

Festigkeit von zweiachsig beanspruchten Stumpfnahverbindungen von Aluminiumlegierungen

Autor(en): **Harre, W.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **IABSE reports = Rapports AIPC = IVBH Berichte**

Band (Jahr): **37 (1982)**

PDF erstellt am: **20.06.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-28983>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Festigkeit von zweiachsig beanspruchten Stumpfnahverbindungen von Aluminiumlegierungen

Strength of Biaxially Stressed Butt Welds of Aluminium Alloys

Résistance des assemblages soudés bout à bout en alliages d'aluminium

W. HARRE

Dr. -Ing.
Otto-Graf-Institut
Stuttgart, BRD

ZUSAMMENFASSUNG

Schweißen verursacht bei vielen Aluminiumlegierungen eine beträchtliche Festigkeitseinbuße gegenüber dem unbeeinflussten Grundmaterial, was eine erhebliche Tragfähigkeitsminderung geschweisster Aluminiumbauteile zur Folge hat. Bei Stumpfnahverbindungen lässt sich dieser Nachteil, wie die vorliegenden Versuchsergebnisse zeigen, durch die konstruktive Massnahme, die Schweißnähte schräg zur Kraftrichtung anzuordnen, teilweise kompensieren. Insbesondere bei dynamischer Beanspruchung weist die Schrägnaht gegenüber der Querstumpfnah ein wesentlich günstigeres Tragverhalten auf.

SUMMARY

The effect of welding in many aluminium alloys so considerably reduces the strength in relation to the basic material that welded elements have greatly reduced capacities. As the test results show, with regards to butt joints, this disadvantage may be partially compensated by making the joint at an oblique angle to the direction of force. Especially for dynamic stresses the strength of the oblique weld is much greater than that of a transverse butt weld.

RESUME

Pour un grand nombre d'alliages en aluminium le soudage réduit considérablement la résistance par rapport à celle du matériau de base ce qui a pour conséquence une forte diminution de la capacité portante des éléments en aluminium. Comme le montrent les résultats d'essais, cet inconvénient peut être partiellement compensé dans les soudures bout à bout par des mesures constructives en disposant les soudures obliquement par rapport à la direction de l'effort. En particulier dans le cas des charges dynamiques, la soudure oblique possède une capacité portante bien supérieure à la soudure bout à bout transversale.



1. EINFÜHRUNG

Frühere Untersuchungen über das Festigkeitsverhalten von Aluminiumlegierungen und deren Schweißverbindungen haben erkennen lassen, daß die vergleichsweise hohe Festigkeit des unbeeinflussten Grundmaterials durch das Schweißen eine beträchtliche Abminderung erfährt [1, 2, 3, 4]. Querstumpfnahthverbindungen, die gegenüber Kehlnahthverbindungen wegen des verhältnismäßig ungestörten Kraftflusses ohnehin günstiger sind und die auf Grund der inzwischen vorhandenen Möglichkeiten in der Herstellung von Strangpreßprofilen auch bevorzugt in den Aluminiumkonstruktionen Anwendung finden, bedeuten z.B. eine Festigkeitseinbuße gegenüber dem unbeeinflussten Grundmaterials von bis zu rd. 30 % bei vorwiegend statischer Beanspruchung und von etwa rd. 25 %, was die Schwingfestigkeit an betrifft, siehe Bild 1.

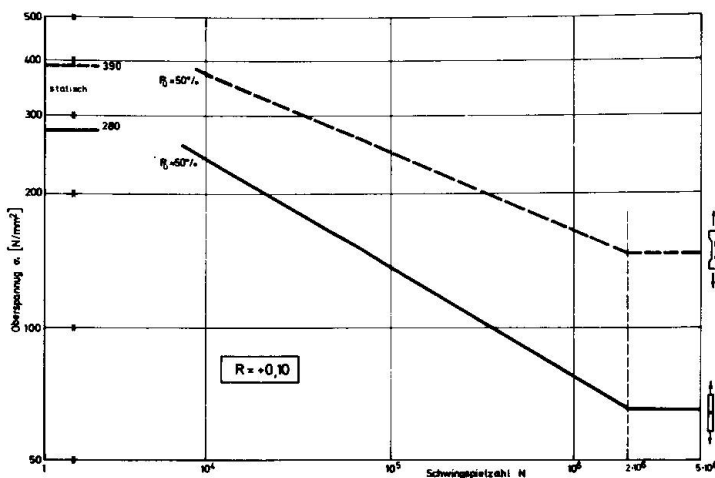


Bild 1. Statische und dynamische Festigkeit des Grundmaterials und der Stumpfnahth-Schweißverbindung bei der Aluminiumlegierung Al Zn Mg 1 (nach [1, 2, 3, 4])

Über die Ursachen und Einflüsse, die zu einem derartigen Festigkeitsabfall im Schweißnahtbereich führen, ist in der einschlägigen Literatur eingehend berichtet worden, siehe z.B. [4, 5, 6]. Im Ggs. zu den üblichen Baustählen, wo bei sorgfältiger Ausführung einer Querstumpfnahthverbindung bekanntlich ohne Schwierigkeiten die statische und auch in weiten Beanspruchungsbereichen die Schwingfestigkeit des zu verschweißenden Grundwerkstoffes erreicht wird, bedeutet daher bei Aluminiumlegierungen eine Schweißnahtverbindung in einem Bauteil eine empfindliche Verminderung der zumutbaren Beanspruchung, was sich nachteilig auf die Dimensionierung der Bauteile auswirkt und somit

die eigentlichen Vorteile der Anwendung von Aluminiumlegierungen, nämlich vergleichsweise hohe Festigkeit bei geringem Eigengewicht, beträchtlich reduziert.

