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

Band: 1 (1932)

Rubrik: III. Welding in steel structural work

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 01.09.2025

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

III 1

LA SOUDURE DANS LES CONSTRUCTIONS MÉTALLIQUES

SCHWEISSEN IM STAHLBAU

WELDING IN STEEL STRUCTURAL WORK

RAPPORT D'INTRODUCTION

EINLEITENDES REFERAT

INTRODUCTORY REPORT

T. GODARD,
Ancien Professeur à l'École Nationale des Ponts et Chaussées, Pau.

Le rapport de M. Dustin, au Congrès de Liége, sous le titre « Assemblages : rivure et soudure », est un exposé excellent de l'état de la soudure électrique et de ses applications aux charpentes métalliques dans le monde en septembre 1930. Il n'y est question de la rivure que pour établir certaines comparaisons. Nous ne pouvons donc mieux faire que de partir des indications données dans ce rapport et des conclusions tirées par l'auteur pour montrer le chemin parcouru depuis et formuler nos propres propositions de conclusions à soumettre aux délibérations du Congrès de Paris.

Ce rapport étudie successivement :

La soudure prise en elle-même, c'est-à-dire les procédés de soudure à l'arc, l'emploi du courant continu et alternatif, les avantages et les inconvénients des deux genres de courant, les divers types d'électrodes en fil nu ou en fil enrobé, les qualités du métal d'apport avant et après soudure.

Les joints soudés, c'est-à-dire les effets de la soudure sur le métal des pièces assemblées, soit qu'on envisage les modifications d'état physique dues à l'action de la fusion, soit qu'on envisage les déformations, le calcul de la résistance des joints soudés et enfin les moyens de déceler les qualités et les défauts des joints soudés.

Les effets du mode d'assemblage sur les constructions, c'est-à-dire les modifications des profils et des assemblages habituels en construction rivée pour profiter des facilités spéciales dues à la soudure et, incidemment, les modifications qu'il serait souhaitable d'apporter aux profilés du commerce pour tirer tous les avantages de la construction soudée, enfin la question capitale de l'économie à réaliser par l'emploi de la soudure.

Les opinions des constructeurs et des usagers en ce qui concerne la comparaison entre la construction rivée et la construction soudée.

Les conclusions de M. Dustin sont les suivantes :

En ce qui concerne le métal d'apport, on peut actuellement lui donner de façon régulière toutes les qualités qu'on peut raisonnablement en exiger. Les meilleures conditions économiques paraissent être réalisées lorsqu'on adopte pour le métal d'apport des qualités mécaniques aussi voisines que possible des qualités du métal des pièces à assembler.

Le calcul de la résistance de l'assemblage soudé peut se faire avec une très grande exactitude ; il est d'une remarquable simplicité ; les coefficients à introduire dans les formules ayant fait l'objet de vérifications expérimentales nombreuses, l'assemblage soudé peut se calculer avec une entière sécurité.

Dans les cas douteux, il est facile de donner à l'assemblage un surcroît de résistance considérable.

Les méthodes de contrôle de la qualité du joint soudé sont, semble-t-il, au moins équivalentes à celles dont on dispose pour les joints rivés et les études actuellement en cours font espérer que nous disposerons sous peu de méthodes d'auscultation plus parfaites.

Le grand public hésite encore à adopter le nouveau mode d'exécution des charpentes ; un peu partout on y recourt pour transformer ou renforcer des ouvrages existants, mais on hésite encore à l'appliquer aux ouvrages nouveaux. Pour que la construction des charpentes soudées prenne immédiatement un grand développement, il ne manque plus qu'une chose : la consécration de quelques grandes administrations l'ayant adoptée pour des ouvrages importants.

Avant de reprendre une par une les indications fournies par M. Dustin sur les diverses questions intéressant les applications de la soudure électrique aux charpentes, nous ferons une remarque importante.

Toutes les questions intéressant la soudure, soit au chalumeau, soit à l'arc électrique, et ses applications, sont étudiées très près dans la plupart des pays du monde entier par des organismes plus ou moins centralisés et, très souvent, puissants et bien outillés. Il n'y a peut-être pas un ordre de questions, dans le domaine de la science appliquée, qui fasse l'objet d'études aussi passionnées et aussi suivies. C'est ainsi qu'en France, en particulier, il existe un organe de liaison entre les diverses firmes s'occupant de la soudure et des industries qui s'y rattachent, c'est l'office central de l'acétylène et de la soudure autogène, organisme de premier ordre, tant par l'importance de ses services, que par la valeur des ingénieurs qui y sont employés. D'autre part, tous les ingénieurs s'occupant de la soudure ont organisé une puissante Société patronnée par les plus hautes autorités scientifiques. Ces organismes possèdent à Paris un laboratoire parfaitement outillé permettant d'entreprendre toutes les recherches possibles sur la soudure et ses applications. Une école de soudure forme des ingénieurs spécialistes et des cours de soudure fonctionnent à l'usage des ingénieurs non spécialistes et des soudeurs professionnels. Un Institut de soudure autogène centralise tout ce qui concerne l'enseignement de la soudure. Dans nombre d'autres pays, notamment en Norvège, en Suède, en Suisse, en Belgique, en Allemagne, en Angleterre et aux États-Unis, des organisations plus ou moins similaires existent ou sont en voie de formation. En outre, il existe

un organisme international centralisant toutes les questions intéressant la soudure autogène ; cet organisme auquel vingt-deux pays ont adhéré a son siège à Paris : c'est la Commission Permanente Internationale de l'Acétylène et de la Soudure Autogène. Cette commission se réunit assez fréquemment et organise des congrès internationaux tous les trois ans.

Dans ces conditions, il nous paraît absolument superflu de s'appesantir sur des questions telles que la nature du courant à utiliser, la nature des électrodes à fil nu ou enrobé, le calcul des soudures, les essais de toutes natures : ce sont là des questions d'ordre général qui toutes se rattachent à une question d'un intérêt vital pour la soudure, c'est celle de l'économie. Elles ont d'ailleurs été résolues à l'heure actuelle. La forme du courant est indifférente pour tous les travaux, sauf ceux exécutés au-dessus de la tête des soudeurs pour lesquels on préfère encore le courant continu. L'électrode nue a fait place d'une façon à peu près générale à l'électrode enrobée. Son emploi est dû aux travaux de savants éminents au premier rang desquels il faut citer, parmi les disparus, Oscar Kjellberg, l'ingénieur suédois, inventeur de l'électrode enrobée, et André Le Chatelier, l'ingénieur français créateur de la technique de la soudure oxyacétylénique, qui a fait connaître les travaux de Kjellberg. André Le Chatelier est l'inventeur du premier chalumeau découpeur à jet concentrique qui rend toujours les plus grands services pour le découpage des profilés destinés à la fabrication des charpentes.

Pour le constructeur, il suffit de savoir qu'il peut exiger de la soudure comme qualités physiques, chimiques et mécaniques, l'équivalent des pièces à souder ; il lui suffit de savoir que des méthodes de calculs sûres, aussi sûres en tous cas que celles employées pour la rivure, peuvent être appliquées à cette soudure. C'est ce qui ressort des travaux et des recherches dont les résultats ont été publiés récemment et, notamment en France, par M. Goelzer.

Ces préliminaires une fois admis, nous allons examiner la situation de la soudure appliquée aux charpentes métalliques.

A. La soudure prise en elle-même :
   1° Les procédés de soudure ;
   2° La nature du métal d'apport.

B. Les joints soudés :
   1° Effet de la soudure sur les pièces assemblées ;
   2° Préparation et calcul du joint soudé ;
   3° Auscultation des joints exécutés.

C. L'ensemble de la construction soudée :
   1° Les changements déterminés dans la forme et les dimensions ;
   2° Les économies possibles.

A. La soudure prise en elle-même.

1° Les procédés de soudure.

La situation n'a guère changé par rapport à celle de septembre 1930. C'est toujours le procédé de soudure à l'arc qui est pratiquement le seul employé.

On peut employer indifféremment le courant continu comme le courant alter-

natif ; ce dernier est de beaucoup le plus économique ; la différence de prix d'établissement d'un poste de soudure à courant continu par rapport à un poste à courant alternatif rendant les mêmes services est considérable.

Les électrodes enrobées présentent à l'heure actuelle une supériorité si marquée sur les électrodes en fil nu, qu'elles sont à peu près exclusivement employées dans tous les pays et notamment en France. En Amérique, où l'électrode nue a semblé avoir pendant longtemps la priorité sur l'électrode enrobée, on revient à une conception plus scientifique de la soudure. De grandes firmes, telles que la General Electric Co, la Société Babcox et Wilcox, la A. O. Smith Corporation, ont obtenu dans cette voie des résultats fort intéressants. En Allemagne l'emploi du fil nu tend à diminuer de plus en plus.

La grande supériorité de l'électrode enrodée sur l'électrode en fil nu provient surtout de ce que la première élimine complètement les oxydes dans les soudures, ce danger si redouté et qui a rendu les premières soudures à l'arc presque impossibles. D'autre part, certains éléments d'une électrode à fil nu, tels que le carbone, le manganèse et le silicium, brûlent et disparaissent, modifiant ainsi assez profondément la nature du métal.

Cependant, moyennant quelques précautions, il paraît actuellement possible d'obtenir, avec des électrodes en fil nu, des soudures, sinon parfaites, du moins suffisantes pour la pratique ordinaire. D'ailleurs l'extension aux charpentes de procédés de soudure nouveaux permettra peut-être, avec du fil nu, de réaliser d'excellentes soudures dans l'avenir.

Deux semblables méthodes de soudure à l'arc sont expérimentées depuis plusieurs années en Amérique.

La première de ces méthodes a été découverte et développée par le Dr Irving Langmuir, déjà célèbre par des travaux qui ont conduit à la lampe à incandescence moderne.

La deuxième de ces méthodes a été expérimentée par un ingénieur spécialisé dans les questions de soudure, M. P. Alexander.

Dans les deux procédés, l'air est exclu par un bain d'hydrogène ou d'un autre gaz de l'endroit où se fait la soudure : la formation d'oxydes ou d'azotures est ainsi empêchée et le métal fondu est aussi tenace et ductile que le métal originel.

La méthode du Dr Langmuir consiste à diriger un courant d'hydrogène sur un arc jaillissant entre deux électrodes de tungstène. La température énorme de l'arc dissocie les molécules d'hydrogène dont les atomes sont libérés. Cette flamme d'hydrogène atomique est soufflée sur la pièce à souder dont le contact détermine la recombinaison des atomes avec production d'une température du même ordre de grandeur que celle de l'arc. L'hydrogène atomique très avide d'oxygène réduit tous les oxydes qui pourraient s'être formés sur la surface du métal. Des alliages contenant du chrome, de l'aluminium, du silicium ou du manganèse peuvent ainsi être soudés sans précautions spéciales.

Le procédé de M. Alexander est basé au contraire sur l'utilisation des propriétés physiques et chimiques de l'hydrogène moléculaire ou des mélanges gazeux d'hydrogène et d'autres gaz. Dans ce procédé, l'arc est maintenu comme à l'ordinaire entre le fil métallique employé comme électrode et la

pièce à souder formant l'autre électrode. Le courant de gaz est fourni autour de l'arc et empêche l'action de l'air dans les environs de celui-ci.

Ces deux procédés sont bien différents puisque dans le premier c'est une flamme d'hydrogène atomique qui produit la fusion, tandis que dans le second, la fusion est produite par l'arc, l'hydrogène agissant simplement comme réducteur. Ils ont été et continuent à être l'objet d'expériences nombreuses en Amérique dans le laboratoire de la General Electric Co. et dans d'autres pays; on a rendu la soudure automatique dans les deux procédés. Cependant le procédé LANGMUIR qui a reçu en France d'importants perfectionnements semble devoir l'emporter définitivement sur le procédé ALEXANDER.

Nous n'insisterons pas davantage, d'abord parce que, comme nous l'avons fait remarquer, il s'agit là de questions d'ordre général du ressort des ingénieurs soudeurs, et d'autre part, que ces procédés à notre connaissance ne sont pas encore entrés dans la pratique courante et font actuellement l'objet d'études de mise au point, alors que l'utilisation d'électrodes enrobées est entrée partout dans la pratique courante.

2° La nature du métal d'apport.

Il semble que les meilleures conditions économiques se trouvent réalisées dans le métal d'apport à une composition aussi voisine que possible de celle des pièces à souder.

Quand il s'agit de l'acier doux utilisé jusqu'à ces dernières années et d'une composition plus ou moins analogue à celle du métal défini par le cahier des charges général des travaux des Ponts et Chaussées en France (rupture 42 kgs, coefficient d'élasticité 24 kgs, allongement 25 %), la soudure s'opère donc sans aucune difficulté, sans modification du métal des pièces au voisinage de la soudure et sans différence bien sensible entre la nature physique du métal de la soudure par rapport au métal des pièces; la seule différence est celle de l'acier coulé par rapport à l'acier laminé.

Mais l'industrie de la charpente utilise de plus en plus des aciers alliages répondant aux besoins les plus variés, résistance plus considérable aux actions mécaniques, résistance à la rouille, etc. Comment ces aciers alliages se comportent-ils vis-à-vis de la soudure? La question n'est pas complètement élucidée mais paraît bien près de l'être et, comme on peut le prévoir, dans le même sens que pour l'acier doux.

B. Les joints soudés.

1° Effets de la soudure sur les pièces assemblées.

Nous avons vu plus haut ce qu'il fallait penser des modifications chimiques et métallographiques produites dans les pièces soudées par élévation de température au moment de la soudure.

Cette action thermique est-elle capable d'introduire des déformations permanentes appréciables dans les charpentes? Il ne semble pas que ce soit le cas en construction courante, d'après les nombreux exemples de charpentes soudées, parfois fort compliqués, actuellement en service. Cependant quelques constructeurs ont eu certains ennuis. Quand il faut faire de longues soudures

sur de gros profils, il semble qu'il y ait lieu de faire une étude sérieuse de chaque cas. C'est ainsi qu'en construction navale, quand de longues soudures réunissent entre elles, ou à des profilés, de grandes et fortes tôles, on ne peut éviter des déformations notables et il y a lieu d'en tenir compte.

Il semble qu'il y ait de ce chef une technique à mettre sur pied concernant les précautions à prendre dans certains cas en charpente soudée pour éviter ces déformations ou en corriger les effets.

2° Préparation et calcul du joint soudé.

La forme des soudures en charpentes métalliques dépend de deux éléments : la nature des joints soudés et la préparation des portions de tôles élémentaires qui constituent le joint. On arrive ainsi à un nombre important de formes de soudure qui ont été classées dans les normes établis par différents pays, l'Allemagne, les États-Unis, la France.

Au point de vue du calcul, il est plus intéressant d'adopter une classification simple, basée sur trois grandes classes de joints : les joints par aboutement, par recouvrement et les joints d'angle.

Pour les joints bout à bout, la forme des soudures dépend d'abord de l'épaisseur des tôles et ensuite de la méthode de soudure employée.

Pour les deux dernières catégories de joints, la section droite de la soudure prend toujours une forme générale triangulaire.

Nous ne partageons pas entièrement l'optimisme de M. Dustin sur la facilité du calcul de l'assemblage soudé et sur la sécurité que donne ce calcul. Il est en effet nécessaire de tenir compte d'un facteur de sécurité qui peut varier suivant la qualité de la main-d'œuvre et des matériaux employés. Il est bien évident par exemple qu'une soudure exécutée actuellement avec des électrodes nues ne donnera pas les mêmes résultats qu'une soudure faite avec des électrodes convenablement enrobées. Sous cette réserve, voici ce que l'on peut dire au sujet du calcul des soudures.

Le principe directeur du calcul des soudures est la continuité qui se trouve réalisée par l'intermédiaire du cordon de soudure entre les pièces à assembler. Ceci posé, en supposant la matière homogène et en appliquant la théorie générale de l'élasticité, moyennant quelques hypothèses simples sur les points d'application et la répartition des forces extérieures, on arrive à des formules dont l'expérience a confirmé la valeur et qui peuvent inspirer au moins autant de confiance que les formules similaires relatives à la rivure.

Dans le cas des joints bout à bout, la soudure ne modifie pas le contour extérieur du joint et son métal joue exactement le même rôle que celui des pièces voisines. Il n'y a donc pas à proprement parler de question de calcul dans ce cas.

Pour les joints à recouvrement et les joints d'angle, on est amené à établir des formules différentes suivant l'orientation de la soudure par rapport aux efforts à transmettre dans les deux cas extrêmes suivants :

1° Soudure perpendiculaire à la direction des efforts à transmettre. Ce genre de soudure est appelée transversale ou frontale.

2° Soudure orientée dans le sens des efforts à transmettre ; cette soudure est dite longitudinale.

Les soudures frontales des joints à recouvrement ou des joints d'angle sont soumises à une déformation assez complexe qui se rapproche dans l'ensemble d'une traction ou d'une compression.

Les soudures longitudinales de ces mêmes joints travaillent au contraire dans l'ensemble au cisaillement.

3° Auscultation des joints soudés.

Nous touchons ici un des points les plus délicats de la question de la soudure. Les deux défauts à redouter dans une soudure sont la mauvaise qualité du cordon de soudure et l'insuffisance de pénétration du métal de ce cordon dans le métal des pièces à souder.

La mauvaise qualité du cordon de soudure est une mauvaise qualité non pas originelle (car il suffit d'opérer des essais sur les électrodes avant emploi pour se mettre à l'abri d'un défaut de ce genre), mais acquise au cours de l'opération. Nous avons vu que le métal des électrodes en fil nu peut s'altérer par élimination d'un certain nombre de ses constituants, il peut s'y développer des soufflures, des piqûres, il peut surtout y rester des oxydes. Nous avons vu par contre qu'avec des électrodes convenablement enrobées un pareil danger n'est pas à redouter.

D'ailleurs, même avec la présence de piqûres, de soufflures, oxydes, l'expérience montre que dans les conditions ordinaires de la pratique, la diminution de résistance est peu importante, de l'ordre de quelques centièmes.

Le vrai danger, comme le faisait remarquer M. Dustin, c'est le défaut de pénétration qui peut faire tomber presque à rien la résistance du joint. C'est là la cause principale de la répugnance montrée par nombre d'ingénieurs vis-à-vis de la soudure, car malheureusement, comme nous allons le voir, on ne dispose pas encore de moyens sûrs et à la portée de tous les usagers pour vérifier la qualité d'une soudure.

Le moyen d'investigation le plus remarquable qui ait été mis au point jusqu'ici est la méthode magnétographique due à un ingénieur français, M. Roux.

Mais l'emploi du spectre magnétique, excellent pour les soudures par aboutement, n'est pas applicable aux autres. Cette méthode a du reste été perfectionnée et on possède des instruments qui, par simple lecture d'un cadran, donnent les mêmes indications que l'inspection d'un spectre magnétique.

L'emploi des rayons X ne se conçoit guère en dehors du laboratoire. Cependant les Américains en ont développé l'emploi à l'atelier pour les chaudières. Les charpentes seront peut-être soumises au même examen dans un délai relativement court.

En fait, la vue d'un cordon de soudure suffit à un soudeur exercé pour apprécier la qualité de la soudure, mais, outre qu'on ne peut guère exiger de tous les surveillants d'être des soudeurs exercés, la vue ne suffit pas, quand, comme c'est le cas pour les tôles épaisses, il faut utiliser plusieurs cordons superposés, un cordon irréprochable pouvant recouvrir un cordon collé.

Il existe bien une méthode dont l'expérience a démontré la valeur, et applicable à tous les genres de soudures ; l'expérience démontre en effet que le collage provient toujours de l'irrégularité du courant de soudure, de sorte que l'observation de l'ampèremètre suffit pour donner tous apaisements sur la

qualité de la soudure exécutée au moyen d'un courant donné, étant entendu que les caractéristiques du courant à employer, fonctions des dimensions de l'électrode, sont données par l'ingénieur soudeur qui a la charge de l'opération. Théoriquement, il suffirait donc de lire les indications d'un ampèremètre enregistreur pour être fixé sur la qualité de la soudure correspondante.

En réalité la question n'est pas aussi simple. Les appareils enregistreurs ne paraissent guère utilisables sur tous les chantiers d'une part, et d'autre part, l'expérience des usines électriques en service montre que les indications fournies par les appareils de ce genre ne sont pas toujours sûres, en raison des défectuosités qui peuvent survenir, des arrêts intempestifs, etc.

Pour les longs cordons de soudure et même pour les soudures circulaires étendues, en un mot pour toutes les soudures d'atelier, le problème est résolu automatiquement par l'emploi de la machine à souder très utilisée en Amérique et dont il existe plusieurs modèles très ingénieux et d'un fonctionnement sûr. Dans ces appareils, la longueur de l'arc et son voltage restent rigoureusement constants une fois réglés. La soudure s'exécute donc dans des conditions parfaites. Malheureusement de tels appareils n'existent pas encore pour tous les travaux de chantier. Il n'y a pas en un mot l'équivalent de la riveuse hydraulique ou pneumatique mobile, si pratique pour la construction des charpentes. Il y a d'ailleurs des essais en cours à ce point de vue et il est probable que si la construction soudée se développe, de pareils engins seront vite lancés dans la pratique.

Il serait donc en définitive à souhaiter qu'on découvrît et mît au point le plus tôt possible des appareils vraiment simples et pratiques pour ausculter toutes les soudures exécutées sur chantier.

C. L'ensemble de la construction soudée.

1° Effets du mode d'assemblage sur les constructions.

