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

Band: 3 (1948)

Artikel: Les aciers pour constructions soudées

Autor: Nihoul, R.A.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-3998

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: 09.07.2025

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

Ia2

Les aciers pour constructions soudées

Materialtechnische Grundlagen der Schweisstechnik

Characteristics of materials for welded structures

R. A. NIHOUL

Ingénieur, Directeur du Centre Belgo-Luxembourgeois d'Information de l'Acier, Bruxelles

Notion de soudabilité

On peut s'étonner aujourd'hui, que le développement prodigieux de la soudure depuis quelque trente ans se soit fait sans que le problème de la matière de base n'ait été pratiquement posé pendant de longues années. On s'est contenté pendant longtemps de dire que l'acier devait être soudable et cette affirmation de principe était, pour beaucoup, résolue d'office. Rappelons qu'à notre connaissance aucun règlement ne comportait de prescriptions particulières pour la matière il y a une dizaine d'années, et que très peu en imposent aujourd'hui encore.

Cependant, dès cette époque, des spécialistes s'intéressaient à la notion de soudabilité et le professeur Portevin de Paris en donnait une définition que nous nous plaisons à rappeler, car, dans son aspect sans doute théorique et complexe, elle posait bien le problème et soulignait l'interférence des problèmes constructifs et des problèmes métallurgiques. La soudabilité, disait le professeur Portevin, est l'aptitude des métaux à fournir, en opérant d'après les règles établies de la soudure, un ensemble compact et continu, exempt de défauts physiques et aussi homogène que possible, c'est-à-dire réalisant au mieux l'uniformité des propriétés demandées, pour l'usage auquel est destinée la pièce soudée.

Retenons cependant plutôt dans la présente note, la définition établie tout récemment par le professeur Campus de Liège :

La soudabilité des aciers de construction est l'aptitude à subir sans insécurité les effets du retrait dans les conditions de l'application.

Jusqu'en 1936, les constructeurs ont considéré que les aciers ordinaires de construction répondaient à une telle condition; le problème de la soudabilité était pratiquement ignoré. La soudure se développait avec succès

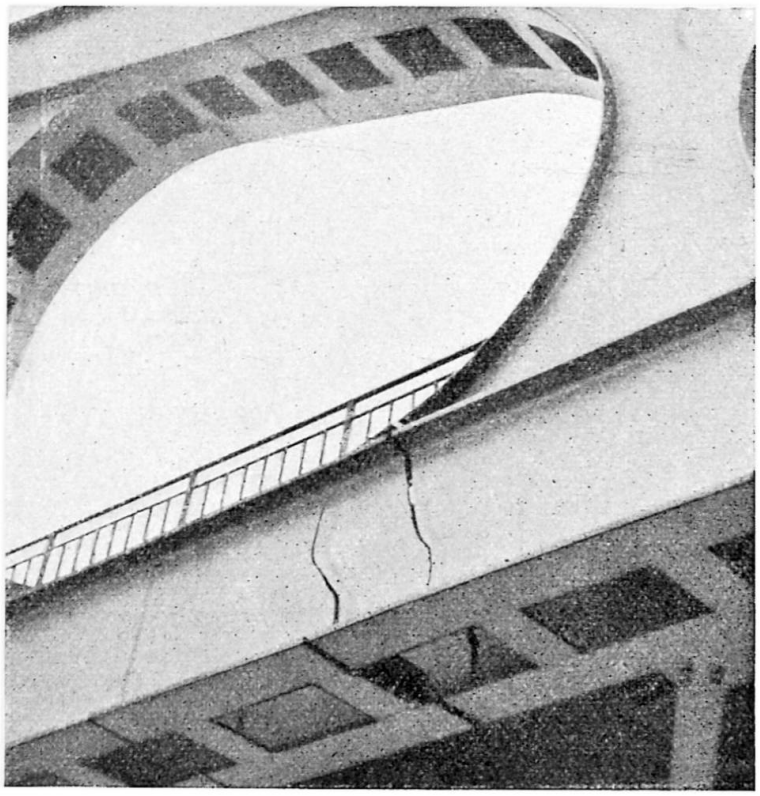


Fig. 1. Fissures produites dans la maîtresse-poutre, du type Vierendeel, du pont de Hermalle au-dessus du canal Albert.

et c'est sans doute en Belgique et en Allemagne que ce développement était le plus important.

Ce n'est pas une coïncidence que de constater, que c'est en Allemagne d'abord, en Belgique ensuite, que de graves accidents mettent un frein à l'enthousiasme des soudeurs. Les premiers accidents se produisent en Alle-

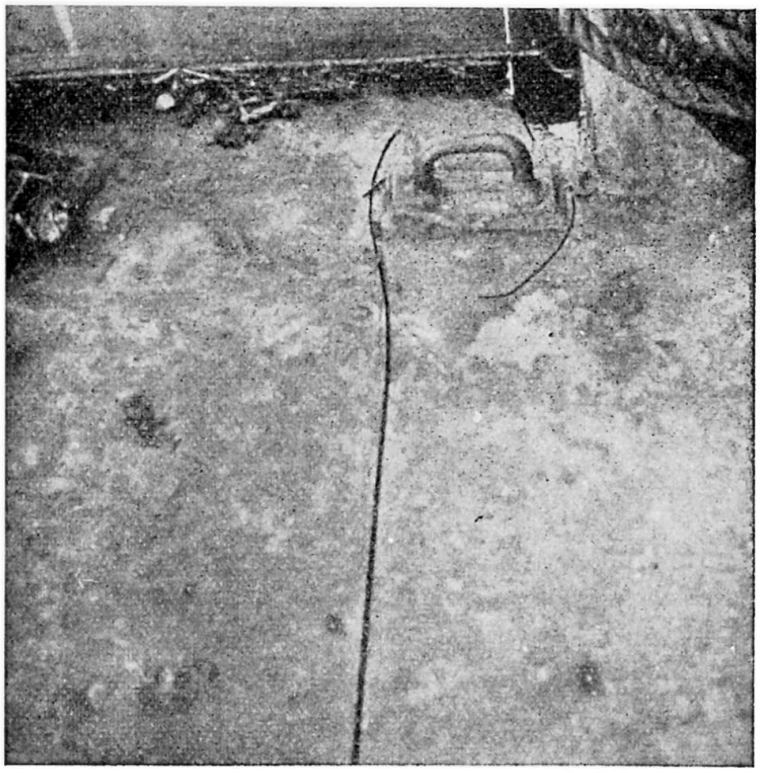


Fig. 2. Fissure dans la tôle de pont d'un cargo américain entièrement soudé du type « Liberty ship ». La rupture sans déformation apparente est à noter.

magne en 1936; en 1938 survient en Belgique le spectaculaire accident du pont de Hasselt et en 1940, d'autres accidents moins graves affectent huit ponts sur les quelque 60 grands ponts soudés. Enfin, à partir de 1942, les constructeurs des Etats-Unis rencontrent des difficultés semblables, en construction navale cette fois; si seulement huit navires sont perdus par rupture totale, plusieurs centaines de Liberty ships, principalement parmi les premiers réalisés, doivent faire l'objet de réparations importantes.

