

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

Band: 2 (1936)

Artikel: L'influence de la composition métallurgique sur la sécurité des ouvrages
soudés (contraintes et tendance à la fissuration)

Autor: Schulz, E.H.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-3043>

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: 16.01.2026

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

IIIb 1

L'influence de la composition métallurgique sur la sécurité des ouvrages soudés. (Contraintes et tendance à la fissuration.)

Zur Frage des metallurgischen Einflusses
auf die Sicherheit geschweißter Bauwerke.
(Spannungen und Rißneigung.)

The Influence of Metallurgical Factors on the Safety of Welded Structures. (Stresses and Cracking Tendency.)

Prof. Dr.-Ing. E. H. Schulz,

Direktor des Forschungsinstitutes der Vereinigte Stahlwerke A.-G., Dortmund.

Nous pouvons affirmer que la valeur des ouvrages soudés est en toute première ligne une fonction de la construction et de l'exécution des soudures. De plus on prescrit au métallurgiste des règlements très détaillés sur les propriétés de résistance des aciers de construction et tout spécialement des aciers à haute résistance, règlements qui lui fixent a priori certaines limites dans le choix de la composition de l'acier. Même si l'influence du fabricant sur la sécurité semble ainsi limitée, des relations existent cependant dans les ouvrages soudés entre la composition chimique de l'acier d'une part et la formation de contraintes additionnelles et la prédisposition à la fissuration d'autre part. Il faut ajouter qu'il est difficile de trouver par des essais de laboratoire des relations vraiment utiles car toutes ces relations semblent trop compliquées. Nous en sommes provisoirement réduits à des observations pratiques et nous n'arriverons à un bon résultat, c'est-à-dire à des méthodes de travail appropriées, même en ce qui concerne les alliages à employer, qu'à l'aide d'une collaboration étroite et permanente du métallurgiste, de l'ingénieur soudeur et du constructeur, et tout en tirant sans cesse parti des résultats des découvertes les plus modernes faites dans les domaines qui se rattachent au problème qui nous intéresse.

Dans le domaine dont nous parlons, il faut d'abord tenir compte d'un principe très important, qui joue un rôle dans presque tous les domaines d'application de l'acier et qui souvent est trop peu pris en considération. Ce principe peut s'énoncer comme suit: « Plus la résistance d'un acier est grande, c'est-à-dire meilleure est sa fabrication et sa capacité, plus il doit être traité avec soins lors de son utilisation. » Un exemple: L'acier St. 37, si simple dans sa composition et sa fabrication supporte les déformations, la chaleur, etc. dans de plus vastes limites que l'acier St. 48, disparu entre temps ; ce dernier d'ailleurs ne dépasse pas de beaucoup l'acier St. 37, c'est-à-dire n'a pas une beaucoup meilleure résistance. Le progrès réalisé avec l'acier St. 52 était beaucoup plus grand au point de vue

métallurgique; alors que l'acier St. 48 est encore un pur acier au carbone, l'acier St. 52 contient des alliages. C'est pourquoi il faut compter avec une plus grande sensibilité de l'acier St. 52, même lors du soudage. Il en résulte que dans l'exécution des ouvrages soudés en acier St. 52 il faut appliquer, avec plus de rigueur que pour l'acier St. 37, les règles de construction et d'exécution des soudures.

Si l'on étudie l'acier St. 52 au point de vue *métallurgique*, il faut observer que les différentes usines ont adopté différentes compositions et différents types d'alliages. Dans une investigation comparative, les divergences dans le comportement de deux sortes d'acier St. 52 ne peuvent pas toujours être attribuées sans autre à la seule différence de composition et d'alliage. A côté du type d'alliage, les détails de fonte et de préparation jouent certainement un rôle, détails qui varient suivant les usines par suite des différences dans les installations et dans les méthodes de travail. Ces détails ont des effets qu'il n'est pas toujours possible de discerner dans l'acier terminé.

L'expérience acquise, spécialement dans mon Institut, sur les relations entre la résistance des constructions soudées et la métallurgie de l'acier se rapporte à deux types d'acier St. 52, d'une part à l'acier allié principalement de silicium et d'autre part à l'acier allié de chrome et de cuivre. Dans ce dernier — l'acier Union — le silicium et le manganèse jouent évidemment un rôle. Nos connaissances sur l'acier au chrome-cuivre sont beaucoup plus étendues que celles sur l'acier au silicium qui a été bientôt abandonné par suite de son infériorité. Il en résulte que les renseignements que je fournis ici reposent principalement sur l'étude de l'acier St. 52 avec alliage de cuivre et de chrome.

Il me semble important d'ajouter que cette expérience ne provient pas d'une seule source intéressée dans un sens ou dans l'autre, elle est plutôt la somme des expériences acquises à l'usine métallurgique, à l'atelier de soudage et à l'atelier de construction de ponts avec la collaboration du « Forschungs-Institut der Kohle- und Eisenforschung (Vereinigte Stahlwerke) ».

