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

Band: 5 (1956)

Artikel: Rapport général

Autor: Grelot, L.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-5991

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: 02.10.2025

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

III

Les constructions métalliques soudées

Welded steel structures

Geschweisste Stahltragwerke

Construções metálicas soldadas

Rapport Général – General Rapport – Generalreferat – Relatório Geral

L. GRELOT
Inspecteur Général des Ponts et Chaussées
Paris

ETUDE SYSTEMATIQUE DES FORMES CONSTRUCTIVES
(Théorie et expérimentation)

Ce sujet a été traité par deux auteurs qui, tous deux, ont relaté des résultats expérimentaux à l'exclusion de toute considération théorique.

Mémoire de M. Popp

Dans un important Mémoire, M. POPP a exposé les connaissances acquises à la suite d'essais exécutés en vue du remaniement des prescriptions du chemin de fer fédéral allemand sur le calcul des ponts de chemin de fer soudés.

Les ponts sous voie ferrée étant soumis à des sollicitations dynamiques importantes les essais ont porté sur le comportement correspondant des matériaux et assemblages soudés; y interviennent pour la résistance à la fatigue: celles du métal de base, du métal d'apport et de la zone de transition.

L'effet d'entaille a une grande importance, puisqu'il se traduit par une répartition non uniforme des contraintes, avec un maximum plus ou moins important par rapport à leur valeur moyenne. L'auteur distingue deux effets d'entaille:

— l'un, intérieur, produit par les défectuosités de la soudure elle-même;
— l'autre, extérieur, occasionné par des discontinuités dans le métal d'apport fondu ou le métal de base fondu, ou par la configuration extérieure du cordon de soudure.

Il estime que ce dernier a le plus d'influence, notamment si des discontinuités se manifestant dans la zone de transition, et que son importance dépend de la résilience du métal de base: elle est plus grande pour les aciers mi-durs que pour les aciers doux.

On sait, depuis longtemps, combattre les défauts qui sont à l'origine de cet effet par l'emploi d'électrodes enrobées bien adaptées au métal de base, par le choix et le fini des formes qui doivent être régulières et adoucies pour guider le flux des isostatiques.

On connaît également, et notamment depuis les essais de KOMMERELL, la supériorité de la résistance à la fatigue des soudures bout à bout, qui peut être encore améliorée de 20 % environ par un burinage du cordon dans la direction des isostatiques, et avoisiner la résistance du métal de base, lorsque les sollicitations sont perpendiculaires au cordon.

L'amélioration est moins importante, et la moitié environ seulement pour les soudures d'angle; il est difficile dans ce cas, en effet, d'éviter la pointe de contrainte à la racine du cordon et la fissure d'air entre les parties soudées.

A cet égard l'auteur signale la supériorité de la soudure en K, dans laquelle la fissure d'air est éliminée, et qui permet de transformer deux soudures d'angle en une seule soudure qui se présente un peu comme une soudure bout à bout brute, dont elle offre à peu près les qualités.

L'effet d'entaille intérieur est susceptible de réduire, plus que l'effet d'entaille extérieur, la résistance à la fatigue. Outre les épreuves imposées au soudeur et la surveillance des travaux, l'auteur attache une grande importance au contrôle par les rayons X pour déceler les défauts correspondants.

On sait combien l'examen des films est difficile, et combien il peut être parfois trompeur; il paraît bon de l'associer à d'autres procédés; la mise au point du contrôle par les ultra-sons ne manquera pas d'apporter, par une technique plus simple, des résultats qu'il sera sans doute plus facile d'interpréter.

En ce qui concerne les contraintes résiduelles dans les assemblages non traités thermiquement, on sait qu'elles n'ont aucune influence sur la résistance à la fatigue.

M. POPP a fait une étude critique des essais réalisés depuis 1935 sur la résistance à la fatigue des assemblages soudés; la besogne était difficile en raison de la grande dispersion des résultats publiés pour des recherches comparables. Ces résultats ne visent d'ailleurs pas tous les types d'assemblages utiles, et se rapportent surtout à la résistance à la traction, le métal de base étant l'acier doux (St 37). Ceux qu'il a jugés utilisables dans le cas des efforts alternés ou simplement variables sont relativement rares, surtout, pour ces derniers, en ce qui concerne les valeurs intermédiaires du domaine de la variation telles que le rapport de la valeur minimum à la valeur maximum de la contrainte est compris, en valeur absolue, entre 0 et 1.

Pour l'acier mi-dur, les résultats sont encore plus rares.

Néanmoins, l'auteur, évitant des différentiations compliquées, que la dispersion des résultats n'autorisait pas, est parvenu à établir, pour chacune des deux nuances d'acier, six courbes de résistance se rapportant à tous les types d'assemblages soudés ayant une importance pratique.

C'est en fonction de ces résultats que pour les contraintes à la traction, une réduction du coefficient de sécurité a pu être acceptée, tandis que pour les contraintes à la compression, les limites anciennes ont été maintenues.

Tant pour justifier les nouvelles contraintes à la fatigue que pour rectifier en tant que de besoin les anciennes, de nouvelles séries d'essais étaient en cours au moment de la rédaction du mémoire, sur l'initiative du chemin de fer fédéral allemand, sur des éprouvettes en acier 37 et en acier 52.

Le programme des essais comprend une première série, déjà alors fortement avancée, d'essais sur métal de base, sur soudure bout à bout, de qualité ordinaire ou bien améliorée par burinage.

Les essais ont porté sur 5 valeurs du rapport des contraintes extrêmes:

$$-1, -0{,}5,\ 0, +0{,}5, +1$$

La résistance à la fatigue admise, en long, est celle qui correspond à 2×10^6 alternances.

L'acier est calmé à l'aluminium et recuit; il est ductile, avec une résilience élevée à + 20°, soit à l'état de livraison, soit à l'état vieilli.

Les éprouvettes en acier 37 étaient soumises à 500 alternances par minute et celles en acier 52 étaient soumise à 2000 alternances.

Les limites des fatigues ont varié considérablement:

entre 16,5 Kg/mm² et 43,2 Kg/mm² pour l'acier 37
entre 20,5 Kg/mm² et 50,5 Kg/mm² pour l'acier 52,

suivant les valeurs du rapport des contraintes extrêmes indiquées ci-dessus, l'accroissement étant nettement plus rapide pour les valeurs positives de ce rapport.

Les essais sur assemblages bout à bout (soudures en X exécutées presque en totalité avec des électrodes acides), ont montré que les ruptures statiques avaient toujours lieu très nettement dans le métal de base. Les contraintes de rupture à la fatigue ont toujours été plus élevées que celles qui étaient escomptées, et également plus élevées que celles qui résultaient des donnés statistiques antérieures.

