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

Band: 2 (1936)

Rubrik: IIIb. Berücksichtigungen der Wärmespannungen bei der baulichen Durchbildung und Herstellung geschweisster Konstruktionen

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: 11.07.2025

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

III b

Berücksichtigung der Wärmespannungen bei der baulichen Durchbildung und Herstellung geschweißter Konstruktionen.

Disposition et exécution des constructions soudées en tenant spécialement compte des contraintes dues aux variations de la température.

Design and execution of welds with special consideration of thermal stresses.

Leere Seite
Blank page
Page vide

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.

IIIb 2

Schweißspannungen und Verwerfungen.

Contraintes internes et distorsions provoquées par la soudure.

Stress and Distortion Due to Welding.

W. Heigh,
Welding Superintendent, Babcock & Wilcox, LTD., Glasgow.

Auf Grund der vorangegangenen Vorträge über dieses Thema könnte man annehmen, daß die Schweißtechnik in ihrem heutigen Stand eine ungenaue Wissenschaft sei. Es sind noch zu viele Zweifel und Befürchtungen, zu viele unbekannte Faktoren vorhanden.

Diejenigen unter uns, welche sich mit der Herstellung einer guten, schnellen Schweißung mit geringen Kosten zu befassen haben, verabscheuen nichts mehr als das Unbekannte und suchen dies mit allen Mitteln zu eliminieren.

Ein wenig Beruhigung dürfte am Platze sein. Zum Beispiel wird in einem der Beiträge die Befürchtung ausgesprochen, das Schweißgut könnte in einen schädlichen Zustand der Abkühlung kommen und dadurch könnten gefährliche Spannungen erzeugt werden.

Seitdem das Schweißgut aus guten und trotzdem durchaus billigen umhüllten Elektroden stammt, und gute Dehnbarkeit aufweist, besteht keine wirkliche Gefahr. Eine Dehnung von 22 bis 25 % einer Meßlänge, die viermal dem Durchmesser entspricht, wird durchweg für die Schweiße erhalten.

Ein Metall, in dem durch die Abkühlung eine gefährliche Härtung auftritt, könnte nicht so dehnbar sein, und bei einem Metall, das eine so gute Dehnbarkeit besitzt, sind die inneren Spannungen von bedeutend geringerem Einfluß als es scheint.

Wir müssen auch die Spannungen in dem Grundmaterial beachten, d. h. dem Metall der Teile, die miteinander verbunden werden sollen.

Walzträger und Flußstahlbleche werden fast immer kalt gerichtet, bevor sie für richtige Bauten verwendet werden und befinden sich deshalb bereits in einem innern Spannungszustand. Hunderte von sehr hohen selbsttragenden Stahlschornsteinen (Schornsteine ohne Abspannseile) schwingen beträchtlich bei starken Winden und dies über dicht bevölkerten Werkstätten und Häusern, jedoch käme es niemandem in den Sinn, daran zu denken, solche Kamine könnten lebensgefährlich sein, derweil sind sie aus kalt gewalzten Blechen hergestellt, die viel stärker gereckt sind als innere Spannungen, die durch das Schweißen entstehen, entspricht.

Sollte Ungleichheit der Spannungsverteilung befürchtet werden, so sei auf die Analogie der warm gebogenen Walzträger hingewiesen. Diese kommen sehr oft

bei wichtigen Konstruktionen zur Verwendung, trotzdem infolge der nur unter örtlichem Erhitzen hergestellten Biegungen im Stahl ziemlich genau die gleichen Spannungszustände zurückbleiben, wie sie in einer Schweißung und dem der Schweißung benachbarten Material auftreten.

Vom rein praktischen Standpunkt aus dürften alle diese Befürchtungen leicht zu Übertreibungen führen. Bei Gebrauch guter Elektroden und zuverlässiger Schweißverfahren und wenn die abkühlende Wirkung großer Materialmassen, sowie die Einflüsse kalten Wetters und dem Wetter ausgesetzter Schweißstellen durch leichtes Vorwärmen berücksichtigt werden, darf die Schweißung mit vollem Vertrauen angewendet werden.

Es ist jedoch natürlich von Vorteil, die Spannungen durch Wärmebehandlung zum Verschwinden zu bringen und in gewissen Fällen, namentlich bei dickwandigen geschweißten Behältern, gehört diese Nachbehandlung zum Herstellungsverfahren.

Abgesehen von den außerordentlich hohen Betriebsdrücken, die bei solchen Behältern vorkommen, die allein schon genügend Grund zur Nachbehandlung geben, sind die Spannungszustände in dicken kalt gebogenen Platten und in vielen Schweißstellen bei Druckgefäßen solcher Natur, wie sie nur selten bei Stahlbauten anzutreffen sind.

Unter einem anderen Gesichtspunkt betrachtet, besteht in allen Konstruktionsbureaus und Werkstätten der allgemeine Wunsch, gute, sichere und praktische Methoden zur Vermeidung von Verwerfungen in der endgültigen Form einer Konstruktion zu besitzen. Einige Anregungen wurden bereits von andern Diskussionsteilnehmern gegeben. Die in diesen Beiträgen gemachten Erwägungen beziehen sich in der Hauptsache auf die Verzerrungen und Verwerfungen, die eine sichtbare Veränderung der Form hervorrufen; sie beziehen sich jedoch nicht auf die Verschiebungen innerhalb des Materials selbst, die doch eigentlich die Grundursache dieser Veränderungen sind.

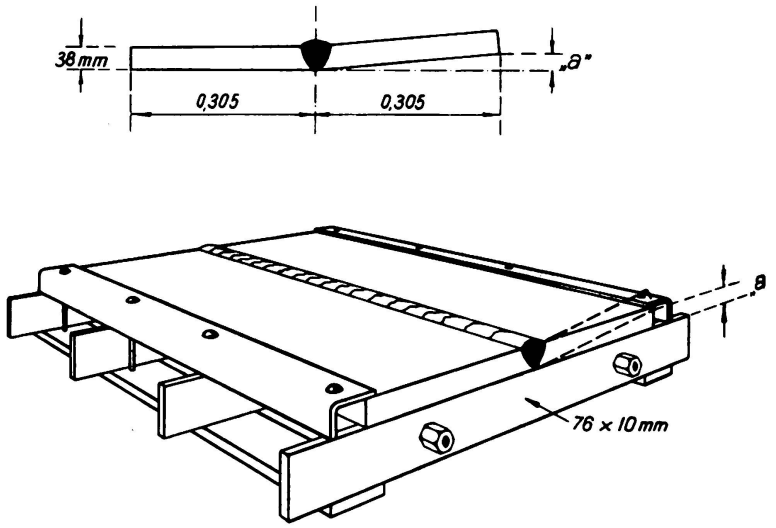


Fig. 1.

1. Das Einspannen kann erfolgreich sein, ohne daß es allzu stark ist. Z. B. zeigt die Fig. 1 zwei Versuchsplatten, die durch eine gewisse Spannvorrichtung gehalten sind zur Verringerung der Verwerfungen. Beim Schweißen des nicht

eingespannten Werkstückes beträgt die Strecke „a" 1 Zoll (= 25 mm) und beim Schweißen mit Einspannen in der Spannvorrichtung verringerte sich diese Strecke „a" auf $^3/_{16}$ Zoll (= 5 mm).

Das Widerstandsmoment des Spannwinkels betrug ein Viertel desjenigen einer Schweißung von der Dicke des Bleches, oder war gleich dem eines Bleches, bei dem nur die halbe Blechdicke geschweißt wurde. Der Zusammenziehung in der Querrichtung wurde außer der Reibung kein weiterer Widerstand entgegengesetzt. Das darf als wichtig betrachtet werden.

Die Flußstahlbleche hatten eine solche Länge, daß die Winkeländerungen (Verzerrungen) infolge Schrumpfung jeder neuen Schweißlage keine Spannungen erzeugten, die größer waren als die Elastizitätsgrenze.

Das Einspannverfahren hat viele Anwendungsmöglichkeiten; es wurde weitgehend und mit Erfolg verwendet.

2. Die Größe (Dicke) der Elektroden und die Art, die Schweiße aufzubringen, sind von größter Wichtigkeit.

Fig. 2 zeigt drei verschiedene Zustände einer Stumpfnaht.

a) Elektroden Nr. 8 (4 mm Durchmesser) ergaben bei Einbringung in diesen Schweißraupen fortlaufend geschweißt eine Winkelverzerrung von 8^0.
b) $^1/_4$ zöllige Elektroden (6,3 mm Durchmesser) ergaben bei Einbringung in diesen Schweißraupen fortlaufend geschweißt eine Winkelverzerrung von 4^0.
c) $^1/_4$ zöllige Elektroden (6,3 mm Durchmesser), mit Schweißlagen, ergaben eine Winkelverzerrung von 3^0.

Ein weiterer Versuch unter Anwendung von Spannvorrichtungen ergab eine mittlere Winkelverzerrung von $1^0\ 11'$.

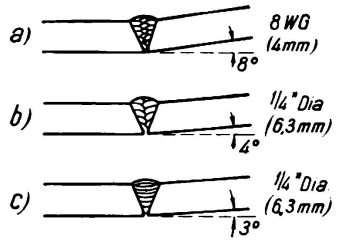


Fig. 2.

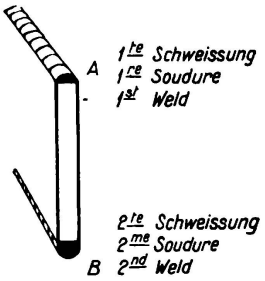
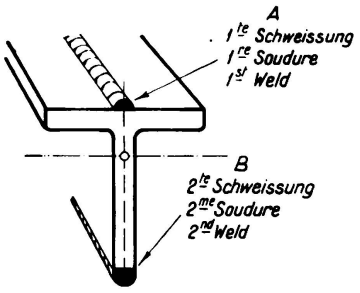


Fig. 3.



Fig, 4.

Die Versuche a) und b) wurden auch an Kehlnähten durchgeführt und ergaben ähnliche Resultate.

Dicke Elektroden verringern mit Sicherheit diese sehr unangenehme Art von Verwerfungen. Es soll noch erwähnt werden, daß sämtliche Schweißungen a), b) und c) noch mechanisch geprüft wurden und mit den amerikanischen Vorschriften für die Schweißung von Druckgefäßen gut übereinstimmten, so daß in diesem Sinne die Schweißungen von gleichem Werte waren.

3. Die Art der Reihenfolge von Schweißungen trägt zur Verringerung der Verzerrungen bei.

a) Gute Wirkungen werden erzielt bei gleichzeitiger Ausführung von zwei Schweißnähten, die symmetrisch liegen zur neutralen Achse eines symmetrischen Querschnittes.

b) Wird durch die erste Schweißlage ein symmetrischer Querschnitt verzogen, so kann man durch Aufbringen einer doppelt so dicken ersten Schweißlage an der zur ersten entgegengesetzten Seite oder Kante die entstandenen Verzerrungen wieder aufheben. Fig. 3 zeigt einen einfachen Versuch zur Nachprüfung dieser Tatsache.

Bei Schweißungen, die aus vielen Lagen bestehen, braucht es eine viel größere Ausgleichsnaht, um die Verzerrungen rückgängig zu machen, die durch die letzten Schweißlagen entstanden sind.

c) Von zwei Schweißungen an einem unsymmetrischen Querschnitt, wie er auf Fig. 4 dargestellt ist, soll die der neutralen Achse zunächst gelegene zuerst ausgeführt werden.

Durch gutes Anlernen und beständige Übung erhalten Schweißer und Monteure eine beträchtliche Geschicklichkeit in der Vermeidung und Prüfung von Verwerfungen.

Für Arbeiten nicht alltäglicher Art und solche, die nur selten vorkommen, ist es jedoch zweckmäßig, die Schweißung und den Zusammenbau vorher eingehender zu überlegen. Während des Fortschreitens der Arbeit ist eine laufende Kontrolle durchzuführen, sodaß erforderlichenfalls die Reihenfolge der Schweißung geändert werden kann, um Verwerfungen zu korrigieren und die zusammengebauten Teile in ihrer richtigen Form zu halten.

IIIb 3

Innere Spannungen in geschweißten Stößen.

Efforts internes dans les joints soudés.

Internal Stresses in Welded Joints.

J. Orr,
B. Sc., Ph. D., Glasgow University.

Die Vortragenden sind sehr eingehend auf die störenden Wirkungen der Schweißung eingegangen, durch welche Verwerfungen und Schrumpfspannungen hervorgerufen werden. Sie haben ferner über die Gefahr der Rißbildung gesprochen, sowie über die Notwendigkeit, weitere Untersuchungen über die schwächende Wirkung der auf die Wärme und die inneren Spannungen zurückzuführenden Störungen durchzuführen. Unsere Erfahrung geht dahin, daß die Gefahr der Rißbildung zu wirklichen Befürchtungen Anlaß gibt.

Schrumpfspannungen. Der Verfasser führte eine Reihe von Versuchen mit weichem Stahl und mit Stählen höherer Zugfestigkeit durch (37 bis 43 tons/Zoll^2). Die höhere Zugfestigkeit wurde durch geringe Zusätze von Kohlenstoff, Mangan und Chrom erreicht. Sie waren insofern von Interesse, als die geschweißten Proben im ungeglühten Zustand solchen Proben gegenübergestellt wurden, welche durch Erwärmung während weniger Stunden auf 600^0 C angelassen worden waren. Im letzteren Fall sind die inneren Spannungen beseitigt, sodaß aus diesen Versuchen der Einfluß der inneren Spannungen bestimmt werden konnte.

Die Zugfestigkeit und die Schlagfestigkeit der Schweißstelle sind durch das Anlassen etwas vermindert worden. Die Ermüdungsfestigkeit, welche in einer Maschine festgestellt wurde, in der die ganze Schweißstelle untersucht werden konnte, blieb dieselbe. Die Biegungsprobe zur Bestimmung der Zähigkeit in den Stoßverbindungen zeigte für die angelassenen Proben eine Verbesserung, doch ergaben verschiedene der verwendeten Elektroden Schweißnähte, welche der normalen Biegeprobe auch im nicht angelassenen Zustand genügten. Aus diesen Versuchen läßt sich die Folgerung ziehen, daß diese inneren Spannungen, welche unmittelbar neben der Schweißnaht vorhanden sind, praktisch genommen zu keiner Schwächung der Schweißnaht Anlaß gaben, wenn gute Elektroden verwendet wurden.

Versuche über die Größe der Schrumpfspannungen. Eine Reihe von Versuchen wurde von dem Verfasser durchgeführt, um die Größe der inneren Spannungen für ein unter starken Spannungen stehendes Stück festzustellen. Die Anordnung ist in Tabelle 1 wiedergegeben. Zwei $^1/_2''$ Bleche, welche für eine Stumpfschweißung vorbereitet waren, wurden zunächst mit ihren Enden

an ein 3 Zoll starkes Blech angeschweißt. Dann wurden sie zusammengeschweißt. Nach der Anbringung eines Spannungsmessers wurden die Bleche durchgesägt. Aus den Ablesungen des Spannungsmessers ging die Spannungsentlastung und damit die Größe der Schrumpfspannungen hervor. Die Ergebnisse sind in der folgenden Tabelle 1 zusammengestellt:

Tabelle 1

Probe	Länge x	Schweißung	Nachspannung
1	9″	mit $^5/_{16}$″ Elektroden	12,0 tons/Zoll²
2	58″	„ $^3/_{16}$″ „	4,2 „
3	9″	„ $^1/_8$″ „	13,0 „
4	58″	„ $^1/_8$″ „	7,2 „
5	9″	warmgehämmert	Rißbildung
6	9″	„	5,0 tons/Zoll²
7	9″	kaltgehämmert	4,5 „

In dieser Tabelle ist als erster Punkt der Einfluß der Blechlänge von Interesse. Durch Vergrößerung der Blechlänge wird die Spannung herabgesetzt. Dies bestätigt die Ansicht der Vortragenden, daß der an die Schweißnaht anstoßende Teil biegsam sein sollte. In diesem Fall ist es die Biegsamkeit des langen Bleches.

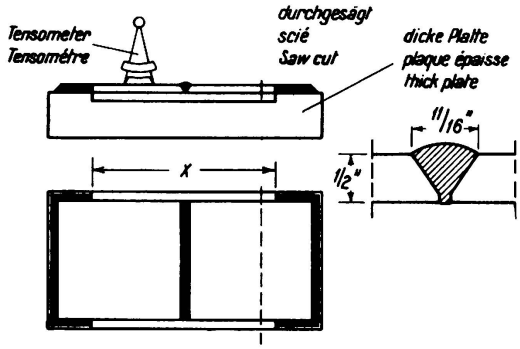


Fig. 1.
Schrumpfspannung in der Stumpfnaht. (Bleche zuerst an den Enden angeschweißt, bevor stumpf geschweißt).

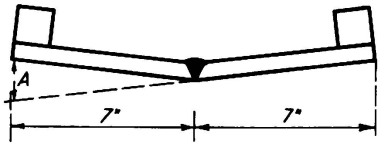


Fig. 2.
Winkelverzerrung durch eine einseitige V-förmige Stumpfnaht.

Der zweite Punkt ist der Einfluß der größeren Elektroden im Vergleich zu den kleineren. Diese Ergebnisse stimmen mit den von den Vortragenden angeführten überein, daß nämlich die breiteren Stäbe geringere Schrumpfspannungen ergeben.