La composition chimique de l'acier St. 52 a une double importance dans le problème des contraintes additionnelles et par le fait même dans celui de la prédisposition à la fissuration des ouvrages soudés:

Nous savons que le soudage engendre des contraintes dans les constructions; dans certaines cas ces contraintes peuvent représenter des sollicitations additionnelles difficiles à contrôler et peuvent même entraîner la rupture. On peut se demander jusqu'à quel point la composition de l'acier exerce une influence sur la grandeur des contraintes de soudage car on ne peut pas affirmer que, pour une sorte d'acier, on ait de fortes contraintes et pour une autre sorte d'acier aucune contrainte; il s'agit bien plutôt de différences dans l'ordre de grandeur des contraintes.

La limite d'étirement à chaud de l'acier devrait jouer un rôle spécial dans la formation de ces contraintes; cette limite dépend elle-même du type et de l'importance des alliages. Dans un autre domaine, celui de la construction des chaudières à haute pression, on arrive, par un choix approprié des alliages, à relever d'une façon extraordinaire la résistance à chaud des aciers. On pouvait s'attendre à une augmentation des contraintes de soudage dans les aciers à haute limite d'étirement à chaud. Cependant, tous les essais que nous avons exécutés

sur un acier au chrome-cuivre, ainsi que les très nombreuses mesures de tension que nous avons effectuées, ont montré que les tensions étaient à peine plus élevées dans cet acier, pourtant plus résistant à chaud,¹ que dans l'acier St. 37. Au cours d'un essai, les contraintes étaient plus faibles dans un acier St. 52 que dans un acier St. 37, fait dont nous ne voudrions pas tirer une conclusion générale.

Dans tous les cas, nous n'avons jamais trouvé dans l'acier St. 52 des contraintes qui puissent être considérées comme plus dangereuses que celles qui se produisent dans l'acier St. 37.

Le deuxième point est un peu plus compliqué.

Lors du soudage, les zones voisines des soudures sont fortement chauffées; lorsque les tôles sont épaisses, la grande chaleur que l'on a dans ces zones est rapidement évacuée par les zones voisines froides, c'est-à-dire que les zones fortement chauffées subissent un effet correspondant à une trempe ou en tous cas, s'en rapprochant. On peut donc avoir dans une construction soudée des « endroits durcis ». Ces endroits sont cassants; ils possèdent une haute résistance à la traction mais ont tendance à se fissurer sous l'effet de la flexion. Dans les « endroits durcis » les variations de volume peuvent engendrer des fissures sans application d'aucune surcharge extérieure.

Cette propriété de durcir que possède l'acier St. 52 devrait en toute première ligne dépendre du *pourcentage de carbone*. D'après les prescriptions actuelles des Chemins de fer allemands, le pourcentage de carbone dans l'acier St. 52 ne doit pas dépasser (et précisément eu égard à la soudabilité) 0,20 % pour les épaisseurs allant jusqu'à 18 mm et au maximum 0,25 % pour les épaisseurs plus grandes. D'autres raisons peuvent pousser le métallurgiste à augmenter le pourcentage de carbone; la limite d'étirement (min. 36, resp. 35 kg/mm²) sera difficilement maintenue pour les fortes épaisseurs si le pourcentage de carbone indiqué ci-dessus doit être absolument conservé. D'après l'expérience que nous avons acquise, la limite de 0,20 % de carbone ne doit pas être dépassée à cause de la sécurité des constructions soudées. En 1933 déjà, *Buchholtz* et moi avons indiqué que la propriété de durcir que possède le métal de base et avant tout le pourcentage de carbone avaient une grande influence sur la résistance à la fatigue de l'acier St. 52 soudé.² Des assemblages soudés en acier St. 52 avec 0,24 % de carbone étaient de 20 à 30 % inférieurs à des assemblages semblables en acier St. 52 de même résistance mais avec 0,16 % de carbone. Nous avons dit alors que le pourcentage de carbone ne devait autant que possible pas dépasser 0,18 %. Nous devons toutefois ajouter qu'une telle limitation du carbone — et des autres alliages, comme nous l'indiquerons plus tard — n'est possible qu'en réduisant la limite d'étirement imposée.

La détermination du rôle que jouent les autres alliages sur la soudabilité de l'acier St. 52 est plus compliquée, surtout en ce qui concerne le *silicium*. En soi, le silicium ne confère pas une forte prédisposition au durcissement — l'aversion de la plupart des usines métallurgiques pour l'acier au silicium pur ou légèrement modifié est à attribuer à d'autres raisons. Malgré cela, le pourcentage de silicium

¹ *H. Bühler et W. Lohmann: Elektroschweißung 5 (1934), p. 226.*

² *Stahl und Eisen 53 (1933), p. 545/52.*

est depuis quelques temps limité chez nous à 0,4 % ; je tiens à faire expressément remarquer qu'avant cette limitation on avait exécuté un grand nombre de coulées avec de plus grands pourcentages de silicium (env. 0,6 %). Les ateliers de construction ont rencontré des difficultés avec cet acier à fort pourcentage de silicium et c'est pourquoi la limite de 0,4 % est aujourd'hui strictement observée.

