Zeitschrift: IABSE reports = Rapports AIPC = IVBH Berichte

Band: 37 (1982)

Artikel: Festigkeit von zweiachsig beanspruchten Stumpfnahtverbindungen von Aluminiumlegierungen

Autor: Harre, W.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-28983

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: 09.12.2025

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

Festigkeit von zweiachsig beanspruchten Stumpfnahtverbindungen 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 Stumpfnahtverbindungen 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 Querstumpfnaht 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]. Querstumpfnahtverbindungen, die gegenüber Kehlnahtverbindungen 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 anbetrifft, siehe Bild 1.

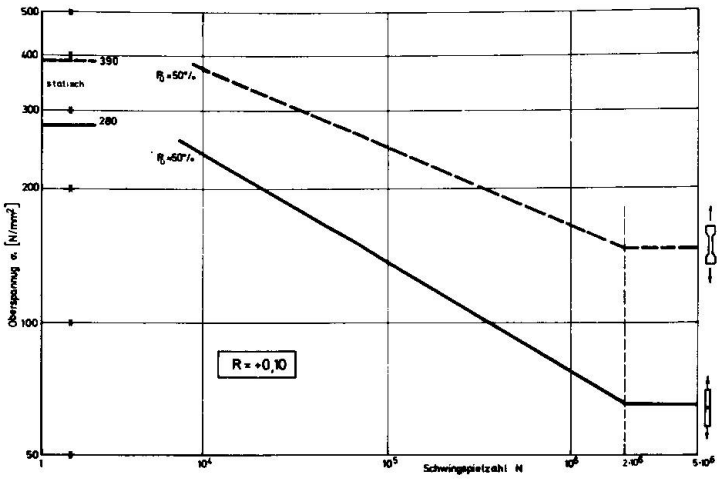

Bild 1. Statische und dynamische Festigkeit des Grundmaterials und der Stumpfnaht-Schweißverbindung bei der Aluminiumlegierung Al Zn Mg 1 (nach [1, 2, 3, 4])

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 Querstumpfnahtverbindung 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 Aluminiumstumpfnahtverbindungen ausschließlich auf reine Querstumpfnahtverbindungen erstreckten, andererseits aber gerade in der Praxis von Aluminiumbauweisen verhältnismäßig häufig Anwendungsfälle auftreten können, in denen Stumpfnähte 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 Stumpfnähte näher zu untersuchen.

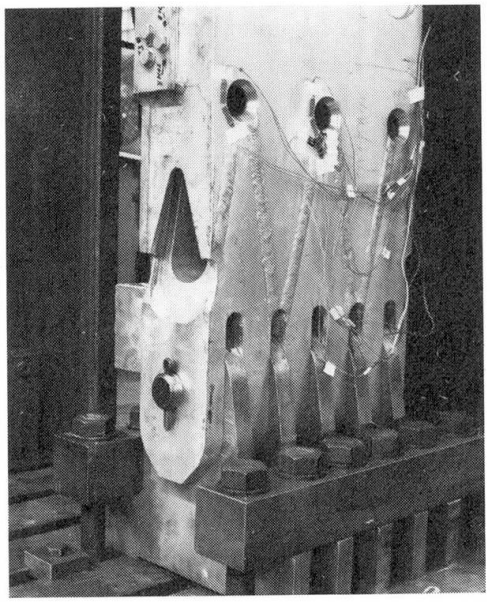

Bild 2. Beispiel für Schrägnahtanordnungen aus dem Pionierbrückenbau (Detail einer Untergurtverbindung)

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 Querstumpfnaht auf einen Querschnitt (senkrecht zur Kraftrichtung) 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 Aluminiumstumpfnahtverbindungen zu ermitteln. Ähnlich geartete, ältere Untersuchungen an Stumpfnahtverbindungen aus St. 37 sowie einige anfänglich durchgeführte Tastversuche mit Aluminiumstumpfnahtverbindungen hatten erkennen lassen, daß zumindest die dynamische Beanspruchbarkeit derartiger, schräg zur Kraftrichtung angeordneter Stumpfnähte deutlich größer ist als die reiner Querstumpfnähte.