In dem Bestreben, nach Möglichkeiten zu suchen, um die anzusetzende Festigkeit geschweißter Aluminiumverbindungen zu steigern und so geschweißte Aluminiumbauteile und Konstruktionen ggf. wirtschaftlicher gestalten zu können, sowie im Hinblick auf die Tatsache, daß sich bisherige Untersuchungen über die Festigkeitseigenschaften von Aluminiumstumpfnahthverbindungen ausschließlich auf reine Querstumpfnahthverbindungen erstreckten, andererseits aber gerade in der Praxis von Aluminiumbauweisen verhältnismäßig häufig Anwendungsfälle auftreten können, in denen Stumpfnahth mehr oder weniger schräg zur Hauptbelastungsrichtung der Verbindung angeordnet werden bzw. aus konstruktiven Gründen oft sogar angeordnet werden müssen, siehe z.B. Bild 2, erschien es sinnvoll und zweckmäßig, die Festigkeitseigenschaften derartiger zweiachsig, d.h. durch Kombinationen von Normal- und Schubspannungen beanspruchter Stumpfnahth näher zu untersuchen.

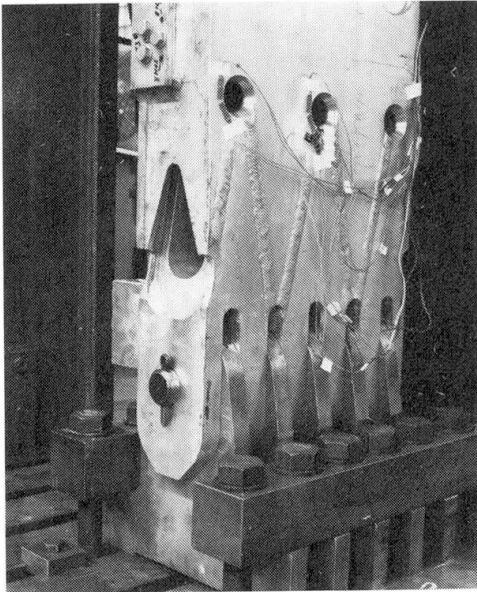


Bild 2 . Beispiel für Schrägnahtanordnungen aus dem Pionierbrückenbau (Detail einer Untergurtverbindung)

Abgesehen davon, daß Werkstoffe unter bestimmten Voraussetzungen bei mehrachsiger Beanspruchung höhere Festigkeiten aufweisen können als bei einachsiger, haben solche schrägen Stumpfnähte zudem den entscheidenden Vorteil, daß sich die Kerbwirkung der Naht nicht wie bei der Querstumpfnah auf einen Querschnitt (senkrecht zur Krafrichtung) konzentriert, sondern jeder Querschnitt des Bauteils im Bereich der Verbindung immer nur mit einem Bruchteil in den ungünstigen Schweißnahtbereich fällt.

In folgenden soll über ein vor kurzem abgeschlossenes Forschungsprogramm berichtet werden, das zum Ziel hatte, die statischen und dynamischen Festigkeitseigenschaften von zweiachsig beanspruchten Aluminiumstumpfnahverbindungen zu ermitteln. Ähnlich gartete, ältere Untersuchungen an Stumpfnahverbindungen aus St. 37 sowie einige anfänglich durchgeführte Tastversuche mit Aluminiumstumpfnahverbindungen hatten erkennen

lassen, daß zumindest die dynamische Beanspruchbarkeit derartiger, schräg zur Krafrichtung angeordneter Stumpfnähte deutlich größer ist als die reiner Querstumpfnähte.

2. VERSUCHSKRÖPER

Als Versuchskörper wurden Stumpfnahverbindungen von Flachstäben mit schräg zur Krafrichtung verlaufenden Nähten gewählt. in Bild 3 sind Form und Abmessungen der Versuchskörper dargestellt. Zur Herstellung dieser Versuchskörper wurden 10 mm dicke Aluminiumtafeln jeweils paarweise entlang einer entsprechend vorbereiteten Längsseite stumpf miteinander verschweißt und aus diesen Probeschweißungen in streifenförmigen Abschnitten die Ausgangsstücke für die Versuchskörper entnommen, siehe Bild 4.

Sämtliche Probeschweißungen waren vor der Entnahme der Ausgangsstücke mittels Röntgen-durchstrahlung geprüft und dabei erkennbare fehlerhafte Schweißungen ausgesondert worden.

Es wurden 4 verschiedene Nahtneigungen untersucht : $\alpha = 0^\circ, 30^\circ, 45^\circ$ und 60° .

Bild 5 zeigt beispielhaft die 4 verschiedenen Versuchskörperausführungen.

Die Stumpfnähte wurden durchweg als V-Nähte mit einem Öffnungswinkel von 60° in Handschweißung ohne Vorwärmung nach DIN 8552 ausgeführt. Als Schweißverfahren war nach den Empfehlungen der DIN 1732 das MIG - Schweißverfahren angewendet worden.

3. VERSUCHSPROGRAMM

Das Versuchsprogramm umfaßte drei Versuchsreihen mit insgesamt 60 statischen und 240 dyna-

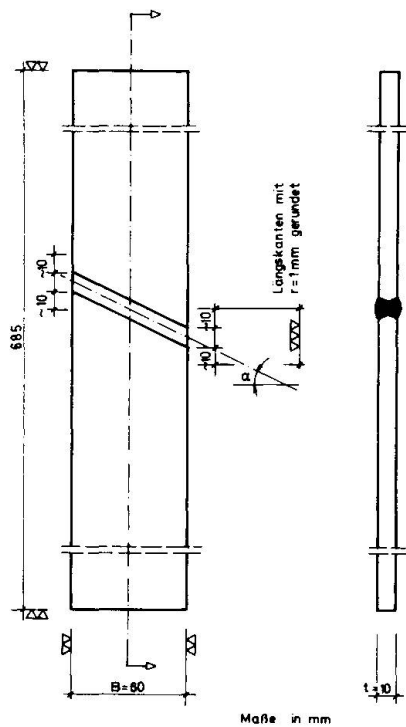


Bild 3 . Form und Abmessungen der Versuchskörper

war im vorliegenden Fall der versuchstechnische Aufwand für jede aufzustellende Wöhlerlinie wegen der Vielzahl der erforderlichen Einzelversuche (Legierung, Nahtneigung) so klein wie vertretbar zu halten. In neuester Zeit wurden im einschlägigen Schrifttum zur Frage der Mindestprobenzahl eine Reihe von Arbeiten bekannt [7, 8, 9]. Die gewonnenen Erkenntnisse zeigen für einen breiten praktischen Anwendungsbereich einen akzeptablen Kompromiß zwischen Probenaufwand und Aussagezuverlässigkeit auf. Dabei wird herausgestellt, daß ein gewisser Verlust an Zuverlässigkeit infolge gesenkten Probenbedarfs insbesondere dann hingenommen werden kann, wenn die Abweichungen so liegen, daß damit vorzugsweise eine vergrößerte Sicherheit verbunden ist. Im vorliegenden Fall sah der Kompromiß so aus, daß im Zeitfestigkeitsgebiet und im Übergangsbereich jeweils 2 Lasthorizonte plazierte wurden, auf denen jeweils 5 Proben geprüft wurden, d.h. jede Wöhlerlinie wurde mit 20 Versuchen belegt. Die gewählte Anzahl von Versuchen stellte im Hinblick auf die statistische Auswertung und Aussagesicherheit der Ergebnisse die unterste Grenze dar.