L'influence du nouveau mode d'assemblage sur la disposition générale des constructions soudées exécutées jusqu'alors est faible. A part la diminution du nombre et de l'importance des goussets, on suit généralement les habitudes acquises en construction rivée. Ce n'est que peu à peu, et par la pratique, que le dessinateur de charpente arrive à se libérer des habitudes anciennes et à constituer ses charpentes à l'aide des profils et des assemblages caractéristiques de la construction soudée. L'assemblage par recouvrement fait place progressivement à des assemblages où les profils, se rencontrant sous des angles quelconques, s'assemblent l'un sur l'autre par pénétration. La cornière, indispensable pour constituer les poutres en construction rivée, disparaît pour faire place au simple cordon de soudure continu ou discontinu.

Pour le moment, on ne paraît pas encore avoir utilisé les sections tubulaires, si avantageuses au point de vue de la résistance pour les pièces comprimées. Cependant M. Goelzer en a indiqué l'emploi dans l'étude très complète que nous avons déjà citée et qui constitue un véritable traité de construction soudée.

En somme, et comme on l'a toujours vu quand un procédé nouveau a remplacé un procédé ancien, on a commencé par utiliser les formes anciennes qui

peu à peu ont fait place à de nouvelles formes caractéristiques. On comprend donc que, jusqu'à nouvel ordre, la construction soudée utilise les profilés caractéristiques de la construction rivée, indépendamment même de la répugnance bien naturelle des aciéries à laminer des profilés nouveaux, d'ailleurs non encore étudiés à notre connaissance et d'un débit très limité.

La recherche de l'utilisation des profilés actuels de la construction rivée, dans les conditions les meilleures au point de vue économique, est d'ailleurs poussée très loin. C'est ainsi qu'on peut signaler l'emploi fait en Allemagne de fers à simple T comme membrures de poutres à double T, aux lieu et place des plats généralement utilisés. En utilisant des plats, les attaches à l'âme, constituées par de simples cordons de soudure, sont soumises à des efforts tranchants longitudinaux très élevés. On sait qu'il en est de même pour la rivure d'attache des membrures à l'âme en construction rivée. La construction de poutres à double T à l'aide de deux fers à simple T soudés à un plat pour terminer l'âme de la poutre, permet une économie sensible dans les cordons de soudure.

On comprend aussi que pendant longtemps encore probablement on cherchera à utiliser des constructions mixtes rivées et soudées, des éléments, rivés par exemple, étant soudés entre eux, ou même inversement.

2° Économie que l'on peut retirer de la soudure.

15 à 20 % en poids à coup sûr, les Américains parlent même de 20 à 25 %. Ces économies résultent de la suppression des trous et des têtes de rivets, des goussets et des couvre-joints. Elles résultent également de la suppression des difficultés et dépense de traçage, ajustage, perçage de trous, poinçonnage et alésage, propres à la construction rivée.

Toutefois, l'économie réelle n'est pas encore en rapport avec l'économie de poids, parfois même la construction soudée, quoique sensiblement plus légère, est plus chère que la construction rivée correspondante. Mais c'est là une véritable anomalie qui disparaîtra forcément dès que la construction soudée prendra un peu d'importance, amenant ainsi la formation de constructeurs soudeurs et d'équipes de pose exercés, comme ceux que l'on trouve en construction rivée.

Résumé.

Le rapport est un exposé des conditions actuelles d'emploi de la soudure dans les constructions métalliques.

L'auteur met en lumière ce fait que l'industrie possède actuellement, par la soudure électrique avec électrodes enrobées, un moyen d'obtenir des liaisons des pièces de charpente en acier doux offrant toutes les qualités désirables avec une sécurité complète.

Pour les charpentes en aciers spéciaux, la situation n'est pas encore aussi nette, mais les essais en cours permettent de compter sur des résultats analogues dans un très prochain avenir.

De nouveaux procédés de soudure à l'étude et paraissant appeler à un grand

avenir permettront peut-être bientôt, et dans les mêmes conditions de sécurité, l'emploi d'électrodes non enrobées.

La soudure à l'arc peut entraîner dans les charpentes importantes avec des tôles épaisses des déformations assez importantes ; pour ces charpentes, la technique des dispositions à prendre pour corriger ces effets, a besoin d'être étudiée et fixée.

Le calcul des joints soudés s'opère dans tous les pays par des méthodes analogues et en utilisant quelques hypothèses simples et plausibles. L'expérience a montré que les formules ainsi établies pouvaient s'employer en toute confiance.

L'industrie possède des moyens suffisants de contrôler l'exécution des cordons simples de soudure. Par contre, pour les cordons superposés, il n'existe pas encore de procédé pratique d'auscultation.

L'emploi des machines à souder donne les meilleurs résultats et leur emploi doit être étendu le plus possible.

La soudure permet une économie de poids considérable et incontestable. Actuellement l'économie argent ne paraît pas douteuse.

Zusammenfassung.

Der Bericht beleuchtet den heutigen Stand des Schweissens im Stahlbau.

Die Industrie besitzt im Schweissen mit umhüllten Elektroden ein Mittel, um an Stahlkonstruktionen Verbindungen von grosser Güte und Sicherheit herzustellen. Bei den hochwertigen Stählen sind die Vernältnisse noch nicht vollständig geklärt, doch lassen die bisherigen Versuche ein günstiges Ergebnis erwarten.

Die Lichtbogenschweissung ruft Schrumpfspannungen und Verbiegungen hervor, die durch geeignete Massnahmen unschädlich zu machen sind.

Die Berechnung der Schweissverbindungen wird in allen Ländern auf Grund vereinfachender Annahmen durchgeführt. Die Erfahrung zeigt, dass diesen Formeln Vertrauen entgegen gebracht werden kann.

Die Industrie besitzt heute Mittel, um die Ausführung einfacher Schweissnähte zu überwachen.

Die besten Ergebnisse werden bei Verwendung von Schweissmaschinen erzielt. Ihre Verwendung soll so weit wie möglich gefördert werden.

Die Anwendung des Schweissens im Stahlbau bringt Gewichtsersparnis und Wirtschaftlichkeit.

Summary.

The report shows the present position of welding in steel constructional work.

In welding with covered electrodes, the industry possesses a mean of making joints of high quality and security in steel work. In high-grade steels, the conditions are not yet quite clear, but the tests hitherto made justify expectation of good results.

Arch welding causes shrinkage stresses and suitable measures must be taken to prevent this being dangerous.

In all countries, the calculation of welded joints is based on simplified assumptions. Experience shows that these formulae may be relied on.

Means are available to-day for supervising the making of simple welded joints.

The best results are obtained by using welding machines; their adoption should be encouraged as much as possible.

The use of welding in steel structures lead to saving in weight and to economy.

Leere Seite
Blank page
Page vide

III 2

BERECHNUNG UND BAULICHE DURCHBILDUNG GESCHWEISSTER STAHLBAUTEN

CALCUL ET CONSTRUCTION DES CHARPENTES MÉTALLIQUES SOUDÉES

CALCULATION AND DETAILS OF WELDED STEEL STRUCTURES

Dr.-Ing. KOMMERELL,
Direktor bei der Reichsbahn im Reichsbahn-Zentralamt für
Bau- und Betriebstechnik, Berlin.

I. Allgemeines.

Im Maschinenbau und Schiffbau ist das Verbinden von Eisen- und Stahlteilen durch Schweissen schon lange bekannt. Erst in den letzten Jahren hat sich das Schweissverfahren auch das Gebiet des Stahlbaues erobert. Man fing zuerst mit Hochbauten an. Es ergaben sich dabei einfache Bauweisen, und in vielen Fällen lassen sich durch Schweissen Verbindungen herstellen, die mit Nieten nicht zu erreichen sind, und die früher nur im Gussverfahren mit verwickelten Modellen ausgeführt werden konnten. Während beim Nietverfahren die Winkeleisen die wichtigsten Bauelemente sind, mit deren Hilfe einzelne Teile zu *einer* Konstruktion vereinigt werden, benötigt man beim Schweissverfahren oft keine besonderen Zwischenglieder oder man kommt in vielen Fällen mit Flacheisen aus, wodurch sich in erster Linie die grossen Gewichtsersparnisse gegenüber der genieteten Bauweise ergeben. Beim Schweissen fällt das Bohren von Löchern fort. Neuerdings hat man auch im Brückenbau mit dem Schweissen begonnen. Besonders grosse Vorteile können sich bei Verstärkung zu schwacher Stahlbrücken mittels Schweissung ergeben, namentlich in Fällen, bei denen das Nietverfahren nicht mehr zu dem gewünschten Ziele führt. (Abstützen der Brücken, wenn die Anschlüsse an den Knotenblechen zu schwach sind oder wenn gar die Knotenbleche ausgewechselt werden müssen). Da Schweisseisen meist geschichtet ist, so sollte man alte schweisseiserne Brücken nicht durch Schweissen verstärken wollen.

Im Anfang wurde das Zusammenschweissen vorgenommen, ohne dass man dabei viel rechnete. Dieser unbefriedigende und unhaltbare Zustand ist aber beseitigt worden. In Deutschland sind inzwischen Vorschriften [1] herausgekommen, nach denen die Schweissverbindungen zu rechnen sind.

1. Vgl. DIN 4100 und KOMMERELL: Erläuterungen zu den Vorschriften für geschweisste Stahlbauten mit Beispielen für die Berechnung und bauliche Durchbildung. Berlin, 1931. Verlag von Wilhelm Ernst und Sohn.

Das Schweissen ist ein metallurgischer Vorgang. Ein Teil des Werkstoffs der zu verbindenden Teile wird durch Wärme zum Schmelzen gebracht und bildet mit dem geschmolzenen Werkstoff der Schweissdrähte (Elektroden) *ein* Gussgefüge, das schmiedbar und hämmerbar ist (Mittelding zwischen Stahlguss und Flusstahl). Wichtig ist das vollständige Einbrennen des geschmolzenen Werkstoffes der Schweissdrähte bis in die Ecken der zu verbindenden Teile (Wurzel). Leider lässt sich dies nicht immer vollständig erreichen, auch ist die Nachprüfung, ob der Werkstoff überall gut eingebrannt ist, vorläufig noch schwierig. Manchmal enthält die Schweissnaht Schlackeneinschlüsse, die die Tragfähigkeit beeinträchtigen. Die Güte einer Schweissnaht hängt auch von gewissen äusseren Umständen und von der Lage der Schweissnähte ab (Ueberkopfschweissungen werden nur von besonders gut geübten Schweissern gut ausgeführt). Die vorgeschriebenen Masse der Schweissraupen können von den Schweissern nicht immer genau eingehalten werden. Angesichts dieser Umstände ist es zwecklos, verwickelte Berechnungsmethoden für die Schweissnähte auszuklügeln, man wird sich vielmehr mit Näherungsmethoden begnügen müssen, deren Zuverlässigkeit an der Hand von Versuchen nachzuprüfen ist. Doch muss sich der Konstrukteur über die tatsächlichen Verhältnisse klar sein, damit er vernünftig entwerfen kann. Dieses Vorgehen entspricht durchaus demjenigen beim Nietverfahren. Es ist bekannt, dass z. B. die Niete bei Stabanschlüssen keineswegs gleichmässig beansprucht sind, trotzdem rechnen wir so, als ob die Kraft sich auf alle Niete gleichmässig verteilt.

II. Einteilung der Schweissnähte.

Man unterscheidet :
Stumpfnähte,
Kehlnähte,
Schlitznähte.

Nach unseren Vorschriften dürfen bei *Brücken* Zug- und Biegungsspannungen in den Bauteilen durch *Stumpfnähte* allein nicht übertragen werden. Nur bei untergeordneten Teilen, wie z. B. bei Fusswegkonsolen und im Hochbau darf von dieser Vorschrift abgewichen werden. Bei dicken Nähten muss in mehreren Lagen geschweisst werden. Da trotz aller Aufsicht die Schlacke zwischen den einzelnen Lagen nicht immer vollständig beseitigt wird und da die neue Lage in die vorhergehende nicht überall gleichmässig einbrennt, so tragen dickere Nähte (Stumpf-und Kehlnähte) verhältnismässig weniger als dünnere. Auch X-Nähte tragen aus demselben Grunde verhältnismässig weniger als V-Nähte.

Fig. 1.
Stumpfnähte.
Soudures bout à bout.
Butt Welds.

Durch Versuche mit geschweissten *Kehlnähten* wurde festgestellt, dass im allgemeinen die Haftfähigkeit der Schweissen am Werkstück grösser ist als die Festigkeit der Schweissen selbst und dass die Nähte in der Regel da brechen, wo ihre Dicke am kleinsten ist, d. h. bei gleichschenkligem Quer-

schnitt der Nähte in ihrer Winkelhalbierenden. Auf Grund dieser Erfahrung wird die Tragfähigkeit einer Kehlnaht nach der Kehldicke a-d.i. der Höhe des durch die Schweisse gebildeten gleichschenkligen Dreiecks- und der Länge l der Schweissnaht beurteilt. Der Schweisswulst Δa, der ja nicht immer vorhanden ist, und die Endkrater, die ja nicht volle Tragfähigkeit haben, bleiben dabei ausser Ansatz. *Schlitznähte* werden in den Festigkeitsberechnungen wie Kehlnähte behandelt.

Versuche haben ergeben, dass Flankenkehlnähte nicht gleichmässig auf ihre ganze Länge beansprucht werden, die Spannungen an den Enden sind höher als in der Mitte der Nähte. Um aber das Rechnungsverfahren möglichst zu vereinfachen, wird trotzdem näherungsweise mit einer gleichmässigen

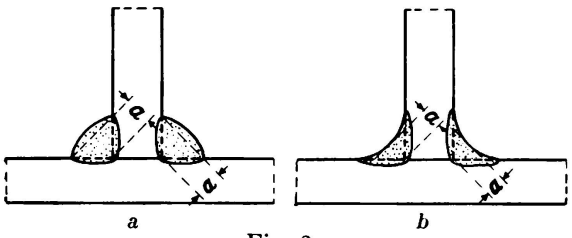


Fig. 2.
Volle und leichte Kehlnaht.
Soudures d'angle normale et en congé.
Full Fillet Weld and Light Fillet Weld.

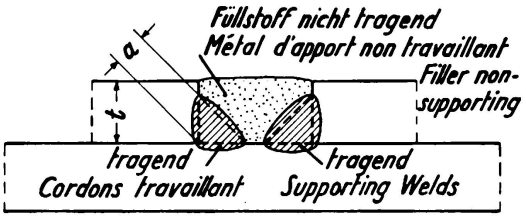


Fig. 3.
Schlitznähte.
Soudure à entaille.
Slot Welds.

Kraftverteilung gerechnet. Um dies tun zu dürfen, haben wir die Vorschrift gegeben, dass bei Stabanschlüssen die massgebende Länge von Flankenkehlnähten (ohne Endkrater) nicht länger als das 40fache der Kehldicke a sein soll. Flankenkehlnähte haben eine ziemlich grosse Verformungsfähigkeit im Gegensatz zu den Stirnkehlnähten, bei denen jedoch die Festigkeit grösser ist als bei den Flankenkehlnähten. Diese Umstände haben bei uns dazu geführt, dass man — den sicheren Weg gehend — auch bei Stirnnähten keine grösseren Spannungen zulässt als bei Flankennähten und bei beiden Nahtarten nur die auf Abscheren zulässige Spannung ρ_{zul} der berechneten Spannung ρ gegenüberstellt.

III. Berechnung der Schweissnähte.

Es sind grundsätzlich 2 Fälle zu unterscheiden :

1) Die zu verbindenden Teile werden durch Längskräfte (Zug oder Druck),
2) » » » ein Biegemoment beansprucht.

Im letzteren Falle tritt meist gleichzeitig noch eine Querkraft auf, welche die Schweissnähte, wie unter 1) angegeben, beansprucht.

1. Beanspruchung durch Längskräfte.

Die Spannung in den Schweissnähten wird nach der Formel $\rho = \frac{P}{\Sigma\,(a\,l)}$ (1) errechnet. Hierin bedeuten :

P die durch die Schweissnähte zu übertragende Kraft,

l die Länge der Schweissnähte ohne die Endkrater und bei Schlitznähten die Gesamtlänge der abgewickelten Nähte,

a die Dicke der Schweissnähte, das ist bei *Stumpfnähten* die Dicke der zu verbindenden Teile, bei verschiedenen Dicken die kleinere (Bild 1), bei *Kehlnähten* die Höhe des eingeschriebenen gleichschenkligen Dreiecks (Bild 2), bei *Schlitznähten* die Höhe des eingeschriebenen gleichschenkligen Dreiecks (Bild 3) der in den Ecken gezogenen Kehlnähte. Wird der verbleibende Raum mit Schweissgut ausgefüllt, so darf dieser Teil nicht als mittragend bewertet werden. Weitaus die meisten Schweissnähte im Stahlbau sind Kehlnähte. Die Nähte werden je nach der erforderlichen Tragfähigkeit entweder durchlaufend oder unterbrochen angeordnet.

Bei rechtwinklig gleichschenkligen Dreiecken ist das Kehlmass

$$a = \frac{b}{\sqrt{2}} \quad \text{(Bild. 4)}$$

Bei uns werden leichte Kehlnähte (Bild 2^b), die billiger, aber wegen des Fehlens des Schweisswulstes Δa in Wirklichkeit weniger tragfähig als volle Kehlnähte sind (Bild 2^a) auch im Brükken bauzugelassen. Leichte Kehlnähte werden oft da angewendet, wo die Tragfähigkeit der Schweissnähte nicht voll ausgenützt werden kann, und wo eine Ausfüllung der Fugen mit Rücksicht auf etwaigen Wasserzutritt angezeigt erscheint. Tragende Kehlnähte sollen im allgemeinen als volle Kehlnähte (Bild 2^a) ausgeführt werden.

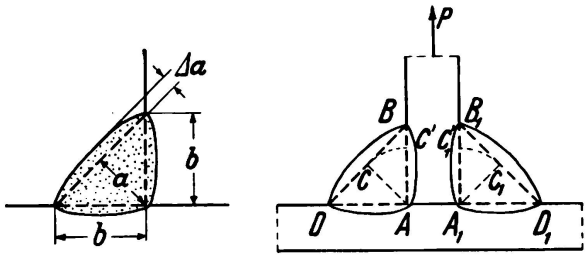


Fig. 4.

Bei Kehlnähten nach der Anordnung im Bild 4, entstehen in den Flächen A B und $A_1 B_1$ Scherkräfte $= \frac{P}{2}$. Man rechnet nach dem Vorhergehenden sicher, wenn man sich die Bruchflächen A C und $A_1 C_1$ in die Ebenen A B und $A_1 B_1$ umgeklappt denkt und annimmt, die Flächen A C' und $A_1 C_1'$ seien durch die Kräfte $\frac{P}{2}$ auf Abscheren beansprucht.

Schlitznähte können im Grundriss rechteckige, langlochähnliche und kreisrunde Form haben. Die Abrundung der Ecken ist für die Spannungsverteilung günstig. Schlitznähte sind nur anzuordnen, wenn der Anschluss durch Kehlnähte allein nicht bewerkstelligt werden kann. Bei Schlitznähten fällt ein Hauptvorteil gegenüber Nietverbindungen fort, nämlich die Berücksichtigung der Querschnittsschwächung durch die Löcher.

2. Beanspruchung durch Biegemomente.

Im Bild 5 ist eine Stütze dargestellt, an welche ein Träger angeschweisst ist. Auf den Träger wirke ein Biegemoment M. Man kann annehmen, die Schweissen seien fest mit der Stütze und dem Träger verbunden und die Schweissen brechen nach der Winkelhalbierenden der Kehlnahtwinkel aller Schweissnähte. Innerhalb der zulässigen Spannungen können wir die Kraft-

verteilung nach dem Hooke'schen Gesetz voraussetzen[1]. Infolge des Biegemoments M treten oben und unten Randspannungen.

(2) $\rho_1 = \pm \frac{M}{W}$ auf; denken wir uns wieder ähnlich wie im Bild 4 die Winkelhalbierenden in die Anschlussflächen umgeklappt, so ist Bild 5 rechts) W das Widerstandsmoment der umgeklappten Schweissflächen.

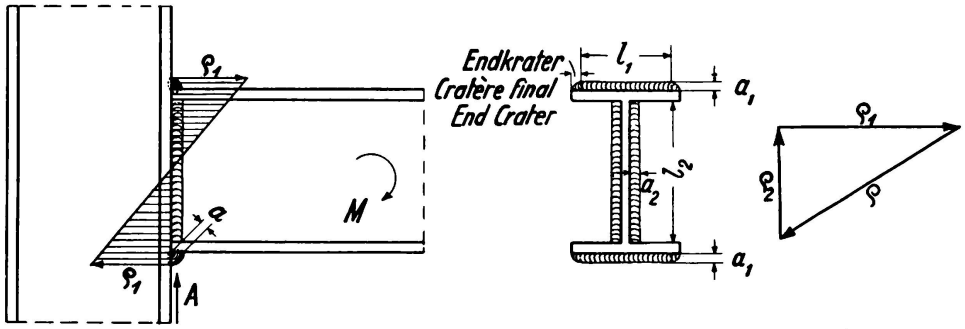


Fig. 5. Fig. 6.

Die gleichzeitig auftretende Auflagerkraft A sucht die umgeklappte Schweissfläche $F = \Sigma\,(a\,l)$ von unten nach oben abzuscheren. Nimmt man der Einfachheit halber gleichmässige Spannungsverteilung an, so entstehen in der umgeklappten Schweissfläche Scherspannungen:

(3) $$\rho_2 = \frac{A}{\Sigma\,(a\,l)}$$

Die Spannungen ρ_1 u. ρ_2 kann man sich nach Bild 6 zusammengesetzt denken und erhält als Spannung

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

Für ρ_1 könnte die für Zug zulässige Spannung eingesetzt werden, während für ρ_2 die auf Abscheren zulässige Spannung in Betracht kommt. Man rechnet ungünstig, wenn man auch für die Gesamtspannung nur die für Abscheren zulässige Spannung einsetzt. Dies ist auch deshalb angebracht, weil mit der gleichmässigen Verteilung der Schubspannungen ρ_2 auf die umgeklappte Fläche in Wirklichkeit nicht gerechnet werden kann.