Le pourcentage de *manganèse* ne doit pas dépasser 1,1 % — selon d'autres usines on peut admettre 1,5 % mais vraisemblablement en réduisant dans un rapport correspondant les autres alliages. Rappelons à ce sujet que, d'après *Sandelowski*³ et d'après *Schulz et Püngel*,⁴ les électrodes contenant beaucoup de manganèse engendrent un grand retrait dans la soudure et des contraintes lors du soudage.

L'acier Union contient jusqu'à 0,8 % de *cuivre*, ce qui n'a présenté jusqu'à présent aucune difficulté et aucun inconvénient en ce qui concerne la sécurité des assemblages soudés. *S. Epstein*, *I. H. Nead* et *I. W. Halley*⁵ ont publié dernièrement un article très intéressant sur la composition de l'acier. Des essais consacrés au développement d'un acier très résistant et bien soudable ont donné les résultats suivant :

	C	Si	Mn	Cu	Ni	P
max.	0,10	0,15	0,50	1,00	0,5	0,12

La limite du carbone est ici fortement réduite, de même que celles du manganèse et du silicium alors qu'une teneur de 1 % de cuivre est considérée comme favorable. La forte teneur en phosphore nous paraît aussi très intéressante.

Le *chrome*, lorsqu'il dépasse une certaine proportion, a une influence défavorable lors du soudage et favorise en outre le durcissement. On possède chez nous de très nombreuses observations sur l'influence de la teneur en chrome, c'est pourquoi on a établi la règle que le chrome ne devait pas dépasser 0,4 %. Cette teneur en chrome n'a jamais provoqué la moindre difficulté. D'autres usines admettent de plus hautes limites, citons par exemple l'acier anglais Chromador qui, à ma connaissance, a une teneur en chrome de 0,9 %. Il serait intéressant de connaître les résultats acquis lors du soudage de cet acier.

Une teneur en *molybdène*, telle qu'elle se présente dans l'acier St. 52, ne peut avoir aucune influence néfaste sur la qualité d'une soudure.

La composition chimique proposée par *Epstein* et ses collaborateurs indique une teneur en *phosphore* de 0,12 %, ce qui est beaucoup selon nos normes. Nous savons actuellement — sur la base des travaux de notre groupement d'usines — que le phosphore ne présente pas tous les inconvénients qu'on lui a souvent attribués ; au contraire, il peut avoir des effets très favorables dans certains cas.⁶ Je ne crois pas qu'il serait utile de donner à notre acier St. 52 la même teneur en phosphore qu'aux aciers américains, ce qui n'est pas une critique à l'égard des aciers américains car l'influence du phosphore est d'autant moins dangereuse que la teneur en carbone est plus faible et, comme nous l'avons

³ Elektroschweißung 2 (1931), p. 48/53.

⁴ Stahl und Eisen 53 (1933), p. 1233/36.

⁵ American Institute of Mining and Metallurgical Engineers 1936, Technical Publication Nr. 697; Metals Technology 1936, vol. 3 avril.

⁶ K. Daeves, A. Ristow et E. H. Schulz: Stahl und Eisen 56 (1936), p. 889/99 et 921/27.

dit, la teneur en carbone est très faible dans les aciers américains. Il serait cependant du plus haut intérêt que de connaître le comportement de cet acier américain lors du soudage.

Dans l'acier allemand St. 52, la teneur en phosphore est si faible (il s'agit d'un acier basique Siemens-Martin) qu'elle ne peut présenter aucune difficulté quant au comportement de cet acier lors du soudage ou dans une construction. Il en est de même pour la teneur en soufre.

Supplément.

Au cours de l'impression du présent rapport les Chemins de fer allemands ont publié des prescriptions fixant des maxima pour les différents alliages de l'acier St. 52; le principal but de ces prescriptions était d'abord de garantir une bonne soudabilité de l'acier et ensuite d'uniformiser la composition des différentes sortes d'aciers St. 52. Les maxima fixés par ces prescriptions sont les suivants:

carbone	max. 0,20 ‰
manganèse	max. 1,20 ‰
silicium	max. 0,50 ‰
cuivre	max. 0,55 ‰

En plus de ces alliages, l'acier St. 52 doit encore contenir du chrome (max. 0,40 ‰) ou du molybdène (max. 0,20 ‰) à quoi on peut ajouter encore 0,30 ‰ de manganèse; la teneur en manganèse peut aller jusqu'à 1,20 ‰ lorsque le chrome et le molybdène font défaut.

Par la même occasion les prescriptions concernant la limite d'étirement minimum ont été modifiées dans le sens d'une réduction progressive pour les grandes épaisseurs.