rivure. Tensions admissibles.

*Quatrième cas.*

Les tensions normales $\sigma_1$ et $\sigma_2$ sont de signes contraires. La contrainte de comparaison devient:

$$\sigma_g = \sqrt{\left(\frac{\sigma_1}{\alpha_1}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_2}{\alpha_2}\right)^2 + \beta\left(\frac{\sigma_1 \cdot \sigma_2}{\alpha_1 \cdot \alpha_2}\right) + \gamma \cdot \tau^2} \leqq \sigma_{o\ adm} \qquad (7)$$

— fig. 20 —

où l'on a:

| | Traction | Compression |
|---|---|---|
| $\alpha_1$ = | 0,35 | 0,5 |
| $\alpha_2$ = | 0,85 | 1,0 |
| $\beta$ = | $^1/_4$ | |
| $\gamma$ = | 6 | |

— Tableau 4 —

La question de la valeur à donner à la contrainte admissible maximum est encore en suspens, les expériences acquises sur ce sujet sont également insuffisantes; de même, on n'a pas encore éclairci le comportement de soudures d'angle

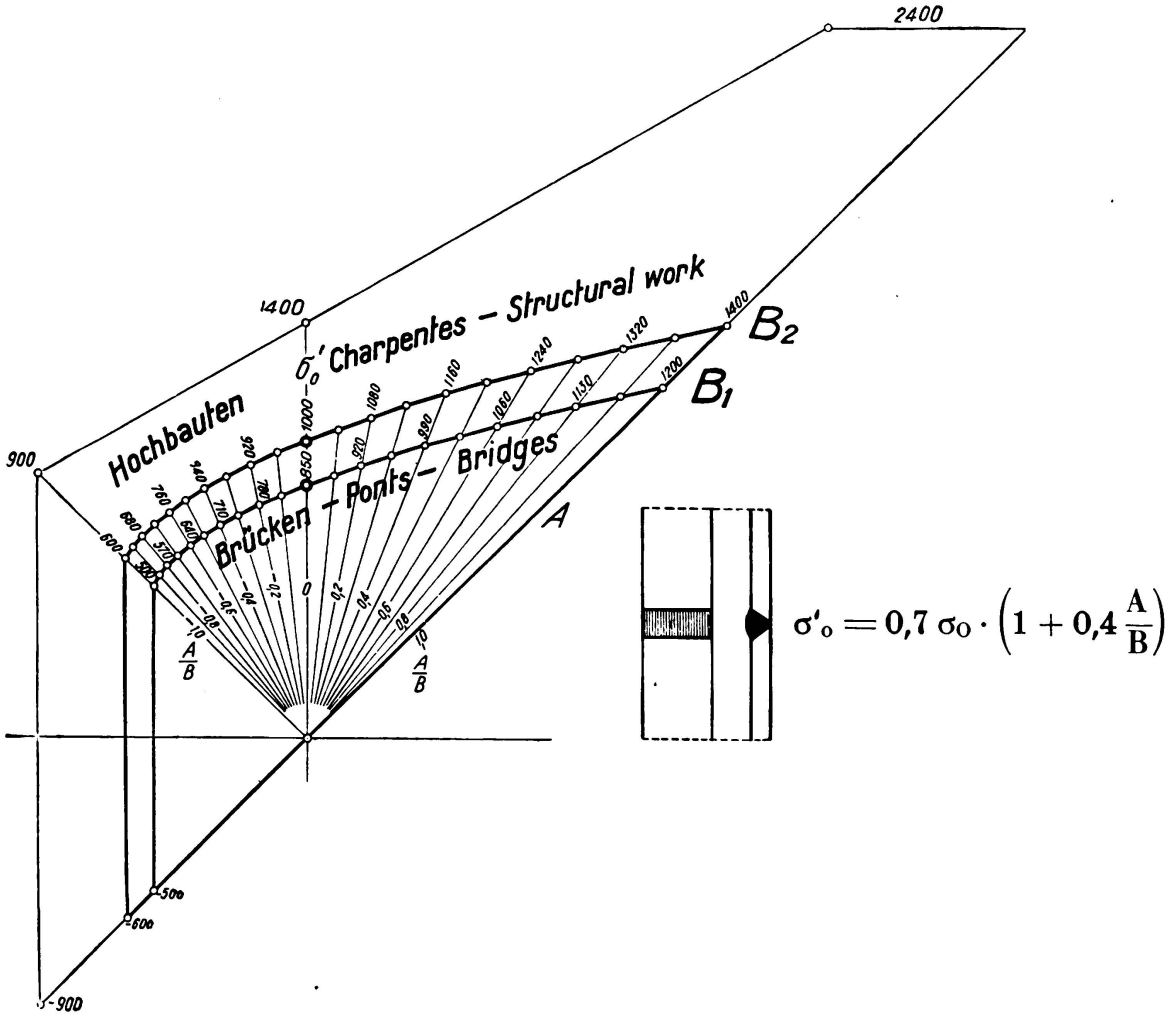



Fig. 16.

Soudure bout à bout. Tensions admissible.

sollicitées à la fois à un effort longitudinal et au cisaillement (p. ex. soudures d'angle reliant l'âme et la membrure de poutres soudées, sollicitées à la flexion). Des essais sont indispensables pour déterminer la grandeur de l'influence exercée par l'effet de soulagement de l'acier voisin de la soudure.

## Zone de pénétration de la fusion.

*Cinquième et sixième cas.* — Soudure bout à bout. —