3. Sonstige Vorschriften für die Berechnung.

Die durch das Einbrennen der Schweisse hervorgerufene Werkstofländerung ist nicht als Schwächung des Querschnitts anzusehen. Etwaige Löcher für Montagebolzen sind bei der Berechung des nutzbaren Querschnitts abzuziehen. Die Scherspannungen und der Lochleibungsdruck der Montagebolzen sind nachzuweisen.

Müssen ausser den Kehlnähten auch noch Schlitznähte angeordnet werden (z. B. beim Aufschweissen von Gurtplatten), so sind die Schlitze bei Berechnung des nutzbaren Querschnitts abzuziehen.

Gurtplatten sind erst an der Stelle als voll wirksam anzusehen, wo ihr Querschnitt durch die Schweissnähte voll angeschlossen ist. (Am theore-

1. Wir nehmen an, der Querschnitt des angeschlossenen Trägers bleibe auch nach der Biegung eben und die Schweissnähte machen die Drehung mit.

tischen Beginn der Gurtplatten sollen sie schon voll angeschlossen sein.) Der Anschluss ist tunlichst so auszubilden, dass er rechnerisch nicht länger als 40 *a* zu sein braucht.

Bei mittelbarer Kraftübertragung mit *m* Zwischenplatten ist die Gesamt-

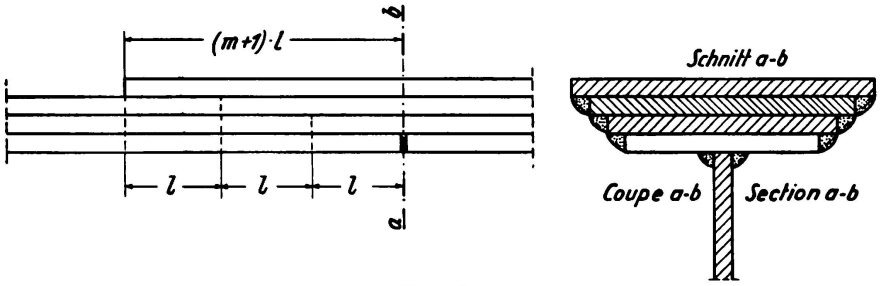


Fig. 7.

länge des Decklaschenanschlusses $= (m + 1)\, l$ zu wählen, wo l die für eine Platte erforderliche Anschlusslänge ist. (Bild 7).

Nähte, die wegen erschwerter Zugänglichkeit nicht einwandfrei ausgeführt werden können, sind bei der Festigkeitsberechnung ausser Ansatz zu lassen. Durch diese Vorschrift will man erzieherisch zur Herstellung zweckmässiger und einwandfreier Bauweisen wirken.

4. Zulässige Spannungen der Schweissnähte.

Bei uns sind für die Spannungen der Schweissnähte folgende Werte zugelassen :

Tafel 1.

Nahtart	Art der Spannung		Zulässige Spannung ρ zul	Bemerkung
Stumpfnähte	Zug		0,6 σ zul	σ zul ist die nach den bestehenden Vorschriften für den zu verschweissenden Werkstoff zulässige Spannung. * Bilden die Nahtschenkel von Kehlnähten einen kleineren Winkel als 70°, so empfiehlt es sich, die zulässige Spanunng zu ermässigen.
	Druck		0,75 σ zul	
	Biegung	Zugzone	0,6 σ zul	
		Druckzone	0,75 σ zul	
	Abscheren		0,5 σ zul	
Kehlnähte (Stirn- und Flankennähte)	Jede Beanspruchungsart		0,5 σ zul *	

Diese Werte gelten für Baustahl von Handelsgüte und für St 37, bei anderem Flusstahl sind die zulässigen Spannungen auf Grund von Versuchen besonders festzustellen.

Kommen an einem Anschluss Stumpf- und Kehlnähte zusammen vor, so ist auch bei den Stumpfnähten nur die für die Kehlnähte zulässige Spannung einzusetzen.

Bei der Berechunug mehrteiliger gedrückter Stäbe nach dem Krohn'schen

Verfahren [1] kann die Bruchfestigkeit der Schweissnähte der Bindebleche zu 2400 kg/cm² angenommen werden.

Es hat sich als sehr zweckmässig erwiesen, die für Schweissnähte zulässigen Spannungen ρ_{zul} in ein bestimmtes Verhältnis zu setzen zu den für die eigentliche Konstruktion zulässigen Spannungen σ_{zul}, weil hierbei der Grundsatz, allen Teilen eines Bauwerkes möglichst gleiche Sicherheit zu geben, am leichtesten durchgeführt werden kann. Nach unseren Vorschriften ergeben sich demnach folgende zulässigen Spannungen :

Tafel 2.

Belastungsart		σ_{zul} der Konstruktion	ρ_{zul} für Kehlnähte auf Abscheren.
		kg/cm²	kg/cm²
Belastung durch die Hauptkräfte (Ständige Last, Verkehrslast, Fliehkraft, Wärmeschwankungen).	bei Brükken.	1400*	700
Belastung durch die Haupt-, Wind-, und Zusatzkräfte (Zu den Zusatzkräften gehören Bremskräfte, Seitenstösse, Reibungswiderstände, Ausweichen der Widerlager und Setzen der Pfeiler).	bei Brükken.	1600*	800
Wind-, Quer-, Brems- u. Schlingerverbände.	bei Brükken.	1000	500
Im Hochbau nicht abgenommener Werkstoff (Handelseisen)		1200	600
St 37		1400	700

* Bei diesen Werten sind Stossziffern berücksichtigt.

Wenn Bauteile auf Verdrehung berechnet werden müssen, so ist statt σ_{zul} die bei Verdrehung zulässige Spannung einzusetzen.

Es empfiehlt sich, namentlich für den Anfang, alles, selbst die einfachsten Sachen, rechnerisch zu verfolgen, weil sich durch die Berechnung das statische Gefühl stärkt und Bauweisen vermieden werden, die für Schweissen unzweckmässig sind. Oft wird auch die Berechnung allein ergeben, ob es möglich ist, an Schweissnaht zu sparen (unterbrochene Schweissnähte).

Die Querschnitte der zu verschweissenden Teile werden wie bei den genieteten Bauweisen berechnet. Es bleibt also nur noch übrig, die Schweissnähte selbst zu berechnen. Die von den errechneten äusseren Kräften herrührenden Biegemomente, Verdrehungsmomente und Querkräfte, die auf die Schweissnähte wirken, werden nach den bekannten Gesetzen der Statik berechnet, wobei die Hauptsache ist, zu überlegen, wie die äusseren Kräfte auf die Schweissnähte und von diesen wieder auf die Bauteile übertragen werden. Die Schweissnähte selbst sind also als konstruktive Bauteile zu betrachten, die den bekannten Gesetzen der Statik folgen.

1. Siehe Zentralblatt der Bauverwaltung 1908, S. 559.

5. Rechnungsgang bei Anschlüssen und Stössen im Hochbau.

Um den Anschlüssen und Stössen dieselbe Sicherheit wie den anzuschliessenden Teilen zu geben, empfiehlt es sich häufig, die Schweissnähte nach den Querschnitten der einzelnen anzuschliessenden Teile zu bemessen ($F = F_1 + F_2 + \ldots$). Ist α der Beiwert, mit dem σ_{zul} nach 4) Tafel 1 multipliziert werden muss, um ρ_{zul} zu bekommen (z. B. $\alpha = 0{,}5$ bei Abscheren), so ist

(5) $\rho_{zul} = \alpha . \sigma_{zul} = \alpha . \frac{\max S}{F}$, wo max S die grösste Stabkraft ist. Da aber im Hochbau

(6) $\rho_{zul} = \frac{\max S}{F_{Schw}}$ ist, so ergibt sich aus (5) und (6) für Hochbauten

(7) $F_{Schw} = \frac{F}{\alpha} = \frac{F_1}{\alpha} + \frac{F_2}{\alpha} + \ldots\ldots$ (Zugstäbe).

Bei Druckstäben genügt es, wenn statt F der Wert $\frac{F}{\omega}$ angeschlossen wird, wo ω [1] die Knickzahl bedeutet.

6. Ergänzungsvorschriften für Brückenbauten.

Es ist anzustreben, allen Teilen eines Bauwerks, also auch den Schweissverbindungen möglichst gleiche Sicherheit zu geben. Dementsprechend sind die Anschlüsse nicht nur für die auftretenden Kräfte zu bemessen, sondern es ist auch ein etwaiger Ueberschuss an Querschnitt anzuschliessen.

Für die Berechnung der Schweissnähte sind bei Brücken sowohl die Grösstwerte als auch die Kleinstwerte der Momente, Querkräfte und Stabkräfte zu ermitteln. Die von der Verkehrslast herrührenden Werte sind, soweit dies vorgeschrieben ist, mit der Stosszahl φ zu multiplizieren.

Die so berechneten Grösstwerte sind zur Bemessung der Schweissnähte in folgende Formeln einzusetzen :

(8) $M = \max M + 1/2 (\max M - \min M)$.

(9) $Q = \max Q + 1/2 (\max Q - \min M)$.

(10) $S = \max S + 1/2 (\max S - \min S)$; hierin bedeuten :

max M das absolut grösste, min M das absolut kleinste Moment,
max Q die » » , min Q die » » Querkraft,
max S » » » , min S » » » Stabkraft.

Positive Werte sind mit +, negative Werte mit — in die Rechnung einzuführen.

Ist also z. B. $\left.\begin{array}{l}\max M = 100\,\text{tm},\\ \min M = 100\ \text{»}\end{array}\right\}$ d. h. bleibt das Biegemoment stets gleich, so wird $M = 100 + 1/2\,(100 - 100) = 100$ tm.

Ist $\max M = +100$ tm,
$\min M = 0$ tm, so wird
$M = 100 + 1/2 (100 - 0) = 150$ tm.

---

1. Siehe : Vorschriften für Eisenbauwerke. Berechnungsgrundlagen für eiserne Eisenbahnbrücken (B E). Berlin, Verlag Wilhelm Ernst und Sohn.

Ist max $M = +100$ tm,
min $M = -100$ tm, so wird
$M = 100 + 1/2 (100 + 100) = 200$ tm.

Im ungünstigsten Fall, bei wechselnder Belastung mit rechnerisch gleichen Grenzwerten, sind also Biegemomente, Querkräfte und Stabkräfte doppelt so hoch bei der Berechnung der Schweissnähte zu berücksichtigen wie bei sich stets gleichbleibender Belastung. (Diese Art der Berechnung der Schweissnähte ist also unabhängig von der Art der Berechnung der Querschnitte der zu verschweissenden Teile.)

Die unter 5. Rechnungsgang... für den Hochbau angegebenen Formeln gehen beim Brückenbau in folgende Formeln über :

$$(6') \qquad \rho_{zul} = \frac{\max S + 1/2 (\max S - \min S)}{F_{Schw}}, \text{ also}$$

$$(7') \qquad F_{Schw} = \frac{F}{\alpha} \cdot \frac{\max S + 1/2 (\max S - \min S)}{\max S} \text{ (Zugstäbe im Brückenbau).}$$

Bei Druckstäben genügt es auch im Brückenbau, wenn statt F der Wert $\frac{F}{\omega}$ angeschlossen wird.

Da, wo Momente übertragen werden müssen, ist sinngemäss M statt S einzusetzen.

Die Formeln (8), (9), (10) sollen etwaigen Ermüdungserscheinungen durch wiederholte Belastung und Entlastung bei den Schweissverbindungen Rechnung tragen.

Die zulässige Scherspanuung der Schweissnähte bei Belastung durch die *Hauptkräfte* (Tafel 2) würde bei Wechselstäben mit gleich grossen Druck- und Zugkräften im Vergleich zur rein statischen Beanspruchung

$$\rho_{zul} = 0{,}5 \,.\, 1400 \,.\, 1/2 = 350 \text{ kg/cm}^2 \text{ betragen.}$$

Bei Schweissverbindungen hat sich die Wechselfestigkeit in der Pulsatormaschine zu rd. 1400 kg/cm² ergeben. Die Sicherheit wäre also immer noch $\nu = \frac{1400}{350} = 4$ fach, wobei zu berücksichtigen ist, dass die Beanspruchung in der Pulsatormaschine viel ungünstiger ist, als bei den eingebauten Brücken. Es ist abzuwarten, ob die eingeleiteten Versuche mit geschweissten Stäben, die in kleine stählerne Versuchsbrücken eingebaut wurden, und die mit der Erschütterungsmaschine beansprucht werden, nicht günstigere, der Wirklichkeit näher kommende Ergebnisse zeitigen.

Lässt sich (auch bei Anwendung von Knotenblechen) nicht erreichen, dass die Schwerlinien der Stäbe sich mit den Netzlinien des Trägergebildes decken, so sind die Zusatzspannungen rechnerisch zu verfolgen, wobei aber die zulässigen Spannungen nicht erhöht werden sollen.

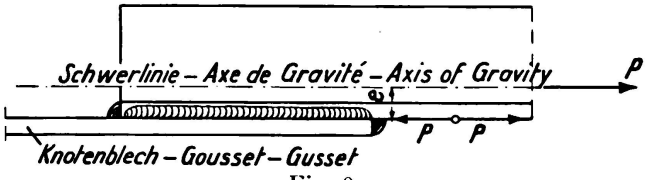


Fig. 8.

Die durch Biegemomente $M = P \,.\, e$ (Bild 8) in den Flanken- und Stirnnähten hervorgerufenen Zusatzspannungen sind rechnerisch nachzuweisen. (Man denkt sich wieder die mutmasslichen Bruchflächen in die Ebene des Knotenblechs umgeklappt.)

Können die bei Schweissverbindungen auftretenden Einspannungsmomente von Trägeranschlüssen nicht von durchschiessenden Platten aufgenommen werden, so sind Konsolen oder mindestens Stützknaggen zur Aufnahme der Querkraft anzuordnen. Falls nicht die Einspannungsmomente genau berechnet werden, sind die zur Berechnung der Schweissanschlüsse geschätzten Momente in der Festigkeitsberechnung zu begründen. (Z. B. soll beim Anschluss von Querträgern an die Hauptträger als Einspannungsmoment möglichst 3/4 des grössten, in den Querträgern auftretenden Biegemoments angenommen werden.)

Sollen genietete Anschlüsse durch Schweissen verstärkt werden, so ist anzustreben, dass die Niete die gesamte ruhende Last einschl. der Verstärkungsteile tragen u. dass die Schweissanschlüsse die ganze Verkehrslast aufnehmen. Ist dies nicht möglich, so müssen die Schweissverbindungen mindestens 2/3 der Verkehrslast aufnehmen können, wobei der Rest der Verkehrslast noch den Nieten zuzuweisen ist. Verstärkungs-Schweissungen müssen so angeordnet werden, dass die Niete durch die Schweisshitze nicht gelockert werden.

Bei durch Schweissen zu verstärkenden Brücken ist ganz besonders darauf zu achten, ob die Schweissnähte so zugänglich sind, dass sie auch einwandfrei hergestellt werden können. Weil das Schweisseisen der alten Brücken meist geschichtet ist, so ist bei uns eine Verstärkung solcher Brücken durch Schweissen untersagt.

Durch Versuche von Kayser, Bühler und Bierett ist erwiesen, dass bei durch Schweissen verstärkten Brücken die Niet- u. Schweissverbindungen sich nicht gleichmässig an der Aufnahme der Verkehrslast beteiligen. Allerdings sind diese Versuche durchweg so gemacht, dass *spannungslose* Nietverbindungen verschweisst wurden. Es sind Versuche der Deutschen Reichsbahn im Gange, die die Verhältnisse klären sollen, wenn die Nietverbindungen unter Vorbelastung in der Prüfmaschine geschweisst werden, wobei die Vorlast etwa der Belastung durch das Eigengewicht der Brücke entspricht.

IV. Bauliche Durchbildung.

Die Stabquerschnitte und- Anschlüsse sind der Besonderheit der Schweisstechnik anzupassen. Ueberkopf-Schweissungen sind nach Möglichkeit zu vermeiden.

Bei geschweissten Trägeranschlüssen sind sowohl an den Gurtungen als auch an den Stegen Schweissnähte anzuordnen.

Die Schwerlinien der Stäbe sollen sich möglichst mit den Netzlinien des Trägergebildes decken.

Die Schwerlinie der Schweissanschlüsse soll mit der Schwerlinie des anzuschliessenden Stabes möglichst zusammenfallen.

Die für die Berechnung massgebende Länge von Kehlnähten (ohne Endkrater) soll nicht kleiner als 40 mm sein. Flankenkehlnähte von Stabanschlüssen sollen nicht länger als 40 a sein (a = Kehlmass).

Die Schweissnähte sollen sich an einzelnen Stellen nicht zu sehr häufen. Die Schweissnahtbreite b soll bei Kehlnähten in der Regel nicht grösser als die

Blechdicke t, bei Verbindungsteilen mit verschiedenen Blechdicken nicht grösser als die Dicke des dünneren Blechs sein. Hiervon darf nur abgewichen werden, wenn auf andere Weise der volle Anschluss nicht erreicht werden kann.

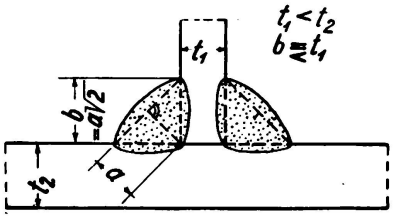


Fig. 9.

Bei tragenden Schlitznähten muss die Schlitzbreite $\geqq$ 3a, mindestens 1,5 t sein, damit die Kehlnähte ringsherum einwandfrei eingeschweisst werden können und bei A keine Funken überspringen. Der kleinste lichte Abstand der Schlitze bei Schlitznähten soll in der Querrichtung nicht weniger als die dreifache Blechdicke betragen.

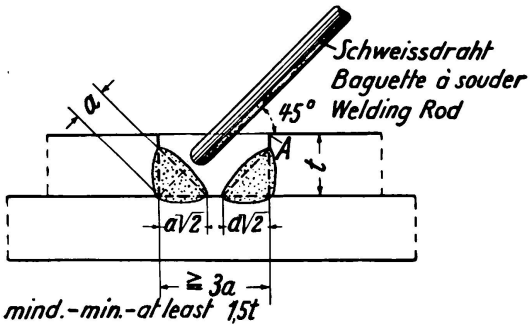


Fig. 10.

Gedrückte Gurtplatten, deren Verhältnis $\frac{\text{Breite } b}{\text{Dicke } t} > 30$ ist, sind ausser mit seitlichen Kehlnähten noch mit mindestens einer Schlitznaht aufzuschweissen.

Auf gute Zugänglichkeit aller Schweissnähte ist schon bei der Entwurfsbearbeitung zu achten. Ueberkopf-Schweissungen sind nach Möglichkeit zu vermeiden.

Für den Zusammenbau, besonders auf der Baustelle, sind, soweit nötig, Montagebolzen zu verwenden. Die Bohrungen hierfür sind so anzuordnen, dass hochbeanspruchte Querschnittsteile möglichst nicht geschwächt werden.

Sondervorschriften für Brücken.

Die Füllungsglieder von Fachwerkbrücken sind im allgemeinen mit Knotenblechen an die Gurtungen anzuschliessen.

Bei Brücken ist die Uebertragung von Zug- und Biegungsspannungen durch Stumpfnähte allein unzulässig. Bei untergeordneten Teilen (z. B. Fusswegkonsolen) darf von dieser Vorschrift abgewichen werden.

Der *grösste* lichte Abstand l_0 der Schweisstriche bei unterbrochener Schweissung und der Schlitze bei Schlitzschweissungen soll in der Längsrichtung nicht mehr betragen als

a) bei Kraftschweissung das 6fache der Blechdicke des dünnsten Teils,

b) bei Heftschweissung in Druckstäben das 8fache der Blechdicke des dünnsten Teils,

c) bei Heftschweissung in Zugstäben das 10fache der Blechdicke des dünnsten Teils.

Werden in den Zwischenräumen noch leichte Kehlnähte angeordnet, so können die Abstände verdoppelt werden.

Bei Blechträgern soll der Abstand der Aussteifungen nicht grösser als 1,30 m sein. Die Aussteifungen sollen mit den Gurtungen verschweisst werden. Bei hohen Blechträgern sind weitergehende Sicherungen gegen das Ausbeulen der Stegbleche nötig.

An allen Stellen, an denen Einzellasten übertragen werden müssen, sollen Aussteifungen angeordnet werden.

V. Nachprüfung der Berechnungsart an Hand von Versuchen.

In Dresden wurden verschiedene Versuchskörper nach der Anordnung in Bild 11 geschweisst u. dann einer Probebelastung mit Kräften P unterworfen.

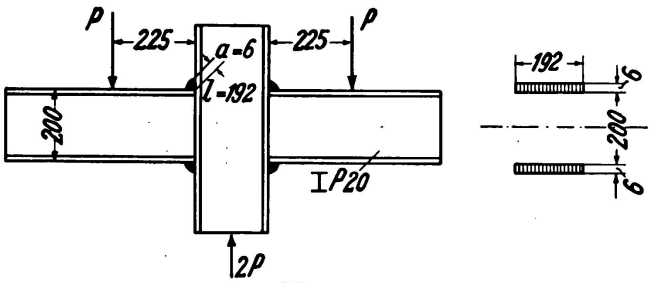


Fig. 11.

