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

Band: 2 (1936)

Artikel: Berechung der Schweissnähte unter Berücksichtigung konstanter Gestaltsänderungsenergie

Autor: Kist, N.C.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-2697

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: 12.12.2025

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

III c 1

Berechnung der Schweißnähte unter Berücksichtigung konstanter Gestaltsänderungsenergie.

Calcul des soudures basé sur de la conservation de l'énergie de déformation.

Calculation of Welds under Consideration of Constant Deformation Energy.

Dr. N. C. Kist,
Professor an der Technischen Hochschule in Delft, Haag.

Aus Versuchen von Professor *Jensen* wird abgeleitet, daß die Theorie konstanter Gestaltsänderungsenergie die Verhältnisse zwischen den Bruchspannungen von elektrisch geschweißten Kehlnähten bei verschiedener Richtung der Belastung richtig angibt. Zur Berechnung von statisch unbestimmten Verbindungen wird von der Plastizität ausgegangen. Auf Grund von Theorie und Versuchen kommt der Verfasser zu den Schlußfolgerungen, die am Ende des Referates erwähnt sind.

In den deutschen Vorschriften für geschweißte Stahlbauten, DIN 4100, ebenso in dem amerikanischen „Code for Fusion Welding and Gascutting in Building Construction" und in anderen Vorschriften wird für die zulässige Spannung in einer Kehlschweißnaht ein gewisser Betrag angegeben, der für alle Richtungen, in denen die Belastung wirken kann, derselbe ist. Die Festigkeit ist aber viel größer, wenn die Kraft senkrecht zur Naht (Linie C D, Fig. 1) wirkt, als wenn sie in die Ebene der Naht fällt. Professor *Cyril D. Jensen* (U.S.A.) hat im „Journal of the American Welding Society" vom Februar 1934 die Ergebnisse einer sehr interessanten Versuchsreihe veröffentlicht, aus denen hervorgeht, wie groß die Festigkeit von elektrisch geschweißten Stirnnähten für verschiedene Werte des Winkels α zwischen Kraftrichtung A B und Kehle C D (siehe Fig. 1) ist. Die von Professor *Jensen* ermittelten Bruchspannungen $\sigma_{B\alpha}$ sind in Fig. 2 dargestellt und zwar in der Weise, daß die Länge eines Vectors die Größe der Bruchspannung angibt, und der mit der Abszissenachse gebildete Winkel gleich α ist. Professor *Jensen* hat nicht untersucht, ob die Ergebnisse seiner Versuche mit der Theorie konstanter Gestaltsänderungsenergie vereinbar sind.

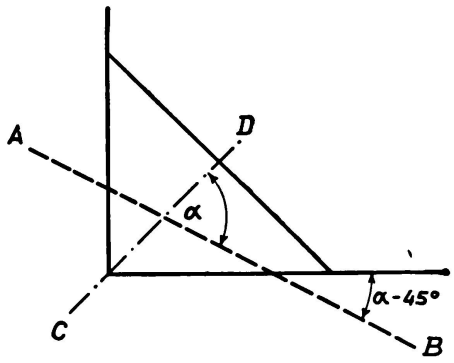


Fig. 1.

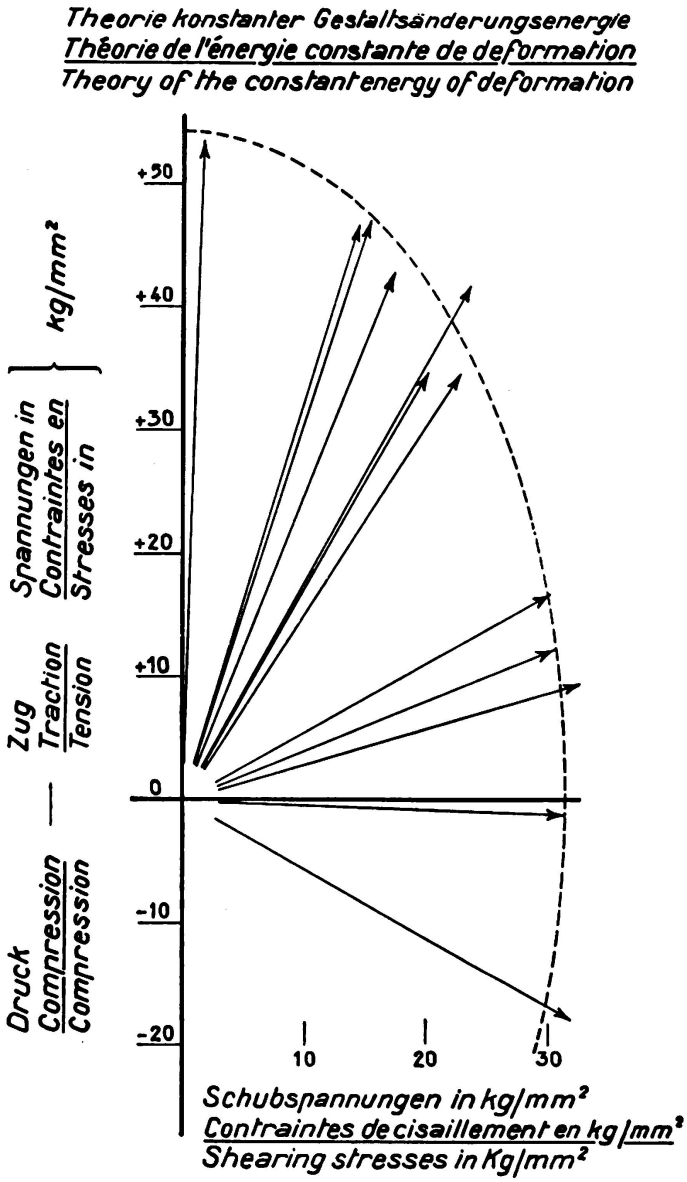


Fig. 2.