Der dritte Punkt ist der Einfluß des Hämmerns, welcher zwar die Spannungen herabsetzt, jedoch die Gefahr der Rißbildung erhöht. Auf Grund späterer Versuche, bei welchen zahlreiche Elektroden verschiedener Ausführung verwendet wurden, ist Verfasser der Ansicht, 1. daß nur wenige Elektroden ein Schweißmetall ergeben, welches ohne Gefahr der Rißbildung gehämmert werden kann, 2. daß die im ersten Arbeitsgang hergestellte Schweißnaht nicht

gehämmert werden darf, da diese, wie aus Härteprüfungen hervorgeht, eine gefährliche Stelle darstellt und wenn die Schweißnähte versagten, die Rißbildung stets an dieser Stelle ihren Anfang nahm, und 3., daß die äußere Schicht nicht gehämmert werden darf.

Versuche über die Verwerfung einer einfachen V-förmigen Stumpfschweißung. Diese Versuche sind von Interesse, um den Einfluß einer geringen Belastung zu zeigen. Die Belastung bestand darin, daß man zwei Gewichte auf die Bleche stellte wie aus Tabelle 2 hervorgeht. Die Verwerfung A wurde nach dem Abkühlen gemessen und ist in Tabelle 2 wiedergegeben.

Tabelle 2

Probe	Schweißung	Strom	Verwerfung A
1	5 Arbeitsgänge mit $^1/_8$" Elektroden	110 Amp,	0,28"
2	3 Arbeitsgänge mit $^3/_{16}$" ,,	170 ,,	0,05"
3	3 Arbeitsgänge mit $^3/_{16}$" ,,	220 ,,	0,044"
4	2 Arbeitsgänge mit $^5/_{16}$" ,,	340 ,,	0,031"
	Bleche $^1/_2 \times 7 \times 7$"		

Die Wirkung der Gewichte ist gering, da sie eine errechnete Biegungsspannung in der Schweißnaht von nur $^1/_7$ tons/Zoll^2 hervorruft. Dieser Versuch bestätigt, daß die kleineren Stäbe eine größere Verwerfung hervorrufen und daß sie dort, wo die Belastung ausgesprochener ist, zum Auftreten größerer Spannungen führen.

IIIb 4

Berücksichtigung der Wärmespannungen bei der baulichen Durchbildung und Herstellung geschweißter Konstruktionen.

Les contraintes thermiques dans la disposition constructive et l'exécution des constructions soudées.

Allowance for Temperature Stresses in the Design and Execution of Welded Structures.

Dr. Ing. K. Miesel,
Grünberg.

Prof. Dr. *Bierett* unterscheidet durch äußere und durch innere Verspannung hervorgerufene Schrumpfwirkungen. Diese Unterteilung ist nicht nur für den Spannungsverlauf in den Konstruktionsteilen, sondern auch für die Bekämpfung der Schrumpfwirkungen von Bedeutung.

Die innere Verspannung kann nur durch die Eigenschaften des Schweißgutes und den Schweißvorgang, sowie durch mechanische Einwirkung, wie Verklemmen der Teile und Hämmern der Naht, bekämpft werden. Das Ausglühen der Konstruktion als wirksamstes Mittel ist im Brücken- und Hochbau nicht anwendbar.

Der äußeren Verspannung kann schon bei der Durchbildung des Bauwerkes und später bei der Herstellung entgegengewirkt werden.

Am meisten hat in letzter Zeit der Stoß von Vollwandträgern die Praxis beschäftigt. Professor *Bierett* erwähnt in seiner Abhandlung, wie hier den Schrumpfungen durch Einsetzen eines vorgewölbten Blechstreifens in das Stegblech entgegengewirkt werden kann.

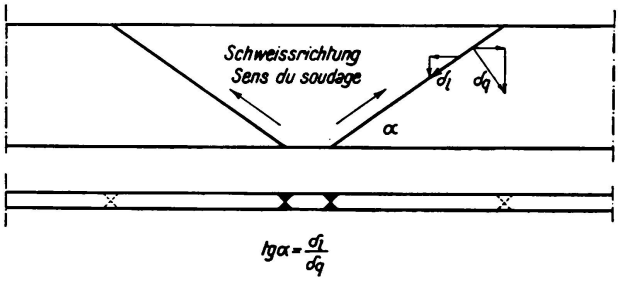


Fig. 1.
Lamellenkeilstoß.

Bei zwei großen Bauwerken wurden nach Verschweißen der Stegbleche die Gurtungen durch Keillaschen nach Fig. 1 verbunden. Von dem aus Versuchen entnommenen Verhältnis von Längs- und Querschrumpfung wurde der Winkel der Schrägschnitte abgeleitet. Bei Schweißrichtung von der schmalen zur langen Seite des Keiles heben sich die Schrumpfungskomponenten in Längsrichtung auf und addieren sich in Querrichtung, so daß die Lasche gleichsam in die Ver-

bindung hineingezogen wird. Vorversuche mit dünnen Platten bestätigten die Annahme.

Die Ausführung an dicken Gurtlamellen der Brücken zeigte aber, daß die innere Verspannung beim Schweißen der Tulpennähte die konstruktiv beab-

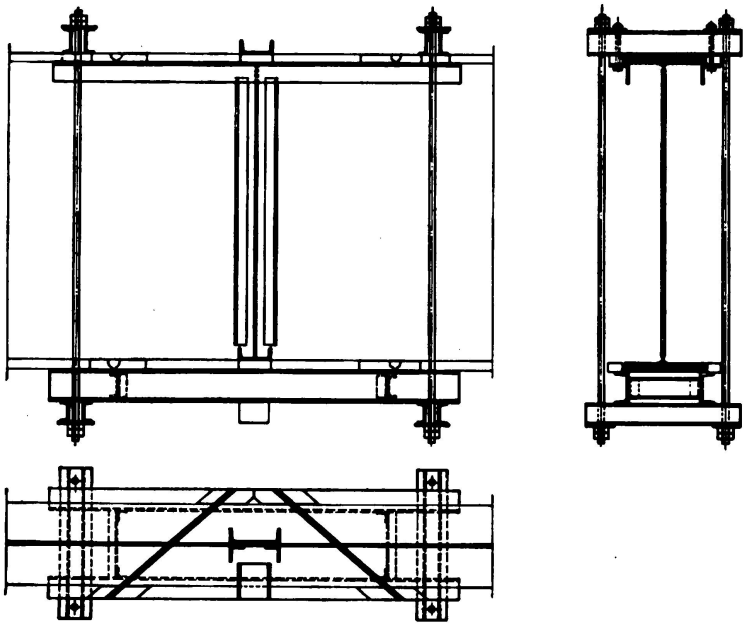


Fig. 2.
Spannvorrichtung für einen Keilstoß.
Entwurf.

sichtigte Wirkung bald übertönte. Nach Füllen der Nähte bis zwei Drittel der Gesamtstärke tritt starke Winkelschrumpfung ein, die durch immer stärkeres Verklemmen der zu verbindenden Teile bekämpft werden muß. Fig. 2 zeigt den

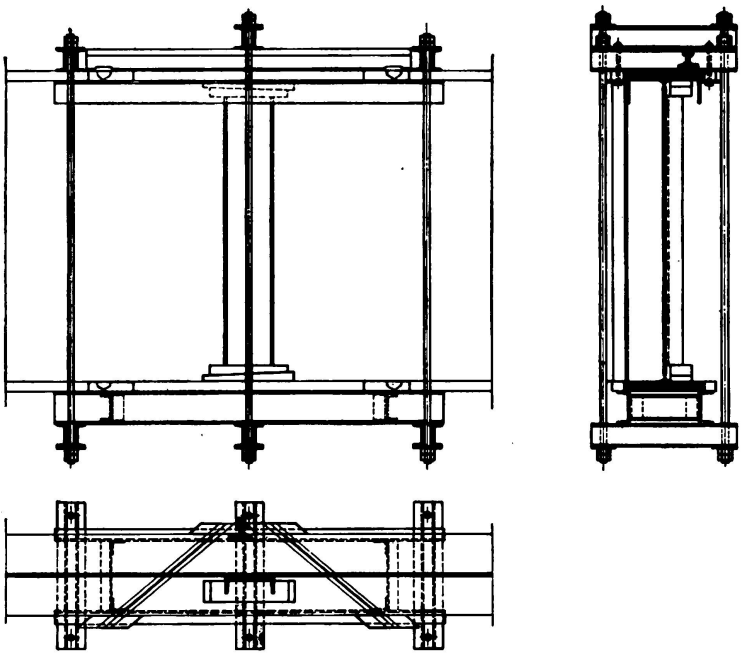


Fig. 3.
Spannvorrichtung für einen Keilstoß.
Ausführung.

Entwurf einer Verspannung; Fig. 3 gibt wieder, wie stark sie bei der Schweißung zur Bekämpfung der Winkelschrumpfung ausgebildet werden mußte. Bei Trägern aus St. 37 konnten die Nähte durchweg die notwendigen Schrumpfungen rissefrei

hergeben, während bei St. 52 Rißneigung zu beobachten war. Hier wurden Risse dadurch vermieden, daß die Nähte in der zweiten Hälfte gehämmert wurden. Durch Hämmern lassen sich stets die erforderlichen Schrumpfwege erreichen. Es ist aber noch nicht genügend geklärt, ob nicht Hämmern einen ungünstigen Einfluß auf die Festigkeitseigenschaften des Materials ausübt.

Durch richtige Wahl der Schweißfolge und durch Erwärmen von Konstruktionsteilen lassen sich ebenfalls Schrumpfrisse vermeiden. Bei einem Blechträger in St. 52 mußten bei sehr hoher Sommertemperatur wegen eines Gewitters mit Hagelschlag die Schweißarbeiten unterbrochen werden. Infolge der schnelleren Abkühlung des dünnen Stegbleches gegenüber den starken Gurtungen riß im ersteren der noch nicht vollständig verschweißte Stoß auf ganze Länge. Zum Wiederverschweißen des Stegblechstoßes wurden die etwa halb verschweißten Gurte angewärmt und so gelang eine vollkommen fehlerfreie, neue Naht.

Aus vielen Veröffentlichungen könnte man entnehmen, daß den wesentlichsten Anteil an der Bekämpfung der Schrumpfspannungen der Konstrukteur habe. Wie schon die vorhergehenden Beispiele zeigen, ist er gegen die innere Verspannung machtlos; die äußere Verspannung wird durch Anschluß an Teile mit genügender Federung gemildert, sofern der Gesamtbau dies zuläßt. Man sollte sich nicht scheuen, Nietverbindungen an Stellen zu wählen, wo übermäßige Schrumpfwirkungen zu erwarten sind und schönheitliche Gründe nicht unbedingt gegen Nieten sprechen. Der oft strittigen Forderung des Baukünstlers tritt hier die eindeutige Verpflichtung des Fachmannes entgegen, die Bauteile nicht nur in der wirtschaftlichsten, sondern auch in der für die Sicherheit zweckdienlichsten Weise zusammenfügen. Solchen Nietverbindungen kommt etwa dieselbe Bedeutung zu wie Unterbrechungen in Eisenbetonbauwerken, wo sie mit Rücksicht auf Schwinden angeordnet werden.

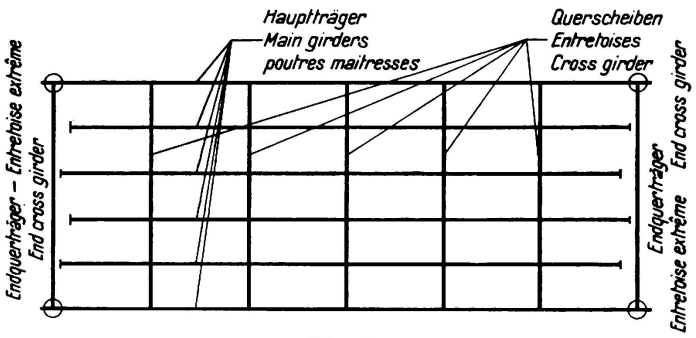


Fig. 4.
Schrumpfung der Hauptträger bei einer Rostbrücke.

Fig. 4 zeigt schematisch einen Brückenrost, dessen Haupt- und Querträger auf der Baustelle verschweißt worden sind. Die Schrumpfungen haben sich bis zu den Endquerträgern verschieden summiert. Man ordnet deshalb zum Anschluß der Hauptträger an die Endquerträger zweckmäßig Nietverbindungen an. Die Endquerträger bleiben so zwängungsfrei und lassen genaues Ausrichten der Fahrbahnübergänge zu.

Besonders schwierig ist die Herstellung von Bauteilen, bei denen die Schrumpfwirkungen flächig oder räumlich auftreten. Fig. 5 zeigt den rahmenförmigen Hauptträger einer Brücke und in größerem Maßstab die Rahmenecke. Die statischen Spannungen in verschiedenen Schnitten sind eingetragen und zeigen, wie große Kräfte u. a. von den Kehlnähten an den Gurtungen auf das Stegblech überführt werden müssen. Die übermäßige Stärke dieser Kehlnähte führt insbesondere bei St. 52 leicht zu Rissen, denen meist nur durch Hämmern begegnet werden kann.

Hier — wie bei Stegblechen allgemein — können die Schrumpfspannungen zum Ausbeulen führen, oder, was gefährlicher ist, die Beulspannungen nahezu erreichen und bei zusätzlicher Belastung der Bleche zum Versagen bringen. Es

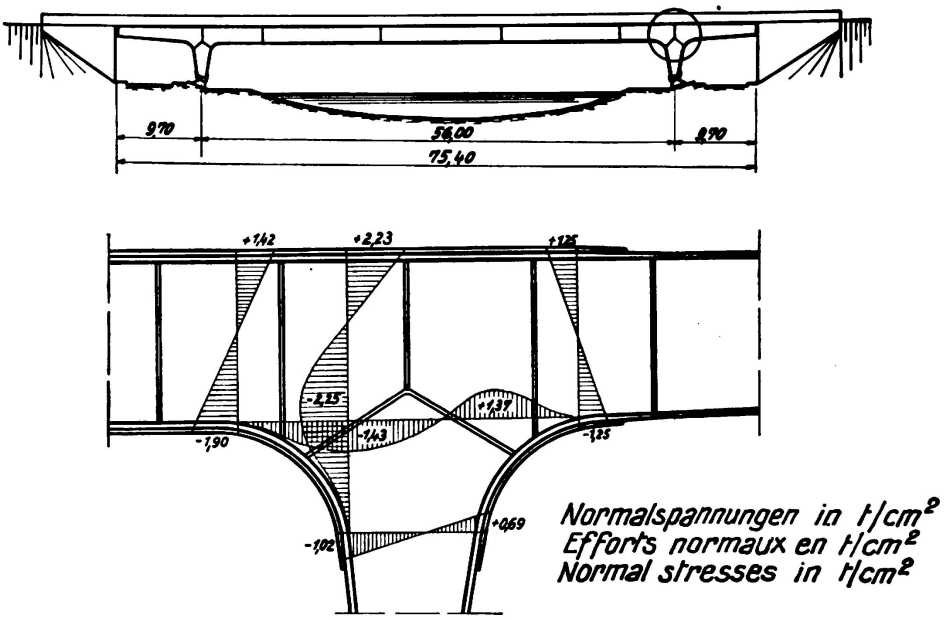


Fig. 5.
Statische Spannungen einer Rahmenecke.

muß deshalb empfohlen werden, im Bereich der Schrumpfspannungen die Aussteifungen nach den Längs- und Querkräften des stellvertretenden Fachwerkes zu bemessen und nicht nur nach der aus der Knicktheorie folgenden Steifigkeit.

Überlegung und Messung an Verwerfungen lassen übereinstimmend erwarten, daß die Schrumpfspannungen sowohl aus äußerer als auch innerer Verspannung an der Elastizitätsgrenze liegen. Mit der Versuchseinrichtung nach Fig. 6 wurden Schrumpfspannungen aus äußerer Verspannung gemessen. Die durch V-Naht zu verbindenden Versuchsstücke wurden während des Schweißvorganges von Dornen gehalten, die in einem starken Stahlstück sitzen und Verschiebungen verhindern. Das mit den freien Enden in die Zerreißmaschine geklemmte Versuchsstück wurde solange gezogen, bis sich die Dorne mit leichten Hammerschlägen antreiben ließen, womit die Schrumpfkräfte von den Dornen auf die Maschine übergegangen waren.

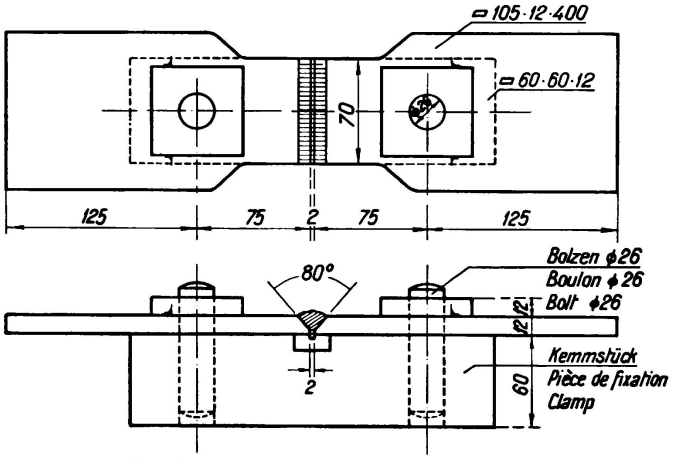


Fig. 6. (Klemmstück statt Kemmstück.)
Versuchseinrichtung zum Messen von Schrumpfspannungen.

