

INSTITUT BELGE DE LA SOUDURE

**La soudure dans les installations fixes
de chemins de fer et de tramways**

par

Ir. Jean VANDENBERGHEN

Ingénieur A.I.G./A.I.Ms.

21, rue des Drapiers - Bruxelles

1960

C
6
1
4
0
0
2

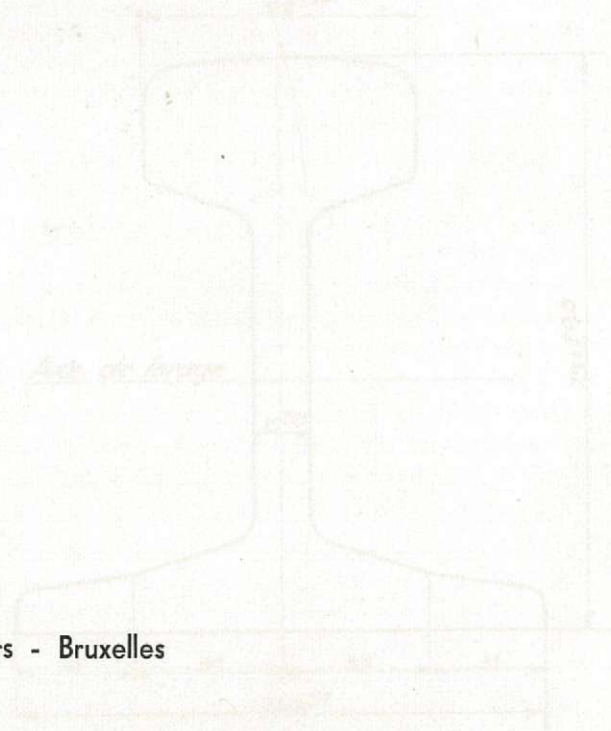
La soudure dans les installations fixes
de chemins de fer et de tramways

**La soudure dans les installations fixes
de chemins de fer et de tramways**

par

Ir. Jean VANDENBERGHEN

Ingénieur A.I.G./A.I.Ms.



21, rue des Drapiers - Bruxelles

1960

La soudure dans les installations fixes de chemins de fer et de tramways

I. — INTRODUCTION

Après les exposés concernant les applications de la soudure dans le matériel roulant, nous examinerons les différentes techniques de la soudure, qui sont d'un emploi courant et généralisé dans les services de la voie des chemins de fer et des tramways.

Nous passerons en revue, les divers aspects des problèmes soulevés par la soudure des rails. Nous décrirons les méthodes mises en œuvre pour la construction d'appareils de voie par soudage, ainsi que la reconstitution des pièces usées par soudure.

Examinons tout d'abord la pièce à souder. Un rail est constitué par une première masse de métal : le champignon et une autre constituant le patin, ces deux masses sont reliées par une âme relativement mince. L'ensemble constitue le profil Vignole fig. 1 qui est d'application courante dans les chemins de fer, par contre, pour les rails de tramways, généralement encastés dans les pavés, on utilise des rails à gorge fig. 2.

Il est compréhensible que ces profils poseront des problèmes particuliers, notamment par suite du traitement thermique qui résulte des opérations de soudage.

Le profil généralement utilisé par les réseaux se situe aux environs de 50 kg/m. Signalons que l'Union Internationale des chemins de fer a dessiné un nouveau profil unifié de 54 kg/m dont les formes ont été particulièrement étudiées en vue d'obtenir une transmission aussi régulière que possible des tensions du champignon vers l'âme et le patin. Ce profil est actuellement à l'essai sur divers réseaux étrangers et 10 km de voie ont été posés en Belgique (fig. 3).

Du point de vue métallurgique, les aciers à rails se classent parmi ceux que la plupart d'entre nous qualifie de difficilement soudables ou mêmes d'insoudables.

La composition est approximativement la suivante :

| | |
|------|---------------|
| C : | 0,40 à 0,55 % |
| Mn : | 0,70 à 1,20 % |
| Si : | 0,10 à 0,13 % |
| S < | 0,060 % |
| P < | 0,080 % |

Les rails utilisés en Belgique et sur la plupart des réseaux d'Europe sont fabriqués en partant d'aciers Thomas. En Angleterre et en Amérique par contre, les rails sont fabriqués en partant d'aciers Martin.

En fait quel est le problème à résoudre ? Dans la voie, c'est principalement le joint assemblant les extrémités voisines de deux rails qui constitue le point faible, car il crée une lacune dans la surface de roulement et provoque des chocs inévitables lors du passage des roues. De plus, le métal se désagrège et se fissure rapidement à cet endroit.

La diminution du nombre de joints, tel est le problème que les ingénieurs des services de la voie ont tenu à résoudre au mieux.

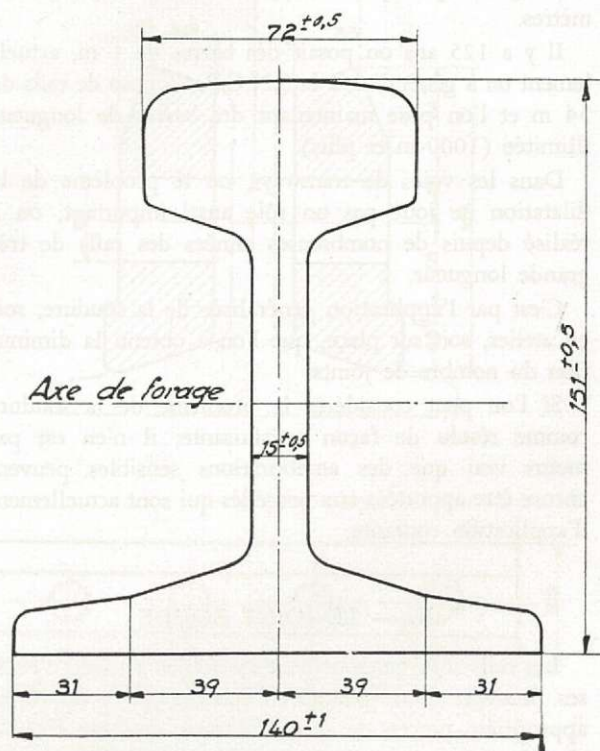


Fig. 1. — Profil Vignole de la S.N.C.B.

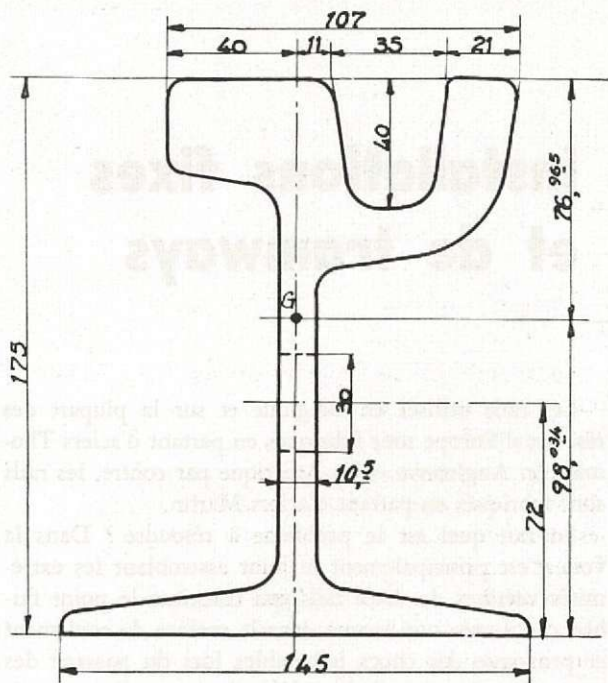


Fig. 2. — Profil de rail à gorge des tramways urbains bruxellois.

Les possibilités de fabrication dans les usines limitent la longueur pratique des barres à une trentaine de mètres.

Il y a 125 ans on posait des barres de 1 m, actuellement on a généralisé, à la S.N.C.B., la pose de rails de 54 m et l'on pose maintenant des barres de longueur illimitée (1000 m et plus).

Dans les voies de tramways, où le problème de la dilatation ne joue pas un rôle aussi important, on a réalisé depuis de nombreuses années des rails de très grande longueur.

C'est par l'application généralisée de la soudure, soit en atelier, soit sur place, que l'on a obtenu la diminution du nombre de joints.

Si l'on peut considérer le problème de la soudure comme résolu de façon satisfaisante, il n'en est pas moins vrai que des améliorations sensibles peuvent encore être apportées aux procédés qui sont actuellement d'application courante.

II. — LE JOINT SOUDE

Les rails sont généralement assemblés à l'aide d'éclisses. Il s'agit d'une plaque en acier (fig. 4) de forme appropriée, percée de 4 ou 6 trous, qui est fixée à cheval sur le joint à l'aide de boulons. Les forages sont étudiés de façon à permettre le mouvement relatif des

deux barres assemblées, ceci afin de ne pas contrarier la dilatation.

Les tolérances de fabrication des rails et des éclisses ont, dans le cas des joints éclissés, des conséquences désastreuses sur le comportement de la voie et du matériel roulant. Comme elles sont inévitables, ceci explique l'impérieuse nécessité qui a poussé les ingénieurs de la voie d'avoir recours à la soudure en vue d'éliminer autant que possible les inconvénients signalés.

Nous avons déjà mentionné que la composition chimique des aciers à rails les classent parmi ceux que l'on qualifie de difficilement soudables. En outre, il faut tenir compte du fait que les assemblages doivent résister à une sollicitation dynamique qui n'est pas négligeable.

Dans ce qui suit, nous rappellerons brièvement les différents procédés de soudure ainsi que leur application pour l'assemblage des rails.

1° Soudure par fusion.

a) Soudure des joints au chalumeau oxy-acétylénique.

L'indépendance de la source de chaleur et du métal d'apport permet à ce procédé de modifier le régime thermique, ce qui au point de vue de la soudabilité d'un acier à 0,45 % de C, constitue un avantage sérieux. En

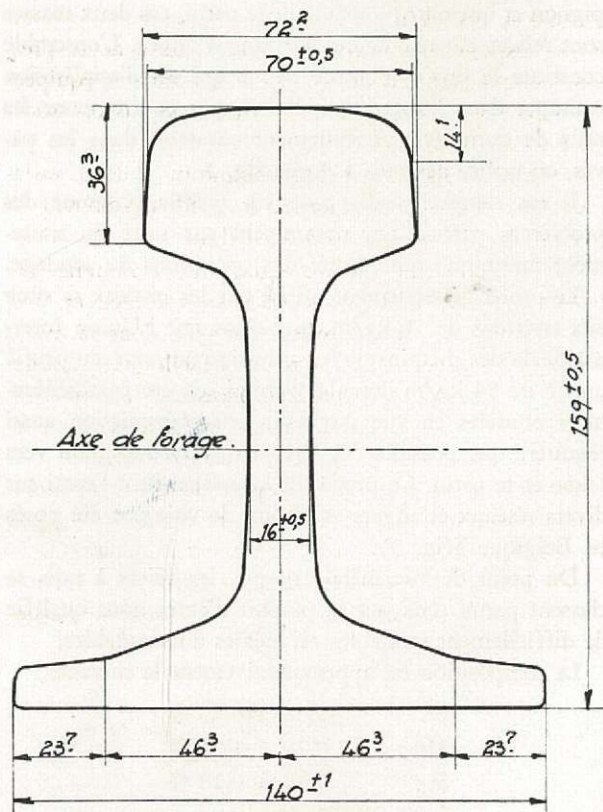


Fig. 3. — Profil UIC 54 kg/m.

outre, la chaleur apportée dans le rail par le chalumeau est progressive et élevée. Travaillant en régime thermique chaud, la zone de transition est répartie assez loin du joint.

Comme le rail présente un profil assez massif, pour pouvoir exécuter le travail dans un temps raisonnable, il faut opérer à l'aide de deux soudeurs disposant d'un équipement portatif classique, puisque l'on opère en chantier.

Matériel utilisé.

Les caractéristiques de l'appareillage utilisé sont les suivantes :

- 1) Deux bouteilles d'acétylène dissous munies de deux détendeurs et de leur tuyaux en caoutchouc.
- 2) Une bouteille d'oxygène munie d'un détendeur invivible d'une grande capacité de débit, capable d'alimenter les deux postes d'utilisation par une petite rampe de distribution sur laquelle on raccorde les caoutchoucs.
- 3) Un chalumeau-coupeur d'un type moderne avec des becs habituels permettant de découper de 8 à 100 mm avec quatre becs en général (8/15 - 15/30 - 30/50 - 50/100) dont on utilise celui approprié aux épaisseurs du rail : 15/30.
- 4) Deux chalumeaux soudeurs de construction soignée et couvrant une gamme suffisante de débits entre 500 et 1500 l/h.

On dispose notamment de chalumeaux à haute pression dont on choisira les deux buses normales équipées des sept becs classiques 315 - 400 - 500 - 630 - 800 - 1000 - 1250 l/h.

