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

Band: 2 (1936)

Artikel: Zur Frage des metallurgischen Einflusses auf die Sicherheit geschweisster Bauwerke (Spannungen und Rissneigung)

Autor: Schulz, E.H.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-2804

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: 17.07.2025

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

IIIb 1

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

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

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.

Grundsätzlich darf wohl festgestellt werden, daß die Zuverlässigkeit geschweißter Bauwerke in erster Linie stets eine Funktion der Konstruktion und der Ausführung der Schweißungen ist. Ferner werden dem Metallurgen für die von ihm erzeugten Baustähle, besonders die höher beanspruchten, weitgehende Vorschriften über die Festigkeitseigenschaften gemacht, die ihm hinsichtlich der Wahl der Zusammensetzung des Stahles bestimmte Grenzen von vornherein setzen. Wenn so auch der Einfluß des Stahlherstellers auf die Sicherheit begrenzt erscheint, so liegen doch Hinweise vor auf Zusammenhänge zwischen der chemischen Zusammensetzung des Stahles und der Ausbildung von Spannungen sowie der Rißneigung in geschweißten Bauwerken. Dazu ist zu betonen, daß derartige wirklich brauchbare Hinweise wohl nur schwer gewonnen werden können durch laboratoriumsmäßige Versuche, hierfür erscheinen die gesamten Verhältnisse etwas zu verwickelt. Wir sind hier einstweilen jedenfalls weitgehend angewiesen auf praktische Beobachtungen — und Erfolge, das heißt wirklich zweckmäßige Arbeitswege auch hinsichtlich der Art der zu verwendenden Stahl-Legierungen, werden am ehesten gewonnen in einer intensiven und dauernden Zusammenarbeit zwischen Metallurgen, Schweißfachmann und Konstrukteur unter ständiger und weitgehender Ausnutzung der Ergebnisse der modernen Forschung auf allen diese Probleme betreffenden Gebieten.

Für die zur Besprechung stehende Frage ist zunächst ein wichtiger Grundsatz zu berücksichtigen, der fast auf allen Gebieten der Stahl-Verwendung eine bedeutsame Rolle spielt, andererseits aber doch vielfach zu wenig beachtet wird. Der Grundsatz lautet: „Je höherwertig, d. h. je leistungsfähiger und damit besser hergestellt ein Stahl ist, desto sorgfältiger muß er im allgemeinen auch bei der Weiterverarbeitung behandelt werden.“ Ein Beispiel liegt ohne weiteres nahe: Der St. 37, der in seiner Zusammensetzung und Herstellung denkbar einfach ist, läßt Verformungen, Warmbehandlungen usw. in viel weiteren Grenzen

zu als der inzwischen wieder verschwundene St. 48, obwohl dieser in der Fortentwicklung der Baustähle, d. h. in seiner Beanspruchbarkeit keineswegs so sehr über den St. 37 hinausging. Der Schritt zum St. 52 war in metallurgischer Hinsicht viel größer; während St. 48 noch ein reiner Kohlenstoffstahl war, ist der St. 52 legiert. Demnach muß mit einer größeren Empfindlichkeit des St. 52 auch beim Schweißen ohne weiteres gerechnet werden. Es ergibt sich daraus die Forderung, daß bei der Erstellung geschweißter Bauwerke aus St. 52 die Regeln für schweißgerechtes Konstruieren und sorgfältige Ausführung der Schweißungen noch peinlicher eingehalten werden müssen als bei St. 37.

Bei der *metallurgischen* Betrachtung des St. 52 ist weiterhin zu beachten, daß die verschiedenen Hüttenwerke verschiedene Zusammensetzungen, verschiedene Arten des Legierens wählten. Bei vergleichenden Untersuchungen können nun aber Unterschiede im Verhalten zweier Sorten von St. 52 nicht immer ohne weiteres allein auf die Verschiedenheit der Zusammensetzung, der Legierung, zurückgeführt werden. Neben der Art der Legierung spielen auch ganz zweifellos Einzelheiten im Erschmelzungs- und Verarbeitungsverfahren eine Rolle, die bei den verschiedenen Hüttenwerken infolge der Unterschiede in den Einrichtungen und Arbeits-Verfahren verschieden sind. Hier liegen zum Teil Einflüsse vor, die im fertigen Stahl nicht restlos zu erkennen sind.