Fig. 7 zeigt den Verlauf der Spannungs-Dehnungskurve, wie er für St. 37 und St. 52 gefunden wurde. Die Schrumpfspannungen liegen an der Elastizitäts-

grenze. Dies ist auch der Fall, wenn die Stäbe vor der Messung bis zur Gebrauchsspannung von 1,4 bzw. 2,1 t/cm² belastet und entlastet werden. Werden die Stäbe über die ertmals gemessene Schrumpfspannung nur wenig hinausgereckt, dann ergibt sich die Schrumpfspannung bei nochmaligem Anspannen nur zu 50—75 % des ersten Wertes. Für St. 37 liegen die Werte der höheren Zähigkeit entsprechend an der oberen, bei St. 52 an der unteren Grenze. Hier konnte sogar beobachtet werden, daß der Stahl eine gewisse Zeit braucht, um zum Schrumpfzustand zurückzufinden. Die über den Schrumpfspannungen verbleibende Arbeitsreserve des St. 37 ist in den meisten Fällen ausreichend, die des St. 52 sehr gering. Hieraus ist die größere Rißneigung dieses Stahles zu erklären.

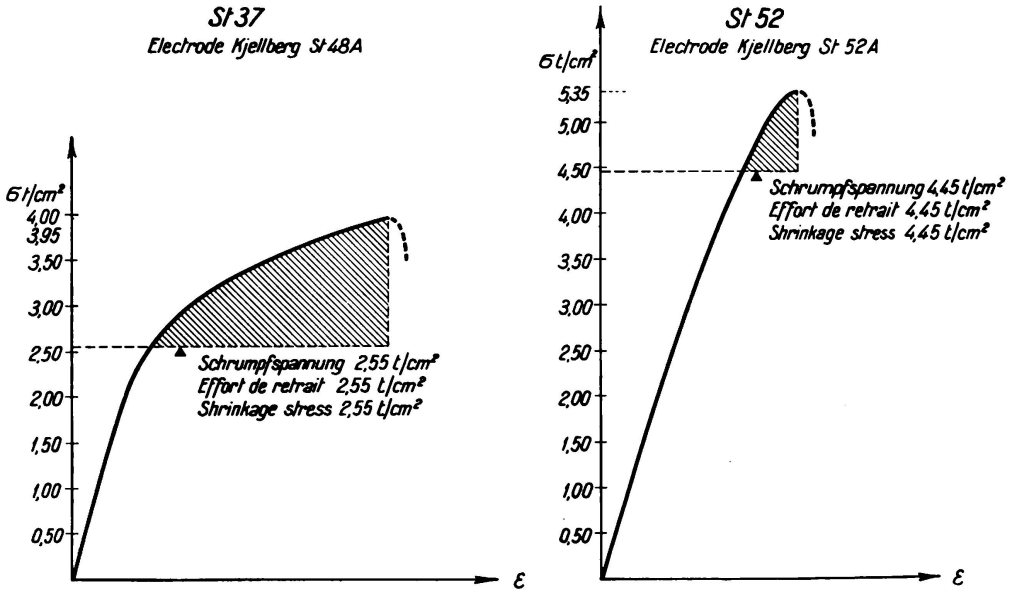


Fig. 7.

Dehnungsdiagramme bei der Messung von Schrumpfspannungen.

Für äußere statische Belastungen sind Schrumpfspannungen, wenn sie den Schweißvorgang überstanden haben, nicht mehr gefährlich, wie alle Eigenspannungen. Spannungen bei unsicherem Gleichgewicht bilden eine Ausnahme. Hinzukommende Schrumpfungen aus benachbarten Schweißungen, oder neue Eigenspannungen aus Temperaturwirkungen können zu Rissen führen, und zwar bei St. 52 wegen der geringen Spannungs- und Dehnungsreserve eher als bei St. 37.

Es wäre zu empfehlen, mit der gezeigten Versuchseinrichtung auch Dauerversuche zu machen. Eine Vorspannung im Sinne der gewöhnlichen Dauerversuche liegt nur vor, wenn die Belastung der Schrumpfspannung entgegenwirkt. Die Dauerfestigkeit muß hier bei der Elastizitätsgrenze liegen und die verfügbare Schwingungsweite für Stumpfnähte beträgt nach den Dauerfestigkeitsversuchen des deutschen Kuratoriums[1] 10 kg/mm² bei St. 37 und 13,1 kg/mm² bei St. 52. Nach den deutschen Vorschriften bedingt dies bei $\gamma = 1$ ein α von rd. 0,65

[1] Dauerfestigkeitsversuche mit Schweißverbindungen, Bericht des Kuratoriums für Dauerfestigkeitsversuche im Fachausschuß für Schweißtechnik beim Verein deutscher Ingenieure, S. 27 und 35—37.

bei St. 37 und rd. 0,58 bei St. 52. Bei den Schrumpfspannungen gleichgerichteter Belastung und meist auch im umgekehrten Fall tritt jedoch nur eine Spannungsverlagerung im Bauteil ein, für welche die Dauerfestigkeiten wohl höher erwartet, aber im Einzelfall noch gesucht werden müssen.

Die Wärmespannungen bereiten heute noch dem Fachmann in Büro und Werkstatt täglich Schwierigkeiten. Es ist aber zu hoffen, daß Forschung und Erfahrung unsere Erkenntnis und unsere Verfahren bald so vervollkommnen werden, daß die Schrumpfspannungen ähnlich wie die Nebenspannungen in Nietkonstruktionen kein Problem mehr sind.

IIIb 5

Bei Schweißarbeiten in Belgien festgestellte thermische Beanspruchungen.

Contraintes thermiques constatées lors des travaux soudés en Belgique.

Temperature stresses observed in welded constructions in Belgium.

A. Spoliansky,
Ingénieur des Constructions Civiles et Electricien A.I.Lg.

Wir beschränken uns in der vorliegenden Abhandlung darauf, die Wärmespannungen zu untersuchen, von denen man sagen kann, daß man zwar ihren genauen Wert nicht kennt, aber dafür nur zu gut weiß, daß sie von beträchtlicher Größe sind.

Wir wollen nur ein einziges Beispiel anführen.

Anläßlich der Schweißung des letzten Montagestoßes einer Vierendeel-Brücke hat man eine Hebung des Auflagers des Brückenendes unter Bildung einer Falte in dem unteren Gurt festgestellt. Das Gewicht des Hauptträgers betrug etwa 80 t. Man hatte keine besonderen Vorsichtsmaßnahmen getroffen, die in diesem Fall notwendig gewesen wären, um die thermische Wirkung von 36 mm starken Schweißnähten abzuschwächen.

Die elastischen Wirkungen äußern sich:

1. in der Verkürzung der Teile,
2. in den Formänderungen,
3. in den inneren Spannungen mit oder ohne Bildung von Rissen und Brüchen.

1. Verkürzung der Teile.

Infolge der Schrumpfung der Schweißung verkürzen sich die Teile. Dadurch, daß man die Teile von vornherein etwas länger ausführt, erhält man die Abmessungen mit genügender Genauigkeit.

2. Formänderungen.

Die Formänderungen sind besonders an denjenigen Stellen bedeutend, an denen die Schweißnähte unsymmetrisch sind. Die Formänderung ist der freien Länge des Elements proportional, das sich in der Ausdehnung der Schweißnaht verformen kann; sie ist der Stärke dieses Elements umgekehrt proportional.

In Belgien sind die geschweißten Brücken zum größten Teil Vierendeel-Träger mit oberer parabolischer Gurtung. Da dieser Gurt der gedrückte ist, ist

es günstig, ihm eine möglichst große Steifigkeit zu geben. Zwei Verfahren sind hierfür angewendet worden.

a) Doppel-T-Träger mit Flanschen von großer Stärke und einer Breite zwischen 400 und 500 mm.

b) Doppel-T-Träger mit Flanschen, die aus Profileisen 40 bis 50 NP oder aus solchen mit breiten Flanschen bestehen (Fig. 1).

In schweißtechnischer Hinsicht ist das zweite Verfahren fehlerhaft, denn die Schweißung wird auf den Steg des Profileisens von geringer Stärke aufgebracht und die Formänderung ist größer. Die meisten Werkstattverfahren, die in einem Richten der verformten Teile in kaltem Zustand bestehen, bergen eine Gefahr in sich.

So hat man in gewissen Werkstätten, wo diese Gurtprofile in kaltem Zustand gebogen wurden, das Auftreten einer Reihe von Rissen senkrecht zu der

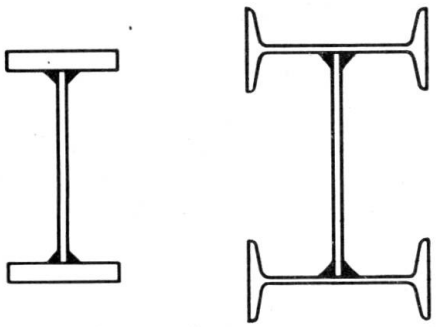


Fig. 1.
Ausbildung des Obergurtes der Vierendeelbrücken.

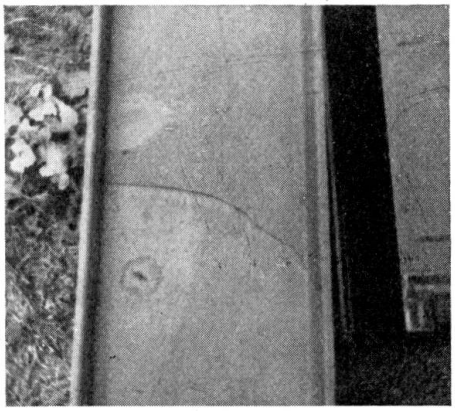


Fig. 2.
Riß in einem als Gurtplatte verwendeten Walzträger des Obergurtes einer Vierendeelbrücke.

Schweißung in dem Steg der Profileisen festgestellt, die auf ein teilweises Härten des Metalls zurückzuführen sind (Fig. 2).

Man kann und muß die Größe der Formänderungen herabsetzen durch eine geeignete Wahl:

a) der Stärke der zu verbindenden Teile und

b) der Abmessungen der zu verwendenden Elektroden.

Aus diesem Grunde sowie auch aus anderen Gründen sind Elektroden mit großem Durchmesser zu vermeiden, insbesondere für die unteren Lagen.

Praktisch kann man die Formänderungen in den meisten Fällen durch eine symmetrische Anordnung der Schweißnähte vermeiden.

Bei den Vierendeel-Trägern sowie bei den Hochbauten mit starren Knoten, deren Verwendung sich in Belgien zu verallgemeinern beginnt, findet man Anschluß-Knotenbleche, deren Querschnitt aus Steg und Gurt zusammengesetzt ist (Fig. 3). Man kann diese Knotenbleche mit 4 Gurten (b) mit symmetrischen Schweißnähten oder mit 2 Gurten (a) ausführen. Die Verbindung (b) ist offenbar vollkommener, erfordert jedoch eine größere Anzahl von Schweißungen.

Bei den Teilen in Kastenform (4) hat man trotz der Symmetrie der Schweißungen Verdrehungen des ganzen Teils festgestellt, die einerseits darauf

zurückzuführen sind, daß der Auftrag der Schweißraupen nicht genau identisch ist, und andererseits darauf, daß die Einzelteile ebenfalls nicht genau gleich sind.

3. Innere Spannungen.

Die Schrumpfung der Schweißungen erzeugt in einem recht ausgedehnten Bereich Spannungen, die beträchtlich sind und eine Gefahr bedeuten können, besonders in dem Bereich, in denen schon vorher Spannungen bestanden.

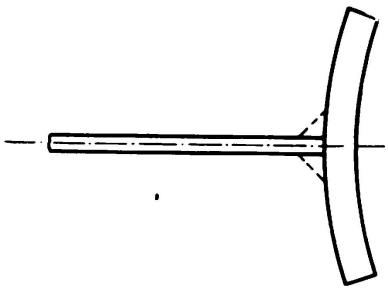


Fig. 3.
Vorkrümmung einer anzuschweißenden Gurtplatte.

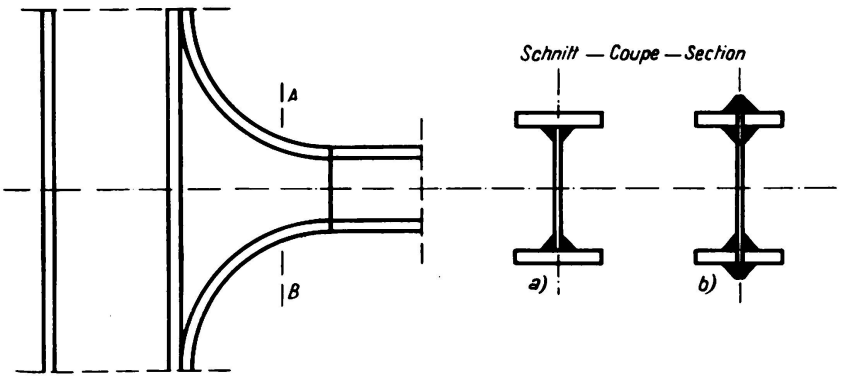


Fig. 4.
Detail eines Knotenpunktes mit tangentialem Übergang.

So kann in den Walzeisen mit großen Stärken der Auftrag einer Schweißraupe sogar zum Bruch führen.

In Belgien hat man häufig Bruchstellen in breitflanschigen Grey-Trägern beobachtet, die bekanntlich erhebliche Walzspannungen aufweisen.

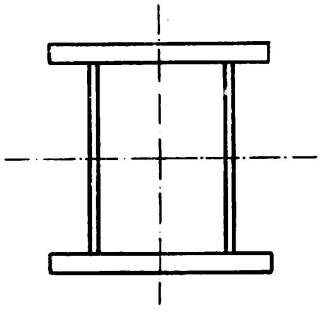


Fig. 5.
Geschweißter Kastenquerschnitt.

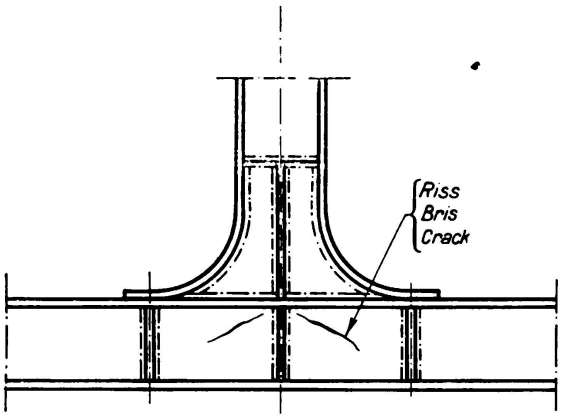


Fig. 6.
Knotendetail einer Vierendeelbrücke.
Charakteristische Risse.

Das Anbringen von Löchern kann ein Walzeisen für die Schweißung ungeeignet machen, da durch den Bruch der gehämmerten Zone Rißbildung und Zerstörung der gesunden Teile des Stückes eintritt.

Eine Zusammendrängung von Schweißnähten auf begrenztem Raum sowie die zu gedrängte Anordnung von Schweißnähten von stark verschiedenen Abmessungen sind zu vermeiden.

Unfälle sind in Belgien festgestellt worden bei der Schweißung von Querträgern an den Knotenpunkten der Vierendeel-Träger, wo eine Reihe von Aus-

steifungen vorhanden war (Fig. 5), sowie bei der Schweißung der Kreuzpfosten dieser Brücken (Fig. 6).

Die Aussteifungen sind von großem Nachteil für die Vollwandträger. Wenn es möglich wäre, ihre Zahl beträchtlich zu verringern, indem die Stegstärke genügend verstärkt würde, so könnte die Ausbildung der Träger dadurch verbessert werden. Zweifellos ließe sich auch die Form der Aussteifungen dadurch verbessern, daß man sie nicht bis zu dem Zuggurt durchführt (Fig. 7).

Die Hauptgefahr dieser Wärmespannungen liegt darin, daß die Risse oder Brüche nicht unbedingt gleich nach der Schweißung in der Werkstatt in Erscheinung treten. Mikroskopisch feine Risse können nicht erkennbar vorhanden

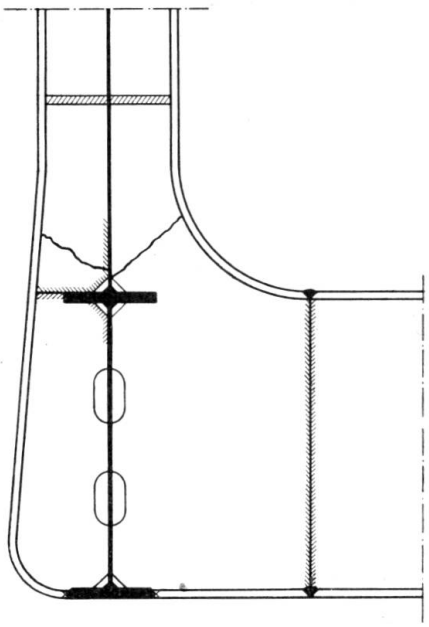


Fig. 7.
Charakteristische Risse in den Pfosten kreuzförmigen Querschnittes von Vierendeelbrücken.

