Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande
Band: 60 (1934)
Heft: 22

Artikel: Sur la corrosion des soudures
Autor: Meunier, Francis
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-46418

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

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

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

Download PDF: 18.07.2025

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

60e année 27 octobre 1934 N° 22

BULLETIN TECHNIQUE
DE LA SUISSE ROMANDE

ABONNEMENTS :
Suisse : 1 an, 12 francs
Etranger : 14 francs
Pour sociétaires :
Suisse : 1 an, 10 francs
Etranger : 12 francs
Prix du numéro : 75 centimes.
Pour les abonnements s'adresser à la librairie F. Rouge & C°, à Lausanne.

Rédaction : H. Demierre et J. Peitrequin, ingénieurs.

Paraissant tous les 15 jours

ORGANE DE PUBLICATION DE LA COMMISSION CENTRALE POUR LA NAVIGATION DU RHIN

ORGANE EN LANGUE FRANÇAISE DE LA SOCIÉTÉ SUISSE DES INGÉNIEURS ET DES ARCHITECTES

ANNONCES :
Le millimètre sur 1 colonne, largeur 47 mm. : 20 centimes.
Rabais pour annonces répétées
Tarif spécial pour fractions de pages.
Régie des annonces : *Indicateur Vaudois* (Société Suisse d'Edition) Terreaux 29, Lausanne.

SOMMAIRE : *Sur la corrosion des soudures*, par Francis Meunier, ingénieur, professeur à l'Ecole des Mines de Mons (Belgique). — *Concours d'idées pour un collège classique et l'aménagement d'un ancien pénitencier, à Lausanne* (suite). — *Notre « carburant national » : le gaz de bois.* — *La défense contre les gaz de combat.* — Chronique lausannoise. — *Soixantième anniversaire du Bulletin technique de la Suisse romande.* — Nécrologie. — *Société suisse des ingénieurs et des architectes.* — Bibliographie. — Carnet des concours. — Supplément commercial.

Sur la corrosion des soudures

par Francis MEUNIER, ingénieur,
professeur à l'Ecole des Mines de Mons (Belgique).

Conférence faite à Lausanne, le 12 novembre 1932, à la Journée de la Soudure.

Considérations générales.

L'utilisation de plus en plus large de la soudure autogène dans la construction a soulevé de nombreux problèmes nouveaux, parmi lesquels on paraît accorder une place assez importante aux questions de corrosion. On a constaté, en effet, que certaines soudures étaient beaucoup plus sensibles aux actions corrosives que les parties métalliques qu'elles assemblent. Cette faiblesse, si elle était générale, serait de nature à discréditer la soudure, dans de nombreuses applications.

Il y a donc intérêt à préciser l'importance du phénomène et les conditions auxquelles doivent satisfaire les soudures pour ne pas encourir de reproches.

La théorie électrolytique de la corrosion, universellement admise aujourd'hui, repose avant tout sur la notion de potentiel du métal dans le milieu agressif considéré. Cette conception a donné naissance à la théorie des éléments locaux, particulièrement applicable aux métaux de structure hétérogène. On conçoit, en effet, que deux plages à potentiel différent, puissent constituer avec la solution qui les baigne, une pile en court-circuit dont le débit aura pour effet de dissoudre la partie la moins noble. Cela donnera naissance à des corrosions localisées dont les figures sont bien connues (piqûres, cratères, fissures, etc.).

Lorsqu'il s'agit de métaux homogènes, l'importance de la corrosion devrait être sensiblement proportionnelle à la position occupée par le métal dans l'échelle des potentiels. On sait cependant qu'il n'en est rien car les actions superficielles sont subordonnées à des phénomènes divers.

Lorsqu'un métal électropositif tend à se dissoudre — donc à se corroder — il émet des ions positifs et se charge négativement. Par action électrostatique, il attire les ions positifs de la solution, et en particulier les ions hydrogènes, toujours présents en solution aqueuse. Si ceux-ci, après décharge, peuvent s'associer pour former une molécule d'hydrogène gazeux, capable de se dégager, la corrosion pourra continuer, et le phénomène sera représenté par l'équation chimique :

$$Fe + 2H^{+} \longrightarrow Fe^{++} + H_2$$

C'est le processus de la dissolution dans les acides, subordonnée à des conditions physico-chimiques bien connues.