mischen Einzelversuchen mit Werkstoffkombinationen, die heute bevorzugt im Konstruktiven Ingenieurbau zur praktischen Anwendung kommen, siehe Bild 6.

Mit den Legierungen Al Zn 4,5 Mg 1 (F 35) und Al Mg Si 1 (F 32) wurden aus der Gruppe der aushärtbaren Legierungen zwei Werkstoffe gewählt, die sich hinsichtlich des Festigkeitsabfalls in den durch die Schweißwärme beeinflussten Zonen (WEZ) sehr stark unterscheiden und daher für die vorliegenden Untersuchungen von besonderem Interesse waren. Als nicht aushärtbare Legierung wurde Al Mg 4,5 Mn (W 28) mit in das Programm aufgenommen. Die Zusatzwerkstoffe wurden entsprechend DIN 4113 bzw. nach DIN 1732 festgelegt. Einziger Untersuchungsparameter jeder Versuchsreihe war die Neigung α der Stumpfnah in Bezug auf die Krafrichtung. Neben der Ermittlung der statischen Festigkeitseigenschaften sollte insbesondere das Schwingfestigkeitsverhalten durch die Aufstellung von Wöhlerlinien bestimmt werden. Erfahrungsgemäß weisen Versuchsergebnisse von Wöhlerversuchen infolge vielfältiger Einflüsse (Belastung, Prüfmaschine, Inhomogenität der Proben) häufig starke Streuungen auf, so daß die Frage nach der Mindestzahl von Versuchen schwer und nicht pauschal zu beantworten ist. Aus Kostengründen

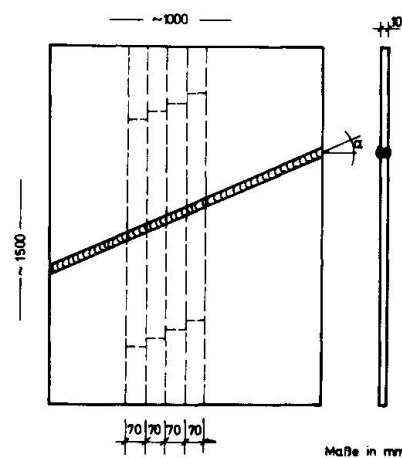


Bild 4 . Entnahme der Ausgangsstücke für die Herstellung der Versuchskörper

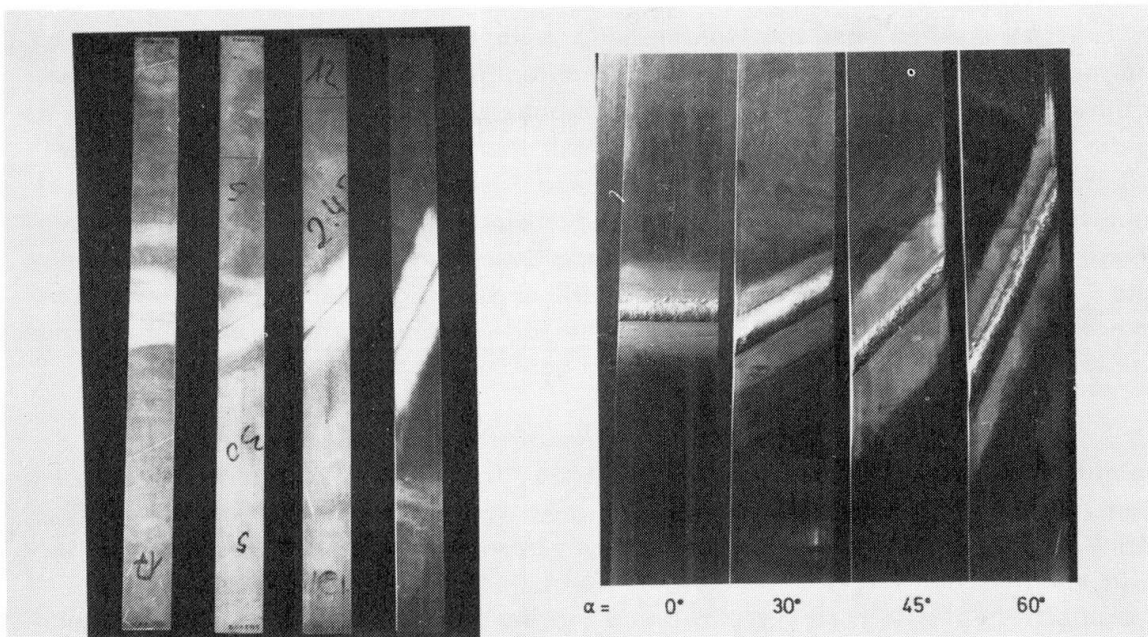


Bild 5 . Ausführung der Versuchskörper mit den verschiedenen Nahtneigungen α

4. VERSUCHSDURCHFÜHRUNG

Sämtliche Versuche wurden in einer servo-hydraulisch geregelten Universalprüfmaschine durchgeführt. Die Versuche wurden kraft geregelt gefahren. Bei den statischen Zugversuchen wurde die Belastung stetig ansteigend bis zum Bruch der Versuchskörper aufgebracht. Die dynamischen Versuche wurden als Zugschwellversuche mit $R = +0,10$ bei einer Schwingspielfrequenz von $n = 8$ Hertz (480/min) durchgeführt.

