

L'emploi de la soudure dans la reconstruction du pont d'Oissel sur la Seine

Autor(en): **Vallette, R. / Goelzer, A.**

Objekttyp: **Article**

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

Band (Jahr): **3 (1948)**

PDF erstellt am: **26.04.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-4001>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

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

Ia5

L'emploi de la soudure dans la reconstruction du pont d'Oissel sur la Seine

Die Anwendung der Schweisstechnik bei der Wiederherstellung der Oissel-Brücke über die Seine

Welding applied to the Reconstruction of the Oissel Bridge over the Seine

R. VALLETTE & A. GOELZER
Paris

Etat de l'ouvrage et recherche d'une solution

La réfection du pont en fer d'Oissel de la S. N. C. F. (région Ouest) sur la ligne Paris-Le Havre se présentait d'une manière tout à fait particulière. Les figures 1 et 2 donnent une idée exacte de l'état dans lequel se trouvait le viaduc d'Oissel après la Libération. L'ouvrage ne s'était pas effondré, mais il présentait de grosses et nombreuses détériorations dispersées, et en particulier, dans certaines zones, de véritables brèches dans le tablier.

Grâce aux mesures prises par la S. N. C. F., l'ouvrage fut consolidé en temps utile : des palées en bois furent battues dans le lit de la Seine pour créer de nouveaux appuis dans le voisinage des brèches du tablier et pour permettre l'exécution des réparations ultérieures dans de bonnes conditions.

La réfection par rivure, obligeant à rechercher les joints normaux d'assemblage, aurait conduit à remplacer des tronçons successifs importants et finalement des parties complètes du pont. Or, il y avait intérêt à limiter les remplacements, tant par suite de la pénurie d'acier que pour permettre de constituer le passage en situation provisoire, en utilisant la plus grande partie de l'ouvrage.

La Société d'Etudes pour la Construction et la Réparation des ouvrages métalliques (S. E. C. R. O. M.) ayant offert, au début de la Reconstruction, d'étudier des solutions soudées dans des cas semblables, un échange de vue eut lieu entre les Services Techniques de la S. N. C. F. et cette Société. Ces solutions permettaient, en l'espèce, de limiter le remplacement à des

éléments réduits et même, souvent, aux seules pièces avariées sans désorganiser la partie porteuse du pont provisoire.

Adoption d'une réparation par soudure

Si les Services techniques de la S. N. C. F. n'avaient pas eu de bases particulières, une telle application n'aurait pu être admise ni même envisagée. Elle serait en effet condamnée, dans l'état actuel de la technique, par les prescriptions concernant la soudure.

Les travaux étaient, en effet, à exécuter entièrement sur chantier et sur métal non ductile, le fer puddlé des vieux ponts français ayant, en moyenne, un allongement de 11 % dans le sens du laminage et nul en travers ⁽¹⁾. Le métal est feuilleté et les feuillets se détachent facilement.

Il faut noter également que cet ouvrage en fer puddlé est important, qu'il donne passage à une ligne à grand trafic et que les destructions étaient notables, comme nous l'avons précisé plus haut; la prudence s'imposait.

La S. N. C. F. avait acquis l'expérience de ces sortes de travaux (qui avaient également eu des applications pour des pont-routes) entre autres :

1° Essais systématiques faits en 1933 par la S. N. C. F. sur des soudures effectuées sur des poutres à caisson de petits tabliers en fer puddlé, soudures qui sollicitaient le fer en travers du laminage;

2° Application de telles soudures faite à 25 petits tabliers de la ligne de Chartres à Bordeaux;

3° Renforcement par la S. N. C. F. de ponts en fer par addition d'éléments soudés. Pont de l'Authion — Pont de Bezons — Ponts sur l'Ill à Strasbourg ⁽²⁾;



Fig. 1. Vue d'enfilade du pont d'Oissel après sa destruction.

(1) R. VALLETTE, *Etude sur les vieux tabliers en fer du réseau de l'Etat français*, 1936. (4^e volume des *Mémoires de l'Association Internationale des Ponts et Charpentes*.)

(2) H. LANG, *Renforcement de tabliers métalliques à proximité de Strasbourg* (*Science et Industrie*, 1937).