Mais, tandis que l'échange des ions entre un métal et la solution est un phénomène réversible caractérisé par un potentiel constant, on constate, pour les gaz, une irréversibilité qui se traduit par la nécessité d'appliquer un surcroît de potentiel pour provoquer le dégagement gazeux. Ainsi, pour voir apparaître les bulles d'hydrogène, il faut appliquer une « surtension » qui varie avec chaque métal et constitue une propriété caractéristique de celui-ci. On s'accorde à admettre que le phénomène ci-dessus se développe en deux temps, suivant le schéma :

$$Fe + 2H^{+} \longrightarrow Fe^{++} + 2H \longrightarrow Fe^{++} + H_2$$

Dans le stade intermédiaire, le métal se chargerait, par absorption, d'une couche d'hydrogène atomique protecteur. C'est ce qui explique la résistance à la corrosion, même en milieu acide, de certains métaux purs tels le zinc et le cadmium.

Cette protection est aussi celle du fer pur en solutions voisines de la neutralité. Elle est facilement détruite, s'il se trouve au contact du métal un corps avide d'hydrogène atomique, par exemple l'oxygène dissous. Il est établi aujourd'hui que cette action se traduit par la formation transitoire d'eau oxygénée et attaque du métal. Lorsque la dépolarisation par l'oxygène dissous est dissymétrique, il se forme des couples locaux ainsi que l'a montré *Evans*. Toutes autres choses égales, il est permis de dire que le métal résistera d'autant mieux qu'il présentera une grande surtension pour l'hydrogène.

Certains métaux — notamment le fer — dans certaines circonstances, peuvent accuser un potentiel beaucoup plus noble que celui qu'ils possèdent normalement. On dit qu'ils sont *passifs*. Ce phénomène peut être d'origine externe et favorisé par certains ions contenus dans la solutoin. Des savants admettent que ces ions, à caractère oxydant, provoquent la formation, sur le métal, d'une pellicule ultramince et compacte d'oxyde inattaquable. Pour d'autres, il s'agirait d'un phénomène d'absorption d'atomes. On peut aussi « passiver » un métal de manière permanente, en lui alliant un autre élément. Ainsi les solutions solides de chrome dans le fer, se comportent comme les métaux nobles.

Soudures d'acier doux.

La soudure autogène de l'acier doux se pratique de diverses manières, suivant la source de chaleur choisie pour la fusion du métal de base et du métal d'apport. S'il n'y a pas de recuit ou de traitement thermique ultérieur, on sait qu'il existe une hétérogénéité de structure, caractérisée par l'existence d'une zone de transition entre deux autres de nature souvent différente. Tout l'art de la soudure consiste à atténuer, voire supprimer ce défaut. On sait les grands progrès qui ont été

réalisés dans ce sens. La soudure à l'arc électrique, en particulier, a l'avantage de limiter l'étendue de la zone chauffée. On lui a longtemps reproché de déposer un métal de médiocre qualité, par l'oxydation qu'il subit à l'air en traversant l'arc. L'emploi des baguettes enrobées ou enduites a permis d'obvier à cette défectuosité et d'améliorer la qualité du métal déposé, jusqu'à la rendre sensiblement aussi bonne que celle du métal à souder.

Néanmoins, l'existence d'une hétérogénéité de structure entre la soudure, le métal de base et la zone de transition, implique la possibilité d'existence d'une différence de potentiel dont la grandeur et le sens commandent la corrosion. Si la soudure est moins noble que le métal de base, les ravages peuvent être très importants étant donnée la surface réduite des cordons. Si c'est l'inverse, le mal sera beaucoup plus limité par action de surface, mais peut être aussi dangereux à la ligne de séparation des zones cathodiques et anodiques, où le courant de court-circuit a tendance à se localiser par la moindre résistance (fig. 1). On voit que, quelle que soit

Fig: 1.

la polarité de la soudure, il convient de limiter les différences de potentiel.

Ce que nous venons de dire n'est vrai que pour du métal homogène. Si la soudure est hétérogène par elle-même, il peut se développer, en outre, des couples locaux qui aggravent rapidement sa destruction. Il résulte de ces considérations qu'une soudure présentera le maximum de résistance à la corrosion lorsqu'elle sera homogène, semblable au métal de base et avec zone de transition peu apparente. Son potentiel sera aussi voisin que possible de celui du métal à souder et, de préférence, légèrement plus noble que lui. Les notions de surtension et de passivité n'auront alors qu'une importance restreinte.