5. VERSUCHSERGEBNISSE

5.1 Statische Festigkeitseigenschaften

Aus den in den statischen Zugversuchen erreichten Traglasten F_m der Versuchskörper wurden die auf den Querschnitt $A = t \cdot B$ bezogenen Bruchspannungen R_m errechnet. Die Ergebnisse sind in Bild 7 in Abhängigkeit von der Nahtneigung α

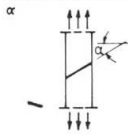
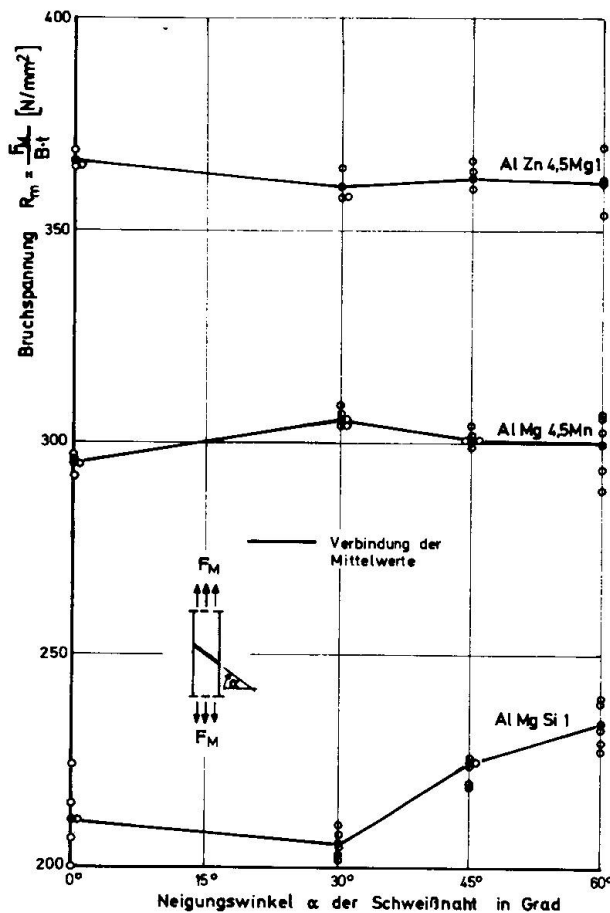
| Versuchsreihe Nr. | Grundwerkstoff und Zusatzwerkstoff | Schweißnahtrichtung α  | Anzahl der statischen Zugversuche n_1 | Anzahl der Zugschwellversuche ($R = +0,1$) n_2 |
|-------------------------------|---|--|--|--|
| 1 | Al Mg Si 1 (warm ausgehärtet) und S-Al Si 5 | 0° | 5 | 20 |
| | | 30° | 5 | 20 |
| | | 45° | 5 | 20 |
| | | 60° | 5 | 20 |
| 2 | Al Mg 4,5Mn (weich) und S-Al Mg 4,5Mn | 0° | 5 | 20 |
| | | 30° | 5 | 20 |
| | | 45° | 5 | 20 |
| | | 60° | 5 | 20 |
| 3 | Al Zn 4,5Mg 1 (warm ausgehärtet) und S-Al Mg 5 | 0° | 5 | 20 |
| | | 30° | 5 | 20 |
| | | 45° | 5 | 20 |
| | | 60° | 5 | 20 |
| Gesamtzahl der Einzelversuche | | | 60 | 240 |

Bild 6 . Übersicht zum durchgeführten Versuchsprogramm



dargestellt. Es ist zu ersehen, daß die Nahtneigung α im untersuchten Bereich $0^\circ \leq \alpha \leq 60^\circ$ lediglich bei der Legierung Al Mg Si einen signifikanten Einfluß auf die Tragfähigkeit der Schweißverbindung ausübt, während bei den beiden anderen Legierungen praktisch keine Beeinflussung der Traglasten durch unterschiedliche Nahtanordnung festzustellen ist. Die Erklärung für das beobachtete Verhalten liegt in den spezifischen Kerbwirkungseinflüssen bei Aluminiumschweißverbindungen. Aluminiumschweißverbindungen wie die hier untersuchten Stumpfnahthverbindungen mit belassener Schweißbraupe bedeuten für ein Bauteil sowohl eine geometrische Kerbe (Querschnittsprünge im Schweißnahtbereich) wie auch - je nach Legierungstyp - eine mehr oder weniger gravierende metallurgische Kerbe (Veränderungen der mechanisch-technischen Werkstoffeigenschaften in der WEZ).

Die geometrischen Kerben in der hier zu betrachtenden Art und Größenordnung üben bei Werkstoffen mit entsprechend hoher Duktilität, wie sie Aluminiumlegierungen i.a. auch im geschweißten Zustand noch aufweisen, keinen signifikanten Einfluß auf die statische Tragfähigkeit der Verbindung aus: Aluminiumlegierungen bzw. deren Schweißverbindungen besitzen eine im metallischen Werkstoffbereich als Kerbzähigkeit bezeichnete ausgeprägte Fähigkeit, sich örtlich plastisch zu verformen und so eine Spannungumlagerung auf benachbarte Bereiche zu erlauben. So zeigen beispielsweise Stumpfnahthverbindungen im Zugversuch gleiche Festigkeiten unabhängig davon, ob die Schweißbraupe abgearbeitet oder belassen wurde. Die metallurgischen Kerben dagegen wirken sich als Zonen geringerer Werkstofffestigkeit generell tragfähigkeitsmindernd aus.



Wie durch begleitende Härteuntersuchungen bestätigt wurde, weist von den untersuchten Legierungen Al Mg Si 1 naturgemäß den größten Festigkeitsabfall in der WEZ mit rd. 40 % auf, d.h. für diese Legierung aus dem Kreis der hier untersuchten ist der Nachteil einer metallurgischen Kerbe im Sinne einer beträchtlich verminderten Querschnittsfestigkeit (auf den Querschnitt bezogene Tragfähigkeit) am ausgeprägtesten, während bei Al Mg 4,5 Mn erwartungsgemäß fast kein Festigkeitsabfall zu verzeichnen war, und bei Al Zn 4,5 Mg 1 durch Wiederaushärtung die WEZ rd. 80 % der Ausgangsfestigkeit erreichte. Infolgedessen wirkte sich bei Al Mg Si 1 das "Auseinanderziehen" und damit Entschärfen der Kerbe durch eine in Bezug auf die Kraftrichtung schräge Anordnung der Schweißnaht am deutlichsten aus. Außerdem können sich konsequenterweise auch nur hier durch die mit der schrägen Nahtanordnung erzeugten zweiachsigen Beanspruchungsverhältnisse in der Verbindung merkliche Tragfähigkeitssteigerungen ergeben.

