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

Band: 7 (1964)

Artikel: Hochleistungsgeschweisste Stahlkonstruktionen

Autor: Neumann, Alexis

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-7857

Nutzungsbedingungen

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

Conditions d'utilisation

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

Terms of use

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

Download PDF: 18.02.2026

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

IIc2

Hochleistungsgeschweißte Stahlkonstruktionen

High-Power Welding-Processes for Steel Structures

Soudage à haut rendement dans les constructions métalliques

ALEXIS NEUMANN
Halle/S. und Karl-Marx-Stadt

1. Schweißtechnologische Fragen der Hochleistungs-Schweißverfahren

Im Stahlbau haben bekanntlich bisher vorwiegend zwei Schweißverfahren Anwendung gefunden:

— die E-Schweißung (Lichtbogenhand-Schweißung mit Schweißelektroden);
— die UP-Schweißung (Unterpulver- oder Ellira-Schweißung).

Der Einsatz dieser Schweißverfahren in Stahlbaubetrieben gestaltete sich in der Werkstatt und auf der Baustelle (Montage) verschieden.

Die UP-Schweißung wird vorwiegend in den Werkstätten, im Stahlbau, für lange Kehlnähte, als Halsnähte bei Biegeträgern und als Längskehlnähte bei geschweißten Stäben von Großfachwerken u. ä. angewandt. Einsatz findet dieses Verfahren auch vor allem für Stumpfnähte an Blechen aller Art, z. B. für Gurte, Stege usw. Die Montageschweißung mittels UP ist in Deutschland beschränkt ausgeführt worden, während sie im Ausland stärkere Anwendung findet. [2], S. 219, [3]. Der E-Schweißung sind im Stahlbau in der Werkstatt vorwiegend kurze Nähte aller Art, Kehlnahtanschlüsse usw. verblieben. Die Montageschweißungen werden fast vollständig mittels der E-Schweißung ausgeführt.

Die neuen Hochleistungs-Schweißverfahren wie z. B. die CO_2- und ES-Schweißung beginnen für den Stahlbau große Bedeutung zu erlangen.

Die *CO_2-Schutzgas-Schweißung* (CO_2-Schw.) findet in unseren Stahlbaubetrieben in nachstehenden Formen Anwendung:

— als teilautomatische Schweißung (bisheriger Begriff: Schweißen mit Vollautomaten);
— als mechanisierte Schweißung (bisheriger Begriff: Schweißen mit Halbautomaten);
— als Punktschweißung (mit einer CO_2-Punktschweißpistole).

Der Einsatz der teilautomatischen CO_2-Schweißung im Stahlbau erfolgt vorwiegend in der Werkstatt für alle Halbserien ähnlich der UP-Schweißung bei starkem Einsatz von Vorrichtungen für die waagrechte Schweißposition.

Der Einsatz der mechanisierten CO_2-Schweißung erfolgt in den Stahlbauwerkstätten für alle kurzen Schweißnähte oft ohne Vorrichtungen in allen Positionen. Das neue Anwendungsgebiet im Stahlbau ist der Einsatz auf der Montage mit vorwiegend Senkrecht- und Überkopfnähten. Hierbei macht sich ein besonderer Windschutz zur Gewährleistung des kontinuierlichen CO_2-Schutzmantels erforderlich.

Die CO_2-Punktschweißung wird im Stahlbau in allerletzter Zeit mit Erfolg dort angewandt, wo bei statisch beanspruchten Konstruktionen ein Anschluß von dünnen Blechen auf dickere Tragsysteme erforderlich ist. Über dieses bei uns eingesetzte Verfahren wird im nachstehenden aus Raumgründen nicht näher berichtet.

Die *ES-Schweißung* fand ihre ersten Einsätze im Kessel- und Behälterbau für dickwandige Querschnitte [4]. Im Stahlbau gewinnt sie für die Verwendung von Blechdicken über 30 mm immer größere Bedeutung. Der bekanntlich senkrecht verlaufende Schweißvorgang erfordert in der Werkstatt Spezialeinrichtungen. Für die Montage, besonders für Brückenstöße ist die ES-Schweißung bei dickeren Querschnitten ebenfalls gut geeignet. Ob die Erfahrungen des Schiffbaues, auch mitteldicke Bleche von 10—30 mm zu verschweißen, auf den Stahlbau übertragen werden, bleibt abzuwarten.

Die wichtigsten *Vorteile* der modernen Hochleistungs-Schweißverfahren im Stahlbau können wie folgt zusammengefaßt werden:

1. hohe Abschmelzleistung (kg Schweißgut/Std. reiner Schweißzeit);
2. einfachere Nahtvorbereitung (sehr oft J-Naht) und damit geringerer Zusatzwerkstoffverbrauch (cm^3 Schweißgut);
3. höhere Schweißgeschwindigkeiten (m/Std.) und damit geringere Schweiß-Grundzeiten (t_G in min/m reiner Schweißzeit);
4. geringere Herstellungszeiten ($t_0 = t_G + t_H$ in min/m; Operativzeit = Grundzeit + Hilfszeit);
5. geringere Herstellungskosten;
6. bei zusätzlichem Einsatz von Vorrichtungen, der hier besonders gut möglich ist, weitere Abminderung der Herstellungszeiten und -kosten durch Verminderung der Hilfszeiten.

Ein großer Vorteil der CO_2-Schweißung ist der fehlende Pulvereinsatz, der den technologischen Prozeß oft behindert.

Die *Abschmelzleistung* der E-Schweißung kann als Vergleichswert im Mittel mit rund 1,5 kg/Std. für die Anwendung aller Elektrodendurchmesser und Elektrodensorten angenommen werden. Der Wert ist wegen der beschränkten Steigerung der einzuführenden Energie (Stromstärke in A) nicht wesentlich im E-Schweißverfahren zu steigern.

Die UP- und CO_2-Schweißung bringen bei den verschiedenen Durchmessern und angemessenen Stromstärken ohne Schwierigkeiten Abschmelzleistungen

von 4—10 kg/Std. und mehr; die Elektroschlackeschweißung von 20 kg/Std. und mehr.

Ein besserer Maßstab für die Leistung ist jedoch die erforderliche *Schweißzeit*, bezogen auf die gesamte zu schweißende Blechdicke bzw. Nahtdicke. Beispiele hierfür sind in den Fig. 1 bis 4 gegeben.