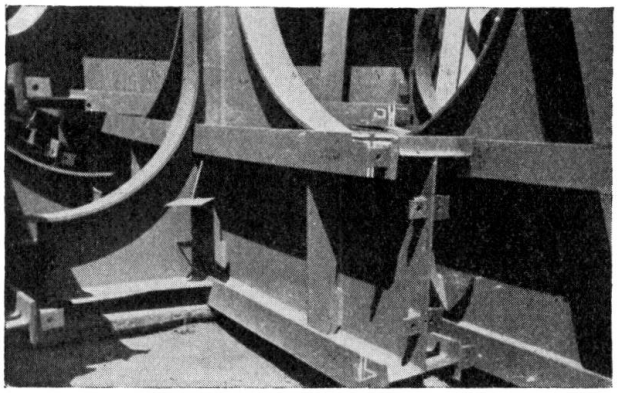


Fig. 8.
Anschluß des Querträgers an den Pfosten kreuzförmigen Querschnittes.

sein und sich erst nach mehreren Monaten zeigen. Dieses verzögerte Auftreten von Rissen bildet übrigens eine Erscheinung, die noch nicht erklärt, aber die der Schweißung eigen ist. Man könnte vielleicht diese Wirkungen mit den Erscheinungen vergleichen, die man bei manchen Gußteilen beobachtet, wo gleichfalls an singulären Stellen Brüche festgestellt worden sind.

So haben wir bei einer Änderung, wo ein auf einem I-Träger geschweißtes Flacheisen mit dem Schneidbrenner abgetrennt werden mußte, zahlreiche Risse in dem Grundmetall, sowie in dem Schweißgut festgestellt (Fig. 8). Diese Risse waren wahrscheinlich auf die Verwendung eines zu starken Flacheisens zurückzuführen.

Ein anderes treffendes Beispiel verdient erwähnt zu werden: Einige Monate, nachdem eine Brücke fertig geschweißt, und die Fahrbahntafel aus Beton aufgebracht war, ereignete sich ein plötzlicher, mit Geräusch begleiteter Bruch in der Schweißnaht der Stegverbindung (Fig. 9). Vermutlich war die Schrumpfspannung der Schweißnähte in den Gurtlamellen von 36 mm Stärke ausreichend, um eine Rißbildung in der Schweißnaht des Stegs herbeizuführen.

Vorkehrungen zur Verminderung der Wirkung der Wärmespannungen.

Vorkehrungen vor der Ausführung.

A. *Anordnung und Abmessungen der Schweißnähte.*

Die Schweißnähte müssen an solche Stellen gelegt werden, wo ihre Beanspruchung unter allen Umständen gering ist. Es ist zu vermeiden, Schweißnähte dicht benachbart aufzutragen, und ihre Größe ist möglichst zu beschränken. Eine sorgfältige Wahl von Verbindungen ist von großer Bedeutung.

In Belgien ist diese Frage sehr weit entwickelt worden, und hat zu der Ausbildung eines gekrümmten Knotens mit tangentialen Anschlüssen geführt. Eine Untersuchung dieses Knotens wird dem Kongreß übrigens von Herrn Campus vorgelegt.

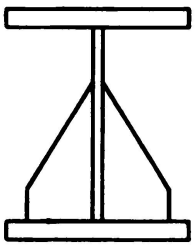


Fig. 9.
Aussteifung eines Vollwandträgers.

B. *Abmessungen der zu verbindenden Teile.*

Die Stärke und Länge der Teile müssen sorgfältig festgelegt werden. Tatsächlich muß man die Mindeststärke der Bleche begrenzen, denn:

1. hat man bei den dünnen Blechen eine stärkere Verringerung der Dehnung bei den Temperaturen zwischen 600 und 800° und infolgedessen eine gesteigerte Neigung zur Rißbildung festgestellt;
2. muß man befürchten, daß der Einbrand die Schweißung, für die aus ausführungstechnischen Gründen eine Mindestabmessung gegeben ist, zu stark ist;
3. werden die Formänderungen abgeschwächt und
4. wird die notwendige Anzahl von Aussteifungen verringert.

C. *Schweißfolge.*

Die Schweißnähte müssen in einer Reihenfolge aufgetragen werden, deren Bestimmung nicht dem Schweißer überlassen werden kann. Ähnlich wie für das Schwinden des Betons muß ein Programm aufgestellt werden, um die Größe der Schrumpfung der Schweißungen herabzusetzen.

D. *Metallographische Untersuchung des Grundmetalls und des Schweißguts.*

Diese ist von großer Bedeutung. Sie soll Gewißheit verschaffen über die Schweißeigenschaften des Grundmetalls.

E. *Zurichten der Konstruktionsglieder.*

Diese muß besonders sorgfältig erfolgen, um zu große Abweichungen zu vermeiden, die einen übermäßigen Auftrag von Schweißgut zur Folge haben, was verderblich werden kann.

F. *Sondermaßnahmen.*

In besonderen Fällen müssen Sondermaßnahmen getroffen werden, z. B. das Erwärmen vor dem Schweißen.

Vorrichtungen für die Ausführung.

G. *Elektrische Ausrüstung.*

Es ist äußerst wichtig, einen gleichmäßigen Auftrag zu erhalten, infolgedessen muß auf die elektrische Einrichtung im allgemeinen geachtet werden, die für die Schweißarbeiten besonders durchgebildet sein muß.

Die Umformersätze und die Leitungskabel müssen derart beschaffen sein, daß die Spannungs- und Stromabfälle begrenzt sind. Elektrische Meßgeräte müssen in genügender Anzahl eingebaut und ununterbrochen beobachtet werden.

H. *Wahl der elektrischen Daten.*

Diese Wahl ist äußerst verwickelt.

Die Temperatur des Auftragens muß niedrig gehalten werden, um die Wärmespannungen zu verringern, jedoch muß diese Temperatur für einen guten Einbrand ausreichend sein.

Für eine bestimmte Arbeit, d. h. für Stähle von bestimmter Zusammensetzung, für die Elektroden von entsprechender Zusammensetzung angewendet werden, für bestimmte Stärken der zu verbindenden Konstruktionsglieder gibt es jeweils bestimmte elektrische Daten, die am günstigsten und daher für die Ausführung vorzuschreiben sind.

I. *Begrenzung des Größtdurchmessers der zu verwendenden Elektroden.*

Eine große Zahl der in Belgien festgestellten Unfälle hatte als Hauptursache, daß die Werke zwecks Verminderung der Lohnkosten ihre Arbeiten mit Elektroden zu großen Durchmessers ausführten. Die Gefahren der Schnelligkeit wegen Härtezuwachses einerseits und der zu starke Strom und damit die erhöhten Wärmespannungen andererseits zwingen dazu, die maximale Stärke der zu verwendenden Elektroden zu begrenzen. Dieser Höchstwert ist vorläufig von der Belgischen Brücken- und Straßenbauverwaltung auf 5 mm Durchmesser und für die unterste Lage auf 4 mm festgesetzt.

J. *Vorsichtsmaßnahmen bei Arbeiten im Winter.*

Gegenwärtig ist es in Belgien verboten, bei Temperaturen unterhalb 4° Celsius zu schweißen.

K. Um die beste Ausführungsart festzulegen, ist es zweifellos zweckmäßig, die Größenordnung der Wärmespannungen bestimmen und diese Werte gemäß verschiedenen Ausführungsarten vergleichen zu können.

In Belgien hat eine Gruppe von Herstellern einem staatlichen Laboratorium die Aufgabe übertragen, eine vollständige Reihe von Versuchen hierüber anzustellen.

Maßnahmen nach der Ausführung.

L. Die Handhabung der Teile bei noch nicht abgekühltem Schweißgut ist zu verbieten.

M. Vorkehrungen müssen getroffen werden, um eine langsame Abkühlung des Schweißgutes zu erzielen.

N. Es ist zu hoffen, daß die in Belgien begonnenen Versuche auf praktische und wirtschaftliche Sondervorkehrungen hinweisen werden, um nach der Schweißung die Wärmespannungen zu verringern.

IIIb 6

Versager bei elektrisch geschweißten Brücken aus Schmiedeeisen und Flußstahl.

Ruptures enregistrées sur des ponts en fer forgé et en acier doux soudés électriquement.

Recorded Failures of Electrically Welded Wrought Iron and Mild Steel Bridges.

H. J. L. Bruff,
Bridge Engineer, North Eastern Area, London & North Eastern Railway. York.

Ich habe nach Berichten gesucht, die Angaben über das Versagen von Schweißstellen bei Schweißarbeiten an bestehenden Brücken enthalten; jedoch keine solche gefunden. Da bei der Durchführung von Brückenschweißungen durch meinen Chef, Herrn *John Miller*, Ingenieur des nordöstlichen Gebietes der London & North Eastern Railway, England, Mängel festgestellt werden konnten, habe ich meinen Bericht „Brucherscheinungen an elektrisch geschweißten Schmiedeeisen- und Flußstahlbrücken" dieser Versammlung vorgelegt, in der Hoffnung, daß nicht nur die von anderen beobachteten Mängel zur Kenntnis der Internationalen Vereinigung für Brücken- und Hochbau gebracht werden möchten, sondern daß sowohl die von anderen beobachteten als auch die von mir beschriebenen Fehler besprochen und ihre wahre Natur und Bedeutung festgestellt werden möchte, sowie daß ferner, wenn diese Mängel als genügend wichtig angesehen werden, eine Übereinstimmung dahin erzielt werden kann, welche Verfahren und Vorsichtsmaßnahmen zu ihrer Vermeidung zu befolgen sind.

Seit der Einreichung meines Berichtes sind Mängel bekannt geworden, die sich etwas von den von mir schon beschriebenen unterscheiden. Ich benutzte daher diese Gelegenheit, um diese Mängel zu beschreiben.

Die erwähnten Fehler traten bei der Durchführung von Reparaturarbeiten an einer alten schmiedeeisernen Blechträgerbrücke in der Stadt Leeds auf. Diese Brücke hatte sehr stark durch Korrosion gelitten und mußte verstärkt werden, da ihre Festigkeit für den modernen Verkehr nicht mehr ausreichte.

Beim Bau dieser Brücke im Jahre 1867 bestanden die örtlichen Behörden darauf, daß die Brücke mit Verzierungen versehen werden sollte, da sie in der Nähe des Hauptzentrums der Stadt lag und den Hauptweg zu derselben darstellte. Die als Kastenträger ausgebildeten Hauptträger wurden daher mit Verzierungsplatten im damals vorherrschenden gotischen Stil verkleidet, während die Unterseite bis vor kurzem mit den zur Verzierung dienenden gotischen

Tafeln verkleidet war. Infolgedessen waren große Teile der Brücke seit dem Bau derselben für Malerarbeiten und für die Kontrolle nicht zugänglich. Als kürzlich die Verkleidungsplatten abgenommen wurden, mußte festgestellt werden, daß die Korrosionsschäden sehr schwerwiegend waren. Es bestanden zwei Möglichkeiten:

a) Die Brücke neu zu bauen, was sehr teuer geworden wäre, da sie auf allen Seiten von wertvollen, für Geschäftszwecke bestimmten Grundstücken umgeben war, und eine Unterbrechung des Verkehrs auch nur für kurze Zeit nicht in Frage kam, weil eine der bedeutendsten Eisenbahnlinien des nördlichen Englands über diese Brücke führte.

b) Die alte Brücke durch elektrische Schweißung zu reparieren und zu verstärken, welch letzteres Verfahren übernommen wurde.

Das beobachtete Versagen der Schweißstellen trat in den Querträgern auf, die als Kastenträger ausgebildet waren. Sie waren sehr stark korrodiert und wiesen Verwerfungen der Stege infolge Überlastung auf. Diese Schäden waren darauf zurückzuführen, daß im Laufe der Zeit verschiedene Niete entfernt und durch Bolzen ersetzt worden waren, welche durchgerostet waren. Die Arbeit wurde daher umfangreicher als vorausgesehen war und erwies sich als sehr schwierig.

Der schwierigste Teil der Arbeit war das Einschweißen neuer Stegbleche, da diese zwischen die senkrechten Flanschen der Gurtwinkel eingesetzt werden mußten, was zur Verwendung ziemlich großer Schweißnähte führte. Die Arbeit wurde in der Weise durchgeführt, daß die neuen Stegplatten an die Winkelunterseite angeschweißt wurden, worauf abwechselnd die oberen und unteren Nähte in Stücken von 6 Zoll geschweißt wurden. Die Anzahl der Schweißlagen betrug in einigen Fällen bis zu sieben. Die Stöße besaßen nach der Bearbeitung die von meinem Chef für Schweißungen dieser Art gewählte Form, und die Schweißung wurde in der in Fig. 2 A und B dargestellten Weise durchgeführt.

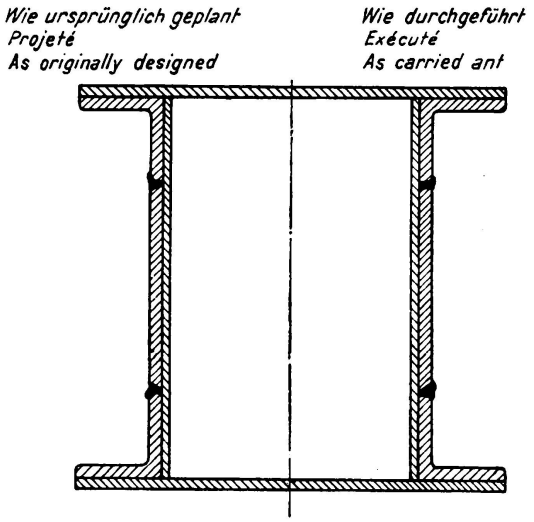


Fig. 1. Profil des Querträgers.

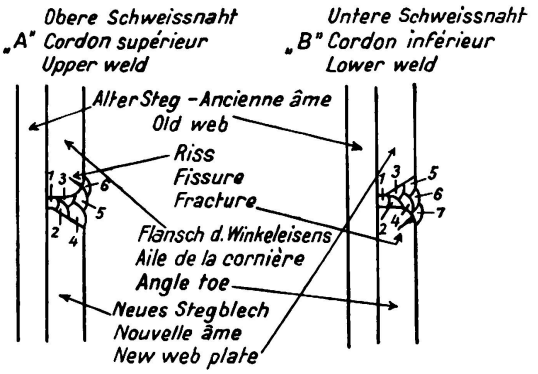


Fig. 2.
Einzelheiten der geplanten Stumpfschweißung.

Es wurde festgestellt, daß nach Einbringung der letzten Schweißlage ein Riß längs der Schweißnaht und zwar parallel zu derselben auftrat, wie in der Photographie dargestellt ist. Es mußte angenommen werden, daß die Einbringung

weiterer Schweißlagen (Fig. 2 A 6 und B 7) keine Garantie dafür bieten würde, daß diese Schweißlagen gesundes Metall an der Wurzel des Risses erreichen würden.

Nach der Durchführung einer Anzahl von Versuchen wurde festgestellt, daß die in Fig. 4 wiedergegebene Methode am besten den Anforderungen entsprach.

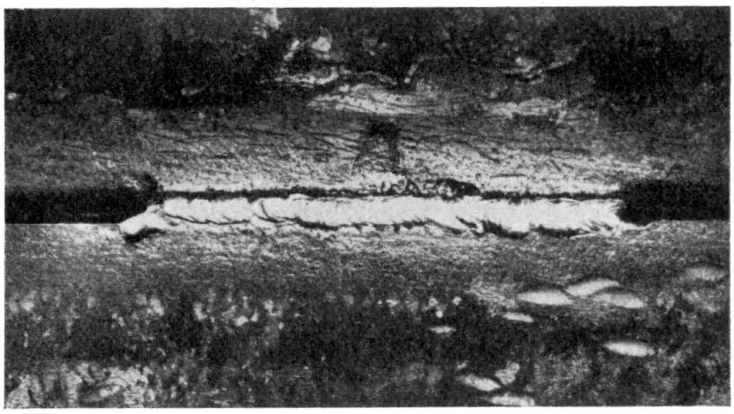


Fig. 3.

Bruch im Winkeleisen parallel zur Schweißnaht.

Die untere oder Wurzelnaht wurde zunächst über die volle Länge des Steges geschweißt, worauf dann die obere Naht ausgeführt wurde. Wie aus der Fig. 4 hervorgeht, wurden bei der oberen Naht die Stoßflächen nicht abgeschrägt. Bei der unteren Naht wurde die Abschrägung so gewählt, daß keine scharfe Kante entstand. Später wurde die Abschrägung mit scharfer Kante an Stelle der in meinem Bericht erwähnten Ausführung gewählt (s. Fig. 2 oben), da hierdurch ein besseres Schmelzen an der Verbindungsstelle der Bleche erzielt wird.

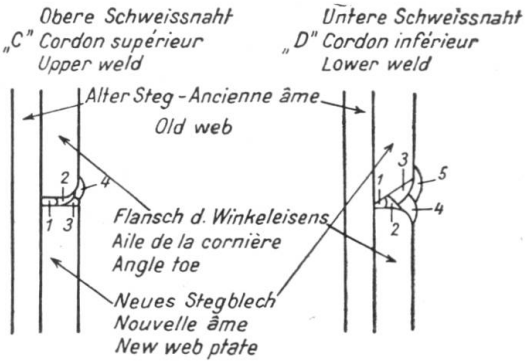


Fig. 4.

Stumpfschweißungen, wie sie wirklich ausgeführt wurden.