Quand il n'y a pas renversement des efforts, et que les soudures ont été usinées, la résistance à la fatigue de l'assemblage est 85 % de celle du métal de base pour l'acier 52; s'il y a renversement des efforts, cette proportion atteint 90 %; pour les soudures ordinaires, ces proportions sont relativement 77 et 80 %. Le burinage accroit en fait, la résistance à la fatigue de 10 % ou de 11 % suivant le cas.

La qualité des soudures bout à bout est ainsi entièrement confirmée, et les essais ont montré que le comportement de l'acier 52 est remarquable.

Une seconde série d'essais portant sur des assemblages avec soudures d'angle et en K est actuellement en cours, et sera sans doute terminée à l'époque du Congrès.

En ce qui concerne les formes constructives, M. Popp attire l'attention:

— sur l'introduction de la soudure en K pour la jonction d'éléments rectangulaires;

— sur la nécessité du fini de l'exécution et de la variation progressive des formes;

— sur la nécessité de ne pas transposer en construction soudée les formes orthodoxes de la construction rivée, notamment à cause d'une moindre résistance à la fatigue.

D'autres essais sont poursuivis au sujet des résistances à la fatigue sur des ouvrages en exploitation. Les conditions étant passablement différentes de celles dans lesquelles les essais en laboratoire sont exécutés, on peut espérer un relèvement possible des contraintes admises à la fatigue, et faciliter ainsi la construction des ponts triangulés soudés, qui inspirent parfois quelque méfiance, bien que de nombreux exemplaires existent depuis plus de 20 ans sans donner lieu à des observations défavorables.

Mémoire de MM. Wästlund et Östlund

Ce Mémoire est une étude expérimentale sur la distribution des contraintes dans les cordons de soudure d'angle, basée sur l'observation suivante: on calcule ordinairement au cisaillement pur les soudures des barres de triangulation sur les goussets fixés aux membrures d'une poutre. Elles supportent cependant des contraintes normales parallèles à l'effort transmis par les barres, et des contraintes perpendiculaires à cet effort en raison de l'excentricité. Ce fait a d'ailleurs été mis en évidence par des essais de photoélasticité, et notamment par M. TESÄR, au laboratoire de l'Ecole des Ponts & Chaussées à Paris, il y a plus de 20 ans.

Les auteurs se sont proposé de déterminer expérimentalement si la résistance de l'assemblage à la rupture par traction est influencée par ces contraintes.

Les barres étaient formées:

— soit de deux plats différant d'une éprouvette à une autre par leur épaisseur et leur largeur, mais ayant tous la même section, assemblés par 4 cordons d'angle sur un gousset de même section;

— soit de deux plats de même épaisseur, mais de largeur variable, assemblés dans les mêmes conditions.

Le premier type était utilisé pour observer les effets des contraintes perpendiculaires à la direction de l'effort, le second pour observer l'effet des contraintes parallèles à la direction de l'effort.

Les soudures étaient meulées, l'acier employé était de la nuance mi-dure.

Les ruptures se sont toutes produites par cisaillement suivant un plan correspondant au minimum d'épaisseur du cordon, à partir de sa racine.

La dispersion des résultats, concernant 30 éprouvettes, a été au maximum de 14 % pour un type d'éprouvette; la différence entre les valeurs moyennes relatives à chacun des types a été un peu inférieure à 8 %.

Les auteurs en ont déduit que l'on ne peut tirer de ces résultats aucune conclusion précise, sinon que l'nfluence des contraintes normales et de la forme des sections est de faible importance.

Cependant, la mesure des déformations en quelques points voisins des cordons, a permis de constater que les contraintes perpendiculaires à la direction de l'effort varient effectivement avec le type d'éprouvette.

D'autre part, MM. WÄSTLUND et ÖSTLUND se sont proposé de rechercher la grandeur et la distribution de la contrainte de cisaillement le long de cordons de soudure d'angle de longueur et d'épaisseur variables dans des assemblages semblables aux précédents. Ces assemblages étaient entièrement symétriques, et les cordons à surface extérieure plane, étaient meulés pour que leurs sections soient aussi identiques que possible.

Les longueurs des cordons étaient suivant les éprouvettes, de 70, 140 et 210 mm, et leur épaisseur variait de 3 à 6 mm.

Les contraintes ont été déterminées par l'intermédiaire de la mesure des allongements dans l'une des barres de chaque éprouvette, au moyen d'un nombre important de strain-gages, disposés eux-mêmes symétriquement suivant des sections droites de la barre.

La plus petite contrainte moyenne de rupture par cisaillement a été observée avec des cordons courts et épais, et la plus grande, avec des cordons longs et minces.

Trois éprouvettes seulement ayant été essayées à la rupture, les auteurs indiquent qu'il n'est pas possible d'en tirer de conclusion. On peut toutefois observer que ce résultat est bien conforme à ce fait connu des constructeurs, que les soudures d'angle minces ont une résistance spécifique au cisaillement plus élevée que les soudures épaisses.

Les résultats concernant la distribution des contraintes le long des cordons d'angle sont variables, non seulement avec leur longueur et leur épaisseur, mais encore avec la grandeur de l'effort de traction qui leur est imposé.

Pour les cordons les plus longs, c'est aux extrémités que les contraintes sont le plus élevées, et les résultats expérimentaux sont assez nets; on ne peut en dire autant pour les cordons de longueur moyenne: les contraintes, assez régulièrement réparties sous des efforts de traction de 20 T. et de 40 T., étaient assez nettement maxima dans la partie centrale du cordon pour un effort de 60 T.

Pour les cordons les plus courts, et pour la charge de 20 T., la distribution était assez uniforme; les distributions des contraintes pour la charge de 40 T. étaient irrégulières pour un échantillon, et les maxima se produisaient, pour l'autre, dans la région centrale du cordon, avec des différences considérables, par rapport au minimum.

Les auteurs font très justement observer les incertitudes que comportent ces essais délicats; il est notamment impossible de mesurer les allongements à l'extrémité même des barres soudées; d'autre part, la contrainte de cisaillement mesurée dépend de la différence des allongements observés en deux sections successives, et une erreur de mesure relativement faible peut donner lieu à une erreur considérable sur la valeur de la contrainte de cisaillement, notamment pour les soudures les plus courtes, où les strain-gages sont plus voisins.

Il semble donc que les résultats obtenus sur les soudures les plus longues représentent mieux la réalité des choses que ceux qui concernent les soudures les plus courtes, c'est-à-dire que les contraintes maxima de cisaillement se produisent aux extrémités des cordons. Ce résultat est d'ailleurs conforme à celui que permet de prévoir un raisonnement simpliste basé sur la manière globale dont l'effort de traction est transmis progressivement du gousset d'attache à la barre.

On sait que les rivets travaillant au cisaillement dans un assemblage de deux pièces transmettant un effort de traction sont plus sollicités lorsqu'ils se trouvent au voisinage des extrémités des pièces que dans la la région médiane de l'assemblage.