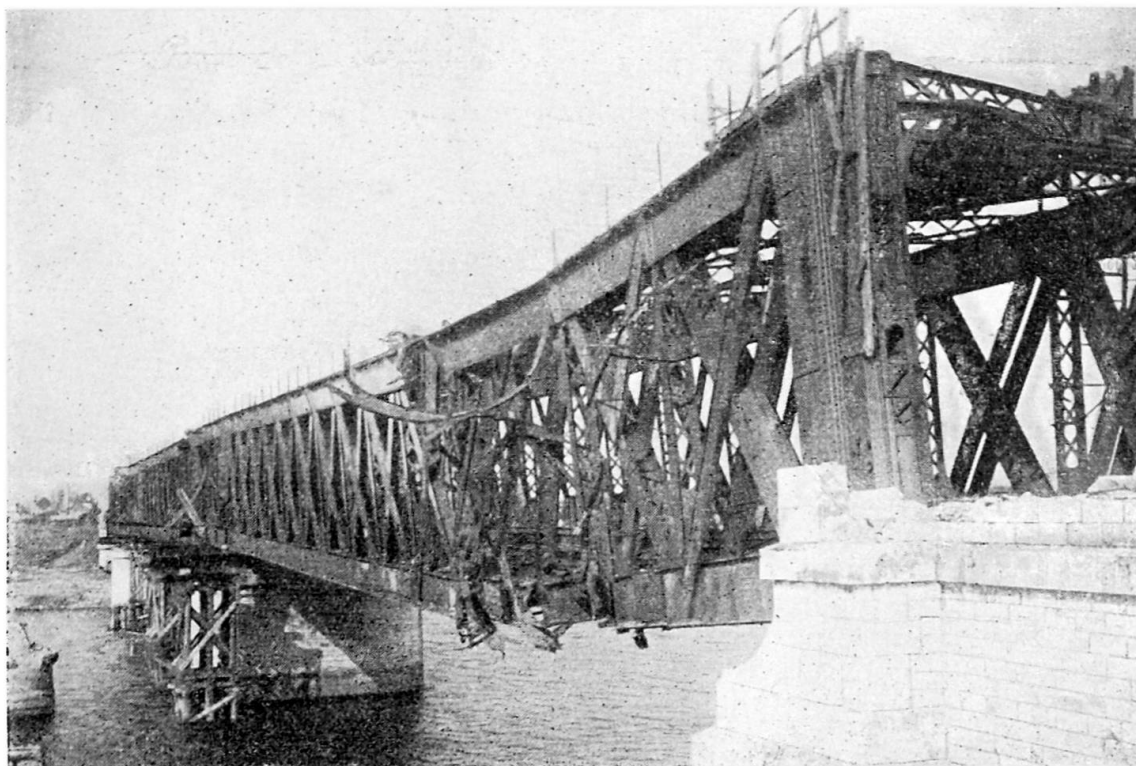


Fig. 2. Pont d'Oissel après destruction (octobre 1944).

4° Renforcement du pont tournant de Brest sur la Penfeld par le Service des Ponts et Chaussées du Finistère ⁽³⁾.

La constante réussite de ces applications, après mise au point de la technique de la soudure acier sur fer puddlé par des spécialistes sur chaque cas d'espèce, apportait un élément de confiance.

C'est dans ces conditions que la réparation par soudure du pont d'Oissel fut décidée, sous réserve d'une mise au point par la Soudure Auto-gène Française, chargée des travaux de soudure, et par la S. E. C. R. O. M.

Les Services techniques intéressés de la S. N. C. F. avaient défini les conditions à observer dans la conduite des études pour obtenir le maximum de sécurité. En particulier, il fut prescrit d'employer des soudures à libre dilatation; c'est pourquoi l'attache des tronçons de membrures a été étudiée par soudure à une des extrémités d'un tronçon et par rivure à l'autre extrémité, afin d'être certain d'éviter tout effet d'un retrait possible de la soudure. De plus, pour les joints soudés bout-à-bout, on s'attacha à décaler les joints d'âme et de semelles.

Le Service du contrôle de la S. N. C. F. définit aussi avec précision la conduite de l'exécution, qui consistait d'abord dans l'interprétation des résultats du pliage sur éprouvettes soudées, ensuite dans les modalités de la surveillance des travaux, les épreuves des soudeurs, etc. D'ailleurs, nous noterons que le test de pliage, caractéristique en l'espèce, sert actuellement de base à l'Ecole de soudure de la S. N. C. F., sous une forme sensible,

⁽³⁾ A. GOELZER, *Renforcement de Ponts métalliques par soudure à l'arc électrique*, 1936. (4^e Vol. des Mémoires de l'Association Internationale des Ponts et Charpentes.)

M. LEBRUN et A. GOELZER, *Application de la soudure autogène au renforcement des ponts métalliques*, 1941. (Mémoires de la Société des Ingénieurs Civils de France.)

mise au point par la Direction de cette Ecole, à la qualification des soudeurs et à leur classement suivant le diamètre de fissuration.

Nous allons maintenant parler de la soudure acier sur fer puddlé, qui est l'objet principal de cette communication, et qui a été étudiée minutieusement en fonction de la nature du métal du viaduc d'Oissel.

Examen du métal de base sur éprouvettes prélevées dans le métal de l'ouvrage

Le métal de base est du fer puddlé à structure lamellaire. Ce métal se compose, en effet, de lamelles de fer pur entre lesquelles des scories se trouvent réparties plus ou moins irrégulièrement.

Il n'est pas inutile, à ce sujet, de rappeler quel était le mode de fabrication du fer puddlé. Le fer était fabriqué dans des fours à puddler ou des foyers d'affinage par décarburation de la fonte à une température inférieure à la température de fusion du fer. La plus grande partie des corps étrangers était oxydée avec une certaine quantité de fer et formait la scorie fondue. Cette scorie était expulsée par cinglage de la loupe de métal pâteux, épurée par martelage ou compression. Dans cette fabrication, le fer retenait une petite partie du carbone et il contenait, de plus, une fraction des éléments étrangers de la fonte : silicium, manganèse, soufre, phosphore.

Voici des indications qui étaient données à l'époque concernant la composition et la résistance de trois qualités de fer puddlé :

Qualité	Composition					Qualités mécaniques					
	C	Si	Mn	S	P	Tôles : 5 à 20 mm				Profilés	
						Sens	Limite d'élasticité	Limite de rupture	Allong. de rupture	Limite de rupture	Allong. de rupture
Commun n°2	0,08	0,21	0,08	0,04	0,30	Long	20	32	6	—	—
Ordin. n°3	0,08	0,20	0,09	0,026	0,22	Travers	17	29	3,5	34	8
						Long	21	33	9	—	—
Fort n°4	0,11	0,20	0,10	0,015	0,16	Travers	18	30	5	35	12
						Long	21,5	33,5	13	—	—
						Travers	19	31	8	36	15

Tableau extrait de RESAL, *Résistance des Matériaux*, 1898.

