

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/286522014>

# Diffusion bonding of pure copper and aluminium in argon gas atmosphere

Article · August 1997

---

CITATIONS  
0

---

READS  
47

3 authors, including:



**Sare Celik**  
Balikesir University

17 PUBLICATIONS 93 CITATIONS

SEE PROFILE



**İrfan Ay**  
Balikesir University

18 PUBLICATIONS 188 CITATIONS

SEE PROFILE

## Diffusion Bonding of Pure Copper and Aluminium in Argon Gas Atmosphere

## Diffusionsfügen von Reinkupfer und Aluminium in Argon-atmosphäre

Sare Çelik, Irfan Ay

(Balıkesir University, Department of Mechanical Engineering, Balıkesir, Türkiye)

Naci Otmanbölük

(Dokuz Eylül University, Department of Mechanical Engineering, Izmir, Türkiye)

### Introduction

The definition of diffusion welding accepted by the International Welding Institute according to the suggestion of *N. F. Kazakov* is given as follows [1]: Diffusion welding is a solid-state process where at a temperature high enough for diffusion to take place at interface layers of the joint parts, internal voids of the structure are closed by plastic deformation and bonds are formed at an atomic level. This method has been known since ancient times. It is particularly preferred for welding of parts requiring little forming or machining. In the last years, diffusion welding is used for advanced materials specially in the aerospace, military service, electronics and nuclear industry. It is gaining importance and this importance is gradually increasing [2,3,4].

Copper and aluminium are used as pipe connections in refrigerators, gas charge equipment and cold stores. In these areas, heat conductivity and tightness are very important. Copper and aluminium are readily oxidised in normal atmosphere conditions. As a consequence these materials are difficult to weld by fusion welding technique. In this study, diffusion bonding in an inert gas environment has been investigated. The inert gas atmosphere was chosen instead of the vacuum technique because of the high cost of vacuum equipment. Welding temperature, pressure and time were considered as main experimental parameters [1,5,6]. Optimum welding conditions were established according to these parameters.

### Einleitung

Das Diffusionsfügen wird nach einem vom International Welding Institute gebilligten Vorschlag von *N. F. Kazakov* [1] wie folgt definiert: Das Diffusionsfügen ist ein Verbindungsverfahren im festen Zustand, das bei einer für die Diffusion in den Grenzflächenschichten der zu verbindenden Teile ausreichenden Temperatur durchgeführt wird, bei dem innere Hohlräume im Gefüge durch plastische Verformung geschlossen werden und bei dem sich im atomistischen Maßstab Verbunde bilden. Dieses Fügeverfahren ist schon im Altertum verwendet worden. Es ist ein besonders günstiges Verfahren für das Verbinden von Teilen, die kaum verformt oder bearbeitet werden müssen. In jüngster Zeit wird das Diffusionsfügen bei Hochleistungswerkstoffen in der Luftfahrt, in Waffensystemen, in der Elektronik- und Nuklearindustrie eingesetzt. Das Verfahren gewinnt zunehmend an Bedeutung [2,3,4].

Kupfer und Aluminium werden gemeinsam in Rohrsystemen von Kühlschränken, Gasleitungen und Klimakammern eingesetzt. Für diesen Einsatz sind die Wärmeleitfähigkeit und die Dichtigkeit besonders wichtig. In normaler Umgebungsluft oxidieren Kupfer und Aluminium rasch, so daß sie schwer mit schmelzmetallurgischen Schweißverfahren zu verbinden sind. Die vorliegende Arbeit beschreibt das Diffusionsfügen in Schutzgasatmosphäre. Die Schutzgasatmosphäre wurde gegenüber der Vakuumtechnik wegen der hohen Kosten einer Vakuumanlage gewählt. In den Versuchen wurden die wichtigsten Parameter Fügetemperatur, -druck und -dauer [1,5,6] variiert und die optimalen Schweißparameter ermittelt.

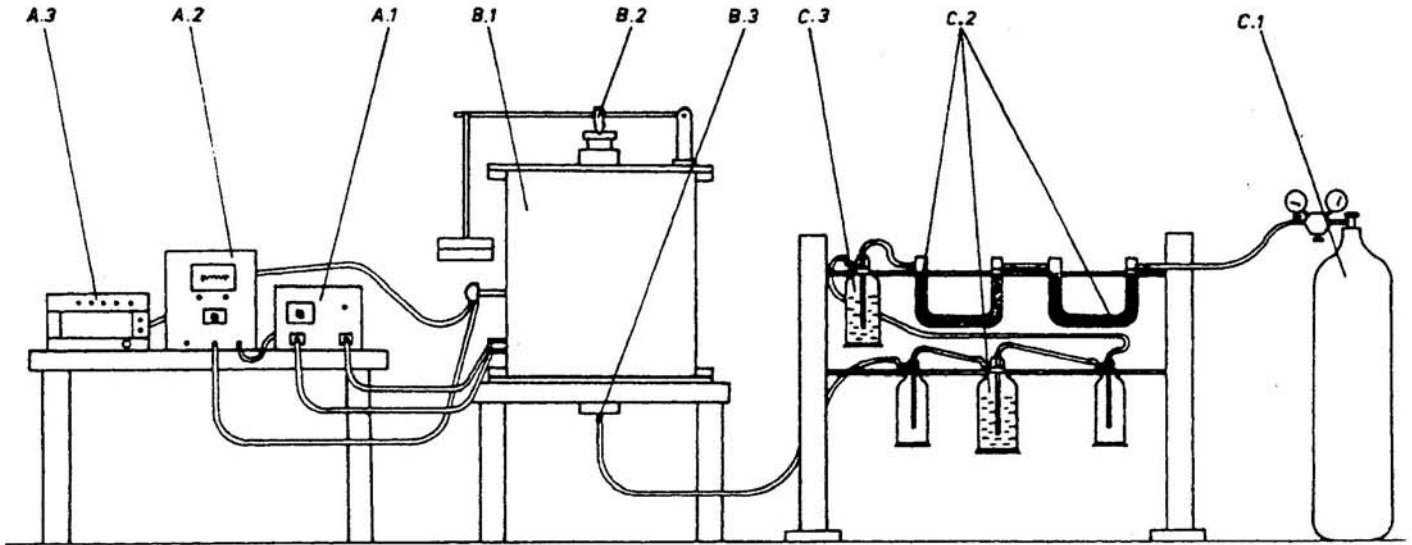


Fig. 1. Experimental set-up for diffusion welding experiments

A: Temperature control and power unit

(1 = Power unit and regulator, 2 = Temperature indicator, 3 = Recorder)

B: Diffusion welding unit

(1 = Furnace, 2 = Pressure apparatus, 3 = Inlet for argon)

C: Refinery unit of argon gas

(1 = Pressurized industrial argon gas, 2 = Moisture remover, 3 = Oxygen remover)

Fig. 1. Versuchsaufbau für die Diffusionsfügeexperimente

A: Temperaturregelung und Stromquelle

(1 = Schaltgerät, 2 = Temperaturanzeigegerät, 3 = Schreiber)

B: Diffusionsschweiß-Apparatur

(1 = Ofen, 2 = Druckübertragung, 3 = Argon-Zuleitung)

C: Argon-Reinigungskolonne

(1 = Gasflasche mit Industrie-Argon, 2 = Feuchtigkeitsentfernung, 3 = Sauerstoffentfernung)

## Experimental Studies

### Diffusion Bonding Equipment

For experimental studies, a device consisting of three different sections was designed (Fig. 1). An electric resistance heating of the welding chamber (furnace) has been used. The furnace (section B) consists of two cylinders. The inner one contains a special insulation to protect the heating element and facilities to apply the bonding pressure on the specimens. The temperature at the site of joining is measured with a thermocouple (Pt/Pt-10Rh). Argon gas enters the inner cylinder from the bottom. Purifying of argon gas is very important. In section C in Fig. 1 the refinery unit to purify argon from oxygen and moisture is shown.