Si l'on fait abstraction de la différence relativement faible entre $\alpha_1 = 0{,}8$ et $\alpha_1 = 0{,}7$, on peut directement utiliser les expressions valables pour la soudure bout à bout elle-même. Cas 1 et 2 — fig. 19 —

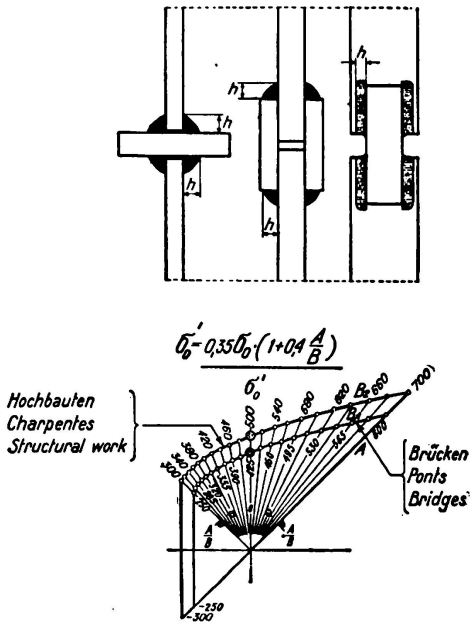



Fig. 17.

Soudures d'angle, soudures latérales et soudures frontales. Tensions admissibles.

*Septième cas.* — Soudure d'angle. —

$\sigma_1$ et $\sigma_2$ sont les deux ou des sollicitations à la traction ou des sollicitations à la compression; on a

$$\sigma_g = \sqrt{\left(\frac{\sigma_1}{\alpha_1}\right)^2 + \gamma \cdot \tau^2} \leqq \sigma_{o\ adm} \tag{8}$$

et

$$\sigma_g = \sqrt{\left(\frac{\sigma_2}{\alpha_2}\right)^2 + \gamma \cdot \tau^2} \leqq \sigma_{o\ adm} \tag{9}$$

— fig. 21 —

*Huitième cas.* — Soudure d'angle. —

$\sigma_1$ et $\sigma_2$ sont de signes contraires, alors $\sigma_g$ devient:

$$\sigma_g = \sqrt{\left(\frac{\sigma_1}{\alpha_1}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_2}{\alpha_2}\right)^2 + \frac{1}{3}\left(\frac{\sigma_1\,\sigma_2}{\alpha_1\,\alpha_2}\right) + \gamma \cdot \tau^2} \leqq \sigma_{o\ adm} \tag{10}$$

— fig. 21 —

où l'on a

| | Traction | Compression |
|---|---|---|
| $\alpha_1 =$ | 0,6 | 0,9 |
| $\alpha_2 =$ | 0,85 | 1,0 |
| $\beta =$ | $^1/_3$ | |
| $\gamma =$ | 3,5 | |