On peut utiliser aussi des chalumeaux à débit variable, dans ce cas l'on choisira le modèle couvrant la gamme des débits de 350 à 1000 l/h.

Il faut veiller à ce que le réglage d'une flamme carburante soit facile et précis grâce au maintien en bon état des robinets de contrôle des débits, dont la manipulation devra par ailleurs être aussi facile que possible.

5) Le matériel et l'outillage accessoire habituel du soudeur : marteau de mécanicien, masse, chasse à parer, brosses métalliques, limes, burins, tranches etc.

6) Un lot de baguettes d'apport de deux qualités : baguettes de 4 ou 5 mm de diamètre en acier ductile à haute résistance à 50-55 kg/mm² pour le soudage de la section du rail et baguettes de 5 ou 6 mm de diamètre en acier tenace et à haute dureté pour le rechargement du champignon.

Exécution du joint.

Les deux profils sont exactement ajustés face à face par des coins de calage placés sous le patin, de façon que le joint soit d'équerre, et les deux opérateurs montent leurs équipements respectifs : tout d'abord un poste d'oxycoupage et un poste de soudage.

Le travail débute simultanément, d'une part en vue de procéder au chanfreinage du champignon du rail et de la partie centrale de jonction de l'âme au patin, et d'autre part en vue d'effectuer en même temps un préchauffage des abouts des deux rails vers 300° C.

Les deux rails à assembler sont placés à une distance de 4 à 5 mm.

Le premier opérateur réalise une sorte de cuvette dans le champignon par oxycoupage. Il ouvre également un chanfrein en V dans la partie médiane du patin. (fig. 5)

Le second opérateur préchauffe les rails en concentrant progressivement la chaleur au cœur même du raccord entre l'âme et le patin.

Grâce à ces travaux simultanés, dès que le chalumeau-coupeur a été remplacé par le second chalumeau-soudeur, les deux opérateurs peuvent commencer le travail en formant un bain de fusion commun à l'endroit précité. On veille à y concentrer la puissance des deux chalumeaux pour obtenir rapidement une pénétration sur l'envers du patin, dans l'axe même du rail.

Cette liaison au fond et à cœur du patin étant obtenue, on exécute en premier lieu une soudure en arrière. Les soudeurs progressent de l'axe du rail vers les bords du

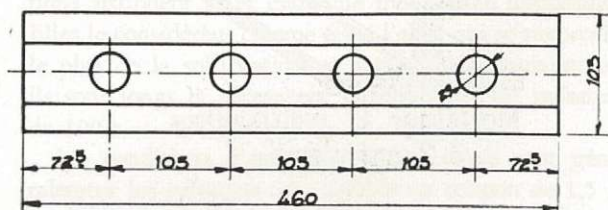
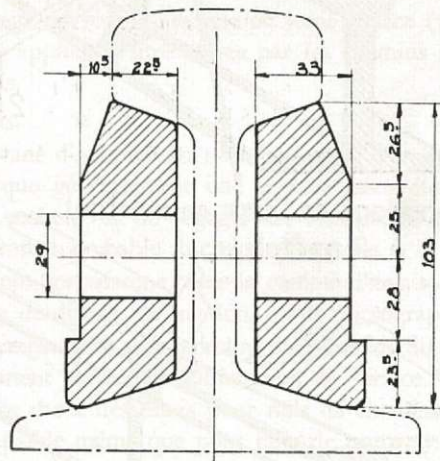
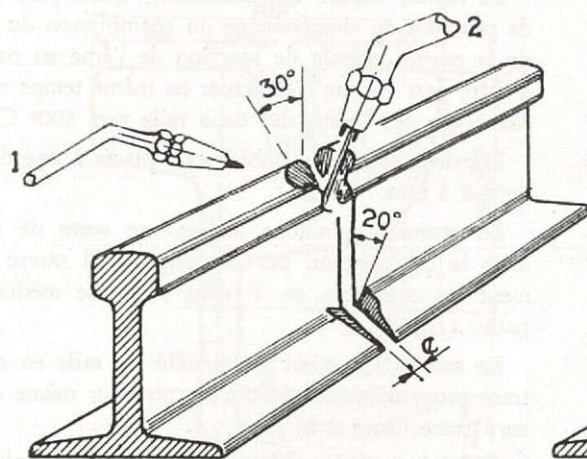
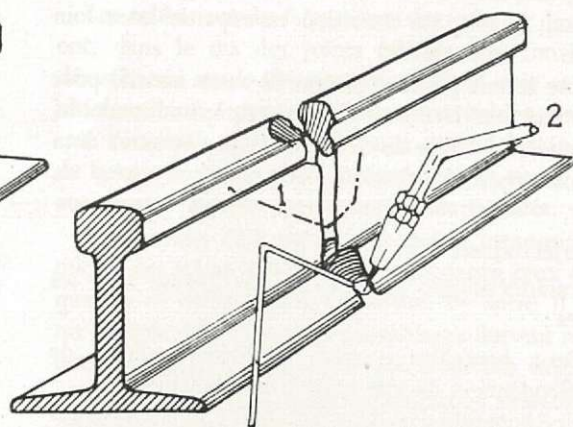


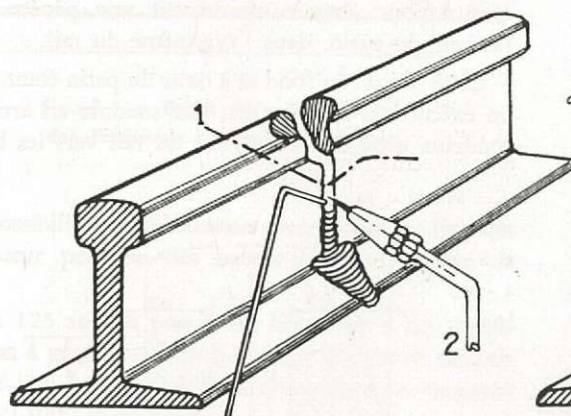
Fig. 4. — Eclisse plate à 4 trous.



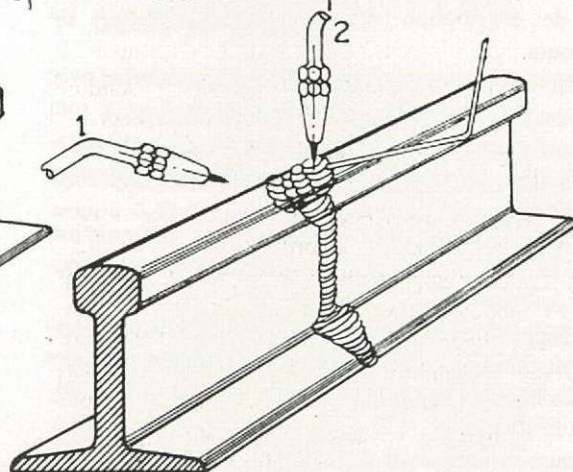
Préchauffage à 200°C &
Oxycoupage à 2 opérateurs



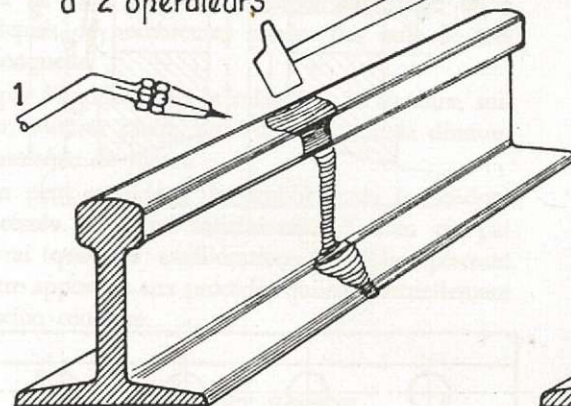
Soudage symétrique du patin à 2
opérateurs en ARRIERE puis en AVANT.



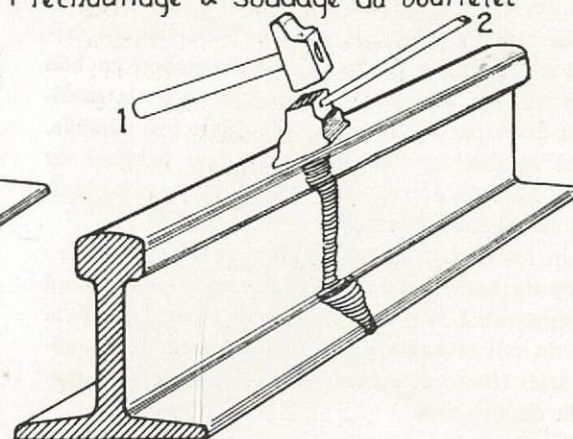
Soudage de l'âme en montant
à 2 opérateurs



Préchauffage & soudage du bourrelet



Martelage et postchauffage
à 2 opérateurs



Mise en forme à la masse et à la chasse à
parer à 2 opérateurs.

Fig. 5.

patin, en veillant à réaliser surtout une pénétration parfaite du cordon sur l'envers du patin, où il est, en effet, impossible de faire une reprise.

On doit donc veiller à provoquer un traversé continu par un effondrement suffisant du bain de fusion. Lorsque les deux opérateurs ont atteint chacun le bord extérieur du patin, ils veillent à en établir la parfaite continuité. Une seconde passe recharge ensuite le manque d'épaisseur de la soudure du patin par une soudure en avant qui progresse du bord vers l'âme du rail. On régularise ainsi la surface et on améliore la qualité du métal déposé. Au fur et à mesure que l'on se rapproche de l'âme, l'action simultanée des deux chalumeaux, opérant symétriquement, facilite l'avancement du bain de fusion pour finir par combler la cuvette existant au cœur de l'âme.

Pour l'exécution de la soudure du patin on utilise des becs de 800 à 1250 l/h pour des profils de 40 à 50 kg/m. La flamme est réglée légèrement carburante avec une auréole d'une longueur égale à celle du dard.

On entreprend ensuite immédiatement la soudure montante des bords droits de l'âme en progressant de bas en haut simultanément sur les deux faces du rail. Lorsque l'on arrive à la naissance du champignon, les deux opérateurs poursuivent leur avance en formant par soudure au plafond, un cordon de base au fond et à l'envers du chanfrein du champignon. On dispose ainsi d'un support approprié au remplissage de la cuvette du champignon du rail, sans risquer d'effondrement latéral. La soudure montante de l'âme et la soudure de l'envers du champignon ont permis de préchauffer utilement ce dernier et il ne reste plus, à l'un des soudeurs, qu'à exécuter le remplissage du chanfrein, pendant que l'autre opérateur se contente de maintenir la masse du rail à la température désirable en préchauffant les abords de la cuvette avec le second chalumeau. Le soudeur veille à refondre partiellement le fond du chanfrein qui a été soudé au plafond, puis il dépose une série de passes latérales pour combler la base du champignon. Une fois cette base bien établie, on continue le rechargement par des passes de plus en plus larges allant d'un rail à l'autre.

On continue ainsi jusqu'à obtenir une surface de métal rapportée un peu en dessous du niveau du métal de base des deux rails. Une deuxième passe d'une épaisseur de 5 mm environ et dont la surépaisseur est destinée à être martelée, est ajoutée en adoptant un réglage nettement carburant de la flamme ainsi qu'un métal d'apport en acier allié et dur, au chrome-manganèse par exemple, ayant pour caractéristique une dureté Brinell d'environ 350.

Après avoir exécuté ce rechargement, on termine le travail par un martelage partiel au marteau de mécanicien de 500 gr, pour refouler la surépaisseur.

On forge en même temps le métal déposé en le maintenant avec un chalumeau à une température de 600° à 850° C. Arrêtant le postchauffage, on exécute un martelage général à la masse, manœuvrée par un opérateur, et à la chasse à parer, tenue par l'autre. Ce travail combiné des deux opérateurs assure le profilage exact de l'ensemble du champignon et la mise en forme de la table de roulement.

Parfois on pose des éclisses sur les âmes jusqu'au refroidissement complet de l'assemblage, après quoi, on enlève les plaques de support.

Ce procédé d'assemblage a été étendu aux rails à gorge dès 1943 et l'exécution de la soudure de ce profil ne présente aucune difficulté particulière.

La durée moyenne de la soudure, depuis le début du chanfreinage jusqu'à la fin du planage est de 60 minutes environ. Une équipe de trois hommes comprenant un soudeur parfaitement qualifié, un paveur et un manœuvre, travaillent ensemble aux transports urbains de l'agglomération bruxelloise et peuvent réaliser facilement 4 joints par journée de 8 heures, transports compris, pour autant que la fréquence de passage des motrices ne soit pas supérieure à 10 unités à l'heure.

Dans certains cas où le rail est fortement sollicité, certains réalisateurs ont prévu un accroissement localisé de la section au droit du joint. Il a été obtenu par une semelle glissée sous le rail et dont les bords sont repliés à chaud au-dessus du patin et soudés à celui-ci. Il s'agit du joint à tenaille ou joint Tulacz (fig. 6) qui a été appliqué entre autres par les chemins de fer polonais.