Ce fait paraît indépendant des organes intermédiaires (rivure ou soudure) qui servent à réunir les pièces entre elles; on peut néanmoins penser que la continuité du cordon intervient pour atténuer le rapport entre les contraintes maxima et minima.

LES ACIERS EMPLOYES EN CONSTRUCTION SOUDEE

Ce sujet a été traité par trois auteurs:

M. DELCAMP a traité des possibilités offertes par les aciers français en construction soudée.

MM. ERICKSON et MORGAN ont traité des aciers à construction pour ouvrages soudés en ce qui concerne la pratique de la construction des ponts aux Etats-Unis.

M. KÜHNEL a étudié les exigences de la technique du soudage en ce qui concerne l'acier à construction allemand.

MM. ERICKSON et MORGAN font très justement observer que le vocable «soudabilité» a été employé avec une signification trop étendue dans le passé: «l'acier qui a servi à la construction d'une navire soudé qui s'est brisé, ou d'un pont qui effondré était «soudable», en ce sens qu'il se soudait facilement. Dans ce sens aussi, l'acier de construction au silicium avec 0,40 % de carbone sera «soudable». Pourtant, cela n'est pas vrai pour la «soudabilité».»

Et ils en donnent la définition de l'American Welding Society, si voisine de la définition des constructeurs français que l'on peut dire qu'elle en est une traduction très libre: «l'aptitude d'un métal à être assemblé par soudage, en vue d'une destination bien définie, pour une construction donnée, avec la sécurité désirable».

C'est seulement de ces aciers dont il est question dans les trois rapports; tous les trois se réfèrent à deux nuances d'acier: la nuance douce et la nuance mi-dure ou à haute résistance.

Si l'on s'en tient aux aciers employés pour la construction des ouvrages d'art, mieux définis que les autres, les nuances d'acier doux utilisées sont très voisines dans les pays des trois auteurs en ce qui concerne leurs propriétés mécaniques.

A leur sujet, M. DELCAMP a relaté des essais récents éxécutés par l'Institut français de recheches de la Construction navale, en insistant particulièrement sur la sensibilité à l'effet d'entaille, lorsque l'épaisseur dépasse 25 mm, et qu'il s'agit d'acier effervescent; cet inconvénient est maintenant pratiquement éliminé par l'emploi d'acier calmé.

Il a également attiré l'attention sur la possibilité d'améliorer les aciers effervescents par l'augmentation du rapport de la proportion du manganèse à celle du carbone $\frac{Mn}{C}$.

M. KÜHNEL a rappelé les conditions d'emploi de l'acier St 57 en Allemagne.

Aux Etats-Units, c'est à l'occasion de la construction des ouvrages de l'auto-route de Bayshore à San Francisco, comportant plus de 26.000 tonnes d'acier et 762 Km de cordons de soudure, qu'une qualité d'acier éminemment soudable a été fournie en 1951 (A 373). C'est un acier Martin ou électrique. Contrairement à l'acier utilisé antérieurement, qui ne donnait pas toutes garanties contre la fissuration, et qui ne contenait aucune autre spécification que la limitation des proportions de phosphore, de soufre, et éventuellement un minimum pour le cuivre, cet acier voit toutes ses caractéristiques chimiques limitées, et variables en fonction de l'épaisseur, avec des proportions de carbone qui sont ordinairement un peu supérieures à celles admises en Europe.

Le rapport $\frac{Mn}{C}$ croit avec l'épaisseur.

Une attention particulière a été apporteée aux températures de transition, variables avec l'épaisseur. Les conditions d'emploi sont précisées, concernant suivant l'épaisseur des tôles: la température minimum d'emploi, le préchauffage et le type d'électrode à utiliser.

D'autres aciers, ayant des caractéristiques analogues, sont utilisés pour les tôles des navires; en particulier, l'auteur signale un acier à haute résistance dont la limite de rupture varie suivant l'épaisseur de 60 à 65 Kg/mm² et la limite d'élasticité de 30 à 35 Kg/mm² ainsi que la composition chimique correspondante. Au total, les caractéristiques de soudabilité sont semblables à celles de l'acier A 373.

On utilise en France également, des aciers à haut résistance. Jusqu'en 1940, on disposait de l'acier Ac 54, au chrome cuivre, dont la soudabilité était excellente. Depuis quelques années, cet acier est devenu presque introuvable; le cuivre provenant des riblons encrassant les fours, les sidérurgistes ont cherché à élaborer un acier présentant les mêmes caractéristiques mécaniques et une soudabilité camparable.

M. DELCAMP relate dans son Mémoire les essais qui on été tentés sur 11 types d'acier, au manganèse, au manganèse-chrome, au manganèse--vanadium, et au chrome-cuivre, répondant à des caractéristiques mécaniques comparables.

Les résultats les plus favorables, tant au point de vue économique qu'au point de vue de la soudabilité conduisent à choisir un acier au manganèse dont la limite inférieure de rupture serait 52 Kg/mm², la limite supérieure de l'ordre de 60 Kg/mm².

En Allemagne, c'est également l'acier St 52 qui est utilisé comme acier à haute résistance, avec des précautions particulières concernant sa provenance, lorsque l'épaisseur des tôles est supérieure à 30 mm.

En définitive, il apparaît que, tant en France qu'aux Etats-Units et en Allemagne on s'oriente vers des nuances d'acier qui sont semblables, qu'il s'agisse d'acier doux ou d'acier mi-dur, pour les charpentes et les

ponts soudés. Ce sont, du point de vue des propriétés mécaniques, des aciers présentant une haute ductilité.

Cependant, une même préoccupation se fait jour en Allemagne et en France, celle d'utiliser l'acier élaboré par le procédé THOMAS, plutôt que par le procédé MARTIN, en raison de la nature du minerai dont on dispose, et parfois de la rareté de la ferraille.

Les insuffisances de l'acier THOMAS dues à la présence des impuretés (soufre, phosphore, azote, oxygène cause de l'effervescence) peuvent être fortement atténuées par une désulfuration appropriée, et une précision plus grande dans la conduite de l'élaboration. Les températures de transition sont alors du même ordre de grandeur que celles des aciers MARTIN non calmés. Mais pour obtenir simultanément une aptitude suffisante à la résistance au vieillissement, il faut avoir recours au calmage.

D'autres tentatives sont actuellement en cours également; en particulier, la production des aciers THOMAS à l'oxygène, obtenus par affinage au moyen d'un soufflage d'air enrichi par mélange d'oxygène et de vapeur d'eau ou de gaz carbonique. Mais cette technique ne paraît pas encore tout-à-fait au point pour les aciers utilisés en construction métallique.