— Tableau 7 —

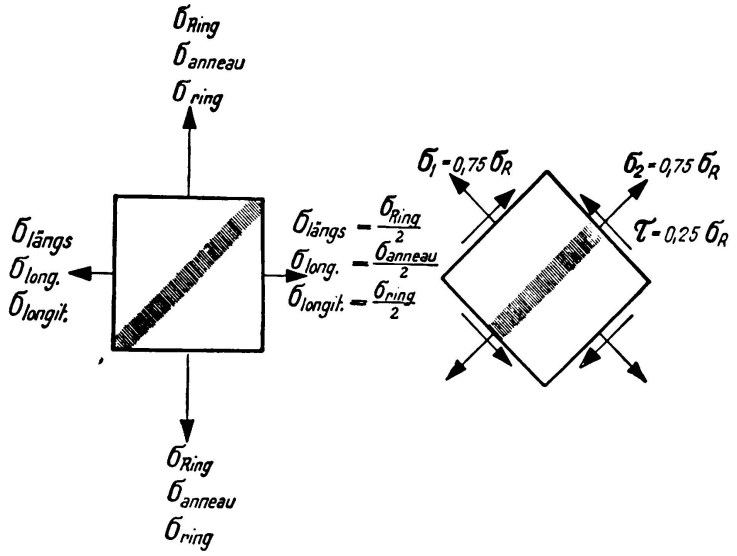



Fig. 18.

Soudure en forme d'hélice. Système des sollicitations.

Les avantages de la méthode de calcul du L. F. E. M. sont illustrés par quelques exemples:

*Soudure bout à bout oblique* — Tension principale $\sigma_1$, uniaxiale. —

Position pratiquement la plus favorable du cordon de soudure: inclinaison de 45° par rapport à la direction de la force. On a

$$\sigma_1 = \sigma_2 = \tau = \frac{\sigma_1}{2}$$

soit en utilisant l'équation (5)

$$\sigma_1 \sqrt{\left(\frac{0{,}5}{0{,}7}\right)^2 + 3 \cdot 0{,}5^2} = 1{,}12\,\sigma_1 \leqq \sigma_{o\ adm}$$

$$\sigma_1 = 0{,}89\,\sigma_{o\ adm}$$

Avantage par rapport à la soudure bout à bout perpendiculaire à la direction de la force: $\frac{0{,}89}{0{,}70} \cong 1{,}27 \sim 27\ \%$. Les majorations sont pour des cordons obliques de

| 30° | 45° | 60° | par rapport à la perpendiculaire à la direction de la force |
|---|---|---|---|
| de 8 % | 27 % | 23 %. | |

*Soudure d'angle oblique* — Tension principale $\frac{P}{h}$ uniaxiale. —

Position pratiquement la plus favorable du cordon de soudure: inclinaison de $60^0$ par rapport à la perpendiculaire à la direction de la force.

On a $\sigma_h = \frac{P}{h}\ \sigma_1 = 0{,}25\ \sigma_h$; — $\tau = 0{,}43\ \sigma_h$ par unité de longueur

de longueur $\alpha_1 = 0{,}35 \qquad \alpha_2 = 0{,}85$

h = hauteur du cordon de soudure.

De l'équation (6) — fig. 20 — on tire

$$\sigma_h \cdot \sqrt{\left(\frac{0{,}25}{0{,}35}\right)^2 + 6 \cdot 0{,}43^2} = 1{,}28\ \sigma_h \leqq \sigma_{o\ adm.}$$

$$\sigma_h \leqq 0{,}78\ \sigma_{o\ adm.}$$

Par rapport à $\sigma_h \leqq 0{,}35\ \sigma_{o\,adm}$ pour un cordon de soudure d'angle perpendiculaire à la direction de la force, le gain est de 100 %.

*Cordon de soudure en forme d'hélice de réservoirs, chaudières et conduites forcées.*

Le système de sollicitation suivant deux directions agissant sur un élément de la soudure est représenté par la fig. 18 (La troisième tension principale qui n'est autre que la pression intérieure pour un élément situé sur la paroi, à l'intérieur, peut être négligée). De l'application de l'équation (5) résulte

$$\sqrt{\left(\frac{\sigma_1}{0{,}7}\right)^2 + 3\,\tau^2} \leqq \sigma_{o\ adm.}$$

$$\sqrt{\left(\frac{0{,}75\ \sigma_{anneau}}{0{,}70}\right)^2 + 3\,(0{,}25\ \sigma_{anneau})^2} = 1{,}15\ \sigma_{anneau} \leqq \sigma_o$$