Als Beispiel für die Werkstattfertigung sind Stumpfnähte, waagrecht geschweißt, beiderseits zugängig in den Fig. 1 und 2 gewählt. Für die Montageschweißung sind dagegen als Beispiel Kehlnähte, senkrecht (steigend) geschweißt, in den Fig. 3 und 4 veranschaulicht. In den Fig. 1 und 3 ist jeweils die reine Schweißzeit, die sogenannte Grundzeit, für 1 Meter Naht in Minuten (t_G in min/m), in den Fig. 2 und 4 die Operativzeit ($t_0 = t_G + t_H$) dargestellt. Als Hilfszeiten (t_H) werden je nach dem Verfahren Tätigkeiten wie reinigen der Nahtflanken, Elektroden auswechseln, Geräte verschieben u. ä. hinzugerechnet.

Als Schweißverfahren sind in diesen Schaubildern ausgewertet:

— die E-Schweißung mit einer erzsauren Elektrode (Es VIII s) mit optimalen Schweißwerten in bezug auf Elektrodendurchmesser und Stromstärke für die waagrechte bzw. senkrechte Schweißposition und mit entsprechenden Nahtvorbereitungen;

— die mechanisierte CO_2-Schweißung (mittels sogenannten Halbautomaten) mit einigen möglichen technologischen Werten für die waagrechte und

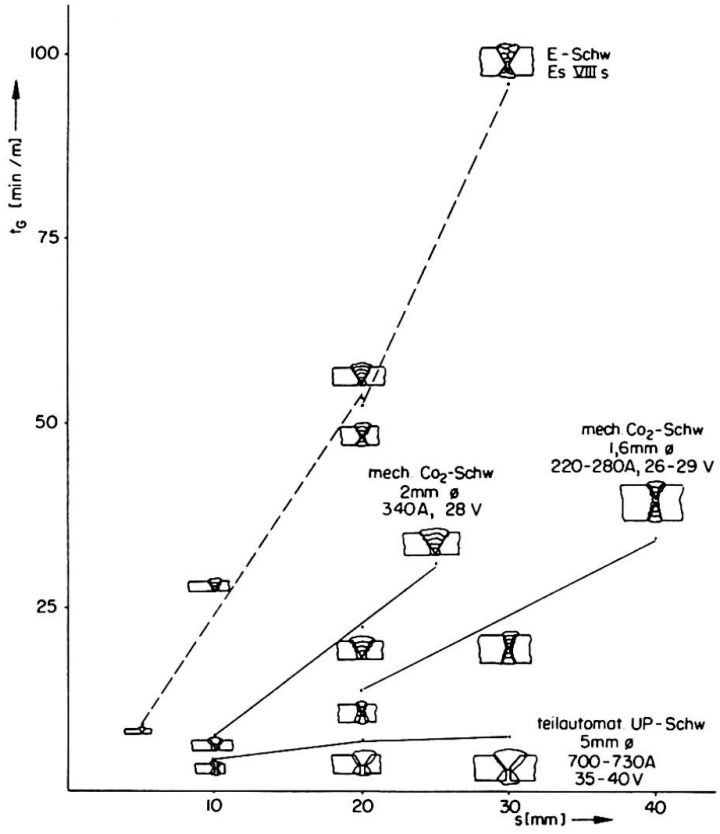


Fig. 1. Schweiß-Grundzeiten t_G (min/m) für Stumpfnähte (waagrecht) in Abhängigkeit von der Blechdicke s (mm).

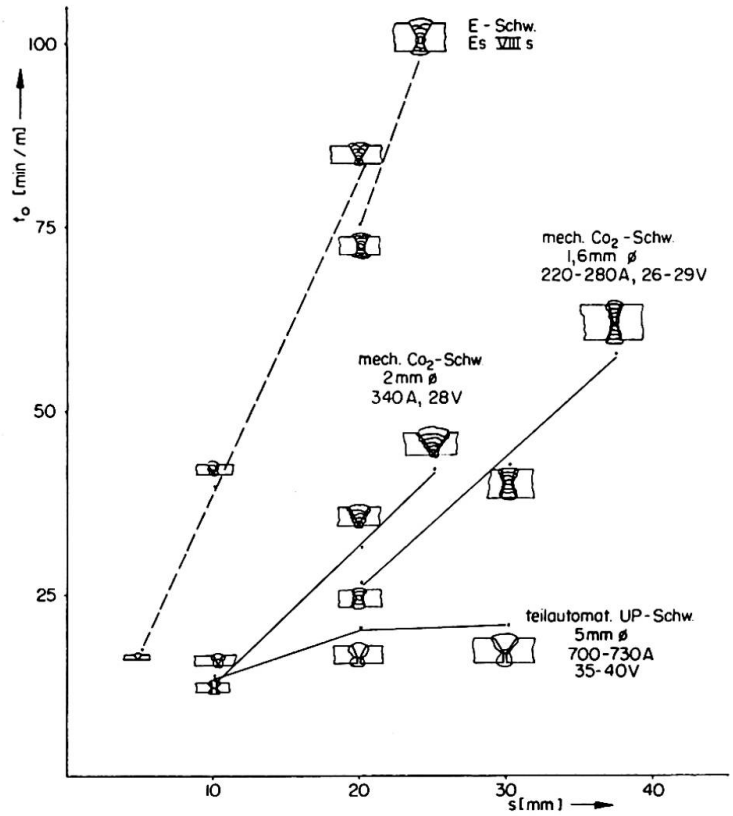


Fig. 2. Schweiß-Operativzeiten $t_0 = t_G + t_H$ (min/m) für Stumpfnähte (waagrecht) in Abhängigkeit von der Blechdicke s (mm).