De tous ces accidents on peut faire aujourd'hui une synthèse, car ils présentent tous des caractéristiques communes (fig. 1, 2, 3) et qui, pour un constructeur métallique, sont nouvelles. Les pièces rompues ne sont ni fléchies, ni pliées, ni tordues, ni déformées; les sections de rupture sont brutales, sans traces d'arrachement, sans allongement ni strictions apparentes. Le métal soudé, et souvent le métal de base, loin des soudures, semble avoir perdu toute ductilité.

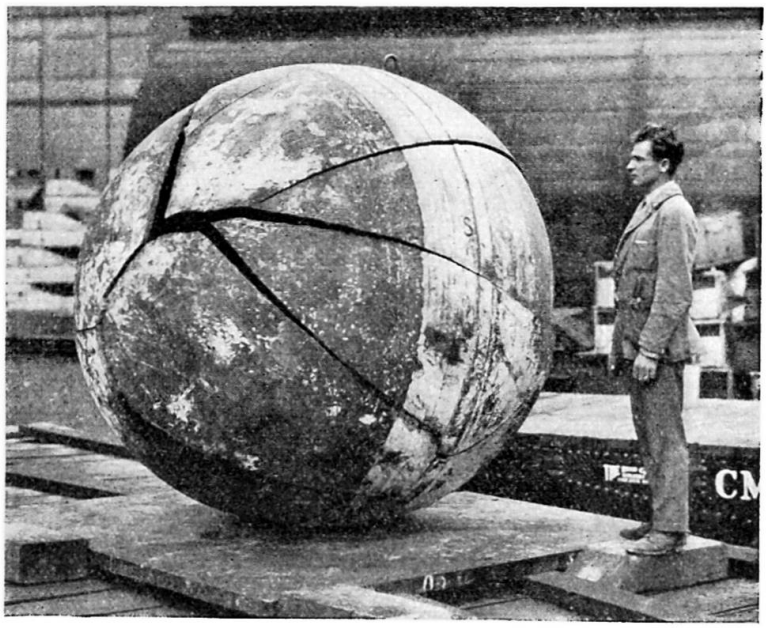


Fig. 3. Eclatement d'une sphère par pression hydraulique; cet essai réalisé à la Smith Corporation (U. S. A.) montre un cas de rupture sans déformation apparente.

Sollicitation des aciers

Il a fallu, à la suite de ces accidents, examiner le problème de résistance des matériaux qui se posait; il a fallu pour cela se demander si l'on ne se trouvait pas en présence de conditions de travail absolument différentes de celles connues jusqu'à ce jour. Il était facile d'incriminer la conception même des assemblages soudés; il était également facile d'incriminer le mode d'exécution, les défauts de montage, une main-d'œuvre insuffisante, mais les praticiens ne pouvaient s'empêcher devant la transformation radicale des conditions de réaction du métal, de trouver ces explications insuffisantes.

Habitués à considérer la construction métallique comme l'un des modes de bâtir le plus sûr, et surtout comme système constructif garanti contre les erreurs normales par cette faculté prodigieuse du métal de s'adapter à la sollicitation grâce au palier de plasticité, les praticiens étaient donc inquiets et avaient l'impression que l'intervention systématique de la soudure dans les ouvrages d'art les mettait en présence d'un système constructif entièrement nouveau.

A ce point de vue, une expérience réalisée aux Etats-Unis par la firme A. O. Smith de Millwaukee est significative et donne une clef du pro-

blème; une sphère de 2 mètres de diamètre, constituée par 2 calottes soudées avec soin, ayant subi, après soudure, des traitements thermiques convenables a été soumise à pression interne jusqu'à rupture (fig. 3). Les ruptures sont sèches comme celles de la fonte. Elles se sont produites en pleine tôle et se sont prolongées à travers toute la sphère, sans déformation apparente : un métal soumis à des efforts triaxés (et encore, dans le cas actuel, l'une des trois tensions est nettement plus petite que les deux autres) se rompt sans déformation apparente. Ce phénomène était connu sans doute, puisque dès le début de ce siècle, sauf erreur, des expérimentateurs allemands le mirent en évidence en soumettant à traction lente des éprouvettes entaillées, mais il n'avait pas retenu l'attention des ingénieurs. C'est là qu'est l'un des nœuds du problème.

Essayons de mettre de l'ordre dans les facteurs intervenant dans une construction soudée. Considérons comme données du problème, le fait que l'acier répond aux exigences normales d'une construction rivée; qu'il présente aux essais habituels la ductilité, l'allongement et la striction convenables. Considérons également, comme données du problème, le fait que les électrodes, avant ou après soudure répondent également aux exigences en la matière. Considérons enfin comme données du problème le fait que les soudeurs mis en présence d'une soudure sur éprouvette libre réalisent un joint ayant au moins la résistance du métal de base. Ce faisant, nous éliminerons évidemment de notre raisonnement les malfaçons éventuelles dans le choix des aciers, les malfaçons éventuelles dans la fourniture des électrodes et les malfaçons dans l'exécution des soudures. Cette élimination est justifiée, car si certains incidents doivent avoir, comme l'une de leurs causes, des faiblesses sur les trois points que nous venons d'évoquer, ceci ne constitue certainement pas une règle; d'autre part, à la lueur de nos connaissances habituelles, aucune de ces faiblesses n'aurait pu justifier les catastrophes et surtout la nature des fissures qui se sont produites.

On en arrive donc à rechercher ailleurs les raisons qui ont entraîné la décohésion du métal. Est-il nécessaire, aujourd'hui, de définir ce qu'on entend par décohésion et ce que les Allemands ont appelé *Trennbruch*? Dutilleul a précisé qu'il entendait par là une rupture par séparation intercristalline, par opposition à une rupture avec glissement selon les plans. La rupture d'un métal, avec déformation importante, se produit selon un certain nombre de plans et dans certaines zones, jusqu'à épuisement de toutes possibilités de déformation, c'est-à-dire de glisssement relatif. Une telle rupture provoque une importante déformation permanente, avant que le métal ne cède. Elle provoque également une grande striction. Elle conduit à une cassure non cristalline, telle que nous les connaissons habituellement. Au contraire, les ruptures rencontrées dans les constructions soudées sont des ruptures sans déformation ou pratiquement sans déformation, sans glissements. La cassure présente des facettes planes de décollement correspondant à des ruptures intragranulaires d'aspect cristallin.

Si l'on étudie la structure cristalline de l'acier, on constate que l'existence d'une tension de traction provoque, dans chacun des cristaux une composante normale et une composante tangentielle. Si la composante tangentielle dépasse la résistance spécifique au glissement, ce qui est le cas le plus courant, il y a rupture après grande déformation. Si, au contraire, la composante normale dépasse en premier lieu la résistance spécifique intercristalline il y a rupture sans déformation et dans ce cas, rupture par décohésion.

Pour se trouver dans la première de ces hypothèses, on a le choix entre deux solutions : 1° faire varier le rapport entre les deux tensions et, par conséquent, *rechercher les facteurs d'ordre constructif*, propres à orienter favorablement la sollicitation du métal; 2° faire varier la résistance intercristalline du métal, soit au glissement, soit à la décohésion et, par conséquent, faire varier les *facteurs d'ordre métallurgique*.