## Experimentelle Durchführung

### Diffusionsfügeapparatur

Für die Diffusionsversuche wurde ein Versuchsaufbau mit drei Bereichen entwickelt (Fig. 1). Für die Beheizung der Schweißkammer (Ofen) wurde elektrische Widerstandsheizung verwendet. Der Ofen (Bereich B) besteht aus zwei Zylindern. Der innere Zylinder enthält eine Spezialisolation zum Schutz des Heizelementes und die Apparatur für die Übertragung des Fügedrucks auf die Probe. Die Temperatur des Fügebereichs wird mit einem Pt/Pt-10Rh-Thermoelement gemessen. Das Schutzgas Argon wird von unten in den inneren Zylinder eingeleitet. Die Reinigung des Argongases ist besonders wichtig. Der Bereich C in Fig. 1 zeigt die Argon-Reinigungskolonne für die Entfernung von Feuchtigkeit und Sauerstoff.

*Table 1. Chemical composition (mass %), mechanical properties and surface roughness (after grinding on SiC paper grade 1200) for pure copper and aluminium*

*Tabelle 1. Chemische Zusammensetzung (Masse-%), mechanische Eigenschaften und Oberflächenrauheit (nach Schleifen auf 1200-SiC-Papier) der Versuchsmaterialien*

Copper Kupfer	Cu 99.78	Fe 0.13	Zn 0.09
Aluminium	Al 99.18	Si 0.62	Mg 0.20

Material	Tensile strength Zugfestigkeit [MPa]	Hardness Härte [HV]	Elongation Dehnung [%]	Roughness Rauheit $R_a$ [ $\mu\text{m}$ ]
Copper Kupfer	218.50	107.44	36.20	1.0
Aluminium	99.60	58.69	29.72	0.9

### *Materials*

For this experimental study, pure copper and aluminium were used. Chemical composition and mechanical properties for these materials are given in Table 1.

### *Specimen Preparation*

The specimens were machined to rods with a diameter of 15 mm, from which sections of 40 mm length were cut. The surfaces to be bonded were ground on silicon carbide papers grade 280, 320, 400, 600, 800, 1000, 1200. The surface roughness was measured perpendicularly to the direction of grinding. Finally, the surfaces were cleaned using acetone.

### *Bonding Procedure*

After surface preparation, the copper specimen was placed at the bottom of the furnace and the aluminium specimen was located on top of the copper specimen. Before heating, the welding chamber was completely filled with argon gas. The time for heating to the selected furnace temperature has been taken as average 30 min from room temperature (20 °C). The bonding pressure required was applied on the specimens after reaching the selected furnace temperature up to

### *Versuchsmaterialien*

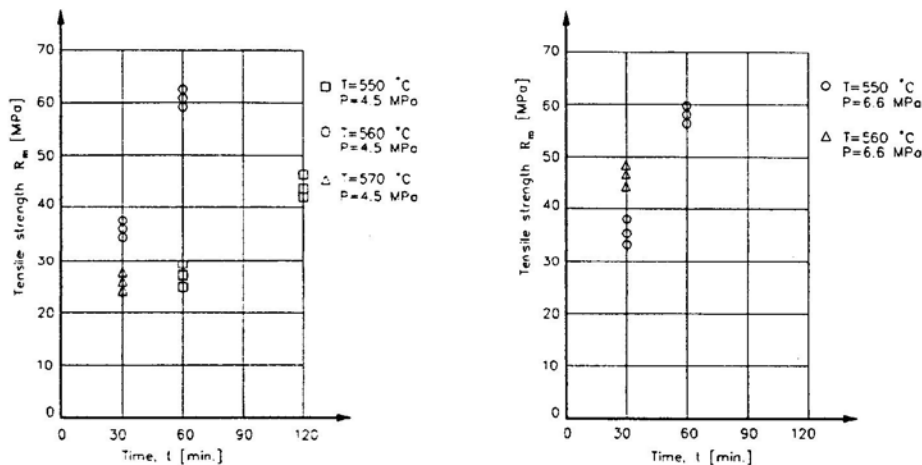
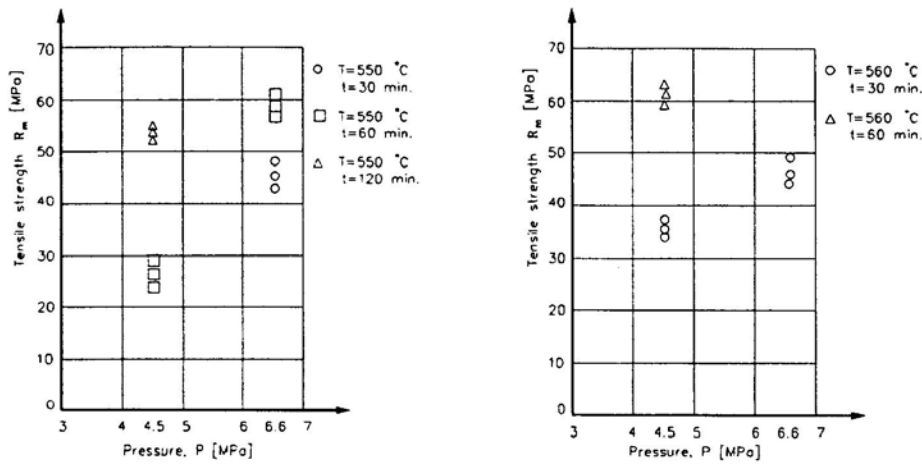
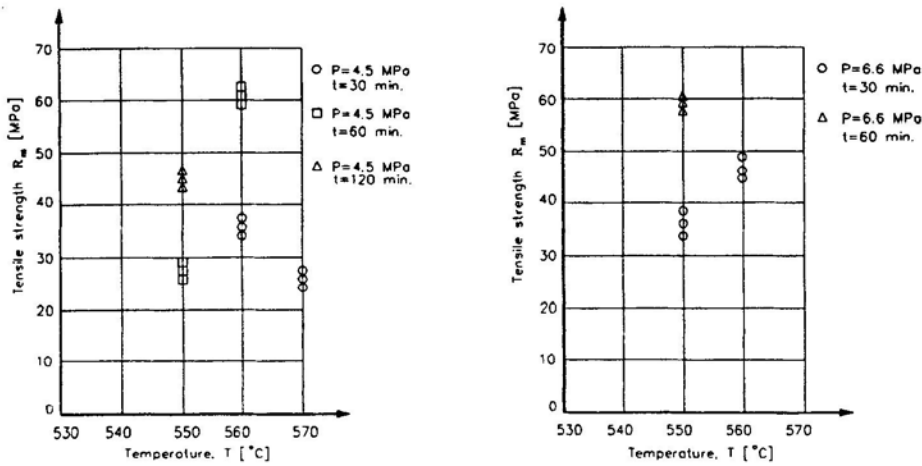
Für die Versuche wurde Reinkupfer und Aluminium verwendet. Die chemische Zusammensetzung und die mechanischen Kennwerte der Versuchsmaterialien sind in Tabelle 1 angegeben.