Il est important, dans chaque cas, de procéder à des analyses chimiques sur divers prélèvements pour avoir une idée de la qualité générale du métal de base et sur son degré d'homogénéité. L'analyse avait donné les résultats suivants :

C : 0,048 % — Si : 0,18 % — Mn : 0,08 % — P : 0,38 % — S : 0,04 %

On remarque la teneur élevée en phosphore très supérieure à celle des aciers courants.

Il faut cependant noter que le phosphore ne se trouve pas réparti uniformément dans la masse, mais concentré dans les scories interposées

entre les lamelles de fer pur. Ce fait explique les résultats satisfaisants que nous avons généralement obtenus pour la soudure sur fer puddlé, le fer pur se soudant parfaitement bien.

Comme nous allons le voir, la difficulté ne vient donc pas de la composition chimique, mais bien de la structure lamellaire.

Comme nous l'avons dit, l'expérience acquise dans de nombreux travaux précédents a montré que l'essai caractéristique donnant une garantie certaine est l'essai de pliage. Ce fait est naturel, puisque cet essai permet de mettre en évidence le plus ou moins bon accrochage de la soudure sur les lamelles de fer.

Préparation des éprouvettes

La figure ci-contre indique la préparation qui comportait le chanfreinage à 35° sur deux plats, l'un en acier, l'autre en fer puddlé, de longueur 120 mm, largeur 40 mm et épaisseur 10 mm. Les essais ont été faits en courant alternatif (poste type Cirkal) avec des électrodes C. 40 et L. 40.

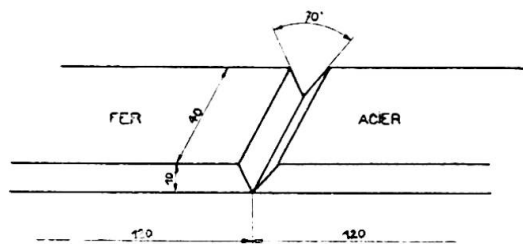


Fig. 3. Forme et dimensions de l'éprouvette de pliage.

Le principe général du mode opératoire pour les soudures d'acier en fer puddlé a été déjà indiqué par M. Lebrun dans un mémoire de la Société des Ingénieurs Civils en 1941. Rappelons que « l'alliage du fer puddlé et de la soudure est relativement fragile au refroidissement entre 600° et 400° C.

» Le fer puddlé avoisinant cet alliage passe, dans cette période de refroidissement, de l'état lamellaire à l'état nodulaire et devient ainsi fragile.

» Cependant, il ne se produit pas d'arrachement des lamelles quand la tension de retrait du cordon de soudure s'exerce dans le sens des lamelles du fer. »

C'est pourquoi le principe de l'opération est le suivant : on procède à un rechargement préalable sur une longueur de 20 mm environ à la surface du fer contre le chanfrein. Le cordon de soudure ne s'effectue qu'après refroidissement complet de ce premier dépôt de métal : on se trouve alors dans les meilleures conditions possibles. En effet, le rechargement protège le fer sous-jacent et l'empêche d'atteindre la température critique; de plus, la soudure exerce une grande partie de son retrait sur la première couche déposée dans le sens des lamelles.

Ces principes étant posés, il n'est pas possible de donner, pour le détail, des règles générales. Nous allons exposer exactement, à titre d'exemple précis, ce qui s'est passé pour les essais du viaduc d'Oissel.

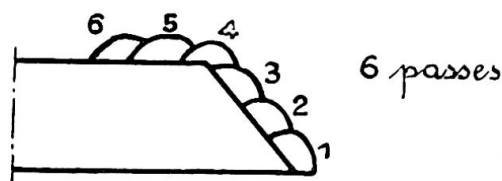


Fig. 4.

Premiers essais préliminaires

Dans les premiers essais, le rechargement a été exécuté complètement par

passes transversales alternativement de gauche à droite et de droite à gauche suivant la figure 4.

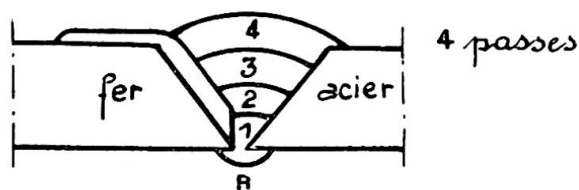


Fig. 5.

Chaque passe chevauchait la précédente, elle était piquée et broyée soigneusement avant l'exécution de la suivante.

Le joint entre la partie fer ainsi préparée et la partie acier était réalisé par 4 passes larges superposées (fig. 5).

On exécutait enfin une reprise à l'envers R.

Le détail des opérations et les résultats des essais de pliage sont consignés dans le tableau suivant :

Type d'électrodes	Diamètres des Electrodes	Passes	Intensité du courant de soudure	Résultat des essais de pliage
C.40	3,25	1 à 6	110 A	{ Angle de pliage : 30° { Cassure dans la soudure-éprouvette C ¹ { effort : 2 300 kg { Angle de pliage : 47° { Cassure de la jonction côté fer — éprouvette C ²
	3,25	1 à 4	110 A	
L. 40	3,25	1 à 6	110 A	{ Angle de pliage : 30° { Cassure à la jonction côté fer — Eff. 2 000 kg
	3,25	1	120 A	
	3,25	2 à 4	110 A	

Or, les essais de pliage sur éprouvettes non soudées donnent un angle de 30° avant l'apparition des premières criques.

Au pont de Brest, également en fer puddlé, dont le renforcement a été effectué de 1934 à 1936, les essais de pliage sur éprouvettes soudées acier sur fer avaient donné 31° et 41°. Malgré ces résultats, la soudure avait donné toute satisfaction aux essais et en service. A la Libération, le pont a été détruit et on a pu constater, lors du relevage des tronçons de poutres tombés dans la Penfeld, que les soudures d'attache des fers de renforcement avaient parfaitement tenu.