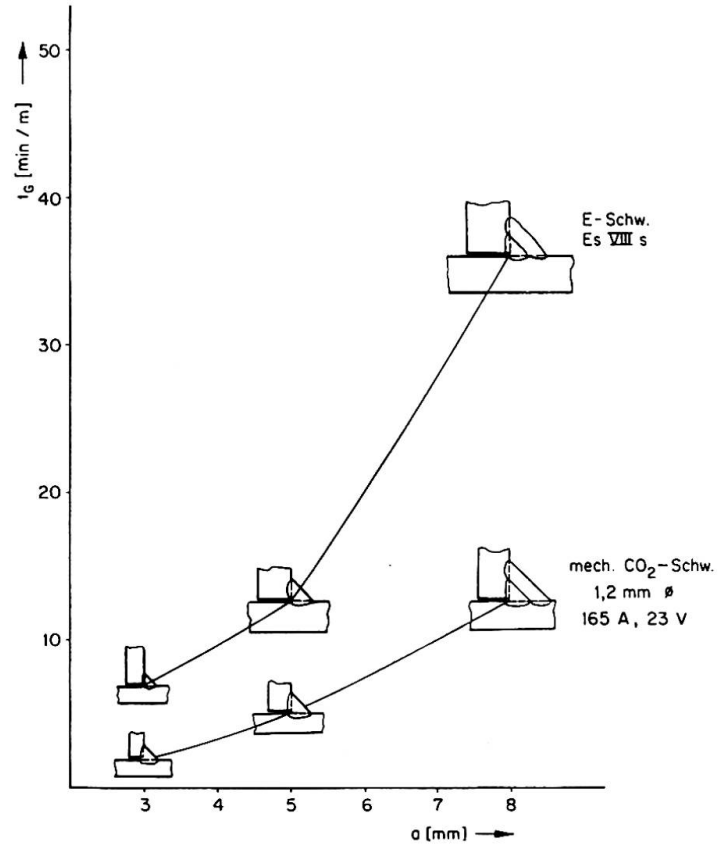


Fig. 3. Schweiß-Grundzeiten t_G (min/m) für Kehlnähte (senkrecht-steigend) in Abhängigkeit von der Blechdicke s (mm).

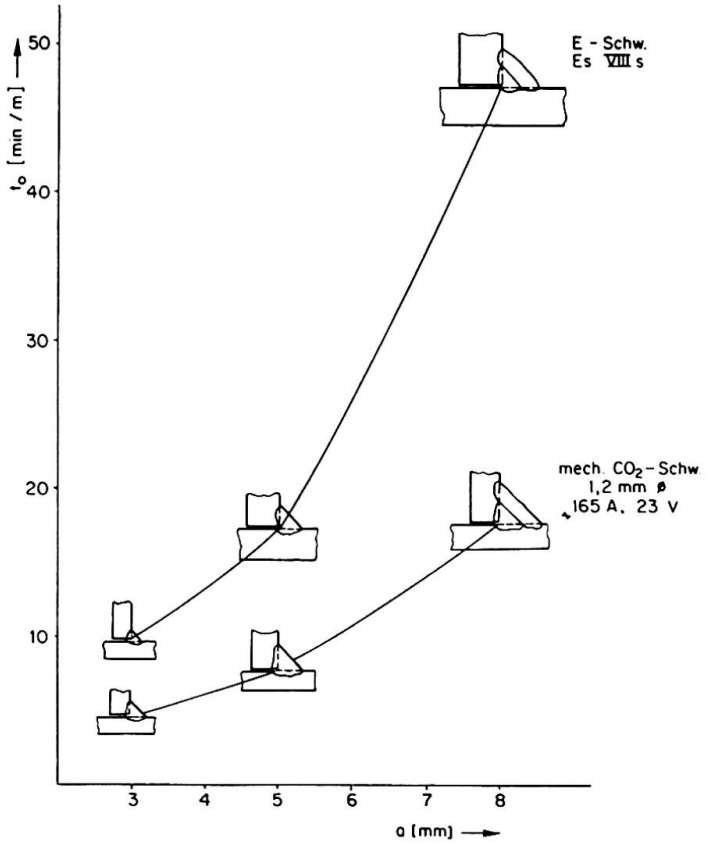


Fig. 4. Schweiß-Operativzeiten $t_0 = t_G + t_H$ (min/m) für Kehlnähte (senkrecht-steigend) in Abhängigkeit von der Blechdicke s (mm).

senkrechte Schweißposition und mit entsprechenden Nahtvorbereitungen. Stärkere Verschiebungen dieser Schweißdaten sind hier durchaus möglich;

— die teilautomatische UP-Schweißung (mittels sogenannten UP-Vollautomaten) mit ebenfalls einigen möglichen, aber durchaus veränderlichen Schweißdaten für eine waagrechte Schweißposition.

Die Fig. 1 bis 4 zeigen anschaulich die Überlegenheit der Hochleistungs-Schweißverfahren, wobei besonders die Werte der CO_2-Schweißung für die senkrechte Position z. B. im Montageeinsatz (Fig. 3 und 4) hervorgehoben werden sollten. Die Schweißzeiten der teilautomatischen CO_2-Schweißung (mittels CO_2-Vollautomaten) dürften im Werkstatteinsatz bei Stumpfnähten (waagrecht) die Werte der teilautomatischen UP-Schweißung erreichen.

Für die ES-Schweißung sind nachstehende Schweiß-Grundzeiten (t_G) im Einsatz maßgebend:

bei s = 35 mm	t_G = 40 min/m
bei s = 45 mm	t_G = 45 min/m
bei s = 60 mm	t_G = 60 min/m

und darüber.

Bei größeren Blechdicken von 100 mm und darüber sind diese Schweißzeiten außerordentlich wirtschaftlich. Für dünnere Blechdicken werden die für die Praxis geeigneten Zeitwerte ermittelt.

2. Festigkeit und Dauerfestigkeit von Stumpf- und Kehlnahtverbindungen bei Anwendung der Hochleistungs-Schweißverfahren

2.1. Vergleichswerte der bisher angewandten Schweißverfahren im Stahlbau (E- und UP-Schweißung)

Die Forschung auf dem Gebiet der Festigkeit und Dauerfestigkeit für Schweißkonstruktionen aus Stahl hat in den Jahren von 1960 bis 1963 einen gewissen Abschluß gefunden. Es sind umfangreiche Versuche besonders zur Bestimmung der Dauerfestigkeit in verschiedenen Ländern mit einzelnen Schweißteilen sowie mit ganzen Schweißkonstruktionen durchgeführt worden. Die Ergebnisse fanden ihren Niederschlag in modernen Berechnungsvorschriften für statisch und dynamisch beanspruchte geschweißte Stahlbauwerke, wobei die verschiedenen Verbindungsarten und Werkstoffe (unlegierter Stahl St 37, hochfester Stahl St 52) Berücksichtigung fanden. Die aufgebrachte dynamische Belastung in den Versuchen war in der Regel eine gleichmäßig, sinusförmig schwingende. Als Schweißverfahren wurde:

— die E-Schweißung mit Schweißelektroden, die besonders für die dynamische Beanspruchung geeignet sind,

— die UP-Schweißung mit einer geeigneten Draht-Pulver-Abstimmung

verwendet.