Die Erfahrungen, die hinsichtlich des Zusammenhanges zwischen der Zuverlässigkeit von Schweißkonstruktionen und der Metallurgie des Stahles insbesondere in meinem Institut vorliegen, beziehen sich auf zwei Arten des St. 52, einmal auf die im wesentlichen nur mit Silizium legierte, zum andern auf die mit Chrom und Kupfer legierte Art, wobei bei letzterem — dem Union-Baustahl — auch der Silizium- und Mangan-Gehalt selbstverständlich eine Rolle spielen. Unsere Erfahrungen mit dem Chrom-Kupfer-Stahl sind jedoch viel umfangreicher als die mit dem Silizium-Stahl, dessen Herstellung wegen der ihm anhaftenden großen Schwächen sehr bald verlassen wurde. Infolgedessen begründen sich meine Angaben im wesentlichen auf Erfahrungen an St. 52 auf der Grundlage der Legierung mit Kupfer und Chrom.

Diese Erfahrungen sind weiterhin, auch das erscheint bedeutsam, eine Auswertung nicht von einer Einzelstelle, die nach der einen oder anderen Richtung interessiert ist, sie sind vielmehr die Zusammenfassung der Erfahrungen, die im Hüttenwerk, der Schweißwerkstatt und der Brückenbauanstalt unter Zusammenwirken mit dem Forschungs-Institut der Kohle- und Eisenforschung (Vereinigte Stahlwerke) als Forschungsstelle gewonnen wurden.

Nach zwei Richtungen dürfte die chemische Zusammensetzung des St. 52 für die Frage der Spannungen und damit auch für die Rißneigung in geschweißten Bauwerken von Bedeutung sein:

Wir wissen, daß beim Schweißen in den Konstruktionen Spannungen entstehen, die unter Umständen schwer kontrollierbare zusätzliche Beanspruchungen darstellen und daher zu Brüchen führen können. Es erhebt sich also die Frage, wie weit die Zusammensetzung des Stahles einen Einfluß hat auf die Höhe der entstehenden Schweiß-Spannungen, denn daß unter an sich gegebenen Umständen bei der einen Sorte etwa bemerkenswerte Spannungen entstehen, bei der andern aber überhaupt nicht, ist nicht anzunehmen, es wird sich also nur handeln um Unterschiede in der Größenordnung der Spannungen.

Eine besondere Rolle für die Ausbildung dieser Spannungen dürfte die Warmstreckgrenze des Stahles spielen, die ihrerseits abhängig ist von der Art und der Menge der zugesetzten Legierungsbestandteile; gelingt es doch auf einem anderen Gebiet — dem Bau hochbeanspruchter Kessel — die Warmfestigkeit durch geeignete Legierungszusätze gegenüber dem gewöhnlichen Kohlenstoffstahl ganz außerordentlich zu erhöhen. Es könnte angenommen werden, daß mit steigender Warmstreckgrenze auch die Spannungen beim Schweißen im großen und ganzen steigen werden. Bei dem von uns benutzten Chrom-Kupfer-Stahl konnten wir aber bei den verschiedensten Versuchsausführungen bei eingehenden Spannungsmessungen praktisch kaum höhere Spannungen finden als beim St. 37, trotzdem seine Warmfestigkeit höher liegt.[1] In einer Versuchsarbeit lagen sogar die Spannungen im St. 52 niedriger als beim St. 37, ein Befund, den ich allerdings nicht verallgemeinern möchte.

Auf alle Fälle aber sind in keinem Falle Spannungen gefunden worden, die als gefährlicher betrachtet werden konnten als die in St. 37 auftretenden.

Etwas verwickelter liegen die Verhältnisse bei dem zweiten Gesichtspunkt. Beim Schweißen werden die der Schweißnaht benachbarten Zonen sehr hoch erhitzt, bei dickeren Abmessungen wird die in diesen Zonen entstandene hohe Wärme durch die angrenzenden kalten Zonen sehr schnell abgeleitet — d. h. es kann auf die hocherhitzte Zone eine Wirkung ausgeübt werden, die einem Abschrecken entspricht oder zum mindesten nahe kommt. Es können so „gehärtete Stellen" in der Schweißkonstruktion entstehen. Solche gehärteten Stellen sind spröde, sie haben zwar eine hohe Zugfestigkeit, neigen aber bei Biegebeanspruchungen zu Rissen. Es können sogar die gehärteten Stellen an sich infolge der Volumenänderungen bei den Umwandlungen zu Rissen führen, auch ohne daß äußere Belastungen einwirken.