Bild 7. Abhängigkeit der Bruchspannung R_m von der Neigung α der Schweißnaht

Die Erhöhung der bezogenen Tragfähigkeit ist erwartungsgemäß bei der Nahtanordnung $\alpha = 60^\circ$ mit rd. 15 % gegenüber $\alpha = 0^\circ$ am größten. Darüber hinaus ist einsichtig, daß bei Neigungen $\alpha < 30^\circ$ für die hier gewählten Versuchskörper praktisch keine Tragfähigkeitssteigerung möglich ist, da mit $B = 60$ mm und einer WEZ - Breite von rd. 25 mm bis etwa $\alpha = 30^\circ$ immer ein voller Versuchskörperquerschnitt in die WEZ fällt. Die vorliegenden Versuchsergebnisse der Legierung AlMgSi 1 bestätigen qualitativ die Ergebnisse aus einer früheren Untersuchung an 4 mm dicken Stumpfschweißverbindungen dieser Legierung [10].

5.2 Dynamische Festigkeitseigenschaften

Die Ergebnisse der Schwingfestigkeitsversuche sind nach statistischer Aufbereitung und Auswertung in Form von Wöhlerlinien konstanter Überlebenswahrscheinlichkeit in den Bildern 8, 9 und 10 dargestellt. In allen drei Versuchsreihen wurde eine deutliche und in der Tendenz einheitliche Abhängigkeit der Schwingfestigkeit von der Nahtanordnung festgestellt: Die schräg zur Krafrichtung angeordnete Stumpfnahnt bewirkt in allen Fällen eine Erhöhung der Schwingfestigkeit gegenüber der Querstumpfnahnt und damit eine teilweise Kompensation der Festigkeitseinbuße bei Querstumpfnahntverbindungen gegenüber dem ungestörten Grundmaterial. Je größer der Winkel α ist, desto größer ist der Zugewinn. Damit bestätigt sich erwartungsgemäß der günstige Einfluß derartiger Nahtlagen vor allem auf die Schwingfestigkeit der Aluminiumstumpfnahntverbindungen, der darin begründet ist, daß bei der Schrägnahnt nicht sämtliche Mängel und Nachteile der Schweißnahnt wie bei der Querstumpfnahnt in einem Querschnitt konzentriert sind (kritischer Querschnitt am Nahtübergang), sondern jeder Querschnitt des Bauteils im Bereich der Verbindung immer nur mit einem Bruchteil in den ungünstigen Schweißnahntbereich fällt, siehe Bild 11. Ergänzend zu den Verhältnissen bei statischer Beanspruchung (siehe vorherigen Abschnitt 5.1) wirkt sich bei dynamischer Beanspruchung, unabhängig vom Legierungstyp, die mit der Schräglage erzielte Entschärfung der geometrischen Bauteilkerbe und die Verteilung sonstiger schweißtechnischer Mängel (Inhomogenitäten, Poren, Bindefehler etc.) besonders vorteilhaft auf die dynamische Tragfähigkeit der Verbindung aus. Zudem läßt sich durch Berechnungen mit Hilfe bekannter Festigkeitshypothesen sowie auf Grund von Versuchsergebnissen [11, 12] belegen, daß im Fall der wiederholten Belastung die mit der schrägen Nahtanordnung bewirkte zweiachsige Beanspruchung der Schweißverbindung prinzipiell zu einer höheren Festigkeit der Verbindung führt, da sich hier die besonders nachteiligen örtlichen Spannungsspitzen infolge der geometrischen Kerbe entlang der schrägen Schweißnahnt in Schub- und Normalspannungsanteile aufspalten.

Bei den beiden aushärtbaren Legierungen läßt sich nach den Versuchsergebnissen durch die Anordnung einer Schrägnahnt mit $\alpha = 60^\circ$ an Stelle einer Querstumpfnahnt ($\alpha = 0^\circ$) eine Lebensdauersteigerung im Zeitfestigkeitsbereich um rd. 200 % erzielen: So beträgt beispielsweise bei einer Oberspannung von $\sigma_o = 150$ N/mm² für $\alpha = 0^\circ$ die Zahl N der ertragenen Schwingspiele rd. 75 000 (AlMgSi 1) und 160 000 (AlZn 4,5 Mg 1), während bei $\alpha = 60^\circ$ $N = 225$ 000 bzw. $N = 460$ 000 Schwingspiele ertragen werden. Bei der nicht aushärtbaren Legierung AlMg 4,5 Mn ist die Lebensdauersteigerung nach den Ergebnissen scheinbar noch beträchtlicher. So betragen die entsprechenden Werte für $\sigma_o = 150$ N/mm² $N = 42$ 000 ($\alpha = 0^\circ$) und $N = 280$ 000 ($\alpha = 60^\circ$), was einer Lebensdauererhöhung um das 6-fache gleichkommt. Allerdings ist hier einschränkend zu berücksichtigen, daß das verhältnismäßig schlechte Abschneiden dieser Legierung bei $\alpha = 0$ (Querstumpfnahnt) nicht typisch ist, sondern auf Unzulänglichkeiten bei der Herstellung dieser Schweißproben zurückzuführen ist: Infolge mangelhafter Fluchtung der Bleche beim Verschweißen wiesen sämtliche Versuchskörper dieser Legierung mit Querstumpfnahnt einen Versatz in der Schweißverbindung auf. Durch diese Exzentrizität wurden bei der Prüfung der Versuchskörper zusätzliche Biegebean-