Die in Tafel 1 enthaltenen Werte stellen eine Auswertung der wichtigsten Versuchsergebnisse der letzten 10 Jahre dar [1], S. 44, [5, 6, 7, 8] und weitere, und beziehen sich auf einen unlegierten Werkstoff mit einer Zugfestigkeit $\sigma_B \cong 37$ kp/mm^2.

Als Zusatzwerkstoff wurde hierbei vorausgesetzt für die E-Schweißung eine erzsaure Elektrode (Es VIII s), waagrecht verschweißt; für die UP-Schweißung ein unlegierter Draht (z. B. MuK 10) mit einem abgestimmten Schweißpulver und einer Technologie, die keine besondere Nahtüberhöhung und kerbfreie Nahtübergänge ergab.

Die Schwell- und Wechselfestigkeiten stellen Endwerte der Wöhlerkurven bei über $2 \cdot 10^6$ Lastspielen dar, die in der Regel nach Stüssi [8, 9] ausgewertet wurden.

Die Dauerfestigkeiten der UP-Schweißverbindungen sind denen der E-Schweißverbindungen gleichzusetzen. Teilweise wurden sogar ein wenig bessere Werte für die UP-Schweißung erzielt, was auf den kerbfreieren, gleichmäßigeren Nahtübergang zurückzuführen ist.

Die Festigkeitswerte (σ_B, σ_S) der Schweißnaht liegen höher als die des Grundwerkstoffes. Eine maßgebende Verfahrensabhängigkeit konnte bekanntlich bei der Verwendung von unlegierten Zusatzwerkstoffen für den unlegierten Stahl nicht festgestellt werden.

Tafel 1. Vergleichswerte der Schwell- und Wechselfestigkeit der E- und UP-Schweißung für Stähle mit $\sigma_B \cong 37$ kp/mm²

	Schwellfestigkeit (σ_{Sch}) (kp/mm²)		Wechselfestigkeit (σ_W) (kp/mm²)	
	E-Schweißung	UP-Schweißung	E-Schweißung	UP-Schweißung
Stumpfnaht (IA bzw. Sondergüte) blecheben bearbeitet, durchstrahlt	23,0—26,0	25,0—30,0	13,0—14,0	17,0—18,0
Stumpfnaht (IB bzw. Normalgüte) unbearbeitet, durchstrahlt	16,0—18,0	17,0—19,0	9,0—10,0	9,0—10,0
Kehlnaht-Anschluß (bezogen auf Konstruktionsquerschnitt)	8,0—10,0	9,0—11,0	5,0—6,0	5,0—7,0
Geschw. Biegeträger mit durchgehenden Halsnähten (bezogen auf Zuggurt)	18,0—20,0	20,0—22,0	11,0—12,0	(12,0—13,0)
Geschw. Biegeträger mit am Zuggurt angeschw. Aussteifg. (bezogen auf Zuggurt)	14,0—16,0	16,0—18,0	8,0—9,0	11,0—12,0
Geschw. Biegeträger mit unterbrochenen Halsnähten (bezogen auf Zuggurt)	9,0—11,0	15,0—19,0	5,0—6,0	(10,0—11,0)

Die angegebenen Werte sollen als *Vergleich* mit anderen Hochleistungs-Schweißverfahren für statisch und dynamisch beanspruchte Stahlkonstruktionen dienen.

2.2. Festigkeits- und Dauerfestigkeitsverhalten von CO_2-Schweißverbindungen

Die von mir am Zentralinstitut für Schweißtechnik der DDR Halle/S. (ZIS) durchgeführten Untersuchungen haben ergeben, daß Stumpfnähte, unbearbeitet, waagrecht, mechanisiert mit einem unlegierten Draht (Si = = 0,8 . . . 1,0%) verschweißt eine Biegewechselfestigkeit von $\sigma_{bW} = 11$ kp/mm² besitzen und somit der E-Schweißung ebenbürtig sind [10].

Zur Zeit sich in Arbeit befindende Versuche zeigen einen großen Einfluß von Poren im Schweißgut auf die Schwellfestigkeitswerte von CO_2-Stumpfnahtverbindungen besonders dann, wenn Blechverbindungen beidseitig verschweißt werden. Bereits geringere Poren (entsprechend z. B. der Röntgennote 3) verursachen eine Zugschwellfestigkeit von nur $\sigma_{Sch} = 12$—13 kp/mm².

Fehlerfrei verschweißte Verbindungen ergeben die gleichen Werte wie die der E-Schweißung.

Kehlnahtverbindungen weisen eine Schwellfestigkeit (mit geringer Vorspannung) von $\sigma_{Sch+0,2} = 11\,\mathrm{kp/mm^2}$ bezogen auf den Konstruktionsquerschnitt auf [11].

Die Festigkeiten für Stumpf- und Kehlnähte mit $\sigma_B \cong 56\,\mathrm{kp/mm^2}$ bzw. $\sigma_B \cong 46\,\mathrm{kp/mm^2}$ (Bruch im Grundwerkstoff) liegen höher als die der unter 2.1 genannten Verfahren.

Es kann allgemein festgestellt werden, daß CO_2-geschweißte Stahlkonstruktionen die gleichen Festigkeitswerte besitzen wie E-geschweißte; teilweise liegen sie sogar höher wie z. B. bei Kehlnahtanschlüssen bezogen auf den Konstruktionsquerschnitt infolge des besseren Durchschweißens und damit einer besseren Kraftüberleitung.

Weitere Dauerfestigkeitsuntersuchungen mit CO_2-Schweißkonstruktionen sind im Abschnitt 3 wiedergegeben.

2.3. Festigkeits- und Dauerfestigkeitsverhalten von Elektro-Schlacke-Schweißverbindungen (ES)

I. W. Kudrjawcew [12] erhielt für blecheben bearbeitete Stumpfnahtverbindungen aus einem unlegierten Stahl mit einer Festigkeit von $\sigma_B \cong 47$ $\mathrm{kp/mm^2}$ eine Biegewechselfestigkeit von $\sigma_{bW} \cong 13$—$14\,\mathrm{kp/mm^2}$ und für eine unbearbeitete Verbindung von $\sigma_{bW} = 8{,}5\,\mathrm{kp/mm^2}$ für Blechdicken von 50 bis 200 mm. Auch hier konnte festgestellt werden, daß Nahtfehler (Schlackeneinschlüsse an der Grenzlinie) einen Dauerfestigkeitsabfall auf $\sigma_{bW} = 10{,}5\,\mathrm{kp/mm^2}$ zur Folge haben. Festigkeiten wurden von $\sigma_B \cong 50$—$53\,\mathrm{kp/mm^2}$ erziehlt. Damit konnte eine Gleichwertigkeit der ES-Schweißverbindungen mit dem Grundwerkstoff festgestellt werden.