Die Härtbarkeit des St. 52 dürfte in allererster Linie abhängen vom *Kohlenstoffgehalt.* Nach den geltenden Vorschriften der Deutschen Reichsbahn ist der Kohlenstoffgehalt im St. 52 — und zwar gerade in Hinsicht auf die Schweißbarkeit — für Dicken bis zu 18 mm auf höchstens 0,20 und für größere Dicken auf höchstens 0,25 % begrenzt worden. Andere Gründe können es dem Metallurgen nahe legen, mit dem Kohlenstoffgehalt höher zu gehen, insbesondere wird die Einhaltung der vorgeschriebenen Streckgrenze (mindestens 36 bzw. 35 kg/mm^2) bei dicken Abmessungen schwieriger, wenn die angegebene Grenze für den Kohlenstoffgehalt unbedingt eingehalten werden muß. Nach allen bei uns angesammelten Erfahrungen sollte aber die Grenze von 0,20 % Kohlenstoff im Hinblick auf die Sicherheit der Schweißkonstruktion nicht überschritten werden. Bereits 1933 wiesen *Buchholtz* und ich darauf hin, daß die Härtbarkeit des Grundwerkstoffes und vor allem der Kohlenstoffgehalt einen großen Einfluß haben auf die Dauerfestigkeit des geschweißten St. 52.[2] Schweißverbindungen aus St. 52 mit 0,24 % Kohlenstoff waren solchen aus St. 52 gleicher Festigkeit aber mit 0,16 % Kohlenstoff um 20—30 % unterlegen. Wir wiesen damals darauf hin, daß man den Kohlenstoffgehalt möglichst nicht über 0,18 % hinaus steigen lassen sollte. Allerdings muß man sich darüber klar sein, daß

[1] *H. Bühler* und *W. Lohmann,* Elektroschweißung 5 (1934), S. 226.

[2] Stahl und Eisen 53 (1933) S. 545/52.

bei einer solchen Begrenzung des Kohlenstoffs — und wie weiter noch zu besprechen, auch der übrigen Legierungsbestandteile — hinsichtlich der Streckgrenze wahrscheinlich ein gewisser Nachlaß wird eintreten müssen.

Schwieriger zu beurteilen ist die Rolle, die die übrigen Legierungszusätze im St. 52 für die Schweißbarkeit spielen, besonders verwickelt scheinen die Verhältnisse zu sein beim *Silizium*. An sich wirkt Silizium nicht sehr auf eine hohe Härtbarkeit hin — die Abneigung der meisten Werke gegen einen reinen oder nur wenig abgewandelten Silizium-Stahl ist auf andere Gründe zurückzuführen. Trotzdem ist bei uns schon seit einiger Zeit der Silizium-Gehalt auf höchstens 0,4 % begrenzt worden, und zwar, wie ich ausdrücklich bemerken möchte, nachdem vorher auch bereits eine ganze Anzahl von Schmelzen mit höherem Silizium-Gehalt — etwa 0,6 % — hergestellt waren. Die Verarbeitungswerkstätten hatten aber ganz offenbar mit diesem hochsiliziumhaltigen Stahl Schwierigkeiten, so daß die Begrenzung auf höchstens 0,4 % jetzt scharf eingehalten wird.

Als Höchstgehalt an *Mangan* lassen wir 1,1 % zu — nach Erfahrungen anderer Werke soll bis 1,5 % zulässig sein, offenbar aber wohl nur bei entsprechend geringer Höhe der anderen Legierungszusätze. Erwähnt sei in diesem Zusammenhang, daß Elektroden mit hohem Mangangehalt nach *Sandelowski*[3] und auch nach *Schulz* und *Püngel*[4] größere Nahtschrumpfung und Spannung beim Schweißen ergeben.

Kupfer wird im Union-Baustahl zugesetzt bis zu einer Höhe von etwa 0,8 %, ohne daß hinsichtlich der Sicherheit der Schweißverbindungen irgendwelche Schwierigkeiten oder Nachteile sich gezeigt hätten. In diesem Zusammenhang ist von Interesse eine neuerliche Veröffentlichung von *S. Epstein, I. H. Nead, I. W. Halley,*[5] die bei Versuchen zur Entwicklung eines hochfesten, gut schweißbaren Stahles auf die nachstehend mitgeteilte Zusammensetzung kamen:

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

Hier ist also die Kohlenstoffgrenze sehr stark weiter heruntergedrückt, Mangan und Silizium werden ebenfalls sehr niedrig gehalten, während ein Kupfer-Gehalt von 1 % als günstig betrachtet wird. Besonders interessant erscheint in diesem Zusammenhang auch noch der hohe Phosphorgehalt.