### *Probenvorbereitung*

Die Werkstoffe wurden zu Stangen mit einem Durchmesser von 15 mm bearbeitet, von denen 40 mm lange Stücke abgetrennt wurden. Die Fügeflächen wurden mit Siliciumcarbid-Papieren der Körnungen 280, 320, 400, 600, 800, 1000 und 1200 geschliffen. Die Oberflächenrauheit wurde senkrecht zur Schleifrichtung ermittelt. Abschließend wurden die Fügeflächen mit Aceton gereinigt.

### *Diffusionsfügen*

Nach der Vorbereitung der Fügeflächen wurden die Proben in den Ofen eingebracht, und zwar die Kupferprobe unten und die Aluminiumprobe auf der Kupferprobe. Vor dem Aufheizen wurde die Schweißkammer vollständig mit Argon gefüllt. Als Aufheizzeit von Raumtemperatur (20 °C) auf die gewählte Ofentemperatur wurden durchschnittlich 30 min gerechnet. Nach Erreichen der jeweiligen Fügetemperatur wurde der gewählte Druck für die gewählte Dauer auf die Proben aufge-



Figs. 2 a to c. Effect of various welding parameters on the tensile strength of diffusion bonded specimens

Fig. 2 a bis c. Einfluß verschiedener Fügeparameter auf die Zugfestigkeit diffusionsgefügter Proben

the determined times. The main parameters were selected as follows:

Bonding temperatures: 540 °C, 550 °C, 560 °C, 570 °C

Bonding pressures: 4.5 MPa, 6.6 MPa

bracht. Folgende Fügeparameter wurden untersucht:

Fügetemperatur: 540 °C, 550 °C, 560 °C, 570 °C

Fügedruck: 4,5 MPa, 6,6 MPa

Table 2. Tensile strength of the diffusion bonded specimens (bonding faces ground on SiC paper grade 1200, argon atmosphere)

Tabelle 2. Zugfestigkeiten von diffusionsgefügten Proben (Fügeflächen auf 1200-SiC-Papier geschliffen, Argonatmosphäre)

Test number Versuchsnummer	Conditions / Bedingungen			Tensile Strength Zugfestigkeit $R_m$ (MPa)
	Temperature Temperatur T (°C)	Pressure Druck P (MPa)	Time Zeit t (min)	
1	550	6.6	30	33.62
2	550	6.6	30	35.30
3	550	6.6	30	38.22
4	550	6.6	60	58.70
5	550	6.6	60	60.20
6	550	6.6	60	57.50
7	550	4.5	60	26.65
8	550	4.5	60	29.55
9	550	4.5	60	28.24
10	550	4.5	120	43.60
11	550	4.5	120	45.32
12	550	4.5	120	43.95
13	560	6.6	30	47.17
14	560	6.6	30	46.38
15	560	6.6	30	49.53
16	560	4.5	30	35.19
17	560	4.5	30	36.75
18	560	4.5	30	37.18
19	560	4.5	60	60.45
20	560	4.5	60	62.10
21	560	4.5	60	59.86
22	570	4.5	30	24.90
23	570	4.5	30	26.23
24	570	4.5	30	26.38

Bonding time: 30 min, 60 min, 120 min

Bonded specimens were left for free cooling down to 200 °C in the furnace.

## Results

### Tensile Test Results

To investigate the bonding characteristics, tensile tests have been carried out on the bonded specimens. The results of the tensile test for various bonding conditions are given in Table 2.

Fügedauer: 30 min, 60 min, 120 min

Nach der Diffusionsbehandlung wurden die Proben im Ofen bis auf 200 °C abgekühlt.

## Ergebnisse

### Ergebnisse der Zugversuche

Um die Qualität der Diffusionsverbindung zu charakterisieren, wurden Zugversuche durchgeführt. Die Ergebnisse der Zugversuche für die verschiedenen Diffusionsbedingungen sind in Tabelle 2 zusammengefaßt.

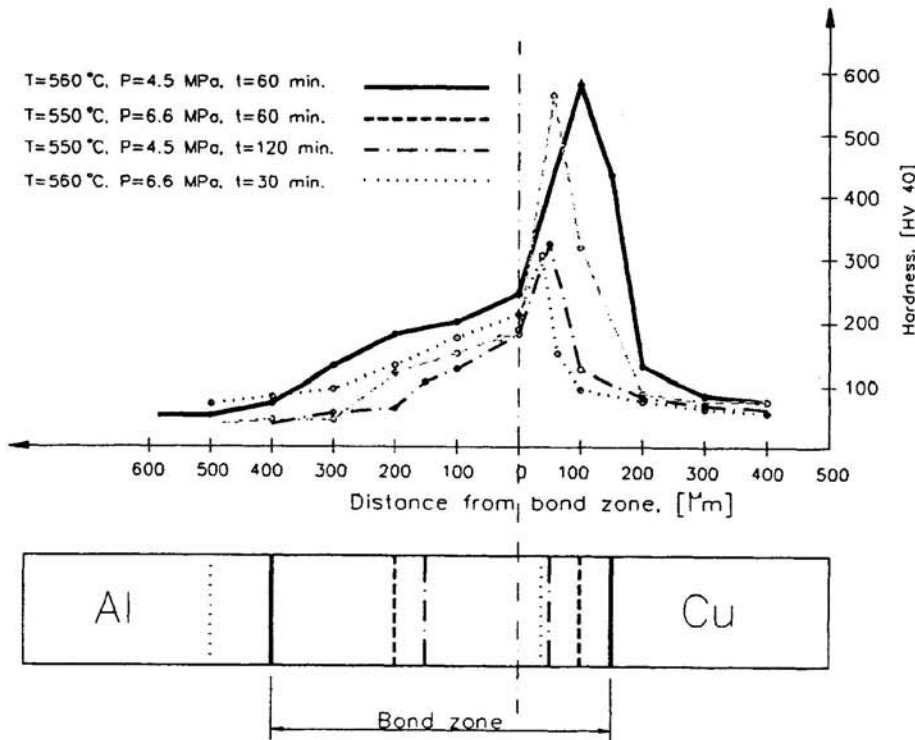


Fig. 3. Profile of hardness values across the bonding zone for different welding conditions  
 Fig. 3. Härteverlaufprofil über die Fügezone für verschiedene Fügeparameter

The effects of bonding parameters on tensile strength are shown in Figs. 2 a to c. The influence of bonding temperature on tensile strength is given in Fig. 2 a. As the temperature is increased from 550 °C to 560 °C for 60 min, it can be seen that the tensile strength is increasing with increasing temperature. Contrarily, the temperature increase from 560 °C to 570 °C for a lesser time period (30 min) causes a decrease in tensile strength with increasing temperature.