MM. DIXON et THOMPSON ont, dans leur mémoire analysé plus loin, indiqué que outre les nuances d'acier doux et à haute résistance couramment utilisées, on produit depuis peu en Angleterre des aciers susceptibles de supporter des contraintes élevées à la traction. et à teneur relativement élevée en carbone, en vue d'une meilleure résistance à l'effet d'entaille. Il soulignent d'ailleurs le manque de corrélation entre les résultats des essais de choc et cette résistance, ainsi que la nécessité de trouver une spécification convenable, qui libère la construction soudée de l'obligation de nombreux essais qui ne remplissent pas leur but.

Les auteurs des trois Mémoires mentionnés ici ont particulièrement porté leur attention sur les effets produits par l'opération du soudage, dûs à la composition chimique du métal de base.

On connaît les inconvénients que peuvent présenter les constructions soudées: l'aptitude à la fissuration longitudinale au voisinage du cordon, ou la fissuration transversale, plus redoutable, la sensibilité à l'effet d'entaille, une température de transition trop élevée, la sensibilité au froid, la fragilité de vieillissement, une résistance insuffisante à la fatigue.

Si l'on sait les atténuer par une limitation judicieuse du carbone et des impuretés, par une valeur relativement élevée du rapport $\frac{Mn}{C}$, par des modifications dans les proportions des constituants lorsque l'on accroît la teneur de l'un d'eux, par l'emploi d'aciers calmés, il n'en demeure pas moins que certains de ces incovénients sont variables avec l'épaisseur des pièces à souder, avec leur largeur pour une même épaisseur et avec les conditions dans lesquelles leur laminage a été exécuté.

On sait également que les procédés de soudage permettent aussi de remédier, dans une certaine mesure, aux difficultés touchant la ductilité, la température de transition, la susceptibilité à la fissuration, par le préchauffage, le postchauffage, l'emploi d'électrodes spéciales, par exemple. La résistance à l'effet d'entaille et la résistance à la fatigue peuvent,

en outre, être notablement améliorées par des formes constructives adéquates, assurant une transmission régulière et continue des contraintes.

La composition chimique des aciers destinés aux constructions soudées est légèrement variable suivant les règlements des divers pays, et elle est est également fonction de la nature et de la qualité des ouvrages auxquels ils sont destinés. De là quelques écarts dans l'appréciation des exigences requises; elles ne paraissent cependant pas fondamentales.

Mais il y a plus de diversité dans les méthodes d'essai concernant le métal de base, et davantage encore lorsqu'il s'agit des assemblages soudés.

M. KÜHNEL signale particulièrement les récentes propositions des normes allemandes relatives au métal de base, et l'utilisation de l'essai de choc, dans des conditions variables avec la provenance de l'acier, pour l'évaluation de la sensibilité aux sollicitations bi ou tri-axiales.

La position française en la matière a été rappelée par M. DELCAMP: elle tend essentiellement à faire une distinction entre:

— les caractéristiques à exiger des aciers soudables, quel que soit d'ailleurs leur mode d'élaboration;
— les essais de soudabilité, les uns étant de signalement, ou d'une manière plus précise, d'agréation, les autres de recette, ou de contrôle.

L'accord est à peu près réalisé sur les premiers essais qui visent la composition chimique, les essais mécaniques, la mesure de la grosseur du grain, et les essais de fragilité avec mesure de la température de transition.

Il est plus difficile à établir sur les essais de soudabilité, soit qu'il s'agisse de la soudabilité locale, dont l'insuffisance crée un risque de rupture prématurée, les propriétés du métal après soudage étant modifiées par des cycles localisés d'échauffement et de refroidissement, soit qu'il s'agisse de la soudabilité globale, c'est-à-dire de la possibilité pour le métal de s'adapter pendant l'opération du soudage d'abord, en service ensuite, aux contraintes particulières qui se produisent dans les constructions soudées, et qui tiennent essentiellement à leur caractère monolithique.

Or, il existe de par le monde plus de 60 essais de soudabilité globale; en général ils ne sont pas simples, et leur interprétation n'est pas toujours aisée. Ils ont souvent le caractère d'essais de laboratoire.

Les Ingénieurs constructeurs ont surtout besoin d'essais d'identification ou de contrôle relativement simples, destinés à vérifier si la qualité de l'acier soudable proposé est bien celle qui est imposée par les cahiers des charges. Il semble que l'on pourrait se contenter:

— pour l'acier doux, d'essais de traction, de résilience à 0°, de résistance au développement de la fissuration;
— pour l'acier à haute résistance, des mêmes essais, les deux derniers étant faits à basse température (-20°) et à partir d'entailles, de de la vérification du pouvoir trempant, et de la sensibilité au vieillissement.

D'autres essais que l'on peut appeler de compatibilité sont d'ailleurs, dans tous les cas, indispensables pour mettre au point les techniques de soudage; ils sont relatifs au choix des électrodes, au préchauffage éventuel des pièces à assembler, à leur traitement thermique après soudage, aux séquences de soudage, etc. De par leur nature, ces essais ne valent que pour chaque cas particulier.

Toutes ces questions sont délicates, et leur solution correcte requiert le concours de spécialistes dont les branches d'activité sont différentes. Il semble donc qu'elles ne puissent être complètement mises au point que par une collaboration entre les sidérurgistes, les spécialistes des questions de la soudure et les constructeurs; une telle collaboration permettrait certainement un développement considérable des constructions soudées et améliorerait la qualité des réalisations, qui verraient en même temps baisser leur prix.

DIFFERENTS PROCEDES DE SOUDAGE UTILISES DANS LA REALISATION DES ASSEMBLAGES

Ce sujet a été traité par deux auteurs.

Mémoire de MM. Dixon et Thompson

Il traite d'abord des constructions soudées sous les différents aspects qui peuvent être envisagés:

— l'économie en poids d'acier par rapport aux constructions rivées;
— l'économie de prix par rapport à ces constructions;
— l'étude du développement futur des méthodes de fabrication.

Il y a là de nombreux renseingnements circonstanciés et fort intéressants pour les constructeurs, qui y trouveront matière à échange d'idées et confrontation de méthodes.

En ce qui concerne les procédés de soudage proprement dits, les auteurs distinguent:

— le soudage à la main avec électrodes enrobées
— le soudage semi-automatique
— le soudage entièrement automatique,

ces deux derniers modes pouvant comporter la soudure avec arc immergé, ou avec arc nu protégé par un gaz inerte (argon), ce dernier type étant pour les charpentes en acier d'un prix prohibitif.

Si le soudage manuel reste la méthode de base, les auteurs estiment cependant que l'emploi accru des machines automatiques et semi-automatiques représente le progrès, notamment si elles deviennet suffisamment légères et mobiles pour pouvoir être déplacées devant les pièces à assembler; actuellement elles sont lourdes et immobiles, et leur prix est élevé. Leur emploi est cependant justifié par la qualité plus grande du travail réalisé, même si l'économie est faible; elles ont l'avantage de faire appel plus à l'attention du soudeur qu'à son habileté manuelle.