Ces conditions ne sont pas toujours réalisées. Dans la soudure électrique avec fil nu, on sait que le métal d'apport non protégé s'oxyde abondamment. Comme la solubilité de l'oxygène dans le fer est très modérée à froid, on obtient, au refroidissement, un grain saturé en oxyde ferreux dissous et même une séparation intercristalline d'oxyde. Il y aura aussi dissolution d'azote. L'emploi de baguettes enrobées ou enduites de médiocre qualité conduit à un résultat pratiquement identique. Les soudures ainsi réalisées sont criblées de piqûres. L'origine de ces trous doit être cherchée dans un dégagement de gaz pendant la solidification du métal. C'est de l'oxygène ou de l'azote, et plus vraisemblablement encore de l'oxyde de carbone qui résulte de la réaction entre le carbone et l'oxygène dissous. Il semble permis d'affirmer que les parois de ces petits entonnoirs sont riches en solution solide d'oxygène dans le fer et de composition différente des grains voisins. Il est d'autre part fort vraisemblable d'admettre que la solution solide de FeO dans le fer est moins noble que le métal pur. De pareilles soudures doivent donc être plus sensibles aux actions corrosives par couples locaux, notamment à l'endroit des piqûres. Enfin l'examen métallographique des dépôts issus d'électrodes bien étudiées montre une homogénéité parfaite de structure qui permet de prévoir la meilleure résistance à la corrosion.

Dans les études de corrosion, l'attaque directe, dans les conditions d'emploi, demeure toujours la pierre de touche des essais. Elle a le gros défaut d'exiger beaucoup de temps, mais se trouve à l'abri des critiques que l'on formule contre les attaques accélérées. Pour cette raison, nous avons soumis à la corrosion (avec la collaboration des services de recherches de « La Soudure électrique autogène S. A. », à Bruxelles) des assemblages soudés à l'arc électrique. Chaque assemblage est constitué par une tôle d'acier doux Thomas, soudée à une tôle Siemens-Martin. On a employé des électrodes nues ou enrobées, permettant d'obtenir des dépôts dont les qualités mécaniques sont très différentes. Nous avons appliqué la méthode des immersions et des émersions successives. Grâce à un appareil basculeur mû hydrauliquement les plaques étaient immergées toutes les trois minutes dans une solution de $NaCl$ à 3 %, puis exposées à l'air pendant le même temps. L'essai a duré environ un an. On a enregistré 179 112 basculages. L'évaporation a été compensée périodiquement et on a éliminé la rouille déposée dans les récipients. Celle-ci n'a pas été retenue pour la pesée, car elle était due surtout à la corrosion des tôles. Les résultats permettent de grouper les huit échantillons en trois catégories (fig. 2). Ceux

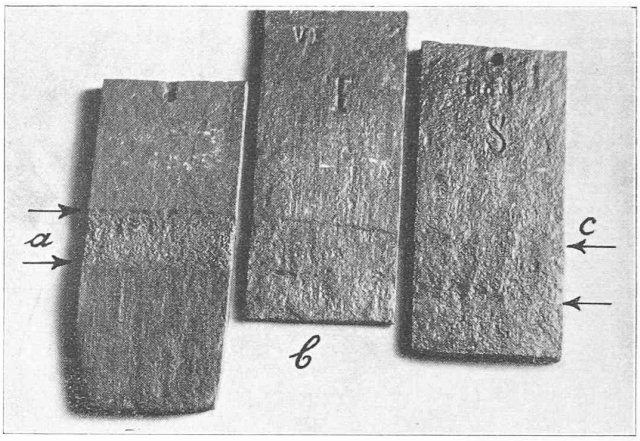

Fig. 2.

de la première (*a*) présentent une corrosion profonde de la soudure par rapport à la tôle voisine. Dans la seconde (*b*) la corrosion est localisée à quelques piqûres qui existaient déjà visiblement dans le métal déposé, mais qui se sont accentuées. Dans le dernier groupe (*c*), on ne distingue pas de différence appréciable entre la soudure et les tôles adjacentes. Elles ont subi la corrosion de manière identique.

