Zeitschrift: IABSE publications = Mémoires AIPC = IVBH Abhandlungen
Band: 4 (1936)

Artikel: Renforcement des ponts métalliques par soudure à l'arc électrique
Autor: Goelzer, A.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-5085

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: 03.07.2025

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

RENFORCEMENT DES PONTS MÉTALLIQUES PAR SOUDURE À L'ARC ÉLECTRIQUE.

VERSTÄRKUNG VON STAHLBRÜCKEN DURCH ELEKTRISCHE SCHWEISSUNG.

STRENGTHENING OF STEEL BRIDGES BY ELECTRIC ARC WELDING.

A. GOELZER, Ingénieur civil de l'école des Ponts et Chaussées, Professeur à l'Ecole Supérieure de Soudure Autogène, Paris.

Causes diverses d'affaiblissement des ponts métalliques.

Un assez grand nombre de ponts métalliques se trouvent actuellement dans un état marqué d'insuffisance vis-à-vis des charges qu'ils ont à supporter. Cette situation provient des causes suivantes:

1° Corrosions partielles ou généralisées.

On constate sur beaucoup d'ouvrages anciens une oxydation parfois profonde des diverses pièces métalliques. Cette oxydation se manifeste, soit par l'apparition de plages de corrosions, véritables dépressions se produisant à la surface extérieure des tôles, soit par un foisonnement de l'oxyde qui se développe dans les interstices des tôles ou des profilés appliqués les uns sur les autres. Dans ce dernier cas, le foisonnement en se développant arrive à faire bâiller les tôles et le mal va en s'aggravant constamment.

Ces inconvénients peuvent avoir plusieurs causes. La première consiste dans le défaut d'entretien de la peinture. La formation de plages de corrosion en est toujours la conséquence. En ce qui concerne le foisonnement, il provient de cette même cause, mais aussi d'un défaut qui se rencontre sur beaucoup d'anciens ouvrages, c'est l'écartement excessif des rivets de bordure dans les paquets de semelles. Bien que ces rivets n'entrent pas en général dans le calcul, on doit les rapprocher suffisamment pour que le serrage du bord des tôles soit assez énergique et empêche ainsi l'invasion de l'humidité entre les tôles.

Il faut reconnaître que l'entretien de certains ouvrages est extrêmement difficile par suite de leur destination même. C'est ainsi que les passages supérieurs sur voies ferrées, exposés à l'action des fumées de locomotives, sont le plus souvent dans des conditions très défavorables pour l'entretien à cause du peu d'espace disponible entre le dessous du tablier et le gabarit. Des masques pare-fumées, convenablement étudiés, constituent un remède efficace, non seulement par leur protection, mais encore par la possibilité qu'ils donnent de visiter plus facilement le dessous du tablier.

Cette question de la corrosion est préjudiciable au développement de la construction métallique. Ce ne sera pas d'ailleurs un des moindres avantages de la soudure dans la construction des ouvrages neufs que de réduire considé-

rablement le nombre des pièces constitutives et de supprimer ainsi en grande partie les interstices et les surfaces de contact des tôles. La construction soudée permet en effet d'assembler économiquement des profilés massifs et des tôles épaisses qui sont par la suite beaucoup moins vulnérables que des pièces composées.

2° Augmentation des surcharges.

Les anciens ponts ont été étudiés pour des surcharges correspondant au vieux règlement; ces pièces ne présentent donc pas le même coefficient de sécurité vis-à-vis des surcharges règlementaires actuelles plus lourdes.

Travaux de réparation, travaux de renforcement proprement dits.

Les considérations précédentes montrent que les travaux de remise en état des ponts métalliques peuvent être divisés en deux classes:

1° Travaux de réparation.

On se trouve en présence d'un ouvrage affaibli par les corrosions et on se propose uniquement de reconstituer les sections primitives au moyen de pièces nouvelles attachées par soudure.

Ces travaux donnent lieu à un grand nombre de réparations de détail dont nous donnerons plus loin des exemples. On a plutôt affaire à des cas d'espèce et il est difficile de fixer des règles pour ces travaux.

Il faut noter que devant la variété des problèmes de soudure qui se posent alors, une collaboration intime du bureau d'études et des techniciens de la soudure est absolument nécessaire.

2° Travaux de renforcement proprement dits.

Ce cas est celui de tous les ouvrages anciens calculés avec les surcharges et les taux de travail des anciens règlements. En calculant le pont avec les surcharges du règlement actuel, il apparait très souvent des taux de travail excessifs pour le métal ancien. Il devient alors nécessaire de rapporter des sections nouvelles convenablement attachées aux pièces existantes.

3° Il va sans dire que l'on rencontre fréquemment la combinaison des deux cas types précédentes. En particulier, quand on se trouve en présence d'un travail de renforcement, il est bien rare qu'il ne se trouve pas en même temps des corrosions plus ou moins importantes qu'il faut réparer. Suivant les cas, ces réparations seront traitées séparément ou combinées avec le renforcement lui-même.

Renforcement des ouvrages métalliques par soudure.

1° Règles générales.

La soudure à l'arc électrique est apparu très vite comme un moyen commode et économique de renforcer les ouvrages métalliques. Aucun autre procédé ne donne toutes les facilités que présente la soudure.