Essais.

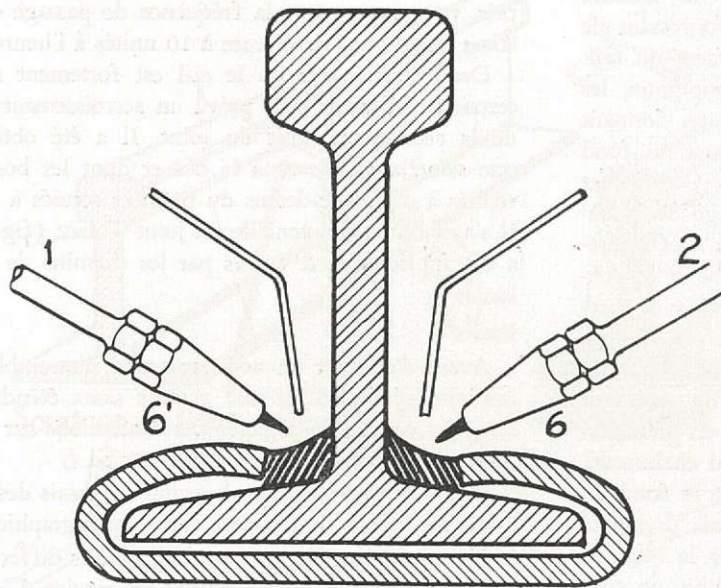
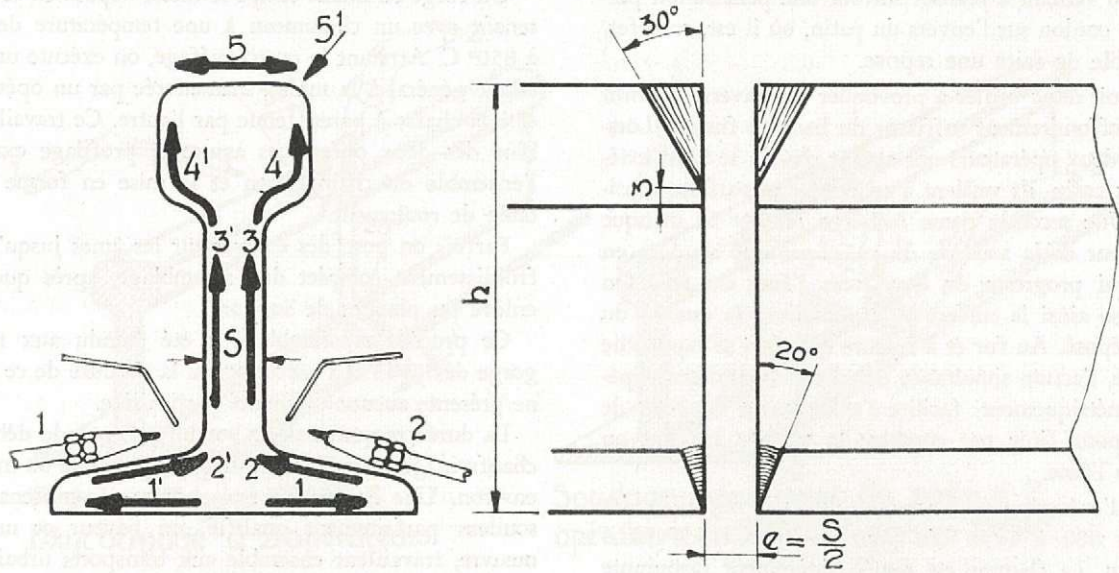
Avant d'adopter un nouveau mode d'assemblage, on pratique généralement une gamme assez étendue d'essais, ceci en vue de dégager des conclusions sur le comportement probable du joint en service.

Nous connaissons toute la gamme d'essais destructifs: essais de dureté, de traction, essais micrographiques etc.

L'importance et le nombre de ces essais diffèrent sensiblement suivant la sollicitation en service. C'est ainsi que le choix des essais pour rails de chemins de fer ne sera pas le même que pour rails de tramways.

Parmi les essais classiques utilisés en vue de vérifier la qualité des soudures, nous devons signaler l'essai de fatigue par flexion. Il semble que toutes les Administrations attribuent à cet essai une très grande importance. Elles le considèrent comme étant l'essai qui se rapproche le plus de la sollicitation en service. Malheureusement ils sont longs et nécessitent l'utilisation d'un pulsateur de 100 t.

Les conditions d'exécution de ces essais sont généralement les suivantes: on prélève un coupon de 1,5 m de longueur. Celui-ci est placé sur des appuis situés à 1 m de distance. La charge est appliquée au droit du



- 1 - Soudure en arrière.
- 2 - Soudure en avant.
- 3 - Soudure montante.
- 4 - Soudure au plafond.
- 5 - Soudure à plat.
- 6 - Soudure à clin.

Fig. 6.

En haut : Séquence de soudage d'un joint de rail et préparation des bords - Section pleine - Soudure à deux opérateurs.

En bas : Semelle tenaille - Soudure à deux opérateurs.

joint à mi-distance des appuis. La cadence des pulsations est de 500 par minute. La charge minimum est de 1 à 1,5 t afin d'assurer le contact entre rail et appuis. La charge maximum varie d'après la nature du profil. Actuellement on applique une charge telle que le patin soit tendu et que les tensions varient entre 1 et 21 kg/mm². Un joint est réputé bon lorsqu'il résiste à 1.000.000 de pulsations. Nous devons remarquer que le sens de flexion a énormément d'importance, principalement si nous voulons soumettre des profils Vignole ou à gorge à des essais de fatigue.

C'est ainsi que si nous mettons le patin en tension, nous risquons de défavoriser un joint réalisé par soudure au chalumeau, par suite de la difficulté d'obtenir une soudure bien pénétrée au droit du patin.

Mentionnons les essais effectués en 1949 par l'I.B.S. sur des rails à gorge. Dans ces essais les joints ont été soumis à des charges croissantes de façon à résister à 2 millions de cycles, déterminant ainsi le chiffre adopté comme critère d'endurance.

Le classement obtenu est repris au tableau I et répond assez clairement à l'impression générale de tenue des joints en service.

Utilisation.

Ce mode d'assemblage est principalement utilisé dans les voies de tramways et de raccordement. A l'exception d'installations particulières, telles que celles des ports, des voies de raccordement, etc., la plupart des réseaux de chemins de fer n'utilisent pas ce mode de soudure. Ceci principalement en raison des longs intervalles de

temps qu'il nécessite. La qualité de la soudure n'est pas en cause.

b) Soudure des joints à l'arc électrique.

La soudure électrique, par suite de son apparente facilité d'exécution, a été une des premières à tenter les chercheurs.

On a tout d'abord pensé consolider l'éclissage par des soudures longitudinales le long des éclisses. Les cordons de soudure résistaient mal aux sollicitations dynamiques. On évolua rapidement pour en arriver finalement aux conditions actuelles d'exécution de ces assemblages.

Matériel utilisé.

On utilise généralement un groupe générateur de soudure en courant continu réglable jusqu'à 350 A sous une tension d'environ 40 V.

L'opérateur utilise des électrodes basiques de 4 à 6 mm de diamètre. Les nuances utilisées varient d'après les réseaux de 50 à 70 kg/mm² à 60 à 80 kg/mm². Dans certaines Administrations on constitue le corps de la soudure à l'aide d'électrodes à 60 kg/mm² et les cordons au roulement en métal à 80 kg/mm².

Ajoutons un jeu de plaques en cuivre largement dimensionnées, un chalumeau-coupeur, alimenté par des bonbonnes à gaz et une meule, outil nécessaire à tout travail de rechargement en voie.

Exécution du joint Sécheron.

TABLEAU I.

| Assemblages | Charge en t. | Limite de fatigue kg/mm ² |
|--|--------------|---|
| Rails sans soudure | > 24 | > 23,3 |
| Joints alumino-thermiques | 17,5 à 18 | 17 à 17,5 |
| Joints par étincelage recuits | 17 à 17,5 | 16,5 à 17 |
| Joints par étincelage | 16 à 17 | 15,5 à 16,5 |
| Joints à l'arc avec reprise à l'envers | 16 à 16,5 | 15,5 à 16 |
| Joints oxy-acétyléniques à tenailles | 16 à 16,5 | 15,5 à 16 |
| Joints oxy-acétyléniques métal A (1 ^{re} soudure) | 15 à 16 | 14,5 à 15,5 |
| Joints oxy-acétyléniques métal A (2 ^e soudure) | 12 à 13 | 11,6 à 12,6 |



Fig. 7. — Joint « Sécheron ».

Deux procédés sont essentiellement mis en œuvre. Ce sont : le procédé Sécheron, mis au point par les ateliers Sécheron à Genève en collaboration avec les chemins de fer fédéraux suisses et le soudage des faces sans chanfrein, appelé parfois procédé Philips.

Décrivons tout d'abord le joint Sécheron.

La fig. 7 montre la conception du joint. Le but des chercheurs a été de renforcer le patin, principalement dans les fibres inférieures, qui sont les plus sollicitées. A cet effet, le patin du rail est replié vers le bas, après avoir entaillé la partie inférieure de l'âme à l'aide d'un chalumeau-coupeur. Le pliage entraîne une légère déformation de l'extrémité de la semelle que l'on corrige à l'aide du chalumeau pour obtenir un chanfrein en V. Le champignon est généralement également chanfreiné en V, bien que cette opération ne soit pas indispensable.

A cette occasion, on procède généralement au préchauffage du rail avant soudure. La température à atteindre se situe aux environs de 300° C et est contrôlée à l'aide de crayons thermocolors.

Après ces opérations préliminaires, l'opérateur place, sous le joint, une plaque de cuivre, de forme adéquate, qui est généralement munie d'une rainure. Le soudeur dépose ensuite un premier cordon à l'aide d'une électrode de 4 mm. L'opérateur élimine les scories et enlève la plaque de cuivre pour contrôler à l'aide d'un miroir l'aspect inférieur du premier cordon. Ce contrôle permet de déceler si aucun défaut important n'est visible dans la première couche. Le contrôle terminé, l'ouvrier remet la plaque de cuivre en place et dépose sans interruption toute l'épaisseur nécessaire au renforcement; il utilise à cet effet des électrodes de 5 mm.

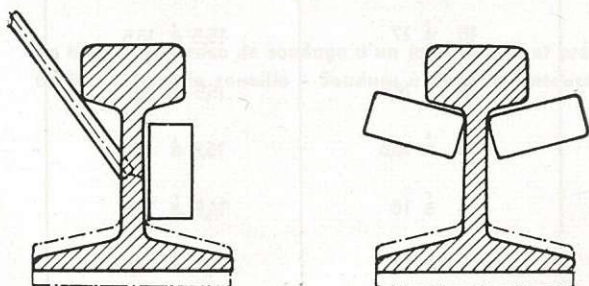


Fig. 8. — Exécution du joint « Sécheron ».

Le métal d'apport est déposé de façon à former, après usinage, un renforcement symétrique. Le laitier est chassé vers les bords en soudant. On évite la surchauffe du rail pendant le soudage, de façon à ne pas avoir d'écoulement du métal d'apport avec le laitier ou de jaillissement d'étincelles à la surface de la soudure, ce qui rendrait celle-ci fortement poreuse.

Soudage de l'âme.

La distance entre les deux extrémités des rails étant d'environ 15 mm, on conduit l'électrode par l'un des côtés, alors que, de l'autre côté, l'âme est flanquée d'une pièce de cuivre (fig. 8). Le soudeur utilise pour cette phase du soudage des électrodes de 4 mm de diamètre. Comme pour le renforcement de la semelle, il chasse son laitier et soude sans interruption. Le courant de soudage ne peut être trop élevé, car la dispersion calorifique de l'âme est faible. Le soudage s'effectue en position verticale.

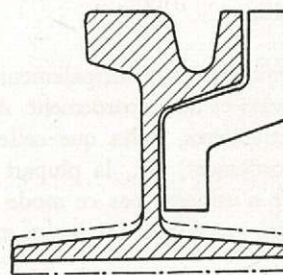


Fig. 9. — Exécution du joint « Sécheron » avec rail à gorge.

Soudage du champignon.

Après avoir enlevé la plaque de cuivre utilisée pour souder l'âme, l'opérateur place deux pièces en cuivre, destinées au soudage du champignon (fig. 8). Il prendra soin de laisser entre la base du champignon et les pièces de cuivre un intervalle de 2 mm environ, qui permet au laitier de s'écouler grâce à sa fluidité. Le métal d'apport, beaucoup plus visqueux, ne s'écoule pas. Les scories de la première couche sont éliminées; le soudeur termine ensuite le champignon sans interruption en chassant le laitier. On fixe l'ampérage à une valeur moindre que pour le soudage de pièces normales de mêmes dimensions que le champignon, car ce dernier s'échauffe assez rapidement. Le joint est parachevé par un meulage soigné de la table de roulement et du raccord du rechargement sur le patin.