Le facteur constructif a été examiné en tout premier lieu. Or, on constate aisément que, lorsqu'une pièce est soumise à deux tensions perpendiculaires, les composantes normales s'additionnent, tandis que les composantes tangentielles se soustraient, et par conséquent, le rapport entre la tension normale et la tension tangentielle augmente; dans les cas limites même, la composante tangentielle sera nulle. *Lorsqu'on se trouve en présence d'un état de tension biaxé ou triaxé, le métal est sollicité d'une façon telle, que la décohésion est facilitée.* Or, pratiquement, en construction rivée, les pièces sont généralement sollicitées d'une façon simple. Il en est tout autrement dans une construction soudée et ce, pour différentes raisons, toutes très distinctes, mais qui conduisent à solliciter la matière de la même façon. En premier lieu, il est difficile d'envisager un assemblage soudé d'une pièce de quelque importance, sans créer organiquement des tensions transversales importantes. Il y a là un défaut, ou, plus exactement, un fait élémentaire de la construction soudée.

Le traitement métallurgique inhérent à la soudure, provoque d'autre part, l'existence de tensions de retrait souvent voisines de la limite élastique du métal, et dont la direction est souvent perpendiculaire aux sollicitations principales.

En outre, la construction soudée se prête à des variations de dimensions brusques. Elle se prête à l'emploi de sections massives dont la flexion provoque des tensions transversales, qu'on ne rencontre pas dans la construction rivée. La construction soudée se prête à des concentrations d'efforts importants dus à des assemblages ou à des nœuds vitaux. Les effets d'entaille ont de leur côté un rôle décisif; une entaille entraîne une distribution locale non uniforme de tensions et une sollicitation localisée, triaxée. La prédisposition de la construction soudée à l'existence d'entailles de faibles dimensions est évidente.

Ajoutons-y le risque de créer des points faibles par traitements métallurgiques inadéquats du métal, le vieillissement de certaines parties du métal par suite du traitement thermique sous tension.

Les charpentes complexes soudées constituent en conséquence un ensemble constructif entraînant dans le métal une sollicitation plus favorable aux ruptures par décohésion que par déformation plastique.

Conditions métallurgiques de soudabilité

Sachant que telle sera la sollicitation du métal, nous sommes amenés à rechercher les conditions métallurgiques pour y faire face. En cherchant les facteurs métallurgiques influençant la décohésion, on peut regrouper certaines constatations connues.

En fonction de la nature du métal, la mise en parallèle des résultats d'essais de traction statique et des essais de résilience, ou des essais de fatigue, montre des divergences notoires. On peut en déduire, par analogie,

certains facteurs de nature à favoriser la résistance à la décohésion du métal. C'est ainsi qu'on est frappé de constater la bonne résistance aux chocs ou à la fatigue des aciers calmés, à grains fins, par opposition aux aciers effervescents à gros grain. D'autre part, les aciers ayant pris la trempe, ayant donc une structure principalement martensitique à gros grain, sont très sensibles à la décohésion. Il en est également ainsi des aciers dont la trempe a conduit à une structure mixte, phénomène qui ne doit pas être exclu en soudure.

On constate également que les aciers vieillis artificiellement notamment par un traitement à 200° par exemple, et ceci à la suite d'un écrouissage à froid, sont propres à avoir des ruptures par décohésion. Tous les ateliers de construction, enfin, ont constaté que des aciers traités d'une façon brutale ou à basse température donnent des ruptures dites de décohésion.

Ces constatations générales permettent de tracer le schéma des facteurs métallurgiques, qui, en provoquant des conditions considérées, peut-être arbitrairement, comme analogues aux conditions thermiques et mécaniques résultant de l'emploi de la soudure, favorisent la rupture par décohésion. Les nuances d'acier correspondantes, sont susceptibles de ne pas donner de bons résultats en construction soudée fortement sollicitée.

Une Commission Technique de spécialistes des Aciers pour constructions soudées créée en Belgique a recherché quelles étaient les conditions de réception qui permettraient de fournir un métal ayant une résistance à la décohésion plus ou moins élevée. Par analogie, on a recherché des métaux n'ayant qu'une faible aptitude à la trempe, une résistance aux effets d'entaille, une résistance aux sollicitations triaxées, une résistance au vieillissement. Tous les essais susceptibles de donner des indications sur ces caractéristiques, ont été systématiquement étudiés et notamment les essais suivants :

Analyse chimique (teneur en soufre, en phosphore, en carbone, en silicium, en gaz);
Essai de résilience (résilience à l'état naturel, résilience après vieillissement, résilience à basse température);
Essai de vieillissement;
Essai de pliage au naturel;
Essai de trempe;
Essai de traction;
Essai de macrographie;
Essai de texture;
Contrôle de la grosseur du grain;
Essais spéciaux Schnadt de résilience sur éprouvette avec noyau;
Micro-essai avec éprouvette Chevenard.

Enfin, une série d'essais dits « essais globaux » parce qu'ils groupent une série de phénomènes, et qu'ils donnent une indication dont le caractère subjectif est discutable, mais dont les analogies avec les sollicitations de la construction soudée sont incontestables, et notamment :

Essai de pliage d'un joint soudé;
Mesure de dureté dans la zone influencée par la soudure;
Essai de pliage avec cordon superficiel (dit essai Kommerell);
Essai de pliage après défoncement et entaille (dit essai Hautmann);
Essai de soudure sous tension (dit essai Swinden & Reeve);

Essai de traction avec cordon superficiel (dit essai Campus) ;
Essai de traction avec entaille préalable (dit essai Campus).

L'examen méthodique des essais a conduit à en éliminer un nombre important, soit parce que leur valeur sélective n'était pas clairement démontrée, soit parce que leur utilisation, en tant qu'essai de réception de matière, n'était pratiquement pas possible. C'est ainsi, notamment, que quel que soit leur intérêt, la mesure des teneurs en gaz, le contrôle de la grosseur du grain, la macrographie des aciers effervescents n'ont pas paru être des méthodes d'essais à caractère industriel. On a également, renoncé à l'essai de résilience, et à l'essai de résilience sur éprouvette avec noyau, notamment parce que les dispersions étaient élevées, principalement pour les aciers effervescents. Les essais de résilience avec noyau sont, d'autre part, trop récents, pour pouvoir faire l'objet d'une prescription de réception.

La mesure de la trempe, notamment au moyen de l'essai américain Jominy n'a pas été retenue, car il ne semble pas que cet essai présente une efficacité réelle pour les aciers à faible teneur en carbone, comme le sont les aciers de charpente. Les remarquables travaux poursuivis, pendant la guerre, aux Etats-Unis, sur ces essais sont d'ailleurs essentiellement relatifs à des aciers durs ou à des aciers alliés. Il est intéressant de rappeler que l'établissement de courbes Jominy a permis de donner les éléments pratiques des conditions de soudure aux constructeurs mécaniciens, ces éléments ayant comme variables l'intensité du courant électrique à utiliser, le temps et la température de préchauffage, la vitesse de la soudure.

En retenant les autres méthodes d'investigations, la Commission a cherché à définir *les conditions générales de soudabilité métallurgique* limitées au problème de la construction métallique, et aux méthodes de soudure normalement utilisées dans cette industrie, méthodes ne faisant intervenir aucun traitement thermique extérieur préliminaire, simultané ou ultérieur.

Donc, si nous définissons les conditions générales de soudabilité métallurgique, il faut en même temps préciser qu'elles sont valables pour les conditions d'applications que l'on rencontre dans la construction des ponts, des charpentes et chaudronneries plus ou moins complexes. Ce facteur de complexité conduit la Commission à définir la soudabilité pratique, selon différents degrés.