Les renforcements par rivure par exemple, qui sont toujours possibles, présentent l'inconvénient de troubler, tout au moins partiellement, l'état d'équilibre de l'ouvrage. On est en effet obligé de prévoir le dérivetage des parties à remplacer ou à renforcer, et ensuite le rivetage des sections nouvelles rapportées est la plupart du temps difficile.

Avec la soudure au contraire, on opère sans modifier en rien l'équilibre de l'ouvrage existant, d'où un double avantage technique et économique.

Pour arriver à un résultat satisfaisant, la première règle à observer consiste à éviter les têtes des rivets avec les pièces rapportées. L'expérience montre que cela est possible malgré quelques complications de forme pour les pièces de renfort.

D'autre part, on a presque toujours intérêt à ne pas modifier le principe même de construction de l'ouvrage à renforcer. On évite ainsi de créer un ensemble hétérogène dans lequel l'étude de la répartition des efforts qui est déjà difficile deviendrait impossible.

A un autre point de vue, on doit s'efforcer de réaliser la symétrie des pièces, règle de construction sur laquelle les règlements insistent particulièrement. Il est même souvent possible de corriger dans une certaine mesure, par le renforcement, une dissymétrie existante dans le pont primitif.

Enfin, l'étude du projet doit tenir compte de certaines règles imposées par l'exécution même des soudures.

a) On évitera soigneusement les accumulations de soudure en certains points et en général toutes dispositions entraînant la superposition d'effets de dilatation et de retrait. On évitera ainsi de créer des déformations nuisibles dans les pièces de renfort ainsi que dans l'ossature existante.

b) Il est admis aujourd'hui que les soudures au plafond, bien exécutées, présentent toutes garanties de résistance, mais au point de vue économique, il y aura toujours intérêt à réduire au minimum le développement des cordons de soudure au plafond.

c) Les profils de soudures en bout et de cordons de soudure d'angle devront être étudiés avec soin et proportionnés aux épaisseurs des pièces à assembler.

2° Règles spéciales de calcul.

D'une manière schématique, l'étude d'un renforcement de pont nécessite les opérations suivantes:

a) Détermination des taux de travail dans l'ossature ancienne sous la charge permanente actuelle, soit n. Ce taux de travail acquis correspondant aux flèches actuelles de l'ouvrage est l'élément gênant du projet. En effet, si on désigne par r le taux de travail maximum admis pour le métal ancien, on dispose seulement de $r - n$ pour le poids mort supplémentaire et les surcharges.

b) Détermination des taux de travail supplémentaires produits par le supplément de charges permanentes et les surcharges. Ce calcul sera fait en répartissant les efforts dans l'ossature ancienne et dans la section nouvelle associées; on obtiendra ainsi les taux de travail indiqués ci-dessous.

Ossature ancienne — Charge permanente supplémentaire n_s
Surcharge s

Métal rapporté — Charge permanente supplémentaire N_s
Surcharge S

c) Taux de travail définitif après renforcement.

Ossature ancienne: $n + n_s + s < r$

Métal rapporté: $N_s + S < R$

en désignant par R le taux de travail maximum admis pour le métal nouveau.

Or on a toujours $r < R$ on sera donc en réalité limité dans le renforcement par la première inégalité. Le seul moyen d'améliorer la situation est de diminuer n par un artifice quelconque: soit mise de l'ouvrage sur échafaudage

ou sur cintre, soit mise en oeuvre d'efforts artificiels soulageant l'ossature ancienne sous le poids mort existant, soit simplement l'allègement de l'ouvrage en cours de travail.

Ce dernier procédé sera souvent le plus commode à réaliser. Les travaux comprennent en effet ordinairement la réfection et le renforcement du tablier. La démolition de la chaussée et de ses supports permet d'obtenir l'allègement désiré. Si on ne peut interrompre complètement la circulation, on procèdera à cet allègement par parties en limitant la circulation à certaines zones du pont.

Par les divers moyens qui viennent d'être indiqués, on peut donc corriger en partie l'inconvénient signalé plus haut. On arrivera ainsi à faire travailler le métal rapporté à un taux plus voisin de R.

Exemples de renforcements et de réparations de ponts métalliques.

Exemples divers de réparations.

Pont des Chemins de fer de l'Est à Noisy-le-sec.

La fig. 1 représente le remplacement des goussets d'entretoises et leur attache par soudure. Ces goussets avaient été fortement réduits par l'oxydation; on les a coupés au ras des cornières et remplacés par des éléments neufs soudés.

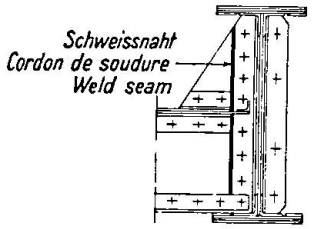

Fig. 1.

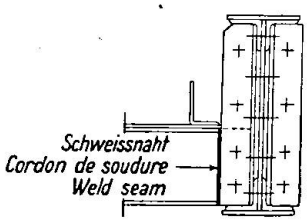

Fig. 2.

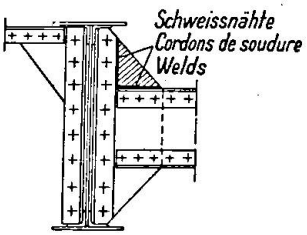

Fig. 3.