2. VERSUCHSKRÖPER

Als Versuchskörper wurden Stumpfnahtverbindungen von Flachstäben mit schräg zur Kraftrichtung 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 Röntgendurchstrahlung geprüft und dabei erkennbare fehlerhafte Schweißungen ausgesondert worden.

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

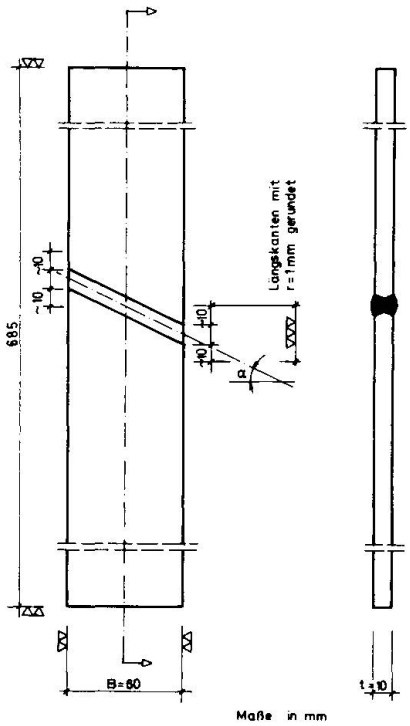

Bild 3. Form und Abmessungen der Versuchskörper

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 Stumpfnaht in Bezug auf die Kraftrichtung. 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 war im vorliegendem Fall der versuchstechnische Aufwand für jede aufzustellende Wöhlerlinie wegen der Vielzahl der erforderlichen Einzelversuche (Legierung, Nahtneigung) so klein wie vertretbar zu halten. In neuerster 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 Übergangsgebiet jeweils 2 Lasthorizonte plaziert 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.