Les auteurs signalent qu'ils ont construit, à partir d'une machine à oxycoupage de type courant, une machine semi-automatique, dans laquelle un support spécial d'électrode, contenant la poudre fusible, remplace la tête coupante.

La partie manipulée par le soudeur est d'un poids qui ne dépasse pas 13 Kg.; l'ensemble peut être facilement déplacé.

Pour le soudage à la main et pour les soudures verticales, on préconise l'emploi d'électrodes dites «de contact», dont l'extrémité est effectivement en contact avec les pièces à assembler: la fatigue du soudeur est réduite, il peut être moins habile. Le bain de fusion est très peu important, le fil central étant de faible diamètre. La dépense, de 50 % supérieure à celle qui correspond aux électrodes enrobées ordinaires limite l'emploi de ces électrodes aux cas d'exécution les plus difficiles.

Pour réduire la fissuration de la zone de transition, les auteurs estiment avec raison qu'il est important de réduire la vitesse de refroidissement du cordon, soit par préchauffage, soit par l'emploi de courants de forte intensité. A défaut, l'emploi d'électrodes à bas hydrogène leur paraît particulièrement recommendable.

Ils traitent ensuite des problèmes relatifs à l'emploi de la soudure, concernant la rupture par fatigue, la déformation des pièces, les contraintes résiduelles, la porosité et le préchauffage.

A propos de la résistance à la fatigue, ils signalent l'inconvénient des variations brusques de section.

En ce qui concerne la déformation des pièces, qui représente l'un des plus grands inconvénients des constructions soudées par rapport aux constructions rivées, on sait qu'un usinage très soigné permettant un ajustement exact des éléments d'une pièce est indispensable, et que pour un montage donné, le réglage de l'apport de chaleur et l'ordre d'exécution des cordons, réglé de manière à compenser les déformations successives, est essentiel. Il y a toujours intérêt, toutes les fois que la chose est possible, à permettre aux cordons de faire librement leur retrait, et aux pièces de se déformer librement, ce qui présente en outre l'avantage de réduire au minimum les contraintes résiduelles.

Les effets les plus graves des contraintes résiduelles sont, d'après les auteurs, le vieillissement et l'écrouissage qui, lorsque le métal de base présente une micro-fissuration préalable, sont générateurs de ruptures prématurées.

Ils doutent de l'efficacité de la suppression de ces contraintes, soit par traitement thermique, soit par martelage, et estiment qu'il faudrait sans doute employer des températures supérieures à 600° pour obtenir un résultat satisfaisant.

On sait d'ailleurs que, dans une construction bien conçue et exécutée avec soin, l'effet des contraintes résiduelles est faible, et qu'elles agissent peu, en général, sur la charge de rupture. On se trouve, à cet égard, dans des conditions assez analogues à celles de l'emploi de profilés bruts de laminage, qui présentent également des contraintes résiduelles importantes, mais dont on ne se préoccupe guère.

La porosité est due à la présence d'hydrogène dissous; les auteurs estiment, après expérimentation, que l'exécution de nombreuses passes, dans le cas de la soudure à la main de tôles épaisses, ne permet pas, comme

on l'a cru parfois, de porter remède à la porosité; le préchauffage est par contre un remède très efficace.

Dans le cas de la soudure automatique, les observations faites par les auteurs pendant plusieurs années leur ont montré si l'humidité a peu d'effet sur la porosité, la rouille par contre a une importance capitale; si peu que le métal soit piqué, le sablage des surfaces à souder paraît indispensable.

Il a été observé que, en atmosphère humide, la rouille se développe autour des points de soudure de montage, et produit la porosité.

Le soudage automatique, fournissant une plus grande énergie par unité de longueur de cordon paraît plus favorable à l'homogénéité du du cordon de soudure que le soudage manuel.

L'emploi du préchauffage apparaît aux auteurs un peu comme un luxe en ce qui concerne les aciers de construction, sauf lorsqu'il s'agit de soudures bout à bout exécutées à la main sur de fortes épaisseurs, ou du soudage d'aciers à haute résistance à l'extension, qui contiennent jusqu'à 0,25 % de carbone.

Des expériences sont en cours en Angleterre, avec les deux procédés de soudage, notamment sur des membrures d'épaisseur considérable; elles sont exécutées aux basses températures de ce pays, pour déterminer dans quelles limites de température, d'épaisseur du métal, de nature d'électrode, et de quantités d'énergie apportées le préchauffage doit être employé.

Le reste du mémoire traite de l'étude du métal de base, du contrôle des soudures et des problèmes de main d'oeuvre, auxquels les auteurs attachent à juste titre une grande importance surtout lorsqu'il s'agit du soudage manuel.

Mémoire de M. Kollbrunner

M. KOLLBRUNNER s'étend surtout sur le soudage à la main.

Il signale d'abord les défauts rencontrés dans les soudures (porosité, inclusions, de laitier, entailles d'attaque, défaut d'angle et fissures), en précisant dans chaque cas les causes principales et les remèdes correspondants. Il rappelle la nécessité d'un plan de soudage précis, indiquant l'ordre d'exécution des assemblages, et dans chacun d'eux l'ordre d'exécution des cordons de soudure, pour réduire au minimum les contraintes résiduelles. Il paraît admettre, plus que les auteurs du mémoire précédent, l'efficacité du burinage pour les réduire ou les éliminer. On sait que c'est une technique assez délicate qui, mal conduite, pourrait produire des résultats défavorables.

Il rappelle que l'expérience montre que c'est souvent dans la nature du métal de base lui-même qu'il faut rechercher l'origine des fissures, lorsqu'il contient notamment dans le cas des aciers non alliés des proportions excessives de carbone, de soufre ou de phosphore (0,25 % et 0,05 %). Le choix des eléctrodes basiques s'impose alors.

L'adaptation des électrodes aux différentes nuances d'acier est d'ailleurs un problème qui ne donne plus lieu aujourd'hui à des difficultés partlculières.

M. KOLLBRUNNER conclut à la nécessité d'une collaboration étroite entre les constructeurs, le maître de l'oeuvre, les maîtres soudeurs, et les

ouvriers soudeurs dont l'habileté doit être vérifiée d'une manière permanente. Comme nous avons été amené à l'indiquer précédemment, la collaboration des sidérurgistes nous paraît également indispensable pour l'élaboration d'aciers qui ne posent pas de problèmes insolubles aux constructeurs d'ouvrages soudés.

En Suisse, les électrodes acides étaient le plus fréquemment utilisées autrefois. On tend aujourd'hui à employer, dans les ateliers modernes, les électrodes basiques, notamment pour les soudures qui doivent supporter des contraintes élevées à la traction ou des efforts dynamiques; elles ont l'avantage d'être pauvres en hydrogène (ou à hydrogène contrôlé) dont dépendent essentiellement les fissures de la zone de transition.