Pont de la rue Voltaire à Troyes (Chemins de fer de l'Est).
Réparation d'éléments d'entretoises et de longerons.

Cette réparation a porté sur les âmes et cornières fortement réduites par la corrosion. Pour les remplacer, il aurait fallu démolir la chaussée ce qui aurait entraîné l'arrêt de la circulation sur l'ouvrage.

Pour éviter cette sujétion, on a procédé comme suit: les âmes ont été renforcées par addition de placards comme l'indique la fig. 2. Les cornières supérieures des longerons reçoivent les tôles embouties qui supportent la chaussée et qui étaient en bon état. Pour remplacer ces cornières, on a d'abord étayé les tôles embouties; les cornières rongées ont été dérivées et enlevées, puis les tiges des rivets verticaux V ont été affleurées sur les tôles au chalumeau-coupeur. Les nouvelles cornières furent alors mises en place et rivées sur l'âme du longeron (rivets H) enfin les ailes horizontales furent soudées sur les tôles par cordon (fig. 3).

Réparations de plages de corrosions (Chemins de fer de l'Est).

La Compagnie des Chemins de fer de l'Est se propose de faire sur plusieurs de ses ouvrages des reconstitutions de sections par apport de métal au moyen de la soudure à l'arc. La fig. 4 donne une idée du genre de réparation envisagé.

Travaux de renforcement et de réparation du pont J. F. Lépine.

Cet exemple est une application mixte de renforcement et de réparation, avec prépondérance des réparations. La fig. 5 montre la constitution de l'ouvrage.

Motif des travaux de réparation et de renforcement.

Le Service des Travaux de la Ville de Paris s'était aperçu depuis longtemps des corrosions qui atteignaient les longerons, certaines parties des pièces de pont et la partie basse des poutres principales. Ces corrosions étaient causées

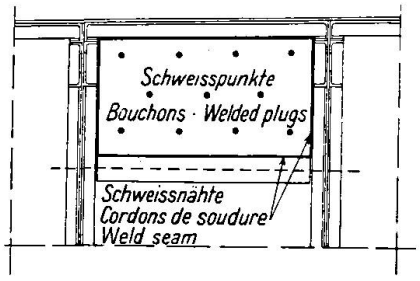

Fig. 4.

par les fumées des locomotives qui stationnent sous le pont à cause d'une passerelle à signaux qui se trouve à proximité.

L'entretien de ce pont était très difficile car il était extrêmement pénible de rester sous le tablier du pont en raison du trafic intense sur les voies du Nord.

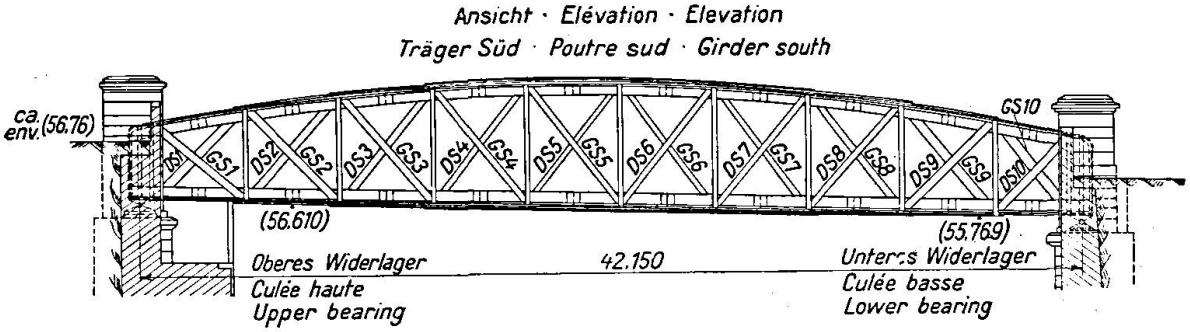

Fig. 5.

A la suite de plusieurs visites, on a relevé les corrosions et on s'est aperçu que, sous les charges du Règlement de 1927, les taux de travail dépassaient les limites permises en beaucoup de points. Il était d'autre part inadmissible de ne pas réparer les corrosions très importantes relevées au cours des visites successives.

Il a donc été décidé par le Service des Ponts et Chaussées de la Ville de Paris de renforcer l'ouvrage, ou plus exactement, de le réparer de manière à reconstituer les sections primitives qui auraient été encore suffisantes, sans les corrosions, pour répondre au Règlement actuel. En même temps, on en a profité pour refaire la chaussée et aménager des trottoirs permettant une pose et une visite facile des diverses canalisations.

Description des travaux.

1° Longerons.

Ces pièces ont été renforcées par un enrobement de béton armé, après réparation par soudure des parties les plus abimées (fig. 6).

Ces réparations par soudure sont de deux types:

a) Remplacement complet des âmes découpées préalablement au chalumeau oxy-acétylénique; l'âme nouvelle est soudée sur l'ensemble constitué par les 2 cornières et les morceaux d'âme pincés entre elles.