Au viaduc d'Oissel, on a cherché à améliorer les essais de pliage et on y est parvenu de la manière suivante :

Deuxièmes essais préliminaires

Après divers tâtonnements, on a finalement opéré ainsi qu'il suit :

1° Comme dans les premiers essais, on a exécuté 3 passes transversales se chevauchant (fig. 6). Mais le glacis supérieur sur la partie fer

a été réalisé par un mouvement de va-et-vient de l'électrode dans le sens longitudinal.

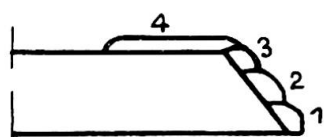
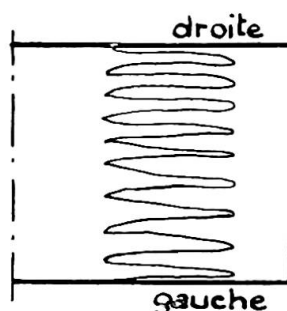


Fig. 6. Epreuves utilisées pour les deuxièmes essais préliminaires.



Le dépôt ainsi obtenu évite toute amorce de cisaillement transversal sur la première couche de fer;

2° On a laissé refroidir les passes 1, 2, 3, 4 sur le fer pendant un quart d'heure;

3° La soudure de la partie fer sur la partie acier a été exécutée comme dans les premiers essais, par des passes larges superposées.

Le métal remplissant le chanfrein ainsi obtenu est un métal affiné à grain fin dans les passes 1, 2, 3; il offre une grande ductilité, est très sain, et les tensions résiduelles sont faibles, ce qui est important pour des réparations de pièces existantes souvent bridées.

Naturellement, chaque passe de soudure était soigneusement piquée et brossée avant l'exécution de la passe suivante.

Le tableau suivant indique les résultats obtenus avec quelques variantes :

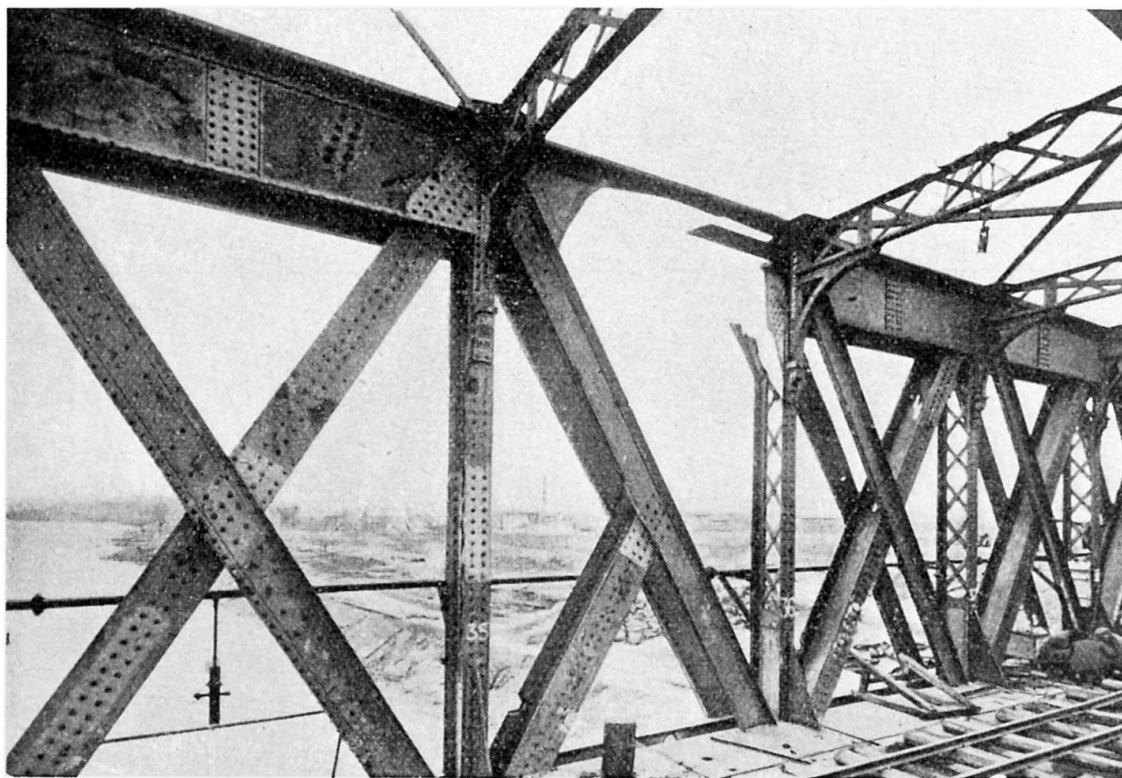


Fig. 7. Etat du panneau comportant les montants 35 et 36 avant réparation.