spruchungen in der Verbindung verursacht, die erfahrungsgemäß zu beträchtlichen Schwingfestigkeits-einbußen führen [13]. Bei korrekter Ausführung der Versuchskörper ist nach bekannten Ergebnissen mit Querstumpfnähten dieser Legierung (siehe z.B. [14]) mit einem Wöhlerlinienverlauf für $\alpha = 0^\circ$ zu rechnen, der etwa mit dem von AlMgSi 1 bei $\alpha = 0^\circ$ vergleichbar ist, d.h. die anzusetzende Lebensdauersteigerung der Schweißverbindung durch die Schrägnahthanordnung wird bei AlMg 4,5 Mn etwa wie bei den anderen zwei Legierungen im Zeitfestigkeitsbereich grob verallgemeinert rd. 200 % betragen. Auch hinsichtlich der Dauerfestigkeit bestätigen die Versuchsergebnisse, daß die Stumpfschweißverbindung durch schräge Nahthanordnung erheblich leistungsfähiger wird. Bei 60° Nahthanneigung wurde für alle drei untersuchten Legierungen eine Dauerfestigkeitssteigerung von etwa 30 % festgestellt. Bild 12 zeigt beispielhaft die typischen Bruchformen der Schwingfestigkeitsversuche bei den verschiedenen Nahthanordnungen. Die einzelnen Bruchausbildungen Nr. 1 bis Nr. 4 veranschaulichen den Vorgang der Festigkeitssteigerung durch die konstruktive Maßnahme der zur Kraft- richtung schrägen Nahthanordnung und die damit verbundenen unterschiedlichen Versagenskriterien: Bei

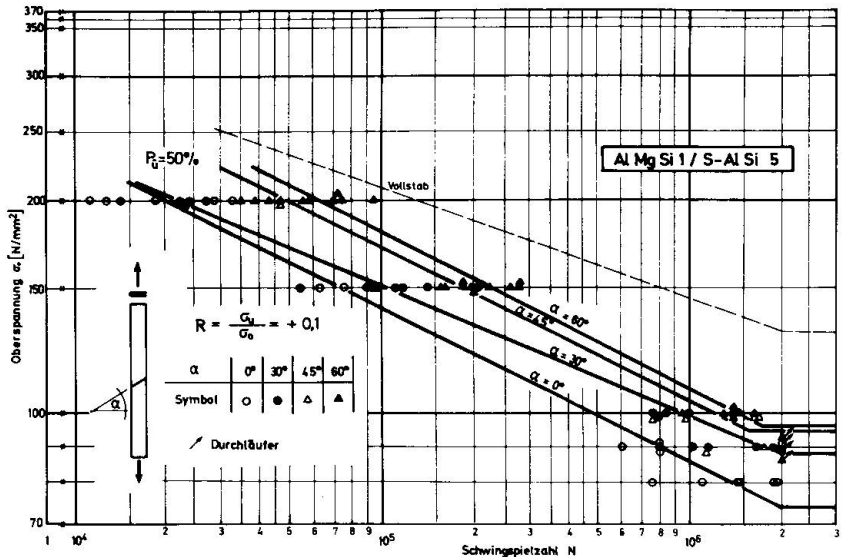


Bild 8 . Wöhlerlinien für Stumpfschweißverbindungen mit schräg zur Kraft- richtung angeordneter Naht

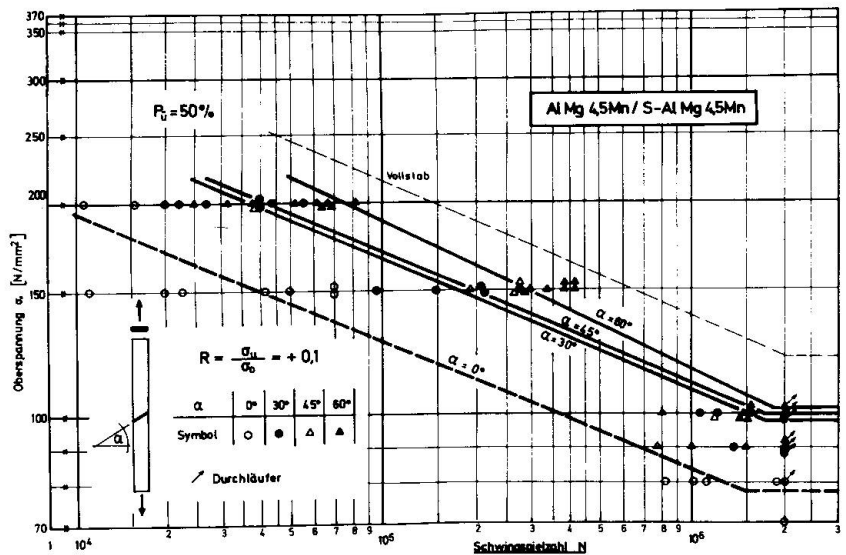


Bild 9 . Wöhlerlinien für Stumpfschweißverbindungen mit schräg zur Kraft- richtung angeordneter Naht

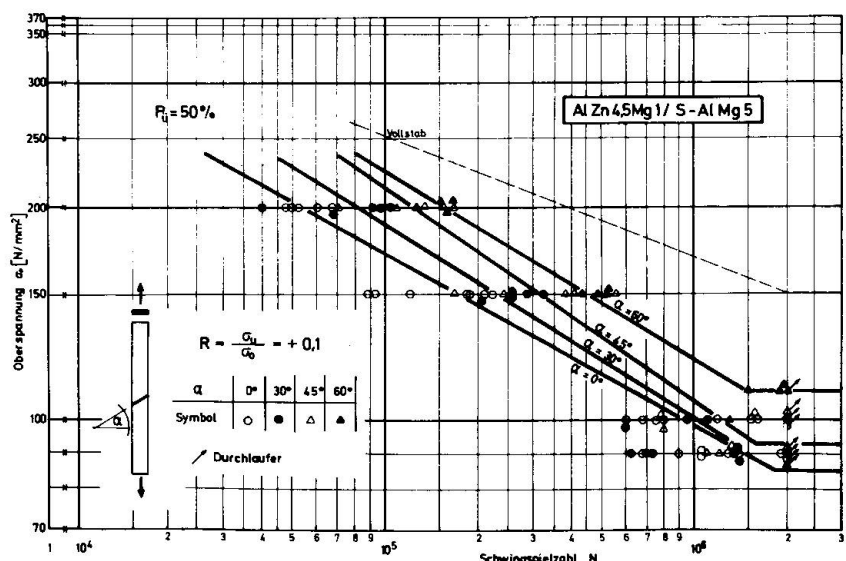


Bild 10 . Wöhlerlinien für Stumpfschweißverbindungen mit schräg zur Kraft- richtung angeordneter Naht