Die am ZIS Halle/S. durchgeführten Versuche bestätigten diese Ergebnisse, indem blecheben bearbeitete Stumpfnahtverbindungen ($s = 36$ und 52 mm) aus dem Stahl der Güte St 38 b ($\sigma_B \cong 38\,\mathrm{kp/mm^2}$, beruhigt) eine Ebenbürtigkeit mit einer gleichartigen E-Schweißverbindung hinsichtlich der Biegeschwellfestigkeit ($\sigma_{Sch} \cong 25\,\mathrm{kp/mm^2}$) und mit einer CO_2-Stumpfnahtverbindung hinsichtlich der Biegewechselfestigkeit mit $\sigma_{bW} = 11\,\mathrm{kp/mm^2}$ ergaben.

3. Beispiel der Anwendung der CO_2-Schutzgasschweißung für Träger-Montage-Stöße

3.1. Ausbildung der Montage-Stöße und Herstellung

Die Ausführung von vollgeschweißten Träger-Montage-Stößen, wie sie besonders im Brückenbau Anwendung finden, ist als Beispiel für einen Ver-

gleich der Handschweißung mit den Hochleistungs-Schweißverfahren gut geeignet.

Die bisherige E-Schweißung wird im Brückenbau in der letzten Zeit durch die UP-Schweißung, aber auch durch die ES- und CO_2-Schweißung ersetzt.

Nachstehend werden einige Möglichkeiten der Ausführung von Montage-Stößen mit der E-Schweißung und CO_2-Schweißung miteinander verglichen. Es wird hierfür als Beispiel ein symmetrischer I-Träger vorausgesetzt, obwohl die nachstehenden Ausführungen im Prinzip auch für andere Querschnitte gültig sind.

3.1.1. Bisherige Träger-Stöße mit der E-Schweißung

Ausführung 1 (E-Schweißung): Versetzter Trägerstoß (Fig. 5). Bei dem bisher in der Praxis wohl am meisten eingesetzten Montagestoß sind die Einzelstöße von Gurt und Steg versetzt angeordnet. Für den Ober- und Untergurt werden in der Regel V-Nähte (oder Steilflanken-Nähte) gewählt. Die Schweißung erfolgt von oben, bis auf die Überkopf-Wurzellage. Der Stegstoß (eine X- oder V-Naht) wird senkrecht von beiden Seiten geschweißt. Die Halsnähte, als Kehlnähte ausgeführt, werden am Stoß über die Gurt- und Stegstöße geschweißt. Im Brückenbau werden aus den bekannten Gründen keine Aussparungen des Steges an den Kreuzungen mit den Gurtstößen vorgenommen. Bekannt sind auch die geringfügigen Schwierigkeiten der Schweißausführung des Untergurt-Stoßes an der Steg-Blech-Unterkante und die hierfür maßgebenden Schweißfolgen und deren Einflüsse auf die Tragfähigkeit [2], S. 211, [13].

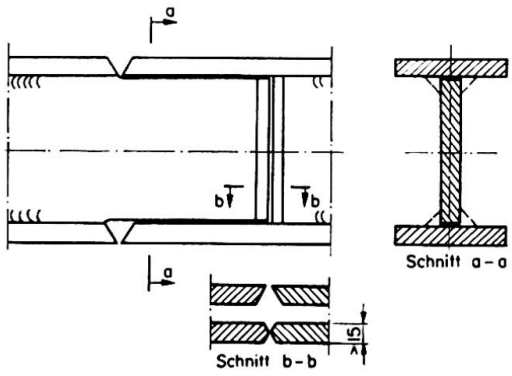


Fig. 5. Ausführung 1: Versetzter Trägerstoß.

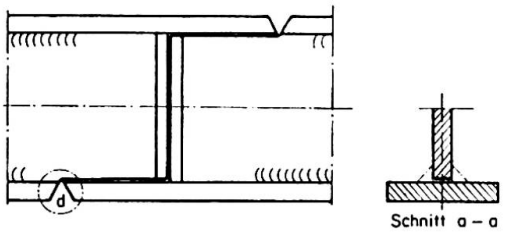


Fig. 6. Ausführung 2: Versetzter Trägerstoß mit Überkopf-Untergurt-Schweißung.

Ausführung 2 (E-Schweißung): Versetzter Trägerstoß mit Überkopf-Untergurtschweißung (Fig. 6). In einigen Fällen wählte man in Abweichung von Ausführung 1 (E-Schw.) die Herstellung des Untergurtes als Überkopfnaht (V-Naht). Damit wollte man ein besseres Durchschweißen des Untergurtstoßes an der Stegblechunterkante erreichen.

Ausführung 3 (E-Schweißung): Total-Trägerstoß (Fig. 7). In einigen Ländern ist der Total-Trägerstoß auch für Brücken eingesetzt worden. Ein Vorteil gegenüber Ausführung 1 (E-Schw.) entsteht durch das bessere Durchschweißen des Untergurtes an der Stoßstelle, wobei man jedoch weitere bekannte Nachteile in Kauf nimmt (14, 15].

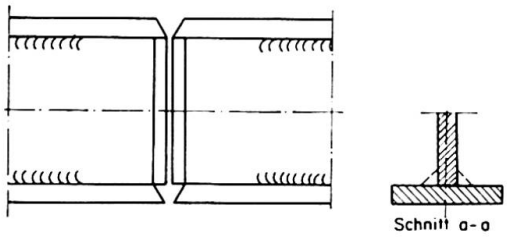


Fig. 7. Ausführung 3: Total-Trägerstoß.

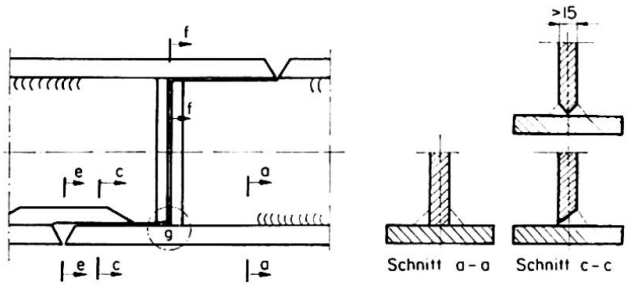


Fig. 8. Ausführung 4: Versetzter Trägerstoß mit Halsnähten als K-Nähte.