d'où

$$\sigma_{anneau\ adm} = 0{,}87\ \sigma_{o\ adm.}$$

Par rapport à une soudure longitudinale, parallèle à l'axe du cylindre, pour laquelle $\sigma_{anneau\ adm} = 0{,}70\ \sigma_{o\,adm}$, le gain est de

$$\frac{0{,}87}{0{,}70} = 1{,}25 \text{ soit } 25\ \%.$$

Pour des soudures bout à bout recuites au four afin de faire disparaître les tensions internes,[11], on peut fixer la tension annulaire admissible $\sigma_{anneau\ adm}$ à $0{,}8\ \sigma_{o\,adm}$; les récipients, dont les soudures sont en forme d'hélice et ayant subi en entier un recuit, ont ainsi la même résistance que les récipients sans soudures, en se basant sur $\sigma_{o\ adm}$ pour les rivures.[12]

En choisissant judicieusement la forme et la disposition des cordons de soudure, on obtient des avantages appréciables qui militent en faveur des assemblages soudés.

* * *

[11] Un revenu exécuté sur des soudures d'angle afin d'éliminer les tensions internes améliore la résistance de la zone de pénétration de la fusion, mais pas la soudure d'angle elle-même.

[12] La résistance à la fatigue de récipients complètement dépourvus de joints est plus grande que celle de récipients rivés; les récipients sans joints sont par conséquent supérieurs aux récipients soudés, à cordons disposés en hélice.

Lorsqu'il s'agit de *sollicitations à la fatigue suivant plusieurs directions,* on peut admettre comme taux de fatigue (contraintes de comparaison) pour tout le domaine s'étendant des résistances aux efforts par oscillation harmonique à la limite apparente d'élasticité, pour les soudures bout à bout, le groupe des soudures d'angle et les zones de pénétration de la fusion, les valeurs correspondant aux données du tableau 3 — fig. 15, 16 et 17 —, mais en tenant compte des relations exprimées par les équations (2) à (10) — fig. 19, 20, 21 —.