In Fig. 2 b, the effect of bonding pressure on the tensile strength can be seen. The tensile strength increases with increasing bonding pressure. Figure 2 c shows the relationship between bonding time and tensile strength. The highest value of the tensile strength was obtained for 60 min bonding time.

The highest strength value has been reached with the optimum bonding conditions of 560 °C, 4.5 MPa and 60 min.

#### Hardness Measurement

The change in hardness for bonded specimens was examined with a hardness testing machine perpendicular to the joint plane. The distribution

Die Abhängigkeit der Zugfestigkeit von den einzelnen Schweißparametern zeigt Fig. 2 a bis c. In Fig. 2 a ist die Abhängigkeit der Zugfestigkeit von der Fügeparameter dargestellt. Wird die Temperatur bei einer Dauer von 60 min von 550 °C auf 560 °C erhöht, ergibt sich eine Erhöhung der Zugfestigkeit mit der Temperatur. Im Gegensatz dazu verursacht eine Erhöhung von 560 °C auf 570 °C bei einer kürzeren Fügedauer (30 min) eine Abnahme der Zugfestigkeit mit steigender Temperatur.

Figur 2 b zeigt den Einfluß des Fügedrucks auf die Zugfestigkeit. Die Zugfestigkeit steigt mit zunehmendem Druck. Den Einfluß der Fügedauer auf die Zugfestigkeit zeigt Fig. 2 c. Der höchste Zugfestigkeitswert wird nach einer Diffusionsdauer von 60 min erreicht.

Die besten Festigkeitswerte werden mit den optimalen Bedingungen 560 °C, 4,5 MPa und 60 min erhalten.

#### Härtemessungen

Der Härteverlauf in den diffusionsgeschweißten Proben wurde mit Härtemessungen senkrecht zur Fügeebene ermittelt. Figur 3 zeigt die Härte-

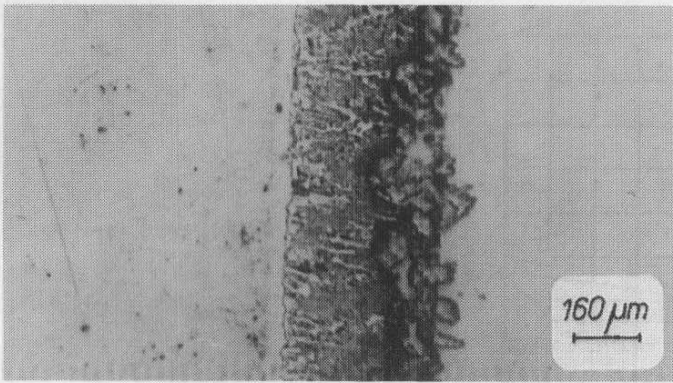


Fig. 4 a. Bonding interface, unetched

Fig. 4 a. Fügezone, ungeätzt

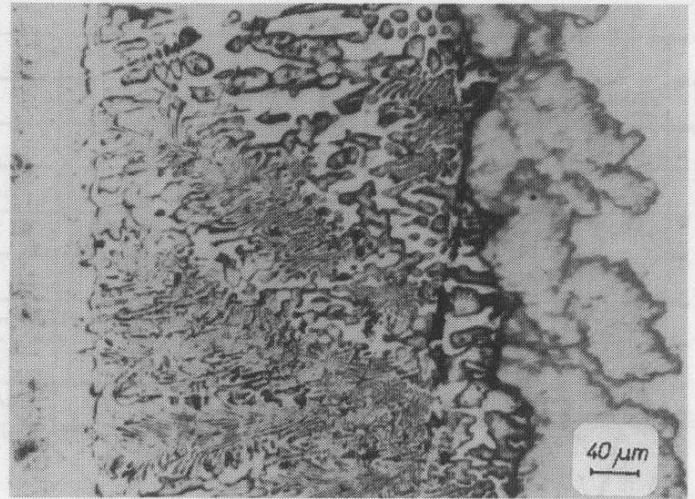


Fig. 4 b. Bonding interface, higher magnification, unetched

Fig. 4 b. Fügezone, höhere Vergrößerung, ungeätzt

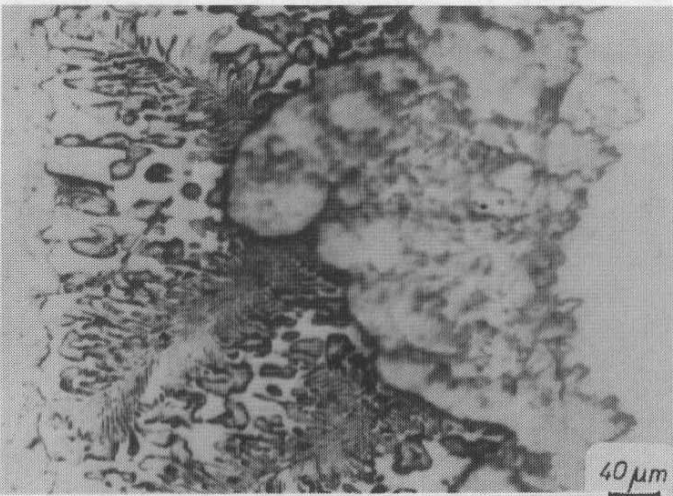


Fig. 4 c. Bonding interface, different zone, not etched

Fig. 4 c. Fügezone, anderer Bereich, ungeätzt

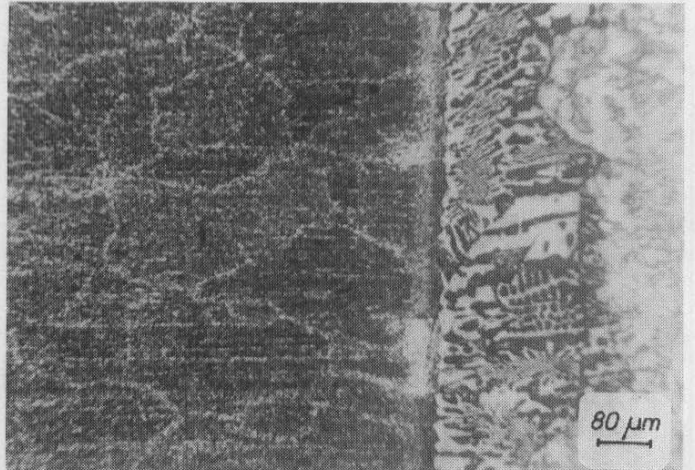
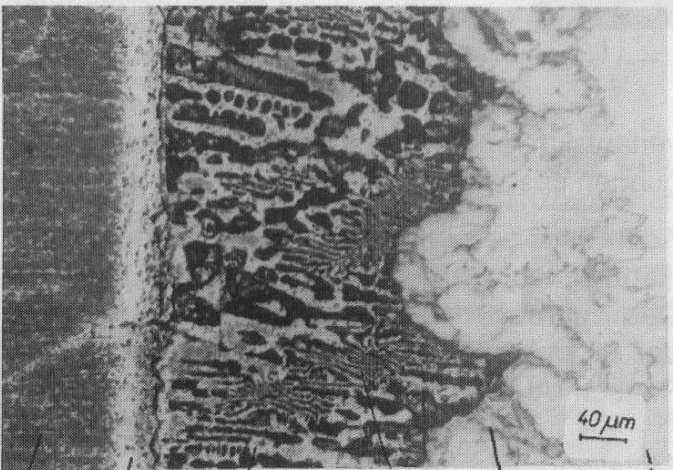