Ausführung 4 (E-Schweißung): Versetzter Trägerstoß mit Halsnähten als K-Nähte (Fig. 8). In der DDR [16, 17] entwickelte sich in den letzten Jahren ein Trägerstoß, der eine Verbesserung der bisher kurz aufgezeigten Ausführungsarten herbeiführte. Im Bereich der versetzten Gurt- und Stegstöße wurde die untere Halsnaht als K-Naht ausgebildet. Bei dünnen Stegblechen (z. B. unter 15 mm) konnte man die K-Naht durch eine HV-Naht ersetzen. Diese Stöße wurden mit Erfolg bei mehreren Eisenbahn- und Straßen-Brückenbauwerken in der DDR eingesetzt.

Auf die weiteren Möglichkeiten der Montagestoß-Ausführungen z. B. mit eingesetzten, vorgewölbten Stegblech-Teilen u. ä. wird hier nicht eingegangen.

3.1.2. Trägerstöße mit der CO_2-Schweißung

Die mechanisierte CO_2-Schweißung ist durch ihren Einsatz für Überkopf- und Senkrechtnähte gut für Brücken-Montagestöße geeignet. Bisher wurde die Herstellung mit CO_2-Schweißung nach Ausführung 2 und 4 untersucht. Die wichtigsten Herstellungsmerkmale werden nachstehend kurz wiedergegeben.

Ausführung 2 (CO_2-Schweißung): Versetzter Trägerstoß mit Überkopf-Untergurt-Schweißung (Fig. 6). Die Gesamtanordnung entspricht der Ausführung 2 (E-Schw.). Bei der Wahl der Nahtanordnung, wie sie aus den Fig. 9 und 10 hervorgeht, bringt der Einsatz der CO_2-Schweißung keine Schwierigkeiten.

Ausführung 4 (CO_2-Schweißung): Versetzter Trägerstoß mit Halsnähten als K-Nähte (Fig. 8). Es liegt nahe, den für die Herstellung günstigen Stoß, Ausführung 4, mit Hilfe des CO_2-Schweißverfahrens herzustellen. Die Anordnung der Nähte und einige Beispiele ausgeführter Montageschweißungen zeigen

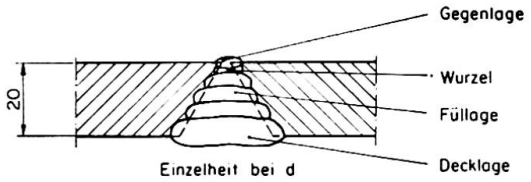


Fig. 9. Einzelheit «*d*» zu Fig. 6. Schematische Darstellung der CO_2-überkopfgeschweißten einzelnen Lagen des Untergurtes.

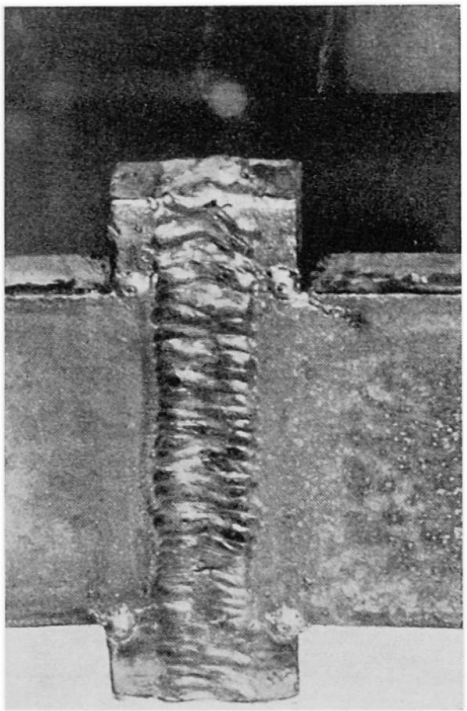


Fig. 10. Einzelheit zu Fig. 6. Decklage einer CO_2-Überkopf-Schweißung eines Untergurtes.

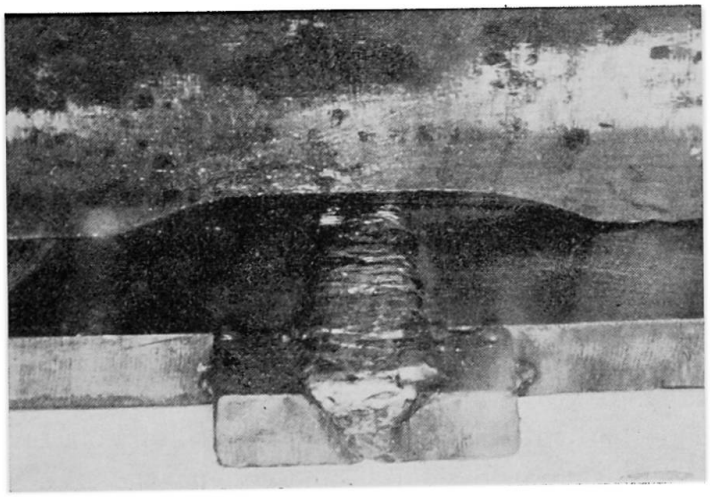


Fig. 11. Einzelheit zu Fig. 8. CO_2-geschweißte Decklage des Untergurtstoßes.

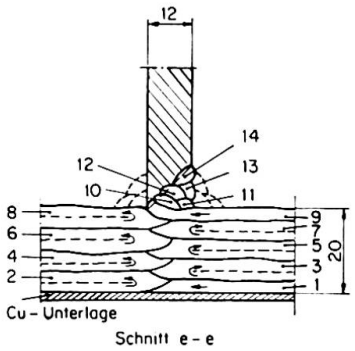


Fig. 12. Schnitt «*e – e*» zu Fig. 8. Schema des Nahtaufbaues der CO_2-Schw. am Untergurtstoß bei einer HV-Nahtausbildung des Stegbleches.

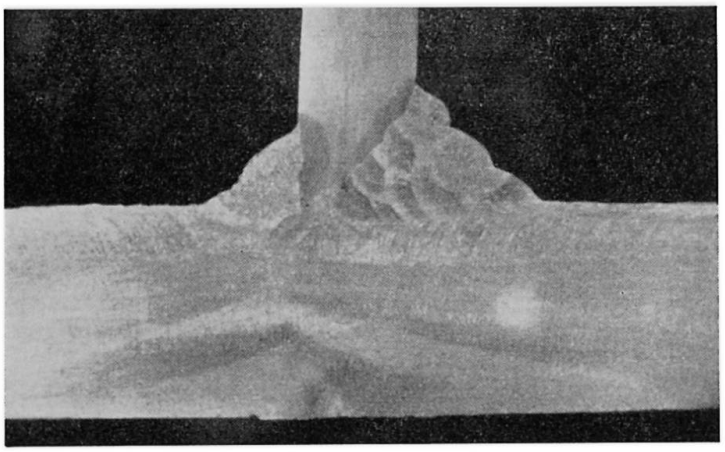


Fig. 13. Einzelheit zu Fig. 8. Makroschliff einer CO_2-Untergurt-Schweißung.