Die Risse waren anscheinend auf das Zusammenziehen des Metalles rechtwinklig zur Walzrichtung zurückzuführen, wobei die Risse sich mit Fortschreiten der Schweißarbeit ausdehnten. Ein Stück des Winkeleisens, welches herausgeschnitten wurde, zeigte ein faseriges Gefüge parallel zur Längsrichtung des Stabes, wie dies bei Schmiedeeisen guter Qualität stets vorhanden ist.

Der Gedanke, welcher dem schließlich übernommenen Verfahren zugrunde liegt, war der, eine Auftragsschweißung zu erhalten (Fig. 4 C 2 und D 4), welche der durch die Schrumpfung der Schweißnähte hervorgerufenen Zusammenziehung (Fig. 4 C 3 und C 4 und D 5) einen größeren Widerstand bieten sollte als die Winkeleisen. Nach Übernahme des beschriebenen Verfahrens sind keine Rißbildungen bei der Durchführung der Schweißung aufgetreten und haben sich seit dieser Zeit auch keine Risse gebildet.

IIIb 7

Verminderung der Wärmespannungen in geschweißten Stahlbauten.

La réduction des contraintes thermiques dans les constructions métalliques soudées.

The Reduction of Thermal Stresses in Welded Steelwork.

Dr. Ing. A. Dörnen,
Dortmund-Derne.

Die *Wärme*spannungen in geschweißten Stahlbauten setzen sich zusammen aus *Walz*spannungen, die in den einzelnen Stäben vom Walzen her vorhanden sind, und *Schweiß*spannungen, die durch das Schweißen hinzukommen. Beide überlagern sich. Es ergeben sich hieraus zwei Aufgaben:

1. Die Wärmespannungen in geschweißten Stahlbauten auf das Mindestmaß zu beschränken,
2. festzustellen, ob die in geschweißten Stahlbauten unvermeidlichen Wärmespannungen deren Tragfähigkeit gefährden.

Walzspannungen sind die Folge ungleichmäßiger Abkühlung und auch in der einfachsten Form des Walzstabes, im Rundstahl, vorhanden. Im abgekühlten Stab steht der Kern unter Zug, der Mantel unter entsprechendem Druck. Denn nach dem Walzen kühlt der Stab von außen nach innen ab, der Mantel vor dem Kern. Hierbei folgt der plastische Kern dem voreilenden Schrumpfen des Mantels, ohne daß zunächst Spannungen entstehen. Erstarrt aber der Mantel, so kann er dem weiteren Schrumpfen des warmen Kernes plastisch nicht mehr nachgeben. Er wird infolgedessen unter elastischen Druck gesetzt, dem nach vollständiger Abkühlung elastischer Zug im Kern entspricht. Diese Spannungsverhältnisse kann man durch einen Versuch leicht nachweisen:

Dreht man einen runden Walzstab, 80 mm dick und 1000 mm lang, auf 30 mm ∅ ab, d. h. befreit man den unter Zug stehenden Kern von dem das Zusammenziehen verhindernden Mantel, so kürzt sich der Kern um 0,15 mm. Das entspricht einer mittleren Walzspannung von rd. 300 kg/cm² in ihm.

Walzspannungen kann man durch Ausglühen mildern, aber nicht beseitigen, weil für das Erkalten nach dem Ausglühen die gleichen Verhältnisse vorliegen wie in dem noch glühenden Stab nach dem Walzen. Je langsamer man aber den glühenden Stab sich abkühlen läßt, um so kleiner sind die in ihm verbleibenden Spannungen. Daß auch wiederholtes Ausglühen einen Stab nicht spannungsfrei machen kann, zeigt folgender Versuch:

Ein Rundwalzstab, 70 mm stark und 1000 mm lang, wurde 63 mal auf hellrot durchglüht und anschließend jedesmal zum langsamen Abkühlen sich überlassen. Er ist dabei allmählich um 26 mm kürzer geworden. Beim Erwärmen wird nämlich zunächst der Mantel, der, wie oben dargelegt, im kalten Stab unter elastischem Druck steht, vor dem Kern warm und plastisch. Die in dem jetzt noch kalten und noch elastischen Kern vorhandenen Zugspannungen stauchen infolgedessen den bereits warmen und plastischen Mantel. Der Stab wird dadurch kürzer und entsprechend dicker. Der glühende Stab ist nach diesem Ausgleich spannungslos. Nach der Abkühlung aber sind die Wärmespannungen in ihm, wie bereits oben gesagt, nach Größe und Verteilung die gleichen wie nach dem Walzen. Würde man den Versuch genügend lange fortsetzen, so müßte schließlich aus dem Stab eine Kugel werden.

In weniger einfach geformten Walzstäben sind die Walzspannungen größer als in einfachen Rundstäben. So habe ich in den Stegen von Trägern NP 50 als Walzspannung Druck von 170 kg/cm², in den Stegen von Breitflanschträgern $42^1/_2$ sogar Druck von 1600 kg/cm² festgestellt.[1] Der große Unterschied liegt in den verschiedenen Größenverhältnissen der Flanschen zum Steg begründet. Es liegt nahe, zum Schweißen von Stahlbauten möglichst einfache Querschnitte mit den kleinsten Walzspannungen zu verwenden. Aus den oben dargelegten Gründen sind z. B. geteilte I-Träger nicht geeignet.

Die *Schweißspannungen* treten beim Schweißen zu den Walzspannungen hinzu. Sie sind nach Größe und Umfang von den Hilfsmitteln und der Reihenfolge bei der Schweißarbeit abhängig.[2 und 3] Sie nehmen unter sonst gleichen Verhältnissen mit der Größe des Nahtquerschnittes zu. Man soll also Nahtquerschnitte nicht größer machen als nötig. Daher sind auch X-Nähte V-Nähten vorzuziehen, denn bei einem Öffnungswinkel von 90° und gleicher Materialstärke wird durch eine X-Naht die gleiche Tragfähigkeit mit dem halben Nahtquerschnitt — also auch der halben Schweißarbeit — und entsprechend kleineren Schweißspannungen erreicht. Außerdem entstehen durch die exzentrische Lage der V-Naht Verwerfungen, die man nur in den wenigsten Fällen durch entsprechende Lagerung der zu verschweißenden Stücke ausgleichen kann. Es muß nach dem Schweißen mit erheblichem Kostenaufwand und nicht zum Vorteil des Baustückes nachgerichtet werden.

In Nähten gleichen Querschnitts sind die Schweißspannungen größer, wenn man diese mit einer dicken Elektrode in einer Lage, als mit dünnen Elektroden in mehreren Lagen schweißt. Man sollte im Stahlbau keine stärkeren Elektroden als von 7 mm ∅ verwenden. Andererseits soll man nicht unter 4 mm gehen, weil dann die im Stahlbau üblichen starken Querschnitte für einen einwandfreien Einbrand nicht genügend aufgeschmolzen werden.

Durch Schweißen im Pilgerschritt lassen sich die Schweißspannungen etwas mildern, allerdings muß man dann die vielen Nahtansätze mit ihren Nachteilen

---

[1] Dr. Ing. *Dörnen:* Schrumpfungen an geschweißten Stahlbauten. „Der Stahlbau" 1933, H. 3.

[2] Dr. Ing. *Schroeder:* Zustandsänderungen und Spannungen während der Schweißung des Stahlbaues für das Reiterstellwerk in Stendal. „Der Bauingenieur" 1932, H. 19/20.

[3] Dr. Ing. *Krabbe:* Entstehung, Wesen und Bedeutung der Wärmeschrumpfspannungen. „Elektroschweißung" 1933, H. 5.

in Kauf nehmen. Im Ergebnis sollte man daher doch das Schweißen in einem Zuge und von der Mitte des Stückes gleichmäßig nach den Enden hin vorziehen.

In einem Aufsatz im „Stahlbau" 1936, Heft 9,[4] und seinem Referat unterscheidet *Bierett* zwischen natürlichen und zusätzlichen Schweißspannungen und teilt die letzteren weiter in solche durch innere und solche durch äußere Verspannung unter. Die natürlichen Schweißspannungen entsprechen den Walzspannungen und müssen wie diese zunächst hingenommen werden. Sie sind im allgemeinen nicht größer[5] als die Walzspannungen und — auch nach Ansicht von *Bierett* — wie diese nicht gefährlich. Die zusätzlichen Schweißspannungen durch innere Verspannung entstehen dadurch, daß die zu schweißende Naht über die ganze Nahtlänge und auf die ganze Nahtdicke nacheinander in einzelnen Lagen aufgebaut wird und daß noch geschweißt wird, wenn vorher eingeschmolzenes Schweißgut bereits erkaltet ist. Diese Spannungen sind in den Wurzellagen starker Nähte besonders kritisch und führen leicht zu Anrissen, wodurch die Naht in ihrem Kern krank wird. Man kann sie aber durch vorsichtiges Hämmern der kalten Lagen und — wie auch von *Bierett* empfohlen — durch entsprechende Wärmebehandlung dadurch auf unbedenkliche Größe mindern, daß man die bereits gelegten Nahtteile so lange warm hält, bis die Naht, wenigstens die Wurzellage, in ihrer ganzen Länge fertig ist. Für besonders wichtige Nähte, z. B. für die Stumpfnähte gezogener Gurtplatten, empfehle ich, die Naht über die Abmessungen der Gurtplatte hinaus dicker zu machen, die Stoßstelle beiderseits auf $^1/_4$ m Länge bis hellrot zu erwärmen und die vorstehende Nahtwulst auf die Abmessung der Gurtplatte zurückzuschmieden — Arbeiten in Blauwärme vermeiden! —. So schaltet man nicht nur alle zusätzlichen Schweißspannungen aus innerer Verspannung aus, sondern man verdichtet obendrein das Gefüge der Schweißnaht und macht die Verkrollung zwischen Naht und Mutterstoff an der empfindlichen Übergangsstelle inniger. Auf diese Weise kann man nicht nur Gurtplattenstöße, sondern auch Stegblechstöße, sogar die Universalstöße von Blechträgern in einen Spannungszustand bringen, der dem entspricht, als ob sie als Ganzes gewalzt wären. Hierbei haben sich Gasbrenner bewährt, die aus langen Rohren mit Reihen von Brennlöchern bestehen und die man in geeigneter Weise um das zu behandelnde Stück legt. Das nötige Gas wird in der Werkstatt der Gasleitung entnommen. Für die Baustelle kann man das Gas gegebenenfalls als Preßgas oder verflüssigtes Gas aus Vorratsflaschen verwenden.

Zusätzliche Schweißspannungen aus äußerer Verspannung entstehen, wenn die zu verschweißenden Teile dem Schrumpfen der Nähte nicht folgen können. Auch diese Spannungen kann man durch entsprechende Maßnahmen an den heute am meisten geschweißten Bauteilen, d. h. an vollwandigen Gebilden für Blechträger, Blechbogen, Blechrahmen und vollwandigen Langerbalken sowie Vierendeelträgern weitgehend ausschalten. Dies soll im Folgenden zur Lösung der ersten Aufgabe dargetan werden.

In der einfachsten und schweißtechnisch besten Form besteht der Blechträger aus einem Stegblech und zwei Gurtplatten, die ungestoßen über die ganze Länge

---

[4] Prof. *Dr. Bierett:* Welche Wege weisen die Erkenntnisse über Schrumpfwirkungen den Arbeitsverfahren für die Herstellung von Stumpfnähten im großen Stahlbau? „Der Stahlbau" 1936, H. 9.

[5] Dr. Ing. *Dörnen:* Schrumpfungen an geschweißten Stahlbauten. „Der Stahlbau" 1933, H. 3.

des Trägers durchgehen. Es sind nur die Halsnähte zu ziehen und die Aussteifungen einzuschweißen. Aus den Halsnähten kann man — wenn man es für nötig haben sollte — die zusätzlichen Wärmespannungen durch innere Verspannung dadurch nahezu beseitigen, daß man jede Naht über die ganze Länge gleichzeitig auf rd. 400 bis 500° erwärmt. Zusätzliche Wärmespannungen durch äußere Verspannung treten nicht auf, wenn man dafür sorgt, daß die Gurtplatten dem Querschrumpfen der Halsnähte ohne Widerstand folgen können. Die Aussteifungen schweißt man im allgemeinen am besten erst ein, wenn Stegblech und Gurtplatte miteinander verschweißt sind. Denn nach dem Schweißen der Halsnähte steht der Steg zunächst unter Druck, der durch das Einschweißen der Aussteifungen, parallel oder senkrecht zur Trägerachse, gemildert oder in Zug umgewandelt wird. Dabei wird auch der in den Gurtungen vorhandene

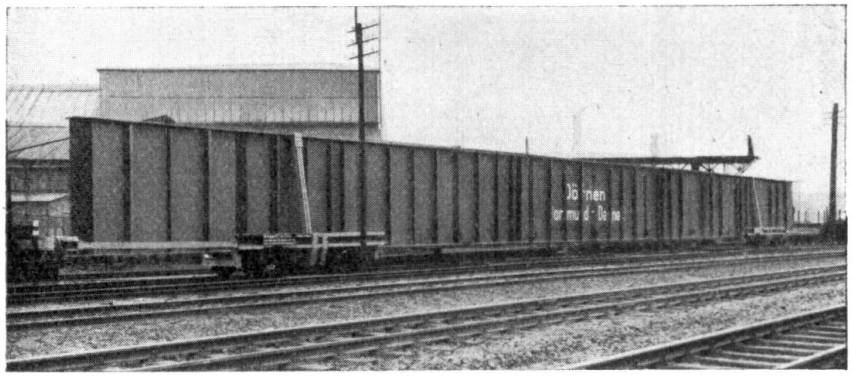


Fig. 1.

Zug kleiner. An den Stellen, wo vertikale Aussteifungen eingeschweißt werden sollen, läßt man zweckmäßig nach beiden Seiten je rd. 20 cm Halsnähte offen, die man ergänzt, wenn die Aussteifungen eingeschweißt sind. Dadurch gleichen sich Schrumpfungen im Stegblech, hervorgerufen durch die vertikalen Aussteifungsnähte, besser aus. Für die vertikalen Nähte genügen 3 mm Stärke. Diese klare Herstellung wird in ihrer einfachen Form begrenzt, wenn die Abmessungen der Träger ein bestimmtes Maß überschreiten, zu starke Gurtquerschnitte benötigen oder zu lang werden. Zu dicke ungeteilte Gurtplatten sind nicht erwünscht, weil sie walztechnisch Schwierigkeiten machen. Man sollte bei St. 37.12 nicht weit über 60 (70) mm Stärke hinausgehen. Bei größeren Dicken wird man die Gurtungen zweckmäßig in mehrere Lagen unterteilen, die ihrerseits ungestoßen bleiben. In solchen Fällen ist zunächst das Stegblech mit der innersten Gurtplatte allein zu verschweißen. Denn die Zugkräfte in den längs geschrumpften Halsnähten sind bei gleichem Nahtquerschnitt geringer, wenn die zu verschweißenden Querschnitte kleiner und damit nachgiebiger sind. Er wird durch die Kehlnähte zum Aufschweißen der folgenden Gurtplattenlagen weiter gemindert. Die Aussteifungen schweißt man zweckmäßig ein, wenn das Stegblech mit den innersten Gurtplatten verschweißt ist.

Werden die Träger zu lang, so müssen Stegblech oder Gurtungen oder beides gestoßen werden. Im allgemeinen wird man die Stegbleche eher stoßen müssen als die Gurtplatten. Man schweißt dann zunächst die Stegbleche für sich (durch Stumpfnähte) zusammen. Die Nähte werden gegebenenfalls durch Erwärmen von

den zusätzlichen Wärmespannungen durch die innere Verspannung befreit und durchstrahlt. Wärmespannungen durch äußere Verspannung vermeidet man

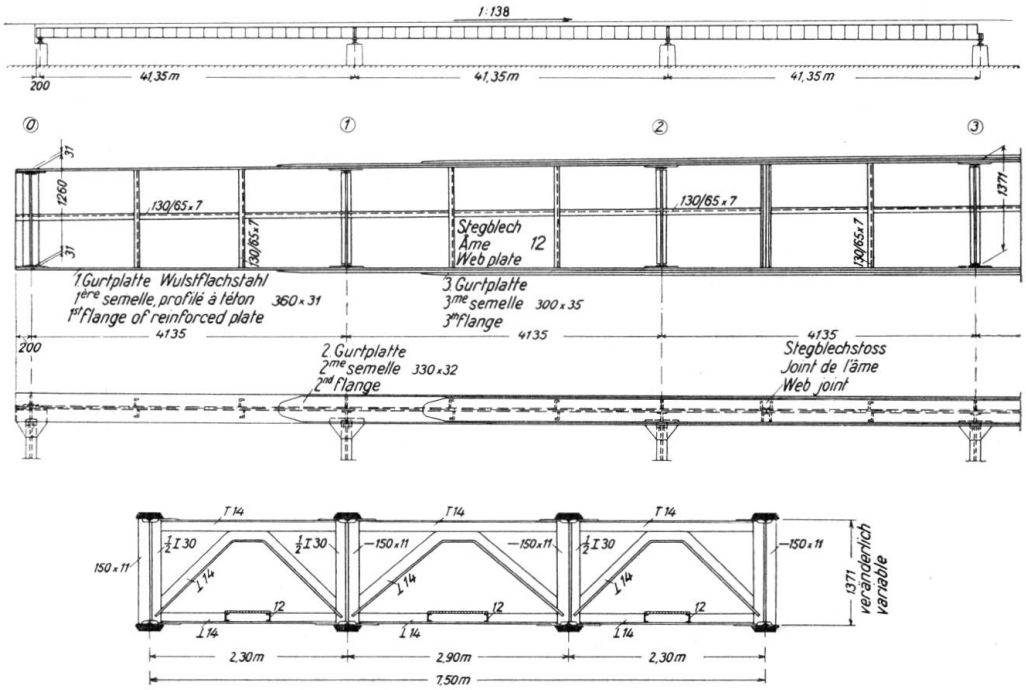


Fig. 2.