Fig. 4 d. Al side of bonding interface, etched with Keller solution

Fig. 4 d. Al-Seite der Fügezone, Keller-Ätzung



A: aluminium/Aluminium

B: copper/Kupfer

C:  $\chi$  solid solution/ $\chi$ -Mischkristall

D: interlayer, aluminium matrix/Zwischenschicht, Aluminiummatrix

E:  $(\theta+\chi)$  eutectic/ $(\theta+\chi)$ -Eutektikum

F:  $\gamma$  phase/ $\gamma$ -Phase

Fig. 4 e. Microstructure of the bonding zone with identified phases

Fig. 4 e. Gefüge der Fügezone mit identifizierten Phasen

Figs. 4 a to e. Micrographs of the bonding zone of diffusion bonded Cu-Al specimens (bonding conditions: 560 °C, 4.5 MPa, 60 min)

Fig. 4 a bis e. Gefügeaufnahmen der Fügezone von diffusionsgefügten Cu-Al-Proben (Fügeparameter: 560 °C, 4,5 MPa, 60 min)



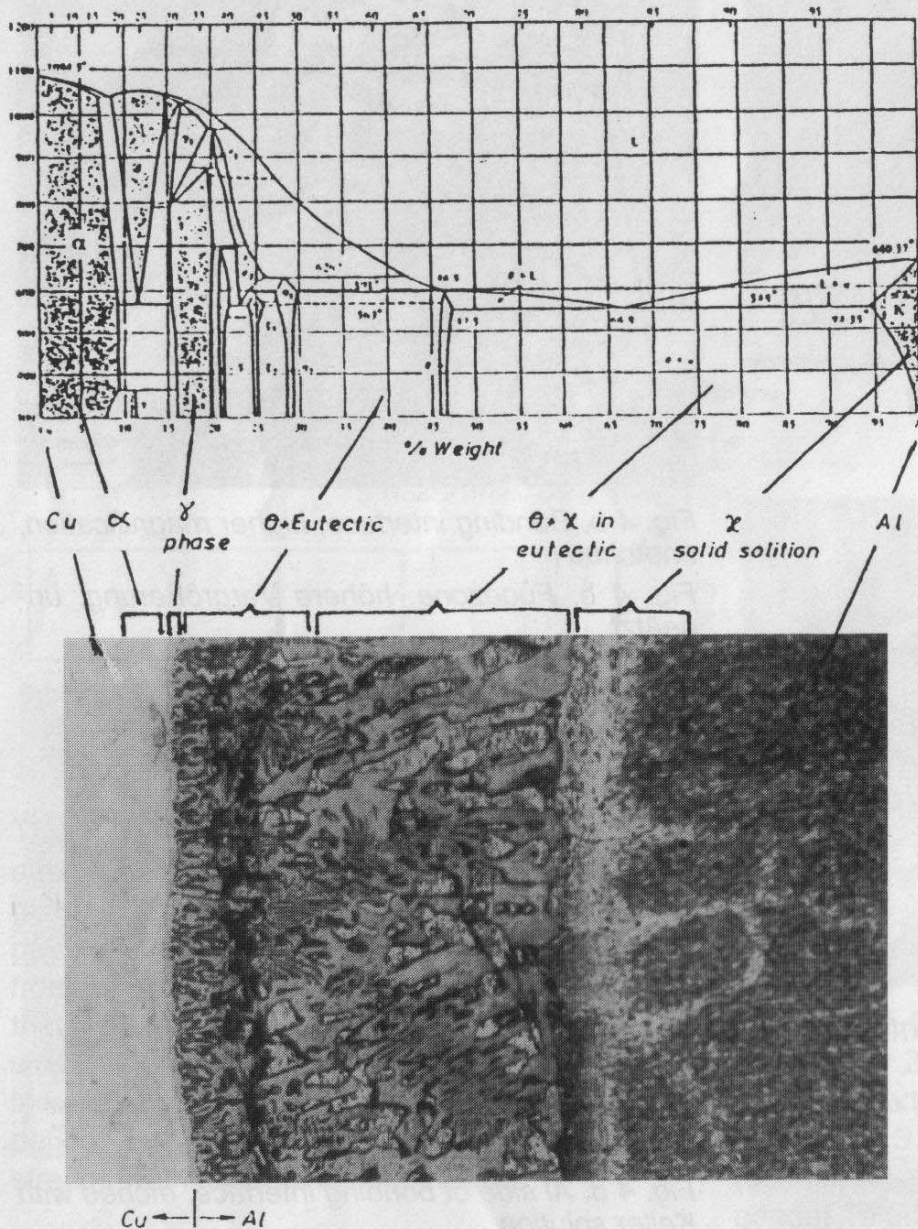


Fig. 5. Al-Cu phase diagram and phases formed in bonding zone  
 Fig. 5. Al-Cu-Zustandsdiagramm und in der Fügezone nachgewiesene Phasen

of obtained hardness values for four different bonding conditions is shown in Fig. 3.

It has to be noted that a peak of unexpectedly high hardness was assessed on the copper side of the bonding zone. The presence of this peak can be explained by the formation of brittle and hard intermetallic phases ( $\text{Al}_2\text{Cu}$ ,  $\text{Al}_4\text{Cu}_9$ ).

#### Metallographic Examination

The specimens that had shown maximal strength were examined by optical microscopy. Micrographs have been taken from a section perpendicular to the cross-section of the bonding zone. Figure 4 shows the microstructure of the bonding zone and its neighbourhood.

verlaufskurven für vier mit verschiedenen Bedingungen geschweißte Proben.

Auffallend ist ein Peak mit unerwartet hohen Härtewerten auf der Kupferseite der Fügezone. Das Auftreten dieses Härtemaximums kann mit der Bildung spröder und harter intermetallischer Phasen ( $\text{Al}_2\text{Cu}$ ,  $\text{Al}_4\text{Cu}_9$ ) erklärt werden.

#### Metallographische Untersuchung

Die Proben mit den höchsten Festigkeitswerten wurden lichtmikroskopisch untersucht. Für die Gefügeuntersuchung wurde ein Schliff senkrecht zur Fügeebene angefertigt. Figur 4 zeigt das Gefüge der Fügezone und der benachbarten Bereiche.