La Commission a estimé, qu'en ce qui concerne *les propriétés chimiques*, la teneur des aciers en certains éléments doit être limitée *du seul point de vue de la soudabilité*. Pour l'ensemble des nuances envisagées, on doit, notamment, considérer les teneurs suivantes comme des plafonds absolus, au-dessus desquels il semble, — dans l'état actuel de nos connaissances, — exister un danger marqué d'effectuer des assemblages par soudure :

Carbone : maximum 0,18 % pour l'acier Thomas.
Carbone : maximum 0,20 % pour l'acier Martin calmé.
Phosphore : maximum 0,08 %.
Soufre : maximum 0,06 %.
Phosphore plus Soufre : 0,13 % maximum.
Silicium : maximum 0,25 %.
Manganèse : maximum 1,50 % pour l'acier Martin.
Manganèse : maximum 1,25 % pour l'acier Thomas.

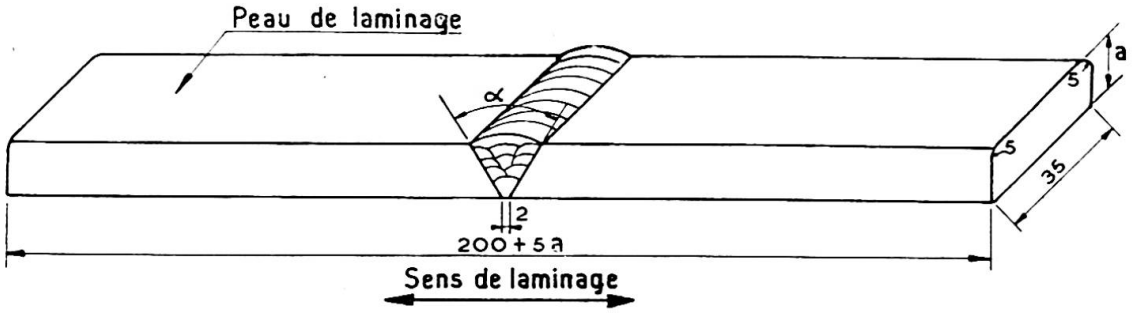


Fig. 4. Forme et dimensions de l'éprouvette de l'essai de pliage d'un joint soudé.

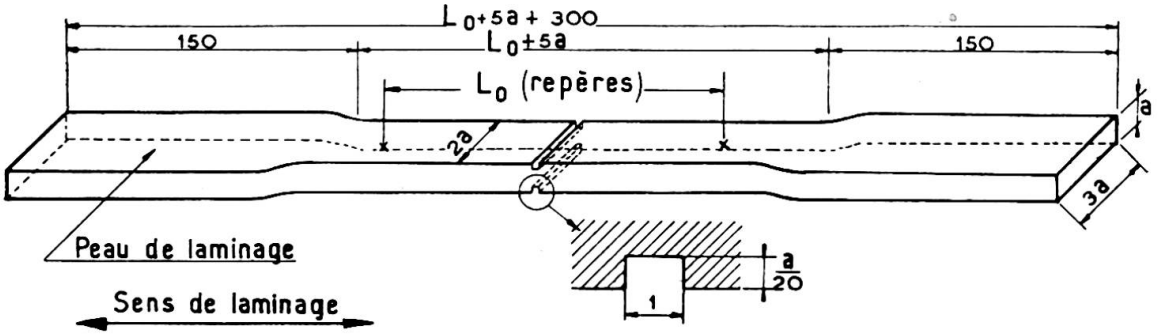


Fig. 5. Forme et dimensions de l'éprouvette de l'essai de traction avec entaille préalable.

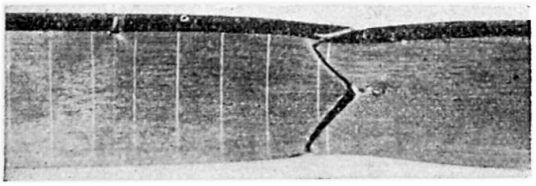
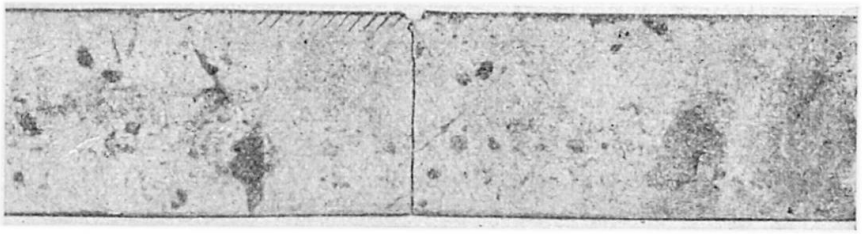


Fig. 6 et **7.** Résultats d'essais de traction sur éprouvettes entaillées.

Bon



Mauvais

Ces chiffres s'entendent pour la teneur moyenne relevée sur produits fabriqués.

Du point de vue de la texture, les aciers pour constructions soudées doivent être exempts de défauts macrographiques graves, et notamment de doublures qui sont encore moins admissibles en construction soudée qu'en construction rivée. On cherchera à les déceler par macrographie, découpage au chalumeau ou à la cisaille.

La macrographie sera d'ailleurs exigée pour les tôles et larges plats en acier calmé, à titre de contrôle du calmage et de la nature du matériau. De façon à rendre cet essai macrographique objectif, et soumis aussi peu que possible à l'appréciation personnelle du réceptionnaire, un album de macrographies types a été préparé et édité.

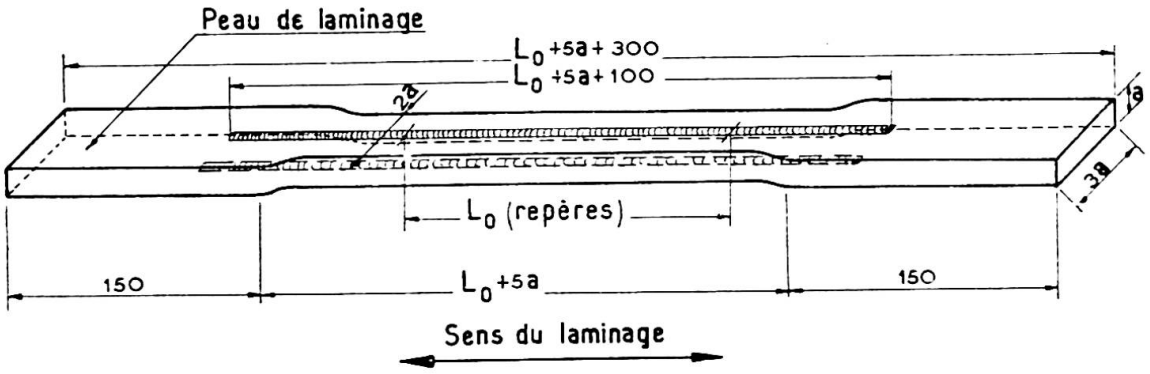
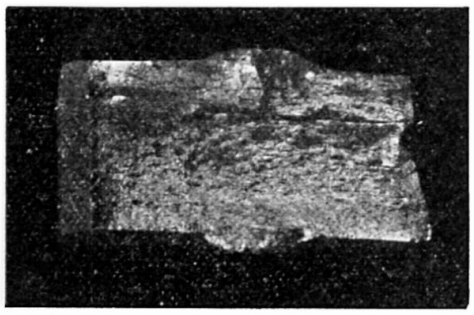


Fig. 8. Forme et dimensions de l'éprouvette de l'essai de traction avec cordons de soudure superficiels longitudinaux.