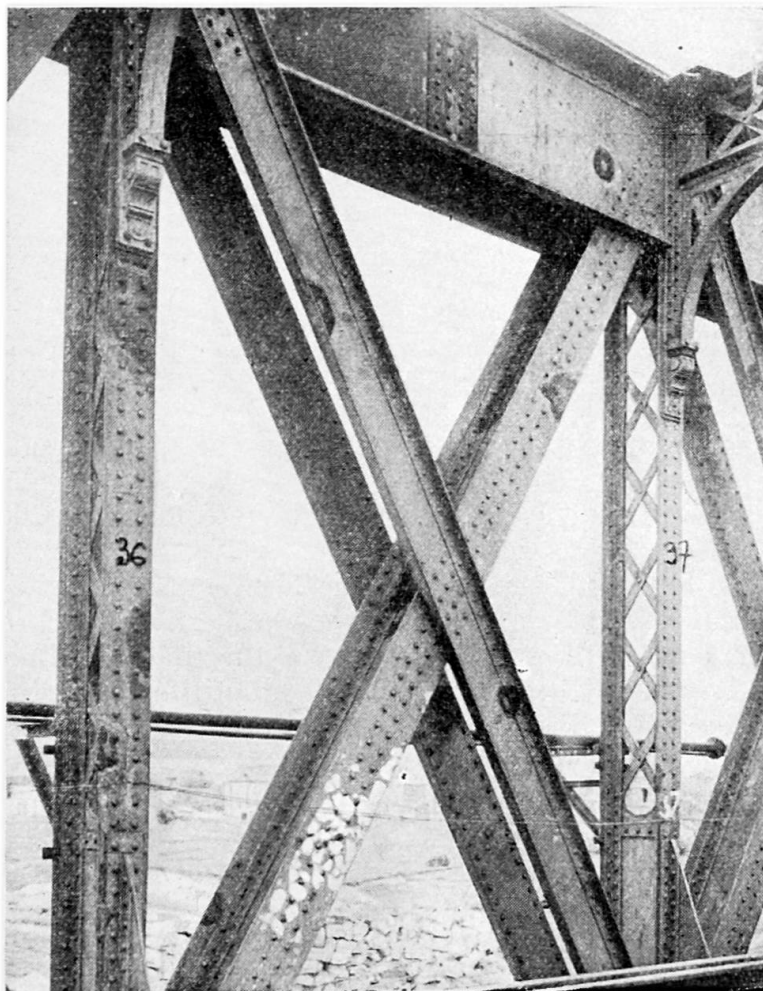


Fig. 8. Vue du panneau comportant les montants 36 et 37.

Types d'électrodes	Diamètres des électrodes	Passes	Intensité indiquée au poste	Intensité moyenne à la pièce	Résultats des essais de pliage
C. 40	3,25	1 de g. à dr. 2 de dr. à g. 3 de dr. à g. 4 de dr. à g.	110 110 110 110	95 95 95 95	Angle de pliage: 57° Cassure dans la soudure Eff. 2 250 kg
C. 40	3,25 4 4 4 3,25	1 2 3 4 4	120 160 160 140 130	100 145 145 130 115	Angle de pliage: 78° Cassure dans la soudure Eff. 3 200 kg
I. 40		1 de g. à dr. 2 de dr. à g. 3 de dr. à g. 4 de dr. à g.	115 115 115 45	95-100 95-100 95-100 95-100	Angle de pliage: 76° Cassure dans la soudure Eff. 2 600 kg

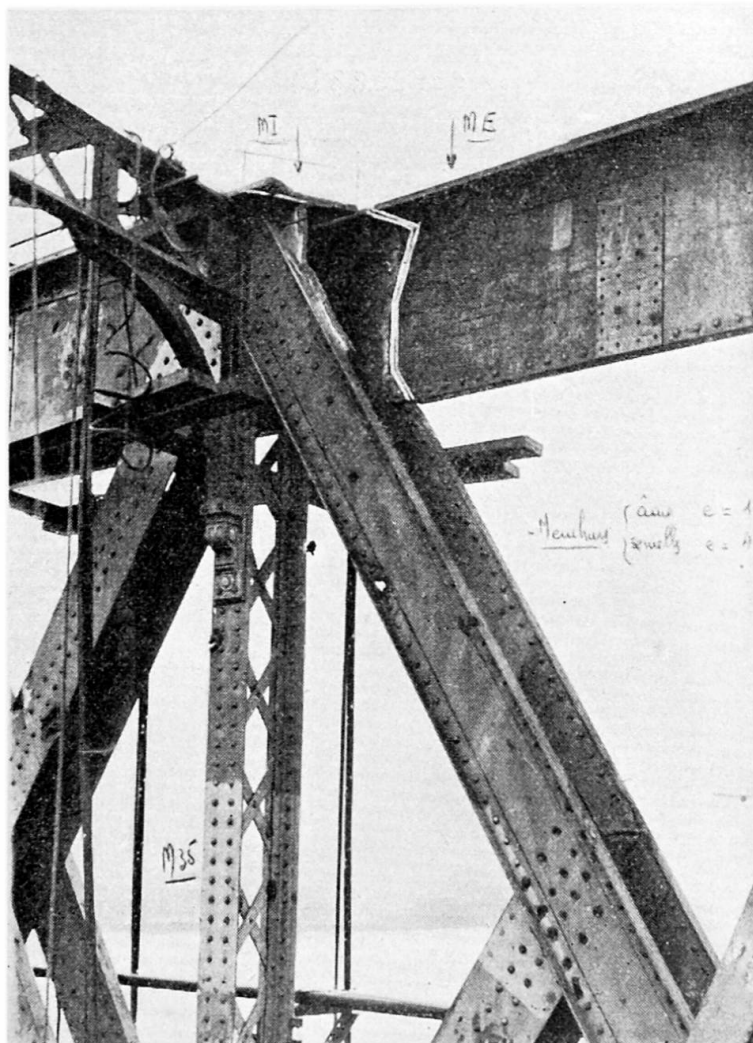


Fig. 9. Membrure supérieure du panneau 35-36 en cours de réparation.