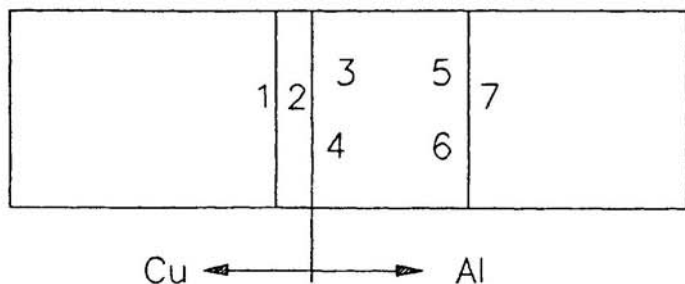


Fig. 6. Location of EDS analysis sites  
 Fig. 6. Lage der Meßpunkte für die EDS-Analyse

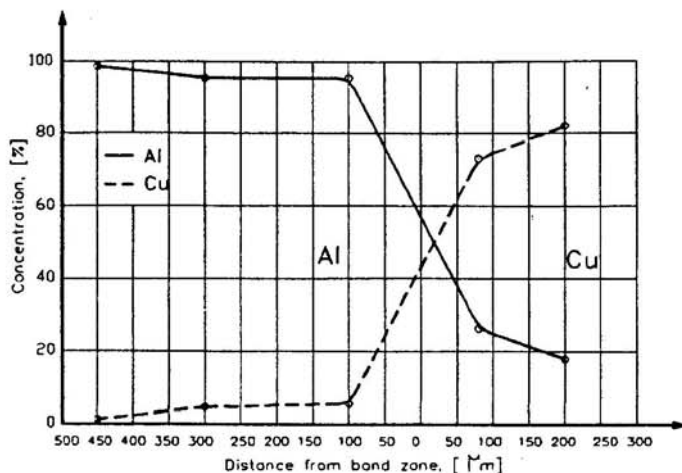


Fig. 7. Concentration curve across the bonding zone of a pure Cu-Al diffusion bonded specimen  
 Fig. 7. Konzentrationsverlauf über die Fügezone

Table 3. Results of EDS analysis of diffusion bonded Cu-Al specimens  
 Tabelle 3. Ergebnisse der EDS-Analyse an diffusionsgefügten Cu-Al-Proben

Location Meßpunkt	Distance from Bond Zone (μm) Abstand von Fügezone (μm)	% Al	% Cu
1	200	17.95	82.05
2	80	26.23	73.27
3	100	45.78	54.22
4	100	95.50	5.50
5	300	45.28	54.72
6	300	95.43	4.57
7	450	98.65	1.35

The phases formed in the bonding zone were identified according to the copper-aluminium phase diagram (Fig. 5) and by comparison with micrographs from the relevant literature [8,9,10]. At a composition of 60 mass % Al and 40 mass % Cu,  $\theta$  crystals include intermetallic phases that are brittle and hard.

The change in chemical composition of the materials at each side of the bonding zone was investigated with a scanning electron microscope equipped with EDS (energy dispersive spectrometer) perpendicular to the joint plane over the bond zone between the pure copper and aluminium (Fig. 6).

Die in der Fügezone entstandenen Phasen wurden entsprechend dem Zustandsdiagramm Kupfer-Aluminium (Fig. 5) und durch Vergleich mit Gefügebildungen in der relevanten Literatur [8,9,10] identifiziert. Bei einer Zusammensetzung von 60 Masse-% Al und 40 Masse-% Cu enthalten die  $\theta$ -Kristalle spröde und harte intermetallische Phasen.

Die Veränderung der chemischen Zusammensetzung in den Proben auf beiden Seiten der Fügezone wurde mit einem energiedispersiven Spektrometer (EDS) am Rasterelektronenmikroskop senkrecht zur Fügeebene über die Fügezone zwischen dem Reinkupfer und dem Aluminium hinweg verfolgt (Fig. 6).