Geschweißte Flutöffnungen.

dadurch, daß man beim Schweißen der Nähte die Stücke aneinander heranholt. Dies darf nicht der schrumpfenden Naht selbst zugemutet werden, um Anrisse

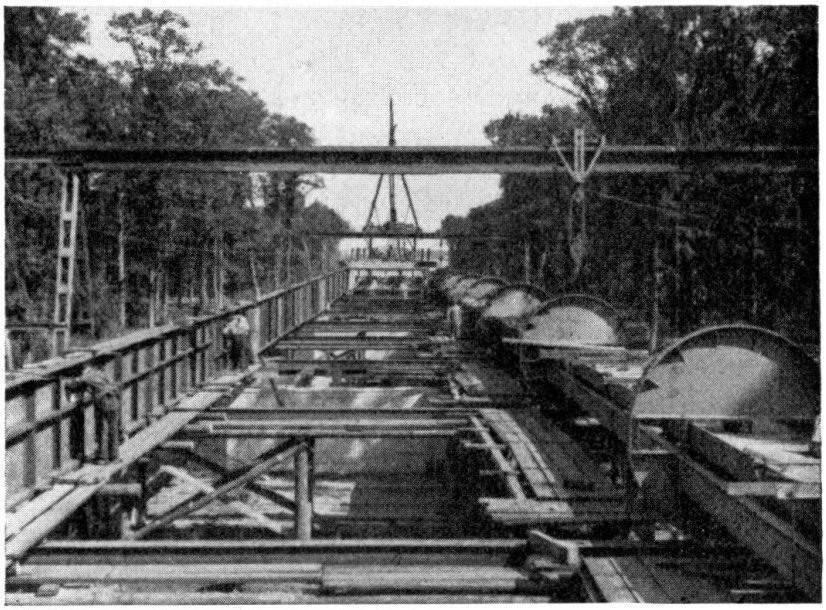


Fig. 3.

zu vermeiden. Die Güte jeder Stumpfnaht ist in erster Linie abhängig von tadellosen Wurzellagen, die auch nicht die feinsten Anrisse haben dürfen. Dann

werden die Ränder des Stegblechstranges auf die Überhöhung des Trägers zugeschnitten, zum Verschweißen mit den Gurtplatten hergerichtet und mit den Gurtplatten verschweißt. Die Aussteifungen werden wieder eingeschweißt, wenn

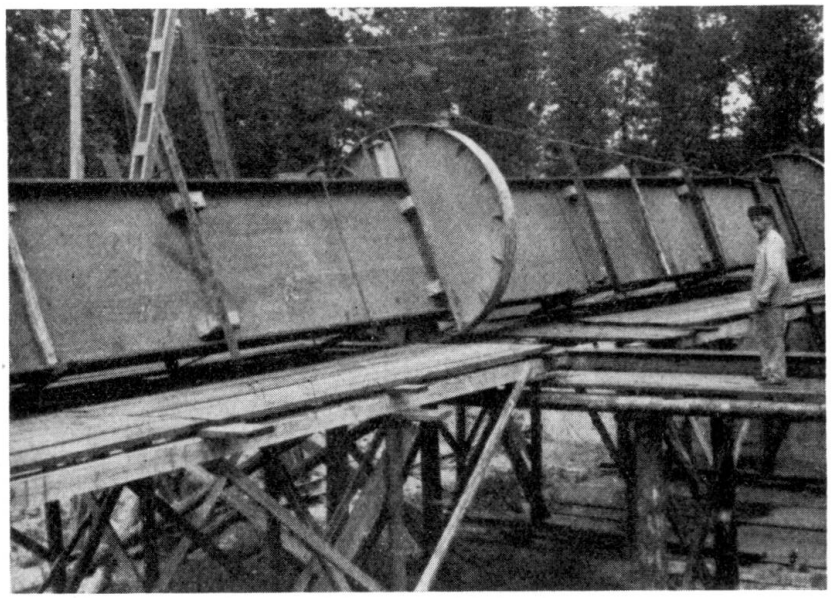


Fig. 4.

der Stegblechstrang mit den innersten Gurtplatten verschweißt ist. Jedoch sind senkrechte Aussteifungen in der Nähe der senkrechten Stumpfstöße des Stegbleches zu vermeiden, damit diese nicht zu stark unter Zug gesetzt werden.

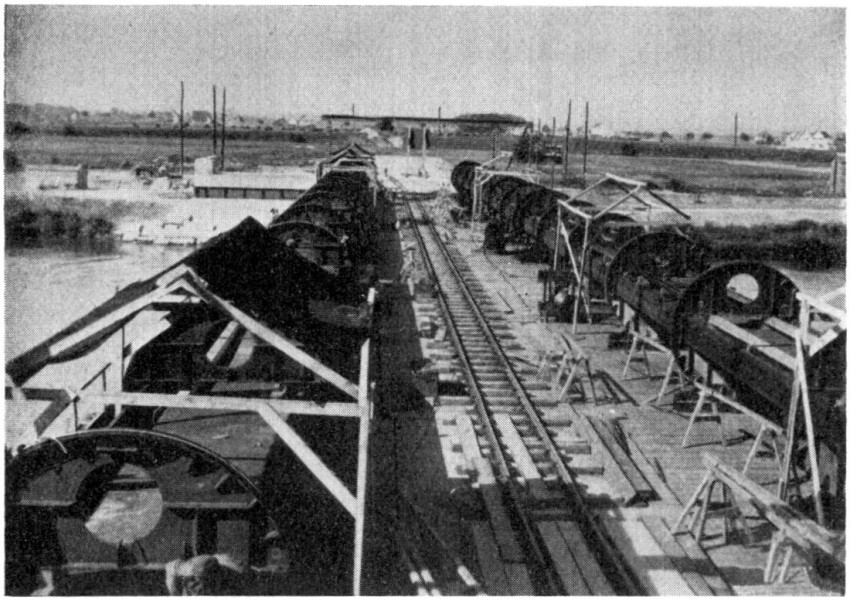


Fig. 5.

Sind auch in den Gurtplatten Stöße nicht mehr zu vermeiden, so schweißt man dieselben, jeden Strang für sich, zusammen und bildet dann erst, wie oben dargetan, mit dem Stegblechstrang den Trägerquerschnitt. In der Wirkung ist der

Vorgang so günstig wie ohne Stöße. In den Gurtplattenstößen sollten die zusätzlichen Wärmespannungen infolge innerer Verspannungen durch entsprechendes Erwärmen vorher beseitigt werden. Zusätzliche Wärmespannungen durch äußere Verspannung treten auch hier nicht auf. Die Gurtplattenstöße legt man mit Vorteil an Stellen kleinster Beanspruchungen. Bei durchlaufenden Trägern z. B. an die Stelle der kleinsten Größtmomente, wo der Baustoff nur wenig beansprucht wird. Es empfiehlt sich, die Gurtplatten- und Stegblechstöße nicht in den gleichen Trägerquerschnitt zu legen. Auf diese Weise kann man Blechträger bis zu den größten Längen herstellen. Fig. 1 zeigt einen rd. 63 m langen und rd. 4 m hohen Blechträger im Gewichte von rd. 105 t, der so hergestellt und

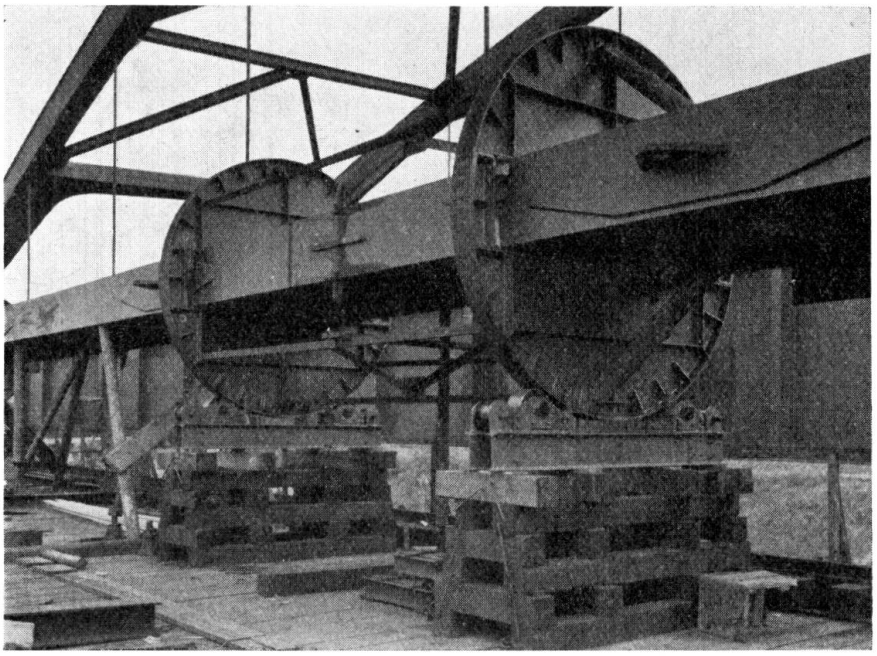


Fig. 6.

als Ganzes auf werkseigenen Wagen von Dortmund-Derne zur Baustelle (Rügendamm) geschafft worden ist. Bei noch größeren Abmessungen kann man die Stegbleche und Gurtplatten vollständig auf der Baustelle zusammenschweißen. Nur muß man dort die gleichen Vorrichtungen und Verhältnisse schaffen wie in der Werkstatt. Es ist selbstverständlich, daß in diesem Falle auch auf der Baustelle alle Nähte schweißgerecht von oben in Drehvorrichtungen und vor Wetter geschützt hergestellt werden. Als Beispiel sei die Herstellung von vier geschweißten Blechträgern (je 130 m lang) (Balken auf 4 Stützen, Fig. 2, 3, 4) für die Elbebrücke bei Dömitz aus St. 52 angeführt. Die Träger sind genau wie oben dargelegt angefertigt worden. Schwierigkeiten haben sich nicht ergeben, obwohl man hierbei zum ersten Male in dieser Weise vorgegangen ist. In gleicher Weise sind die rd. 95 m langen Versteifungsträger für einen Langer-Balken im Zuge der Reichsautobahn über den Lech bei Augsburg angefertigt worden (Fig. 5, 6).

Man sieht, die Verhältnisse für das Schweißen von Blechträgern liegen bis jetzt außerordentlich günstig. Sie werden schwieriger, sobald sich Universalstöße nicht mehr vermeiden lassen, wenn man fertige Trägerquerschnitte an-

einanderschweißen muß. Zusätzliche Wärmespannungen infolge äußerer Verspannung sind dann nicht zu vermeiden. Man ist jedoch in der Lage, durch geeignete Schweißfolge dieselben in durchaus tragbaren Grenzen zu halten und darüber hinaus so zu beeinflussen, daß man z. B. in dem Bereich größter Zug-

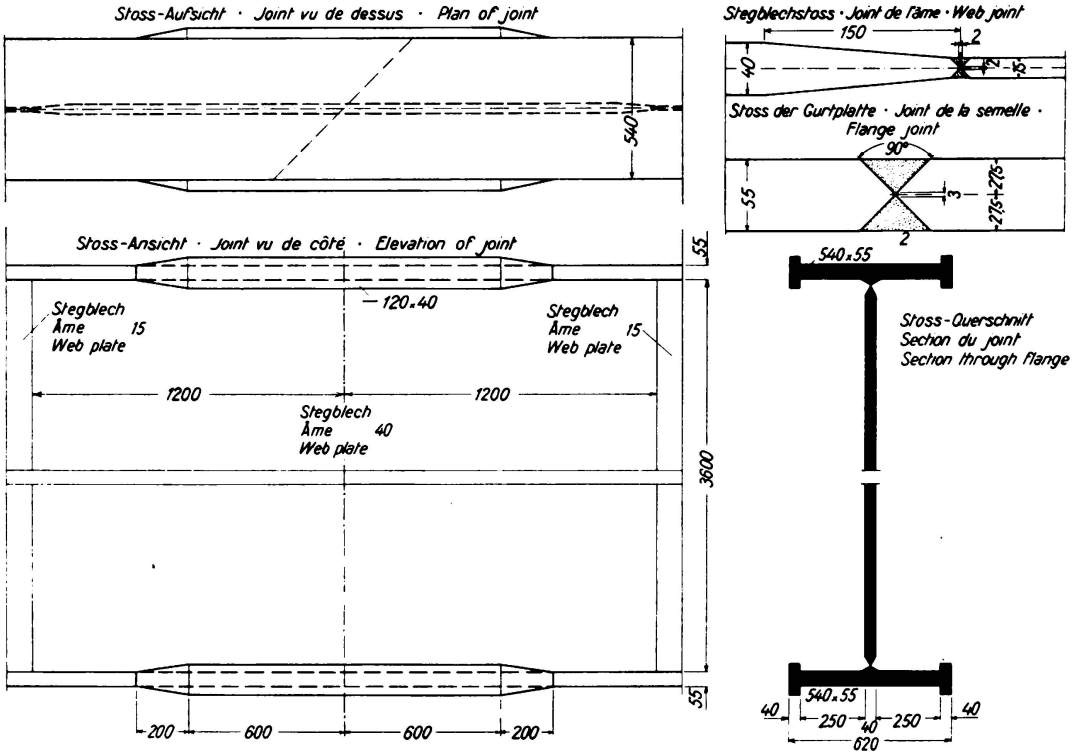


Fig. 7.

spannungen aus dem Schweißvorgang her eine Druckspannung als Vorspannung hat und umgekehrt. Als Beispiel sei auf den in der Fig. 7 dargestellten Stoß der Blechträger für die Brücke über den Strelasund im Zuge des Rügendamms verwiesen. Es handelt sich dabei um geschweißte durchlaufende Balken auf 6 Stützen über 5 Öffnungen von je 54 m. Nach genauen Messungen des

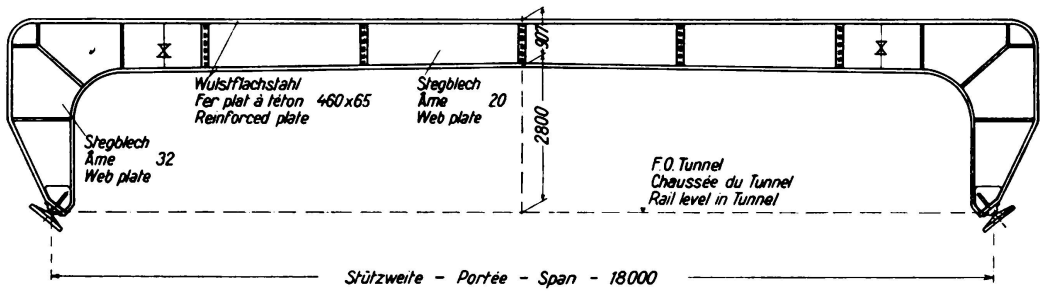


Fig. 8.

Staatl. Materialprüfungsamts in Dahlem ist ein Schweißvorgang gefunden worden, bei dem die aus Eigengewicht und Verkehrslast am höchsten auf Zug beanspruchte Gurtung im Mittel eine Vorspannung von rd. 300 kg Druck hatte. Das verstärkte Stegblech stand im mittleren Drittel unter einer Vorspannung von etwa 350 kg Zug.