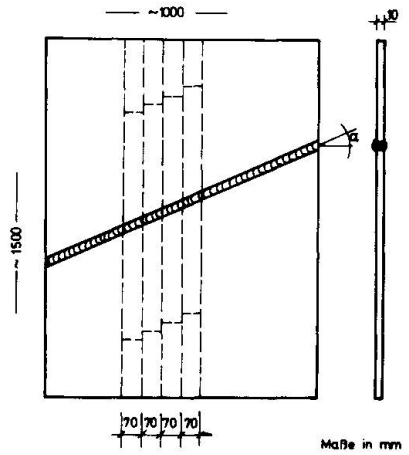

Bild 4. Entnahme der Ausgangsstücke für die Herstellung der Versuchskörper

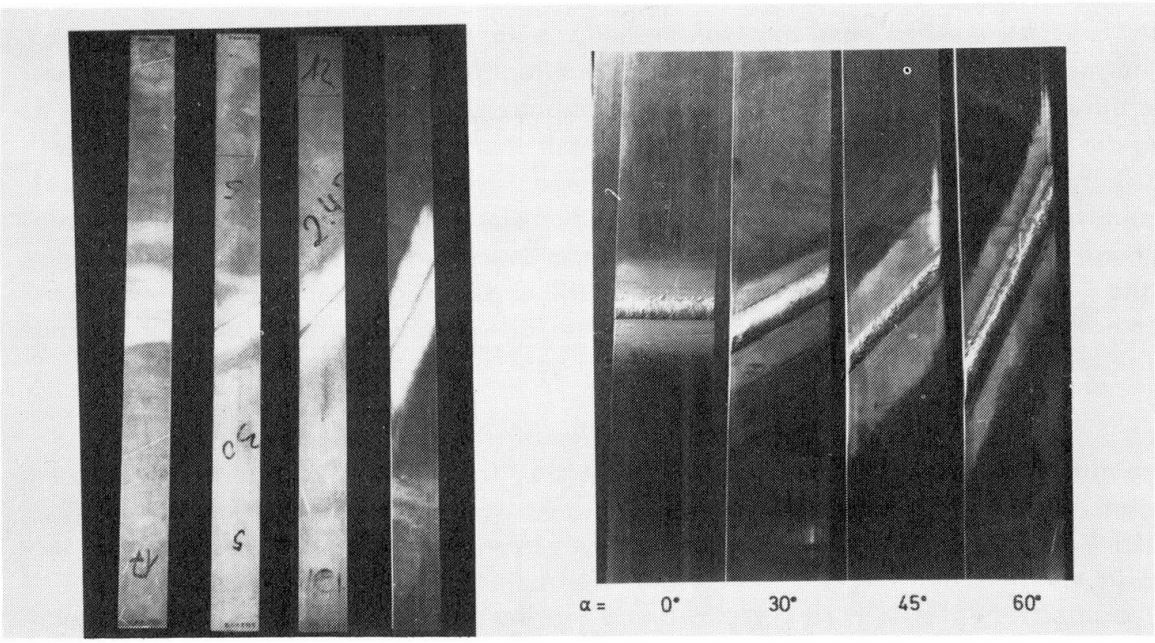

Bild 5 . Ausführung der Versuchskörper mit den verschiedenen Nahtneigungen α

4. VERSUCHSDURCHFÜHRUNG

Sämtliche Versuche wurden in einer servo-hydraulisch geregelten Universalprüfmaschine durchgeführt. Die Versuche wurden kraftgeregelt 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 Stumpfnahtverbindungen mit belassener Schweißraupe bedeuten für ein Bauteil sowohl eine geometrische Kerbe (Querschnittssprünge 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 Spannungsumlagerung auf benachbarte Bereiche zu erlauben. So zeigen beispielsweise Stumpfnahtverbindungen im Zugversuch gleiche Festigkeiten unabhängig davon, ob die Schweißrampe abgearbeitet oder belassen wurde. Die metallurgischen Kerben dagegen wirken sich als Zonen geringerer Werkstoffestigkeit generell tragfähigkeitsmindernd aus.

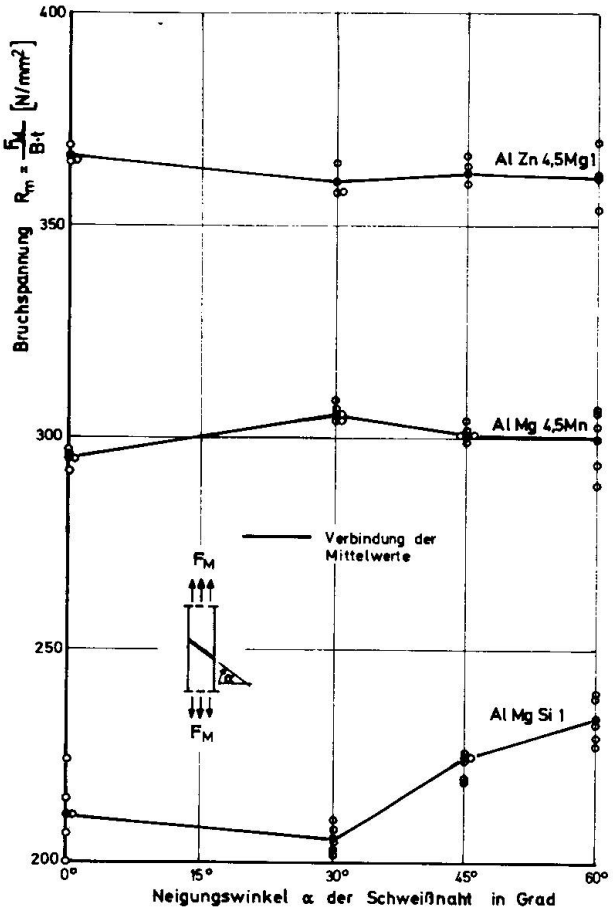

Bild 7. Abhängigkeit der Bruchspannung R_m von der Neigung α der Schweißnaht

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.

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 Al Mg Si 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 Kraftrichtung angeordnete Stumpfnaht bewirkt in allen Fällen eine Erhöhung der Schwingfestigkeit gegenüber der Querstumpfnaht und damit eine teilweise Kompensation der Festigkeitseinbuße bei Querstumpfnahtverbindungen 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 Aluminiumstumpfnahtverbindungen, der darin begründet ist, daß bei der Schrägnaht nicht sämtliche Mängel und Nachteile der Schweißnaht wie bei der Querstumpfnaht 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 Schweißnahtbereich 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 Schweißnaht in Schub- und Normalspannungsanteile aufspalten.