Führt man dies durch, so findet man eine auffallend gute Übereinstimmung. Die Strichlinie zeigt die Punkte, auf welche die Endpunkte der Vectoren nach dieser Theorie fallen sollten. Es sei:

$\sigma_{B\alpha}$ die Bruchspannung, wenn die Kraftrichtung mit der Naht den Winkel α bildet;

σ die Komponente normal zur Bruchfläche von $\sigma_{B\alpha}$;

τ die Komponente von $\sigma_{B\alpha}$ in der Bruchfläche;

$\sigma_{B\,Zug}$ die Bruchspannung bei normaler Belastung.

Nach der Theorie konstanter Gestaltsänderungsenergie tritt der Bruch ein, wenn

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} = \sigma_{B\,Zug}$$

und ist

$$\sigma_{B\alpha} = \sigma_{B\,Zug} \frac{1}{\sqrt{\sin^2\alpha + 3\cos^2\alpha}}.$$

Aus den Versuchen von Professor *Jensen* ist der mittlere Wert von $\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2}$, wobei Bruch eintrat, abgeleitet, und aus diesem mittleren Wert die Werte $\sigma_{B\alpha}$, deren Endpunkte von der Strichlinie in Fig. 2 angezeigt werden.

Die Übereinstimmung der Versuchsergebnisse von Professor *Jensen* mit der Theorie konstanter Gestaltsänderungsenergie ist um so auffallender, als Professor *Jensen* mit den Ergebnissen seiner Messungen *andere* Bruchtheorien geprüft hat und zum Schluß gekommen ist, daß entweder die Bruchspannungen $\sigma_{B\alpha}$ nicht mit einer der ihm bekannten Bruchtheorien übereinstimmten, oder daß seine Versuche nicht genau waren. Wir stellen jedoch fest, daß die Bruchspannungen $\sigma_{B\alpha}$ mit der Theorie konstanter Gestaltsänderungsenergie sehr gut übereinstimmen und daß seine Versuche sehr genau waren.

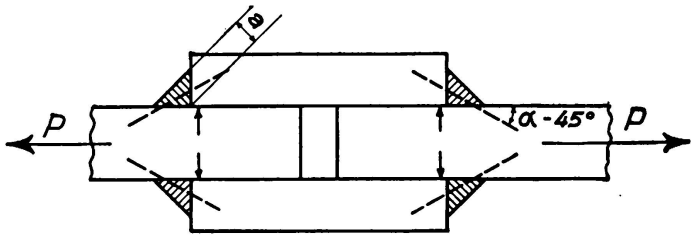
Die Versuche von Professor *Jensen* beziehen sich nur auf Stirnkehlnähte, die (Linie CD, Fig. 1) auf Zug und Schub, oder auf Schub und einen kleineren Druck beansprucht sind. Sie beziehen sich nicht auf Nähte, die hauptsächlich Druck unterliegen.

Weiter ist zu bemerken, daß die Prüfkörper so eingerichtet waren, *daß genau statisch festlag, in welcher Richtung die Kraft wirkte.* Dies war nötig, um die

genauen Werte von α zu kennen. Gewöhnlich liegt aber die Kraftrichtung statisch nicht fest. Die Berechnung von $\sigma_{B\alpha}$ soll deshalb ergänzt werden durch eine Berechnung von α bei statisch nicht bestimmter Kraftrichtung.

Wir schlagen vor, *auf Grund der Plastizitätslehre die Richtung der Kraft in den Nähten (Winkel α) so zu wählen, daß die Berechnung die größte von der Konstruktion zu übertragende Kraft berücksichtigt, die mit dem Gleichgewicht der Kräfte zu vereinbaren ist.*

Durch ein Beispiel möge dies erläutert werden. In Fig. 3 ist ein Probestück mit Stirnkehlnähten dargestellt, das von einer Zugkraft P belastet ist. Die



Fig, 3.