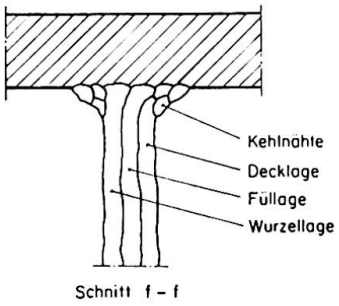
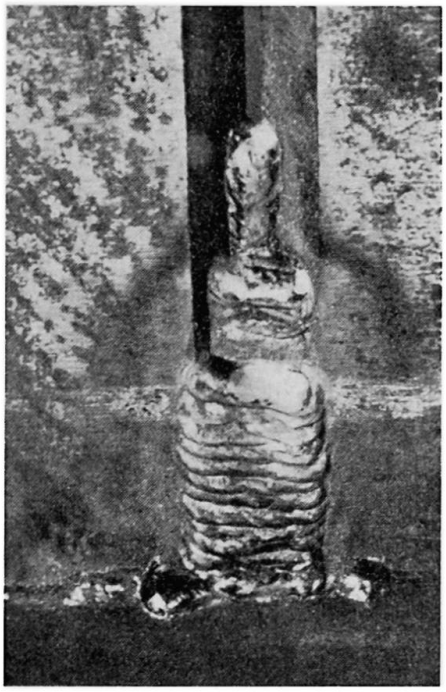


Fig. 14. Schnitt «*ff*» zu Fig. 8. Obergurtseite der CO_2-Steignaht.



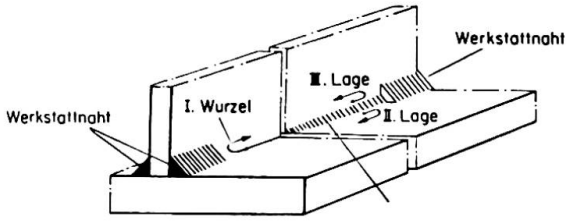


Fig. 16. Einzelheit zu Fig. 8. CO_2-Schweißfolge der Montage-Halsnaht.

Fig. 15. Einzelheit «*g*» zu Fig. 8. Nahtaufbau der CO_2-geschweißten Steignaht.

die Fig. 11 bis 16. Ein vollständiges Durchschweißen ist gewährleistet. Die Herstellung des Montagestoßes mittels der CO_2-Schweißung bei Beachtung aller für dieses Verfahren erforderlichen Maßnahmen ist ohne Fehlschläge durchführbar.

3.2. Vergleich der Dauerfestigkeitswerte

Für den Einsatz der verschiedenen Arten (Ausführung 1—4) von Träger-Montagestößen ist für den Brückenbau in erster Linie die Tragfähigkeit bei dynamischer Beanspruchung, also die Dauerfestigkeit, maßgebend.

Mit der E-Schweißung ausgeführte Stumpfstöße wurden in der Vergangenheit umfangreich auf ihr Dauerfestigkeitsverhalten untersucht [2, 7, 13, 15, 17, 18] und weitere.

Im Zentralinstitut für Schweißtechnik Halle/S. wurden von Rosenkranz entsprechende Vergleichsuntersuchungen mit CO_2-geschweißten Trägerstößen durchgeführt. Die Versuchsergebnisse sind mit den bekannten Werten der E-Schweißung, bezogen auf die reine Schwellfestigkeit für alle 4 Ausführungsarten (Fig. 4 bis 8) in Tafel 2 zusammengestellt.

3.3. Wirtschaftsvergleich und Schlußfolgerung

Ausgehend von den technologischen Werten der einzelnen Schweißverfahren, die in Abschnitt 1 kurz angegeben worden sind, wird ein *Vergleich der Schweißzeiten* als Beispiel für einen Brücken-Montagestoß mit der E- und CO_2-Schweißung in Tafel 3 gegeben. Vorausgesetzt ist ein Träger mit Gurten 400×30 mm und einem Steg 2500×15 mm.

Tafel 2. Vergleichswerte der reinen Schwellfestigkeit der E- und CO_2-Schweißung für Montage-Trägerstöße für Stähle mit $\sigma_B \cong 37$ kp/mm²

	Schwellfestigkeit (σ_{Sch}) (kp/mm²)	
	E-Schweißung	CO_2-Schweißung
Ausführung 1: Versetzter Trägerstoß (Fig. 5)	17—19	—
Ausführung 2: Versetzter Trägerstoß mit Überkopf-Untergurt-Schweißung (Fig. 6)	12—15	—
Ausführung 3: Total-Trägerstoß (Fig. 7)	12—13	17—19
Ausführung 4: Versetzter Trägerstoß mit Halsnähten als K-Nähte (Fig. 8)	25—26	26—27

Da die Hilfszeiten (t_H) auf der Montage sehr unterschiedlich sein können, ist für den Vergleich die Grundzeit (t_G) angesetzt.

Es zeigt sich, daß mit dem Einsatz von nur einem Schweißer die Grundzeit (t_G) auf rund 50% durch die CO_2-Schweißung gegenüber der bisherigen E-Schweißung abgemindert werden kann. Eine Beeinträchtigung der Qualität findet nicht statt. Beim Einsatz von mehreren Schweißern gleichzeitig sind ähnliche Einsparungen möglich.

Tafel 3. Schweiß-Grundzeiten (t_G) in Minuten für Träger-Montage-Stoß (Gurte 400 × 30 mm; Steg 2500 × 15 mm) nach Ausführung 4 mit E- und CO_2-Schweißung

	Schweiß-Grundzeit t_G (min)	
	E-Schweißung	CO_2-Schweißung
Obergurt (Steilflankennaht; waagrecht)	78,4	30,0
Untergurt (Steilflankennaht; waagrecht)	78,4	30,0
Steg (X-Naht; senkrecht steigend)	203,0	108,0
Halsnähte oben und unten (Kehl- und K-Naht; horizontal und überkopf)	124,0	79,4
	483,8 Min. (100%)	247,4 Min. (51%)

Die Zeiteinsparungen wirken sich erheblich auf die Herstellungskosten von Träger-Montage-Stößen aus. Hierzu kommen die Kosteneinsparungen von Zusatzwerkstoffen.