Bei den beiden aushärtbaren Legierungen läßt sich nach den Versuchsergebnissen durch die Anordnung einer Schrägnaht mit $\alpha = 60^\circ$ an Stelle einer Querstumpfnaht ($\alpha = 0^\circ$) eine Lebensdauersteigerung im Zeitfestigkeitsbereich um rd. 200 % erzielen: So beträgt beispielsweise bei einer Oberspannung von $\sigma_o = 150\ N/mm^2$ für $\alpha = 0^\circ$ die Zahl N der ertragenen Schwingspiele rd. 75 000 (Al Mg Si 1) und 160 000 (Al Zn 4,5 Mg 1), während bei $\alpha = 60^\circ$ N = 225 000 bzw. N = 460 000 Schwingspiele ertragen werden. Bei der nicht aushärtbaren Legierung Al Mg 4,5 Mn ist die Lebensdauersteigerung nach den Ergebnissen scheinbar noch beträchtlicher. So betragen die entsprechenden Werte für $\sigma_o = 150\ N/mm^2$ 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 $\alpha = 0$ (Querstumpfnaht) 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 Querstumpfnaht 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 Schwingfestigkeitseinbußen führen [13]. Bei korrekter Ausführung der Versuchskörper ist nach bekannten Ergebnissen mit Querstumpfnähten dieser Legierung (siehe z.B. [14]) mit einem Wöhlerlinienverlauf für $\alpha = 0^o$ zu rechnen, der etwa mit dem von Al Mg Si 1 bei $\alpha = 0^o$ vergleichbar ist, d.h. die anzusetzende Lebensdauersteigerung der Schweißverbindung durch die Schrägnahtanordnung wird bei Al Mg 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 Nahtanordnung erheblich leistungsfähiger wird. Bei 60° Nahtneigung wurde für alle drei untersuchten Legierungen eine Dauerfestigkeitssteigerung von etwa 30 % festgestellt. Bild 12 zeigt beispielhaft die typischen Bruchformen der Schwingfestigkeitsversuche bei den verschiedenen Nahtanordnungen. Die einzelnen Bruchausbildungen Nr. 1 bis Nr. 4 veranschaulichen den Vorgang der Festigkeitssteigerung durch die konstruktive Maßnahme der zur Kraftrichtung schrägen Nahtanordnung und die damit verbundenen unterschiedlichen Versagenskriterien : Bei

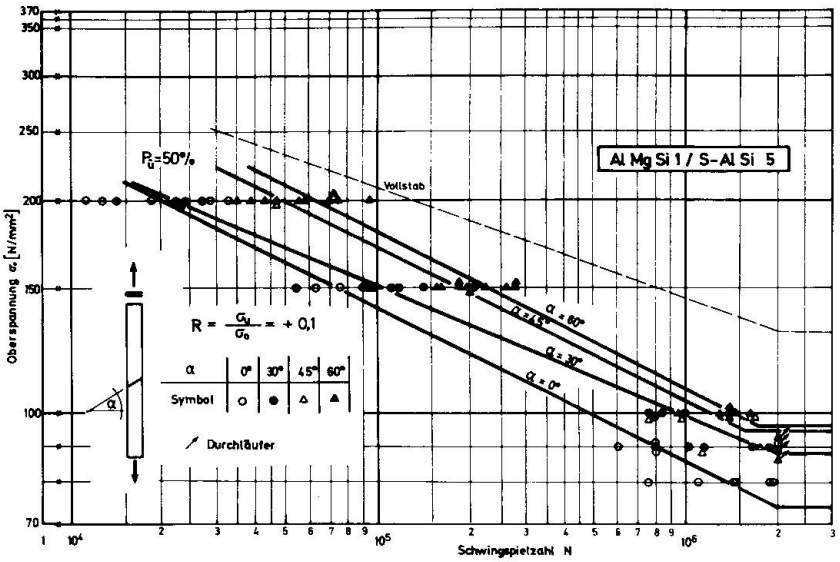

Bild 8. Wöhlerlinien für Stumpfschweißverbindungen mit schräg zur Kraftrichtung angeordneter Naht