Wirkungslinien der von den Schweißnähten zu übertragenden Kräfte (die Strichlinien in Fig. 3) können, was das Gleichgewicht anbelangt, einen beliebigen Winkel mit der Horizontalen bilden. Dieser Winkel sei $\alpha - 45^0$. Der Winkel mit der Kehlnaht ist dann α (siehe Fig. 1). Wenn F die Oberfläche zweier Kehlnähte zusammen darstellt (CD Fig. 1), so ist die schräge Kraft in einer Schweißnaht, die zum Bruch führt:

$$\frac{1}{2} F \sigma_{B\alpha} = \frac{1}{2} F \frac{\sigma_{B\,Zug}}{\sqrt{\sin^2 \alpha + 3 \cos^2 \alpha}}.$$

Durch die schräge Richtung der Kräfte in den Schweißnähten werden die Seitenstücke stark gegen die Mittelstücke gepreßt. Zum Bruche des Probestückes muß die Reibung zwischen Mittel- und Seitenstücken überwunden werden. Die Bruchkraft P ist also die Summe der Horizontalkomponenten der schrägen Kräfte in zwei Nähten und des Reibungswiderstandes. Die Horizontalkomponenten der schrägen Bruchkräfte sind:

$$\frac{1}{2} F \cdot \frac{\sigma_{B\,Zug}}{\sqrt{\sin^2 \alpha + 3 \cos^2 \alpha}} \cos (\alpha - 45^0),$$

und die Vertikalkomponenten:

$$\frac{1}{2} F \cdot \frac{\sigma_{B\,Zug}}{\sqrt{\sin^2 \alpha + 3 \cos^2 \alpha}} \sin (\alpha - 45^0).$$

Wenn μ die Reibungszahl darstellt, ist also

$$P = 2 \cdot \frac{1}{2} F \frac{\sigma_{B\,Zug}}{\sqrt{\sin^2 \alpha + 3 \cos^2 \alpha}} \left[\cos (\alpha - 45^0) + \mu \sin (\alpha - 45^0)\right].$$

Da der Druck zwischen Seiten- und Mittelstücken auf die Enden letzterer konzentriert ist, ist die Druckspannung sehr hoch. Deshalb soll die Reibungszahl

höher gewählt werden als bei mäßiger Druckspannung. Wir schätzen diese Zahl so hoch wie bei Nietverbindungen, also etwa 0,2. Damit wird

$$P = F \frac{\sigma_{B\,Zug}}{\sqrt{\sin^2\alpha + 3\cos^2\alpha}} \left[\cos(\alpha - 45^0) + 0{,}2 \sin(\alpha - 45^0)\right].$$

Auf Grund der Plastizitätslehre soll nun der Wert von α so gewählt werden, daß P ein Maximum wird. Dies ist der Fall für $\alpha = 79^0$ und das Maximum beziffert sich auf

$$P = F \cdot \sigma_{B\,Zug} \cdot 0{,}91$$

(Konstruktionsform Fig. 3).

Wesentlich verschieden ist die Kraftwirkung, falls die Mittelplatten nicht zwischen die Seitenplatten durchgehen, wie es Fig. 4 zeigt. Da der Druck zwischen den Platten fortfällt, verlangt das Gleichgewicht der oberen Platte,

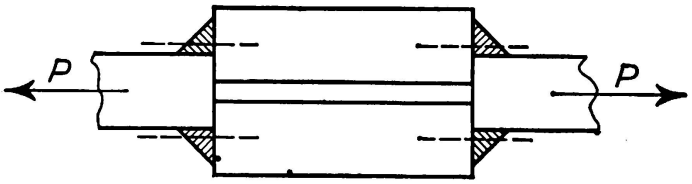


Fig. 4.

bzw. der unteren Platte, daß die von den oberen Schweißnähten, bzw. von den unteren Schweißnähten, zu übertragenden Kräfte einander entgegengesetzt sind. Aus der Symmetrie folgt nun weiter, daß diese Kräfte horizontal gerichtet sind, wie es die Strichlinien in Fig. 4 zeigen. Der Winkel α (Fig. 1) ist dann 45^0 und

$$P = F \frac{\sigma_{B\,Zug}}{\sqrt{\sin^2\alpha + 3\cos^2\alpha}} = 0{,}71\, F\, \sigma_{B\,Zug}.$$

(Konstruktionsform Fig. 4).

Auch wenn die Zugkräfte des Probestückes (Fig. 3) durch Druckkräfte ersetzt werden, fällt der Druck zwischen Seitenplatten und Mittelplatte fort. Auch dann ist also $\alpha = 45^0$ und $P = 0{,}71\, F\, \sigma_{B\,Zug}$.

Wir werden nun eine Berechnungsweise prüfen, welche sich auf die drei folgenden Voraussetzungen stützt:

1. Der Bruch in einer Laschnaht findet statt in dem kleinsten Querschnitt der Naht. Wenigstens darf man dies bei der Berechnung annehmen.

2. Gemäß der Theorie konstanter Gestaltsänderungsenergie ist die Bruchspannung $\sigma_{B\alpha}$, die infolge einer unter einem Winkel α angreifenden Kraft entsteht, gleich der normalen Zugspannung, die zum Bruche führt, multipliziert mit

$$\frac{1}{\sqrt{\sin^2\alpha + 3\cos^2\alpha}}$$

3. Gemäß der Plastizitätslehre darf man statisch nicht bestimmte Größen so wählen, daß die Berechnung die größtmögliche Belastung aufweist, welche die Konstruktion zum Bruch führt. Dies bezieht sich sowohl auf den Winkel, unter

welchen die Kraft in einer Naht wirkt, als auch auf die Verteilung der Kräfte über verschiedene Nähte.