Elles peuvent être employées soit sur courant continu, ou sur courant alternatif, sans exiger une habileté exceptionnelle du soudeur.

On exécute souvent des soudures mixtes, c'est-à-dire que les deux espèces d'électrodes sont employées dans un même cordon: toutes les passes intérieures sont exécutées à l'aide d'électrodes basiques, les passes extérieures l'étant au moyen d'électrodes acides Moyennant un choix judicieux, on obtient plus aisément des cordons de soudure sans défaut, et présentant une meilleure résilience à basse température. Des essais de compatibilité entre les deux types d'électrodes sont actuellement en cours en Suisse.

M. KOLLBRUNNER signale que tout récemment, une amélioration a encore été rendue possible par l'emploi d'électrodes à haut rendement thermique.

Il indique enfin l'intérêt de l'emploi des électrodes à forte pénétration, qui permettent de réduire au minimum les travaux d'usinage préparatoires à l'exécution des soudures bout à bout, qui sont indispensables avec les électrodes ordinaires, et qui grèvent fortement le prix de la construction. Mais il estime, avec juste raison, que des essais doivent être poursuivis pour mettre la question au point.

En ce qui concerne le soudage automatique, M. KOLLBRUNNER indique, comme M. DIXON et THOMPSON qu'il ne fera pas disparaître le soudage manuel, bien que son importance se soit accrue considérablement en Suisse, dans les entreprises les plus modernes. L'emploi des deux procédés: première passe à la main avec une électrode basique, soudure automatique ensuite, donne d'excellents résultats, moyennant un choix convenable du fil et de la poudre, et permet de réduire l'usinage des pièces à assembler par soudure.

CONCLUSION

En définitive et malgré les quelques divergences que nous avons signalées chemin faisant, les constructeurs sont, dans l'ensemble, d'accord sur les principes de réalisation des constructions soudées, qu'il s'agisse des qualités requises pour les aciers soudables, de la nature des électrodes à utiliser, ou des procédés de soudage. Les dangers signalés, comme leur ordre de gravité font l'objet d'indications semblables.

Les questions proposées ont été très étudiées; leur division, peut être un peu arbitraire, mais utile pour le classement des idées, a entraîné certains auteurs à traiter sous la même rubrique des sujets touchant à l'ensemble du thème. Il ne faut pas s'en étonner, car en matière de cons-

tructions soudées, on ne peut séparer les considérations relatives aux aciers soudables de celles concernant les électrodes, les méthodes de soudage à utiliser et la nécessité de concevoir des formes et des assemblages spécialement adaptés à la soudure. Le caractère monolitique d'un ouvrage soudé ne le permet pas, et c'est là une différence essentielle avec les constructions rivées, qui est également à la source des plus grandes difficultés.

Mais le débat n'est pas épuisé, et les divergences auxquelles nous venons de faire allusion le montrent bien. Comme elles ne peuvent être être levées que par la confrontation des résultats expérimentaux, il est désirable que les recherches continuent dans chacun de nos pays. Pour ne citer qu'un point, mais combien important, nous sommes d'après les exposés présentés, dans l'incertitude au sujet de l'existence d'une corrélation entre la résilience d'un acier et sa sensibilité à l'effet d'entaille. La confrontation de tous les résultats recueillis dans ce domaine paraît indispensable pour aboutir à une conclusion valable, qui permettrait sans doute de réduire les exigences des services de contrôle.

Mais la technique des constructions soudées fait intervenir trop de facteurs, depuis les méthodes d'élaboration de l'acier, dont les progrès peuvent simplifier la technique du soudage et abaisser son prix, jusqu'au burinage éventuel du cordon de soudure, en passant par la conception des formes, le choix des électrodes et la mise en oeuvre proprement dite, pour qu'il ne paraisse pas éminemment souhaitable que, dans chaque pays, une collaboration plus étroite soit établie entre les sidérurgistes, les soudeurs et les constructeurs.

C'est peut-être un peu en raison d'un rapprochement insuffisant entre ces spécialistes que la première partie du thème, relative à l'étude systématique des formes constructives n'a été abordée par aucun auteur en ce qui concerne les formes générales des constructions soudées.

RÉSUMÉ

Le Thème III comporte trois paragraphes.

Le premier concerne l'étude systématique des formes des constructions soudées.

M. Popp a exposé les rsultas d'essais exécutés sur les essemblages courants exécutés dans les ponts soudés, notamment en vue de leur résistance à la fatigue, comportant poit des cordons d'angle, soit des cordons d'angle, soit des cordons bout à bout; les seconds seuls étaient terminés lorsqu'il a rédigé son Mémoire. Utilisant les résultats d'essais exécutés antérieurement, il a pu ainsi établir les courbes de résistance et proposer, pour les ponts de chemins de fer soudés, des contraintes limites de fatigue plus élevées que celles qui étaient adoptées précédemment.

D'autres essais sont poursuivis sur des ouvrages en exploitation.

MM. Wästlund et Östlund relatent une étude expérimentale sur la distribution des contraintes dans les cordons de soudure d'angle, qui sont calculés comme supportant exclusivement des contraintes de cisaillement. Ils en ont déduit que les contraintes normales paralleles ou perpendiculaires à la direction du cordon, lorsque l'assemblage est soumis

à la traction, sont de faible importance. Les résultats concernant la répartition des contraintes de cisaillement sur des soudures relativement longues, cas où l'interprétation des essais est la moins malaisée, confirment que c'est vers leurs extrémités que se produisent les maxima.

Le second paragraphe a trait aux aciers employés en construction soudée.

M. DELCAMP a fait un tableau d'esemble des possibilités offertes par les aciers français, en rappelant les essais exécutés par l'Institut français de recherches de la construction navale, et en insistant sur les possibilités d'amélioration de l'acier THOMAS.

MM. ERICKSON et MORGAN ont présenté les aciers utilisés pour la construction des ponts aux Etats-Unis.

M. KÜHNEL a plus spécialement exposé les exigences de la technique du soudage concernant l'acier à construction allemand.

On a ainsi un panorama des aciers doux et des aciers mi-durs utilisés dans les trois pays, et l'on constate que leurs qualités respectives sont très voisines de celles employées en Angleterre, pour laquelle la question a été traitée dans le paragraphe suivant (MM. DIXON et THOMPSON).

L'accord est à peu près réalisé sur les conditions relatives à la composition chimique, aux essais mécaniques, aux essais de fragilité, à la détermination de la température de transition. Il n'est pas établi encore sur les essais de soudabilité, qu'il s'agisse de soudabilité locale, ou de soudabilité globale. Les Ingénieurs soudeurs n'ont d'ailleurs pas tout-à-fait le même point de vue que les constructeurs, qui ont surtout besoin d'essais de contrôle relativement simples, à pratiquer sur des aciers préalablement agréés comme «soudables». La question ne paraît pouvoir être résolue que par une collaboration entre Ingénieurs sidérurgistes, soudeurs et constructeurs.