Le même procédé peut s'utiliser pour des rails à gorge (fig. 9).

Notons que le nombre d'électrodes nécessaires à la confection d'un joint varie entre 30 et 35 pièces. Le soudage de la semelle nécessite à lui seul 25 électrodes environ.

Aucun réseau n'estime qu'il est nécessaire de procéder à un postchauffage pour corriger la structure brute de coulée de la soudure à l'arc.

Essais.

De nombreux essais de fatigue furent effectués en Suisse. On obtint sur des joints réalisés de cette façon des résistances à la fatigue de 26,2 et 27,4 kg/mm² sur le profil CFF 1 avec une distance entre appuis de 1,2 m.

Dans un joint rompu au cours d'un essai de fatigue, et malgré la présence d'importants défauts de soudure, la résistance à la rupture a atteint 23 kg/mm².

Utilisation du joint Sécheron.

Ce joint mis au point en 1945 en Suisse est actuellement utilisé par la majeure partie des réseaux.

Pour obtenir un bon résultat il faut :

- 1) Disposer de soudeurs très qualifiés;
- 2) Préchauffer avec soin et maintenir pendant le soudage la température à 300° C;
- 3) Meuler soigneusement les plans de transition du renforcement.

Exécution du joint à l'arc entre faces de section droite, joint Philips.

L'opérateur travaille de façon semblable à celle précédemment exposée, excepté qu'il ne réalise pas d'entaille ni le pliage du patin. (fig. 10, 11, 12).

Les séquences des opérations sont données par les fig. 13 à 18. Sciage du rail en vue de réaliser l'ouverture voulue. Réglage de l'alignement parfait des deux barres; calage du joint; préchauffage à 300° C; soudure montante dans l'âme en conduisant l'électrode d'un côté, de l'autre côté se trouve une plaque en cuivre. Remplissage général jusqu'à la table de roulement, martelage et meulage.

Utilisation.

Les applications de ce procédé ne concernent généralement que des voies accessoires, toutefois des études de laboratoire récentes ont montré qu'en l'état actuel de la technique, il était possible de réaliser des soudures de rails à l'arc de haute qualité susceptibles d'être utilisées en voies principales. Il convient toutefois de remarquer que ce procédé d'assemblage exige une main-d'œuvre spécialisée de très haute qualification.

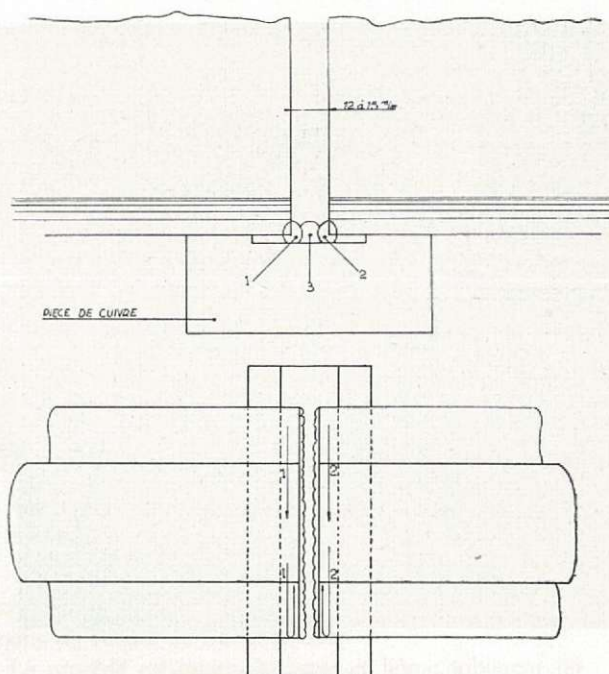


Fig. 10.

2) La soudure aluminothermique.

Le principe de la soudure par aluminothermie est connu. Il est basé sur la réaction exothermique entre l'aluminium et l'oxyde de fer en poudre. Cette réaction

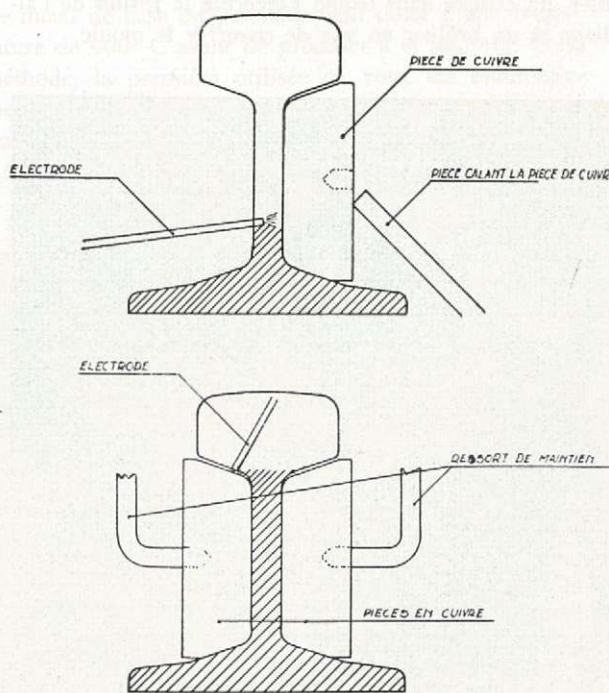


Fig. 11 et 12.



Fig. 13. — Sciage du joint.

a lieu dans un creuset, l'alliage de fer en fusion ainsi obtenu par réduction de son oxyde est ensuite coulé dans un moule entourant les éléments à assembler.

Matériel utilisé.

Le matériel mis en œuvre est d'une grande simplicité et permet le travail même en chantier rustique. En général on utilise un moule qui enserme les rails à assembler, un creuset dans lequel s'effectue la fusion de l'alliage et un brûleur en vue de chauffer le moule.

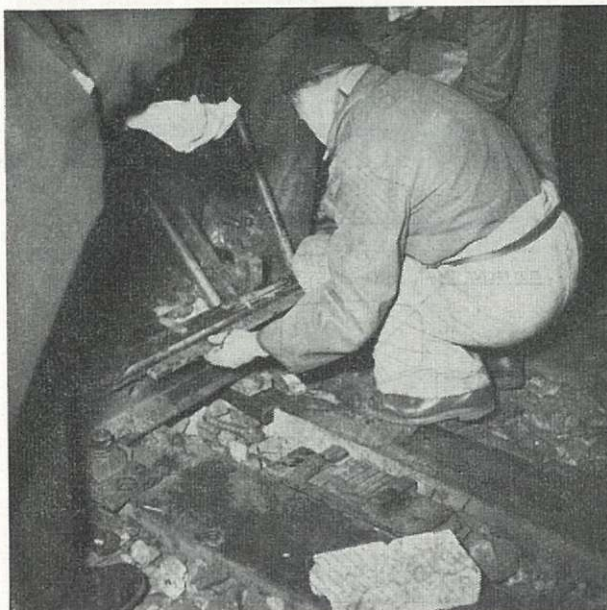


Fig. 14. — Alignement soigneux des deux rails.

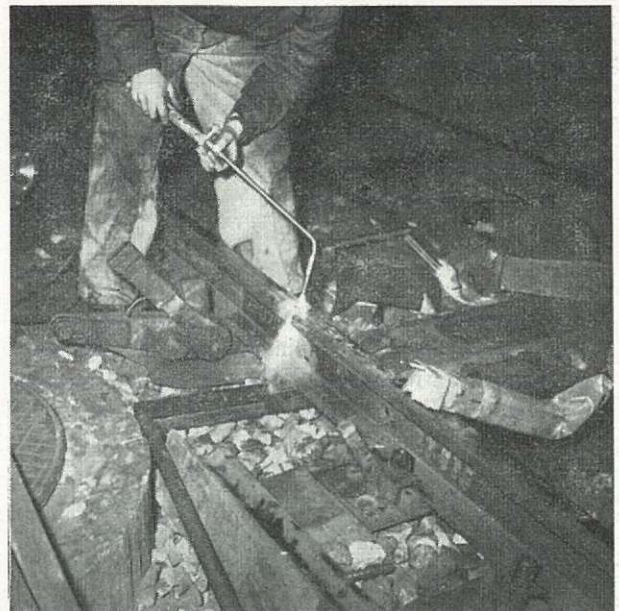


Fig. 15. — Préchauffage des abouts.

Exécution du joint.

Deux procédés sont essentiellement utilisés, il s'agit :

- a) du procédé par presse de serrage;
- b) du procédé par fusion intercalaire.

a) Le procédé par presse de serrage.

Les abouts des rails sont soigneusement nettoyés et amenés parfaitement jointifs. On fraise minutieusement les abouts qui sont amenés en contact l'un de l'autre, les extrémités des barres à assembler sont prises dans une

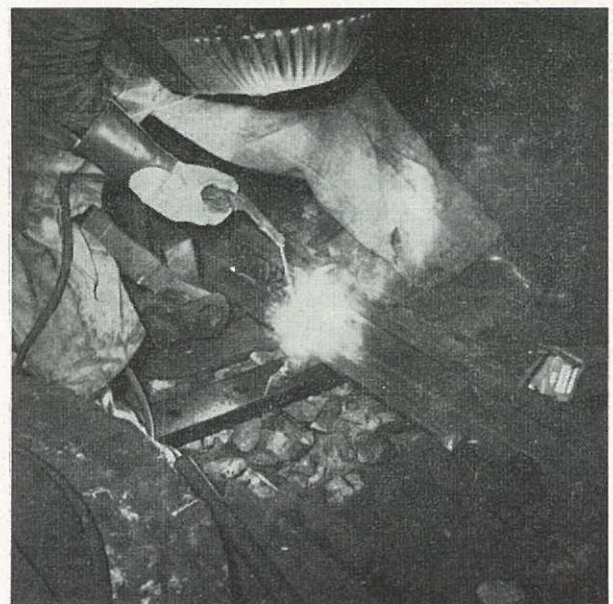


Fig. 16. — Dépôt d'un premier cordon entre les patins.



Fig 17. — Remplissage entre les âmes.

presse à vis (fig. 19), ensuite on coule le métal en fusion dans un moule jusqu'au niveau de la partie supérieure de l'âme. Le laitier d'alumine surnage et vient baigner le champignon. Celui-ci est porté à une température telle que la soudure s'obtient par pression des deux rails l'un contre l'autre. On facilite celle-ci en intercalant une plaque soudante en acier doux. La plaque à

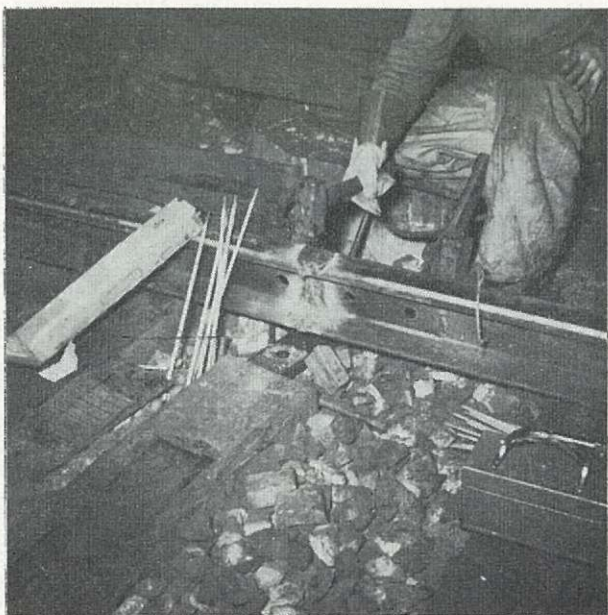


Fig. 18. — Martelage du joint terminé.

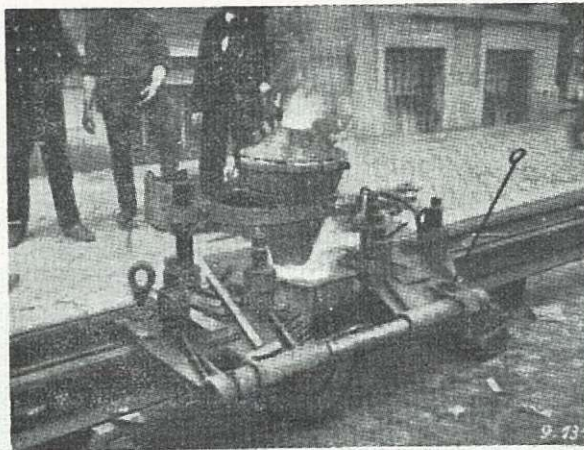


Fig. 19. — Presse à vis.

structure ferritique se soude ainsi plus aisément aux grains de ferrite de l'acier à rail.