Es sollte die Tragfähigkeit der Schweissanschlüsse untersucht werden. Das von einem Trägeranschluss aufzunehmende Biegemoment ist

$$M = 22{,}5 \cdot P.$$

Denken wir uns — entsprechend unseren Vorschriften — den nutzbaren Schweissquerschnitt in die Anschlussebene umgeklappt, so ist das Trägheitsmoment

$I_{Schw} = \frac{1}{12} \cdot 19{,}2 \cdot (21{,}2^3 - 20{,}0^3) = 2445$ cm⁴, das Widerstandsmoment

$W_{Schw} = \frac{2445}{10{,}6} = 231$ cm³ und der nutzbare Schweissquerschnitt

$F_{Schw} = 2 \cdot 19{,}2 \cdot 0{,}6 = 23{,}0$ cm². Damit wird nach Formel (2) und (1)

$$\rho_1 = \frac{M}{W} = \frac{22{,}5\,P}{231} = 0{,}0974\,P$$

$$\rho_2 = \frac{P}{F} = \frac{P}{23{,}0} = 0{,}0435\,P, \text{ somit nach Formel (4)}$$

$$\rho = \sqrt{\rho_1^2 + \rho_2^2} = P \cdot \sqrt{0{,}0974^2 + 0{,}0435^2} = 0{,}1067\,P.$$

Mit $\sigma_{zul} = 1200$ kg/cm² (Hochbau),

$\rho_{zul} = 0{,}5 \cdot \sigma_{zul} = 600$ kg/cm² dürfte dem Anschluss eine Last P_{zul} zugemutet werden, die sich aus der Formel

$$600 = 0{,}1067\,P_{zul} \text{ zu}$$
$$P_{zul} = 5620 \text{ kg ergibt.}$$

Da die Bruchlast bei $P_B = 28000$ kg lag, so ist die Sicherheit gegen Bruch $\nu = \frac{28000}{5620} = 4{,}98$fach.

Auf 1 cm² des nutzbaren Schweissquerschnitts entfällt eine Bruchlast

$$P' = \frac{28000}{23{,}0} = 1220 \text{ kg.}$$

Zum Vergleich wurden die Träger ausser an den Flanschen auch noch an den Stegen geschweisst. Die gesamte nutzbare Schweissfläche war $F_{Schw} = 43{,}15$ cm². Die Berechnung ergab eine zulässige Last

$P_{zul} = 7400$ kg. Der Bruch trat bei $P = 38200$ kg ein, sodass der Sicherheitsgrad $\nu = \frac{38200}{7400} = 5{,}15$fach war.

Auf 1 cm² Schweissnaht entfiel eine Last

$$P' = \frac{38200}{43{,}15} = 885 \text{ kg.}$$

Die Verbindung mit gleichzeitiger Verschweissung von Flansch und Steg ist also wesentlich günstiger.

Zum Vergleiche wurden in den Ecken an Stellen der Kehlnähte L 50.80.14 eingeschweisst. Die Bruchlast trat schon bei 14500 kg ein, das zulässige P_{zul} ergab sich zu $P_{zul} = 3050$ kg, der Sicherheitsgrad zu

$$\nu = \frac{14500}{3050} = 4{,}75$$

Auf 1 cm² nutzbarer Schweissfläche entfiel nur eine Last

$$P' = 450 \text{ kg}.$$

Dieser Anschluss ist also nicht nur teurer, sondern auch wesentlich schlechter[1].

Die Berechnungsweise unserer Vorschriften bietet also ausreichende Sicherheit.

TRADUCTION

par M. Gossieaux, Paris.

I. Généralités.

En construction mécanique et en construction navale, on connaît déjà depuis longtemps le mode d'assemblage par soudure des pièces en fonte et en acier. Ce n'est qu'au cours de ces dernières années que la soudure a conquis le domaine de la construction métallique. On a commencé par l'appliquer à la construction des charpentes d'immeubles. Il en est résulté la mise au point de méthodes simples de construction ; dans de nombreux cas, on s'est ainsi trouvé à même d'exécuter par soudure des assemblages que l'on ne pouvait pas river et qui ne pouvaient être exécutés auparavant qu'en fonderie, avec des moules compliqués. En construction rivée, la cornière constitue l'élément principal à l'aide duquel on réunit les pièces séparées pour constituer un ensemble ; par contre, en construction soudée, on peut souvent se passer entièrement d'éléments intermédiaires particuliers ; dans bien des cas, du moins, on peut se tirer d'affaire en employant des fers plats.

Un des premiers avantages de la soudure est de conduire à une notable économie de matière par rapport au rivetage, par suite de la suppression des trous des rivets. On a également commencé récemment à employer la soudure dans la construction des ponts. Ce procédé procure là, en effet, des avantages particulièrement intéressants pour le renforcement des ponts métalliques trop faibles, surtout dans les cas où l'on ne peut plus avoir recours au rivetage (étaiement des ponts lorsque les assemblages sont trop faibles aux goussets, ou lorsqu'il faut remplacer ces goussets). Comme le fer forgé présente généra-

1. Näheres siehe : Dr.-Ing. O. Kommerell, Erläuterungen zu den Vorschriften für geschweisste Stahlbauten, W. Ernst und Sohn, Berlin, 1931, S. 34.

lement une structure fibreuse, les vieux ponts en fer forgé ne doivent pas être renforcés par soudure.

Au début de la soudure, on a exécuté des assemblages sans se préoccuper de suivre une méthode déterminée. Cette pratique, qui ne donnait aucune garantie et qui ne pouvait être que provisoire, a cessé. On a en effet publié depuis, en Allemagne, des règlements prescrivant les conditions dans lesquelles doivent être calculés les assemblages soudés[1].

La soudure est une opération métallurgique. Une partie du métal des pièces à assembler est chauffée jusqu'à la fusion et forme, avec le métal fondu provenant des électrodes, une zone d'assemblage constituée par un cordon de métal fondu, forgeable et malléable, qui tient à la fois de l'acier fondu et de l'acier coulé. Il est essentiel que le métal fondu apporté par les électrodes pénètre complètement jusqu'au sommet (racine) de l'angle formé par les pièces à assembler. Malheureusement, on ne peut pas toujours réaliser cette condition et il est souvent difficile de contrôler si la pénétration de la fusion a bien eu lieu partout d'une manière satisfaisante. Le cordon de soudure contient parfois des inclusions d'impuretés qui compromettent sa résistance. La qualité d'un cordon de soudure dépend également de certaines conditions extérieures, ainsi que de sa position (les soudures au plafond ne peuvent être convenablement exécutées que par des soudeurs particulièrement bien exercés). Les cotes prévues pour les cordons de soudure ne peuvent pas toujours être rigoureusement observées par les soudeurs. Pour réaliser cette condition, il convient d'éviter l'application de méthodes de calcul compliquées; il vaut mieux se contenter de méthodes d'approximation, dont la légitimité devra être contrôlée par des essais. Le constructeur doit toutefois se rendre compte des conditions pratiques effectives, afin de pouvoir établir ses projets d'une manière judicieuse. Cette façon de faire correspond exactement à ce qui se passe pour le rivetage. On sait par exemple que, dans les assemblages de barres, tous les rivets ne travaillent pas également, quoique les calculs soient conduits comme si la charge était uniformément répartie.

II. Classification des soudures.

On distingue :

les soudures bout à bout;
les soudures d'angle;
les soudures à entailles.

D'après nos règlements, les efforts de traction et de flexion dans les éléments des *ponts* ne doivent pas être supportés uniquement par des soudures *bout à bout*. On ne peut s'écarter de cette prescription que pour les parties secondaires, telles que les consoles des trottoirs, ou pour les ossatures métalliques des immeubles. Pour les cordons de soudure de forte épaisseur, il faut travailler en plusieurs couches. Malgré toutes les précautions, les écailles ou bati-

1. Voir les Normes des Ingénieurs allemands (DIN 4.100), et l'ouvrage du Dr. Ing. O. Kommerell : Erläuterungen zu den Vorschrifften für geschweisste Stahlbauten mit Beispielen für die Berechnung und bauliche Durchbildung Berlin 1931. Editeur Wilhelm Ernst & Sohn.

tures qui peuvent se produire entre les différentes couches ne sont pas toujours éliminées; on ne réalise par suite pas toujours la fusion intime entre deux couches successives; il en résulte que les cordons épais (soudures bout à bout et soudures d'angle) sont relativement moins résistants que les cordons de soudure plus minces. Pour la même raison, la résistance des cordons de soudure en X est relativement moins bonne que celle des cordons en V.

On a constaté, à la suite d'essais effectués sur des *soudures d'angle*, que d'une manière générale la résistance de la zone d'accrochage du cordon sur la pièce est plus grande que celle du cordon lui-même et qu'en règle générale, les ruptures se produisent à l'endroit le moins épais du cordon, c'est-à-dire pour les cordons isocèles, dans le plan bissecteur de leur section. Par suite, la résistance d'un cordon de soudure est déterminée par son épaisseur a, hauteur du triangle isocèle formé par sa section, et par sa longueur l; on ne tient donc pas compte de l'arrondi Δa du cordon, qui, en fait, n'existe pas toujours, pas plus que des cratères d'extrémité, qui ne possèdent pas la pleine résistance du cordon lui-même. Dans les calculs de résistance, les *soudures à entaille* doivent être considérées comme soudures d'angle.

Des essais ont montré que les cordons de soudures d'angle qui sont disposés latéralement, ne travaillent pas uniformément sur toute leur longueur; les taux de travail sont plus élevés aux extrémités qu'au milieu. Toutefois, pour simplifier les calculs dans toute la mesure du possible, on admet par approximation une répartition uniforme de la charge. Pour justifier cette simplification, nos règlements prévoient que dans les assemblages de barres, la longueur utile des cordons d'angle latéraux ne doit pas être supérieure à 40 fois leur épaisseur a, sans tenir compte des cratères d'extrémité. Ces cordons latéraux montrent une aptitude notablement meilleure à supporter les déformations que celle des soudures d'angle en bout, quoique la résistance de ces dernières soit supérieure. Ces constatations nous ont conduit, par mesure de sécurité, à ne pas admettre des efforts plus élevés dans les soudures en bout que dans les soudures latérales; pour ces deux types de soudures d'angle, on n'admet, comme effort calculé ρ, que l'effort admissible pour le cisaillement ρ_{zul}.

III. Calcul des cordons de soudure.

Deux cas principaux sont à distinguer :

1° les pièces à assembler travaillent à la traction;

2° les pièces à assembler travaillent à la flexion.

Dans le deuxième cas, il faut généralement considérer, en même temps, un effort tranchant, qui fait travailler les cordons de soudure comme il est indiqué en 1.

1. Efforts de traction (longitudinaux).

L'effort dans les cordons de soudure est déterminé par la formule suivante :

$$\rho = \frac{P}{\Sigma(a.l)} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

formule dans laquelle on désigne par :

P, la charge que doivent supporter les cordons de soudure ;

l, la longueur des cordons de soudure, cratères non compris (dans les cordons de soudure à entaille, cette longueur correspond à la totalité du cordon développé) ;

a, l'épaisseur des cordons, soit :

dans les soudures bout à bout, l'épaisseur des pièces à assembler ; lorsque ces épaisseurs sont différentes, on adopte la plus faible (fig. 1) ;

dans les soudures d'angle, la hauteur du triangle isocèle inscrit dans le cordon (fig. 2, a et b) ;

dans les soudures à entaille, la hauteur du triangle isocèle inscrit dans le cordon disposé dans l'angle formé par l'entaille (fig. 3) ; si le reste de l'entaille est rempli de soudure de bouchage, on ne doit toutefois pas le considérer comme participant à la résistance de la soudure.

En construction métallique, on emploie presque exclusivement les soudures d'angle ; suivant la résistance à obtenir, les cordons de soudure sont continus ou discontinus. Lorsque la section du cordon est un triangle isocèle, on a :

$$a = \frac{b}{\sqrt{2}} \qquad \text{(fig. 4).}$$

Nous admettons également, dans la construction des ponts, les soudures d'angle en congé (fig. 2 b) qui sont moins chères, mais, en fait, moins résistantes que les soudures d'angle normales comportant un léger arrondi (fig. 2 a), par suite précisément de l'absence de cet arrondi $\Delta\, a$. On emploie souvent ces soudures d'angle en congé lorsque la résistance du cordon de soudure ne doit pas être entièrement utilisée ou lorsqu'il paraît opportun de boucher un joint avec de la soudure, afin d'éviter la pénétration de l'eau. D'une manière générale, les cordons de soudures d'angle qui travaillent doivent être exécutés comme il est indiqué sur la fig. 2 a, en soudures normales, avec un léger arrondi.

Dans les soudures en bout suivant la disposition de la fig. 4, prennent naissance dans les plans AB et A_1B_1, des efforts tranchants égaux à $\frac{P}{2}$. Par mesure de sécurité, et d'après ce qui précède, on supposera les sections de rupture AC et A_1C_1 rabattues dans les plans AB et A_1B_1 et c'est à ces sections que l'on appliquera les efforts tranchants $\frac{P}{2}$.

Les soudures à entailles peuvent être de forme circulaire, carrée ou allongée. L'arrondi des angles est favorable à une bonne répartition des charges. On ne doit adopter les soudures à entaille que lorsque l'on ne peut pas exécuter l'assemblage comme il conviendrait avec des soudures d'angle ordinaires. L'adoption des soudures à entaille fait perdre un des principaux avantages de la soudure par rapport au rivetage, puisque ces entailles conduisent inévitablement à un affaiblissement correspondant de la section.

2. Efforts dus aux moments fléchissants.

La fig. 5 représente un appui sur lequel est soudée une poutre. Sur la

poutre, s'exerce un moment fléchissant M. On peut admettre que les cordons de soudure résistent sur les plans d'accrochage de l'appui et de la poutre et que les ruptures se produisent suivant les plans bissecteurs de tous les cordons. Tant que l'on ne dépasse pas les efforts admissibles, on peut admettre que les efforts sont répartis suivant la loi de Hooke [1].

Sous l'influence du moment fléchissant M, prennent naissance, aux points extrêmes supérieurs et inférieurs, des efforts :

$$\rho_1 = \pm \frac{M}{W} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2)$$

Si nous supposons, comme dans la fig. 4, les plans bissecteurs rabattus sur les plans d'accrochage, W désigne le moment résistant de la section rabattue du cordon de soudure.

La réaction d'appui A qui se produit simultanément tend à cisailler la section rabattue de bas en haut, cette section étant $F = \Sigma (a.l)$; si pour simplifier on admet une répartition égale des efforts, par moitié, on aura pour les efforts de cisaillement dans la section rabattue :

$$\rho_2 = \frac{A}{\Sigma (a.l)} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (3)$$

On peut admettre la composition des efforts ρ_1 et ρ_2, suivant la fig. 6, et on obtient un effort résultant :

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

Pour ρ_1, on peut adopter l'effort admissible pour la traction, tandis que pour ρ_2 intervient l'effort admissible au cisaillement. On se placera dans des conditions de calcul défavorables en adoptant également pour la charge résultante, l'effort admissible au cisaillement. On l'adopte toutefois également parce que l'on ne peut pas compter, en fait, sur une répartition uniforme des efforts tranchants ρ_2 sur la question rabattue.

3. Prescriptions particulières concernant le calcul.

La modification provoquée dans la structure du métal par la fusion ne doit pas être considérée comme diminuant la résistance de la section. Les sections des trous éventuels pour les goujons de montage doivent, dans les calculs, être déduits de la section utile. Les efforts tranchants et les efforts de cisaillement sur les parois des trous des goujons doivent être contrôlés.

Outre les soudures d'angle, si on est amené à prévoir également des soudures à entailles, par exemple, pour des plaques de semelles rapportées sur des membrures de poutres, les sections des entailles doivent être déduites, dans les calculs, de la section utile.

Les semelles qui constituent les ailes des poutres ne doivent être considérées comme intervenant effectivement dans la résistance qu'aux endroits où leur section fait l'objet d'un assemblage franc par cordons de soudure (cet assemblage effectif doit d'ailleurs commencer dès l'endroit où les poutres inter-

1. Nous supposons que la section de la poutre reste plane après la flexion et que les cordons de soudure prennent les allongements nécessaires.

viennent théoriquement). Dans toute la mesure du possible, l'assemblage doit être conçu de façon à ne pas dépasser une longueur de $40\,a$.

Lorsque la charge de la poutre est supportée par l'intermédiaire de m tôles superposées, la longueur totale de l'assemblage à recouvrement doit être égale à $(m + 1)\,.\,l$, l désignant la longueur d'assemblage nécessaire pour une seule tôle (fig. 7).

Lorsque l'on se trouve dans l'impossibilité d'exécuter d'une manière parfaite certains cordons de soudure auxquels il est difficile d'accéder, ils ne doivent pas être pris en considération dans les calculs de résistance. Cette prescription permettra d'assurer rationnellement la construction dans des conditions opportunes et sûres.

4. Efforts admissibles dans les cordons de soudure.

Nous admettons, pour les efforts admissibles dans les cordons de soudure, les valeurs indiquées dans le tableau 1.

Les chiffres de ce tableau sont valables pour l'acier de construction de qualité courante et pour l'acier doux St. 37 ; pour l'acier coulé, les efforts admissibles doivent être déterminés particulièrement d'après des essais.

Si, dans un assemblage, interviennent simultanément des cordons de soudure bout à bout et en angle, il ne faut adopter, pour les soudures bout à bout, que les valeurs admissibles pour les soudures d'angle.

Tableau 1.

Efforts admissibles dans les cordons de soudure.

Type de soudure adopté	Nature de l'effort exercé	Effort admissible ρ_{adm}
Soudures bout à bout	Traction	$0{,}6\ \sigma_{adm}$
	Compression	$0{,}75\ \sigma_{adm}$
	Flexion	
	zone tendue	$0{,}6\ \sigma_{adm}$
	zone comprimée	$0{,}75\ \sigma_{adm}$
	Cisaillement	$0{,}5\ \sigma_{adm}$
Soudures d'angle	Efforts de toute nature	$0{,}5\ \sigma_{adm}$

Dans le tableau ci-dessus, σ_{adm} désigne l'effort admissible dans le métal destiné à constituer l'assemblage, d'après les règlements en vigueur.

Si les plans d'accrochage des cordons font entre eux un angle inférieur à 70°, il est à recommander de réduire les efforts admissibles.

Pour le calcul de barreaux composés travaillant à la compression, d'après la méthode de Krohn[1], on peut adopter, pour la charge de rupture des cordons de soudure des tôles de liaison, la valeur de 24 kg. par mm².

1. Voir : Zentralblatt der Bauverwaltung, 1908, p. 559.

On a constaté qu'il convenait d'adopter un rapport déterminé entre les efforts admissibles ρ_{adm} dans les cordons de soudure et les efforts admissibles σ_{adm} dans la construction proprement dite ; cette disposition permet de faciliter au maximum l'application du principe suivant lequel les différentes parties d'une charpente doivent donner, dans toute la mesure du possible, la même marge de sécurité. D'après nos règlements, on arrive ainsi aux efforts admissibles indiqués dans le tableau 2 ci-après.

Tableau 2.

Efforts admissibles suivant la nature de la charge.

Nature de la charge	σ_{adm} pour la construction	ρ_{adm} pour les cordons d'angle travaillant au cisaillement.
Ponts	kg par mm²	kg par mm²
Charges principales : fixe, roulante, centrifuge, efforts de dilatation.....	14 [1]	7
Charges principales, vent et charges additionnelles..... ces dernières comprenant les efforts de freinage, les chocs latéraux, les résistances de frottement, le déversement des appuis, le tassement des piles	16 [1]	8
Assemblages de contreventement, éléments transversaux, poutres de freinage et éléments de suspension	10	5
Charpentes métalliques d'immeubles		
Métal non réceptionné (fers marchands)	12	6
Acier doux.....	14	7

1. Ces valeurs tiennent compte des coefficients de choc.

Lorsque des pièces doivent être calculées à la torsion, il faut remplacer σ_{adm} par l'effort admissible à la torsion.

On recommande, principalement au début, d'étudier par le calcul même les cas les plus simples; c'est en effet par la pratique du calcul que l'on peut acquérir le sens de la statique et il faut savoir éviter les dispositions de construction qui ne se prêtent pas à la soudure. Souvent même, le calcul seul montrera dans quelle mesure il est possible de réduire l'importance des cordons de soudure, au moyen des cordons discontinus.

Les sections des pièces à assembler doivent être calculées comme en construction rivée. Il ne reste donc à calculer généralement que les cordons de soudure eux-mêmes. Les moments de flexion, de torsion et de cisaillement qui résultent des charges extérieures calculées et qui interviennent dans la détermination des cordons de soudure doivent être calculés d'après les principes bien connus de la statique. Le point le plus important est de déterminer comment les efforts qui résultent des charges extérieures sont transmis aux cor-

dons de soudure et comment ces derniers réagissent sur les différentes parties de la charpente. Les cordons de soudure eux-mêmes doivent être considérés comme des pièces de la charpente, auxquelles s'appliquent les principes connus de la statique.