Conclusion

On voit que, dans la deuxième série d'essais préliminaires, l'angle de pliage a atteint des valeurs très satisfaisantes 57° , 76° et 78° , nettement supérieures à celles qui avaient été obtenues jusqu'à maintenant. Il a donc été décidé d'adopter le mode opératoire suivi lors de ces essais. Le contrôle a été très strict, afin d'obtenir que les soudeurs suivent exactement les règles indiquées.

Enfin, conformément aux instructions sur la soudure, les soudeurs ont passé des examens d'agrégation et de temps en temps des épreuves destinées à montrer que leur qualité restait constante.

Il ne faut d'ailleurs pas se dissimuler que de tels travaux nécessitent l'emploi d'un personnel très exercé, aussi bien en ce qui concerne les ingénieurs dirigeant le travail que du côté des soudeurs eux-mêmes. On a heureusement pu, pour ce chantier, disposer d'une équipe de soudeurs rompus à toutes sortes de travaux délicats et variés, susceptibles de s'adapter rapidement aux règles spéciales imposées.

Il serait sans intérêt de décrire en détail toutes les nombreuses réparations effectuées. Nous nous contenterons de décrire les deux sortes de réparations-types les plus importantes.

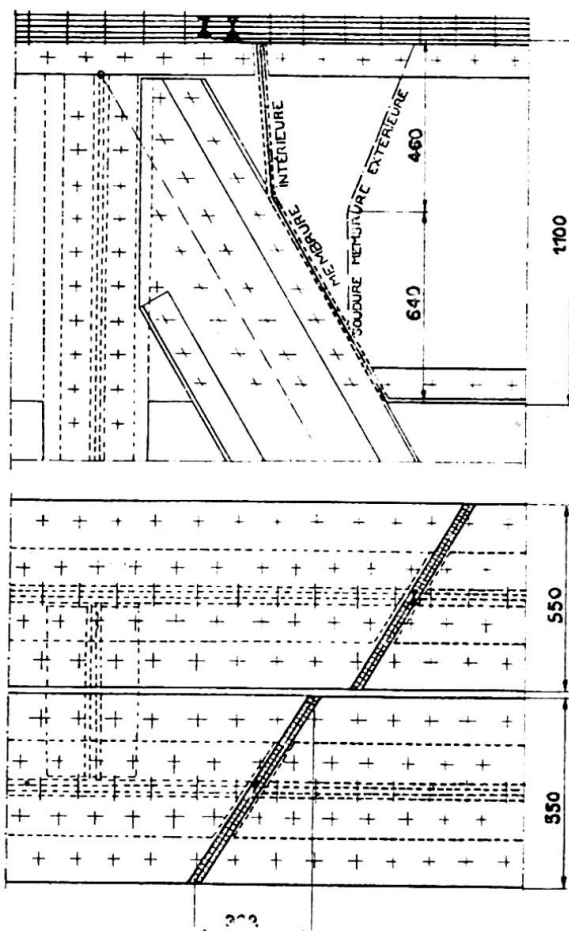


Fig. 10. Extrémité supérieure du montant 35.

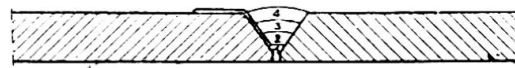


Fig. 11. Coupe des cordons de soudure pour l'âme dans la partie courante.

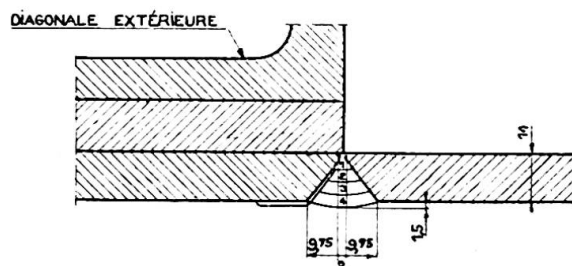


Fig. 12. Coupe des cordons de soudure de la partie contre la diagonale tendue.

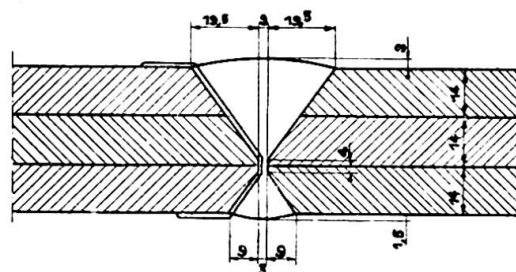


Fig. 13. Coupe des cordons de soudure de la partie au droit des cornières.

Etude des réparations-types

Nous avons choisi une zone de la poutre amont côté Rouen entre les montants 35 et 36. On voit, sur la figure 7, l'état de ce panneau avant réparation.

La poutre principale comporte deux demi-poutres extérieure et intérieure jumelées, les membrures formant ainsi caisson ouvert. Les diagonales tendues sont doubles et les diagonales comprimées à âme pleine passent entre les deux demi-diagonales tendues.

Les travaux à effectuer comprennent :

1° La reconstruction du tronçon de membrure supérieure, entre les montants 35-36;

2° Le remplacement complet de la portion supérieure de diagonale comprimée (ext. et int.) entre la base du montant 35 et le sommet du montant 36;

3° Les deux demi-diagonales partant du sommet du montant 35 étaient conservées, mais à redresser après dérivelage et démontage.

Enfin, dans le panneau voisin 36-37 (fig. 8), la partie extérieure de la diagonale tendue partant du sommet du montant 36 était à remplacer, la partie intérieure était conservée.