Falls die Berechnung auf Grund von Voraussetzung 3 kompliziert ist, darf man bezüglich der statisch unbestimmten Werte eine praktische Annahme machen. Diese Annahme kann nur dazu führen, daß eine Belastung berechnet wird, die kleiner ist als die wirkliche Bruchbelastung. Hervorzuheben ist weiter, daß Voraussetzung 3 nicht zutrifft für wechselnde oder schwellende Belastung, die sehr oft, z. B. eine Million mal, wiederholt wird, weil das Material dabei nicht plastisch ist. Das angegebene Berechnungssystem wird nur vorgeschlagen für Hochbauten und andere Konstruktionen, deren Belastung sich nicht viel oder nicht oft ändert.

Allerdings muß die oben angegebene Theorie durch Versuche geprüft werden.

Im Einvernehmen mit der Niederländischen Kommission zur Normung der Vorschriften für geschweißte Stahlbauten (36 C) und mit Unterstützung der Schweißdrahtfabriken „Willem Smit en Co's Transformatorenfabriek" zu Nijmegen, „Arcoselectrolasch" zu Amsterdam und „Nederlandsche Kjellberg Electrodenfabriek" zu Amsterdam sind an der Technischen Hochschule zu Delft (Niederlande) Versuche mit elektrisch geschweißten Probekörpern gemacht worden, um zu untersuchen, ob die obengenannten Voraussetzungen zutreffen. Die Ausbildung der Probestücke ersieht man aus den Skizzen in der Tabelle, die Art der Nähte aus der Spalte hinter den Skizzen und die Winkel zwischen der Kraftrichtung und dem kleinsten Querschnitt der Naht aus der nächsten Spalte.

In jeder Art sind drei Probestücke hergestellt worden, nämlich ein Stück mit Resistenz-Schweißdrähten von *Smit*, ein Stück mit Stabilend-Schweißdrähten von *Arcos* und ein Stück mit OK-Schweißdrähten von *Kjellberg*. Unter „Bruchspannung" sind die mittleren Quotienten von den von der Laschnaht übertragenen Kräfte (wobei die Nähte brachen) und die kleinsten Nahtquerschnitte eingetragen.

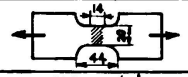
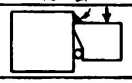
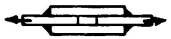
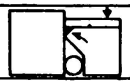
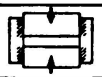
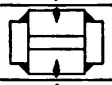
Die „Bruchspannungen" der geschweißten Probestücke sind verglichen mit den mittleren Bruchspannungen in runden Normalstäben (Φ 10, Meßlänge 50 mm), die vollständig aus Schweißgut hergestellt sind. Die mittlere Bruchspannung von neun solchen Stäben (drei hergestellt aus jeder Marke Schweißdrähte) ist gemessen und oben in der Tabelle hinter XVI eingetragen. Sie ist gleich 48,3 kg/mm².

Der Werkstoff der zusammengeschweißten Teile ist St. 37.

Die Verhältnisse zwischen den mittleren Bruchspannungen der geschweißten Probestücke und den mittleren Bruchspannungen der Normalstäbe aus Schweißgut sind in der sechsten Vertikalspalte der Tabelle eingetragen. In der siebenten Vertikalspalte ist angegeben, wie groß das Verhältnis sein sollte, wenn die obengenannten, zu prüfenden Voraussetzungen genau zutreffen. Der Vergleich der in diesen Spalten nacheinander eingetragenen Zahlen gibt die Kontrolle über die Richtigkeit der Voraussetzungen. Bevor wir diese Zahlen vergleichen, geben wir noch einige Erläuterungen betreffs der Proben.

Figur 5 zeigt die gesamten Probekörper vor dem Versuch.

Die Probekörper I, II, V und VI haben Stumpfnähte und sind nach dem Schweißen genau auf Maß bearbeitet (Dicke 10 bis 14 mm). Die übrigen Probekörper haben Kehlnähte, die mit dem Apparat von Dr. Ing. *H. Schmuckler* (dieser Apparat hat sich hierbei als sehr nützlich erwiesen) gemessen sind. Die Bruchspannungen sind bezogen auf den gemessenen Querschnitt (die gemessene Dicke a