Le troisième pragraphe est relatif aux différents procédés de soudage utilisés dans la réalisation des assemblages.

MM. DIXON et THOMPSON, après avoir envisagé le point de vue économique, ont traité d'un point de vue essentiellement pratique le soudage à la main, le soudage semi-automatique et le soudage automatique. Ils ont examiné les conditions de la fissuration, de la rupture par fatigue, de la déformation des pièces, et les questions des contraintes résiduelles, de la porosité et du préchauffage. Leur Mémoire est riche d'expérience, et conclut nettement en faveur de l'emploi plus fréquent de machines automatiques, au semi-automatiques, bien que le soudage à la main doive continuer à être utilisé.

M. KOLLBRUNNER a surtout traité du soudage à la main. Rappelant les défauts rencontrés dans les soudures, il en a précisé les causes et les remèdes, et rappelé l'importance de l'adaptation des électrodes au métal de base utilisé. Il signale l'emploi de plus en plus fréquent, en Suisse, des électrodes basiques, et l'emploi simultané des électrodes acides et basiques dans une même soudure, pour éviter les défauts, et obtenir une meilleure résilience à basse température. Il préconise l'emploi d'électrodes à haut rendement thermique et à forte pénétration, qui procurent une réduction importante des dépenses d'usinage. Il signale l'emploi de plus en plus important du soudage automatique en Suisse.

SUMMARY

Theme III is divided into three parts.

The first part deals with the systematic investigation of welded structures constructional details.

Mr. POPP reports results of experiments carried out on various types of assemblies currently used in welded bridge construction, incorporating butt or fillet welds, and deals more particularily with their resistance to fatigue; only butt welds had been expermented when his contribution was written. Making use of experimental data obtained previously, he plotted resistance curves and recommends, for welded railway bridges, higher permissible fatigue stresses than those used at present.

Further tests are being carried out on bridges in operation.

Mssrs. WÄSTLUND and ÖSTLUND report on experimental work on stress distribution in fillet welds, calculated as resisting only to shearing stresses. They conclude that the effect of the normal stresses at right angles and parallel to the longitudinal direction of the weld is negligible when it is submitted to tensile forces. Results referring to the shearing stress distribution in relatively long welds, this being the case for which the interpretation of the results is the easiest, confirm that the maximum stresses take place at the ends of the welds.

The second part deals with the different types of structural steels for welded structures.

Mr. DELCAMP describes the different types of french steels, referring to the experiments carried out by the «French Institute for Shipbuilding Research», and insists upon the possibility of improving the quality of Thomas processed steels.

Messrs. ERICKSON and MORGAN describe the different kinds of steel used in bridge construction in the United States.

Mr. KÜHNEL reports on the requirements of the welding technique as referred to the current types of German structural steel.

This gives a general outlook on the mild and medium tensile steels currently used in these three countries and it is noticied that they are very similar to those used in England (see Messrs. DIXON and THOMPSON'S contribution, included in the third part of this theme).

Agreement seems to be reached on the chemical composition requirements, as well as on the mechanical, fragility and transition temperature tests. This is not the case where weldability, tests either local or global, are concerned. Welding Engineers do not have the same requirements as Constructing Engineers who merely need relatively simple control tests to be carried out on steels previously labeled as weldable. This question can only be solved through a close collaboration between Siderurgical Welding and Constructing Engineers.

The third part deals with the various welding methods used in welded steel construction.

Messrs. DIXON and THOMPSON, after referring to the economical aspect of the question, deal with the pratical side of manual semi-automatic and automatic welding processes. They show the advantages of

the contact electrodes in manual welding. They also consider welding in the light of cracking, failure due to fadigue, structure deformation, residual stresses, porosity and pre-heating. Their contribution is based on practical experience and recommends the frequent use of automatic and semi-automatic, welding machines even though manual welding cannot be entirely discontinued.

Mr. KOLLBRUNNER is mainly concerned with manual welding. After referring to the defects currently found in welds, he deals with their causes and remedies and stresses the importance of adapting the electrodes to the basic material. He refers to the increasingly frequent use of basic electrodes in Switzerland and to the simultaneous use of acid and basic electrodes in a single weld so as to improve its quality and obtain a better notched bar tenacity at low temperature. He recommends the use of high thermal efficiency and penetration electrodes so as to obtain a strong reduction of machining expenses. He reports the increasing use of automatic welding in Switzerland.

ZUSAMMENFASSUNG

Des Thema III besteht aus 3 Abschnitten.

Der erste enthält eine systematische Studie der geschweissten Konstruktionsformen.

Herr POPP legt die Versuchsergebnisse dar, die an geschweissten Brücken, besonders hinsichtlich der Ermüdungserscheinungen durchgeführt wurden und zwar sowohl für rechtwinklig angeschweisste Stücke wie auch für gestossene. Als er seine Abhandlung niederschrieb, waren lediglich die Letzteren beendet. Auf Grund der Ergebnisse von früheren Versuchen konnte er Kurven über die Ermüdungserscheinungen aufstellen und er schlug für geschweisste Stahlbrücken höhere zulässige Ermüdungsgrenzen vor, als sie bisher erlaubt waren.

Weitere Versuche werden an im Betrieb stehenden Brücken durchgeführt.

Die Herren WÄSTLUND und ÖSTLUND berichten über Versuche, die durchgeführt wurden um die Verteilung der Spannungen in K-Nähten zu erfassen; diese werden unter der Annahme berechnet, dass nur Schubspannungen vorhanden seien. Es wird gezeigt, dass die, in bezug auf das Schweissgut parallelen und senkrechten Normalspannungen von geringer Bedeutung sind, wenn die geschweisste Verbindung auf Zug beansprucht wird. Die Ergebnisse über die Verteilung der Schubspannungen über relativ lange Schweissnähte, für welche die Versuchsergebnisse am ehesten zutreffen, bestätigen, dass die grössten Schubspannungen an den äussersten Enden auftreten.

Der zweite Abschnitt bezieht sich auf die Stähle, die für die geschweissten Konstruktionen verwendet werden.

Herr DELCAMP gibt eine Zusammenstellung der in Frankreich verfügbaren Stähle, indem er sich auf die vom Institut français de recherches de la construction navale gemachten Versuche stützt; er legt dabei grosses Gewicht auf die Verbesserungsmöglichkeiten der THOMAS-Stähle.

Die Herren ERICKSON und MORGAN behandeln die in den Vereinigten Staaten für den Brückenbau verwendeten Stähle.

Herr KÜHNEL berichtet über die speziellen Anforderungen, die Schweisstechniker in Deutschland an die Stähle stellen.