Le procédé est mixte, le patin et l'âme subissent un début de fusion et font corps avec le métal d'apport, tandis que les champignons sont soudés l'un à l'autre par forgeage.

b) Le procédé par fusion intercalaire.

Dans ce procédé on coule le métal jusqu'à la partie supérieure de la table de roulement. Les bouts des rails sont écartés de 10 à 25 mm afin de permettre la coulée du métal en fusion sur toute la section à souder. Le métal de base est préalablement porté à une température de 900° C avant de procéder à la soudure. Cette méthode, la première utilisée en voie, est essentiellement un procédé de chantier pouvant s'accomoder d'une main-d'œuvre non spécialisée, directement utilisable après un très court apprentissage. Assez récemment cette

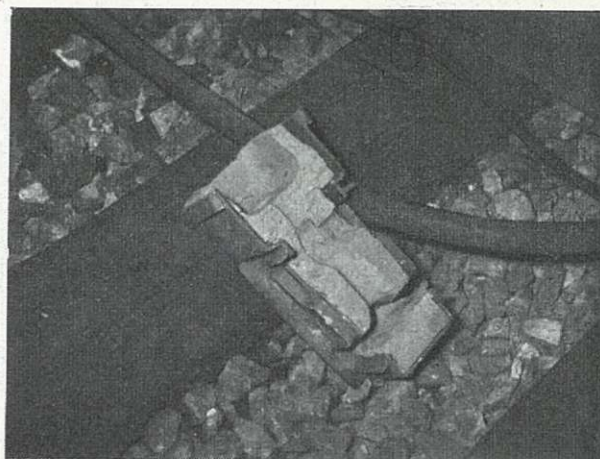


Fig. 20. — Moule préfabriqué.

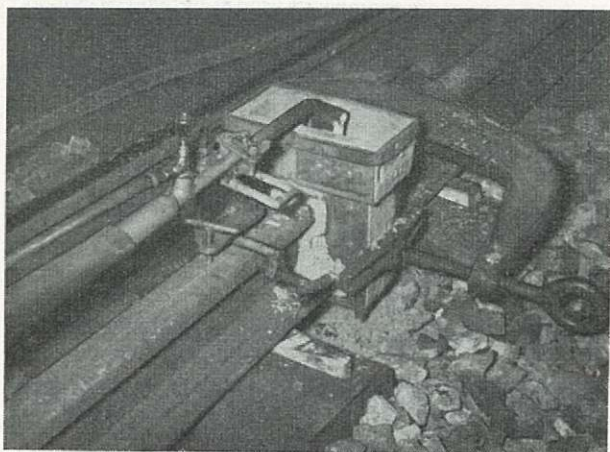


Fig. 21. — Montage du moule.

méthode de soudure a subi d'importants perfectionnements de détails tendant vers une semi-automatisme de l'opération : l'appareillage de coulée a été simplifié, les conditions d'exécution du préchauffage améliorées et le moulage sur place remplacé par l'emploi de moules préfabriqués. Il en est résulté une augmentation sensible du rendement avec une amélioration de la qualité des soudures. (fig. 20, 21, 22, 23, 24, 25).

La bonne exécution du préchauffage conditionne la qualité de la soudure, la généralisation de l'emploi de mélanges oxygène-propane ou oxygène-benzine, permet d'obtenir très rapidement et aisément la température requise qui est soigneusement contrôlée. Les fournisseurs peuvent livrer des charges de soudure appropriées à la nuance des rails à souder.

La qualité du métal fondu est telle qu'il n'est pas

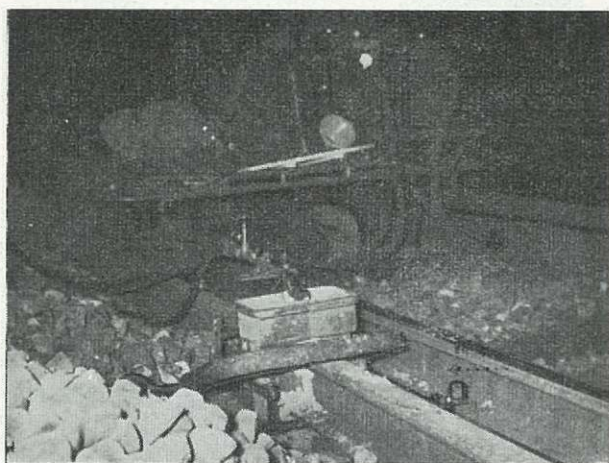


Fig. 22. — Préchauffage du moule.



Fig. 23. — Fusion du métal.

nécessaire de procéder à un traitement de recuit pour régénérer la structure brute de coulée.

Il convient de souligner la souplesse du procédé aluminothermique, qui, en partant à l'origine de la soudure à plaquette intercalaire nécessitant un usinage préalable compliqué et un lourd matériel de chantier, aboutit, par une suite continue de perfectionnements, à l'exécution de soudures très saines dans un temps notablement réduit avec un outillage léger et très simplifié. C'est ainsi que le temps nécessaire à la réalisation d'un joint a été ramené à 11 minutes alors que précédemment il fallait 34 minutes.

Essais.

Des essais de fatigue effectués en Allemagne sur profil S 49 ont donné des résistances à la fatigue atteignant 24 kg/mm².

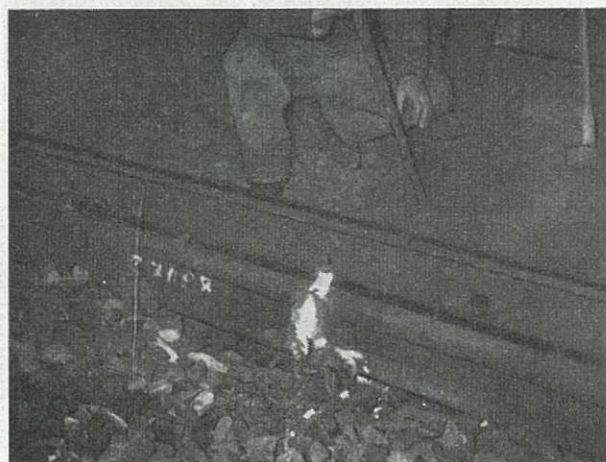


Fig. 24. — Démoulage du joint.

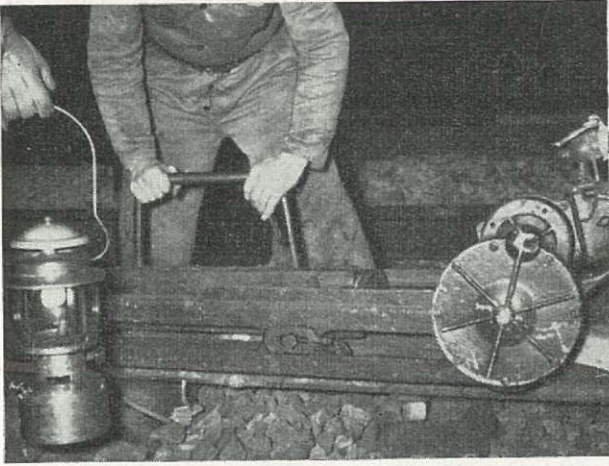


Fig. 25. — Robotage de la table de roulement.

Mentionnons que des essais effectués sur profil SNCB 50 kg/m avant la guerre, à l'Université de Liège sous la direction du Professeur Campus, ont montré que la résistance à la fatigue du joint aluminothermique n'était que de 23 % de celle du rail sain.

Il faut remarquer qu'il s'agissait de soudures effectuées d'après les anciennes méthodes et que des améliorations sensibles ont été apportées au procédé, principalement par le fait du remplissage du moule qui s'effectue par des jets de coulée débouchant dans le bourrelet du patin et par les modifications apportées au tracé des moules améliorant la compacité du métal coulé en supprimant en particulier la retassure et les soufflures.

Les essais macrographiques et particulièrement l'empreinte Baumann ou des attaques cuivriques effectuées sur des tranches longitudinales révèlent les défauts que l'on décèle dans ces soudures.

Un autre reproche que l'on fait à ce type de soudure c'est la présence de discontinuités physiques, chimiques et mécaniques au droit de la soudure. Ces discontinuités sont particulièrement nocives si elles se trouvent près de la table de roulement, car elles peuvent être à l'origine de cuvettes. Pour cette raison, plusieurs réseaux estiment nécessaire d'obtenir une dureté plus élevée dans la soudure.

Les défauts principaux que l'on rencontre sont les suivants :

a) Absence ou manque de fusion du patin par suite d'une insuffisance de préchauffage, le plus souvent attribuable à un intervalle trop réduit entre les faces à assembler.

b) Rupture au changement de section, mettant en cause une fragilité de forme et non la qualité intrinsèque de la soudure.

- c) Rupture passant par les anciens trous d'éclissage.
 - d) Fissuration longitudinale de l'âme à travers le bossage.
 - e) Incidents de coulée (inclusions de corindon).
- Utilisation.

Ce procédé est utilisé aussi bien par les réseaux de tramways que de chemins de fer.

En Belgique, plusieurs tronçons de rails longs ont été réalisés de cette façon et donnent satisfaction. Le renouvellement complet de la ligne Bruxelles-Anvers a été effectué en longues barres assemblées par aluminothermie.

3) Soudure par pression.

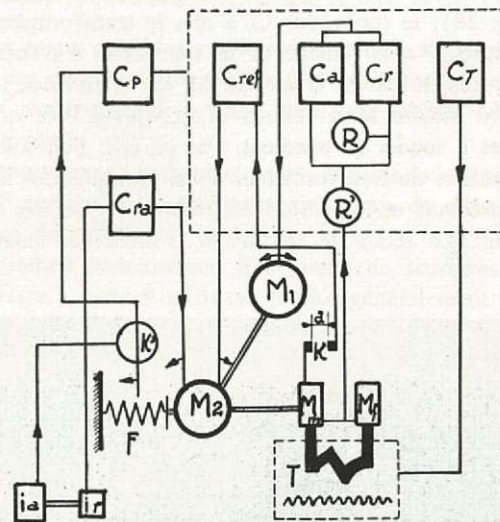
Sous cette rubrique, nous groupons les procédés qui comprennent les rails axialement après chauffage des bouts au blanc soudant.

Exécution du joint.

- a) La soudure électrique par pression.

Le principe de fonctionnement est le suivant : (fig. 26)

a) Mise en marche, après serrage des pièces à souder dans leurs mâchoires (fig. 27). La manœuvre de l'in-



LEGENDE :

- $C_p, C_{ra}, C_{ref}, C_a, C_r, C_\gamma$: Contacteurs.
 F : ressort. M_m, M_f : mâchoires.
 i_a, i_r : interrupteurs. M_1, M_2 : moteurs.
 K, K' : contacts. R, R' : relais.
 T : transformateur de soudure.

Fig. 26. — Schéma réduit de la commande automatique d'une machine à souder par pression.



Fig. 27. — Serrage des pièces à souder dans les mâchoires.

interrupteur d'avancement ia met sous tension le contacteur principal Cp qui, lui-même, en se fermant, met sous tension l'ensemble des contacteurs entourés d'un trait pointillé; tous se ferment à l'exception du contacteur de refoulement Cref.

b) Chauffage, fusion par rapprochements et reculs (fig. 28); le contacteur Ct a mis le transformateur de soudure T sous tension et le contacteur d'avancement Ca a mis en marche le moteur M, qui commande la mâchoire mobile Mm; celle-ci avance jusqu'à ce que les pièces à souder se touchent. Par ce fait, l'enroulement secondaire du transformateur T est pratiquement mis en court-circuit et la tension est réduite à une très faible valeur. Le relais de tension R' fonctionne, provoque



Fig. 28. — Chauffage et fusion par rapprochements et reculs.

l'ouverture du contacteur Ca et, sous le contrôle du relais à temps R, la fermeture du contacteur de recul Cr; le sens de rotation du moteur M est inversé et les pièces à souder s'éloignent l'une de l'autre; dès que la tension secondaire du transformateur est rétablie, le relais R' reprend sa position primitive; le contacteur Ca se referme, le cycle recommence et se reproduit jusqu'au moment où la température de soudage est atteinte.

A partir de cet instant, par suite de la fusion du métal, il ne se produit plus de contact entre les extrémités des pièces à souder, lors du mouvement d'avancement de la mâchoire Mm.

Celle-ci parcourt alors son itinéraire a, réglé d'avance, au bout duquel le contact K se ferme, le contacteur de refoulement Cref s'enclenche; le puissant moteur de refoulement M₂ à grande vitesse se met en marche, accélère le mouvement de la mâchoire mobile et provoque le contact entre les pièces à souder.

Un dispositif spécial met, à ce moment, le relais de tension R' hors circuit. Le moteur M₂ pousse énergiquement les deux pièces à souder l'une contre l'autre, en comprimant le ressort taré F; après parcours d'un chemin réglé d'avance et correspondant à une pression déterminée, le contact K' du réglage de pression s'ouvre, le contacteur Cp se déclenche et la machine s'arrête : la soudure est terminée.

c) Recul de la mâchoire mobile après enlèvement des pièces soudées; la manœuvre de l'interrupteur de recul ir enclenche le contacteur de recul rapide Cra, qui met le moteur M₂ en marche arrière.