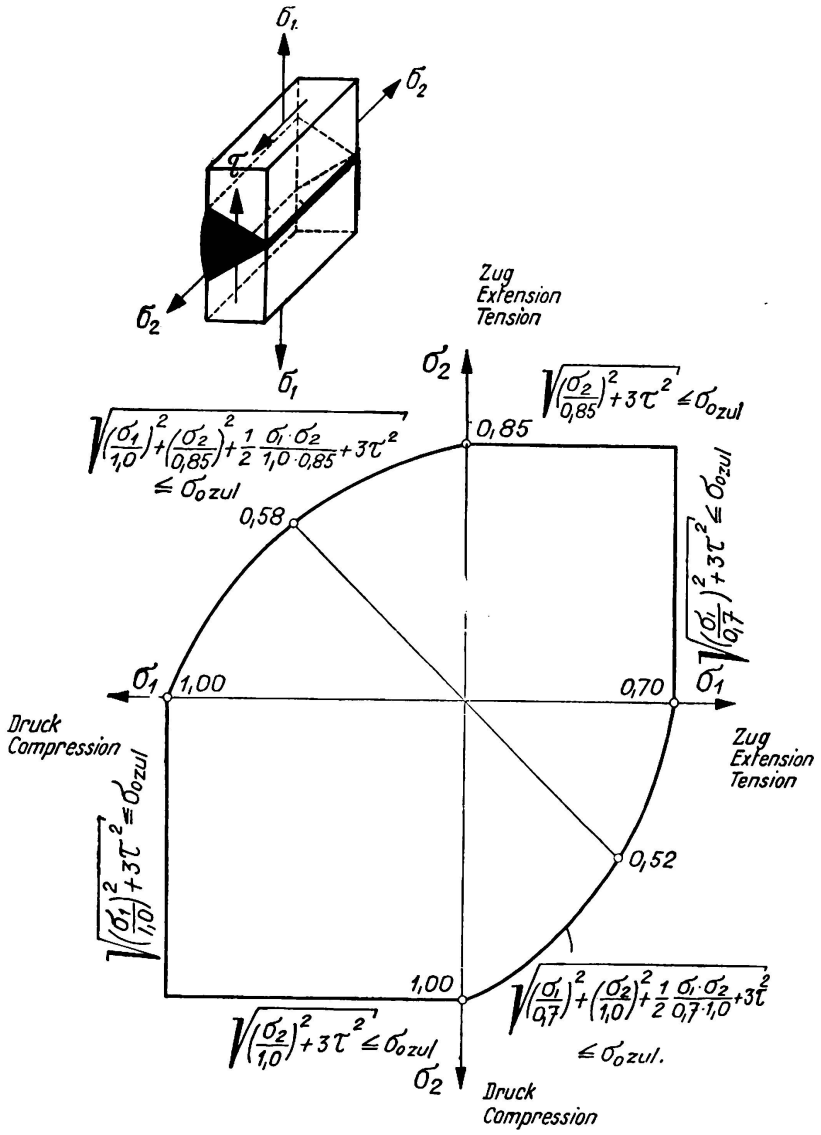



Fig. 19.

Soudures bout à bout, sollicitées suivant deux axes. Systèmes de sollicitation admissibles.

## *VI. Expériences acquises.*

C'est la construction des *récipients* et *réservoirs* qui possède les plus anciennes expériences; elles ont donné entière satisfaction tant que l'exécution était faite selon les règles du métier et que l'on vouait toute son attention à la disposition des détails.

Les expériences les plus récentes, faites dans la construction des *conduites forcées* ont été, à part quelques échecs, en général satisfaisantes. Dans ce genre de construction, on s'est mis ces derniers temps à souder des parois épaisses et des *aciers à teneur élevée en carbone;* on n'a pas encore d'expériences suffisantes à ce sujet; ces procédés seront couronnés de succès à condition que le

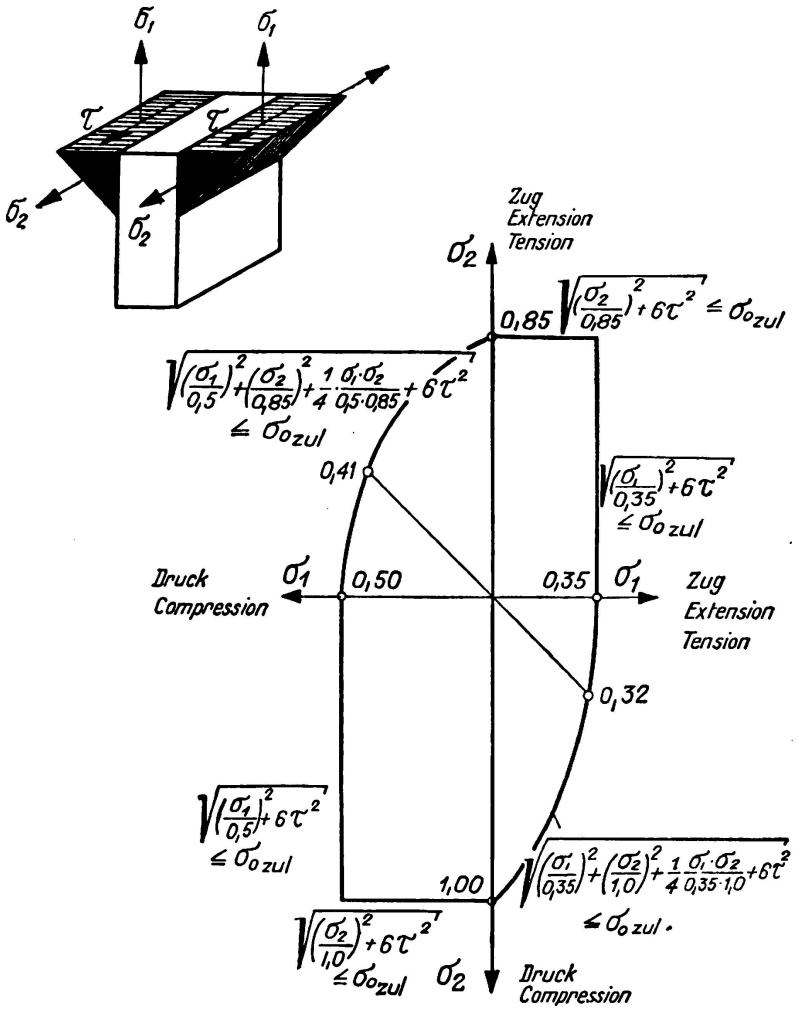



Fig. 20.