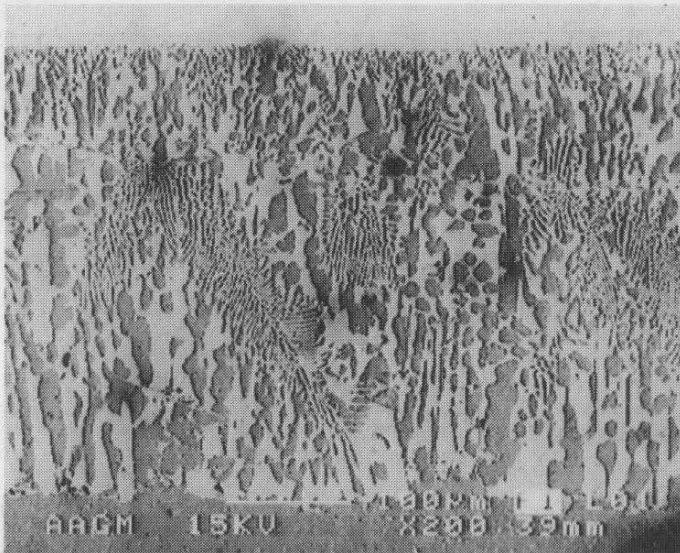


Fig. 8 a. All diffusion zone  
Fig. 8 a. Diffusionszone, Übersicht

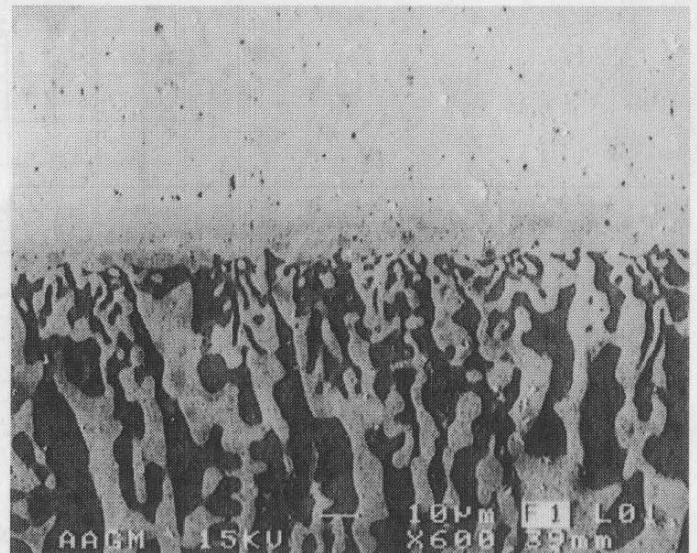


Fig. 8 b. Interface Cu/diffusion zone  
Fig. 8 b. Grenzfläche Cu/Diffusionszone

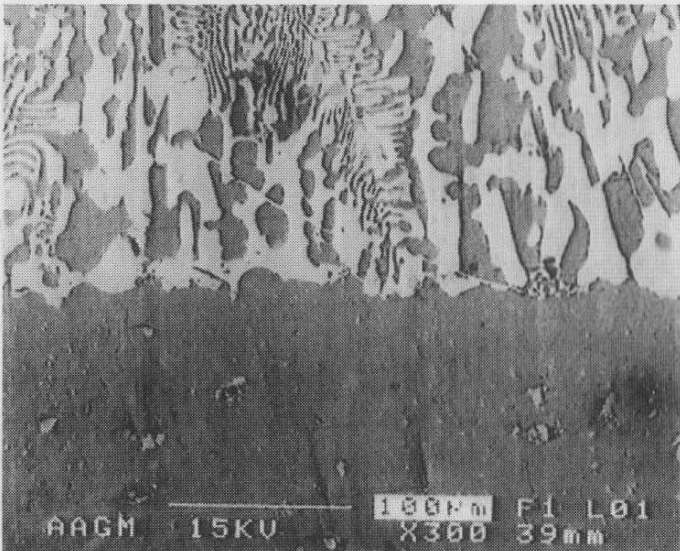


Fig. 8 c. Interface Al/diffusion zone  
Fig. 8 c. Grenzfläche Al/Diffusionszone

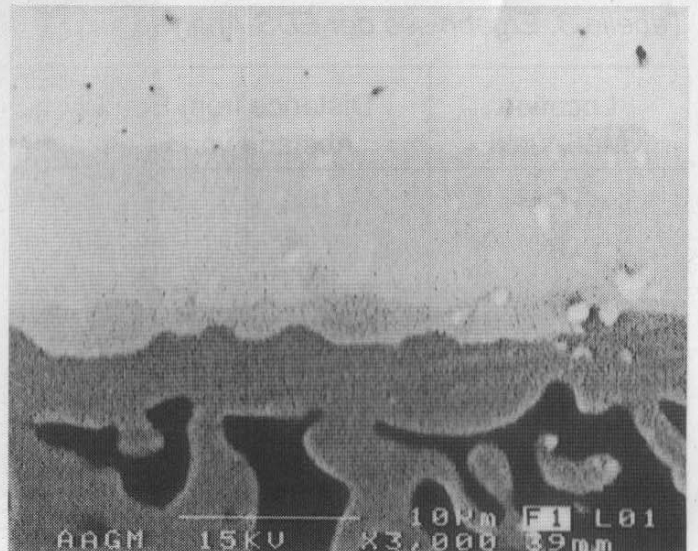


Fig. 8 d. As Fig.8 b, enlarged  
Fig. 8 d. Wie Fig. 8 b, höhere Vergrößerung

Figs. 8 a to d. SEM micrographs of specimens bonded with optimum welding conditions

Fig. 8 a bis d. REM-Aufnahmen von Proben nach dem Diffusionsfügen mit optimalen Bedingungen

In Fig. 7 and Table 3, the results of EDS analysis and concentration curve of Cu-Al pairs for the best diffusion bonding conditions were shown. It can be seen from Fig. 7 that copper diffuses at low ratios but to longer distances into the aluminium. In contrast, aluminium diffuses at high ratios but to shorter distances into the copper. The cause of this phenomenon is the smaller atom diameter of copper compared to that of aluminium. Another reason of the short diffusion

In Fig. 7 und Tabelle 3 sind die Ergebnisse der EDS-Analyse und die Konzentrationsverläufe von Cu-Al-Paarungen mit den besten Diffusionsfügebedingungen wiedergegeben. Aus Fig. 7 wird deutlich, daß Kupfer in geringen Mengen, aber über große Entfernungen in Aluminium eindiffundiert, während Aluminium im Gegensatz dazu in großen Mengen, aber über kürzere Strecken in Kupfer diffundiert. Die Ursache für dieses Verhalten ist der gegenüber dem Aluminiumatom klei-



Fig. 9 a. Secondary electron micrograph  
Fig. 9 a. Sekundärelektronen-Abbildung

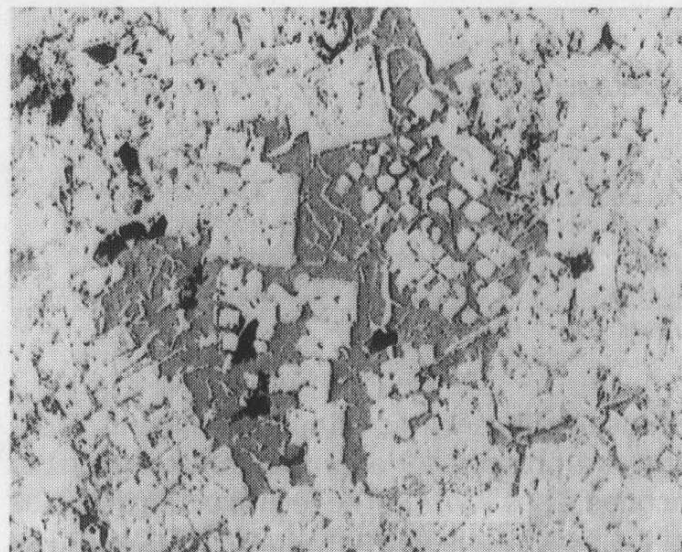


Fig. 9 b. Backscattered electron micrograph  
Fig. 9 b. Rückstreuielektronen-Abbildung

Fig. 9 a and b. SEM micrographs of the fracture surface  
Fig. 9 a und b. REM-Aufnahmen der Bruchfläche

distance of aluminium in copper is the early formation (in short distance) of intermetallics in the copper.

In Fig. 8, SEM micrographs of the diffusion zones with the best bonding conditions are shown.

The fracture surface of the specimen bonded at optimum conditions was investigated with SEM. The fracture surface of the specimen is flat and the fracture type is brittle. In almost all specimens, the fractured zone is at the side of Al of the joining area. An analysis of the fractured face showed 15 % Cu. From this result, it can be said that copper diffusion still continues to the side of aluminium (Fig. 9). The second reason for the location of fracture on the aluminium side could be the lower plasticity of aluminium compared to that of copper.

### Industrial Use

Copper and aluminium pipes are used in combination in refrigerators, cold-stores and gas charge equipment. Pipe specimens (outer diameter 15 mm, inner diameter 9.5 mm, length 40 mm) were bonded by diffusion with the best bonding

nere Durchmesser des Kupferatoms. Ein weiterer Grund für die kurze Diffusionsstrecke von Aluminium in Kupfer ist die frühe, d. h. in geringem Abstand, Bildung von intermetallischen Phasen im Kupfer.

Figur 8 zeigt REM-Aufnahmen der Diffusionszonen von Proben mit den besten Schweißbedingungen.

Außerdem wurden die Bruchflächen von Proben der besten Versuchsserie im REM untersucht. Die Bruchfläche der Proben ist glatt. Der Bruch erfolgt nach dem Sprödbbruchmodus. In fast allen Proben liegt die Bruchzone auf der Aluminiumseite der Fügezone. Eine Analyse der Bruchfläche ergab einen Anteil von 15 % Cu. Demnach läuft die Diffusion von Kupfer in den Aluminiumteil der Paarung hinein weiter ab (Fig. 9). Ein weiterer Grund für die Entstehung des Bruchs im Aluminiumbereich der Probe könnte die im Vergleich zu Kupfer geringere Plastizität des Aluminiums sein.