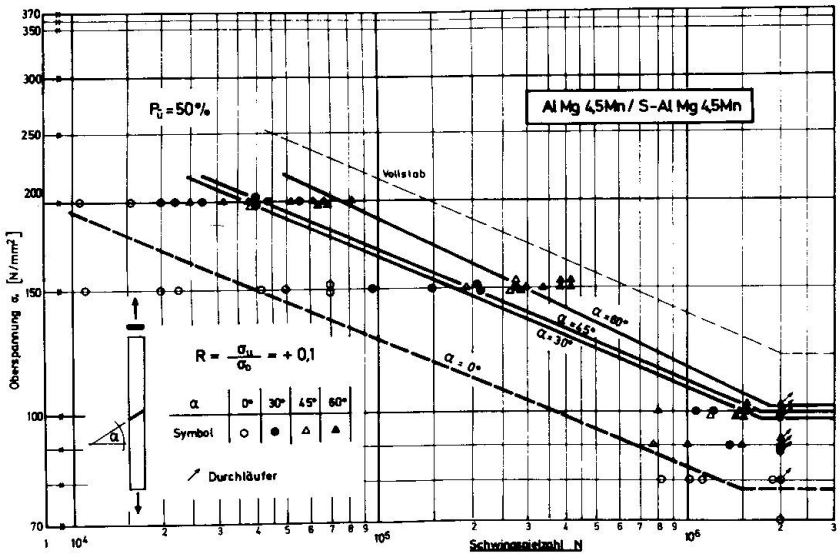

Bild 9. Wöhlerlinien für Stumpfschweißverbindungen mit schräg zur Kraftrichtung angeordneter Naht

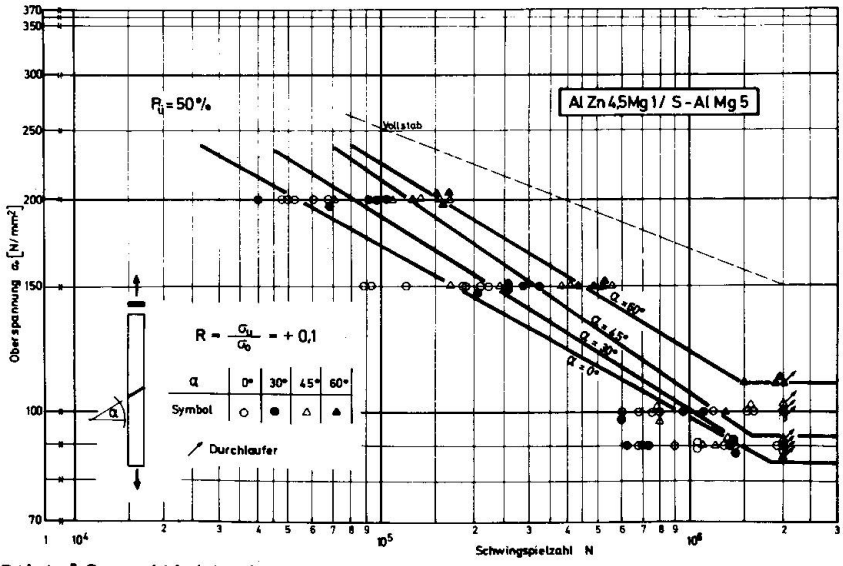

Bild 10. Wöhlerlinien für Stumpfschweißverbindungen mit schräg zur Kraftrichtung angeordneter Naht

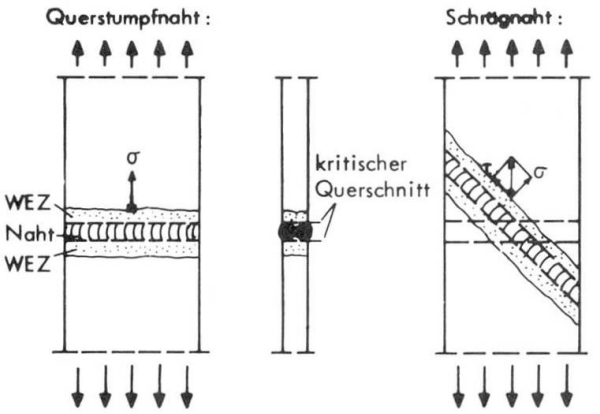

Bild 11. Querschnittsituation im Verbindungsbereich bei Querstumpfnaht und Schrägnaht

$\alpha = 0^\circ$ 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 Kraftrichtung) 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 Schrägnaht (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 Kraftrichtung 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.