5. Mode de calcul des assemblages et des joints dans la construction métallique.

Pour obtenir, avec les assemblages et les joints proprement dits, la même sécurité qu'avec les pièces qui les constituent, on recommande fréquemment de déterminer les cordons de soudure en tenant compte des sections des pièces qui constituent l'assemblage (section $F = F_1 + F_2 + \ldots$). Soit α le coefficient par lequel on doit multiplier σ_{adm} (d'après 4 — tableau 1), pour obtenir ρ_{adm} (par exemple, $\alpha = 0{,}5$ pour le cisaillement). On aura :

$$\rho_{adm} = \alpha . \sigma_{adm} = \alpha \frac{\max S}{F} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (5)$$

max S désignant l'effort maximum dans les barres.

Comme on a en construction métallique :

$$\rho_{adm} = \frac{\max S}{F_g} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (6)$$

F_{schw} désignant la section de la soudure, on en déduit pour la construction métallique :

$$F_g = \frac{F}{\alpha} = \frac{F_1}{\alpha} + \frac{F_2}{\alpha} + \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (7)$$

dans le cas de barreaux travaillant à la traction.

S'il s'agit d'éléments travaillant à la compression, il suffit de remplacer F par $\frac{F}{\omega}$, ω désignant le coefficient de flambage[1].

6. Prescriptions complémentaires concernant la construction des ponts.

Il faut s'efforcer d'obtenir les mêmes garanties de sécurité pour toutes les parties d'un ouvrage, donc également pour les assemblages soudés. Par suite, il faut calculer ces assemblages non seulement pour les efforts qu'ils auront auront effectivement à supporter, mais également avec une marge de sécurité par rapport à la section ainsi obtenue.

Pour le calcul des cordons de soudure, dans les ponts, il faut déterminer les maxima et les minima des moments, des efforts tranchants et des charges dans les éléments. Les valeurs qui correspondent à la charge roulante doivent être multipliées, ainsi qu'il est prescrit, par le coefficient de choc φ.

Les valeurs ainsi obtenues doivent être introduites dans les formules suivantes :

$$M = \max M + \frac{1}{2} (\max M - \min M) \quad \ldots\ldots\ldots \quad (8)$$

1. Voir : Vorschriften für Eisenbauwerke. Berechnungsgrundlagen für Eisenbahnbrücken (B. E.). — Berlin, Editeur Wilhelm Ernst und Sohn.

$$Q = \max Q + \frac{1}{2}(\max Q - \min Q) \quad \ldots\ldots\ldots \quad (9)$$

$$S = \max S + \frac{1}{2}(\max S - \min S) \quad \ldots\ldots\ldots \quad (10)$$

dans lesquelles on désigne par :
max M les valeurs absolues maxima et minima du moment ;
max Q — — — de l'effort tranchant,
max S — — — de l'effort dans les éléments du système.

Les valeurs positives et les valeurs négatives doivent être respectivement introduites dans les calculs avec les signes + et —.

Si l'on a, par exemple :
max M = 100 tonnes-mètres,
min M = 100 tonnes-mètres,
c'est-à-dire que le moment, fléchissant reste constant,
on aura :

$$M = 100 + \frac{1}{2}(100 - 100) = 100 \text{ tm.}$$

Si : max M = + 100 tm et min M = 0 tm,
on aura :

$$M = 100 + \frac{1}{2}(100 - 0) = 150 \text{ tm.}$$

Si : max M = + 100 tm et min M = — 100 tm,
on aura :

$$M = 100 + \frac{1}{2}(100 + 100) = 200 \text{ tm.}$$

Dans le cas le plus défavorable, pour lequel les charges variables oscillent entre des limites exactement égales (en valeur absolue), les moments fléchissants, les efforts tranchants et les efforts dans les éléments doivent donc, pour le calcul des cordons de soudure, être considérés comme deux fois plus élevés que dans le cas où ces efforts restent toujours constants. (Cette méthode de calcul des cordons de soudure est donc indépendante du mode de calcul des sections des éléments à assembler.)

Les formules que donne le chapitre 5, dans le cas de la construction métallique proprement dite, peuvent s'appliquer comme suit à la construction des Ponts :

$$\rho_{adm} = \frac{\max S + 1/2\,(\max S - \min S)}{F_g} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (6')$$

d'où :

$$F_g = \frac{F}{\alpha} \cdot \frac{\max S + 1/2\,(\max S - \min S)}{\max S} \quad \ldots\ldots \quad (7')$$

lorsqu'il s'agit d'éléments travaillant à la traction.

S'il s'agit d'éléments travaillant à la compression, il suffit de remplacer F par

$$\frac{F}{\omega}$$

S'il s'agit de moments, on introduira M au lieu de S dans les formules.

Les formules (8), (9), (10) doivent tenir compte, pour le calcul des assemblages soudés, des phénomènes de fatigue éventuelle résultant des efforts répétés.

L'effort tranchant admissible dans les cordons de soudure, par suite de l'action des charges principales (tableau 2), atteindrait, dans des diagonales, des valeurs égales, en traction et en compression, qui seraient, par rapport à des charges purement statiques :

$$\rho_{adm} = 0{,}5.\ 14.\ 1/2 = 3{,}5 \text{ kg. par mm}^2.$$

Dans des assemblages soudés, la résistance aux efforts alternés a atteint, sur la machine d'essai de fatigue, environ 14 kg. par mm², de sorte que le coefficient de sécurité serait encore de :

$$\nu = \frac{14}{3{,}5} = 4.$$

Il faut d'ailleurs tenir compte du fait que la charge à laquelle est soumis l'assemblage sur la machine d'essai le fait travailler dans des conditions beaucoup plus défavorables que lorsqu'il s'agit de véritables ponts. A titre d'essai, on a monté des éléments soudés sur des ponts en acier à échelle réduite. L'expérience montrera si les résultats obtenus en soumettant ces ponts eux-mêmes à la machine d'essai de fatigue ne sont pas plus favorables et plus conformes à la réalité.

Si l'on ne peut pas faire coïncider, même en employant des goussets, les axes de gravité des éléments et les axes du système, il en résultera des efforts additionnels dont il faudra tenir compte dans les calculs, sans toutefois que les efforts admissibles puissent pour cela être augmentés.

Les efforts additionnels provoqués par les moments fléchissants tels que

$$M = P.\ e \qquad \text{(fig. 8)}$$

dans les soudures latérales et en bout doivent être pris en considération (on suppose à nouveau les sections de rupture probables rabattues sur le plan du gousset).

Si dans les assemblages soudés, les moments d'encastrement qui résultent de l'assemblage des poutres ne peuvent pas être supportés par des plaques entaillées soudées, il faut prévoir des consoles, ou tout au moins des taquets d'appui destinés à supporter les efforts tranchants correspondants. Si ces moments d'encastrement ne peuvent pas être déterminés d'une manière précise, il faudra faire intervenir dans le calcul des assemblages soudés les moments tels qu'ils ont été déterminés pour les calculs de résistance (par exemple, pour un assemblage de poutres transversales sur des poutres principales, il faudra dans toute la mesure du possible, adopter comme moment d'encastrement les 3/4 du moment fléchissant s'exerçant sur les poutres principales).

S'il s'agit de faire des soudures de renforcement sur des assemblages rivés, il faut s'efforcer de faire supporter aux goussets la totalité de la charge fixe, y compris le poids des pièces de renforcement, les assemblages soudés supportant la totalité de la charge roulante. Si ce n'est pas possible, les assemblages soudés doivent pouvoir supporter au moins les 2/3 de la charge roulante, le

tiers restant étant à la charge du rivetage. Les soudures de renforcement doivent être disposées de telle sorte que les goussets ne risquent pas d'être disjoints par la chaleur de la soudure.

Dans les ponts qui doivent être renforcés par soudure, il faut veiller à ce que les cordons de soudure soient suffisamment accessibles pour que leur exécution puisse être irréprochable. Le fer forgé des vieux ponts ayant la plupart du temps une structure fibreuse, nous interdisons leur renforcement au moyen de la soudure.

Les essais de Kayser, Bühler et Bierett ont montré que, dans les ponts renforcés par soudure, les assemblages soudés et rivés ne se répartissent pas la charge d'une manière uniforme.

Ces essais ayant d'ailleurs entièrement porté sur des assemblages rivés qui ont été soudés sans être en charge, on a décidé, aux Chemins de fer allemands, d'effectuer de nouveaux essais en vue de déterminer à quelle répartition de charge on aboutit lorsque les assemblages rivés sont soumis à une charge préliminaire, sous la machine d'essai, avant d'effectuer la soudure. La charge préliminaire adoptée correspond à peu près au poids propre du pont.

IV. Réalisation pratique.

Les sections des éléments et des assemblages doivent se prêter aux particularités propres à la technique de la soudure. Les soudures au plafond doivent être évitées dans toute la mesure du possible.

Dans l'assemblage des poutres par soudure, il faut prévoir des cordons de soudure aussi bien sur les semelles que sur les âmes des poutres. Les axes de gravité des éléments doivent, dans toute la mesure du possible, coïncider avec les axes du système. L'axe de gravité d'une soudure doit, dans la mesure du possible, coïncider avec l'axe de gravité de l'élément à assembler.

Les longueurs des cordons de soudure d'angle qui doivent pouvoir intervenir dans les calculs ne doivent pas être inférieures à 40 mm., cratères d'extrémité non compris. Les cordons de soudures d'angle latéraux des assemblages ne doivent pas avoir une longueur supérieure à 40 a, a désignant l'épaisseur du cordon de soudure.

Les cordons de soudure ne doivent pas être trop groupés à certains endroits. La largeur b des cordons ne doit pas, en général, dans les soudures d'angle, être supérieure à l'épaisseur de la pièce t ; dans les assemblages de pièces dont les épaisseurs sont différentes, cette cote b ne doit pas être supérieure à l'épaisseur de la pièce la plus mince. On ne doit s'écarter de cette prescription que s'il est impossible de faire autrement pour réaliser un assemblage effectivement franc et sûr.

Dans les soudures à entailles soumises à des efforts, la largeur doit être supérieure ou égale à 3 a et au moins égale à 1,5 t pour que les cordons de soudure puissent être disposés tout autour de l'entaille dans des conditions irréprochables et qu'aucun arc ne jaillisse en A. Le plus petit intervalle entre deux entailles voisines, dans la direction transversale, ne doit pas être inférieur à 3 fois l'épaisseur de la pièce.

Les semelles qui travaillent à la compression et pour lesquelles on a :

$$\frac{\text{largeur } b}{\text{épaisseur } t} > 30$$

doivent, outre les cordons d'angle disposés latéralement, comporter au moins une soudure à entaille.

La bonne accessibilité de tous les cordons de soudure doit être étudiée avec soin, dès l'établissement du projet. Les soudures au plafond doivent être évitées dans toute la mesure du possible.

Chaque fois que cela est nécessaire, et surtout pour le montage sur le chantier, il faut prévoir des goujons de montage. Les trous correspondants doivent être disposés de telle sorte que les parties qui travaillent le plus soient aussi peu affaiblies que possible.

Prescriptions particulières aux ponts.

Dans les ponts en treillis, les barres sont en général assemblées sur les membrures au moyen de goussets.

Dans les ponts, les efforts de traction et de flexion ne doivent pas être supportés uniquement par des soudures bout à bout. On peut toutefois faire exception à cette règle en ce qui concerne les pièces secondaires, telles que les consoles supportant les trottoirs.

L'intervalle libre maximum l_0 entre les traits de soudure des cordons discontinus et entre les entailles, dans les soudures à entailles, dans le sens de la longueur, ne doit pas dépasser les valeurs suivantes :

a) dans les soudures définitives, six fois l'épaisseur de la tôle de la pièce la plus mince;

b) dans les soudures provisoires des éléments travaillant à la compression, huit fois l'épaisseur de la tôle de la pièce la plus mince ;

c) dans les soudures provisoires des éléments travaillant à la traction, dix fois l'épaisseur de la tôle de la pièce la plus mince.

Toutefois, si entre les cordons normaux, on prévoit des cordons plus légers (en congé), ces intervalles pourront être doublés.

Dans les poutres composées, l'intervalle entre les semelles de renforcement ne doit pas être supérieur à 1,30 mètre. Ces semelles doivent être soudées sur les membrures des ailes. Dans les poutres composées de grande hauteur, il est nécessaire de prévoir des pièces de renforcement continues, destinées à éviter les déformations des âmes.

A tous les endroits qui sont appelés à supporter des charges particulières, il faut disposer des pièces de renforcement.

V. Contrôle des calculs par des essais pratiques.

Différents assemblages soudés d'essai ont été effectués à Dresde, suivant la disposition de la figure 11. Ils ont été ensuite soumis à des essais en charge avec des efforts P. Il s'agissait de déterminer la résistance de ces assemblages.

Le moment fléchissant que doit supporter un assemblage est :

$$M = 22{,}5\,P.$$

Si nous supposons (suivant nos règlements) que la section utile du cordon de soudure est rabattue dans le plan d'assemblage, on a pour le moment d'inertie :

$$I_g = 1/12.\ 19{,}2.\ (21{,}2^3 - 20^3) = 2.445\ cm^4.$$

et pour le moment résistant :

$$W_g = \frac{2.445}{10{,}6} = 231\ m^3.$$

La section utile du cordon de soudure est :

$$F_g = 2.\ 19{,}2.\ 0{,}6 = 23\ cm^2.$$

d'où on obtient, d'après les formules (2) et (1) :

$$\rho_1 = \frac{M}{W} = \frac{22.5}{231}\ .\ P = 0{,}0974\ P$$

$$\rho_2 = \frac{P}{F} = \frac{P}{23} = 0{,}0435\ P.$$

On en déduit, d'après la formule (4) :

$$\rho = \sqrt{\rho_1^2 + \rho_2^2} = P\sqrt{0{,}0974^2 + 0{,}0435^2} = 0{,}1067\ P$$

Pour $\sigma_{adm} = 12$ kg. par mm² (charpente métallique),

$$\rho_{adm} = 0{,}5\ \sigma_{adm} = 6\ \text{kg. par mm}^2,$$

on pourrait soumettre l'assemblage à une charge telle que :

$$600 = 0{,}1067\ P_{adm.},$$

d'où : $P_{adm} = 5.620$ kg.

Comme la rupture s'est produite pour une charge :

$P_B = 28.000$ kg, on a pour le coefficient de sécurité à la rupture :

$$\nu = \frac{28.000}{5.620} = 4{,}98.$$

Pour 1 mm² de section utile, du cordon de soudure, on a une charge de rupture :

$$P' = \frac{28.000}{2.300} = 12{,}2\ \text{kg. /mm}^2.$$

Par mesure de comparaison, les poutres ont été soudées non seulement sur les ailes, mais également sur les âmes. La section utile totale de soudure était :

$$F_g = 43{,}15\ cm^2.$$

Le calcul donne une charge admissible :

$$P_{adm} = 7.400\ \text{kg.}$$

La rupture s'est produite pour P = 38.200 kg., ce qui correspond à un coefficient de sécurité de

$$\nu = \frac{38.200}{7.400} = 5{,}15.$$

Sur 1 mm² de soudure, on a une charge de rupture :

$$P' = \frac{38.200}{4.315} = 8,85 \text{ kg./mm}^2.$$

L'assemblage avec soudure simultanée sur les ailes et sur les âmes est donc notablement plus favorable.

Pour pousser plus loin la comparaison, on a soudé aux angles, à l'emplacement des cordons d'angle, des équerres de 50.80.14. La rupture s'est produite pour une charge de 14.500 kg., la charge admissible était de

$$P_{adm} = 3.050 \text{ kg.}$$

On a donc un coefficient de sécurité :

$$\nu = \frac{14.500}{3.050} = 4,75.$$

Sur 1 mm² de section utile de soudure, on a une charge $P' = 4,5$ kg.

Cet assemblage est donc non seulement plus cher, mais également notablement plus mauvais [1].

Le mode de calcul prévu dans nos règlements donne donc une sécurité suffisante.

Zusammenfassung.

Vorteile des Schweissverfahrens gegenüber dem Nietverfahren : Gewichtsersparnis, einfachere Ausführung. Aeltere Brücken, die nicht aus Schweisseisen bestehen und die verstärkt werden sollen, lassen sich oft durch Schweissen leicht verstärken, während eine Verstärkung durch Nieten vielfach nicht mehr wirtschaftlich ist.

Angesichts der Ungenauigkeit beim Einbrand, der Dicke und Länge der Schweissnähte sind verwickelte Berechnungsmethoden nicht am Platze. Näherungsverfahren so, dass die für die Schweissverbindungen zulässigen Spannungen ρ_{zul} in ein bestimmtes Verhältnis zu den zulässigen Spannungen der eigentlichen Konstruktion σ_{zul} gesetzt werden. Z. B. Scherspannungen bei Kehlnähten $\sigma_{zul} = 0,5\ \sigma_{zul}$. Deutsche Vorschriften für die Berechnung und bauliche Durchbildung. Zur Ermittlung der Spannungen in den Schweissnähten denkt man sich die Bruchflächen der Schweissnähte in die Anschlussebene umgeklappt und berechnet die Flächen, Trägheitsmomente und Widerstandsmomente dieser Bruchflächen in der üblichen Weise. Die damit berechneten Scherspannungen ρ_1 werden mit den Biegungsspannungen ρ_2 der Schweissnähte zu einer resultierenden Spannung $\rho = \sqrt{\rho_1^2 + \rho_2^2}$ zusammengesetzt.

Die durch den Einbrand entstandene Schwächung des Querschnitts wird in der Berechnung des nutzbaren Querschnitts ausser Betracht gelassen. Bei Brücken müssen die Stabkräfte, Biegemomente u.s.w. entsprechend den wechselnden Beanspruchungen nach den Formeln $S = \max S + 1/2\,(\max S - \min S)$ u.s.w. erhöht werden. Auf ein gleichmässiges Zusammenwirken der Schweissnähte mit den Nietverbindungen bei zu verstärkenden Brücken kann

1. Voir Kommerell. Erläuterungen zu den Vorschriften für geschweisste Stahlbauten, W. Ernst und Sohn, Berlin, 1931, p. 34.

nicht gerechnet werden. Den Nietverbindungen wird nur die ruhende Last, von der Verkehrslast höchstens aber 1/3 zugewiesen.

Bei der baulichen Durchbildung müssen exzentrische Anchlüsse beim Schweissen möglichst vermieden, andernfalls rechnerisch verfolgt werden. Bei Fachwerk-Brücken sollen die Füllungsstäbe grundsätzlich mittels Knotenblechen angeschlossen werden. Ausserdem dürfen bei Brücken gezogene Teile nicht durch Stumpfnähte allein verbunden werden. Versuche haben gezeigt, dass mit der Berechnungsweise der deutschen Vorschriften ausreichende Sicherheit bei statischer Beanspruchung erzielt wird. Ob die Sicherheit auch bei dynamischer Beanspruchung ausreichend gross ist, soll durch eingeleitete Versuche noch weiter geprüft werden.

Résumé.

Le procédé d'assemblage permet, par rapport au rivetage, de réaliser les avantages suivants : économie de poids, plus grande simplicité d'exécution. Les anciens ponts qui ne comportent pas d'éléments en fer soudé et qui ont besoin d'être renforcés, peuvent très souvent être renforcés avec facilité grâce à la soudure, tandis que leur renforcement par rivetage ne serait souvent pas plus économique.

Étant donné le manque de précision que la pénétration de la fusion apporte dans les dimensions effectives des cordons de soudure (épaisseur et longueur), il n'est pas opportun d'avoir recours à des méthodes de calcul compliquées. On adopte plutôt des méthodes approchées ; les efforts admissibles dans les assemblages soudés (ρ_{adm}) sont dans un rapport déterminé avec les efforts admissibles dans les éléments de la construction eux-mêmes (σ_{adm}). Par exemple, les efforts tranchants dans les cordons de soudure d'angle seront définis par :

$$\rho_{adm} = 0{,}5\ \sigma_{adm}$$

L'auteur expose les prescriptions allemandes pour le calcul et les méthodes d'exécution. Pour déterminer les efforts dans les cordons de soudure, on suppose les sections dans lesquelles se produit la fracture des cordons rabattus dans le plan de l'assemblage et on calcule les sections, les moments d'inertie et les moments résistants de ces sections de la manière courante. On compose les efforts tranchants calculés ρ_1 avec les efforts de flexion ρ_2 des cordons de soudure, pour obtenir l'effort résultant

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

On ne tient pas compte, dans le calcul de la section utile, de l'affaiblissement que produit, dans la section, la pénétration de la fusion.

Dans les ponts, les efforts dans les éléments, les moments fléchissants, etc... doivent être augmentés dans une proportion qui tient compte des efforts alternés, suivant une formule du type suivant :

$$S = \max S + 1/2\ (\max S - \min S)$$

Lorsque l'on renforce un pont comportant des assemblages rivés en employant la soudure, il ne faut pas compter sur une égale répartition des efforts entre les rivets et les cordons de soudure. Il convient de ne faire sup-

porter aux assemblages rivés que la charge permanente, et tout au plus 1/3 de la charge roulante.

En ce qui concerne l'exécution pratique, il faut éviter dans toute la mesure du possible les assemblages décentrés. Si l'on y est contraint, il faut les calculer avec soin. Dans les ponts en treillis, les barres de treillis doivent être, en principe, assemblées au moyen de goussets. En tout cas, les organes qui, dans les ponts, sont soumis à des efforts de traction ne doivent pas être assemblés au moyen de soudures bout à bout seules.

Les expériences ont montré que les méthodes de calcul indiquées dans les règlements allemands donnent une sécurité suffisante pour les efforts statiques. Des essais ultérieurs devront être poursuivis pour déterminer si la sécurité obtenue est suffisante lorsqu'il s'agit d'efforts de nature dynamique.

Summary.

Advantages of welding methods as compared with riveting: Saving in weight, more simple to carry out. Old bridges, which are not made of wrought iron and have to be stiffened, can often be easily stiffened by welding, whilst stiffening by riveting is no longer economical.