### Einsatz in der Industrie

Kupfer- und Aluminiumrohre werden gemeinsam in Kühlschränken, Kühlräumen und Gaszuleitungen eingesetzt. Mit den in unseren Vorversuchen ermittelten optimalen Bedingungen wurden Diffusionsverbindungen von Rohrproben (Außen-

Test Number Versuchsnummer	Tensile Strength Zugfestigkeit [MPa]
1	47.35
2	46.83
3	50.17

*Table 4. Tensile strength of diffusion bonded pipe specimens*

*Tabelle 4. Zugfestigkeiten von diffusionsgefügten Rohrverbindungen*

conditions determined in our experiments. Tensile and pressure (9 atm) tests were applied to bonded pipes (Cu-Al). The tensile strength values of the pipe specimens are shown in Table 4. The diffusion joint of the specimens resisted to the test pressure. As the result, it has been shown that diffusion bonding of pipes is suitable for industrial application.

### Conclusions

This investigation shows that pure copper and aluminium can be joined by diffusion bonding in argon gas. It was shown that the strength of bonded specimens meets industrial specifications. So, the weldability by diffusion of pure copper with aluminium in inert gas atmosphere was proved if it is considered that for maximal bonding strength, purity of argon gas, bonding temperature, pressure and time play important roles.

### Summary

In this work, pure copper and aluminium were bonded by diffusion in argon gas atmosphere. In the experimental program, temperature, pressure and time were taken as main variables. In this study, bondability of the pure copper with aluminium by diffusion in argon gas was demonstrated. Maximal strength was obtained for joints bonded at 560 °C with 4.5 MPa for 30 min. Applying the experimental conditions to actual pipe specimens, it was proved that diffusion bonding meets industrial standards.

durchmesser 15 mm, Innendurchmesser 9,5 mm, Länge 40 mm) hergestellt. An den diffusionsgefügten Cu-Al-Rohrproben wurden Zugversuche und Druckprüfungen (9 atm) durchgeführt. Die Ergebnisse der Zugversuche zeigt Tabelle 4. Die Diffusionsverbindungen der Rohrproben konnten dem Prüfdruck standhalten, so daß das Diffusionsfügen von Rohren in der industriellen Fertigung eingesetzt werden kann.

### Schlußfolgerungen

Die Untersuchung zeigt, daß Reinkupfer und Aluminium durch Diffusionsfügen unter Argongas miteinander verbunden werden können. Die Festigkeit der Diffusionsproben genügt den industriellen Standards. Die Diffusionsschweißbarkeit von Reinkupfer mit Aluminium in Schutzgasatmosphäre kann demnach als bewiesen gelten. Für maximale Fügefestigkeiten sind die Reinheit des Schutzgases, Fügetemperatur, -druck und -dauer wichtige Parameter.

### Zusammenfassung

Die Arbeit beschreibt das Diffusionsfügen von Reinkupfer und Aluminium in Argonatmosphäre. In Versuchsserien wurden die wichtigsten Parameter Temperatur, Druck und Zeit variiert. Die Ergebnisse zeigen, daß es möglich ist, Reinkupfer und Aluminium mit diesem Verfahren zu verschweißen. Verbindungen, die bei 560 °C mit 4,5 MPa für 30 min erzeugt worden waren, zeigten maximale Festigkeitswerte. Durch die Übertragung der in den Vorversuchen ermittelten Bedingungen auf aktuelle Rohrproben konnte bewiesen werden, daß das Verfahren den Industrieanforderungen genügt.

## References/Literatur

1. N. F. Kazakov, Diffusion Bonding of Materials, Pergamon Press, Oxford (1985)
2. M. J. Albom, Solid State Bonding, Welding J. 43 (1964) 491/504
3. S. Tuncel, Diffusion Welding of DIN 210Cr12 Tool Steel and DIN 25MoCr4 Low Alloy Steel, Manufacturing International, Atlanta, Georgia (1990) 159/165
4. W. A. Owczarski, D. F. Paulonis, Applications of Diffusion Welding in USA, Welding J. 61 (1981) 22/33
5. P. M. Bartle, Diffusion Bonding: A Look at the Future, Welding J. 54 (1975) 799/804
6. Welding Handbook, 8th Ed., Vol. 2, AWS Publication, Miami (1987)
7. TS 138, Çekme Deneylemleri (Metalik Malzemeler için), Türk Standartları Enstitüsü, Ankara (1978)
8. Metals Handbook, 8th Ed., Vol. 7, American Society for Metals, Metals Park, Ohio (1972)
9. H. Schumann, Metallographie, 9. Aufl., VEB Deutscher Verlag, Leipzig (1975) 553/556
10. J. F. Shackelford, Introduction to Materials Science for Engineers, 2nd Ed., Macmillan Publishing Company, New York (1990)

Accepted: March 12, 1997

Angenommen: 12. März 1997

Übersetzung: K. Exner

Authors' addresses/Anschriften der Verfasser:

Balıkesir Üniversitesi, Müh. Mim. Fak., Makina Bölümü, 10100 - Balıkesir, Türkiye  
Dokuz Eylül Üniversitesi, Makina Bölümü, İzmir, Türkiye

## Literatur-Notizen/Literature Reviews

J. Martin

### Materials for Engineering

The Institute of Materials, London (1997), B644, 230pp, ISBN 1-86125-012-6, Paperback, Price: EU £8.50, Non-EU US\$ 17.00

This book presents a relatively brief overview on materials science, and although geared for students of mechanical and structural engineering, is an invaluable point of reference to anybody interested in materials and their structural/property relationships. The author *John Martin* is Emeritus Reader in Physical Metallurgy at the University of Oxford.

It deals with the four important classes of engineering materials, namely metals, ceramics, polymers and composites, with emphasis placed on the relationship between structure and properties of materials. The first section concentrates on characterising materials, the second considering structure/property relationships. Tabulated data in the body of the text, and the appendices, have been selected to increase the value of the book as a permanent source of reference to readers throughout their professional lives.

Prakt. Metallogr. 34 (1997) 8

K. Petrick

### Qualitätsmanagement, Umweltmanagement und Zertifizierung in der Europäischen Union

Aufsätze, EG-Richtlinien und -Verordnungen, CE-Kennzeichnung, Öko-Audit

Herausgeber: K. Petrick und DIN Deutsches Institut für Normung e. V., Beuth Verlag GmbH, Berlin, Wien, Zürich, 2., vollständig überarbeitete Aufl. (1997), 584 S, A4, Brosch., 152,- DEM/1100,- ATS/129,- CHF, ISBN 3-410-13563-4

Dieser Band enthält neben zahlreichen grundlegenden Richtlinien, Verordnungen, Vertragsauszügen und Beschlüssen der EG eine wertvolle Fachaufsatzsammlung rund um die Normung zum Qualitäts- und Umweltmanagement, das deutsche Akkreditierungssystem, die Zertifizierung von QM- und Umweltmanagementsystemen und die Umweltbegutachtung nach der Öko-Audit-Verordnung. Besonders ausführlich sind die QM-System-Nachweise zur Erlangung des CE-Kennzeichens dargestellt.