Bon

Mauvais

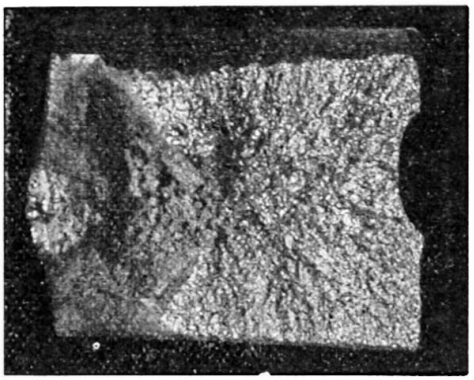


Fig. 9 et **10.** Résultats d'essais de traction sur éprouvettes comportant des cordons de soudure superficiels.

En ce qui concerne les essais mécaniques usuels, la Commission insiste pour que ceux-ci aient lieu à une température contrôlée de 15 à 20°. Les spécialistes souhaiteraient d'autre part qu'on puisse imposer des essais en travers pour les produits sidérurgiques autres que les tôles. En l'absence de documentation, ces essais n'ont pas été retenus, mais il a été demandé que des essais systématiques, ayant un caractère indicatif, soient entrepris le plus tôt possible et en premier lieu sur les larges plats.

Outre les essais de pliage habituels, on a retenu le principe d'un essai de pliage après trempe. Ici, aussi, en l'absence de documentation, cet essai n'est pas appliqué à toutes les nuances employées en construction. Son intérêt nous paraît personnellement très discutable car on ne voit pas à quelle préoccupation il peut répondre. Enfin, en ce qui concerne les tensions résiduelles, l'importance que ce facteur présente paraît mériter une étude approfondie dans un proche avenir, en vue d'améliorer les conditions d'exécution des constructions soudées.

Il a été fait alors un choix d'essais spéciaux complémentaires, choix d'autant plus délicat qu'aucun cahier des charges n'a pris position à ce sujet, et que, par conséquent, si dans le domaine scientifique on a proposé et effectué en grande quantité, des essais divers à l'étranger et en Belgique, il était difficile d'affirmer que pour l'un ou l'autre de ces essais, il existât une doctrine d'utilisation basée sur une expérience réelle.

On a retenu les essais suivants qui semblaient le mieux montrer l'aptitude du métal à absorber les fissures éventuelles, à résister à une sollicitation triaxée, enfin, à faire face au vieillissement.

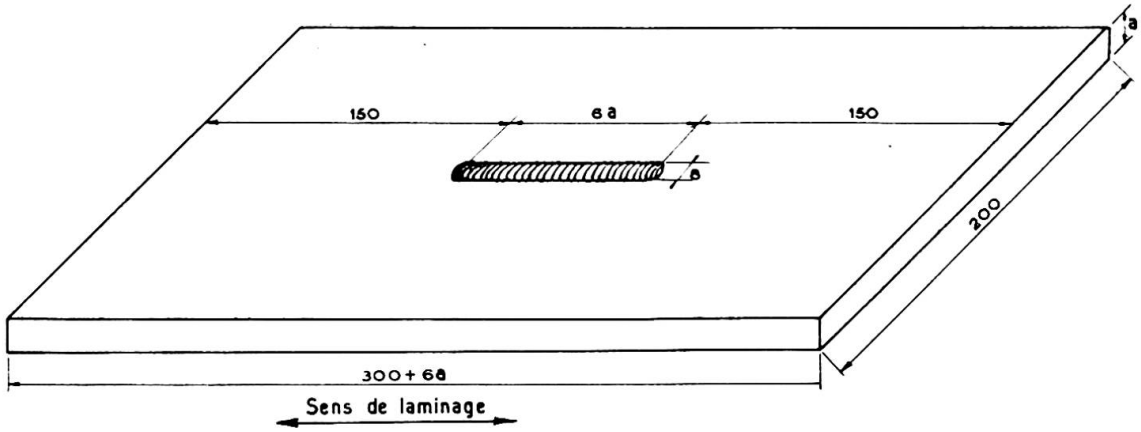
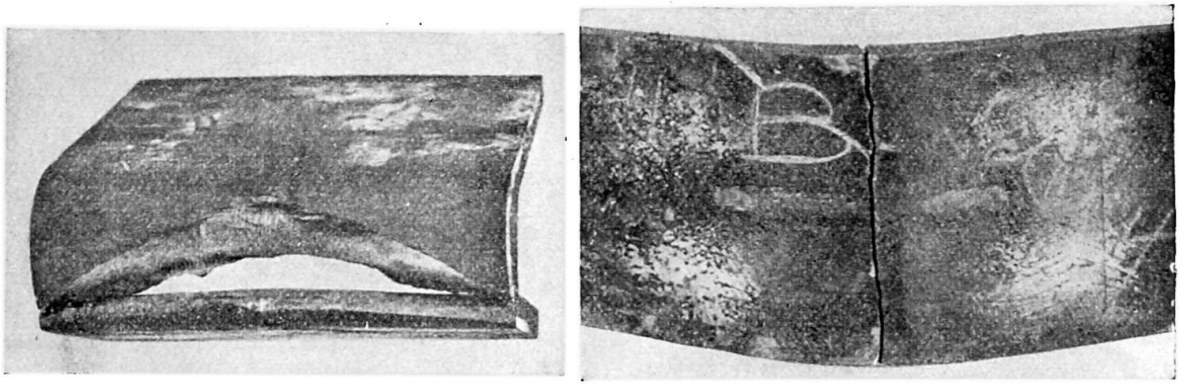


Fig. 11. Forme et dimensions de l'éprouvette de l'essai de pliage avec cordon de soudure déposé dans une rainure longitudinale.

Fig. 12 et **13.** Résultats d'essais de pliage d'éprouvettes comportant un cordon de soudure déposé dans une rainure longitudinale.

Bon **Mauvais**



1° Essai de pliage d'un joint soudé (fig. 4).

Cet essai classique s'effectue sur l'éprouvette représentée à la figure 4. On peut se demander si cet essai ne présente pas surtout de l'intérêt pour l'agréation des soudeurs et la réception des électrodes.

2° Essai de vieillissement.

Cet essai consiste à comparer les résiliences à l'état de livraison et après vieillissement artificiel, celui-ci étant obtenu par un écrouissage suivi d'un réchauffage.

3° Essai de traction sur éprouvette entaillée ou sur éprouvette comportant des cordons de soudure longitudinaux, préconisé par le professeur Campus (fig. 5 et 8).

L'expérience a montré que l'essai avec entaille, convient aux aciers de nuances douces, tandis que l'essai avec cordons superficiels convient aux aciers de nuances dures.

4° Essai de pliage d'une éprouvette comportant un cordon de soudure déposé dans une rainure longitudinale (essai dit Kommerell, fig. 11) on essai de pliage d'une éprouvette comportant une rainure et une entaille (essai dit Hautmann, fig. 14).