La mâchoire mobile Mm reprend sa position primitive et la machine est prête pour une nouvelle opération.

Caractéristiques de la machine à souder.

Capacité maximum de soudage : 10.000 mm² de section.
Poids 8.000 kg.

Pression de serrage maximum aux mâchoires : 28 T.
Pression maximum de refoulement : 20 T.

Alimentation au réseau par un transformateur statique à bain d'huile 6 600/200 V d'une puissance de 200/300 kVA.

Transformateur de soudure monophasé 230 V/5 à 7 V.
Refroidissement de tous les organes par eau.

b) La soudure oxy-acétylénique par pression.

Le même principe a été appliqué en utilisant comme source de chaleur non pas le courant électrique, mais des brûleurs à gaz. Les bouts à assembler sont chauffés au blanc soudant à l'aide d'une série de brûleurs qui entourent le profil du rail. Le grand problème consiste à répartir la chaleur uniformément sur le pourtour du profil en tenant compte des différentes masses (champignon, âme et patin) qui sont à préchauffer. Dès que la température requise est atteinte, on presse les deux bouts ensemble sous une pression de 22 à 24 T.

Mentionnons que ce procédé n'a pas encore été appliqué en Belgique. Quelques essais ont été effectués en Allemagne.

Essais.

Pratiquement tous les réseaux de chemins de fer et de tramways sont dotés de machines à souder par résistance électrique. La majeure partie des soudures sont effectuées par ce procédé. Il est compréhensible que les réseaux aient désiré s'assurer de la bonne tenue des soudures.

C'est pourquoi, en Belgique, au cours de la mise au point du procédé en 1934, de nombreux essais ont été effectués sur les assemblages réalisés.

Des courbes de dureté Brinell ont été relevées sur la face supérieure de la table de roulement et font apparaître :

- 1) Une grande régularité de la dureté superficielle aux abords du joint soudé par résistance électrique recuit;
- 2) Une légère augmentation de la dureté du métal aux abords du joint soudé par résistance électrique brut;
- 3) Une courbe de dureté à allure tourmentée du joint aluminothermique.

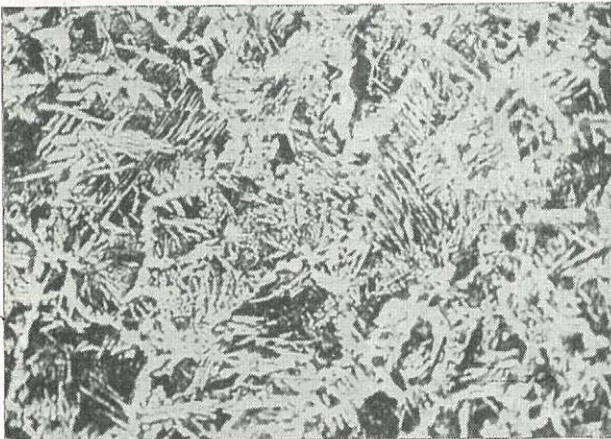


Fig. 29. — Structure aciculaire de Widmanstätten dans la soudure - 100 x.

Il est à noter que le traitement thermique (recuit) qui était exécuté après la soudure a été supprimé en 1954, sans qu'il ait été constaté un accroissement des ruptures en service.

Les examens micrographiques donnent lieu à des constatations très intéressantes. Dans l'axe de la soudure, on observe une structure nettement aciculaire de Widmanstätten (fig. 29), caractérisant un état de surchauffe voisin de la fusion. Aux environs immédiats des plans de soudure, il apparaît une zone de cristallisation grossière (fig. 30), due à l'effet de surchauffe; cette zone est assez fragile, elle est suivie d'une zone de recuit,

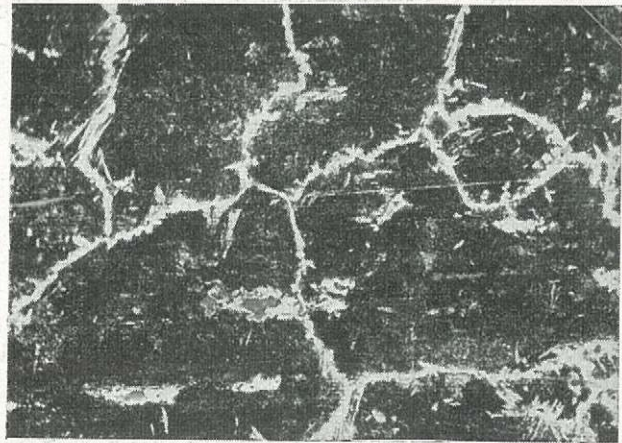


Fig. 30. — Structure à gros grains due à l'effet de surchauffe - 100 x.

de structure fine et serrée, dénotant une amélioration du métal du rail à cet endroit et servant de transition à la structure primitive du rail. (fig. 31)

Les essais de fatigue à la flexion effectués à Liège sur profil Vignole 50 kg SNCB ont donné les valeurs relatives suivantes (fig. 32) par rapport à un rail sain :

- soudure par résistance électrique brute 85 %;
- soudure par résistance électrique recuite 59 %.

Des essais de fatigue effectués sur rails à gorge par l'Institut de la Soudure ont donné les résultats suivants : joints par étincelage recuits : limite de fatigue 16,5 à 17 kg/mm².

Mentionnons également que certains réseaux, la SNCF par exemple, effectuent des essais de choc avec mesure du travail de rupture.

L'examen systématique d'incidents de soudures par étincelage a montré qu'ils ont le plus généralement pour cause une malfaçon de la soudure, dont la plus fréquen-



Fig. 31. — Structure normale du rail - 100 x.

ESSAI DE FATIGUE PAR FLEXION REPETÉES

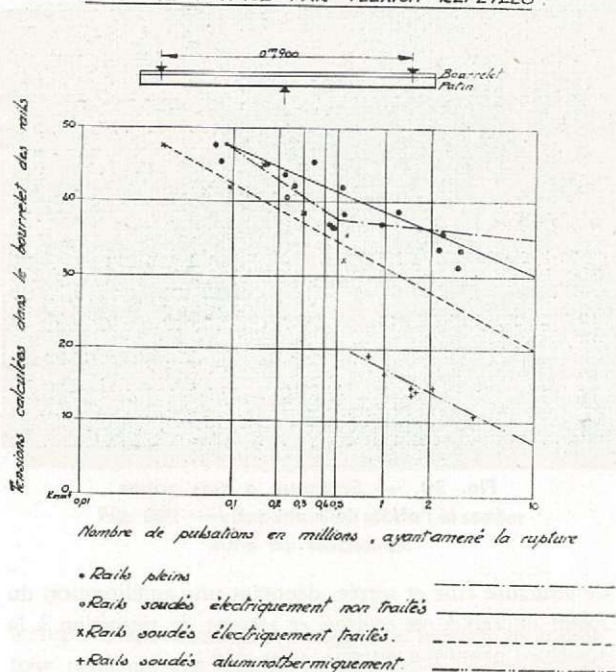


Fig. 32.

te est la brûlure du patin ou du champignon. Il en résulte des ruptures semi-fragiles par effet d'entaille, celles-ci ne mettent pas en cause la fragilité intrinsèque de structure dans la zone soudée.

Certains réseaux signalent des ruptures systématiques de fatigue analogues aux taches ovales dans des soudures de rails Martin durs ayant supporté des tonnages importants. Il ne s'agit pas ici à proprement parler d'un

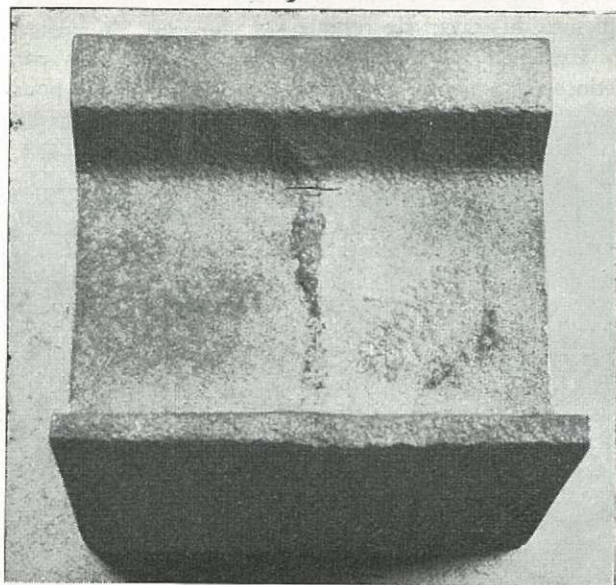


Fig. 33. — Fissure de fatigue due à une blessure de burinage.

défaut de soudure, mais plutôt d'un phénomène de fatigue.

Parmi les autres causes d'incidents, on a attribué des ruptures de soudures par étincelage à des fragilités de forme résultant soit d'assemblages défectueux, soit de blessures de burinage ou du changement de section lui-même (fig. 33).

Ces considérations ont conduit certains réseaux à araser au maximum le bourrelet des soudures de barres longues, dans l'âme et le patin, soit par des outillages de brochage exécutant cette opération à chaud sur la bavure, soit par meulage.

Cette pratique qui est à conseiller tend à améliorer le comportement des soudures des barres de grande longueur soumises à des contraintes supplémentaires dues à ce type de pose; elle facilite en outre le contrôle visuel d'aspect.

Plusieurs réseaux sont orientés vers un contrôle non-destructif de soudures tant en atelier qu'en voie, des réalisations intéressantes à l'aide d'appareillages à ultrasons, fixes ou mobiles, sont à l'essai.

Signalons que l'on utilise essentiellement la méthode par écho d'impulsions (fig. 34). La SNCB dispose d'un petit chariot USPG d'origine allemande, permettant d'ausculter les rails en voie (fig. 35) tandis que la DB a construit un wagon d'auscultation permettant d'enregistrer de façon détaillée tous les défauts observés dans la voie, et ce, en circulant à une vitesse de 20 km/h. (fig. 36).

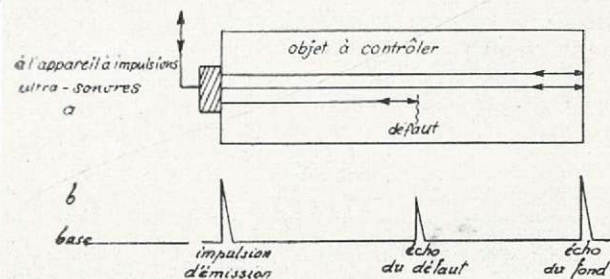


Fig. 34. — Principe de fonctionnement de la méthode par écho d'impulsions.

Utilisation.

La plupart des réseaux utilisent pratiquement exclusivement la soudure par étincelage.

Ainsi à la SNCF, on a réalisé depuis l'origine de la soudure (en 1949) en barres longues jusqu'au 1^{er} janvier 1957 :

218.000 soudures par étincelage (0,034 % de ruptures);

71.000 soudures aluminothermiques (0,161 % de ruptures).

En Allemagne, on effectue annuellement 280.000 soudures par étincelage, 140.000 par aluminothermie et 10.000 soudures au chalumeau.

En Belgique, on réalise, à notre entière satisfaction, depuis 1936, des barres soudées de 35 m et de 54 m par étincelage.

III. — CONSTRUCTION D'APPAREILS DE VOIE PAR SOUDAGE

Dans les entreprises ferrovières, on fait usage d'appareils de voie en rails assemblés par boulons. On reproche à ces appareils leur mauvaise résistance à l'usure et principalement leur tendance à la dislocation. En vue de remédier à cet inconvénient, on a recouru à des aciers alliés, par exemple du type Hadfield, ou des aciers infatigables au Ni-Cr. Malheureusement ces appareils sont relativement coûteux et il est difficile de démontrer que leur longévité est proportionnelle au supplément de prix d'achat.

On a également songé à la soudure en vue de réaliser des assemblages à l'aide de matériaux utilisés couramment en voie, ceci en vue de diminuer le prix de revient des appareils.

S'il semble que des résultats satisfaisants ont été obtenus dans les voies de tramways et les réseaux suburbains, nous devons reconnaître que le procédé n'a pas, jusqu'à présent, dans le cas du grand chemin de fer, comblé les espérances. Les sollicitations dynamiques très importantes auxquelles l'assemblage est soumis sont vraisemblablement à l'origine des multiples fissures observées. Il faudrait revoir complètement la question de forme des assemblages ainsi que celle de l'exécution des soudures. Malheureusement les expériences en voie sont toujours très longues et les appareils à mettre en œuvre sont coûteux.

IV. — RECHARGEMENT DES RAILS ET DES APPAREILS DE VOIE

a) Rechargement des rails.