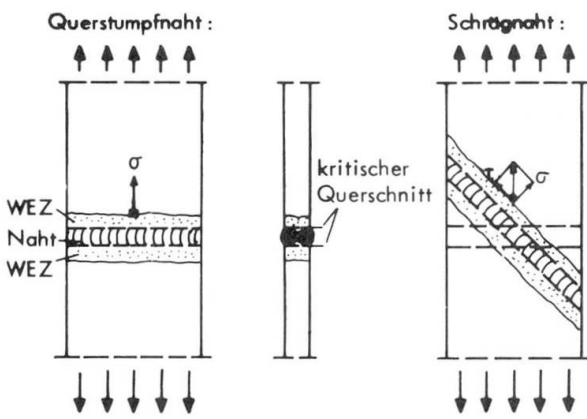
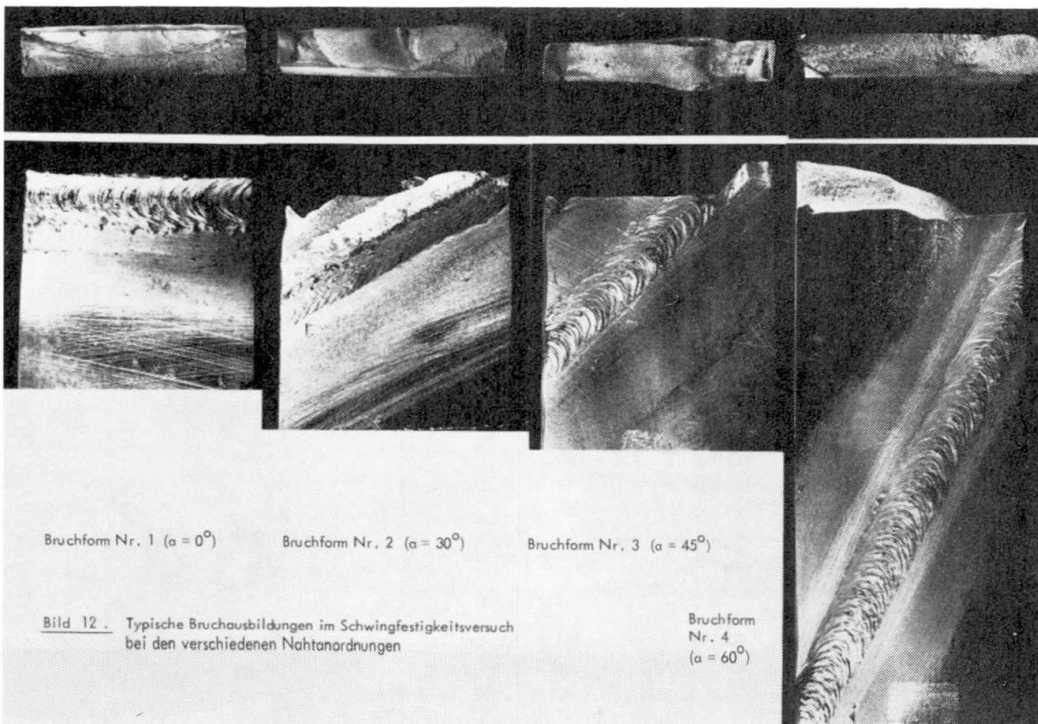


Bild 11. Querschnittssituation im Verbindungsbereich bei Querstumpfnahht und Schrägnahht

$\alpha = 0^\circ$ ist der Bruchquerschnitt des Bauteils eindeutig vorgegeben, hier fallen der bezüglich der geometrischen Kerbwirkung ungünstigste Querschnitt und der metallurgisch schwächste Querschnitt in einem Normalschnitt (Schnitt senkrecht zur Krafrichtung) am Nahtrand zusammen. Es entsteht die sog. reine Bruchform Nr. 1. Bei $\alpha = 30^\circ$ bereits beginnt sich die Divergenz zwischen dem geometrisch kleinsten Querschnitt, dem Normalschnitt, einerseits und dem kerbwirkungsmäßig (geometrisch wie metallurgisch) ungünstigsten Querschnitt parallel zur Schrägnahht (in dem wiederum begünstigend eine zweiachsige Beanspruchung vorliegt) andererseits abzuzeichnen. Es entsteht die sog. Mischbruchform Nr. 2, der Bruch verläuft zwischen den beiden konkurrierenden Querschnitten, d.h. zwischen dem Normalschnitt in Höhe des Nahtanfanges bzw.

-endes und dem Querschnitt entlang des Nahtrandes. Bei $\alpha = 45^\circ$ ist die Divergenz noch deutlicher ausgeprägt, hier ist der kerbwirkungsmäßig ungünstigste, jedoch zweiachsig beanspruchte Querschnitt am Nahtrand entlang um über 40 % größer als der Normalschnitt! Es steht also ein geometrisch verhältnismäßig großer und zweiachsig beanspruchter, jedoch durch die Kerbwirkungen in der Schwingfestigkeit ungünstig beeinflusster Querschnitt "im Wettstreit" mit dem geometrisch kleinsten, dem Normalschnitt, der aber zu einem großen Teil durch unbeeinflusstes Grundmaterial verläuft. Es bildet sich die Mischbruchform Nr. 3 aus, der Bruch verläuft z.T. parallel zur Naht, größtenteils jedoch senkrecht zur Krafrichtung im Bereich der WEZ. Bei $\alpha = 60^\circ$ schließlich wird der Normalschnitt als geometrisch kleinster Querschnitt maßgebend, es entsteht die reine Bruchform Nr. 4. Hier ist der gekerbte Querschnitt parallel zum Nahtrand flächenmäßig so erheblich größer, daß zusammen mit den zweiachsigen

Beanspruchungsverhältnissen in diesem Querschnitt trotz der Kerbwirkungseinflüsse eine größere Tragfähigkeit vorliegt, als im Normalschnitt mit größtenteils unbeeinflusstem Grundmaterial.