Ces derniers essais présentent l'inconvénient de ne pas donner des résultats chiffrables, et, par conséquent, de conduire à un jugement sub-

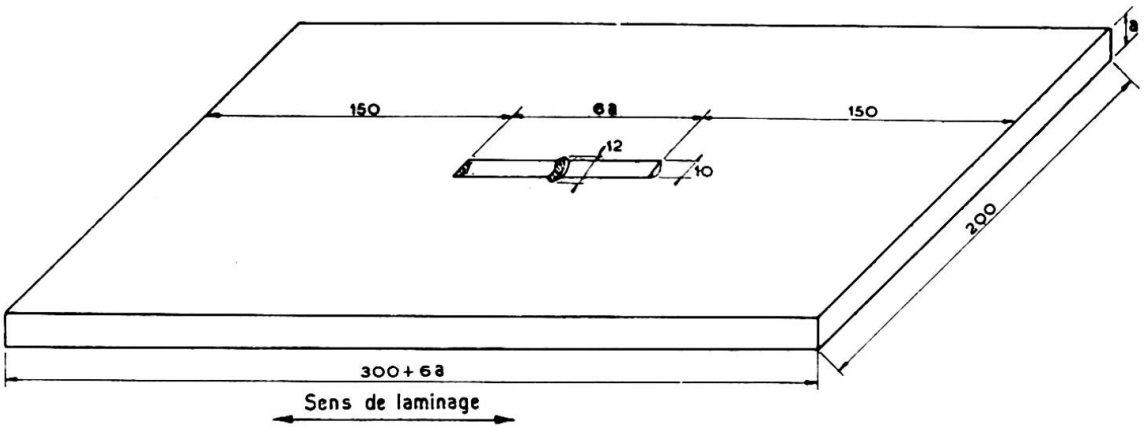


Fig. 14. Forme et dimensions de l'éprouvette de l'essai de pliage avec rainure et entaille.

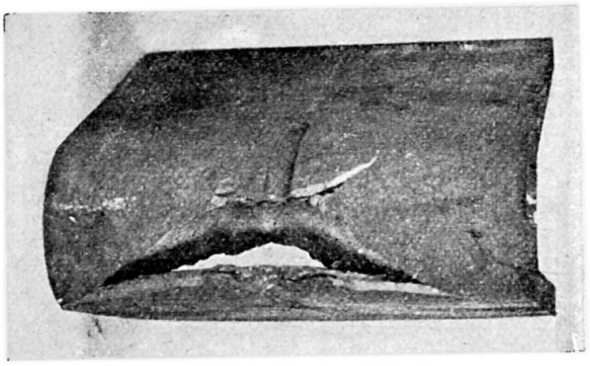
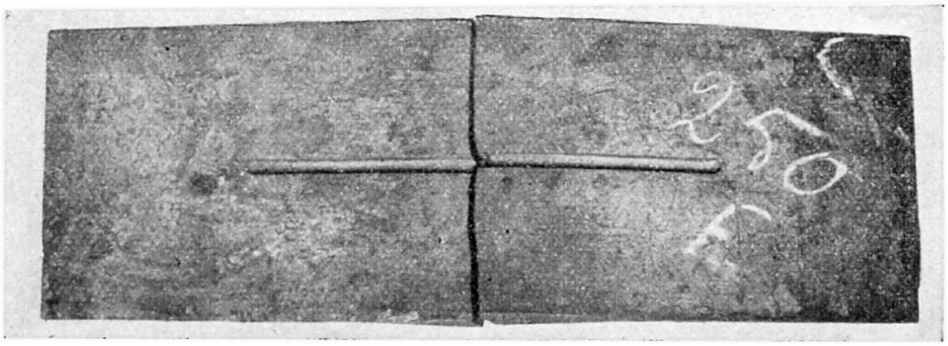


Fig. 15 et **16.** Résultats d'essais de pliage d'éprouvettes comportant une rainure et une entaille.

Bon



Mauvais

jectif de la qualité des aciers. La Commission s'est efforcée de corriger cette situation en joignant à la description des essais, des exemples de bonne et de mauvaise réalisation, mais ainsi que le montrent les diverses figures ci-jointes, la réception reste chose délicate.

Essai de spécification de soudabilité

Tels sont les éléments qui ont servi à la rédaction de conclusions techniques et d'une feuille de qualité des aciers pour construction soudée. Cette feuille de qualité, qui a évidemment un caractère provisoire, conduit à l'utilisation des aciers repris au tableau I qui se rapporte en particulier aux barres laminées et profilées.

Désignation abrégée			A 00	A 37	A 37 SC	A 37 HS	A 42	A 42 SC	A 42 HS	A 45 HS	A 52	A 52 HS
Caractéristiques mécaniques à l'état de livraison, dans le sens du laminage	R (en kg/mm²)		max 47	37-45	37-45	37-45	42-50	42-50	45-50	45-55	52-62	52-62
	Re min. (en kg/mm²) $a \leqslant 16$ mm		—	24	24	24	26	26	26	30	36	36
	Coefficient de qual. R + 2,5 A		—	100	100	100	100	100	100	102	105	105
	Simple pliage à froid	Epaisseur de la cale $a \leqslant 20$	—	0,5 a	0,5 a	0,5 a	a	a	a	2 a	2 a	2 a
		α	—	180°	180°	180°	180°	180°	180°	180°	180°	180°
	Pliage après trempe	Température de trempe	—	—	925°	925°	—	à l'étude		à l'étude	—	à l'étude
		Epaisseur de la cale $a \leqslant 20$	—	—	1,5 a	1,5 a	—				—	
		α	—	—	180°	180°	—				—	
	Pliage du joint soudé	Epaisseur de la cale	—	—	2 a	2 a	—	2 a	2 a	2 a		2 a
		α	—	—	180°	180°	—	180°	180°	180°		120°
	Résilience après vieillis.	Kv (kgm/cm²)	—	—	—	6	—	—	5	4	—	4
		$\frac{Kv}{Kl}$	—	—	—	0,6	—	—	0,6	0,6	—	0,6
Caractéristiques chimiques (maxima)		C %	—	—	0,13	0,15	—	—	0,20	0,18	—	0,20
		P %	—	—	0,08	0,06	—	0,06	0,06	0,06	—	0,05
		S %	—	—	0,06	0,06	—	0,06	0,06	0,06	—	0,05
		P+S %	—	—	0,13	0,11	—	0,11	0,11	0,11	—	0,09
		Si %	—	—	—	0,20	—	0,20	0,20	0,25	—	0,25
		Mn %	—	—	—	—	—	0,70	—	1,20	—	1,50
Autres essais et prescriptions		—	—	—	—	A-C D-E	—	B	B-C D	B-C D	—	B-C D-F

AUTRES ESSAIS ET PRESCRIPTIONS

A = Pliage en long d'éprouvettes défoncées et entaillées, ou traction en long d'éprouvettes entaillées; prévus seulement lorsque l'épaisseur du produit est égale ou supérieure à 18 mm.

B = Pliage ou traction en long avec cordon(s) superficiel(s) de soudure; prévus seulement lorsque l'épaisseur du produit est égale ou supérieure à 18 mm.

C = Macrographie (pour l'appréciation, se rapporter à l'*Album de macrographie* de la C. M. A., édition 1945).

D = Normalisation imposée pour les produits d'épaisseur supérieure à 25 mm.

E = Caractéristiques chimiques complétées par : $C + P + S \leqslant 0{,}24$ %.

F = Caractéristiques chimiques complétées par : Cu : 0,25 % minimum; Cr : 0,40 % environ, éventuellement.