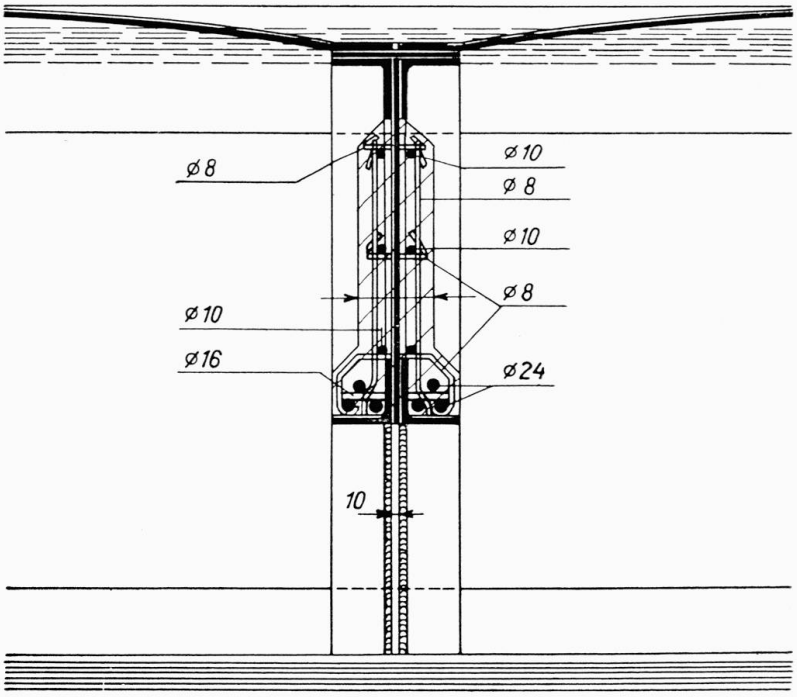

Fig. 6.

b) Membrure inférieure. — Coupe au chalumeau oxy-acétylénique des extrémités d'ailes corrodées des cornières; renforcement par une semelle de 12 m/m attachée par soudure sur le bord de la partie restante des ailes des cornières.

Fig. 7.

2° Pièces de pont.

Les entretoises étaient relativement en bon état et on a simplement renforcé les extrémités de certaines de ces pièces au voisinage des poutres principales.

Découpage des abouts des semelles d'entretoises. — Remplacement par des bandes soudées à coeur.

De plus, il a été constaté un peu partout des foisonnements importants entre les dernières semelles. On a été ainsi amené, suivant les cas, à remplacer des rivets, soit à les renforcer par soudure, soit enfin à découper les parties les plus atteintes et à les remplacer par des plaques soudées.

3° Poutres principales (fig. 7).

Sur les poutres principales on a eu à faire des réparations locales qui ont surtout porté sur les barres de treillis et qui peuvent se classer ainsi:

a) soudure des plaques renfort d'âme sur les diagonales (fig. 8 et 9);

b) plaques de renfort d'extrémités de semelles sur les diagonales et aussi sur les membrures (fig. 8 et 9);

c) sur les diagonales en 1 jumelés ainsi que sur les montants, soudure de semelles supplémentaires en remplacement des cornières découpées au chalumeau et enlevées (fig. 8 et 9).

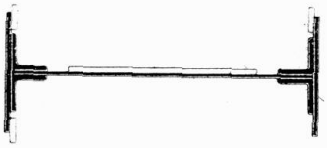

Fig. 8.

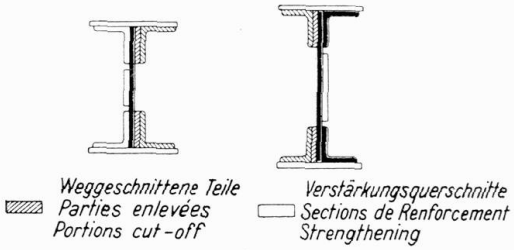

Fig. 9.

Ce travail a donné lieu à un renforcement provisoire intéressant. Le pont présentant en effet une pente et il se trouvait que sous la partie basse il n'y avait pas de place suffisante pour construire l'échafaudage et faire commodément les travaux. Il a été décidé de rendre le pont horizontal en le soulevant par une rotation autour des appareils d'appui de la partie haute.

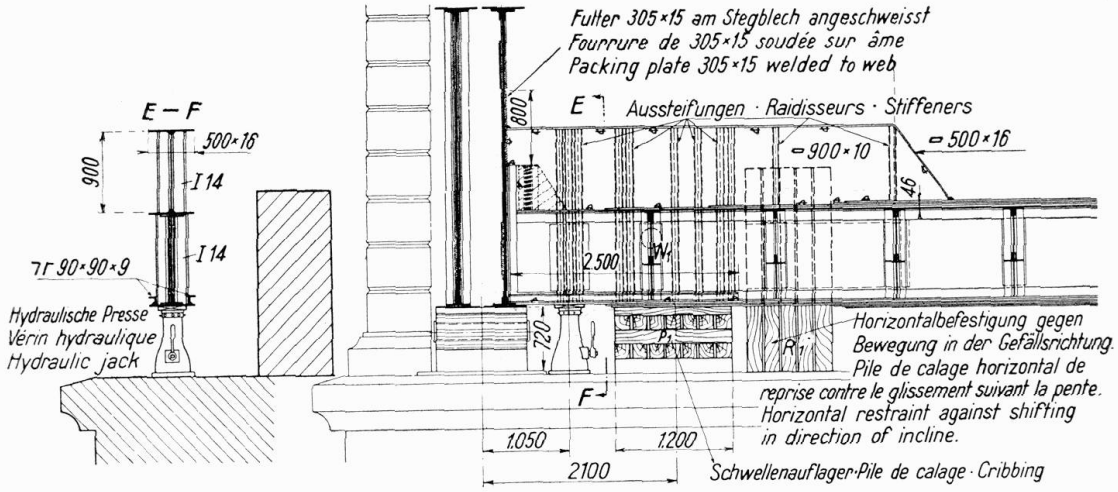

Fig. 10.