Nº	Prüfkörper	Art der Nähte	Art der Beanspruchung	Bruch-spannung in kg/mm²	Verhältnis zu XVI beobachtet	Verhältnis zu XVI berechnet	Spannung bei Eindrückung von 0,2 mm kg/mm²	Verhältnis zu XVI	Spannung bei Eindrückung von 1,0 mm kg/mm²	Verhältnis zu XVI	Bessel kg/mm²	Vogel kg/mm²	Dresdener Schweiss-versuche kg/mm²	Boston kg/mm²	Hohn kg/mm²	Mac-Gibbon kg/mm²	E.T.H. Zürich kg/mm²	R.S.W. kg/mm²	
XVI		ganz aus Schweißgut	Zug-normal	48,3															
I		Stumpfnaht	Zug-normal	49,3	1,02	1,00					30,0 [1]							34,0 [1]	[1] nicht ausgearbeitet
II		Stumpfnaht	Zug-normal	50,1	1,04	1,00											40,0		
VII		Stirnnaht	Zug-normal	57,1	1,19	1,00													
VIII		Stirnnähte	Zug unter 79° und Reibung	51,9	1,07	0,91						46,5		45,0	41,0		49,5	35,0	
IX		Stirnnähte	Zug unter 45°	33,4	0,69	0,71													
VI		Stumpfnähte	Abscherung	31,1	0,64	0,58													
X		Stirnnaht	Abscherung	29,9	0,62	0,58													
XIV		Flankennähte	Abscherung und sekundärer Zug	30,9	0,64	0,58					32,0	40,0		34,0	28,0	33,0	35,4	29,0	
XV		Flankennähte	Abscherung und sekundärer Druck	35,6	0,74	0,58						50,0				48,0			
XI		Stirnnähte	Druck unter 45°	40,6	0,84	0,71						42,5							
XII		Stirnnähte	Druck unter 72°	> 64,1	> 1,33	0,82	37,0	0,78	55,0	1,14			> 53,0						
V		Stumpfnähte	Druck	> 78,6	> 1,63	1,00	37,0	0,78	48,1	1,00			> 46,0						
XIII		Stirnnaht	Druck	> 70,7	> 1,46	1,00	61,6	1,27											

multipliziert mit der gemessenen Länge der Naht). Im allgemeinen waren die Kehlnähte 4 mm dick vorgesehen; die Messung zeigte aber meistens eine größere Dicke.

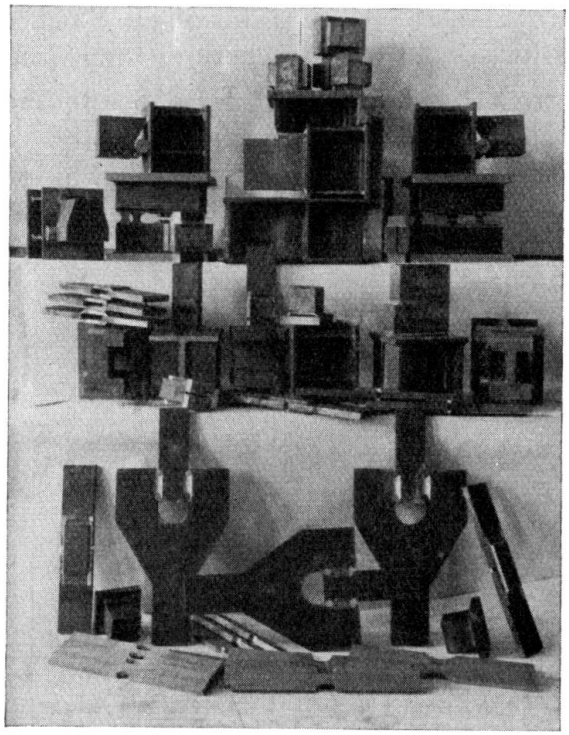


Fig. 5.

Figur 6 zeigt eines der Probestücke VII mit einer Bügelvorrichtung, um das Stück unter die Prüfmaschine setzen zu können. Das Kräftespiel, bei einer normal auf Zug beanspruchten Kehlnaht zeigt Figur 7. Ist P der Druck der Versuchsmaschine beim Bruch, b die Breite der Schweißnaht und a die Dicke der Naht (Fig. 7), so ist die Bruchspannung $P \frac{\sqrt{2}}{a \cdot b}$. Die Form dieses Probestückes ist, ebenso wie die Form des Probestückes X, im Prinzip dieselbe wie bei den Versuchen *Jensens*.

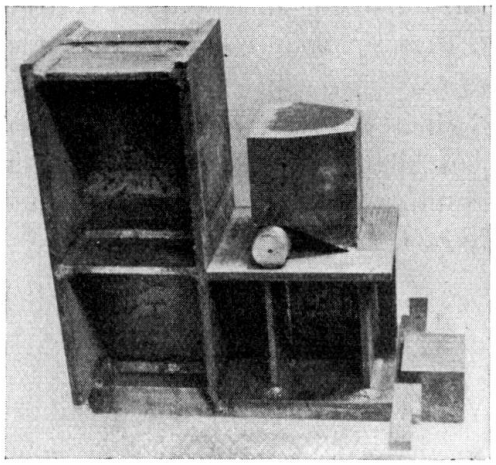


Fig. 6.

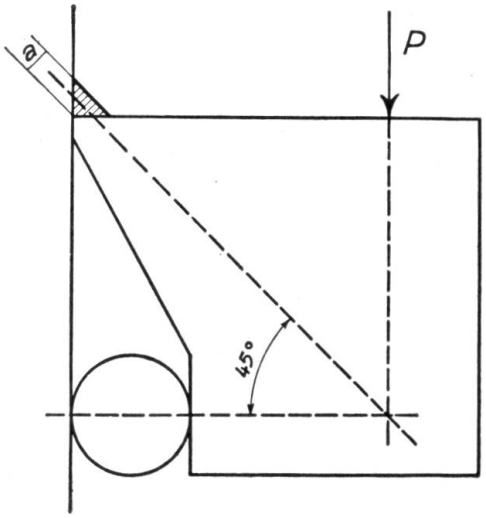


Fig. 7.