In view of the uncertainty in what concerns the efficiency of the penetration, the thickness and length of the welds, complicated methods of calculation are quite out of place. An approximate method consists in taking the admissible stresses for the welded joints ρ_{adm} as a certain ratio of the admissible stresses in the actual structure σ_{adm}. For example, shearing stresses in fillet welds $\rho_{adm} = 0.5\ \sigma_{adm}$. German rules for calculations and carrying out constructions: To determine the stresses in the welds, the welding faces of the plates to be welded are imagined as turned into the connecting plane, and the surfaces, moments of inertia and moments of resistance of these surfaces are calculated in the usual manner. The shear stresses ρ_1 thus calculated are combined with the bending stresses ρ_2 of the welds, giving a resultant stress $\rho = \sqrt{\rho_1^2 + \rho_2^2}$.

The weakening of the cross-section caused by the penetration is left out of consideration when determining the useful cross-section. In bridges, the forces in the members, bending moments, etc., in compliance with the varying stresses, are increased according to the formulae $S = \max S + 1/2\,(\max S - \min S)$, etc. In bridges which have to be strengthened, it is not possible to reckon on the welded and riveted joints cooperating uniformly in taking the stress. The riveted joints are presumed to take only the dead load, and at the most 1/3rd of the rolling load.

In the constructions, when welding eccentric connections must be avoided as far as possible; if used, they must be tested by calculation. In lattice bridges, the web members shall as a matter of principle be connected by gussets. In addition to that, parts of bridges subject to tension, may not be connected by butt joints alone. Tests have shown that calculation by the German rules ensures sufficient safety in the case of static stress. Whether sufficient safety is ensured for dynamic stress, is a question which must be checked by further tests.

III 3

L'APPLICATION DE LA SOUDURE AUX CONSTRUCTIONS MÉTALLIQUES

DIE PRAXIS DES SCHWEISSENS IM STAHLBAU

APPLICATION OF WELDING ON STEEL STRUCTURES

Ingénieur Leoš KOPEČEK et Dr. Ing. François FALTUS
Société Anonyme des anciens Établissements Skoda, Plzeň (Č. S. R.).

Les constructeurs de charpentes métalliques ont appliqué très tard la soudure à l'exécution des constructions métalliques supportant des charges. Les causes de ce retard sont évidentes : le rivetage consacré par une pratique de plusieurs dizaines d'années, pratique marquée par l'exécution de puissantes constructions métalliques, fournissait un moyen simple et à toute épreuve pour l'exécution des assemblages les plus difficiles et permettait de réaliser des constructions parfaitement étudiées. Il a fallu les tendances de ces dernières années à *simplifier la forme* et l'exécution et à *réduire les frais*, et la certitude que ces exigences seraient remplies dans une large mesure par la soudure, pour frayer le chemin à ce dernier procédé. Ces tendances se trouvaient enrayées par le manque de prescriptions appropriées et, de ce fait, par la méfiance de l'opinion générale des techniciens et surtout des clients.

La soudure autogène appliquée à la construction des machines, des réservoirs et des canalisations (à la construction métallique parfois seulement et comme moyen auxiliaire) fut bientôt remplacée par la soudure électrique (le caractère spécial des constructions métalliques et le retrait pendant la soudure ainsi que la question des prix jouent probablement dans ce cas le rôle décisif). Ce fait nous permet de nous borner ici à la soudure électrique, c'est-à-dire à la soudure à l'arc, car les autres procédés, comme le procédé de soudage combiné, le soudage par points, etc., paraissent être pour le moment moins importants en construction métallique. Nous nous trouvons actuellement en pleine période de développement du nouveau procédé de travail et ne pouvons par conséquent que traiter le problème lui-même, sans déduire des conclusions définitives.

A. Le bureau technique. Projet.

Le fait de l'application de la soudure électrique à l'exécution des constructions métalliques n'a eu, pour ainsi dire, aucune influence sur l'importance et la fonction du bureau technique. Ce procédé, lui aussi, exige un projet bien

étudié, un calcul de stabilité exact et des détails soigneusement élaborés. Tous ces travaux doivent être confiés à des constructeurs doués d'un esprit créateur, puisqu'il s'agit de créer sur un terrain tout nouveau.

1. Calculs.

Dans le cas des charpentes métalliques soudées, le calcul des sections des éléments qui travaillent devient un peu plus simple que dans le cas de la charpente rivée. Il faut, par contre, tenir compte de la continuité de l'assemblage ou de l'effet d'encastrement. Il est évident qu'il est nécessaire d'étudier les cordons d'assemblage exactement, par le calcul, afin d'obtenir un projet convenable tant au point de vue statique qu'au point de vue économique.

2. Dessins.

Les dessins, eux aussi, doivent être élaborés soigneusement. Les cordons de soudure doivent être indiqués selon leur position, leur section et leur longueur. Il est vivement recommandé de choisir l'échelle des dessins et des détails un peu plus grande que d'habitude, afin de présenter le travail d'une manière plus claire. Il serait extrêmement désirable que la *désignation* des différentes sortes de cordons soit l'objet d'une *normalisation internationale*.

3. Matériel. Sections.

La détermination des sections prend une forme *plus simple*. Le nombre de détails est moins grand que dans la construction rivée. La cornière perd sa place dominante en tant qu'élément d'assemblage et cède la place au fer plat, au large-plat et au fer à T. On emploie de préférence pour les membrures de la charpente les profils en I sectionnés en deux. Les programmes actuels de laminage répondent insuffisamment aux exigences des constructeurs spécialisés dans la soudure. Il faut espérer que dans un avenir très proche on mettra sur le marché de nouvelles catégories et séries de profils. Les sections en caissons ou sections tubulaires souvent proposées présentent, à notre avis, des inconvénients pratiques (peinture, entretien et contrôle) ; en outre, les avantages que l'on met en évidence ne sont quelquefois qu'*apparents* ; les tubes sont chers et l'économie de poids compense à peine le prix plus élevé du matériel.

4. Étude de la Construction.

Les principes généraux de la construction restent les mêmes que pour la construction métallique soudée. Ici aussi les nœuds d'assemblage du système gardent toute leur importance ; les barres sont à assembler axialement, etc. Par contre le constructeur doit se libérer de certaines règles anciennes auxquelles il est habitué. Il doit choisir les sections, les joints et les assemblages conformément à la nature du nouveau procédé (p. ex. poutres à âme pleine se composant de la tôle et des semelles, éléments raidisseurs en fer plat, raccordement croisé, assemblage des poutres au moyen des plaques soudées en travers, etc.). Remarquons en passant qu'il faut, — également pour des raisons d'ordre économique, — éviter l'application simultanée au même élément du soudage et du rivetage ainsi que l'emploi de boulons.

5. Montage.

Le procédé de montage doit être pris en considération d'une façon particulièrement attentive, et il est à déterminer d'avance avec le technicien spécialiste de la soudure, afin d'éviter des surprises désagréables et des échecs. On ne peut pas répondre d'une manière générale à la question de savoir si les joints et les raccords de montage sont à souder, vu que ceci dépend de la position sur place, des dimensions et de la nature de l'objet. On peut considérer toutefois comme règle que les simples joints isolés, dispersés sur toute la charpente, ne doivent pas être soudés, ceci pour éviter l'établissement d'un échafaudage coûteux et l'amenée du courant. La question des frais, sur laquelle nous reviendrons plus tard, joue ici le rôle décisif.

6. Économie de poids.

Nous avons déjà mentionné que la soudure contribue à une sérieuse réduction du poids, notamment par suite de :

a) La prise en considération de la continuité et de l'effet d'encastrement.

b) L'application des formes appropriées aux charges à supporter et faciles à exécuter en soudure.

c) Une meilleure utilisation du métal (forme de profil plus avantageuse).

d) L'élimination des points faibles dans des barres travaillant à la traction.

e) La simplification des éléments raidisseurs (fers plats simples, tôles transversales, etc.) et des raccords, l'absence des fourrures, des couvre-joints, c'est-à-dire une diminution du coefficient de construction.

On ne peut pas définir d'une façon générale le montant de l'économie réalisée sur le poids ; cette économie dépend de la nature de l'objet, des prescriptions et, bien entendu, de l'habileté et de l'expérience du constructeur. Sur des constructions tout à fait simples, consistant dans la majorité des cas en profilés, l'économie est insignifiante : 3 à 5 %; par contre, dans des poutres à âme pleine et en treillis, on économise beaucoup, jusqu'à 20 % et davantage ; sur la construction des ponts-route d'une portée moyenne, l'économie est de 15 à 20 %. Pour certains détails, la diminution de poids peut évidemment être encore plus considérable si, grâce à la soudure, on arrive à obtenir une forme très simple et réduite, comme par exemple pour différents paliers, consoles, pieds et têtes de colonnes.

B. Les ateliers et l'exécution.

1. Soudeurs.

Pour suivre le travail des ateliers, il faut parler avant tout des soudeurs. Déjà au moment du choix, se posent diverses questions concernant l'aptitude professionnelle, la sélection au point de vue psychotechnique, la préférence pour des ouvriers non spécialisés ou pour des forgerons ou des serruriers.

Une pratique du métier de soudeur d'une durée approximative de 5 à 6 semaines devrait, à notre avis, suffire pour une instruction sommaire, c'est-à-dire pour obtenir de bons cordons de soudure dans les différentes positions normales. Ceci en supposant qu'après le délai de la première semaine on éliminera les ouvriers « inaptes ». Une surveillance très sévère, un contrôle

continuel ainsi que les examens périodiques des soudeurs sont absolument nécessaires même après le délai susmentionné. Pour remplir ces conditions, il faut un maître-soudeur expérimenté, auquel on confierait aussi l'instruction ultérieure de son équipe.

Le côté hygiénique du travail doit aussi être pris en considération. Même si la pratique du métier n'a pas confirmé les craintes qui surgirent au début relativement au danger pour les yeux et les organes de respiration, et si les recherches scientifiques de ces derniers temps ont pour la plupart fait disparaître ces soucis, il est tout de même nécessaire de demander conseil à un médecin quand on procède au choix des soudeurs. Il faut naturellement prendre soin que les conditions de travail soient aussi bonnes que possible.

2. Électrodes et génératrices de courant.

Le choix du type de groupes générateurs pour la soudure est actuellement, dans la plupart des cas, une question d'économie qui, au fond, n'est influencée que par le prix du courant et le choix des électrodes. La question : courant continu ou courant alternatif, convertisseurs à plusieurs prises ou bien multiples, n'a pas une grande importance au point de vue de la technique de la soudure, ceci en supposant l'emploi de groupes électrogènes appropriés au service des ateliers et suffisamment calculés. Quant aux soudeuses automatiques, elles ne se répandront certainement pas de si tôt en Europe, où on ne connaît pas la production en série en construction métallique et où les salaires des ouvriers soudeurs ne sont que d'une importance secondaire à côté de ceux des autres ouvriers.

En ce qui concerne les électrodes elles-mêmes, la question litigieuse des électrodes « enrobées » ou « nues » s'éclaircit lentement. Les valeurs maxima de l'allongement et de la résistance, de même que les valeurs élevées de la fatigue du matériel ont été obtenues jusqu'à présent grâce à la protection des scories. Une préparation parfaite, spécialement dans le cas de la soudure en plusieurs couches qui exige une élimination soignée des scories, est toutefois plus difficile et ne peut pas être surveillée aussi facilement que ne l'exige *le travail d'usine*. Sous ce rapport, les électrodes nues sont plus avantageuses même si les valeurs de la résistance à obtenir sont moins favorables ; elles sont en tout cas suffisantes pour les efforts statiques que l'on rencontre en général dans les charpentes. Les électrodes construites sur le principe des câbles comportant une âme spéciale occupent sous ce rapport une place intermédiaire.

3. Assemblage.

Pour l'assemblage des pièces à souder, on a recours aux dispositifs les plus variés. Leur but consiste à réunir les pièces détachées sans les avoir percées au préalable et sans chablonnage pénible, de les placer dans la position exigée, de bien les y maintenir pendant la soudure. Les accessoires comprennent les agrafes simples, l'étau, les dispositifs de serrage en forme de cadre pour l'assemblage des poutres à âme pleine et les tables de montage de l'exécution la plus simple jusqu'à la plus compliquée. Quelques-uns de ces dispositifs ont même été brevetés, quoique, au fond, tous soient construits sur le même principe.

Les prévisions suivant lesquelles la soudure apporterait une telle transformation dans la production, qu'il suffirait simplement d'amener les profilés directement du laminoir sur le chantier, en longueurs exactement déterminées, pour y être assemblés par soudure, ne se sont pas réalisées. L'expérience démontre au contraire que, pour que la production soit rationnelle, il faut un service d'atelier aussi bien organisé que pour les constructions rivées. Un travail préparatoire plus intense est même nécessaire dans beaucoup de cas, étant donné que certaines parties du travail, et particulièrement *la suite des opérations de soudure*, doivent être exactement déterminées.

4. Retrait.

La marche des travaux d'atelier pour les constructions soudées est guidée par la considération du retrait et des déformations inévitables, qui nécessitent des travaux et une mise au point supplémentaires. Les contractions sont dues à deux causes essentiellement différentes, mais qui sont inséparablement liées. L'une est la diminution du volume du métal d'apport lui-même, appliqué à l'état de fusion. Le praticien peut arriver à la réduire en soudant en plusieurs couches, mais il est impossible de l'éliminer complètement. La soudure en plusieurs couches est du reste opposée à la tendance actuelle d'utiliser par raison d'économie des électrodes très épaisses (jusqu'à 8 et 12 mm. de diamètre). La deuxième cause des contractions est l'échauffement irrégulier du métal de base ; les tensions qui s'y manifestent ne disparaissent après l'égalisation de la température que dans le cas où la limite élastique abaissée par l'échauffement n'a été nulle part dépassée. La conduction de chaleur plus ou moins rapide joue par conséquent un rôle décisif. Le praticien cherche à élever la conductibilité calorifique par des moyens artificiels, par exemple par la superposition de plaques en cuivre, par l'enfoncement dans du sable humide, ou bien il cherche à obtenir un résultat meilleur en procédant à une soudure discontinue, ce qui donne plus d'espace disponible à la propagation de la chaleur. La réduction de ces deux influences dans la plus grande mesure possible sera réalisée au moyen des cordons de soudure discontinus, qui, à ce point de vue, devraient par conséquent être toujours adoptés. Le principe fondamental devrait être : déterminer la marche de la soudure de telle façon que les contractions puissent se produire librement, surtout dans les cas où ces déformations ne sont pas nuisibles.

Dans les sections dissymétriques, les cordons d'angle, qui sont d'ailleurs sans danger, produisent une flexion de l'axe de la barre. On y remédie par une soudure progressive, partant du milieu, par une fixation rigide des parties assemblées au moyen de montants travaillant en sens contraire ou bien par la flexion préliminaire à froid des parties en question. On réussit dans bien des cas à éviter, grâce à ces dispositions, les déformations signalées plus haut ; le peu de déformations qui subsiste est éliminé par le finissage ultérieur à froid ou bien par un réchauffage prudent des endroits opposés à la soudure. Le technicien a un problème très difficile à résoudre, à savoir quels sont les moyens qui laissent subsister les tensions additionnelles les plus faibles. Nous sommes d'avis qu'il n'y a pas une grande différence entre les différentes méthodes de finissage ; en ce qui concerne les tensions internes, il

n'existe pas de grande différence à la soudure, entre les pièces symétriques et dissymétriques. Si les barres, grâce à l'adoption d'une méthode convenable, restent exactement droites, cela signifie simplement que les tensions internes se trouvent en équilibre.

On n'a pas jusqu'à présent consacré à ces questions suffisamment d'études théoriques basées sur des essais pratiques, pour pouvoir étudier par le calcul les phénomènes correspondants au moins les plus simples. Ce qu'on sait actuellement encore moins, c'est de quelle manière les efforts mis en jeu par la chaleur agissent sur la capacité de charge des constructions. Les insuccès, tels que le déchirement des cordons de soudure causé par les efforts de déformation, montrent l'importance des forces mises en jeu. Des essais de charge sur les constructions soudées, poussés même jusqu'à la rupture, n'ont toutefois montré à ce sujet aucune diminution de la capacité de charge.

Les tensions internes provoquées dans le métal lui-même disparaissent avant que les fatigues dues aux forces externes ne puissent dépasser la limite d'allongement. Il ne faut donc pas attacher trop d'importance à l'influence des tensions de retrait surtout lorsque l'on se limite à la soudure des aciers normaux. Dans le cas des aciers spéciaux, l'importance des tensions et des déformations augmente proportionnellement à la limite d'élasticité. Tant que l'on ne pourra pas déterminer théoriquement les efforts additionnels, on ne pourra pas les faire intervenir dans un sens favorable. Une collaboration internationale, sous la direction de l'A.I.P.C., pourrait contribuer à la solution du problème.

5. Contrôle.

Nous ne sommes actuellement pas beaucoup plus avancés qu'au début de l'application de ce procédé. La radiographie a fait, il est vrai, des progrès qui promettent beaucoup, mais elle est encore loin d'être assez développée pour pouvoir être appliquée dans les ateliers de construction métallique. Les autres méthodes d'essai n'ont pas subi non plus les épreuves d'adaptation pratique, de sorte qu'actuellement, comme autrefois, c'est l'appréciation visuelle qui règne. L'examen des cordons de soudure au point de vue de la bonne pénétration et, ce qui est plus important, la surveillance continuelle des soudeurs, pendant leur travail, par des contrôleurs qui eux-mêmes connaissent à fond leur métier, doivent suffire dans des conditions normales, surtout si les ouvriers soudeurs sont astreints à des épreuves régulières. Dans les cas douteux, le fraisage des cordons de soudure et l'essai à l'acide sont d'une grande valeur, car on peut ainsi constater la bonne pénétration de la soudure. A côté de l'épreuve de la qualité des cordons, il est nécessaire de surveiller spécialement leur bonne disposition et l'exactitude du profil. Dans les constructions rivées, il est presque impossible qu'un groupe de rivets ait été oublié, soit entièrement, soit partiellement ; dans le cas des cordons de soudure, par contre, une omission ou une longueur inexacte des cordons est bien plus facile. Un excès de prudence vaut mieux, dans ce cas, que le contraire.

C. Montage.

Le montage des constructions soudées sur le chantier est exécuté souvent à l'aide de boulons ou de rivets, car l'emploi de la soudure sur le chantier de

montage n'est pas toujours économique. Quand on veut faire usage de la soudure sur le chantier même, il faut avoir soin d'en tenir compte déjà dans le projet et de ne prévoir à cet effet que des cordons de soudure dont les positions correspondent au degré d'habileté des soudeurs, afin que ceux-ci puissent exécuter leur travail avec sécurité et sans défauts. Il serait indiqué de faire subir au monteur-soudeur des épreuves spéciales d'aptitude et de procéder, si cela est nécessaire, dans les cas difficiles, aux essais de contrôle sur le chantier même.

Il faut prendre soin d'installer pour les soudeurs une bonne et solide plateforme de travail, ainsi que d'établir un abri convenable contre le vent et les

Fig. 1. — Hall de montage pour avions, Parague. Portée des arcs 24 m. Construction entièrement soudée aux ateliers et vissée sur place.

Montagehalle für Flugzeuge bei Prag. Spannweite der Bogen 24 m. Die ganze Konstruktion wurde in der Werkstätte geschweisst und auf der Baustelle zusammengeschraubt.

Erecting Shop of Aeroplanes near Prague. Span of Arches 24 m. Structures welded at the Workshop and screwed on the Building Yard.

influences atmosphériques. Certes, un soudeur peut se tirer d'affaire sans ces moyens, mais alors son attention est inutilement détournée.

Le montage des éléments dans de bonnes conditions de sécurité, avant et pendant la soudure, constituent une question spéciale. Beaucoup de constructions exécutées avec succès attestent que les ateliers ont également surmonté ces difficultés.

D. Frais de production. Économie.

Les frais totaux peuvent être déterminés de la manière la plus simple, par le poids et le prix unitaire. Celui-ci résulte du prix des matériaux, du salaire,

de la régie, du transport, des frais de montage et de déchargement, ainsi que du prix de la peinture. Le peu de temps qui s'est écoulé depuis l'introduction de la soudure en construction métallique, et la diversité des problèmes et des conditions, ne permettent pas pour le moment d'établir des barèmes uniques ou une analyse précise du calcul des prix.