Ce soulèvement ne pouvait s'effectuer en agissant sur les poutres principales à cause des pilastres en maçonnerie importants. On a donc dû soulever le pont en agissant avec des vérins sur la pièce de pont d'extrémité.

Le calcul ayant montré qu'il fallait exercer à chaque groupe de vérins une réaction de 110 T, les pièces de pont étaient insuffisantes pour résister à cet effort. C'est pourquoi on a été amené à les renforcer à l'effort tranchant par des pièces spécialement étudiées qui ont été soudées provisoirement à la partie inférieure (fig. 10).

Ces pièces se composent essentiellement d'une âme, de 2 semelles et de raidisseurs entièrement soudés à l'arc électrique. C'était en somme un exemple d'une poutre neuve à âme pleine soudée.

Dans ces conditions, le soulèvement s'est bien effectué; les poutres principales ont glissé sur 2 plaques d'appui existantes en acier qui se trouvaient scellées dans la maçonnerie et le pont a été rendu horizontal.

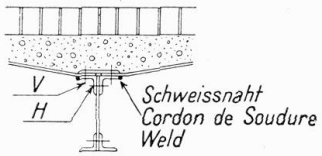

Fig. 11.

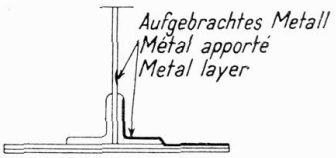

Fig. 12.

Les travaux ont encore comporté la métallisation au plomb sous les semelles inférieures des poutres maîtresses et des entretoises, de manière à mettre à l'abri de la corrosion ces parties essentielles de l'ouvrage.

Enfin, il a été décidé d'établir sous l'ouvrage un masque en acier inoxydable composé d'une ossature porteuse et de tôles amovibles. Ce dispositif permettra de soustraire en grande partie le dessous de l'ouvrage à l'action des fumées. Il aura en outre le grand avantage de faciliter des visites qu'il était presque impossible dans l'état ancien des choses.

Ces travaux ont été étudiés et exécutés sous la direction de M. Bouly, Inspecteur Général des Travaux de la Ville de Paris, et de M. Glasser, Ingénieur en Chef.

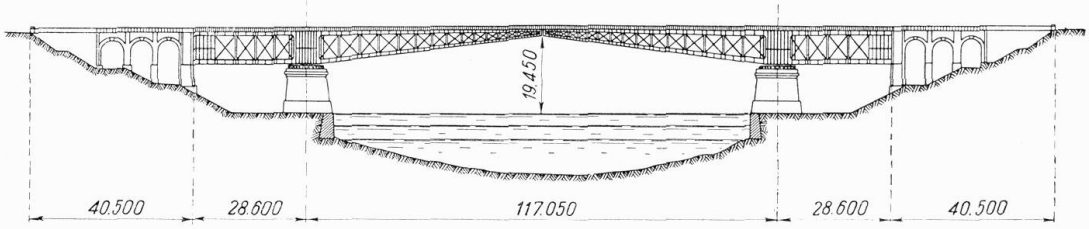

Fig. 13.
Drehbrücke über die Penfeld in Brest. — Pont tournant de Brest sur la Penfeld.
Swing bridge at Brest over "la Penfeld".

Renforcements d'attaches rivées.

La soudure permet de renforcer facilement les attaches des pièces qui donnent des signes de fatigue.

a) Pont des Chemins de fer de l'Est sur le canal à Vitry-le-François.

Soudure des cornières d'attache sur les goussets (fig. 11).

b) Exemple de renforcement d'attaches d'entretoises sur des ouvrages à poutres jumelles.

On évite ainsi le remplacement onéreux des entretoises et des montants d'attaches (fig. 12).

Nous devons les exemples intéressants des figs. 1, 2, 3, 4, 11 et 12, à l'obligeance de M. Ridet, Ingénieur des Ponts et Chaussées, Ingénieur en Chef Adjoint de la Voie et des Travaux à la Compagnie de l'Est, qui a bien voulu nous les communiquer.

Renforcement du pont tournant de Brest sur la Penfeld.

Nous avons affaire ici à un exemple de renforcement proprement dit de pont métallique. La fig. 13 représente l'ensemble de l'ouvrage.

Motif des travaux de renforcement.

Au point de vue des corrosions, l'état actuel de la charpente métallique est assez satisfaisant. Le renforcement s'est imposé pour mettre l'ouvrage en état de supporter les charges roulantes prescrites par le Règlement du 10 Mai 1927.

D'autre part, une réfection de l'ancien platelage en madriers et câbles d'aloès était devenu nécessaire pour permettre également le passage des mêmes charges.