Das Kräftespiel bei den Probeformen VIII und IX ist früher erläutert.

Figur 8 zeigt einen der Prüfkörper VI nach dem Versuch.

Die Prüfkörper X sind den Prüfkörpern VII ähnlich. Nur ist die Schweißnaht unten gegen die obere Flansche eines T-förmigen Stückes gelegt. Demzufolge wird die Kehle der Schweißnaht auf Abscherung beansprucht.

Bei den Prüfkörpern XII, V und XIII, deren Schweißnähte auf Druck unter 72°, bzw. auf normalen Druck beansprucht sind, trat kein Bruch ein. Das Schweißgut dehnte sich aus, ohne zu brechen. Die Eindrückungen der offenen Nähte sind gemessen und die Spannungen in den Schweißnähten bei 0,2 mm

Fig. 8.

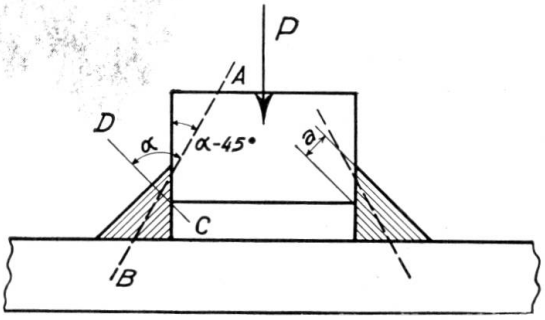


Fig. 9.

und bei 1,0 mm Eindrückung sind in der Tabelle eingetragen. In der Spalte „Bruchspannung" sind die Spannungen eingetragen, bei denen der Versuch nicht weiter fortgesetzt werden konnte.

Während des Schweißens lagen Kupferplättchen in den offenen Spalten der Proben XII und XIII, damit das Schweißgut nicht in die Spalten eintreten könne. Als Dicke dieser Nähte ist die Dicke a, Figuren 9 und 11, in die Berechnung eingeführt.

Bei Probeform XII ist der Winkel α zwischen der von einer Schweißnaht zu übertragenden Kraft (A B Fig. 9) und dem kleinsten Querschnitt der Naht statisch nicht bestimmt. Mit F gleich der Summe der kleinsten Querschnitte (C D) der beiden Nähte ist die schräge Bruchkraft für eine Naht

$$\frac{1}{2} F \sigma_{B\alpha} = \frac{\sigma_{B\,Zug}}{\sqrt{\sin^2 \alpha + 3 \cos^2 \alpha}}.$$

Die Richtung dieser Kraft bildet einen Winkel α—45° mit der Vertikalen. Da die Horizontalkomponenten der Kräfte in den Nähten einander aufheben, ist die von dem Probestück übertragene Kraft P die Summe der Vertikal-

komponenten. Also

$$P = 2 \cdot \frac{1}{2} F \cdot \frac{\sigma_{B\,Zug}}{\sqrt{\sin^2 \alpha + 3 \cos^2 \alpha}} \cos (\alpha - 45^0).$$

Diese Kraft wird ein Maximum für $\alpha = 72^0$ und beträgt dann:

$$P = 0{,}82\, F\, \sigma_{B\,Zug}.$$

Figur 10 zeigt eines der Probestücke V nach dem Versuch. Die Schweißnähte fallen in die vier verschmälerten Ecken. Die Stege der I-Stücke, die vor der Erprobung etwa 9 mm von einander entfernt waren, liegen an.

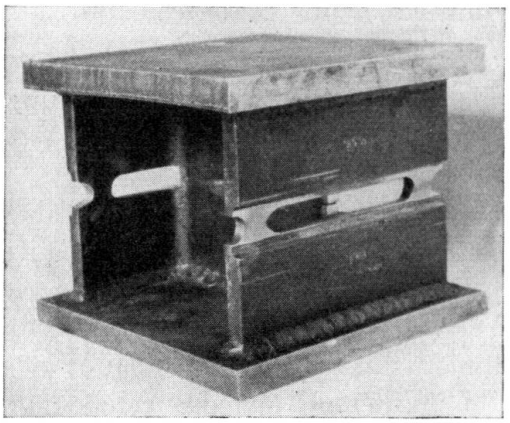


Fig. 10.

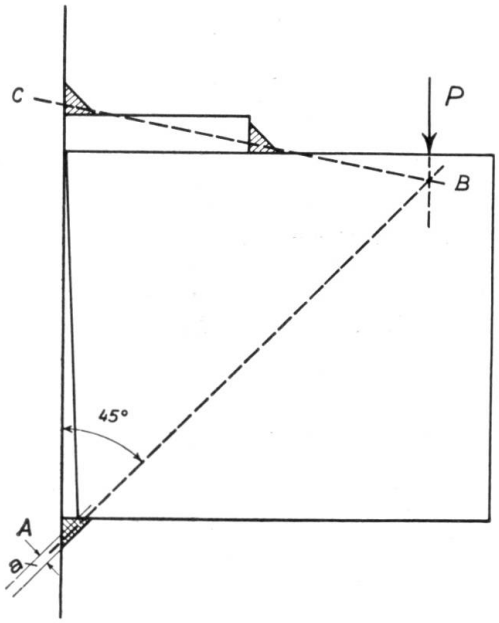


Fig. 11.