Bruchform Nr. 1 ($\alpha = 0^\circ$)

Bruchform Nr. 2 ($\alpha = 30^\circ$)

Bruchform Nr. 3 ($\alpha = 45^\circ$)

Bruchform Nr. 4 ($\alpha = 60^\circ$)

Bild 12. Typische Bruchausbildungen im Schwingfestigkeitsversuch bei den verschiedenen Nahtanordnungen



6. FOLGERUNGEN UND ZUSAMMENFASSUNG

Die Untersuchungsergebnisse lassen erkennen, daß sich die Festigkeitseinbußen von Aluminiumschweißverbindungen gegenüber dem unbeeinflussten Grundmaterial bei Stumpfnahverbindungen durch entsprechende Nahtanordnung teilweise kompensieren lassen. Das günstigere Tragverhalten von schräg zur Krafrichtung angeordneten Stumpfnähten gegenüber Querstumpfnähten beruht einmal darauf, daß sich die Kerbwirkung der Naht nicht in einem Bauteilquerschnitt konzentriert, sondern jeder Querschnitt des Bauteils im Bereich der Verbindung immer nur mit einem Bruchteil in den ungünstigen Schweißnahtbereich fällt. Zum anderen wird durch die schräg zur Krafrichtung angeordnete Naht die Beanspruchung der Verbindung zweiachsig. An die Stelle der Hauptspannungen = Normalspannungen im Fall der Querstumpfnah treten bei der Schrägnah je nach Nahtneigung entsprechende Kombinationen von Schub- und Normalspannungen, was sich günstig auf die Tragfähigkeit der Verbindung auswirkt. Abgesehen von jeweiligem Neigungswinkel α wird die Laststeigerung der Schrägnah entscheidend vom Legierungstyp und von der Beanspruchungsart beeinflusst. Bei statischer Beanspruchung ist davon auszugehen, daß nur Legierungen mit starkem Festigkeitsabfall in der WEZ eine größere Tragfähigkeit entwickeln, während sich bei dynamischer Beanspruchung generell eine Festigkeitssteigerung gegenüber der Querstumpfnah einstellt. Selbstverständlich wird es in der Praxis nicht immer möglich sein, eine Stumpfschweißverbindung als Schrägnahverbindung auszuführen und häufig werden sich Neigungswinkel von etwa 60° , die sich nach den Untersuchungsergebnissen als besonders günstig erwiesen haben, in praktischen Konstruktionen schon allein wegen der resultierenden großen Verbindungslängen nicht realisieren lassen. Grundsätzlich jedoch sollten nach den vorliegenden Ergebnissen beim Entwurf von geschweißten Aluminiumkonstruktionen die jeweiligen Möglichkeiten der Anordnung von Schrägnähten an Stelle von Querstumpfnähten überprüft werden. In vielen Fällen kann sich eine günstigere Dimensionierung der Bauteile und damit eine Steigerung der Wirtschaftlichkeit der Aluminiumbauweisen ergeben.

LITERATURVERZEICHNIS

- [1] HARRE, W. ; ROSTASY, F.S. : Untersuchung der Festigkeitseigenschaften von ungeschweißten und geschweißten Probestäben aus der Aluminiumlegierung Al Zn Mg 1 F 36. Materialprüfung 16 (1974) Nr. 6.
- [2] KOSTEAS, D. : Statisches und dynamisches Festigkeitsverhalten von Aluminiumverbindungen des konstruktiven Ingenieurbaus. Schweißen und Schneiden 24 (1972).
- [3] HARRE, W. ; ROSTASY, F.S. : Beitrag zur Schwingfestigkeit von Schweißverbindungen der Aluminiumlegierung Al Zn Mg 1. Heft 70 der Schriftenreihe des Otto-Graf-Instituts an der Universität Stuttgart 1976.
- [4] STEINHARDT, O. : Dauerfestigkeitsuntersuchungen an stumpfgeschweißten Aluminiumstäben. Tech. Mitteilungen 62 (1969).
- [5] WOOD, J.L. : Flexural fatigue strength of butt welds in NP 5/6 type aluminium alloy. Brit. Weld. J. 6 (1956) Nr. 8.
- [6] KLOCK, H ; SCHOER, H. : Schweißen und Lüten von Aluminiumwerkstoffen. Deutscher Verlag für Schweißtechnik, Fachbuchreihe Schweißtechnik 70, 1977.
- [7] MAENNIG, W.W. : Das Abgrenzungsverfahren, eine kostensparende Methode zur Ermittlung von Schwingfestigkeitswerten - Theorie, Praxis und Erfahrungen. Materialprüfung 19 (1977), Heft 8, S. 280 - 289.
- [8] Statistical planning and evaluation of fatigue tests. A Survey of recent results. Int. Journ. of Fracture 11 (1975), S. 123 - 129
- [9] SEEBACHER, G. : Untersuchungen zur Eignung des Abgrenzungsverfahrens zur Schätzung der Dauerfestigkeit von Stahlwerkstoffen. VDI - Z 119 (1977), Heft 21, S. 1043 - 1045.
- [10] WERNER, G. : Verbesserung der Tragfähigkeit von Aluminiumschweißverbindungen. Aluminium 55 (1979), Heft Nr. 10.
- [11] ROS, M. ; EIDINGER, A. : Die Bruchgefahr fester Körper bei wiederholter Beanspruchung. Diskussionsber. Nr. 173 d. eidg. MPA Zürich, Zürich 1950.
- [12] ISSLER, L. : Festigkeitsverhalten metallischer Werkstoffe bei mehrachsiger phasenverschobener Schwingbeanspruchung. Diss. Universität Stuttgart 1973.
- [13] WYLDE, J.G. ; MADDOX, S.J. : Effect of Misalignment on fatigue strength of transverse butt welded joints. Mechan. Engineering 1979.
- [14] KOSTEAS, D. : Beitrag zum Zeit- und Dauerfestigkeitsverhalten von Al Zn Mg 1 und AlMg 4,5 Mn. Schweißen und Schneiden 26 (1974), Heft 6.