So erhält man eine Uebersicht über die in den drei Ländern verwendeten Stähle und man stellt fest, dass ihre Eigenschaften sehr ähnlich sind denen der Stähle, die man in England verwendet und die im folgenden Abschnitt behandelt werden. (Herren DIXON und THOMPSON).

Die Uebereinstimmung ist fast eine vollständige in der chemischen Zusammensetzung, dem mechanischen Verhalten, und der Sprödigkeit. Sie ist noch nicht bewiesen für die lokale Schweissbarkeit und die Schweissbarkeit als Ganzes. Die Schweisstechniker sind übrigens nicht gleicher Ansicht wie die Konstrukteure, die hauptsächlich einer einfachen Kontrollmethode bedürfen, die auf alle Stähle angewendet werden kann, die bereits zum Schweissen zugelassen sind. Diese Frage wird nur in Zusammenarbeit von Metallurg, Schweisstechniker und Konstrukteur gelöst werden können.

Der dritte Abschnitt behandelt die verschiedenen Schweissvorgänge, die zur Herstellung von Schweissverbindungen angewendet werden.

Die Herren DIXON und THOMPSON würdigen zuerst die wirtschaftliche Seite des Problems. Dann behandeln sie vom Gesichtspunkt des Praktikers aus die Handschweissung, das halbautomatische und schliesslich das vollautomatische Schweissen. Sie weisen auf die Vorteile hin, die sich bei Kontaktelektroden für die Handschweissung ergeben. Ferner betrachten sie das Problem des Schrumpfens des Schweissgutes, der Deformation, der Schrumpfspannungen, der Porosität und des Vorwärmens. Ihre Abhandlung zeugt von grosser Erfahrung und folgert deutlich die vermehrte Anwendung von automatischen oder halbautomatischen Maschinen, obgleich die Handschweissung ihre Bedeutung nicht verloren hat.

Herr KOLLBRUNNER befasst sich zur Hauptsache mit der Handschweissung. Er ruft die Fehler am Schweissgut in Erinnerung, er führt die Fehler und ihre Beseitigung an und betont die Wichtigkeit der Anpassung der Elektrode an das Grundmaterial. Er beschreibt in Kürze die in der Schweiz immer mehr zur Anwendung kommenden basischen Elektroden und die gleichzeitige Verwendung von basischen und sauren Elektroden im gleichen Schweissgut, um damit Fehler zu vermeiden. Er befürwortet sodann die Anwendung von Elektroden mit höheren Temperaturen und grosser Tiefenwirkung, die eine wesentliche Verringerung der Betriebskosten zur Folge haben. Er macht ferner auf die immer grösser werdende Verwendung der automatischen Schweissung in der Schweiz aufmerksam.

RESUMO

O Tema III divide-se em três parágrafos.

O primeiro trata do estudo sistemático das formas construtivas das estruturas soldadas.

O Sr. POPP expõe resultados de ensaios executados em diversos tipos de ligações comportando soldaduras de canto ou de topo, correntemente utilizados em pontes soldadas, e no decorrer dos quais estudou em particular a resistência à fadiga; na altura em que redigiu a sua contribuição só se encontravam concluídos os ensaios referentes aos cordões

de topo. Utilizando resultados de ensaios anteriores, poude estabelecer curvas de resistência e propõe, para pontes soldadas de caminho de ferro, tensões admissíveis superiores às anteriormente adoptadas.

Estão-se actualmente realizando mais ensaios em estruturas em serviço.

Os Srs. WÄSTLUND e ÖSTLUND relatam um estudo experimental que realizaram acerca da distribuição das tensões em cordões de soldadura de canto calculados para a hipótese de só poderem resistir a esforços de corte. Deduziram dos referidos ensaios que em ligações submetidas à tracção, as tensões normais, paralelas ou perpendiculares à direcção do cordão, são desprezíveis. Os resultados relativos à repartição das tensões de corte nas soldaduras relativamente compridas, para as quais a interpretação dos resultados é menos difícil, confirmam que os máximos ocorrem nas extremidades.

O segundo parágrafo trata dos diferentes tipos de aço empregados nas estruturas soldadas.

O Sr. DELCAMP faz uma descrição das possibilidades que oferecem os aços franceses e lembra os ensaios efectuados pelo Instituto Francês de Pesquizas de Construção Naval, insistindo sobre as possibilidades de melhoramento do aço THOMAS.

Os Srs. ERICKSON e MORGAN apresentam os aços utilizados na construção das pontes nos Estados Unidos.

O Sr. KÜHNEL trata em especial das exigências impostas à técnica da soldadura pelos aços de construção alemães.

Obtém-se assim uma idéia geral sobre os aços macios e meio-duros utilizados nos três países e constata-se que as respectivas qualidades são muito semelhantes às dos empregados em Inglaterra (ver a contribuição dos Srs. DIXON e THOMPSON no parágrafo seguinte).

O acordo é quase completo no que diz respeito às condições referentes à composição química, ensaios mecânicos e de fragilidade, determinação da temperatura de transição, não estando ainda nada fixado no que diz respeito aos ensaios de soldabilidade, quer se trate de soldabilidade local, quer de soldabilidade global.

Os Engenheiros Soldadores não encaram, aliás, o problema da mesma maneira que os Engenheiros Construtores que necessitam principalmente de ensaios de controle relativamente simples efectuados sobre aços prèviamente aceites como «soldáveis». O problema só parece poder resolver-se mediante uma colaboração estreita entre Engenheiros Siderúrgicos, Soldadores e Construtores.

O terceiro parágrafo refere-se aos diferentes processos de soldadura utilizados na realização das estruturas.

Os Srs. DIXON e THOMPSON, depois de examinarem o aspecto económico do problema, tratam a questão da soldadura manual, semi-automática e soldadura automática do ponto de vista essencialmente prático. Indicam as vantagens dos eléctrodos de contacto no caso da soldadura manual. Tratam os problemas de fissuração, rotura por fadiga, deformação dos conjuntos, tensões residuais, porosidades e preaquecimento das soldaduras. A contribuição é toda baseada em ensinamentos práticos e a conclusão é francamente em favor da utilização mais frequente de máquinas de soldar automáticas ou semi-automáticas não pondo porém completamente de parte a soldadura manual que deve continuar a ser utilizada em certos casos.

O Sr. KOLLBRUNNER trata principalmente da soldadura manual. Lembrando os defeitos normalmente encontrados nas soldaduras, refere-se às causas e remédios, insistindo sobre a importância de adaptar os electrodos ao metal de base utilizado. Assinala o emprego, cada vez mais frequente na Suíça, dos electrodos básicos e o emprego simultâneo de electrodos ácidos e básicos num mesmo cordão para evitar defeitos e obter uma melhor resiliência a baixa temperatura. Preconisa o emprego de electrodos de alto rendimento térmico e de forte penetração que permitem obter uma redução importante do acabamento mecânico. Assinala o emprego cada vez mais frequente da soldadura automática na Suíça.