Ces constatations nous ont porté à croire que la sensibilité à la corrosion des soudures variait comme certaines de leurs propriétés mécaniques. Nous avons ainsi été amenés à rechercher s'il n'existait pas une relation entre la résilience et le potentiel électrolytique des métaux déposés par l'arc électrique. La résilience a été déterminée au mouton de Charpy sur barreaux soudés (section 10 × 10 mm) entaillés dans la soudure Nous avons ensuite poli une face du métal d'apport et isolé, sous une couche de paraffine, le métal de base et la zone de transition. Le potentiel électrolytique de la soudure a été déterminé en solution de KCl *0,1 n* par rapport à l'électrode au calomel à même concentration en KCl (pour éviter le potentiel de diffusion dû à deux liquides différents). Pour chaque échantillon le potentiel d'équilibre a été mesuré en relevant la courbe potentiel-temps. Nous avons obtenu les résultats suivants qui confirment les essais de corrosion (fig. 3).

N°	Potentiels à 18° (Volts)	Résiliences kgm/cm²	N°	Potentiels à 18° (Volts)	Résiliences kgm/cm²
1	— 0,7742	0,8	8	— 0,7257	10,2
2	— 0,7679	0,8	9	— 0,7413	12,5
3	— 0,7707	1,2	10	— 0,7554	10,2 *
4	— 0,7418	4,8	11	— 0,7377	9,0
5	— 0,7564	8,3*	12	— 0,7441	4,0
6	— 0,7368	10,9	13	— 0,7356	9,0
7	— 0,7700	0,8			

* Valeurs dues probablement à une défectuosité locale de la soudure.

Les soudures de médiocre qualité (résiliences 1 à 2, fig. 3) sont fortement négatives et forment avec la tôle un couple électrochimique actif dont la soudure constitue l'anode. Pour les qualités moyennes (résiliences 4 à 5) (métal relativement

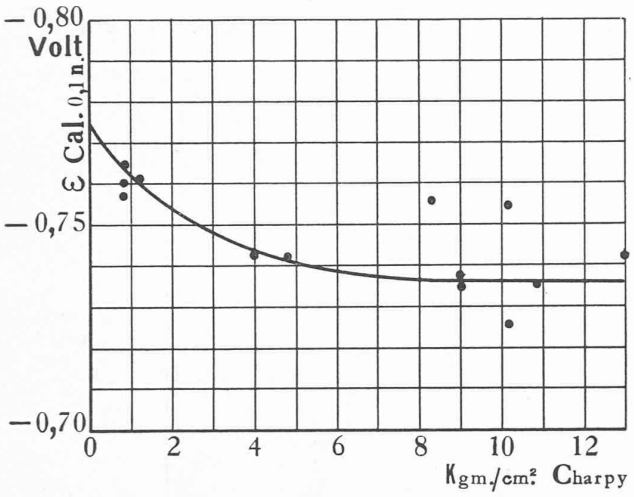

Fig. 3.
ε cal = électrode au calomel.

sain mais avec piqûres) le potentiel se relève rapidement. Il devient constant et voisin de celui de la tôle d'acier doux ordinaire, pour les résiliences supérieures à 8.

Le mécanisme du dépôt de métal et son oxydation, que nous avons exposé, reçoit ainsi sa vérification. La solubilité de l'oxygène dans le fer à l'état solide étant faible, comme nous l'avons rappelé (0,03 %) [1] il y a rapidement sursaturation au refroidissement. Les analyses des dépôts étudiés sont sensiblement comparables quant aux éléments habituellement dosés. Mais la richesse en oxygène dissous pouvait y être assez variable, étant donné le rôle protecteur et désoxydant de certains enrobages utilisés. C'est ce qu'a confirmé le dosage des gaz contenus dans des soudures faites avec des électrodes de même type [2].

Résiliences Charpy	Gaz dissous %	
	Oxygène	Azote
1 à 2	0,203 *	0,0711
8 à 9	0,117 à 0,139	0,0245
11 à 13	0,067 à 0,070	—

* Résultat correspondant à la solubilité de l'oxygène dans le fer à sa température de fusion (0,21 % à 1535°). [3]

Il apparaît donc bien que la sensibilité à la corrosion des soudures est commandée par la richesse en oxygène dissous, ainsi que la fragilité. La variation de résilience des aciers normaux est généralement attribuée au carbone dissous. Dans le cas des soudures d'acier doux (carbone sensiblement constant) la fragilité provient manifestement de l'oxyde ferreux dissous dans le grain ou précipité entre les grains. La corrosion par éléments locaux s'applique directement aux soudures oxydées, tandis que les soudures saines ont un potentiel normal. La corrosion à l'endroit des piqûres peut s'expliquer par l'effet de cavité seul (accès difficile à l'aération des solutions) mais aussi par la richesse probablement plus grande en oxyde dissous et formation d'un couple local dans la soudure elle-même.