Soudures d'angle, soudures latérales et soudures frontales, sollicitées suivant deux axes. Systèmes de sollicitation admissibles.

procédé métallurgique soit approprié et que la construction et la disposition des détails soient irréprochables.

La soudure d'aciers à teneur élevée en carbonne et d'aciers spéciaux enregistre des succès et des échecs. La résistance à la fatigue d'aciers à teneur élevée et très élevée en carbone et d'aciers spéciaux n'est, lorsque la tension initiale est faible, pas beaucoup ou même pas du tout plus grande que celle de l'acier doux normal de construction. Ce n'est que lorsque la tension initiale augmente que la résistance à la fatigue de ces aciers croît plus rapidement que celle de l'acier de construction normal, et que par conséquent les avantages des aciers de qualité apparaissent au premier plan.

Lors du choix d'aciers spéciaux, s'adaptant mieux aux constructions soudées, la plus grande prudence s'impose; il faut prendre des mesures et des précautions spéciales.

L'acier *Thomas,* produit d'une manière appropriée et irréprochable quant à ses caractéristiques mécaniques, se laisse aussi bien souder que l'acier *Siemens-Martin* de qualité corforme aux prescriptions; les soudures sont équivalentes en ce qui concerne la résistance et la capacité de déformation.

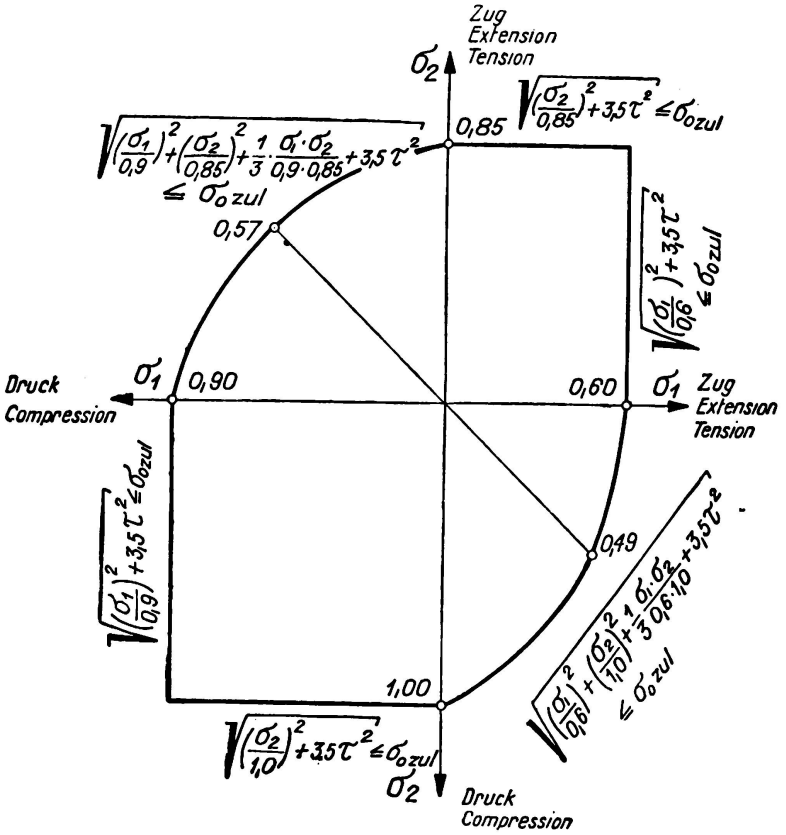



Fig. 21.

Zone de pénétration de la fusion des soudures d'angle, des soudures latérales et des soudures frontales sollicitées suivant deux axes. Systèmes de sollicitation admissibles.

La *construction des charpentes métalliques* est en train de s'adapter au caractère propre des soudures quant à l'exécution de détails constructifs, aux caractéristiques mécaniques et à la capacité de déformation.

La *construction des ponts* soudés en est à ses débuts; la prudence se justifie surtout pour les ponts en treillis; pour les constructions soudées à âme pleine (poutres, portiques, arcs) les conditions sont plus favorables.