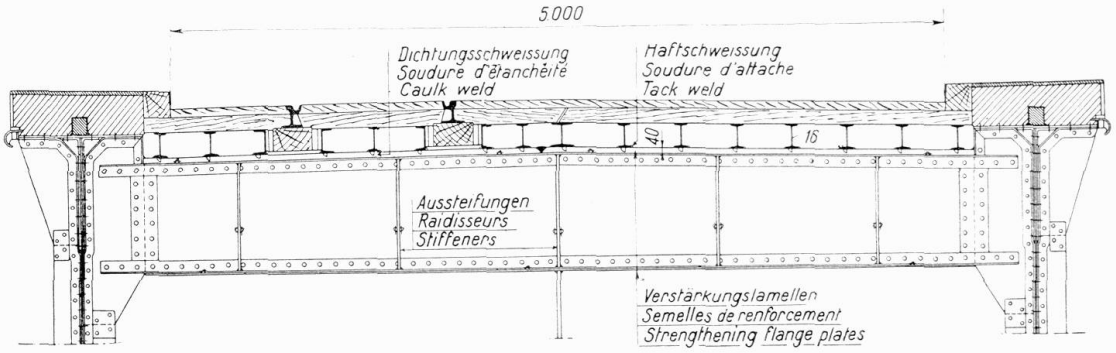

Fig. 14.

Description des travaux.

1° Tablier (fig. 14).

Le remplacement complet du platelage a été décidé. Il se compose, comme l'ancien, de madriers en bois dur supportant une couche de vieux câbles de mine en fibre d'aloès.

L'ancien tablier ne comportait pas de longerons. En raison des charges importantes prévues par le Règlement de 1927, on a été amené, dans le renforcement, à supporter les madriers par des cours de longerons en fers à double té. Ces pièces reposent directement sur les pièces de pont.

Le projet prévoit le renforcement des pièces de pont par des semelles supplémentaires. Pour augmenter la résistance à l'effort tranchant, les âmes ont été renforcées vers les appuis au moyen de plaques soudées sur leur pourtour et au moyen de raidisseurs verticaux.

2° Poutres principales (fig. 15).

a) Membrures. — Le renforcement de la membrure inférieure a été constitué uniquement au moyen d'âmes de renfort soudées sur tout leur pourtour sur les âmes actuelles. Dans chaque panneau un gousset raidisseur transversal est prévu.

En ce qui concerne la membrure supérieure, le renforcement est plus important à cause des charges transmises directement à la membrure entre les montants d'un panneau par les poutrelles intermédiaires. On a été ainsi obligé de prévoir non seulement le même renforcement, au moyen d'âmes, que pour la membrure inférieure, mais de plus les organes suivants dans tous les panneaux: des semelles de renforcement et, dans certains, des fers rectangulaires soudés à plat sur la semelle supérieure.

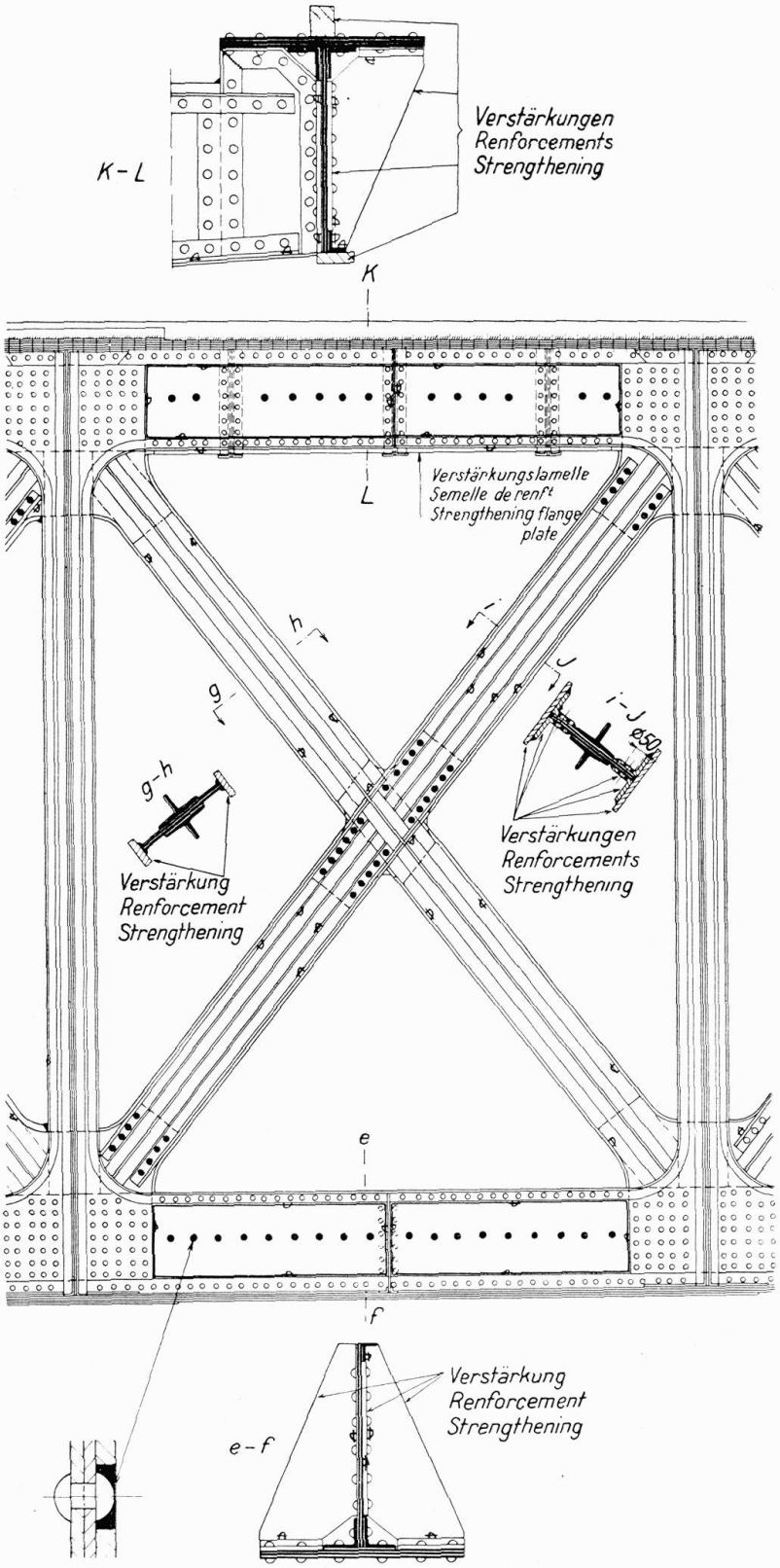
K-L
Verstärkungen
Renforcements
Strengthening
K
L
Verstärkungslamelle
Semelle de renf^t
Strengthening flange
plate
h
g
g-h
Verstärkung
Renforcement
Strengthening
i-j
Verstärkungen
Renforcements
Strengthening
e
f
e-f
Verstärkung
Renforcement
Strengthening