Ein *Chromgehalt* wird, wenn er bestimmte Grenzen überschreitet, sich beim Schweißen unliebsam bemerkbar machen und außerdem wirkt Chrom auch auf Härtung hin. Gerade über den Einfluß des Chromgehaltes liegen naturgemäß bei uns sehr umfangreiche Beobachtungen vor, danach hat sich die Regel ergeben, den Chrom-Gehalt nicht über 0,4 % steigen zu lassen. Chromgehalte bis zu diesen Grenzen haben nie irgendwelche Schwierigkeiten ergeben. Andere Werke lassen höhere Grenzen zu, verwiesen sei insbesondere auf den englischen Chromador-Stahl, in dem der Chrom-Gehalt meines Wissens bis zu 0,9 % steigt.

[3] Elektroschweißung 2 (1931) S. 48 53.

[4] Stahl und Eisen 53 (1933) S. 1233/36.

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

Es wäre interessant zu hören, welche Erfahrungen beim Schweißen dieses Stahles gemacht worden sind.

Ein *Molybdängehalt* ist in den Grenzen, wie er im St. 52 vorkommt, hinsichtlich der Güte der Schweißung zweifellos unbedenklich.

Bei der Wiedergabe der von *Epstein* und seinen Mitarbeitern vorgeschlagenen chemischen Zusammensetzung wurde auf den *Phosphor*gehalt besonders aufmerksam gemacht, der die für unsere Begriffe große Höhe von 0,12 % erreicht. Wir wissen heute — gerade auch wieder auf Grund von Arbeiten aus unserm Konzern —, daß der Phosphorgehalt im Stahl sehr vielfach keineswegs die großen Nachteile im Gefolge hat, die man ihm vielfach noch zuschreibt, daß er im Gegenteil sogar in bestimmten Fällen als ein brauchbares und günstig wirkendes Zusatzelement zu betrachten ist[6]. Für unseren Baustahl St. 52 würde ich allerdings einen so hohen Phosphorgehalt wie im amerikanischen Stahl nicht für zweckmäßig halten, das spricht aber nicht gegen den amerikanischen Stahl, da der Phosphor augenscheinlich an Gefährlichkeit umsomehr verliert, je niedriger gleichzeitig der Kohlenstoffgehalt ist, und dieser ist bei dem amerikanischen Stahl wie gesagt sehr gering. Es wird immerhin von großem Interesse sein, über das Verhalten dieses amerikanischen Stahles beim Schweißen näheres zu hören.

Im deutschen St. 52 liegt der Phosphorgehalt, da es basischer Siemens-Martin-Stahl ist, offenbar stets so niedrig, daß hinsichtlich des Verhaltens beim Schweißen und auch im Bauwerk irgendwelche Schwierigkeiten nicht auftreten können, dasselbe gilt für den Schwefelgehalt.

Nachtrag.

Bei Drucklegung des vorstehenden Berichtes waren inzwischen von der Deutschen Reichsbahn Bestimmungen erlassen worden, durch die für die Legierungszusätze des St. 52 obere Grenzen festgelegt werden; der wesentlichste Zweck dieser Bestimmungen war, eine sichere Gewähr für die Schweißbarkeit zu erhalten und außerdem die Zusammensetzungen der verschiedenen Sorten des St. 52 einander mehr anzugleichen. Nach diesen Bestimmungen werden für die Legierungsbestandteile folgende oberen Grenzen festgesetzt:

Kohlenstoff	höchstens	0,20 %
Mangan	„	1,20 %
Silizium	„	0,50 %
Kupfer	„	0,55 %.

Außer diesen Legierungsbestandteilen darf der St. 52 noch einen weiteren Zusatz erhalten entweder von Chrom bis höchstens 0,40 % oder von Molybdän von höchstens 0,20 % oder endlich darf ein zusätzlicher Mangan-Gehalt von 0,30 % hinzukommen, wodurch dann — aber nur bei Abwesenheit von Chrom und Molybdän — der Mangan-Gehalt auf 1,20 % steigen darf.

Im Zusammenhang damit wurden aber die Vorschriften für die Mindeststreckgrenze für dickere Abmessungen in bestimmten Stufen herabgesetzt.

---

[6] *K. Daeves, A. Ristow* und *E. H. Schulz* Stahl und Eisen 56 (1936), S. 889/99 und 921/27.