1. Matériel. Le prix est à peu près le même — plutôt un peu plus bas — que celui des constructions rivées. Le prix des électrodes équivaut au prix des rivets. Une légère baisse du prix peut être obtenue par la diminution du

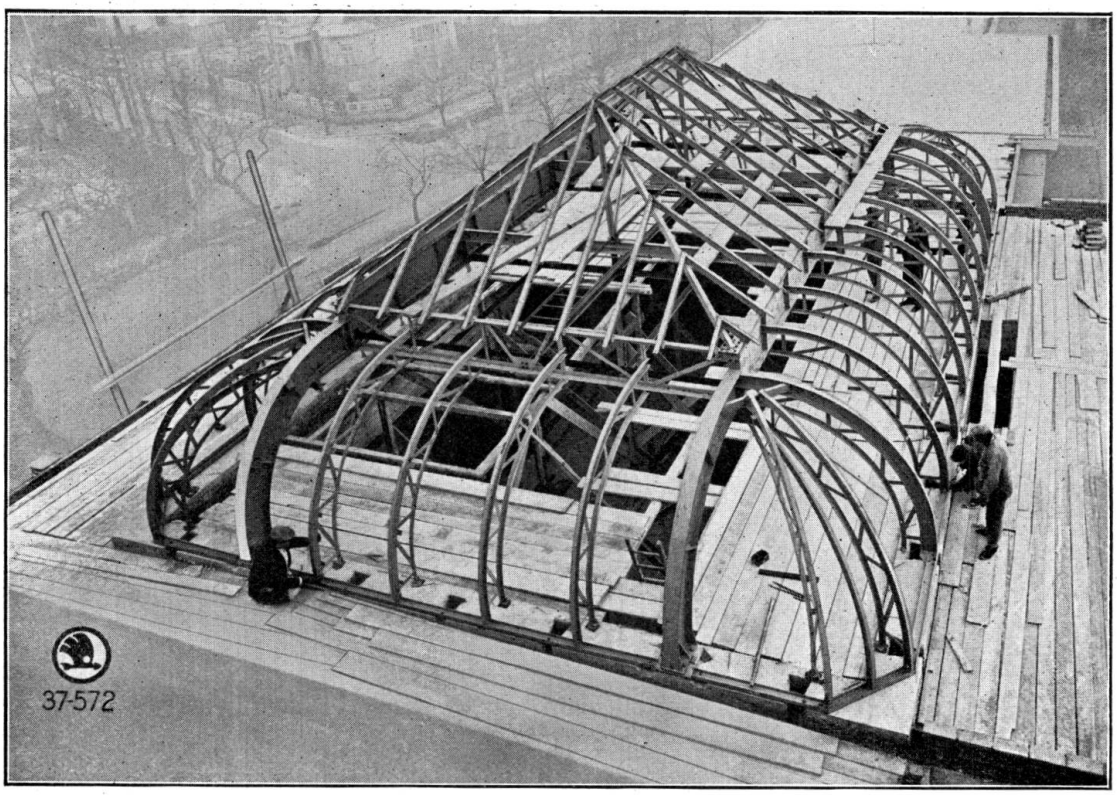


Fig. 2. — Charpente de toiture entièrement soudée, au-dessus de la salle de l'Hôtel à Plzeň. Portée de la charpente 12.8 m.

Vollständig geschweisster Dachstuhl über dem grossen Saal des Hôtels in Pilsen. Stützweite 12.8 m.

Completely Welded Roof Structure over the Hall of the Hôtel in Plzeň. Main Span 12.8 m.

nombre des types de profilés. On peut s'attendre à l'avenir à certaines économies grâce à une meilleure possibilité de constituer des stocks de matériel, car on peut réduire le stock par une meilleure adaptation aux séries de profilés.

2. Salaire. Le travail préliminaire et la préparation des pièces séparées sont en général plus simples et meilleur marché que les travaux correspondants, dans le cas des constructions rivées. Par contre, la soudure elle-même demande un peu plus de temps et des salaires plus importants que le travail de rivetage.

3. Régie. A peu d'exceptions près, on peut dire, en général, que les frais de régie sont plus élevés que dans les constructions rivées. Ce sont spéciale-

ment les préparatifs et les dispositifs accessoires, ainsi que la consommation du courant qui élèvent sensiblement cette position.

4. Transport et frais de déchargement. Ils sont les mêmes dans les deux sortes de constructions.

5. Frais de montage et de peinture. Ceux-ci diffèrent principalement suivant que les assemblages sont soudés ou boulonnés. Les échafaudages nécessaires pour la soudure et les dispositifs accessoires renchérissent le travail sur le chantier de montage et peuvent éventuellement annuler les autres économies.

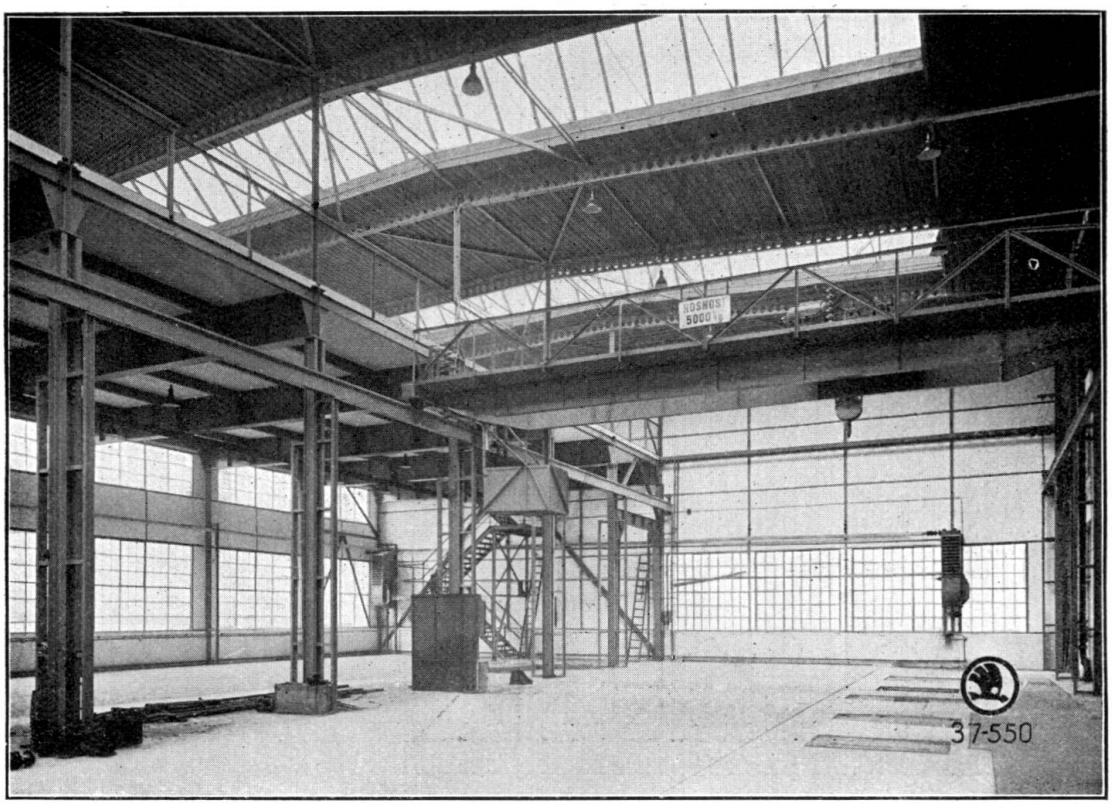


Fig. 3. — Ateliers de pressage des tôles et pont électrique à Plzeň.
Constructions entièrement soudées aux ateliers et sur place.
Pressblechwerkstätte und elektrischer Kran bei Pilsen. Vollständig geschweisste Konstruktion.
Sheet Pressing Shop and Electric Crane near Plzeň, both completely welded.

Les prix unitaires de montage seront naturellement élevés par l'économie de poids.

Les couches de peinture et leur entretien sont meilleur marché, car les surfaces destinées à être peintes sont habituellement réduites et l'exécution du travail sur des surfaces unies est beaucoup simplifiée.

6. Prix total. On peut déduire de ces considérations que le prix unitaire de la construction est le même ou un peu plus élevé — de sorte que les *économies* sur les prix *totaux* de la construction sont, en pourcentage, équivalents ou légèrement inférieurs *à l'économie du poids. Ce fait contribue au développement du nouveau procédé de travail.*

E. Exemples pratiques.

1. Constructions. Charpentes. Pendant le temps extrêmement court qui s'est écoulé depuis l'introduction de la soudure à l'arc électrique, on a exécuté

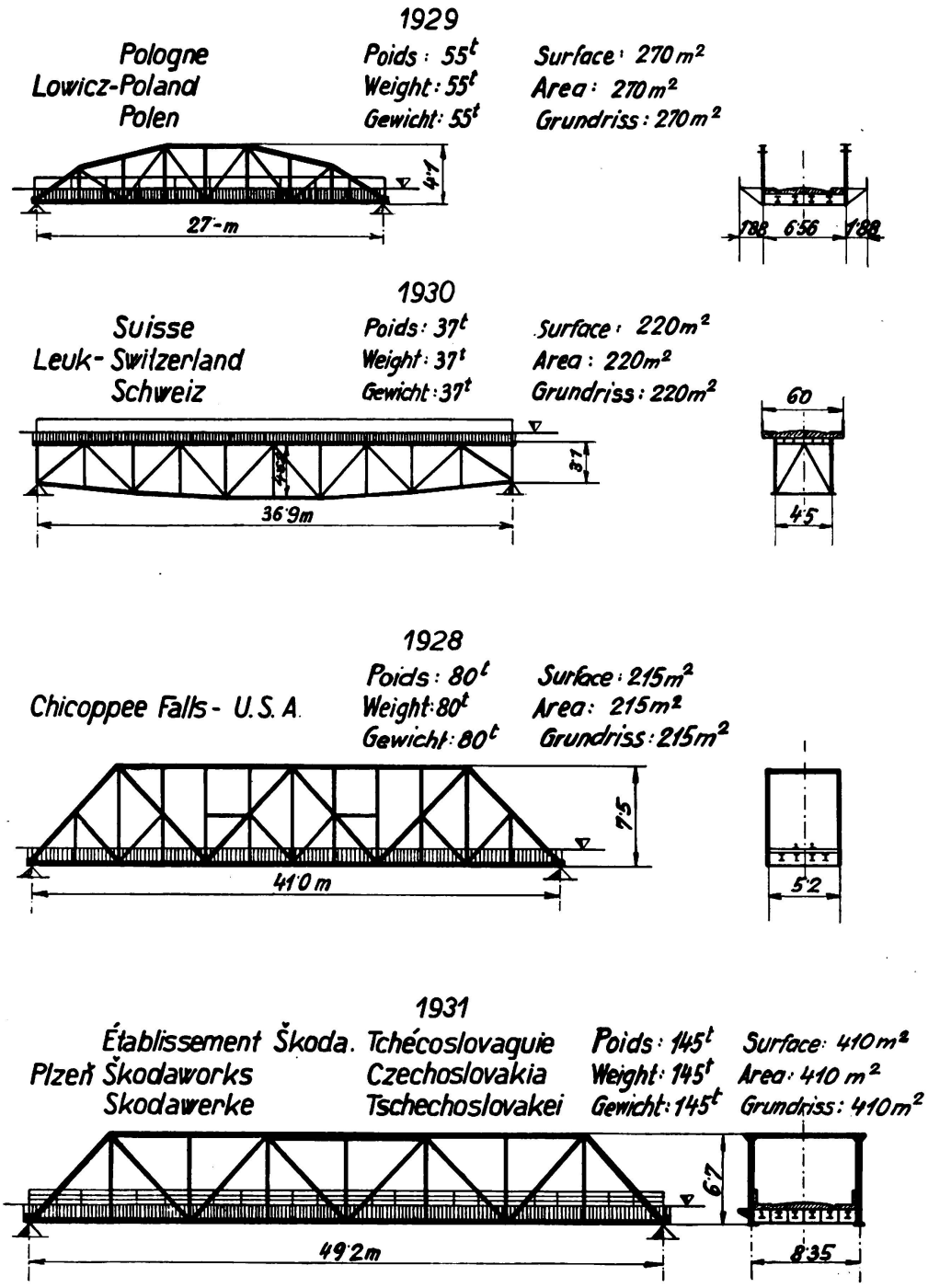


Fig. 4. — Ponts en treillis, complètement soudés.
Vollständig geschweisste Fachwerkbrücken.
Completely Welded Truss Bridges.

toute une série de constructions : toits, cadres, colonnes, voies de roulement de grues, hangars de toutes sortes, pylônes pour lignes, etc. (voir fig. 1, 2, 3)

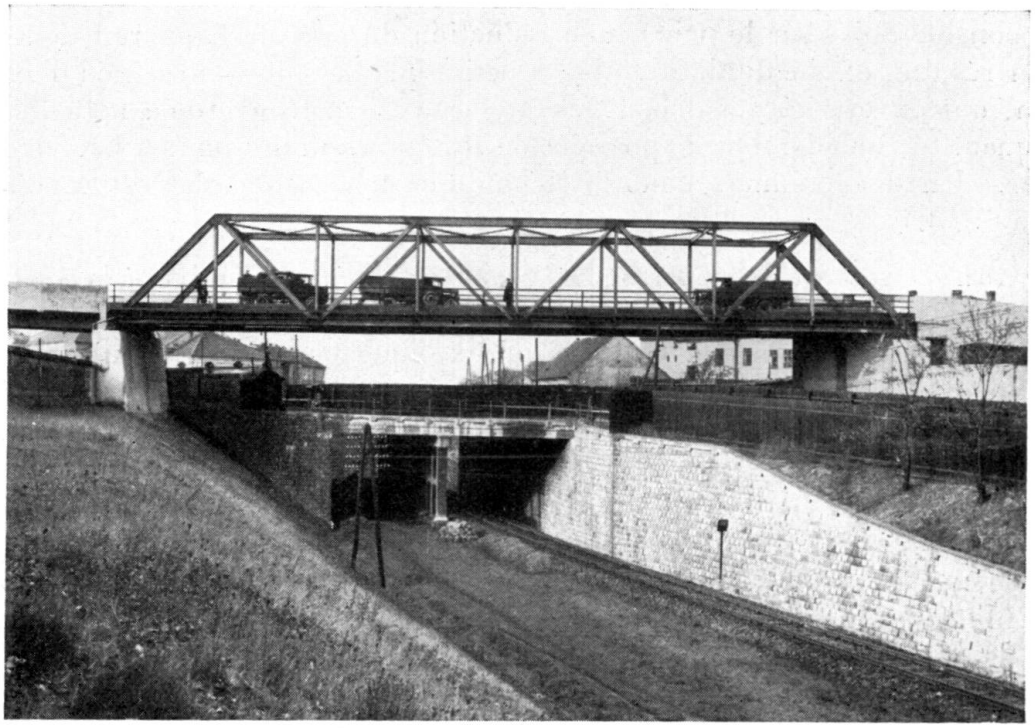


Fig. 5. — Le plus grand des ponts entièrement soudés : Pont-route à Plzeň. Portée 49,2 m.
Die grösste vollkommen geschweisste Brücke : Strassenbrücke in Pilsen. Spannweite 49,2 m.
The largest completely Welded Bridge : Road Bridge in Plzeň, Span 161 ft. 5 in.

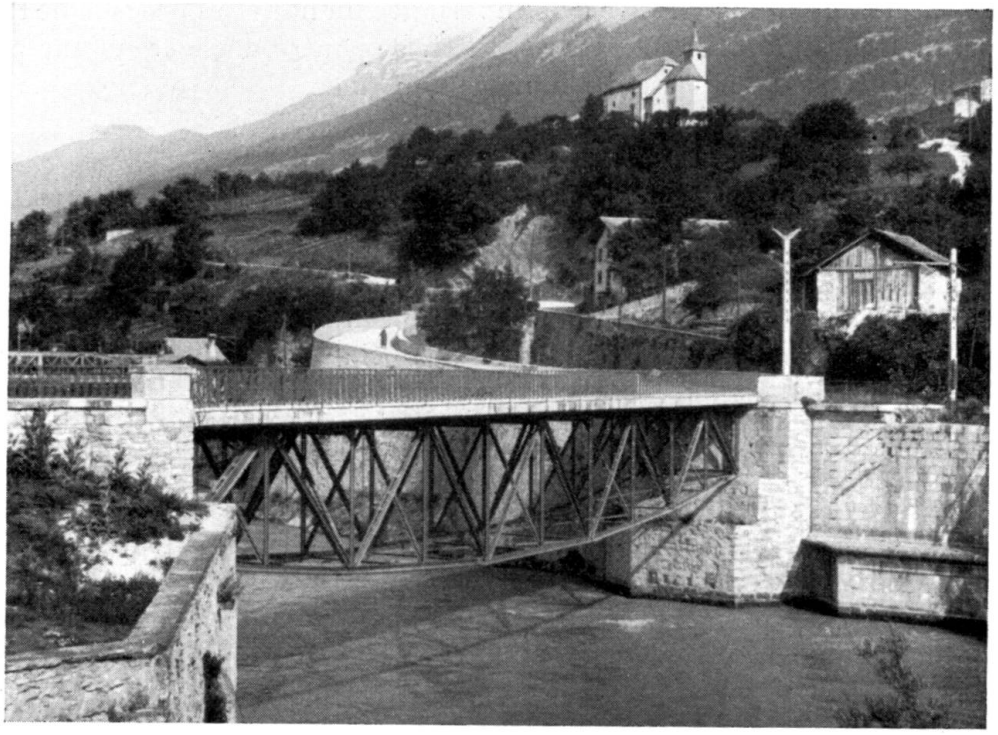


Fig. 6. — Pont-route sur le Rhône à Louèche. Portée 36,9 m.
Strassenbrücke über die Rhône in Leuk. Spannweite 36,9 m.
Road Bridge over the Rhône near Leuk. Span 121 ft. 1 in.

2. Appareils de levage. La simplification de la construction, les économies considérables sur le poids, une réduction du prix de l'appareil de levage qui en résulte, et une diminution — si petite qu'elle soit — des frais d'exploitation, ont ouvert ici des débouchés nouveaux. On trouve déjà actuellement une quantité considérable d'appareils de levage assurant un service irréprochable. (Un des premiers dans la République tchécoslovaque est représenté par la fig. 3.)

3. Construction des ponts. Les grandes exigences relatives à la construction et à la sécurité justifient dans ce domaine une prudence spéciale et un procédé ayant fait ses preuves. C'est ce qui explique pourquoi, jusqu'à présent, on ne peut mentionner que de rares exemples; en ce qui concerne particulièrement les *ponts de chemin de fer*, on ne peut parler que de travaux d'essai. En Europe, à notre connaissance, seuls les C. F. F. (chemins de fer fédéraux suisses) et les D. R. B. (chemins de fer du Reich allemand) ont fait construire des ponts d'essai et les soumettent à l'épreuve de la circulation. En Autriche, un petit pont de chemin de fer sur une voie secondaire est en service. La figure 4 montre l'ensemble des ponts en charpente en treillis connus. La figure 5 montre le pont de plus grande portée qui ait été exécuté jusqu'à maintenant.

F. La normalisation des prescriptions.

Le développement extrêmement rapide de la soudure électrique en construction métallique a déjà provoqué, dans certains pays, la publication ou la préparation de prescriptions concernant le calcul et l'exécution des constructions soudées. Ceci constitue la preuve de l'importance du nouveau procédé de travail.

Ce serait tout à l'honneur de l'A. I. P. C. de contribuer à ce qu'une normalisation internationale soit établie dans ce domaine.

Résumé.

L'introduction de la soudure en construction métallique se traduit par une série d'efforts pour réaliser la diminution des prix et la simplification des constructions.

1. *Bureau technique. Projet.*

L'importance et la fonction du bureau technique dans le processus de fabrication restent les mêmes. Le projet, le calcul et l'étude des constructions soudées doivent être effectués soigneusement. La normalisation internationale des cordons de soudure serait à souhaiter. Les sections des poutres et des barres sont plus simples et plus compactes. Nécessité de l'introduction de nouveaux profilés. Avantages et désavantages des sections en forme de caissons et en forme tubulaire.

a) Étude de la construction. L'étude des constructions doit être entreprise conformément aux règles générales en tenant compte du caractère

spécial du nouveau procédé. *Le montage* doit être étudié avec un soin tout spécial et il faut décider si les joints seront soudés et, le cas échéant, lesquels le seront.

b) Économies de poids. Les économies de poids peuvent être obtenues dans chaque construction, et elles peuvent atteindre 20 % et davantage. Les causes et les résultats sont analysés d'une façon plus détaillée.

2. *Les ateliers et l'exécution.*

a) Soudeurs. On indique quelques points de vue concernant le choix et l'instruction de soudeurs.

b) Électrodes et génératrices de courant. En procédant au choix des électrodes, il faut, dans le cas des constructions métalliques, agir avec prudence ; il faut prendre en considération non seulement les caractéristiques de qualité qui peuvent être obtenues, mais aussi, à côté du prix, la facilité de l'exécution. La question des génératrices de courant peut être considérée comme résolue au point de vue technique.

c) Assemblage. Un travail d'atelier organisé est tout aussi nécessaire dans la soudure que dans le rivetage.

d) Retrait. La suite des travaux d'atelier est essentiellement influencée par le retrait. Les causes des tensions internes de soudure et les tensions elles-mêmes qui en résultent sont mentionnées, ainsi que les mesures à prendre pour diminuer ces tensions. On attire spécialement l'attention sur le fait qu'une *théorie relative aux tensions internes dues à la soudure fait encore défaut.*

e) Contrôle. Un contrôle et un examen des soudeurs, ainsi qu'un contrôle minutieux de la disposition des cordons de soudure, sont indispensables.

3. *Montage.*

Les mesures à prendre pour soudure sur le chantier de montage sont brièvement discutées.

4. *Point de vue économique.*

La structure du prix unitaire : l'influence des différents travaux sur les frais totaux est discutée en détail et l'on démontre l'économie des constructions soudées.

5. *Les exemples* de l'application de la soudure aux constructions métalliques sont expliqués d'une façon critique.

6. *La normalisation des prescriptions sur une base internationale serait à souhaiter.*

Zusammenfassung.

Die Einführung des Schweissens im Stahlbau ist eine Folge der Bestrebungen nach Verbilligung u. Vereinfachung der Stahlbauten. Hemmend wirkten der Mangel an Vorschriften und das Misstrauen der Kundschaft.

1. *Technisches Bureau. Entwurf.*

Die Bedeutung und Funktion des T. B. im Herstellungsprozess bleibt unverändert. Entwurf, Bezeichnung und Durchbildung der geschweissten Tragwerke ist sorgfältig auszuführen. Internationale Bezeichnung von Schweissnähten erwünscht. Querschnitte von Balken und Stäben sind einfacher, gedrungener. Bedarf von neuen Walsprofilen. Vor u. Nachteile von kasten- und rohrförmigen Querschnitten.