Dans le cas de constructions soudées en treillis, la question constructive de l'assemblage des barres aux noeuds est encore en suspens; les attaches sont plus rigides que celles des constructions rivées. Des marques de fatigue (fissures, ruptures) apparaissent souvent assez tôt par suite de tensions secondaires résultant de la plus grande rigidité des assemblages, de plus fortes concentrations locales de tensions résultant de transmissions brusques des forces et de hautes tensions secondaires que l'on ne peut calculer, engendrées par des influences thermiques lors du soudage (contractions).

On doit donner la préférence à l'emploi *d'électrodes* de section pas trop forte et à l'exécution de couches pas très épaisses, le traitement thermique est ainsi plus efficace que si l'on employait des électrodes de section trop grande et si l'on appliquait des couches très épaisses, parce que lors du refroidissement rapide, il se forme la structure moins déformable de Widmannstätten. On peut seulement l'éviter en chauffant au-dessus de la température supérieure de transformation, ce qui est le cas pour les couches intérieures, mais qui par contre ne peut se produire pour les couches extérieures, que par un recuit au four ou au chalumeau.

Les *tensions internes* ne menacent les constructions soudées que si de fines fissures se produisent, soit parce que la soudure est exécutée d'une manière inappropriée lors de l'assemblage des pièces, soit parce que les pièces ou les éléments de construction sont trop rigides; les tensions internes peuvent aussi menacer la construction lorsqu'elles sont excessivement grandes.

Si le mode de fabrication et de construction, de même que l'exécution le permettent, il est vivement à recommander de procéder à un recuit des cordons de soudure au chalumeau, au-dessus de la température supérieure de transformation, suivi d'un revenu de toute la pièce jusqu'à une température suffisante en-dessous de la température inférieure de transformation. Cette opération a pour but d'une part la normalisation des couches de soudure extérieure fragiles, refroidies trop rapidement, ce qui permet d'améliorer leur capacité de déformation, d'autre part l'élimination ou au moins la réduction des tensions internes. Un revenu faisant disparaître les tensions internes est expressément à recommander partout où il est possible de l'exécuter.

On reconnaît comme causes des insuccès signalés jusqu'à présent:

l'emploi d'aciers inappropriés, à haute teneur en carbone, contenant des impuretés, des inclusions, etc. (structure paillée, doublures);

le traitement mécanique inapproprié de l'acier — fort écrouissage et pliage à froid de profils rigides;

le traitement thermique inapproprié — réchauffement préalable négligé, revenu d'aciers écrouis dans la zone de recristallisation;

l'emploi d'une flamme non suffisamment réductrice et d'électrodes inappropriées, non protectrices et non réductrices;

le point de vue constructif négligé — détails constructifs peu appropriés — découpures au chalumeau oxy-acétylènique — changements brusques de section provoquant des concentrations de tensions et

de trop grandes fatigues réelles.

## Résumé.

Les *caractéristiques mécaniques: Résistance et déformation* — résistance à la traction et coefficient de pliage — ainsi que les *taux de fatigue* résultant des essais statiques et des essais de fatigue (endurance), exécutés avec des assemblages soudés au Laboratoire fédéral d'essai des matériaux à Zurich de 1927

à 1935 ont été admis dans la Nouvelle Ordonnance fédérale concernant le calcul, l'exécution et l'entretien des constructions métalliques placées sous le contrôle de la Confédération.

Les *contraintes admissibles* se basent sur les résultats des résistances à la fatigue qui caractérisent la qualité technique des cordons de soudure d'une manière beaucoup plus nette et plus exacte que les résistances statiques.

Le *coefficient de sécurité* choisi pour les assemblages soudés est pratiquement du même ordre de grandeur que celui des assemblages rivés.

La *méthode de calcul du L.F.E.M.* est valable pour des sollicitations suivant une ou plusieurs directions; elle se base sur l'hypothèse de la constance de l'énergie de déformation et tient compte des valeurs relatives des résistances des soudures par rapport aux rivures; cette méthode est en mesure d'encourager le développement des assemblages soudés exécutés selon les règles de l'art et de favoriser l'évolution des formes correctes de ces assemblages.

Les *connaissances théoriques et expérimentales* de même que *l'expérience* acquise ont exercé une influence prépondérante sur le développement des électrodes, la soudure d'aciers spéciaux de qualité appropriés, la disposition générale et les détails constructifs, les mesures et précautions à prendre lors de l'exécution, la méthode de calcul et le contrôle de constructions soudées.

Leere Seite
Blank page
Page vide