Fig. 15.

b) Barres de treillis. — Les barres de treillis formant croix de St-André ont été plus ou moins renforcées suivant les panneaux auxquels elles appartiennent. On y est arrivé, soit au moyen de semelles soudées à plat ou de champ, soit au moyen de la combinaison de cornières et de semelles supplémentaires. Le renforcement des diagonales est le plus important dans la région comprise entre la tour et le contre-poids.

c) En raison du poids supplémentaire apporté par le renforcement, longerons nouveaux et sections nouvelles, au total 283 T, il a été nécessaire de prévoir un contre-poids supplémentaire pour équilibrer le tablier du pont. Ceci nécessite l'aménagement d'un plancher nouveau dans la culasse pour supporter des gueuses de lestage et un renforcement des parois de la caisse contre-poids au moyen de raidisseurs.

Exécution des travaux.

Etablissement d'une partie de l'échafaudage nécessaire pour le relevé des gabarits pour la pose des pièces de renforcement et leur soudure.

Maintien de l'équilibre à chaque instant au moyen de gueuses de lestage supplémentaires.

Exécution des planchers pour contre-poids supplémentaires dans les culasses.

Achèvement de l'échafaudage jusqu'à l'extrémité des volées.

Démolition des trottoirs existants à l'exception de la bordure.

Renforcement des treillis des poutres maîtresses et renforcement des membrures inférieures et supérieures.

Renforcement des membrures inférieures et des âmes sur les entretoises et les poutrelles.

Report de la circulation routière sur une demi-largeur de chaussée.

Renforcement sur la partie dégagée des semelles supérieures des entretoises et poutrelles.

Démontage d'une partie de l'échafaudage vers le nez des volées.

Pose des longerons sur une demi-chaussée ainsi que du platelage avec pose des rails provisoires pour le tramway.

Report de la circulation sur cette demi-chaussée ainsi constituée.

Renforcement des semelles supérieures des poutrelles et entretoises sur cette partie.

Continuation du démontage de l'échafaudage.

Pose et soudure des longerons et pose du platelage. Pose définitive de la voie du tramway.

Démontage du reste de l'échafaudage et enlèvement de 10 T de contrepoids.

Report de la circulation sur la demi-chaussée nouvelle et terminaison de l'autre demi-chaussée.

Construction de trottoirs nouveaux en béton. Réglage définitif des contrepoids et rétablissement de la circulation normale.

Ces travaux de renforcement ont également entraîné la réfection du mécanisme de manoeuvre dont on a été amené à renforcer certaines pièces.

Cette très importante réalisation a été étudiée et est exécutée sous la direction de M. Cavenel, Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées, et de M. Lecomte, Ingénieur des Ponts et Chaussées à Brest.

Conclusion.

Ces divers exemples montrent l'essor considérable pris par la soudure pour le renforcement des ponts métalliques. Ils font ressortir également la souplesse du procédé qui s'applique avec autant de facilité aux petites réparations qu'aux grands projets entraînant la mise en oeuvre de centaines de tonnes de métal.

Le succès de ce procédé est dû à l'emploi vraiment pratique et commode de la soudure à l'arc électrique, ainsi que de l'oxy-coupage qui permet une préparation facile et économique des pièces.

Il faut néanmoins bien prendre garde dans ces sortes d'applications que leur étude est toujours délicate et nécessite une collaboration parfaite entre techniciens de la soudure et techniciens des ouvrages métalliques. Cette entente est une condition essentielle du succès.