Soudures d'aluminium.

L'aluminium occupe dans l'échelle des potentiels une position très défavorable et devrait donc, de ce chef, être très sensible à la corrosion. En fait, le métal pur, par sa grande oxydabilité et par la « réfractairité » et la compacité de son oxyde (Al_2O_3) subit une auto-protection dans la plupart des milieux. Cette passivation n'est pourtant pas générale. En solution de chlorures (dans l'eau de mer par exemple) le métal garde son potentiel actif et se corrode. Il a été reconnu que l'autoprotection cesse ou s'atténue fortement lorsque le métal est impur. L'intensité du phénomène est fonction de la quantité d'impureté et de leur nature. L'aluminium pur résiste seul à la corrosoin.

La soudure de l'aluminium par l'arc électrique est demeurée longtemps une impossibilité technique. Aujourd'hui, grâce à la réalisation d'électrodes convenablement enrobées, il est possible d'effectuer la soudure en courant continu, et de déposer un métal homogène et pur (99,5 % d'Al.).

La réalisation de ces conditions était garante d'une résistance à la corrosion comparable à celle des tôles d'aluminium pur utilisées en chaudronnerie.

Nous avons déterminé, sur un assemblage soudé, le potentiel de la tôle et celui de la soudure, en solution de *KCl* 0,1 *n* par rapport à l'électrode au calomel au *KCl* 0,1 *n*. Le potentiel de la soudure a été trouvé un peu plus noble que celui du métal.

	Potentiels à 18° volts		
	A l'équilibre	1 h. après	1 jour après
Métal	— 0,8050	— 0,8035	— 0,8130
Soudure	— 0,7760	— 0,7780	— 0,7735

L'essai de corrosion directe a été réalisé sur deux assemblages soudés (fig. 4). A l'éprouvette *A* on a appliqué l'essai

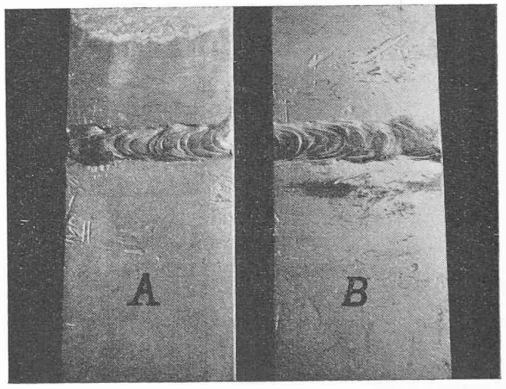

Fig. 4. — Soudure de l'aluminium.

de Mylius : corrosion active dans une solution à 3 % de *NaCl* additionnée de 0,1 % d'eau oxygénée ; durée 5 jours ; température 18°. L'éprouvette *B* a subi pendant huit jours l'attaque à l'acide nitrique concentré (36° Bé) à température ordinaire.

Il est visible que la soudure n'a pas subi de dommage plus marqué que la tôle. *(A suivre).*

Concours d'idées pour un collège classique et l'aménagement d'un ancien pénitencier, à Lausanne.

(Suite.) [1]

N° 77 « *Polymnie* ». Bon lotissement.

Bonne implantation du collège, mais la disposition du préau et du terrain de jeux est défectueuse.

Bonne solution pour l'accès principal mais qui ne prendrait toute sa valeur que moyennant la démolition d'immeubles situés hors du terrain à aménager.

Hall spacieux et intéressant, mais il vaudrait mieux qu'il s'ouvrît directement sur l'extérieur.

Plan clair, bien composé, bonne architecture.

[1] *Benedicks et Löfquist*, Z. Vereins. Deutsch. Ing. *71*, 1577 (1927).

[2] Ces analyses ont été effectuées à la Technische Hochschule d'Aix-la-Chapelle par M. le Dr Kleinefenn qui me les a obligeamment communiquées. Je l'en remercie vivement.

[3] *Herty et Gaines*. Tech. Publ. 88-Trans. A. I. M. M. E. *9*, 78 (1928).

[1] *Bulletin technique* du 13 octobre 1934, page 246.