Rechargement à l'arc.

Le rechargement de la table de roulement des rails constitue l'opération type de remise en état des rails usés ou avariés, pratiquée par la majorité des grands réseaux. Cette remise en état est toujours exécutée en voie, les matériels utilisés sont donc de ce fait essentiellement mobiles.

Les raisons économiques de la réparation des rails par rechargement sont évidentes, quoiqu'il soit difficile de les apprécier par le seul examen des prix de revient unitaires. En ce qui concerne les rechargements d'abouts, le critère le plus représentatif semble être le prolongement de la durée de vie au delà d'un renouvellement normalement prévu sans cette opération. Les chiffres ci-après donnent les écarts d'appréciation de deux grands réseaux : la SNCF estime l'opération rentable pour une prolongation de trafic sur une grande artère de

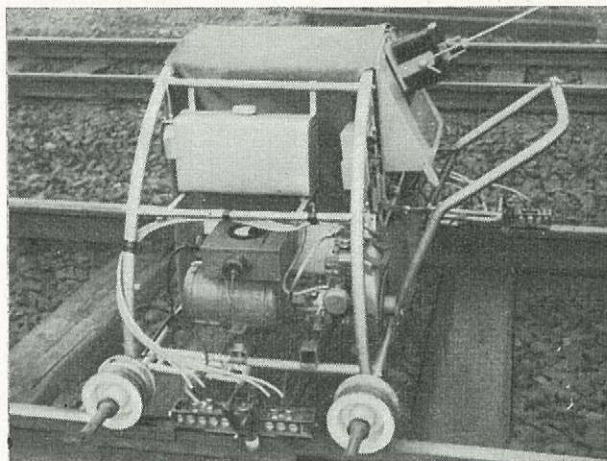


Fig. 35. — Chariot d'auscultation USPG de la SNCB.

50×10^6 t et une durée de 1 à 3 ans, la DB. mentionne 150 à 200×10^6 t sans indication de nature de trafic ni de durée.

Dans les conditions les plus favorables de trafic modéré ou faible, la réparation par rechargement peut présenter un caractère quasi définitif en permettant aux rails de rester en voie jusqu'à leur limite d'usure.

Les réparations partielles de défauts locaux dans le corps des barres sont d'un intérêt économique encore plus grand que celles des extrémités, car elles concernent fréquemment des rails jeunes. Dans le cas des barres soudées de grande longueur, l'élimination d'une partie avariée impose, outre l'amputation d'une longueur importante de la barre, la confection de deux soudures; il s'agit donc d'un ensemble d'opérations fort onéreux qu'il est avantageux de remplacer par un rechargement localisé.

Les défauts que l'on peut réparer de la sorte sont les brûlures et les dénivellations locales de la table de roulement.

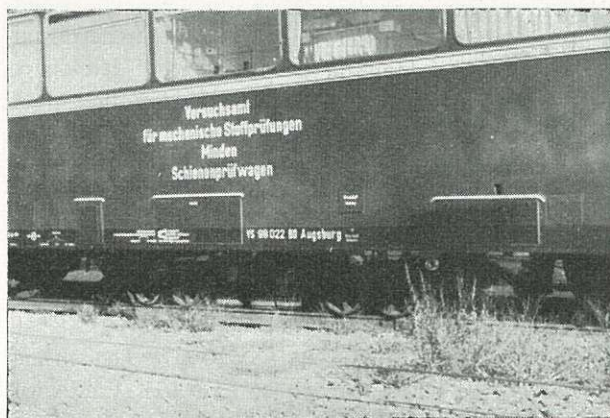


Fig. 36. — Wagon d'auscultation de la DB.

Les techniques de rechargement.

Rechargements à l'arc.

Le rechargement à l'arc est le procédé le plus répandu; quoique ayant bénéficié des perfectionnements apportés tant aux appareillages qu'aux électrodes, il n'en a pas moins causé quelques déboires sur certains réseaux, par suite de la méconnaissance de données métallurgiques fondamentales. L'acier à rail est, en effet, de par sa constitution, un matériau difficilement soudable, exigeant tout au moins des précautions indispensables pour être soudé à l'arc.

Il est bien établi, en particulier, qu'il ne peut être soudé sans aléa qu'après un préchauffage et, d'autre part, qu'il exige l'utilisation d'électrodes de qualité. L'exécution manuelle du dépôt a également une importance non négligeable.

Des considérations ci-dessus on peut dégager les directives suivantes à conseiller pour l'exécution des rechargements :

- 1) Préchauffage à partir de 200° environ;
- 2) Utilisation d'électrodes basiques fondues en passes longitudinales étroites sous l'intensité minimum;
- 3) Attaque du rechargement du côté du joint.

Le courant continu est le plus généralement utilisé pour la soudure, cependant quelques réseaux emploient des postes à courant alternatif pour des raisons concernant le fonctionnement de la signalisation. Il convient de signaler que l'emploi de postes à courant alternatif nécessite un choix approprié de l'électrode.

La nuance des électrodes doit être compatible avec une bonne soudabilité et permettre l'obtention d'un dépôt dur, conditions contradictoires. Une solution de compromis est adoptée par l'ensemble des réseaux. On utilise des électrodes moyennement dures qui permettent d'obtenir des rechargements de nuance voisine de celle des rails.

Les rechargements d'avaries localisées dans le corps des barres s'inspirent des mêmes techniques que celles utilisées pour les extrémités; ils nécessitent toutefois un curetage plus profond du défaut. Il est à remarquer qu'en fait, ces réparations en pleine barre constituent des soudures bridées exigeant des précautions particulières, encore plus impératives que pour les rechargements des extrémités.

Il n'est jamais procédé à un post-chauffage après rechargement. Après le soudage, on parachève le travail, soit à l'aide de meules bakélites et lapidaires à main ou guidées, soit à l'aide de meules en nylon.

Certains réseaux, comme la SNCF, effectuent même des réparations sur des rechargements avariés. C'est ainsi que l'on reprend la totalité du rechargement. Sur notre réseau, on rencontre peu d'écaillages sur des abouts re-

chargés. Si l'on en rencontre, on les élimine à la tranche, on les meule soigneusement et on effectue ensuite le rechargement.

Rechargements au chalumeau.

Il s'agit du procédé le plus anciennement utilisé et qui continue à l'être sur un certain nombre de réseaux, parfois concurremment avec l'arc. Métallurgiquement le procédé est bien adapté aux aciers à rails; il y a lieu de noter que l'apport de chaleur étant moins brutal qu'à l'arc, les risques de détérioration d'origine thermique sont moins grands. L'outillage très simple peut convenir, par la mise en jeu d'ajutages appropriés, à la succession des différentes opérations élémentaires : curetage, préchauffage, fusion du dépôt. Le métal déposé peut être de la nuance du rail ou lui être supérieur sans inconvénients, certains réseaux lui font subir un martelage afin d'améliorer la texture et de diminuer l'importance du meulage.

Les réparations par rechargement dans le corps des barres s'effectuent également dans les mêmes conditions qu'à leur extrémité; certains réseaux pratiquent des préchauffages différentiels afin de diminuer les contraintes dues au soudage.

Il y a unanimité de la part des réseaux au sujet de la qualité des réparations effectuées au chalumeau; ce fait est peut-être en relation avec l'emploi d'une technique d'exécution simple et stabilisée, résultant d'une pratique déjà ancienne, avec une main-d'œuvre particulièrement qualifiée.

Les rechargements par aluminothermie.

Ce type de réparation est à l'essai sur un grand réseau voisin. Il s'agit d'une intéressante tentative d'extension des avantages reconnus au procédé aluminothermique : rusticité et semi-automatisme. L'application qui en a été faite aux réparations dans le corps des grandes barres soudées souligne tout l'intérêt qui s'attache à cette méthode.

Au point de vue métallurgique, le procédé même limité à la soudure localisée dans le champignon conduit à des apports de chaleur moins brutaux que ceux provoqués par l'arc, en raison de l'importance du préchauffage.

La tenue des rechargements.

Celle-ci est étroitement liée à la qualité de leur exécution d'une part, au tonnage supporté, d'autre part. Un rechargement d'exécution médiocre peut rester longtemps en service sur une ligne peu chargée, alors qu'il pourra être ruiné parfois au bout de 2 ou 3 ans sur des artères à fort trafic.

L'attention doit être attirée sur les risques de ruptures que font courir les rechargements longs dépassant la longueur de l'éclisse, en raison des flexions de la

barre qui peuvent développer des fissurations transversales internes.

En ce qui concerne la dureté du dépôt, l'expérience montre qu'il vaut mieux user un dépôt relativement doux que risquer l'écaillage d'un dépôt plus dur, les dommages pour les rails et les difficultés pour l'entretien étant bien plus importants dans ce dernier cas. La rupture transversale est le défaut le plus courant affectant les rechargements de pleine barre; elle survient généralement après quelques mois de service, il semble bien que la soudure à l'arc soit nettement plus vulnérable à ce point de vue que les autres procédés : chalumeau ou aluminothermie.

La formation du personnel.

Une formation professionnelle très sérieuse est indispensable pour une bonne exécution des travaux de soudures et de rechargements tant à l'arc qu'au chalumeau.

b) Rechargement des rails en courbe.

Ce procédé n'est d'application qu'aux rails de tramways. En effet, pour des rails Vignole, on procède au retournement de ceux-ci lorsque l'usure latérale est devenue trop importante. Ce procédé ne peut être appli-

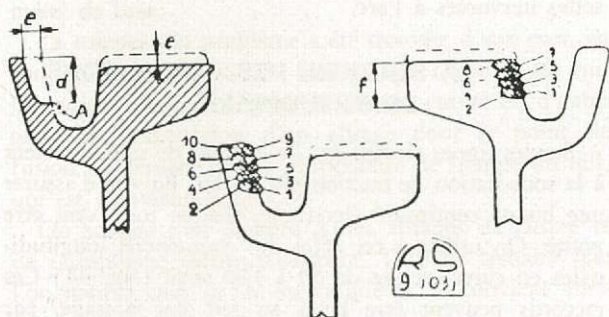


Fig. 37. — Rechargements de rails à gorge.

qué aux rails à gorge. En outre, les rayons sont généralement plus faibles, donc l'usure plus rapide encore.

Deux cas sont à considérer selon qu'il s'agit d'une usure côté table de roulement ou côté contre-rail.

Dans ce cas, on utilise généralement la soudure électrique. Le rechargement s'effectue avec des électrodes de 5 mm de diamètre déposant un acier de 65 à 75 kg/mm². Le rechargement du petit bourrelet est exécuté avec des électrodes déposant du métal contenant 13-14 % de Mn donnant une dureté de 500 Br après écrouissage. Ces électrodes du type basique déposent des cordons lisses, peu bombés et sans fissure. Le laitier s'élimine aisément par frottement au marteau. Si l'épaisseur de la table de roulement est trop faible (moins de 20 mm), on risque de voir apparaître des fissures par suite du traitement thermique. Le rechargement s'effectue en plusieurs couches dans l'ordre indiqué par la fig. 37.

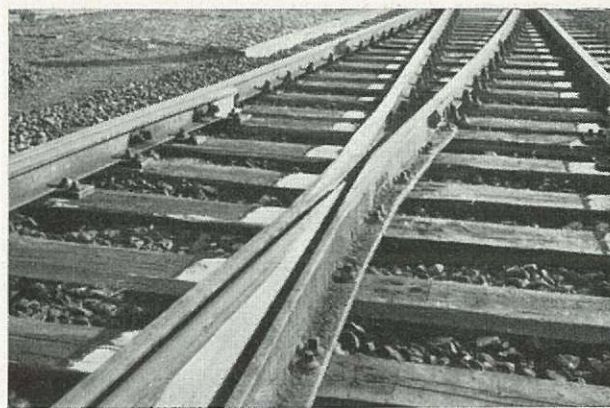


Fig. 38. — Appareil de voie à recharger.

Certains cordons sont balancés, d'autres pas. Le travail manuel demande une main-d'œuvre hautement qualifiée.

c) Rechargement d'appareils de voie.

Il s'agit essentiellement de rechargements de parties usées de la table de roulement. On procède de la même façon que pour le rechargement de rails. (fig. 38, 39, 40, 41, 42, 43).

Parfois, mais ceci à titre exceptionnel, on effectue des opérations de sauvetage. Il s'agit de fermer des fissures qui surviennent en cours du service. La fissure est généralement ouverte au chalumeau ou si elle n'est pas fort profonde, à la meule. Après nettoyage de l'entaille, on la referme par un cordon montant, le travail est terminé comme d'habitude.

Un cas particulier à signaler consiste en la réparation des appareils monoblocs en acier Hadfield à haute teneur en Mn (12 à 14 %). Ces aciers sont très sensibles à la surchauffe, en ce sens que, chauffés à une certaine température, ils donnent lieu à la précipitation de car-



Fig. 39. — Aspect général du chantier.