1. L'acier de qualité courante « A 00 » ne peut pas être rouverin. Il doit être ductile à froid, c'est-à-dire que les produits doivent supporter le pliage à 90° sur un mandrin de diamètre égal à quatre fois l'épaisseur. On peut admettre que cet acier présente une limite élastique apparente d'environ 22 kg/mm² pour les épaisseurs inférieures et égales à 16 mm et environ 20 kg/mm² pour les épaisseurs supérieures à 16 mm.

Les barres laminées de diamètre (ou de côté) inférieur à 50 mm et les profilés des programmes normaux de fabrication peuvent être livrés en acier de qualité courante « A 00 ».

2. Sauf spécification spéciale de l'acheteur, le procédé de fabrication est laissé au choix du producteur.

Pour l'acier de qualité courante « A 00 », le procédé de fabrication ne peut jamais être prescrit.

Pour les marques autres que « A 00 », le producteur doit communiquer le procédé de fabrication sur demande de l'acheteur.

Sur demande spéciale de l'acheteur, on peut ajouter 0,25 % min. de Cu aux aciers pour les protéger de la corrosion atmosphérique.

Remarque générale

La garantie de soudabilité peut être exigée suivant les nuances, soit en degré SC (soudabilité courante), soit en degré HS (haute soudabilité).

Les nuances du degré SC ne sont utilisables en construction soudée qu'en deçà d'une certaine limite d'épaisseur et avec toutes les réserves formulées à l'annexe quant à la conception et à l'exécution des ouvrages soudés; cette limite peut atteindre 20 à 25 mm selon les difficultés constructives.

Aciers A 37 et A 42. La soudabilité de ces aciers n'est garantie que lorsqu'ils sont commandés pour répondre en outre aux prescriptions du tableau ci-dessus. Ces aciers sont alors désignés par les appellations A 37 SC ou A 37 HS, A 42 SC ou A 42 HS.

Acier A 45 HS. Cet acier n'est élaboré qu'en nuance HS répondant aux prescriptions du tableau ci-dessus.

Acier A 52. Cet acier n'est pas normalement soudable. Sa haute soudabilité n'est garantie que pour la nuance A 52 HS.

Notations

R : charge spécifique de rupture.
Re : limite apparente d'élasticité.
a : épaisseur du produit, en mm.
A : allongement % sur éprouvettes $K = \frac{L_0}{\sqrt{S_0}} = 8{,}16$.
L_0 : longueur initiale entre repères.
S_0 : section initiale de la partie calibrée.
K_v : résilience du métal vieilli.
K_l : résilience du métal à l'état de livraison.

Ce tableau est complété par une annexe donnant quelques règles quant aux conditions d'emploi des aciers d'usage général pour constructions soudées à l'arc électrique. Cette annexe est fondamentale; elle souligne le rôle du constructeur dans la construction soudée; elle fait partie intégrante de la feuille de qualité.

Les facteurs constructifs interviennent directement dans la définition de la soudabilité.

Est considéré comme facteur susceptible de modifier la soudabilité, toute particularité de la conception ou de l'exécution dans la mesure où cette particularité :

1° Augmente l'importance des tensions résiduelles;

2° Entraîne un état de tensions se rapprochant de l'état triple isotrope de traction;

3° Entraîne une diminution de la qualité du métal.

Il est remarquable que dans les trois cas cités, l'épaisseur intervient comme une particularité essentielle. Cela incite, à titre d'approximation et dans un but de simplification, à se servir de l'épaisseur maximum des éléments mis en œuvre pour chiffrer le degré de difficulté constructive. On admet donc, d'une façon approximative, que les aciers de soudabilité courante (aciers indexés SC) ne pourront pas être utilisés au delà d'une épaisseur maximum de 20 à 25 mm des éléments assemblés.

Quelques-uns des autres facteurs déterminant la difficulté constructive sont notamment

Pour le cas 1 :

Le degré de raideur des éléments de la construction;
Les intersections des soudures;
L'existence préalable des tensions résiduelles;
L'exécution des soudures sans programme judicieux.

Pour le cas 2 :

L'intersection d'éléments sous tension ou de cordons de soudure;
Les entailles;
Les changements brusques de section.

Pour le cas 3 :

Le cisaillage, le poinçonnage, les cintrages à froid;
L'utilisation de la construction aux basses températures;
Les sollicitations par le travers ou suivant l'épaisseur des trempes locales.

Commentaires

L'examen critique de cette spécification conduit à différentes remarques. Du point de vue scientifique, on est frappé de noter combien les constatations et l'interprétation à laquelle elles ont donné lieu en Belgique sont conformes à ce qui a été fait à l'étranger, et, tout spécialement aux Etats-Unis.

Au point de vue pratique, le cahier des charges proposé comporte quelques points faibles, qu'il est essentiel de faire disparaître.

1° Essais de soudabilité. — Les essais proposés constituent évidemment une solution imparfaite pour la réception des aciers, d'une part parce qu'ils sont coûteux, lents et délicats, d'autre part parce que leur interprétation est toujours fonction de la compétence des agents réceptionnaires.

Pour l'instant, cependant, nous ne connaissons pas de test plus simple; il ne faut pas perdre de vue que l'emploi des essais globaux n'est prévu que pour les aciers de haute soudabilité H. S. dont l'utilisation sera toujours très réduite, et dont l'emploi suppose des précautions importantes.

En tout état de cause, d'ailleurs, on pourrait se demander si cette question ne doit pas faire l'objet d'une nouvelle investigation : nos connaissances en matière d'effets d'entailles notamment, ont rapidement progressé au cours des dernières années, et certains facteurs nouveaux sont intervenus quant au comportement des aciers. Parmi ceux-ci, figure tout spécialement la variation de la résistance aux effets d'entaille des aciers en fonction de la température. Des travaux poursuivis, à l'étranger notamment, montrent que ce facteur pourrait peut-être constituer un test élégant pour déterminer la susceptibilité à la fissuration des aciers utilisés dans nos pays. Des essais seront vraisemblablement entrepris prochainement à ce sujet.

Mais le reproche le plus sérieux qui doit être fait à la spécification proposée, est de *ne pas déterminer nettement et clairement les zones d'application des différents aciers.*

L'originalité du document est d'avoir, pour un type déterminé, par exemple pour l'acier ayant une résistance à la rupture comprise entre 37 et 45 kg/mm², créé *plusieurs nuances à soudabilité.* Ainsi est posé le principe que lorsque ce n'est pas nécessaire, il est inutile d'employer des aciers spécialement élaborés, et par conséquent coûteux. Mais d'autre part, le choix de l'acier ne peut être déterminé a priori, trop de facteurs intervenant pour rendre plus dangereuse la sollicitation d'une construction. Ces facteurs sont, par exemple, la complexité des assemblages, l'importance de la variation des tensions, l'épaisseur des profilés mis en œuvre, les conditions de montage, le matériel dont dispose la firme, l'expérience de ses dessinateurs, de ses chefs d'ateliers, de ses soudeurs. C'est l'ingénieur-constructeur qui doit donc prendre sa responsabilité. Encore faut-il qu'il le fasse à bon escient.

Le grand nombre de constructions soudées réalisées, permet de se baser sur les précédents pour faire un choix judicieux d'un acier présentant la sécurité nécessaire et l'économie souhaitable.