Konstruktive Durchbildung von Tragwerken ist unter Beachtung der allgemeinen Grundsätze mit Rücksicht auf die Eigenart des neuen Arbeitsverfahrens vorzunehmen. Der Montagevorgang ist besonders sorgfältig zu erwägen und zu entscheiden, ob und welche Montagestösse zu schweissen sind.

Gewichtsersparnisse sind bei jedem Objekte zu verzeichnen und können dieselben bis 20 % und mehr betragen. Ursachen und Folgen werden näher besprochen.

2. *Werkstätte und Ausführung.*

a) Schweisser. Es wird auf einige Gesichtspunkte bei der Auswahl und Ausbildung der Schweisser hingewiesen.

b) Elektroden und Stromerzeuger. Bei der Wahl der Elektroden muss bei Stahlkonstruktionen vorsichtig vorgegangen werden; massgebend sind nicht nur die erreichbaren Qualitätsziffern, sondern neben Preis auch die Leichtigkeit der Verarbeitung. Die Fragen der Stromerzeuger sind technisch als gelöst zu betrachten.

c) Zusammenbau. Auch beim Schweissen ist ein geregelter Werkstattbetrieb notwendig.

d) Schrumpfungen. Der Gang der Werkstattarbeiten wird von den Schrumpfungen grundlegend beeinflusst. Es werden die Ursachen der Schweiss-Spannungen und der durch sie hervorgerufenen Spannungen angedeutet und auf die Massnahmen hingewiesen, die zur Verringerung derselben angewendet werden. Es wird besonders darauf hingewiesen, dass eine entsprechende Theorie der Schweiss-Spannungen noch fehlt.

e) Kontrolle. Kontrolle und Prüfung der Schweisser und eine peinliche Kontrolle der Anordnung der Nähte ist notwendig.

3. *Montage.*

Vom wirtschaftlichen Standpunkte ist zu entscheiden, ob auf der Baustelle geschweisst wird. Die für die Baustellenschweissung erforderlichen Massnahmen werden kurz besprochen.

4. *Wirtschaftlichkeit.*

Struktur des Einheitspreises : Einfluss der einzelnen Arbeiten und Leistungen auf die Gesamtkosten wird näher besprochen und Wirtschaftlichkeit der geschweissten Tragwerke nachgewiesen.

5. *Beispiele* der Anwendung des Schweissens in Stahlbau werden kritisch erläutert.

6. *Vorschriften-Normung* auf internationaler Basis ist anzustreben.

Summary.

The introduction of welding in steel structures is a result of the prevailing tendencies to economy and simplification. The realisation of these tendencies was retarded by the fact that no specifications were available and by mistrust on the part of clients.

1. *Drawing Office. Design.*

The object and function of the drawing office for the manufacturing process remains unchanged. Design, marking and constructional details of the steel structure to be welded must be executed most carefully. An international mode of denominating the weld seams is desirable. The sections of beams and bars are simpler and more compact. New rolled sections will be required. Advantages and drawbacks of box-shaped and tube-shaped sections.

In regard to the constructional design of supporting structures, due allowance is to be made for the general principles and for the special kind of the new working process. The erection programme is carefully to be considered and it is to be decided whether any and which joints require welding.

Economies in weight are reached for each complete structure, and these may amount to 20 % and even more. Causes and consequences are discussed more fully.

2. *Shop and Execution.*

a) Welder. Mention is made of a few particular points to be heeded in selecting and training suitable operators.

b) Electrodes and generators. When dealing with steel structures, the choice of electrodes should be made with great care. The electrodes should answer, not only as regards quality, but also as regards price and facility of operation. The question of generators may be regarded as solved from a technical point of view.

c) Erection. Also with welding operations a well-organised shop service is essential.

d) Shrinkage. The run of the shop work is influenced by the shrinkages occuring. Mention is made of the causes of welding tensions and of the shrinkage produced by them and of the measures to be taken to reduce them. It has been specially pointed out that a corresponding theory is still wanting under this head.

e) Inspection. Inspection and examination of the welders as well as conscientious control of the arrangement of the seams are necessary.

3. *Erection.*

Economy alone can decide whether welding is to be carried out on the spot. The measures to be taken when the welding is to be done on the spot form the subject of a short discussion.

4. *Economy.*

Composition of basic price. The influence of the individual jobs and performances on the total cost ist treated more fully and the economy of welded steel structures proved.

5. *Examples* of the application of welding steel structures are fully elucidated.

6. *Standardising of specifications* on an international basis is to be aimed at.

III 4

ACTION COMBINÉE D'ASSEMBLAGES RIVÉS ET SOUDÉS

ZUSAMMENWIRKEN VON NIET- UND SCHWEISSVERBINDUNGEN

COMBINATION OF RIVETED AND WELDED CONNECTIONS

Henry DUSTIN,
Professeur à l'Université libre et Directeur du Laboratoire des Matériaux, Bruxelles.

Ces combinaisons peuvent se comprendre de diverses façons. On peut :

1° envisager l'emploi simultané, dans les constructions, d'assemblages rivés et d'assemblages soudés ;

2° envisager l'emploi, dans un même assemblage, de rivets et de soudures.

C'est cette application que nous nous proposons de traiter.

Nous supposerons, de plus, qu'il s'agit uniquement d'étudier le cas où rivets et soudures concourent tous deux à la résistance de l'assemblage ; nous écarterons le cas où rivets et soudures remplissent, dans l'assemblage, des fonctions différentes ; exemples : réservoirs, où la résistance est demandée aux rivets et l'étanchéité à la soudure ; châssis d'autos où la résistance est demandée à la soudure et où quelques rivets interviennent comme éléments de montage.

Les spécialistes de la soudure ont, de longtemps, considéré, comme indésirable, la réunion, dans un même assemblage, d'éléments aussi différents que des rivets et des soudures ; chacun avait fait un peu au hasard quelques expériences, dont les résultats étaient, en général, peu encourageants.

Ce point de vue, très général, s'est trouvé renforcé dès 1925 par les essais systématiques exécutés sur des assemblages très variés à la direction des Chemins de fer Fédéraux Suisses, par M. l'Ingénieur en chef Bühler.

L'opinion paraissait donc fixée, lorsque tout récemment, les nouveaux essais et les publications de M. le Professeur Kayser, de Darmstadt, ont fait rebondir la question.

Partant d'essais en assez petit nombre, ayant pour origine l'étude du renforcement de certains ponts métalliques, M. Kayser préconise l'adoption d'une formule simple et élégante, fixant la résistance à rupture d'un assemblage où sont combinés des rivets et des soudures travaillant en position latérale : la résistance à rupture de l'ensemble serait égale à la résistance des soudures augmentée des deux tiers de la résistance des rivets.

La simplicité d'une telle formule devait, nécessairement, appeler l'attention

des ingénieurs. Il nous a donc paru qu'il convenait actuellement d'aborder l'étude des assemblages combinés par l'analyse et la vérification de la formule de M. Kayser. La question essentielle qui se pose est : quel est le degré de généralité qui peut être accordé à cette formule?

M. Kayser a, en effet, utilisé pour ses essais une éprouvette présentant des dispositions assez spéciales : de par leurs dimensions, les tôles ont une résistance et une rigidité bien supérieures à celles des éléments d'assemblage — rivets et soudures. — Il n'en est généralement pas ainsi dans les constructions réelles.

M. Kayser a fait ses soudures avec du fil « Böhler-Elite », matériau fort bon en soi, mais dont la ductilité est fort inférieure à celle de l'acier des tôles assemblées : les allongements proportionnels, à rupture, sont dans le rapport de 1 à 4 environ. On peut valablement se demander si les résultats auraient été les mêmes en soudant avec une électrode donnant à peu près même allongement que l'acier St. 37, soit 25 % environ, ainsi qu'il est fréquent dans certains pays, tels la Suisse et la Belgique.

Enfin, l'expérience de nos très nombreuses mesures élastiques sur assemblages soudés, nous a montré que la répartition des tensions dans les dits assemblages variait notablement avec la dimension des pièces assemblées; dans le cas présent, il nous semblait probable que la répartition des efforts entre la soudure et les rivets, tant en période plastique qu'en période élastique, devait être une fonction de la largeur des éprouvettes.

En conséquence, nous avons repris les essais de M. Kayser en modifiant ses éprouvettes comme suit : les tôles en St. 37 avaient une épaisseur de 8 mm., en rapport avec le diamètre 18 mm. des rivets ; les goussets en St. 37 avaient à peu près même section totale que les tôles; les cordons de soudure de 8×8 mm. avaient même hauteur que les tôles; ils étaient faits en des électrodes Tensilend donnant une charge de rupture de 45 kgs et un allongement de 25 % environ ; trois séries d'éprouvettes ont été fabriquées où la largeur des tôles était respectivement de 80, 100 et 120 mm.

Les résultats de ces essais sont consignés dans le tableau ci-joint.

Il nous montre des valeurs très régulières, des résistances totales fort intéressantes, généralement supérieures à celles que nous faisait escompter la formule de M. Kayser.

Il nous montre aussi que la résistance à rupture de l'assemblage mixte varie notablement avec les dimensions des pièces assemblées. Pour des tôles de 80 mm. de largeur, nous obtenons une assez bonne conformité avec la formule du Professeur Kayser ; mais l'écart par rapport à cette formule va en augmentant avec la largeur des tôles, pour atteindre 20 % lorsque celle-ci atteint 120 mm.

Peut-être les écarts auraient-ils été un petit peu moins grands si, au lieu d'employer l'électrode Tensilend, nous avions employé une électrode donnant 38/40 kg. de résistance et $\pm$ 20 % d'allongement, ce qui est la moyenne des bonnes électrodes enrobées.

Les conclusions qui découlent de ces résultats sont :

1° En se plaçant uniquement au point de vue de la résistance, la combinaison peut, dans certains cas, être intéressante : l'éprouvette de 80 mm. de lar-

geur montre qu'il suffit de très petites soudures pour donner à l'assemblage la résistance de la section nette des tôles.

2° Le champ d'application correcte de la formule de M. Kayser paraît fort limité.

On peut également se demander — et la question n'est pas neuve — si le degré de serrage des rivets dans leurs trous n'est pas de nature à modifier la résistance de l'ensemble.

Pour nous en assurer, nous avons pris une série d'assemblages identiques aux précédents ; nous avons appliqué aux tôles une tension correspondant à 12 kg./mm2, tension sous laquelle nous avons battu l'assemblage, pour provoquer le glissement des pièces ; ce glissement a été insignifiant : de l'ordre de 0,02 mm. seulement. Après soudure, ces assemblages, préalablement tirés, ont donné des charges de rupture extrêmement voisines de ceux qui n'avaient subi aucun traitement préalable.

Ceci provient, selon nous, du soin avec lequel la rivure avait été exécutée, ce dont témoigne le faible glissement.

Enfin, remarquant que dans nos éprouvettes, la distance du premier rivet au bord de la tôle était relativement forte, nous avons envisagé de réduire celle-ci à 30 m/m, soit environ 1 1/2 fois le diamètre du rivet : les résultats obtenus n'ont pas été sensiblement différents.

Il n'a été question jusqu'ici, que de soudures en position latérale ; il y a unanimité, pensons-nous, pour rejeter la combinaison des rivets avec des soudures en position frontale. Dans ces combinaisons, les soudures frontales quasi indéformables, travaillent comme si elles étaient seules.

Quelles sont les circonstances pratiques où la combinaison pourrait être utilement envisagée ?

Il semble que ce soit surtout pour le renforcement d'ouvrages existants.

La faiblesse relative d'un élément — une barre de treillis par exemple — peut être d'ordre divers et provenir de diverses causes.

a) La barre serait suffisante si l'assemblage avait une résistance réelle égale à celle de sa section nette.

Nous savons déjà qu'il faudra très peu de soudure pour compenser l'insuffisance de l'assemblage rivé — à condition, toutefois, que rivets et soudures travaillent correctement ensemble.

A notre avis, dans un ouvrage fatigué — cas normal d'un ouvrage à renforcer — le jeu des rivets dans les trous sera notable et sans rapport avec les chiffres trouvés aux essais de laboratoires sur assemblages neufs.

Dans ces conditions, il nous paraît bien difficile de préjuger de la répartition des efforts entre rivets et soudures : on sera conduit à mettre un fort excédent de soudure. Une soudure ductile s'imposera naturellement pour favoriser le travail des rivets.

Personnellement, dans notre ignorance forcée et totale du travail réel des rivets, il nous paraîtrait prudent de dimensionner les soudures de façon, à ce qu'elles puissent assurer à elles seules une résistance égale à celle de la section nette de la barre.

Cela ne sera, en général, pas beaucoup plus coûteux et cela sera normalement possible : nos essais poursuivis depuis 1927 sur l'assemblage des profi-

lés, montrent que sur les goussets rivés nous trouverons toute la place désirable pour faire de bonnes soudures.

b) La barre serait suffisante si on pouvait utiliser pleinement sa section brute, ou bien la barre doit être remplacée par un profil plus fort.

Il faut faire sauter les rivets pour remplacer la barre ; dans le premier cas, seule la soudure pure pourra donner à l'assemblage la résistance voulue ; dans le second cas, il sera généralement difficile ou dangereux de percer dans le gousset des trous de rivets supplémentaires ; l'assemblage mixte s'imposera et pourra se traiter comme un assemblage neuf ; mais il sera presque toujours plus simple et plus économique de faire un assemblage purement soudé (suppression de la rivure et gain de poids sur la barre).

En résumé, nous considérons que les cas où les assemblages combinés s'imposeront et où il sera nécessaire ou prudent de faire intervenir dans leur calcul la résistance des rivets et celle des soudures, seront fort rares.

Dans ces cas exceptionnels, nous croyons qu'il serait fort imprudent d'estimer la résistance du joint combiné à l'aide de formules, si élégantes soient-elles ; la répartition des tensions qui se développent dans un nœud de charpente réel est extrêmement complexe et souvent déconcertante ; les mesures élastiques qui se poursuivent depuis plusieurs années dans notre laboratoire nous en apportent chaque jour de nouveaux témoignages.

Nous estimons que l'expérimentation directe est le seul moyen de travailler avec sécurité.

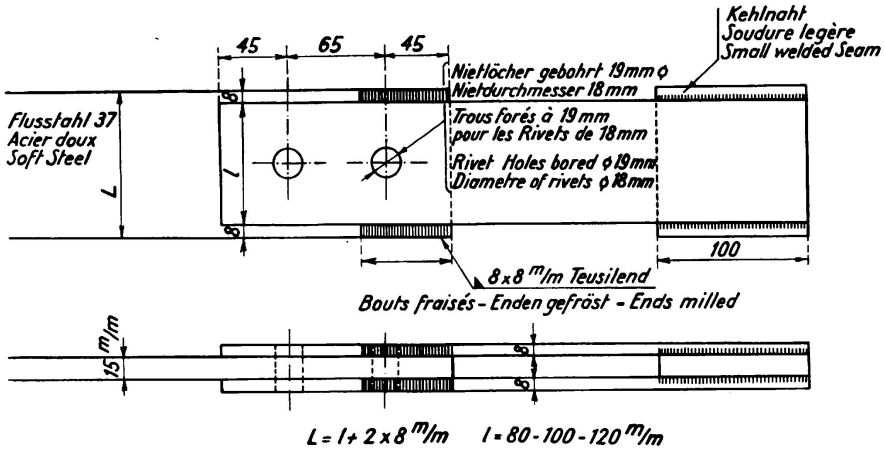
Essais effectués à l'Université de Bruxelles

en vue de vérifier la formule du Professeur Kayser

Novembre-Décembre 1931.

Constitution des éprouvettes.

Elles étaient conformes au croquis ci-dessous, les caractéristiques des matériaux employés étant résumées dans le tableau ci-joint.



Il a été formé trois séries de ces éprouvettes dans lesquelles les tôles avaient, respectivement une largeur de 80 mm., 100 mm. et 120 mm.

Les goussets avaient, en largeur, 2 × 8 mm. de plus que les tôles, de façon à délimiter exactement des cordons de soudures de 8 × 8 mm. Ceux-ci, de

forme isocèle et de profil très légèrement bombé, avaient leurs bouts fraisés pour être mis à longueur exacte.

Résultats d'essais.

I. *Matériaux employés.*

a) Charge de rupture des tôles (3 éprouvettes).

Z = 38,2 — 39,1 — 38,8. Moyenne : 38,8 kg. par mm².

b) Résistance au cisaillement du métal des rivets, sur barrettes 10 × 10.

Z″ = 30,5 — 31,7 — 30,8. Moyenne : 31 kg. par mm².

c) Soudure-Électrode : Tensilend.

Z = 45 kg. par mm².

Al = 25 °/₀ sur éprouvette ronde de 10 × 50 mm.

II. *Assemblages uniquement rivés. Charge de rupture.*

a) largeur 80 mm. : 38,25 T.
b) » 100 mm. : 38,20 T. } Moyenne : 38,8 T.
c) » 120 mm. : 40,20 T.

III. *Assemblages uniquement soudés. Charge de rupture.*

4 cordons isocèles de 8 × 8 mm. longs de 40 mm. à bouts fraisés.

a) largeur 80 mm. : 26 T. / 26,8 T. } moyenne 26,4 T.

b) largeur 100 mm. : 25,2 T. / 25,6 T. } moyenne 25,4 T.

c) largeur 120 mm. : 24,4 T. / 24,4 T. } moyenne 24,4 T.

A remarquer :

a) la régularité des résultats ; *b*) la décroissance de la résistance avec l'augmentation de largeur des tôles.

La soudure de 40 mm. s'étant montrée *trop* résistante dans les assemblages *mixtes* de largeur 80 mm., nous avons repris 2 éprouvettes de 80 mm., avec cordons de 30 mm. qui ont donné :

d) tôles de 80 mm. de large 19,7 T. / cordons de 30 mm. de long 20,3 T. } moyenne : 20 T.

IV. *Assemblages mixtes (soudés et rivés) charge de rupture.*

a) tôles de 80 mm. 47,5 T. / cordons de 40 mm. 47,9 T. } rupture de { la tôle / du gousset } au 1er trou. de rivet.

a′) tôles de 80 mm. 47,6 T. } striction et déchirure de la tôle au premier trou de rivet.

cordons de 30 mm. 47 T. } rivets et soudure sautent ensemble ; amorce de déchirure dans la tôle.

b) tôle de 100 mm. 57,5 T. / cordons de 40 mm. 60 T. / 58 T. } Moyenne 58,5 T. { Rivets et soudure sautent presque ensemble.

c) tôle de 120 mm. 62,3 T. cordons de 40 mm. 62,7 T.	Moyenne 62,5 T.	Idem

V. *Application de la formule du Professeur Kayzer.*

	Résistance calculée	Résistance observée	Différence
a) 80 mm. 20 T.	$+ \frac{2}{3}$ 38,8 T. = 45,8 T.	47 T.	+ 1,2 T. ou 2,5 %.
b) 100 mm. 25,4 T.	$+ \frac{2}{3}$ 38,8 T. = 51,2 T.	58,5 T.	+ 7,3 T. ou 12,5 %.
c) 120 mm. 24,4 T.	$+ \frac{2}{3}$ 38,8 T. = 50,2 T.	62,5 T.	+ 12,3 T. ou 20 %.

VI. *Assemblages préalablement tirés.*

Des assemblages rivés sont tirés sous une charge de 12 kg. par mm² des tôles et battus au marteau. Le glissement produit est de l'ordre de 0,02 mm. seulement. Ils sont alors soudés. On obtient alors comme charge de rupture :

a) tôle de 80 mm. cordons de 30 mm. : 46,6 T. *b*) tôle de 100 mm. cordons de 40 mm. : 59 T. *c*) tôles de 120 mm. cordons de 40 mm. : 61,7 T.	Rivets et soudure sautent presqu'en même temps.

Remarque : valeurs très voisines de celles du tableau IV.

VII. *La distance entre l'axe du 1er rivet et le bord de la tôle est réduite à 30 mm. Charge de rupture.*

a) tôle de 80, cordons de 30	46,2 T.	rivets et soudure sautent ensemble.
b) tôle de 80, cordons de 35	47,7 T.	déchirure partant du 1er rivet.

Résumé.

La réunion dans un même assemblage de rivets et de soudures est généralement considérée comme donnant des résultats peu favorables.

La formule proposée par le Professeur Kayser donnant la résistance combinée des rivets et des cordons de soudures latéraux n'est applicable que dans un domaine limité.

Les cas où l'emploi d'assemblages combinés sera obligatoire ou avantageux paraissent devoir être assez exceptionnels.

Dans ces cas, la prudence impose de recourir à l'expérimentation directe pour déterminer la résistance de l'assemblage combiné.

Zusammenfassung.

Die Vereinigung von Nietung und Schweissung in ein und derselben Verbindung wird allgemein als ein Verstoss gegen die Regeln der Baukunst betrachtet. Die bisher vorgeschlagenen Bemessungsformeln gelten denn auch nur für ganz bestimmte, sehr einfache kombinierte Niet-Schweissverbindungen.

Die Vorsicht gebietet, in allen Fällen zuerst die tatsächliche Festigkeit durch Versuche festzustellen.

Summary.

The use of riveting and welding in one and the same joint is generally regarded as bad practice. The formulae hitherto proposed for measuring the strength of joints hold only for certain, very simple combined riveted and welded joints.

As a matter of caution, it is very advisable in all cases first of all to determine the actual strength by testing.

Leere Seite
Blank page
Page vide