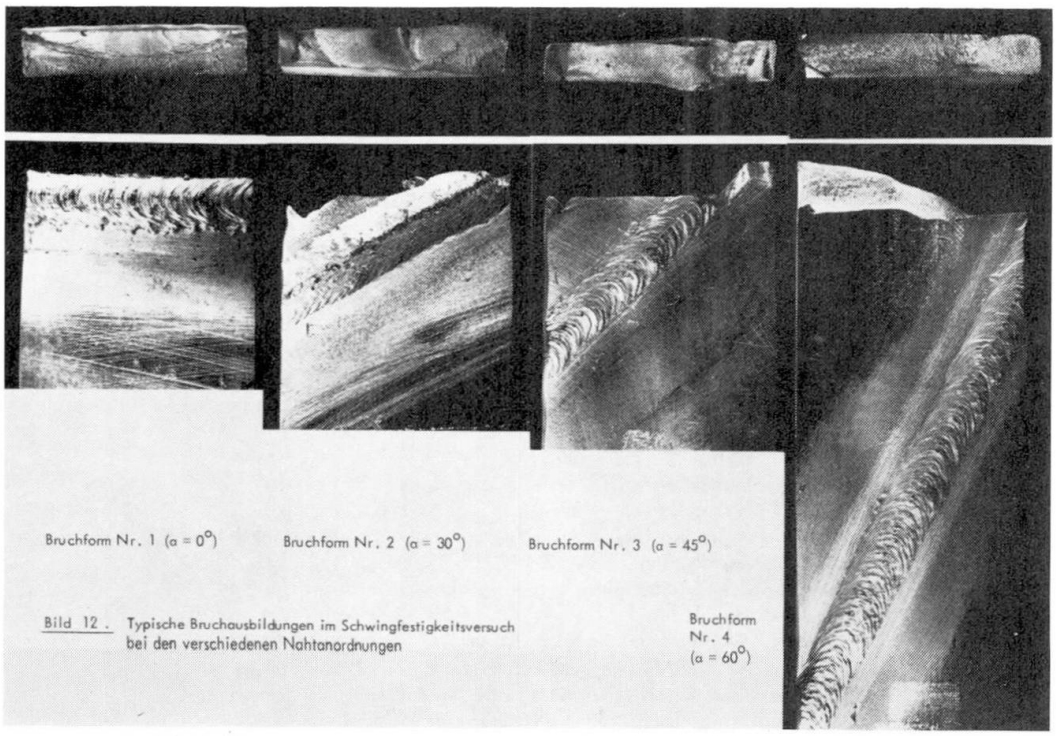

Bild 12. Typische Bruchausbildungen im Schwingfestigkeitsversuch bei den verschiedenen Nahtanordnungen

6. FOLGERUNGEN UND ZUSAMMENFASSUNG

Die Untersuchungsergebnisse lassen erkennen, daß sich die Festigkeitseinbußen von Aluminiumschweißverbindungen gegenüber dem unbeeinflußten Grundmaterial bei Stumpfnahtverbindungen durch entsprechende Nahtanordnung teilweise kompensieren lassen. Das günstigere Tragverhalten von schräg zur Kraftrichtung angeordneten Stumpfnähten gegenüber Querstunpfnähten 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 Kraftrichtung angeordnete Naht die Beanspruchung der Verbindung zweiachsig. An die Stelle der Hauptspannungen = Normalspannungen im Fall der Querstumpfnaht treten bei der Schrägnaht je nach Nahtneigung entsprechende Kombinationen von Schub- und Normalspannungen, was sich günstig auf die Tragfähigkeit der Verbindung auswirkt. Abgesehen von jeweiligen Neigungswinkel α wird die Laststeigerung der Schrägnaht 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 Querstumpfnaht einstellt. Selbstverständlich wird es in der Praxis nicht immer möglich sein, eine Stumpfschweißverbindung als Schrägnahtverbindung 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 Löten 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. Alumimium 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. Engenieering 1979.

[14] KOSTEAS, D.: Beitrag zum Zeit- und Dauerfestigkeitsverhalten von Al Zn Mg 1 und Al Mg 4,5 Mn. Schweißen und Schneiden 26 (1974), Heft 6.