Bei Blechbogen und Blechrahmen liegen die Verhältnisse der Wärmespan-

nungen kaum weniger günstig als bei Blechträgern, solange man dafür sorgen kann, daß Spannungen durch äußere Verspannung vermieden werden. Bei den Blechrahmen nach Fig. 8 (Duisburg) sind zunächst die drei Stegblechstücke für sich zusammengeschweißt und dann erst mit den beiden aus je einem Stück gebogenen, ungestoßenen Gurtungen verbunden worden. Weil man von der

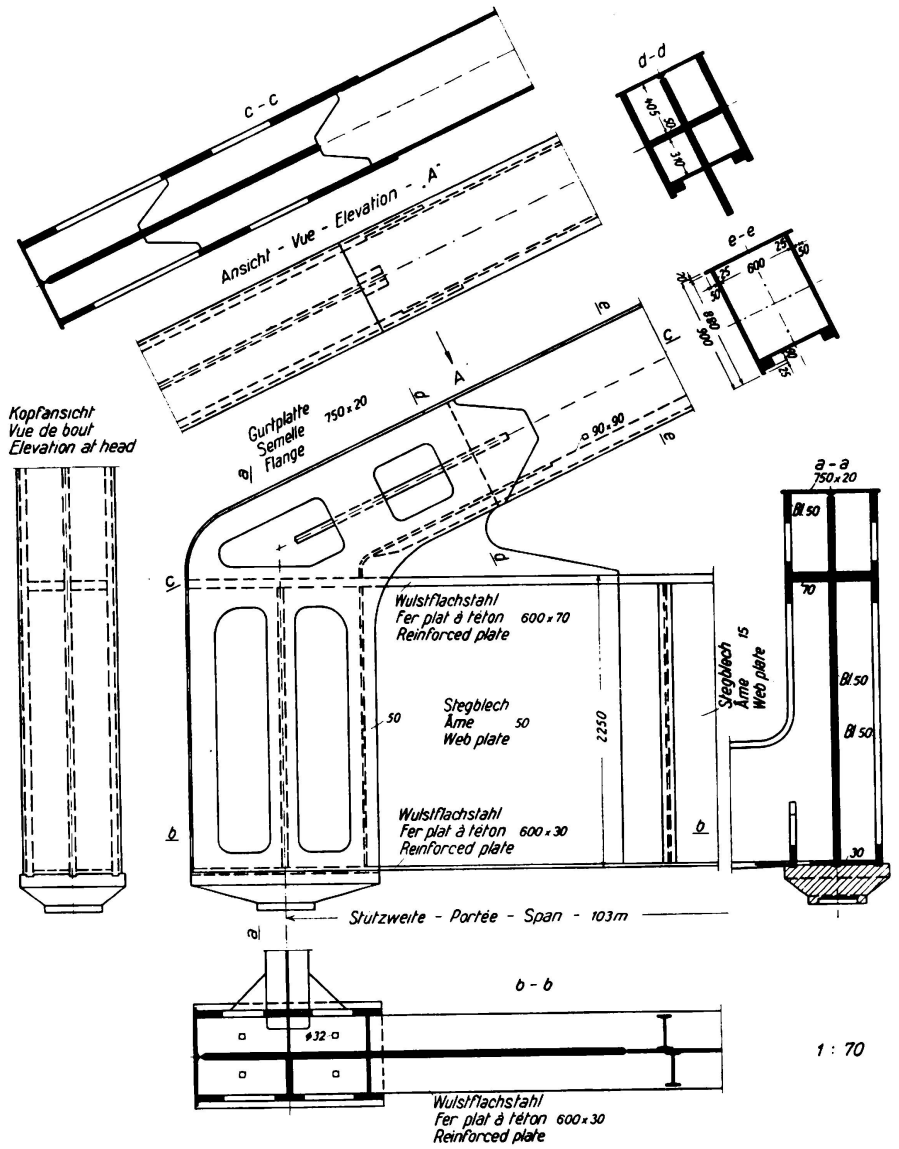


Fig. 9.

Mitte des Bogens nach den beiden Gelenken schweißte und weil man weiter durch entsprechende Vorrichtungen die Gurtplatten an den Stegblechstrang heranholte, wurden zusätzliche Wärmespannungen durch äußere Verspannungen vermieden.

Bisher ist nur von Gebilden gesprochen worden, die man als eben bezeichnen kann. Schwieriger sind Schrumpfspannungen aus äußerer Verspannung in räumlichen Gebilden zu beherrschen. Man muß dazu unter Umständen besondere Mittel anwenden. So stellt Fig. 9 den Endpunkt eines geschweißten Langer-Balken von 104 m Stützweite dar, der nur aus gewalzten Querschnitten zusammengeschweißt ist. Wenn das Schweißen dieses Stückes auch keine unüber-

windlichen Schwierigkeiten gemacht hat, so ist andererseits die Ausführung nicht gerade leicht gewesen. Auch war an dem Stück sehr viel Schweißarbeit. Das Endstück ist für zwei Überbauten insgesamt achtmal ausgeführt worden. Eingehende Untersuchungen, auch mit Durchstrahlungen, haben einwandfreie Beschaffenheit ergeben. Die an dieser Arbeit gesammelten Erfahrungen führten dazu, für den bereits herangezogenen Langer-Balken von 95 m Stützweite die Endpunkte nach Fig. 10 herzustellen. Zur Erleichterung der Schweißarbeit und zur Verminderung von Schrumpfspannungen ist zwischen den doppelwandigen

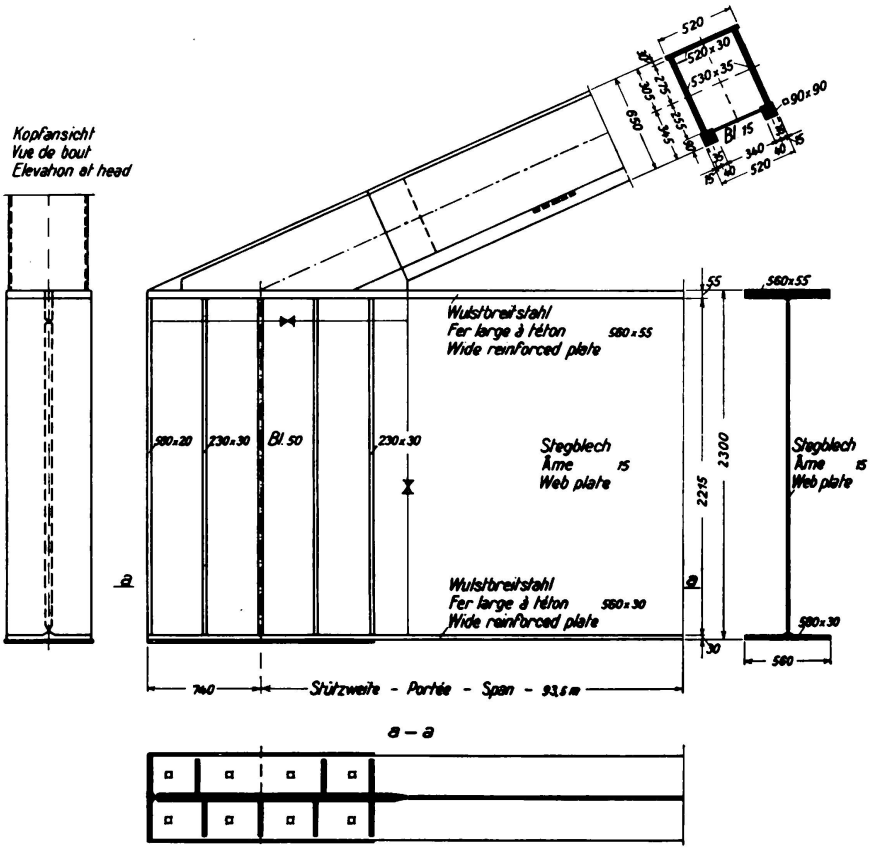


Fig. 10.

Stabbogen und den einwandigen Versteifungsträgern ein Schmiedestück zwischengeschaltet, das mit einem starken Ansatz in den Versteifungsträger hineingreift und mit dem Stegblech und der geschlitzten Gurtplatte desselben in einfachster und bester Weise ohne Schrumpfspannungen aus äußerer Verspannung verschweißt worden ist. Auf dieses Schmiedestück setzt sich der doppelwandige Stabbogen auf. Ich glaube, diese Ausführung spricht für sich selbst, so daß nicht viel dazu zu sagen ist.

Um Schrumpfspannungen zu vermeiden, soll man sich nicht scheuen, in besonderen Fällen an einem geschweißten Bauwerk zu nieten. Hierdurch kann oft eine Verbilligung erzielt werden. Man soll nicht alles und unter allen Umständen schweißen wollen. Mit dieser Auffassung habe ich bereits auf dem vorigen internationalen Kongreß in Paris 1932 Zustimmung gefunden. Es ist z. B. durchaus vertretbar, an geschweißten Stahlbrücken die Anschlüsse der Längs- und Querträger sowie der Windverbände zu nieten. Für die Aufstellung größerer Brücken

hat man an diesen Stellen zur Erleichterung der Arbeit ja doch Schraubenverbindungen nötig, mit denen man in den aufzustellenden Überbau Halt bringt. Es liegt dann nahe, diese Schraubenverbindungen auszubauen, daß sie als Nietverbindungen unter Einsparung von Schweißnähten genügen. Für geschweißte Fachwerkbrücken ist nach meinen Erfahrungen die wirtschaftlichste Herstellung die, daß man die einzelnen Glieder des Fachwerks und der Fahrbahn aus den Walzstäben für sich zusammenschweißt und die Knotenpunkte und Anschlüsse nietet. In den gezogenen Querschnitten kann man die Schwächung durch die Nietlöcher mit aufgeschweißten örtlichen Verstärkungen ausgleichen. Ich habe nach diesen Erfahrungen mit bestem wirtschaftlichen Ergebnis mehrere Überbauten hergestellt, von denen Fig. 11 einen darstellt.

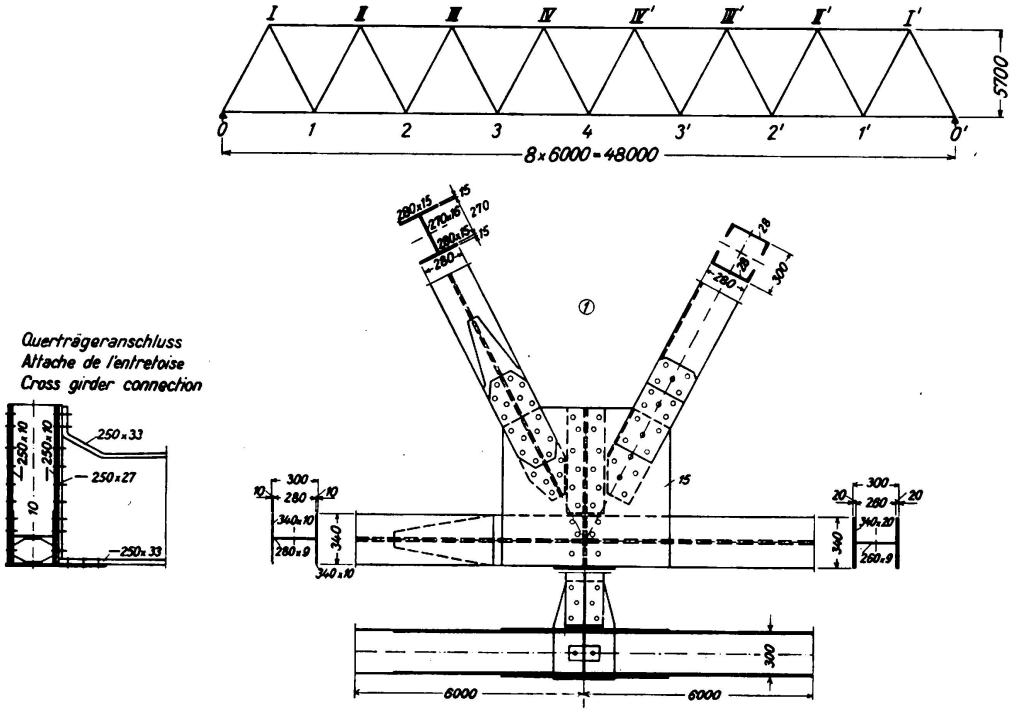


Fig. 11. Hauptträger. Knotenpunkt Nr. 1.

Die zweite Aufgabe ist gelöst, wenn, wie in allen normalen Konstruktionen mit normal starken Nähten, die Wärmespannungen nicht größer werden als die Walzspannungen in Walzträgern. Denn von diesen wissen wir aus den Erfahrungen von Jahrzehnten, daß sie nicht schädlich sind. Nun hat man aber in besonders gearteten Konstruktionen mit besonders dicken Nähten Schweißspannungen gemessen, die z. T. über 2000 kg/cm² liegen. Solche Spannungen kann man nicht ohne weiteres als unschädlich hinnehmen. Hierauf hat bereits im Jahre 1931 Reichsbahnoberrat *Dr. Schröder* hingewiesen und auch Erklärungen über das Entstehen so hoher Schweißspannungen gefunden. Durch Versuche an kleinen Stücken ergab sich aber, daß diese Schweißspannungen sich nicht zu den Spannungen aus Belastung addieren und damit auch nicht die Tragfähigkeit des Stückes gefährden. Eine einwandfreie Begründung hierfür hatte man nicht; die Tatsache aber stand fest. Als immer wieder Bedenken auftauchten, entschloß sich *Dr. Schaper* zu Versuchen an Stücken in natürlicher Größe, die auch ver-

öffentlicht werden sollen.[6] Ein Versuch sei beschrieben: Von einem vollständig geschweißten Rahmen der Überbauten für den Personentunnel in Duisburg (Fig. 8) wurden die beiden Ecken abgeschnitten und in die 600 t-Presse in Dahlem eingespannt. In den Stücken waren die in Fig. 12 dargestellten Schweißspannungen gemessen. Die Ecke hat über 2500 kg/cm² Versuchsspannungen ohne sichtliche Schäden ausgehalten. Eine höhere Belastung war in der Maschine nicht möglich. Die Ecke soll hierzu in eine größere Maschine gespannt werden. Dieser Versuch bestätigt, daß auch Schweißspannungen über 2000 kg/cm² die Tragfähigkeit geschweißter Konstruktionen nicht gefährden. Die weiteren Großversuche *Schapers* haben das gleiche Ergebnis gezeitigt.

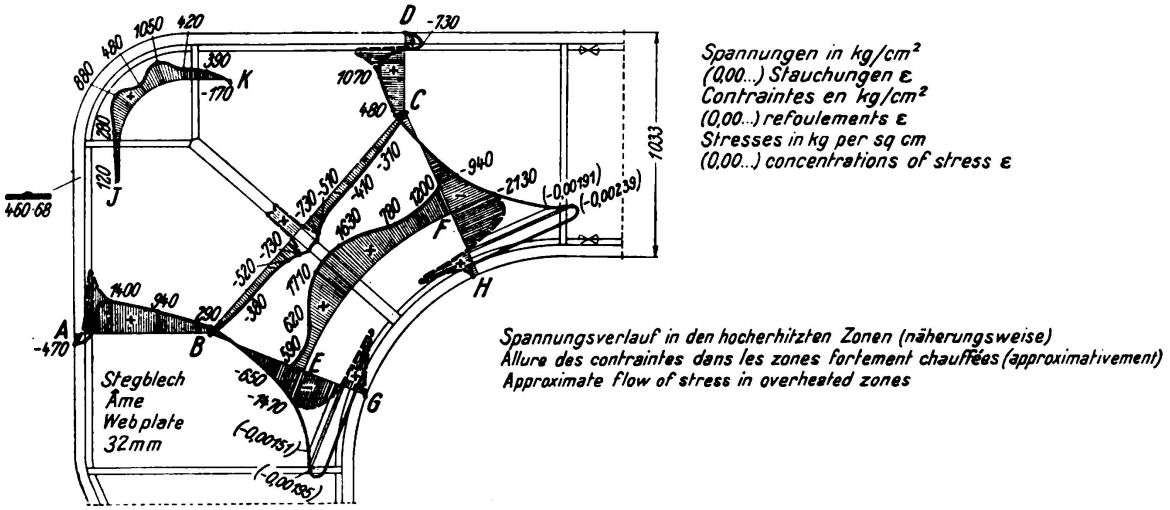


Fig. 12. Messung der Schweiß-Spannungen bei der Herstellung.

Ich möchte abschließend auf einen Aufsatz von *Körber* und *Mehovar*[7] hinweisen, in dem nachgewiesen wird, daß in walzneuen Schienen bereits durch Lagern die mechanischen Eigenschaften sich ändern: Die Dehnung und Einschnürung vor dem Bruch — Merkmale und Maßstab für höheres Arbeitsvermögen — erfahren durch längeres Lagern eine bedeutende Steigerung. Durch Anlassen und Glühen wird diese Wirkung schneller und in erhöhtem Maße erreicht. Als Grund vermutet man den Ausgleich von Gefügespannungen. Man kann zwar die diesbezüglichen Verhältnisse von Schienenstahl nicht ohne weiteres auf unsere Baustähle übertragen. Andererseits können sie nicht allzu sehr voneinander abweichen. Man kann folgern, daß auch in Schweißnähten durch Lagern ein Ausgleich von Gefügespannungen eintritt. Wenn in dem angezogenen Aufsatz eine weitere Steigerung der Dehnungs- und Einschnürungswerte nach einer umkristallisierenden Glühung festgestellt wurde, so liegt der Gedanke nahe, auch wichtige Schweißnähte und deren Umgebung entsprechend zu behandeln. Ich glaube, daß in dieser Hinsicht eine weitere Verbesserung der Schweißnähte möglich ist.

[6] Inzwischen veröffentlicht: *Schaper:* Die Schweißung im Ingenieurhochbau und Brückenbau. „Elektroschweißung" 1937, H. 7.

[7] *Friedrich Körber* und *Johannes Mehovar:* Beitrag zur Kenntnis der zeitlichen Änderungen der mechanischen Eigenschaften walzneuer Schienen, insbesondere aus Thomasstahl. „Mitteilungen aus dem Kaiser-Wilhelm-Institut für Eisenforschung zu Düsseldorf", Bd. XVII, Lieferung 7, Abhandlung 277.

IIIb 8

Aus der Praxis der geschweißten Konstruktionen.

Sur la pratique des constructions soudées.

Structural Welding in Practice.

Dr. Ing. A. Fava,
Chef de Service aux Chemins de fer de l'Etat, Rome.