Zusammenfassung.

Die bestehenden Eisenbrücken genügen aus verschiedenen Gründen den heutigen Verhältnissen nicht mehr. Das sind:

1. teilweise und gänzliche Zerstörungen durch Rost zwischen den Blechen oder durch Oxydation infolge von Rauch;
2. die immer größere Belastung der Brücken, die nach den alten Belastungsvorschriften berechnet sind.

Es gibt zwei Wege, um dieser Schwächung der Brücken zu begegnen. Bei den Wiederherstellungsarbeiten werden die abgenützten Teile durch neue ersetzt und mit dem Lichtbogen angeschweißt, um wieder die früheren Querschnitte zu erhalten. Für die eigentlichen Verstärkungen werden neue Querschnitte mit den bestehenden durch Lichtbogenschweißung verbunden.

Bei der Ausführung dieser Verstärkungen müssen einige Regeln beobachtet werden: Vermeiden der Nietköpfe, keine Veränderung des Bausystemes und möglichste Erzielung der Symmetrie der Teile.

Ähnlich wird man bei der Ausführung der Schweißung die Anhäufung von Schweißnähten an gewissen Punkten vermeiden, um nicht die Wirkungen der Dehnung und der Zusammenziehung zu überlagern. Auch wird man das Profil der Schweißnähte sorgfältig untersuchen.

Die Untersuchung dieser Brückenverstärkung geschieht bei der Berechnung in folgenden Abschnitten:

a) Bestimmung der Spannungen des alten Gerüstes unter den gegenwärtigen ständigen Lasten.
b) Bestimmung der zusätzlichen Spannungen durch die Zunahme der ständigen Last und die Nutzlast.
c) Bestimmung der endgültigen Spannungen nach der Verstärkung.

Als Beispiele können die Wiederherstellungsarbeiten an einer Brücke in Noisy und der Brücke in der rue Voltaire in Troyes auf dem Netz der Ostbahn, die Wiederherstellungs- und Verstärkungsarbeiten der J. F. Lépine-Brücke in Paris und die Verstärkung der Drehbrücke über die Penfeld in Brest erwähnt werden.

Résumé.

Un certain nombre de causes diverses rendent insuffisants les ponts métalliques existants. Ce sont:

1° les corrosions partielles ou généralisées provoquées par le foisonnement de la rouille entre les tôles ou par l'oxydation due aux fumées de locomotives;

2° l'augmentation toujours croissante des surcharges sur les anciens ponts calculés avec le vieux règlement.

Pour remédier à cet affaiblissement des ponts, on distingue, les travaux de réparations qui consistent à remplacer les parties abimées par du métal neuf soudé à l'arc électrique pour reconstituer les sections primitives, et les travaux de renforcement proprement dit dans lesquels on ajoute aux sections existantes, des sections nouvelles convenablement attachées par soudure à l'arc électrique.

Pour la réalisation de ces renforcements, on doit tenir compte de certaines règles: éviter les têtes de rivets, ne pas modifier le principe même de la construction de l'ouvrage et s'efforcer de réaliser la symétrie des pièces.

De même, au point de vue de l'exécution de la soudure, on évitera les accumulations de soudures en certains points pour ne pas superposer les effets de dilatation et de retrait, et on étudiera avec soin le profil des cordons de soudure.

En ce qui concerne le calcul, l'étude d'un renforcement de pont nécessite les opérations suivantes:

a) détermination des taux de travail de l'ossature ancienne sous les charges permanentes actuelles;

b) détermination des taux de travail supplémentaires produits par le supplément de charge permanente et la surcharge;

c) détermination du taux de travail définitif après renforcement.

Comme exemples, on peut citer, les travaux de réparation d'un pont à Noisy et du pont de la rue Voltaire à Troyes, sur le Réseau de l'Est, les travaux de réparation et de renforcement du pont J. F. Lépine à Paris et le renforcement du pont tournant de Brest sur la Penfeld.

Summary.

For various reasons the existing steel bridges no longer comply with modern conditions. These reasons are:

1. Partial and complete destruction through rust between plates, or corrosion due to smoke fumes.
2. The increasing loading of bridges, which were calculated according to old regulation.

There are two ways of remedying such weakening. The restoration work may consist of cutting out the affected parts and replacing them by new ones of full section, using arc-welding for fixing. The actual strengthening is done by welding new sections to the existing parts, again using arc-welding.

Certain rules must be observed when carrying out strengthening work: avoidance of rivet heads, no alterations to the structural system, and the endeavour to maintain symmetry of sections.

An accumulation of welds at certain places should also be avoided, as this would cause superposition of the effects of elongation and shrinkage. The cross sectional shape of welds also requires to be taken into careful consideration.

The calculation of bridge strengthening work should be done by the following steps:

a) Determination of stresses in the old (existing) girder system for present-day dead weights.
b) Determination of additional stresses due to live load and increase of dead weight.
c) Determination of final stresses after strengthening.

As examples may serve the work of restoration carried out for the bridge at Noisy and Rue Voltaire bridge of the Eastern Railway system, the restoration and strengthening work of the J. F. Lépine bridge in Paris, and the strengthening of the swing bridge of the Penfeld at Brest.