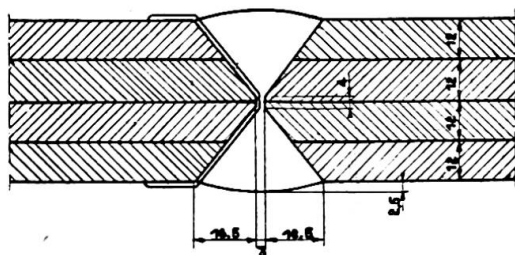


Fig. 14. Coupe des cordons de soudure pour les semelles, dans la partie courante.

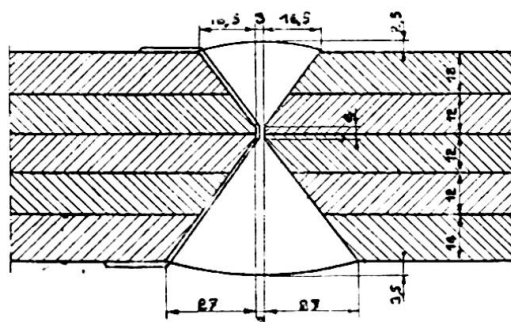


Fig. 15. Coupe des cordons de soudure pour les semelles à travers les cornières.

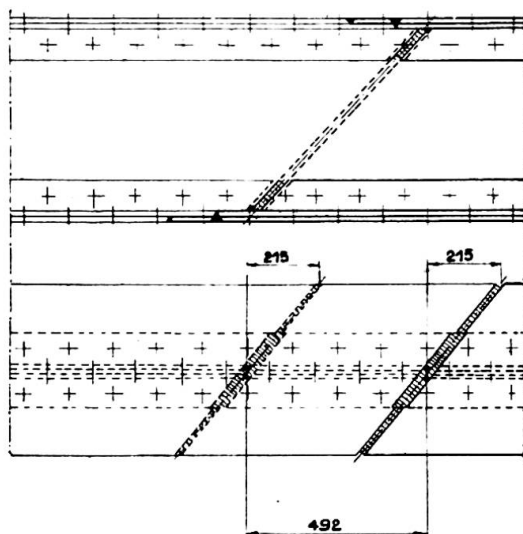


Fig. 16 (à gauche). Joint d'aboutement avec la partie inférieure.

Membrure supérieure. — Le joint de droite du tronçon neuf rivé a été effectué par rivure dans le panneau 36-37, comme on le voit sur la figure 8.

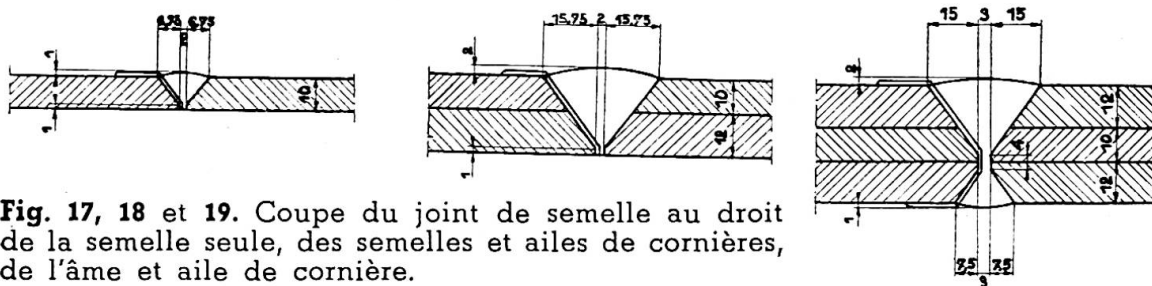
Joint soudé. — La figure 9 montre ce joint en cours d'exécution, la soudure étant déjà exécutée sur la demi-membrure extérieure. On aperçoit la préparation du joint de la demi-membrure intérieure; les joints d'âme se trouvent décalés par rapport aux joints de semelles. Les tracés de ces divers joints ont été minutieusement étudiés, suivant les possibilités, dictées notamment par la position des rivets.

Pour ne pas laisser l'exécution livrée au hasard, il a été nécessaire de représenter les joints avec beaucoup de détails en raison des variations d'épaisseur entre des âmes, cornières et semelles, et des difficultés d'exécution des soudures acier sur fer puddlé.

La figure 10 représente l'ensemble du joint soudé; les soudures d'âme et de semelles sont obliques, afin d'avoir le maximum de sécurité dans le cas du fer puddlé. Les figures 11, 12 et 13 indiquent respectivement la coupe exacte des cordons de soudure pour l'âme dans la partie courante, la partie contre diagonale tendue, la partie au droit des cornières.

Les figures 14 et 15 donnent la coupe des cordons de soudure pour les semelles, dans la partie courante et à travers les cornières.

Diagonale comprimée. — Par suite de l'état de cette pièce, on l'a coupée en dessous de son croisement avec la diagonale tendue, après déri-



vetage du nœud de croisement (fig. 7). La portion nouvelle a été rivée à nouveau au nœud supérieur du montant 36 sur membrure et le nœud de croisement a été reconstitué également par rivure. Seul, le joint d'aboutement avec la partie inférieure a été soudé conformément à la figure 16.

Les figures 17 et 18 indiquent la coupe du joint de semelle au droit de la semelle seule et au droit des semelles et ailes de cornières. Sur la figure 19, on voit la coupe du joint au droit de l'âme et aile de cornière.

Résultats et conclusions

Toutes les réparations ont pu être effectuées sans incidents, grâce aux dispositions minutieuses prises suivant le programme établi par la S. N. C. F. en accord avec la Société de Commeny-Oissel, qui procédait à la reconstitution de toutes les pièces rivées à remplacer et avec la Soudure Autogène Française qui exécutait les joints soudés ainsi que les diverses réparations locales, telles que : trous à boucher, redressage de pièces, etc.