1° Sans vouloir prendre, dans ce domaine, une position définitive, on constate que l'acier ordinaire, dit A 37 au tableau I, s'adapte aux exigences, même les plus sévères de la construction rivée. Cette affirmation a été rendue encore plus évidente en Belgique, par les études détaillées faites sur les ponts détruits par explosion en 1940 et en 1944. Le même acier A 37 supporte sans difficultés la soudure, lorsque celle-ci a un caractère simple. Nous n'avons pas connaissance d'un seul accident dans la construction du bâtiment, de charpentes industrielles, enfin, de toutes constructions relativement simples et légères en acier A 37.

2° Pour les constructions où la soudure est employée d'une façon systématique, mais qui ne présentent pas de difficultés constructives exceptionnelles, ni de concentrations de tensions, qui ne mettent pas en œuvre des éléments d'épaisseur tels que les efforts triaxés importants puissent prendre naissance à certains endroits du matériau, l'acier ordinaire, de bonne fabrication convient. Il est utilisé avec succès pour des épaisseurs inférieures à 20, voire même à 25 mm. La nuance de soudabilité courante, dite au tableau I, A 37 SC doit être considérée comme une nuance ordinaire, mais dont la fabrication a été plus étroitement contrôlée que pour les aciers A 37 L'utilisateur a la garantie que la teneur en carbone sera tellement basse que tout danger de trempe est exclu. Enfin, les teneurs en soufre et phosphore, nettement inférieures au plafond de soudabilité fixé, garantissent que la fabrication a été soignée. Il ne nous semble pas qu'il y ait difficulté à utiliser simultanément cet acier A 37 SC et l'acier A 37 HS (haute soudabilité) ce dernier étant limité aux éléments de grande épaisseur (supérieure à 25 mm) fortement sollicités et donnant lieu à d'importantes soudures.

L'emploi de l'acier A 37 SC semble couvrir la très grande majorité des constructions soudées, pour autant que l'étude, l'exécution, le montage et le contrôle de celles-ci soient faits avec soin.

3° Le problème est cependant différent lorsqu'on se trouve en présence d'une construction soudée importante, telle qu'un grand pont, un ouvrage d'art, ou d'une façon plus générale, de toute construction où il est impossible d'éviter des concentrations d'efforts; où il est nécessaire d'employer régulièrement des éléments d'épaisseur supérieure à 25 mm, où l'on n'a pas l'assurance que des sollicitations triaxées ou des effets d'entailles ne sont pas inhérents à la construction elle-même. Dans ce cas, la tâche de construction doit donc être facilitée par la mise en œuvre d'un acier capable de résister avec certitude aux nouvelles sollicitations qui lui seront imposées. Les aciers calmés, quelle que soit leur méthode d'élaboration, peuvent satisfaire à ces exigences, et l'acier à haute soudabilité dit A 37 HS est un acier de caractéristiques mécaniques ordinaires, mais dont ont été contrôlés le calmage, la susceptibilité au vieillissement, la susceptibilité à l'entaille. Son existence doit permettre d'aborder les problèmes exceptionnels de construction soudée.

Le but de la présente communication est de montrer qu'il est possible, sans rechercher des sécurités exagérées, de mettre à la disposition des constructeurs, des aciers dont la soudabilité est adaptée aux sollicitations des constructions dans lesquelles ils seront mis en œuvre.

Les progrès de la construction soudée, permettent aujourd'hui, de réduire les aléas dus à des facteurs constructifs. Dans la plupart des cas, une bonne technique doit permettre l'emploi d'aciers normalement élaborés, mais dans certains cas, le soudeur fera appel à des aciers spécialement élaborés.

Nous souhaitons que la proposition que nous avons commentée, fasse l'objet d'un débat et d'un perfectionnement, lors du Congrès de l'Association internationale des Ponts et Charpentes de 1948.

Résumé

Examen des ruptures survenues dans les accidents de construction soudée, du point de vue de la matière de base. Discussions sur le comportement de la matière de base et sur l'influence de cette matière dans les accidents.

Etude des facteurs qui interviennent dans la soudabilité des aciers, facteurs constructifs, dus à la construction; facteurs métallurgiques dus à la matière elle-même.

Recherche des méthodes d'essai et de réception, susceptibles de donner des indications sur les facteurs métallurgiques. Comparaison de différents essais préconisés.

Influence des propriétés chimiques au point de vue de la soudabilité. Nature de la texture des matériaux. Valeur des essais mécaniques ordinaires. Zones d'application des essais spéciaux et notamment des essais globaux. Influence du vieillissement sur le métal. Contrôle de la susceptibilité à la fissuration et à la sollicitation triaxée (éprouvettes Campus, Kommerell, Hautmann).

L'étude critique de ces différents points de vue faite par une Commission, groupant des producteurs et des utilisateurs belges, a donné lieu à l'établissement de conclusions relatives aux facteurs métallurgiques influençant la soudure et à l'établissement d'une spécification provisoire sur la soudabilité du métal de base.

La Communication après avoir commenté cette spécification, en souligne les conditions d'application.

Zusammenfassung

Prüfung der Risse beschädigter geschweisster Stahlbauten hinsichtlich des Grundmaterials. Verhalten dieses Grundmaterials und dessen Einfluss auf die Unfälle.

Studium der Faktoren, die die Schweissbarkeit beeinflussen : bautechnische Faktoren (abhängig vom Bau); metallurgische Factoren (abhängig vom Material).

Ermittlung der Versuchs-Methoden und Abnahme-Vorschriften, die Angaben über die metallurgischen Faktoren ermöglichen. Vergleich verschiedener vorgeschlagener Versuche.

Einfluss der chemischen Zusammensetzung auf die Schweissbarkeit. Metallgefüge. Wert der gewöhnlichen mechanische Prüfungen. Grenzen der Anwendung der Spezialprüfungen und insbesondere der « Global »-Versuche. Einfluss des Alterns. Kontrolle der Empfindlichkeit auf Reissen

und auf räumliche Spannungszustände (Campus-, Kommerell- und Hautmann-Proben).

Das kritische Studium dieser verschiedenen Standpunkte durch eine aus belgischen Erzeugern und Verbrauchern zusammengesetzte Kommission führte zu Schlussfolgerungen bezüglich des Einflusses der metallurgischen Faktoren auf das Schweissen und zur Aufstellung einer provisorischen Vorschrift über die Schweissbarkeit des Grundmaterials.

Der Aufsatz kommentiert diese Vorschrift und behandelt besonders ihre Anwendungsbedingungen.

Summary

Fractures due to accidents in welded structures as regards the base metal. Behaviour of the base metal. Influence of this material on welding accidents.

Factors playing a part in the weldability of steel : factors due to the structure; metallurgical factors due to the metal itself.

Research upon testing and reception methods, in view of collecting information on metallurgical factors. Comparison of various proposed tests.

Influence of chemical characteristics on the weldability. Nature of material structure. Value of ordinary mechanical tests. Fields of special tests, especially of « global » tests. Influence of the ageing of the metal. Liability of welding test pieces to cracking and to three axis stresses (Campus, Kommerell and Hautmann test pieces).

The critical study of these points of view by a Committee, composed of Belgian steel manufacturers and users led to conclusions concerning metallurgical factors influencing welding; this Committee set up tentative standards dealing with the weldability of the metal.

This paper comments upon the specification and outlines the conditions for its use.