Das Kräftespiel in den Probekörpern XIII wird erläutert durch Figur 11. Die untere Kehlnaht ist in der Richtung B A, also normal auf Druck beansprucht. Die Kraft ist

$$P \frac{AB}{AC}, \text{ die Spannung } P \frac{AB}{AC} : a\,b$$

(b die Länge der Naht). Obgleich die oberen Nähte 8 mm dick waren, die untere Naht (a) nur 3 mm, brachen die oberen Nähte zu früh. Der Versuch, der für die untere Naht gilt, konnte demzufolge nicht durchgeführt werden bis die Stücke anlagen oder 1 mm Eindrückung erreicht war. Für 0,2 mm Eindrückung der Spalte ist die Spannung jedoch gemessen und in der Tabelle eingetragen.

Untersucht wurde weiter, ob die Versuche von anderen Beobachtern mit der oben beschriebenen Theorie übereinstimmen. Diese Versuche dehnen sich aber nicht über die ganze Reihe der Belastungsarten der Nähte aus. Dadurch ist es schwer, die Theorie nach diesen Beobachtungen zu prüfen; man darf die Versuche von verschiedenen Beobachtern nicht ohne weiteres miteinander ver-

gleichen. In Betracht sind nur solche Versuche gezogen, die sich über möglichst viele Belastungsarten ausdehnen. Es sind die Versuche von:

C. Bessel, publiziert in „Der Stahlbau" 1931, Heft 23. Sie sind in der Tabelle kurz angedeutet mit „Bessel".

Andrew Vogel — Journal of the American Welding Society, April 1929 — kurz angedeutet mit „Vogel".

Die Dresdener Schweißversuche — „Der Stahlbau" 1931, Heft 12.

Report of tests, Boston Section — Journal of the American Welding Society — kurz angedeutet mit „Boston".

E. Hohn — Congrès Int. de la Construction Métallique zu Lüttich, September 1930 — kurz angedeutet mit „Hohn".

F. P. Mac Gibbon — First Communications of the New International Association for Testing Materials, Seite 155 — kurz angedeutet mit „Mc. Gibbon".

Eidgenössische Materialprüfungsanstalt der E. T. H. zu Zürich — Bericht Nr. 86, Seite 5 — kurz angedeutet mit „E. T. H. Zürich".

Report of Structural Steel Welding Committee of the American Bureau of Welding — kurz angedeutet mit „R. S. W."

Die Bruchspannungen sind in der Tabelle unter den kurzen Andeutungen („Bessel", „Vogel" usw.) eingetragen. Meist ist das Mittel der äußersten Werte der Serien eingeschrieben.

Prüfen wir jetzt die oben beschriebene Theorie an den Zahlen in der Tabelle. Die Reihenfolge der Versuchskörper ist derart, daß oben Prüfkörper aufgenommen sind (I, II und VII), deren Nähte in ihrem kleinsten Querschnitt normal auf Zug beansprucht sind. Dann folgen Versuchskörper, deren Nähte schräg auf Zug beansprucht sind und zwar unter allmählich kleiner werdenden Winkeln (VIII und IX). Dann folgen die Prüfkörper zur Untersuchung des Widerstandes gegen Abscherung usw. Die letzten Prüfkörper in der Reihe haben Nähte; die normal auf Druck beansprucht sind.

Vergleicht man die beobachteten und berechneten Verhältnisse zwischen den Bruchspannungen der Nähte und den Bruchspannungen der Normalstäbe aus Schweißgut, so sieht man, daß erstere im allgemeinen ein wenig höher sind als letztere. Bis zu Probekörper XII sind die Verhältnisse ziemlich gleich. Die unter 72° gedrückten (XII) oder normal gedrückten (V und XIII) Schweißnähte sind aber viel stärker, wie aus der Berechnung abgeleitet ist. Für Druck unter mehr als 45° ist die angegebene Theorie also nicht zulänglich. Dies stimmt mit dem Gebrauch überein, die zulässige Spannung in den Nähten für Druck größer anzusetzen als für Zug. Daß der Widerstand der Nähte gegen Druck sehr groß ist, gilt nicht nur für Stumpfnähte, sondern auch für Kehlnähte. Die gedrückten Kehlnähte XIII sind außerordentlich stark. Bei einer Eindrückung von 0,2 mm ist die Spannung schon das 1,27fache der Zugbruchspannung des Schweißgutes. In der Praxis ist der Widerstand bei Verbindungen gemäß den Versuchskörpern XII und XIII noch viel größer, wie es die Versuche angeben, weil das Eindringen des Schweißgutes in die Spalte in der Praxis nicht, wie bei der Anfertigung der Versuchskörper, durch Einlegen von Kupferplättchen während des Schweißens gehindert wird. Da Verbindungen wie XII bei Säulenfüßen (wenn die unteren

Seiten der Stützen nicht genau bearbeitet sind) und Verbindungen wie XIII bei Anschlüssen von Trägern und Stützen vorkommen, wäre es wichtig, Versuche mit derartigen Versuchskörpern durchzuführen, wobei aber das Eindringen des Schweißgutes in die Spalte nicht gehindert ist. Die Dresdener Schweißversuche enthalten eine solche Probe gemäß Versuchskörper XII, aus der aber nur hervorgeht, daß die Bruchspannung[1] größer ist als 52,5 kg/mm².