Les essais officiels du pont ont été effectués le 15 juin 1947 et ont donné toute satisfaction. Sur la figure 20, on voit les deux trains d'épreuve marchant de front et en vitesse pour réaliser le cas de surcharge le plus défavorable.

Résumé

La présente communication a pour but de donner des détails précis sur la technique particulière de la soudure à l'arc électrique appliquée à la réparation d'un grand pont sous voie ferrée en fer puddlé.

L'emploi, même limité, de la soudure permet de réduire les opérations de démontage. La soudure acier sur fer puddlé nécessite, dans chaque cas, des études préliminaires pour fixer au mieux le mode opératoire.

Pendant le cours du travail, un contrôle permanent doit être organisé pour que l'exécution des soudures ne s'écarte pas des règles ainsi déterminées préalablement.

L'établissement des dessins d'exécution demande un soin tout particulier par suite des joints spéciaux acier sur fer puddlé et de la présence de pièces constitutives rivées d'épaisseurs diverses.

Deux joints-types sont décrits en détail; l'un, sur la membrure supérieure, l'autre sur une diagonale comprimée.

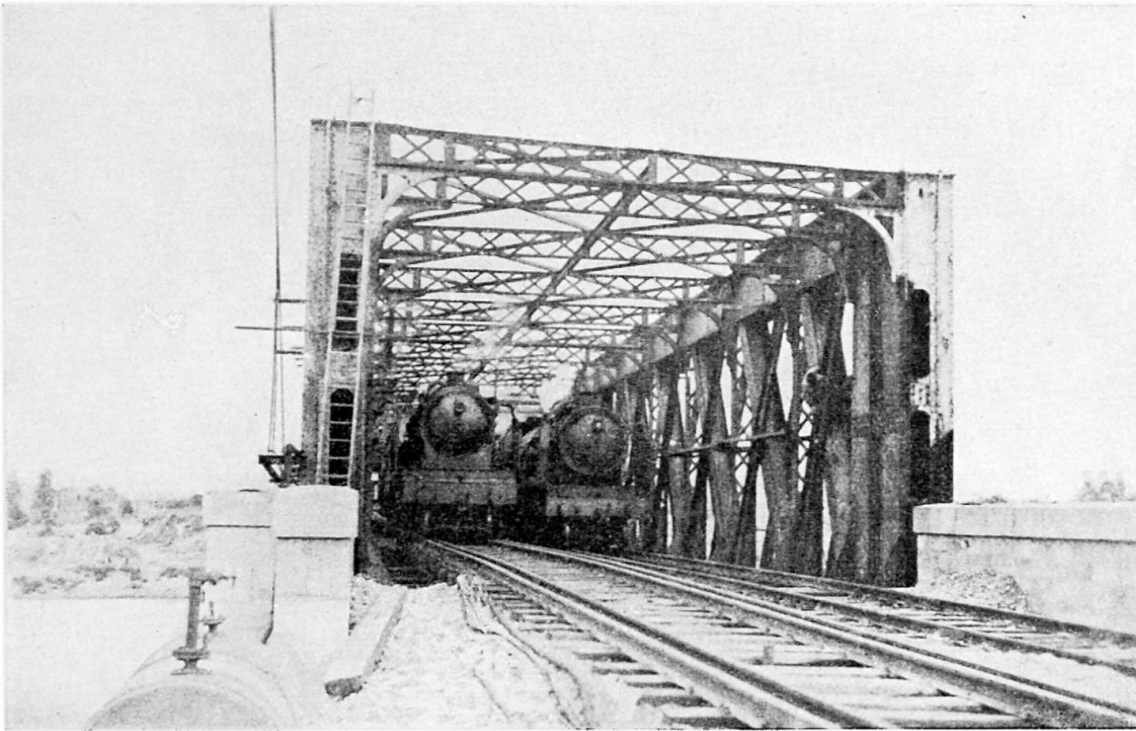


Fig. 20. Essais de mise en charge du pont d'Oissel, après sa remise en état.

Zusammenfassung

Der vorliegende Aufsatz vermittelt genaue Einzelheiten über die besondere Anwendungsweise der Lichtbogenschweissung, die sich bei der Wiederherstellung einer grossen Eisenbahnbrücke aus Schweisseisen ergab.

Die, wenn auch begrenzte Verwendung der Schweissung erlaubte die Einschränkung der Abbruch-Arbeiten. Die Verbindung Stahl mit Schweisseisen machte in jedem einzelnen Falle Voruntersuchungen zur Festlegung des günstigsten Schweissvorganges nötig. Damit die fertigen Schweissnähte den so vorgängig ermittelten Ausbildungsformen entsprachen, war während ihrer Ausführung eine ständige Kontrolle anzuordnen. Die Herstellung der Ausführungszeichnungen verlangte aussergewöhnliche Sorgfalt wegen der besonderen Nähte zwischen Stahl und Schweisseisen und den vorhandenen genieteten Bauteilen verschiedener Stärke.

Zwei Naht-Ausbildungen sind ausführlich beschrieben: die eine im Obergurt, die andere in einer Druck-Diagonalen.

Summary

The present paper gives precise details of the particular method of using arc welding for repairing a large puddled iron railway bridge.

Even a restricted use of welding simplifies the dismantling work. The combining of steel with puddled iron necessitated in each particular instance tests beforehand to ascertain the most suitable method of welding.

In order that the seams should correspond to the constructional details thus pre-ascertained, permanent inspection was necessary during the work. The preparing of the execution-plans required exceptional care on account of the particular seams between steel and puddled iron and the presence of individual riveted constructive elements of varying strength.

Two types of seams are described in detail : one in the upper boom, the other in a diagonal strut.