Fig. 40. — Travail de rechargement.

bures qui confèrent une grande fragilité au métal. On prend des précautions particulières en vue d'évacuer la chaleur aussi rapidement que possible. A cet effet, on fait usage de la soudure à l'arc. On remplit les rainures de l'appareil avec de l'eau et on dépose des cordons courts que l'on martèle immédiatement après dépôt. La couche d'accrochage est constituée par de l'acier au chrome, tandis que la couche d'usure est en acier Hadfield.

V. — LA RECONSTITUTION DES PIÈCES USÉES

La soudure permet également de reconstituer des pièces usées que l'on serait amené à devoir mettre à la mitraille.

Voici comment on procède à la reconstitution des éclisses. Après tri, on procède au dressage de la face inférieure et au meulage de la face supérieure à la cote technique + Imm, on termine par meulage.

Pour les traverses métalliques, certains réseaux procèdent de façon très astucieuse. Signalons qu'en Belgique,

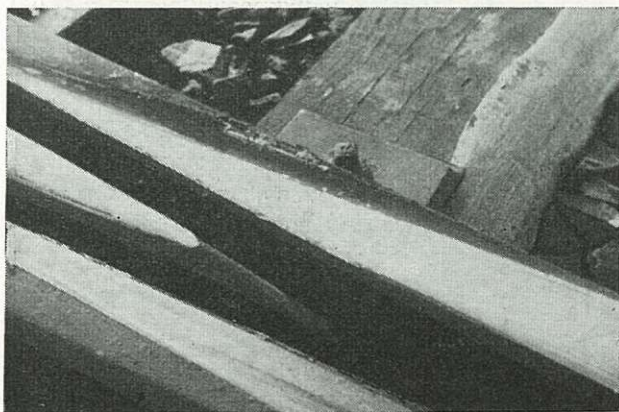


Fig. 41. — Aspect de la table de roulement avant rechargement.



Fig. 42. — Table de roulement en cours de travail de recharge.

on n'achète plus de traverses métalliques, seules les sociétés congolaises en achètent encore.

Les parties avariées sont découpées à la scie ou à la cisaille. Les selles soudées sont arrachées hydrauliquement. Les parties de traverse réutilisables sont soudées par étincelage. Suivant le système de pose, il est nécessaire soit de repercer des trous, soit de resouder des selles nervurées à l'arc.

VI. — LA SOUDURE DES CONNEXIONS LONGITUDINALES

Sur les lignes électrifiées, le courant de retour revient à la sous-station de traction par le rail. En vue d'assurer une bonne continuité électrique, chaque joint doit être ponté. On utilise à cet effet des connexions longitudinales en cuivre rouge de 50 à 100 mm² (fig. 44) Ces raccords peuvent être fixés au rail par brasage, par soudage au chalumeau, ou par soudage à l'arc.

Dans le procédé utilisant le chalumeau, le temps de chauffage est relativement long et peut donner lieu à

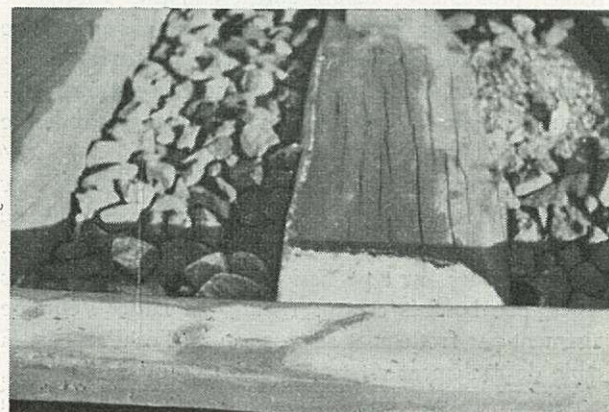


Fig. 43. — Aspect du rechargement terminé.

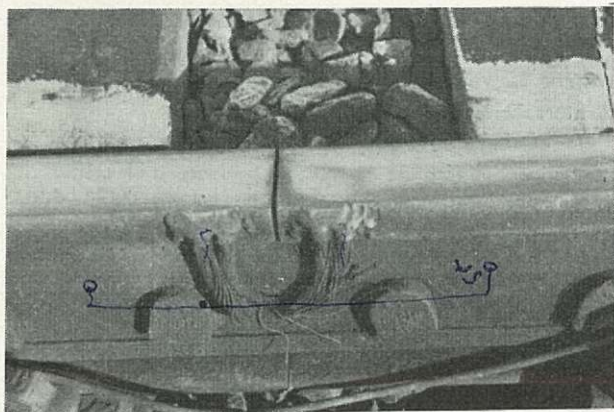


Fig. 44. — Connexion longitudinale.

des précipitations d'oxyde de cuivre et au grossissement du grain par surchauffe. Les torons en cuivre deviennent cassants et la connexion se détache assez rapidement par suite du battement dans le joint, à l'occasion de chaque passage d'essieu. En utilisant la soudure à l'arc, la connexion en cuivre n'est pas chauffée aussi longtemps qu'avec le procédé précédent, mais on risque d'obtenir des structures de trempe ou, tout au moins, d'altérer le métal de base.

La solution du problème a été trouvée, d'une part, en utilisant une méthode de brasage qui transmet un minimum de chaleur à la connexion en cuivre et, d'autre part, par l'utilisation d'un alliage dont le point de fusion ne dépasse pas la température de trempe du rail, qui est d'environ 860° C.

On songea tout d'abord à des alliages de cuivre et de phosphore; malheureusement, l'alliage ternaire que l'on obtient avec le fer est fragile et ne convient donc pas.

La solution consista à appliquer la brasure à l'argent. En vue de diminuer le prix de revient de la soudure, on a réduit la quantité d'argent à mettre en œuvre. C'est

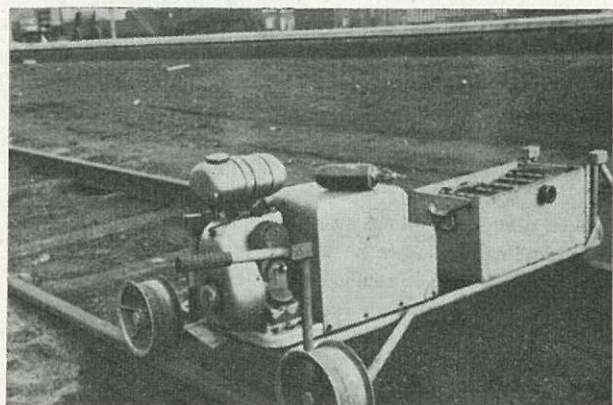


Fig. 45. — Groupe de brasage AGA.



Fig. 46. — Pistolet de brasage.

ainsi que l'on est arrivé au procédé de brasage à goujon mis au point par la Société AGA.

Une couche de pâte à braser contenant de l'argent et un flux approprié d'une épaisseur de 2 mm sont disposés sur un goujon en laiton de forme spéciale. On introduit le goujon dans le support spécial d'un pistolet. Un anneau isolant est serré dans un support extérieur. La source d'énergie doit pouvoir fournir un courant instantané de très grande intensité. A cet effet, on utilise un groupe de trois accumulateurs de 12 V, couplés en



Fig. 47. — Fixation d'une connexion par soudage à l'arc. Altération profonde du métal du rail (en noir).

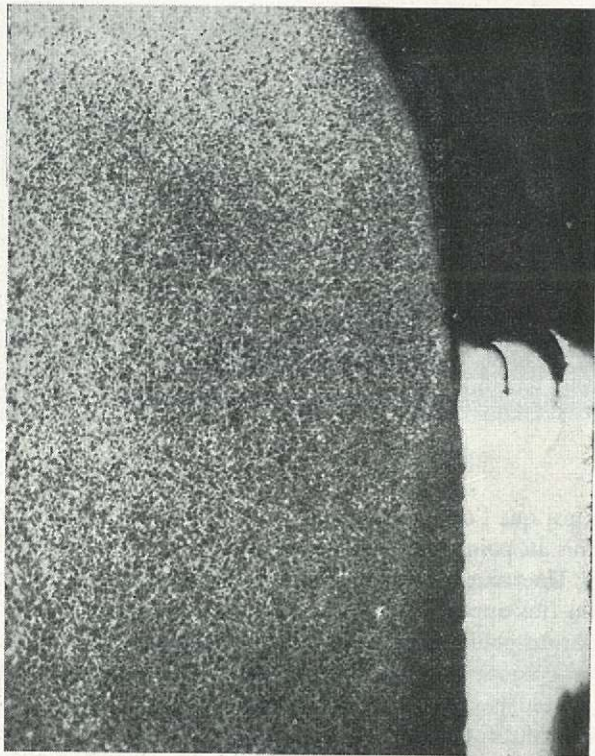


Fig. 48. — Brasure à l'argent.
Altération minime du métal du rail (en noir).

série, que l'on court-circuite au moment de la soudure. (fig. 45).

C'est ainsi que le pistolet est connecté au pôle positif de la batterie, tandis que le pôle négatif est en contact avec le rail par la voie d'un dispositif de mise à terre. On place la connexion contre le rail et on appuie le pistolet avec goujon et anneau contre la cosse du câble de la connexion (fig. 46). En appuyant sur le bouton-poussoir du pistolet on ferme le circuit électrique et un électro-aimant, contrebalancé par un ressort, entre en action et soulève de quelques mm le goujon du rail. Un arc électrique puissant se forme à ce moment. Après une seconde environ, un fil fusible fond dans le pistolet. L'arc s'éteint, l'électro-aimant est sans courant, le support intérieur avec le goujon retombe contre l'endroit de brasage. On enlève le pistolet et la brasure est terminée après avoir détaché, par un léger choc, la partie saillante du goujon.

La batterie d'accumulateurs est maintenue en charge par un groupe électrogène d'une puissance de 400 W. L'ensemble est monté sur un chariot qui se déplace aisément sur la voie et peut être déraillé à tout instant.

Le grand avantage du procédé réside dans sa simplicité. L'appareil n'exige pas de très grandes connaissances de la part de l'opérateur, tandis que la productivité a sensiblement augmenté. En outre, la structure du métal de base n'est pratiquement pas altérée (fig. 47, 48).

Le soudage à l'arc nécessite l'utilisation d'un groupe électrogène monté sur tracteur. Celui-ci occupe nécessairement la voie et oblige à recourir à des intervalles d'interruption de trafic.

Le système de brasage à goujon ne nécessite pas la mise hors service de la voie et permet d'effectuer de 160 à 200 connexions par jour, alors que le procédé de soudage ne permet d'effectuer que 10 soudures par heure de travail effectif.

A noter que le prix des goujons est assez élevé.

VII. — CONCLUSIONS

Nous espérons avoir donné un aperçu des principales applications du soudage au matériel fixe des exploitations de tramways et de chemins de fer. Comme nous avons pu nous en rendre compte, on a fait appel à la majeure partie des procédés de soudage. Chaque fois, il a fallu approprier la méthode au matériau et aux possibilités d'exécution. Le progrès n'a pas été fulgurant, mais, lentement et sûrement, toutes les méthodes de soudure deviennent d'application courante dans la construction et l'entretien du matériel de la voie, pour en prolonger la vie, malgré des sollicitations de plus en plus importantes, pour améliorer la sécurité et le confort des voyageurs.

BIBLIOGRAPHIE

- La soudure des rails à la S.N.C.B. — E. DESORGHIER.
Bulletin de l'A.I. du Congrès des Chemins de Fer - janvier 1938, pp. 95-132.
- Le soudage des joints de rails, procédé « Sécheron » — F. WORTMANN et R. MULLER.
Bulletin Sécheron n° 18 F - 1946, pp. 16-29.
- La détection des défauts plats en construction soudée — G.A. HOMES.
Revue de la Soudure n° 4, 1948, pp. 210-222.
- La soudure des rails et la résistance à la fatigue du joint soudé — P. HUSTIN et W. SOETE.
Revue de la Soudure n° 2, 1949, pp. 87-105.
- Etudes de nouveaux assemblages pour la construction de cœurs soudés de traversées et bifurcations de voies de tramways — G. BELIEN.
Revue de la Soudure n° 1, 1951, pp. 3-44.
- La soudure bout à bout des joints de rails — E. HENRION.
Revue de la Soudure n° 4, 1951, pp. 195-204.
- Un procédé de soudure des joints entre rails et appareils de voie en acier austénitique au manganèse — Ch. HANAPPE.
Revue de la Soudure n° 3, 1954, pp. 133-135.
- Les applications de la soudure dans l'entretien et la construction des installations fixes de chemins de fer et de tramways — P. HUSTIN.
Revue de la Soudure n° 4, 1954, pp. 188-198.
- Das neue Thermit-Schnellschweißverfahren für Eisenbahnschienen — Dr. Ing. W. AHLERT.
Der Eisenbahningenieur, Heft 6, 1957, pp. 133-142.