Abgesehen von den Versuchskörpern XII, V und XIII, deren Nähte unter 72° oder normal auf Druck beansprucht sind, weisen die Versuchskörper XI die größte Abweichung von der Theorie auf. Die aus dem Versuche abgeleitete Bruchspannung ist das 0,74fache der Zugbruchspannung des Schweißgutes. Nach der Theorie müßte sie das 0,58fache sein. Diese Versuchskörper sind also $\frac{0,74}{0,58} = 1,27$ mal stärker als berechnet. Sie haben Flankennähte, die auf Abscherung belastet sind, und unterscheiden sich dadurch von dem Versuchskörper XIV, daß die verbundenen Teile gedrückt anstatt gezogen werden. Die Naht wird dadurch bei der Belastung kürzer anstatt länger. Die Versuche von *Vogel* und *Mac Gibbon* bestätigen, daß Flankennähte zwischen gedrückten Stücken widerstandsfähiger sind als Flankennähte zwischen gezogenen Stücken. Die Tatsache ist dadurch erklärlich, daß die Naht während des Abkühlens nach dem Schweißen kürzer werden würde, wenn die verbundenen Teile es nicht verhinderten. Die Naht hat dadurch beim Anfang des Belastungsversuches eine Zugvorspannung in Längsrichtung, die bei Druckbelastung des Versuchskörpers kleiner wird. Nach der Plastizitätslehre würde dies die Bruchfestigkeit aber nicht beeinflußen.

Die darauf folgenden größten Abweichungen der Theorie findet man bei den Prüfkörpern VIII und VII. Der Widerstand ist dabei $\frac{1,07}{0,91} = 1,19$ bzw. $\frac{1,19}{1,00} = 1,19$ mal so groß als berechnet.

Bei den übrigen Versuchskörpern (I, II, IX, VI, X und XIV) geht die Abweichung zwischen der beobachteten Bruchspannung und der durch Berechnung aus der Zugfestigkeit des Schweißgutes abgeleiteten bis zu 10 % und zwar in dem Sinne, daß erstere, mit einer Ausnahme (IX), größer ist.

Im allgemeinen ist die Bruchspannung, welche aus den Versuchen ermittelt wurde, etwas größer als die durch Berechnung aus der Bruchspannung bei normalen Prüfstäben aus Schweißgut abgeleitete. Dies gilt ebensogut für Kehlnähte wie für Stumpfnähte. Die Bruchspannungen ändern sich mit dem Winkel, unter welchem die Kraft auf den kleinsten Querschnitt der Nähte wirkt und zwar in gleicher Weise. Eine normal gedrückte Kehlnaht (VII) ist sehr stark.

[1] Mit „Bruchspannung" ist gemeint die Kraft auf die Verbindung dividiert durch die Summe der kleinsten Querschnitte der Nähte.

Schlußfolgerungen.

Aus Obenstehendem ziehen wir die folgenden Schlußfolgerungen bezüglich der Berechnung von geschweißten Verbindungen bei statischer Belastung (Hochbauten):

1. daß es nicht richtig sei, für alle Kehlnähte die zulässige Spannung auf denselben niedrigen Betrag zu stellen, wie es in „DIN 4100" und „Code for Fusion Welding and Gascutting in Building Construction" vorgeschrieben ist.

2. daß in den Vorschriften die gleichen zulässigen Spannungen für Kehlnähte und Stumpfnähte vorgeschrieben werden sollten und der Betrag abhängig gemacht werden sollte von dem Winkel zwischen der Kraftrichtung und dem kleinsten Nahtquerschnitt.

3. daß die Theorie konstanter Gestaltsänderungsenergie das Verhältnis zwischen der normalen Zugbruchspannung und einer schrägen Bruchspannung richtig angibt. Normal oder schräg unter einem Winkel $> 45^0$ gedrückte Nähte sind aber viel widerstandsfähiger, als durch Berechnung aus der Zugbruchspannung abgeleitet wird.

4. die Annahme, daß der Bruch in dem kleinsten Querschnitt einer Kehlnaht, also in der Kehle (C D Fig. 1) stattfindet, und die Annahme, daß bei statisch unbestimmten Konstruktionen die Kraft gemäß der Plastizitätslehre die günstigste mit der Gleichgewichtslehre verträgliche Richtung annimmt. führt zu praktisch gut verwendbaren Ergebnissen.

Zusammenfassung.

Zu Beginn des Beitrages schildert der Verfasser die Anwendung der Theorie auf Schweißverbindungen. Dann beschreibt er eigene Versuche und vergleicht sie mit schon veröffentlichten. Diese bestätigen die Gültigkeit der Theorie der konstanten Gestaltänderungsenergie für dieses Gebiet.