Schlußfolgernd kann auf Grund der obengenannten Vergleiche der Herstellungsbedingungen, der Dauerfestigkeitswerte und der Schweißgrundzeiten allgemeingültig ausgesagt werden, daß die CO_2-Schweißung für Träger-Montagestöße außerordentlich gut geeignet ist.

Literaturverzeichnis

1. A. Neumann: «Schweißtechnisches Handbuch für Konstrukteure.» Teil I: Grundlagen. Verlag Technik, Berlin, und Fr. Vieweg und Sohn, Braunschweig 1961.
2. A. Neumann: «Schweißtechnisches Handbuch für Konstrukteure.» Teil II: Stahlbau. Verlag Technik, Berlin, und Fr. Vieweg und Sohn, Braunschweig 1961.
3. E. O. Paton: «Anwendung der automatischen Schweißung beim Bau einer großen, vollgeschweißten Straßenbrücke.» Verlag Akademie der Wissenschaften, Kiew 1954.
4. B. E. Paton: «Elektro-Schlacke-Schweißung.» Verlag Technik, Berlin 1957.
5. A. Neumann: «Festigkeit und Dauerfestigkeit von UP-Verbindungen und deren Berechnung.» Zeitschrift Schweißtechnik, Berlin, 8 (1958), S. 48—53.
6. J. Mryka: «Die Dauerfestigkeit UP-geschweißter Verbindungen nach Versuchen des JS Gleiwitz.» Zeitschrift Schweißtechnik, Berlin, 8 (1958), S. 53—54.
7. A. Neumann: «Probleme der Dauerfestigkeit von Schweißverbindungen.» Verlag Technik, Berlin 1960.
8. F. Stüssi: «Zur Dauerfestigkeit von Schweißverbindungen.» Schweizer Bauzeitung 75 (1957), Nr. 52.
9. F. Stüssi: «Der Einfluß von Kerben auf die Ermüdungsfestigkeit.» Verlag V.S.B., Zürich 1961.
10. A. Neumann: «Die Dauerfestigkeit von CO_2-schutzgasgeschweißten Stumpfnähten.» Zeitschrift Schweißtechnik, Berlin, 9 (1959), S. 43—44.
11. Bader: «Die Dauerfestigkeit des Rohrfachwerkes.» ZIS-Mitteilungen, Heft 2, November 1959.
12. I. W. Kudrjawcew: «Dauerfestigkeitsuntersuchungen an elektroschlackegeschweißten Platten und Wellen mit großen Querschnitten.» Wissenschaftliche Zeitschrift der Hochschule für Schwermaschinenbau, Magdeburg (1959), H. 1, S. 87—89.
13. F. Stüssi und C. F. Kollbrunner: «Schrumpfspannungen und Dauerfestigkeit geschw. Trägerstöße.» Mitt. aus dem Institut für Baustatik d. ETH, Zürich, Nr. 18.
14. A. Lazard: «Überblick über die Anwendung des Schweißens bei den Brückenbauten der französischen Eisenbahnen.» Referat auf der 1. Schw.-Tagung f. Leichtbau und Konstruktion, April 1956 in Halle/S.
15. W. H. Munse und J. E. Stallmryer: "Fatigue in Welded Beams and Girders." Civil Engineering Studies Nr. 259 University of Illinois (USA), 1962.
16. W. Kliemand: «Montageschweißung an geschw. vollwandigen Eisenbahnbrücken.» Zeitschrift Deutsche Eisenbahntechnik 5 (1957), S. 451, Heft 10.
17. K. G. Reinhardt und W. Knauer: «Das röntgensichere Schweißen von Montagestößen.» Zeitschrift Schweißtechnik, Berlin, 9 (1959), S. 378, und 10 (1960), S. 142.
18. G. Bierett: «Untersuchungen zur Ermittlung günstiger Herstellungsbedingungen für die Baustellenstöße geschw. Brückenträger.» Berichte d. DAS, Heft 10, Verlag Springer, Berlin 1940.

Zusammenfassung

Die CO_2- und die ES-Schweißung erlangen in der Fertigung des Stahlbaues für den Werkstatt- und den Montage-Einsatz, neben der bisherigen E-Schweißung und UP-Schweißung, große Bedeutung.

Es werden die Gesichtspunkte der Herstellungs-Technologien, die Fragen des Einsatzes und der Schweiß-Zeiten der Hochleistungs-Schweißverfahren behandelt.

Die ermittelten Festigkeits- und Dauerfestigkeits-Werte für die einzelnen Schweißverfahren werden miteinander verglichen und Schlüsse für die Berechnungsgrundlagen gezogen.

Am Beispiel von Träger-Montage-Stößen werden einige Ausführungsarten in bezug auf die Herstellung, Dauerfestigkeit und Wirtschaftlichkeit verglichen.

Der Bericht zeigt die Vorteile der Anwendung von Hochleistungs-Schweißverfahren für Stahlkonstruktionen.

Summary

In the production of steel structures both in the fabricating shop and on the site the CO_2 and the slag welding processes are achieving considerable importance, in addition to the manual and submerged arc welding systems hitherto adopted.

The paper deals with the points of view of production technique and with the problems connected with the application of the high-power welding-processes and the welding times involved.

The strength-factors and fatigue limits for the individual welding-processes are compared with one another and conclusions drawn for the bases of calculation.

Using the example provided by girder-assembly joints, certain forms of construction are mutually compared as regards their production, endurance and economic advantages.

The report shows the advantages of using high-power welding-processes for steel structures.

Résumé

Outre les procédés courants de soudage manuel et sous flux, le soudage sous laitier et le soudage sous protection gazeuse de CO_2 ont pris une grande importance dans la construction métallique, aussi bien à l'atelier que sur le chantier.

On considère quelques aspects de la technologie de fabrication, les problèmes de mise en œuvre et les temps requis par le soudage à haut rendement.

On compare les résistances à la rupture statique et les résistances à la fatigue relatives aux différents procédés de soudage et on en tire des conclusions qui intéressent les bases du calcul.

A titre d'exemple, on décrit divers types de joints de montage pour des poutres à âme pleine et on les compare en ce qui concerne leur exécution, leur résistance à la fatigue et leur coût.

On fait ensuite ressortir les avantages que présentent les procédés de soudage à haut rendement dans la construction métallique.