Auf allen Gebieten der Stahlkonstruktionen hat die Schweißung nunmehr in Italien in die tägliche Praxis Eingang gefunden; gewisse Schwierigkeiten ergeben sich indessen bei der Konstruktion von großen Brückenträgern. Wenn nach allen Regeln der Kunst verfahren wird, gelingt es relativ leicht, geschweißte Verbindungen zu erhalten, welche die notwendige Widerstandsfähigkeit aufweisen, auch wenn sie durch dynamische Einwirkungen beansprucht werden; die Schwierigkeiten rühren im Gegenteil von den Formänderungen her, die in der Konstruktion der großen Brückenträger bei der Abkühlung der Schweißnähte auftreten und von den inneren Spannungen, die im Material entstehen, die — wie man experimentell gefunden hat — sehr hohe Werte annehmen, wenn diesen Formänderungen entgegengewirkt wird.

Um die Formänderungen oder die entsprechenden inneren Kräfte zu beschränken, muß man, wenn man nicht starke Dicken anwenden will, zu einer Reihe von Auswegen und Hilfsmitteln greifen, welche die Gesamtkosten dieser geschweißten Konstruktionen bemerkenswert erhöhen. Die Verminderung des Gewichtes war bisher noch nicht in dem Maße möglich, daß die Gesamtkosten-Erhöhung hätte ausgeglichen werden können. Für die großen Brückenträger fehlt unter den heutigen Bedingungen der wirtschaftliche Vorteil des Schweißverfahrens. Zu diesem greift man jedoch in Italien, weil das Bedürfnis vorherrscht, an Eisen zu sparen. Andererseits muß man beachten, daß bei den italienischen Walzwerken Untersuchungen über das Walzen einer Reihe von Spezialprofilen im Gange sind, welche die Durchführung der Schweißarbeiten erleichtern und es ermöglichen sollen, die Formänderungen zu beschränken. Von diesen Profilen erwartet man die wirtschaftliche Lösung des Problems.

Im Netz der Staatsbahnen sind verschiedene Brücken im Bau mit vollwandigen Hauptträgern mit einer Spannweite bis zu 40 m, die vollständig geschweißt sind. Für größere Spannweiten verwendet man Brücken mit Fachwerkhauptträgern, bei welchen alle Teile einschließlich der Schwellen geschweißt sind, und nur die auf Montage herzustellenden Verbindungen (einschließlich der Anschlüsse der Fachwerkstäbe an die Gurten sind genietet.

Fig. 1 stellt eine dieser Brücken dar, und Fig. 2 zeigt ihre Querträger, während sie geschweißt werden und auf einer Vorrichtung montiert sind, die erlaubt, sie leicht und rasch zu verschieben und daher die Aufeinanderfolge der Schweißnähte in der günstigsten Weise anzuordnen, um Formänderungen zu beschränken.

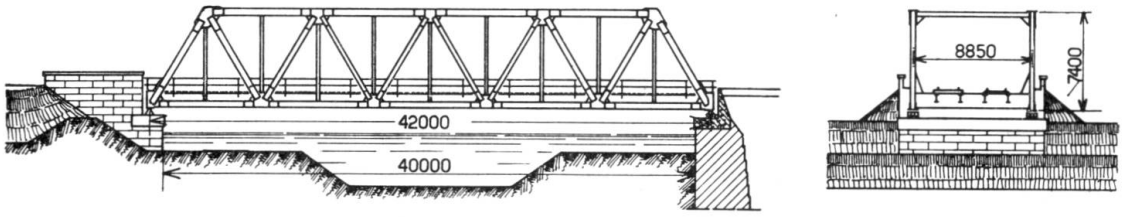


Fig. 1.

Trotz jeder Maßnahme an diesen Trägern sind die Trägeranschlußflächen durch die Wirkung des Schrumpfens der Schweißnähte während der Abkühlung gewölbt. Wo es beim Einpassen der Anschlüsse notwendig war, daß diese Flächen absolut eben seien, hat man keine andere Abhilfe gefunden, als den Profilen eine vorherige Wölbung im entgegengesetzten Sinne als dem zu geben, der bei der Abkühlung entstanden wäre. Das gibt eine Vorstellung von den Kosten dieser Arbeiten.

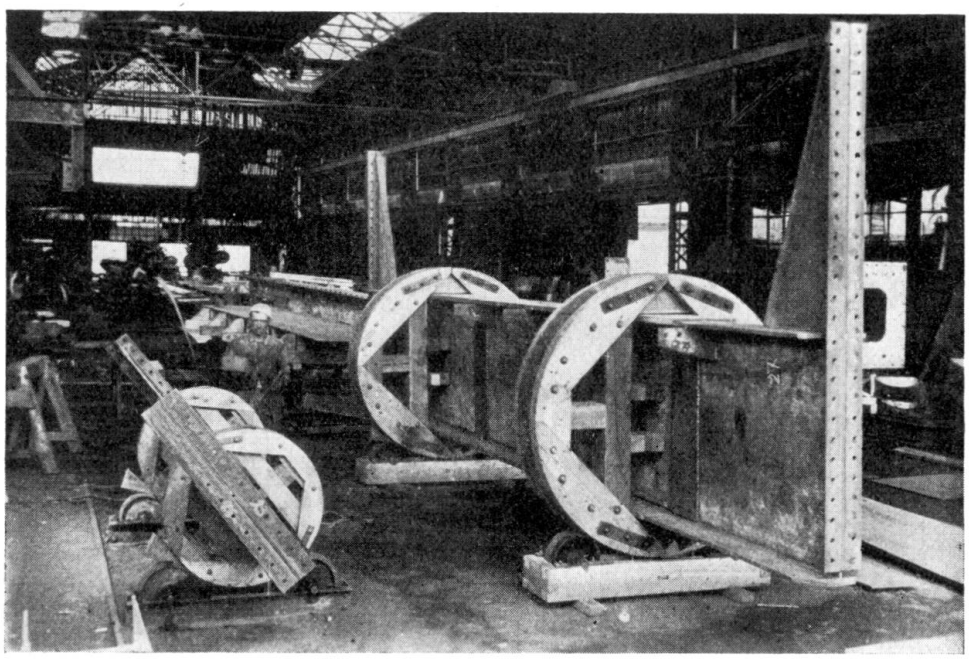


Fig. 2.

Anstatt sich bei der Erklärung dieser Eisenbahnbrücken aufzuhalten, sei auf einige vollständig geschweißte Brücken für Straßen hingewiesen, welche, wenn sie auch von bescheidener Größe sind, von Interesse sein können als Einleitung der Entwicklung zu bedeutenderen Bauwerken. Sie bestehen aus Fachwerk-

hauptträgern, deren Wandstäbe auch an ihren Anschlüssen geschweißt sind; die Querschnitte der Profile konnten im Verhältnis zu den Kräften, die sie aufzunehmen haben, derart ausgewählt werden, daß sich die Formänderungen auf ein Minimum beschränken lassen.

Fig. 3 und 4 beziehen sich auf einige Brücken über den Wildbach Isorno bei Domodossola. Sowohl die Gurtungen wie auch die Wandstäbe der Hauptträger

Fig. 3.

haben röhrenförmigen Querschnitt, der durch Zusammensetzung von [-Eisen mittels Schweißung erzielt wurde. Diese Teile (Fig. 4) haben Schlitze, in welche die Anschlußbleche eingefügt werden.

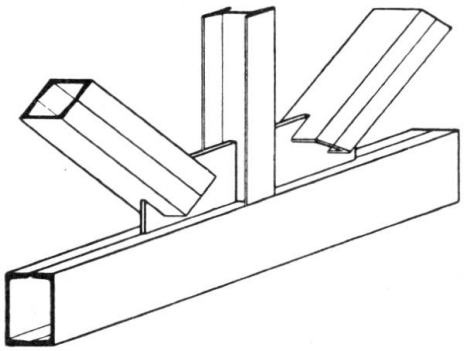


Fig. 4.

Fig. 5 und 6 beziehen sich auf zwei 25 m lange Brücken über die Etsch bei Cengles. Auch bei diesen Brücken hat man die Gurte der Fachwerkhauptträger durch Zusammenfügung von [-Eisenpaaren mittels Schweißung erhalten; die Füllstäbe werden durch zwei [-Eisen gebildet, die mit Bindeblechen verbunden

sind; die Vertikalstäbe sind durchbrochen und wurden erhalten, indem man die Stege der I-Eisen in entsprechender Weise mit dem Brenner zerschnitt, die beiden erhaltenen Teile überschob und dann die vorstehenden Teile verschweißte.

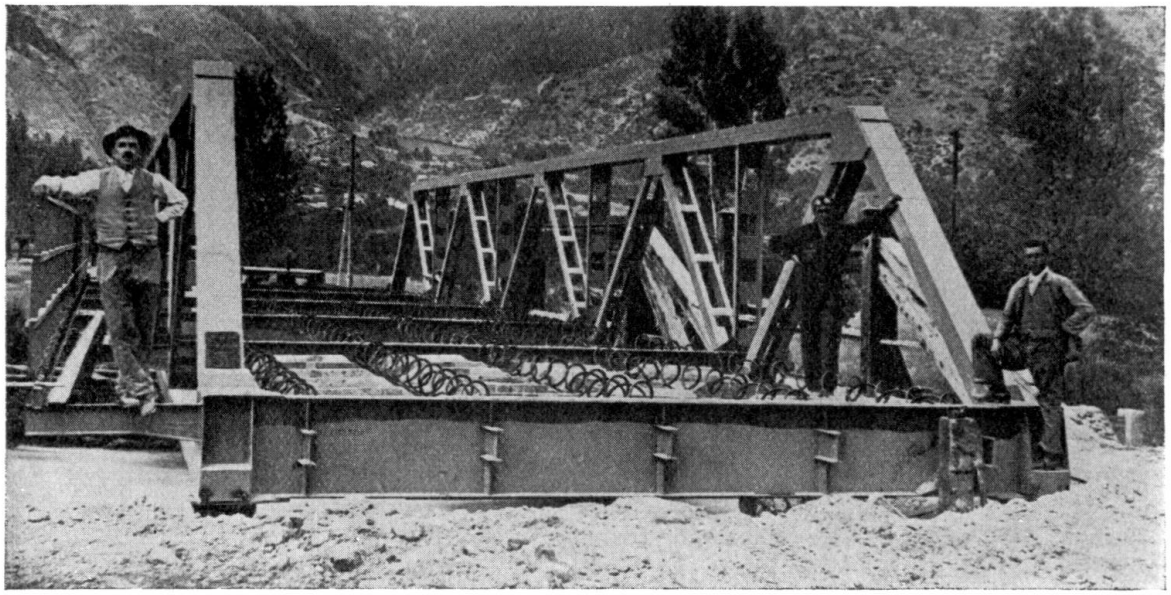


Fig. 5.

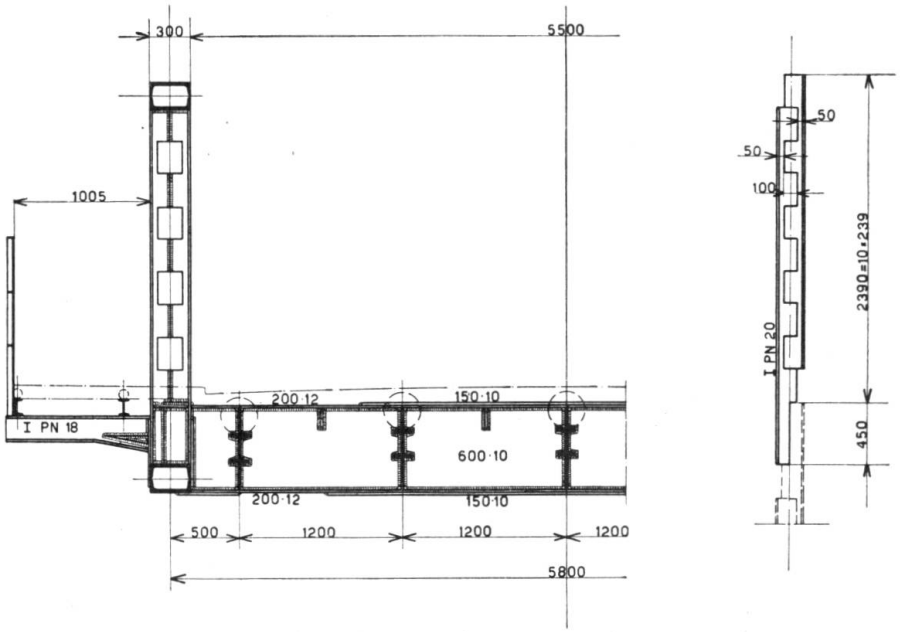


Fig. 6.

Die Balkenlage besteht aus Walzträgern des bekannten Typs Alpha, überdeckt mit einer Eisenbetonplatte.

Fig. 7 und 8 stellen eine 30 m lange vollwandige Straßenbrücke dar, die mit einem leichten oberen Druckgurt ausgerüstet ist. In dieser sehr leicht ausgeführten Konstruktion von elegantem Aussehen sind alle Teile geschweißt, einschließlich der Lager.

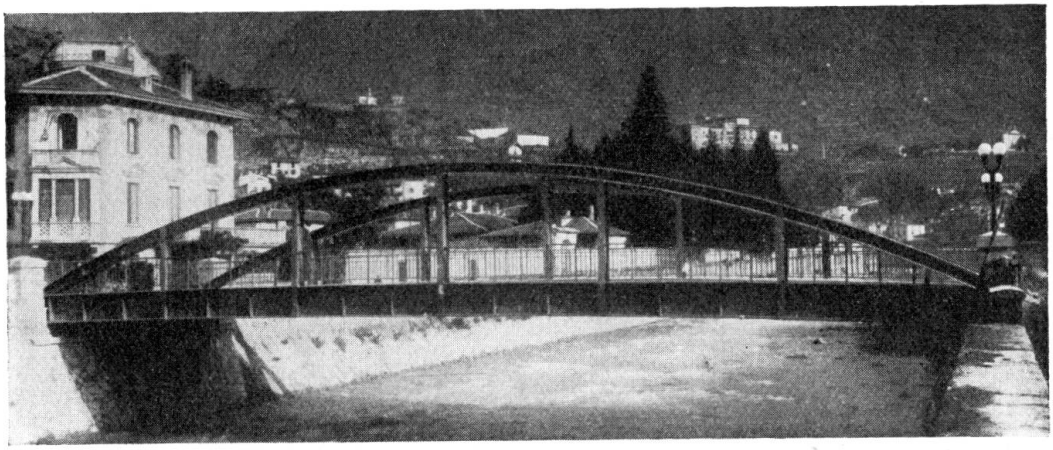


Fig. 7.

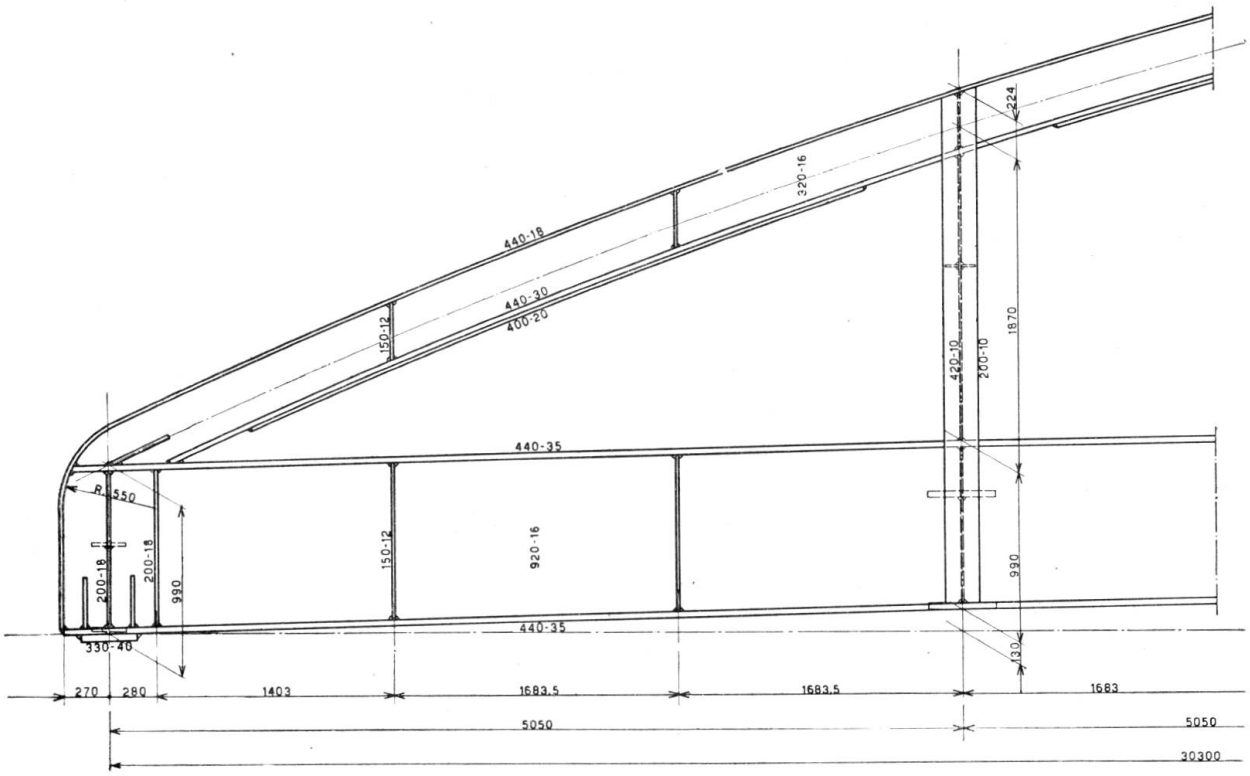


Fig. 8.